

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YEREL İYONOSFERDEKİ TOPLAM ELEKTRON MİKTARININ (TEC)
IONOLAB-TEC YÖNTEMİYLE VE GLOBAL MODELDEN
ELDE EDİLMESİ**

GEMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SELÇUK PEKER

MAYIS 2018

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YEREL İYONOSFERDEKİ TOPLAM ELEKTRON MİKTARININ (TEC)
IONOLAB-TEC YÖNTEMİYLE VE GLOBAL MODELDEN
ELDE EDİLMESİ**

GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Selçuk PEKER

DANIŞMAN: Prof. Dr. Çetin MEKİK

ZONGULDAK
Mayıs 2018

KABUL:

Selçuk PEKER tarafından hazırlanan “Yerel İyonosferdeki Toplam Elektron Miktarının (TEC) IONOLAB-TEC Yöntemiyle ve Global Modelden Elde Edilmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.
11/05/2018

Danışman: Prof. Dr. Çetin MEKİK

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



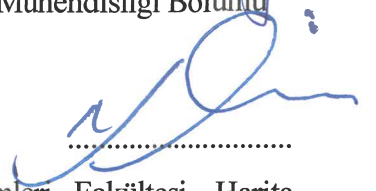
Üye: Prof. Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



Üye: Doç. Dr. Ömer YILDIRIM

Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./..../2018



Doç. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”


Selçuk PEKER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YEREL İYONOSFERDEKİ TOPLAM ELEKTRON MİKTARININ (TEC) IONOLAB-TEC YÖNTEMİYLE VE GLOBAL MODELDEN ELDE EDİLMESİ

Selçuk PEKER

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Çetin MEKİK

Mayıs 2018, 67 sayfa

Yerçekiminin etkisiyle dünyayı çepeçevre saran atmosfer, büyük ölçüde gezegenin iç katmanlarından kaynaklanan gazların yanardağ etkinliği ile yüzeye çıkması sonucu oluşmakla birlikte, gezegenin tarihi boyunca dünya dışı kaynaklardan da beslenmiş ve etkilenmiştir. Yaşam için çok önemli olan ve farklı katmanlardan oluşan atmosferin, haberleşme sinyalleri ve radyo dalgaları üzerinde önemli bir etkiye sahip katmanı da iyonosferdir.

İyonosfer tabakası zaman, konum, jeomanyetik hareketlilik gibi etkenler sonucu iyonize olmuş, yüksek yoğunlukta serbest elektron içeren, atmosferin iletken katmanıdır. İyonosferin, radyo dalgalarının yayılımı ile uydu-alıcı iletişimlerinde üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu etkiyi ifade etmede en önemli parametrede Toplam Elektron Miktarı (TEC)'dir. Uydulardan gelen iki temel taşıyıcı frekanstaki sinyaller iyonosferden geçerken değişik etkilere maruz kalmaktadır. Yerde bulunan GNSS (Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi) alıcıları bu değişiklikleri kaydederler.

ÖZET (devam ediyor)

İyonosferin değişimleri ve bozulmaları GNSS alıcılarının kaydettiği sinyallerden alıcı ve uydu arasındaki yol boyunca Toplam Elektron Miktarı (TEC) hesaplanarak elde edilebilir.

Hacettepe Üniversitesi ve Bilkent Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümleri öğretim üyelerince IONOLAB adında; iyonosfer katmanının yapısını, istatistiklerini ve haberleşme sinyallerine etkisini araştırmayı ve sorunlara çözümler getirmeyi hedefleyen bir araştırma grubu kurulmuştur. IONOLAB araştırma grubu tarafından, iyonosfer tabakasındaki Toplam Elektron Miktarının (TEC) GNSS verileri kullanılarak hesaplanmasını sağlayan IONOLAB-TEC yazılımı geliştirilmiştir.

Bu tez kapsamında, IONOLAB-TEC yazılımı kullanılarak TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif) sistemine dahil ve farklı bölgelerden seçilmiş 11 istasyonun verileri kullanılarak elde edilen TEC değerleri, Global İyonosfer Modelden elde edilen TEC değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İyonosfer, TUSAGA-Aktif, TEC, GIM

Bilim Kodu: 616.01.00

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

OBTAINING TOTAL ELECTRON CONTENT (TEC) IN LOCAL IONOSPHERE USING IONOLAB-TEC METHOD AND GLOBAL MODEL

Selçuk PEKER

**Bulent Ecevit University
Graduate School of Natural Applied Sciences
Department of Geomatics Engineering**

Thesis Advisor: Prof. Çetin MEKİK

May 2018, 67 sayfa

Although the first atmosphere was formed by outgassing of gases trapped in the interior of the early Earth, which still goes on today in volcanoes, has also been fed and effected by outer sources in the history of the planet. Atmosphere which consists of different layers is very important to life on Earth. Among them, the most important layer for communication signals and radio waves is Ionosphere.

The ionosphere layer is a region of the upper atmosphere where there are large concentrations of free ions and electrons. Free electrons in the ionosphere affect the radio waves and satellite-receiver communications. The most important parameter that describes this effect is Total Electron Content (TEC). Carrier phase dual frequency signals of the satellites are effected as they passes through the ionosphere and GNSS (Global Navigation Satellite System) receivers on the Earth save these changes. Ionospheric effects and changes can be obtained by estimating TEC along the path between the satellite and GNSS receiver.

ABSTRACT (continued)

In order to define and investigate the structure and statistics of the ionosphere layer and its effect on communication signals, **IONOLAB** working group established by Departments of

Electrical & Electronic Engineering at Hacettepe and Bilkent Universities. **IONOLAB** is a group of electrical engineers and scientists of various study areas, getting together to handle challenges of the Earth's ionosphere. The group developed IONOLAB-TEC software that estimates Total Electron Content (TEC) from GNSS data.

In this thesis, by using IONOLAB-TEC software, TEC values estimated from data of 11 GNSS stations that belong to CORS-TR (TUSAGA-Aktif) network and chosen from different regions, are compared with those obtained from Global Ionosphere Model.

Key Words: Ionosphere, CORS-TR, TEC, GIM

Science Code: 616.01.00

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi danışmanlığımı üstlenerek, bu çalışmanın tamamlanmasında bilgisini, desteğini ve anlayışını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Çetin MEKİK' e, uygulama aşamasındaki desteklerinden dolayı Arş. Gör. Samed İNYURT'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasında kullanılan İONOLAB-TEC yazılımı ile çalışmamı sağlayan Hacettepe Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Feza ARIKAN ve Doç. Dr. Umut SEZEN'e teşekkür ederim.

Her zaman ve her konuda desteklerini hissettiğim eşim Ebru PEKER ve aileme bugüne kadar göstermiş oldukları sevgi ve anlayışları sebebiyle sonsuz teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 İYONOSFERİN YAPISI VE GPS ÖLÇÜLERİNE ETKİSİ.....	5
2.1 K_p İNDİSİ.....	10
2.2 Dst İNDİSİ.....	11
2.3 Ae İNDİSİ.....	12
2.4 Te İNDİSİ.....	12
2.5 SOLAR FLUX ÖLÇÜLERİ.....	13
2.6 GÜNEŞ PATLAMASI DEĞERLERİ.....	13
2.7 İYONOSFERİN GNSS SİNYALLERİNE OLAN ETKİLERİ.....	14
2.8 İYONOSFERİK GECİKME HATASININ KARAKTERİSTİĞİ.....	15
2.8.1 İyonosferin Kırıcılığı.....	15
2.8.2 İyonosferik Gecikme Hatası.....	18
BÖLÜM 3 TUSAGA-AKTİF SİSTEMİ.....	21
3.1 TUSAGA-AKTİF SİSTEMİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	28
3.1.1 Tusaga-Aktif Sistemi Ve Çalışma İlkeleri.....	29
3.1.1.1 FKP Alan Düzeltme Tekniği.....	34

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	Sayfa
3.1.1.2 VRS Sanal Referans İstasyonu Tekniği	36
3.1.1.3 MAC Tekniği (Ana-Yardımcı Referans İstasyonları Yöntemi).....	37
3.2 BENCHMARK (BM) TESTLERİ	40
BÖLÜM 4 İYONOSFERDEKİ TEC BELİRLEME YÖNTEMLERİ	43
4.1. IONOLAB-TEC YÖNTEMİ.....	43
4.2. GLOBAL İYONOSFER MODELİ.....	47
BÖLÜM 5 TEC BELİRLEME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	51
BÖLÜM 6 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 İyonosferin katmanları ve bu katmanlara ait iyon dağılımı ile farklı katmanlara ait yoğunluk değerleri.	7
Şekil 2.2 İyonosferin Fiziksel Yapısı	9
Şekil 2.3 23-29 Mart 2018 dönemine ilişkin K_p indis grafiği.....	11
Şekil 2.4 Mart 2018 dönemine ilişkin Dst indis grafiği	12
Şekil 2.5 Ne ve Te değerlerinin manyetik enleme göre değişimleri	13
Şekil 2.6 Yükseklik açısına göre sinyal yolu	15
Şekil 2.7 Toplam Elektron Miktarının grafiksel gösterimi	18
Şekil 3.1 TUSAGA-AKTİF Sisteminin kapsama alanını gösteren görsel.	21
Şekil 3.2 TUSAGA-Aktif Rize istasyonu anteni (a), donanım kabini (b), kontrol merkezi (c).....	29
Şekil 3.3 TUSAGA-Aktif istasyon pilye tipleri (çatı, teras ve yer tipi pilye).....	29
Şekil 3.4 TUSAGA-Aktif Sistemi Donanım Kabini	30
Şekil 3.5 TUSAGA-Aktif Sistemi Çalışma Prensibi	31
Şekil 3.6 NTRIP Genel Yapısı	32
Şekil 3.7 TUSAGA-Aktif Kullanıcı Takip Programı.....	33
Şekil 3.8 İki Yönlü FKP İletişimi.....	35
Şekil 3.9 Tek Yönlü FKP İletişimi.....	35
Şekil 3.10 Bölgesel Ağlarda Sanal Referans İstasyonları	36
Şekil 3.11 Bölgesel GNSS ağlarındaki sanal referans istasyonunun taşıyıcı faz gözlemlerinin	37
Şekil 3.12 MAC Yöntemi.....	39
Şekil 3.13 Benchmark Test Ağları	41
Şekil 4.1 İki Değişkenli Enterpolasyon Gösterimi.....	49

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.2 Global İyonosfer Haritası.....	49
Şekil 5.1 Analiz Yapılan İstasyonların Gösterimi.....	51
Şekil 5.2 AGRD İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği	52
Şekil 5.3 AYD1 İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği	53
Şekil 5.4 BALK İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği.....	53
Şekil 5.5 CESM İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği.....	54
Şekil 5.6 HAKK İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği	54
Şekil 5.7 IGIR İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği.....	55
Şekil 5.8 KIKA İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği.....	55
Şekil 5.9 MALZ İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği	56
Şekil 5.10 MURA İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği.....	56
Şekil 5.11 SIRT İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği	57
Şekil 5.12 USAK İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği.....	57
Şekil 5.13 2011 Yılı Ekim Ayına Ait K_p , Dst ve F10.7cm indisleri grafiği (URL-4).....	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Yerleri ve ITRF 96 2005.0 Sistemindeki Koordinatları	22
Çizelge 3.2 RTCM 3.1 Ağ-RTK mesaj grupları, alt grupları, mesaj türleri ve içerikleri	38





SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

m^2	: Metrekare
n	: Kırılma İndisi
n_p	: Faz Ölçüleri için Kırılma İndisi
f	: Elektro Manyetik Sinyal Frekansı
N_e	: Elektron Yoğunluğu (e/m^3)
n_g	: Kod Ölçüleri için Kırılma İndisi
L1,2	: GPS Taşıyıcı Dalga Boyları (1575,42 MHz, 1227,60 MHz)
C/A	: Course Acquisition
P	: Precise
f_N	: Elektron Plazma Frekansı (20 Mhz);
e	: Elektron Doygunluğu
ϵ_0	: Serbest Hacim Doygunluğu, $8.854 \cdot 10^{-12}$ farads/m
B	: Dünyanın Değişken Yoğunluklu Manyetik Alanı
m_e	: Elektron Kütlesi, $9.107 \cdot 10^{-31}$ kg
θ	: Dalga Normali İle Manyetik Alan Doğrultusu Arasında Kalan Açık
f_v	: Elektronlar ve Ağır Parçacıklar Arasındaki Elektro-Nötral Çarpışma Frekansı, (10^4 Hz)
f_H	: Elektro Gyrofrekans. 1.5 Mhz
Δr	: İyonosferden Kaynaklanan Grup Gecikmesi
$\Delta \Phi$: İyonosferden Kaynaklanan Faz İlerlemesi
l	: Sinyalinin İyonosferde Aldığı Yol
N	: 0'dan Farklı Toplam Ölçüm Sayısı
v	: Elektromanyetik Dalganın Ortamdaki Hızı
c	: Işığın Boşluktaki Hızı
$d_{ion1,u}^m, d_{ion2,u}^m$: İyonosferden Kaynaklanan Grup Gecikmesi
Φ_{ion}	: İyonosferden Kaynaklanan Faz Gecikmesi
$\text{cosec}\zeta$: Uydu Zenit Açısının Kosekanti
L	: Baz Uzunluğu

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

ΔL	: Bağıl Hata Miktarı
L3	: İyonosferden Bağımsız Lineer Kombinasyon
m	: Uydu PRN Numarası
k_1, k_2	: Atmosferik Kırılma Katsayıları
ϵ_m	: Yükseklik Açısı
\mathbf{w}	: Ağırlık Vektörü
w	: Ağırlık Fonksiyonu
$H(k_c)$: Toeplitz Matrisi (Yüksek Geçiren Ceza Süzgeçi)
$H_k(\omega_c)$: Süzgeç Fonksiyonu
μ	: Düzgünleştirme Katsayısı
a	: Doğrunun Eğimini
T	: Zaman
$E_v(\beta, s)$: Düşey Toplam Elektron Yoğunluğunun Küresel Harmonik Açılımı
β	: Enlem
s	: Güneş Sabit Boylamı
λ	: Noktanın Boylamı
λ_0 ve β_0	: Başlangıç Enlem ve Boylam Değerleri
n_{\max}	: Küresel Açılımın Maksimum Derecesi
$\tilde{P}_{nm} = N_{nm}P_{nm}$: Legendre Fonksiyonu
N_{nm}	: Normlandırma Fonksiyonu
P_{nm}	: Normlandırılmış Legendre Fonksiyonu Katsayısı
\tilde{C}_{nm} ve \tilde{S}_{nm}	: Küresel Harmoniğin Bilinmeyen Katsayıları
$\Delta\lambda$ ve $\Delta\beta$: Enlem Farkları Grid Genişlikleri
E_{int}	: Bulunması İstenen TEC Değeri
$E_{0,0}, E_{1,0}, E_{0,1}, E_{1,1}$: Komşu Noktalarda Bilinen TEC Değeri
r	: Korelasyon Katsayısı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

KISALTMALAR

ADSL	: Asymmetric Digital Subscriber Line
BKG	: German Federal Agency for Cartography and Geodesy
BM	: Benchmark
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CMR	: Compact Measurement Record
CNRC	: Canada National Research Council
CODE	: Center of Orbit Determination Europe
CORS	: Continuously Operating Reference Stations
COSPAR	: Committee on Space Research
DGPS	: Differential GPS
ED50	: European Datum 1950
EDGE	: Enhanced Data rates for GSM Evolution
ESA	: European Space Agency
FKP	: Flächen Korrektur Parameter
GALILEO	: Europe's Global Satellite Navigation System
GIM	: Global Ionosphere Maps
GLONASS	: Rusya Global Navigation Satellite System
GPRS	: General Packet Radio Service
GNSS	: Global Navigation Satellite Systems (Küresel Yönbulum Uydu Sistemleri)
GPS	: Global Positioning System
GSM	: Global System for Mobile Communications
GZK	: Gerçek Zamanlı Kinematik
HF	: High Frequency
HGK	: Harita Genel Komutanlığı
http	: Hypertext Transfer Protocol
IONEX	: Ionosphere Map Exchange Format
IP	: Internet Protocol Address
ITRF	: International Terrestrial Reference Frame
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İKÜ	: İstanbul Kültür Üniversitesi
JPL	: Jet Propulsion Laboratory

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

KBS	: Kent Bilgi Sistemi
KKTC	: Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti
MAC	: Master Auxiliary Concept
NGDC	: National Geophysical Data Center
NOAA	: National Oceanic ve Atmospheric Administration
NTRIP	: Network Transport of RTCM Through Internet Protocol
PRN	: Pseudorandom noise
RINEX	: Receiver Independent Exchange Format
RTCM	: The Radio Technical Commission for Maritime Services
RTK	: Real Time Kinematic
SAPOS	: Satellite Positioning
STEC	: Slant Ray Total Electron Content (el/m ²)
TCP	: Transmission Control Protokol
TEC	: Total Electron Content
TKGM	: Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü
TTVPN	: Türk Telekom Virtual Private Network
TUSAGA-Aktif	: Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UMTS	: Universal Mobile Telecommunications System
UT	: Universal Time
UV	: Ultraviyole (morötesi)
VPN	: Virtual Private Network
VRS	: Virtual Reference Stations
VTEC	: Vertical Total Electron Content (el/m ²)
WGS84	: The World Geodetic System 1984
DST	: Disturbance Storm Time

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İyonosfer, yeryüzünden 60 km. ile 1100 km. arasında kalan yükseklik bölgesinde yer alan ve güneş ışınlarının etkisiyle iyonize olmuş gazlardan oluşan bir atmosfer tabakasıdır. Gazların iyonizasyona uğraması sebebiyle de bu katmana İyonosfer denmektedir. İlk olarak 1926 yılında varlığı kesin olarak saptanmıştır.

Söz konusu tabaka içerisinde mevcut atmosferik gaz molekülleri, güneşten gelen ışınların UV radyasyonundan etkilenerek, iyon ve elektronlara ayrılmak suretiyle elektriksel olarak yüklenmekte ve iyonizasyon oluşumuna neden olmaktadır. Söz konusu iyonizasyon neticesinde de özellikle ses, veri ve sinyal etkileşim uygulamalarının yoğunlukla kullanıldığı bilişim teknolojileri ve haberleşme alanları iyonosfer tabakasından etkilenmektedir (Anderson and Fuller-Rowell 1999).

İyonosferi uzay ve zamanda tanımlayan en önemli parametre elektron yoğunluğudur. İyonosferdeki elektron yoğunluğu gece/gündüz döngüsü, mevsimsel değişiklikler, coğrafi konum ve güneşte meydana gelen manyetik fırtınalar gibi etkilerin tümünden etkilenerek değişir. İyonosferin elektron yoğunluğunun doğrudan ölçülmesi mümkün olmadığı için dolaylı ölçü ve hesaplama teknikleri geliştirilmiştir. 1 m² kesitli bir silindir boyunca toplam serbest elektron miktarı olarak tanımlanan Toplam Elektron Miktarı (TEC) iyonosferin uzay ve zamandaki değişimlerinin gözlenebilmesi için çok uygun bir parametredir. Oldukça düzensiz ve modellendirilmesi zor olan iyonosfer tabakası içerisinde geçen veya sınırlarından yansıma yapan ses ve veri içerikli her türlü sinyaller bu tabakanın yapısından etkilenmektedir. Örneğin, iyonosfer tabakasından meydana gelen iyonizasyon neticesinde ortaya çıkan serbest elektronların Küresel Yönbulum Uydu Sistemleri (GNSS: Global Navigation Satellite Systems) ile yapılan kod ve faz ölçülerine olan etkileri farklıdır. Başka bir deyişle, kod ölçüleri için iyonosferik grup gecikme etkisi (group delay) söz konusu iken faz ölçüleri için faz hızlanması (phase advance) söz konusudur. Faz ölçüleri için kırılma indisi, $n_p = 1 - \frac{40,3}{f^2} N_e$ ve kod

ölçüleri için kırılma indisi, $n_g = 1 + \frac{40,3}{f^2} N_e$ şeklinde ifade edilmektedir (Georgiadou and Kleusberg 1988, Leick 1990, Seeber 2003). Bu etki toplamda GNSS sinyallerinin uydudan alıcıya olan mesafe ölçüsünde 1 ila 20 m. arasında hataya sebep olur (Georgiadou and Kleusberg 1988, Başpınar 2012).

İyonosferin yapısını ifade etmekte kullanılan TEC parametresinin kestirimi için yer tabanlı ve uydu tabanlı çeşitli teknikler uygulanmaktadır. İyonosonda, evre uyumsuz geri saçılım radarı, TOPEX/Poseidon uydusu, çift frekanslı GNSS alıcıları TEC kestirimi için gereken veriyi sağlayabilirler. İyonosondalar yüksek frekansta radyo dalgası göndererek kırıcı katmandan yansıyıp dönünceye kadar geçen zamanı ölçerler. Dolayısıyla iyonosferin en yoğun katmanından yeryüzüne kadar olan yoğunluğu ölçebilirler. Geri saçılım radarı ise iyonosferin üst katmanlarını da inceleyebilir ancak ülkemizde bulunmamakla birlikte oldukça da pahalı bir teknolojidir (Sayın 2008).

Uydu ile yeryüzündeki alıcı arasında izlediği yol boyunca sinyal eğik bir rota çizer. Bu yol üzerinde hesaplanan elektron yoğunluğu STEC (Slant Ray Total Electron Content) olarak ifade edilir. Hesaplanan STEC değerlerinin alıcı başucu açısı üzerindeki izdüşümü alınarak TEC (VTEC; Vertical Total Electron Content) değeri hesaplanır (Otsuka et al. 2002, İnyurt vd. 2017).

Yerel TEC parametresinin hesaplanması için sabit GNSS istasyonunda kullanılan alıcının yanlılık değeri ve uydu yanlılık değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Alıcı yanlılık değeri modeline katılmadan hesaplanan TEC değerleri ise asıl TEC kestirim değerlerine göre çok önemli farklar içermektedir. Tek istasyon için herhangi bir günde alıcı yanlılık değeri kestirilmesi İONOLAB çalışma gurubu tarafından incelenmiş ve geliştirilen yöntem (Nayir 2007) ve (Arıkan vd. 2008)'de sunulmuştur (Aysezen 2008).

İyonosfer tabakasının ses, veri ve sinyaller üzerinde oluşturduğu hata miktarı, iyonosfer tabakasındaki serbest elektron miktarının belirlenmesi yöntemi ile modellenerek ihmal edilebilecek kadar minimize edilir.

Bu tez çalışması kapsamında, Türkiye üzerindeki HGK (Harita Genel Komutanlığı) ve TKGM (Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü) ortak sorumluluğunda bulunan TUSAGA-Aktif (Türkiye

Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif) sistemine dahil Marmara, Ege, Doğu Anadolu ve GÜneydoğu Anadolu bölgelerinde bulunan toplam 11 istasyon için 20-26 Ekim 2011 tarihleri arasındaki verileri kullanarak İyonosfer modelleme yöntemleri; İONOLAB-TEC Yöntemi ve Global İyonosfer Modeli ile değerlendirilmesi yapılacak, sonuçlar karşılaştırılacaktır.

Tezin ikinci bölümünde İyonosfer yapısı ve GNSS sinyalleri üzerindeki etkilerine değinilmekte, üçüncü bölümde ise TUSAGA-Aktif sistemi ayrıntılı olarak tanıtılmaktadır. Dördüncü bölümde ise tez kapsamında TEC hesaplamasında kullanılan İONOLAB-TEC yöntemi ile Global İyonosfer Modeli yöntemleri anlatılmıştır. Beşinci bölümde bahsi geçen yöntemlerin karşılaştırması yapılmakla birlikte, altıncı bölümde yapılan çalışmaların sonucu aktarılacaktır.





BÖLÜM 2

İYONOSFERİN YAPISI VE GPS ÖLÇÜLERİNE ETKİSİ

Çevremizi saran atmosfer yaklaşık olarak % 78 Azot (N_2), % 21 Oksijen (O_2), % 0,9 Argon (Ar), % 0,03 Karbondioksit (CO_2) bileşenlerinden oluşmaktadır. Ayrıca azınlık bileşenler olarak da Neon (Ne), Helyum (He), Metan (CH_4), Kripton (Kr), Hidrojen (H_2), Ksenon, Ozon, Azot oksitleri, Amonyak, Kükürt dioksit, Karbon monoksit ve Radon gazlarından oluşmaktadır. Gaz karışımı yer yüzeyinden itibaren yaklaşık 100 km ye kadar bu oranlarda sabit olarak devam eder. Daha sonra ise bu oranlar yükseklikle beraber büyük farklılıklar göstermektedir (Yasa 1987).

Dünyamızı saran atmosferimizde bulunan bu gaz karışımı güneşten gelen farklı dalga boylarındaki elektromanyetik radyasyonun etkisi altındadır. Bu gaz karışımının üzerine düşen elektromanyetik dalga, atom ya da moleküllerin elektronlarının sahip olduğu enerjinin artmasına sebep olur. Dolayısıyla elektron uyarılmış seviyeye geçerek, çekirdek etrafındaki yörüngelerden bir veya birkaç elektron uzaklaştırabilir. Eğer gelen elektromanyetik dalganın enerjisi elektronu dış yörüngeden tamamen koparacak kadar büyük ise, atom ya da moleküle bağlı olan elektron, atomdan ayrılarak serbest yüklü elektron haline gelecektir. Elektronunu kaybeden atom ise pozitif yüklü iyon haline gelir. Atomun bu şekilde enerji yutarak elektronunu kaybetmesi olayına foto iyonizasyon ve elektronun kaybolması için gereken enerjiye de iyonlaşma enerjisi denir.

İlk defa 1878'de Balfour Stewart, günlük manyetik alan değişiminin açıklanabilmesi için, atmosferin üstünde bir elektrik akım sisteminin olması gerektiğine işaret etmiştir. Sıra ile 1832'de Faraday'ın, 1839 da Gauss'un ve 1860'da Lord Kelvin'in aynı konudaki çalışmaları ile, Stewart'a öncülük ettikleri bilinmektedir.

1901'de Markoni'nin Cornwall (İngiltere)'den yollanan bir sinyali Newfoundland (Amerika)'da izleyebilmesi iyonosfer üzerinden nakledilen ilk radyo sinyalidir. Pek çok bilim

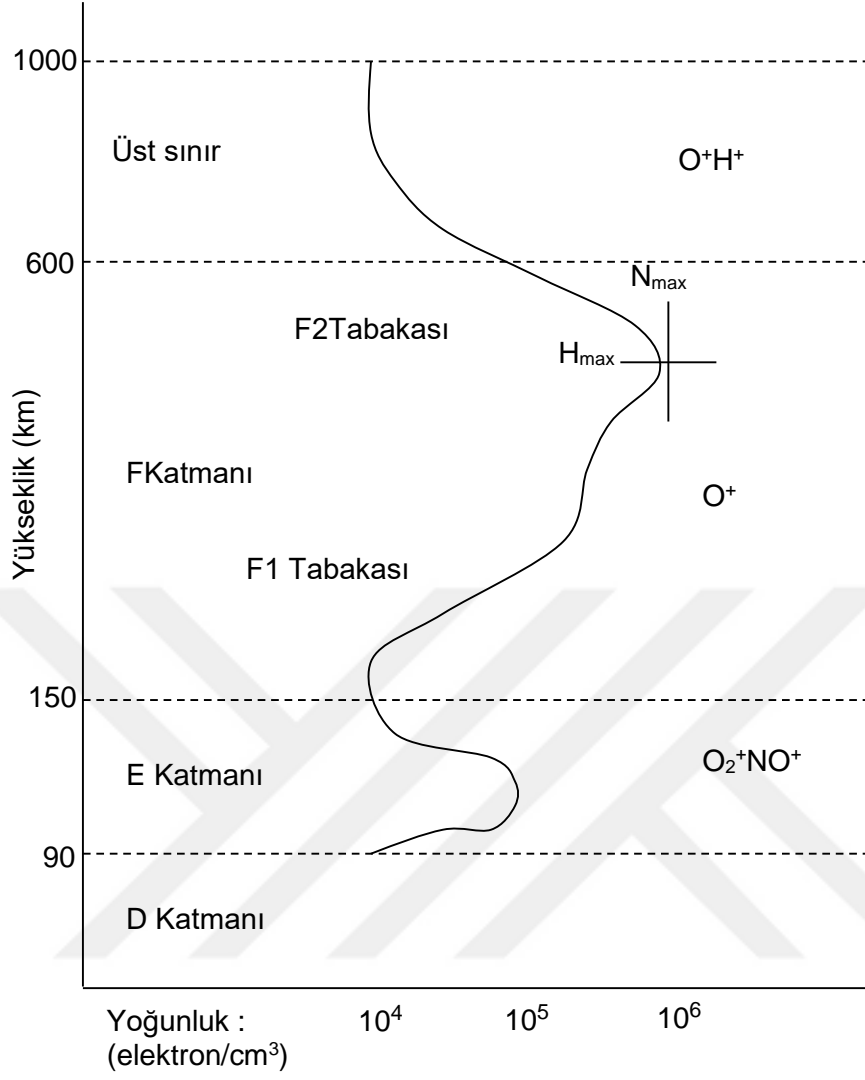
adamının o yıllarda bu sonucu şüpheyle karşılamasına rağmen 1902’de Kennely bu sonucun 80 km yükseklikte iletken bir tabaka etkisinin sebep olabileceği görüşünü savunmuştur. Aynı yıllarda Heawside da tamamen bağımsız olarak aynı sonuca ulaşmıştır. Bu nedenle iyonosfer uzun süre Kennely-Heawside tabakası olarak anılmıştır (Başpınar 2012).

İyonosferin varlığının deneysel olarak ispatı 1926’da Breit ve Tuve tarafından Amerika’da ve aynı yıllarda Appleton ve Barnett tarafından da İngiltere’de yapılmıştır. Yine atmosfer tabakalarının isimleri, bu yıllarda Appleton tarafından konulmuştur. İlk tespit edilen tabakaya E adı (Electric-field) adına izafeten verilmiştir. Bundan sonra tabakalara, yüksekliklerindeki sıralanmalara göre D, E ve F adları verilmiştir.

İyonosfer adı verilen doğal plazma tabakası, güneşten gelen mor ötesi ışınların, atmosferin üst tabakalarındaki atomlar ve moleküllerce soğurulması sonucunda oluşmaktadır. Bu tabakalar, foto iyonizasyon sonucunda oluştuğu gibi, şimşeklerin taşıdığı şiddetli elektrik alanların ve şok dalgalarının ya da oldukça yüksek sıcaklıkların etkisiyle de oluşabilmektedir. Serbest elektronlar ve pozitif iyonları içeren bu iyonosfer tabakası elektromanyetik dalgaları yansıtarak, bu dalgaların uzak mesafelere gitmelerini sağlamaktadır. Yüklü parçacıklar dünyanın manyetik alanınca hapsedilmektedirler (Davies 1969).

İyonosfer tabakası atmosferik materyallerin sadece küçük bir parçasını içermesine rağmen, tabaka içerisinden geçen radyo dalgalarına olan etkisinden dolayı çok önemlidir. İyonosferin büyük bir kısmı elektriksel olarak yansız (tarafsız)’dır. Fakat güneş ışımalarının kimyasal bileşenlerinin etkisi ile elektronlar atomlar ve moleküllerden ayrılarak iyonosferik plazmayı meydana getirirler. İyonosferik plazma Dünya’nın güneşi gören tarafında meydana gelir ve sadece kısa dalga boylu güneş ışınları bu iyonizasyon için yeterli enerjiye sahiptir. İyonlaşma maksimum değere yerel zamanda 12:00-14:00 arasında ulaşırken, gece elektronlar iyonlarla birleştiğinden iyonlaşma azalır (Aysezen 2008).

İyonosfer, tabaka adı verilen ve D, E ve F olarak adlandırılan üç bölgeye ayrılmıştır. En alçakta bulunan D tabakası 60 km. ile 90 km. ’lik yüksekliği kapsar. E tabakası 90 km. ile 150 km. yüksekliğinde, F tabakası ise E katmanının üst kısmını kapsar. E tabakası normal bir katman olmasına rağmen güneş ışınları ile düzensiz hale gelerek Es olarak tanımlanır. F tabakası ise kendi içinde F1 ve F2 tabakalarına ayrılır. İyonosferin en üst noktası 1100 km. yüksekliktedir. Fakat bu gerçek bir sınır değildir.



Şekil 2.1 İyonosferin katmanları ve bu katmanlara ait iyon dağılımı ile farklı katmanlara ait yoğunluk değerleri.

D Tabakası: Bu tabaka yer kabuğundan itibaren 60-90 km arasındaki yükseklikte yer almaktadır. İyonlaşmanın en az olduğu katmandır. Bu katmanda iyonlaşma yüksek enerjili X ışınları ile gerçekleşir. Yükseklik arttıkça serbest elektron miktarı artar. Güneşin doğmasının hemen ardından D tabakasında iyonlaşma gerçekleşir. İyonlaşmanın etkisiyle uzun dalga ve orta dalga bandındaki sinyaller, D tabakası tarafından zayıflatılır. Gece ise serbest elektron ve iyonların birleşmesiyle bu katman kaybolur. Bu bölgenin GPS ölçülerine etkisinin olmadığı kabul edilir (Parkinson and Spilker 1996). D katmanı etkilerinin örneklerinden biri olarak AM radyo yayınlarının gündüz zamanı kaybolması gösterilebilir.

E Tabakası: E tabakası yer kabuğundan 90-150 km arasındaki yüksekliktedir. Sinyaller üzerinde kırınım etkisi yaratan E tabakasının zayıflatma etkisi D tabakasına göre oldukça azdır.

E tabakasındaki iyonizasyon büyük oranda düşük enerjili X ışınlarıyla oluşmaktadır. Daha güçlü bir E tabakası yüksek iyonlaşmanın olduğu alanlarda oluşur ve düzensiz Es (Sporadic) tabakası olarak adlandırılır. Bu tabakanın etkisi ile 10 MHz üzerinde frekansa sahip olan sinyaller iyonosferden yansır ve 1000 km'nin üzerinde yol alabilir. Düşük frekans-çok yüksek frekans bantları arası iletişime olanak sağlar.

F Tabakası: Yer kabuğundan 150 km yükseklik ötesinde bulunan tabakadır. F tabakası F1 ve F2 olmak üzere iki kısımda incelenmektedir ve bu tabaka güneşin morötesi ışınlarıyla oluşmaktadır. Yansıtıcı özelliğinden dolayı F katmanı Kısa Dalga haberleşmeleri açısından büyük önem taşımaktadır. Radyo dalgalarının yansıtılmasında en önemli katmandır.

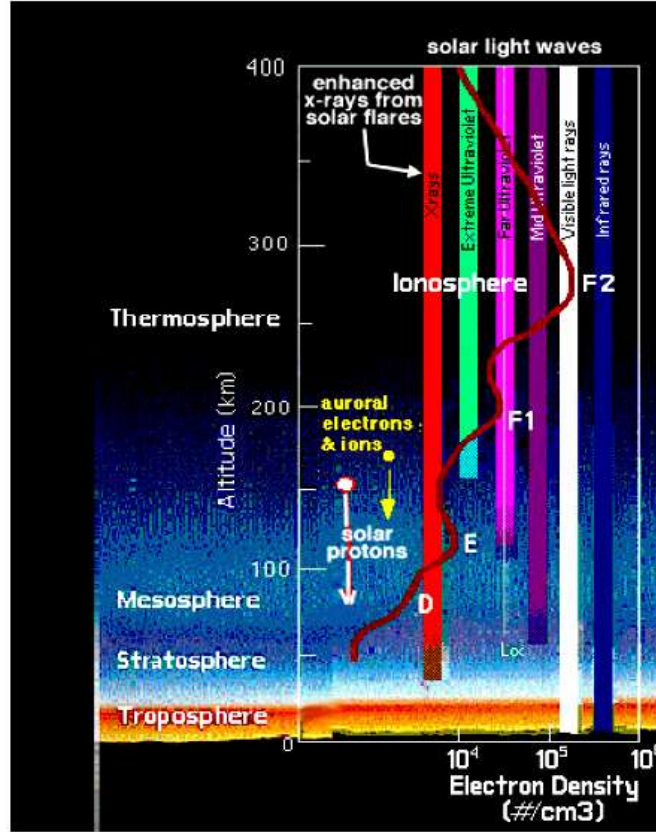
F1 Tabakası: GPS sinyalinin iyonosferde gecikmesinin %10'u bu katmandan kaynaklanmaktadır (Parkinson ve Spilker 1996). Yapısı düzenli olup güneşteki değişimler ile kontrol edilmekte, yeryüzünden 150-200 km yükseklikte bulunmaktadır.

F2 Tabakası: Düzenli bir yapıya sahip olan tabaka yeryüzünden 200-1000 km yükseklikte bulunmaktadır. Güneşe daha yakın olmasından dolayı daha fazla morötesi ve X ışınlarına maruz kalır. Bu nedenle de F1 katmanından daha iyonize haldedir. Bu sebeple GPS ölçülerine en çok etki eden bu tabakadır. Global ölçekte F2 tabakasındaki elektron yoğunluğunda yıllık değişimler olur. Elektron yoğunluğu Haziran ayında, Aralık ayına göre % 20 daha fazla olmaktadır. Bunu güneşin parlamasındaki % 6'lık saçılma ile açıklamak mümkündür (Parkinson and Spilker 1996). Güneş fırtınası, güneş ve dünya arasındaki uzaklık değişimine bağlı olarak Ocak ayında maksimum düzeye ulaşır. F2 tabakasının elektron yoğunluğu geceleri düzensiz olarak azalan enerjisini muhafaza eder. Bu tabaka kutup bölgelerinde farklı değişimler gösterir. F2 tabakası ekvator bölgesinde çok düzensizdir; gece saatlerindeki elektron yoğunluğu, öğle saatlerindeki düzeyinden fazla olabilmektedir (Wild 1994). En yüksek elektron yoğunluğu 350 km yükseklikte bulunmaktadır.

GNSS birbirinden farklı yapıda olan pek çok materyal, ortam ve sistemden oluşması nedeni ile içerisinde önemli hatalar barındırmaktadır.

GNSS sinyalleri, fiziksel özellikleri itibariyle iki ayrı atmosfer tabakasından geçerek alıcıya ulaşırlar. Bu katmanlardan iyonosferin etkisinin gerek iki farklı taşıyıcı dalga gözlemleriyle gerekse farklı noktalarda yapılan ölçmelerden ikili farklar oluşturarak giderilebileceği

bilinmektedir. İyonosfer güneşten gelen ultraviyole ışınların atmosferin üst kısımlarındaki serbest gaz moleküllerini bir foto elektrik olay neticesinde negatif yüklü hale getirmesi yani iyonize etmesi neticesinde meydana gelmektedir. Bu olay neticesinde nötr gaz molekülleri dışarıya serbest elektron bırakır. Güneşin etkilerinin yoğun olduğu öğlen saatlerinde bir cm küp iyonosfer gazında 1.5 milyon serbest elektrondan söz etmek mümkündür (Aysezen 2008). Bir iyonun ömrü sadece birkaç saat kadardır (Şekil 2.2), tabakanın alt bölgelerine inildikçe bu süre giderek kısalır ve nihayet en alt kısımlarında bu süre saniyenin binde birine kadar düşer. Güneşteki yıl boyunca oluşan çeşitli hareketlenmelerde iyonosfer üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Bu etkilerin varlığıyla doğru orantılı olarak iyonosfer kalınlığı azalır ya da artar, fakat Kutup bölgelerine yaklaşıldıkça tabaka kalınlığında azalma beklenirken bunun tersi bir durumla karşılaşılır.



Şekil 2.2 İyonosferin Fiziksel Yapısı

İyonosferdeki düzensiz değişimler jeomanyetik etkilerle ilişkilendirilmektedir. Manyetik alan sık sık bozucu etkilere uğrar. Güneşte meydana gelen manyetik aktiviteler, kopan parçacıklar nedeniyle iyonosfer tabakasında 11 yıllık periyodunun dışında değişimler gözlenebilir (Parkinson and Spilker 1996).Güneş'in manyetik kutupları yaklaşık 11 yılda bir ters döner.

Yani bir kutup 11 yıl boyunca Kuzey Manyetik Kutup ise, sonraki 11 yıl boyunca da Güney Manyetik Kutup olur. Böylece değişimin ilk haline gelmesi için geçen süre yaklaşık 22 yıl olur. Buna manyetik çevrim süresi denmektedir. Bu nedenlerden dolayı 11 yılda bir Güneş'in manyetik çevrimi de maksimuma ulaşır.

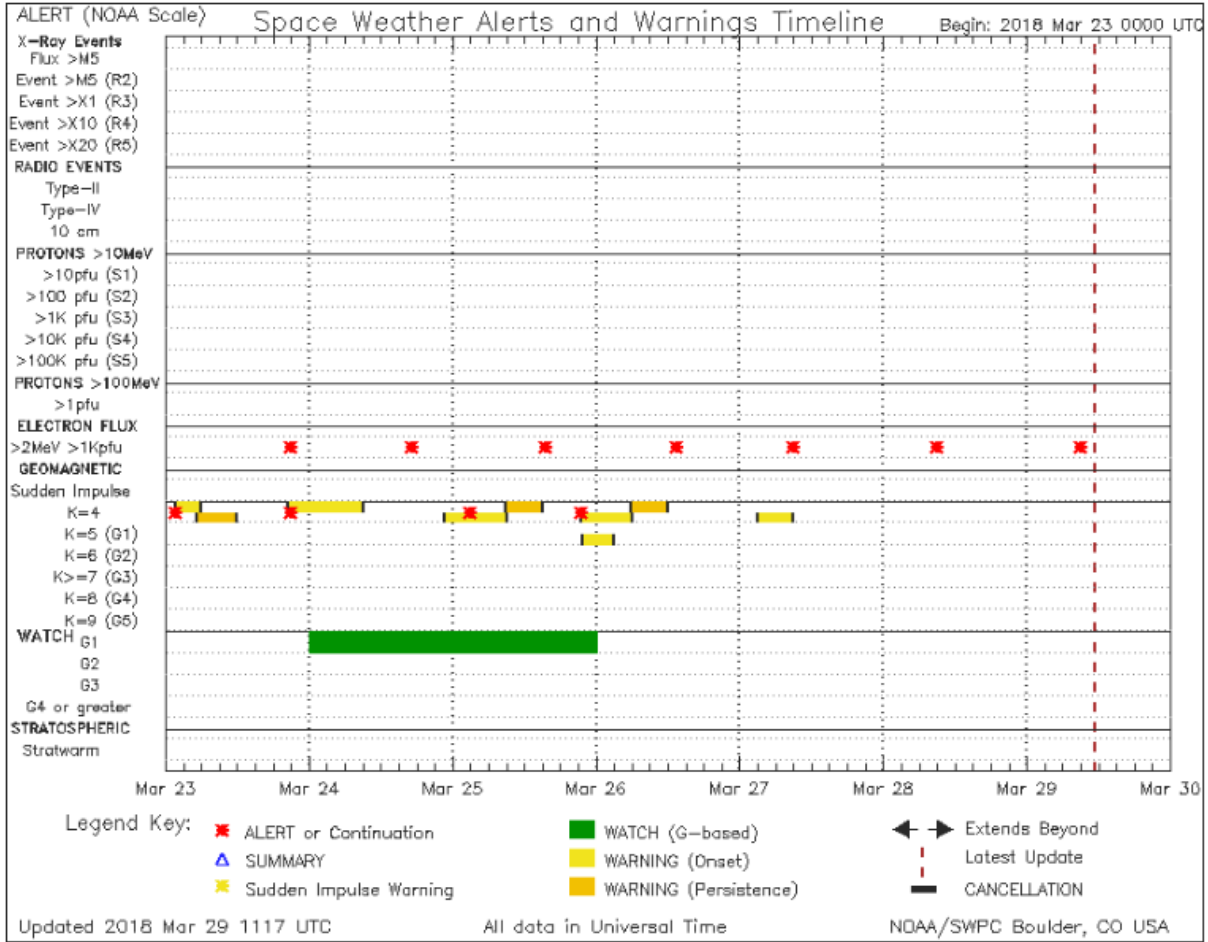
Güneş'te meydana gelen aktivitelerin etkisi sonucunda Dünya'nın manyetik alanının etkilenmesi ve buna bağlı olarak iyonosferdeki elektron yoğunluğunda meydana gelen ani değişimler, çeşitli kriterlere bağlıdır (K_p indisi, Dst indisi, Ae indisi, Te indisi, güneş patlaması (Solar Flare) ve Solar Akı değerleri). Bunlardan K_p ve Dst indisleri iyonosferdeki değişimleri de incelememize yardımcı olmaktadır (Başpınar 2012, İnyurt vd. 2016).

2.1 K_p İNDİSİ

Jeomanyetik aktiviteyi gösteren parametrelerden birisi de K_p indisidir. K_p indisi 44^0 ile 60^0 kuzey ya da güney enlem aralıklarında bulunan 13 jeomanyetik gözlem merkezinden hesaplanan ortalama K indisidir. K indisi ilk defa J. Bartels tarafından ortaya atılmıştır. K indisi üç saatlik manyetik aktiviteyi gösteren kuasi-logaritmik bir indistir. İndisin hesaplanmasında tek bir gözlem merkezinin sakin gün olarak varsaydığı zamana ait ölçüler referans kabul edilir. K indisi 0-9 arası derecelendirme ile ifade edilir. K_p indisi ise K indisinin 3'er aralığa bölünmüş halidir. K_p indisi güneşin manyetik alan etkisi ile parçacık yayılımını ölçmektedir (URL-1). K indisleri National Oceanic ve Atmospheric Administration (NOAA) ve National Geophysical Data Center (NGDC) tarafından sağlanmaktadır (Komjahty 1997).

Gözlem yapan istasyonlar auroral elektrojet akımlarından etkilenmediği sürece durum manyetik sakinlik (magnetically quiet) olarak ifade edilir. Eğer auroral bölge ekvatora doğru görülmeye başlarsa, elektrojet akım sisteminde, manyetosferik çember akımında ve sıralı alan akımlarında meydana gelen değişimlerin iyonosfere etkisi istasyonlar tarafından kaydedilecektir. Bu durum manyetik fırtına (magnetically disturbed) durumu olarak adlandırılır. Bir durumun manyetik fırtına olarak adlandırılması kritik K_p değerinin belirli bir aralıkta sınırlandırılması ile yapılır. Bu kritik değer yapılan çalışmaya zamana ve konuma göre değişiklik gösterebilir. Örneğin daha önce yapılan bir çalışmada kriterler şu şekilde belirlenmiştir (Tulunay vd. 2001). Gece saatlerinde manyetik sakinlik durumu için $K_p \leq 2$ şartı sağlanmalıdır. Manyetik fırtına durumları için $K_p > 2$ kriteri kabul edilebilir. Gündüz saatleri için manyetik fırtına koşulu $K_p \geq 3$ iken manyetik sakinlik $K_p < 3$ durumunda

gerçekleşmektedir. Bunun nedeni, gündüz saatlerinde Güneş'in etkin olmasından doğal bir rahatsızlık durumu gerçekleşir. Bu yüzden kriter sınırları yükselmektedir.

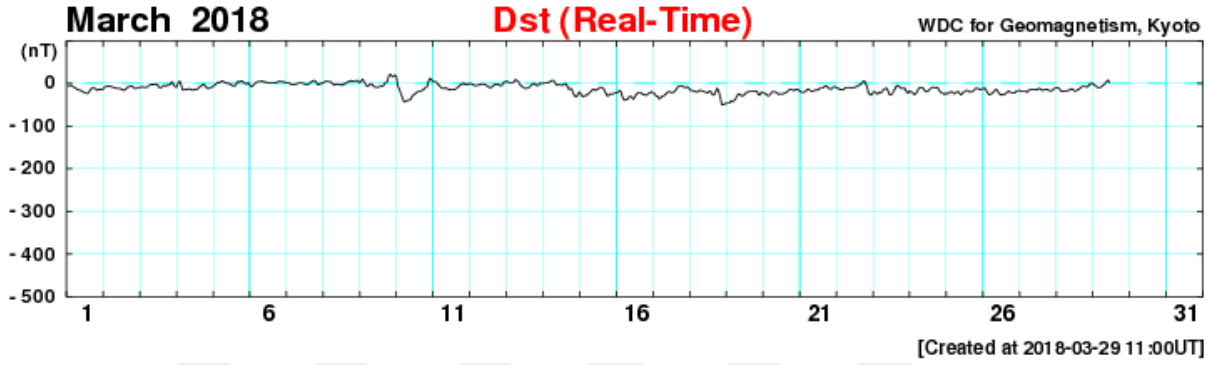


Şekil 2.3 23-29 Mart 2018 dönemine ilişkin Kp indis grafiği (URL-1).

2.2 Dst İNDİSİ

Dst (Disturbance Storm Time) indisi jeomanyetik fırtınayı ve derecesini gösteren bir parametredir. Bu indis alçak enlem manyetogramları kullanılarak elde edilir. İndis manyetik alanın yatay düzlemdeki bileşeninin ekvatordaki azalmasını ifade etmektedir. Dst değerinin negatif olması jeomanyetik fırtınayı işaret etmektedir. Ekvatorial düzlemde doğudan batıya ilerleyen halka akımı Dst değerlerinde azalmaya yol açar. Dst değerlerindeki azalma fırtına şiddetinin arttığını göstermektedir. Dst birimi nanoTesla (nT)'dır ve dünyanın manyetik alanının yatay bileşeni olan H bileşeninin ortalama değeri olarak her saat başı hesaplanmaktadır (Hunsucker et al. 2003).

Dünya'nın yüzeyindeki manyetik alan gücü yaklaşık 50.000 nT kadardır. Bu değer yanında çok küçük bir sapma olan -100 nT büyük bir manyetik fırtına için yeterli bir değerdir. Karpachev'in yaptığı çalışmada belirttiği üzere; Şubat 1986 yılında meydana gelen ve iki gün süreyle gelişen güçlü bir manyetik fırtınada Dst değeri -312 nT' ya kadar ulaşmıştır. Bu sakin durumun yaklaşık 16 katıdır (Sümer ve Yalçın 2004).



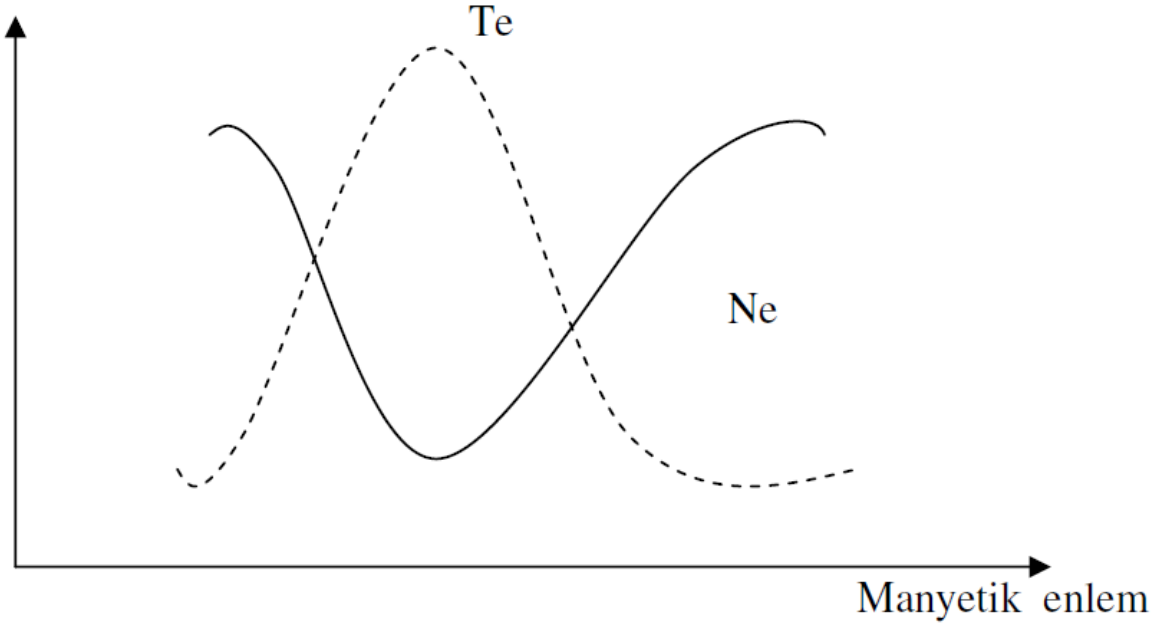
Şekil 2.4 Mart 2018 dönemine ilişkin Dst indis grafiği (URL-2).

2.3 Ae İNDİSİ

Ae indisi, aurora elektrojet indisi olup yerel zaman ve enleme göre değişik şekilde (kuzey yarımküre aurora bölge) konumlanmış istasyonlar tarafından elde edilmektedir. Her istasyon kuzey-güney manyetik rahatsızlık değeri olan H'yi evrensel zamanın bir fonksiyonu olarak kaydeder. İstasyonlardan alınan bu verilerin süper pozisyonu ile H bileşeninin maksimum negatif kararsızlık değeri tespit edilir. Bu AL olarak adlandırılır. Aynı şekilde H bileşeninin maksimum pozitif kararsızlık değeri bulunur (AU). Bu iki değer arasındaki fark Ae indeksini meydana getirir. Ae indeksinde günlük nominal seyir dışında oluşan kararsızlıklar manyetosferik ön fırtınalar (magnetospheric substorms) olarak adlandırılır ve 10 dakikadan birkaç saate kadar sürebilir (Ratcliffe 1970).

2.4 Te İNDİSİ

İyonosfer bölgesinin manyetik fırtınalar altında kalmasının bir sonucu olarak değişen elektron yoğunluğu oranları elektron sıcaklığında da bir değişime yol açmaktadır. Bu değişim elektron yoğunluğu ile ters orantılıdır. Şekil 2.5' den görüldüğü gibi elektron yoğunluğu azaldıkça, sıcaklık değeri artmaktadır. Elektron yoğunluğunun minimum değeri ile sıcaklığın tepe noktası daha önce de belirtildiği gibi her zaman paralellik göstermeyebilir (Karpachev 2003).



Şekil 2.5 Ne ve Te değerlerinin manyetik enleme göre değişimleri

2.5 SOLAR FLUX ÖLÇÜLERİ

Solar flux (dalgalanma) ölçüsü, 10.7cm'lik dalga boyuna sahip dalga yardımıyla iyonosfer değişimlerinin gözlenmesi temeline dayanmaktadır. 10.7 cm dalga boylu solar flux ölçmeleri, iyonlaşmanın güneş lekeli sayısı yardımıyla belirlenmesinden daha uygun sonuçlar vermektedir. Günlük solar flux ölçmeleri UT zamanına bağlı olarak 20:00'de Dominion Radyo Astrofizik Gözlemevi tarafından kaydedilmektedir. Bu gözlemevi Kanada Milli Araştırma Birliği'nce (CNRC) işletilmektedir. Solar flux ölçü değerleri 50 ile 300 arasında değişmektedir (Poole 2002).

2.6 GÜNEŞ PATLAMASI DEĞERLERİ

Enerji salınımı bakımından güneş yüzeyindeki en şiddetli olaylardan biri geçici enerji boşalmaları olarak da tanımlanan güneş patlamalarıdır. Çok güçlü manyetik alanların parçalanmaları ve yeniden birleşmeleri, patlamaların oluşması için gerekli olan ilk enerji kaynağını oluşturmaktadır. Bu enerji boşalmaları, güneş gamma ışınım, X-ışınım ve radyo ışınım gibi elektromanyetik spektrumun hemen hemen her dalga boyunda ışınımında bulunmaktadır.

2.7 İYONOSFERİN GNSS SİNYALLERİNE OLAN ETKİLERİ

İyonosfer, güneşin yaydığı ultraviyole ve X ışınlarını emerek dünyadaki canlıları bunların zararlı etkilerinden koruduğu gibi elektromanyetik dalgaları yansıtarak HF iletişiminin yapılabilmesini de sağlar.

Yeryüzündeki GNSS alıcılarına iyonosferi geçerek ulaşan GNSS sinyalleri, iyonosferin zaman içerisindeki değişimini incelemek için kullanılabilir. Radyo dalgasının izlediği yolun üzerindeki bir metre kare alanda bulunan serbest elektronların sayısı olarak tanımlanan TEC, iyonosfer ve üst atmosferin yapısının inceleyebilmek için kullanılan önemli değişkenlerden birisidir. TEC değerleri ile iyonosferdeki kısa ve uzun vadeli değişimleri, iyonosferik düzensizlikler ve bozan etkenleri birlikte incelemek mümkündür (Erol ve Arıkan 2005, Başpınar 2012).

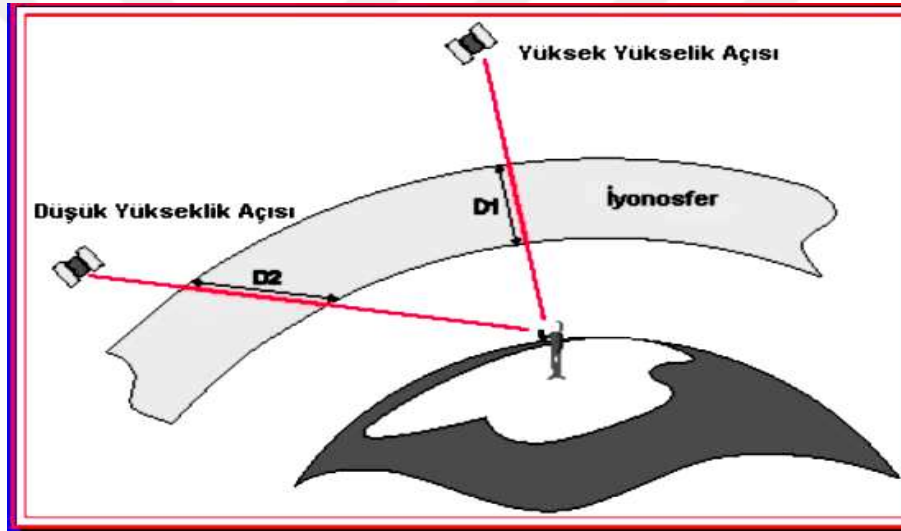
İyonosfer etkisi, GNSS sinyallerinin elektromanyetik dalgalarının iyonosferden alıcıya geçişinin bir sonucudur. Bu etki, sinyallerin f frekans karesiyle ters orantılıdır. İyonosferi oluşturan serbest elektronlar ve pozitif yüklü iyonlar, sinyal yayılımını ve ortamın elektrik özelliklerini etkiler. İyonosferin yapısı ve etkilerinin araştırılması GNSS ölçüleri ile koordinat çözümlerinin doğruluğu bakımından önemlidir. GNSS hesaplarında tamsayı belirsizliğini kısa süreli ölçüyle çözmek oldukça güçtür. Bazı uzunluğu arttıkça ölçü süresinin de uzun olmasına ihtiyaç vardır. İyonosfere odaklanan çalışmalar, iyonosferdeki düzensiz etkileri belirlemeye yöneliktir. Bunun nedeni ise, iyonosferdeki düzensiz etkilerin, tam sayı belirsizliği çözümü ve koordinat bileşenlerini doğrudan etkilemesidir (Mısra ve Enge 2006).

GNSS ölçme işlemleri açısından iyonosfer tabakası önemli hatalara neden olur. İki nokta arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte iyonosferik etki tamsayı belirsizliği çözümünü güçleştirmektedir. Sanal referans istasyonu kavramı içinde de iyonosferik etki oldukça önemlidir. Bu etkinin doğru bir biçimde belirlenmesi gerekmektedir.

İyonosfer tabakasının durumu, günlük olarak güneşin durumuna göre değişim göstermektedir. Sinyalin bu tabakadan geçerken maruz kalacağı etki o andaki serbest iyonlara ve geçiş açısına bağlıdır. Bu nedenle modellenmesi çok zordur. İyonosferin etkisinin diğer bir özelliği ise ayrıştırıcı (dispersive) olmasıdır. Başka bir ifade ile farklı frekanstaki taşıyıcı dalgalara farklı miktarda tepki vermesidir.

Serbest elektron miktarı ise mikro dalga sinyalin bu tabakadaki yayılımını etkileyen en önemli değişkendir. Bu değişken, Toplam Elektron Miktarı (TEC - Total Electron Content) olarak adlandırılır. Serbest elektron miktarının maksimum olduğu durumlarda sinyal kesiklikleri, hatta uydu izlemenin zorlaşması gibi durumlarla karşılaşılabilir.

Buna bağlı olarak en büyük etki sinyalin hızında olur. Taşıyıcı dalga (L1, L2) için hızlanma söz konusu iken kod için (C/A, P) yavaşlama meydana gelir. Bu etki uydunun yükseklik açısı ile ters orantılı olduğu gibi düşük frekanslı elektro manyetik sinyaller yüksek frekanslı elektro manyetik dalgalara oranla bu ortamdan daha fazla etkilenirler (Şekil 2.6). Bu nedenle L1 sinyali, L2 sinyaline göre iyonosferik etkiden daha az etkilenme eğilimindedir (L1:1575,42 MHz, L2: 1227,60 MHz).



Şekil 2.6 Yükseklik açısına göre sinyal yolu

2.8 İYONOSFERİK GECİKME HATASININ KARAKTERİSTİĞİ

2.8.1 İyonosferin Kırıcılığı

Kırıcılık indisi, atmosferi radyo sinyalleri açısından karakterize etmek için en önemli parametrelerin başında gelmektedir. Radyo sinyallerinin iyonosferdeki hareketi sırasında bu ortamdaki en büyük etkilerden biride ortamın kırıcılık indisidir ve mutlaka tanımlanmalıdır. Appleton ve Hartree'nin çalışmaları neticesinde iyonosfere ait faz kırıcılık indisi n_p aşağıdaki gibi tanımlanmıştır; (Rush et al. 1989).

$$n_p^2 = 1 - \frac{X}{1 - iZ - \frac{Y_T^2}{2(1-X-iZ)} \pm \left[\frac{Y_T^4}{4(1-X-iZ)^2} + Y_L^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (2.1)$$

Burada :

$$X = N e^2 / \varepsilon_0 m \omega^2 = f_N^2 / f^2$$

$$Y_L = eB \cos \theta / m \omega = f_H \cos \theta / f$$

$$Y_T = eB \sin \theta / m \omega = f_H \sin \theta / f$$

$$Z = f_v / f$$

$$\omega = 2\pi f$$

N_e : Elektron yoğunluğu (el/m³);

f_N : Elektron plazma frekansı (20 Mhz);

f : Elektro manyetik sinyal frekansı;

e : Elektron doygunluğu -1.602*10⁻¹⁹ coulomb;

ε_0 : Serbest hacim doygunluğu, 8.854*10⁻¹² farads/m;

B : Dünyanın değişken yoğunluklu manyetik alanı (T);

m : Bir elektronun kütlesi, 9.107*10⁻³¹kg;

θ : Dalga normali ile manyetik alan doğrultusu arasında kalan açı;

f_v : Elektronlar ve ağır parçacıklar arasındaki elektro-nötral çarpışma frekansı: (10⁴ Hz)

f_H : Elektro gyrofrekans. 1.5 Mhz

GNSS'te kullanılan frekanslar için dünyanın manyetik alanını içeren terimlerin bir kısmı ve elektron çarpışmaları ihmal edildiğinde kırılma indisi;

$$n = 1 - \frac{X}{2(1 \pm Y_L)} \quad (2.2)$$

olur (Teunissen and Kleusberg 1998). Dünyanın manyetik alanının boylamsal etkileri yok sayılıp gerekli düzeltmeler yapılırsa faz ölçüleri (f frekansındaki) için kırılma indisi,

$$n_p = 1 - \frac{40.28}{f^2} N \quad (2.3)$$

elde edilir. Aynı işlemler kod ölçüleri için yapılırsa

$$n_g = 1 + \frac{40.28}{f^2} N \quad (2.4)$$

eşitliği elde edilir. İyonosferin kırılma indisi bilindiğinde iyonosferden kaynaklanan grup gecikmesi, faz ilerlemesi, Doppler kayması gibi etkiler hesaplanabilir.

$$\Delta r = \int (n_g - 1) dl \quad (2.5)$$

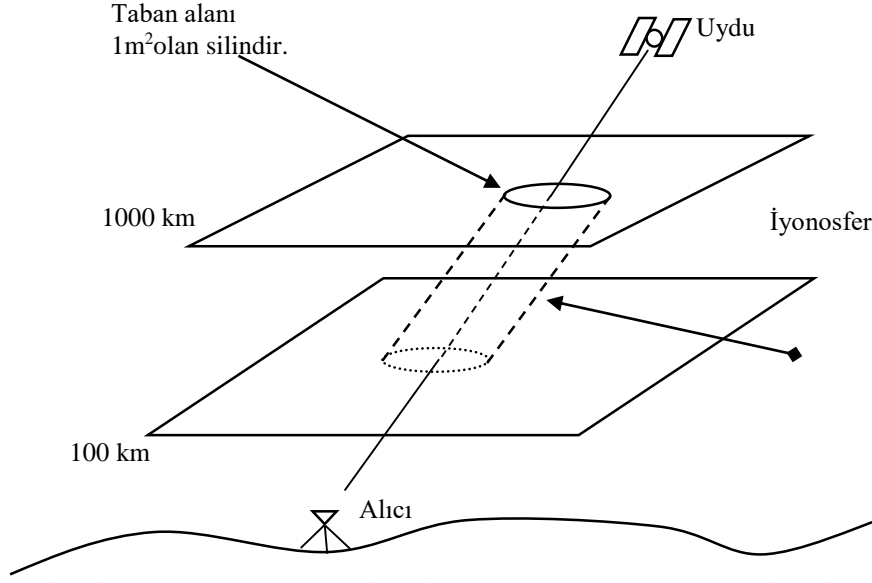
l sinyalinin iyonosferde aldığı yolu göstermek üzere, eşitlik (2.5) denklemi ile iyonosferden kaynaklanan grup gecikmesi ifade edilebilir. Eşitlik (2.4) ve eşitlik (2.5) kullanılarak faz ilerlemesi eşitlik (2.6)'daki gibi ifade edilebilir.

$$\Delta r = \frac{A}{f^2} \int N dl \quad (2.6)$$

Benzer şekilde faz ilerlemesi eşitlik (2.7)'de görüldüğü gibi yazılabilir.

$$\Delta \phi = \frac{1}{\lambda} \int (N - 1) dl = -\frac{A}{cf} \int N dl \quad (2.7)$$

Eşitlik (2.7)'deki $\int N dl$ ifadesi Toplam Elektron Miktarı (TEC) olarak isimlendirilmektedir. TEC hesaplamak iyonosferin yapısını incelemek için doğrudan kullanılan bir yöntemdir. TEC, TECU birimi ile gösterilmekte ve $1 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ el} / \text{m}^2$ dir (Schaer 1999). TEC iki şekilde ifade edilir. Alıcı ile uydu arasındaki eğik hat boyunca hesaplanan toplam serbest elektron miktarı STEC (Slant Total Electron Content) olarak tanımlanırken, alıcının yerel zeniti doğrultusunda hesaplanan toplam serbest elektron miktarı ise VTEC (Vertical Total Electron Content) olarak tanımlanır (Langley et al. 1996, Langley 2002).



Şekil 2.7 Toplam Elektron Miktarının grafiksel gösterimi

2.8.2 İyonosferik Gecikme Hatası

Uydu Sinyalinin iyonosferdeki hızı $\Rightarrow v = c / n$ olursa;

Bu durumda taşıyıcı dalga için yansıtma katsayısı 1 den küçük olacağından faz hızı artacak, fakat taşıyıcı dalga üzerine bindirilmiş kodun hızı ise düşecektir. Bu nedenle koddaki hata iyonosferik grup gecikmesi, faz sinyalindeki hata ise iyonosferik faz gecikmesi olarak adlandırılır. Buna göre; d_{ion} iyonosferik grup gecikmesi ve Φ_{ion} iyonosferik faz gecikmesi olarak kabul edilirse;

$$d_{ion} = 40.28 * TEC / f^2 \quad \text{ve} \quad \Phi_{ion} = - 40.28 * TEC / (c * f) \quad \text{olur.} \quad (2.8)$$

buradan hareketle d_{ion} ve Φ_{ion} arasında ;

$$d_{ion} = - \Phi_{ion} * c / f \approx (40.28 * STEC) / f^2 \approx (40.28 * VTEC) / (\text{cosec}\theta * f^2) \dots \quad (2.9)$$

bağıntısı vardır.

d_{ion} : İyonosferik grup gecikmesi (m)

Φ_{ion} : İyonosferik faz gecikmesi (devir)

c : EMR'nun vakumdaki hızı (m/sn)

cosecç : Uydu zenit açısının kosekanti

f : Sinyal frekansı (Hz)

STEC : Uydu yönündeki toplam elektron yoğunluğu (el/m2)

VTEC : Düşey yöndeki toplam elektron yoğunluğu (el/m2)

Toplam elektron yoğunluğunu dolayısıyla STEC ve VTEC`i etkileyen bazı faktörler vardır. Bunlar ise bulunulan yerin enlemi, gün içindeki zaman, mevsim ve güneş aktivitelerinin yoğunluğu olarak sıralanabilir. Bu nedenle iyonosferik etki konumsal ve zamansal değişkenlere bağlı olarak değişim gösterir.

Konumsal etkilerin sıklığı genelde düşüktür. İyonosferik yükseklik bölgelerine bağlı olarak tropikal, orta ve kutupsal enlemlere göre değişir. Bu nedenle TEC ekvator ve kutuplarda maksimum olurken orta enlemlerde minimumdur.

Zamansal etkiler ise yüksek sıklıklı gün içindeki değişimler, orta sıklıklı mevsim veya dönemsel değişimler ve düşük sıklıklı güneş aktivitelerine bağlı değişiklikler şeklinde sıralanabilirler. Bu nedenlerle gece TEC değeri gündüze nazaran 5 – 10 kez daha düşüktür. Günlük periyotta en yüksek olduğu dönem öğle vaktinden iki saat sonra ve en düşük olduğu dönem ise güneş batmadan hemen öncesidir.

İyonosferik aktivitelerin yüksek olduğu zamanlarda bu etki alıcının uydu sinyalini alamaması ve sinyal devir kaybının oluşması ve tamsayı faz bilinmeyenlerinin çözümünün zorlaşması şeklinde ortaya çıkar.

TEC $10^{16} - 10^{19}$ el/m2 değerleri arasında değişmektedir. Buna göre iyonosferden kaynaklanan düşey yöndeki uzunluk hatası L1 gözlemleri üzerinde 30 m, L2 gözlemleri üzerinde ise 50 m civarında oluşmaktadır. Yani L1 sinyali iyonosferik hatadan daha az etkilenmektedir (Aysezen, 2008).

GNSS`teki bağıl konum belirleme tekniğiyle konum belirlendiğinde iyonosferden dolayı oluşacak hata:

$$\Delta L/L \approx -0.7 * 10^{-17} VTEC \quad (2.10)$$

Burada L baz uzunluğu, ΔL hata miktarıdır. Bu hata L1 için 0.4 ppm den 3 ppm'e kadar değişmektedir.

İyonosferik hatanın en önemli karakteristiği frekans bağımlı olmasıdır. GNSS sinyallerinin frekansları arasında yaklaşık 350 MHz'lik bir fark bulunması ile L1 ve L2 taşıyıcı fazlarının birleştirilmesi bu hatayı modelleyerek ortadan kaldırmaya imkan tanımaktadır. İyonosfer hatasız gözlemlerde bu sefer de tesadüfi ölçü hataları artmaktadır. İyonosfer hatasız gözlemler oluşturabilmek için iki frekanslı alıcılara ihtiyaç duyulacaktır. Güneş aktivitesinin yüksek olduğu ve tek frekanslı alıcıların kullanıldığı durumlarda alıcılar arası mesafenin mümkün olduğu kadar kısa tutulması gerekmektedir.

Uzun bazların (>100 Km) ölçüsünde mutlaka çift frekanslı alıcılar tercih edilmelidir. GNSS ölçüleri ile iyonosferden bağımsız lineer kombinasyon (L3) tanımlanmış olup iyonosferik etki,

$$\Phi^s_R(L3) = k_1 \cdot \Phi^s_R(L1) + k_2 \cdot \Phi^s_R(L2) \quad (2.11)$$

$$k_1 = 2.545728, k_2 = 1.545728$$

Aynı eşitlik kod ölçüleri için yazılacak olursa;

$$\rho^s_R(L3) = k_1 \cdot \rho^s_R(L1) - k_2 \cdot \rho^s_R(L2) \quad (2.12)$$

olacaktır. Burada iki formül arasındaki tek fark k_1 li ve k_2 li ifadelerde araya gelen (+) ve (-) işaretleridir. Bunun sebebi iyonosferik etkinin faz gözlemlerinde hızlanmaya kod gözlemlerinde ise yavaşlamaya neden olmasıdır.

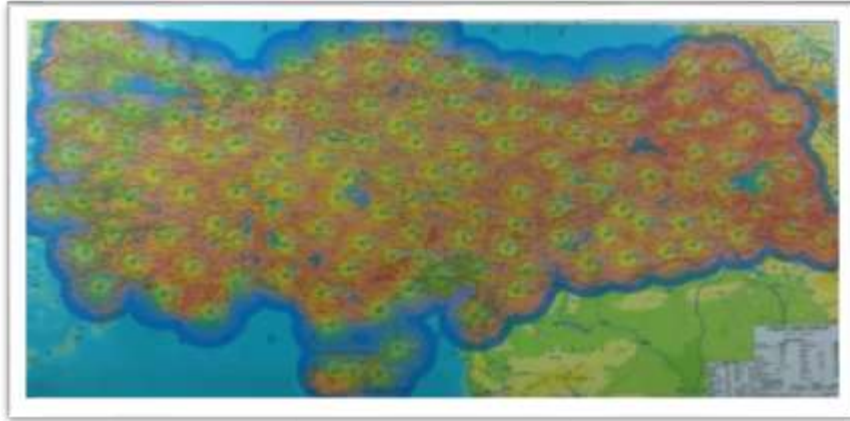
BÖLÜM 3

TUSAGA-AKTİF SİSTEMİ

Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı Aktif (TUSAGA-Aktif) yapı olarak adlandırılan sistem, 365 gün 24 saat esasiyle ölçü yapan referans istasyonlarından oluşmaktadır. Uluslararası platformda CORS (Continuously Operating Reference Stations) olarak literatürde yerini almış bu sistem, birçok ülke tarafından yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İlk olarak CORS-TR olarak adlandırılan sistem, isminin Türkçeleştirilmesi amacıyla TUSAGA-Aktif adını almıştır.

TUSAGA-Aktif projesi, Harita Genel Komutanlığı (HGK) ile Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM)'nin ortak müşteriliğinde İstanbul Kültür Üniversitesi (İKÜ) yürütücülüğünde gerçekleştirilmiş bir Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Kamu AR-GE projesidir. Projenin başlangıç tarihi 08 Mayıs 2006 olup, söz konusu proje 01 Temmuz 2011 tarihi itibarı ile TÜBİTAK Başkanlığı tarafından kabul edilmiştir.

TUSAGA-Aktif projesinin temel amacı, coğrafi bilgilerin en önemli parçası olan koordinatların ülke genelinde hızlı, ekonomik ve duyarlı olarak belirlenmesini sağlayacak bir sistemin kazandırılmasıdır. Bu ulusal proje kapsama alanı içerisinde karada, denizde ve havada kullanılabilir.



Şekil 3.1 TUSAGA-AKTİF Sisteminin kapsama alanını gösteren görsel.

TUSAGA-Aktif Sistemi; 4 adet istasyonu Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyetinde olmak üzere toplam 146 adet sabit GNSS istasyonundan (Çizelge 3.1) ve bir tanesi TKGM’de (ana) ve diğeri HGK’da (yardımcı) olan iki adet Kontrol Merkezinden oluşmaktadır. İstasyonlar arası ortalama uzaklık 80 km, maksimum uzaklık 100 km olacak şekilde Türkiye genelinde homojen dağılımı gerçekleştirilmiştir. Bu sistem sayesinde kullanıcılar gerçek zamanda santimetre mertebesinde konum hassasiyeti ile buldukları yerin koordinat değerini elde edebildikleri gibi büroda hesaplamalarla (post processing) koordinat elde etme amaçlı kullanıma da hizmet etmektedir.

Çizelge 3.1 TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Yerleri ve ITRF 96 2005.0 Sistemindeki Koordinatları

Sıra No	İstasyonun Adı	İstasyon Kısa Adı	Coğrafi Koordinatlar			Hızlar		
			ϕ (°) Enlem	λ (°) Boylam	h (m) Yükseklik	Vx (m/y)	Vy (m/y)	Vz (m/y)
1	ADANA	ADN1	37,0042	35,3437	60,800	-0,0102	0,0092	0,0029
2	ADİYAMAN	ADİY	37,7459	38,2297	711,097	-0,0238	0,0047	0,0156
3	AFYON	AFYN	38,7384	30,5610	1072,276	-0,0069	0,0004	0,0039
4	AĞRI	AGRD	39,7176	43,0329	1672,585	-0,0235	0,0151	0,0093
5	AKDAĞMADENİ	AKDG	39,6602	35,8716	1404,816	-0,0126	-0,0015	0,0115
6	AKŞEHİR	AKHR	38,3693	31,4297	1046,398	-0,0081	-0,0006	0,0009
7	AKSEKİ	AKSI	37,0477	31,7875	1193,436	-0,0130	0,0071	0,0030
8	AKSARAY	AKSR	38,3704	33,9981	1005,790	-0,0140	-0,0009	0,0079
9	AMASYA	AMA1	40,6569	35,8095	458,538	-0,0162	0,0021	0,0114
10	ANAMUR	ANMU	36,0690	32,8651	39,645	-0,0152	0,0088	0,0079
11	ANKARA	ANRK	39,8560	32,8462	1231,278	-0,0077	-0,0010	0,0077
12	GAZİANTEP	ANTE	37,0650	37,3736	886,883	-0,0235	0,0059	0,0160
13	ANTALYA	ANTL	36,8884	30,6664	88,753	-0,0098	0,0085	0,0030
14	ARDAHAN	ARDH	41,1113	42,6991	1834,069	-0,0240	0,0149	0,0074
15	ARAPKİR	ARPK	39,0406	38,4873	1243,504	-0,0177	-0,0007	0,0129
16	ARTVİN	ARTV	41,1751	41,8183	662,392	-0,0290	0,0167	0,0083
17	AYDIN	AYD1	37,8407	27,8379	101,829	-0,0004	0,0041	-0,0059
18	AYVALIK	AYVL	39,3114	26,6862	54,2555	-0,0026	0,0037	-0,0014
19	BALIKESİR	BALK	39,6394	27,8936	202,492	-0,0051	0,0012	0,0034
20	BANDIRMA	BAN1	40,3487	27,9749	98,172	-0,0042	0,0040	0,0055
21	BAŞKALE	BASK	38,0434	44,0173	2312,241	-0,0256	0,0050	0,0203
22	BAYBURT	BAYB	40,2502	40,1914	1709,049	-0,0223	0,0148	0,0082
23	BEYŞEHİR	BEYS	37,6773	31,7466	1187,460	-0,0095	0,0043	0,0046
24	BİLECİK	BILE	40,1415	29,9774	584,326	-0,0061	-0,0011	0,0045

Çizelge 3.1 (devam ediyor)

Sıra No	İstasyonun Adı	İstasyon Kısa Adı	Coğrafi Koordinatlar			Hızlar		
			ϕ (°) Enlem	λ (°) Boylam	h (m) Yükseklik	Vx (m/y)	Vy (m/y)	Vz (m/y)
25	BİNGÖL	BING	38,8855	40,5008	1183,529	-0,0202	0,0034	0,0155
26	BOĞAZLIYAN	BOG1	39,1933	35,2471	1118,218	-0,0168	-0,0021	0,0076
27	BOLU	BOLU	40,7335	31,6020	789,242	-0,0120	0,0069	0,0089
28	BOYABAT	BOYT	41,4610	34,7967	404,684	-0,0199	0,0142	0,0064
29	BATMAN	BTMN	37,8636	41,1545	650,787	-0,0237	0,0055	0,0188
30	BURSA	BURS	40,2143	29,0152	183,285	-0,0063	-0,0004	0,0044
31	ÇANAKKALE	CANA	40,1112	26,4143	141,229	-0,0053	0,0052	0,0012
32	ÇANKIRI	CANK	40,6086	33,6104	794,942	-0,0100	0,0006	0,0080
33	ÇATAK	CATK	38,0073	43,0607	1527,915	-0,0277	0,0055	0,0201
34	ÇAVDIR	CAV1	37,1593	29,6885	1109,994	-0,0040	0,0073	0,0028
35	ÇEŞME	CESM	38,3038	26,3726	52,454	0,0022	0,0067	-0,0096
36	ÇİHANBEYLİ	CIHA	38,6504	32,9224	1012,713	-0,0104	0,0004	0,0070
37	ÇAMLIDERE	CMLD	40,4910	32,4745	1274,159	-0,0068	0,0005	0,0058
38	ÇORUM	CORU	40,5704	34,9822	922,097	-0,0124	0,0015	0,0097
39	DATÇA	DATC	36,7086	27,6918	59,176	-0,0006	0,0118	-0,0163
40	DEMİRCİ	DEIR	39,0349	28,6484	890,913	-0,0033	0,0002	0,0020
41	DENİZLİ	DNZ1	37,7788	29,0437	537,947	0,0011	0,0051	0,0012
42	DİDİM	DIDI	37,3721	27,2687	79,268	0,0029	0,0077	-0,0124
43	DİNAR	DINA	38,0695	30,1663	917,908	-0,0063	0,0020	0,0021
44	DİPKARPAZ	DIPK	35,5369	34,1947	155,278	-0,0166	0,0096	0,0110
45	DİVRİĞİ	DIV1	39,3719	38,1194	1072,883	-0,0164	-0,0002	0,0134
46	DİYARBAKIR	DYB1	37,9544	40,1875	773,676	-0,0227	0,0051	0,0183
47	EDİRNE	EDIR	41,6767	26,5510	98,198	-0,0210	0,0160	0,0071
48	EKİNOZÜ	EKIZ	38,0588	37,1879	1325,042	-0,0178	0,0017	0,0125
49	ELAZIĞ	ELAZ	38,6447	39,2565	1027,409	-0,0174	-0,0012	0,0132
50	EMİRDAĞ	EMR1	39,0203	31,1501	1012,631	-0,0064	0,0000	0,0052
51	ERGANİ	ERGN	38,2696	39,7582	987,818	-0,0231	0,0042	0,0181
52	ERZİNCAN	ERZ2	39,7079	39,6970	1437,604	-0,0174	0,0051	0,0101
53	ERZURUM	ERZR	39,9056	41,2555	1915,009	-0,0228	0,0148	0,0092
54	ESKİŞEHİR	ESKS	39,7457	30,4636	850,752	-0,0058	-0,0010	0,0046
55	FATSA	FASA	41,0455	37,4847	40,977	-0,0214	0,0139	0,0077
56	FEKE	FEEK	37,8151	35,9123	600,296	-0,0165	0,0028	0,0118
57	FETHİYE	FETH	36,6262	29,1238	37,327	-0,0046	0,0094	-0,0061

Çizelge 3.1 (devam ediyor)

Sıra No	İstasyonun Adı	İstasyon Kısa Adı	Coğrafi Koordinatlar			Hızlar		
			ϕ (°) Enlem	λ (°) Boylam	h (m) Yükseklik	V _x (m/y)	V _y (m/y)	V _z (m/y)
58	FİNİKE	FINI	36,3022	30,1464	36,357	-0,0111	0,0115	0,0027
59	GEMEREK	GEME	39,1851	36,0808	1214,795	-0,0126	-0,0016	0,0112
60	GİRESUN	GIRS	40,9226	38,3882	81,277	-0,0227	0,0139	0,0074
61	GÜMÜŞHANE	GUMU	40,4371	39,5162	1248,533	-0,0215	0,0151	0,0083
62	GÜRÜN	GURU	38,7174	37,3079	1357,440	-0,0166	0,0007	0,0125
63	GÜZELYURT	GYUR	35,2012	32,9895	78,982	-0,0187	0,0110	0,0070
64	HAKKARİ	HAK1	37,5762	43,7340	1773,310	-0,0223	0,0141	0,0043
65	HALKAPINAR	HALP	37,4451	34,1834	1252,501	-0,0146	0,0044	0,0106
66	HARMANCIK	HARC	39,6777	29,1528	712,528	-0,0062	-0,0010	0,0042
67	HATAY	HAT1	36,2000	36,1558	132,324	-0,0212	0,0079	0,0154
68	HENDEK	HEND	40,7950	30,7407	208,534	-0,0168	0,0126	0,0055
69	HINIS	HINI	39,3688	41,6958	1742,623	-0,0257	0,0118	0,0100
70	HORASAN	HORS	40,0416	42,1673	1592,327	-0,0251	0,0151	0,0099
71	HAYMANA	HYMN	39,4347	32,4957	1261,539	-0,0082	-0,0004	0,0055
72	IĞDIR	IGR1	39,9264	44,0537	881,002	-0,0268	0,0157	0,0098
73	İNEBOLU	INE2	41,9770	33,7678	48,041	-0,0221	0,0138	0,0094
74	İPSALA	IPS1	40,9215	26,3855	66,495	-0,0163	0,0174	0,0070
75	ISPARTA	ISPT	37,7851	30,5670	1032,131	-0,0066	0,0024	0,0016
76	İSTANBUL	ISTN	40,9910	28,8316	77,052	-0,0185	0,0166	0,0069
77	İZMİR	IZMI	38,3948	27,0818	74,936	0,0009	0,0030	-0,0053
78	İZMİT	IZMT	40,8020	29,9509	326,074	-0,0159	0,0139	0,0062
79	KARAMAN	KAMN	37,1932	33,2203	1057,007	-0,0236	-0,0006	0,0019
80	KARAPINAR	KAP1	37,7144	33,5283	1034,491	-0,0200	-0,0003	0,0068
81	KARABURUN	KARB	41,3471	28,6828	93,587	-0,0182	0,0181	0,0066
82	KAYSERİ	KAYS	38,7084	35,5245	1138,776	-0,0154	0,0002	0,0101
83	KIRKAĞAÇ	KIKA	39,1060	27,6722	241,209	-0,0022	0,0018	0,0001
84	KIRKLARELİ	KIRL	41,7381	27,2179	280,611	-0,0184	0,0182	0,0066
85	KİRŞEHİR	KIRS	39,1646	34,1555	1063,640	-0,0108	-0,0006	0,0087
86	KIRIKKALE	KKAL	39,8433	33,5179	794,568	-0,0093	-0,0004	0,0078
87	KİLİS	KLIS	36,7086	37,1122	681,926	-0,0226	0,0050	0,0175
88	KULU	KLUU	39,0791	33,0654	1052,315	-0,0094	0,0013	0,0085
89	KONYA	KNY1	37,8594	32,4764	1085,344	-0,0554	-0,0367	-0,0249
90	KARABÜK	KRBK	41,2316	32,6759	435,543	-0,0194	0,0150	0,0076

Çizelge 3.1 (devam ediyor)

Sıra No	İstasyonun Adı	İstasyon Kısa Adı	Coğrafi Koordinatlar			Hızlar		
			ϕ (°) Enlem	λ (°) Boylam	h (m) Yükseklik	Vx (m/y)	Vy (m/y)	Vz (m/y)
91	KARS	KRS1	40,5885	43,0934	1811,739	-0,0240	0,0160	0,0103
92	KASTAMONU	KSTM	41,3712	33,7755	835,396	-0,0208	0,0136	0,0074
93	KURUCAŞİLE	KURU	41,8461	32,7177	74,411	-0,0208	0,0156	0,0073
94	KÜTAHYA	KUTA	39,4809	29,8989	1076,360	-0,0057	-0,0004	0,0045
95	LODUMLU	LDML	39,8872	32,7586	976,497	-0,0065	-0,0009	0,0070
96	LEFKOŞE	LEFK	35,1950	33,3529	180,504	-0,0179	0,0111	0,0102
97	MALATYA	MALY	38,3377	38,2169	985,900	-0,0187	0,0004	0,0135
98	K.MARAŞ	MAR1	37,5934	36,8615	734,375	-0,0187	0,0047	0,0143
99	MARDİN	MARD	37,3105	40,7283	1064,137	-0,0227	0,0070	0,0193
100	GAZİMAĞUSA	MGOS	35,1458	33,9074	49,778	-0,0188	0,0106	0,0114
101	MİDYAT	MIDY	37,4174	41,3574	977,711	-0,0230	0,0068	0,0195
102	MALAZGİRT	MLZ1	39,1459	42,5406	1571,730	-0,0292	0,0136	0,0103
103	MERSİN	MRSI	36,7810	34,6026	40,496	-0,0158	0,0056	0,0101
104	MUĞLA	MUG1	37,2143	28,3557	693,286	0,0007	0,0075	-0,0068
105	MURADIYE	MUR1	38,9919	43,7626	1734,036	-0,0245	0,0183	0,0116
106	MUŞ	MUUS	38,7932	41,5022	1287,684	-0,0224	-0,0016	0,0133
107	NALLIHAN	NAHA	40,1733	31,3321	705,515	-0,0055	-0,0009	0,0062
108	NEVŞEHİR	NEV1	38,6315	34,7108	1234,523	-0,0128	0,0008	0,0106
109	NİĞDE	NIGD	37,9588	34,6794	1252,326	-0,0137	0,0028	0,0110
110	OSMANİYE	ONİY	37,1022	36,2539	127,192	-0,0181	0,0041	0,0123
111	ÖZALP	OZAL	38,6573	43,9887	2037,251	-0,0296	0,0058	0,0177
112	POZANTI	POZA	37,4221	34,8717	826,401	-0,0145	0,0048	0,0114
113	REŞADİYE	RDIY	40,3852	37,3357	539,816	-0,0173	0,0052	0,0108
114	REFAHİYE	RHIY	39,9061	38,7708	1626,857	-0,0165	0,0029	0,0109
115	RİZE	RZE1	41,0369	40,4931	70,699	-0,0260	0,0100	0,0031
116	SALİHLİ	SALH	38,4831	28,1235	156,168	-0,0050	-0,0027	-0,0042
117	SAMSUN	SAM1	41,3085	36,3338	53,370	-0,0208	0,0144	0,0081
118	SARIVELİLER	SARV	36,6967	32,6173	1569,957	-0,0145	0,0066	0,0118
119	SARAYÖNÜ	SARY	41,4430	27,9164	198,870	-0,0184	0,0176	0,0063
120	ŞEMDİNLİ	SEMD	37,3051	44,5739	1422,937	-0,0263	0,0042	0,0186
121	SİVRİHİSAR	SIH1	39,4465	31,5363	1127,284	-0,0060	-0,0006	0,0054
122	SİLİFKE	SILF	36,3819	33,9364	52,754	-0,0158	0,0080	0,0091
123	SİNOP	SINP	42,0302	35,1539	54,576	-0,0226	0,0141	0,0057

Çizelge 3.1 (devam ediyor)

Sıra No	İstasyonun Adı	İstasyon Kısa Adı	Coğrafi Koordinatlar			Hızlar		
			ϕ (°) Enlem	λ (°) Boylam	h (m) Yükseklik	V _x (m/y)	V _y (m/y)	V _z (m/y)
124	ŞIRNAK	SIR1	37,5237	42,4555	1441,169	-0,0213	0,0057	0,0139
125	SİİRT	SIRT	37,9319	41,9356	916,612	-0,0259	0,0046	0,0168
126	SİVEREK	SIV1	37,7529	39,3217	826,664	-0,0233	0,0054	0,0169
127	SİVAS	SIVS	39,7437	37,0025	1325,490	-0,0133	-0,0011	0,0124
128	ŞİLE	SLEE	41,1687	29,6007	127,816	-0,0183	0,0180	0,0032
129	SUŞEHRİ	SSEH	40,1625	38,0749	1200,953	-0,0165	0,0039	0,0117
130	SUNGURLU	SUNL	40,1540	34,3689	807,302	-0,0110	-0,0012	0,0085
131	ŞANLIURFA	SURF	37,1918	38,8180	680,765	-0,0222	0,0043	0,0177
132	TEKİRDAĞ	TEKR	40,9583	27,4965	48,788	-0,0167	0,0178	0,0052
133	TUNCELİ	TNCE	39,1097	39,5456	1019,124	-0,0170	0,0003	0,0129
134	TOKAT	TOK1	40,3310	36,5575	662,715	-0,0138	-0,0009	0,0117
135	TRABZON	TRBN	41,0054	39,7115	85,347	-0,0228	0,0146	0,0076
136	TUFANBEYLİ	TUF1	38,2605	36,2084	1504,764	-0,0151	0,0034	0,0125
137	TATVAN	TVA2	38,5148	42,2771	1719,177	-0,0240	0,0044	0,0151
138	UZUNDERE	UDER	40,5313	41,5476	1131,781	-0,0238	0,0149	0,0077
139	UŞAK	USAK	38,6792	29,4052	965,992	-0,0022	0,0019	0,0022
140	VAN	VAN1	38,4693	43,3458	1693,304	-0,0356	-0,0075	0,0192
141	VEZİRKÖPRÜ	VEZI	41,1380	35,4667	372,983	-0,0188	0,0116	0,0090
142	VİRANŞEHİR	VIR2	37,2255	39,7487	599,553	-0,0218	0,0046	0,0185
143	YENİCE	YENC	39,9359	27,2417	333,864	-0,0049	0,0037	0,0004
144	YOZGAT	YOZ1	39,8314	34,8447	1455,681	-0,0105	-0,0029	0,0095
145	YUNAK	YUN1	38,8162	31,7317	1150,415	-0,0072	0,0003	0,0044
146	ZONGULDAK	ZONG	41,4495	31,7782	168,140	-0,0241	0,0143	0,0017

TUSAGA-Aktif Sisteminden, coğrafi bilgi teknolojilerinde çalışanlar ve dolaylı olarak da tüm vatandaşlar yararlanabilmektedir. Sistemin bilimsel ve teknolojik projelere katkıları olmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmektedir:

Sivil Kullanıcılar:

- Jeodezik ölçmeler,
- Harita ölçmeleri ve CBS/KBS,
- Planlama ve çevre,
- Büyük mühendislik yapılarının deformasyon ve deplasmanlarının izlenmesi,

- *Barajların güvenlik bakımından izlenmesi,*
- *Duyarlı navigasyon ve araç izleme,*
- *Karayollarında araçların izlenmesi ve trafiğin düzenlenmesi,*
- *Deniz araçlarının izlenmesi ve deniz trafiğinin düzenlenmesi,*
- *Altyapı ölçmeleri,*
- *Mühendislik ölçmeleri,*
- *e-devlet, e-belediye, e-ticaret uygulamaları,*
- *Afet yönetimi projeleri,*
- *Tüm diğer coğrafi bilgi projeleri.*

Bilimsel Kullanıcılar:

- *Geomatik (Harita) Mühendisliği*
- *Deprem mühendisliği,*
- *Sismoloji,*
- *İyonosfer ve troposferin izlenmesi,*
- *Meteoroloji,*
- *Akıllı ulaşım.*

TUSAGA-Aktif Sisteminin işletilmesi ve düzeltme parametrelerinin hesaplanması TKGM ve HGK'da kurulan kontrol merkezlerinde eş zamanlı olarak yapılmaktadır. Tüm istasyonlardan toplanan veriler Türk Telekom VPN (Virtual Private Network) yolu ile veri merkezine aktarılmakta ve bu merkezlerde düzeltme parametreleri hesaplanarak arazideki kullanıcılara aktarılmaktadır. Gerçek Zamanlı Kinematik düzeltme verileri RTCM3.x ve CMR iletişim formatlarında olup, GPRS ve NTRIP (Network Transport of RTCM Through Internet Protocol) vasıtaları ile gezici alıcılara gönderilmektedir.

TUSAGA-Aktif sistemine ait istasyon yerlerinin seçiminde zemin yapısı, elektrik, telefon, internet ve güvenlik hususları dikkate alınmış ve tüm Türkiye'de gerçekleştirilen arazi keşifleri neticesinde Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Meteoroloji İstasyonları, Üniversiteler, Belediyeler ile Kamu Kurum ve Kuruluşlarına ait bina ve araziler seçilmiştir. Bu kapsamda, istasyonlarda 85 adet 2m, 58 adet 3m ve 3 adet 4m'lik pilyeler ile GNSS alıcılarının,

modemlerin ve diğer aksesuarların muhafaza edildiği klimalı çelik dolaplar yerleştirilmiştir (Mekik vd. 2011a ve b).

3.1 TUSAGA-AKTİF SİSTEMİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

TÜBİTAK'ın 1007 Kod numaralı projeler kapsamında 08 Mayıs 2006 tarihinde başlayan proje ilk önceleri CORS-TR (Continuously Operating Reference Stations-TR) adıyla anılırken, ilerleyen günlerde isminin Türkçeleştirilmesi amacıyla TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağları-Aktif) olarak değiştirilmiştir. TUSAGA-Aktif projesi, Harita Genel Komutanlığı (HGK) ile Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) ortak müşteriliğinde ve İstanbul Kültür Üniversitesi (İKÜ) yürütücülüğünde gerçekleştirilmiş Aralık 2008 tarihi itibarıyla fiili olarak faaliyete geçmiştir. Proje 01 Temmuz 2011 tarihinde son halini alarak TÜBİTAK tarafından onaylanarak tamamlanmıştır.

TUSAGA-Aktif Sistemi HGK ve TKGM arasında 29 Temmuz 2010 tarihinde imzalanan "TUSAGA-Aktif Sisteminin Ortak İşletilmesine İlişkin İşbirliği Protokolü" kapsamınca TKGM tarafından işletilmektedir. 15 Haziran 2011 tarihine kadar test amacıyla ücretsiz olarak işletilen sistem, bu tarihten itibaren Bakanlıklar Arası Harita İşlerini Koordinasyon ve Planlama Kurulunca belirlenen birim fiyatlar üzerinden sistem giderlerinin karşılanması amacıyla ücretli olarak hizmet vermektedir.

TUSAGA-Aktif projesinin temel amacı; coğrafi bilgilerin en önemli parçası olan koordinatların ülke genelinde hızlı, ekonomik ve duyarlı olarak belirlenmesini sağlamak ile ED50 – WGS84 dönüşüm parametrelerinin belirlenmesidir.

TUSAGA-Aktif sistemi sayesinde kullanıcılar, 24 saat boyunca tüm ülke genelinde gerçek zamanda veya sonradan hesaplarla (post-processing) santimetre hassasiyetinde koordinatlarını belirleyebilmektedirler.

TUSAGA-Aktif sayesinde ülke genelinde hızlı, ekonomik ve hassas olarak elde edilen koordinatlar, bilimsel çalışmalar ve araştırmalar için önemli bir veri girdisi sağlamaktadır. TUSAGA-Aktif sistemi ile düzeltme verisi olarak bulunduğunuz yerin koordinatları anlık olarak yatayda 2-3 cm, düşeyde (elipsoit yüksekliği) 7-10 cm hassasiyetle belirlenebilmektedir.

3.1.1. Tusaga-Aktif Sistemi Ve Çalışma İlkeleri

TUSAGA-Aktif sistemi; 4 (dört) tanesi Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyetinde (KKTC) olmak üzere toplam 146 (yüz kırk altı) adet sabit GNSS istasyonu ile bir tanesi HGK'da, bir tanesi de TKGM'de olmak üzere toplam 2 (iki) adet kontrol merkezinden oluşmaktadır (Şekil 3.2).



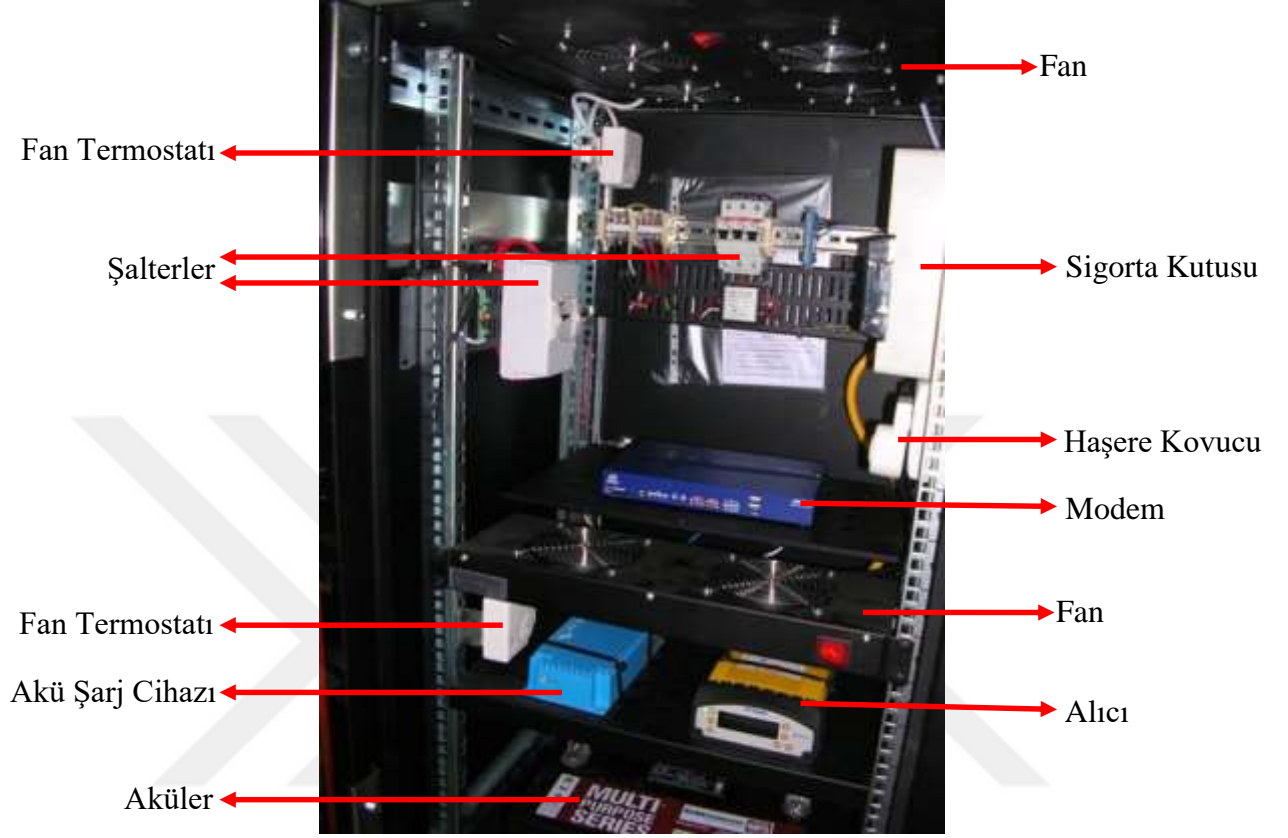
Şekil 3.2 TUSAGA-Aktif Rize istasyonu anteni (a), donanım kabini (b), kontrol merkezi (c)

Proje kapsamında kurulumu gerçekleştirilen sabit istasyonlarda bulunan jeodezik GNSS (GPS + GLONASS) antenler bulunduğu yere göre tercih edilen yer, çatı veya teras tipi pilyelerin üzerine tesis edilmişlerdir (Şekil 3.3).



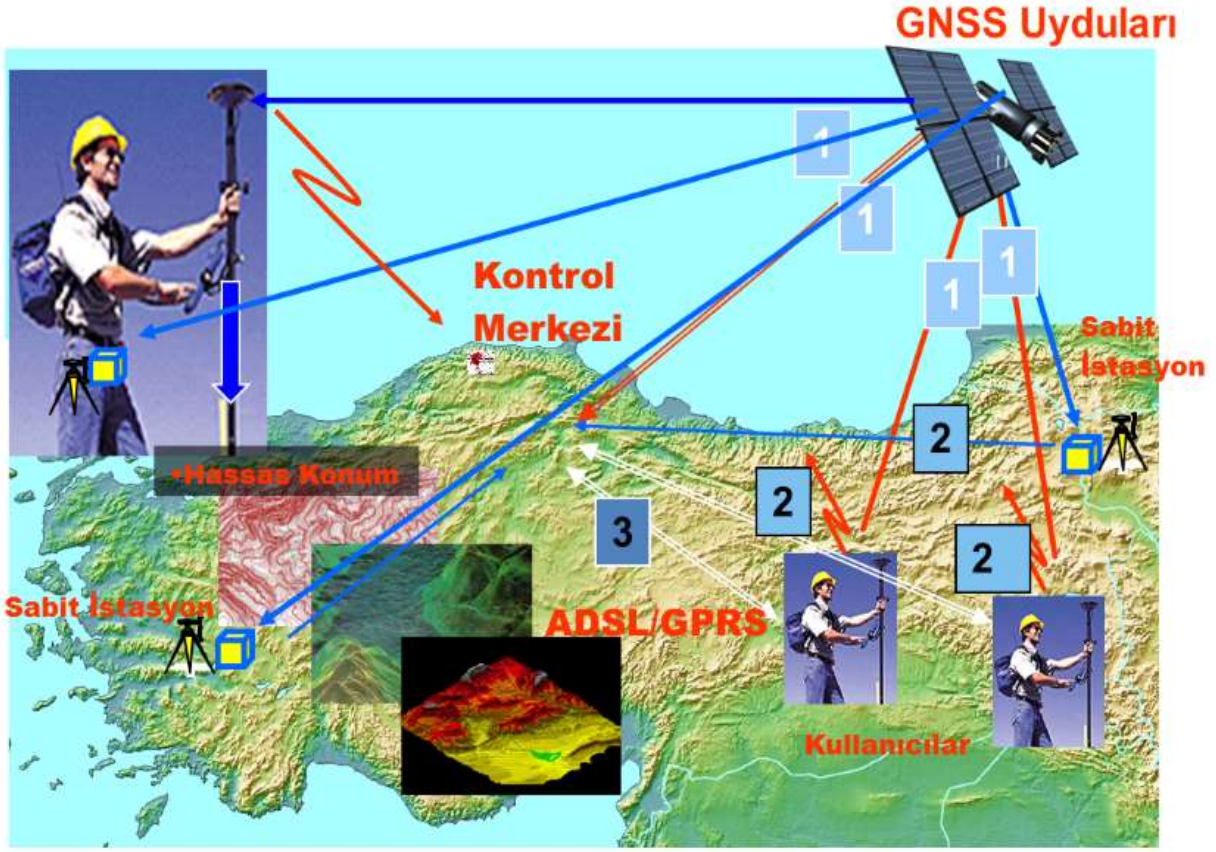
Şekil 3.3 TUSAGA-Aktif istasyon pilye tipleri (çatı, teras ve yer tipi pilye)

Her bir sabit istasyonda antenden hariç alıcı ve diğer donanımları içerisinde barındıran donanım kabini bulunmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 TUSAGA-Aktif Sistemi Donanım Kabini

TUSAGA-Aktif sisteminde; tüm ülkeyi kapsayan, hassas koordinatları bilinen ve kesintisiz olarak ölçü yapan 146 (yüz kırk altı) adet referans istasyonuna ait veriler, kontrol merkezlerine TTVPN aracılığı ile kesintisiz olarak iletilmektedir. Fakat istasyonlar ile kontrol merkezleri arasındaki iletişimin kesintiye uğramaması amacıyla yedek iletişim altyapıları incelenerek gerekli görülmesi halinde sisteme eklenecektir. Kontrol merkezlerinde atmosfer ve diğer hatalar modellenerek RTK/DGPS düzeltmeleri gerçek zamanlı olarak hesaplanıp, GPRS/EDGE üzerinden RTCM formatında gezici alıcılara gönderilmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 TUSAGA-Aktif Sistemi Çalışma Prensibi

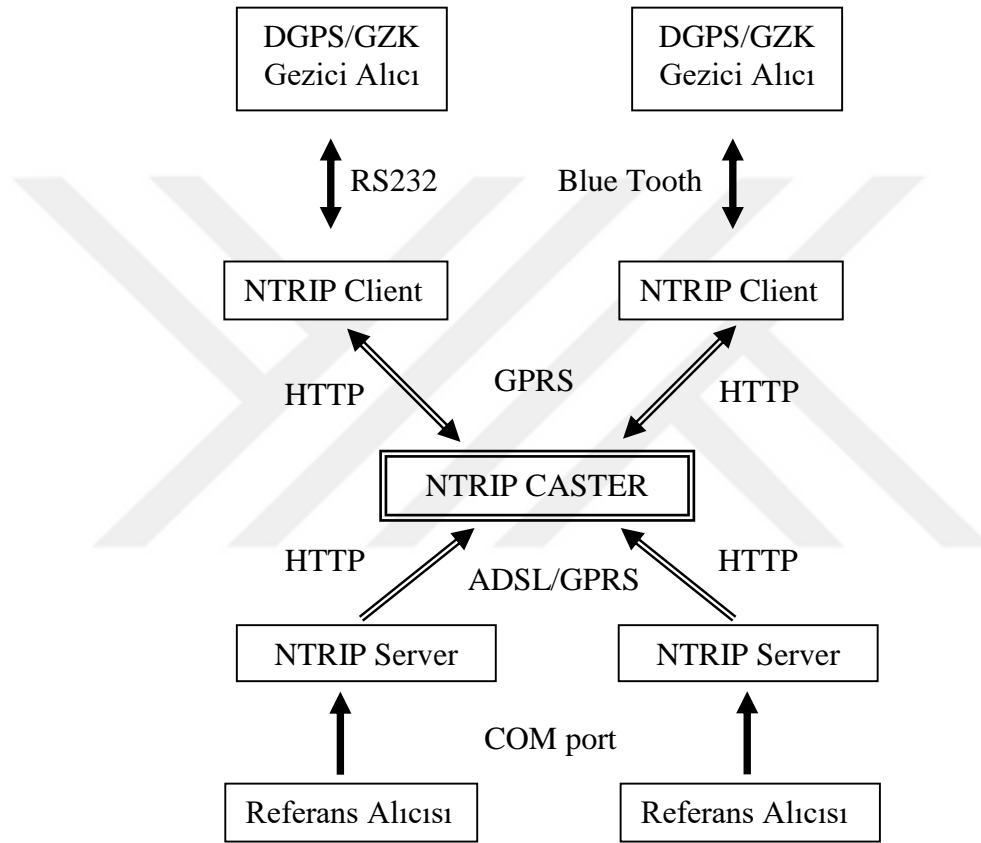
Bu şekilde tek frekanslı bir GNSS alıcısı DGPS verisini kullanarak metre altı doğrulukta, çift frekanslı bir alıcı ise Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK/RTK) verisini kullanarak yatayda 2-3 santimetre, düşeyde 7-10 santimetre doğrulukta konum belirleyebilmektedir.

TUSAGA-Aktif modellemelerinde yaygın olarak üç teknik kullanılmaktadır (Mekik vd. 2011a). Bunlar

- FKP tekniği,
- VRS tekniği,
- MAC tekniğidir.

Yukarıda adı geçen düzeltme teknikleri ile hesaplanan koordinat düzeltmeleri arazideki kullanıcılara NTRIP(Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) formatı kullanılarak iletilir. NTRIP; diferansiyel düzeltme verisi veya diğer tür GNSS verisinin sabit veya gezici kullanıcılara internet üzerinden yayınlanması için Almanya Jeodezi ve Kartografya Kurumu (German Federal Agency for Cartography and Geodesy, BKG) tarafından geliştirmiş internet tabanlı genel ve bağımsız bir protokoldür. Bir GNSS veri formatı olmayıp, verilerin internet üzerinden nasıl yayınlanacağını tanımlayan bir protokoldür.

NTRIP; GSM, GPRS, EDGE veya UMTS gibi mobil IP ağları üzerinden internete kablosuz ulaşımı desteklemede, aynı zamanda RTCM komitesi tarafından da önerilen bir standarttır. NTRIP sistemi üç yazılımın bileşeninden oluşur; NtripClient, NtripServer, NtripCaster. NtripServer GNSS referans istasyonundan veri almakta ve bunu NtripCaster'a iletmektedir. NtripCaster bir telefon santrali gibi davranmakta ve NtripClient'ları istedikleri veri dizilerine bağlamaktadır. Bu türde bir yapı yüzlerce gezici alıcıya aynı anda düzeltme verisi gönderilebilmesi amacıyla geliştirilmiş en yaygın veri aktarım tekniğidir (Şekil 3.6).



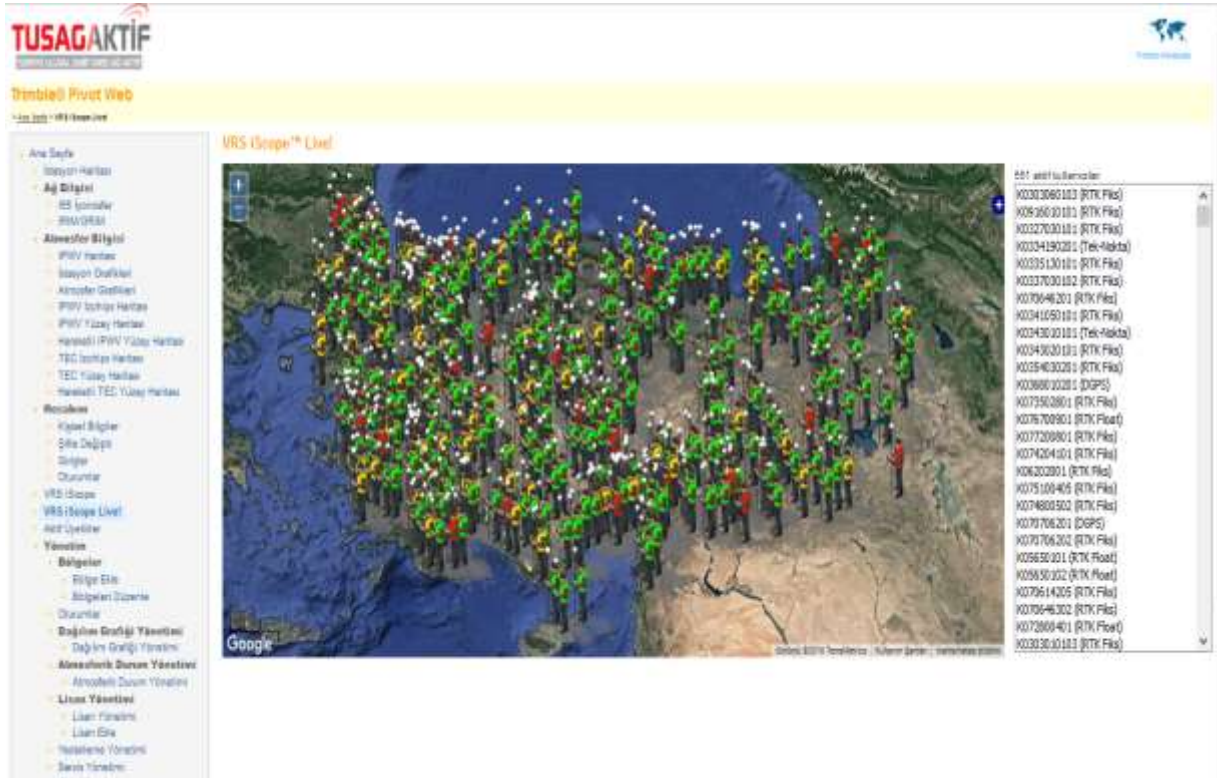
Şekil 3.6 NTRIP Genel Yapısı

NTRIP, http tabanlı çalışır ve veri aktarımında TCP (Transmission Control Protokol) kullanılır. NTRIP protokolünün genel özellikleri aşağıdaki gibidir;

- ❖ "HTTP" veri sağlama standardına uyumludur. Sınırlı sayıda kullanıcı ve sunucu olması durumunda uygulanması oldukça kolaydır.
- ❖ Her türlü GNSS verisinin yayınlanabileceği kapasiteye sahiptir.
- ❖ Toplu kullanımları destekleyebilmektedir.

- ❖ Güvenlik nedenleriyle, servis sağlayıcılar ile kullanıcıların doğrudan teması yoktur. Gönderilen veri blokları genel olarak yerel ağlarda kullanılan güvenlik duvarları (firewall, Proxy server vb.) tarafından engellenmez.
- ❖ TCP/IP kullandığı için herhengi bir hareketli (mobil) IP ağına veri gönderebilir.

Bu protokol GNSS RTK çalışmalarına yönelik verinin yanı sıra, kod, taşıyıcı faz gözlemleri, anten ve çevresel parametreleri de içermektedir. Daha da önemlisi, bu format üzerinde değişikliklere olanak verecek şekilde (GALILEO, GPS L2C, L5 sinyalleri gibi) geliştirilmiştir. Ayrıca sistemden faydalanan aktif kullanıcılar eş zamanlı olarak ekran üzerinden takip edilebilmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 TUSAGA-Aktif Kullanıcı Takip Programı

TUSAGA-Aktif ağına benzer ağlar, birçok gelişmiş ülkede de kurulmuş ve ulaşım, güvenlik, mühendislik, hassas tarım ve ormancılık gibi alanlarda kullanılmaktadır. Aşağıda, ülkeler ve kullandıkları ağların adları örnek olarak verilmiştir.

Almanya (SAPOS ve ASCOS)

Belçika (FLEPOS ve WALCORS)

Finlandiya (GPSNet.fi)

Avusturya (APOS)
Danimarka (GPSNet.dk ve GPS-Ref.)
Hollanda (06-GPS)
İsveç (SWEPOS)
Japonya (GEONET)
İngiltere (Ordnance Survey GZK Network)
İsviçre (SWIPOSTM ve SWISSAT)
Norveç (SATREF™ (CPOS))
Yunanistan (HEPOS)

3.1.1.1. FKP Alan Düzeltme Tekniği

Literatürde FKP (Flachen Korrektur Parameter) olarak bilinen alan düzeltme yaklaşımında tüm TUSAGA-Aktif ağı kullanılarak her sabit istasyonda atmosferik düzeltmeler ve/veya taşıyıcı faz düzeltmeleri hesaplanmaktadır (Wübbena et al.,2001; Vollath et al. 2000, 2001). Böylece:

- Düzeltmeler gezici tarafından birçok değişik enterpolasyon modelleri ile kullanılabilir;
- Tek yönlü iletişim yeterli olmaktadır, çift yönlü iletişim olanağı da vardır;
- Kullanıcı sayısında bir sınırlama olmamaktadır.

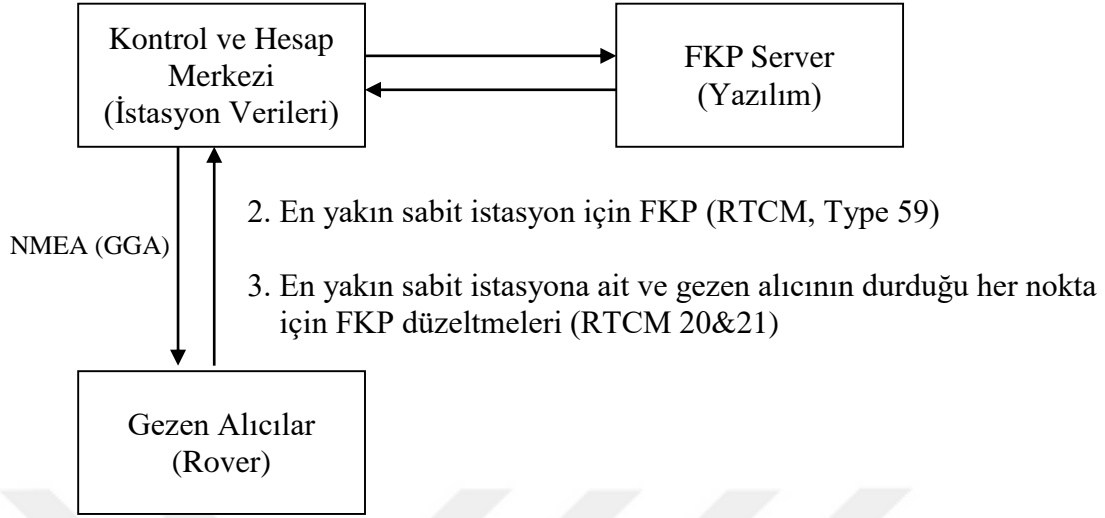
FKP konumu bilinen referans istasyonu ile gezici arasındaki uzaklığa bağlı hata terimlerinin hesabına olanak vermektedir.

$$\Delta\delta D_{ij}^k = f(FKP_i^k, \Delta\varphi_{ij}, \Delta\lambda_{ij}, \Delta h_{ij}) \quad (3.1)$$

Burada sadece gezicinin koordinatları ve uydu bilgilerine gereksinim bulunduğundan konum belirlemesi, tüm ağ ile ilgili hesaplardan bağımsız olarak gerçekleştirilebilmektedir.

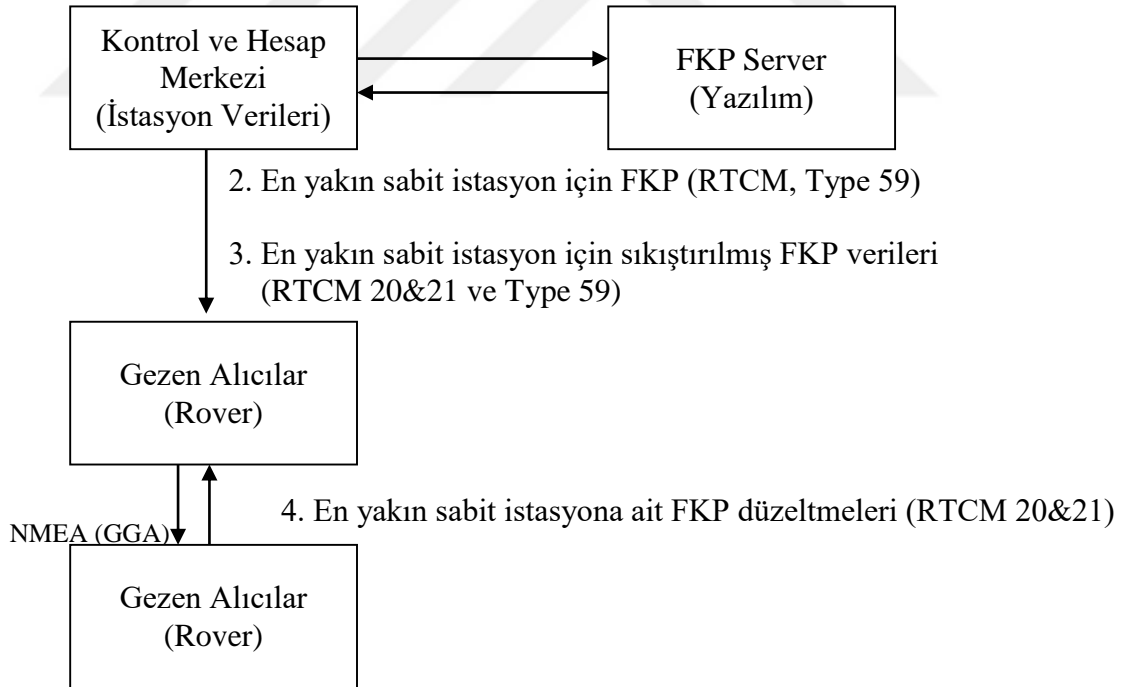
Gezici, ağ düzeltmesini sabit istasyonların birinden alır. Çift yönlü haberleşmede bu istasyonu merkez olarak belirler (Şekil 3.8). Tek yönlü haberleşmede kullanıcı, kendisine yakın olan bir istasyonu kendi seçmek zorunda olduğundan, tek yönlü haberleşme hemen hemen kullanılmamaktadır (Şekil 3.9).

1. Tüm referans (sabit) GNSS istasyonlarından ham uydu gözlemleri (raw data) kontrol ve hesap merkezinde toplanır.



Şekil 3.8 İki Yönlü FKP İletişimi

1. Tüm referans (sabit) GNSS istasyonlarından ham uydu gözlemleri (raw data) kontrol ve hesap merkezinde toplanır.



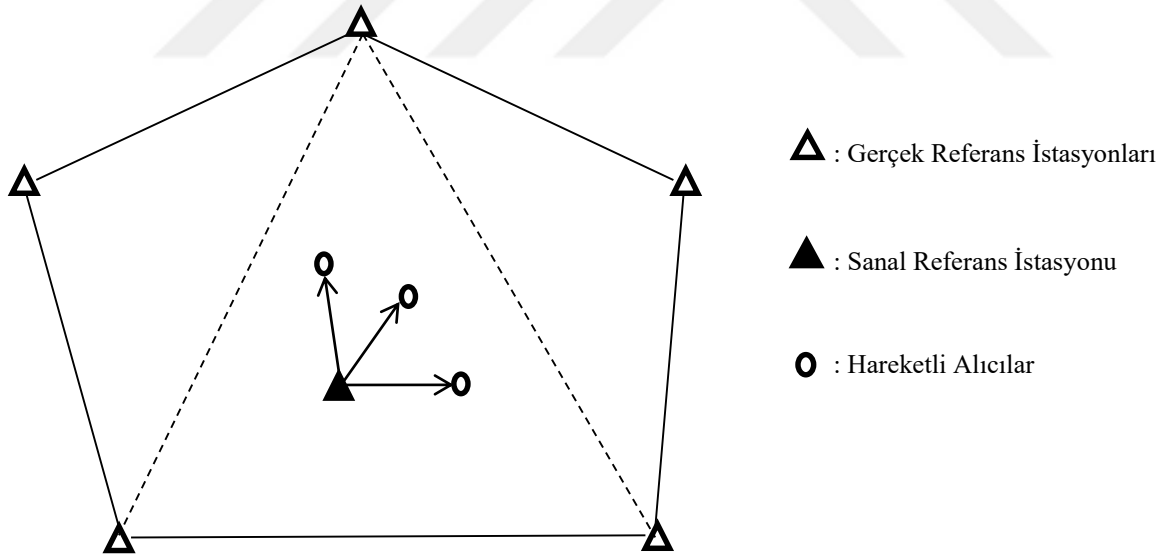
Şekil 3.9 Tek Yönlü FKP İletişimi

Alman SAPOS (SATellite POSitioning) grubu tarafından gündeme getirilmiş bir yöntemdir. SAPOS ağında servis sağlayıcılar, RTCM 2.x standardında Mesaj-59'a ilave donanım bağımlı özel mesajla hizmet vermektedirler. Söz konusu ilave mesajın içeriğini, mevcut bir referans

istasyonu çevresindeki lineer iyonosferik ve geometrik düzeltme (troposfer ve yörünge) parametreleri oluşturmaktadır. Bu lineer düzeltmeler doğu-batı ve kuzey-güney doğrultularındaki ppm cinsinden değişimleri ifade etmektedirler. Söz konusu düzeltmeler tüm sabit istasyon verilerinden yararlanarak hesaplanmaktadır. Bu düzeltmeler gezen alıcıların buldukları yer için enterpolasyon amaçlı yada VRS verisi olarak kullanılabilirler. Tek yönlü iletişim yeterli olup, eş zamanlı kullanıcı sayısı sınırlaması yoktur.

3.1.1.2. VRS Sanal Referans İstasyonu Tekniği

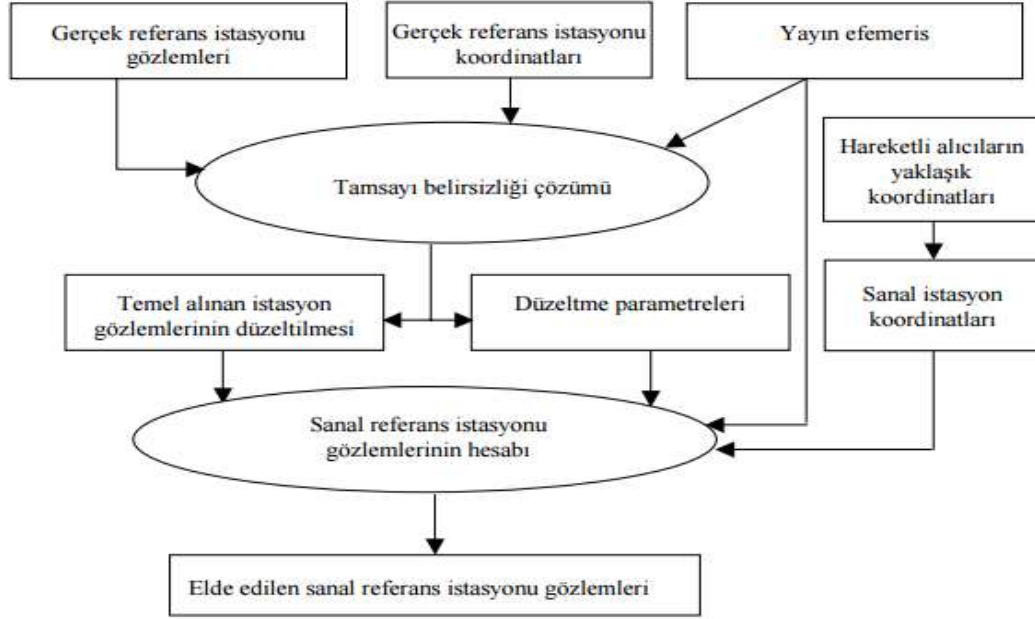
VRS (Virtual Reference Stations) uygulamasında ön koşul, TUSAGA-Aktif ağındaki kontrol merkezi ile gezici arasındaki iki yönlü iletişimidir. Birçok istasyondan elde edilen faz ve kod gözlemlerini kullanarak elde edilen sanal referans istasyonu gözlemleri ile hareketli alıcının konumunu belirleme işlemine VRS adı verilmektedir. Bu işlemde hareketli alıcının konumu yaklaşık olarak bilinmelidir. Alıcının yaklaşık konumunu belirlemek için kod ölçüleri yeterli duyarlılığı sağlamaktadır. Sanal referans istasyonunun hareketli alıcının yaklaşık konumunda ya da hareketli alıcının yakınında olduğu kabul edilir. Sanal referans istasyonu gözlemlerinin elde edilmesi Şekil 3.10'da özetlenmektedir (Wanninger 1999).



Şekil 3.10 Bölgesel Ağlarda Sanal Referans İstasyonları

VRS yönteminde gezicinin koordinatları, gezici ve sanal referans istasyonu arasında oluşturulan baz hattının koordinat farkı bileşenlerinin sanal referans istasyonunun üç boyutlu koordinatlarına eklenmesi ile elde edilir. Gezici alıcıya oluşturulan sanal referans istasyonuna göre düzeltme bilgisi RTCM formatında gönderilir. Klasik RTK yönteminde olduğu gibi bağıl konum belirleme söz konusudur. Referans istasyonları aynı zamanda troposfer ve iyonosferi

modellemek için kullanılır. Sanal referans istasyonu gözlemlerinin elde edilmesi Şekil 3.11’de özetlenmektedir (Wanninger 1999). Sabit GNSS istasyonları kullanılarak oluşturulan VRS istasyonlarıyla yapılan RTK (Real Time Kinematic) uygulamalarının, tek istasyon kullanılarak yapılan RTK uygulamalarına göre pek çok üstünlüğü vardır. VRS, RTK uygulamaları açısından iyonosfer, troposfer ve efemeris hataları gibi pek çok sistematik etkiyi azaltması sonucunda tamsayı belirsizliği çözüm doğruluğunu uzun bazların olması durumunda da arttırmaktadır.



Şekil 3.11 Bölgesel GNSS ağlarındaki sanal referans istasyonunun taşıyıcı faz gözlemlerinin hesabı

3.1.1.3.MAC Tekniği (Ana-Yardımcı Referans İstasyonları Yöntemi)

MAC (Master Auxiliary Concept), LeicaGeosystems ve Geo++ firmalarının birlikte geliştirdiği RTCM 3.x formatına dayalı bir tekniktir. GNSS/CORS uygulamalarında MAC tekniğinin kullanımı için geliştirilmiş beş yeni mesaj türü tanımlanmıştır. Bunlar Çizelge 3.2’de görülmektedir (RTCM 2006, Wübbena et al. 2006, Heo et al. 2009).

Çizelge 3.2 RTCM 3.1 Ağ-RTK mesaj grupları, alt grupları, mesaj türleri ve içerikleri

Grup Adı	Alt Grup Adı	Mesaj Türü	İçerik
Ağ-RTK Düzeltmeleri	Koordinat Farkları	1014	Ağ yardımcı istasyon veri koordinat farkları (MAC) (bir yardımcı istasyon ve ana istasyon için)
	İyonosferik ve Geometrik Düzeltme Farkları	1015	Tüm uydular için GPS iyonosferik düzeltme farkları (MAC) (bir yardımcı istasyon ve ana istasyon için)
		1016	Tüm uydular için GPS geometrik düzeltme farkları (MAC) (bir yardımcı istasyon ve ana istasyon için)
		1017	Tüm uydular için kombine edilmiş GPS geometrik ve iyonosferik düzeltme farkları (MAC) (bir yardımcı istasyon ve ana istasyon için)
		1018	Yedek alternatif iyonosferik düzeltme farkı mesajı (MAC)
Yardımcı Bilgiler	Uydu Yörünge Bilgileri	1019	GPS yörünge bilgileri (efemeris)
		1020	GLONASS yörünge bilgileri (efemeris)

RTCM 3.x ağ formatının temelini oluşturan düşünce, alt-ağ ölçü verilerinin sıkıştırılmış olarak geziciye gönderilmesi ve gezicinin farklı hata kaynakları için kendi ağ hesaplarını yapmasını sağlamaktır.

Ancak bunun bir dezavantajı, genellikle ağın sadece bir alt bölümüne ait verilerin gönderiliyor olmasıdır. RTCM 3.x ağ önerisinin diğer bir dezavantajı ise, sadece belirli bir zamana ait iyonosfer ve geometrik hataların gönderilmesidir. Gezici doğrudan server veri dizisini almaya başladığında, sistematik etkilere ait hemen bir bilgi sahibi olamamaktadır. İyonosferik ve özellikle troposferik modellerde, parametrelerin saptanması için biraz zaman gerekmektedir. İyi bir model duyarlılığına ulaşmak için 15 dakika veya daha uzun bir zaman gerekmektedir. Ancak bu süre içerisinde sistematik hatalar, gereken güvenli düzeyde modellenebilmektedir.

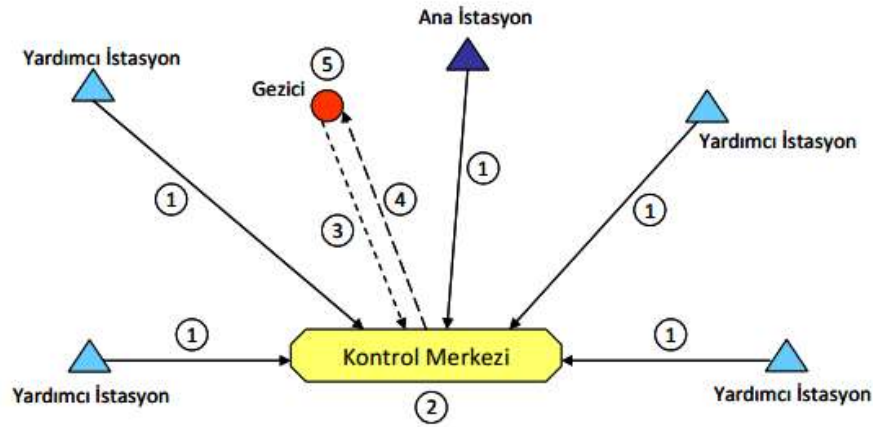
MAC yönteminin temel prensibi; GNSS ağına ve gözlemlerine ilişkin azami hata bilgisinin paket halinde gezen alıcılara gönderilmesidir. Böylece, ağa ilişkin ne kadar çok bilgi gelirse gezen alıcının kendi konumunu doğru olarak belirleme olasılığı o kadar artacaktır. MAC tasarımında, bir merkez referans istasyonunun (master) kod ve taşıyıcı faz verileri ile diğer (auxiliary, yardımcı) referans istasyonların taşıyıcı faz verilerini, tüm referans istasyonlarında

kaydedilen faz gözlemleri arasında ikili faz farkları oluşturarak tamsayı bilinmeyenleri elimine edilmektedir. Böylece, bu veriyi alan gezici aşağıdakileri gerçekleştirir;

- Geometrik ve iyonosferik etkilerin basit enterpolasyonu,
- Ağ serverının ağ bilgilerini RTCM 3.x ağ önerisi formatına çevirmeden önceki tüm hata kayaklarını içeren kompleks modele benzer bir model oluşturulması.

Ancak RTCM 3.x ağ yöntemi için gerekli band genişliği, VRS ve FKP çözümüne göre çok daha büyüktür.

Bu nedenlerle, veri iletişimindeki hacmi küçültmek için TUSAGA-Aktif ağındaki bir istasyon master, ve diğerleri de yardımcı istasyonlar olarak seçilmektedir. MAC, master istasyona ait tüm düzeltme ve koordinatları ile yardımcı istasyonlara ait düzeltme ve koordinat farklarını yayınlamaktadır. MAC yeni bir teknik değildir. Aslında FKP'ye benzerlik göstermektedir. TUSAGA-Aktif ağı için belirlenen iyonosferik ve geometrik hatalar ile düzeltmeler, koordinatlar ve farkları, MAC tarafından gezicilere iletilmekte ve gezicilerde çoklu-baz hesabı yapılmaktadır.



Şekil 3.12 MAC Yöntemi

- 1- Ana ve yardımcı referans istasyonların topladığı gözlemler kontrol merkezine iletilir.
- 2- Kontrol merkezinde referans istasyonları için tamsayı belirsizliği çözülür.
- 3- Gezici alıcı NMEA formatında konumunu kontrol merkezine bildirir.
- 4- Tüm bilgiler RTCM 3.1 formatında geziciye gönderilir.
- 5- Gezici kendi konumunu belirler.

3.2 BENCHMARK (BM) TESTLERİ

TUSAGA-Aktif sisteminin kurulum aşamasında, atmosfer etkileri, ülke topoğrafyası, iletişim araçları vb. konuların Türkiye koşullarında test edilmesi amacıyla 2 Eylül - 31 Ekim 2006 tarihleri arasında Benchmark (BM) test çalışması yapılmıştır. Testin başlıca amaçları;

- ✓ GNSS alıcı ve antenlerini test etmek,
- ✓ Kontrol merkezi yazılımını test etmek,
- ✓ İstasyonlar arasındaki optimum uzaklığı belirlemek,
- ✓ İletişim ve internet altyapısı hakkında somut bilgiler edinmek,
- ✓ Atmosfer aktivitelerini ve etkilerini incelemek

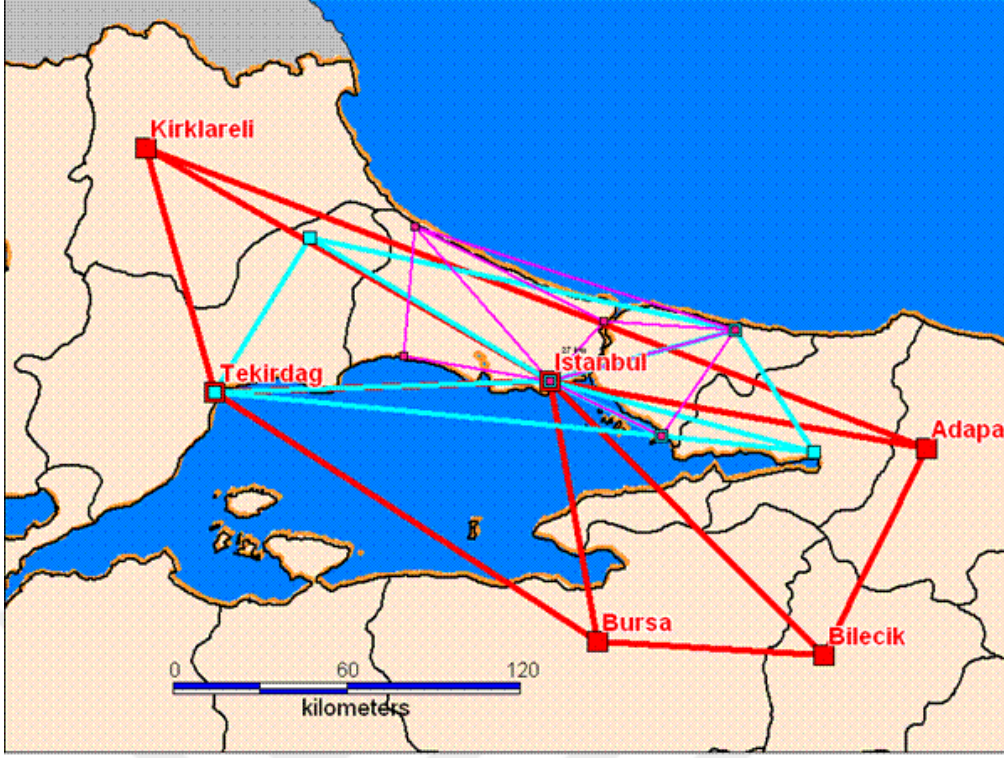
olarak belirlenmiştir.

Test çalışmalara Leica, Topcon ve Trimble firmaları katılmış ve test alanı olarak Trakya ve İstanbul bölgesinde 300x100 km'lik bir alan seçilmiştir. Test alanı içerisinde 13 adet istasyon yeri belirlenmiş ve farklı mesafelere sahip 6 istasyondan oluşan üç çeşit ağ kurulmuştur (Şekil 3.13).

Ağ-120: İstasyonların arası yaklaşık 120 km. (—)

Ağ-90: İstasyonların arası yaklaşık 90 km. (—)

Ağ-60: İstasyonların arası yaklaşık 60 km. (—)



Şekil 3.13 Benchmark Test Ağları

Test kapsamında, önce sabit istasyonların yer seçimi ve daha sonra da zemin tesisleri yapılmış; ADSL, EDGE ve elektrik bağlantıları gerçekleştirilmiştir. 8-9 Ağustos 2006 tarihinde 2 gün süreyle eşzamanlı olarak GNSS ölçüleri yapılmış ve bu veriler 7 adet IGS istasyonu verileri ile Bernese, Gamit ve Geonap yazılımları ile değerlendirilerek referans istasyonlarının ITRFyy koordinatları hesaplanmıştır. Dengeleme sonucunda 0.01 ppm mertebesinde baz duyarlılığı ve 1 cm civarında konum duyarlılığı elde edilmiştir.

Test amacıyla her bir ağda kırsal ve kentsel alanlarda HGK, TKGM ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB)'ne ait olup ITRFyy datumunda koordinatları bilinen noktalarda RTK ve statik ölçüler yapılmıştır.

BM testi sonuçları ve diğer araştırmalar sonucunda sabit istasyonlar arasındaki optimum uzaklığın ülkemiz için 80-100 km arasında olduğu saptanmıştır. Ayrıca istasyon mesafelerinden farklı olarak yer seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar da aşağıda verilmiştir.

- İl merkezleri olması (Kullanıcıların yoğun olduğu merkezler olması sebebiyle),
- Sınır ve kıyı boyundaki büyük yerleşim merkezleri olması,
- Sağlam ve lojistiği uygun zemin (Heyelan bölgesi dışında olması),

- Elektrik ve haberleşme (ADSL, EDGE) olanaklarının bulunması,
- Mümkin olduğu kadar tektonik plaka hareketlerinin izlenmesine olanak sağlayacak konumda olması.



BÖLÜM 4

İYONOSFERDEKİ TEC BELİRLEME YÖNTEMLERİ

TEC, iyonosferdeki 1 m² kesitli silindir boyunca toplam serbest elektron miktarı olup TECU birimi ile ifade edilir. 1 TECU = 10¹⁶el/m²dir. TEC, *STEC* ve *VTEC* olmak üzere iki şekilde ifade edilebilir. *STEC*, alıcı ile uydu arasındaki hat üzerinde hesaplanan toplam serbest elektron miktarı, *VTEC* ise alıcıya göre yerel zenit doğrultusunda hesaplanan toplam serbest elektron miktarıdır. GPS sinyalleri kullanılarak hesaplanan TEC kestirimi, iyonosferin yapısını anlamak için doğrudan kullanılan bir yöntemdir.

4.1 IONOLAB-TEC YÖNTEMİ

Literatürde verilen birçok yöntemde iyonosferin, geniş, yükseklik ve yanal açısal bölgeleri için homojen olduğu, karakteristiğinin 5-15 dakika boyunca sabit kaldığı varsayımları yapılmaktadır. Bu durumda iyonosferdeki bazı ani değişimler gözlenemeyebilir (Arıkan vd. 2003). Ayrıca sinyal yansıma (multipath) etkisini azaltmak için en fazla yükseklik açısına sahip uydu izlendiğinde diğer uydulardan alınabilecek önemli bilgiler kullanılamamaktadır. Uydulardan alınan veriler düşük zaman çözünürlüğünde olduğunda ise iyonosferdeki ani değişimler takip edilememektedir (Arıkan vd. 2003, 2004; Nayir 2007; Nayir vd. 2007; Arıkan vd. 2007, 2008). Tüm uydulardan alınan veriler birleştirilerek yüksek çözünürlüklü TEC kestirimleri elde edilmesini sağlayan düzgünleştirme yöntemi IONOLAB-TEC bu bölümde anlatılmaktadır.

Belirli bir zaman dilimi için, kod ölçü değerlerinden hesaplanan VTEC verileri \mathbf{x}_m vektörü ile ifade edilebilir.

$$\mathbf{x}_m = [x_m(0) \dots x_m(n) \dots x_m(N-1)]^T \quad (4.1)$$

Eşitlik (4.1)'de m , uydu PRN numarasını, N ise 0'dan farklı toplam ölçü sayısını göstermektedir. GPS alıcıları tarafından her 30 saniyede bir ölçü alınabilmektedir. Bu durumda bir tam gün için alınacak ölçü sayısı $N = 2 \times 60 \times 24 = 2880$ olacaktır. Düşük yükseklik açılı uydulardan alınan sinyallerdeki multipath etkisini azaltmak için çalışmalarda Eşitlik (4.2)'te verilen ağırlık fonksiyonu kullanılmıştır.

$$w_m(n) = \exp \begin{cases} 1, & 60^\circ \leq \epsilon_m(n) \leq 90^\circ \\ -(60 - \epsilon_m(n))^2 / 2\sigma^2, & 10^\circ \leq \epsilon_m(n) < 60^\circ \\ 0, & \epsilon_m(n) < 10^\circ \end{cases} \quad (4.2)$$

Eşitlik (4.2)'de yükseklik açısı 60° üstünde olan uydulardan alınan ölçüler aynen kullanılırken, yükseklik açısı 10° altına olan ölçüler hesaplamalarda kullanılmazlar. Yükseklik açısı 10° ile 60° arasında olan uydulardan alınan ölçüler bir Gauss fonksiyonu ile ağırlıklandırılır. N ölçüsü için uygulanacak ağırlıklandırma, Eşitlik (4.3)'de verilen ağırlık vektörü ile gösterilebilir.

$$\mathbf{w}_m = [0 \dots 0 \ w_m(1) \dots w_m(N_m) \ 0 \dots 0]^T \quad (4.3)$$

Eşitlik (4.3)'de N_m en son alınan ölçü anını göstermektedir. Bir sonraki adımda uydulardan elde edilen VTEC verileri en küçük kareler yöntemi ile birleştirilir. Bunun için kestirim sonucu elde edilecek VTEC verileri ile uydulardan hesaplanan VTEC verileri arasındaki hatanın karesini en aza indirecek bir maliyet fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$J_{\mu, k_c}(x) = \sum_{m=1}^M (x - x_m)^T W_m (x - x_m) + \mu x^T H(k_c) x \quad (4.4)$$

Eşitlik (4.3)'de $\mathbf{W}_m = \text{diag}(\mathbf{w}_m)$ dir. $\mathbf{H}(k_c)$ frekansı k_c 'ye kadar olan bileşenleri geçiren süzgeçdir. μ ise düzleştirme katsayısıdır. Hatayı en aza indiren x kestirimlerinin bulunması için Eşitlik (4.4)'deki ifadenin türevi alınıp sıfıra eşitlenirse,

$$(\Delta_x J_{\mu, k_c}(x) = 0) \quad (4.5)$$

olur. Maliyet fonksiyonunun minimizasyonu işlemi:

$$\mathbf{A}(\mu, k_c) \mathbf{x} = \mathbf{b} \quad (4.6)$$

biçimindeki bir doğrusal sistemin çözümüne dönüşür. Yukarıdaki eşitlikte

$$A(\mu, k_c) = \sum_{m=1}^M W_m + \mu H(k_c) \quad (4.7)$$

$$b = \sum_{m=1}^M W_m x_m \quad (4.8)$$

olarak hesaplanmıştır. Böylece VTEC kestirimleri $\tilde{\mathbf{x}}$,

$$\tilde{\mathbf{x}}(\mu, k_c) = \mathbf{A}^{-1}(\mu, k_c) \mathbf{b} \quad (4.9)$$

olarak bulunur. 24 saat süresince yapılan TEC kestirimleri için kullanılan yüksek geçiren ceza süzgeci, $\mathbf{H}(k_c)$ Toeplitz matrisi biçiminde düzenlenebilir:

$$H(k_c) = \begin{bmatrix} h_0(k_c) & h_1(k_c) & \dots & h_{N-1}(k_c) \\ h_{N-1}(k_c) & h_0(k_c) & \dots & h_{N-2}(k_c) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_1(k_c) & h_2(k_c) & \dots & h_0(k_c) \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

$$h_n(k_c) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} H_k(\omega_c) \exp(j \frac{2\pi}{N} kn) \quad (4.11)$$

$\omega_c = 2\pi k_c / N$ 'dir. Süzgeç fonksiyonu, $\mathbf{H}_k(\omega_c)$ Eşitlik (4.13)'deki gibi seçilebilir.

$$H_k(\omega_c) = \begin{cases} 1, & \text{if } \pi - \omega_c \leq \frac{2\pi}{N} k \leq \pi + \omega_c \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.12)$$

$$h_n(k_c) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{N} (2k_c + 1), & n = 0 \\ -\sin\left(\frac{\pi n}{N} (2k_c + 1)\right) / \left(N \sin\left(\frac{\pi n}{N}\right)\right), & n \neq 0 \end{cases} \quad (4.13)$$

Süzgeç parametreleri μ ve k_c 'nin TEC kestirim değerlerine etkisi, uydulardan hesaplanan VTEC değerleri \mathbf{x}_m ile VTEC kestirimleri $\tilde{\mathbf{x}}$ arasındaki hata fonksiyonu kullanılarak incelenebilir. Hata fonksiyonu Eşitlik (4.14)'de verilmiştir. $\|\cdot\|$ işlemi VTEC kestirimleri ile hesaplamaları arasındaki ağırlıklandırılmış, fark vektörünün norm ifadesidir.

$$e(\mu, k_c) = \sum_{m=1}^M \|W_m(\tilde{x} - x_m)\|^2 \quad (4.14)$$

Kestirim değerlerini daha da düzgün hale getirmek için kayan ortanca süzgeç kullanılabilir. Ortanca süzgecin uzunluğu, belirlenmesi gereken bir diğer parametredir. Kestirilen VTEC değerleri ile kestirim sonrası ortanca süzgeç uygulanmış, VTEC değerleri arasındaki hata fonksiyonu Eşitlik (4.15)'de verilmiştir.

$$e_f(N_f) = \|\tilde{x} - \tilde{x}_{N_f}\|^2 \quad (4.15)$$

Eşitlik (4.15)'de \tilde{x}_{N_f} , uzunluğu N_f olan ortanca süzgeç uygulanmış, \tilde{x} kestirimlerini göstermektedir. Yöntemin doğru çalışabilmesi için uygun μ , k_c ve N_f parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Buraya kadar anlatılanlar 24 saatlik zaman dilimi için yapılan düzgünleştirme yöntemini kapsamaktadır. Sınırlı bir zaman dilimi için TEC kestirimi söz konusu olduğunda ise bu yöntem uygulanamayacaktır. Bunun nedeni $\mathbf{H}(k_c)$ süzgecin günün başı ve sonundaki ölçüleri örtüştürmeye çalışmasıdır. Bu yüzden bir tam gün iyonosferdeki TEC kestirimi için bir tam çevrimi ifade etmektedir. Sınırlı bir zaman söz konusu olduğunda TEC kestirimi yapmak yine mümkündür, Maliyet fonksiyonu Eşitlik (4.16)'daki gibi yeniden tanımlanır.

$$J_{\mu, k_c}(x) = \sum_{m=1}^M (x - x_m)^T W_m (x - x_m) + \mu (x - at)^T H(k_c) (x - at) \quad (4.16)$$

Eşitlik (4.17)'de verinin karakteristiği bir doğru yardımıyla çıkarılır. a doğrunun eğimini, \mathbf{T} ise istenen zaman dilimi için zaman vektörünü göstermektedir. Maliyet fonksiyonunu en aza indiren \mathbf{x} kestirimlerinin bulunması için bu fonksiyonunun türevi alınıp sifıra eşitlenir. Bu durumda maliyet fonksiyonunun en aza indirilmesi işlemi Eşitlik (4.17) biçiminde doğrusal bir denklem sisteminin çözümüne dönüşür. \mathbf{x} kestirimleri de bu eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$A(\mu, k_c) \begin{bmatrix} x \\ a \end{bmatrix} = b \quad (4.17)$$

Eşitlik (4.18)'deki \mathbf{A} matrisi ve Eşitlik (4.19)'daki \mathbf{b} vektörü,

$$A(\mu, k_c) = \begin{bmatrix} \sum_{m=1}^M W_m + \mu H(k_c) & -\mu H(k_c) \\ t^T H(k_c) & -t^T H(k_c) t \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

$$b = \begin{bmatrix} \sum_{m=1}^M W_m x_m \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

olarak hesaplanır. Yukarıdaki eşitlikleri kullanarak \mathbf{x} kestirimlerini gösteren $\tilde{\mathbf{x}}$ değerleri Eşitlik (4.20)'deki gibi hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}(\mu, k_c) \\ a \end{bmatrix} = A^{-1}(\mu, k_c) b \quad (4.20)$$

Sonuç olarak ister tüm gün, ister sınırlı bir zaman dilimi için öngörülen düzgünleştirme yöntemi uygulanabilir (Arıkan vd. 2004).

4.2. GLOBAL İYONOSFER MODELİ

Yerel modellerde kullanılan Taylor açılımı, yeryuvarını kaplayan TEC modelini oluşturmada yetersiz kalmaktadır. Küresel harmonik açılım, küresel TEC'i belirlemede ideal bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Schaer et al. 1995).

Geometriden bağımsız doğrusal kombinasyon oluşturulurken ikili fark gözlem denklemleri kullanılmaktadır. İkili fark gözlemleri, farkı alınmamış faz ölçülerinden daha az hata içermekte, ancak ikili fark işlemi nedeniyle iyonosfer bilgisinin bir kısmı kaybolmaktadır.

$E_v(\beta, s)$ düşey toplam elektron yoğunluğunun küresel harmonik açılımı;

$$E_v(\beta, s) = \sum_{n=0}^{n_{max}} \sum_{m=0}^n P_{nm}^{\sim}(\sin \beta) (C_{nm}^{\sim} \cos(ms) + S_{nm}^{\sim} \sin(ms)) \quad (4.21)$$

biçimindedir. Burada; β , coğrafi enlemi; $s = \lambda - \lambda_0$, iyonosfer geçiş noktasının güneş-sabit boylamı; λ , iyonosfer geçiş noktasının boylamı; λ_0 güneşin boylamını; n_{max} , küresel açılımın maksimum derecesi; $P_{nm}^{\sim} = N_{nm} P_{nm}$, Legendre fonksiyonu; N_{nm} , normlandırma fonksiyonu;

P_{nm} , normlandırılmış Legendre fonksiyonu; C_{nm} ve S_{nm} küresel harmoniğin bilinmeyen katsayıları ya da küresel iyonosfer haritalarının kestirilen parametreleridir (Aslan 2004).

Küresel TEC modelin formülünde anlaşılacağı üzere içerisinde harmonik fonksiyonun derece ve mertebesini barındırmaktadır. Bu değerler Tüm dünyayı kapsayacak şekilde yapılan haritalarda derece ve mertebenin 10 ve üzerinde olması uygun iken, diğer taraftan bölgesel anlamda yapılacak çalışmada derece ve mertebenin çalışma bölgesinin yerine göre belirlenmesi uygun olacaktır. JPL (Jet Propulsion Laboratory), CODE (Center for Orbit Determination), ESA (European Space Agency) gibi küresel anlamda iyonosfer haritası üreten pek çok kurum mevcuttur. Global iyonosfer haritası (GIM) IONEX ((IONosphere map EXchange) formatında yayınlanmakta olup TEC değerlerinin konumsal çözünürlüğü $2.5^{\circ} \times 5^{\circ}$, zamansal çözünürlüğü ise 2 saattir. IONEX formatında yayınlanan değerler bütün dünyayı kapsayacak biçimde oluşturulmuştur (İnyurt, 2015). Herhangi bir noktaya ilişkin enlem ve boylamda ki TEC değeri o noktayı kapsayan en yakın 4 noktadan iki değişkenli enterpolasyon yardımıyla ilgili noktaya ait TEC değeri hesaplanabilmektedir. İki değişkenli enterpolasyonun formülasyonu aşağıdaki gibidir. Bulunan değer 0.1 ile çarpıldığında ilgili noktaya ait TEC değeri TECU biriminde belirlenmektedir. IONEX formatından yayınlanan TEC değerlerinin doğruluğu 2-8 TECU arasında değişiklik göstermektedir.

$$E_{int}(\lambda_0 + p\Delta\lambda, \beta_0 + q\Delta\beta) = (1 - p)(1 - q)E_{0,0} + p(1 - q)E_{1,0} + q(1 - p)E_{0,1} + pqE_{1,1} \quad (4.22)$$

Burada;

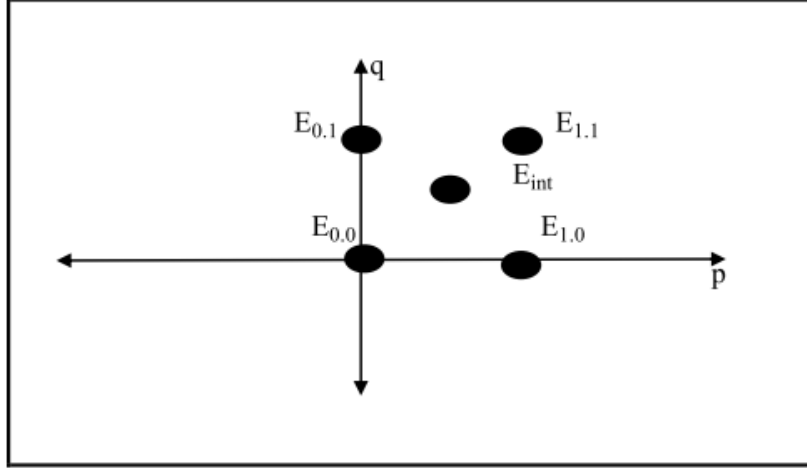
p ve q: $0 \leq p, q < 1$ arasında değer almaktadır.

$\Delta\lambda$ ve $\Delta\beta$: Enlem farkları grid genişliklerini

λ_0 ve β_0 : Başlangıç enlem ve boylam değerlerini

$E_{0,0}$, $E_{1,0}$, $E_{0,1}$, $E_{1,1}$: Komşu noktalarda bilinen TEC değerini

E_{int} : Bulunması istenen TEC değerini göstermektedir.



Şekil 4.1 İki Değişkenli Enterpolasyon Gösterimi

Örnek global iyonosfer haritası gösterimi ise Şekil 4.2'deki gibidir. Bu harita CODE tarafından üretilmiştir (URL-3).

1.0		IONOSPHERE MAPS		GNSS		IONEX VERSION / TYPE	
ADDNEQ2	V5.3	AIUB		25-MAR-15	20:04	PGM / RUN BY / DATE	
CODE'S GLOBAL IONOSPHERE MAPS FOR DAY 080, 2015							
Contact address: code(at)aiub.unibe.ch							
Web page: www.aiub.unibe.ch/content/ionosphere/							
Data archive: ftp.unibe.ch/aiub/CODE/							
www.aiub.unibe.ch/download/CODE/							
2015	3	21	0	0	0	EPOCH OF FIRST MAP	
2015	3	22	0	0	0	EPOCH OF LAST MAP	
3600						INTERVAL	
25						# OF MAPS IN FILE	
NONE						MAPPING FUNCTION	
10.0						ELEVATION CUTOFF	
One-way carrier phase leveled to code							
258						OBSERVABLES USED	
55						# OF STATIONS	
6371.0						# OF SATELLITES	
2						BASE RADIUS	
450.0	450.0	0.0				MAP DIMENSION	
87.5	-87.5	-2.5				HGT1 / HGT2 / DRGT	
-180.0	180.0	5.0				LATI / LAT2 / DLAT	
						LOM1 / LOM2 / DLON	
						EXPONENT	
TEC/RMS values in 0.1 TECU: 9999, if no value available							
Peak TEC values for the included maps:							
1						COMMENT	
2015	3	21	0	0	0	COMMENT	
87.5-180.0 180.0 5.0 450.0							
136	136	137	137	137	137	138	138
135	135	134	133	132	130	129	128
125	123	122	120	119	117	116	
115	114	113	112	111	111	110	110
115	116	117	118	119	120	121	122
124	125	126	127	128	129	130	131
131	132	133	134	134	135	135	136
85.0-180.0 180.0 5.0 450.0							
139	139	139	140	140	140	141	142
143	143	143	143	143	143	143	143
146	145	144	142	140	137	135	132
128	125	121	117	114	110	107	104
101	99	97	95	94	93	93	93
93	94	95	96	98	99	101	
103	105	107	110	112	114	116	119
121	123	125	127	129	130	132	133
134	135	136	137	137	138	138	139
1							
END OF TEC MAP							
2							
2015	3	21	1	0	0	START OF TEC MAP	
87.5-180.0 180.0 5.0 450.0							
161	160	160	160	159	158	157	156
155	154	153	151	150	148	146	145
143	141	139	137	135	133	132	130
128	127	125	124	123	122	121	120
120	120	120	120	121	122	123	124
124	125	126	127	128	130	131	133
134	136	137	139	141	142	144	145
147	148	150	151	153	154	155	156
157	158	159	160	160	160	161	161

Şekil 4.2 Global İyonosfer Haritası (URL-3)



BÖLÜM 5

TEC BELİRLEME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

TEC belirleme yöntemlerinden IONOLAB-TEC Yöntemi ile Global İyonosfer Modeli (GIM) arasındaki sonuçların karşılaştırılması çalışmasında TUSAGA-Aktif Sistemine dahil 11 istasyonun 20-26 Ekim 2011 tarihleri arasındaki verileri kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada seçilen 11 istasyon Marmara, Ege, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde bulunan Ağrı (AGRD), Aydın (AYD1), Balıkesir (BALK), Çeşme (CESM), Hakkari (HAKK), Iğdır (IGIR), Kırkağaç (KIKA), Malazgirt (MALZ), Muradiye (MURA), Siirt (SIRT) ve Uşak (USAK) istasyonlarıdır.



Şekil 5.1 Analiz Yapılan İstasyonların Gösterimi

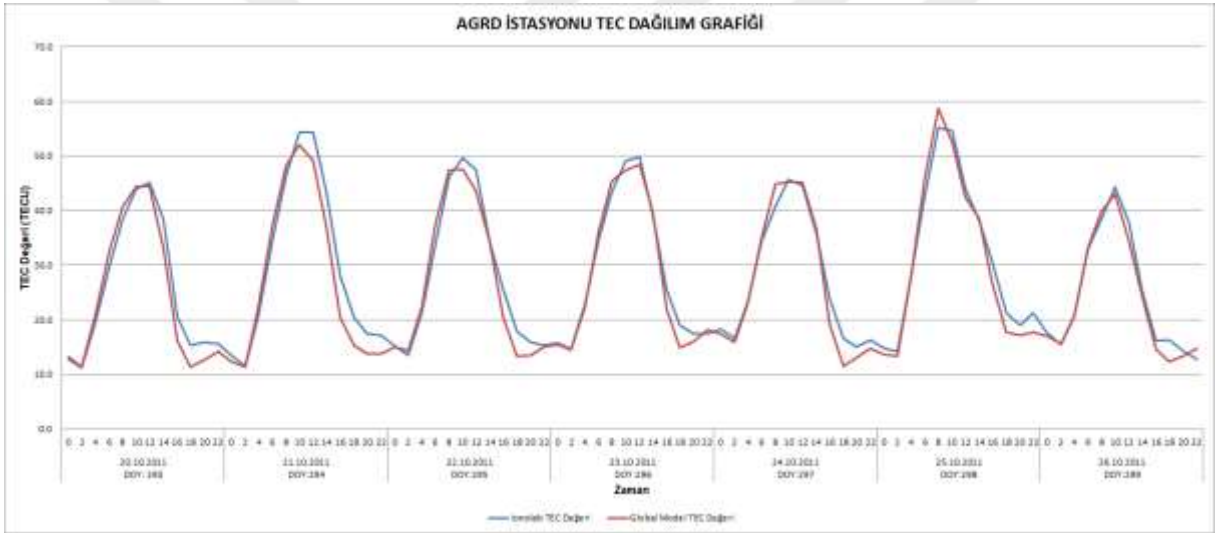
Uygulama esnasında her bir istasyon için 20-26 Ekim 2011 tarihleri arasında ve 2 saatlik zamansal çözünürlükle hem IONOLAB-TEC Yöntemi hem de Global İyonosfer Modelden TEC değerleri ve bu iki değer arasındaki doğrusal bir ilişki olup olmadığını gösteren korelasyon katsayısı

$$r = \frac{\Sigma(xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)/n}{\sqrt{(\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2/n)(\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2/n)}} \quad (5.1)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır.

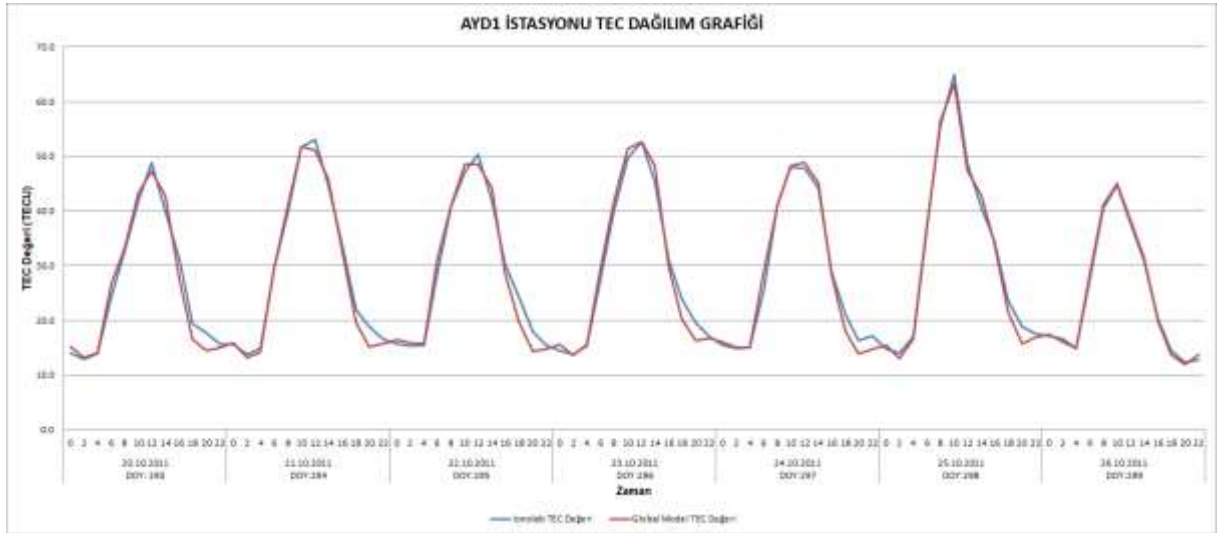
Hesaplanan TEC değerlerine göre her bir istasyon için söz konusu tarihler için elde edilen TEC değerlerinden grafikleri oluşturulmuştur.

Ağrı (AGRD) istasyonu için hesaplanan TEC değerleri ve bu değerler arasındaki korelasyon katsayısı; $r = 0.98374$ yüksek pozitif ilişkilidir. 20-26 Ekim 2011 tarihlerini kapsayan haftalık grafik Şekil 5.2’de sunulmuştur.



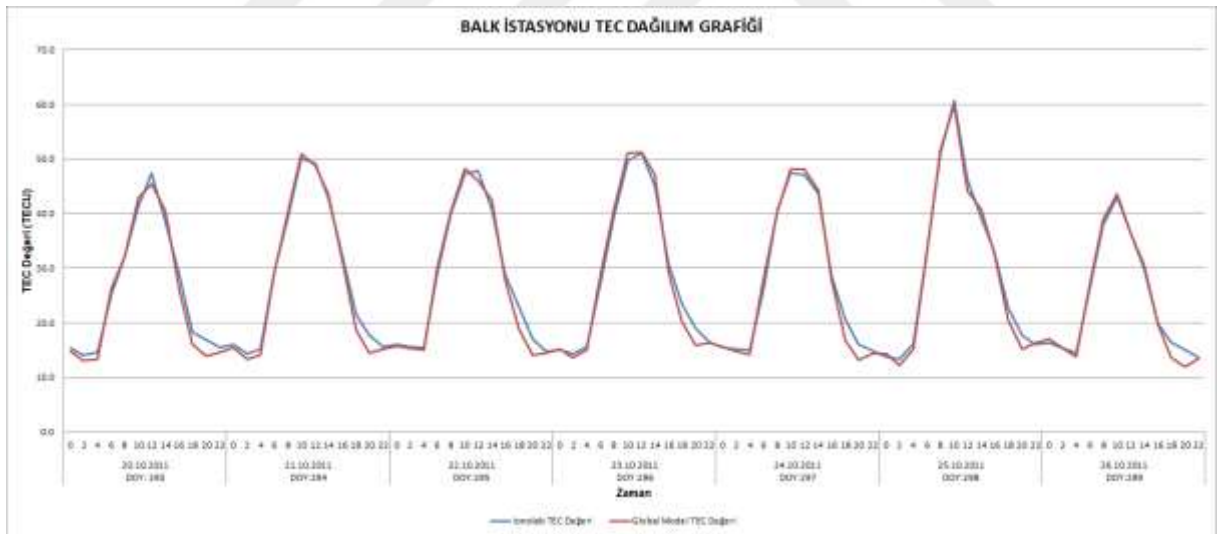
Şekil 5.2 AGRD İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği

Aydın (AYD1) istasyonu için hesaplanan TEC değerleri ve bu değerler arasındaki korelasyon katsayısı; $r = 0.99309$ yüksek pozitif ilişkilidir. 20-26 Ekim 2011 tarihlerini kapsayan haftalık grafik Şekil 5.3’de sunulmuştur.



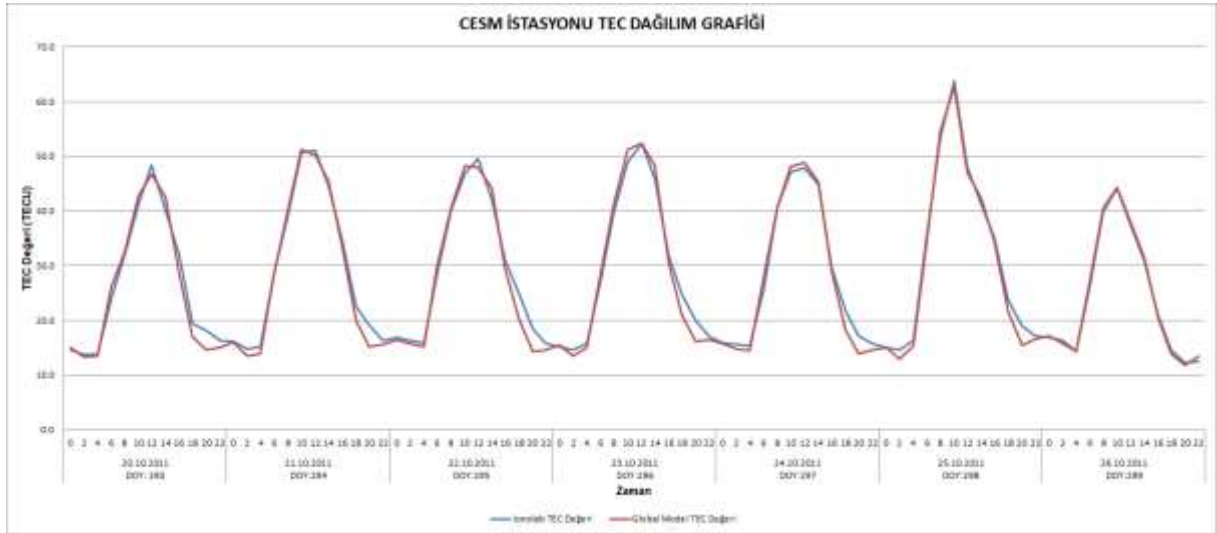
Şekil 5.3 AYD1 İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği

Balıkesir (BALK) istasyonu için hesaplanan TEC değerleri ve bu değerler arasındaki korelasyon katsayısı; $r = 0.99513$ yüksek pozitif ilişkilidir. 20-26 Ekim 2011 tarihlerini kapsayan haftalık grafik Şekil 5.4’de sunulmuştur.



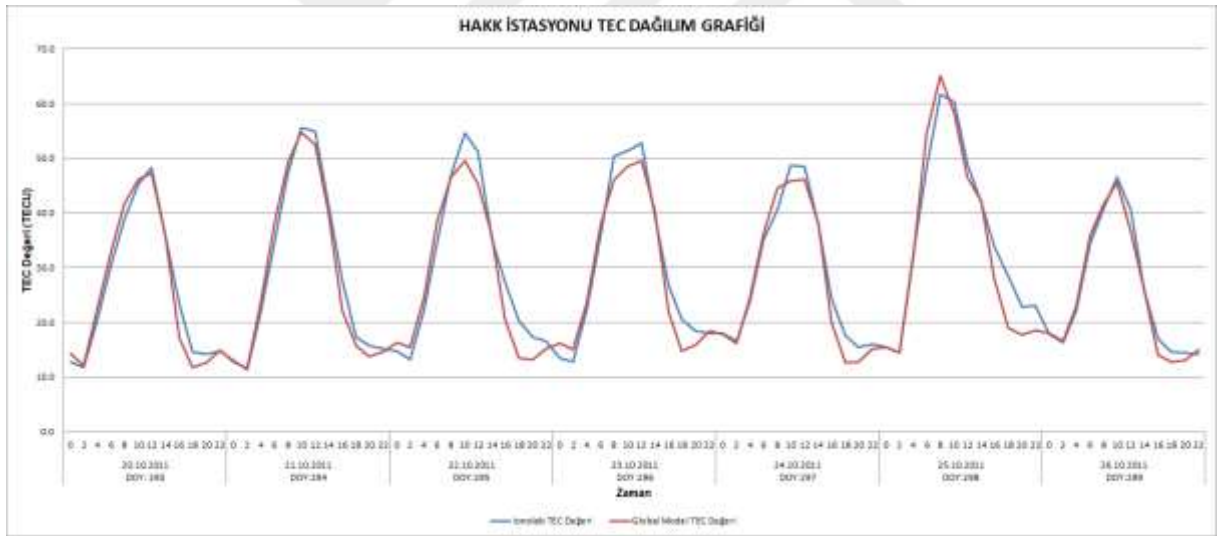
Şekil 5.4 BALK İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği

Çeşme (CESM) istasyonu için hesaplanan TEC değerleri ve bu değerler arasındaki korelasyon katsayısı; $r = 0.99404$ yüksek pozitif ilişkilidir. 20-26 Ekim 2011 tarihlerini kapsayan haftalık grafik Şekil 5.5’de sunulmuştur.



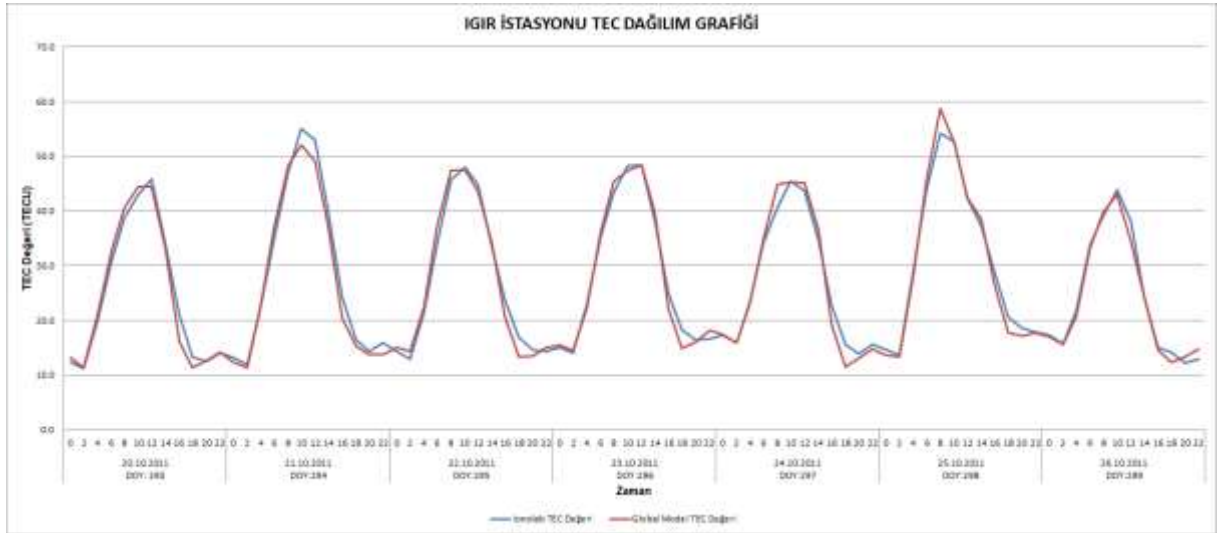
Şekil 5.5 CESM İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği

Hakkari (HAKK) istasyonu için hesaplanan TEC değerleri ve bu değerler arasındaki korelasyon katsayısı; $r = 0.99990$ yüksek pozitif ilişkilidir. 20-26 Ekim 2011 tarihlerini kapsayan haftalık grafik Şekil 5.6'da sunulmuştur.



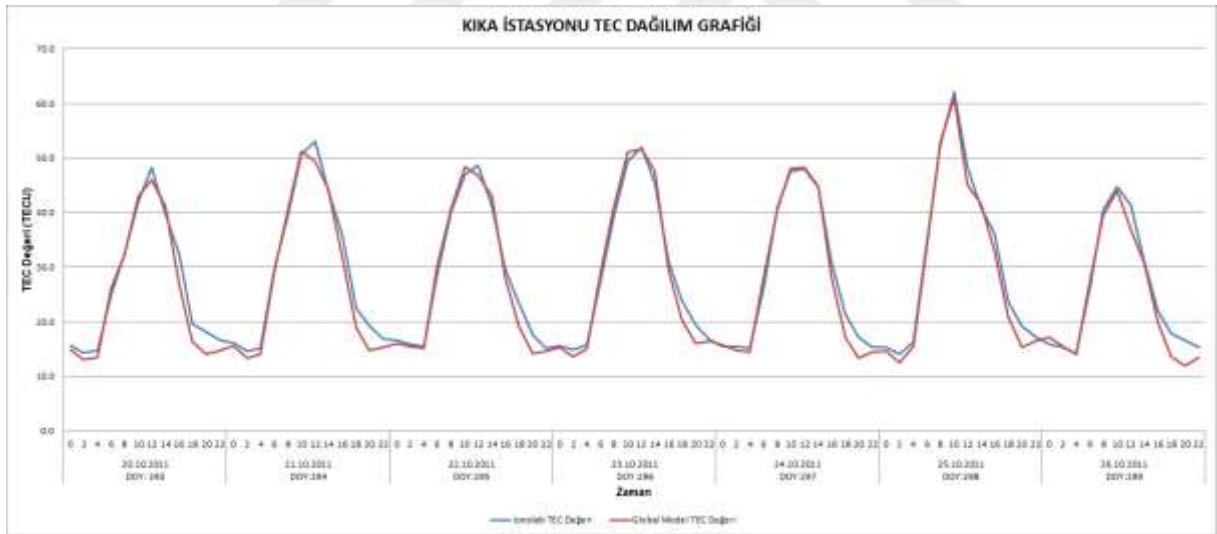
Şekil 5.6 HAKK İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği

Iğdır (IGİR) istasyonu için hesaplanan TEC değerleri ve bu değerler arasındaki korelasyon katsayısı; $r = 0.99892$ yüksek pozitif ilişkilidir. 20-26 Ekim 2011 tarihlerini kapsayan haftalık grafik Şekil 5.7'de sunulmuştur.



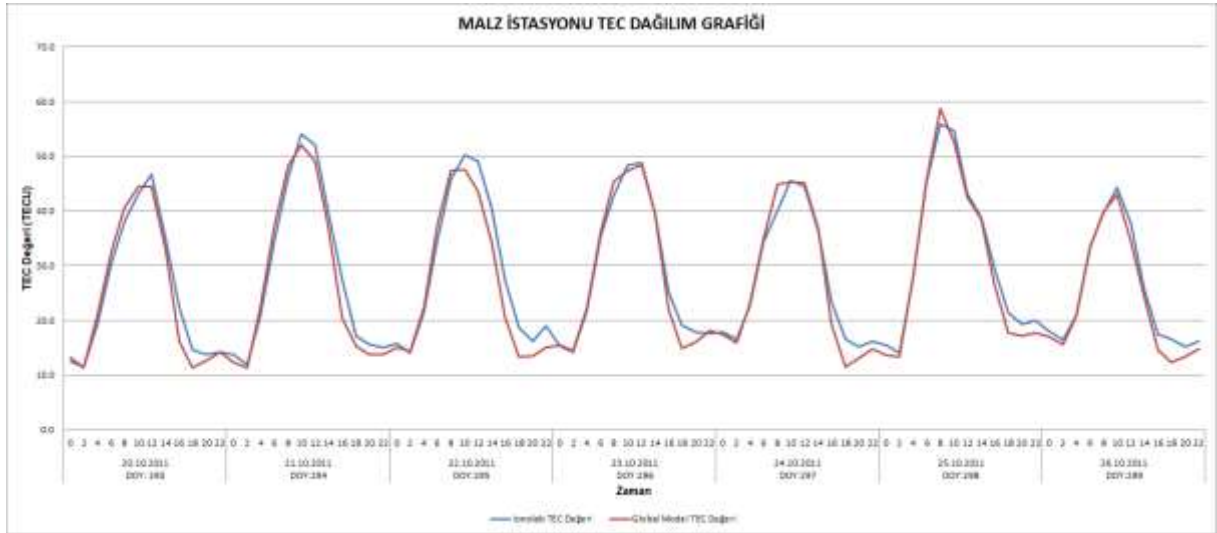
Şekil 5.7 IGIR İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği

Kırkağaç (KİKA) istasyonu için hesaplanan TEC değerleri ve bu değerler arasındaki korelasyon katsayısı; $r = 0.99120$ yüksek pozitif ilişkilidir. 20-26 Ekim 2011 tarihlerini kapsayan haftalık grafik Şekil 5.8’de sunulmuştur.



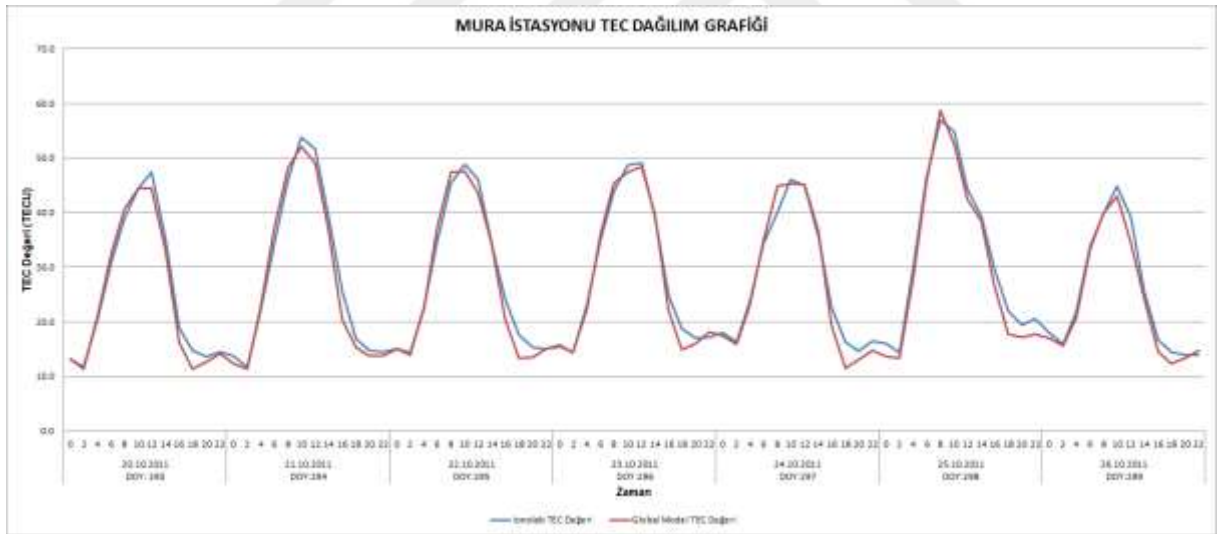
Şekil 5.8 KİKA İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği

Malazgirt (MALZ) istasyonu için hesaplanan TEC değerleri ve bu değerler arasındaki korelasyon katsayısı; $r = 0.99646$ yüksek pozitif ilişkilidir. 20-26 Ekim 2011 tarihlerini kapsayan haftalık grafik Şekil 5.9’da sunulmuştur.



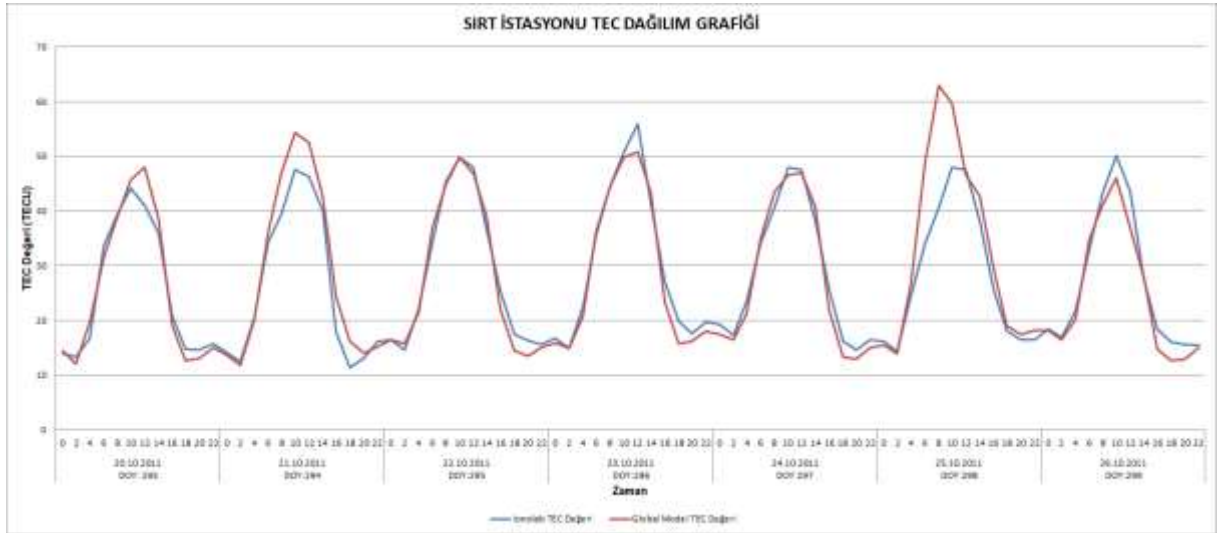
Şekil 5.9 MALZ İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği

Muradiye (MURA) istasyonu için hesaplanan TEC değerleri ve bu değerler arasındaki korelasyon katsayısı; $r = 0.99820$ yüksek pozitif ilişkilidir. 20-26 Ekim 2011 tarihlerini kapsayan haftalık grafik Şekil 5.10'da sunulmuştur.



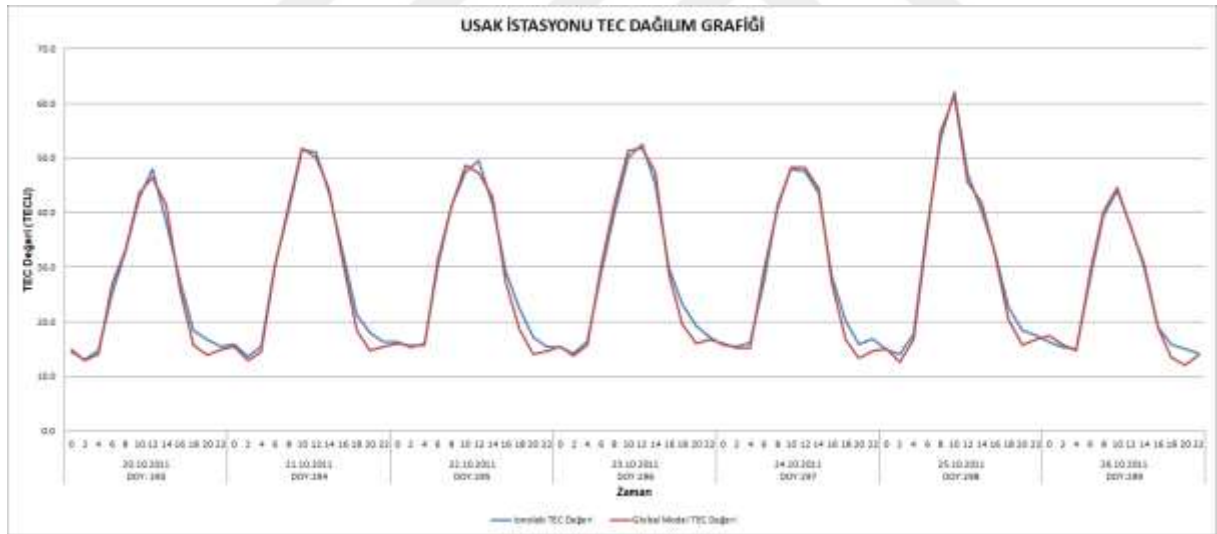
Şekil 5.10 MURA İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği

Siirt (SIRT) istasyonu için hesaplanan TEC değerleri ve bu değerler arasındaki korelasyon katsayısı; $r = 0.99865$ yüksek pozitif ilişkilidir. 20-26 Ekim 2011 tarihlerini kapsayan haftalık grafik Şekil 5.11'de sunulmuştur.



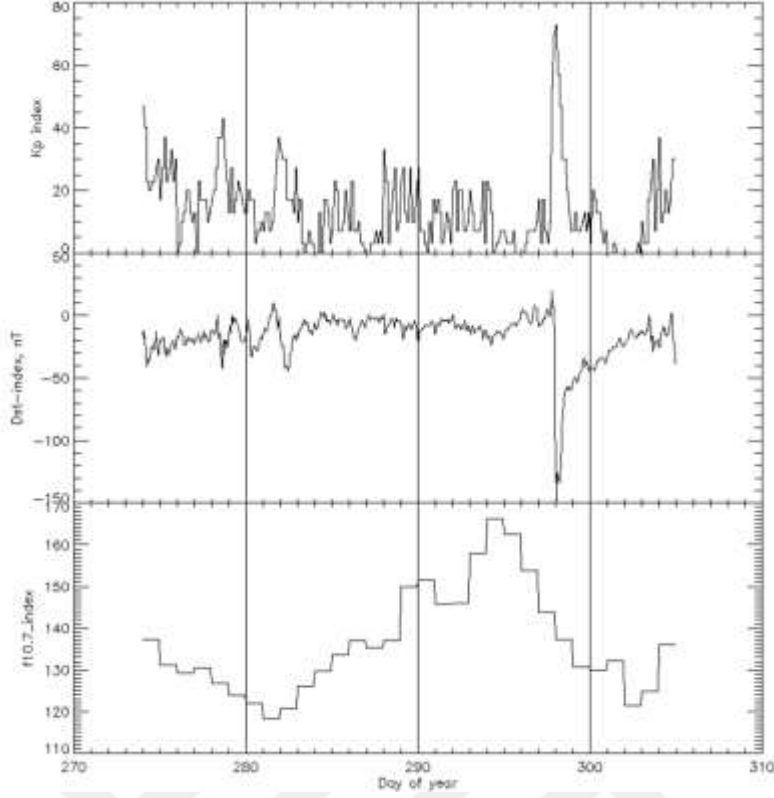
Şekil 5.11 SIRT İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği

Uşak (USAK) istasyonu için hesaplanan TEC değerleri ve bu değerler arasındaki korelasyon katsayısı; $r = 0.9950$ yüksek pozitif ilişkilidir. 20-26 Ekim 2011 tarihlerini kapsayan haftalık grafik Şekil 5.12'de sunulmuştur.



Şekil 5.12 USAK İstasyonu 20-26 Ekim 2011 tarihleri Arası TEC Dağılım Grafiği

Seçilen döneme ilişkin olarak jeomanyetik ve solar aktivite hakkında bilgi veren K_p , Dst ve $F10.7$ cm indisleri (Şekil 5.13) incelenmiştir.



Şekil 5.13 2011 Yılı Ekim Ayına Ait K_p , Dst ve F10.7cm indisleri grafiği (URL-4)

F10.7cm indis değerleri irdelendiğinde; yılın 293, 294, 295 ve 296'ncı günlerinde güçlü şiddette solar aktivite meydana geldiğini göstermektedir. Diğer yandan söz konusu günlerde iyonosfer tabakası jeomanyetik koşullar açısından oldukça sakin. 297, 298 ve 299'uncu günlerde orta şiddette solar aktivitenin meydana geldiği gözlenmektedir. Bu günlerden 297 ve 299'uncu günlerde iyonosfer tabakası jeomanyetik koşullar açısından oldukça sakin, 298'inci günde şiddetli derecede jeomanyetik aktivite meydana gelmiştir.

TUSAGA-Aktif Sistemine ait olan ve birbirinden farklı bölgelerde seçilmiş 11 adet istasyonun IONOLAB-TEC Yöntemi ve Global İyonosfer Modeli ile 2 saat zamansal çözünürlükte hesaplanmış TEC değerlerinden üretilen grafikler incelendiğinde, her iki yöntemden de elde edilen TEC değerlerinin birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, HGK'nın TKGM ile birlikte işletmekte olduğu TUSAGA-Aktif sistemine dahil Marmara, Ege, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde bulunan toplam 11 istasyon için 20-26 Ekim 2011 tarihleri arasındaki verileri kullanılarak iyonosfer modelleme yöntemleri; IONOLAB-TEC Yöntemi ve Global İyonosfer Modelden elde edilen TEC değerleri hesaplanmış ve çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Hacettepe Üniversitesi ile Bilkent Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümleri öğretim üyelerince kurulmuş olan IONOLAB Araştırma Grubu tarafından geliştirilen IONOLAB-TEC yöntemi kullanılarak, Ağrı (AGRD), Aydın (AYD1), Balıkesir (BALK), Çeşme (CESM), Hakkari (HAKK), Iğdır (IGIR), Kırkağaç (KİKA), Malazgirt (MALZ), Muradiye (MURA), Siirt (SIRT) ve Uşak (USAK) istasyonlarından elde edilen RINEX (Receiver Independent Exchange Format) verilerinden TEC değerleri hesaplanmıştır.

Söz konusu 11 istasyonun hassas koordinat değerlerine göre Global İyonosfer Model kullanılarak 2 saatlik zamansal çözünürlüğe sahip TEC değerleri de hesaplanmıştır.

IONOLAB-TEC yazılımı ile elde edilen TEC değerleri ile Global İyonosfer Modelden elde edilen TEC değerlerinin karşılaştırılmasında, her bir istasyon için elde edilen TEC değerleri arasında çok yüksek, pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir.

Bu karşılaştırma IONOLAB-TEC değerlerinin Global İyonosfer Modelden elde edilen TEC değerlerine göre güvenilirliğini bir kez daha göstermiştir. Fakat, IONOLAB-TEC yöntemi kullanılarak elde edilen TEC değerlerinin doğruluğu kullanılan GNSS istasyonlarında üretilen verilerin kalitesi ve kesintisiz olmasıyla doğru orantılıdır.



KAYNAKLAR

- Anderson D and Fuller Rowell T** (1999) The Ionosphere. *Space Environment Center, SE-14*
- Aslan N** (2004) GPS ile İyonosfer Toplam Elektron Yoğunluğu Değişimlerinin Koordinatlara Etkisinin Araştırılması. *Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Anabilim Dalı, İstanbul, 140 s.*
- Arıkan F, Erol C B and Arıkan O** (2003) Regularized Estimation Of Vertical Total Electron Content From Global Positioning System Data. *Journal of Geophysical Research.* 118, 1469-1480.
- Arıkan F, Erol C B and Arıkan O** (2004) Regularized Estimation of Vertical Total Electron Content from GPS Data for a Desired Time Period. *Radio Science*, 39:RS6012.
- Arıkan F, Arıkan O and Erol C B** (2007) Regularized estimation of TEC from GPS data for certain midlatitude stations ve comparison with IRI model Cospar. *Advances In Space Research*, ISSN: 0273-1177, Vol.39.
- Arıkan F, Arıkan O, Toker C, Sezen U, Lenk O, Kurt M, Kılıçoğlu A, Aktuğ B, Cingöz A, Aysezen M Ş, Erkan Y, Özdemir S ve Peker S** (2012) Bölgesel Otomatik TEİ Haritalaması ve Sürekli Gözlenmesi Bilimsel Raporu.
- Arıkan F, Nayir H, Sezen U and Arıkan O** (2008) Estimation of Single Station Interfrequency Receiver Bias Using GPS-TEC. *Radio Science*, Vol. 43, RS4004.
- Aysezen M Ş** (2008) Türkiye İçin Ionolab-Tec Kullanılarak GPS Tabanlı TEİ Ve Alıcı Yanlılığı Veri Tabanı Hazırlanması. *Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 92 s.*
- Aysezen M Ş, Açıkgöz M, Arıkan F, Aktuğ B ve Lenk O** (2008) Sabit GPS İstasyonu ve GPS Kampanya Verilerini Kullanarak Lokal İyonosfer Modeli Oluşturulması. *IV. Uluslararası Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*, 25-28 Mart 2008, İstanbul, Bildiriler Kitabı, s.197-208.
- Aysezen M Ş, Cingöz A, Aktuğ B ve Lenk O** (2009) Sürekli Gözlem Yapan GPS İstasyonları Ağı ve Ulusal Datum Dönüşümü Projesi (TUSAGA-AKTİF). *2'nci Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu*, 30 Nisan – 1 Mayıs 2009, Ankara, s.89-95.
- Başpınar S** (2012) CORS-TR Verileriyle İyonosfer Modellerinin İncelenmesi. *Doktora Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Anabilim Dalı, İstanbul, 277 s.*

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Davies K** (1969) *Ionospheric Radio Waves*. Blaisdell Pub. Co. Colorado. 460 s.
- Eren K ve Uzel T** (2008) *Ulusal CORS Sisteminin Kurulması ve Datum Dönüşüm Projesi*, İstanbul Kültür Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 180 s.
- Erol C B and Arıkan F** (2005) Statistical Characterization of the Ionosphere Using GPS Signals. *Journal of Electromagnetic Waves and Appl.*, 19 (3): 373-387.
- Georgiadou P Y and Kleusberg A** (1988) On the Effect of Ionospheric delay on Geodetic relative GPS positioning. *Manuscripta Geodetica*, 13:1-8.
- Heo Y, Yan T, Lim S and Rizos C** (2009) International standard GNSS real-time data formats and protocols. *IGNSS Symposium, 01-03 aralık 2009*, Queensland, Avustralya.
- Hunsucker R D and Hargreaves J K** (2003) The High-Latitude Ionosphere ve Its Effects on Radio Propagation, *Cambridge University Press*, Cambridge, 617s.
- Inyurt S** (2015) İyonosferdeki Toplam Elektron Miktarı (TEC) Ve Kod Yanlılık Değerlerinin (DCB) GNSS Ölçümleriyle Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 84 s.
- Inyurt S, Mekik C and Yıldırım O** (2016) Investigation of TEC Variation Induced by Geomagnetic Activity. *GEOMED 2016 Proceedings of 4th International Geography Symposium*, 23-26 Mayıs 2016, Antalya, Türkiye 1104-1108.
- Inyurt S, Yıldırım O and Mekik C** (2017) Comparison between IRI-2012 and GPS-TEC observations over the western Black Sea. *Annales Geophysica*, 35:817-824 pp.
- Karpachev A T** (2003) Dependence of MIT Form On Longitude, Height, Season, Local Time, Solar And Magnetic Activity. *Geomagnetism and Aeronomy*, 43:256-269.
- Komjathy A** (1997) Global Ionospheric Total Electron Content Mapping Using the Global Positioning System. *Ph.D. Thesis*, University of New Brunswick, Department of Geodesy and Geomatics Engineering Technical, Fredericton, New Brunswick, Kanada, 248 s.
- Langley R B and Komjathy A** (1996) High Precision Ionospheric Total Elektron Count Mapping Using the Navstar Global Positioning System. *AGU Western Pacific Geophysics Meeting*, 23-27 Temmuz 1996, Brisbane, Australia.
- Langley R B** (2002) Monitoring the Ionosphere and Neutral Atmosphere with GPS. *Division of Atmospheric and Space Physics Workshop*. 21-23 Şubat 2002, Fredericton, Kanada, 40 s. ppt.
- Lee Y T and Lin L S** (2010) Investigation of Constructing Regional Ionospheric Model Using Artificial Neural Network, *2010 International Symposium on GPS/GNSS* 26-28 Ekim 2010, Taiwan, 451-456.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Leick A** (1990) *GPS Satellite Surveying*. John Willey&Sons Inc., Newyork, 398 s.
- Liao X** (2000) Carrier Phase Based Ionosphere Recovery Over a Regional Area GPS Network. *Master Thesis*, The University of Calgary, Department of Geomatics Engineering, Galgary, Alberta, 131 pp.
- Mekik C, Yıldırım O and Bakıcı S** (2011) The Turkish RTK CORS Network (TUSAGA-Aktif) Infrastructure. *Scientific Research and Essays*, 6(19): 3986-3999.
- Mekik C, Yıldırım O and Bakıcı S** (2011) An Overview on RTK Network of Turkish Republic (TUSAGA-Aktif). *International Global Navigation Satellite Systems (IGNSS) Session 8A-CORS: Regional to Global*, 15-17 Kasım 2011, Sydney, (CD-Rom), Avustralya.
- Misra P and Enge P** (2006) *Global Positioning System Signals, Measurements and Performance*. Second Edition, ISBN 0-9709544-1-7 Ganga-Jamuna Press, Lincoln, Massachusetts, 572 pp.
- Nayir H** (2006) KKS Sinyalleri Kullanılarak İyonosferdeki Toplam Elektron İçeriği (TEİ) Kestirimi Çalışmaları, Hacettepe Üniversitesi Elektronik Mühendisliği, 10 Şubat 2006
- Nayir H** (2007) Yerküresel Konumlama Sistemi İşaretleri Kullanılarak İyonosfer Toplam Elektron İçeriği Kestirimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-.Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 107 s.
- Nayir H, Arıkan F, Arıkan O and Erol C B** (2007) Total Electron Content estimation with Reg-Est, *Journal Of Geophysical Research*, VOL. 112, A11313.
- Otsuka Y, Ogawa T, Saito A, Tsugawa T, Fukao S and Miyazaki S** (2002) A new technique for mapping of total electron content using GPS network in Japan. *Earth Planets Space*, 54:63-70.
- Parkinson B W and Spilker J J** (1996) *Global Positioning Systems: Theory and Applications, Vol.1*, Volume 163, ISBN: 1-56347-106-X, The American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc., Danvers, Massachusetts, 793 pp.
- Poole I** (2002) Understanding Solar Indices. *QST ARRL's Monthly Journal*, September 2002:38-40.
- Ratcliffe J A** (1970) *Sun, Earth and Radio*. World University Library, ISBN: 0303178949, Littlehampton Book Services Ltd, Worthing, England, 256 pp.
- RTCM** (2006) *RTCM Standard 10403.1 for Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Services*. Version 3.0, Radio Technical Commission for Marine Services, Arlington, Virginia, 98 pp.
- Rush C, Fox M, Bilitza D, Davies K, McNamara L, Stewart F and PoKempner M** (1989) Ionospheric mapping-an update of foF2 coefficients. *Telecommunication Journal*, 56(3):179-182.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Sayın I** (2008) Krigging ve Rassal Alan Öncülü ile Toplam Elektron İçeriği Haritalaması. *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 153 s.
- Schaer S, Beutler G, Mervart L, Rotbacher M and Wild U** (1995) Global and Regional Ionosphere Model Using the GPS Double Difference Phase Observable. *Proceeding of IGS Workshop on Special Topics and New Directions*, 15-17 Mayıs 1995, Postdam, Germany.
- Schaer S** (1999) *Mapping and Predicting the Earth's Ionosphere Using the Global Positioning System*. 1st edition, ISBN: 3908440017, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Eidg. Technische Hochschule, Zürich, 205 s.
- Seeber G** (2003) *Satellite Geodesy*. 2nd edition, ISBN: 3-11-017549-5, Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, Berlin, 589 pp.
- Sümer Y F** (2004) Yapay Sinir Ağı Modeli ile İyonosferik Kritik Frekans Tahmini. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzay Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 88 s.
- Tulunay Y, Tulunay E and Şenalp E T** (2001) An attempt to model the influence of the trough on HF communication by using neural networks. *Radio Science*, 36, 1027-1041.
- URL-1** <<http://www.swpc.noaa.gov/products/notifications-timeline#>> Ziyaret tarihi: 29.03.2018.
- URL-2** <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/201803/index.html> Ziyaret tarihi: 29.03.2018.
- URL-3** <<http://www.bernese.unibe.ch/download/CODE>> Ziyaret tarihi: 15.04.2017.
- URL-4** <<https://www.omniweb.gsfc.nasa.gov/cgi/nx1.cgi/>> Ziyaret tarihi: 13.11.2017.
- URL-5** <<http://www.ionolab.org/index.php?page=ionosphere&language=tr/>> Ziyaret tarihi: 12.02.2017
- Vollath U, Deking A, Landau H, Pagels C and Wagner B** (2000) MultiBase RTK Positioning using Virtual Reference Stations. *Proceedings of the 13th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, 19-22 Eylül 2000, Salt Lake City, Utah, USA, 123-131.
- Vollath U, Deking A, Landau H and Pagels C** (2001) Long Range RTK Positioning using Virtual Reference Stations, *Proceedings of the International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation*, 05-08 Haziran 2001, Banff, Canada, 470-474.
- Wanninger L** (1999) The Performance of Virtual Reference Stations in Active Geodetic GPS Networks Under Solar Maksimum Conditions. *Proceedings of ION-GPS 99*, 14-17 Eylül 1999, Nashville, USA, 1419-1427.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Wild U** (1994) *Ionosphere ve Geodetic Satellite Systems: Permanent GPS Tracking Data for Modelling ve Monitoring*. Institut für Geodasie und Photogrammetrie Eidg. Technische Hochschule Geodatisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Zürich, İsviçre, Band 48, 168 pp.
- Wübbena G, Bagge A and Schmitz M** (2001) Network-Based Techniques for RTK Applications. *GPS Symposium GPS JIN 2001*, 14-16 Kasım 2001, Tokyo, Japan, 14 s.
- Wübbena G, Schmitz M and Bagge A** (2004) GNSMART Irregularity Readings for Distance Dependent Errors. *Geo++ Gesellschaft für satellitengestützte geodätische und navigatorische Technologien*, D30827, Garbsen, Germany, 6 pp.
- Wübbena G, Schmitz M and Bagge A** (2006) Real-Time GNSS Data Transmission Standard RTCM 3.0. *Invited Presentation at IGS Workshop 2006 Perspective and Vision for 2010 and Beyond*, 08-12 Mayıs 2006, Darmstadt, Germany, 26 pp.
- Yasa Z** (1987) İyonosfer Yeryüzü Geçidinde Çok Düşük Frekanslı Elektromanyetik Dalgaların Yayılması. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 63 s.



ÖZGEÇMİŞ

Selçuk PEKER, 1980 yılında Ankara’da doğdu. İlköğrenimini Alparslan İlkokulu’nda, orta ve lise öğrenimini Ankara Bahçelievler Deneme Lisesi’nde tamamladı. 1998 yılında İstanbul Yıldız Teknik Üniversitesi İngilizce hazırlık sınıfına, 1999 yılında ise Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümüne kayıt yaptırdı. Bu bölümden 2004 yılı Şubat ayında mezun oldu. Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim dalında başladığı yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Ahmet Taner KİŞLALI Mah. Oyak 6 Sitesi 5’inci Giriş, Çayyolu / Çankaya/ ANKARA

Tel: (532) 485 86 08

E-posta: selcuk-peker@hotmail.com