

**TÜRKİYE İÇİN İONOLAB-TEC KULLANILARAK
GPS TABANLI TEİ VE ALICI YANLILIĞI VERİ TABANI HAZIRLANMASI**

Melih Şükrü AYSEZEN

**Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

ZONGULDAK

Eylül 2008

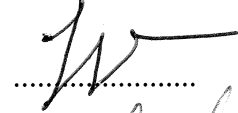
KABUL:

Melih Şükrü AYSEZEN tarafından hazırlanan "TÜRKİYE İÇİN İONOLAB-TEC KULLANILARAK GPS TABANLI TEİ VE ALICI YANLILIĞI VERİ TABANI HAZIRLANMASI" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 26/09/2008

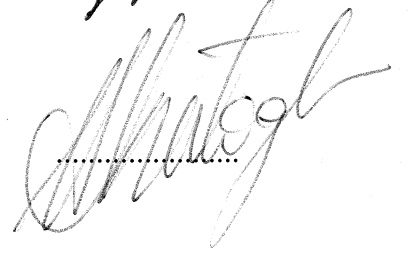
Başkan: Yrd. Doç.Dr. Çetin MEKİK (ZKÜ)



Üye : Prof.Dr. Feza ARIKAN (HÜ)



Üye : Doç.Dr.Şenol Hakan KUTOĞLU(ZKÜ)



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./..../2008



Doç Dr. Kemal BÜYÜKGÜZEL
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.”



Melih Şükrü AYSEZEN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TÜRKİYE İÇİN IONOLAB-TEC KULLANILARAK GPS TABANLI TEİ VE ALICI YANLILĞI VERİ TABANI HAZIRLANMASI

Melih Şükrü AYSEZEN

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr.Çetin MEKİK

Tez Eş Danışmanı: Prof.Dr.Feza ARIKAN

Eylül 2008, 73 sayfa

İyonosfer, uydu tabanlı konum belirleme, kısa dalga haberleşme ve iletişim sistemlerinin kullandığı sinyaller üzerinde önemli etkileri olan bir atmosfer tabakasıdır. GPS (Global Konum Belirleme Sistemi) uydularından gönderilen sinyaller atmosferi geçerek yeryüzündeki GPS alıcılara ulaşırken, sinyal yolu boyunca önce iyonosferden sonra troposferden geçmektedir. GPS sinyalleri bu tabakalardan geçerken değişik etkilere maruz kalmaktadır. İyonosferin yapısını ifade etmede kullanılan parametrelerden biriside Toplam Elektron İçeriğidir (TEİ). Bu tez kapsamında Hacettepe Üniversitesi Ionolab tarafından geliştirilen IONOLAB-TEC ile Türkiye de mevcut sabit GPS istasyonları için yerel TEİ değeri hesaplaması yapılmıştır. Aynı gün ve istasyonlar için BERN / İsviçre tarafından geliştirilen Bernese yazılımı ile de TEİ hesaplaması yapılmıştır. TEİ hesaplamasının önemli bir bilinmeyen olan alıcı yanlılık değeri de yine Türkiye'deki IGS'e dahil olmayan sabit GPS istasyonları için hesaplanmıştır. Hacettepe Üniversitesi IONOLAB tarafından geliştirilen IONOLAB-TEC yöntemi, hem kullanım kolaylığı hem de çözünürlüğünün yüksek olması

ÖZET (devam ediyor)

sebebiyle Türkiye TEİ ve alıcı yanlılık veri tabanının oluşturulmasında tercih edilmiştir. Hesaplanan alıcı yanlılık değerleri için oluşturulan veri tabanı kayan ortanca süzgeç süzgecinden geçirilmiş ve karesel ortalama hatanın minimum olduğu değerler için eğilim grafiği çıkarılmıştır. Alıcı yanlılık değeri hesaplanmayan Türkiye'deki istasyonlar için ilk kez böyle bir çalışma yapılmıştır. Oluşturulan veri tabanı sayesinde gelecekte anlık iyonosfer modellemesinin önemli bir altlığı da ortaya çıkmıştır.

Anahtar Sözcükler: İyonosfer, GPS, TEİ, Jeodezi.

Bilim Kodu: 616.01.03

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

PREPARATION OF GPS BASED TEC AND RECEIVER BIAS DATABASE FOR TURKEY USING IONOLAB-TEC

Melih Şükrü AYSEZEN

**Zonguldak Karaelmas University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geodesy and Photogrammetry Engineering**

Thesis Supervisor: Asst.Dr.Çetin MEKİK

Thesis Co-Supervisor: Prof.Dr.Feza ARIKAN

September 2008, 73 pages

Ionosphere is an atmospheric layer which has important effects on signals of Global Positioning, HF (High Frequency) and communication systems satellites. Signals of GPS satellites pass through ionosphere layer and troposphere layers to arrive a GPS receiver on earth. GPS signals are affected by these layers when signals are passing through them. In this thesis, Total Electron Content (TEC) values for Continuously Reference GPS Station in Turkey are computed using IONOLAB-TEC developed by Ionolab group is used to compute receiver bias . For the same stations and same days TEC computations are also realized using Bernese software developed by University of Bern. Receiver bias value, an important parameter for TEC computation, is also computed for fixed GPS stations which are not part of IGS in Turkey. IONOLAB-BIAS technique developed by IONOLAB group is used to compute receiver bias. The trend in receiver bias in database is derived using a sliding window median filter. The preparation of TEC and receiver bias database in Turkey is novel contribution.

ABSTRACT (continued)

The database prepared as a result of this work will provide an important base for future real-time ionosphere modeling and high resolution 2-D and 3-D imaging.

Key Words: Ionosphere, GPS, TEC, Geodesy

Science Code: 616.01.03

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında değerli fikirleri ve kazandırdıkları yüksek mühendislik nosyonundan ötürü danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr.Çetin MEKİK(ZKÜ)'e, tez eş danışmanım Sayın Prof.Dr.Feza ARIKAN (HÜ)'a ve anlayışından dolayı jüri üyesi Sayın Doç.Dr.Şenol Hakan KUTOĞLU(ZKÜ)'na teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimi almam konusunda beni teşvik eden Murat ARSLANOĞLU'na, işyerimde göstermiş oldukları anlayış ve desteklerinden ötürü Yasin ERKAN'a, Çağlar YILDIRMIŞ'a, ve Jeodezi Dairesi Başkanlığına teşekkür ederim

Beni her zaman destekleyen eşim Hamdiye AYSEZEN'e ve aileme 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 GPS ÖLÇÜM YÖNTEMİ	7
2.1 GPS SİNYALİNİN YAPISI.....	8
2.2 ÖLÇÜM YÖNTEMİ.....	9
2.2.1 Kod Gözlemleri ile Ölçüm	9
2.2.2 Faz Gözlemleri İle Ölçüm	10
2.3 DOĞRUSAL BİRLEŞİMLER	11
2.3.1 Geometriden Bağımsız Doğrusal Birleşim.....	11
2.3.2 İyonosferden Bağımsız Doğrusal Birleşimi	13
2.4 TAMSAYI BELİRSİZLİĞİNİN ELDE EDİLMESİ.....	14
2.4.1 IONOLAB-TEC Yönteminde Tamsayı Belirsizliğinin Giderilmesi	14
2.4.2 Bernese Programında Tam Sayı Belirsizliği Çözümü	14
BÖLÜM 3 İYONOSFERİN YAPISI VE GPS SİNYALLERİNE ETKİSİ.....	17
3.1 İYONOSFERİN COĞRAFİK ÖZELLİKLERİ	17
3.2 İYONOSFERDEKİ DÜZENSİZ DEĞİŞİMLERİ GÖSTEREN İNDİSLER.....	18

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.2.1 K_p İndisi	19
3.2.2 Dst İndisi	19
3.3 İYONOSFERİN GPS SİNYALLERİNE ETKİSİ.....	20
BÖLÜM 4 TEİ HESAPLAMA YÖNTEMLERİ.....	25
4.1 D-TEİ YÖNTEMİ	25
4.2 BERNESE YAZILIMINDA YEREL TEİ HESAPLAMA	29
4.3 JPL-GIM VERİSİNDEN YEREL TEİ HESAPLAMASI	31
BÖLÜM 5 ALICI YANLILIK KAVRAMI VE HESAPLAMA YÖNTEMLERİ.....	33
5.1 KOD ÖLÇÜMLERİ DOĞRUSAL BİRLEŞİMİ (IONOLAB-BIAS)	34
BÖLÜM 6 TEİ ve ALICI YANLILIĞI VERİ TABANI OLUŞTURULMASI.....	37
BÖLÜM 7 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Tek Tabaka Modeli.....	12
2.2 İkili fark gözlemi.....	15
3.1 Ocak 2007 dönemine ilişkin Dst indis grafiği	20
3.2 1-15 Ocak 2007 dönemine ilişkin Kp indis grafiği	20
3.3 Toplam Elektron İçeriği'nin grafiksel gösterimi.....	23
4.1 Bernese 5.0 yazılımı yerel iyonosfer modeli örnek çıktısı.	30
4.2 İki değişkenli enterpolasyon.	32
6.1 Hesaplamalarda kullanılan Türkiye üzerindeki Sabit GPS İstasyonları.....	38
6.2 ANKR istasyonu IONOLAB-TEC Zaman grafiği 2005-2007 yılları.	38
6.3 TRAB istasyonu IONOLAB-TEC Zaman grafiği 2005-2007 yılları.....	39
6.4 TUBİ istasyonu IONOLAB-TEC Zaman grafiği 2005-2007 yılları.	39
6.5 ANKR istasyonu alıcı yanlılık değeri süzgeç fonksiyonu.	40
6.6 ANKR istasyonu alıcı yanlılık zaman grafiği 2005-2007 yılları.	41
6.7 TRAB istasyonu alıcı yanlılık değeri süzgeç fonksiyonu.....	41
6.8 TRAB istasyonu alıcı yanlılık zaman grafiği 2005-2007 yılları.....	42
6.9 TUBİ istasyonu alıcı yanlılık değeri süzgeç fonksiyonu.	42
6.10 TUBİ istasyonu alıcı yanlılık zaman grafiği 2005-2007 yılları.	43
6.11 MERS istasyonu alıcı yanlılık değeri süzgeç fonksiyonu.	43
6.12 MERS istasyonu alıcı yanlılık zaman grafiği 2005-2007 yılları.....	44
6.13 ANKR İstasyonu 27 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.	45
6.14 HRRN İstasyonu 27 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	46
6.15 TUBİ İstasyonu 27 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.	46
6.16 ANKR İstasyonu 28 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.	47
6.17 HRRN İstasyonu 28 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	47
6.18 TRAB İstasyonu 28 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	48
6.19 TUBİ İstasyonu 28 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.	48
6.21 HRRN İstasyonu 29 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	49
6.22 MERS İstasyonu 29 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	50

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
6.23 TRAB İstasyonu 29 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	50
6.24 TUBİ İstasyonu 29 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.	51
6.25 ANKR İstasyonu 30 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.	51
6.26 HRRN İstasyonu 30 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	52
6.27 MERS İstasyonu 30 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	52
6.28 TRAB İstasyonu 30 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.	53
6.29 ANKR İstasyonu 31 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.	53
6.30 MERS İstasyonu 31 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	54
6.31 TUBİ İstasyonu 31 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.	54
6.32 ANKR İstasyonu 01 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	55
6.33 HRRN İstasyonu 01 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	55
6.34 TRAB İstasyonu 01 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.	56
6.35 TUBİ İstasyonu 01 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	56
6.36 ANKR İstasyonu 02 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	57
6.37 HRRN İstasyonu 02 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	57
6.38 MERS İstasyonu 02 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.	58
6.39 TRAB İstasyonu 02 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.	58
6.40 TUBİ İstasyonu 02 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	59
6.41 ANKR İstasyonu 03 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	59
6.42 HRRN İstasyonu 03 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	60
6.43 TUBİ İstasyonu 03 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	60
6.44 ANKR İstasyonu 04 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	61
6-45 HRRN İstasyonu 04 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	61
6.46 ANKR İstasyonu 05 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	62
6.47 HRRN İstasyonu 05 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.....	62
6.48 MERS İstasyonu 05 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.	63
6.49 16-31 Ekim 2007 dönemine ilişkin K_p indisi.	64
6.50 1-15 Kasım 2007 dönemine ilişkin K_p indisi	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Uydu sinyallerinin bölümleri.....	8
2.2 Doğrusal Birleşimlerin gösterimi.....	11
3.1 Manyetik fırtına seviyeleri.....	19
4.1 IONEX dosyası örneği.	31
6.1 Hesaplamalarda kullanılan Sabit GPS İstasyonları Bilgi Tablosu.....	37
6.2 Seçilen istasyon ve günlere ait hesaplanan Alıcı Yanlılık değerleri.	63
6.3 27 Ekim – 05 Kasım 2007 dönemine ilişkin Dst değerleri.....	64

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	:	Doğrunun eğimini
A_{nm}, B_{nm}	:	Küresel harmonik katsayıları
a_{ht}	:	Yükseklik düzeltmesi için katsayılar
B	:	Noktanın yüksekliğinden dolayı tablodan alınacak katsayı
B	:	Dünyanın manyetik alanının akı yoğunluğunu (Tesla),
c	:	Işığın boşluktaki hızı
C/A	:	Course Acquisition
\tilde{C}_{nm} ve $\tilde{\xi}_{nm}$:	Küresel harmoniğin bilinmeyen katsayıları
$corr_{ht}$:	Yükseklik düzeltmesi
$d_{ion1,u}^m, d_{ion2,u}^m$:	İyonosferden kaynaklanan grup gecikmesi
$d_{trop1,u}^m, d_{trop2,u}^m$:	Troposferden kaynaklanan grup gecikmesi
e	:	Elektron yükünü ($1,602 \times 10^{-31}$),
E	:	Uydu yükseklik açısı (derece)
$E_v(\beta, s)$:	Düşey toplam elektron içeriği
E_v	:	Düşey elektron yoğunluğu
E_{nm}	:	Bilinmeyen katsayılar
f	:	Frekans
F_1	:	Tek tabaka izdüşüm fonksiyonu
g	:	Yerçekimi ivmesidir (m/s^2)
h	:	Noktanın jeoid'ten olan yüksekliği (km)
H	:	Yeryuvarı yüzeyinden tek tabakaya olan uzaklığı
$H_k(\omega_c)$:	Süzgeç fonksiyonu
I_{kl}^{ij}	:	İyonosferik gecikme düzeltmesi
m	:	Uydu numarası
ms	:	Milisaniye
k_3, k_2	:	Atmosferik kırılma katsayıları (sırasıyla; $0.037 \times 10^5 \text{ K}^2/\text{Pa}$ ve $0.22 \text{ K}/\text{Pa}$)
$L1,2$:	GPS taşıyıcı dalga boyları (1575,42 MHz, 1227,60 MHz)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

m_e	:	Elektron kütlesi
n	:	Kırılma indisi
N	:	Kırıcılık
N	:	0'dan farklı toplam ölçüm sayısı
N_e	:	Elektron yoğunluğunu (e/m^3)
N_{nm}	:	Normleştirme fonksiyonu
N_1^m ve N_2^m	:	m uydusundan alınan sinyaldeki ilk faz belirsizliği
n_p	:	Kırılma indisi
$p(mm)$:	Ağırlık (mm)
P	:	Precise
P_{nm}	:	Legendre fonksiyonu katsayısı
$P_{1,u}^m$ ve $P_{2,u}^m$:	Alıcı yanlılığı
R	:	Yeryuvarının ortalama yarıçapı
T	:	Zaman
T_s	:	Uydudan çıkış zamanı
T_m	:	Ortalama sıcaklık
u	:	Alıcı numarası
v	:	Elektromanyetik dalganın ortamdaki hızı
w	:	Ağırlık fonksiyonu
\mathbf{w}	:	Ağırlık vektörü
z	:	Zenit Açısı
α	:	Ölçümlerden gelen artık hata
β	:	Enlem
(β_0, s_0)	:	Seçilen bölgeyi ortalama olarak temsil eden ve açılım merkezinin koordinatları
s	:	Güneş sabit boylamı
φ	:	GPS noktasının enlemi
δL	:	Uydu zenit açısına ve nokta yüksekliğine bağlı olarak tablodan alınacak olan düzeltme değeri (metre)
λ	:	Noktanın boylamı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

ΔS_{ion}^z	:	Zenit yönündeki toplam iyonosferik etki (metre)
$\Delta t^m, \Delta_u$:	Uydu ve alıcı saat hataları
$\Phi_{ion 1, u}^m, \Phi_{ion 2, u}^m$:	İyonosferden kaynaklanan faz gecikmesi
$\Phi_{trop 1, u}^m, \Phi_{trop 2, u}^m$:	Troposferden kaynaklanan faz gecikmesi
$\Phi_{1, u}^m, \Phi_{2, u}^m$:	Alıcının kaydettiği faz değeri
μ	:	Düzgünleştirme katsayısı
ρ'	:	Uydu ile alıcı arasındaki uzaklık
σ_1^2	:	Önsel değişinti
ϵ_0 ,	:	Serbest uzaydaki dielektrik sabitini ($9,107 \times 10^{-31}$ kg)
θ	:	Gelen dalganın ilerleme yönü ile manyetik alan arasındaki açı

KISALTMALAR DİZİNİ

AIUB	:	Astronomisches Institute Universty of Bern
CODE	:	Center of Orbit Determination Europe
COSPAR	:	Committee on Space Research
ESA	:	European Space Agency
GIM	:	Global Ionosphere Maps
GPS	:	Global Positioning System
GS	:	Greenwich Saati
HGK	:	Harita Genel Komutanlığı
HÜ	:	Hacettepe Üniversitesi
IGS	:	International GPS Service
IDCE	:	Ionospheric Dispatch Center
IONEX	:	Ionosphere Map Exchange Format
JPL	:	Jet Propulsion Laboratory
NGDC	:	National Geophysical Data Center
NOAA	:	National Oceanic ve Atmospheric Administration
QIF	:	Quasi Ionosphere Free

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

RINEX	:	Receiver Independent Exchange Format
SCORE	:	Self-Calibration of Pseudorange Errors
SLIM	:	Single Layer Ionosphere Model (Tek Katman _Iyonosfer Modeli)
SSN	:	Sun Spot Number (Güneş Lekesi Sayısı)
STEC	:	Slant Ray Total Electron Content
TEC	:	Total Electron Content
TEİ	:	Toplam Elektron İçeriği
VTEC	:	Vertical Total Electron Content
DST	:	Disturbance Storm Time

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İyonosfer yeryüzünden 60 km ile 1100 km arasında kalan yükseklik bölgesinde yer alan ve güneş ışımalarının etkisiyle iyonize olmuş gazlardan oluşan bir atmosfer tabakasıdır. İyonosferdeki elektron yoğunluğu gece/gündüz, mevsimsel, coğrafi konum ve güneşte meydana gelen manyetik fırtınalar gibi etkenlerin tümünden etkilenecek şekilde değişir. Güneş ışınımı ile elektronlarından ayrılıp serbest hale geçen elektronlar gün içerisinde yerel saatle 1200 – 1400 arasında en yoğun değerine ulaşır. Geceleri ise elektronlar iyonlar ile birleştiğinden iyonlaşma azalır. İyonosferdeki mevsimsel elektron yoğunluğu değişimleri dünya ile güneş arasındaki açı ve mesafe değişimlerinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte 11 yıllık güneş çevriminin de iyonosferdeki elektron yoğunluğu üzerinde etkisi bulunmaktadır (Komjathy 1997). İyonosferin durumunu ifade etmek için kullanılan parametrelerden biri Toplam Elektron İçeriği (TEİ)'dir. TEİ 1 m^2 tabanlı silindirik içerisindeki toplam elektron sayısı olarak ifade edilir ve birimi TECU'dur. $1 \text{ TECU}, 10^{16} \text{ el/ m}^2$ 'dir (Schaer 1999).

Uydu tabanlı konum belirlemede ve sivil/askeri kısa dalga iletişimde iyonosferin önemli etkileri olmaktadır. İyonosferin kırılma indisi frekans, zaman, konum ve yükseklikle değişen karmaşık bir fonksiyondur. GPS uydusu sinyalleri üzerinde iyonosfer tabakası, kod ölçülerini geciktirici, faz ölçülerini ise hızlandırıcı bir etki gösterir. Bu nedenle bu etkinin hesaplanması ve hassas konumlama hesaplamalarına dahil edilmesi gerekir.

İyonosferin yapısını ifade etmede kullanılan TEİ parametresinin kestirimi için yer tabanlı ve uydu tabanlı çeşitli teknikler uygulanmaktadır. İyonosonda, evreuyumsuz geri saçılım radarı, TOPEX/Poseidon uydusu, çift frekanslı GPS alıcıları TEİ 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 bulunmamasıyla birlikte oldukça da pahalı bir teknolojidir (Sayın 2008).

Dünya geneline yayılmış sürekli ölçüm yapan sabit GPS istasyonlarından çift frekanslı alıcıların ürettiği verilerle de TEİ hesaplaması yapılmaktadır. Uluslararası analiz merkezleri IGS (International GPS Service) GPS verileriyle ürettiği TEİ haritaları yayınlamaktadırlar. Global Ionospheric Maps (GIM) olarak adlandırılan bu TEİ kestirim ve ara değerlemeleri $2,5^{\circ} \times 5^{\circ}$ konum çözünürlüğünde ve 2 saat zaman çözünürlüğünde verilmektedir. GPS ölçüleri ile TEİ hesaplamasının diğer yöntemlere göre bazı avantajları bulunmaktadır. GPS sinyali tüm iyonosferin içinden geçerek alıcıya ulaşmaktadır. Ek bir yatırım maliyeti gerektirmemektedir ve sürekli ölçüm yapabilmektedir.

GPS ölçüleriyle konum belirleme hesaplamalarında IGS analiz merkezlerinin ürettiği TEİ değerleri kullanılmaktadır. Ancak uzun mesafelerde ve anlık konum belirlemede küresel olarak üretilen TEİ değerleri yeterli hassasiyeti sağlamamakta ve bu nedenle yerel TEİ değerinin hesaplanması ve ölçülere dahil edilmesi gerekmektedir (Aslan 2004).

GPS uydularından gönderilen sinyal iki farklı frekans üzerine modüle edilmiş kod ölçülerini içermektedir. Kod ölçülerini, faz ölçülerini yada her ikisini birden kullanarak TEİ hesabı yapmak mümkündür (Nayir 2007). İki frekans üzerinde modüle edilmiş kod ölçü değerleri kullanıldığında ölçümler gürültülü olmakta ve multipath (yansıma) etkisi yüksek olmaktadır. Faz ölçülerinde ise multipath etkisi azdır fakat ilk faz belirsizliğinin çözülmesi gerekmekte ve faz kopmalarına bağlı kesintiler olmaktadır (Arıkan vd. 2003).

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 TEİ (VTEC) değeri hesaplanır (Otsuka 2002).

Yerel TEİ parametresinin hesaplanması için sabit GPS istasyonunda kullanılan alıcının yanlılık değeri ve uydu yanlılık değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. IGS merkezlerinden olan JPL, CODE, UPC dünya üzerindeki bazı istasyonlar için alıcı yanlılık değerlerini genellikle aylık yayınlamakta bazı dönemlerde günlük bazda vermektedirler. Bu yanlılık değerlerinin hesaplanması ve hangi istasyonlar ve hangi günler için internetten verileceği adı geçen IGS merkezlerinin inisiyatifindedir. Alıcı yanlılık değeri modeline katılmadan hesaplanan TEİ değerleri ise asıl TEİ kestirim değerlerine göre çok önemli farklar içermektedir. IGS analiz merkezleri Türkiye’de kurulu bulunan istasyonlardan sadece ANKR

istasyonunun alıcı yanlılık değerini bazı süreler için hesaplamaktadır. Tek istasyon için herhangi bir günde alıcı yanlılık değeri kestirilmesi IONOLAB çalışma gurubu tarafından incelenmiş ve geliştirilen yöntem (Nayir 2007) ve (Arıkan vd. 2008)'de sunulmuştur. Küresel merkezlerden AIUB'nin (Astronomisches Institute Universty of Bern) yayınladığı yanlılık değerleri 1 aylık periyotlardadır. İstasyonlara ilişkin günlük alıcı yanlılık değerini yayınlanmamaktadır.

TEİ değerlerinin yerel hesaplanması için IGS merkezlerinin yayınladığı GIM (IONEX formatında) dışında bir yöntem bulunmamaktadır. Bernese yazılımı İsviçre Bern Üniversitesinde geliştirilmiş ve jeodezi uygulamalarında kullanılan bir paket programdır. Bernese yazılımı bir yan ürün olarak bölgesel TEİ modellemesi için küresel harmonik açılım tabanlı fonksiyonların katsayılarını ve alıcı yanlılık değerlerini hesaplayabilmektedir. Jeodezi açısından konum belirlemede çok güçlü olan bu program TEİ ve alıcı yanlılık hesaplaması için aynı hassasiyet ve güvenilirlikte çalışmamaktadır (Aysezen vd. 2008). Bernese yazılımı ile yerel TEİ ve alıcı yanlılığı hesaplaması için gün içinde hangi periyotta TEİ değeri hesaplanması isteniyorsa RINEX formatındaki 24 saatlik GPS verisinin o periyotta parçalara bölünmesi gerekmektedir (URL-1).

Uzayda ve zamanda güvenilir ve yüksek çözünürlüklü TEİ hesaplaması için yeni bir seçenek IONOLAB çalışma gurubu tarafından geliştirilmiştir (Arıkan vd. 2003, 2004, Nayir 2007, Nayir vd. 2007, Arıkan vd. 2007, 2008). F. Arıkan, C.B. Erol ve O. Arıkan tarafından geliştirilen TEİ hesaplama yöntemi Düzgünleştirilmiş TEİ (D-TEİ) bu konuda çok önemli bir aşama kaydedilmesini sağlamıştır (Arıkan vd. 2003). Bu yöntemle dünya üzerinde herhangi bir GPS alıcı istasyonu ve herhangi bir zaman dilimi için TEİ değerleri alıcının en alt başucu açısı olan 10^0 üzerindeki tüm uydularının verilerini kullanarak, ve her bir epok için 30 s zaman çözünürlüğünde Düzgünleştirilmiş En Küçük Kareler yöntemi ile hesaplanmaktadır. Görüş açısı içindeki tüm uyduları kullanan, 30 s zaman çözünürlüğünde ve gürbüz kestirim yapabilen Düzgünleştirilmiş En Küçük Kareler yöntemi ile hesaplanan TEİ değerleri (D-TEİ) uluslararası merkezlerin ve IRI'nın (IRI-TEC) incelenen istasyonlar ve zamanlar için hesapladığı TEİ değerleri ile karşılaştırılmış ve diğer hesaplamalara göre gürbüz, yüksek zaman ve konum çözünürlüğünde son derece başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür (Arıkan vd. 2003).

MSB Harita Genel Komutanlığının da katılımcı olarak yer aldığı “Elektron Dağılımının GPS Ölçüleriyle Bilgisayarlı Tomografik Görüntülenmesi” başlıklı TÜBİTAK EEEAG 105E171’olu projede D-TEİ yöntemi detaylı incelenip geliştirilmiş ve internet üzerinden otomatik TEİ hesaplanması için yeni bir yazılım hazırlanmıştır. IONOLAB-TEC, D-TEİ yöntemi ile hesaplanan TEİ değerleridir (Uğurlu vd. 2007).

Bu tez çalışması kapsamında Türkiye üzerindeki HGK’nın sorumlu olduğu ve IGS ağına bağlı olmayan 20 istasyon için, istasyonların aktif çalıştıkları sürelerde IONOLAB-TEC ve alıcı yanlılık değerleri hesaplanmış ve bu bilgiler bir veri tabanında toplanmıştır. Bu kapsamda, uzay ve zaman çözünürlüğünde bir çalışma Türkiye’de ilk kez yapılmaktadır. 105E171 nolu proje kapsamında geliştirilen iki ve üç boyutlu görüntüleme teknikleri Türkiye’deki istasyonlar için çalıştırılacak ve Türkiye üzerinde yüksek hassasiyet ve çözünürlükte iyonosfer görüntülemesi ve modellemesi ilk kez mümkün olacaktır.

Tezin ikinci bölümünde GPS sinyal ve ölçüm modeli tanıtılmış; üçüncü bölümünde ise iyonosfer yapısı ve GPS sinyalleri üzerindeki etkilerine yoğunlaşmıştır. Dördüncü bölümde ise bu tez kapsamında TEİ hesaplamasında uygulanan IONOLAB-TEC ve Bernese yazılımının yöntemleri anlatılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında, Hacettepe Üniversitesi IONOLAB tarafından geliştirilen IONOLAB-TEC tekniği ile üretilen TEİ değerleri, Bernese 5.0 yazılımından hesaplanan TEİ değerleri ve JPL’in (Jet Propulsion Laboratory) yayınladığı Global Ionospheric Map (GIM)’den elde edilen TEİ değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada test ağı olarak, Türkiye üzerinde olabildiğince homojen dağılımlı sabit GPS gözlem istasyonları belirlenmiştir. Bunlar, TRAB (Trabzon), HRRN (Harran/Urfa), MERS (Mersin), ANKR (Ankara), TUBI (TÜBİTAK/Gebze) sabit GPS istasyonları olup, hesaplama dönemi için bu istasyonların eş zamanlı çalıştığı 2007 yılının 300 ile 309’uncu GPS günleri arasındaki dönem seçilmiştir.

Gözlem istasyonlarına ait verilerden iki farklı yöntemle elde edilen TEİ değerleri ile JPL-GIM’den elde edilen TEİ değerleri arasındaki farklar incelenmiş, Bernese 5.0 ve JPL-GIM’den üretilen değerlerin birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Daha önce Arıkan vd. (2004, 2007) tarafından yapılan çalışmalarda da küresel merkezlerin ürettiği TEİ değerlerine göre üstünlüğü sunulan D-TEİ yöntemi, kullanım kolaylığı, zaman çözünürlüğü ve ürettiği değerlerin hassasiyetinin yüksek olması sebebiyle, Türkiye’deki sabit istasyonların TEİ veri tabanının oluşturulmasında tercih edilmiştir.

Test istasyonlarından ANKR, TRAB ve TUBİ'nin 2005, 2006 ve 2007 yılı verileri işlenmiş ve elde edilen TEİ değerleri birleştirilmiştir. Grafiklerde TEİ değerinde meydana gelen mevsimsel değişimler net olarak görülmektedir. Seçilen istasyonlarda 2005, 2006, 2007 yılı verileri kullanılarak alıcı yanlılık değerleri de hesaplanmıştır. Daha önce hiç alıcı yanlılık değeri hesaplanmayan TRAB, MERS ve TUBİ istasyonları için bulunan değerlerin yıllar içerisindeki değişimleri çıkarılmış ve bu değerler kayan ortanca süzgeçten geçirilerek alıcı yanlılık değerinin eğilimi belirlenmeye çalışılmıştır. Kayan ortanca süzgeç fonksiyonu farklı gün aralıkları için denenmiş ve karesel ortalama hatanın minimum olduğu değerde, veriler kayan ortanca süzgeç fonksiyonundan geçirilmiştir. Bölüm 6'da yapılan çalışmaların özeti sunulmuştur.

BÖLÜM 2

GPS ÖLÇÜM YÖNTEMİ

Global Konumlama Sistemi (GPS) uydu tabanlı radyo-frekans yön bulma sistemi olup ABD Savunma Bakanlığı tarafından sivil ve askeri amaçlarla işletilmektedir (Schaer 1999). GPS, Uydu segmenti, Kontrol segmenti ve Kullanıcı segmenti olmak üzere üç ana kısımda incelenebilir (URL-2).

Uydu segmenti yaklaşık 20.200 km yükseklikte bulunan 24 aktif uyduyu kapsamaktadır. Bazı eski uydularının yerine yenilerinin gönderilmesi nedeniyle bu sayı değişebilmektedir. Her bir uydu dünya üzerindeki turunu 12 saatte tamamlamaktadır. Dünyanın kendi eksenini etrafındaki hareketinden dolayı her bir uydu dünya üzerindeki belirli bir noktadan 24 saat içinde iki kez geçmektedir (URL-3). İlk uydu 1978 yılında yörüngeye oturtulmuş olup 24 aktif uyduya ulaşılması 1994 yılında gerçekleşmiştir (URL-4). GPS uyduları güneş enerjisi ile çalışmaktadır. Güneş enerjisini kullanmadığı durumlarda faaliyetlerinin devamı için uydular üzerinde yedek piller bulunmaktadır. Her bir uydunun ömrü yaklaşık 10 yıldır.

Kontrol Segmenti GPS uydularını izler, uydular için gerekli olan zaman ve yörünge düzeltme bilgilerini sağlar. GPS kontrol segmenti beş yer istasyonundan oluşmaktadır. Ana kontrol merkezi Kolorado'da bulunan Falcon Hava Kuvvetleri üssüdür. Burada GPS uydularından alınan işaretlerin seviyelerine göre yörünge verileri hesaplanır, yörünge ve zaman düzeltme bilgileri uydulara gönderilir (URL-3).

GPS kullanıcı segmenti GPS alıcıları ve kullanıcılardan oluşmaktadır. GPS alıcıları uydu işaretlerini kullanarak konum, hız ve zaman kestirimi yaparlar. X, Y, Z konum ve T zaman bilgileri için en az dört uydudan alınan işaretlere gereksinim vardır. GPS'in temel amacı konum belirlemektir. Uçaklarda, gemilerde, kara taşıtlarında GPS alıcıları seyir amaçlı olarak kullanılmaktadır. Yer kabuğu incelemeleri gibi jeodezik uygulamaları da bu yön-yer tespitine yönelik uygulamalar arasında sayılabilir. GPS alıcılarının sağladığı hassas zaman bilgisi de

astronomik gözlemler, haberleşme uygulamaları gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (URL-3).

2.1 GPS SİNYALİNİN YAPISI

Uzun dönem kararlılığına sahip sezyum atomik kristalleri ile oluşturulan GPS sinyallerinin temel frekansı $f_0=10,23$ MHz'dir. Bu temel frekanslı sinyal 154 ile çarpılarak $f_1= 1227,46$ MHz ve 120 ile çarpılarak $f_2= 1227,46$ MHz frekansındaki taşıyıcı sinyal elde edilmektedir. f_1 taşıyıcı sinyalinin gönderildiği kanal L1 kanalı, f_2 taşıyıcı sinyalinin gönderildiği kanal ise L2 kanalı olarak adlandırılır. Bu ilişki Çizelge 2.1'de görülmektedir. İyonosferin etkilerini elimine etmek amacıyla bu iki farklı frekansta yayın yapılmaktadır (Blewitt 1997). GPS sinyali üzerindeki bilgi faz modülasyonu ile kodlanarak gönderilir.

Çizelge 2.1 Uydu sinyallerinin bölümleri (Hoffman-Wellenhoff vd. 2001).

Uydu Sinyalleri Bölümleri	Çarpanlar	Frekans (MHz)	Dalgaboyu λ (cm)
Temel Frekans	f_0	10,23	
L1 taşıyıcı dalga	$154 f_0$	1575,42	19,05
L2 taşıyıcı dalga	$120 f_0$	1227,60	24,43
P kodu (L1 ve L2 üzerinde)	f_0	10,23	~29,33
C/A kodu (L1 üzerinde)	$f_0/10$	1,023	~29326
Seyir kodu	$f_0/204600$	$50*10^{-6}$	

C/A (course acquisition) kodu sadece L1 kanalı üzerinde bulunur. Her 1 ms'de bir kendini tekrar eden bu kodun taşıdığı temel bilgi uydu saatine göre uydudan gönderilme zamanıdır. C/A kodunun bit dizisi her uyduda farklıdır. P (Precise) kodu L1 ve L2 kanallarında aynıdır. C/A kodu sinyale ilk kilitleme için uygunken P kodu hassas konumlama için uygundur. P kodu L1 ve L2 sinyalleri üzerinde aynıdır (Blewitt 1997). P kodu kendini her 266,4 günde bir tekrar etmektedir. P kodundaki bilgide C/A kodunda olduğu gibi sinyalin uydudan gönderiliş zamanıdır ancak C/A koduna göre 10 kat daha hassastır.

Seyir kodu, sadece L1 kanalında bulunur ve 1500 bit'lik bir mesajdır. Gönderilmesi 30 saniye sürmektedir. Uydunun yörünge parametreleri, zaman düzeltmeleri ve uydunun durumu hakkındaki bilgiler bu mesajda yer almaktadır.

2.2 ÖLÇÜM YÖNTEMİ

GPS uydularından gönderilen C/A ve P kod ölçüleri sinyalin uydudan çıkış zamanını taşımaktadır. Alıcıda belirli aralıklarla kayıt edilen kod ve kodu üzerinde taşıyan faz ölçüleri aşağıda değinilen yöntemlerle işlenerek konum belirlenmesi gerçekleştirilir.

2.2.1 Kod Gözlemleri ile Ölçüm

GPS sinyalinin uydudan çıkış zamanı (T_s) ile alıcıya ulaşması (T) arasında geçen zaman hesaplanarak, c elektromanyetik dalganın boşluktaki yayılma hızı ile çarpımından uydu ile alıcı arasındaki kod ölçüleri (Pseudo range) hesaplanır.

$$P=(T-T_s)c \quad (2.1)$$

Burada iyonosferik, troposferik etkiler ile alıcı, uydu saat hataları hesaba katılmadığından bulunacak mesafe gerçek mesafe olmayacaktır. m uydu için, n ölçüm anında f_1 ve f_2 frekansları için GPS alıcısının ölçtüğü kod ölçüleri Eşitlik (2.2) ve (2.3)'te verilmiştir.

$$P_{1,u}^m = P_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + d_{trop,u}^m + d_{ion1,u}^m + c(\varepsilon_1^m + \varepsilon_{1,u}) + \alpha \quad (2.2)$$

$$P_{2,u}^m = P_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + d_{trop,u}^m + d_{ion2,u}^m + c(\varepsilon_2^m + \varepsilon_{2,u}) + \alpha \quad (2.3)$$

yukarıdaki eşitliklerde m uydu numarasını, u alıcı numarası, $d_{ion1,u}^m$ ve $d_{ion2,u}^m$ sırasıyla f_1 ve f_2 frekanslarındaki iyonosferden kaynaklanan grup gecikmesi, $d_{trop1,u}^m$ ve $d_{trop2,u}^m$ troposferden kaynaklanan grup gecikmesi, Δt^m ve Δt_u uydu ve alıcı saat hataları, $P_{1,u}^m$ ve $P_{2,u}^m$ f_1 ve f_2 frekanslarına göre alıcı yanlılığı, α ölçümlerden gelen artık hataları göstermek üzere Eşitlik (2.2) ve (2.3) yazılabilir.

Benzer bir model faz ölçüleri için de kurulabilir.

2.2.2 Faz Gözlemleri İle Ölçüm

GPS sinyal taşıyıcı faz gözleminde faz değeri sinyalin tur sayısını ifade eder. GPS alıcıları uydudan alınan sinyalin o andaki faz kesrini kayıt eder. Sinyalin uydudan alıcıya kadar olan mesafede kaç tur attığı ise bilinmemektedir.

Çift frekanslı alıcılarda bu faz iki sinyalde de aynı olması gerektiğinden aradaki fark tur sayısını verir. Ancak kod ölçülerinde olduğu gibi faz ölçülerinde de atmosferik etkiler, alıcı uydu saat hataları, uydu konum bilgisi hataları gibi bir çok hata ölçüme etki eder.

Ayrıca ölçümde meydana gelen kesiklikler (cycle slip) faz bilinmeyenini meydana getirir. Tekrar sinyal alınmaya başlandığında ise hangi faz tam sayısında olduğu bilinmediğinden bunun da hesaplanması gerekmektedir. Başlangıç tam sayı belirsizliği olarak da adlandırılan bu hata bu tez kapsamında Bölüm 2.4'te ele alınmıştır. Faz gözlem modeli için;

$$\lambda \Phi_{1,1,u}^m = P_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + \lambda \Phi_{ion1,u}^m + \lambda \Phi_{trop1,u}^m - c(\varepsilon_1^m + \varepsilon_{1,u}^m) + \lambda N_{1,1}^m \alpha \quad (2.4)$$

$$\lambda \Phi_{2,2,u}^m = P_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + \lambda \Phi_{ion2,u}^m + \lambda \Phi_{trop2,u}^m - c(\varepsilon_2^m + \varepsilon_{2,u}^m) + \lambda N_{2,2}^m \alpha \quad (2.5)$$

yazılabilir. Eşitlik (2.4) ve (2.5)'de m uydu numarasını, u alıcı numarası, $\Phi_{ion1,u}^m$ ve $\Phi_{ion2,u}^m$ sırasıyla f_1 ve f_2 frekanslarındaki iyonosferden kaynaklanan faz gecikmesi, $\Phi_{trop1,u}^m$ ve $\Phi_{trop2,u}^m$ troposferden kaynaklanan faz gecikmesi, ε_1^m ve ε_2^m f_1 ve f_2 frekanslarına göre alıcının kaydettiği faz değeri, $N_{1,1}^m$ ve $N_{2,2}^m$ f_1 ve f_2 frekanslarına göre m uydusundan alınan sinyaldeki ilk faz belirsizliğidir. α ise ölçümlerden gelen artık hataları göstermektedir.

2.3 DOĞRUSAL BİRLEŞİMLER

Çizelge 2.2 Doğrusal Birleşimlerin gösterimi (Wild 1994, Hugentobler et al. 2001).

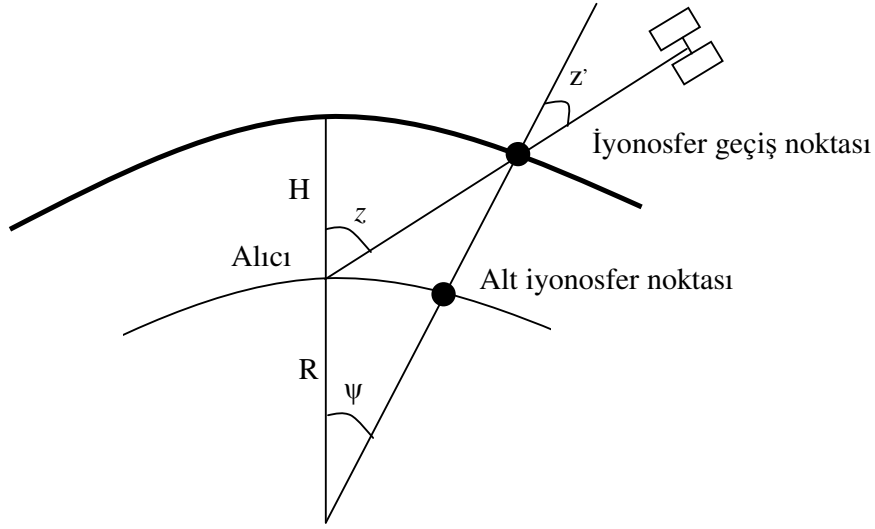
Doğrusal Birleşimi (LC)	Açıklama	λ (Dalga boyu) (m)	LC Çarpanı	
			$\kappa_{1,1}$	$\kappa_{1,2}$
L ₁	L ₁ orjinal	0,19	1	0
L ₂	L ₂ orjinal	0,24	0	1
L ₃	İyonosferden bağımsız	-	$\frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} = 2,5$	$-\frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} = -1,5$
L ₄	Geometriden Bağımsız	-	1	-1
L ₅	Geniş aralık	0,86	$\frac{f_1}{f_1 - f_2} = 4,5$	$-\frac{f_2}{f_1 - f_2} = -3,5$
L _{ni} (n ₅ ile L ₃)	Dar aralık	0,107	$\frac{f_1}{f_1 + f_2} = 0,56$	$\frac{f_2}{f_1 + f_2} = 0,44$

Farkı alınmamış uzunluk birimindeki faz gözlemleriyle oluşturulmuş bu doğrusal birleşimler ile tamsayı belirsizliği çözümleri yada iyonosfer ile ilgili bilgilerin elde edilmesi için değişik birleşimler üretilebilir.

Doğrusal birleşimler çözümde kullanılan algoritmaya bağlı olarak ikili fark, üçlü fark, farkı alınmamış birleşimlerin kod yada faz gözlem denklemlerinin her biri için oluşturulabilir (Aslan 2004).

2.3.1 Geometriden Bağımsız Doğrusal Birleşim

Geometri bağımsız birleşimin Tek Tabaka Modelini kullanmaktadır. İyonosfer tabakası geniş bir banda sahip olduğundan bu bandın tanımı için maksimum yoğunluğa sahip serbest elektronların sonsuz incelikte bir alan içinde olduğunun kabul edildiği tek-tabaka (single-layer ya da thin shell) modelinden yararlanılmaktadır (Hugentobler et al. 2001). Tek tabaka modeli Şekil 2.1’de sembolik olarak verilmiştir.



Şekil 2.1 Tek Tabaka Modeli.

Tek tabaka izdüşüm fonksiyonu F_1 ,

$$F_1(z) = \frac{E}{E_v} = \frac{1}{\cos z'} \quad (2.6)$$

olarak verilmektedir. Burada z' GPS sinyalinin iyonosfere giriş açısı z ise iyonosferde kırıldıktan sonra alıcı başucu eksenine ile sinyal yolu arasındaki açıyı ifade eder. z' ile z arasındaki ilişki Eşitlik 2.7'de verilmiştir.

$$\sin z' = \frac{R}{R+H} \sin z \quad (2.7)$$

Yukarıdaki eşitlikte, E sinyal yolu boyunca elektron yoğunluğu, E_v düşey elektron yoğunluğu, R , yeryuvarının ortalama yarıçapı, ψ , z ve z' zenit açıları farkı, H , yeryuvarı yüzeyinden tek tabakaya olan uzaklıktır.

Geometriden bağımsız doğrusal birleşimi L_4 , L_1 ve L_2 faz ölçüleri farkına eşittir:

$$L_4 = L_1 - L_2$$

Bu formül i uydusu ve k alıcısı için açılırsa,

$$L_{4k}^i + V_{4k}^i = \begin{pmatrix} \frac{f_1^2}{f_2^2} - 1 \\ \frac{f_1^2}{f_2^2} \end{pmatrix} I_{1k}^i + B_4 = \begin{pmatrix} \frac{f_1^2}{f_2^2} - 1 \\ \frac{f_1^2}{f_2^2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha E \\ \frac{\alpha E}{f_1^2} \end{pmatrix} + B_4 \quad (2.8)$$

Bu eşitlik en küçük kareler ilkesine göre parametre kestirimi için açılırsa;

$$L_{4k}^i + V_{4k}^i = -\alpha \left(\frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2} \right) F_1(z) E_v(\beta, s) + B_4 \quad (2.9)$$

olur (Wild 1994). Bu bağıntı düşey TEİ'nin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Burada; f_1 , L1'in frekansı; f_2 , L2'nin frekansı; $F_1(z)$, yukarıda verilen izdüşüm fonksiyonu; β , enlemi ve s , güneş sabit boylamının saat açısı fonksiyonu olan düşey TEİ (VTEC);

$B_4 = \lambda_{11k}^i - \lambda_{22k}^i$ ise iyonosferik kaymadır (Wild 1994, Hugentobler et al. 2001).

2.3.2 İyonosferden Bağımsız Doğrusal Birleşimi

İyonosferden bağımsız doğrusal birleşimde Çizelge 2.2'deki çarpanlar kullanılarak ,

$$L_3 = \frac{1}{f_1^2 - f_2^2} (f_1^2 L_{11} - f_2^2 L_{22}) \quad (2.10)$$

eşitliği yazılabilir, uydu ve alıcısı tanımlayan indisler göz ardı edilirse,

$$L_3 = \rho' \frac{1}{f_1^2 - f_2^2} (f_1^2 \lambda_{11} - f_2^2 \lambda_{22}) \quad (2.11)$$

faz ölçüsü eşitliği çıkar. Buradaki ρ' terimi, uydu ile alıcı arasındaki uzaklığı, troposferik gecikmeyi ve uydu alıcı saat hatalarını içermektedir (Hugentobler 2001).

2.4 TAMSAYI BELİRSİZLİĞİNİN ELDE EDİLMESİ

GPS ile konumlamada kullanılan faz ölçüleri aslında, bir uydudan yayınlanan taşıyıcı sinyalin fazı ile belli bir anda alıcıda oluşturulan taşıyıcı sinyal fazı arasındaki fark olduğundan, konumlanması istenen nokta için uydu ile alıcı arasındaki tam dalga boylarının sayısı bilinmemektedir. Buna "başlangıç belirsizliği" yada "tamsayı belirsizliği" denilmektedir. Bu belirsizliğin farklı çözüm yöntemleri bulunmakla birlikte bu tez kapsamında sadece IONOLAB-TEC yöntemi ve Bernese yazılımındaki tamsayı belirsizliği çözüm yöntemleri açıklanmıştır..

2.4.1 IONOLAB-TEC Yönteminde Tamsayı Belirsizliğinin Giderilmesi

(Arkan vd. 2003, 2004, 2007)'de düzgünleştirme yöntemi ile TEİ kestirimi çalışmalarında sadece kod ölçümleri kullanılmakta iken TÜBİTAK EEEAG 105E171 nolu proje kapsamında faz verilerinden de TEİ kestirimi yapılabilmektedir. (Nayir 2007) ve (Nayir vd. 2007)'de anlatıldığı gibi faz ile kod ölçümleri arasındaki farkın, faz kopmalarının olmadığı bir zaman dilimindeki ortalaması dayanak değerleri olarak isimlendirilir. Bu dayanak değeri bağıntısı Eşitlik 2.12'de verilmiştir:

$$B = \frac{1}{N_{me}} \sum_{n_{me}=1}^{N_{me}} (P_{4,u}^m(n_{me}) - L_{4,u}^m(n_{me})) \cong -\Delta N^m \quad (2.12)$$

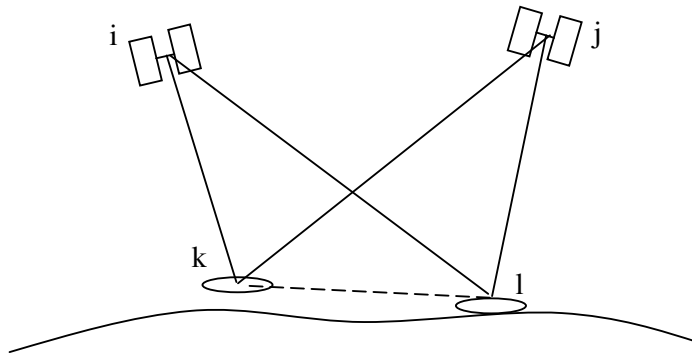
B dayanak değerini, N_{me} faz datalarının sürekli olduğu zaman dilimini göstermektedir. Faz verileri bir gün boyunca sürekli değildir. Bu yüzden bir gün için birden fazla dayanak değeri hesaplanır. Hesaplanan bu dayanak değeri ile faz ölçümleri kod ölçüsü seviyelerine getirilir ve bu yöntemle faz belirsizliği giderilmiş olur.

2.4.2 Bernese Programında Tam Sayı Belirsizliği Çözümü

Bernese 5.0 programında yerel TEİ hesaplaması yapılırken öncelikle ön konumlandırma işlemi (Precise Point Positioning) yapılmaktadır. Daha sonra tamsayı belirsizliği (ambiguity) çözümüne geçilmektedir. Tam sayı belirsizliğinin çözümü için bir çok algoritma geliştirilmiştir (Mekik 1998). Çözümlerde “quasi ionosphere free (QIF)” algoritması tercih edilmiştir (Aslan 2004).

QIF stratejisi sadece faz ölçülerini kullanmaktadır. İyonosfer hatalarını büyük ölçüde gidermektedir bununla birlikte iyonosferde oluşabilecek düzensiz değişimlere karşı duyarlıdır. İki aşamalı dar-geniş aralık birleşimin çözümü yerine QIF tek aşamalı çözüm yapmaktadır (Schaer 1999).

QIF yöntemi ikili fark L1 ve L2 faz gözlemlerinin tamsayı bilinmeyenlerini ayrı ayrı çözmektedir. Buradan elde edilen değerler kullanılarak L3 doğrusal birleşimi çözülmektedir. İkili fark gözlemi Şekil 2.2’de gösterildiği gibi iki uydu ve eş zamanlı iki yersel alıcı ile gerçekleştirilir.



Şekil 2.2 İkili fark gözlemi.

İkili fark gözlemi, i ve j uydularıyla k ve l alıcıları arasında t_i zamanı için oluşturulan tekli fark gözleminin farkına eşittir.

$$I_{kl}^{ij} = I_{kl}^i - I_{kl}^j \quad (2.13)$$

Bu denklemde uydu ve alıcı saat hataları ortadan kalkmaktadır. Bu gözlemlere ilişkin denklemler Bernese GPS yazılımında temel gözlem denklemi olarak kullanılmaktadır (Bernese 5.0 Manual 2007).

Şekil 2.2’de gösterilen k ve l alıcıları arası mesafe 10 km’den uzun olduğunda iyonosfer etkileri nedeniyle yeterli doğrulukta gerçek tamsayı belirsizliği çözümü elde edilemediğinden, her iki sinyal için (L1, L2), (2.13) eşitliğinden elde edilen gözlem denklemlerine iyonosferle ilgili bilgi içeren, ağırlıklı zorlamalı yeni bir gözlem denklemi,

$$L_{lkl}^{ij} = I_{lkl}^{ij} \quad (2.14)$$

eklenerek çözüm yapılır (Mervart et al. 1995).

Her bir i , j uydusu ve k , l alıcısı için hesaplanan I_{lkl}^{ij} iyonosferik gecikme düzeltmesi herhangi bir zorlama yapılmadan (2.14) denkleminde hesaplanan her iki sinyal için elde edilen gözlem denklemleriyle beraber çözümlerse, çözüm iyonosferden bağımsız doğrusal birleşimi olur. Bu nedenle tamsayı belirsizliğini çözebilmek için ikili fark iyonosfer hatasını içeren yeni gözlem denkleminde bu terim (I_{lkl}^{ij}) her bir epok için birkaç desimetre düzeyinde değiştirilmeli ve sıfırdan farklı önsel değışinti kullanılmalıdır. Bu durumda dengelemeli çözüm L1/L2 (L1 ve L2 tamsayı belirsizliği çözümü) ile L3 birleşimi çözümü arasında bir yerde gerçekleşir (Aslan 2004).

Faz çözümleri için $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_0^2$ önsel değışinti değeri öngörülür. QIF çözümünde önemli olan yeni gözlem denkleminde ilişkin σ_1^2 önsel değışintinin belirlenmesidir.

$\sigma_1^2 = 0$ ise ağırlık sonsuz olur. Bu durumda iyonosfer bilgisi dışarıdaki bir kaynaktan girilir, örneğin küresel modelden. $\sigma_1^2 \rightarrow \infty$ ise iyonosferik gecikme bilinmeyen olarak kabul edilir. Başka bir deyişle iyonosferden bağımsız değeri elde edilir. Bu değeri sınır değeri olup QIF çözümünde σ_1^2 bu aralıklarda değeri alır. σ_1^2 , QIF çözümünde baz uzunluğuna bağılı olarak uygun bir biçimde belirlenir. Bazı kaynaklarda σ_1^2 değışintisine göre kurulan algoritmalar yukarıda açıklanan temellere dayandığı halde farklı başlıklar altında açıklanmıştır (Mervart 1995).

Deterministik yoldan elde edilen iyonosfer düzeltmesi çoğunlukla yetersiz kaldığından, kod gözlemlerle iyonosferin stokastik açıdan modellendirilmesine dayanan “iyonosfer-ağırlıklandırılmış” (ionosphere-weighted) modelinde σ_1^2 için $0 - \infty$ aralığındaki değeri kullanılmaktadır (Odjik 2004).

BÖLÜM 3

İYONOSFERİN YAPISI VE GPS SİNYALLERİNE ETKİSİ

Yeryüzünden ortalama 60 ile 1100 km arasında yer alan, dünyayı çevreleyen ve güneş ışınları ile iyonize olmuş gazların oluşturduğu atmosfer tabakası iyonosfer olarak tanımlanır. İyonosferin büyük bir kısmı nötr gazlardan oluşmaktadır. İyonize olmuş gazlar ise çoğunlukla güneşten gelen kısa dalga (mor ötesi ve X ışınımı) ışınlar ile iyonlaşma sonucu oluşur. İyonosferdeki serbest elektron miktarı zaman, konum, jeomanyetik hareketlilik gibi bir çok etkene bağlıdır. İyonosferin konuma göre değişen kırılma indisi, GPS sinyalleri için taşıyıcı frekansın fonksiyonudur.

İyonosferin güneşten gelen ışınlar nedeniyle serbest elektron miktarı arttığından doğal olarak gündüz saatlerinde yoğunluğu daha yüksek olmaktadır. Yine aynı zaman dilimi için ekvatorial bölgede elektron yoğunluğu orta enlem ve üst enlem bölgelerine göre daha yüksektir.

3.1 İYONOSFERİN COĞRAFİK ÖZELLİKLERİ

İyonosfer coğrafi olarak yerin dönme eksenine dik olan üç enlem bölgesinde incelenmektedir; bunlar yüksek enlem, orta enlem ve ekvatorial bölgedir. Yüksek enlem bölgesi ororal ve kutup bölgelerinden oluşur. Elektron yoğunluğu değerleri ekvatordakine göre daha düşüktür. Ancak kısa dönemli iyonosferik değişimler ekvator bölgesine göre daha fazladır (Danilov et al. 2001). Ororal bölge 55° K ile 65° K enlemleri arasında yer almaktadır. Güney yarım kürede Aurora Australis olarak adlandırılmaktadır. Aurora üst atmosferde meydana gelen olağan dışı ışık parlama olayıdır. Işımanın nedeni havadaki atomları harekete geçiren güneş üzerinden yüklü parçacıklardır. Aktif durumda olan güneş rüzgarından kaynaklanan enerji yersel manyetik alan çizgileri boyunca taşınan yüklü elektronlarla ororal iyonosfer bölgesine akarlar (Jakowski et al. 2002). Akan elektronların nötr atmosferle çarpışması sonucu morötesi ışınım ve görünür salınım meydana gelir. Bu tür değişim manyetik fırtınanın belirtisidir. Bu aktivite güneşin elektromanyetik radyasyon emisyonu ve güneş patlamaları ile ilişkilidir.

Kutup bölgesinde manyetik alan çizgileri, güneş rüzgarı plazmasını kutup bölgesine aktarır. Bunun sonucu olarak 50 km – 1000 km uzunluğunda geniş kümeler biçiminde yoğun elektron grupları oluşmaktadır (Gizawy 2003).

Orta enlem bölgesi diğer iki bölgeye göre iyonosferin en sakin ve en az değişken bölgesidir. Nüfus yoğunluğu sebebiyle en çok araştırılan ve ölçüm cihazlarının da bulunduğu bölge orta enlem bölgesidir.

Ekvator bölgesi diğer iki bölgeye göre elektron yoğunluğunun en yüksek olduğu bölgedir. Bunun nedeni güçlü güneş radyasyonu ve yoğun iyonlaşmadır. Ekvatorial bölge genlik ve faz kırışmalarının sıkça olduğu bölgedir. Güneşin yüksek radyasyon seviyesi ve dünyanın manyetik alanı ile elektronlar ekvatorial bölgeye doğru hareket ederler. Ekvatorial bölgedeki elektron yoğunluğunun yükselmesine neden olan bu durum ekvatorial anomali olarak adlandırılır (Komjhaty 1997).

3.2 İYONOSFERDEKİ DÜZENSİZ DEĞİŞİMLERİ GÖSTEREN İNDİSLER

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).

Fazlarda ilerleme, kodlarda gecikme olarak kendini gösteren iyonosferik gecikme, 1 dakika gibi kısa bir zaman aralığı içinde, üretilen elektrik alandan dolayı büyük ölçüde değişir. Bu değişim süresi, kutup bölgelerinde birkaç saattir. Bu etki sırasında GPS alıcıları sinyal almakta zorlanır ya da sinyal alamaz (Teunissen and Kleusberg 1998).

Manyetik aktiviteyi ifade etmekte dolayısıyla iyonosferdeki değişimleri de göstermekte kullanılan K_p indisi, DST indisi, güneş parlaması (Solar Flare) ve Solar Akı değerleri GPS verilerinin analizinde yardımcı olarak kullanılmaktadır (Jakowski et al. 2001).

3.2.1 Kp İndisi

Jeomanyetik aktiviteyi gösteren parametrelerden biriside Kp indisidir. Kp indisi 44⁰ ile 60⁰ 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 ölçümler referans kabul edilir. K indisi 0-9 arası derecelendirme ile ifade edilir. Kp indisi ise K indisinin 3'er aralığa bölünmüş halidir. Kp indisi güneşin manyetik alan etkisi ile parçacık yayılımını ölçmektedir (URL-5). K indisleri National Oceanic ve Atmospheric Administration (NOAA) ve National Geophysical Data Center (NGDC) tarafından sağlanmaktadır (Komjhaty 1997).

3.2.2 Dst İndisi

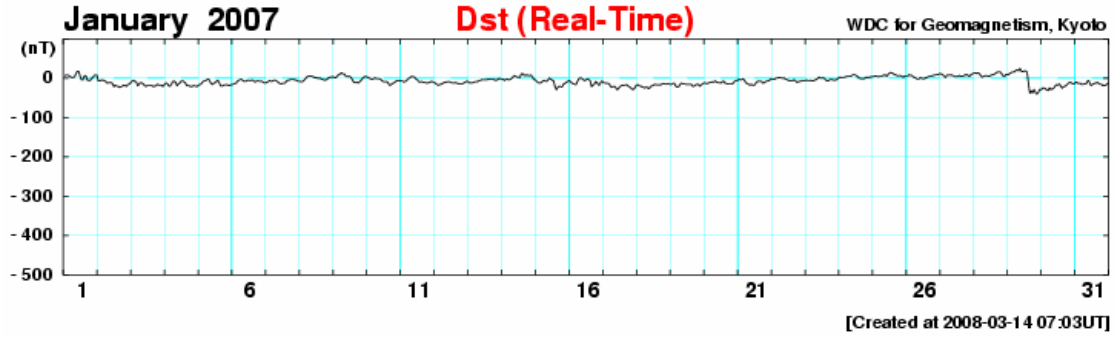
Dst (Disturbance Storm Time) indisi jeomanyetik fırtınayı ve derecesini gösteren bir parametredir. Bu indis alçak enlem manyetogramları kullanılarak elde edilir. İndis manyetik alanın yatay düzlemdeki bileşeninin ekvatordaki azalmasını ifade etmektedir. Dst değerinin negatif olması jeomanyetik fırtınayı 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)'dir (Hunsucker et al. 2003).

Manyetik fırtınayı ifade eden Dst ve Kp indis değerleri Çizelge 3.1'de Örnek Dst ve Kp grafikleri Şekil 3-1 ve Şekil 3-2' de verilmiştir.

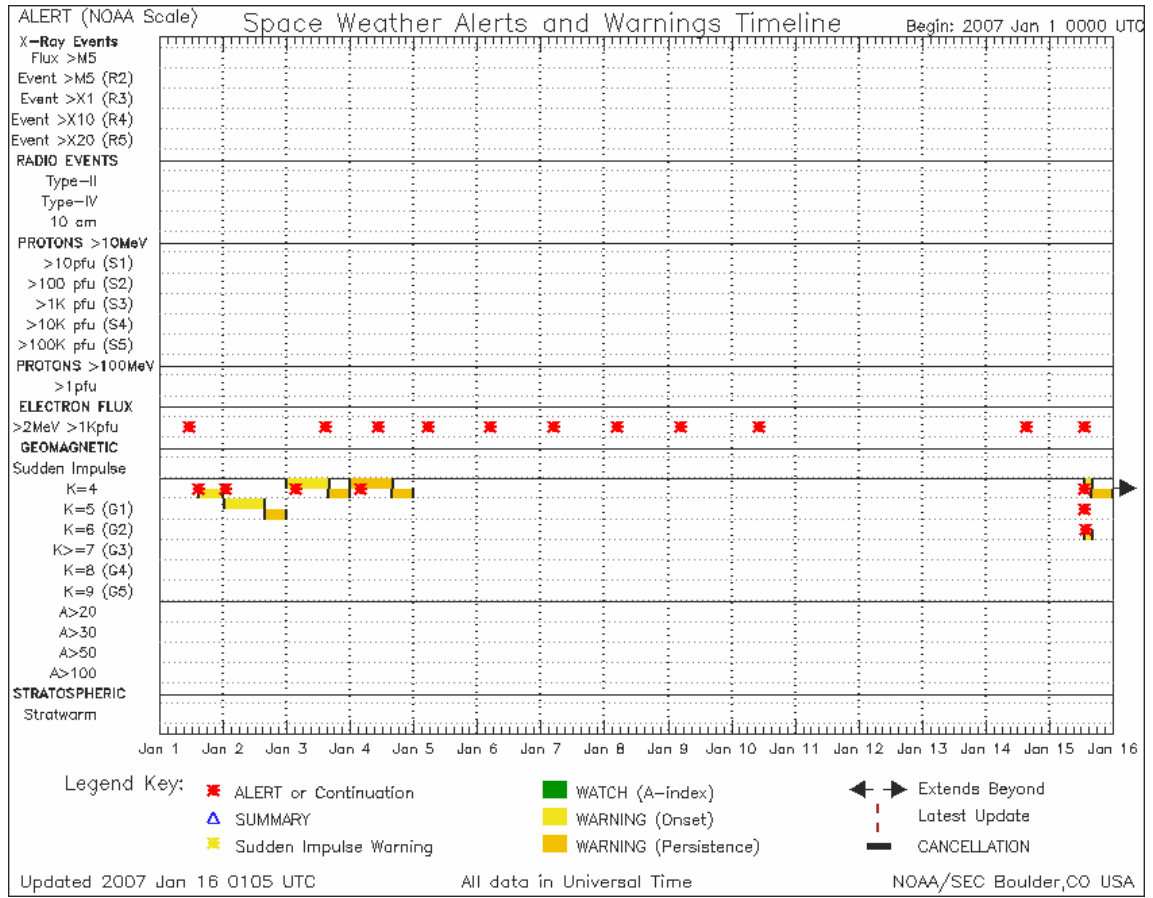
Çizelge 3.1 Manyetik fırtına seviyeleri (Cveer 2002).

Manyetik fırtınanın derecesi	Kp indisi	Dst indisi (nT)
G1 Küçük (Minor)	K=5	Dst>-20
G2 Orta (Moderate)	K=6	-20>Dst>-50
G3 Kuvvetli (Strong)	K=7	-50>Dst>-100
G4 Ağır (Severe)	K=8	-100>Dst>-250
G5 Aşırı (Extreme)	K=9	-300>Dst

Örnek Dst ve Kp grafikleri;



Şekil 3.1 Ocak 2007 dönemine ilişkin Dst indis grafiği (URL-6).



Şekil 3.2 1-15 Ocak 2007 dönemine ilişkin Kp indis grafiği (URL-7).

3.3 İYONOSFERİN GPS SİNYALLERİNE ETKİSİ

GPS sinyalleri iyonosfer tabakasından geçerken kırılmaya uğrarlar. Elektromanyetik dalganın bir ortamdaki yayılımını gösteren kırılma indisi,

$$n = c/v \quad (3.1)$$

biçimindedir. Burada c ışığın boşluktaki hızı; v , elektromanyetik dalganın ortamdaki hızıdır. İyonosfer yapısı gereği 30 MHz ve altındaki frekanslardaki dalgaları yansıtmaktadır. 50 MHz'in çok üstündeki sinyaller iyonosferden geçebilir fakat iyonosferde zayıflama ve gecikme etkisine uğrarlar (Schaer 1999). Atmosfer kırılma indisi bakımından iki temel katmana ayrılabilir. Düşük atmosfer (troposfer) için $n > 1$, üst atmosfer (iyonosfer, magnetosfer) için ise $n < 1$ dir. İyonosferdeki kırılma indisi n_p frekans bağımlıdır. İyonosfer saçıcı bir ortam olduğundan iki frekansın birleşimi ile iyonosferik etki giderilebilmektedir (Wild 1994). Yön bağımlı iyonosfer için kırılma indisi Appleton-Hartree tarafından türetilmiş ve aşağıda verilmiştir.

$$n^2 = 1 - \frac{X}{1 - iZ - \frac{Y^2}{2(1 - X - iZ)} \pm \left(\frac{Y^4}{4(1 - X - iZ)^2} + Y_L^2 \right)^{1/2}} \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte;

$$X = \frac{N_e e^2}{\epsilon_0 m_e \omega^2}, Y_L = \frac{eB \cos \theta}{m_e \omega}, Y_T = \frac{eB \sin \theta}{m_e \omega} \text{ ve } Z = \frac{v}{\omega} \quad (3.3)$$

ifade eder. Ayrıca N_e , elektron yoğunluğunu (el/m^3), e , elektron yükünü ($1,602 \times 10^{-31}$), m_e , elektron kütlesi, ϵ_0 , Serbest uzaydaki dielektrik sabitini ($9,107 \times 10^{-31}$ kg), v , elektron çarpışma frekansını, B , dünyanın manyetik alanının akı yoğunluğunu (Tesla), θ , gelen dalganın ilerleme yönü ile manyetik alan arasındaki açıyı göstermektedir.

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

$$n = 1 - \frac{X}{2(1 \pm Y_L)} \quad (3.4)$$

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

$$n_p = 1 - \frac{40.28}{f^2} N_e \quad (3.5)$$

elde edilir. Aynı işlemler kod ölçüleri için yapılırsa,

$$n_g = 1 + \frac{40.28}{f^2} N_e \quad (3.6)$$

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

$$\Delta r = \int (n_g - 1) dl \quad (3.7)$$

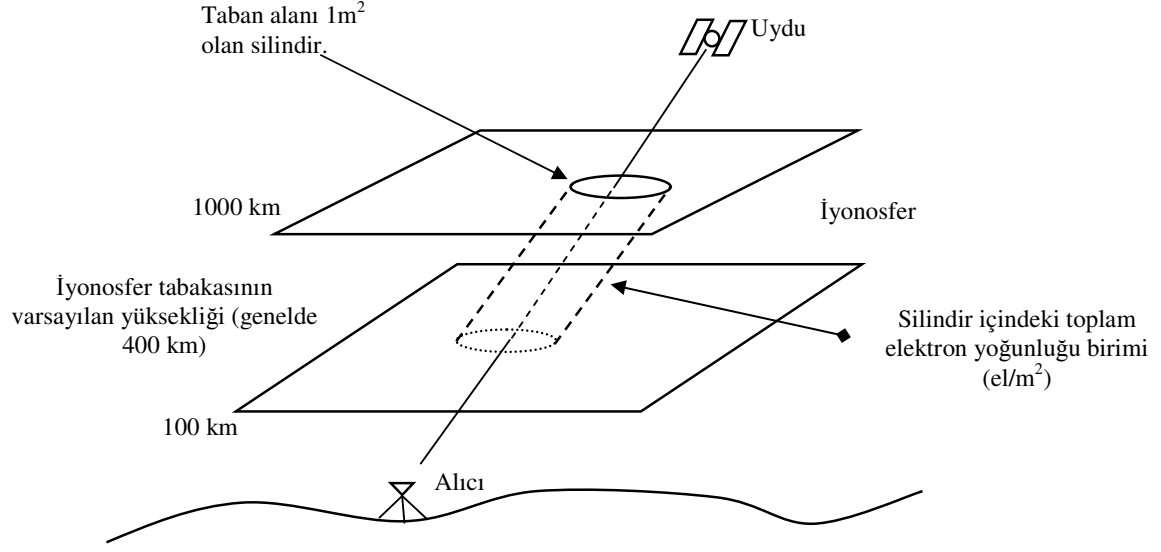
l sinyalin iyonosferde aldığı yolu göstermek üzere, Eşitlik (3.7) denklemi ile iyonosferden kaynaklanan grup gecikmesi ifade edilebilir. Eşitlik (3.6) ve Eşitlik (3.7) kullanılarak faz ilerlemesi Eşitlik (3.8)'deki gibi ifade edilebilir.

$$\Delta r = \frac{A}{f^2} \int N_e dl \quad (3.8)$$

Benzer şekilde faz ilerlemesi Eşitlik (3.9)'da görüldüğü gibi yazılabilir.

$$\Delta \phi = \frac{1}{\lambda} \int (n_e - 1) dl = -\frac{A}{cf} \int N_e dl \quad (3.9)$$

Eşitlik (3.9)'daki $\int N_e dl$ Toplam Elektron İçeriği (TEİ) olarak isimlendirilmektedir. TEİ hesaplamak İyonosferin yapısını incelemek için doğrudan kullanılan bir yöntemdir. TEİ, TECU biriminde gösterilmektedir. 1 TECU = 10^{16} el/m² dir. TEİ iki şekilde ifade edilebilir. Bunlardan ilki alıcı ile uydu arasındaki eğik hat boyunca hesaplanan toplam serbest elektron miktarı *STEC* ikincisi de alıcının yerel zeniti doğrultusunda hesaplanan toplam serbest elektron miktarı *VTEC*'tir. TEİ'nin temsili şekli Şekil 3.3'de sunulmuştur.



Şekil 3.3 Toplam Elektron İçeriği'nin grafiksel gösterimi (Langley et al. 1996, Langley 2002).

BÖLÜM 4

TEİ HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

TEİ, iyonosferdeki 1 m² kesitli silindir boyunca toplam serbest elektron miktarı olup TECU birimi ile ifade edilir. 1 TECU = 10¹⁶ el/m² dir. TEİ, *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 TEİ kestirimi iyonosferin yapısını anlamak için doğrudan kullanılan bir yöntemdir.

4.1 D-TEİ YÖNTEMİ

Literatürde verilen birçok yöntemde iyonosferin, geniş, yükseklik ve yanca açısız 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 yükselme 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 TEİ 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 ölçüm sayısını göstermektedir. GPS alıcıları tarafından her 30 saniyede bir ölçüm alınabilmektedir. Bu

durumda bir tam gün için alınacak ölçüm 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.

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

Eşitlik (4.2)'de yükseklik açısı 60° üstünde olan uydulardan alınan ölçümler aynen kullanılır, yükseklik açısı 10° ile 60° arasında olan uydulardan alınan ölçümler bir Gauss fonksiyonu ile ağırlıklandırılır. N ölçüm 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 ölçüm 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.

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

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 düzgülleştirme katsayısıdır. Hatayı en aza indiren x kestirimlerinin bulunması için Eşitlik (4.4)'deki ifadenin türevi alınıp sifıra 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

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

$$\mathbf{b} = \sum_{m=1}^M \mathbf{W}_m \mathbf{x}_m \quad (4.8)$$

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 TEİ kestirimleri için kullanılan yüksek geçiren ceza süzgeci, $\mathbf{H}(k_c)$ Toeplitz matrisi biçiminde düzenlenebilir:

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

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

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

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

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

Süzgeç parametreleri μ ve k_c ' nin TEİ 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.

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

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.

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

Eşitlik (4.15)'de $\tilde{\mathbf{x}}_{N_f}$, uzunluğu N_f olan ortanca süzgeç uygulanmış, $\tilde{\mathbf{x}}$ 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 TEİ kestirimi söz konusu olduğunda ise bu yöntem uygulanamayacaktır. Bunun nedeni $\mathbf{H}(k_c)$ süzgecin günün başı ve sonundaki ölçümleri örtüştürmeye çalışmasıdır. Bu yüzden bir tam gün iyonosferdeki TEİ kestirimi için bir tam çevrimi ifade etmektedir. Sınırlı bir zaman söz konusu olduğunda TEİ kestirimi yapmak yine mümkündür, Maliyet fonksiyonu Eşitlik (4.16)'daki gibi yeniden tanımlanır.

$$J_{\mu, k_c}(\mathbf{x}) = \sum_{m=1}^M (\mathbf{x} - \mathbf{x}_m)^T \mathbf{W}_m (\mathbf{x} - \mathbf{x}_m) + \mu (\mathbf{x} - \mathbf{a}\mathbf{t})^T \mathbf{H}(k_c) (\mathbf{x} - \mathbf{a}\mathbf{t}) \quad (4.16)$$

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 sıfıra 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.

$$\mathbf{A}(\boldsymbol{\mu}, \mathbf{k}_c) \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{a} \end{bmatrix} = \mathbf{b} \quad (4.17)$$

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

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

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

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

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

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

4.2 BERNESE YAZILIMINDA YEREL TEİ HESAPLAMA

Bernese 5.0 yazılımı yerel TEİ hesaplamalarında bölüm 2.3.1'de değinilen geometri bağımsız birleşimini kullanmaktadır. Eşitlik (2.9)'daki $E_v(\boldsymbol{\beta}, s)$ düşey toplam içeriği Taylor serisine göre açılırsa,

$$E_v(\boldsymbol{\beta}, s) = \sum_{n=0}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^{m_{\max}} E_{nm} (\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\beta}_0)^n (s - s_0)^m \quad (4.21)$$

elde edilir. Burada;

n_{\max} ve m_{\max} enlem ve boylama göre iki boyutlu Taylor dizisinin maksimum derecesi, E_{nm} bilinmeyen katsayılar, $(\boldsymbol{\beta}_0, s_0)$ seçilen bölgeyi ortalama olarak temsil eden açılım merkezinin

koordinatları, (β, s) ise TEİ değeri hesaplanmak istenen yerin koordinatları olarak ifade edilen enlem ve boylam değerleridir (Hugentobler et al. 2001).

Her bir uydu ve alıcı için bilinmeyen parametreler E_{nm} , Eşitlik (2.9) yardımıyla en küçük kareler ilkesine göre kestirilir. Taylor serisinin derecesi İyonosferin davranışına bağlıdır. Derecesi çok yüksek olursa kestirilen İyonosfer parametrelerinin güvenilirliği azalır. Açınımında enlem için 1. ve 2. saat açısı için 2, 3 ve 4. dereceden terimlerle yetinilmesi uygun olmaktadır (Wild 1994).

E_{00} ile ifade edilen sıfır derece parametrelerinin seriye açılımı referans istasyonu üzerindeki TEC hakkında bilgi vermektedir. Bu model, Bernese yazılımının “Bernese/Service/Ionosphere tools/Local Ionosphere model estimation” bölümünde yer almaktadır. PPP (Precise Point Position) çözümü yapıldıktan sonra *.NQ0 dosyaları (zorlamasız σ^2 katsayı denklemlerinin bulunduğu dosya) oluşturulmadan önce yerel İyonosfer modeli oluşturulur. PPP çözümü küresel model İonex dosyalarından alınan İyonosfer değerleri kullanılarak üretilir. Farkı alınmamış faz ölçülerinin kullanıldığı yerel İyonosfer modeline ilişkin Bernese 5.0 programının çıktı dosyasının örneği Şekil 4.1’de verilmiştir.

```

=====
Program : IONEST                               Bernese GPS software version 5.0
Purpose : Estimation of Ionosphere Models
Campaign: ${P}/SUKRU                           Default session: 2300 year 2007
Date    : 13-Jun-2008 11:52                    User name    : SUKRU.AYSEZEN
=====
INPUT AND OUTPUT FILENAMES
-----
Session table           : ${P}/SUKRU/STA/SESSIONS.SES
General constants      : ${X}/GEN/CONST.
Geodetic datum         : ${X}/GEN/DATUM.
Satellite information  : ${X}/GEN/SATELLIT.I05
Satellite problems     : ${X}/GEN/SAT_2007.CRX
Earth rotation parameters : ${P}/SUKRU/ORB/IGS07230.ERP
Subdaily pole model    : ${X}/GEN/IERS2000.SUB
Nutation model         : ${X}/GEN/IAU2000.NUT
Ionosphere model       : ---
Residuals              : ---
Station coordinates    : ${P}/SUKRU/STA/APR07230.CRD
Station eccentricities : ---
Standard orbits        : ${P}/SUKRU/ORB/IGS07230.STD
Program output         : ${P}/SUKRU/OUT/IONEST.L01
-----
### SR REDSES: # AMBIG. WITH NO OBSERVATIONS: 15
### SR REDSES: # AMBIGUITIES PRE-ELIMINATED : 46
RESULTS OF SINGLE LAYER MODEL:
-----
CAMPAIGN : ${P}/SUKRU
STATION   DATE      OBSTYP  NUM OF OBS
-----
ANKR 24901M002  2007-08-18  PHA      22383
TOTAL NUMBER OF FILES           = 1
TOTAL NUMBER OF OBSERVATIONS    =22383
NUMBER OF MODEL PARAMETERS      = 5
RMS                             = 0.260 M
LAT DEG      TIM DEG      COEFF      RMS
-----
0             0             1.1114 +-  0.0058
0             1             0.0094 +-  0.0008
0             2             -0.0312 +-  0.0002
1             0             -0.1007 +-  0.0017
1             1             0.0117 +-  0.0005
=====

```

Şekil 4.1 Bernese 5.0 yazılımı yerel İyonosfer modeli örnek çıktısı.

4.3 JPL-GIM VERİSİNDEN YEREL TEİ HESAPLAMASI

Dünyada küresel iyonosfer TEC haritası (Global Ionospheric Maps) üreten pek çok kurum vardır. Bunlar CODE (Orbit Belirleme Merkezi, İsviçre), DLR (Fernerkundungstation Neustrelitz, Almanya), ESOC (Avrupa Uzay Operasyon Merkezi, Almanya), JPL (Jet Propulsion laboratuvarı, Kaliforniya), NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi, Amerika), NRCan (Doğal Kaynaklar, Kanada), ROB (Belçika Kraliyet Gözlemevi, Belçika), UNB (New Brunswick Üniversitesi, Kanada), UPC (Katalonya Politeknik Üniversitesi, İspanya), WUT (Warsaw Teknoloji Üniversitesi, Polonya) dır.

Bu haritalar IONEX (IOosphere Map Exchange Format) formatında yayınlanmaktadır (URL-8). IONEX formatındaki dosyalar <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/ionex/> adresinden indirilebilir, örneği Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 IONEX dosyası örneği.

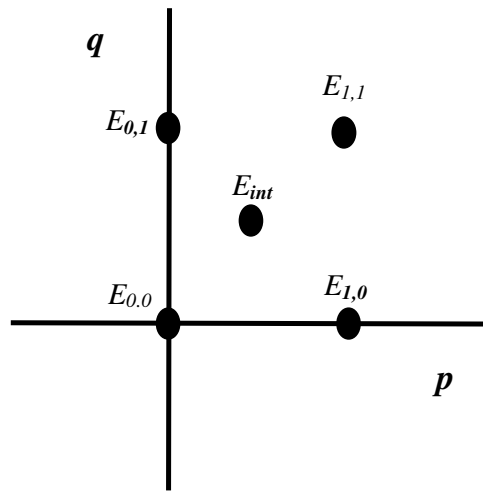
JPL'S GLOBAL IONOSPHERE MAPS YEAR 2007 DAY 300	COMMENT
Global Ionospheric Maps (GIM) are generated on an hourly	DESCRIPTION
and daily basis at JPL using data from up to 100 GPS sites	DESCRIPTION
of the IGS and others institutions.	DESCRIPTION
The vertical TEC is modeled in a solar-geomagnetic	DESCRIPTION
reference frame using bi-cubic splines on a spherical grid.	DESCRIPTION
A Kalman filter is used to solve simultaneously for	DESCRIPTION
instrumental biases and VTEC on the grid (as stochastic	DESCRIPTION
parameters).	DESCRIPTION
Contact Address: gpsiono@cobra.jpl.nasa.gov .	DESCRIPTION
2007 10 27 0 0 0	EPOCH OF FIRST MAP
2007 10 28 0 0 0	EPOCH OF LAST MAP
7200	INTERVAL
13	# OF MAPS IN FILE
NONE	MAPPING FUNCTION
10.0	ELEVATION CUTOFF
One-way carrier phase leveled to code	OBSERVABLES USED
169	# OF STATIONS
31	# OF SATELLITES
6371.0	BASE RADIUS
2	MAP DIMENSION
450.0 450.0 0.0	HGT1 / HGT2 / DHGT
87.5 -87.5 -2.5	LAT1 / LAT2 / DLAT
-180.0 180.0 5.0	LON1 / LON2 / DLON
-1	EXPONENT
TEC/RMS values in 0.1 TECU; 9999, if no value available	COMMENT
1	START OF TEC MAP
2007 10 27 0 0 0	EPOCH OF CURRENT MAP
87.5-180.0 180.0 5.0 450.0	LAT/LON1/LON2/DLON/H
57 57 58 58 58 58 59 59 59 59 59 59 59 59 59 59 58 58	
58 57 57 56 56 55 55 54 54 53 53 52 52 51 51 50	

IONEX formatındaki TEC verileri bütün dünyayı kapsayacak şekilde dizilmişlerdir. Bu dizi içerisinde istenilen noktadaki TEC değeri elde edilebilmektedir. Bir noktanın enlem ve

boylamı biliniyorsa iki değişkenli enterpolasyon noktayı içerisine alan en yakın 4 TEC değeri yardımıyla ilgili TEC değeri elde edilir (Schaer et al. 1998). İki değişkenli enterpolasyon için,

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

eşitliği geçerlidir. Burada $0 \leq p < 1$ ve $0 \leq q < 1$ olup $\Delta\lambda$ boylam ve $\Delta\beta$ enlem farkları grid genişlikleri; λ_0, β_0 başlangıç enlem ve boylamı; $E_{0,0}, E_{0,1}, E_{1,1}$ komşu noktalarda bilinen TEC değerleri, E_{int} ilgili enlem ve boylam için enterpole edilen TEC değeri anlamındadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 İki değişkenli enterpolasyon.

TEI'yi TECU biriminde belirleyebilmek için hesaplanan değer 0.1 ile çarpılmalıdır. IONEX formatlı küresel iyonosfer haritaları 2'şer saatlik 1, 3, ..., 23 saatleri için üretilmektedir. TEC değerleri için, boylamdaki artış miktarı 5° ve enlemdeki artış miktarı 2.5° olmaktadır (Aslan 2004).

BÖLÜM 5

ALICI YANLILIK KAVRAMI VE HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

Literatürde ilk görüldüğü şekliyle bir u istasyonu için alıcı yanlılığı $DCBu$, donanım ile ilgili bir model parametresi olarak düşünülmüş ve alıcı analog donanımının içinde iki frekansta gönderilen sinyallerin birbirlerine göre gecikmelerine verilen isim olmuştur (Lanyi and Roth 1988, Warnant 1997). Donanım parametresi olarak ısı gibi çevre koşullarının bir fonksiyonu olarak modellenmiştir (Bishop et al. 1996, Warnant 1997). Zaman içerisinde diğer araştırmacıların katkılarıyla bu parametreyi modellemek son derece zahmetli ve birden çok istasyonu da içeren bir çalışma haline dönmüştür (Makalea et al. 2001, Warnant 1997). Bu çalışmalarda öne çıkan iki yöntem bulunmaktadır. Birinci yöntem (Lanyi and Roth 1988, Warnant 1997, Otsuka et al. 2002) gibi makalelerde izlenen TEİ'nin iyonosferi kestiği yol üzerindeki konumunun bir fonksiyonu olarak modellenmesi ve her an için mutlak TEİ'den elde edilecek değerler kullanılarak doğrusal denklem sistemleri oluşturulması ve bunların çözümü ile alıcı yanlılıklarının kestirimidir. İkinci yöntem ise TEİ'nin belli bir başucu açısının üzerinde çeşitli alıcı yanlılık değerleri denenerek hesaplanmasına dayanır. Doğru yanlılık değerinde bu uydulardan alınan verilerin birbirine yakın olması gerektiği düşünülmektedir (Ma and Maruyama 2003).

IGS'ye bağlı uluslararası araştırma merkezleri çeşitli istasyonlar için alıcı yanlılık değerlerini hesaplayıp internet üzerinden IONosphere Map EXchange Format (IONEX) dosyası formatında kullanıcıya sunmaktadırlar (IGS, IONEX). Bu IGS alıcı yanlılık değerlerinin en büyük dezavantajı, herhangi bir istasyon ve herhangi bir gün için bunların bulunmayışı, alıcı yanlılık değerlerinin pek çok istasyon için sadece aylık olarak verilmesi ve bu araştırma merkezlerinin DCB değerlerini nasıl hesapladıklarını kesinlikle açık literatürde yayınlamamalarıdır. Bu model değeri olmadan da hesaplanan TEİ değerleri IGS merkezlerinin TEİ değerlerine uymamakta ve aradeğerlemeler ve tomografi uygulamalarında sorunlar çıkmasına neden olmaktadır. TEİ ve alıcı yanlılığı BERNESE gibi yazılımlarla da hesaplanabilmektedir (Grejner-Brezinska et al. 2004). Bu ve bu tür diğer yazılımların en olumsuz tarafı TEİ ve alıcı yanlılığı değerlerini tam olarak nasıl hesaplandığının yazılım el

kitabında bile yer almamasıdır. BERNESE yazılımı uygulamak çok uzun süre almaktadır. Literatürde yer alan iki temel yöntem incelendiğinde ekvatorial bölgeler dışında IGS merkezlerinin kestirimlerine yakın alıcı yanlılığı kestirimleri elde edilmiştir. Ekvatorial bölgeler için niçin 10-15 TECU'ya varan farklılıklar olduğu IGS merkezleri hesaplama yöntemlerini açıklamadıkları için bilinmemektedir. Aynı sorun Bernese yazılımında da görülmüştür. Ayrıca tüm bu yöntem ve yazılımlar anında (online) bir alıcı yanlılığı ve TEİ hesaplanmasına izin vermemektedir. Tüm olası istasyonlar için yanlılık değerlerinin verilmediği göz önüne alınırsa anında güvenilir (IGS merkezlerinin kestirimlerine uygun) ve gürbüz (her tür istasyon ve iyonosferin her koşulunda) çalışabilecek bir yöntem geliştirilmesine gereksinim vardır. TÜBİTAK 105E171 projesinde böyle bir yöntem geliştirilmiştir.

TUJK 2007 konferansında Aysezen vd. (2007) tarafından sunulan çalışmada yukarıda bahsedilen üç yönteme ilişkin testler yapılmış, IONOLAB-BIAS yöntemi, Standart Sapmanın en aza indirilmesi ve Çok Terimli VTEC tekniğinden üretilen alıcı yanlılık değerleri JPL ve CODE'nin ürettiği değerlerle karşılaştırılmış ve yakın sonuçlar ürettiği görülmüştür. Farkların 1 TECU'nun altında kaldığı tek yöntem ise IONOLAB tarafından geliştirilen kod ölçüleri doğrusal kombinasyonu tekniği ile üretilen alıcı yanlılık değerleri olmuştur. Bu sebeple Türkiye'deki sabit GPS istasyonları alıcı yanlılık veri tabanı oluşturulurken IONOLAB-BIAS yöntemi tercih edilmiştir.

5.1 KOD ÖLÇÜMLERİ DOĞRUSAL BİRLEŞİMİ (IONOLAB-BIAS)

Nayir (2007) tarafından geliştirilen bu yöntemde GPS uydularından alınan kod ölçümleri yanlılık hesaplanmasında kullanılmaktadır. Geometriden bağımsız kod ölçümleri doğrusal birleşimi Eşitlik (5.1)'de verilmiştir.

$P_{2,u}^m(n)$ ve $P_{1,u}^m(n)$ değerleri u alıcısı, m uydusu, n ölçüm zamanı için f_2 ve f_1 frekanslı sinyaller için kod ölçümleridir.

$$P_{4,u}^m(n) = P_{2,u}^m(n) - P_{1,u}^m(n) \quad (5.1)$$

(5.1)'de verilen $P_{4,u}^m(n)$ doğrusal birleşimi STEC hesaplamada da kullanılmaktadır. Daha sonra elde edilen STEC değerlerinden VTEC hesaplanabilir. O halde VTEC hesaplama için gerekli girdilerin $P_{4,u}^m(n)$, $\varepsilon_m(n)$, DCB^m ve DCB_u olduğu söylenebilir. DCB^m değerinin IGS merkezleri tarafından verildiği düşünülürse VTEC hesaplamada tek bilinmeyen (DCB_u) kalır. Eğer VTEC değerinin o gün için bilindiği varsayılırsa DCB_u değeri, VTEC ve VTEC hesaplamada kullanılan diğer girdiler yardımıyla aşağıdaki işlem adımları takip edilerek, alıcı yanlılığı Eşitlik (5.2)'deki gibi hesaplanır.

$$DCB_u(n) = \frac{1}{c} \left[\left(\frac{A(f_1^2 - f_2^2)}{f_1^2 f_2^2} \right) VTEC_u^m(n) M(\varepsilon_m(n)) - (P_{4,u}^m(n) + c DCB_m) \right] \quad (5.2)$$

Kod ölçümleri ile yanlılık hesaplama işlem adımları;

- 1- $P_{4,u}^m(n)$ Lineer Birleşimleri hesaplanır, hatalı ölçümler ayıklanır.
- 2- IGS-CODE TEİ haritalarında ilgili istasyon için $VTEC_u^m(n)$ hesaplanır.
- 3- P4 Lineer birleşimlerine uydu yanlılıkları eklenir. $P_{4,u}^m(n) + c * DCB_m$
- 4- $P_{4,u}^m(n) + c * DCB_m$ verisine Chebyshev süzgeci uygulanır.
- 5- Her veri seti için 60° 'den az yükseklik açılı uydulardan gelen ölçümler silinir.
- 6- $VTEC_u^m(n)$ 'den izdüşüm fonksiyonu ile $STEC_u^m(n)$ elde edilir.

$P_{4,u}^m(n)$ Doğrusal birleşiminde kod ölçümlerinden gelen gürültü etkisi oluşabilir. Ölçümlerin gürültü etkisinden kurtarılması için alçak geçiren Chebyshev türü süzgeç uygulanır. Eşitlik (5.27)'de verilen hesaplama için VTEC değeri küresel analiz merkezlerinin yayınladığı TEİ değeridir. Ölçüm alınan uyduların belirli bir yükseklik açısından büyük olması multipath etkisini azaltması bakımından tercih edilir. Bu nedenle sınır yükseklik açısı 60° 'den ($\varepsilon_m(n) > 60^{\circ}$) büyük olan uydulardan alınan kod ölçümleri kullanılmaz. Daha sonra Eşitlik (5.2) kullanılarak $DCB_u(n)$ değerleri $\varepsilon_m(n) > 60^{\circ}$ şartını sağlayan her bir ölçüm anı için hesaplanır ve bulunan $DCB_u(n)$ değerlerinin günlük ortalaması alınarak o gün için tek bir alıcı yanlılık değeri elde edilir (DCB_u) (Nayir 2007).

BÖLÜM 6

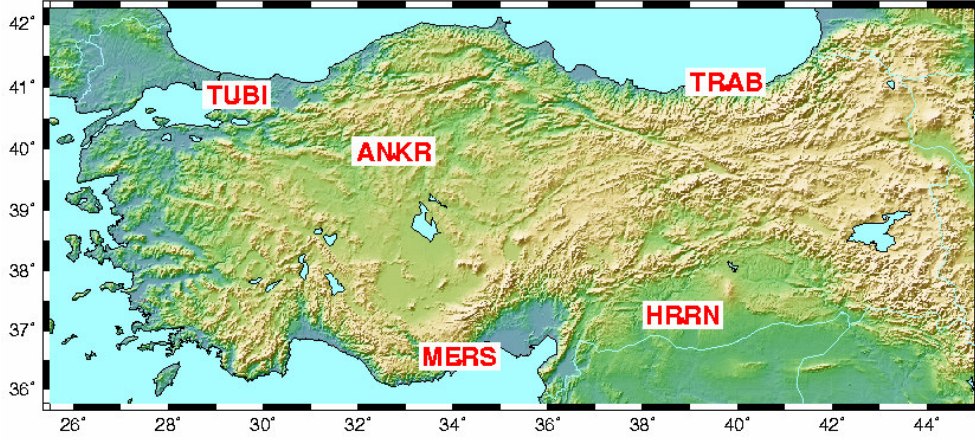
TEİ ve ALICI YANLILIĞI VERİ TABANI OLUŞTURULMASI

Bu tez kapsamında Hacettepe Üniversitesi İONOLAB tarafından geliştirilen İONOLAB-TEC ve İONOLAB-BIAS ile yerel TEİ ve alıcı yanlılık değerleri örnek olarak seçilen gün ve istasyonlar için veri tabanı hazırlanmış ve sunulmuştur. Harita Genel Komutanlığının katılımcı olarak yer aldığı 105E171 nolu TÜBİTAK projesi kapsamında geliştirilen İONOLAB-TEC yöntemiyle TEİ değerleri İONOLAB-BIAS ile alıcı yanlılık değerleri HGK'nın sorumluluğunda işletilen Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağında (TUSAGA) yer alan 23 istasyon için istasyonların çalıştığı zaman aralıklarında TEİ ve alıcı yanlılık değeri hesaplanmış ve ilk kez Türkiye için bir veri tabanı oluşturulmuştur. Hacettepe Üniversitesi ve Harita Genel Komutanlığında TÜBİTAK (105E171) nolu proje kapsamında kurulan veri tabanında yer alan 23 istasyondan kamuya açık olan ANKR, TRAB, TUBI, HRRN ve MERS istasyonları örnek veri sunumu amacıyla seçilmiştir. IGS'ye bağlı olan istasyonlar üzerinde Bernese yazılımında hesaplanan TEİ değerleri ile JPL-GIM'den alınan TEİ değerleri belli günler için İONOLAB-TEC değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma İONOLAB-TEC değerlerinin yüksek zaman ve uzay çözünürlüğünü bir kez daha ortaya koymuştur.

Bu tez çalışmasında söz konusu istasyonların 2005 – 2008 yılları arasında aktif olarak çalıştıkları dönemde elde edilen veriler değerlendirilmiş olup HRRN istasyonu Bernese ve JPL-GIM verileriyle karşılaştırmanın sunulduğu 10 günlük dönem için alınmıştır. HRRN istasyonu henüz yeni kurulan bir istasyon olması sebebiyle yeterli seviyede birikmiş verisi olmadığından yıllık bazda yapılan değerlendirmelerde sunulmamıştır. İstasyonlara ilişkin özet bilgi, Çizelge 6.1'de yerlerini gösterir harita Şekil 6.1'de sunulmuştur.

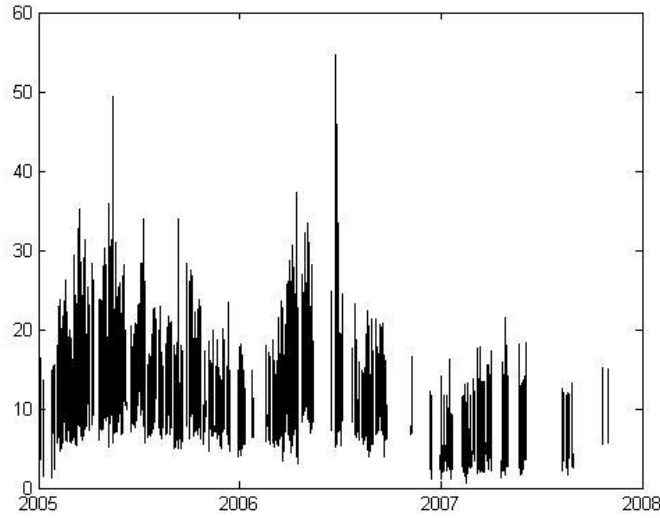
Çizelge 6.1 Hesaplamalarda kullanılan Sabit GPS İstasyonları Bilgi Tablosu.

İstasyon adı	Yeri	Boylam	Enlem	Sorumlu Kurum	Ölçü başlangıç tarihi
ANKR	Ankara	32.7586	39.8875	HGK/BKG	1993
TRAB	Trabzon	39.7756	40.9927	KTÜ	1999
TUBI	Gebze	29.4507	40.7867	TÜBİTAK	1998
MERS	Mersin	34.1521	36.3359	HGK/ODTU	2001
HRRN	Şanlıurfa	38.9968	36.9897	HGK	2006

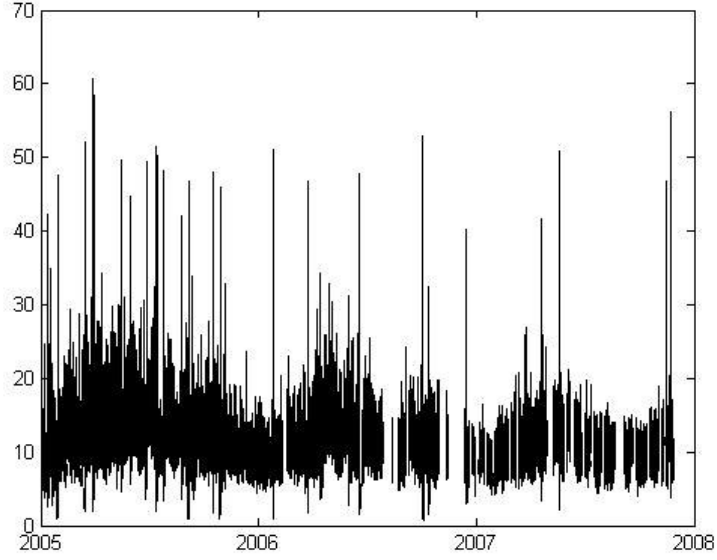


Şekil 6.1 Hesaplamalarda kullanılan Türkiye üzerindeki Sabit GPS İstasyonları.

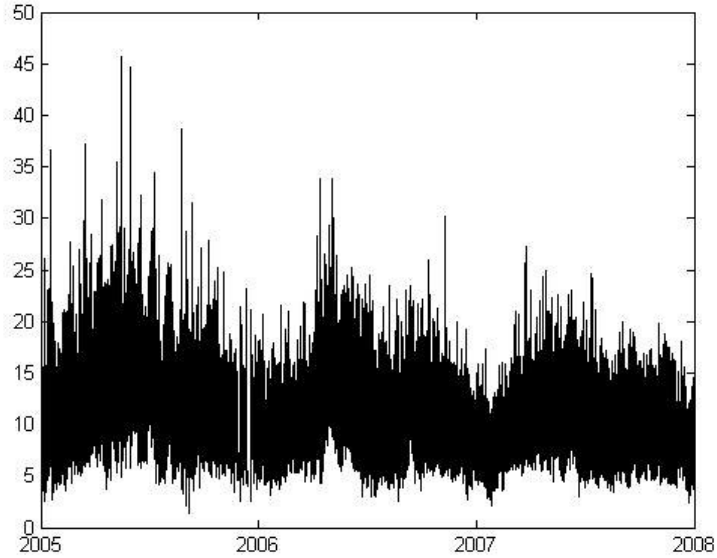
Veri tabanına giren ANKR istasyonu 2005-2008 yılları arası IONOLAB-TEC değerleri Şekil 6.2’de sunulmuştur. TRAB istasyonu verileri Şekil 6.3’de, TUBI istasyonu verileri Şekil 6.4’de sunulmuştur. IONOLAB-TEC TEİ değerleri incelendiğinde TEİ değerinde mevsimsel değişimler net olarak görülmektedir. Yaz aylarında artan TEİ değeri, kış aylarında güneşi daha eğik görmesi sebebiyle azalmaktadır.



Şekil 6.2 ANKR istasyonu IONOLAB-TEC Zaman grafiği 2005-2007 yılları.



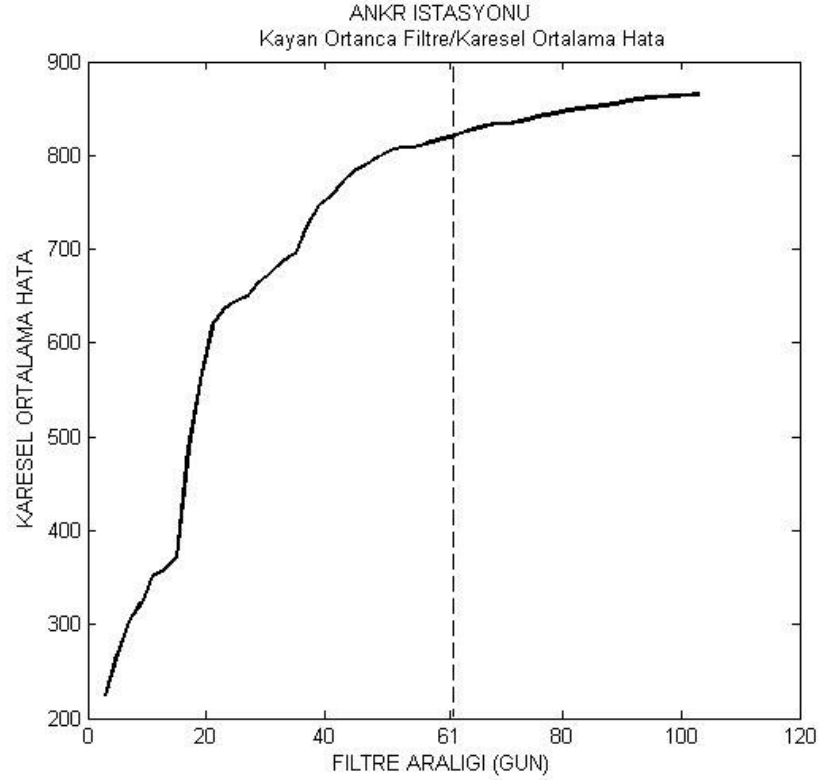
Şekil 6.3 TRAB istasyonu IONOLAB-TEC Zaman grafiği 2005-2007 yılları.



Şekil 6.4 TUBI istasyonu IONOLAB-TEC Zaman grafiği 2005-2007 yılları.

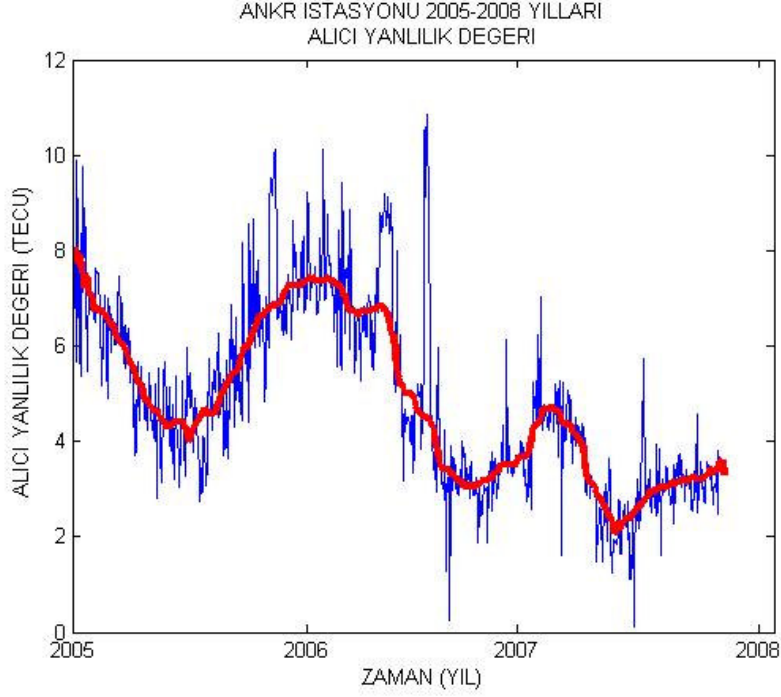
Alıcı yanlılıkları ise Bölüm 5.1’de anlatıldığı üzere IONOLAB-BIAS yöntemi ile 23 istasyon için kurulduğu günden bugüne kadarki tüm verileri üzerinden hesaplanmış ve veri tabanına katılmıştır. Bu çalışmada alıcı yanlılıklarına örnek olarak ANKR, TRAB, TUBİ ve MERS istasyonlarının 2005-2008 yılları arasındaki dönemi kapsayan verileri sunulmuştur. Alıcı yanlılığı değerlerinde ani sapmaların iyonosfer kaynaklı olma olasılığı çok düşüktür. Bu nedenle genel yönsemeyi göstermek açısından alıcı yanlılığı değerleri kayan ortanca süzgeç

ile işlenmiştir. Ortanca süzgeç için en iyi çalışma aralığını tespit etmek maksadıyla süzgeç aralığı Eşitlik 4.16’da sunulan hata fonksiyonundan geçirilmiştir. ANKR istasyonu için karesel ortalama hatanın minimum olduğu değer 61 gün bulunmuştur. ANKR istasyonu kayan ortanca süzgeç minimum hata grafiği Şekil 6.5’de sunulmuştur.



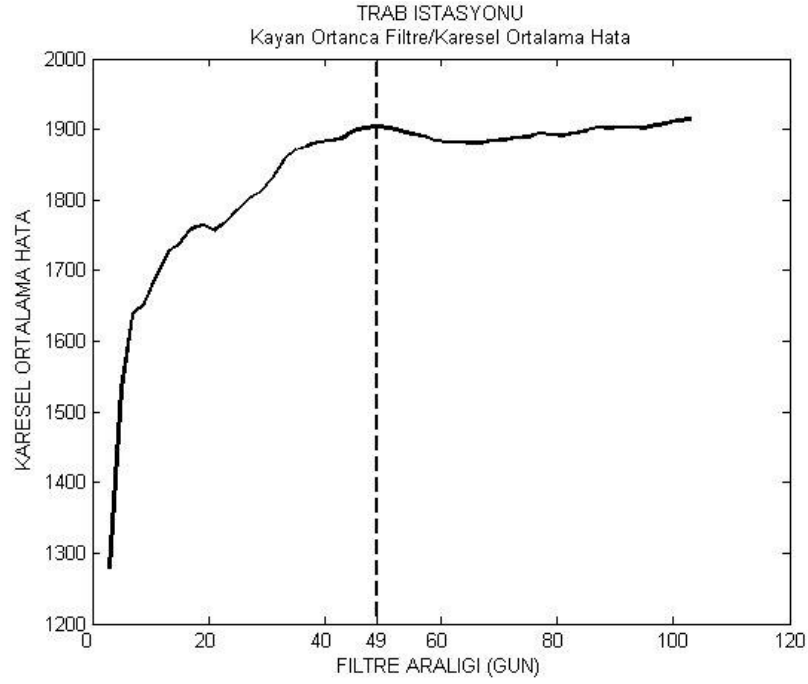
Şekil 6.5 ANKR istasyonu alıcı yanlılık değeri süzgeç fonksiyonu.

Bu örnekte ANKR istasyonunun 2005-2008 yılları arasındaki alıcı yanlılık değeri karesel ortalama hatası, ortanca süzgeç değeri ile gerçek değeri arasındaki farkın karesi alınarak belirlenmiş ve en iyi süzgeç aralığı olarak 61 gün bulunmuştur. Süzgeç aralığının uygulanması ile elde edilen değerler koyu siyah çizgiyle, günlük alıcı yanlılık değerleri ince siyah çizgi ile Şekil 6.6’da sunulmuştur. Ortanca süzgeç uygulanmasındaki sebep verideki gürültüyü gidermek ve yönsemeyi belirleyebilmektir. Süzgeç aralığı seçilirken eğer çok küçük (örneğin 3) süzgeç aralığı seçilirse hata küçük olur ancak süzgeçten geçen veri orijinal verinin neredeyse tümüyle üst üste çakışır ve yine bu veri gürültülü bir veri olur. Eğer çok büyük seçilirse de elde edilecek veri yönsemeyi göstermez.



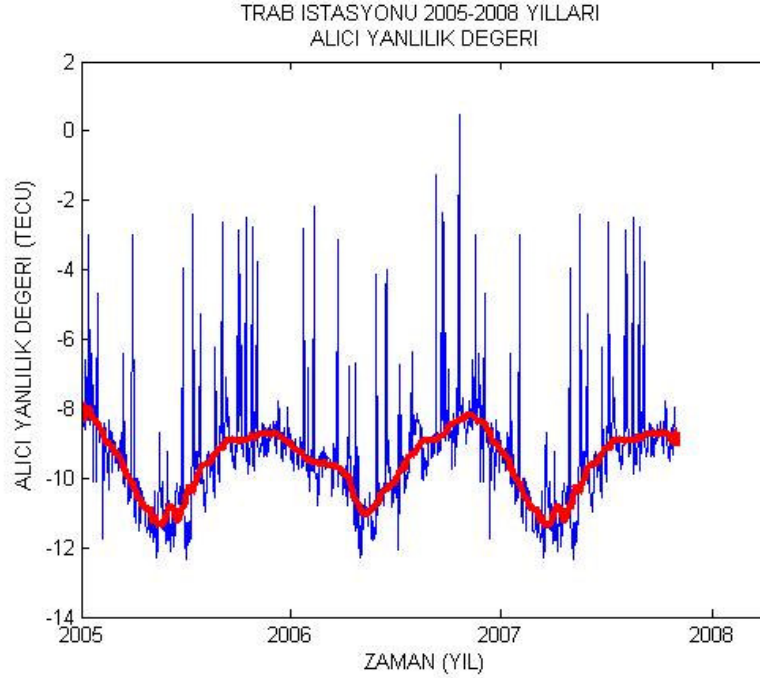
Şekil 6.6 ANKR istasyonu alıcı yanlılık zaman grafiği 2005-2007 yılları.

Kayan ortanca süzgeç hata fonksiyonu TRAB istasyonu için uygulanmış ve sonuç Şekil 6.7’de sunulmuştur.



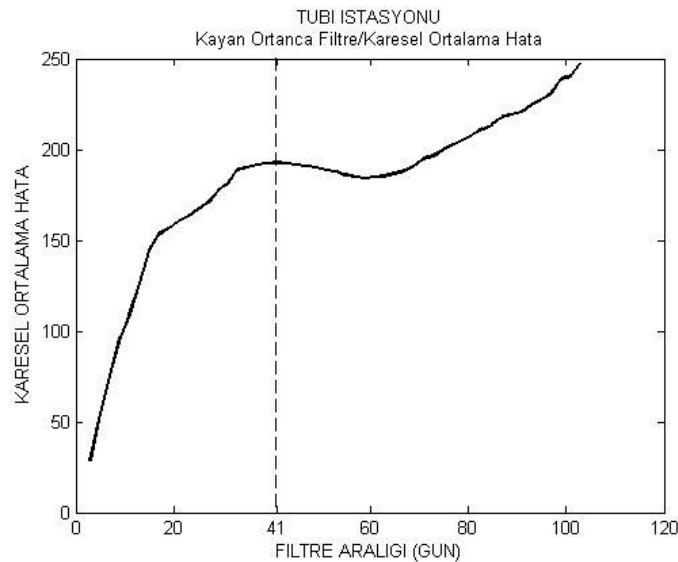
Şekil 6.7 TRAB istasyonu alıcı yanlılık değeri süzgeç fonksiyonu.

TRAB istasyonu için süzgeç aralığı 49 gün bulunmuştur. Bulunan süzgeç aralığının işlenmesi ile elde edilen ortanca süzgeç değerleri günlük veri dosyası ile yine ANKR istasyonundaki aynı işaretleme tekniğine göre Şekil 6.8’de sunulmuştur.



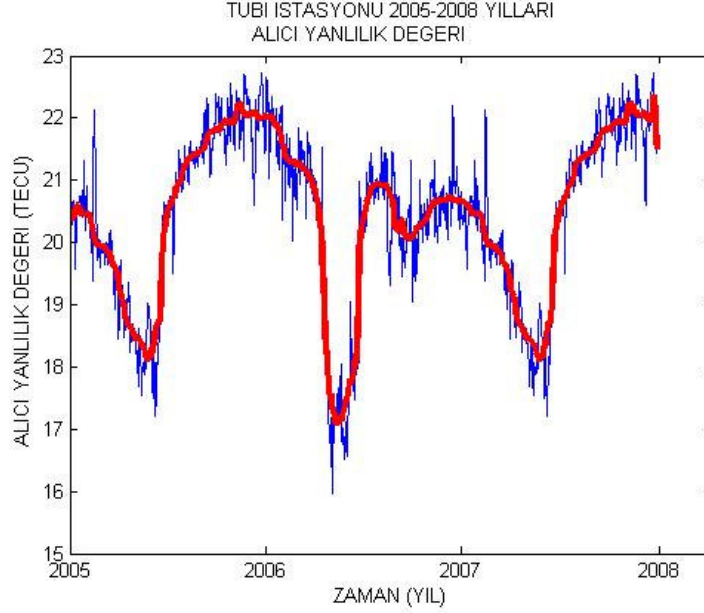
Şekil 6.8 TRAB istasyonu alıcı yanlılık zaman grafiği 2005-2007 yılları.

Kayan ortanca süzgeç hata fonksiyonu TUBİ istasyonu için uygulanmış ve sonuç Şekil 6.9’da sunulmuştur.



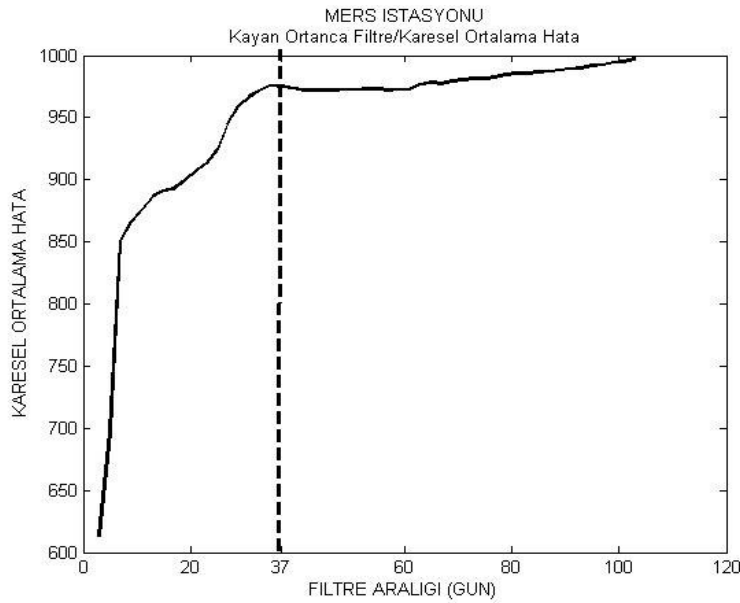
Şekil 6.9 TUBİ istasyonu alıcı yanlılık değeri süzgeç fonksiyonu.

TUBİ istasyonu için süzgeç aralığı 41 gün bulunmuştur. Bulunan süzgeç aralığının işlenmesi ile elde edilen ortanca süzgeç değerleri günlük veri dosyası ile yine ANKR istasyonundaki aynı işaretleme tekniğine göre Şekil 6.10'da üst üste basılmıştır.



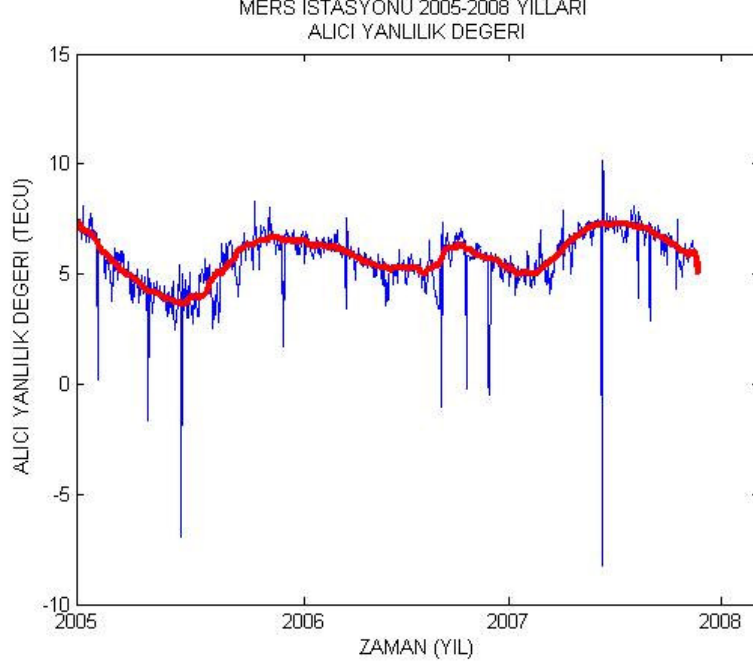
Şekil 6.10 TUBİ istasyonu alıcı yanlılık zaman grafiği 2005-2007 yılları.

Kayan ortanca süzgeç hata fonksiyonu MERS istasyonu için uygulanmış ve sonuç Şekil 6.11'de sunulmuştur.



Şekil 6.11 MERS istasyonu alıcı yanlılık değeri süzgeç fonksiyonu.

MERS istasyonu için süzgeç aralığı 37 gün bulunmuştur. Bulunan süzgeç aralığının işlenmesi ile elde edilen ortanca süzgeç değerleri günlük veri dosyası ile yine ANKR istasyonundaki aynı işaretleme tekniğine göre Şekil 6.12’de üst üste basılmıştır.



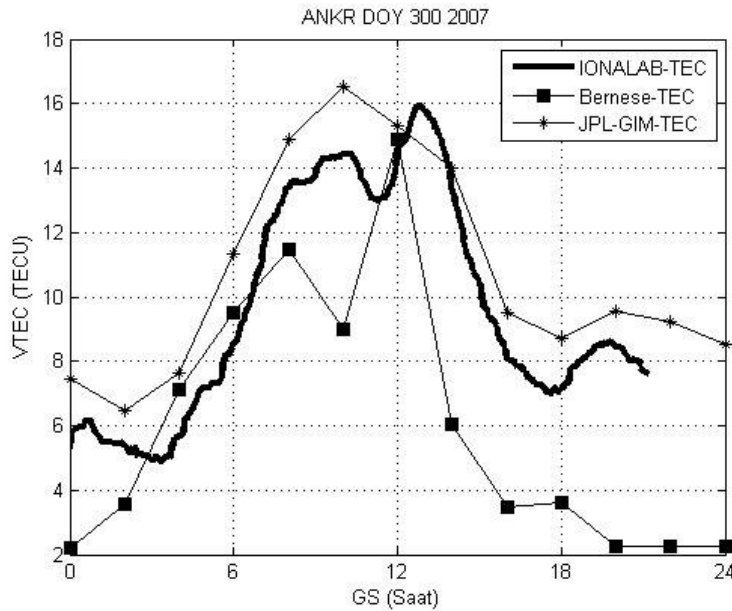
Şekil 6.12 MERS istasyonu alıcı yanlılık zaman grafiği 2005-2007 yılları.

Bu tez çalışması kapsamında örnek bir karşılaştırma göstermek amacıyla IONOLAB-TEC değerleri Bernese yazılımında hesaplanan TEİ değerleri ve JPL-GIM sonuçları değerlendirilmiştir. Bölüm 4.2’de anlatıldığı üzere Bernese 5.0 yazılımında, programda öncelikle öncül koordinat olarak ifade edilebilecek (Precise Point Position) işlemi yapılmakta burada noktanın yaklaşık koordinatları hesaplanmakta ve bu hesaplama yapılırken küresel modelin TEİ değerleri kullanılmaktadır. Devamında öncül koordinatlarda dengeleme hesabına girmekte ve sadece iyonosfer parametrelerini belirlemek amacıyla en baştan hesap yapılmaktadır. Sonuç ürün Taylor serisinin katsayı matrisidir. Tek bir istasyon için söz konusu hesaplama yapıldığında E_{00} katsayısı o istasyonun düşey TEİ (VTEC) değerini bize vermektedir. Bu işlem için RINEX formatındaki veri dosyasının TEİ değeri hangi zaman aralığında alınmak isteniyorsa o aralığı bölünmesi gerekmektedir. İstasyonun çevresindeki bir noktanın TEİ değeri Eşitlik 4.21’de verilen formülde, noktanın enlem ve boylam değerleri yerine konularak bulunabilmektedir. Bu yöntem için her bir sabit GPS istasyon verisi 2’şer saatlik dilimlere bölünmüştür. Bölümlemenin sebebi JPL’in yayınladığı verinin

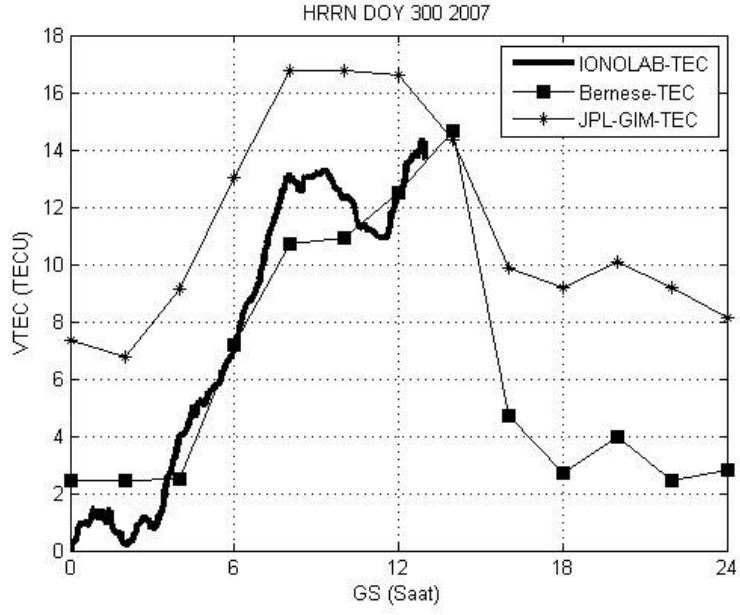
de iki saatlik periyotlarda olması ve D-TEİ yönteminde olduğu gibi epok bazında hesaplamının mümkün olmamasıdır.

2007 yılının 300 ile 309'uncu GPS günlerine ilişkin 5 gözlem istasyonuna ait veriler, IONOLAB-TEC ve Bernese 5.0 yazılımlarında hesaplanmıştır. Elde edilen değerlerin JPL'in yayımladığı küresel modelden olan farklılıkları grafik olarak aşağıda gösterilmiştir. Grafiklerde, Hacettepe Üniversitesi IONOLAB tarafından geliştirilen IONOLAB-TEC yöntemiyle elde edilen TEİ değerleri düz kalın çizgi ile, Bernese 5.0 programından elde edilen TEİ değerleri kare sembolü ile, JPL-GIM'den elde edilen TEİ değerleri yıldız sembolü ile gösterilmiştir.

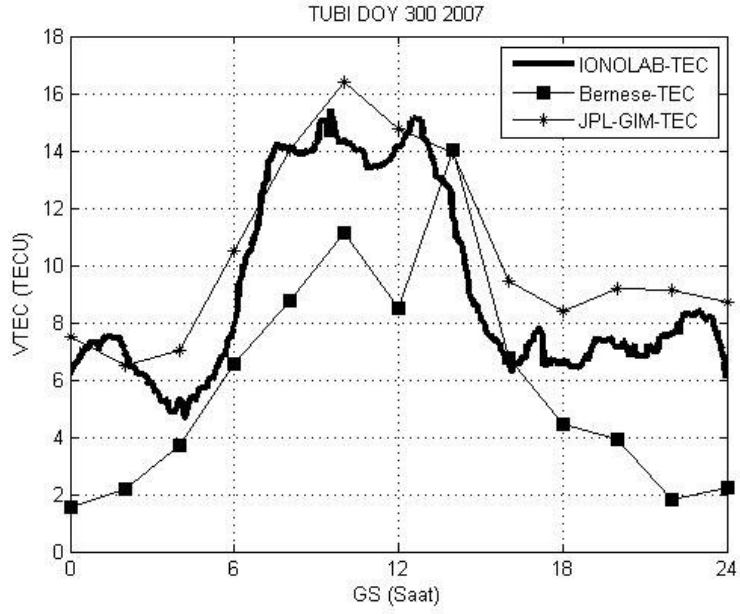
Bu karşılaştırmalara örnek olarak Şekil 6.17 HRRN istasyonu verisinde ve Şekil 6.18 TRAB istasyonu verisinde Bernese ile hesaplanan TEİ değerleri ile IONOLAB-TEC değerlerindeki paralellik net olarak görülmektedir. Ancak JPL-GIM değerlerine IONOLAB-TEC değerleri tüm grafiklerde daha yakındır. IONOLAB-TEC yöntemiyle 30 s zaman çözünürlüğünde TEİ değeri üretmek mümkündür. Dolayısıyla TEİ değerindeki en ufak değişimlere IONOLAB-TEC çok daha duyarlıdır. JPL-GIM'den alınan TEİ değerleri günlük bazda birbirine paralel bir seyir izlemekte ve gün içerisinde TEİ değerinde meydana gelen ani değişimleri gösterememektedir. Zaman çözünürlüğü 2 saat olan JPL-GIM değerleri Türkiye'deki istasyonlarda aynı gün farklı istasyonlar için paralel değerler üretmektedir.



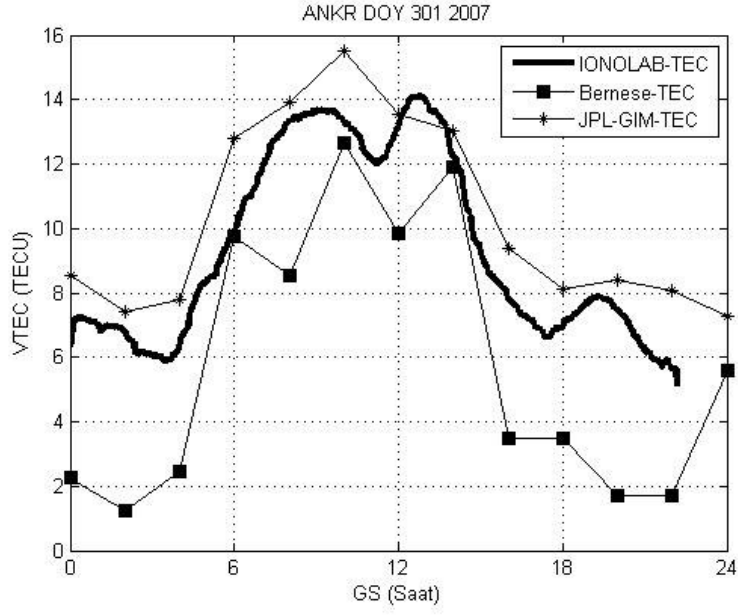
Şekil 6.13 ANKR İstasyonu 27 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.



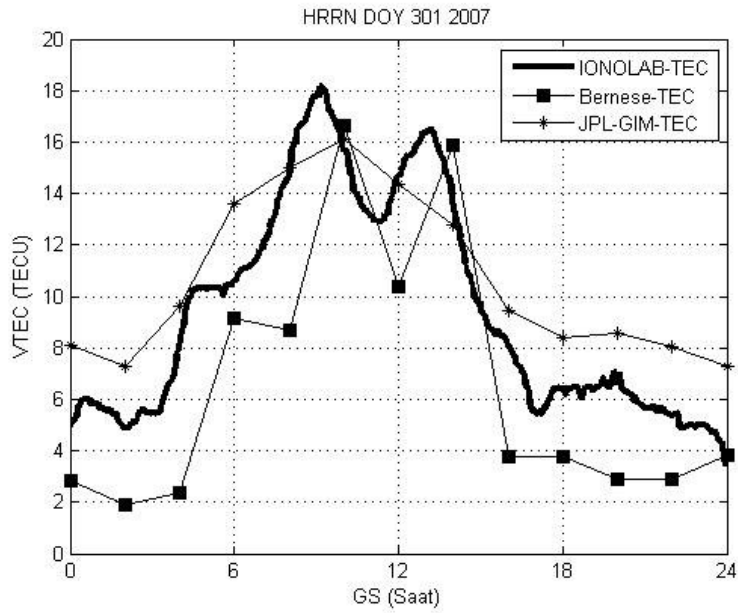
Şekil 6.14 HRRN İstasyonu 27 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.



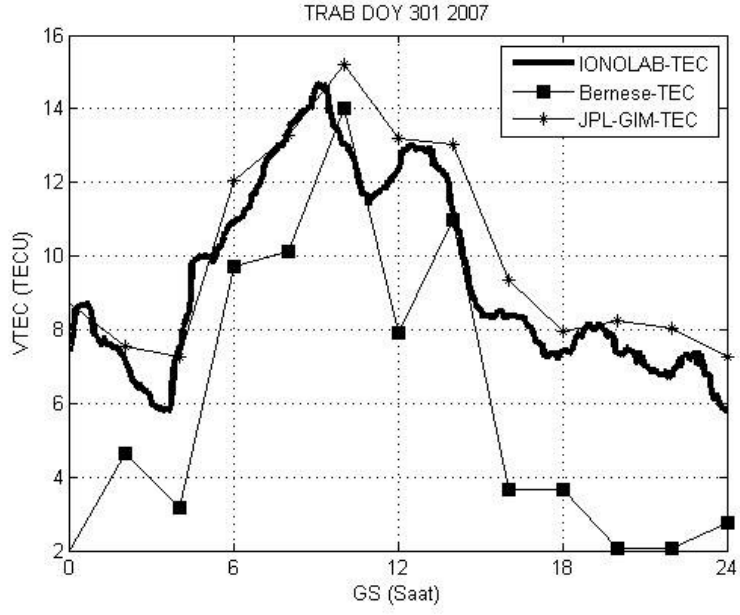
Şekil 6.15 TUBI İstasyonu 27 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.



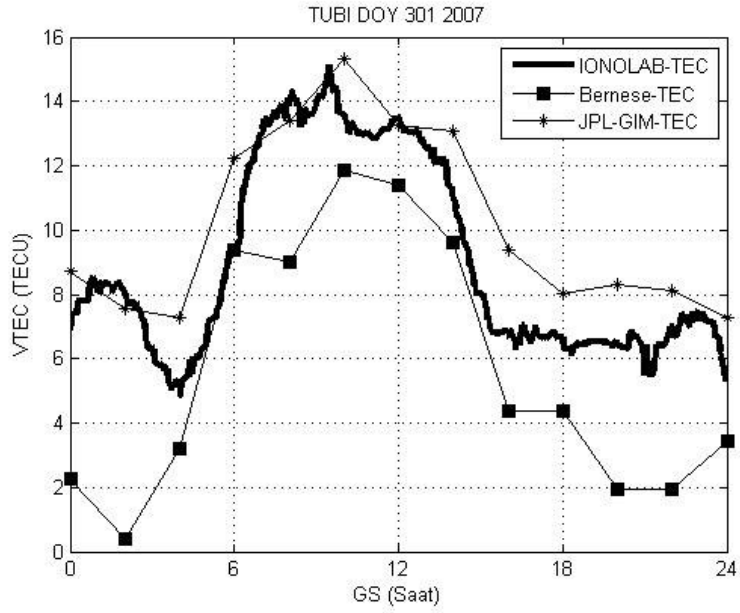
Şekil 6.16 ANKR İstasyonu 28 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.



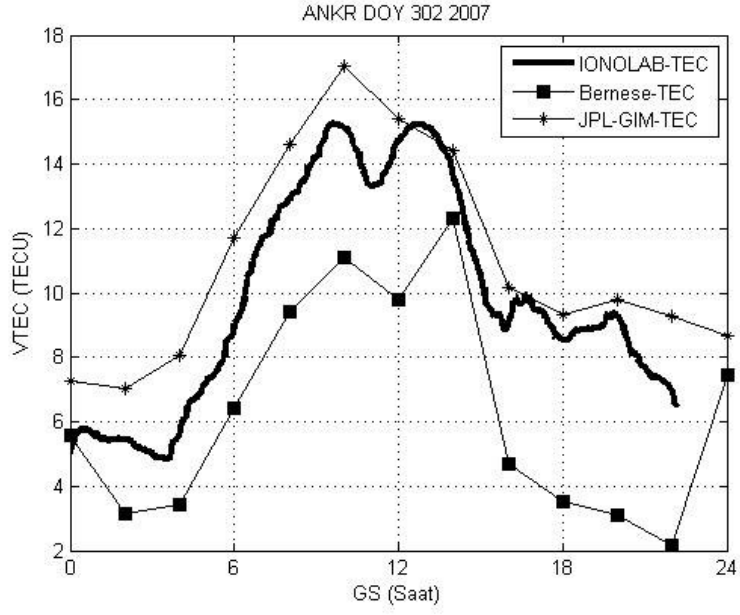
Şekil 6.17 HRRN İstasyonu 28 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.



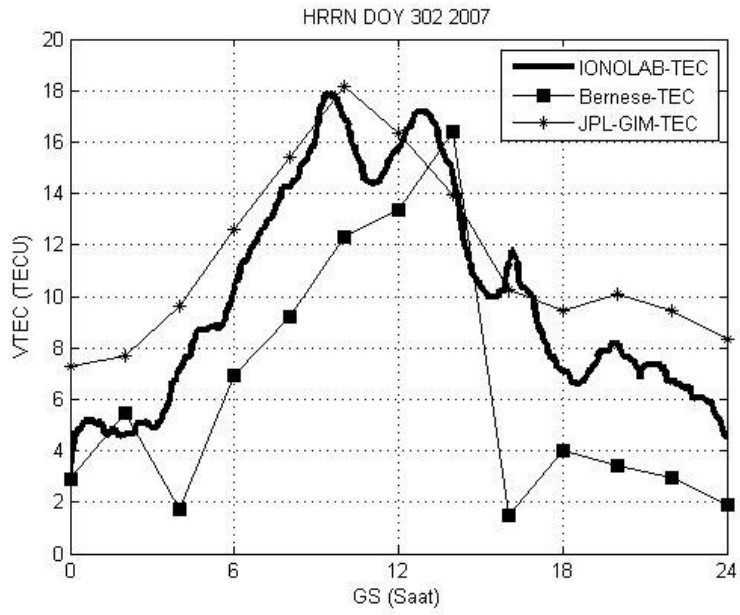
Şekil 6.18 TRAB İstasyonu 28 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.



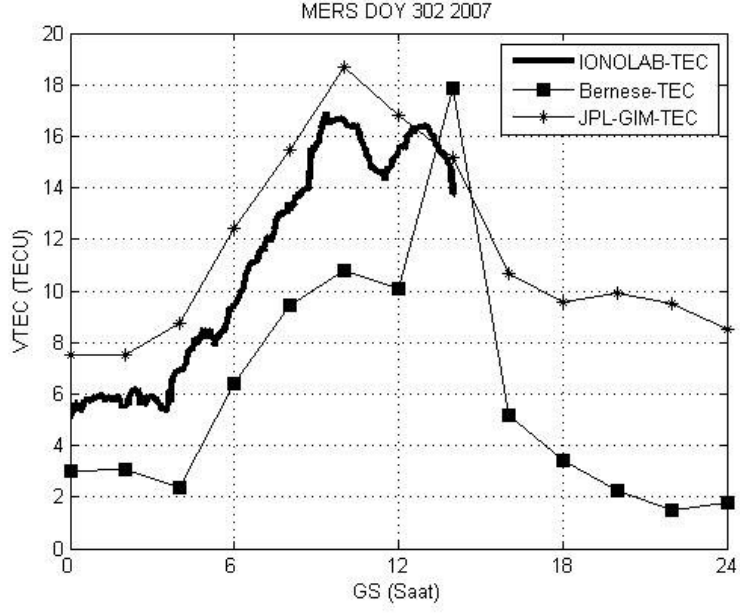
Şekil 6.19 TUBI İstasyonu 28 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.



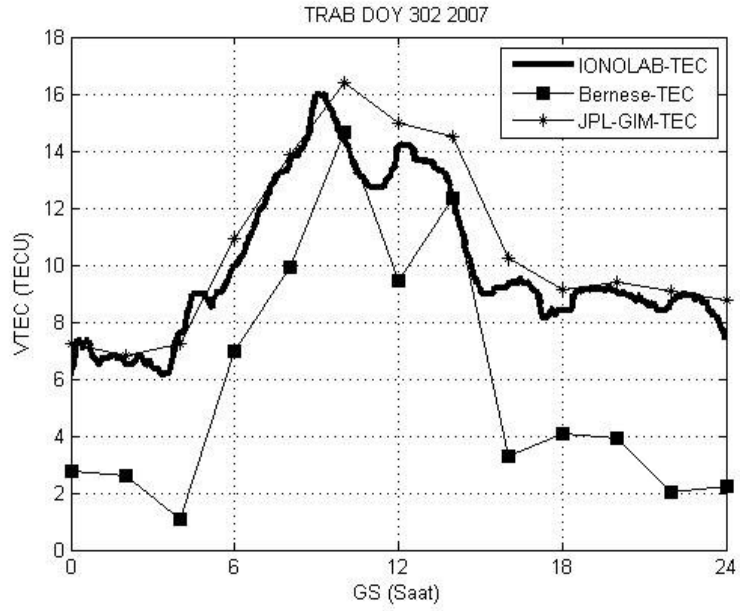
Şekil 6.20 ANKR İstasyonu 29 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.



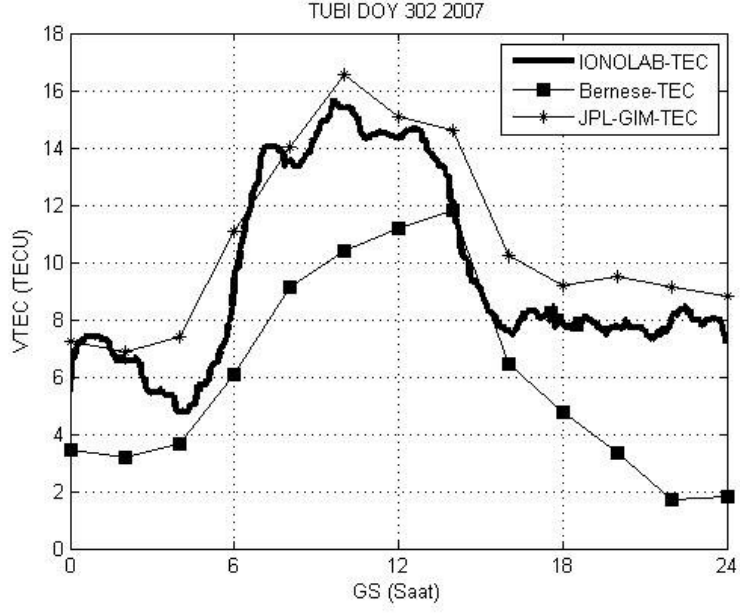
Şekil 6.21 HRRN İstasyonu 29 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.



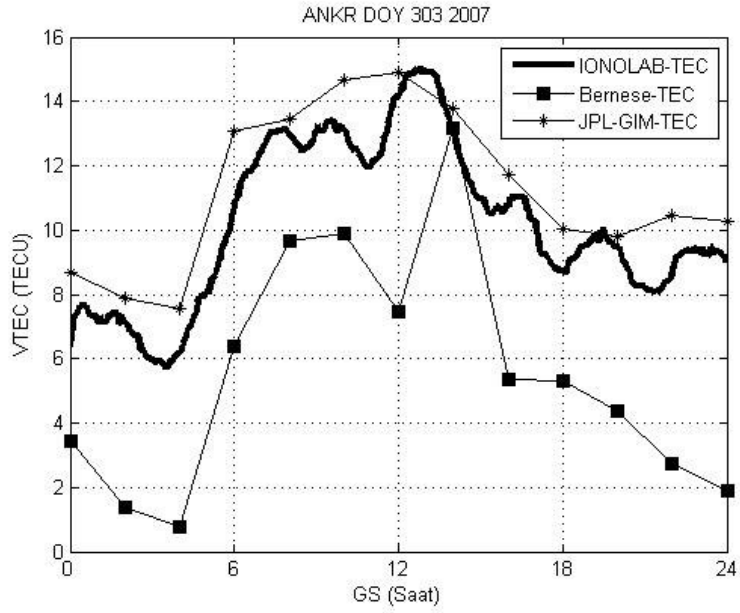
Şekil 6.22 MERS İstasyonu 29 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.



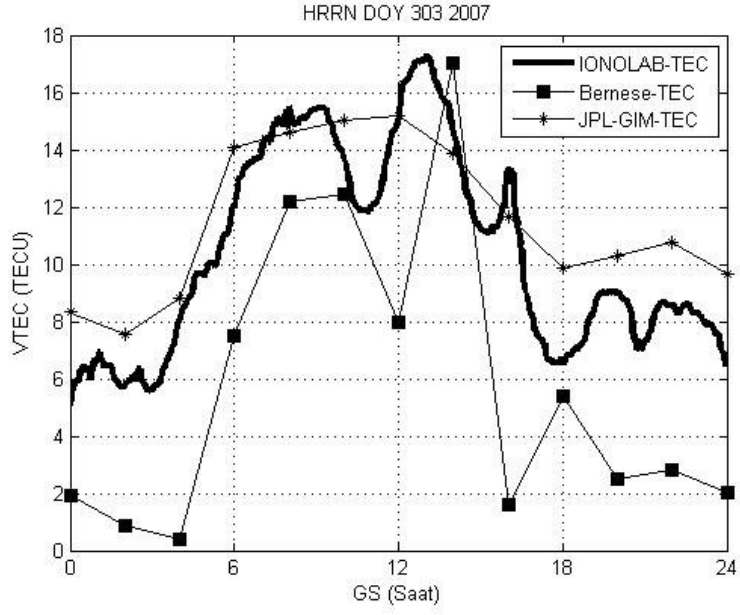
Şekil 6.23 TRAB İstasyonu 29 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.



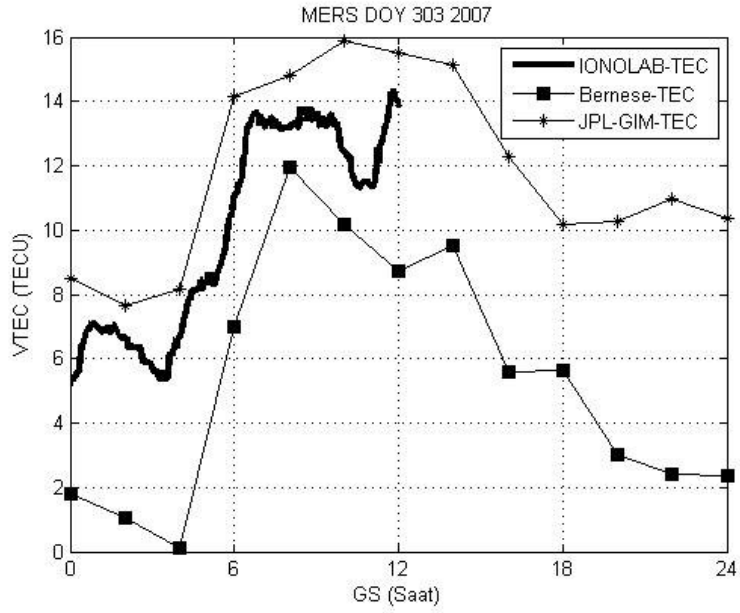
Şekil 6.24 TUBI İstasyonu 29 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.



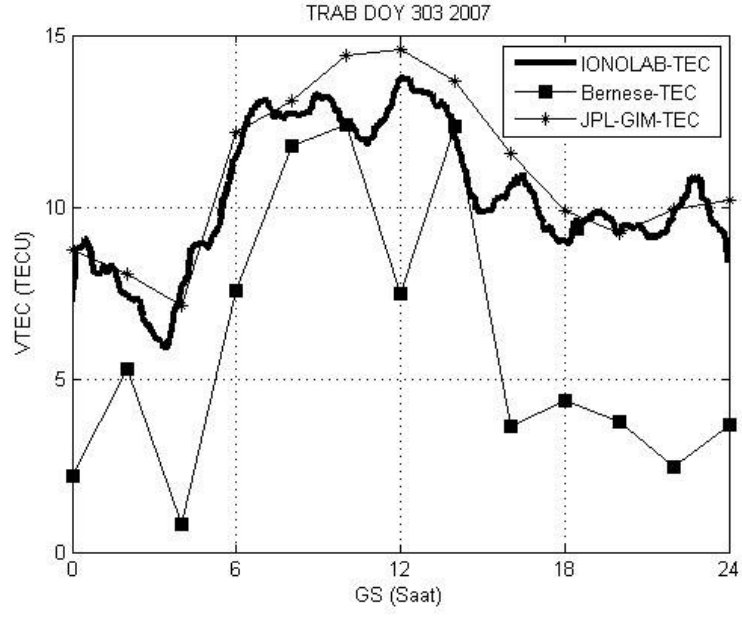
Şekil 6.25 ANKR İstasyonu 30 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.



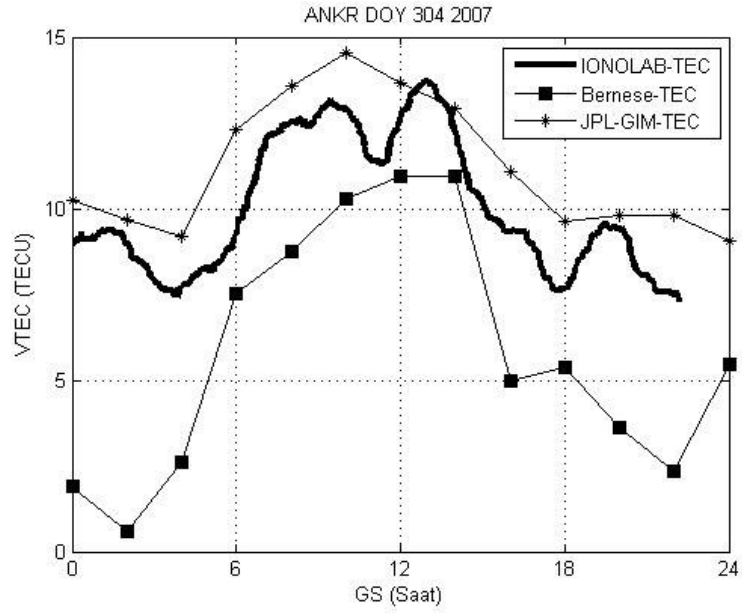
Şekil 6.26 HRRN İstasyonu 30 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.



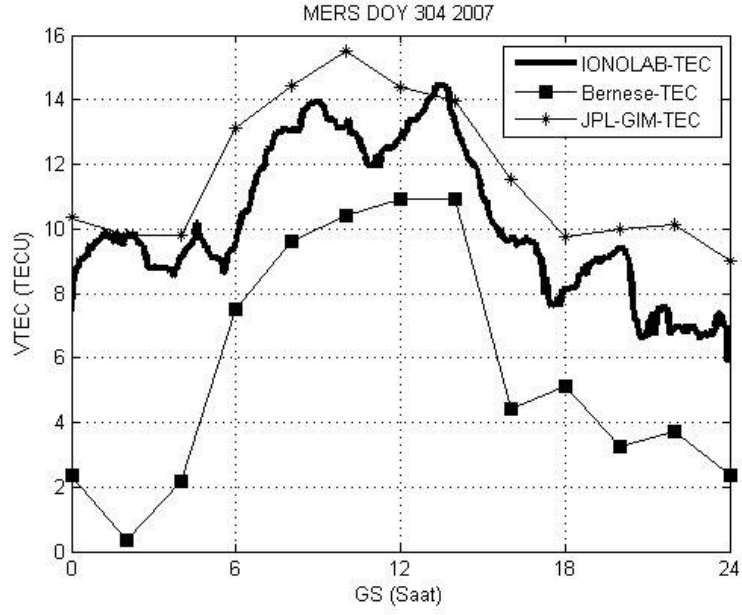
Şekil 6.27 MERS İstasyonu 30 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.



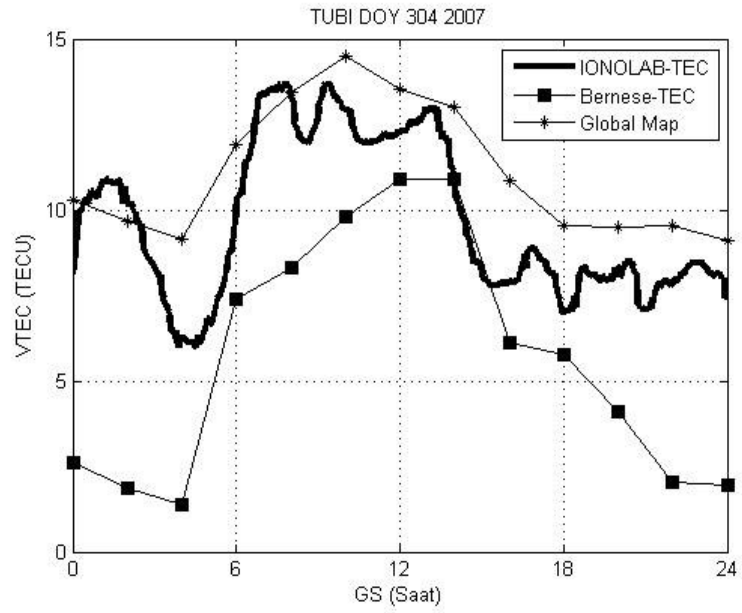
Şekil 6.28 TRAB İstasyonu 30 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.



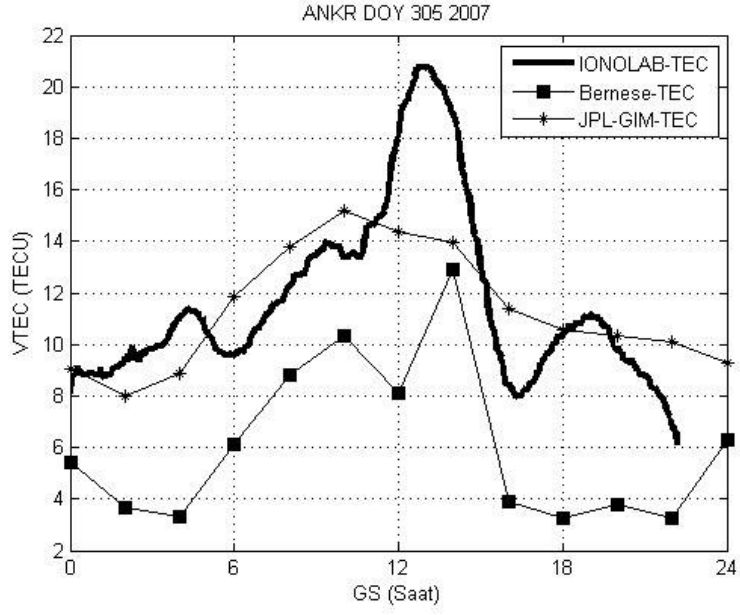
Şekil 6.29 ANKR İstasyonu 31 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.



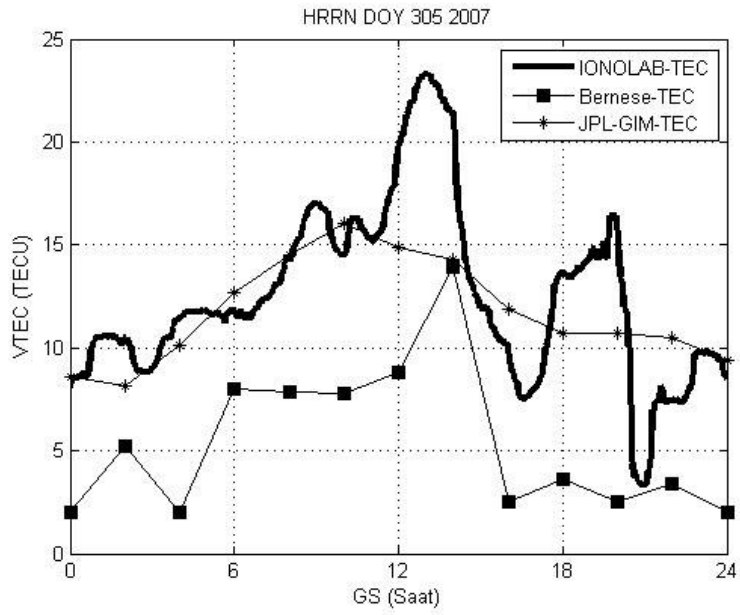
Şekil 6.30 MERS İstasyonu 31 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.



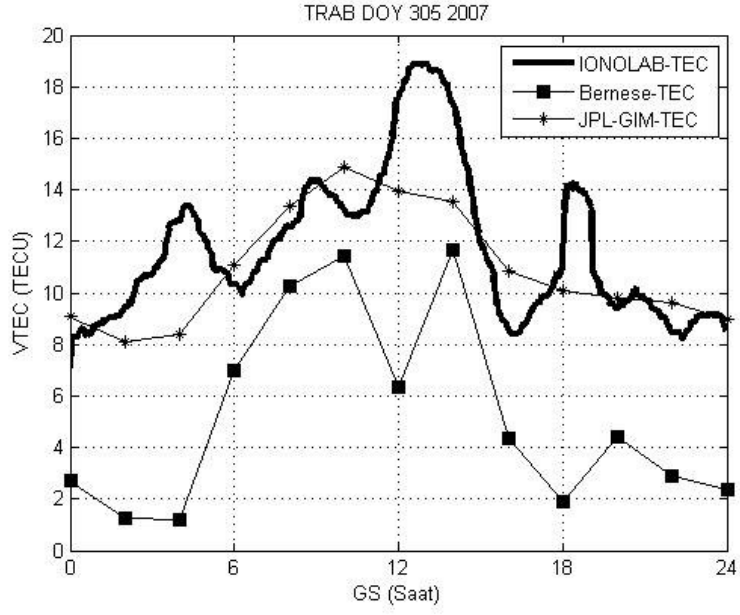
Şekil 6.31 TUBI İstasyonu 31 Ekim 2007 gününe ait TEİ grafiği.



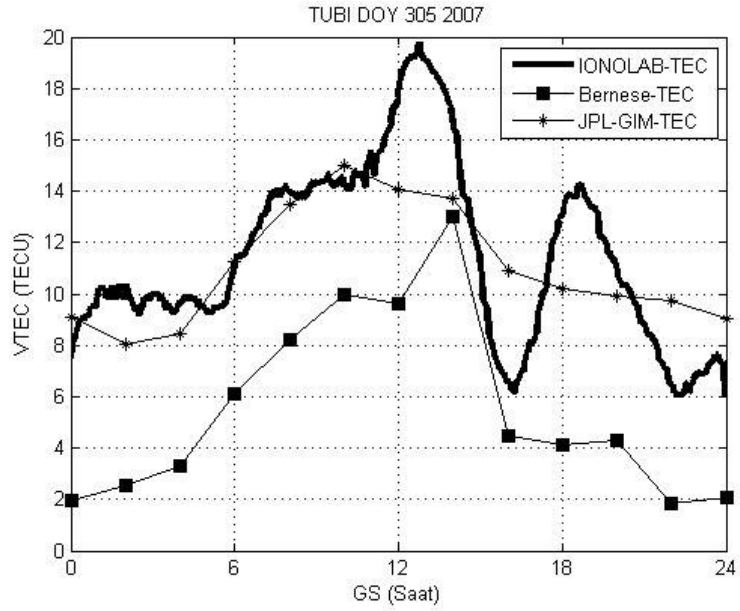
Şekil 6.32 ANKR İstasyonu 01 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.



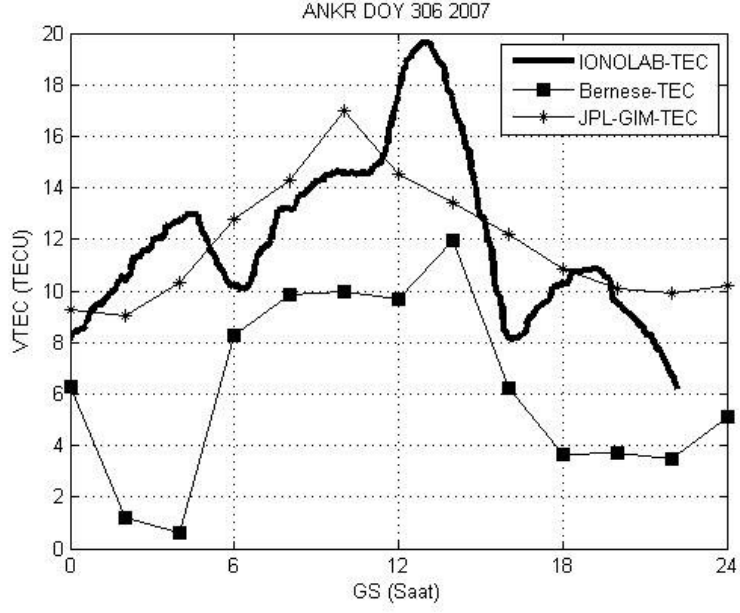
Şekil 6.33 HRRN İstasyonu 01 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.



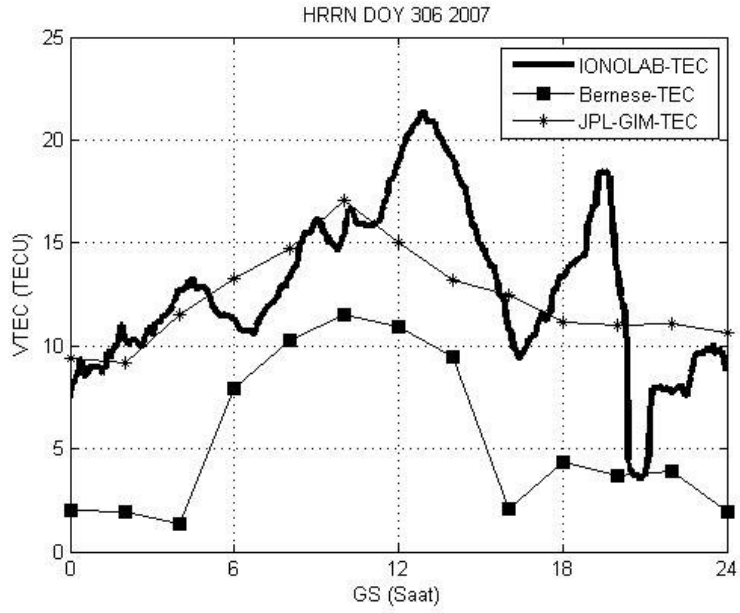
Şekil 6.34 TRAB İstasyonu 01 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.



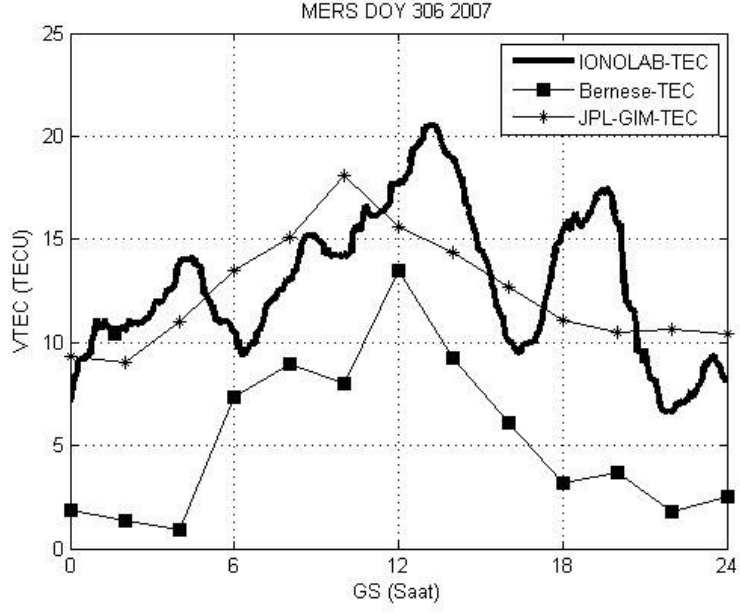
Şekil 6.35 TUBI İstasyonu 01 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.



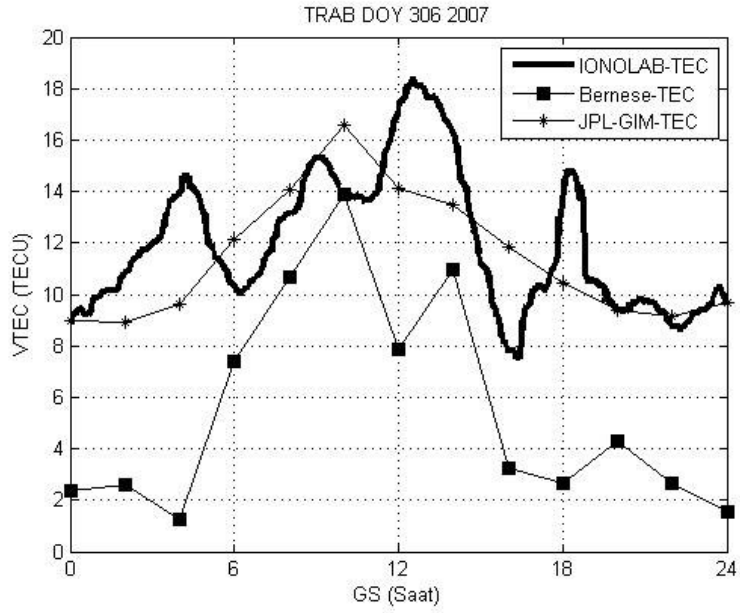
Şekil 6.36 ANKR İstasyonu 02 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.



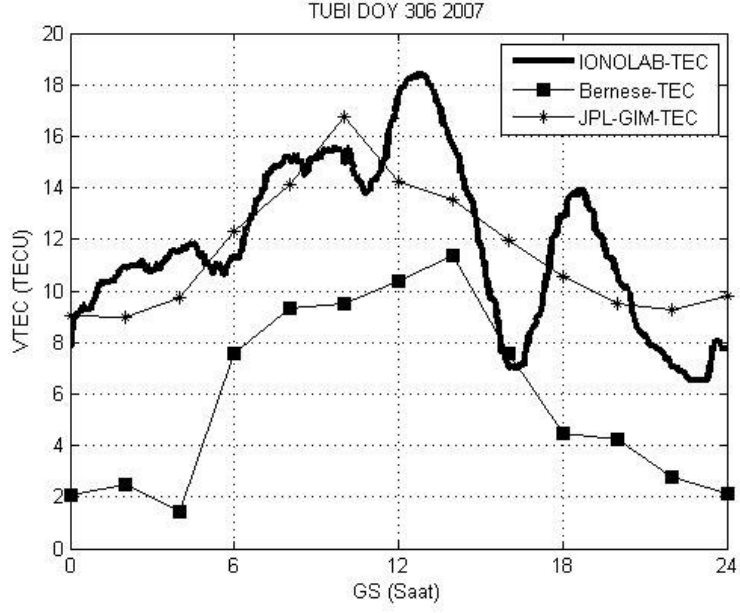
Şekil 6.37 HRRN İstasyonu 02 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.



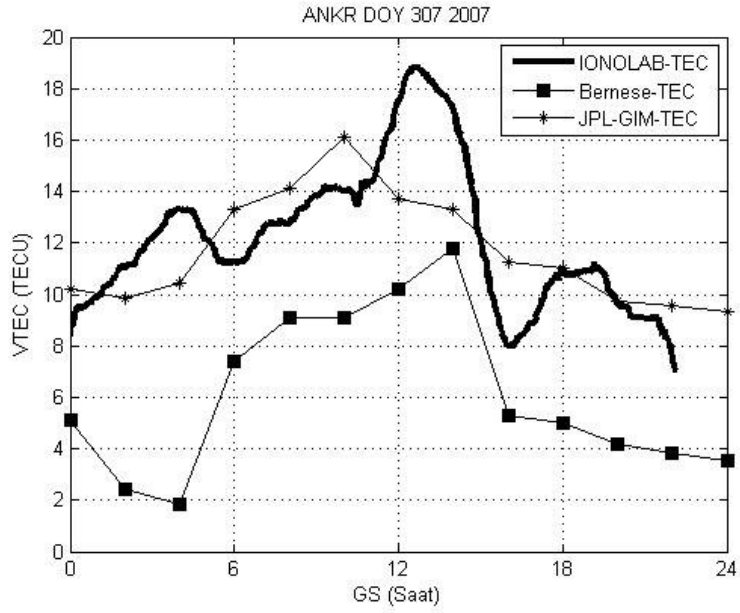
Şekil 6.38 MERS İstasyonu 02 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.



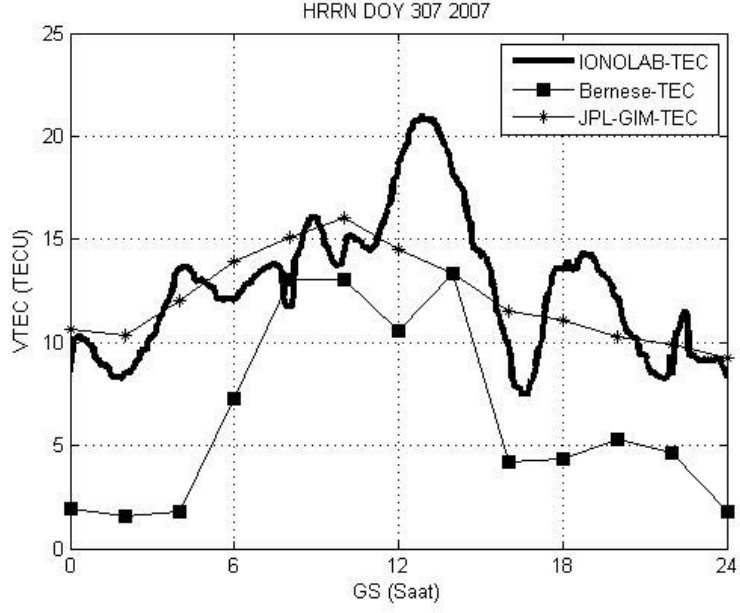
Şekil 6.39 TRAB İstasyonu 02 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.



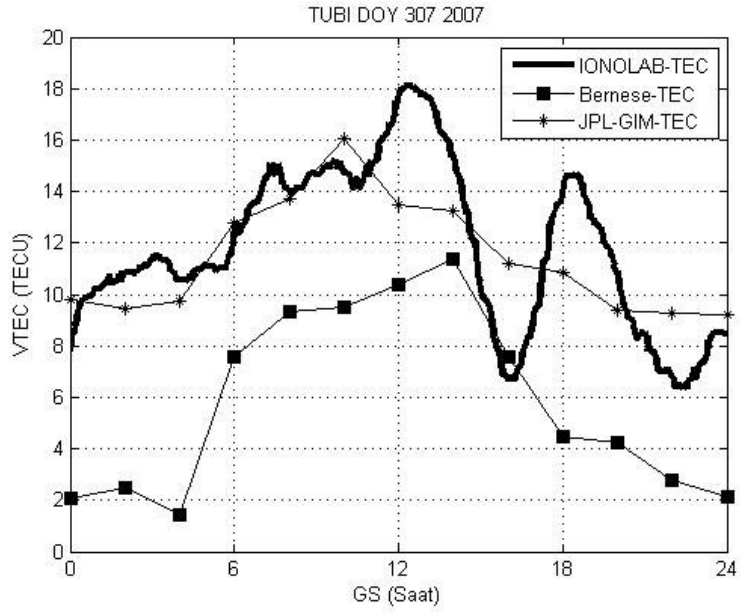
Şekil 6.40 TUBI İstasyonu 02 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.



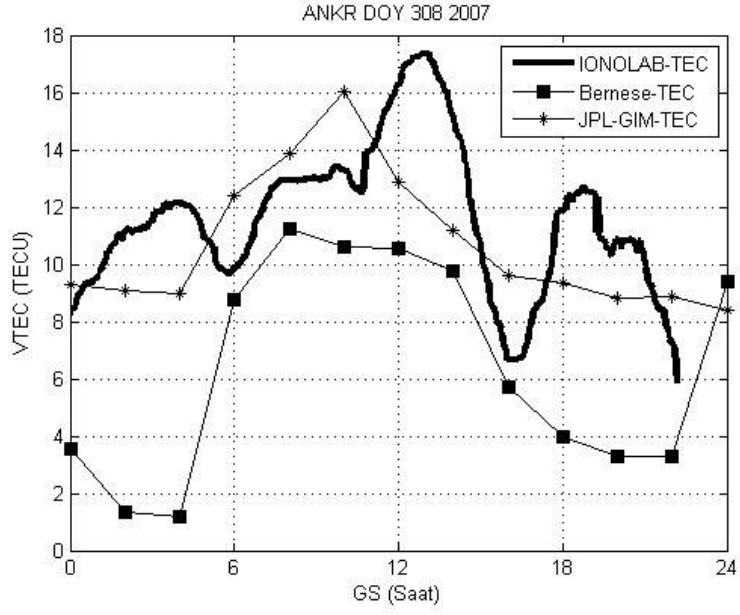
Şekil 6.41 ANKR İstasyonu 03 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.



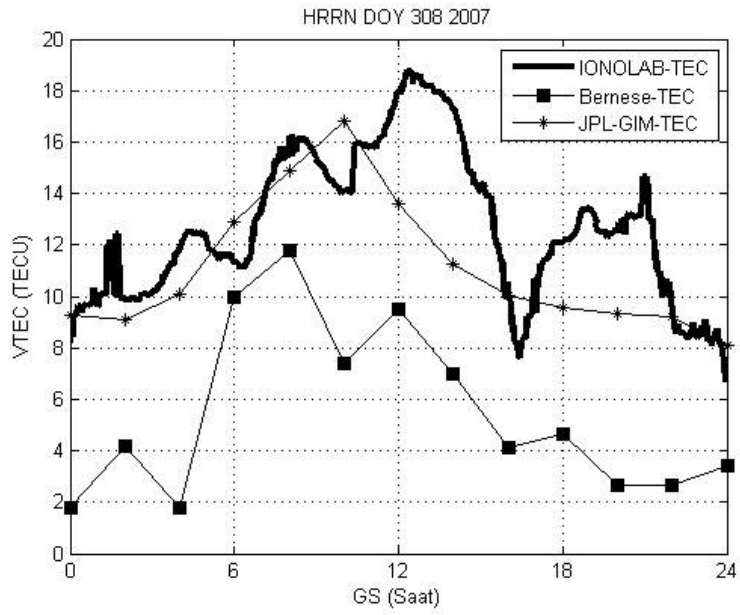
Şekil 6.42 HRRN İstasyonu 03 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.



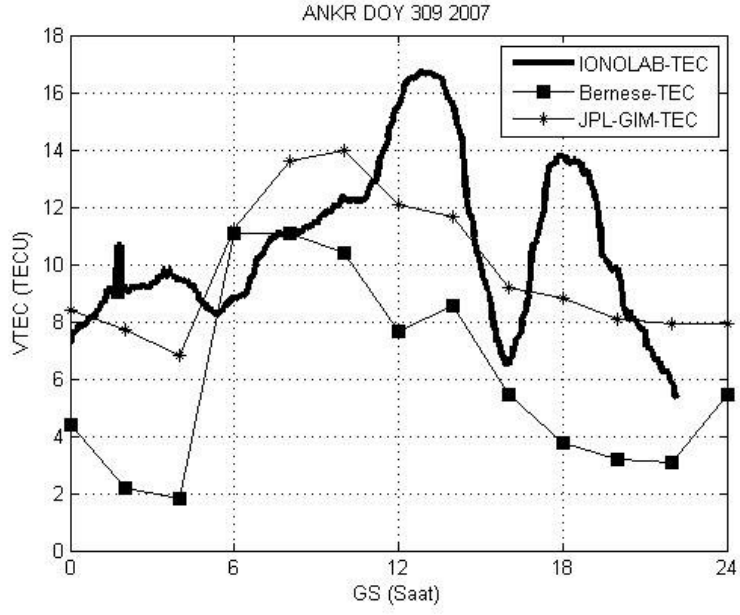
Şekil 6.43 TUBI İstasyonu 03 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.



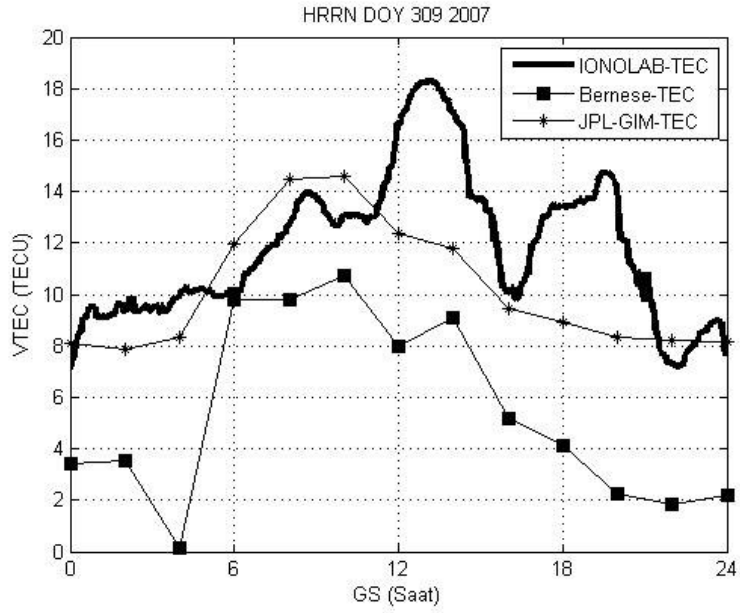
Şekil 6.44 ANKR İstasyonu 04 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.



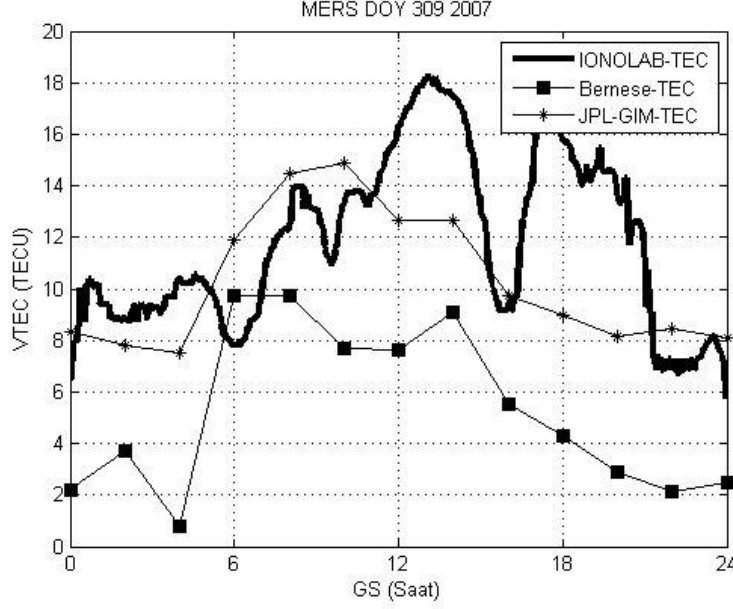
Şekil 6.45 HRRN İstasyonu 04 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.



Şekil 6.46 ANKR İstasyonu 05 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.



Şekil 6.47 HRRN İstasyonu 05 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.



Şekil 6.48 MERS İstasyonu 05 Kasım 2007 gününe ait TEİ grafiği.

Çizelge 6.2’de Bölüm 5.1’de anlatılan ve Şekil 6.6, Şekil 6.8, Şekil 6.10 ve Şekil 6.12’de ANKR, TRAB, TUBİ ve MERS için sunulan IONOLAB-BIAS değerleri, 27 Ekim 2007 gününe karşı gelen 300 ile 5 Kasım 2007 gününe karşı gelen 309’uncu günler için HRRN istasyonu da dahil edilerek TECU cinsinden sunulmuştur.

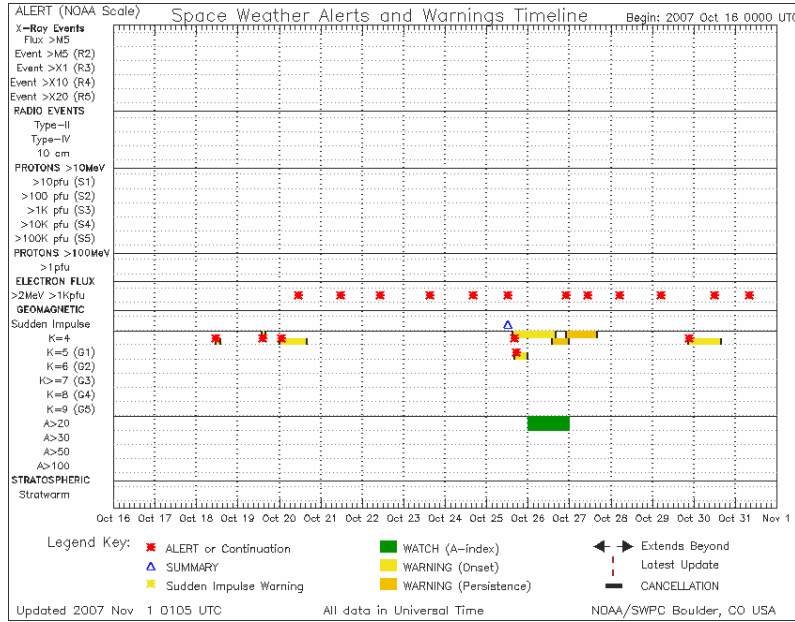
Çizelge 6.2 Seçilen istasyon ve günlere ait hesaplanan Alıcı Yanlılık değerleri (DCB).

İst.Adı GÜN	ANKR	HRRN	MERS	TRAB	TUBI
300	3,56111	4,6131	7,2669	-8,467	22,4461
301	3,563	4,8862	7,1452	-8,4058	22,3358
302	3,4896	4,5476	7,147	-8,6296	22,2497
303	3,4068	4,263	6,6798	-8,8598	21,9167
304	3,0066	4,4085	6,6021	-8,8792	21,8429
305	3,0265	4,2616	7,102	-9,261	21,8388
306	2,7451	3,5677	6,4916	-9,5808	21,6684
307	2,6986	3,4515	6,7868	-10,7044	21,4878
308	3,1006	4,2121	6,7178	Veri Yok	21,8308
309	3,4938	4,4572	7,0404	Veri Yok	22,2294

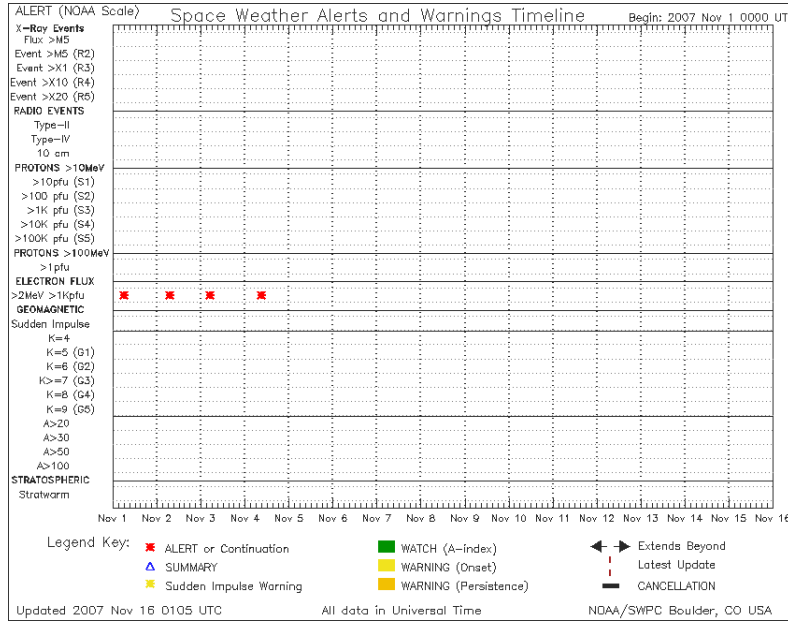
Seçilen 10 günlük döneme ilişkin olarak DST ve K_p indis değerleri de incelenmiştir. DST değerleri Çizelge 6.3’de, K_p değerini gösteriri grafik Şekil 6.49 ve Şekil 6.50’de verilmiştir.

Çizelge 6.3 27 Ekim – 05 Kasım 2007 dönemine ilişkin Dst değerleri (URL-2).

2007 EKİM AYI DST DEĞERLERİ																								
SAAT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
GÜN																								
21	-9	-7	-8	-9	-10	-9	-9	-10	-8	-6	-6	-6	-4	-4	-3	-6	-6	-4	-7	-8	-8	-6	-7	-10
22	-9	-7	-7	-9	-8	-8	-6	-3	-1	0	-1	0	4	5	5	1	-1	-3	-5	-3	-8	-10	-14	-15
23	-9	-5	-7	-11	-14	-15	-16	-16	-13	-11	-10	-8	-5	-2	-1	-1	-1	-4	-9	-8	-4	-4	-3	-3
24	-2	-2	-2	0	0	-1	-1	0	-2	-3	-3	-3	-1	1	1	0	2	2	3	3	2	1	0	0
25	3	2	0	2	-1	-4	-6	-8	-5	-3	-2	7	16	11	-2	-16	-12	-25	-43	-43	-47	-51	-45	-43
26	-41	-37	-34	-36	-32	-28	-27	-26	-22	-20	-18	-22	-25	-24	-26	-22	-18	-18	-17	-20	-21	-18	-16	-22
27	-22	-20	-21	-21	-15	-15	-13	-12	-15	-20	-29	-30	-19	-16	-14	-14	-19	-16	-20	-19	-18	-17	-17	-18
28	-20	-18	-17	-17	-17	-16	-16	-15	-17	-16	-14	-12	-7	-7	-6	-8	-9	-10	-15	-16	-14	-17	-19	-18
29	-17	-14	-11	-12	-10	-9	-13	-15	-15	-20	-23	-21	-18	-17	-19	-20	-19	-16	-19	-22	-18	-15	-15	-14
30	-21	-24	-26	-24	-28	-29	-30	-27	-26	-28	-25	-20	-16	-14	-12	-15	-16	-14	-16	-15	-15	-14	-15	-16
31	-15	-13	-14	-11	-11	-11	-14	-14	-13	-16	-18	-14	-11	-10	-8	-9	-10	-11	-9	-10	-12	-13	-15	-17
2007 KASIM AYI DST DEĞERLERİ																								
SAAT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
GÜN																								
1	-20	-17	-14	-10	-6	-4	-2	-2	-2	-1	-4	-4	-3	-5	-6	-7	-8	-10	-8	-6	-6	-5	-6	-8
2	-7	-7	-9	-12	-14	-12	-12	-10	-9	-7	-7	-5	-3	-3	-2	0	1	2	2	1	0	-3	-5	-6
3	-6	-6	-6	-7	-7	-7	-8	-9	-11	-10	-8	-9	-7	-6	-6	-4	-5	-6	-7	-6	-5	-6	-8	-10
4	-9	-7	-7	-5	-1	-1	0	2	2	1	-1	-3	-4	-7	-5	-3	-2	-1	-2	-2	-2	-2	1	2
5	1	-2	-1	0	-1	-2	0	2	1	0	-1	-1	1	2	0	-1	-2	-1	0	2	2	3	3	2
6	4	5	6	8	9	9	9	8	7	5	3	3	4	5	6	6	6	5	6	6	5	5	7	9
7	8	8	7	7	7	7	9	9	10	8	8	7	5	3	2	1	1	1	2	2	2	4	5	5
8	6	8	11	12	10	7	8	10	10	12	13	11	9	11	11	14	11	11	5	2	0	1	2	3
9	4	7	7	8	13	13	12	13	14	12	13	11	9	7	5	4	0	0	2	4	4	4	6	4
10	4	3	4	2	2	3	3	3	3	-4	-2	0	0	0	-2	-4	-6	-3	-2	0	0	0	1	1



Şekil 6.49 16-31 Ekim 2007 dönemine ilişkin Kp indisi (URL-3).



Şekil 6.50 1-15 Kasım 2007 dönemine ilişkin K_p indisi (URL-3).

Çizelge 6.3 ve Şekil 6.49 ile Şekil 6.50’de görüleceği üzere seçilen dönemde 26 Ekim 2007 günü minör bir manyetik fırtınadan söz edilebilir. Takip eden dönem de ise elektron parlaması (elektron flux) 4 Kasım 2007’ye kadar devam etmektedir.

Bu şekillerden de görüleceği üzere Bernese ve JPL-GIM iki saat aralığında TEİ hesabı yapabilmekte, IONOLAB-TEC ise 30 s zaman çözünürlüğünde hesaplanabilmektedir. Bu sayede IONOLAB-TEC Bernese ve GIM ile yakalanmayan iyonosfer bozulmaları ve değişimleri de tespit edilebilmektedir. Hesaplanan IONOLAB-TEC değerleri JPL-GIM ile çok benzer düzeydedir. Bernese TEC ise IONOLAB-TEC değerlerine yakın değişimleri gösterebilmesine karşın hem zaman çözünürlüğü açısından düşüktür, hem de seviye olarak JPL-GIM TEİ değerinin bir miktar aşağısındadır.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında HGK'nın katılımcı olarak yer aldığı 105E171 nolu TÜBİTAK projesi kapsamında geliştirdiği IONOLAB-TEC yöntemi ve alıcı yanlılığı hesaplaması kullanılmıştır. HGK'ya bağlı TUSAGA içinde yer alan 23 istasyon için, istasyonların çalıştığı zaman aralıklarında TEİ ve alıcı yanlılığı değerleri hesaplanmış ve ilk kez Türkiye için bir veri tabanı oluşturulmuştur. Tez çalışması kapsamında seçilen 10 günlük dönem için JPL-GIM ve Bernese programından hesaplanan TEİ değerleri IONOLAB-TEC değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma IONOLAB-TEC değerlerinde daha önce ortaya konmuş olan zaman ve uzay çözünürlüğü ve hesapların güvenilirliğini bir kez daha göstermiştir.

TEİ hesaplamasında bilinmeyenlerden birisi olan ve anlık olarak erişilmesi mümkün olmayan alıcı yanlılık değerinin yıllar içerisindeki değişimi belirlenmiş ve bir veri tabanı oluşturulmuştur. Daha önce alıcı yanlılık değeri hesaplanmamış istasyonlar için alıcı yanlılık değeri ilk kez hesaplanmıştır. Alıcı yanlılık değeri bilinmeyen Türkiye'deki sabit GPS istasyonlarında söz konusu değer her bir istasyon için farklılık gösterdiği günlük olarak değiştiği belirlenmiştir. GPS ile anlık konum belirlemede özellikle tek frekanslı alıcılarda yapılacak uygulamalarda GPS sinyalindeki iyonosferik etkinin giderilmesi için iyonosferde oluşacak anlık değişimler IONOLAB-TEC yöntemiyle belirlenebilir.

Bu tez kapsamında oluşturulan veri tabanı sayesinde 105E171 nolu projede geliştirilen görüntüleme teknikleri ile kullanılarak Türkiye için yüksek hassasiyette ve zaman çözünürlüğünde iki ve üç boyutlu görüntüleme yapılması mümkün olacaktır. Bu görüntülerin işlenmesi Türkiye coğrafyasında iyonosferin istatistiksel modellenmesi ve çözümlemesi için çok gerekli bilgileri sağlayacaktır. İyonosfer tabakasında meydana gelecek elektron yoğunluğu değişimlerinin periyodik normal değişimler mi olduğu yoksa anormal bir değişiklik mi olduğu konusunda önemli bir altlık zamanla oluşacaktır.

Yıllar bazında verilen TEİ ve alıcı yanlılık grafiklerinde görüleceği üzere sabit GPS istasyonlarında üretilen veri ne kadar kaliteli ve kesintisiz ise sonuç ürünleri de o oranda kaliteli olmaktadır.

KAYNAKLAR

- 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, 2003.
- 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, Nayir H, Sezen U and Arıkan O** (2008) Estimation of Single Station Interfrequency Receiver Bias Using GPS-TEC, Radio Science, Vol.43, RS4004.
- Aslan N** (2004) GPS ile İyonosfer Toplam Elektron Yoğunluğu Değişimlerinin Koordinatlara Etkisinin Araştırılması Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Aysezen M Ş, Lenk O, Kılıçoğlu A, Nayir H, Sezen U, Arıkan F ve Mekik Ç** (2007) Sabit GPS İstasyonlarında Alıcı Yanlılık Hatası Kestirimi ve Türkiye Uygulaması, TUJK 2007.
- 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, Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, İTÜ, 2008.
- Bishop G, Mazzella A, Hollve E and Rao S** (1996) Algorithm that Use the Ionosphere to Control GPS Errors, IEEE, 0-7803-3085-4/96.
- Cveer L R** (2002) Space Weather Impact on Communications at Solar Maximum, Rutherford Appleton Laboratory Final Report, Projects at the Radio Communications Research Unit.
- Danilov A D and Lastovicka J** (2001) Effects of Geomagnetic Storms on the Ionosphere and Atmosphere, International Journal of Geomagnetism and Aeronomy Vol.2 No.3, Pages 209-224.
- Gizawy L M** (2003) Development of an Ionosphere Monitoring Technique Using GPS Measurements for High Latitude GPS Users, PhD Thesis, University of Calgary.
- Grejner-Brzezinska A, Wielgosz P, Kashani I, Smith D A and Spencer P S J** (2004) An analysis of the effects on different network-based ionosphere estimation models on roverpositioning accuracy, Journal of Global Positioning Systems. 3, 115-131.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Hunsucker R D and Hargreaves J K** (2003) *The High-Latitude Ionosphere ve Its Effects on Radio Propagation*, Cambridge University Press, Cambridge, 617s.
- Jakowski N, Wehrenpfenning A, Heise S, Schluter S and Noack T** (2001) *Space Weather Effects in the Ionosphere and their Impact on Positioning*, Space Weather Workshop: Looking Towards a Future European Space Weather Programme, 17-19 September 2001 ESTEC, Noordwijk, the Netherlves.
- Jakowski N, Wehrenpfenning A and Heise S** (2002) *Total Electron Content Behaviour at High Latitudes during Geomagnetic Storms*, XXVIIth General Assembly of the International Union of Radio Science, 17-24 Aug. 2002 Maastricht, The Netherlves.
- Komjathy A** (1997) *Global Ionospheric Total Electron Content Mapping Using the Global Positioning System*. Ph.D. dissertation, Department of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report No. 188, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Kanada, 248p.
- 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, Brisbane, Australia, 23-27 July 1996.
- Langley R B** (2002) *Monitoring the Ionosphere and Neutral Atmosphere with GPS* Division of Atmospheric and Space Physics Workshop, Fredericton, N.B., 21-23 February 2002.
- Lanyi G E and Roth T** (1988) *A comparison of mapped ve measured total ionospheric electron content usin global positioning system and beacon satellite observations*, Radio Science. 23, 483-492.
- Ma G and Maruyama T** (2003) *Derivation of TEC and estimation of instrumental biases from GEONET in Japan*, Annales Geophysicae. 21, 2083-2093.
- Makalea J J, Kelley M C, Sojka J J, Pi X and Manucci A J** (2001) *GPS Normalization and Preliminary Modeling Results of Total Electron Content during Midlatidute Space Weather Event*, Radio Science, 36, 356-361,.
- Parkinson B W and Spilker J J** (1996) *Global Positioning Systems: Theory and Applications*, Vol.1.
- Nayir H** (2007) *Yerküresel Konumlama Sistemi İşaretleri Kullanılarak İyonosfer Toplam Elektron İçeriği Kestrimi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,
- Nayir H, Arıkan F, Arıkan O and Erol C B** (2007) *Total Electron Content estimation with Reg-Est*, Journal Of Geophysical Research, VOL. 112, 2007
- 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.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

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

Schaer S (1999) Mapping and Predicting the Earth's Ionosphere Using the Global Positioning System, Doktora Tezi, University of Bern, İsviçre, 228p.

Teunissen P J G and Kleusberg A (1998) GPS for Geodesy, 2nd Edition.

Uğurlu O, Sezen U ve Sayın I (2007) Web Tabanlı IONOLAB-TEİ Kestirimi RAST-2007.

URL-1 <http://www.bernese.unibe.ch/docs/DOCU50.pdf>

URL-2 <http://www.aero.org/education/primers/gps/elements.html>

URL-3 <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps f.html>

URL-4 <http://www.garmin.com/manuals/GPSGuideforBeginners Manual.pdf>

URL-5 <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/GEOMAG/kp ap.html>

URL-6 http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/index.html

URL-7 <http://www.swpc.noaa.gov/alerts/archive.html>

URL-8 <ftp://igsceb.jpl.nasa.gov/pub/data/format/ionex1.pdf>

Veerson D and Rowell T F (1999) Space environment topics. The Ionosphere. <http://www.sec.noaa.gov/info/Iono.pdf>

Warnant R (1997). Reliability of the TEC Computed Using GPS Measurements - The Problem of Hardware Biases, Acta Geod. Geoph. Hung., 32(3-4), 451{459.

Wild U (1994) Ionosphere ve Geodetic Satellite Systems: Permanent GPS Tracking Data for Modelling ve Monitoring, Ph.D Thesis.

ÖZGEÇMİŞ

Melih Şükrü AYSEZEN, 1976 yılında Aydın'da doğdu. İlk öğrenimini Cumhuriyet İlköğretim Okulu'nda orta öğrenimini Gazipaşa ortaokulunda tamamladı. Lise öğrenimini Aydın Lisesi'nde tamamlayarak, 1996 yılında İstanbul Yıldız Teknik Üniversitesi, bölümüne kayıt yaptırdı. Bu bölümden 2001 yılında mezun oldu. 2006 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim dalında başladığı yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir

ADRES BİLGİLERİ

Adres :Çiği tepe askeri lojmanları, Tomay Apt. Daire:10, ANKARA

Tel: (312) 3515030

E-posta: melihsukru@hotmail.com

Melih Şükrü AYSEZEN