



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GNSS VERİLERİNDEN HESAPLANAN ELİPSOİD YÜKSEKLİKLERİNİN ATMOSFERİK VERİLERLE İYİLEŞTİRİLMESİ

Seyit Ali YILMAZ

DOKTORA

ARALIK-2013

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Aşır GENÇ

FBE Müdürü

Bu tez çalışması Biimsel Araştırmalar Proje (BAP) Koordinatörlüğü tarafından 10101048 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

DOKTORA TEZİ

GNSS VERİLERİNDEN HESAPLANAN ELİPSOİD YÜKSEKLİKLERİNİN ATMOSFERİK VERİLERLE İYİLEŞTİRİLMESİ

Seyit Ali YILMAZ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Ferruh YILDIZ

2013, 111 Sayfa

Jüri
Prof.Dr. Ferruh YILDIZ
Doç.Dr. Murat YAKAR
Doç.Dr.Koray ÖZCAN
Prof.Dr. Cevat İNAL
Doç.Dr. Muzaffer KAHVECİ

Troposfer atmosferin en alt tabakasıdır. Kalınlığı, ekvatorda yaklaşık 18 km iken kutuplara doğru azalarak kalınlığı 8 km'ye kadar düşer. Atmosferin toplam kütlesinin %75'ini içermesiyle atmosferin diğer katmanlarına göre en yoğun katmanı olan troposfer, nokta konumunun hassas olarak belirlenmesinde oldukça önemli bir hata kaynağıdır. Troposfer, atmosferin nötr yani iyonize olmamış katmanı olduğu için GNSS sinyallerine olan etkisi iyonosfer tabakasında olduğu gibi GNSS alıcılarında bulunan L1 ve L2 taşıyıcı dalgalarından oluşturulacak faz kombinasyonları ile giderilememektedir. Troposferik gecikme etkisi; sıcaklık, bağıl nem ve basıncın bir fonksiyonu olup, ölçü noktasının yüksekliği ile bire bir ilişkilidir.

Nötr (iyonize olmamış) atmosferin radyo frekanslarında yayınlanan elektromanyetik dalgalara olan etkisi troposferik gecikme etkisi (ya da troposferik refraksiyon) olarak isimlendirilmektedir (Kahveci 1997). Bu etki elektromanyetik dalganın yavaşlamasına ve eğilmesine neden olur. Troposferik gecikme hesabında, Saastamoinen ve Hopfield modelleri, zamandan ve gerçek meteorolojik koşullardan bağımsız atmosferik parametrelerle birlikte Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) gözlemlerinin değerlendirilmesinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Meteorolojik uygulamalarda ise, atmosferdeki su buharının konumsal ve zamansal olarak dağılımının hassas olarak temsil edilmesi oldukça güçtür. Yağışa dönüşebilir su buharının (Precipitable Water: PW) sayısal olarak tahmin kalitesi atmosferik nem bilgisinin dağılımının doğru olarak belirlenmesine bağlıdır (Glowacki et al. 2006).

Başlangıçta askeri alanda konumlama ve seyrüsefer (navigasyon) amaçlı kullanım için tasarlanan Küresel Konumlama Sistemi (GPS), diğer kullanım alanları ile birlikte, yüksek zamansal çözünürlüklü PW değerlerinin hesaplanmasında da kullanılabilmektedir (Bevis et al. 1992). Ayrıca GNSS ölçümleri yardımıyla hesaplanan PW değerlerinin pek çok bilimsel çalışmalarda örneğin meteorolojik amaçlı kullanılabileceği görülmüştür.

Bu çalışmada; troposfer tabakasından geçen GNSS sinyallerinin, nokta koordinatlarına etkisini görmek için; 2012 ve 2013 yıllarına ait Meteorolojik Sensörlerin değişik mevsim şartlarında statik GNSS ölçümleriyle dışarıdan hesaba dahil edilerek Yükseklik bileşenine olan iyileştirmesi çalışmaları anlatılmıştır. Bu çalışma daha önce Türkiye'de herhangi bir örneği olmayan; denenmemiş; Modelleme yerine anlık Meteorolojik ölçümlerin kullanılması bakımından ilktir. Çalışma bölgesinde belirlenen 10 adet noktada, meteorolojik parametrelerin mevsime bağlı değişimlerini de belirleyebilmek veya en azından fikir sahibi olabilmek amaçlarıyla "kış ölçüsü" ve "yaz ölçüsü" şeklinde ayrı ayrı GNSS gözlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, ölçü noktalarında meteorolojik sensör kullanılarak, ölçü süresi boyunca sıcaklık, basınç ve nem bilgileri toplanmıştır. Elde edilen veriler farklı troposferik parametreler kullanılarak analiz edilmiş ve elde edilen koordinatlardaki değişim miktarları ortaya konulmuştur.

Söz konusu veriler GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilmiştir.

Kış ve yaz aylarında gerçekleştirilmiş olan GPS ve Meteorolojik verilerin hesap analiz çalışmalarının sonucunda; GPS gözlemlerini değerlendirme yazılımları ile elde edilen elipsoid yüksekliklerinin doğruluğunun meteorolojik veri kullanılarak iyileştirilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: GNSS sinyalleri; Meteorolojik Sensörler; Modelleme; Troposferik Etki; Yükseklik Koordinatları

ABSTRACT

Ph. D THESIS

IMPROVING GPS-DERIVED ELLIPSOIDAL HEIGHTS USING OBSERVED METEO DATA

Seyit Ali YILMAZ

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY

THE DEGREE OF DOCTOR OF PHOTOGRAMETRY

IN TOPOGRAPHIC ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Ferruh YILDIZ

2013, 111 Pages

Jury

Prof.Dr. Ferruh YILDIZ
Assoc.Prof.Dr. Murat YAKAR
Assoc.Prof. Dr.Koray ÖZCAN
Prof.Dr. Cevat İNAL
Assoc.Prof.Dr. Muzaffer KAHVECİ

The troposphere is the lowest layer of the atmosphere. Its thickness is approximately 18 km at the equator whereas it decreases 8 km towards the poles. Atmosphere which is the most dense of the troposphere by containing 75% of the total mass compared to the other layers of the atmosphere is a significant error source in determining the point location. Since the troposphere is the layer that isn't ionised or

called neutral its effect on GNSS signals can't be eliminated by phase combinations occured from L1 and L2 carrier waves of GNSS receivers as in ionosphere layer. Tropospheric delay effect is a function of temperature, relative humidity and pressure and it is related with the height of the measuring point.

The effect of neutral (non-ionized) atmosphere to electromagnetic waves transmitted in radio frequency is called tropospheric delay effect (or tropospheric refraction) (Kahveci, 1997). This effect causes slowing down or a deflection of the electromagnetic wave. Saastamoinen and Hopfield models with atmospheric parameters independent of time and the actual meteorological conditions are widely used in the evaluation of observation of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) in Tropospheric delay calculation. In meteorological applications, it is very hard to represent the location and time distribution of water vapor in atmosphere. The numerical estimation quality of Precipitable Water: PW depends on the correct determination of atmospheric humidity dispersion (Glowacki et al. 2006).

Initially, Global Positioning System (GPS) was designed to be used for positioning and navigation purposes in the military field. GPS can also be used in calculating the high temporal resolution PW values (Bevis et al., 1992). Moreover, the PW values calculated by using GNSS measurements can be used in many scientific studies like meteorological purpose.

In this study, improvement of the accuracies in ellipsoidal heights derived from GPS observations by including measurements of meteorological sensors performed simultaneously in the project area during static GPS campaigns carried out in 2012 and 2013, under different season conditions. To our knowledge, this study hasn't been studied before in Turkey. . In this study real meteorological measurements were observed and used in the GPS processings and the results were compared with the ones obtained from standard atmosphere modelling using mapping functions. GNSS observations were performed as "winter measurements" and "summer measurements" on 10 previously determined During GPS observations, meteorological data (temperature, pressure and humidity) were also collected simultaneously by using meteorological sensors at measurement sites. Collected GPS and meteo data were evaluated by using different processing and tropospheric parameters. GPS data were processed by using GAMIT Software.

During the evaluation and analysis of the processing results it was concluded that accuracy of the GPS derived ellipsoidal heights can be improved by using real meteorological data if some criteria are fulfilled, namely, sensors should be placed high enough (i.e. at least 3 or 4 meters) at measurements sites and sensors must have high measurement accuracy and precision

Keywords: GNSS signals; Meteorological Sensors; Modelling; Tropospheric Effect; Height Coordinates

ÖNSÖZ

Bu çalışmam süresince değerli katkılarıyla bana sürekli destek olup, yardımını esirgemeyen ve beni yönlendiren Hocam Sayın Prof.Dr. Ferruh YILDIZ'a; tezin uygulama, tez hakkında her türlü yönlendirme, yol gösterme aşamalarında yapılan olumlu eleştirilerle sürekli görsel; işitsel ve yazılı iletişim araçlarıyla; kısacası çalışmamın her aşamasında bana her türlü desteğini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Muzaffer KAHVECİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezin uygulama aşamasında özellikle ölçümlerde büyük gayret sarf eden Harita Müh. İbrahim ÖZUĞUR; Harita Müh. Erhan CİVCİK; Tekniker Erdoğan AYAN; Tekniker Taner Talip DAŞBAŞI, Tekniker Ertan ÇEKEN; Tekniker Osman EŞLİ ve Tekniker Abdülkadir PINAR; sürekli yanımda idiler; Onlara da bu sayede teşekkürlerimi iletirim.

Uygun çalışma ortamı sağlayıp bana omuz veren sevgili EŞİM'e şükranlarımı sunarım. Oğullarım YASİN Ve TAHİR'e sevgilerimle.

Seyit Ali YILMAZ

KONYA-2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **vi**

ÖNSÖZ ..... **viii**

İÇİNDEKİLER ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **3**

2.1. Uydularla Global Konum Belirleme Sistemleri (GPS/GNSS) 3
2.2. GPS Ve GNSS Tanımları 5
2.3. GNSS' in Kullanım Alanları 7
2.4. GPS'in Bölümleri 9
2.4.1. Uzay Bölümü 9
2.4.2. Kontrol Bölümü 10
2.4.3. Kullanıcı Bölümü 11
2.5. GNSS Sinyali Özellikleri 12
2.6. GNSS Alıcı Ve Anten Sistemleri 14
2.7. GNSS'te Kullanılan Koordinat Ve Zaman Sistemleri 17
2.7.1. Dünya jeodezik sistemi-1984 (WGS-84) 18
2.7.2. GNSS'de kullanılan zaman sistemleri 19
2.8. Yükseklik Sistemleri 20
2.9. Nokta Yüksekliklerinin GNSS ile belirlenmesi (GNSS Nivelmanı) 24
2.10. Türkiye hibrid jeoid modeli-2009 (THG-09) 26

3. GNSS GÖZLEMLERİNDE ATMOSFERİK ETKİLER **28**

3.1. Troposferik Etki 28
3.2. İyonosferik Etki 33

4. MATERYAL VE YÖNTEM **37**

4.1. Atmosferik Parametreleri Elde Etme Yöntemleri 37
4.2. Gözlem Noktasında Ölçülen Atmosferik Parametreler 37
4.2.1 Troposferik modeller..... 39
4.2.2. İndirgeme fonksiyonları..... 41
4.3. Su Buharı Ölçüleri İçin Global Konum Belirleme Sistemi..... 46
4.3.1. Atmosferik su buharının gözlenme nedeni 46
4.3.2. GNSS alıcıları ile toplam su buharının belirlenmesi 46
4.3.3. GNSS'in hava tahminine etkisi..... 47
4.4. GNSS Meteorolojisi..... 47

5. UYGULAMA..... 51

5.1. Uygulama İçin Elverişli Meteorolojik Sensör Seçimi 51
5.2. Proje Alanının ve Ölçü Planının Belirlenmesi..... 54
5.3. GNSS Ve Atmosferik Verilerin Değişik Mevsim Şartlarında Ölçülmesi.... 55
5.3.1. Kış mevsimi ölçümleri..... 55
5.3.2. Yaz mevsimi ölçümleri 56
5.4. Toplanan GNSS Ve Atmosferik Verilerin Değerlendirmesi 56
5.5.1. Kış ölçüsü hesap çalışmaları..... 63
5.5.2. Yaz Ölçüsü Hesap Çalışmaları 80
5.6. Farklı Mevsimlerde Gerçekleştirilen Uygulama Çalışmalarının Sonuçlarının Değerlendirilmesi..... 97

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 104

KAYNAKLAR 106

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Yerel Meridyenin Astronomik Boylamı
A_{nm}; B_{nm}	: Küresel Harmonik Katsayılar
a,b	: Elipsoidin Büyük ve Küçük Yarı Eksenleri
a	: Sinüzoidal Fonksiyon
a, b, c	: Hidrostatik (Kuru) ve Islak Bileşenler İçin Katsayılar
C	: Jeopotansiyel Sayı
C	: Işık Hızı
C_P	: Jeopotansiyel Yükseklik
D	: Gün
D	: Ay'ın Güneş'ten olan ortalama elongasyonu
E	: Yükseklik Açısı
Eq	: Ekinoks Denklemi
e	: Kısmi Su Buharı Basıncı
F	: Ay'ın Ortalama Enlem Argümanı, Basıklık
f_d	: ZenitDoğrultusundaki Kuru Bileşen
f_w	: ZenitDoğrultusundaki Islak Bileşen
g	: Gerçek Gravite
G	: Ortalama Gravite
H	: Nispi Nem
H_D	: Dinamik Yükseklik
H_N	: Normal Yükseklik
H^{NO}	: Normal Ortometrik Yükseklik
H_{99}	: TUDKA-99'a dayalı hesaplanan ortometrik yükseklikler
h	: Elipsoid Yükseklik
hnm	: Yükseklik indirgeme Fonksiyonu
IWV	: Integrated Water Vapor
JD	: Julian Günü
K	: Atmosferik Katsayı
L_1, L_2	: GPS Frekansları(0.1)
LAST	: Yerel Meridyen İle İlkbahar Noktası Arasındaki Açı
LMST	: Ortalama İlkbahar Noktasına göre Elde Edilen Açısal Büyüklük
M	: Ay
Mf	: Mapping Fuction
Mm/bar	: Milimetre/bar
N	: Jeoit Ondülasyonu
N_d	: Kuru Bileşen
N_{TG}^{99}	: Harita Genel Komutanlığı tarafından hesaplanmış olan jeoit
N_s	: Isı, Basınç, Buhar fonksiyonu değeri, Kırıcılık
N_w	: Islak Bileşen
n	: Kırılma İndisi
P	: Basınç
P_d	: Kuru Havanın Toplam Atmosferik Basıncı

OC’	: Ortometrik Düzeltme
Q	: Quasi Jeoid
R	: Alıcı
R_v	: Su Buharı Gaz Sabitesi
S	: Uydu
S=G	: Sinyal Boyu
TAI	: Uluslar Arası Atomik Zaman
TT	: Sürekli Zaman Ölçeği
T	: Sıcaklık (Kelvin cinsinden)
UT	: Universal Zaman
UTM	: Universal Transverse Mercator
W_0	: Jeoid Üzerindeki P_0 Noktasının Potansiyeli
W_P	: Yeryüzü Noktasının Potansiyeli
Y	: Yıl
Z	:Zenith Uydu Açısı
ZHD	: Zenit Yükseklik Gecikmesi
ZTD	: Zenit Gecikme Etkisi
ZWD	: Zenit Islak Gecikmesi
δ_{nk}	: İki Nokta Arasındaki Geometrik Nivelman Yükseklik Farkı
δL	: Uydu Zenit açısı
ΔL_d^z	: Kuru ve Islak Bileşendeki Troposferik Etki
ΔS_{trop}	: Troposferik Etki Nedeniyle Sinyal Gecikmesi
Δt	: R Alıcısı ile S Uydusu Arasındaki Zaman Biriminde Fazla Uzunluk
$\Delta\rho_R^s$	: R alıcısı ile S Uydusu arasındaki fazla uzunluk
ε	: Ekliptik eğimi
φ	: Enlem
$\Phi_R^S(L_3)$	: Faz Ölçüsü
γ	: Elipsoid Üzerinde Normal Gravite
ζ	: Normal Yükseklik ile Ortometrik Yükseklik Arasındaki Fark
ω	: Yerin Açısal Dönme hızı
Ω	: Ay’ın yükselen düğüm noktasının ortalama boylam
$\Delta\Psi$	: Boylamdaki nutasyon
λ	: Boylam

Kısaltmalar

AOC : Auxiliary Output Chip
A-S : Anti Spoofing
ASIC : Application Specific Integrated Circuits
C/A Kod : Coarse/Acquisition, Clear/Access Code
CCRS : Conventional Celestial Reference System
CEP : Celestial Ephemeris Pole
CIO : Conventional International Origin
CORS : Continuously Operating Reference Stations
CORS-TR : Continuously Operating Reference Stations-Turkey(TUSAGA-AKTİF)
CTP : Conventional Terrestrial Pole
CTRF : Conventional Terrestrial Reference Frame
CTRS : Conventional Terrestrial Reference System
DMA : Defence Mapping Agency
DoD : Department of Defence
DORIS : Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite
DSP : Digital Signal Processor
DGPS : Diferansiyel GPS
ECEF : Earth-Centsred Earth- Fixed Coordinate System
ECI : Earth-Centered Inertial Coordinate System
ECMWF : European Central Medium Weather Forecasts
EGM : Earth Gravitational Model
EGNOS : European Geostationary Navigation Overlay Service
EOP : Earth Orientation Parameters
ERP : Earth Rotation Parameters
FES 2004 : Finite Element Solutions
FPGA : Field Programmable Gate Array
GAST : Greenwich Apparent Sidereal Time
GBAS : Ground Based Augmentation Systems
GMF : Global Mapping Function
GMV : Gerçek Meteorolojik Veriler
GNSS : Global Navigation Satellite Systems
GPS : Global Positioning System
GPRS : General Packet Radio Service
GPT : Global Pressure Temperature
GRAS : Ground Based Regional Augmentation Systems
HOW : Hand Over Word
IAG : International Association of Geodesy
IAU : International Astronomical Union

ICRF : IERS Celestial Reference Frame
IERS : International Earth Rotation and Reference Systems Service
IGN : Institut Géographique National
IGS : International Geodetic System
INS : Inertial Navigation System
IUGG : The International Union of Geodesy and Geophysics
IRNSS : Indian Regional Navigational Satellite System
GAGAN : GPS Aided Geo Augmented Navigation System
ITRF : IERS Terrestrial Reference Frame / International Terrestrial Reference Frame
IWV : Integrated Water Vapor
IPWV : Integrated Precipitable Water Vapor
J Date : Julian Date
JPO : Joint Program Office
L1 : Link1
L2 : Link2
L5 : Link5
LHCP : Left Hand Circularly Polarized
LLR : Lunar Laser Ranging
MCRS : Mean Celestial Reference System
MSAS : MTSAT Satellite Based Augmentation System
MTSAT : Multi-Functional Transport Satellite
NAVSTAR : Navigation Satellite Timing And Ranging
NEP : North Ephemeris Pole
NIMA : National Imagery and Mapping Agency
NMF : Neill Mapping Function
NNSS : Navy Navigational Satellite System
NWP : Numerical Prediction Model)
ODS : Ortalama Deniz Seviyesi
P Kod : Precise/Protected Code
PRN : Pseudo Random Noise
PW : Precipitable Water
QZSS : Quasi-Zenith Satellite System
RHCP : Right Hand Circularly Polarized
RTK : Real Time Kinematic
SBAS : Satellite Based Augmentation Systems
SA : Selective Availability
SLR : Satellite Laser Ranging
SM : Security Module
SST : Sea Surface Topography
STP : Standart Temperature and Pressure
TCRS : True Celestial Reference System

TEC : Total Electron Content
TLM : Telemetry
TOW : Time Of Week
TTRS : True Terrestrial Reference System
TUTGA : Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
TUSAGA : Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı-Aktif. İngilizcesi : CORS-TR
USNO : United States Naval Observatory
UTM : Universal Transverse Mercator
UT : Universal Time
VLBI : Very Long Baseline Interferometry
VMF : Vienna Mapping Function
WAAS : Wide Area Augmentation System
WGS-84 : World Geodetic System
ZHD : Zenit Hydrostatic Delay
ZWD : Zenit Wet Delay
ZTD : Zenit Total Delay

1. GİRİŞ

Troposfer atmosferin en alt tabakasıdır. Kalınlığı, ekvatorda yaklaşık 18 km iken kutba doğru azalarak kalınlığı 8 km'ye kadar düşer. Atmosferin toplam kütlesinin %75'ini içermesiyle atmosferin diğer katmanlarına göre en yoğun katmanı olan troposfer, nokta konumunun hassas olarak belirlenmesinde oldukça önemli bir hata kaynağıdır. Troposfer, atmosferin nötr yani iyonize olmamış katmanı olduğu için Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) sinyallerine olan etkisi iyonosfer tabakasında olduğu gibi GNSS alıcılarında bulunan L1 ve L2 taşıyıcı dalgalarından oluşturulacak faz kombinasyonları ile giderilememektedir. Troposferik gecikme etkisi; sıcaklık, bağıl nem ve basıncın bir fonksiyonu olup, ölçü noktasının yüksekliği ile bire bir ilişkilidir.

Nötr (iyonize olmamış) atmosferin radyo frekanslarında yayınlanan elektromanyetik dalgalara olan etkisi troposferik gecikme etkisi (ya da troposferik refraksiyon) olarak isimlendirilmektedir (Kahveci 1997). Bu etki elektromanyetik dalganın yavaşlamasına ve eğilmesine neden olur. Troposferik gecikme hesabında, Saastamoinen ve Hopfield modelleri, zamandan ve gerçek meteorolojik koşullardan bağımsız atmosferik parametrelerle birlikte GNSS gözlemlerinin değerlendirilmesinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

Meteorolojik uygulamalarda ise, atmosferdeki su buharının konumsal ve zamansal olarak dağılımının hassas olarak temsil edilmesi oldukça güçtür. Yağışa dönüşebilir su buharının (Precipitable Water: PW) sayısal olarak tahmin kalitesi atmosferik nem bilgisinin dağılımının doğru olarak belirlenmesine bağlıdır (Glowacki et al. 2006).

Başlangıçta askeri alanda konum belirleme ve seyrüsefer (navigasyon) amaçlı kullanım için tasarlanan Global Konum Belirleme Sistemi (GPS), diğer kullanım alanları ile birlikte, yüksek zamansal çözünürlüklü PW değerlerinin hesaplanmasında da kullanılabilmektedir (Bevis et al. 1992). GNSS ölçümleri yardımıyla hesaplanan PW değerlerinin meteorolojik amaçlı kullanılabileceğini göstermiştir.

Tezin amacı; GNSS ile koordinat ölçümlerinde elde edilen elipsoidal yüksekliklerin inceliğinin; yerinde meteorolojik veriler kullanarak geliştirilip geliştirilemeyeceğinin araştırılmasıdır.

Bu çalışmada; troposfer tabakasından geçen GNSS sinyallerinin, nokta koordinatlarına etkisini görmek için; 2012 ve 2013 yıllarında da Meteorolojik Sensörlerin değişik mevsim şartlarında statik GNSS ölçümleriyle dışarıdan hesaba dahil edilerek Yükseklik koordinatlarına olan iyileştirmesi çalışmaları anlatılmıştır. Çalışma bölgesinde belirlenen 10 adet noktada, meteorolojik parametrelerin mevsime bağlı değişimlerini de belirleyebilmek veya en azından fikir sahibi olabilmek amaçlarıyla "kış ölçüsü" ve "yaz ölçüsü" şeklinde ayrı ayrı günlük bazda ortalama 8'er saatlik statik GNSS gözlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, ölçü noktalarında Projenin ana temasını da oluşturan ve belki de ilk kez denenen bir metotla Meteorolojik Sensör kullanılarak, ölçü süresi boyunca sıcaklık, basınç ve nem bilgileri toplanmıştır. Elde edilen veriler farklı troposferik parametreler kullanılarak analiz edilmiş ve elde edilen koordinatlardaki değişim miktarları ortaya konulmuştur.

Söz konusu veriler GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilmiştir. Bu veriler Bilimsel Çalışmalara Yönelik oluşturulmadığı için Ticari Yazılım Programları devre dışı bırakılmıştır.

Tezin Bölümleri şu şekilde özetlenebilir : İkinci Bölümde Uydularla Konum Belirleme Sistemleri (GNSS) hakkında genel bilgiler verilmiştir. Üçüncü Bölümde GNSS Gözlerimlerinde oluşan Atmosferik Etkilerden özellikle Troposferik Etki incelenmiştir. Dördüncü Bölümde Atmosferik Parametreleri Elde Etme Yöntemleri detaylı olarak incelenmiştir. Beşinci Bölümde Tez Projesi kapsamında satın alınan aletlerin tanıtımı yapılmış; Değişik mevsim şartlarında yapılan ölçümler ve bu ölçümlerin sonuçları matematiksel ve grafiksel veriler şeklinde sunulmuştur. Son Bölümde ölçüm sonuçları değerlendirilmiş; araştırmanın gelecekte geliştirilebilmesi yönündeki önerileriyle tamamlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Uydularla Global Konum Belirleme Sistemleri (GNSS)

Ölçmenin tarihi insanlık tarihi kadar eskidir. İlk zamanlardan bu yana insanoğlu "Neredeyim?" ve "Nereye gidiyorum?" sorularına yanıt bulmaya çalışmış ve bu sorulara doğru yanıt verebilmek için birçok sistem geliştirmiştir. Ancak, bugüne kadar bulunan sistemlerin hemen tamamında birçok sorunla karşılaşılmıştır. Örneğin, ilk insanlar yaşadıkları yerlerden uzağa giderken, geri dönebilmek amacıyla, yürüdükleri yolları taşlar koyarak işaretlemişler ve bu taşları izleyerek tekrar köylerine dönebilmişlerdir. Ancak bu sistemde köyün fazla uzağına gidilememiştir. Ayrıca, kar ve yağmur yağdığında bu taşlar kaybolmuş ve geri dönüş yolunda sorunlar yaşanmıştır. Zaman içerisinde, insanoğlu denizleri keşfetmiş, böylece sorunları daha da büyümüştür. Çünkü denize taş koyarak işaretleme olanaksızdı. Bu nedenle, taşlar yerine yıldızlardan yararlanma yoluna gidilmiştir. Oysa bu sistemin de bazı sakıncaları ortaya çıkmıştır. Örneğin, yıldızlar yalnızca geceleri görülebilmekte ve bunlar çıplak gözle ayırt edilememekteydiler. Dolayısıyla, yıldızlara özel aletler kullanarak açısal gözlemler yapılmaya başlanmış fakat zaman içerisinde bu gözlemlerle elde edilen doğruluklar gereksinimleri karşılayamaz olmuştur. Zamanla teknolojik gelişmelere paralel olarak konum belirleme ve navigasyon sistemlerinde de önemli gelişmeler olmuştur (VOR, LORAN, OMEGA vb.), (Kahveci, 2009).

İlk yapay uydu olan SPUTNIK-1 in 04 EKİM 1957 tarihinde uzaya fırlatılmasıyla uzay jeodezisi, jeodezi bilimi içerisinde önemli bir yer edinmiştir. Başka bir deyişle, SPUTNIK-1 ile uzay jeodezisinin fiili gelişimi başlamıştır. Diğer taraftan, günümüzün modern konum belirleme teknolojisi 1960'lı yıllara dayanmakta olup TRANSIT (DOPPLER veya Navy Navigational Satellite System; NNSS) olarak bilinmektedir. Bu sistem yeryüzünden yaklaşık 1100 km uzaklıkta olan 6 uydudan oluşmaktaydı. TRANSIT sistemi ABD Silahlı Kuvvetleri tarafından geliştirilmiş olup ana amaç uçak ya da diğer askeri araçların koordinatlarının belirlenmesiydi. Daha sonraları sistem sivil sektörün kullanımına açılmış ve jeodezik konum belirleme amacıyla 1967 yılından bu yana yaygın olarak kullanılmıştır (Kahveci,2009).

Hesaplama tekniği, elektronik ve uzay çalışmalarındaki hızlı gelişmeler 1980'li yılların en önemli ürünlerinden biri olan Global Konum Belirleme Sistemi (GPS) 'nin

günlük yaşama girmesine neden olmuştur. GPS, TRANSIT sisteminin bazı zayıf yanlarını ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir. Örneğin, TRANSIT sisteminde bir uydunun aynı enlemden iki geçişi arasında yaklaşık 90 dakikalık zaman farkı vardı. Dolayısıyla, ölçücü uydunun iki geçişi arasındaki zamanlar için enterpole yapmak zorundaydı. Diğer sorun ise, TRANSIT sisteminden elde edilen doğruluklar oldukça düşüktü. Bilindiği gibi, navigasyonda ana amaç gerçek zamanlı (anlık, real-time) konum ve hız belirlemek olmasına karşın TRANSIT bunu karşılayamamakta, birkaç günlük doppler ölçüsü yapılarak ancak desimetre mertebesinde doğruluk elde edilebilmekteydi. TRANSIT'ten elde edilen deneyimler sonucu, hava şartlarından etkilenmeden sürekli gözlem yapabilen, yeryüzünde tek anlamlı, süratli ve doğru konum belirlemeye olanak veren bir sistem gereksinimi ortaya çıkmıştır (Kahveci,2009).

Diğer taraftan, Avrupa'da da Global Uydu Navigasyon Sistemlerine olan bağımlılık özellikle Avrupa Ulaştırma altyapısına yönelik yatırımlarda önemli bir konuma gelmiştir. Bu nedenle, söz konusu yatırımların yalnızca ABD güdümündeki GPS sistemine tek taraflı bağımlılık yaratmasını önlemek amacıyla Avrupa Birliği (AB) tarafından Galileo uydu sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemin ilk aşamasını "Avrupa Yer Sabit Navigasyon Kaplama Sistemi (EGNOS: European Geostationary Navigation Overlay Service) " oluşturmaktadır. EGNOS tarafından GPS ve GLONASS uydularından elde edilen gerçek zamanlı navigasyon doğrulukları ile ilgili diferansiyel düzeltmeler yayınlanmakta ve özellikle havacılık sektöründe bir kalite kontrol ve izleme sistemi olarak kullanılmaktadır. ABD WAAS (Wide Area Augmentation System) ve Japon MSAS (MTSAT (Multi-Functional Transport Satellite) Satellite based Augmentation System) sistemleri de aynı amaçlı kurulmuş sistemlerdir. Uydu sistemlerinde, teknolojik olarak gelişmiş ülkeler arasında süren bu rekabete; Çin Beidou/Compass, Japonya QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) ve Hindistan IRNSS/GAGAN (Indian Regional Navigational Satellite System/GPS Aided Geo Augmented Navigation System) ile katılmışlardır (Kahveci,2009).

Bu gelişmeler sonucunda, uydularla navigasyon 2000'li yılların başında özellikle ticari havacılıkta güvenlik ve etkinlik bağlamında gelecek vaat eden bir sistem olmuştur. Bununla birlikte GPS ve GLONASS'ın doğasında bulunan bazı kısıtlamalar (uydu saati hataları, atmosferik hatalar, alıcı kaynaklı hatalar vb.) bu sistemlerin de başka sistemlerle desteklenmesi gerçeğini ortaya çıkarmıştır. Dolayısıyla, havacılık faaliyetlerinde özellikle sistem bütünlüğünün, doğruluğunun ve sürekliliğinin sağlanabilmesi amacıyla kapsama alanı genişletme çözümlerine gidilmiştir. Sivil

havacılık kuruluşları olan RTCA ve ICAO 1993 yılından bu yana uydularla navigasyon sistemlerinin havacılık sektöründe güvenli ve sürekli kullanımı için yoğun bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarda öne çıkan düşünce uydu navigasyon sistemlerinin; her yerde (availability) ve her zaman (continuity) ulaşılabilen, doğru (accurate), güvenilir (integrity) ve kullanımı kolay olması şeklinde özetlenebilir (Kahveci,2009).

Bütün bu özelliklerin bir arada olması içinse bu sistemlerin "augmentation" adı verilen ilave sistemlerle desteklenmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Burada ifade edilmeye çalışan ilave sistemler günümüzde üç ayrı grup halinde tanımlanmaktadır.

Bunlar;

a- Uydu bazlı sistemler (SBAS; Satellite Based Augmentation Systems)
b- Yer bazlı sistemler (GBAS; Ground Based Augmentation Systems)
c- Yer bazlı bölgesel sistemler (GRAS; Ground based Regional Augmentation Systems) dir.

Sonuç olarak, WAAS, EGNOS, MSAS ve GAGAN gibi kapsama alanı genişletme (augmentation) ve gerçek zamanlı doğruluk artırma diferansiyel GNSS (DGNSS) sistemleri ayrı bir sınıflama ile uydu bazlı sistemler (SBAS) adını almaktadır. Böylece, uydularla konum belirleme sistemleri (GPS, GLONASS, Beidou/Compass, QZSS, IRNSS vd.) ve SBAS birlikte GNSS olarak adlandırılmaktadır. (Kahveci, 2009)

2.2. GPS Ve GNSS Tanımları

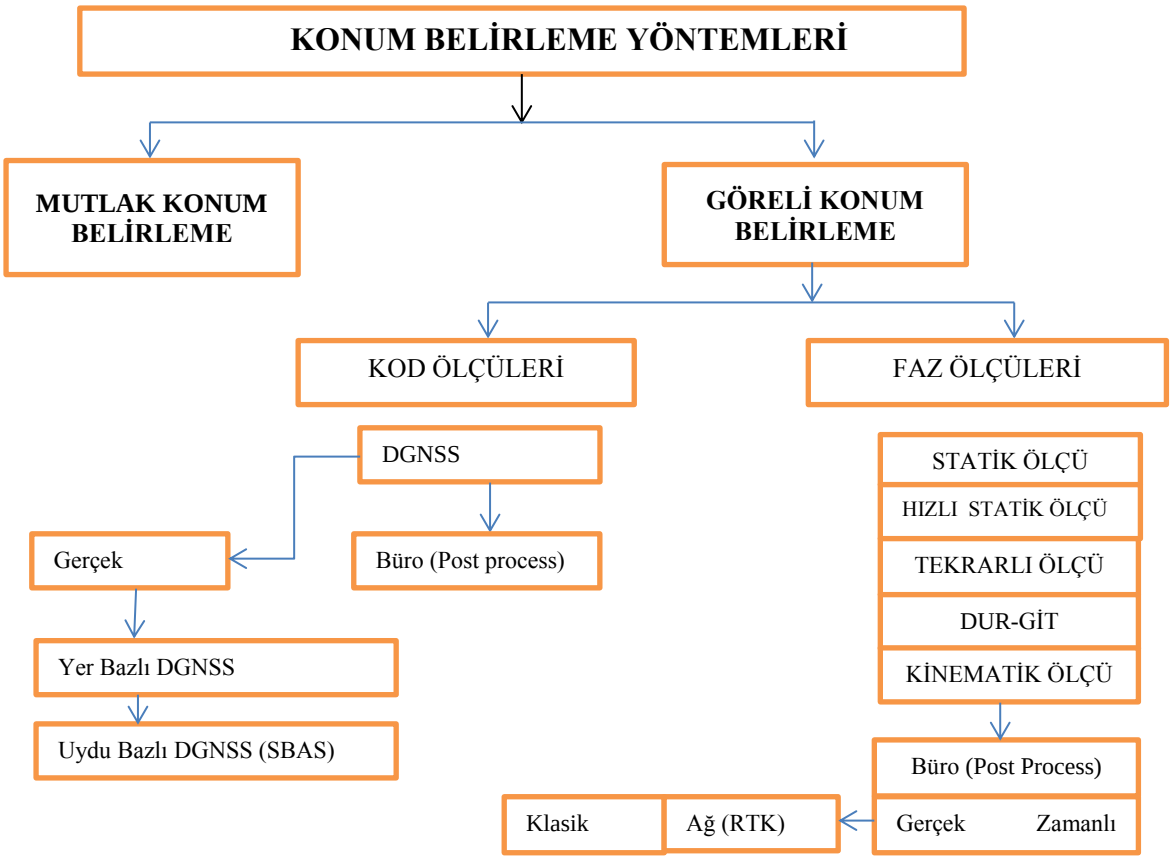
İlk yapay uydu olan SPUTNIK-l'in uzaya fırlatılmasıyla uydularla konum belirlemenin fiili gelişimi başlamıştır. Buna paralel olarak bilgisayar ve uydu teknolojilerindeki köklü gelişmeler 1980'li yılların önemli teknolojik ürünlerinden biri olan Global Konum Belirleme Sistemi (GPS)'nin günlük yaşama girmesine neden olmuştur (Kahveci,2009).

GPS (**G**lobal **P**ositioning **S**ystem) ABD Savunma Dairesi (**D**epartment **o**f **D**efence) tarafından geliştirilen, elinde GPS alıcısı olan herhangi bir kullanıcının, uydu sinyalleri yardımıyla :

- Herhangi bir yer ve zamanda
- Her türlü hava koşulunda
- Ortak bir koordinat sisteminde

- Yüksek duyarlıkta Ekonomik olarak
- Anında ve sürekli konum, hız ve zaman belirlenmesine olanak veren bir konum belirleme sistemidir.

1978 yılında ilk GPS uydusu yörüngeye yerleştirildiğinde, ilk kez üç boyutlu ve yaklaşık 300 metre doğruluğunda gerçek zamanlı konum belirlenmeye başlandığında özellikle bilim dünyasında büyük bir coşku yaşanmıştı. Zaman içerisinde bu alanda çok yoğun çalışmalar yapılmış ve bugün artık gerçek zamanlı santimetre doğruluğunda üç boyutlu konum belirleme standart bir uygulama haline gelmiştir. Bu gelişmelere ilave olarak, söz konusu alandaki çalışmalar hızla devam etmiş ve bunun sonucunda ise yeni sinyaller ve farklı ülkelere ait yeni uydu sistemleri kullanıma girmeye başlamıştır. Bunlara örnek olarak 1982 yılında ilk uydusu yörüngesine yerleştirilen Rus GLONASS uydu sistemi verilebilir. GLONASS uydu sisteminin az sayıda ve düşük kapasiteyle de olsa faaliyete geçmesiyle uydu sistemleri için "Global Uydu Navigasyon Sistemleri (GNSS)" tanımı kullanılmaya başlanmıştır. Uydularla konum belirleme yöntemleri ile ilgili genel bir şema Şekil-2.1'de verilmiştir (Kahveci,2009).



Şekil 2.1. GNSS Konum Belirleme Yöntemleri

GNSS ve SBAS'ın kullanım alanları çok genel olarak aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu
- Jeodezik ve jeodinamik amaçlı ölçmeler
- Kadastral ölçmeler
- Kinematik GPS destekli fotogrametrik çalışmalar
- Yerel ve global deformasyon ölçmeleri
- Araç takip sistemleri
- Aktif kontrol ağları (CORS)
- CBS veri tabanlarının geliştirilmesi
- Turizm, tarım, ormancılık, spor, arkeoloji
- Asayiş
- Hidrografik ölçmeler
- Askeri amaçlı kullanımlar. (Kahveci, 2009)

2.3. GNSS' in Kullanım Alanları

GNSS' in kullanım alanları çok genel olarak iki ana başlık altında toplanabilir:

a. Askeri kullanım alanları

Kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu

Arama-Kurtarma

Hedef bulma

Füze güdümü

INS (Inertial Navigation System) sistemlerinin desteği

Uçakların, görüşün sınırlı ya da hiç olmadığı hava koşullarında iniş ve kalkışı

b. Sivil kullanım alanları

Kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu

Jeodezik ve jeodinamik amaçlı ölçmeler

Kadastral ölçmeler

Kinematik GNSS destekli fotogrametrik çalışmalar

Yerel deformasyon ölçmeleri (baraj, yol, viyadük vb.)

Araç takip sistemleri (IMU/GNSS)

Gerçek zamanlı aktif kontrol ağları (RTK (Real Time Kinematic) CORS)

CBS veri tabanlarının geliştirilmesi

Turizm, tarım, ormancılık, spor, arkeoloji

Güvenlik

Hidrografik ölçmeler

Klasik jeodezik ölçme teknikleri ile karşılaştırıldığında GNSS' in üstün tarafları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Noktalar arası görüş zorunluluğu ortadan kalkmıştır. GNSS alıcı anteninin uydu sinyalini izleyebilmesi için gökyüzünü görmesi yeterlidir.
- Nokta yeri seçiminde noktaların en yüksek yerlerde olması gibi zorunluluklar ortadan kalkmıştır. Gereksinim duyulan ve GNSS ölçüsünün yapılmasına olanak veren her yerde nokta tesisi yapılabilmektedir.
- GNSS ölçülerinin yapılması büyük oranda hava şartlarından bağımsızdır.
- Gece ve gündüz sürekli (24 saat) ölçüm yapılabilmektedir.
- GNSS ölçülerinin yapılışındaki hız ve aletlerin kullanım kolaylığı, ölçücü hatalarının olmaması (anten yüksekliği ölçümü hariç) nedenleriyle ekonomik bir sistemdir.
- Üç boyutlu nokta koordinatları elde edilmektedir.
- Elde edilen jeodezik doğruluklar en duyarlı klasik jeodezik tekniklerle elde edilenlerle eşit ya da daha iyidir.
- Gerçek zamanlı (anlık) konum, hız ve zaman bilgisi sağlanabilmektedir.

GNSS' in zayıf tarafı ise, alıcı anteni mutlaka açık gökyüzünü görmelidir. Başka bir deyişle, GNSS sinyalleri radyo sinyalleri gibi kuvvetli olmadığından kapalı yerlerde, çok sık ağaçlıklı bölgelerde ve madenlerde kullanılamamaktadır. Bu konu ile ilgili çalışmalar hızla devam etmekte olup, önümüzdeki yıllarda GNSS sistemlerinin aynı radyo/TV/GSM gibi kapalı yerlerde de çalışacağı umulmaktadır (Kahveci, 2009)

2.4. GPS'in Bölümleri

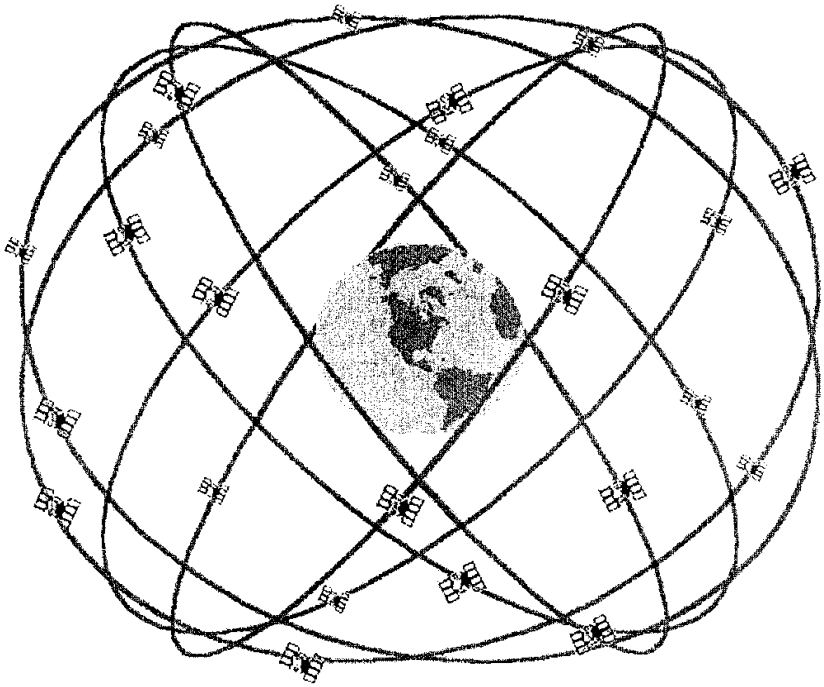
JPO sorumluluğunda geliştirilen GPS sistemi üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar uydulardan oluşan Uzay Bölümü, tüm sistemi yöneten Kontrol Bölümü ile alıcıların bulunduğu Kullanıcı Bölümüdür.

2.4.1. Uzay Bölümü

Uzay Bölümü ekvator ile 55 derecelik eğim yapan 6 yörünge düzlemi üzerine yerleştirilmiş 21 esas ve 3 yedek olmak üzere toplam 24 uydudan oluşacak şekilde planlanmıştır (Şekil 2.2). Ancak, ortalama ömrü 7.5*10 yıl olarak hesaplanmış olan bazı uyduların hala sorunsuz olarak çalışmaya devam etmeleri nedeniyle Temmuz 2013 tarihi itibariyle toplam 31 GPS uydusu faaliyet göstermektedir. Yedek uyduların amacı, esas (aktif) uydulardan herhangi birinde sorun olması halinde bunun yerine devreye girmek olmakla birlikte günümüzde uyduların tamamı aktif halde olup ölçülerde kullanılmaktadır. Her bir GPS uydusu;

- Senkronize zaman sinyallerini
- Tüm diğer uydulara ait konum bilgilerini
- Yörünge parametrelerine ilişkin bilgileri

iki taşıyıcı frekanstan (Ll, L2/L2C) yayınlar (Block JIR-M ve BJock UF uydularında Ll, L2/L2C ve L5), kontrol Bölümü tarafından yayınlanan bilgileri alır.



Şekil 2.2. GPS Uzay Bölümü

Uzay bölümünün genel özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

Uydular yeryüzünden yaklaşık 20,200 km (yer merkezinden 26,500 km) uzaklıkta olup 11 saat 58 dakikada bir tam devir yaparlar.

2.4.2. Kontrol Bölümü

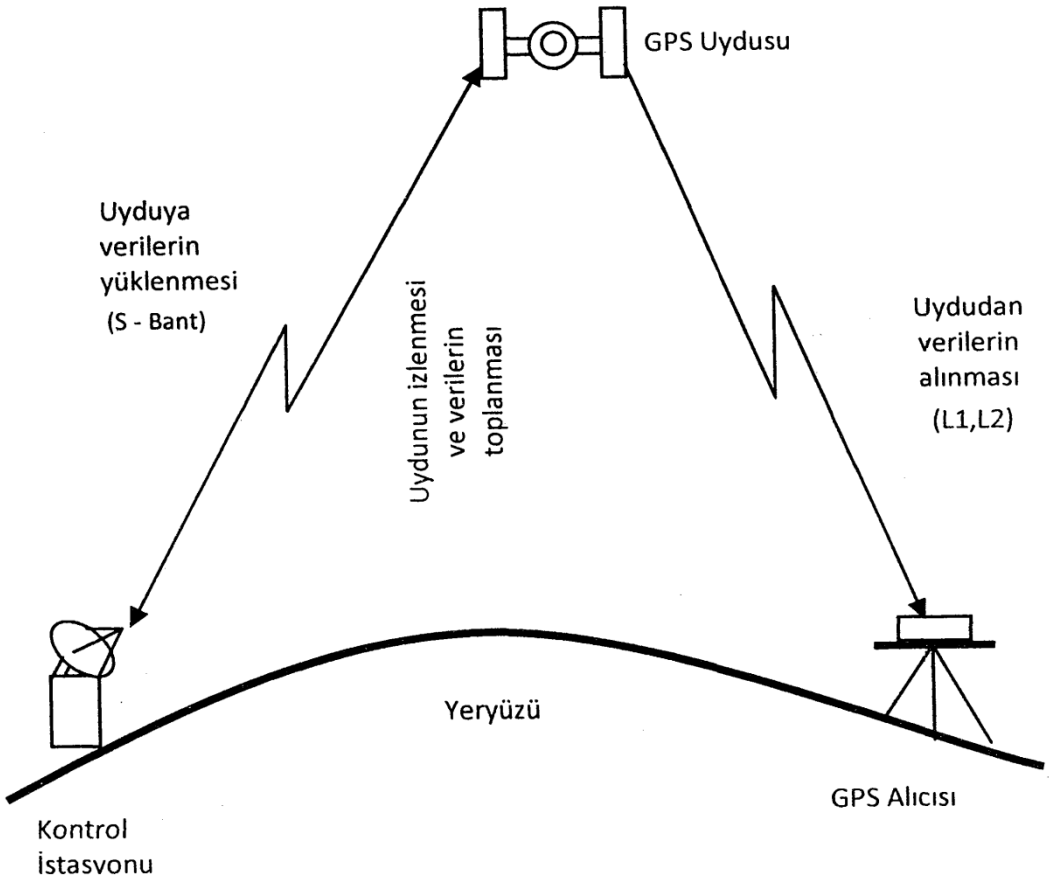
Kontrol Bölümü; Ana kontrol istasyonu, yer antenleri ve izleme istasyonlarını içeren İşletim Kontrol Sistemi (OCS: Operational Control System) 'nden meydana gelmektedir. Tüm GPS uyduları dünya üzerinde uygun dağılmış, çok hassas saatlerle donatılmış, konumu iyi bilinen 6 sabit izleme istasyonundan (Hawaii, Colorado Springs, Cape Cañaveral, Ascensión, Diego Garcia, Kwajalein) izlenmektedir. Bu istasyonlardan Colorado Springs Ana Kontrol İstasyonu; Hawaii, Colorado Springs, Ascensión, Diego Garcia, Cape Cañaveral ve Kwajalein ise izleme istasyonlarını oluşturmaktadır. Bu istasyonların amacı, günlük olarak uyduların sağlıklı biçimde çalışmalarını sağlamak, toplanan verilerin irdelenmesi ile uydu yörüngelerinin belirlenmesi, uydu saatlerinin düzeltmelerinin hesaplanması ve yeni hesaplanan yörünge saat düzeltmesi, SA etkileri gibi bilgilerin uydulara yüklenmesidir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. GPS Kontrol Bölümü

2.4.3. Kullanıcı Bölümü

GPS çok farklı amaçlar için kullanılabilen bir sistem olup, elinde GPS alıcısı bulunan herkes bir kullanıcıdır. GPS'in kullanım alanlarına bakıldığında Kullanıcı Bölümü için askeri ve sivil kullanıcılar olmak üzere iki ayrı sınıflama yapılabilir. Dolayısıyla, daha sonraki konularda değinileceği gibi, GPS alıcıları da askeri ve sivil amaçlı alıcılar diye sınıflandırılabilmektedir. (Şekil 2.4) (Kahveci, 2009).



Şekil 2.4. GPS Kontrol-Kullanıcı-Uzay Bölümleri İlişkisi

2.5. GNSS Sinyali Özellikleri

Uydulardan yararlanılarak yapılan GNSS ölçmelerinde, elektromanyetik dalgalar kullanılarak uydulardan kullanıcılara veri akışı sağlanmaktadır. Her GPS uydusu konum belirleme amaçlı olarak iki temel frekansa sahip olup bunlar Ll (Link1) ve L2 (Link2) 'dir. Ll ve L2 frekansları 10.23 MHz olan temel frekansın 154 ve 120 tam katları alınarak elde edilmiş olup, Ll frekansı 1575.42 MHz ve L2 frekansı 1227.60 MHz.dir (Kahveci, 2009).

GPS sisteminin tasarımı aşamasında birçok taşıyıcı frekans incelenmiştir. Karşılaştırmalar özellikle L-Bant (1-2 GHz), UHF (400 MHz) ve C-Bant (4-6GHz) arasında yapılmıştır. Sonuçta, gerek frekans tahsisindeki kolaylıklar, gerekse iyonosferik etkilerin diğer bantlara göre çok daha küçük olması nedeniyle L-Bant

kullanımı tercih edilmiştir. Bunların dışında Kontrol Bölümü ile uydular arasındaki veri akışı S- Bant (1783.74 ve 2227.5 MHz) üzerinden yapılmaktadır. Genel olarak radyo dalgaları frekans spektrumu ve tanımları sırasıyla (Tablo 2.1) ve (Tablo 2.2)' de verilmektedir (Kahveci, 2009).

Tablo 2.1. Radyo Dalgaları Spektrumu

Radyo Dalgası	Dalga Boyu (λ; metre)	Frekans
EHF(Extra High Frequency)	$1x10^{-3}$ -$1x10^{-2}$	$3x10^{10}$-$3x10^{11}$
SHF(Super High Frequency)	$1x10^{-2}$ -$1x10^{-1}$	$3x10^{9}$-$3x10^{10}$
UHF(Ultra High Frequency)	$1x10^{-1}$-1	$3x10^{8}$-$3x10^{9}$
VHF(Very High Frequency)	1-10	$3x10^{7}$-$3x10^{8}$
HF(High Frequency)	10-100	$3x10^{6}$-$3x10^{7}$
MF(Medium Frequency)	100-1.000	$3x10^{5}$-$3x10^{6}$
LF(Low Frequency)	1.000-10.000	$3x10^{4}$-$3x10^{5}$
VLF(Very Low Frequency)	10.000-100.000	$3x10^{3}$-$3x10^{4}$
ELF(Extra Low Frequency)	100.000-1.000.000	$3x10^{2}$-$3x10^{3}$

Tablo 2.2. Frekans Tanımları

Frekans Bandı	Frekans aralığı	Dalga Boyu Aralığı (λ)
V-Bandı	46-56	5.3-6.5mm
Q-Bandı	36-46	6.5-8.3mm
K-Bandı	10.9-36	8.3-27.25mm
X-Bandı	5.2-10.9	27.5-57.7mm
S-Bandı	1.55-5.2	57.7mm-0.194m
L-Bandı	0.39-1.55	0.194-0.769m
P-Bandı	0.225-0.390	0.769-1.333m

GNSS sisteminde çift frekans olmasının amaçları;

1. Ll frekansının herhangi bir nedenle kesilmesi ya da elektronik karıştırmaya maruz kalması durumunda L2 frekansının yedek frekans (backup) görevi görmesi
2. Çift frekans özelliğinden yararlanarak iyonosferik düzeltme olanağı sağlaması olarak sıralanabilir.

C/A Kod özellikleri şunlardır; C/A kod Ll taşıyıcısı üzerine modüle edilmiştir. Bu kod 1 MHz lik PRN kod olup, her 1023 bitlik kod sonunda (milisaniyede bir) tekrar etmektedir. C/A kod periyodunun çok kısa seçilmesinin amacı GPS alıcılarının uydulara en kısa sürede kilitlenmesini sağlamaktır. Her bir uydu için farklı bir C/A kod PRN tahsis edilmiş olup bu kodlar "Gold Codes" adı verilen kodlar arasından seçilmiştir. C/A kod tüm kullanıcılara açıktır ve özellikle sivil standart konum belirleme hizmeti (SPS: Standart Positioning Service) için temel oluşturmaktadır. Ayrıca P-kodlu GNSS alıcılarının daha uzun süreli olan P koduna kilitlenmesi için geçen süreyi azaltmakta da kullanılmaktadır (Kahveci, 2009).

P-Kod, Ll ve L2 taşıyıcıların her ikisinde de modüle edilmiş olup yaklaşık 266.4 günlük kod uzunluğundadır. Kod uzunluğunun tamamı birer haftalık toplam 37 haftaya bölünmüştür. Her bir uyduya bu 37 haftalık Kod'un Tek haftalık bölümleri tahsis edilmiş olup bu da o uydunun PRN numarasını ifade etmektedir. Böylece 37 ayrı PRN P-kodu tahsis edilmiş olmaktadır. Kodlar her GNSS haftası başında (Cumartesi gece yarısı) tekrar etmektedir. Eğer P-kod her hafta sıfırlanıp yeniden yayınlanmasaydı, toplam yayınlanma süresi yaklaşık 37 hafta sürecekti. Oysa 37 haftalık periyot birer haftalık bölümlere ayrılarak 1-32 arası bölümler bir GNSS uydusuna ve 33- 37 arası bölümler ise yeryüzü yayın istasyonlarına (Pseudolites) tahsis edilmiştir (aynı durum C/A Kod için de geçerlidir). Böylece uydulara ait hiçbir bölüm (PRN kodu) diğeriyle karışmamakta ya da çakışmamaktadır. P kod "chip" uzunluğu 29.3 metre olup, çözünürlüğü yaklaşık 30 cm.dir. (Kahveci, 2009)

2.6. GNSS Alıcı Ve Anten Sistemleri

GNSS ölçülerinde kullanılan en önemli donanım alıcı (receiver) ve anten sistemidir. Kullanıcının sahip olduğu alıcı-anten sistemi özellikleri ve kapasiteleri ölçü planlamasından, ölçülerin arazi sonrası değerlendirme işlemlerine kadar tüm aşamaları doğrudan etkilemektedir.

GNSS alıcısı temel işlev olarak uydu sinyalini kaydeder, kaydedilen sinyali işleme tabi tutar (signal processing), anlık (real-time) uygulamalar için koordinat dönüşümleri yapar, gerektiğinde navigasyon için gerekli bilgileri hesaplar. Jeodezik amaçlı örnek GNSS alıcıları (Şekil 2.5) ve (Şekil 2.6)' da görülmektedir.

GNSS alıcı anteninin temel görevi uydulardan yayınlanan sinyalleri, çevresindeki objelerden yansıyan sinyalleri (multipath) ayıklayarak almaktır. Bazı özel tasarımlı antenler bu özelliklere ilave olarak uydulardan gelen sinyallere diğer kaynaklardan karışan (interface signals) sinyalleri de ayıklama özelliğine sahiptir. Alıcı antenleri esas olarak uydulardan yayınlanan elektromanyetik dalgalar içerisindeki enerjiyi alıcı içerisindeki elektronik devrelerde işlenebilecek elektrik akımına dönüştürmektedir.



Şekil 2.5. Jeodezik Amaçlı GNSS Alıcıları



Şekil 2.6. Jeodezik Amaçlı GNSS Alıcıları

GPS/GNSS anteni, uydulardan yayınlanan sinyalleri almaktadır. Antenin temel görevi, elektromanyetik dalgaları elektrik akımına dönüştürerek, alıcı sistemi için anlamlı hale getirmektir. GNSS anteni, azami sayıda uydu sinyalini alabilecek bir kapsama alanına sahip olmalıdır. Antenlerden istenen ortak özelliklerden birisi de, ufkun üzerindeki tüm uydulara ait sinyalleri alabilme kapasitesine sahip olmalarıdır (Kahveci, 2009).

GNSS anten modellerine ilişkin bazı örnekler Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'de görülmektedir.



Şekil 2.7. GNSS Anten Modelleri

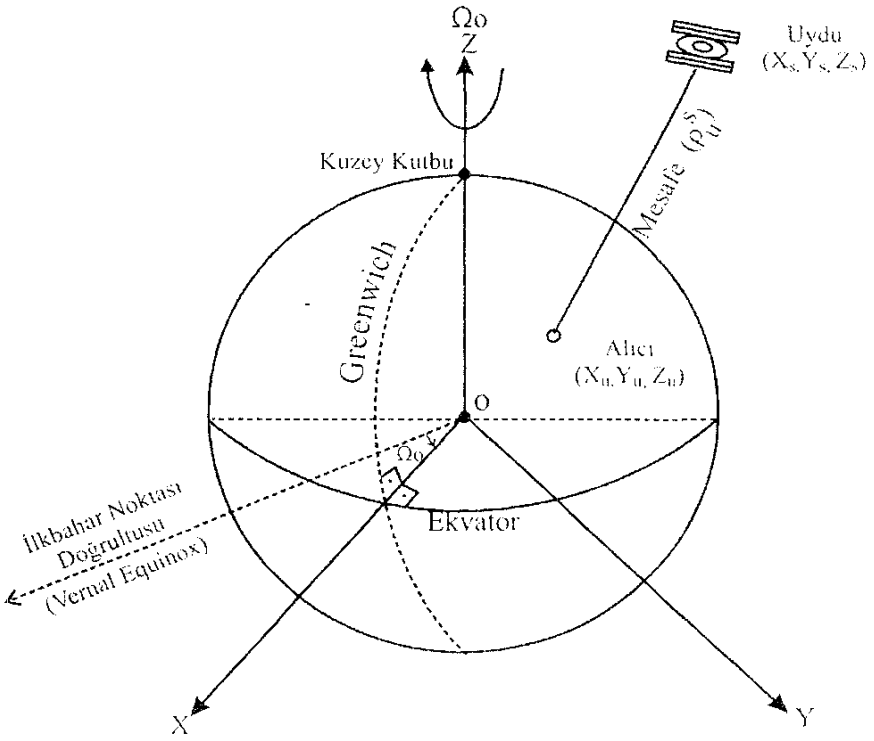


Şekil 2.8. GNSS Anten Modelleri

2.7. GNSS'te Kullanılan Koordinat Ve Zaman Sistemleri

Bilindiği gibi Jeodezinin en önemli amaçlarından birisi de yeryüzündeki noktaların 3 boyutlu konumlarının belirlenmesidir. Söz konusu nokta konumları belirli bir koordinat sistemine dayalı olarak tanımlanmaktadır. Ölçme sistemleri geliştikçe ve elde edilen doğruluklar arttıkça koordinat sisteminin tanımlarında da önemli değişmeler ve zorluklar ortaya çıkmaktadır. Özellikle uydulara dayalı konum belirleme problemlerinin çözümünde, uyduların ve ölçü yapılan noktaların konumları belirli koordinat sistemlerinde tanımlanmalıdır. GNSS matematiğinde uydu ve alıcı durumları kartezyen koordinat sisteminde tanımlanan konum ve hız vektörleri ile ifade edilmektedir (Kahveci, 2009).

Genel olarak iki temel koordinat sistemi mevcut olup, bunlar uzay sabit (inertial, space-fixed) ve yer sabit (earth-fixed) koordinat sistemleridir. (Şekil 2.9)



Şekil 2.9. Yer Sabit Koordinat Sistemi

2.7.1. Dünya jeodezik sistemi-1984 (WGS-84)

GNSS sisteminin işletiminden sorumlu olan ABD Savunma Dairesi (DoD: Department of Defence) GNSS ile konum belirlemede yersel referans sistemi olarak WGS-84 (World Geodetic System-1984) sistemini kullanmaktadır. WGS-84 sistemi eski ismiyle D.M.A. (Defence Mapping Agency), şimdiki ismiyle NIMA (National Imagery and Mapping Agency) tarafından pratik (uygulamaya yönelik) jeodezik referans sistemi olarak geliştirilmiştir. GNSS uydularından yayınlanan Navigasyon Mesajı içerisindeki uydu yörünge bilgileri (efemeris) WGS-84 sistemindedir.

WGS-84 sistemi, başlangıçta TRANSIT doppler gözlemlerine dayalı olarak geliştirilmiştir. NIMA, 1987 yılında TRANSIT uyduları için duyarlı efemeris hesaplamalarında WGS-84 sistemini kullanmaya başlamıştır.

WGS-84 sistemi ile ITRF sistemi arasındaki ilişkiyi belirlemek ve WGS-84 sisteminin doğruluğunu artırmak için 24 IGS ve 10 DoD noktasında yapılan eşzamanlı GNSS ölçüleri ile, 8 IGS noktasının ITRF91 koordinatları sabit alınarak DoD noktalarının koordinatları yeniden hesaplanmıştır. Nokta koordinatlarını ortak bir epoka getirmek için NUVEL NNR-1 plaka hareketi modeli kullanılmıştır. Böylece ITRF'e

göre hesaplanmış WGS-84 koordinatları yaklaşık 10 cm doğrulukla belirlenmiştir. Bu şekilde iyileştirilmiş sisteme WGS-84 (G730) adı verilmiştir. Burada, "G", GPS'i ve "730" ise GNSS haftasını (2 Ocak 1994) ifade etmektedir. GNSS Ana Kontrol İstasyonu bu koordinat değişikliklerini Ağustos 1994 tarihinden itibaren kullanmaya başlamıştır. Ayrıca, DoD yörüngelerindeki 1.3 m.lik radyal yörünge hatasını gidermek için WGS-84 GM değeri IERS-1992 standart değeri (3986004.418×10^8 m^3/sn^2) ile değiştirilmiştir.

Daha sonraları WGS-84 sistemini iyileştirmek amacıyla aynı işlemler tekrarlanmış ve 11 IGS noktasının ITRF94 koordinatı sabit alınarak elde edilen çözümlerle belirlenen referans sistemine WGS-84 (G873) adı verilmiştir. 873 üncü GPS haftası 29 Eylül 1996 tarihine karşılık gelmekte olup, bu tarih elde edilen sonuçların yörünge hesaplamalarına dahil edildiği zamanı ifade etmektedir. Bu şekilde elde edilen doğruluk tüm koordinat bileşenlerinde ± 5 cm olup bu da ITRF94 ile WGS-84 (G873) 'ün çok iyi bir uyum sağladığını göstermektedir (Kahveci, 2009).

2.7.2. GNSS'de kullanılan zaman sistemleri

Uzay jeodezisi ölçülerinde genel olarak 3 farklı zaman sistemi kullanılmakta olup bunlar Dinamik Zaman, Atomik Zaman ve Yıldız Zamanıdır.

a. Dinamik Zaman

Dinamik Zaman Sistemi, yerçekimi etkisindeki cisimlerin belirli bir yerçekimi teorisine göre, belirli bir referans sistemindeki hareketlerini tanımlamak için kullanılmaktadır (Kahveci, 2009).

b. Atomik Zaman

Yeryüzündeki temel zaman ölçeği Uluslar arası Atomik Zaman (TAl; International Atomic Time) dır. Paris (Fransa) 'te bulunan BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) tarafından, birçok ülkeden toplanan atomik saat verilerinin analizi ile elde edilmektedir. (Kahveci, 2009).

c. Yıldız Zamanı

Yıldız Zamanı doğrudan yerin dönmesi ile ilişkilidir. Atomik saatlerin olmadığı eski dönemlerde zaman ölçümü için yerin günlük dönüşü temel alınmaktaydı. O zamanlar yıldız ve universal zaman sistemleri aralarında dönüşüm yapılabilen iki zaman sistemi olarak kullanılmaktaydı. Yıldız ve UT zaman sistemlere atomik zaman ölçeği ile karşılaştırıldığında çok düzensiz olup günümüzde TTRS ile TCRS sistemleri arasındaki dönüşümde açısal büyüklük olarak kullanılmaktadır (Kahveci, 2009).

2.8. Yükseklik Sistemleri

Türkiye'de Düşey Kontrol (Nivelman) Ağı ile ilgili çalışmalar 1935 yılında Antalya mareograf (deniz seviyesi ölçer) istasyonunun kurulması ile başlamıştır. Sonraki yıllarda ana karayolları boyunca oluşturulan 158 birinci derece ve 87 ikinci derece geometrik nivelman geçkisinin ilk faz ölçüleri 1970 yılına kadar yapılarak Düşey Kontrol Ağı tesis edilmiştir. I. ve II. derece ölçülerde gidiş-dönüş kapanması için sırasıyla $4\sqrt{S}$ mm ve $8\sqrt{S}$ mm (S km biriminde geçki uzunluğu) ölçütleri alınmıştır. Gravite ağı ile ilgili çalışmalar 1956 yılında başladığından 1970 yılına kadar düşey kontrol noktalarında gravite ölçülmemiştir. 1973 yılından itibaren ikinci faz geometrik nivelman ölçüleri başlatılmıştır. Bu kapsamda günümüze kadar sürdürülen çalışmalarda daha önce tesis edilen geçki ölçüleri yenilenmiş, alt yapı nedeniyle tahrip olan geçkiler yerine yenileri, gerek duyulan yerlerde ise yeni geçkiler tesis edilmiş ve düşey kontrol noktalarında gravite ölçülmüştür. 1993 yılına kadar gerçekleştirilen ölçü çalışmaları ile 151 I. derece ve 39 II. derece geçki ölçüsü yenilenmiş, 2 yeni II. derece geçki tesis edilerek ölçülmüştür. 1985-1992 yıllarında yapılan çalışmalarla, 1973-1991 yıllarında ölçüsü yenilenen 151 adet I. derece ve 35 adet II. derece geçki ile 1970 yılından önce ölçülen 5 adet I. derece geçkinin, gravite değerleri ile birlikte ilk değerlendirmesi yapılarak Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1992 (TUDKA-92) oluşturulmuştur. Ölçüsü yenilenmemiş 52 adet II. derece geçki bu değerlendirmeye alınmamıştır.

1936-1970 yıllarında yapılan geometrik nivelman ölçüleriyle 19800 km uzunluğunda 158 adet I. derece ve 8900 km. uzunluğunda 87 adet II. derece geçkiden oluşan düşey kontrol ağı fiilen tesis edilmiştir. Bu ağı iyileştirmek amacıyla 1973 yılında başlayan ikinci faz geometrik nivelman ölçülerinde bugüne kadar, 151 adet I. derece ve 41 adet II. derece olmak üzere toplam 23077 km geçki ölçüsü

gerçekleştirilmiştir. Ölçüsü yenilenen toplam 190 adet I ve II. derece geçki ve yeni tesis edilen 2 adet II. derece geçki ile ölçüsü yenilenmeyen 7 adet I. derece ve 44 adet II. derece geçkinin değerlendirilmesi tamamlanarak, **243** geçkiden oluşan **25680** noktalı TUDKA-99 oluşturulmuştur.

Yükseklik Sistemleri 3 şekilde sınıflandırılır.

a. Dinamik Yükseklik (H^D)
b. Ortometrik Yükseklik (H)
c. Normal Yükseklik (H^N)

Jeoid üzerindeki bir P_0 noktasının potansiyeli (W_0) ile P yeryüzü noktasının potansiyeli (Wp) arasındaki fark P noktasının jeopotansiyel sayısı (Cp) olarak tanımlanır ve;

$$C_P = W_0 - W_P = \int_{P_0}^{P} g.dh \tag{2.1}$$

ile ifade edilir. Bu eşitlikte dh diferansiyel yükseklik farkı, g gerçek gravitedir. Jeopotansiyel sayı tam diferansiyel ve tek anlamlı bir büyüklük olup Po ve P noktaları arasında izlenen yoldan bağımsızdır. Jeopotansiyel sayının birimi kilogalmetre olup aynı zamanda jeopotansiyel birim (g.p.u.) de kullanılmaktadır. C jeopotansiyel sayı ve G ortalama gravite yardımıyla Yükseklik Sistemleri,

$$\text{Yükseklik} = \frac{C}{G} \tag{2.2}$$

genel formülü ile elde edilmektedir. G'nin seçimine bağlı olarak farklı yükseklik sistemleri tanımlanabilmektedir. Aşağıda dinamik, ortometrik ve normal yüksekliklere ilişkin G değerleri tanımlanmaktadır.

$$G = \gamma_{45}$$

$$G = g_p 0.0424H \tag{2.3}$$

$$G = \gamma\left[1 - (1 + f + m - 2f\sin^2\varphi)\frac{H^N}{a} + (\frac{H^N}{a})^2\right] \tag{2.4}$$

$$m = \frac{\omega^2 ab}{kM} \tag{2.5}$$

Bu eşitliklerde;

g_p : P yeryüzü noktasında ölçülen gravite,

γ : Elipsoid üzerinde normal gravite,

φ : Jeodezik enlem,

γ_{45} : $\varphi = 45^{o}$ için normal gravite,

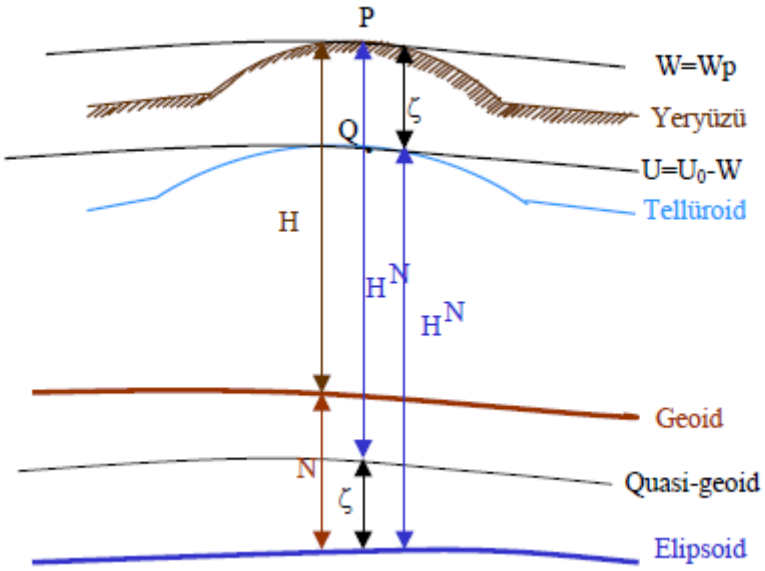
f : Basıklık,

ω : Yerin açısal dönme hızı,

a ve b : Elipsoidin büyük ve küçük yarı eksenleri,

kM : Newton çekim sabiti ile yerin kitlesinin çarpımıdır.

Fiziksel boyutu olan jeopotansiyel sayı sabit bir sayı γ45 ile bölünerek metrik boyutu olan dinamik yükseklikler elde edilir. Aynı eş potansiyelli yüzey üzerindeki noktaların dinamik yükseklikleri aynıdır. Geometrik nivelman ölçüsüne dinamik düzeltme getirilerek dinamik yükseklik farkları elde edilebilir. Dinamik düzeltme özellikle dağlık bölgelerde büyük değerlere ulaştığından bu yükseklik sistemi uygulama açısından uygun değildir. Ortometrik yüksekliklerin başlangıç yüzeyi jeoid, normal yüksekliklerin başlangıç yüzeyi ise okyanuslarda jeoid ile çakışan karalarda farklılık gösteren quasi-jeoid olup bu yükseklikler Şekil 2.10'da gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Ortometrik ve Normal Yükseklik

Şekil 2.10'da görüldüğü gibi P noktasının gerçek çekül eğrisi boyunca jeoide olan uzaklığı ortometrik yükseklik, normal çekül eğrisi boyunca quasi-jeoide olan uzaklığı ise normal yüksekliktir. Ortometrik yükseklikler yer yoğunluğu ile ilgili bazı varsayımlara dayanmasına karşın, normal yükseklikler için herhangi bir varsayım sözkonusu olmayıp her iki yükseklik sistemi tam diferansiyel ve tek anlamlıdır. Uygulamada jeopotansiyel sayı hesabı için (2.1) integrali toplam şekline dönüştürülür. P

noktasının Jeopotansiyel Sayısı; P_o 'dan $P^{'}$ ye olan geçki üzerinde belirli aralıklı noktalar arasındaki Jeopotansiyel Sayı farkları (ΔC_k)' nın toplamıyla elde edilir:

$$C_p = \sum_{k=1}^{K} \Delta C_k \quad , \qquad \Delta C_k = \overline{g_k}\delta_{nk} \tag{2.6}$$

δ_{nk} : İki nokta arasındaki geometrik nivelman ile bulunan yükseklik farkı,

$\overline{g_k}$: Söz konusu iki yeryüzü noktası arasındaki ortalama gerçek gravitedir.

Noktaların Jeopotansiyel Sayıları belirlendikten sonra (2.3) eşitlikleriyle istenilen yükseklik sisteminde nokta yükseklikleri belirlenebilir. Ayrıca geometrik nivelman ölçülerine uygun düzeltmeler getirilerek (ortometrik düzeltme, normal düzeltme, dinamik düzeltme) düzeltmeye karşılık gelen yükseklik sisteminde noktalar arasındaki yükseklik farkları doğrudan da elde edilebilmektedir. Gerçek gravite değerinin bilinmediği durumlarda (2.4) eşitliğinde $\overline{g_k}$ yerine ortalama normal gravite ($\bar{\gamma}$) alınarak ΔCk' normal jeopotansiyel sayı farkı elde edilmekte ve böylece normal jeopotansiyel sayı (C_P') hesaplanmaktadır.

$$C_p = \sum_{k=1}^{K} \Delta C^{'}_k \quad , \qquad \Delta C^{'}_k = \overline{\gamma_k}\delta_{nk} \tag{2.7}$$

Normal jeopotansiyel sayıdan normal ortometrik yükseklikler (H^{NO}); (2.2) eşitliğine benzer şekilde

$$H^{NO} = \frac{C^{'}_P}{G} \quad , \qquad G = \gamma - 0.3086(H^{NO}/2) \tag{2.8}$$

eşitlikleriyle elde edilmektedir.

Normal jeopotansiyel sayılar gerçek gravite alanına dayanmadığı için tam diferansiyel ve tek anlamlı değildir. Bunun anlamı, bir loopu oluşturan normal jeopotansiyel sayı farklarının toplamı teorik olarak sıfır olmaz. Bu da bir yükseklik sisteminden beklenen temel özellikleri yansıtmamaktadır. Ölçülen geometrik yükseklik farklarına normal graviteden yararla normal ortometrik düzeltme getirilerek normal ortometrik yükseklik farkları elde edilebilmektedir. Normal ortometrik düzeltme (OC')

$$OC' = 2\overline{H}^{NO}\alpha Sin2\bar{\varphi}\left[1+(\alpha\frac{2\beta}{\alpha})Cos2\bar{\varphi}\right]\Delta\varphi \tag{2.9}$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada

H^{NO} : Ortalama yükseklik,

α ve β : Bilinen katsayılar,

$\bar{\varphi}$: İki düşey kontrol noktasının ortalama enlemi,

$\Delta\varphi$: Aralarındaki enlem farkıdır.

Türkiye'de mevcut yükseklikler Normal Ortometrik Yükseklik Sistemi'nde olup ölçülen yükseklik farkları; (2.9) eşitliğinde α=0.002644 ve β=0.000007 (Hayford Elipsoidi) alınarak hesaplanan normal ortometrik düzeltme ile normal ortometrik yükseklik farklarına dönüştürülmüştür (Cingoz, Demir 2002).

2.9. Nokta Yüksekliklerinin GNSS ile belirlenmesi (GNSS Nivelmanı)

Önceki konularda da ifade edildiği gibi, GNSS gözlemleri ile alıcı anteninin ECEF koordinatları elde edilmektedir. Bu koordinatlar daha sonra belirli bir referans elipsoidine dayalı olarak elipsoit koordinatlara (enlem, boylam, elipsoit yüksekliği) dönüştürülmektedir. Diğer taraftan mühendislik uygulamalarında GNSS kullanımının neden olduğu en önemli sorunlardan birisi kullanılan yükseklik sistemlerinin farklı olmasıdır. Başka bir deyişle, GNSS ile elipsoit yükseklikleri elde edilmekte, oysa harita üretimi ve ulusal projelerde ortometrik yükseklikler kullanılmaktadır (Kahveci, 2009).

Bilindiği gibi ortometrik yükseklikler, ölçü noktası ile jeoit arasında çekül eğrisi boyunca ölçülen düşey mesafeler olarak tanımlanmaktadır. Jeoit geometrik nivelman ölçüleri için referans yüzeyidir. Diğer taraftan içinde Türkiye'nin de bulunduğu birçok ülkede jeoit, mareograf noktalarında gerçekleştirilen deniz düzeyi belirleme ölçülerinden yararlanarak elde edilen Ortalama Deniz Seviyesi (ODS) ile çakışık kabul edilmektedir. Ancak, bu durumda bile Ortalama Deniz Seviyesi ile sıfır yüksekliği birbiriyle çakışmayabilmektedir. Gerçekte jeoit ile ODS vasıtasıyla yapılan pratik tanımı arasındaki uyum 1-2 metre mertebesindedir. ODS ile jeoit arasındaki fark Deniz Yüzeyi Topografyası (SST: Sea Surface Topography) olarak bilinmektedir. SST ise zamana ve konuma bağlı olarak değişim göstermektedir.

Elipsoit matematiksel olarak tanımlanmış düzgün bir yüzey iken, jeoit fiziksel olarak tanımlanmış eş potansiyelli bir yüzeydir ve yer gravite alanındaki değişimleri yansıtmaktadır. Bu nedenlerle, elipsoit yüksekliklerinin geometrik, ortometrik yüksekliklerinin ise fiziksel anlamı vardır. Jeoit ile elipsoit arasındaki fark jeoit yüksekliği (ya da jeoit ondülasyonu) olarak bilinmekte ve "N" ile gösterilmektedir. GNSS ile elde edilen elipsoit yüksekliğinden (h), Ortometrik yükseklikleri (H) elde etmek için: $H = h - N$ (2.10)
eşitliği kullanılmaktadır. GRS80 elipsoidine göre jeoit yükseklikleri tüm dünya için (+75) ile (-104) metre arasında değişmektedir. Türkiye için bu fark yaklaşık 6 ile 40 m

arasındadır. (2.3) eşitliği ile ortometrik yüksekliklerin doğrudan bulunabilmesi jeoit yüksekliklerinin (N) bilinmesini gerektirmektedir. Jeoit yüksekliklerinin belirlenmesinde birçok yöntem mevcut olup bunlar çok genel olarak;

- Astro-jeodezik jeoit belirleme,
- Yer gravite alanı jeopotansiyel modelleri ile jeoit belirleme
- Gravimetrik yöntemle jeoit belirleme
- Geometrik (ya da enterpolasyon ile) jeoit belirleme

şeklinde sınıflanabilirler. Bunlardan astro-jeodezik yöntemde jeoit yüksekliği yerel elipsoide (jeodezik ağa) göre belirlenmektedir. Bu yöntemde kullanılan temel veriler çekül sapmalarıdır. Bu yöntem yalnızca astronomik koordinatların mevcut olduğu bölgelerde kullanılmaktadır. Jeoit yükseklikleri gerçekte astro-jeodezik noktalar arasındaki eğimi ifade etmektedirler.

Jeopotansiyel modellerle jeoit belirleme yöntemi kullanılarak elde edilen jeoit yükseklikleri yer merkezli (jeosentrik) elipsoide göredir (günümüz küresel harmonik modellerde GRS80 elipsoidi parametreleri kullanılmaktadır). Bu yöntemdeki temel veriler küresel harmonik (ya da jeopotansiyel model) katsayılarıdır. ABD ve Avrupa'da farklı kurum ve kuruluşlarca farklı modeller kullanılmaktadır, Bunlar arasında yaygın olarak kullanılanlar OSU91A (Ohio States University) modeli ve NASA/NİMA/OSU Yer jeoit modeli EGM96'dır (Kahveci, 2009).

Gravimetrik yöntemle jeoit belirleme yönteminde, Stokes'entegrali yardımıyla yersel gravite ölçülerinin entegrali alınmaktadır. Normal olarak entegral tüm yeryüzü için alınır. Günümüzde ise bu yöntem Stokes'entegrali ile küresel harmonik modellerin birleşimi olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemdeki temel veriler, hesap noktasının çevresindeki yersel gravite ölçüleridir. Hesaplamalar, gravite anomalilerinin ağırlıklı ortalaması şeklinde yapılırlar. Hesaplanan jeoit yüksekliği yer merkezli bir elipsoide göredir. Bu yöntem yerel gravite ölçüsünün yoğun olduğu bölgeler için uygun olup, 100 km'ye kadar olan uzaklıklarda birkaç ppm doğruluğunda göreli jeoit yüksekliği belirlemek olanaklıdır (Kahveci, 2009).

Geometrik (enterpolasyon) yöntemle jeoit belirleme (2.1) eşitliğinden N'lerin doğrudan hesaplanmasına dayanmaktadır. Eğer ağda N değerlerinin belli olduğu çok sayıda nokta varsa, diğer noktalardaki N değerleri herhangi bir enterpolasyon tekniği ile (düzlem yüzey uydurma, kolokasyon, cubic splines vb.) belirlenebilir. Bu yönteme GPS

nivelmanı (GNSS jeoidi) adı da verilmektedir. GNSS jeoidi çok genel olarak aşağıdaki şekilde belirlenebilir.

Proje alanında doğrudan nivelman noktalarından nivelman ölçüsü yapılarak ve yüzey uydurma (surface fitting) tekniği ile elde edilecek bir jeoit haritası kullanmak yerine, ortometrik ve elipsoit yükseklikleri kullanılarak iki farklı düzlem belirlenir. Eğer her iki yükseklik tek bir nivelman noktasında eşit kabul edilirse diğer nivelman noktalarının iki farklı yükseklik değeri olacaktır. Bunun için basit bir matematiksel model olarak

$$N(X,Y) = AX + BY + C \qquad (2.11)$$

Verilmektedir. (2.11) eşitliği ile bu iki düzlemin doğu-batı ve kuzey-güney doğrultusundaki eğimi (tilt) ve jeoit yüksekliği elde edilmektedir. Bu eşitlikte A,B ve C katsayılar, (X,Y) ise örneğin UTM koordinatları olarak tanımlanabilir. Bu yöntemde proje alanında uygun dağılımlı ve yüksekliği hem GNSS gözlemi hem de geometrik nivelman ile elde edilmiş üç nokta yeterlidir. A, B, C katsayıları (2.22) eşitliğinde yerine konarak istenen noktanın ortometrik ve elipsoit yüksekliği elde edilmektedir. Proje alanında çok sayıda ortometrik ve elipsoit yüksekliği varsa A, B, C katsayılarının En Küçük Kareler (EKK) yöntemi ile bulunacağı açıktır. Yüksek çözünürlüklü bir jeoit modeli olmadığı durumlarda yukarıda anlatılan yöntem, yaklaşık 50 km * 50 km de daha küçük ve jeoit değişimlerinin düzgün olduğu alanlarda oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

Türkiye için Harita Genel Komutanlığı tarafından hesaplanmış olan jeoit, TG-99 olarak adlandırılmıştır. Bu jeoit N_TG99, GNSS elipsoit yükseklikleri h_{GPS} ve Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99) 'a dayalı hesaplanan ortometrik yükseklikler H_{99} ile gösterilirse tüm bu büyüklüklerde sistematik sapmalar ya da datum belirsizliği söz konusudur. Bu nedenle (2.21) eşitliği;

$$h_GPS + 8\, h_{GPS} = (H_{99} + 5\, H_{99}) + (N_TG99 + 5\, N_{TG}99) \qquad (2.12)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada "8 " yükseklik bileşenindeki hatalar olarak düşünülebilir.

2.10. Türkiye hibrid jeoid modeli-2009 (THG-09)

Yeryüzü topografyasının harita üzerinde gerçek durumunun gösterilebilmesi, mühendislik projelerinin (karayolu, şehir planı, baraj, liman vb.) araziye aplike edilebilmesi için yerin çekim alanıyla ilişkili bir yükseklik sistemine ihtiyaç duyulur.

Böyle bir yükseklik sisteminin vazgeçilmez unsuru ise yüksek doğruluklu yer gravite alanı ve jeoid modelidir.

Yükseklik ölçmelerinde uydu tekniklerinden etkin şekilde faydalanabilmek için yüksek çözünürlüklü ve yüksek doğruluklu jeoid modeline olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bu maksatla Harita Genel Komutanlığı tarafından bugüne kadar farklı jeoid modelleri (Türkiye Jeoidi 1991/1992/1994/1999/2003/2009) geliştirilmiştir.

Son geliştirilen Türkiye Hibrid Jeoid Modeli-2009 (THG); Yer Potansiyel Jeoid modeli 2008 (EGM 2008), denizlerde uydu altimetre ölçülerinden hesaplanan 1' x 1' aralıklı DNSC08 gravite anomalileri, 262212 noktada yüzey gravite ölçüleri 3" x 3" aralıklı sayısal arazi modeli ve 2714 adet GPS/Nivelnan noktası kullanılarak Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) yöntemiyle hesaplanmıştır. Jeoid yükseklikleri uzun, orta ve kısa dalga boylu parçaların bir toplamı şeklinde modellenmiş ve her parça ayrıca hesaplanarak sonuç jeoid modeli belirlenmiştir. THG-09'un iç duyarlılığı ±1.00 cm ., dış doğruluğu ise ± 9.00 cm. Seviyesindedir (Kılıçoğlu, ve diğ.,2009)

.

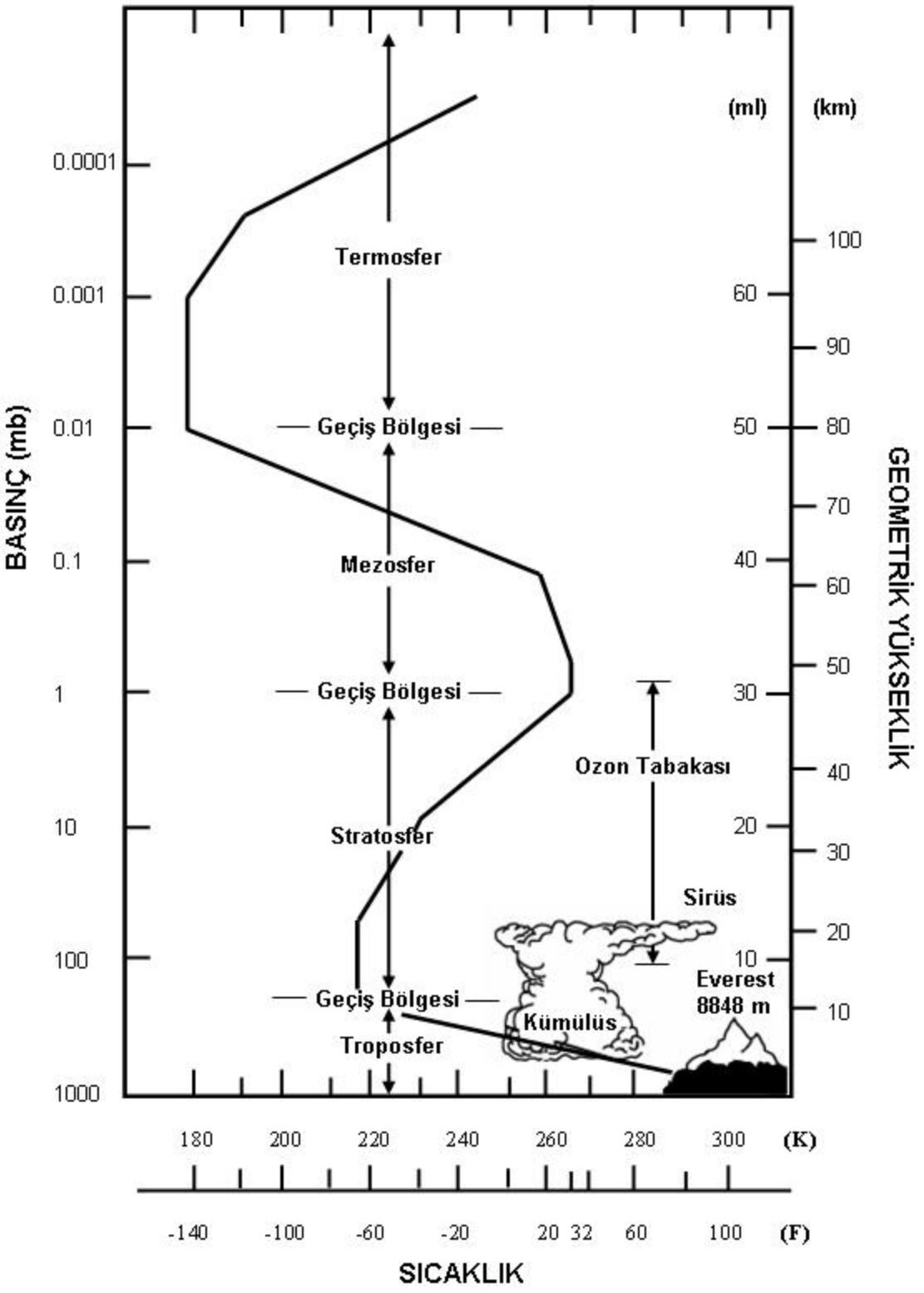
3. GNSS GÖZLEMLERİNDE ATMOSFERİK ETKİLER

3.1. Troposferik Etki

Su buharının atmosferdeki dağılımı ile ilgili bilgi, hava tahmini çalışmaları ve iklim araştırmalarında büyük öneme sahiptir. Su buharı, zamansal ve uzaysal ölçekli küresel meteorolojik çalışmalardan, bölgesel meteorolojik çalışmalara kadar önemli bir rol oynamaktadır. Su buharı, atmosferi oluşturan temel bileşenlerden en değişken özelliğe sahip olanıdır. Ayrıca, global iklim sisteminde kritik rol oynayan sera gazı (greenhouse gas) özelliğine sahiptir. Bir başka ifade ile su buharı, atmosferin diğer bileşenleri ile karşılaştırıldığında sera etkisine en çok katkıyı yapan gazdır. Meteoroloji ile uğraşanlar, su buharının yatay ve düşey dağılımını belirlemek için çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir. Bunlardan meteoroloji balonları (Radyosonde) radyo sinyallerinden yararlanarak yer istasyonlarına atmosfer içindeki sıcaklık, basınç, nem ile rüzgâr hız ve yönü ile ilgili bilgiler göndermektedir. Normal Radyosonde aletleri ile sıcaklık yaklaşık ≈0,2 C° ve basınç ise ≈%3,5 doğrulukta elde edilebilmektedir. Bu sapma miktarları soğuk ve kuru bölgelerde daha da artabilmektedir. Radyosonde gözlemlerinin düşey kesitte iyi bir çözünürlük sağlamasına karşın, bazı kısıtlamaları da bulunmaktadır. Örneğin, bu aletler pahalıdır ve bu nedenle kullanıldıkları istasyon sayısı ve günlük fırlatma sayısı (örneğin, ülkemizde günde iki kez ile) sınırlı tutulmaktadır. Bu kısıtlamalar nedeniyle Radyosonde tekniği su buharının zamansal ve uzaysal değişkenliğini belirlemede yetersiz kalmaktadır. Dolayısıyla, su buharının analizindeki bu kısıtlamalar, kısa dönemli (0-24 saat) yağış tahmininde temel hata kaynağını oluşturmaktadır (Kahveci, 2009).

İyonosferden geçen GNSS sinyaller sırasıyla mezosfer, stratosfer ve troposfer tabakalarından ilerlerler ve yeryüzüne ulaşırlar (Şekil 3.1). Troposfer (nötr atmosfer), havanın yeryüzü ile temas halinde olan en alt tabakasıdır. Kalınlığı ekvatorda yaklaşık 18 km iken kutba doğru azalarak kalınlığı 8 km'ye kadar düşmektedir. Meteorolojik olayların tamamı 3-4 km.lik alt troposfer tabakasında görülmektedir.

Troposfer toplam gecikmenin %80'ini oluşturduğundan, atmosferin nötr kısmından geçen sinyalin uğradığı gecikme genel olarak 'troposferik gecikme' olarak adlandırılır (Hopfield 1970). Sonuç olarak troposferden söz edildiğinde genelde yeryüzü atmosferinin 50 km.lik alt kısmı kastedilmektedir .



Şekil 3.1. Atmosferin 100 km'ye kadarki sıcaklık değişimleri haritası (Oxford 1999).

Nötr atmosfer, kuru hava ve su buharından oluşur. Kuru havanın bileşiminde enlem ve yüksekliklere bağlı olarak önemli bir değişiklik meydana gelmez (Smith ve

Weintraub 1953). Troposferde su buharı miktarı azdır (su buharı basıncı kuru hava basıncının %1'ine karşılık gelir), fakat hem enlemle hem de yükseklikle çok değişmektedir. Ancak 10 km.nin üzerinde su buharı büyüklüğü sıfıra inmektedir (Hopfield 1971).

GNSS kod ve faz ölçülerinin atmosferin yere yakın katmanı olan troposferde gecikmeye uğraması sonucunda oluşan etki bu gözlemlerin lineer kombinasyonlarıyla giderilememektedir. Troposferik gecikme iki parçaya ayrılır: kuru ve ıslak. Kuru bileşeni yüzey meteorolojik ölçmelerinden türetilen birçok troposferik gecikme modelleriyle yüksek doğrulukla belirlenebilir (Kahveci, 2009).

Troposferin kuru kısmı hidrostatik dengede olduğundan, ideal gazlar yasası kolayca uygulanabilir ve literatürde bu kısma hidrostatik kısım da denilmektedir. Islak kısmı ise troposferde hem yatay hem de düşey olarak sıvı su ve su buharının düzensiz dağılımından dolayı hesaplanması (tahmin edilmesi) zordur. Gecikmenin ıslak bileşeni toplam etkinin %10 kadar kısmını oluşturmasına rağmen toplam gecikme için çok hassas bir çözüm bulmada kısıtlayıcı rol oynayan bir belirsizliğe neden olmaktadır. Uydu ile alıcı arasında seyahat eden sinyalin yükseklik (eğim) açısı 15^0 ‘nin altında olduğu durumlarda troposferik gecikme çok büyük boyutlara ulaşmakta ve modellemesi daha da zorlaşmaktadır. Troposferik gecikmenin başucundaki (Zenit) değeri (uydunun yükseklik açısındaki değerine eşlenmemiş durumu, kısaca sinyalin başucu doğrultusundaki gecikme değeri) 2,2 m civarında olurken yatayda yani yükseklik açısının 0°'ye yakın olduğu durumlarda 25-85 m arasında değişebilmektedir. Bu yüzden GNSS ölçmeleri yapanlardan troposferden ve sinyal yolu eğrilinden fazla etkilenmemeleri için, gözlemlerini 15° 'nin altında yapmamaları önerilir. Bu gözlem açısına; kesme açısı, cut-off angle veya mask angle denilmektedir (Mekik 1993).

Islak bileşeni ve dolayısıyla toplam troposferik gecikmeyi belirlemeye yönelik bir kaç yöntem vardır. Bunlardan en yaygınları, yüzey modelleri (örneğin, Saastamoinen ve Hopfield modelleri), Radyosonde profilleri, su buharı radyometresi (SBR) ve troposferik parametre kestirimi Standart Atmosfer Modeli’dir. İyonize olmamış (Nötr) atmosferin radyo frekanslarında yayınlanan elektro manyetik dalgalara olan etkisi troposferik gecikme etkisi ya da troposferik refraksiyon olarak isimlendirilmekteydi. Nötr atmosfer elektromanyetik dalgaların hızını ve yönünü değiştirmektedir demiştik. Bu etki elektromanyetik dalganın yavaşlamasına ve eğilmesine neden olur. Her iki etkinin neden olduğu gecikme uydu ile alıcı arasındaki

sinyal yolu boyunca ortam kırılma indisinin (**n**) değişimine bağlıdır. Bu gecikmenin miktarı ise "**S**" sinyal yolu boyunca;

$$\Delta S_{trop} = \int_b^a (n-1)dS + (S-G) \tag{3.1}$$

yazılabilir. Zenit doğrultusundaki gözlemlerde (2.1) eşitliğinde S=G olacaktır. Elektro manyetik dalganın eğilmesinden dolayı gelecek etkiyi ifade eden (S-G) terimi çok küçük olduğundan göz ardı edilirse, problem (2.1) eşitliğindeki integralin alınması haline dönüşür. Böylece troposferik gecikme etkisi,

$$\Delta S_{trop} = \int_b^a (n-1)dS \tag{3.2}$$

olarak yazılabilir. Burada, kırılma indisi (n) yerine kırıcılık (N) kullanılırsa (3.2) eşitliği;

$$\Delta S_{trop} = 10^{-6} \int_b^a N(s)dS \tag{3.3}$$

$$N=(n-1)x10^{-6} \tag{3.4}$$

halini alacaktır. (2.5) eşitliğindeki atmosferik kırılma N(s); ısı, basınç ve su buharının bir fonksiyonu olarak;

$$N(s) = k_1 . \frac{P_d}{T} + k_2 . \frac{e}{T} + k_3 . \frac{e}{T^2} \tag{3.5}$$

Olarak ifade edilebilir. Eşitlikte verilen P_d, e, T, k değişkenleri aşağıda tanımlanmıştır.

P_d: Kuru havanın toplam atmosferik basıncını (mbar),

e: Su buharı kısmi basıncını (mbar),

T: Kelvin biriminde sıcaklık,

k: Atmosferik katsayılar olup birimsizdirler. k değerleri tablosu aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.1 Atmosferik katsayılar (Kahveci 1997).

k_1(K/mbar)	77.604±014
k_2(K/mbar)	64.790±0.080
k_3(K/mbar)	(3.776±0.04).10^5

Atmosfer, iki ideal gazın karışımı (kuru hava ve su buharı) olarak düşünülürse (3.6) ve (3.7) eşitliği;

$$N = N_d(s) + N_w(s) \tag{3.6}$$

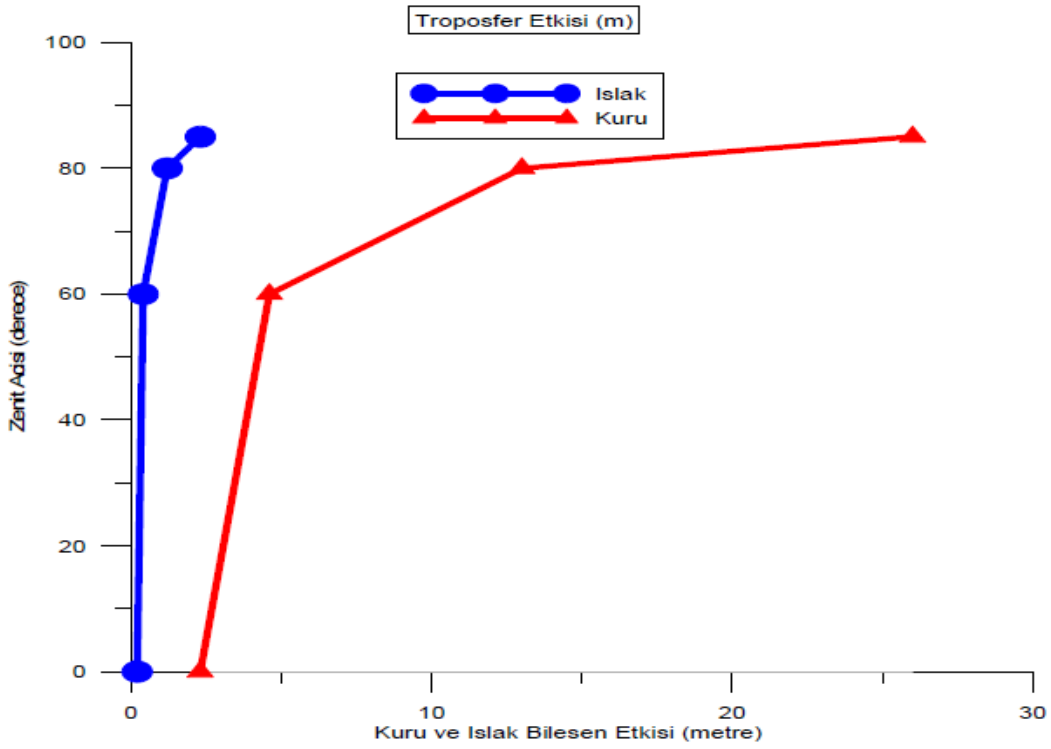
N_d (s) = 77.6(P /T) (3.7)

N_w (s) = $3.73x10^5$ (e /T^2) (3.8)

Olarak iki ana bileşenle ifade edilebilir. Bunlar **N_d(s)** kuru bileşen, **N_w(s)** ıslak bileşen olarak adlandırılmaktadır.

Troposferik gecikmenin yaklaşık %90'ı kuru bileşen ve geri kalan %10'luk kısmı ise ıslak bileşenden oluşmaktadır. N_d(s)'nin troposferdeki değişimi çok küçük olup, 40 km ve daha yükseklerde göz ardı edilebilir. N_w(s) ise, yalnızca yere yakın yükseklikler (0-5 km) için önemlidir. Islak ve kuru bileşenler zenit yüksekliğine göre değişirler. (Şekil 3.2)'den de görüleceği gibi alıcıya gelen GNSS sinyalinin zenit açısı ne kadar büyükse, bu sinyalin atmosferde zenit doğrultusuna göre daha uzun bir yol izleyeceğinden, ıslak ve kuru bileşen değerleri de o kadar fazla olacaktır. Bu artım miktarı da 1/Cos Z kadardır (Kahveci, 2009).

Troposferik gecikme, GNSS sinyalinin troposfer katmanındaki kat ettiği yola bağlı olduğundan aynı zamanda uyduya olan zenit açısının da bir fonksiyonu olacaktır. Bu nedenle GNSS gözlemlerinde uydu sinyali yükseklik açısı 15^0 ve yukarısı seçilmektedir. Daha küçük açıların kullanılması yansıma etkilerine neden olacaktır (Kahveci, 2009).



Şekil 3.2. Zenit açılarına bağlı ıslak ve kuru bileşen etkisi (Kahveci 1997).

Zenit doğrultusundaki gecikmeden yararlanarak herhangi bir zenit açısı doğrultusundaki değerin hesaplanmasını sağlayan 1/CosZ fonksiyonuna indirgeme fonksiyonu (mapping function) adı verilmektedir. 1/CosZ deneysel bir fonksiyon olup farklı araştırmacılar tarafından çok değişik indirgeme fonksiyonları yayınlanmıştır. Zenit doğrultusundaki ıslak ve kuru bileşen değerlerinden;

$$\Delta S_{trop}^{z} = f_d.\Delta S_d^z + f_w.\Delta S_w^s \tag{3.9}$$

f değerleri zenit doğrultusundaki ıslak ve kuru bileşenler için indirgeme fonksiyonlarını göstermektedir.

$$f_w = \frac{1}{SinE + \frac{0.00035}{0.0170 + \tan E}} \tag{3.10}$$

$$f_d = \frac{1}{SinE + \frac{0.0143}{0.04454 + \tan E}} \tag{3.11}$$

$$E=90-Z \tag{3.12}$$

3.2. İyonosferik Etki

İyonosfer, hava moleküllerinin ileri derecede yoğunlaşmış halde bulunduğu ve elektrik iletkenliği kazandığı yüksek atmosfer bölgelerinin tümüdür. İyonosferde atomlardan kopmuş serbest elektronların sayısı, elektromanyetik dalgaların yayılmasını değiştirmeye yetecek kadar çoktur.

İyonlaşma şiddeti, elektron yoğunluğu ile ifade edilmekte olup, çok değişken olan bu yoğunluk cm^3 de 100.000 ile birkaç milyon serbest elektron arasında değişmektedir. İyonosfer genel olarak, elektromanyetik dalgaların yayılmasını etkileyebilecek kadar serbest elektron yoğunluğuna sahip üst atmosfer tabakası (-70~-3000 km) olarak tanımlanabilir (Kahveci, 2009).

İyonlaşma ve serbest elektron yoğunluğu doğrudan güneş ışımasına (radyasyon yoğunluğuna) bağlıdır. Buradan, iyonosferin elektromanyetik dalgalar üzerindeki etkisinin geceye göre gündüz daha fazla olacağı sonucuna varılabilir (Kahveci, 2009).

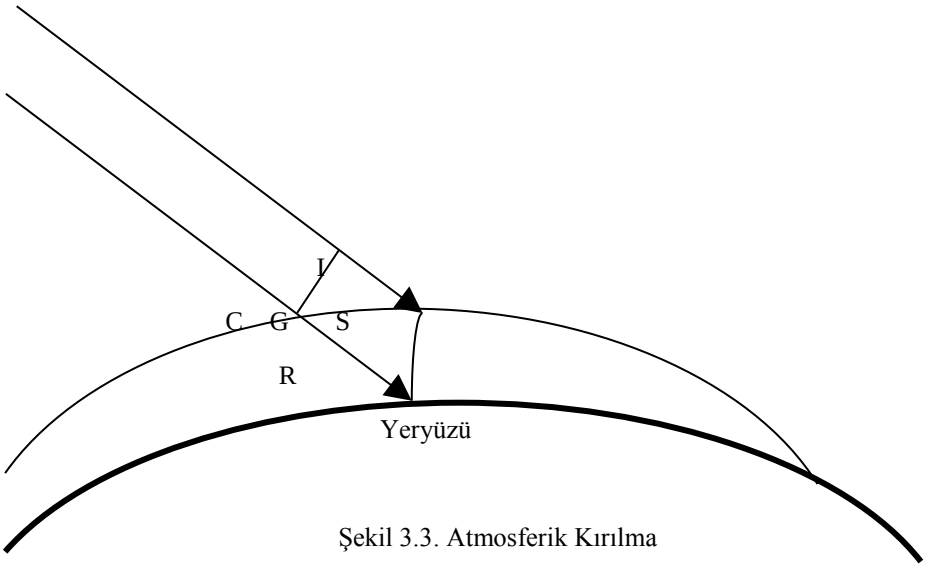
İyonosferin elektromanyetik dalgaların yayılmasındaki etkisi Toplam Elektron Miktarı (TEC) ile ifade edilmektedir. TEC, uydu-alıcı arasındaki sinyal yolu boyunca

m^3 deki toplam elektron sayısı olarak da ifade edilebilir. TEC, genel olarak, yerel zamanla yaklaşık saat 14.00 civarında maksimum günlük değere ulaşmaktadır. Gece yarısı ile sabah 05.00 saatleri arasında minimum değere ulaşmaktadır. Gece süresince olan ortalama iyonosferik etki 10 nanosaniye (~ 3 metre), gündüz ise 50 nanosaniye (-15m) kadardır (Kahveci, 2009).

Bunların dışında gözlenen uydunun yükseklik açısının da iyonosferik etkinin büyüklüğü üzerinde etkisi vardır. Örneğin, düşük yükseklik açılarında iyonosferik etki gündüz ve gece için verilen değerlerin yaklaşık üç katı kadardır. Yani, gündüz 30 nanosaniye, gece 150 nanosaniyedir (Kahveci, 2009).

İyonosferin GNSS ile yapılan kod ve faz ölçülerine olan etkileri farklıdır. Kod ölçüleri için iyonosferik grup gecikme etkisi (group delay) söz konusu iken faz ölçüleri için faz hızlanması (phase advance) söz konusudur. İyonosfer, radyo dalgalarını dağıtıcı bir özelliğe sahip olup, bu bozucu etki radyo dalgalarının frekansına bağlı olarak değişim gösterir. Ölçülen uydu alıcı uzunluğunda iyonosferden dolayı bir azalma ya da fazlalık söz konusudur (Kahveci, 2009).

Normal olarak GNSS ölçüleri sonucu elde edilmesi gereken uzunluk atmosfer dışında kalan sinyal yolu ile (Şekil 3.3)' de görülen G geometrik uzaklığının toplamıdır geometrik uzaklığının toplamıdır. Ancak, gerçekte durum böyle değildir. Elektromanyetik dalgalar iki nokta arasındaki en kısa yolu izledikleri için ölçülen uzunluk minimum sinyal yolu (Fermat yasası) olarak bilinen S uzunluğudur. Dolayısıyla, sinyal yolundaki fazla uzunluk,



Şekil 3.3. Atmosferik Kırılma

$$\Delta S = 10^{-6} \int_{a}^{b} N(s).ds \tag{3.13}$$

Genel eşitliği ile ifade edilebilir. Burada N(s) kırıcılık (refractifity) olarak tanımlanmakta ve kırılma indisi (n) cinsinden

$N = 10^6.(n-1)$ (3.14)

İle verilmektedir. R alıcısı ile S Uydusu arasındaki fazla uzunluk $\Delta\rho_R^s$ ile gösterilirse iyonosferik etki uzunluk biriminde,

$$\Delta\rho_R^s(Li) = \frac{A_1.TEC}{f^2(Li)} \tag{3.15}$$

Zaman biriminde ise

$$\Delta t(Li) = \frac{\Delta\rho_R^s(Li)}{c} = \frac{40.3}{c.f^2(Li)}.TEC \tag{3.16}$$

Şeklinde yazılabilir. Burada;

C: Işık Hızını

TEC: Toplam Elektron Miktarını

A_1=40.3

L_i ise L1 ve L2 frekanslarını göstermektedir.

(3.15) Eşitliğinden de görülebileceği gibi iyonosferik etki TEC ile doğru orantılı ve sinyal frekansının karesi ile ters orantılıdır. Yine aynı eşitlikten görülebileceği gibi iyonosferik etki frekans bağımlıdır ve yüksek frekanslarda A_1 değeri azalmaktadır. Bu frekans bağımlılığı nedeniyle çift frekanslı alıcılar kullanılarak iyonosferik etki büyük oranda giderilebilmektedir (Kahveci, 2009).

Birbirine yakın uzunlukta ölçü yapan iki alıcı için iyonosferik etki aynı kabul edilebilir. Bu nedenle kısa baz uzunluklarında (<20-30 km) tekli, ikili ve üçlü faz farkları oluşturularak iyonosferik etki büyük ölçüde giderilmektedir. Ancak, uzun bazlarda, (>100 km) mutlaka çift frekanslı alıcılar kullanılmalıdır. Çift frekanslı GNSS ölçüleri ile iyonosferden bağımsız lineer kombinasyon (L3) tanımlanmış olup iyonosferik etki,

$$\rho_R^S(L3) = k_1\rho_R^S(L1) - k_2\rho_R^S(L2) \tag{3.17}$$

k_1= 2.545728, k_2= 1.545728 ile verilmektedir. (3.17) Eşitliği kod ölçüleri için geçerli olup, faz ölçüleri için,

$$\Phi_R^S(L3) = k_1\Phi_R^S(L_1) - k_2\Phi_R^S(L2) \tag{3.18}$$

Eşitliği geçerlidir. (3.18) eşitliğinin en önemli sakıncası k_1 ve k_2 çarpanları nedeniyle taşıyıcı dalga faz belirsizliklerinin tam sayı olma özelliklerinin yok olmasıdır. GPS Ölçüleri tek frekanslı alıcılar ile yapılmışsa çift frekanslı gözlemlerle elde edilen iyonosferik modeller kullanılarak ya da uydu navigasyon mesajlarının bir bölümü olarak yayınlanan mevsimlik iyonosfer model katsayıları (α_0, α_1, α_2, α_3, β_0, β_1, β_2, β_3) kullanılarak GPS ölçülerine iyonosferik düzeltme getirilmektedir.

Uydu mesajlarının bir bölümü olarak yayınlanan iyonosferik model katsayıları kullanılarak iyonosferik etkinin ancak yaklaşık % 50'si giderilebilmektedir. Dolayısıyla, yüksek doğruluk isteyen çalışmalarda ve özellikle uzun bazlarda çift frekanslı alıcıların kullanılması ve değerlendirmelerin ise L3 lineer kombinasyonu kullanılarak yapılması daha uygundur. Diğer taraftan, kısa bazlarda (<10 km) yalnızca L1 frekansının çift frekanslı ölçülerden hesaplanan bir iyonosfer modeli ile birlikte kullanılması L3 kombinasyonuna göre çoğu zaman daha iyi sonuç vermektedir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Atmosferik Parametreleri Elde Etme Yöntemleri

Troposferik gecikme hesabında kullanılan atmosferik parametreler standart troposferik modelden, gözlem noktasında ölçülen meteorolojik verilerden (sıcaklık, basınç, nem, ıslak ısı) veya su buharı radyometresinden ve radyosondelerden yararlanarak elde edilmektedir.

4.2. Gözlem Noktasında Ölçülen Atmosferik Parametreler

Su buharının atmosferdeki dağılımının doğru olarak bilinmesi, hava tahmini ve iklim çalışmalarında önemli bir konudur. Ancak, gerçek nem alanı konusundaki bilgiler, gözlem sayısının yetersiz oluşu ve veri birleştirmesi (asimilasyonu) sistemlerinde nem bilgisinin etkin olarak kullanılamaması nedenleriyle, eksik kalmaktadır. GNSS sinyalleri su buharına oldukça duyarlıdır. GNSS, su buharının düşey dağılımı ile ilgili bilgi sağlamamakla birlikte, radyosonde gözlemleri ile karşılaştırıldığında daha ekonomik, doğru, güvenilir ve her türlü hava koşulunda çalıştırılabilir bir sistemdir. Özellikle, çok sayıda istasyondan oluşan sabit GNSS ağlarından gerçek-zamanlı olarak elde edilen gözlemler birçok bilimsel çalışma için değerli bilgiler içermektedir. Jeodezik yöntemler kullanarak elde edilen su buharı bilgisinin meteorolojik amaçlı kullanımı jeodezi ve jeofizik bilimlerine de katkıda bulunacaktır. Çünkü depremlerin önceden belirlenmesi ve yüksek doğruluklu GNSS ağı kurulmasını amaçlayan jeodezik ve jeofizik çalışmalarda elde edilen en düşük doğruluklu koordinat bileşeni yükseklik bilgisidir (≈3-5 cm). GNSS yükseklik bilgisinin yatay koordinatlara göre daha düşük doğrulukla belirlenmesinin nedenlerinden birisi de hesaplamalarda kullanılan troposferik modellerdeki hatalardır. Oysa Sayısal Tahmin Modelinden (NWP) elde edilecek atmosferik parametreler (sıcaklık, nem ve basınç) yardımıyla yüksek doğruluklu (≈1-2 cm) koordinat (yükseklik) bilgisi elde edilebilecek, böylece gerçek zamanlı navigasyon uygulamalarının yanında jeodezik ve jeofizik çalışmalarda da önemli katkı sağlanmış olacaktır.(Kahveci ve ark.2009)

Bununla birlikte; gözlem noktasında ölçülen meteorolojik verilerden (surface meteorological values) yararlanarak troposferik gecikmenin hesaplandığı birçok

atmosferik model geliştirilmiştir (Saastamoinen 1972, Hopfield 1977, Kahveci 1997). Gözlem noktasında yanlış ölçülmüş yüzey ölçü değerleri, GNSS hesaplamalarında hataya sebep olmaktadır. Ölçü noktasında ölçülen atmosferik parametrelerin kullanıldığı algoritmalar genellikle kötü sonuçlar vermektedir. Çünkü ölçümlerde yapılan küçük hatalar ölçü noktasındaki atmosferi iyi temsil edememekte ve hesap sonuçlarını bozmaktadır. "Özellikle kısa kenarlı (5~20 km) GNSS ağlarındaki hesaplamalarda ölçülen atmosferik parametreleri doğrudan kullanma özel haller dışında genellikle tercih edilmemektedir" (Kahveci 1993). Zenit doğrultusundaki troposferik gecikmesi arazide GNSS gözlemleri sırasında ölçülen meteorolojik parametrelere bağımlılığını gösteren sonuçlar Beutler (1988) ile verilmiş olup Çizelge 4.1' de verilmiştir. Çizelge 4.1'den de görüldüğü gibi, yüksek sıcaklık ve nem GNSS sonuçlarını olumsuz yönde etkilemektedir. GNSS gözlemi sırasında arazide atmosferik parametre ölçümünde yapılacak hata, nokta yüksekliğinde önemli hatalara sebep olmaktadır (Kahveci 1993).

Çizelge 4.1. Troposferik gecikmenin Z=0^o doğrultusundaki meteorolojik parametrelere olan bağımlılığı (Beutler 1988).

T (C^o)	P mbar	H %	$\left\lvert\frac{\partial \Delta^z_{trop}}{\partial T}\right\rvert$ (mm/C^o)	$\left\lvert\frac{\partial \Delta^z_{trop}}{\partial P}\right\rvert$ (mm/bar)	$\left\lvert\frac{\partial \Delta^z_{trop}}{\partial H}\right\rvert$ (mm/%1)
0	1,000	100	5	2	0.6
30	1,000	100	27	2	4
0	1,000	50	3	2	0.6
30	1,000	50	14	2	4

GNSS gözlemi yapılan noktalarda atmosferik parametrelerin ölçümü; kullanılan aletlerin kalibrasyon hataları, yapılan atmosferik ölçülerin noktanın üstündeki sinyal yolunu iyi temsil edememesi gibi nedenlerle, elde edilen GNSS sonuçlarında önemli hatalara neden olmaktadır.

Bu durum özellikle kısa kenarlı (5-20 km) ağlarda daha da önem kazanmaktadır. Bu sakıncalardan kaçınmak için standart atmosfer modellerinden yararlanılarak hesaplanan atmosferik verilerin kullanılması günümüzde GNSS gözlemlerinin değerlendirilmesinde oldukça yaygındır (Beutler 1988, Kahveci 1993).

Standart atmosfer modeli genellikle, deniz yüzeyindeki referans sıcaklık **(T_o)**, basınç **(P_o)** ve nem **(H_o)** değerleri tanımlanmakta ve bu değerlerin yükseklikle doğrusal değişimi kabul edilerek, GPS gözlemi yapılan nokta yüksekliğindeki parametreler hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değerler zamandan ve gerçek koşullardan bağımsızdır. Söz konusu referans değerler için;

ho : 0 m

To : 18^0C

Po : 1013.25 mbar

Ho : %50

Değerleri kabul edilmektedir. Böylece h_u yüksekliğindeki bir nokta için değerler;

$$T_u=T_o-0.0065.h_u \quad (4.1)$$

$$P_u=P_o.(1-0.0000226.h_u)^{5.225} \quad (4.2)$$

$$H_u=H_o.\exp(-0.00006396.h_u) \quad (4.3)$$

$$H_u=h-h_u \quad (4.4)$$

Eşitlikleri ile hesaplanmaktadır (Kahveci, 1993). GPS gözlemi yapılan noktadaki atmosferik değerler ve bunlara bağlı olarak da troposferik gecikme miktarı hesaplanmaktadır. Özellikle kısa kenarlı bazlarda (yükseklik farkının çok fazla olmadığı özel durumlar dışında) bu şekilde hesaplanan troposferik gecikme miktarının arazide ölçülen değerlerden hesaplananlara göre daha tutarlı sonuçlar verdiği birçok araştırmacı tarafından ortaya konmuştur (Beutler et al. 1997 ve Kahveci 1997).

4.2.1 Troposferik modeller

Troposferik etkinin modellenmesinde ticari yazılımlarda standart atmosfer modelleri kullanılmaktadır. Bilimsel amaçlı çalışmalarda ise; standart atmosfer modellerine Zenit gecikme etkisi düzeltmesinin getirilmesi şeklinde olmaktadır.

4.2.1.1 Saastamoinen modeli

Günümüzde en çok kullanılan troposferik etki hesabı modelleri Saastamoinen ve Hopfield modelleridir. Bunlardan metre biriminde uydu-alıcı uzaklığına getirilecek olan düzeltme miktarı (Troposferik Refraksiyon) Saastamoinen modeli ile aşağıdaki şekilde verilmektedir, (Saastamoinen 1973).

$$\text{ZTD}=0.002277*\text{map}*\left[\text{P}+\left(\frac{1255}{273.15+\text{T}}+0.05\right)*\text{e-B}*\frac{1}{\tan^2\text{Z}}\right]+\delta L \tag{4.5}$$

Yukarıda verilen formülde geçen **Z**, uydu zenit açısını, **P,** atmosferik basınç (mbar), **T,** mutlak sıcaklık (^{0}C), **e,** kısmi buhar basıncı (mbar), **B,** noktanın yüksekliğinden dolayı tablodan alınacak katsayı, δ**L,** Uydu Zenit açısına ve nokta yüksekliğine bağlı olarak tablodan alınacak olan düzeltme değerini (metre) ifade etmektedir.

$$e=\frac{H}{100}*\exp(-37.2465+0.213166*T_{kelvin}-0.000256908*T_{kelvin}^2) \tag{4.6}$$

Buradaki **H,** ise; nispi nem (herhangi bir sıcaklıktaki havanın taşıdığı su buharının, aynı sıcaklıkta taşıyabileceği azami su buharına oranıdır ve % birimindedir).

T_{Kelvin}, T + 273.16 olarak ifade edilir.

Saastamoinen formülü ölçü noktasının yaklaşık enlemine (φ) ve elipsoit yüksekliğine (h[km]) bağlı olarak basit bir eşitlik ile;

$$\text{ZTD} = \text{ZHD} * d_{map} + \text{ZWD} * w_{map} \tag{4.7}$$

$$ZHD=\frac{0.002277*P}{1-0.00266*\cos 2\varphi-0.00028*h} \tag{4.8}$$

$$ZWD=\frac{0.002277*e*(\frac{1255}{T_{kelvin}}+0.05)}{1-0.00266*\cos 2\varphi-0.00028*h} \tag{4.9}$$

(Saastomienen, 1973)

4.2.1.2. Hopfield modeli

Hopfield modelinde de kuru ve ıslak bileşen için ayrı ayrı hesaplanan troposferik etki hesabı;

$$\Delta L_d^z = \frac{77.6}{5*10^6}.\frac{P_s}{T_s}.H_d^e = \frac{43.136*77.6}{5*10^6}.\frac{P_s}{T_s} - \frac{0.14872*77.6}{5*10^6}.\frac{P_s}{T_s}t_s \quad (4.10)$$

Daha genel bir ifadeyle;

$$\Delta L_d^z = \alpha_{(1)} + \alpha_{(2)}\frac{P_s}{T_s} + \alpha_{(3)}\frac{P_s}{T_s} + \alpha_{(4)}\cos(\phi) \quad (4.11)$$

ile verilmekte olup, hesaplamada kullanılacak katsayılar değişik kaynaklarda verilmektedir. Güncel katsayılar (Çizelge 4.2)' de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Hopfield standart katsayılar

Katsayı	B	St. Hata	Beta	t
$\alpha_{(1)}$	-0.0049731203	0.000		-79.229
$\alpha_{(2)}$	0.6203999193	0.000	1.705	37,410.219
$\alpha_{(3)}$	0.0022687952	0.000	1.328	30,421.536
$\alpha_{(4)}$	0.0137729699	0.000	0.032	1,066.138

4.2.2. İndirgeme fonksiyonları (Mapping functions)

Troposferik indirgeme fonksiyonları farklı yükseklik açılarındaki öncül Zenit gecikme değerlerinin elde edilmesinde kullanılırlar. Uzay tabanlı jeodezik ölçülerde (GPS, VLBI (Başlangıç Hattı Çok Uzun Radyo Sinyalleri)) atmosferik gecikme etkisini Zenit doğrultusunda tek bir parametre değerine indirgeyerek çözmek en uygun yöntem olarak benimsenmiştir. Bu gecikme değerinin belirlenmesinde, farklı yükseklik açılarına sahip farklı uydulardan gelen GNSS sinyallerine etki eden atmosferik gecikme miktarının tek tek bilinmeyen olarak alınması yerine, Zenit doğrultusunda tek bir fonksiyon yardımıyla indirgenerek belirlenmesi gerekir. Herhangi bir uydudan gelen sinyale etki eden troposferik gecikme miktarının Zenit doğrultusundaki gecikme

miktarına indirgenmesini sağlayan bu fonksiyona *indirgeme fonksiyonu* (mapping function) denilmektedir. Bu fonksiyonlar genel olarak 3^o yükseklik açısına kadar yeterli doğrulukta modellenmiş olup aşağıda verilmektedir (Niell 1996).

İndirgeme fonksiyonları deneysel fonksiyonlar olup değişik araştırmacılar tarafından çok sayıda indirgeme fonksiyonu yayımlanmıştır (Kahveci ve Yıldız 2005). Bu indirgeme fonksiyonlarından uygulama kapsamında kullanılanlar ve özellikleri aşağıda verilmiştir;

4.2.2.1. Global indirgeme fonksiyonu (GMF)

Sayısal hava tahmin modeli tabanlı GMF, Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi), (ECMWF) verilerinden türetilen katsayılarla ortaya konmuştur. Enlem, boylam ve mevsimsel etkilere bağlı, mevcut GPS yazılımlarında kolaylıkla girdi olarak kullanılabilen sayısal hava tahmin tabanlı bir indirgeme fonksiyonu olup, son birkaç yıldır kullanılmaya başlanmıştır. (Boehm ve Schuh 2006).

$$mf(E) = \frac{1+\dfrac{a}{1+\dfrac{b}{1+c}}}{SinE+\dfrac{a}{\sin E+\dfrac{b}{SinE+c}}} \tag{4.12}$$

GMF hesaplamasında (kuru ve ıslak bileşenler için) gerekli olan **a**, **b**, **c** katsayıları ECMWF'den 40 yıllık basınç, sıcaklık ve bağıl nem bilgisi aylık ortalamalarının 150x150 kareler ağına ayrılmasıyla (grid) eylül 1999 ile ağustos 2002 arasındaki zaman dilimi için hesaplanmıştır. Eşitlikte geçen **a** katsayısı (4.13)'de görüldüğü gibi hesaplanır. **b** ve **c** katsayıları da Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Islak ve kuru bileşenler için hesaplanan değere Niell (1996) ile verilen yükseklik düzeltmesi uygulanarak, katsayılar ortalama deniz seviyesine indirgenir. Söz konusu sinüzoidal fonksiyon aşağıda verilmektedir.

$$a = a_0 + A.\cos\left(\frac{doy-28}{365}.2\pi\right) \tag{4.13}$$

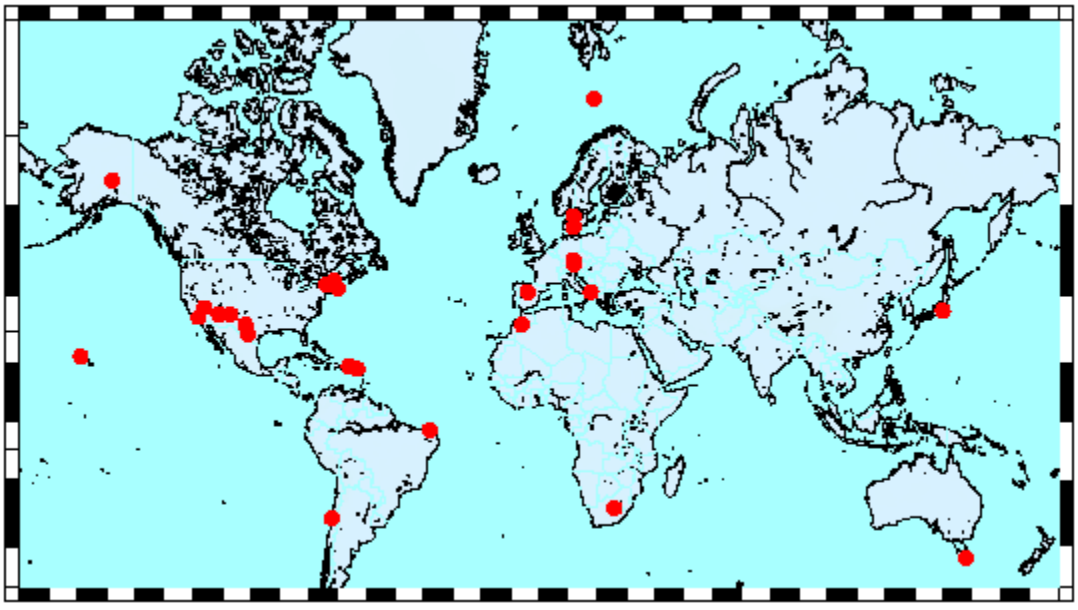
Eşitlikte verilmekte olan **a**, ıslak ve kuru bileşen katsayısı, $\mathbf{a_0}$, yıllık genlik değeridir.

$$a_0 = \sum_{n=0}^{n} \sum_{m=0}^{m} P_{nm}(\sin\varphi).\left[A_{nm}.\cos(m.\lambda)\right] \qquad (4.14)$$

$\mathbf{P_{nm}}$, Legendre fonksiyonu katsayısı (genlik), $\mathbf{A_{nm}}$, $\mathbf{B_{nm}}$, Küresel harmonik katsayıları, ϕ, Enlem; λ, Boylamı ifade etmektedir.

4.2.2.2. Neill indirgeme fonksiyonu (NMF)

GPS ve VLBI tabanlı jeodezik ölçmelerde, konumsal ve zamansal bileşenlerden elde edilen katsayılarla, başucu yönündeki ıslak ve kuru bileşen etkileri hesaplanabilir. Niell (2001) tarafından 43^0 S ve 75^0 N enlemleri arasındaki (Şekil 4.1)' de görülen Radyosonde istasyonlarındaki yaklaşık bir yıllık veri kullanılarak türetilmiştir.



Şekil 4.1. NMF katsayılarının belirlendiği istasyonlar.

Fonksiyonel model ıslak ve kuru bileşen için ayrı ayrı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$mf(E) = \frac{1 + \dfrac{a}{1 + \dfrac{b}{1+c}}}{SinE + \dfrac{a}{\sin E \dfrac{b}{SinE + c}}} \tag{4.15}$$

NMF'nin konumsal ve zamansal değişkenliği yalnızca ölçü yapılan noktanın enlemine (ekvatora göre simetrik) ve yılın gününe bağımlıdır. Ancak, NMF'nin formülündeki basit enlemsel ve zamansal fonksiyon değişkenleri, sayısal hava tahmin tabanlı modern indirgeme fonksiyonlarındaki gibi yüksek konumsal ve zamansal çözünürlülüğe sahip değildir (Niell 1996) (Çizelge 4.1), ve (Çizelge 4.2). Burada;

E : Yükseklik açısı.

a, b, c : Hidrostatik (kuru) ve ıslak bileşenler için katsayılar

Çizelge 4.1. Hidrostatik (kuru) bileşen için katsayılar (Niell 1996)

Katsayı	**Enlem**				
	15^0	**30^0**	**45^0**	**60^0**	**75^0**
a	1,276993 e^{-3}	1,268323 e^{-3}	1,246539 e^{-3}	1,219605 e^{-3}	1,204599 e^{-3}
b	2,915369 e^{-3}	2,915230 e^{-3}	2,928844 e^{-3}	2,902257 e^{-3}	2,902491 e^{-3}
c	62,61051 e^{-3}	62,83739 e^{-3}	63,72177 e^{-3}	63,82427 e^{-3}	64,25846 e^{-3}
a	0,0	1,270963 e^{-5}	2,652366 e^{-5}	3,400045 e^{-5}	4,120219 e^{-5}
b	0,0	2,141498 e^{-5}	3,016077 e^{-5}	7,256272 e^{-5}	11,72338 e^{-5}
c	0,0	9,012840 e^{-5}	4,349703 e^{-5}	84,79535 e^{-5}	170,3721 e^{-5}
Yükseklik Düzeltmesi					
a_ht			2,53e^{-5}		
b_ht			5,49^{e-3}		
c_ht			1,14 e^{-3}		

Çizelge 4.2. Islak (wet) bileşen için katsayılar (Niell 1996)

Katsayı					
	15^0	**30^0**	**45^0**	**60^0**	**75^0**
a	5,802189e^{-4}	5,679485 e^{-4}	5,811802 e^{-4}	5,972754 e^{-4}	6,164169 e^{-4}
b	1,427527 e^{-3}	1,513863 e^{-3}	1,457275 e^{-3}	1,5000743 e^{-3}	1,759908 e^{-3}
c	4,347296 e^{-2}	4,672951 e^{-2}	4,390893 e^{-2}	4,462698 e^{-2}	5,473604 e^{-2}

Daha sonra, yükseklik düzeltmesi değeri benzer fonksiyon ile bulunur.

$$corr_h_t = \left(\frac{1}{\sin E} . \frac{1 + \dfrac{a - h_t}{1 + \dfrac{b - h_t}{1 + c - h_t}}}{\sin E + \dfrac{a - h_t}{\sin E + \dfrac{b - h_t}{\sin E + c - h_t}}} \right) * h \qquad (4.16)$$

Burada;

h: Noktanın elipsoidden olan yüksekliği (km.)

a_h_t, b_h_t, c_h_t: Yükseklik düzeltmesi için katsayılar (Çizelge 4.1) ve (Çizelge 4.2)'de verilmiştir.

Bulunan yükseklik düzeltmesinin eklenmesi ile;

$hnm = mf(E) + coor_h_t$ (4.17)

kuru bileşen için indirgeme fonksiyon değeri hesaplanmış olur.

4.2.2.3. Vienna indirgeme fonksiyonu (VMF)

VMF, GMF ile belirlenen katsayıların küresel harmoniklere açılarak türetilen grid dosyasıdır. VMF kullanılması için gerekli olan girdi dosyası, URL-2 internet adresinden, 1994 ile 2007 yılları arasında zamansal çözünürlülüğü 6 saat olan grid dosyası şeklinde yayımlanmaktadır. Matematiksel eşitlikleri (4.15) ile verilmiştir.

Sayısal hava tahmin modelleri, troposferik modelleme için gerekli olan troposfer içindeki refraksiyonun konumsal dağılımını sağlamaktadır. Bu durum troposferik

etkinin modellenmesi ve belirlenmesinde en doğru sonucun sayısal hava tahmin modellerine dayanan indirgeme fonksiyonlarının kullanılmasını gerekli kılmıştır.

4.3. Su Buharı Ölçüleri İçin Global Konum Belirleme Sistemi

4.3.1. Atmosferik su buharının gözlenme nedeni

Havanın oluşumunu sağlayan nem ve erime sıcaklığının taşınmasını sağlaması nedeniyle su buharı atmosferin en önemli bileşenlerinden biridir. Su buharı aynı zamanda global iklim sisteminde kritik bir rol oynayan bir sera gazıdır. Atmosferik işlemlerdeki önemine rağmen, dünya atmosferinin en az anlaşılan ve açıklanan bileşenlerinden biridir.

4.3.2. GNSS alıcıları ile toplam su buharının belirlenmesi

GNSS uydusu radyo sinyalleri, dünya atmosferi tarafından, yayınlanan sinyalin herhangi bir kesici etken olmadığında beklenen varış zamanında gecikmeye neden olacak şekilde yavaşlatılır. Frekansa bağımlı olan iyonosferik gecikmeyi çift frekans özellikli GNSS alıcıları kullanarak düzeltmek mümkündür. Belirli bir niteliği olmayan (nötr) atmosfer kaynaklı gecikmeler frekans bağımlı olmayıp, kuru gazların ve su buharının karışımı olan atmosferin bileşenlerine bağlıdır. Bu bileşenlerle ifade edilen düşey ölçekli sinyal gecikmeleri sırasıyla Zenit hidrostatik gecikmesi (ZHD) ve Zenit ıslak gecikmesi (ZWD) olarak adlandırılır. Pratikte, GNSS alıcısı tarafından görülen tüm uydulardan ölçülen sinyal gecikmeleri, 1/cos (uydunun yükseklik açısı) fonksiyonu kullanılarak düşey olarak ölçeklenir ve Toplam (ya da Troposferik) Zenit Gecikmesi'ni vermesi için birleştirilir. ZTD, değerlendirmeye alınan GNSS nokta konumları üzerinde koşul uygulanarak (bu çalışmada değerlendirmeye dahil edilen IGS istasyonlarına ait nokta konumlarına yatayda 2,5 cm ve düşeyde 5 cm sıkı koşul uygulanmıştır. Diğer noktalar için ise 1 metre gibi oldukça gevşek bir koşul tercih edilmiştir.) istenen aralıklarda (GAMIT yazılımında standart olarak 2 (iki) saatte bir hesaplanmakla birlikte bu çalışmada ZTD değerleri her yarım saatte bir hesaplatılmıştır.) tahmin edilir. Tüm sistematik hatalar belirlendikten sonra arta kalan hatanın nötr atmosferden kaynaklandığı varsayılır.

ZHD, yüzey basıncı ölçülerek ve bir ölçek fonksiyonu kullanılarak hesaplanır. ZHD daha sonra, atmosferin ortalama sıcaklığı ile orantılı olması nedeniyle doğrudan GPS anteni üzerindeki PWV ile ilgili olan ZWD'yi vermesi için ZTD'den çıkarılır. Ortalama hava sıcaklığı halen, bir yüzey sıcaklığı ölçümünden ve onun, dünya atmosferinin Radyosonde verisine bağlı sıcaklık profilinin iklimsel tarihiyle olan ilişkisinden tahmin edilmektedir.

4.3.3. GNSS'in hava tahminine etkisi

Yağışa dönüşebilen su buharının belirlenmesi ile ilgili çalışmalar, modern hava tahmin tabanlı araştırmalarda önemli bir yere sahiptir. Ancak, sık zamanlı ve doğru su buharı verisinin eksikliği bu imkânı sınırlamaktadır. Radyosonde, yeryüzü tabanlı mikrodalga radyometreler, uydu tabanlı mikrodalga ve kızılötesi radyometreler ve bazı araştırma sistemleri de dahil olmak üzere her su buharı gözleme sisteminin sınırlamaları vardır. Radyosondeler atmosferdeki su buharının düşey dağılımı hakkında bilgi vermektedir, ancak günde yalnızca iki kez kullanılabilmektedir. Yeryüzü tabanlı radyometreler yüksek zamansal çözünürlüğe sahip olmasına karşın maliyetlidir ve tüm hava koşullarında, özellikle yağmurda, iyi şekilde çalışmamaktadır. Uydular global kapsama sağlarlar, ancak yeryüzü üzerinde sınırlı doğruluğa sahiptirler ve atmosferin alçak kesimlerinde (su buharının yoğun olduğu) ölçüm yapamazlar (URL-1 2007). GNSS henüz su buharının düşey dağılımı hakkında bilgi vermemesine karşın ucuz, doğru ve güvenilirdir, tüm hava koşullarında çalışır ve geniş sıklıkta yerleştirilebilir (Kahveci, 2009).

4.4. GNSS Meteorolojisi

GNSS meteorolojisi ile GNSS verilerinin atmosferik durumların analizi ve izlenmesi amacıyla kullanılması ifade edilmektedir. Başka bir ifadeyle GNSS meteorolojisi, GNSS yardımıyla elde edilen su buharı verilerinin, orta vadeli (mesoscale) modelleme, veri birleştirmesi, kuvvetli hava hadiseleri, bulut dinamikleri, klimatoloji, hidroloji vb. alanlarda kullanımını konu edinir (Ware ve diğ., 2000). Yukarıda da kısaca anlatıldığı gibi GNSS uyduları radyo sinyalleri yayınlamaktadır. Yeryüzündeki alıcılarda kaydedilen bu sinyallerin analizi ile atmosferik kırılma (refractivity) profil verileri elde edilebilmektedir. Bu profiller ise, eğer ölçü noktasına

ait sıcaklık profili mevcutsa, troposferik nem profiline dönüştürülebilmektedir (Kahveci, 2009).

Yeryüzünde tesis edilmiş olan sabit GNSS istasyonlarında sürekli gözlem yapılarak toplanan veriler yağışa dönüşebilir su buharı (IPWV; Integrated Precipitable Water Vapor)'nın belirlenmesinde kullanılabilmektedir. Yurt dışındaki birçok meteoroloji kuruluşunca yapılmış olan çalışmalarda, GNSS gözlemlerinden yararlanarak belirlenmiş atmosferik verilerin hava tahmininin iyileştirilmesine olumlu katkısı olduğu kanıtlanmıştır (Ferretti ve ark. 2005).

GNSS sinyalinin atmosferik gecikmesinin nedeni; atmosferik kırılmanın (refraksiyonun) sıcaklık, basınç ve neme olan duyarlılığından kaynaklanmaktadır. GNSS uydusu ile GNSS yer istasyonu arasındaki sinyal boyunca meydana gelen toplam gecikme, esas olarak, toplam atmosferik kitleye (yüzey basıncı ve sütun atmosferik nem hacmi) bağlıdır. Normal olarak GNSS veri işleme aşamasında, ölçü noktası etrafındaki ortalama atmosferik özellikleri yansıtan tek bir gecikme değeri elde edilmektedir. Bu nedenle, yer istasyonundan her bir uyduya olan gecikmeyi belirleyecek daha gelişmiş yöntemlere gereksinim vardır. Bu sağlandığı takdirde, nem hakkında elde edilecek bilginin mevcut durumdan yaklaşık 10 kat daha fazla olacağı düşünülmektedir. Bu konuyla ilgili olarak Avrupa'da birçok proje çalışması yürütülmektedir. Bunlara COST Action 716 (Exploitation of Ground-based GNSS for Climate and Numerical Weather Prediction Analysis) ve MAGIC (Meteorological Applications of GNSS Integrated Water Vapor Measurements in the Western Mediterranean) projeleri örnek olarak verilebilir (Haase vd. 2001).

Ayrıca, Türkiye'den DMİ'nin de üyesi olduğu "Avrupa Meteorolojik Amaçlı Uydulardan Yararlanma Teşkilatı" (EUMETSAT, European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites) meteorolojik gözlemlerde yeni bir dönem açacağı kabul edilen EUMETSAT Kutupsal Sistemi'ni (EPS, EUMETSAT Polar System) gerçekleştirme çabasındadır. Bu sistem, üç adet meteorolojik uydudan (MetOp) oluşmakta ve yeryüzü ikliminin izlenmesi ile hava olaylarının gözlenmesi amacıyla çok sayıda farklı aletleri taşımaktadır. Bu aletlerden bir tanesi de GRAS (Global Navigation Satellite System Receiver for Atmospheric Sounding) alıcısıdır. Bu projenin alt aşaması olan ve Danimarka Meteoroloji Enstitüsü sorumluluğunda yürütülen GRAS Meteoroloji SAF (Satellite Application Facilities) projesi, GRAS alıcılarından elde edilecek verilerle ilgilenmektedir. GRAS alıcıları ile, GPS uydu sinyalleri de kullanılarak atmosferdeki sıcaklık, basınç ve su buharı değerleri elde edilmektedir (Kahveci, 2009).

Zenit troposferik gecikme (ZTD; Zenith Tropospheric Delay) değerleri sayısal hava tahmin modellerine (NWP: Numerical Prediction Model) doğrudan girdi olabilmesine karşın, ZTD bileşeni olan ZWD'nin IWV'ye dönüştürülerek kullanılması iklim araştırmalarında önemli bir yer tutmaktadır. ZWD'nin IWV'ye dönüştürülebilmesi için çalışma bölgesi üzerindeki ortalama sıcaklığın bilinmesi gerekmektedir. Bu değer kesin olarak bilinemediğinden, bu amaçla yüzey sıcaklık değerlerinden yararlanarak regresyon analizi ile ortalama sıcaklık değerleri elde edilmektedir. Araştırılan büyüklüklere bakıldığında; ZTD değerlerinin metre, ZWD değerlerinin santimetre ve IWV değerlerinin milimetre mertebesinde olduğu görülecektir. Örnek olarak, Avrupa için IWV değerlerinin büyüklüğü 0 ile 40 mm arasında değişim göstermektedir (Kahveci, 2009).

Gözlenen Zenit ıslak bileşeni (ZWD) ile düşey kesitteki IWV arasındaki matematiksel ilişki;

$$IWV = \int \rho_v dZ \approx \mathrm{K}.ZWD \tag{4.18}$$

$$\frac{1}{\mathrm{K}} = 10^{-6}(k_3 / T_m + k_2)R_V \tag{4.19}$$

$$T_m = \frac{\int (P_v / T)dZ}{(Pv / T^2)dZ} \tag{4.20}$$

ile verilmektedir.

Burada;

RV : Su buharının kısmi basıncı (gaz sabitesi)

k3 = (3.776 ± 0.004).105 (K/mbar)

k_2 = 22.1 ±2.2 (K/mbar) dır.

Atmosferdeki su buharı hacmi, bazı durumlarda sıvı suyun eşdeğer sütun yüksekliği olarak da isimlendirilmektedir. Bu sıvı suyun eşdeğer sütun yüksekliği yağışa dönüşebilir su (PW; Precipitable Water) olarak bilinmektedir. Başka bir ifadeyle, suyun yoğunluğu (ρ) ile PW'nin çarpımı sonucu IWV elde edilmektedir (Bevis vd. 1992). ρ değerinin yaklaşık 1.0 g/cm3 olduğu dikkate alınırsa, PW=IPW demektir. IWV değeri, su buharının düşey dağılımı hakkında bilgi vermemekle birlikte atmosferdeki nem kapasitesi hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu bilgiler ise özellikle yağış tahminlerinin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır. Gözlenmiş olan Zenit değerlerinden

en iyi olasılıklı IPWV ya da PW değerlerini elde edebilmek amacıyla K sabitinin, belirli bir bölge ve zaman dilimi için geçerli T_m değerini kullanarak hesaplanması gerekmektedir. Bu ise çok sayıda radyosonde profilinin istatistik analizi ile olanaklıdır (Anthes 1983, Bai ve Feng 2003, Bevis vd. 1992).

Depremlerin önceden belirlenmesi ve yüksek doğruluklu GNSS ağı kurulmasını amaçlayan jeodezik ve jeofizik çalışmalarda elde edilen en düşük doğruluklu koordinat bileşeni yükseklik bilgisidir (≈3-5 cm). GNSS yükseklik bilgisinin yatay koordinatlara göre daha düşük doğrulukla belirlenmesinin nedenlerinden birisi de hesaplamalarda kullanılan troposferik modellerdeki hatalardır. Oysa NWP'den elde edilecek atmosferik parametreler (sıcaklık, nem ve basınç) yardımıyla yüksek doğruluklu (≈1-2 cm) koordinat (yükseklik) bilgisi elde edilebilecek, böylece gerçek zamanlı navigasyon uygulamalarının yanında jeodezik ve jeofizik çalışmalarda da önemli katkı sağlanmış olacaktır (Kahveci ve ark. 2008).

5. UYGULAMA

Projede ana amaç; meteorolojik verileri (ısı, basınç ve nem) Statik GNSS ölçümleri ile eş zamanlı ölçülerek konum bilgilerinin hesaplanmasıdır. Yeni hesaplama tekniklerinin sürekli geliştirilmesine rağmen konum bilgilerinden özellikle, Yükseklik konum verisi hâlâ ortalama 3~5 cm inceliğinde bulunabilmektedir. Bu incelik özellikle Deprem araştırmaları; Meteorolojik çalışmalar gibi Bilimsel uygulamalarda yeterli olmamaktadır.

Bölüm 4.1' de anlatıldığı gibi troposferik gecikmenin %90'ı kuru, %10'u ıslak bileşendir. Kuru bileşen büyük oranda modellenebildiği için incelenmesi gereken, halen istenen doğrulukta belirlenmesinde sorunlar olan %10'luk ıslak bileşen kısmıdır. Bu nedenle standart atmosferik modellemeler veya indirgeme fonksiyonları ve hesaplama tekniklerinin geliştirilmesi yerine bu tezde ana amaç olarak %10'luk ıslak gecikmeyi gözlem altına alarak ölçüm anında meteorolojik verileri de ölçüp özellikle yükseklik bileşenine getirebileceği iyileştirme planlanmıştır.

Değişik mevsim şartlarında planlanan ölçümlerde mercek altına alınan ana veri kaynağı yükseklik konum verisidir. Bunu için yükseklikle ilgili tüm sonuçlar sayısal veri ve grafik olarak incelenmesi planlanmıştır.

Uygulama alanında ölçüm yapılan bölgenin sıcaklık, basınç ve nemini doğrudan ölçen Meteorolojik sensörler ve bunun yanında eş zamanlı statik ölçüm yapan GNSS aletleri ile statik ölçüm yapılması planlanmıştır.

5.1. Uygulama İçin Elverişli Meteorolojik Sensör Seçimi

Bu çalışmada Vaisala PTU 307 (Finland) Meteorolojik sensörü kullanılmıştır. Vaisala PTU 307 Kombine Basınç; Nem ve Sıcaklık Transmitteri 1 sn. sıklığında veri toplayabilme özelliğine sahiptir. Üzerinde Veri kayıt ünitesi olmamakla birlikte bilgisayara bağlanıp, program yazılımı ile veriler bilgisayarda depolanmaktadır.

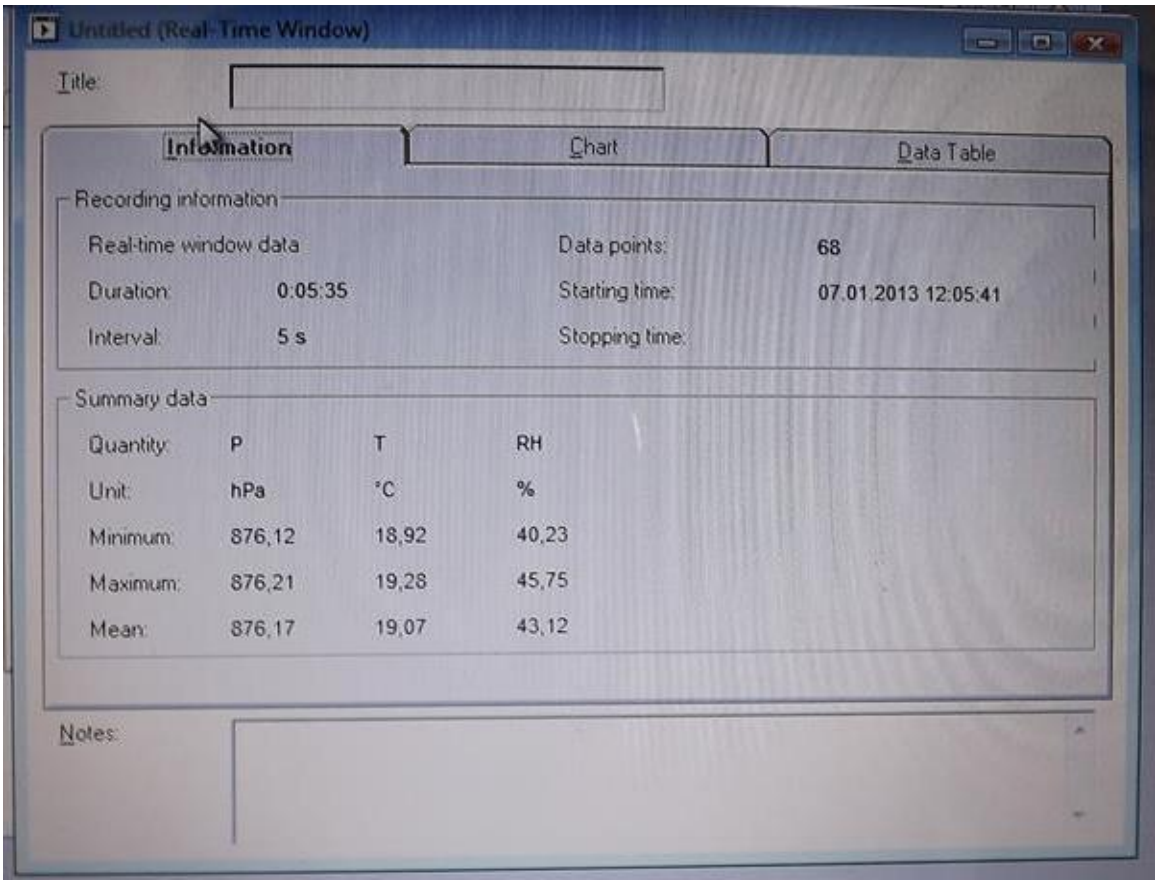
Uygulama Alanı için planlanan sensör sayısı minimum 4'tür. Ancak projedeki maddi yetersizlikler nedeniyle Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi (BAP) Desteğinden yararlanılarak ancak 2 adet sensör ithal edilebilmiştir.

Sensörun montaj; kurulum çalışma prensibi ve ayarları için İthalatçı İstanbul'daki Entek Teknik A.Ş. Firmasından eğitim alınmıştır.

Şekil 5.1 de Vaisala PTU 307 Transmitter sensörün yapısı, Şekil 5.2'de de Uygulama Yazılım Penceresi görülmektedir.



Şekil 5.1. Vaisala PTU 307 Meteorolojik Sensörü



Şekil 5.2. Vaisala PTU 307 Meteorolojik Sensörü Uygulama Yazılım Penceresi

Şekil 5.3 te Vaisala PTU-307 Meteorolojik Sensörün teknik özellikleri verilmiştir.

TECHNICAL SPECIFICATIONS	
Barometric pressure measurement	
Measurement range	**500 ... 1100 hPa, 50 ... 1100 hPa**
Accuracy at +20 °C	
Class A 500 ... 1100 hPa	±0.10 hPa
Class B 500 ... 1100 hPa	±0.20 hPa
50 ... 1100 hPa	±0.30 hPa
Total accuracy (-40...+60 °C/-40...+140 °F)	
Class A 500 ... 1100 hPa	± 0.15 hPa
Class B 500 ... 1100 hPa	± 0.25 hPa
50 ... 1100 hPa	± 0.45 hPa
Long-term stability	
Class A 500 ... 1100 hPa	± 0.1 hPa
Class B 500 ... 1100 hPa	± 0.1 hPa
50 ... 1100 hPa	± 0.2 hPa
Sensor	Vaisala BAROCAP®
Relative humidity measurement	
Measurement range	**0 ... 100 %RH**
Accuracy (including non-linearity and hysteresis) at +15 … +25 °C	± 1 %RH (0 … 90%) ± 1.7 %RH (90 … 100%)
Sensor	Vaisala HUMICAP®180 Vaisala HUMICAP® 180R
Temperature measurement	
Measurement range	-40 ... +60 °C (-40 ... +140°F)
Accuracy	
at -40 °C (-40 °F)	± 0.4 °C (±0.8 °F)
at +20 °C (68 °F)	± 0.2 °C (±0.4 °F)
at +60 °C (140 °F)	± 0.3 °C (±0.6 °F)
Sensor	Pt100 RTD Class F0.1 IEC 60751
Operating environment	
Temperature range with display Humidity range	-40 ... +60 °C (-40 … +140 °F) 0 ... +60 °C (+32 … +140 °F) non-condensing

Şekil 5.3. Vaisala PTU 307 Meteorolojik Sensörü Teknik Özellikleri

Sensör; 1sn veri toplama sıklığı ile sıcaklık basınç ve nem ölçebilir. Bu veriler; taşınabilir bilgisayar yardımıyla kaydedilir.

Ölçü esnasında sensör; yaklaşık 2~2,5 m yukarıda tutulmuş bu sayede zeminden kaynaklanabilecek sıcaklık, basınç ve nem değişimleri önlenmiştir.

5.2. Proje Alanının ve Ölçü Planının Belirlenmesi

Konya Bölgesinin düz alanda kurulu olduğu göz önüne alınarak, uygulama alanı için aralarında yaklaşık 20 km. lik mesafe bulunan ve yükseklikleri mümkün olduğunca birbirinden farklı toplam 10 nokta seçilmiştir.

GNSS gözlemi yapılan noktalarda atmosferik parametrelerin ölçümü; kullanılan aletlerin kalibrasyon hataları, yapılan atmosferik ölçülerin noktanın üstündeki sinyal yolunu iyi temsil edememesi gibi nedenlerden dolayı, GNSS sonuçlarında önemli hatalara neden olabilmektedir. Bu durum özellikle kısa kenarlı (5-20 km) ağlarda daha da önem kazanmaktadır (Kahveci, Yıldız 2005).

Uygulama alanındaki noktalardan 5 adedi TUTGA noktası olup diğer 5 nokta 3. Derece nirengi noktasıdır. Çalışma bölgesi içerisinde 6 adet TUTGA noktası mevcuttur. Ancak noktalardan birisi sökülmüş ve tekrar ihya edilmiş ancak eğik durumda olduğu ve alet kurulması mümkün olmadığı için ağdan çıkarılmış bunun yerine altıgen sağlayacak bir şekil olarak KADINHANI TUTGA noktası ölçü planına dahil edilmiştir. Diğer 4 nokta hatla bağlantılı seçilmiş Nirengi noktalarıdır. Bu 4 noktalardan ilk ikisi hat içinden diğer ikisi ise hat dışından seçilmiştir.

Çalışmanın konusu; değişik mevsim şartlarına göre gözlem gerektirdiği için kış ve yaz ölçümü olmak üzere farklı mevsimlerde ölçüm kampanyası yapılması planlanmıştır.

Değerlendirmede Uluslar Arası Yersel Referans Sistemi-2008 (ITRF2008)'ne göre koordinat ve hızları tanımlı 14 IGS istasyonunun dahil edilebilmesi amacıyla ortalama sekizer saatlik statik GNSS ölçümleri yapılmış; bu ölçümlerin yükseklik koordinatına getirebileceği veri iyileştirmesi gözlemlenmiştir.

Sensörlerin ölçümlerinden elde edilecek verileri değerlendirme (Process) aşamasında yazılım programları incelenmiş; verilerin hangi yazılımda değerlendirilebileceği araştırılmıştır. Meteorolojik veri toplama sıklığı, 30 dk olarak planlanmıştır (King, 2013).

Veriler GAMIT/GLOBK V10.40 yazılımı ile değerlendirilmiştir. Program her veriyi tek tek işleyebilme, değiştirebilme ve eklenti yapılabilmesi özelliklerinden ötürü ve Bilimsel amaçlı geliştirildiği için seçilebilecek en uygun yazılım programlarındandır. Ticari bir yazılım olmaması nedeniyle ölçülen Meteorolojik Sensör verilerinin processe dahil edilmesine olanak sağlamaktadır. Arazide Statik GPS ölçüleriyle eş zamanlı toplanan Meteorolojik Gözlem verileri GAMIT/GLOBK V10.40 programı ile "RINEX"

klasörü içine atılmış; Linux bash kabuğunda yazılan bir script yardımıyla, GAMIT/GLOBK yazılımına girdi olacak şekilde "m-file" formatına dönüştürülmüştür. M-file formatına dönüştürülen bu veriler GAMIT/GLOBK yazılım programı ile hesaplamalara dahil edilmiştir.

Uygulama alanında 6 adet Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA) noktası ve 4 adet yardımcı nokta seçilmiştir. Nokta isimleri (Çizelge 5.1)'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Nokta İsimleri
(İlk 5 Nokta Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) noktası; Diğerleri yardımcı noktalar)

Nokta No	BÖLGE	NOKTA ADI	NOKTA NUMARASI
1	SARAYÖNÜ	SRYN_GPS	(Tutga1) L28-G001
2	SELCUK	SLCK_GPS	(Tutga2) L29-G002
3	KONYA	KONY_GPS	(Tutga3) M28-G001
4	SUTLUCE	STLC_GPS	(Tutga4) M29-G001
5	OLMEZ	OLME_GPS	(Tutga5) L29-G001
6	KADINHANI	KADI_GPS	KADINHANI
7	ILGIN	ILGI	ILGIN
8	MANTAR	MANT	MANTAR
9	DOKUZ	DOKU	DOKUZ
10	KURŞUNLU	KURS	KURSUNLU

5.3. GNSS Ve Atmosferik Verilerin Değişik Mevsim Şartlarında Ölçülmesi

5.3.1. Kış mevsimi ölçümleri

Kış Ölçü Kampanyası 10 Mart 2012 de başlamış toplam 5 gün süreyle statik ölçü modunda 8 saatlik ölçüler yapılmıştır. Ayrıca, ölçü noktalarında meteorolojik sensör kullanılarak, ölçü süresince sıcaklık, basınç ve nem bilgileri toplanmıştır.

Ölçüm; 6 noktada eş zamanlı başlamış eş zamanlı tamamlanmıştır. 2 Adet Meteorolojik sensor her gün farklı noktalara uğramak üzere GNSS ölçümlerle birlikte 30 dakika sıklığında veri toplamış; veriler "....txt" formatında kaydedilmiştir.

5.3.2. Yaz mevsimi ölçümleri

Yaz ölçüm kampanyası 10 Haziran 2013 te başlatılmış toplam 7 gün süreyle statik ölçü modunda 8 saatlik ölçüler yapılmıştır. Yaz ölçü kampanyasında da kış mevsimindeki ölçü prensiplerine uyulmuştur.

5.4. Toplanan GNSS Ve Atmosferik Verilerin Değerlendirmesi

Yaz ve Kış ölçü kampanyaları ile ölçülerin değişik mevsim şartlarında yapılması planlanmıştır. Bu nedenle kış ve yaz ölçüleri ayrı ayrı yapılmıştır.

Bunun nedenini şu şekilde açıklamak mümkündür; Statik GNSS ölçümleriyle eş zamanlı meteorolojik ölçülerde kullanılacak noktalar TUTGA (Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı) noktaları ve nirengi noktalarıdır. TUTGA noktaları halen Ülkemiz için konum doğruluğu bakımından en güvenilir noktalar olarak kabul edilmektedir. Bölüm 4.1'de açıklandığı üzere GNSS yükseklik bilgisinin yatay koordinatlara göre daha düşük doğrulukla belirlenmesinin nedenlerinden birisi de hesaplamalarda kullanılan troposferik modellerdeki hataların olması kabuluyle; modellemeler sonucu koordinatları daha önceden hesaplanmış TUTGA noktaları da adı geçen troposferik hatayı taşıyan noktalar olacaktır.

Türkiye'de ilk kez statik ölçü ve beraberinde meteorolojik veri ölçüleri yapılmış bu nedenle bu projede ölçü sonuçlarının üzerinde yükseklik konum verisi olarak modellemenin hatasını taşıyan TUTGA noktalarının referans olarak alınması beklenemez. Çalışmanın ana amacı zaten yükseklik konum verisini iyileştirmektir.

Ölçü noktalarında gerçekleştirilen ortalama 8 saatlik GNSS gözlem verileri, GAMIT/GLOBK V10.40 yazılımı ile değerlendirilmiştir. Değerlendirmeye Uluslar arası Yersel Referans Sistemi-2008 (ITRF2008)'ne göre koordinat ve hızları tanımlı 14 IGS istasyonu da dahil edilmiştir. Zenit gecikme parametreleri Saastamoinen (1973) öncül troposfer modeline göre 2 saatlik aralıklarla hesaplanmıştır. Ayrıca, her gün için 1 adet atmosferik gradyent parametresi hesaplamış ve zenit yönündeki gecikme değeri için öncül (a priori) değer, bölgesel noktaların zenit gecikme parametrelerindeki yüksek korelasyon etkisini en aza indirmek için 0.5 metre olarak alınmıştır (GAMIT-GLOBK Manuel).

Uydu yörünge bilgisi olarak IGS SP3 (Standard Product 3) hassas yörünge (elde etme süresi yaklaşık 2 hafta) ve yer dönme parametreleri olarak da USNO (United

States Naval Observatory) tarafından yayımlanan Bulletin-A tablo değerleri kullanılmıştır.

Kutup ve yer gelgit etkileri için IERS03/IGS standart modelleri kullanılmış olup, okyanus yükleme etkisi düzeltme değerleri ise FES2004 grid dosyasından kestirim yapılarak alınmıştır. FES2004 grid dosyası, gözlenen gel-git verilerinden veri asimilasyonu ile elde edilen dinamik bir model olup, URL-1 internet adresinden indirilebilir.

Troposferik gecikme etkisinin kuru ve ıslak etkileri için indirgeme fonksiyonu olarak GAMIT tarafından da standart olarak önerilen Global Mapping Functions (GMF), kullanılmıştır, Boehm et al. (2006). GMF, daha eski olan Niell indirgeme fonksiyonu (Niell,1996) gibi nokta enlemine ve yılın gününe ilaveten aynı zamanda nokta boylamının da bir fonksiyonudur.

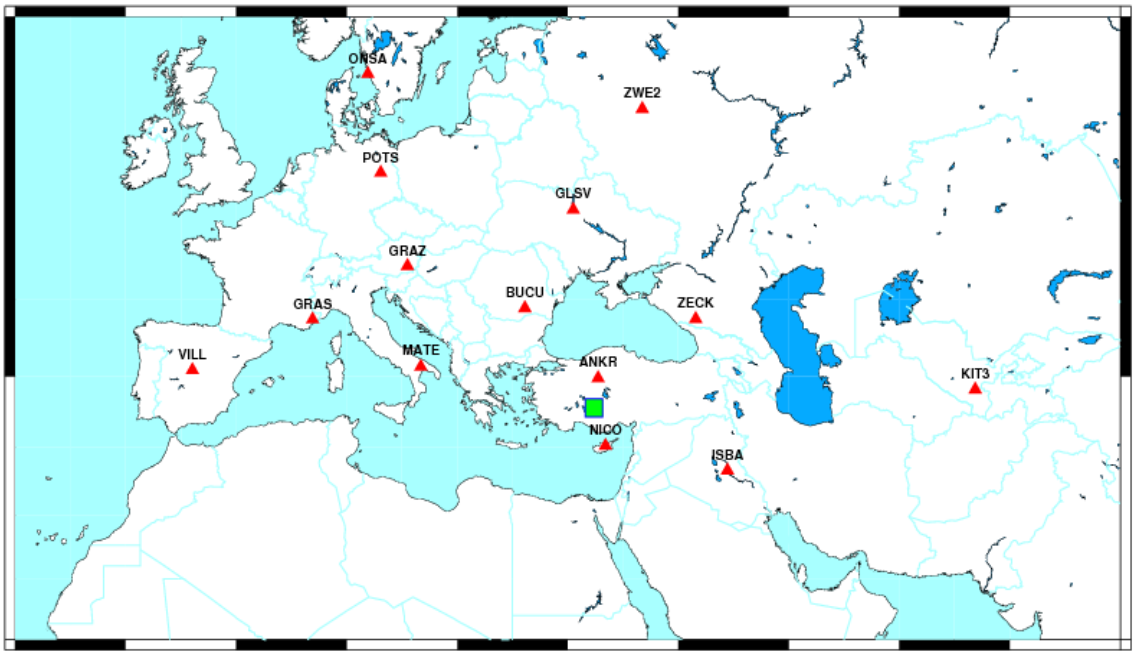
Anten faz merkezi değişimleri için, yükseklik ve azimutun birer fonksiyonu olan anten mutlak faz merkezi modeli kullanılması benimsenmiştir (Igs08_1719_plus.atx). Atmosferik yükleme etkisi, referans TUTGA koordinatları ile karşılaştırma yapılacağından (o tarihte bu etki hesaplamalarda kullanılmadığından) değerlendirmede kullanılmamıştır. Uydu yükseklik açısının belirlenmesinde EPN (EUREF Permanent Network)'e bağlı 16 analiz merkezinde; 3, 5, 7, 10 ve 15 derecelik farklı açının kullanıldığı görülmüştür. Benzer şekilde de kış ve yaz ölçülerinin hesaplanmasında 0, 5, 10 ve 15 derecelik uydu yükseklik açıları ayrı ayrı kullanılmıştır.

Hatalı uydular ve hatalı GNSS gözlemleri, GAMIT yazılımı tarafından, oluşturulan faz gözlemleri artık hatalarına göre otomatik olarak tespit edilip değerlendirmeden çıkarılmıştır.

Ölçü değerlendirmesine sensör verilerine ilaveten dahil edilen 14 Uluslar arası GNSS Servisi (IGS) istasyonlarının (ANKR, GRAS, GRAZ, ZECK, MATE, ONSA, NICO, KIT3, ZWE2, POTS, VILL, GLSV, BUCU ve ISBA) ITRF2008 referans sistemindeki koordinatlarının kuzey, doğu ve yükseklik bileşenlerine sırasıyla; 5 mm, 5 mm ve 10 mm sıkı koşul getirilmiştir. Değerlendirmeye dahil edilen tüm istasyonlar (Şekil 5.4) te gösterilmektedir.

Her bir gözlem noktasında ölçü süresince 2 adet Vaisala PTU300 modeli meteorolojik sensör ile sıcaklık, basınç ve nem değerleri 30 dk aralıklı olarak kaydedilmiştir (Bob KING, kişisel haberleşme). TUTGA noktalarında kaydedilen meteorolojik gözlem verileri, Boehm and Schuh (2006) tarafından geliştirilen Küresel Basınç ve Sıcaklık Modelinin (GPT) ve Standart Sıcaklık Basınç Modeli (STP 1013.25

hPa basınç, 20 C^o sıcaklık) 0^o, 5^o, 10^o ve 15^o uydu yükseklik açılarında ayrı ayrı değerlendirilerek oluşan koordinat farkları kıyaslanmıştır.



Şekil 5.4. Değerlendirmeye Dahil Edilen IGS İstasyonları ve Çalışma Bölgesi Haritası

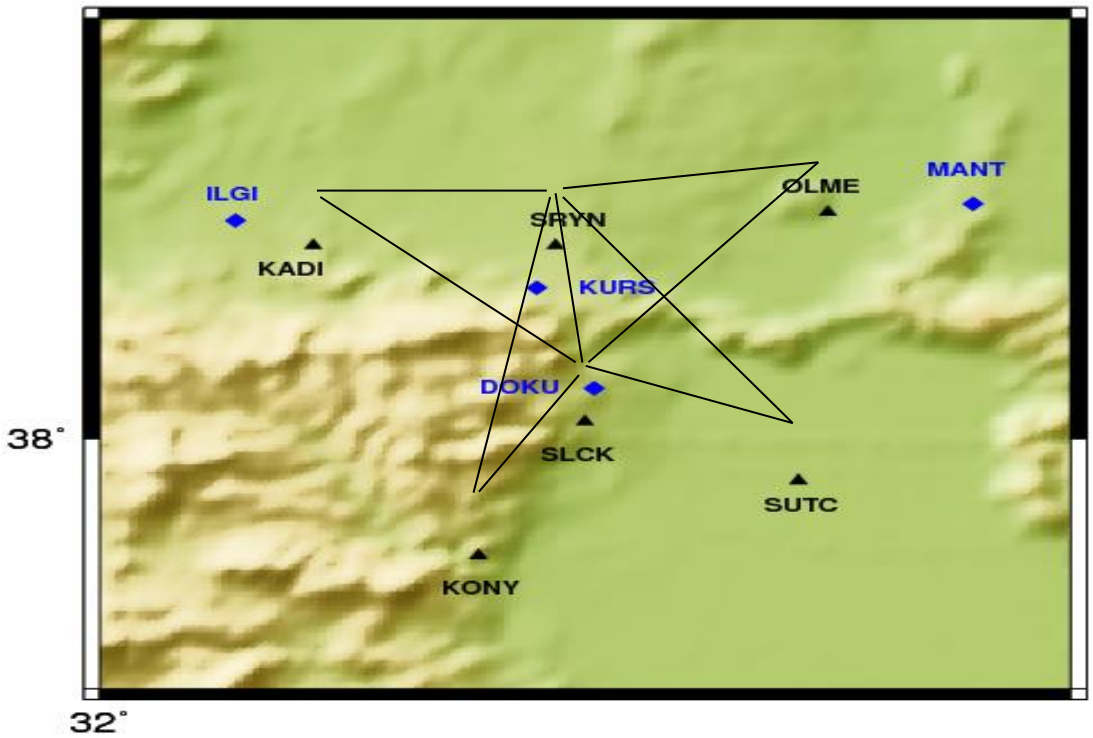
Troposferik gecikme hesabında kullanılan atmosferik parametreler standart troposferik modelden, gözlem noktasında ölçülen meteorolojik verilerden (sıcaklık, basınç, nem, ıslak ısı), su buharı radyometresinden veya radyosondelerden yararlanarak elde edilmektedir. Bu çalışmada gözlem noktasında meteorolojik sensörler yardımıyla ölçülen sıcaklık, basınç ve nem değerlerinden elde edilen meteorolojik parametreler doğrudan GAMIT analizine dahil edilmiştir. Bu çalışmada ayrıca, istasyonda ölçülmüş gerçek meteorolojik parametrelerin mevcut olmadığı durumlar da test edilmiştir.

GAMIT yazılımı, böyle durumlar için öncül basınç ve sıcaklık değerlerini Boehm and Schuh (2006) tarafından geliştirilen Küresel Basınç ve Sıcaklık Modelinden (GPT) almaktadır. Model, noktanın konumu ve yılın gününe bağlı olarak yüzey basınç ve sıcaklık değerleri üretmektedir. Bu işlemle uzun yıllar toplanan meteorolojik veriler küresel harmoniklere açılmaktadır. Bu yöntem, tüm noktalar için bir tek Standart Sıcaklık ve Basınç değerlerinin kullanılması yöntemine göre yükseklik tahminlerinde ortaya çıkan hataları indirmektedir. GAMIT yazılımı ile otomatik olarak gerçekleştirilen

analizde, girdi olarak kullanılacak meteorolojik veriler öncelik sırasına göre değerlendirme stratejilerinin tanımlandığı ilgili dosyada (sestbl.) bir komut satırı eklenerek (Met obs source = RNX GPT/STP 50) sınıflandırılabilmektedir.

Bu durumda program, öncelikle istasyonda ölçülmüş gerçek meteorolojik parametrelerin bulunduğu dosyayı arayacak ve mevcutsa bu dosyayı kullanacaktır. Gerçek meteorolojik parametreler mevcut değilse, bu değerleri Küresel Basınç ve Sıcaklık Modelinden (GPT) alacaktır. Her iki çözüm stratejisinin nokta konumlarında meydana getirdiği değişimleri görebilmek amacıyla, GAMIT analizi sonrasında elde edilen koordinatlar ölçü epoğunda karşılaştırılmıştır.

Uygulama bölgesi içerisinde yer alan Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) noktalarından olan SUTC (M29G001), OLME (L29G001), SRYN (L28G001), SLCK (L29G002), KONY (M28G001) noktaları ile KADI (TKGM/DSİ nirengi noktası) koordinatları ve hızları (ITRF96 2005.0) Harita Genel Komutanlığından temin edilmiştir. Noktaların konumları (Şekil 5.5)'te verilen harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Ana ve Yardımcı Gözlem Noktaları (10 adet)

Uygulama bölgesinde gerçekleştirilen kış ölçüsü GNSS gözlemlerinde; Topcon Hiper Plus GNSS alıcıları, yaz ölçüsü GNSS gözlemlerinde; Topcon Hiper Plus ve

Javad Triumph GNSS alıcıları kullanılmıştır.

Gözlem noktalarında dönüşümlü olarak, 2 adet meteorolojik sensör yardımıyla GNSS gözlemleri ile eş zamanlı olarak her yarım saatte sıcaklık, basınç ve nem verileri kaydedilmiştir. Elde edilen meteorolojik gözlem verileri GAMIT yazılımında girdi olacak şekilde m-file formatına dönüştürülmüştür. Farklı meteorolojik koşullarda gerçekleştirilen ölçülere ait gözlem planı ve ölçü süreleri (Çizelge 5.2) de sunulmuştur.

Çizelge 5.2. Kış ve Yaz Ölçüleri Gözlem Planı ve Süreleri

Gözlem Tarihi	Nokta Adı	Ort. Ölçü Süreleri (saat, dakika)	Meteorolojik Sensör Kullanımı	Noktalara Ait Açıklama
	OLME	$8^{s}\ 30^{dk}$	Mevcut	TUTGA
	SRYN	$8^{s}\ 24^{dk}$	Yok	TUTGA
10.03.2012	KADI	$8^{s}\ 22^{dk}$	Yok	TKGM/DSİ
10.06.2013	SLCK	$8^{s}\ 17^{dk}$	Yok	TUTGA
	KONY	$8^{s}\ 21^{dk}$	Yok	TUTGA
	SUTC	$8^{s}\ 11^{dk}$	Mevcut	TUTGA
	OLME	$8^{s}\ 05^{dk}$	Yok	TUTGA
	SRYN	$8^{s}\ 05^{dk}$	Mevcut	TUTGA
11.03.2012	KADI	$8^{s}\ 07^{dk}$	Yok	TKGM/DSİ
11.06.2013	SLCK	$8^{s}\ 04^{dk}$	Yok	TUTGA
	KONY	$8^{s}\ 01^{dk}$	Mevcut	TUTGA
	SUTC	$8^{s}\ 05^{dk}$	Yok	TUTGA
	OLME	$8^{s}\ 05^{dk}$	Yok	TUTGA
	SRYN	$8^{s}\ 11^{dk}$	Yok	TUTGA
12.03.2012	KADI	$8^{s}\ 06^{dk}$	Mevcut	TKGM/DSİ
12.06.2013	SLCK	$8^{s}\ 03^{dk}$	Mevcut	TUTGA
	KONY	$8^{s}\ 06^{dk}$	Yok	TUTGA
	SUTC	$8^{s}\ 06^{dk}$	Yok	TUTGA
	MANT	$8^{s}\ 11^{dk}$	Mevcut	Dışta Yardımcı Nokta
13.03.2012	OLME	$8^{s}\ 08^{dk}$	Yok	TUTGA
13.06.2013	SRYN	$8^{s}\ 06^{dk}$	Yok	TUTGA
	KADI	$8^{s}\ 08^{dk}$	Yok	TKGM/DSİ

	ILGI	8^s 06^{dk}	Mevcut	Dışta Yardımcı Nokta
	SLCK	8^s 12^{dk}	Yok	TUTGA
	OLME	8^s 27^{dk}	Yok	TUTGA
	SRYN	8^h 17^{dk}	Yok	TUTGA
14.03.2012	KADI	8^s 26^{dk}	Yok	TKGM/DSİ
14.06.2013	KURS	8^s 15^{dk}	Mevcut	İçte Yardımcı Nokta
	DOKU	8^s 24^{dk}	Mevcut	İçte Yardımcı Nokta
	SLCK	8^s 19^{dk}	Yok	TUTGA

Bu Çalışma kapsamında Yaz ve Kış Ölçüleri sonunda hesaplanan koordinatlarda 2005.0 epokunda verilmiştir. Tüm karşılaştırmalar 2005.0 epok koordinatları ile yapılmıştır. TUTGA noktaları koordinat ve hız değerleri (ITRF96 2005.0) (Çizelge 5.3)'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. TUTGA Nokta Koordinatları ve Hızları (ITRF96 2005.0)

N.ADI	**Kartezyen Koordinatlar**			**Hızlar**		
	X (m)	**Y (m)**	**Z (m)**	**Vx (m)**	**Vy (m)**	**Vz (m)**
SUTC	4236850,168	2723135,230	3901919,245	-0,0147	-0,0013	0,0085
SRYN	4216704,131	2713310,8792	3930243,883	-0,0198	-0,0058	0,0027
SLCK	4232803,058	2693588,297	3926874,156	-0,0092	0,0000	0,0111
OLME	4243566,899	2704027,218	3908126,869	-0,0084	0,0021	0,0114
KONY	4257803,293	2701449,654	3894831,499	-0,0062	0,0057	0,0145
KADI	4244489,577	2675962,188	3926342,315	-0,0118	-0,0016	0,0077

Yerel Koordinat Sisteminde dönüştürülen koordinatları (Çizelge 5.4) te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Yerel Koordinat Sistemine dönüştürülmüş TUTGA Nokta Koordinatları

N.ADI	Yerel Koordinatlar (Local Geodetic System)		
	Doğu(Easth)	Kuzey(North)	Yükseklik(Up)
SUTC	476263.1480	4202247.6202	1042.4467
SRYN	453691.5379	4233904.3653	1227.0359
SLCK	456583.3784	4210077.1149	1204.2435
OLME	478995.5628	4238258.6865	1012.9259
KONY	446670.9872	4193116.8382	1411.9639
KADI	432546.6495	4233362.1347	1244.3315

(Çizelge 5.3)'te verilen TUTGA koordinat değerlerinin, ölçülerin yapıldığı 2012.20 epoğunda karşılaştırılabilmesi için, Uluslararası Yer Dönme ve Referans Sistemleri Servisi (IERS-International Earth Rotation and Reference System Service) tarafından yayımlanan dönüşüm parametreleri kullanılmıştır (URL-2). Böylece ITRF96, 2005.0 epoğunda verilen TUTGA koordinat ve hızları kullanılarak ölçü epoğunda nokta koordinatları elde edilmiştir. Ölçü epoğuna getirilen TUTGA nokta koordinatları ve hızları (Çizelge 5.5)'te sunulmuştur.

Çizelge 5.5. TUTGA Nokta Koordinatları ve Hızları (ITRF2008 2012.20)

N.ADI	Kartezyen Koordinatlar			Hızlar		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Vx (m)	Vy (m)	Vz (m)
SUTC	4236850,043	2723135,207	3901919,363	-0,0147	-0,0013	0,0085
SRYN	4216703,970	2713310,824	3930243,959	-0,0198	-0,0058	0,0027
SLCK	4232802,973	2693588,283	3926874,292	-0,0092	0,0000	0,0111
OLME	4243566,819	2704027,219	3908127,008	-0,0084	0,0021	0,0114
KONY	4257803,229	2701449,681	3894831,660	-0,0062	0,0057	0,0145
KADI	4244489,473	2675962,163	3926342,427	-0,0118	-0,0016	0,0077

Ölçü Epoğuna getirilen TUTGA nokta koordinatları da Yerel Koordinat Sisteminde dönüştürülmüş ve bu koordinatlar da (Çizelge 5.6) da verilmiştir.

Çizelge 5.6. TUTGA Nokta Koordinatlarının Yerel Koordinat Sisteminde dönüştürülen Koordinatları

N.ADI	Yerel Koordinatlar (Local Geodetic System)		
	Doğu (East)	Kuzey (North)	Yükseklik (Up)
SUTC	476263.1967	4202247.7854	1042.4265
SRYN	453691.5727	4233904.5210	1227.0579
SLCK	456583.4230	4210077.2654	1204.2764
OLME	478995.6039	4238258.8484	1012.8432
KONY	446671.0453	4193116.9892	1412.0314
KADI	432546.6851	4233362.2851	1244.3213

5.5.1. Kış ölçüsü hesap çalışmaları

Kış Mevsiminde Meteorolojik Sensör verileriyle yapılan TUTGA Noktalarına ait ölçümler GAMIT/GLOBK yazılım programı ile 0^0, 5^0, 10^0 ve 15^0lik yükseklik açılarına göre hesaplanmış ve Yerel Sistemdeki Koordinatları Çizelge 5.7 de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Kış Mevsimi Değişik Yükseklik Açılarına Göre Meteorolojik Sensör Verileriyle Hesaplanan TUTGA Koordinatları

N.ADI	KIŞ Mevsimi TUTGA Noktaları(Meteorolojik veriler) Yerel Koordinatlar (Local Geodetic System) 0^0		
	(North) N	(Easth) E	(Up) U
SUTC	4202247.728	476263.1999	1042.3423
OLME	4238258.826	478995.5969	1012.759
SRYN	4233904.5	453691.5855	1227.02
SLCK	4210077.249	456583.4269	1204.1706
KONY	4193116.972	446671.0368	1411.9214
KADI	4233362.268	432546.685	1244.3364
	5^0		
SUTC	4202247.7284	476263.1995	1042.3428
OLME	4238258.8260	478995.5967	1012.7587
SRYN	4233904.4995	453691.5851	1227.0198
SLCK	4210077.2492	456583.4273	1204.1708

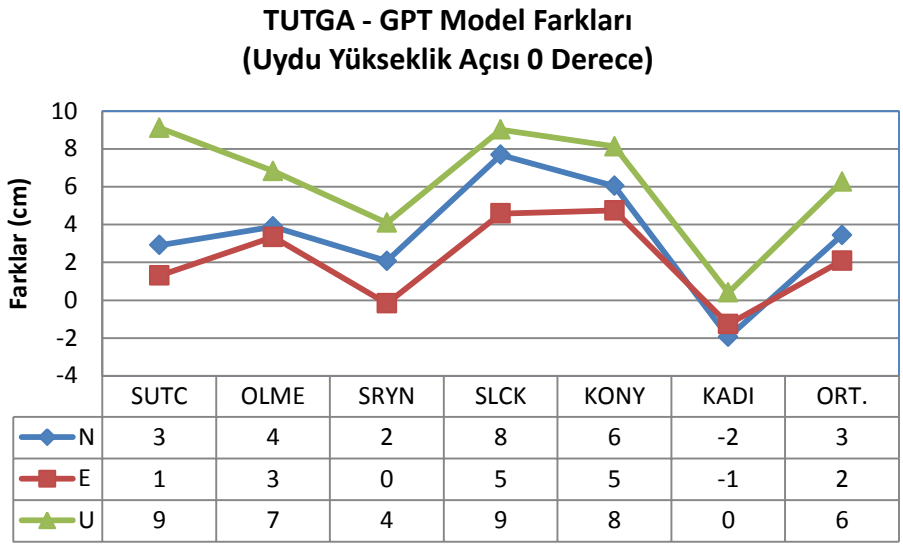
KONY	4193116.9720	446671.0373	1411.9210
KADI	4233362.2679	432546.6849	1244.3366
	10^0		
SUTC	4202247.7284	476263.1994	1042.3436
OLME	4238258.8259	478995.5980	1012.7571
SRYN	4233904.4990	453691.5855	1227.0194
SLCK	4210077.2493	456583.4283	1204.1703
KONY	4193116.9721	446671.0380	1411.8954
KADI	4233362.2688	432546.6844	1244.3096
	15^0		
SUTC	4202247.733	476263.201	1042.3345
OLME	4238258.827	478995.597	1012.7475
SRYN	4233904.5	453691.5855	1227.0138
SLCK	4210077.247	456583.4293	1204.1525
KONY	4193116.972	446671.0373	1411.9158
KADI	4233362.268	432546.6856	1244.3338

TUTGA ve yardımcı noktalarda hesap sonucu elde edilen koordinatlar, GAMIT/GLOBK yazılımı ile Küresel Basınç ve Sıcaklık Modelinden (GPT), Standart Sıcaklık Basınç Modeli (STP) ve Gerçek Meteorolojik Veriler (GMV) kullanılmak suretiyle 0^o, 5^o, 10^o ve 15^o uydu yükseklik açı değerlerinin nokta konum doğruluğuna etkileri araştırılmıştır. Ölçüler, 10-14 Mart 2012 tarihleri arasında ortalama 8'er saat ve 5 oturum olarak gerçekleştirilmiştir.

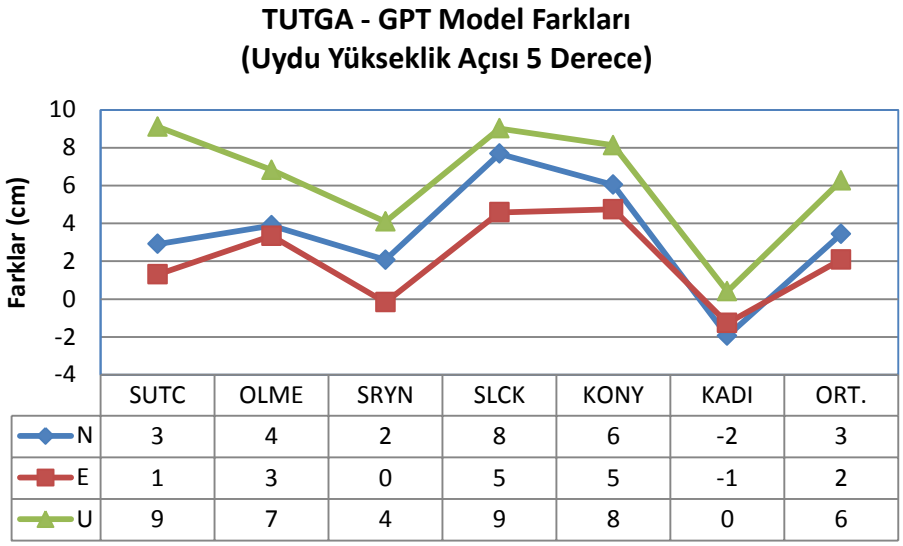
5.5.1.1. Tutga ile gpt modeli nokta koordinatları farkları

TUTGA nokta koordinatları (Tablo 5.1.) Boehm and Schuh (2006) tarafından geliştirilen öncül basınç ve sıcaklık değerlerini içeren Küresel Basınç ve Sıcaklık Modeli (GPT) kullanılarak elde edilen koordinatlarla karşılaştırılmıştır. 0^o, 5^o, 10^o, 15^o lik uydu yükseklik açısında GPT modeli ile elde edilen koordinat değerlerinin, TUTGA noktaları ile karşılaştırılması yapılmıştır. Buna göre Yerel Koordinat Sisteminde Jeodezik Kuzey (North) ortalama 3 cm, Jeodezik Doğu (Easth) ortalama 2 cm ve Elipsoit Yükseklik (Up) Bileşen Değeri ortalama 6 cm'lik farklılıklarla elde edilmiş; tablo gösterimlerinde Jeodezik Kuzey:N, Jeodezik Doğu:E, Elipsoit Yükseklik ise (U) ile gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Farklı Uydu Yükseklik Açılarına Göre TUTGA-GPT Model Farkları

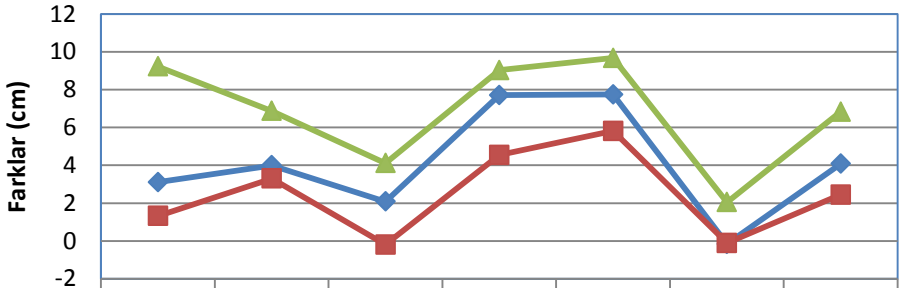


	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	3	4	2	8	6	-2	3
E	1	3	0	5	5	-1	2
U	9	7	4	9	8	0	6



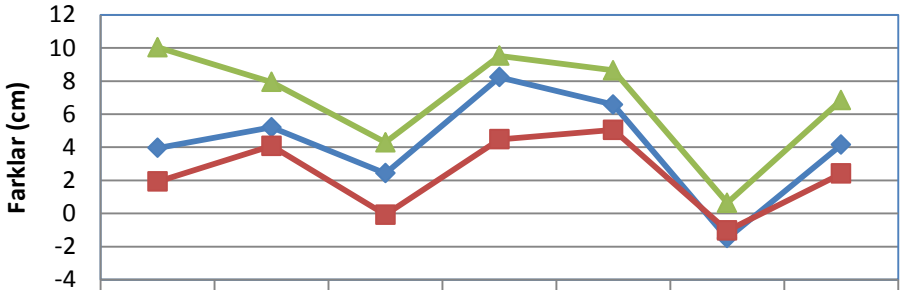
	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	3	4	2	8	6	-2	3
E	1	3	0	5	5	-1	2
U	9	7	4	9	8	0	6

TUTGA - GPT Model Farkları
(Uydu Yükseklik Açısı 10 Derece)



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	3	4	2	8	8	0	4
E	1	3	0	5	6	0	2
U	9	7	4	9	10	2	7

TUTGA - GPT Model Farkları
(Uydu Yükseklik Açısı 15 Derece)



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	4	5	2	8	7	-2	4
E	2	4	0	4	5	-1	2
U	10	8	4	10	9	1	7

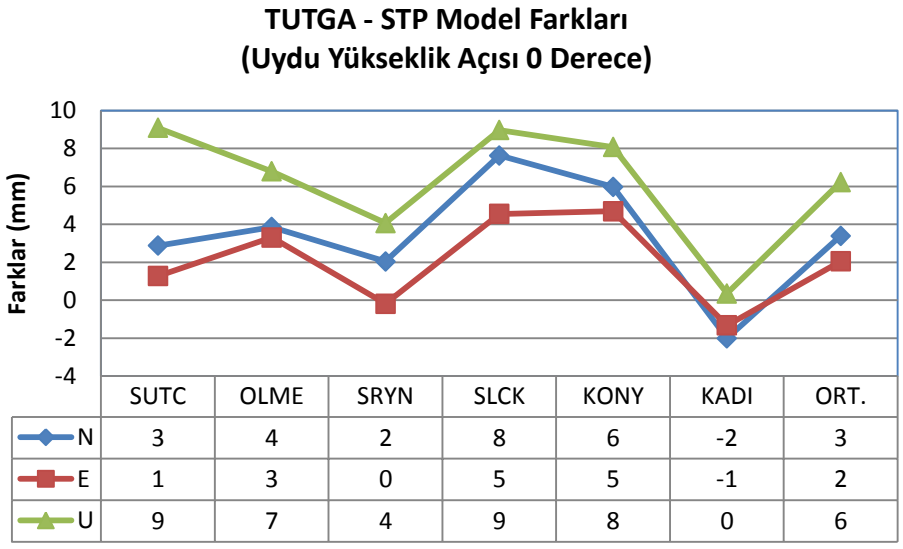
0^o ve 5^o derecelik uydu yükseklik açılarında TUTGA ile GPT model arasındaki N,E,U (North; Easth; Up) yönlerindeki koordinat farkları ortalama; 3, 2 ve 6 cm olarak elde edilmiştir. 10^o ve 15^o lik uydu yükseklik açılarında TUTGA ile GPT model arasındaki N, E, U yönlerindeki koordinat farkları ortalama; 4, 2 ve 7 cm olarak elde edilmiştir.

Bu sonuçlar irdelenirse; daha düşük uydu yükseklik açılarında doğruluğu yüksek sonuçlar elde edilebilir görüşü ortaya çıkmaktadır.

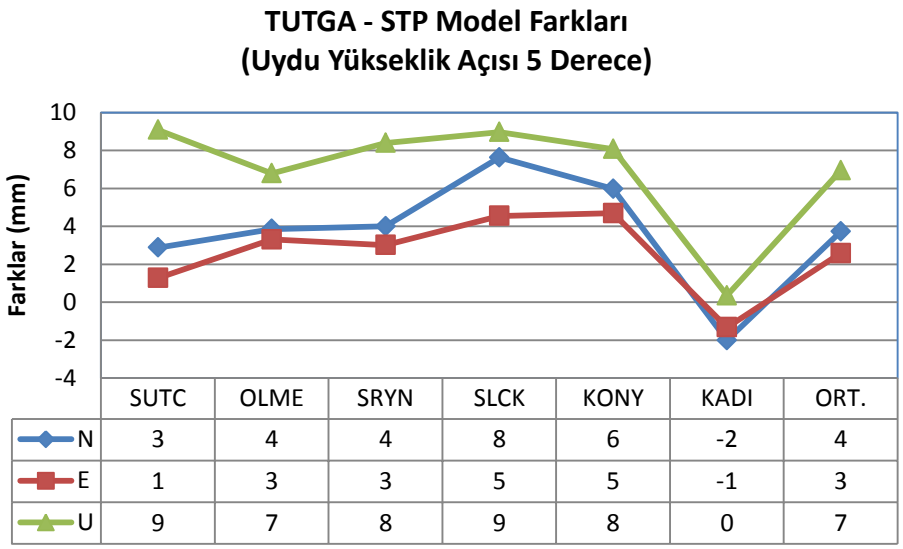
5.5.1.2. TUTGA ile STP modeli nokta koordinat farkları

Standart Sıcaklık Basınç (STP) (1013,15 hPa, 20 C^{o}) GAMIT/GLOBK meteorolojik gözlem veri kaynağı olarak seçilebilmektedir. STP troposfer modelinin kullanılması ile elde edilen koordinat değerleri, TUTGA koordinatları ile karşılaştırılmıştır. Farklı yükseklik açılarına göre N, E, U yönlerindeki koordinat farkları (Tablo 5.2.)'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Faklı Yükseklik Açılarına göre TUTGA-STP Model Farkları

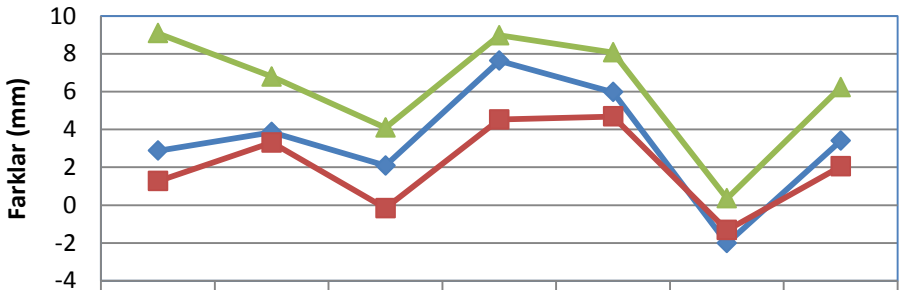


	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	3	4	2	8	6	-2	3
E	1	3	0	5	5	-1	2
U	9	7	4	9	8	0	6



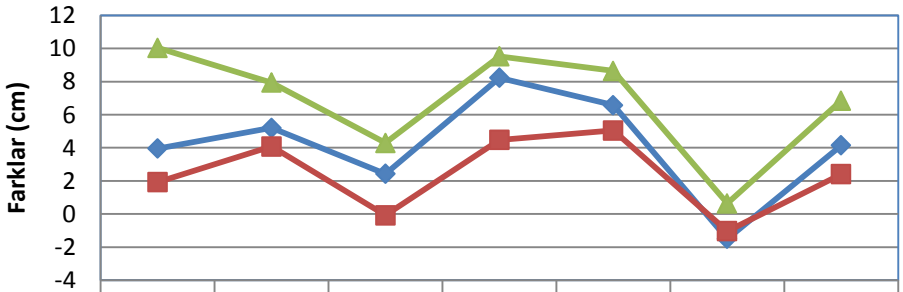
	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	3	4	4	8	6	-2	4
E	1	3	3	5	5	-1	3
U	9	7	8	9	8	0	7

TUTGA - STP Model Farkları
(Uydu Yükseklik Açısı 10 Derece)



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	3	4	2	8	6	-2	3
E	1	3	0	5	5	-1	2
U	9	7	4	9	8	0	6

TUTGA - GPT Model Farkları
(Uydu Yükseklik Açısı 15 Derece)



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	4	5	2	8	7	-2	4
E	2	4	0	4	5	-1	2
U	10	8	4	10	9	1	7

TUTGA ile GPT modeli arasında 0^o lik uydu yükseklik açısı kullanılarak elde edilen N, E, U yönündeki koordinat farklarının ortalaması 3, 2 ve 6 cm olarak elde edilmiştir.

5^o lik uydu yükseklik açısı kullanıldığı durumda TUTGA noktaları ile STP model çözümleri arasında N, E, U yönünde ortalama; 4, 3 ve 7 cm'lik farklılıklar bulunmuştur.

10^o lik uydu yükseklik açısı kullanıldığı durumda TUTGA noktaları ile STP model çözümleri arasında N, E, U yönünde ortalama; 3, 2 ve 6 cm'lik farklılıklar bulunmuştur.

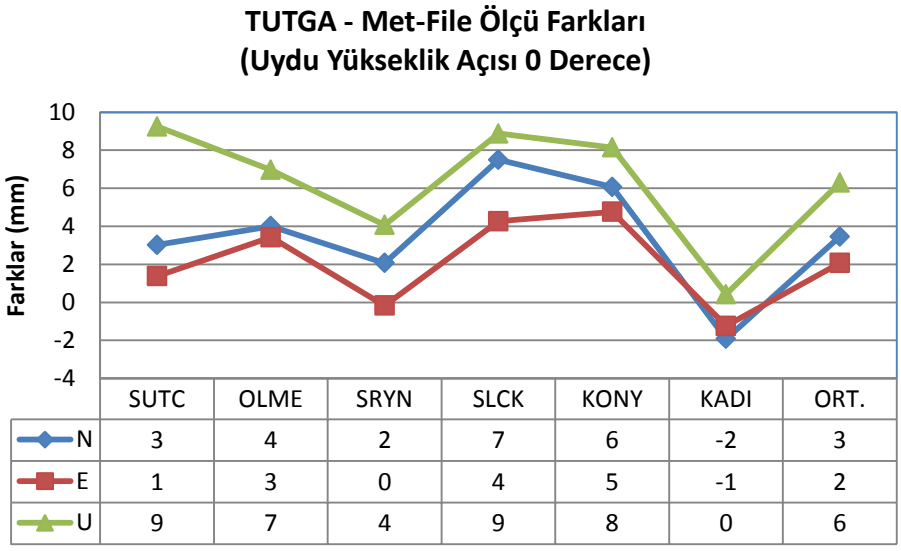
15^{o} lik uydu yükseklik açısı kullanıldığı durumda TUTGA noktaları ile STP model çözümleri arasında N, E, U yönünde ortalama; 4, 2 ve 7 cm'lik farklılıklar bulunmuştur.

Bu durumda en tutarlı sonuçların 10^{0} lik yükseklik açısında verdiği gözlenmektedir.

5.5.1.3. Proje kapsamında GNSS ölçüsü yapılan TUTGA nokta koordinatlarının arazide ölçülmüş meteorolojik parametreler kullanılarak hesabı

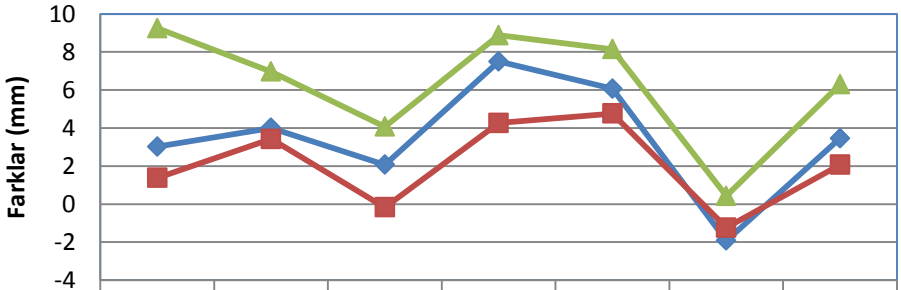
Ölçü noktalarında meteorolojik sensör ile elde edilen sıcaklık, basınç ve nem değerleri Gamit "met-file" girdi dosyasına dönüştürülmüştür. Farklı yükseklik açılarına göre N,E,U yönlerindeki koordinat farkları (Tablo 5.3)'de verilmiştir.

Tablo 5.3. Faklı Yükseklik Açılarına göre TUTGA-Met-File Model Farkları



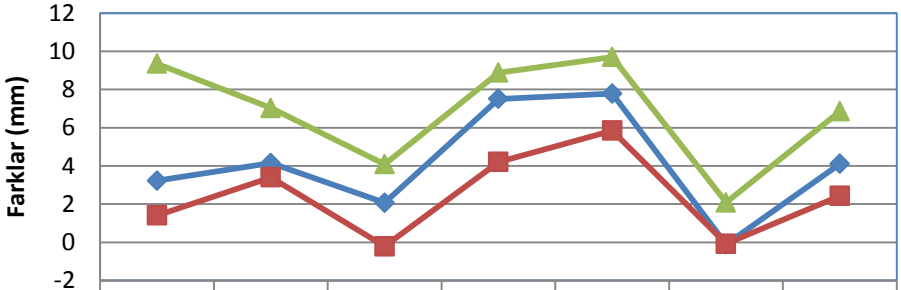
	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	3	4	2	7	6	-2	3
E	1	3	0	4	5	-1	2
U	9	7	4	9	8	0	6

TUTGA - Met-File Ölçü Farkları
(Uydu Yükseklik Açısı 5 Derece)



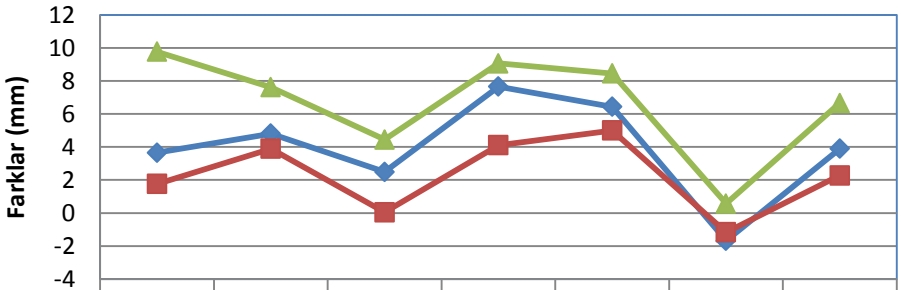
	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	3	4	2	7	6	-2	3
E	1	3	0	4	5	-1	2
U	9	7	4	9	8	0	6

TUTGA - Met-File Ölçü Farkları
(Uydu Yükseklik Açısı 10 Derece)



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	3	4	2	8	8	0	4
E	1	3	0	4	6	0	2
U	9	7	4	9	10	2	7

TUTGA - Met-File Ölçü Farkları
(Uydu Yükseklik Açısı 15 Derece)



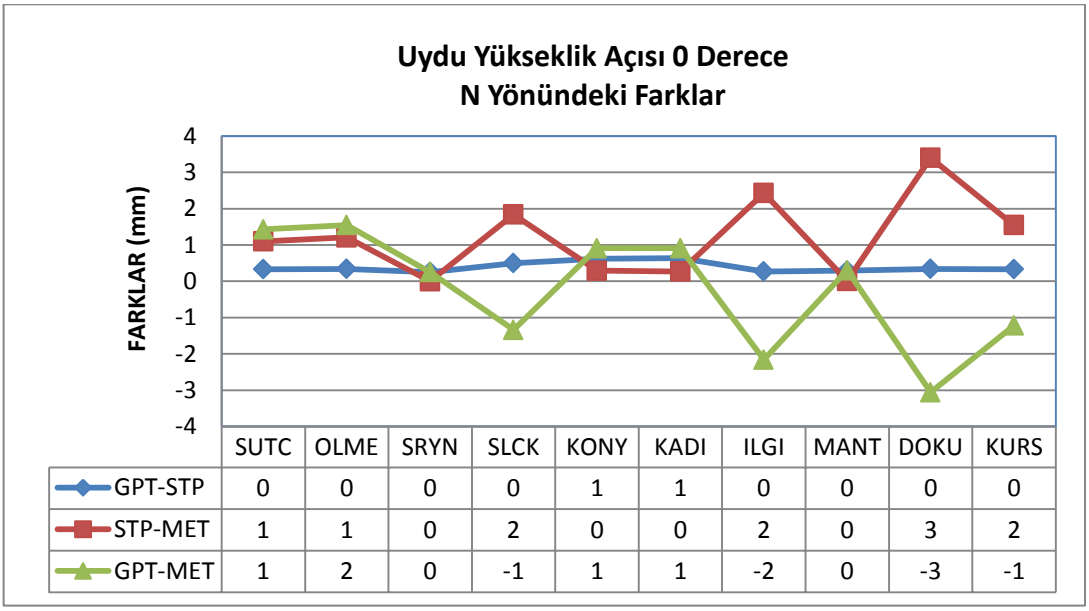
	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	4	5	2	8	6	-2	4
E	2	4	0	4	5	-1	2
U	10	8	4	9	8	1	7

Gerçek meteorolojik ölçümlerin process aşamasında girdi olarak kullanılması ile elde edilen koordinat farklarının 0^o ve 5^o lik uydu yükseklik açılarında Jeodezik Kuzey ve Jeodezik Doğu değerleriyle, Elipsoit Yükseklik Bileşeni (N, E, U) değerleri sırasıyla 3, 2, 6 cm olarak, 10^o ve 15^o lik uydu yükseklik açılarında ise 4, 2, 7 cm olarak bulunmuştur. Çıkan sonuçlara göre farklı yükseklik açılarına göre oluşan farklar kendi aralarında tutarlı sonuçlar vermiştir.

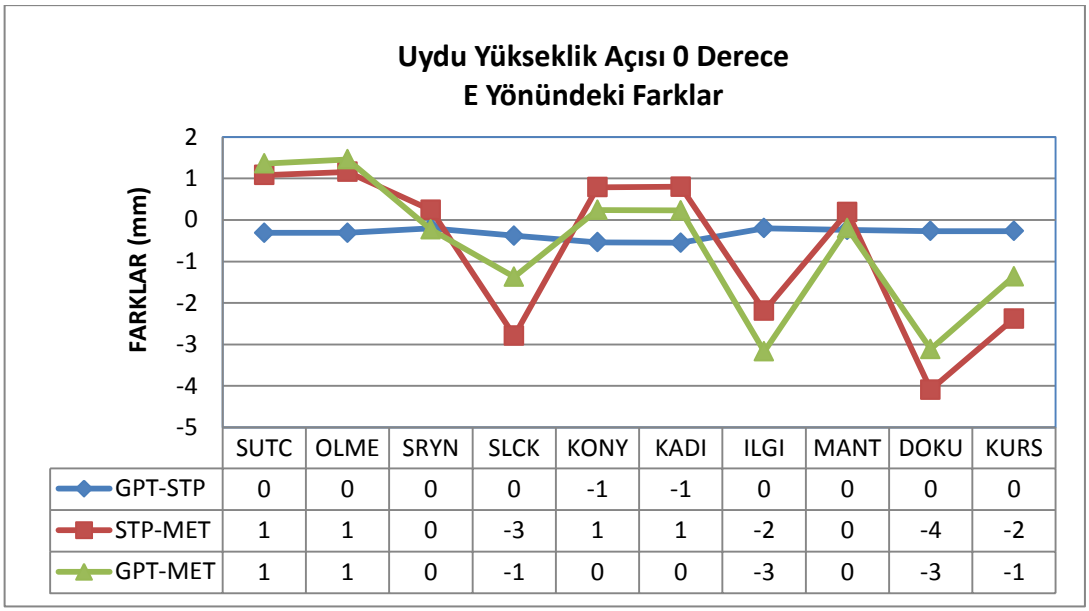
5.5.1.4. Farklı uydu yükseklik açılarında elde edilen koordinat değişimleri

Nokta koordinatlarının hesaplanmasında 0, 5, 10 ve 15 derecelik uydu yükseklik açıları kullanılmıştır. Farklı uydu yükseklik açılarının nokta koordinatlarındaki değişim miktarları ile troposferik model (GPT, STP) ve yerinde ölçülen GMV ayrı ayrı kullanılması sonucu elde edilen açılarında Jeodezik Kuzey ve Jeodezik Doğu değerleriyle, Elipsoit Yükseklik (N, E, U) farkları da incelenerek (Tablo 5.4), (Tablo 5.5), (Tablo 5.6), (Tablo 5.7)'de verilmiştir.

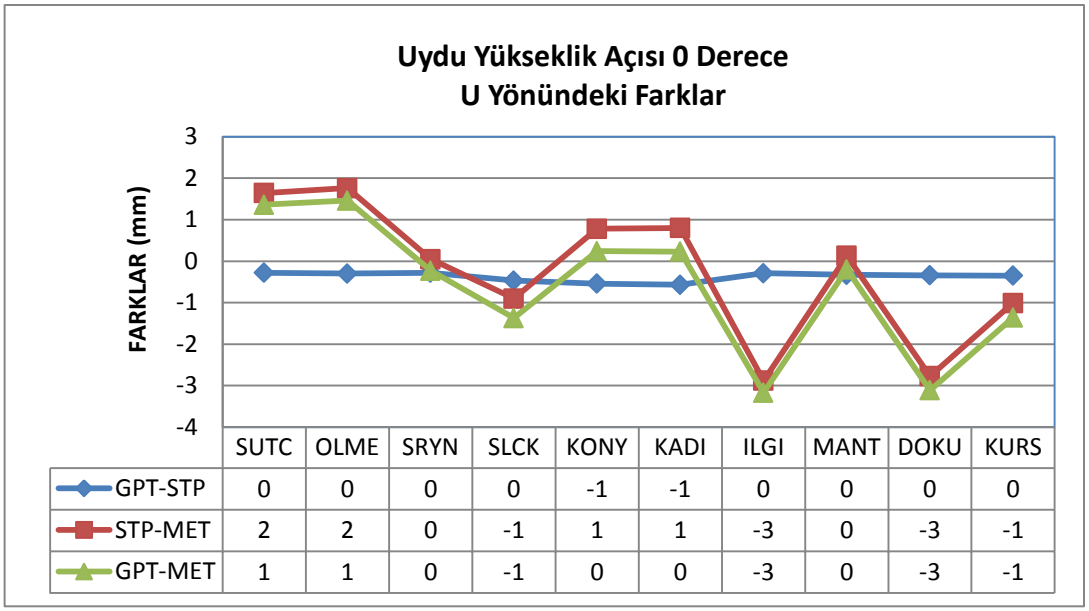
Tablo 5.4. N,E,U yönündeki Yerel koordinat Sistemi farkları (0 Derece)



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
STP-MET	1	1	0	2	0	0	2	0	3	2
GPT-MET	1	2	0	-1	1	1	-2	0	-3	-1



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0
STP-MET	1	1	0	-3	1	1	-2	0	-4	-2
GPT-MET	1	1	0	-1	0	0	-3	0	-3	-1

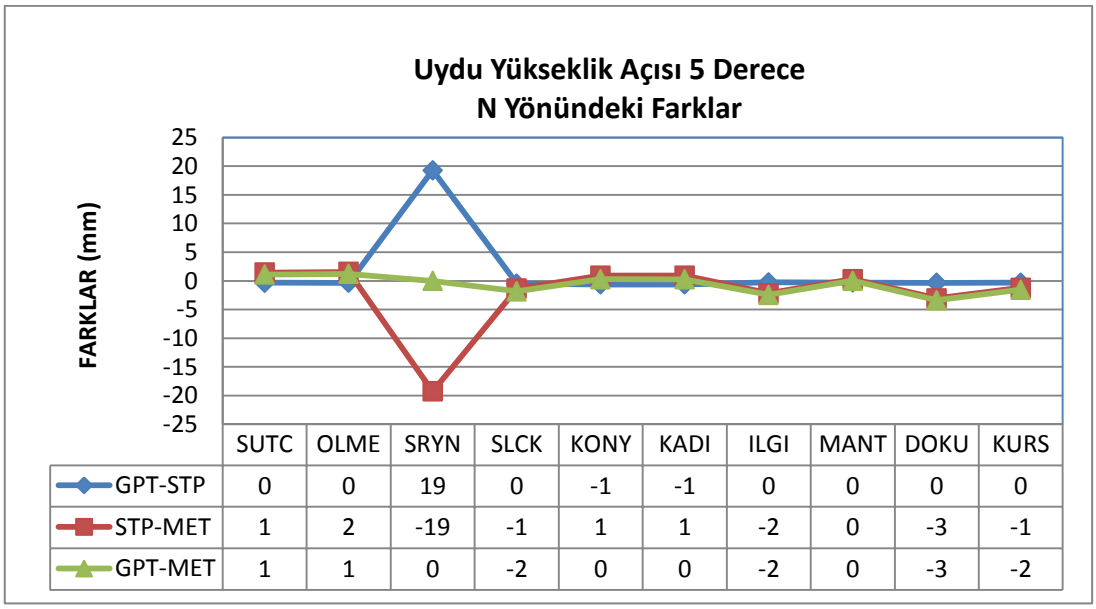


	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0
STP-MET	2	2	0	-1	1	1	-3	0	-3	-1
GPT-MET	1	1	0	-1	0	0	-3	0	-3	-1

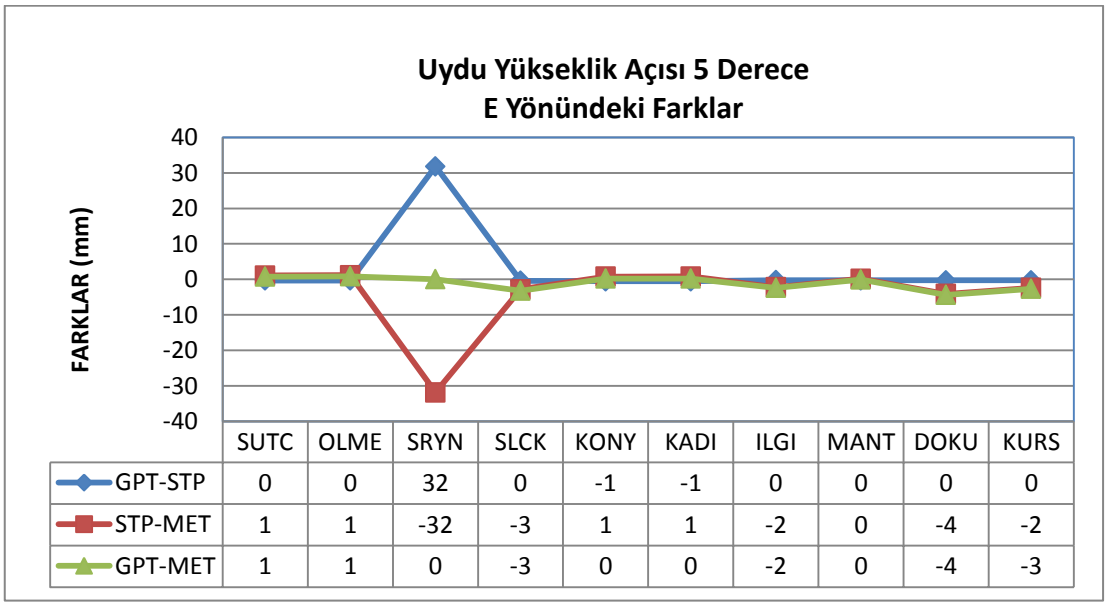
GPT ve STP modellerinin kullanılması durumunda, Jeodezik Kuzey (N) ve Jeodezik Doğu (E) yönündeki koordinat farkının 1 mm'nin altında kaldığı görülmüştür.

GPT ve STP modellerinin kullanılması durumunda, Elipsoit Yükseklik (U) yönündeki koordinat farkının 1 mm'nin altında kaldığı, STP-MET ile GPT-MET model sonuçlarının Elipsoit Yükseklik (U) değişim miktarının aynı seviyede olduğu görülmüştür.

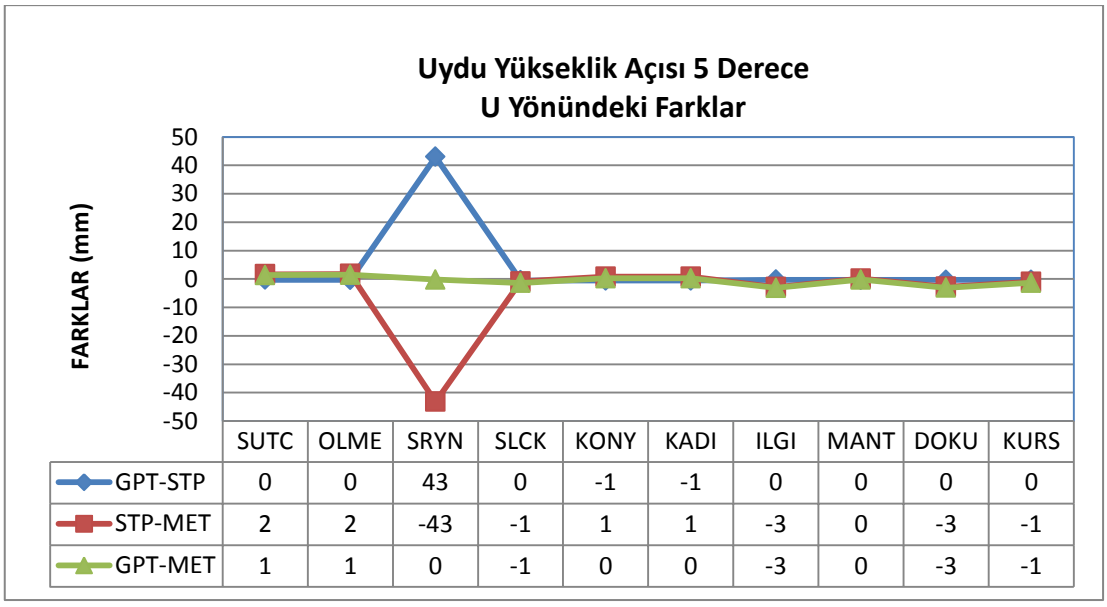
Tablo 5.5. N,E,U yönündeki Yerel Koordinat Sistemi farkları (5 Derece)



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	0	0	19	0	-1	-1	0	0	0	0
STP-MET	1	2	-19	-1	1	1	-2	0	-3	-1
GPT-MET	1	1	0	-2	0	0	-2	0	-3	-2



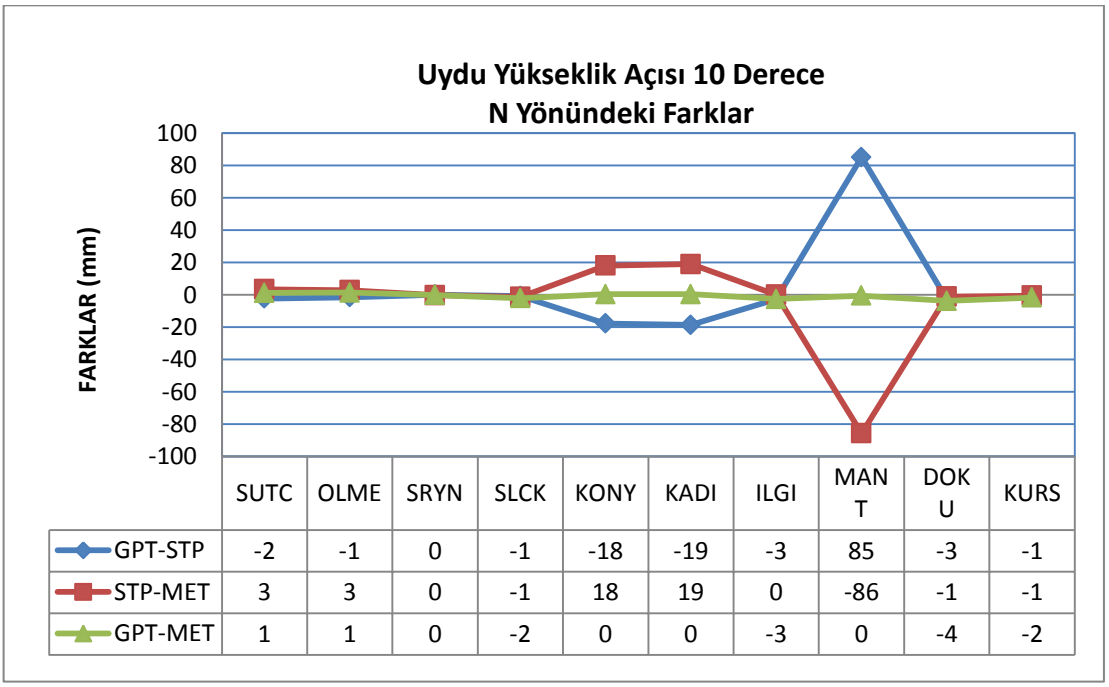
	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	0	0	32	0	-1	-1	0	0	0	0
STP-MET	1	1	-32	-3	1	1	-2	0	-4	-2
GPT-MET	1	1	0	-3	0	0	-2	0	-4	-3



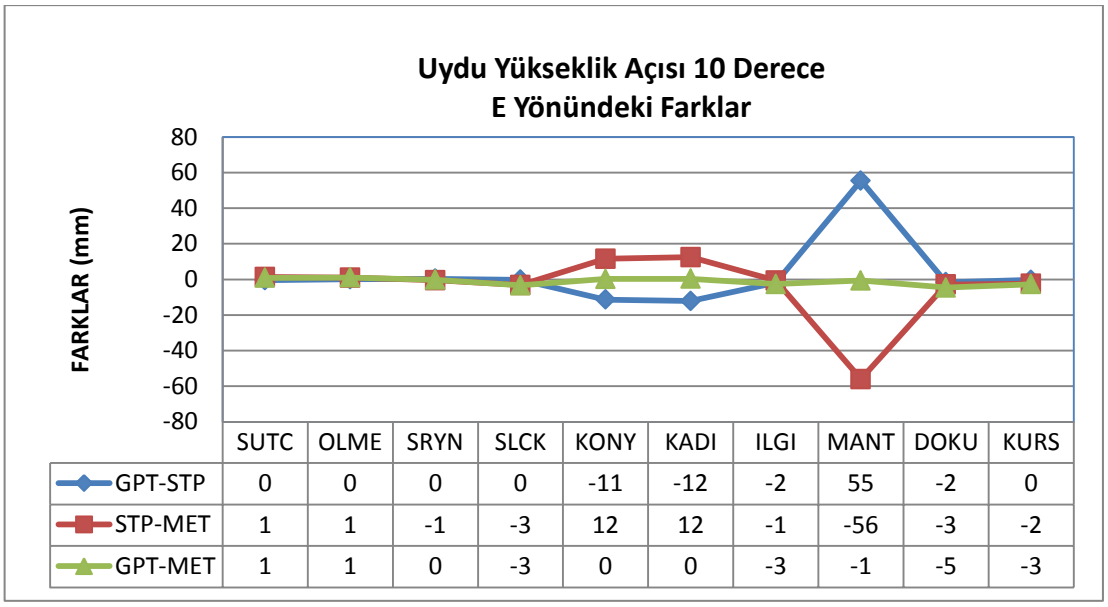
	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	0	0	43	0	-1	-1	0	0	0	0
STP-MET	2	2	-43	-1	1	1	-3	0	-3	-1
GPT-MET	1	1	0	-1	0	0	-3	0	-3	-1

5 derecelik uydu yükseklik açıları ile yapılan hesap sonuçlarında SRYN noktasında STP-MET ile GPT-STP modelleri arasında 4 cm'lik fark tespit edilmiştir.

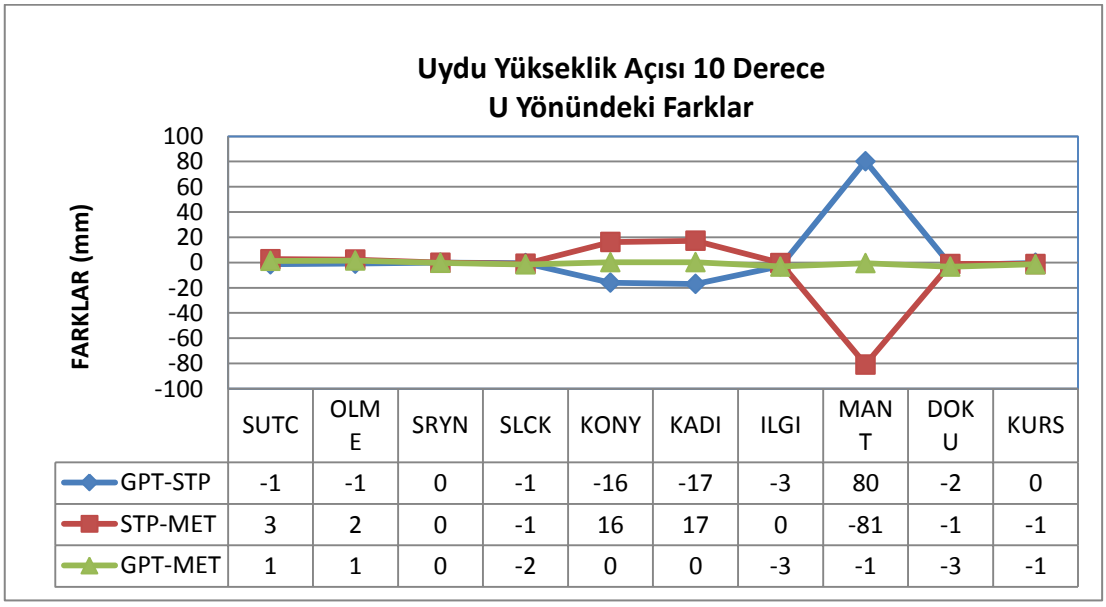
Tablo 5.6. N,E,U yönündeki Yerel Koordinat Sistemi farkları (10 Derece)



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	-2	-1	0	-1	-18	-19	-3	85	-3	-1
STP-MET	3	3	0	-1	18	19	0	-86	-1	-1
GPT-MET	1	1	0	-2	0	0	-3	0	-4	-2



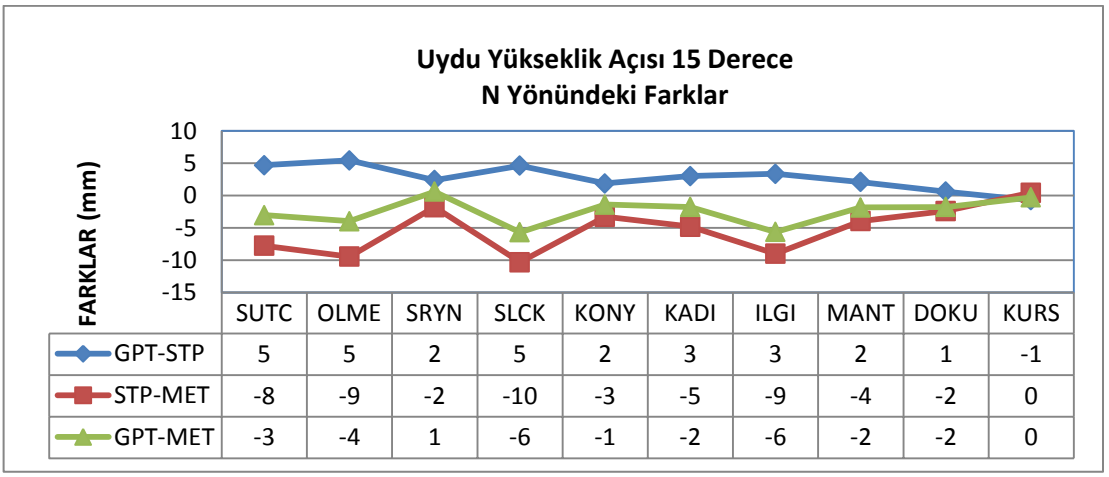
	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	0	0	0	0	-11	-12	-2	55	-2	0
STP-MET	1	1	-1	-3	12	12	-1	-56	-3	-2
GPT-MET	1	1	0	-3	0	0	-3	-1	-5	-3



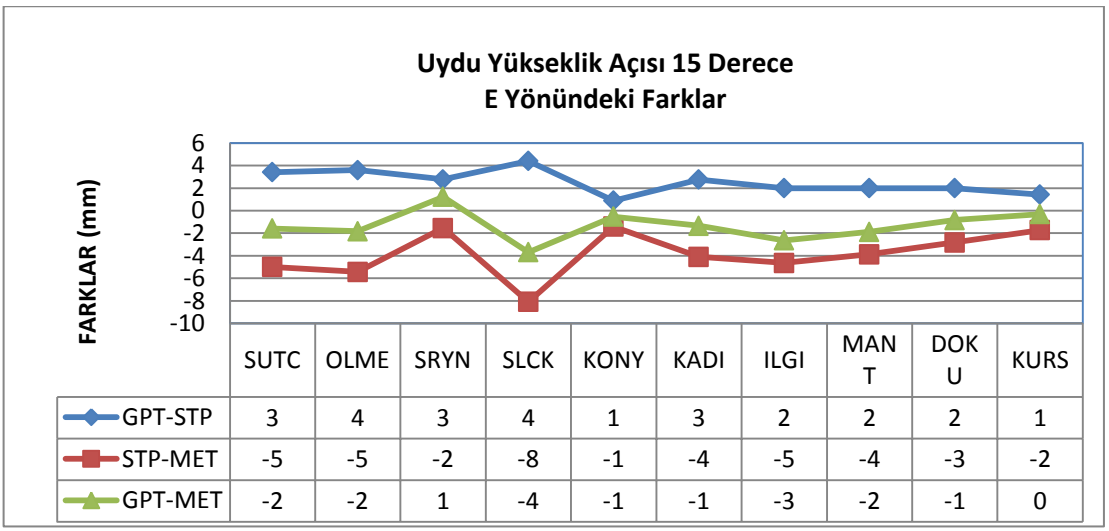
	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	-1	-1	0	-1	-16	-17	-3	80	-2	0
STP-MET	3	2	0	-1	16	17	0	-81	-1	-1
GPT-MET	1	1	0	-2	0	0	-3	-1	-3	-1

Uydu yükseklik açısının 10^0 olması durumunda MANT noktasının Jeodezik Kuzey, Jeodezik Doğu ve Elipsoit Yükseklik (N,E,U) yönlerindeki koordinat farklarının 8 cm olduğu görülmüştür. KONY ve KADI noktalarında da 1,6 cm'lik farklar görülmüş diğer istasyonların 1-2 mm seviyelerinde olduğu hesaplanmıştır.

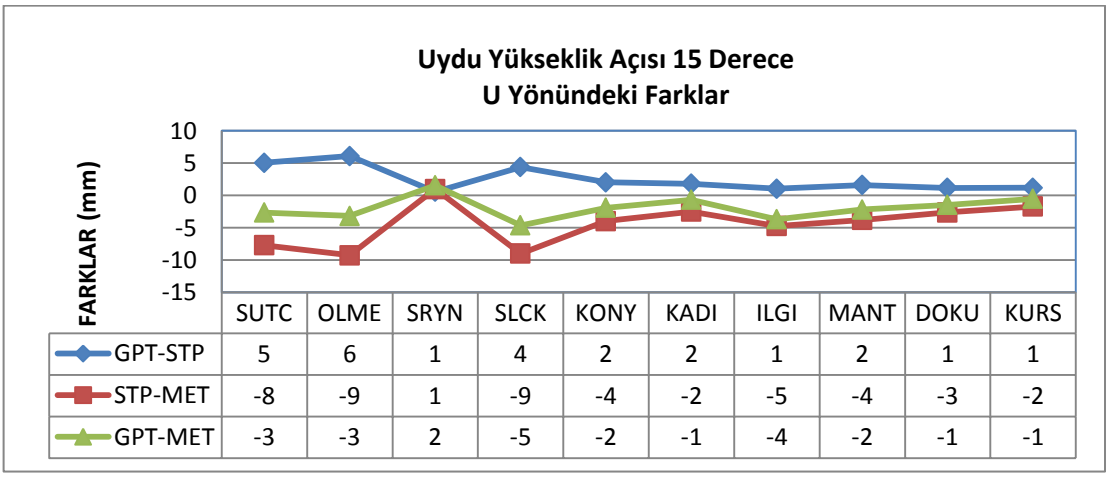
Tablo 5.7. N,E,U yönündeki Yerel koordinat Sistemi farkları (15 Derece)



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	5	5	2	5	2	3	3	2	1	-1
STP-MET	-8	-9	-2	-10	-3	-5	-9	-4	-2	0
GPT-MET	-3	-4	1	-6	-1	-2	-6	-2	-2	0



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	3	4	3	4	1	3	2	2	2	1
STP-MET	-5	-5	-2	-8	-1	-4	-5	-4	-3	-2
GPT-MET	-2	-2	1	-4	-1	-1	-3	-2	-1	0



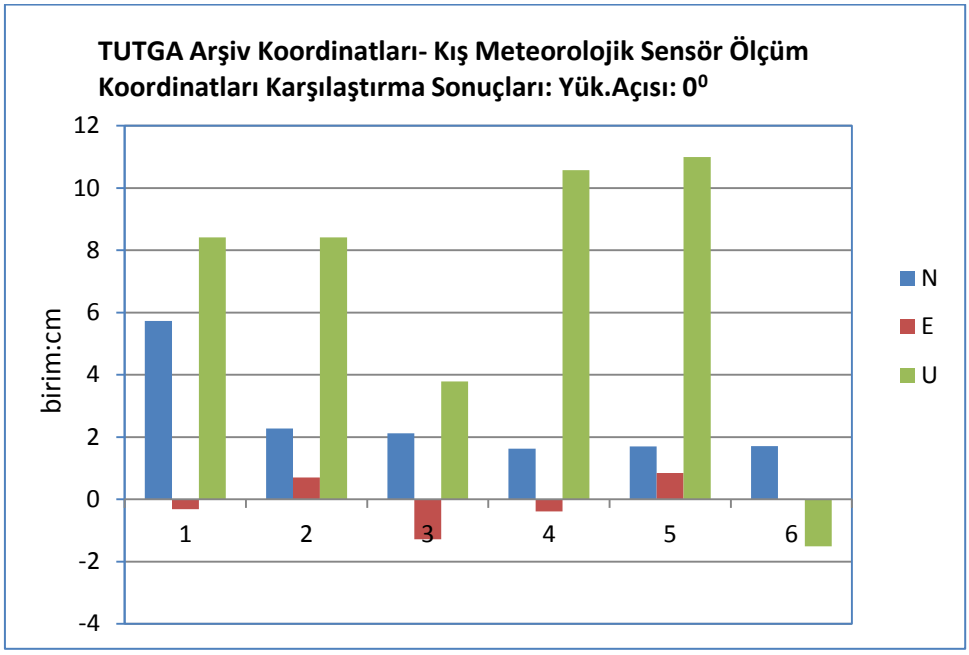
	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	5	6	1	4	2	2	1	2	1	1
STP-MET	-8	-9	1	-9	-4	-2	-5	-4	-3	-2
GPT-MET	-3	-3	2	-5	-2	-1	-4	-2	-1	-1

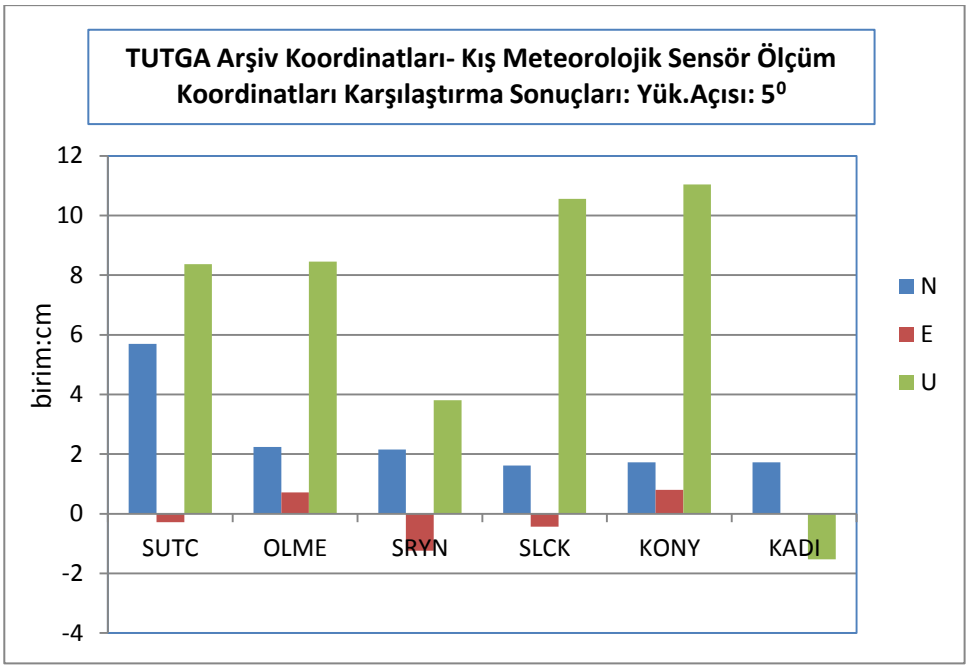
Uydu yükseklik açısının 15^0 olması durumunda; N,E,U yönünde SLCK noktasında ortalama 1,5 cm değişim gözlenirken; bu değişimin diğer noktalarda mm seviyesinde kaldığı gözlenmiştir.

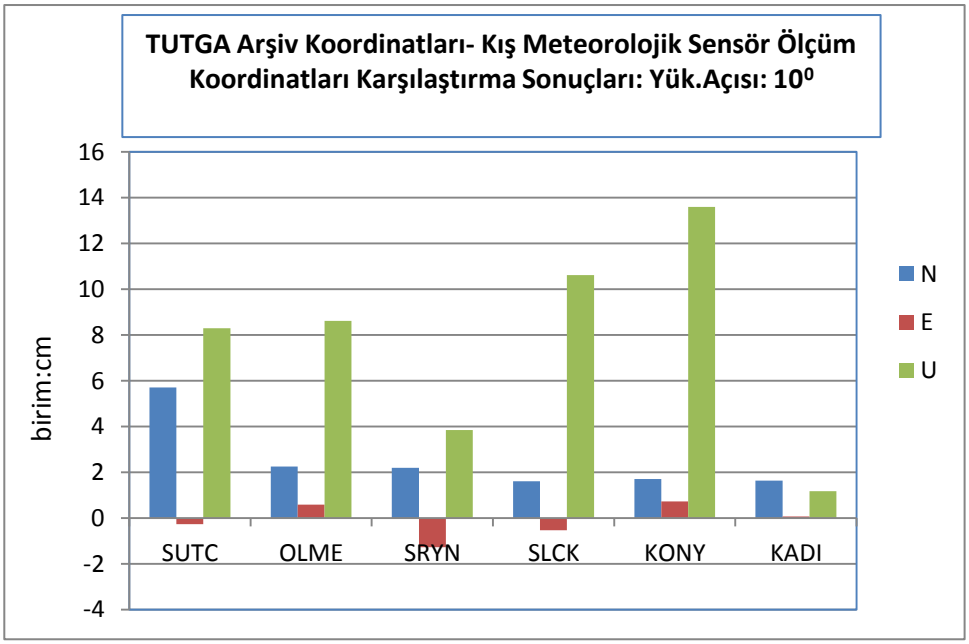
5.5.1.5. TUTGA arşiv- TUTGA met-file karşılaştırmaları

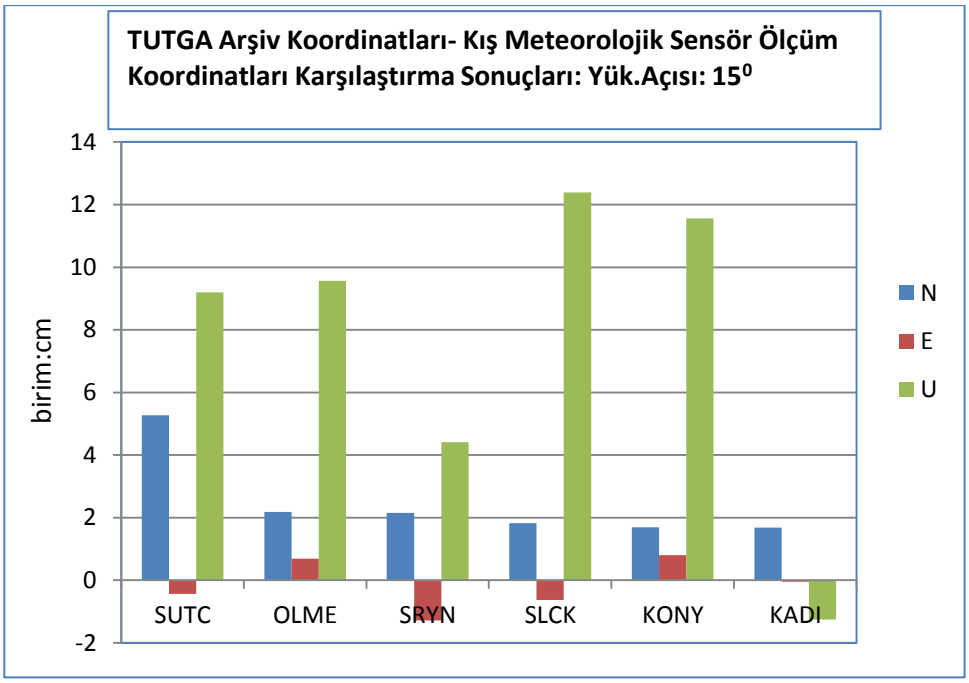
TUTGA noktalarının; Arşiv Koordinatlarıyla; Kış Mevsiminde yapılan Meteorolojik Sensör Verileri ölçümünden elde edilen ve 0^0, 5^0, 10^0, 15^0 lik yükseklik açılarına göre hesaplanıp Yerel Koordinat Sistemine dönüştürülen koordinatlarının farkları karşılaştırılmıştır. Oluşan farklar (Tablo 5.8) de verilmiştir.

Tablo 5.8. TUTGA Arşiv- TUTGA Met-File Koordinat Karşılaştırmaları




TUTGA Arşiv Koordinatları- Kış Meteorolojik Sensör Ölçüm Koordinatları Karşılaştırma Sonuçları: Yük.Açısı: 5⁰
birim:cm
12
10
8
6
4
2
0
-2
-4
SUTC
OLME
SRYN
SLCK
KONY
KADI
N
E
U


TUTGA Arşiv Koordinatları- Kış Meteorolojik Sensör Ölçüm Koordinatları Karşılaştırma Sonuçları: Yük.Açısı: 10⁰
birim:cm
16
14
12
10
8
6
4
2
0
-2
-4
SUTC
OLME
SRYN
SLCK
KONY
KADI
N
E
U



Değişik yükseklik açılarına göre arşiv koordinatlarıyla, Kış Mevsimi Meteorolojik sensör verilerinden elde edilen koordinatlar karşılaştırıldığında Konya (KONY) noktası dışında Elipsoid Yükseklik (Up) değerlerinin; Kuzey (North), Yatay (Easth) değerlerine göre 2~9 cm arasında değişim gösterdiği görülmektedir.

5.5.1.6. Kış ölçüsü analiz sonuçları

Yapılan bu çalışmada kış ölçüleri içinde GPT, SPT ve Met-File (Gerçek Meteorolojik Veriler-GMV) verileri farklı uydu yükseklik açıları kullanılarak ayrı ayrı hesap/analiz çalışmaları yapılmıştır. Yükseklik bileşenlerinde TUTGA ile en uygun sonuçları GPT modeli ile 10^o lik uydu yükseklik açısı ile gerçekleştirilen hesap sonuçları vermiştir. Ayrıca, 0^o ile 5^o lik uydu yükseklik açılarının Jeodezik Kuzey, Jeodezik Doğu ve Elipsoit Yükseklik N,E,U yönlerinde aynı değerleri verdiği görülmüştür. GAMIT GLOBK yazılımı incelendiğinde, bu durumun uydu yükseklik açılarına göre otomatik bir ağırlıklandırma yapıldığı, küçük uydu yükseklik açılarının daha az ağırlıkla hesaplamalara dahil edildiğini göstermiştir.

Gerçek meteorolojik dosyaların yerine global modellerden elde edilen troposferik parametrelerin kullanılmasının Elipsoit Yükseklik (U) koordinat değişimlerine 3 mm etki ettiği görülmüştür.

Bununla birlikte, GNSS noktalarındaki meteorolojik veriler ölçülüyorsa veya bu değerler bir sayısal hava tahmin modelinden elde edilebiliyorsa değerlendirmeye bu verilerin dahil edilmesinin öncelikle tercih edilmesi gerekliliği birçok bilimsel makale ile ortaya konmuştur (Erkan ve Cingöz 2008). Bu çalışmada elde edilen sonuç diğer çalışmalarda olduğu gibi ortaya konulmuştur. Bu çalışmada mevcut şartlara göre en doğru sonuç için değişik stratejiler izlenmiş ancak; doktora tez çalışması bütçesi nedeniyle GNSS gözlemi yanında her noktaya Meteorolojik Sensor kurulamamış; yalnızca 2 noktaya kurulmuştur. Pekçok bilimsel araştırmada değinilen meteorolojik verilere öncelik verilmesi fikri yanında Kış Ölçüleri analiz sonuçlarına göre sensör sayısının artırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada GMF (Global Mapping Function) indirgeme fonksiyonu kullanılmıştır. Bu konuda yapılan çalışmalarda (Boehm J, Schuh H (2004), Boehm J, Heinkelmann R, Schuh H (2007), J.Kouba 2009) GMF yerine VMF1 (Vienna Mapping Function) indirgeme fonksiyonu kullanılması ile yükseklik bileşeninde ±0,5 mm değerinde farklılık oluşacağı ortaya konulmuştur. Tez çalışmasında farklı olarak Meteorolojik veriler kullanılmıştır. Bu yöntem ise henüz Türkiye'de yapılan ilk çalışmalardan olup geliştirilmesi durumunda iyi sonuçlar elde edilmesi mümkündür.

GPT modeli (GMF indirgeme fonksiyonu ve 10^o lik uydu yükseklik açısı) kullanılması durumunda, yerinde ölçülen meteorolojik parametrelerin hesap çalışmalarına dahil edilmesi sunucu elde edilen yatay nokta koordinat değişimleri 1 mm seviyesinde bulunmuştur. Yükseklik bileşeninde ise, -6 mm ile +2 mm arasında değişimler görülmüştür. Bu farkların, nokta anten yüksekliği ölçümlerinden, meteorolojik sensör hatalarından, referans nokta koordinatlarından kaynaklanmış olabileceği ve olması gereken ara değerler içerisinde kaldığı görülmektedir.

Meteorolojik parametrelerin nokta koordinatlarına olan etkisinin doğru olarak ortaya konulabilmesi için, çalışma alanındaki tüm noktalarda GNSS gözlemi sırasında eş zamanlı meteorolojik gözlem yapılması gereklidir.

5.5.2. Yaz ölçüsü hesap çalışmaları

Yaz ölçüsü çalışması ile de TUTGA ve yardımcı noktalarda hesap sonucu elde edilen koordinatlar, GAMIT/GLOBK yazılımı ile GPT, STP ve Gerçek Meteorolojik Veriler (GMV) kullanılmak suretiyle 0^o, 5^o, 10^o ve 15^o uydu yükseklik açı değerlerinin nokta konum doğruluğuna etkileri araştırılmıştır. Ölçüler, 10-14 Haziran 2013 tarihleri

arasında 5 gün olarak gerçekleştirilmiştir. Yaz Mevsiminde Meteorolojik Sensör verileriyle yapılan TUTGA Noktalarına ait ölçümler GAMIT/GLOBK yazılım programı ile 0^0, 5^0, 10^0 ve 15^0lik yükseklik açılarına göre hesaplanmış ve Yerel Sistemdeki Koordinatları (Çizelge 5.8) de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Yaz Mevsimi Değişik Yükseklik Açılarına Göre Meteorolojik Sensör Verileriyle Hesaplanan TUTGA Koordinatları

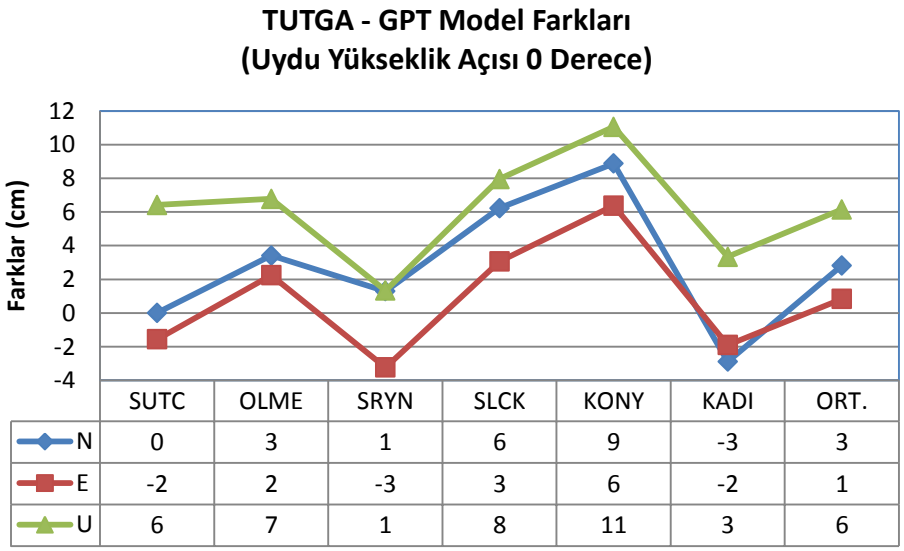
N.ADI	**YAZ Mevsimi TUTGA Noktaları(Meteorolojik veriler) Yerel Koordinatlar (Local Geodetic System)**		
	0^0		
	(North) N	**(Easth) E**	**(Up) U**
SUTC	4202247.732	476263.2007	1042.3435
OLME	4238258.826	478995.5967	1012.7587
SRYN	4233904.5	453691.5851	1227.0198
SLCK	4210077.248	456583.4271	1204.154
KONY	4193116.972	446671.0373	1411.921
KADI	4233362.268	432546.6849	1244.3366
	5^0		
SUTC	4202247.732	476263.2007	1042.3435
OLME	4238258.826	478995.5967	1012.7587
SRYN	4233904.5	453691.5851	1227.0198
SLCK	4210077.248	456583.4271	1204.154
KONY	4193116.972	446671.0373	1411.921
KADI	4233362.268	432546.6849	1244.3366
	10^0		
SUTC	4202247.733	476263.2016	1042.3414
OLME	4238258.826	478995.5976	1012.7576
SRYN	4233904.499	453691.5855	1227.0198
SLCK	4210077.248	456583.4276	1204.1543
KONY	4193116.972	446671.0373	1411.8955
KADI	4233362.268	432546.6847	1244.3095
	15^0		
SUTC	4202247.733	476263.201	1042.3345
OLME	4238258.827	478995.597	1012.7475
SRYN	4233904.5	453691.5855	1227.0138
SLCK	4210077.247	456583.4293	1204.1525
KONY	4193116.972	446671.0373	1411.9158
KADI	4233362.268	432546.6856	1244.3338

5.5.2.1. TUTGA İle GPT modeli nokta koordinatları farkları

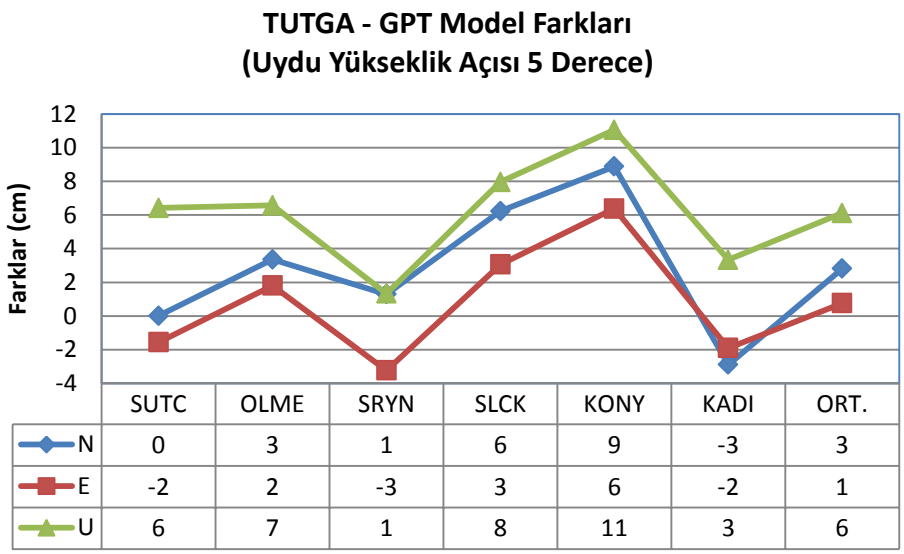
0^o, 5^o, 10^ove 15^o lik yükseklik açılarına göre TUTGA ile GPT modeli nokta koordinat farkları değerlendirilmiş ve sonuçlar (Tablo 5.9)'da verilmiştir.

0^o lik uydu yükseklik açısında TUTGA nokta koordinatları ile GPT kullanılarak elde edilen koordinatlar karşılaştırılmıştır. Jeodezik Kuzey, N yönünde ortalama 3 cm, Jeodezik Doğu E yönünde ortalama 1 cm ve Elipsoit Yükseklik U yönünde ortalama 6 cm'lik farklılıklar elde edilmiştir.

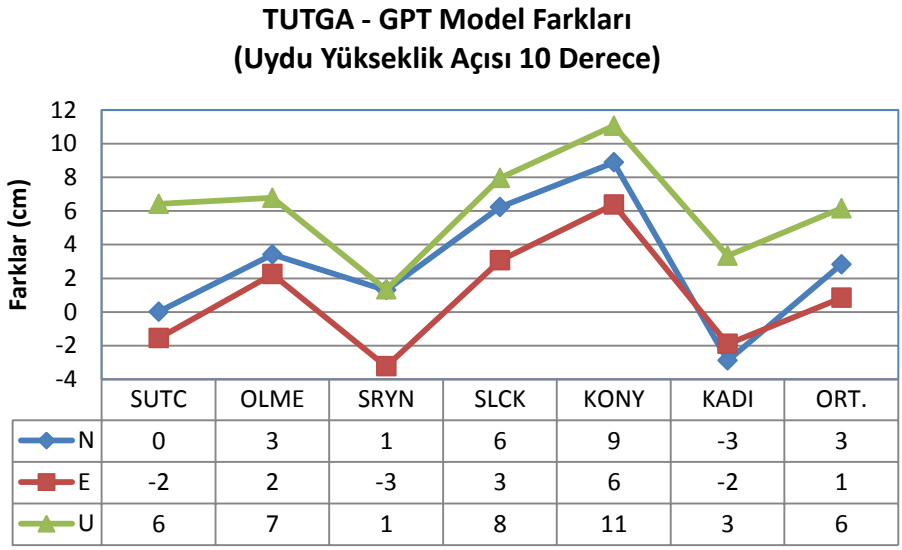
Tablo 5.9. Farklı Yükseklik Açılarına Göre TUTGA-GPT Model Farkları



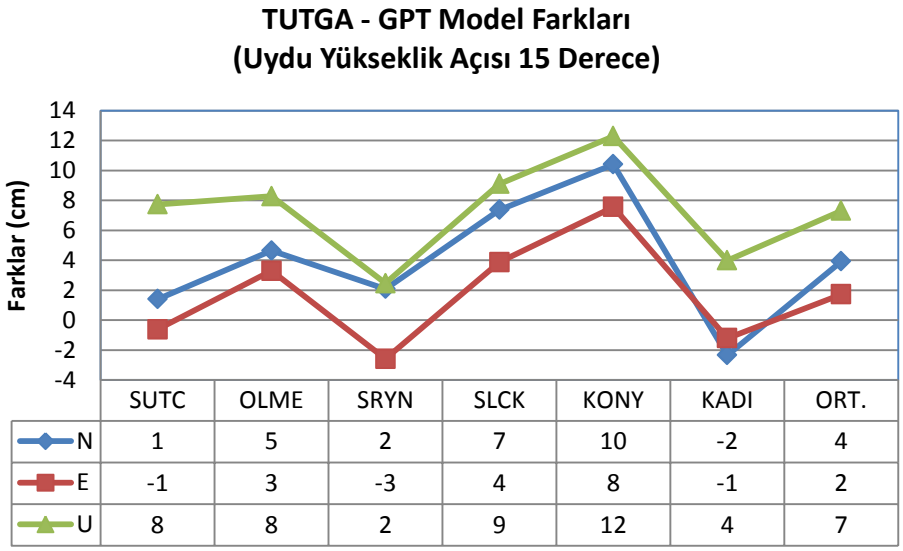
	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	0	3	1	6	9	-3	3
E	-2	2	-3	3	6	-2	1
U	6	7	1	8	11	3	6



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	0	3	1	6	9	-3	3
E	-2	2	-3	3	6	-2	1
U	6	7	1	8	11	3	6



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	0	3	1	6	9	-3	3
E	-2	2	-3	3	6	-2	1
U	6	7	1	8	11	3	6



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	1	5	2	7	10	-2	4
E	-1	3	-3	4	8	-1	2
U	8	8	2	9	12	4	7

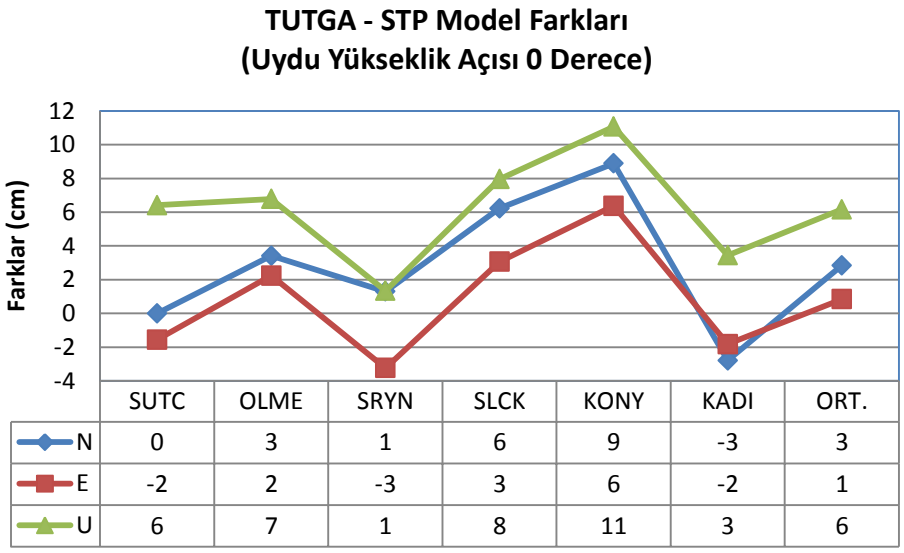
0^o, 5^o ve 10^o derecelik uydu yükseklik açılarında TUTGA ile GPT model arasındaki Jeodezik Kuzey, Jeodezik Doğu ve Elipsoit Yükseklik N,E,U yönlerindeki koordinat farkları ortalama; 3,10 ve 6 cm olarak elde edilmiştir. 15^o lik uydu yükseklik açılarında TUTGA ile GPT model arasındaki Jeodezik Kuzey, Jeodezik Doğu ve Elipsoit Yükseklik N,E,U yönlerindeki koordinat farkları ortalama; 4, 2 ve 7 cm olarak elde edilmiştir.

Elde edilen koordinat farklarının kış ölçüleri ile de uyumlu olduğu görülmüştür.

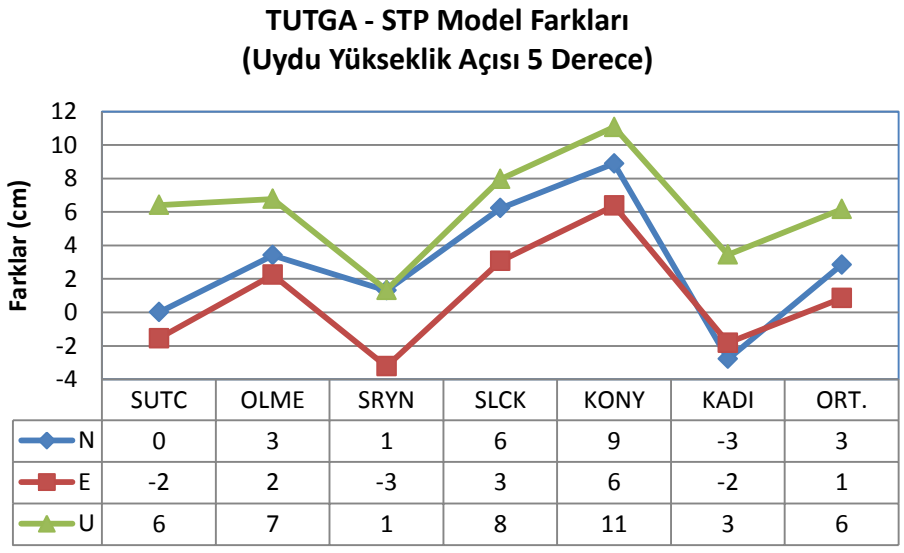
5.5.2.2. TUTGA ile STP modeli nokta koordinatları farkları

Standart Sıcaklık Basınç (STP) (1013,15; hPa; 20 C^{o}) GAMIT/GLOBK meteorolojik gözlem veri kaynağı olarak seçilebilmektedir. STP troposfer modelinin kullanılması ile elde edilen koordinat değerleri, TUTGA koordinatları ile farklı yükseklik açılarında karşılaştırılmıştır. (Tablo 5.10)

Tablo 5.10. Farklı Yükseklik Açılarına Göre TUTGA-STP Model Farkları

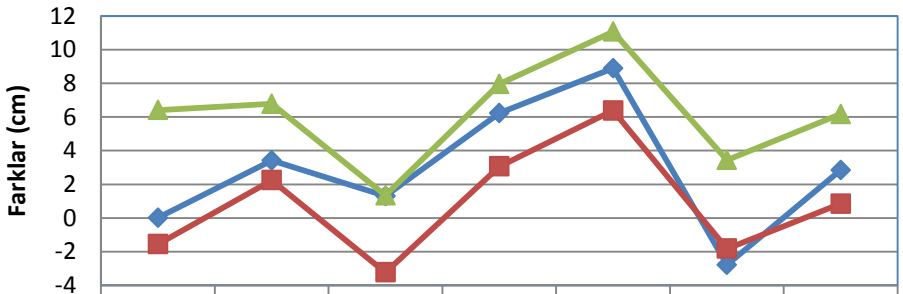


	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	0	3	1	6	9	-3	3
E	-2	2	-3	3	6	-2	1
U	6	7	1	8	11	3	6



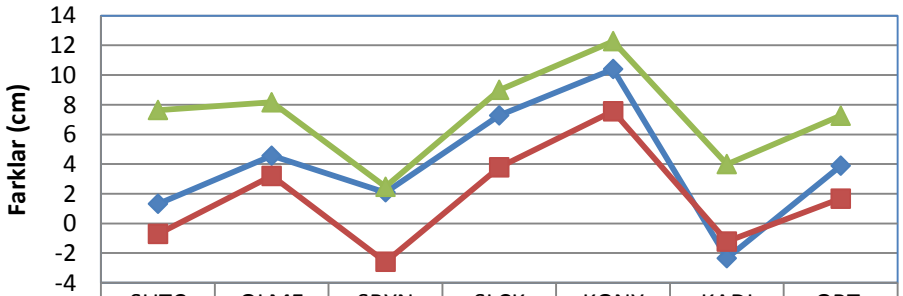
	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	0	3	1	6	9	-3	3
E	-2	2	-3	3	6	-2	1
U	6	7	1	8	11	3	6

TUTGA - STP Model Farkları
(Uydu Yükseklik Açısı 10 Derece)



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	0	3	1	6	9	-3	3
E	-2	2	-3	3	6	-2	1
U	6	7	1	8	11	3	6

TUTGA - STP Model Farkları
(Uydu Yükseklik Açısı 15 Derece)



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	1	5	2	7	10	-2	4
E	-1	3	-3	4	8	-1	2
U	8	8	2	9	12	4	7

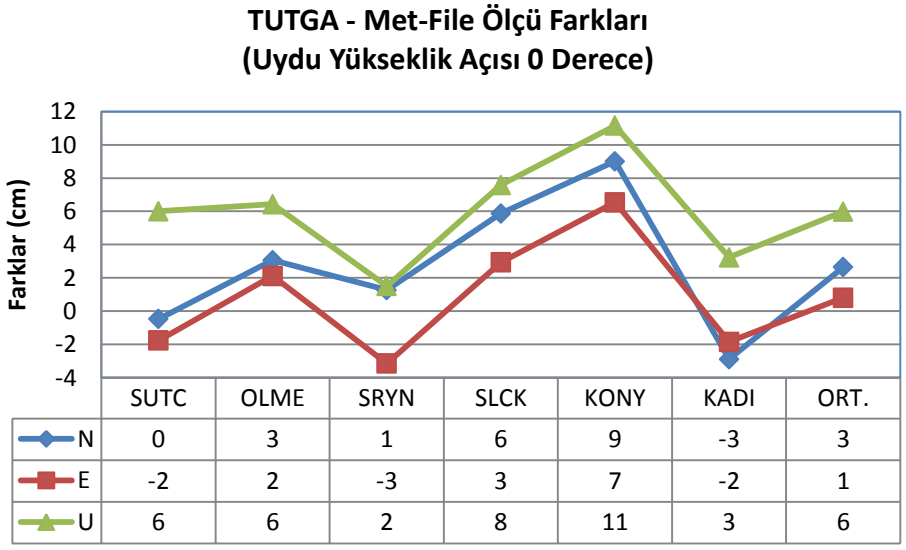
0^o, 5^o ve 10^o lik uydu yükseklik açısı kullanıldığı durumda TUTGA noktaları ile STP model çözümleri arasında Jeodezik Kuzey, Jeodezik Doğu ve Elipsoit Yükseklik N,E,U yönünde ortalama; 3, 1 ve 6 cm'lik farklılıklar bulunmuştur. 15^o lik uydu yükseklik açısı kullanıldığı durumda TUTGA noktaları ile STP model çözümleri arasında Jeodezik Kuzey, Jeodezik Doğu ve Elipsoit Yükseklik N,E,U yönünde ortalama; 4, 2 ve 7 cm'lik farklılıklar bulunmuştur.

Yaz ölçülerinin analizi sonucunda 0^o, 5^o ve 10^0 lik uydu yükseklik açılarının kullanılması ile TUTGA ve STP modelleri ile elde edilen koordinatların arasında ortalama 2 mm seviyesinde uyumlu olduğu gözlenmiştir.

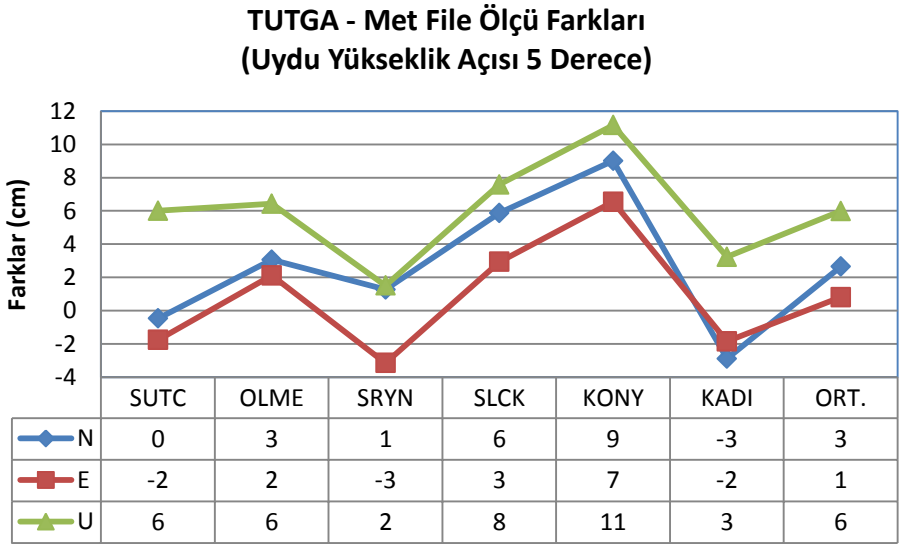
5.5.2.3. Yerinde ölçülen gerçek meteorolojik parametreler (GMV) ile TUTGA nokta koordinatları

Ölçü noktalarında 30 dakika aralıklı meteorolojik sensör ile elde edilen sıcaklık, basınç ve nem değerleri Gamit "met-file" girdi dosyasına dönüştürülmüştür. GMV verileri process aşamasında, gözlem verileri ile birlikte hesaplamalarda girdi olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur (Tablo 5.11).

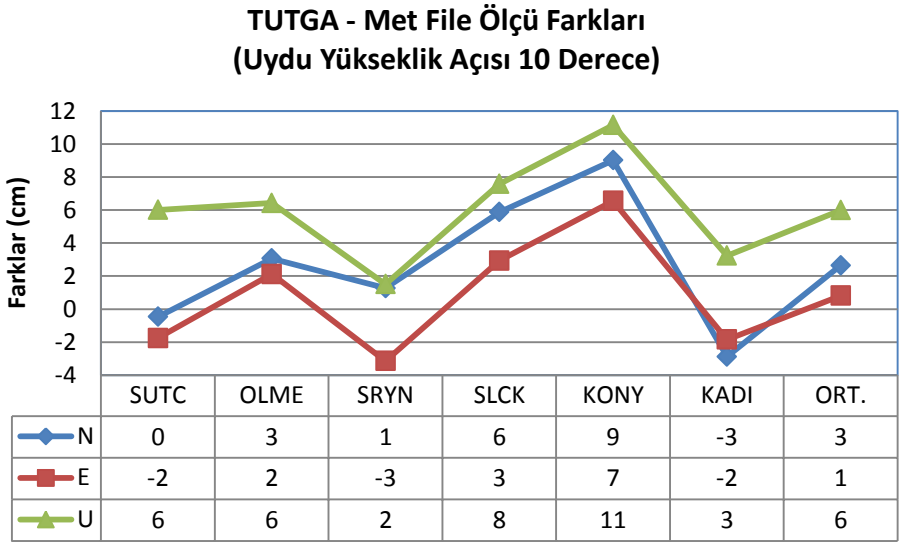
Tablo 5.11. Farklı Yükseklik Açılarına Göre TUTGA-Met-File Ölçü Farkları



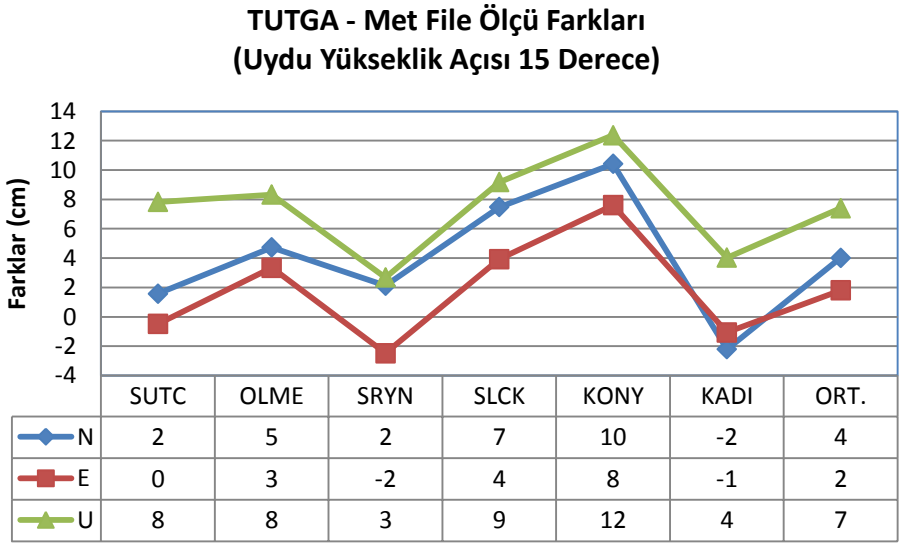
	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	0	3	1	6	9	-3	3
E	-2	2	-3	3	7	-2	1
U	6	6	2	8	11	3	6



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	0	3	1	6	9	-3	3
E	-2	2	-3	3	7	-2	1
U	6	6	2	8	11	3	6



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	0	3	1	6	9	-3	3
E	-2	2	-3	3	7	-2	1
U	6	6	2	8	11	3	6



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ORT.
N	2	5	2	7	10	-2	4
E	0	3	-2	4	8	-1	2
U	8	8	3	9	12	4	7

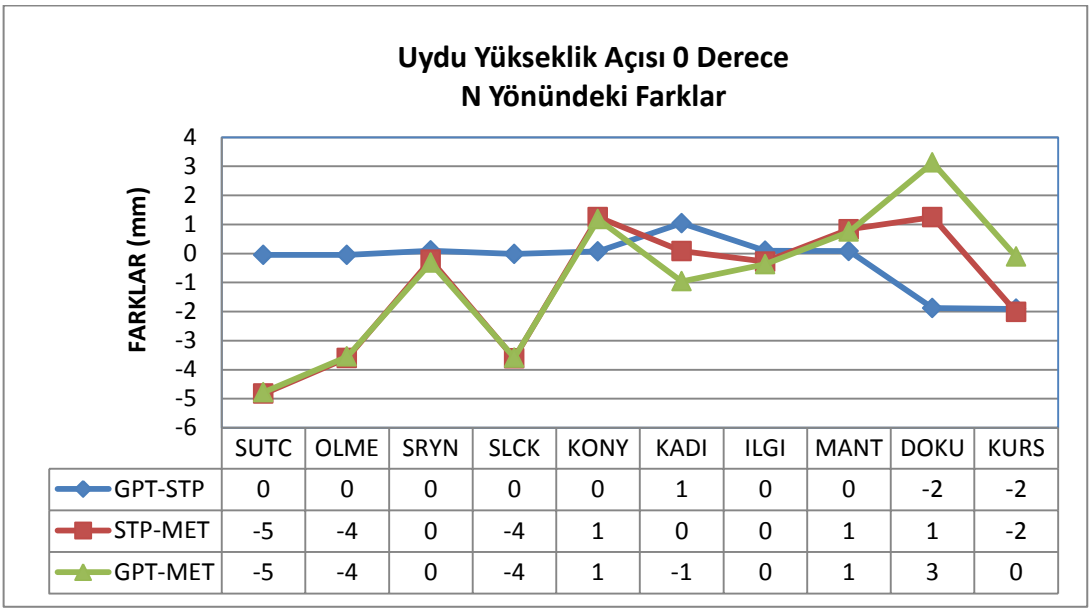
Gerçek meteorolojik ölçümlerin (Met-File) process aşamasında girdi olarak kullanılması ile elde edilen koordinat farkları 0^o, 5^o ve 10^o lik uydu yükseklik açılarında 3, 1, 6 cm olarak, 15^o lik uydu yükseklik açılarında ise 4, 2, 7 cm olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçların kış ölçüleri sonucu bulunan değerlerle aynı olduğu gözlenmiştir.

5.5.2.4. Farklı uydu yükseklik açılarında elde edilen koordinat değişimleri

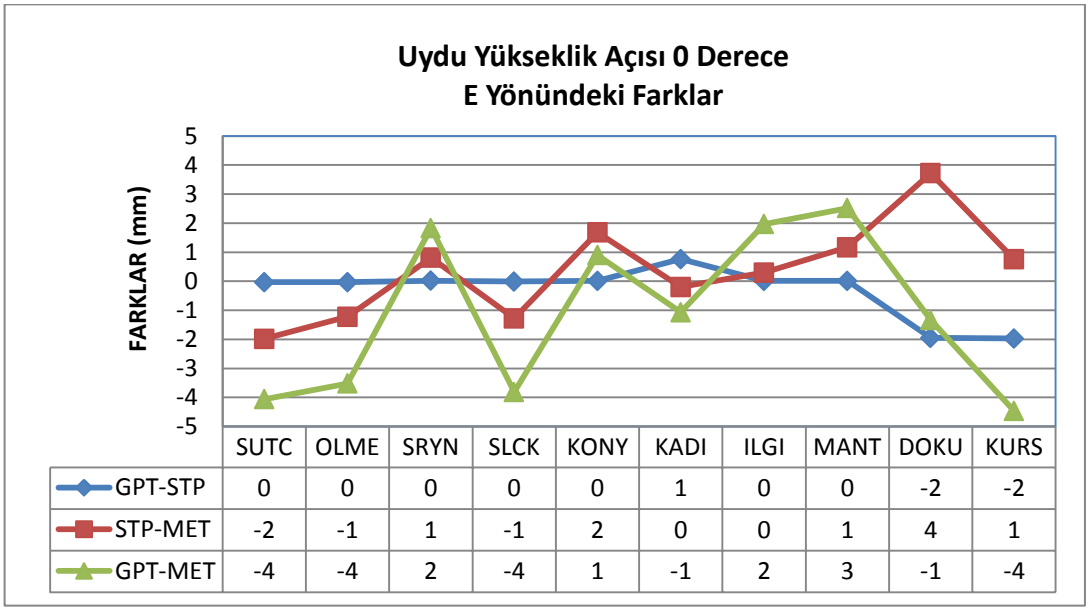
Nokta koordinatlarının hesaplanmasında 0, 5, 10 ve 15 derecelik uydu yükseklik açıları kullanılmıştır. Farklı uydu yükseklik açılarının nokta koordinatlarındaki değişim miktarları ile troposferik model (GPT, STP) ve yerinde ölçülen GMV ayrı ayrı kullanılması sonucu elde edilen Jeodezik Kuzey, Jeodezik Doğu ve Elipsoit Yükseklik

N,E,U yönündeki Yerel koordinat farkları da incelenerek aşağıda verilmiştir (Tablo 5.12).

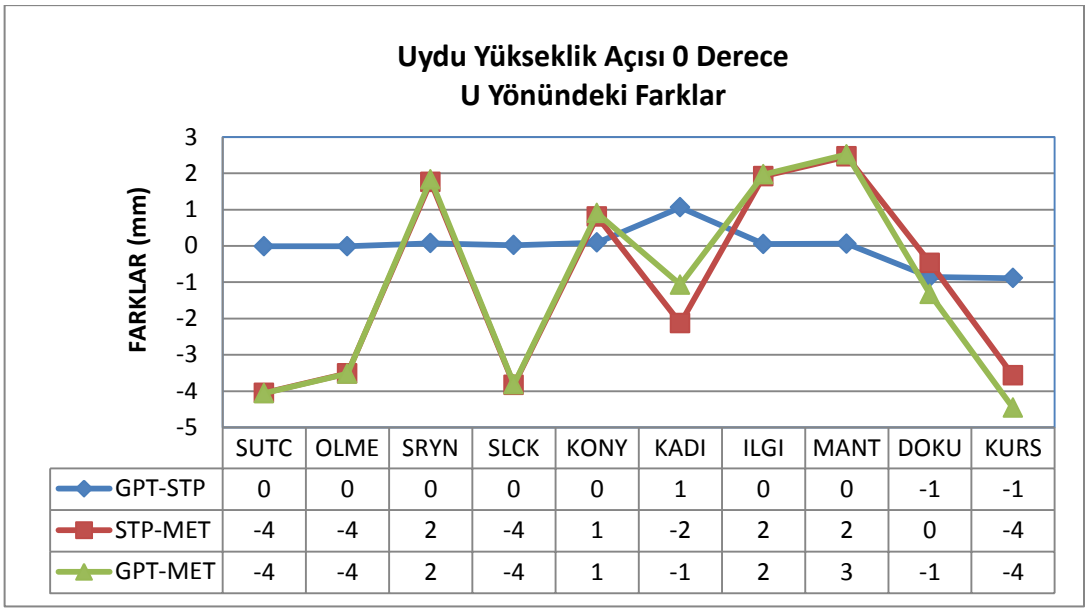
Tablo 5.12. Farklı Yükseklik Açılarında Elde Edilen Koordinat Değişimleri



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	0	0	0	0	0	1	0	0	-2	-2
STP-MET	-5	-4	0	-4	1	0	0	1	1	-2
GPT-MET	-5	-4	0	-4	1	-1	0	1	3	0



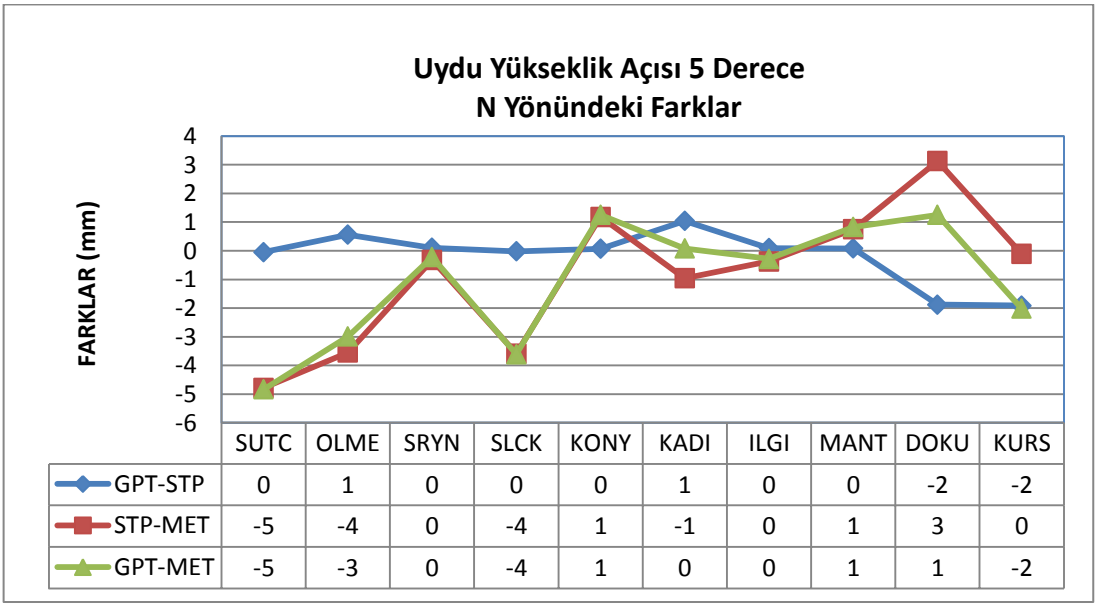
	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	0	0	0	0	0	1	0	0	-2	-2
STP-MET	-2	-1	1	-1	2	0	0	1	4	1
GPT-MET	-4	-4	2	-4	1	-1	2	3	-1	-4

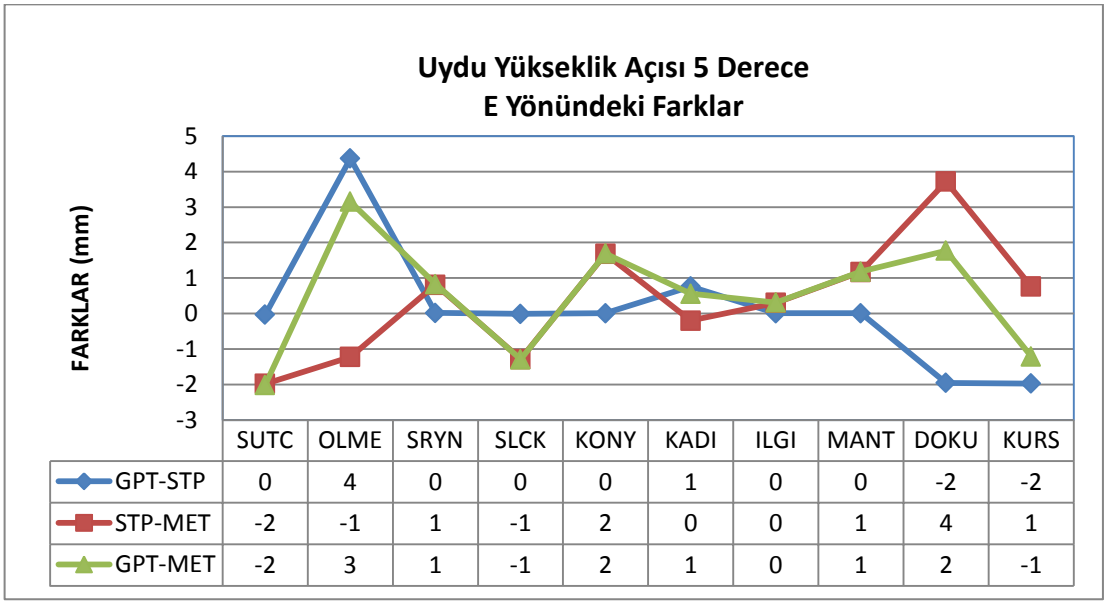


0^o lik uydu yükseklik açısı ile gerçekleştirilen hesap sonucunda Jeodezik Kuzey N yönündeki ortalama koordinat değişimleri, GPT-STP arasında -2 mm, STP-GMV -2 mm ve GPT-GMV 0 mm olarak elde edilmiştir.

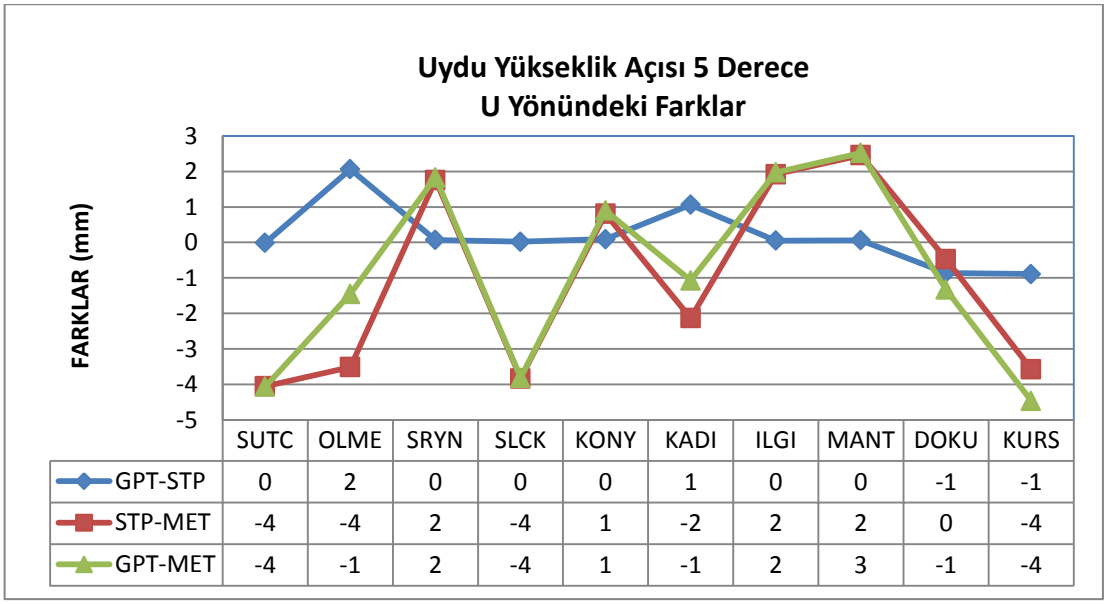
0^o lik uydu yükseklik açısıyla gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda; GPT-STP modellerinin kullanıldığı analiz çalışmalarında elde edilen koordinat değerleri ortalama 1 mm ile uyumlu olduğu görülmüştür. STP-GMV ile GPT-GMV arasındaki değişimlerin birbirleri ile uyumlu ancak ortalama 3 mm'lik değişimler gözlenmiştir (Tablo 5.13).

Tablo 5.13. Farklı Yükseklik Açılarında Elde Edilen Koordinat Değişimleri





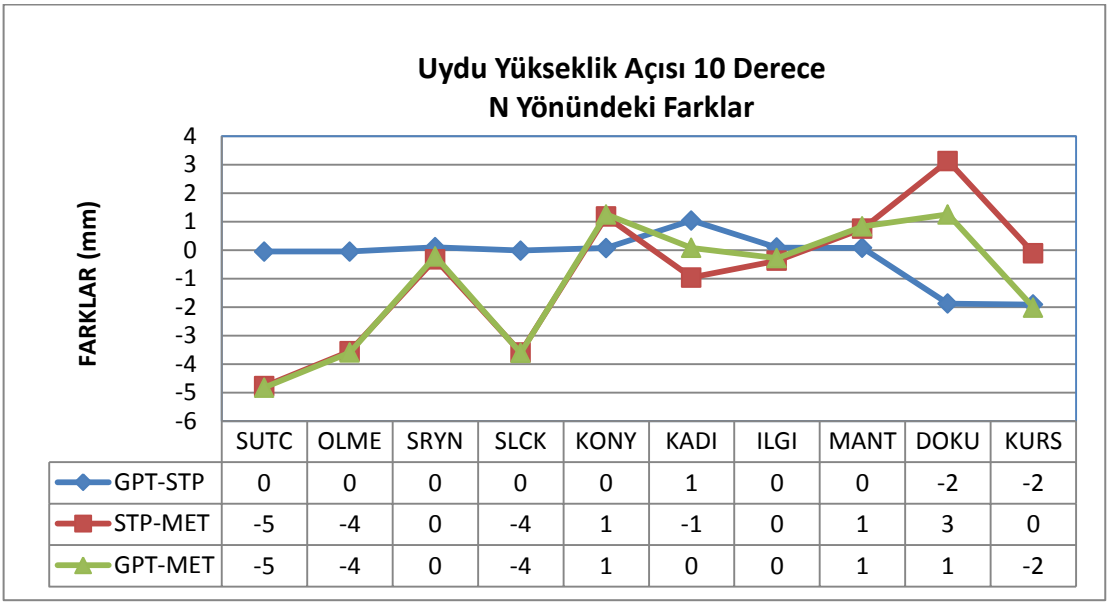
	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	0	4	0	0	0	1	0	0	-2	-2
STP-MET	-2	-1	1	-1	2	0	0	1	4	1
GPT-MET	-2	3	1	-1	2	1	0	1	2	-1



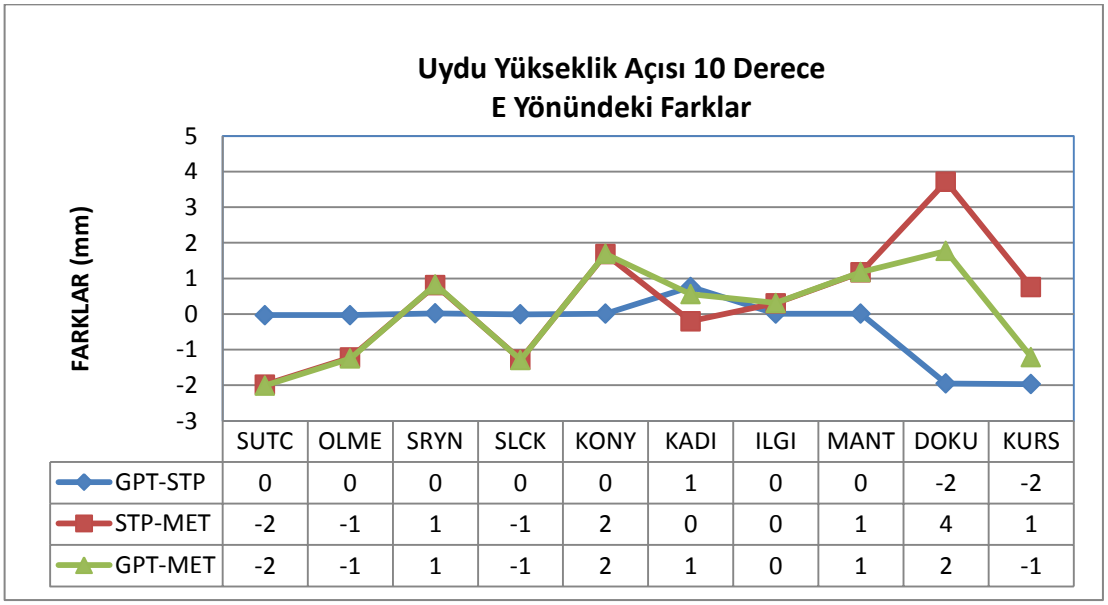
	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	0	2	0	0	0	1	0	0	-1	-1
STP-MET	-4	-4	2	-4	1	-2	2	2	0	-4
GPT-MET	-4	-1	2	-4	1	-1	2	3	-1	-4

5^{o} lik uydu yükseklik açısıyla gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda; STP-GMV çözümleri ile GPT-GMV çözümlerinde ortalama 1 mm'lik değişimler gözlenmiştir. Buna karşın GPT-STP çözümlerinin 0 mm'lik değişim eşiğinde seyrettiği görülmüştür (Tablo 5.14), (Tablo 5.15).

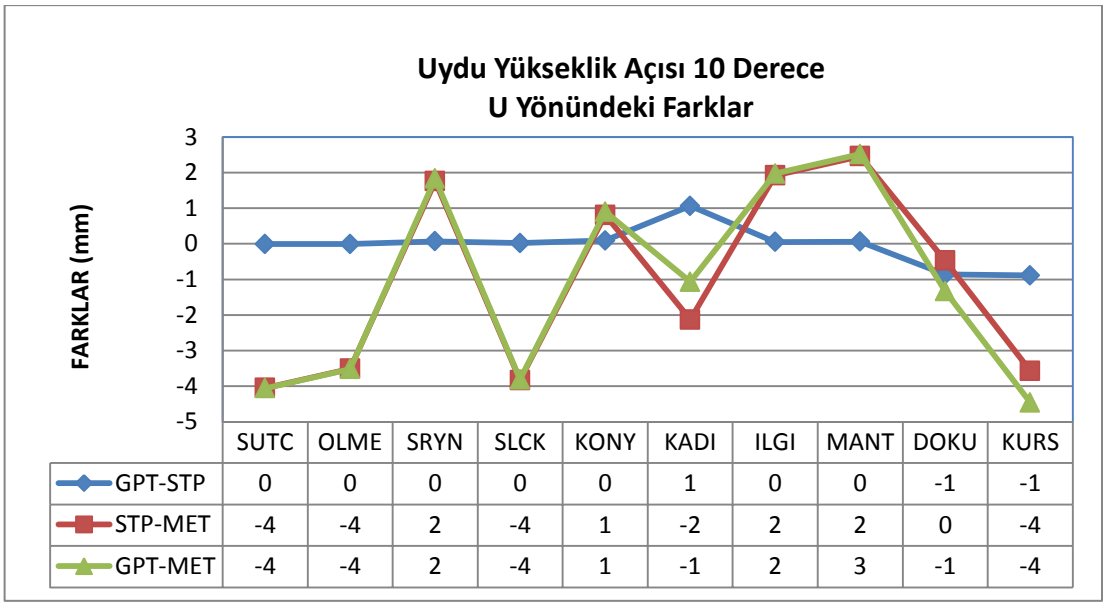
Tablo 5.14. Farklı Yükseklik Açılarında Elde Edilen Koordinat Değişimleri



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	0	0	0	0	0	1	0	0	-2	-2
STP-MET	-5	-4	0	-4	1	-1	0	1	3	0
GPT-MET	-5	-4	0	-4	1	0	0	1	1	-2

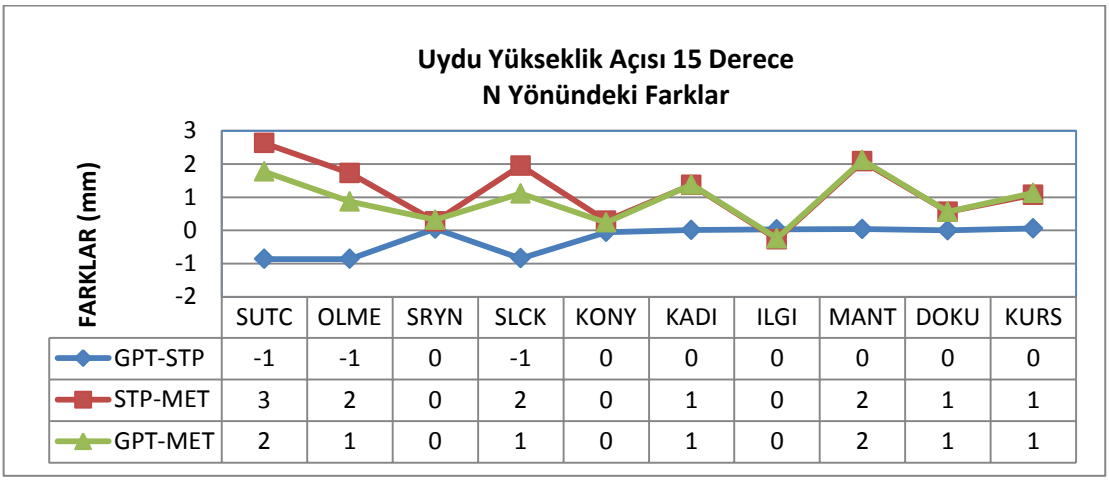


	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	0	0	0	0	0	1	0	0	-2	-2
STP-MET	-2	-1	1	-1	2	0	0	1	4	1
GPT-MET	-2	-1	1	-1	2	1	0	1	2	-1

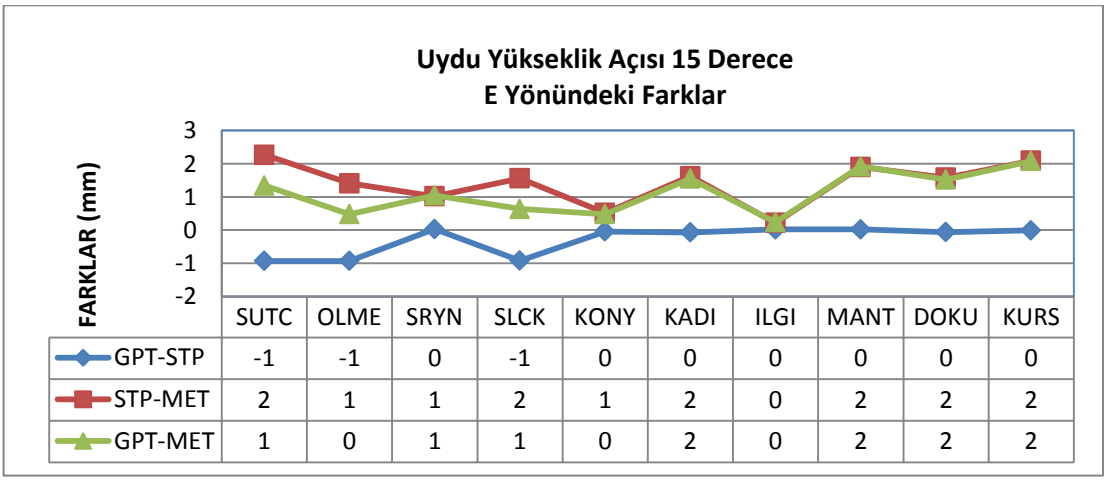


	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	-1
STP-MET	-4	-4	2	-4	1	-2	2	2	0	-4
GPT-MET	-4	-4	2	-4	1	-1	2	3	-1	-4

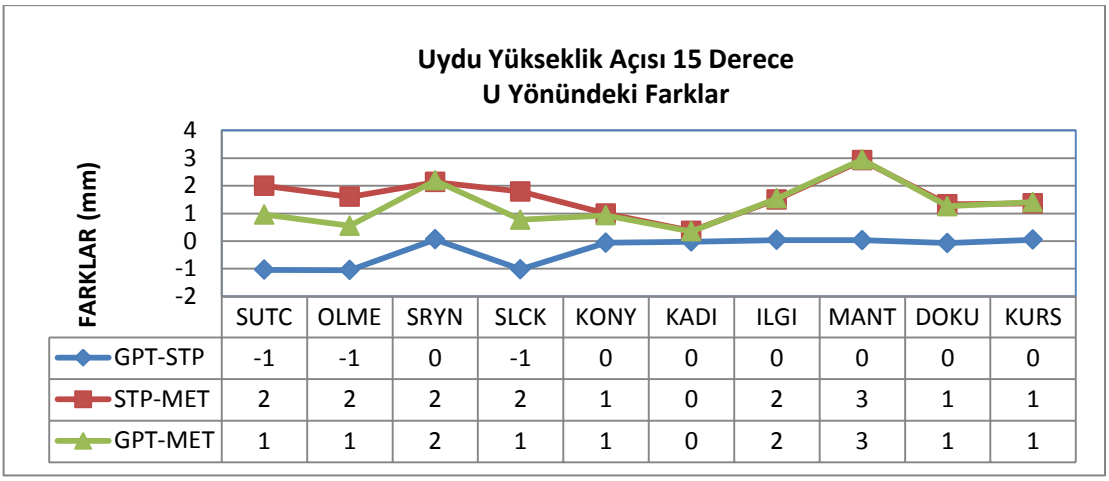
Tablo 5.15. Farklı Yükseklik Açılarında Elde Edilen Koordinat Değişimleri



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	-1	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0
STP-MET	3	2	0	2	0	1	0	2	1	1
GPT-MET	2	1	0	1	0	1	0	2	1	1



	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	-1	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0
STP-MET	2	1	1	2	1	2	0	2	2	2
GPT-MET	1	0	1	1	0	2	0	2	2	2



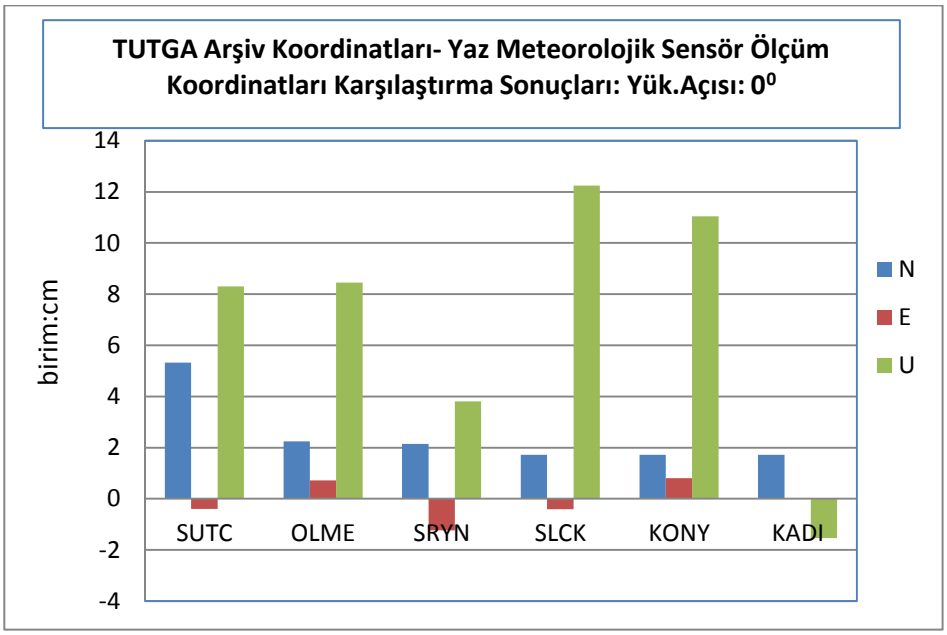
	SUTC	OLME	SRYN	SLCK	KONY	KADI	ILGI	MANT	DOKU	KURS
GPT-STP	-1	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0
STP-MET	2	2	2	2	1	0	2	3	1	1
GPT-MET	1	1	2	1	1	0	2	3	1	1

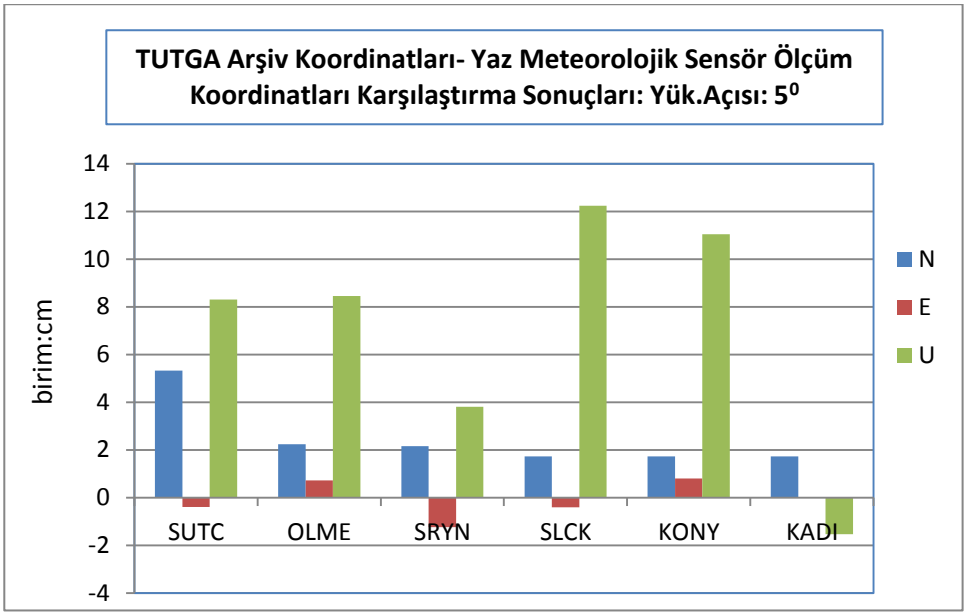
10^o ve 15^o 'lik uydu yükseklik açılarının kullanıldığı hesaplama sonuçlarında; N,E,U yönlerindeki koordinat değişimlerinde GPT-STP modellerinde kayda değer bir gelişim görünmezken en iyi yükseklik bileşen değişimini GPT-MET değerleri vermiştir.

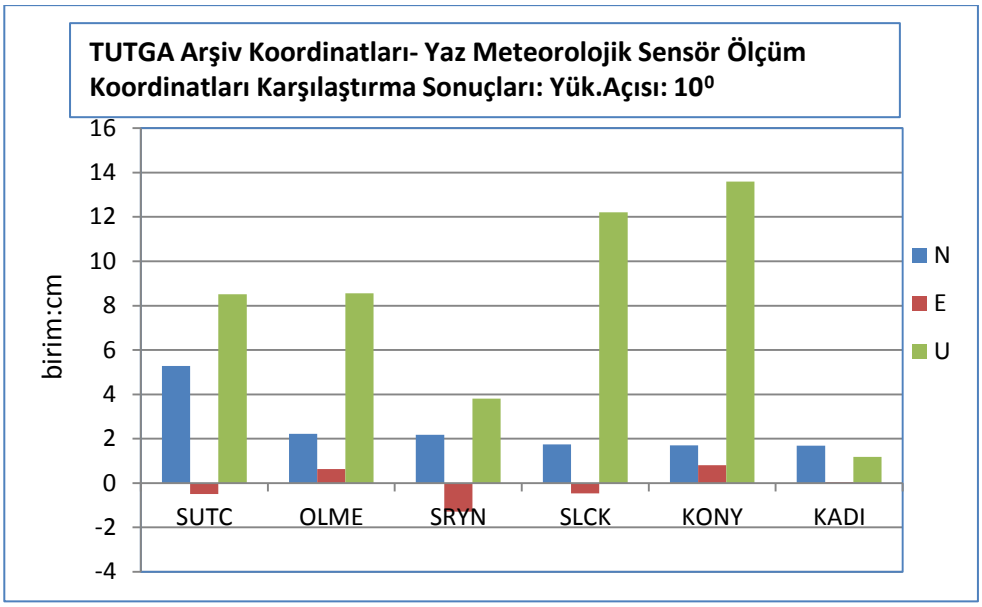
5.5.2.5. TUTGA arşiv- TUTGA met-file karşlaştırmaları

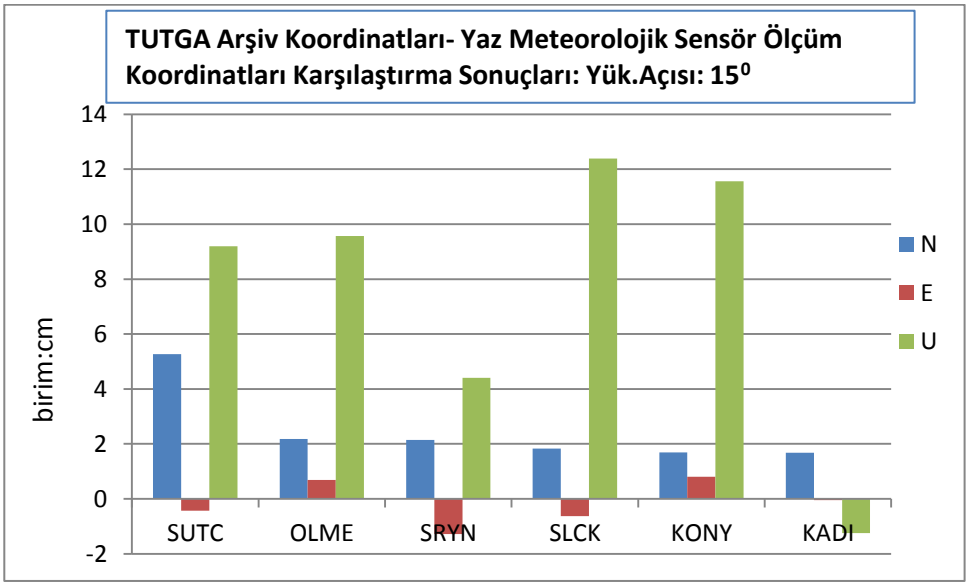
Çalışma Alanındaki TUTGA noktalarının; Arşiv Koordinatlarıyla; Yaz Mevsiminde yapılan Meteorolojik Sensör Verileri ölçümünden elde edilen ve 0^0, 5^0, 10^0, 15^0lik yükseklik açılarına göre hesaplanıp Yerel Koordinat Sistemine dönüştürülen koordinatların farkları karşılaştırılmıştır. Oluşan farklar Tablo 5.16 da verilmiştir.

Tablo 5.16. TUTGA Arşiv- TUTGA Met-File Koordinat Karşılaştırmaları









Değişik yükseklik açılarına göre arşiv koordinatlarıyla, Yaz Mevsimi Meteorolojik sensör verilerinden elde edilen koordinatlar karşılaştırıldığında Elipsoid Yükseklik (Up) değerlerinin; Kuzey (North), Yatay (Easth) değerlerine göre 2~9 cm arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Konya (KONY) TUTGA Noktasının pilye başı düz bir zeminde olmadığı için alet yüksekliği her yönden doğru bir şekilde ölçülememiş ve bu nedenle bu çalışma kapsamında yapılan yorumlarda dikkate alınmamış, ancak grafiklerde gösterilmiştir.

5.5.2.6. Yaz ölçüsü analiz sonuçları

GPT, SPT ve Met-File (Gerçek Meteorolojik Veriler-GMV) verileri farklı uydu yükseklik açıları kullanılarak ayrı ayrı hesap/analiz çalışmaları yapılmıştır. 0^o, 5^o, 10^o lik uydu yükseklik açılarının kullanıldığı çözümlerde; nokta koordinatlarının TUTGA nokta koordinatlarından Jeodezik Kuzey (N), yönünde olan ortalama farkları 3 cm, Jeodezik Doğu (E) yönünde 1 cm, Elipsoit Yükseklik (U) yönünde ise 6 cm olarak elde edilmiştir.

15^o lik uydu yükseklik açısının kullanıldığı çözümlerde; nokta koordinatlarının TUTGA nokta koordinatlarından N yönünde olan farkları ortalama 4 cm, E yönünde 2cm ve U yönünde 7 cm olarak elde edilmiştir.

Yukarıda verilen ortalama değişim miktarları GPT, STP ve GMV kullanılması durumlarında da benzer sonuçları vermiş olup, en fazla farkın Elipsoit Yükseklik (U) değerinde ve 15^o lik uydu yükseklik açısı kullanıldığı durumda olduğu ortaya konmuştur.

Farklı troposferik modellerin kullanıldığı çözümlerde nokta koordinatlarındaki değişimlerin mm seviyesinde kaldığı ve yüksek değişimlerin 10^o nin üzerindeki uydu yükseklik açılarında elde edilebileceği görülmüştür.

0^o, 5^o, 10^o ve 15^o lik uydu yükseklik açılarının kullanıldığı çözüm stratejilerinde; GPT-STP modelleri arasında en fazla 2 mm'lik fark DOKU ve KURS noktalarında elde edilmiştir. STP-GMV modelleri arasında ise en fazla 5 mm'lik fark tespit edilmiştir.

GMV kullanıldığı analizlerde, yerinde ölçülen sıcaklık, basınç ve nem değerlerinde kış ölçüleri ile yaz ölçüleri karşılaştırılırsa en fazla farkın 10^0 ve 15^0 lik açılarda oluştuğu ve ortalama 5 mm.lik değişim olduğu gözlenmiştir.

GMV (Meteorolojik sensör verileri) kullanılmadan Kış ve Yaz Ölçüleri karşılaştırılıdığında ölçülerin birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. TUTGA Noktalarının birbirleriyle olan karşılaştırmalarında elde edilen verilere göre Troposferik Etkinin yerinde Meteorolojik Sensör verileriyle gerçek anlamda minimize edilebileceği görülmüştür. Kış ve Yaz ölçülerinin birbirleriyle uyumlu olduğu da göz önüne alınırsa, TUTGA Arşiv nokta koordinatları modelleme yöntemine göre elde edildiğine göre özellikle Bilimsel çalışmalarda yerinde meteorolojik sensör verilerini kullanmak uygun olacaktır.

Sonuç olarak, yaz ve kış hesap sonuçları kendi aralarında birbirine çok yakın ve tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür. Diğer taraftan, TUTGA arşiv koordinatlarına ait elipsoit

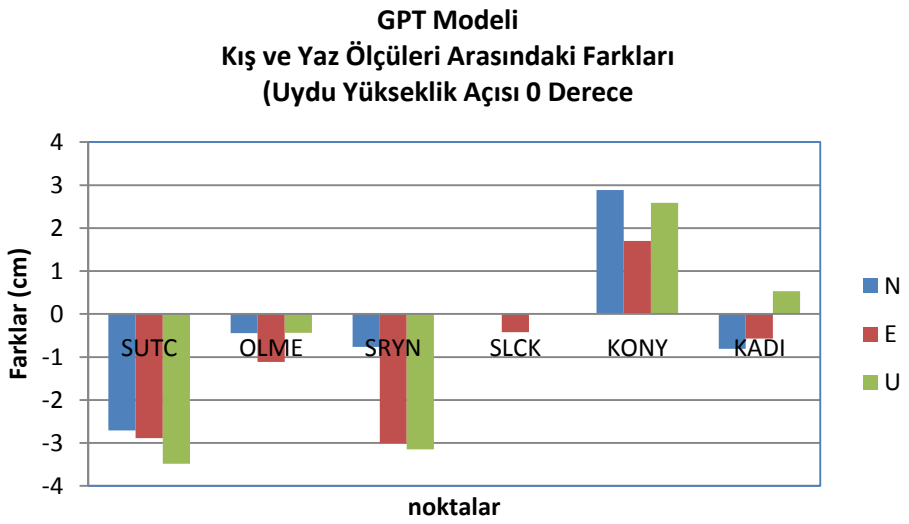
yükseklerle karşılaştırıldığında, aralarında 10 cm'ye ulaşan farkların olduğu tespit edilmiştir.

5.6. Farklı Mevsimlerde Gerçekleştirilen Uygulama Çalışmalarının Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bölüm 3'te ayrıntılı olarak anlatıldığı üzere GNSS ölçümlerinde Bilimsel amaçlı çalışmalarda kullanılan troposfer modelleri ile gerçek meteorolojik verilerin, farklı mevsimlerde nokta konumlarına olan etkilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu noktada; farklı uydu yükseklik açıları ile karşılaştırmaların yapılabilmesi için nokta hızları bilinen TUTGA noktalarının kış ölçülerinden hesaplanan koordinatları, yaz ölçülerinin yapıldığı ölçü epoğuna kaydırılmış ve kıyaslamalar ITRF 2008.0 2013.45 epoğunda yapılmıştır.

Nokta koordinatları GPT, STP ve GMV kullanıldığı 0^o, 5^o, 10^o ve 15^o lik uydu yükseklik açıları için ayrı hesaplanmış ve nokta koordinatlarının değişimleri elde edilmiştir (Tablo 5.17).

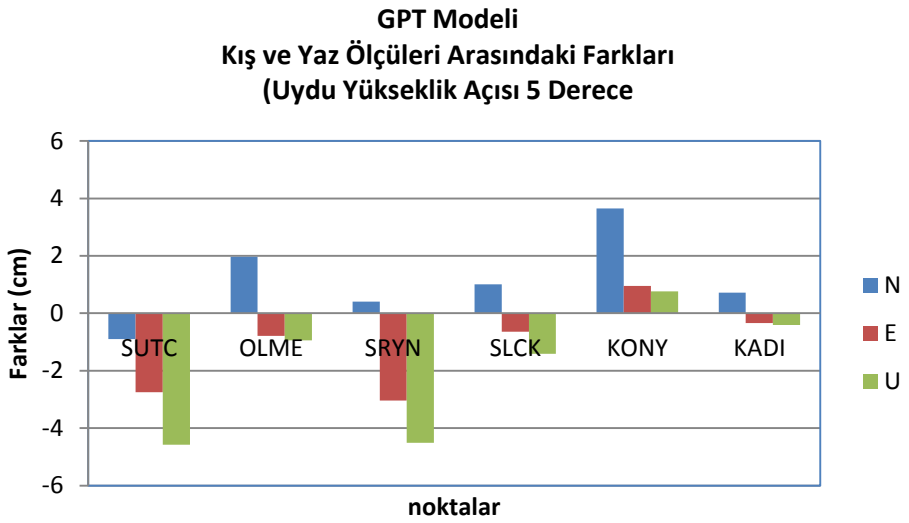
Tablo 5.17. Farklı Mevsimlerde Gerçekleştirilen Uygulama Çalışmaları GPT Modeli (0) Derece



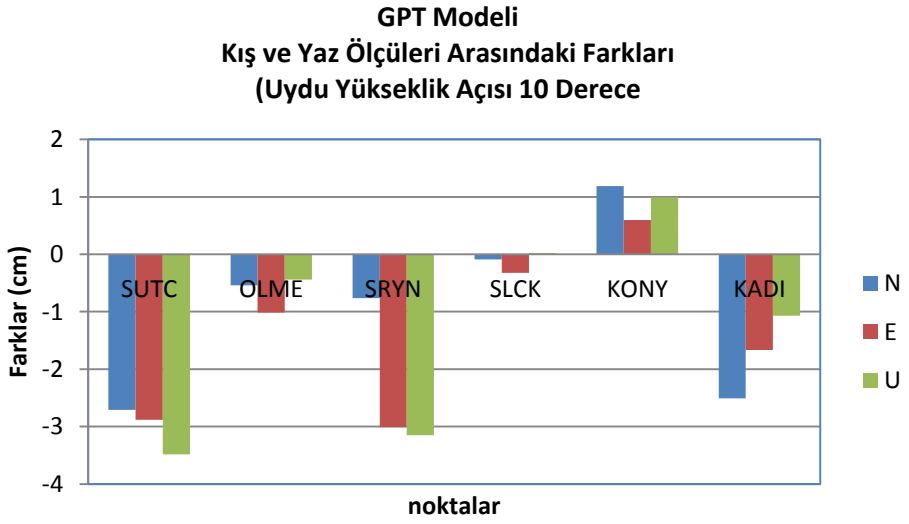
GPT modelinin kullanıldığı hesaplamalarda 0^o lik uydu yükseklik açıları için, kış-yaz ölçüleri arasındaki en büyük fark Jeodezik Kuzey ve Jeodezik Doğu değerleriyle, Elipsoit Yükseklik (N, E, U) eksenlerinde 3 cm olarak elde edilmiştir.

Bahsedilen 3 cm'lik farklar grafikten de görülebileceği gibi SUTC, SRYN ve KONY noktalarında elde edilmiştir (Tablo 5.18), (Tablo 5.19), (Tablo 5.20).

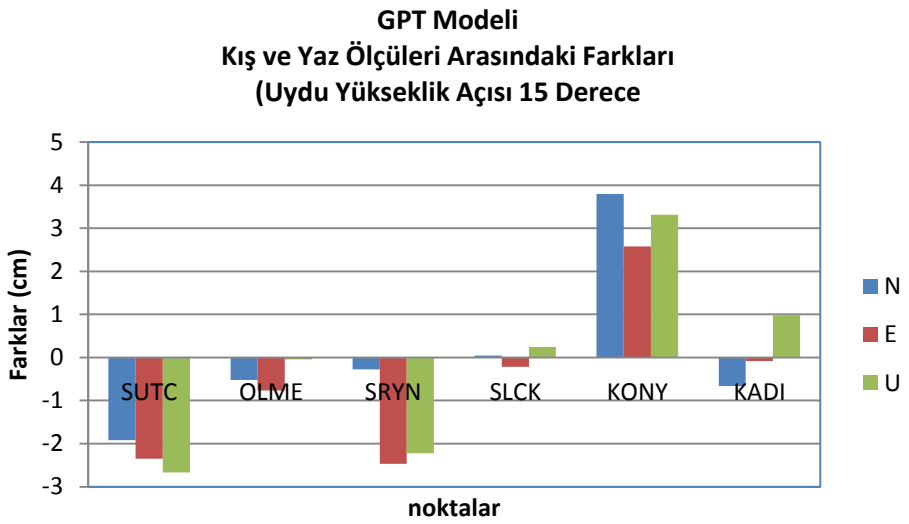
Tablo 5.18. Farklı Mevsimlerde Gerçekleştirilen Uygulama Çalışmaları GPT Modeli (5) Derece



Tablo 5.19. Farklı Mevsimlerde Gerçekleştirilen Uygulama Çalışmaları GPT Modeli (10) Derece

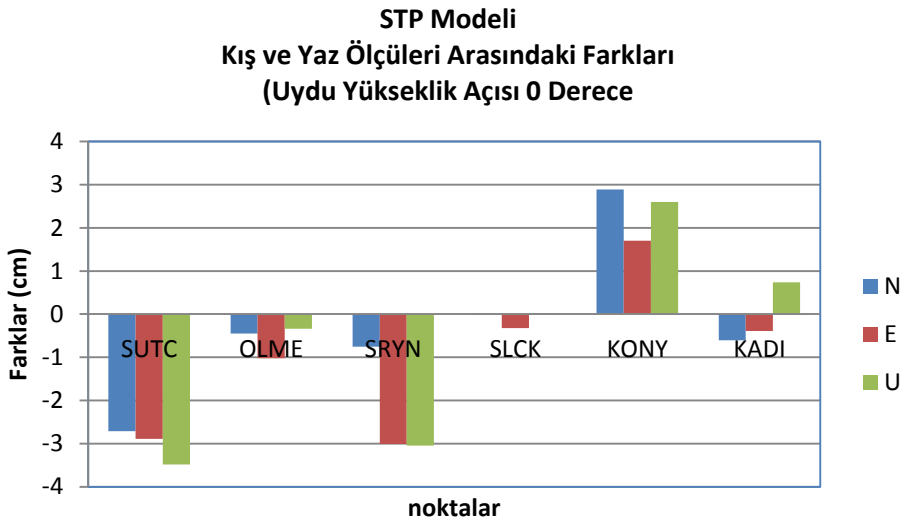


Tablo 5.20. Farklı Mevsimlerde Gerçekleştirilen Uygulama Çalışmaları GPT Modeli (15) Derece

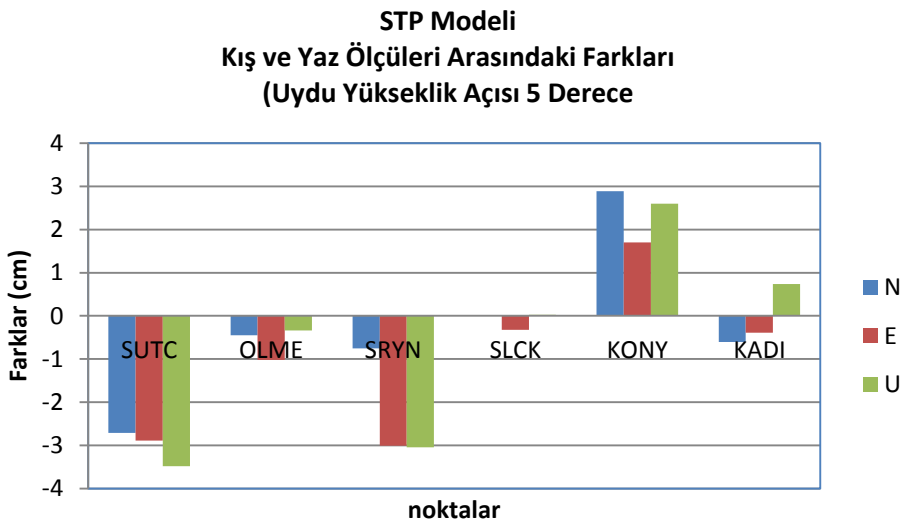


5^o ve 10^o lik uydu yükseklik açılarında SUTC ve SRYN noktalarında 5 cm'lik koordinat değişimi görülmüştür. 15^o lik uydu yükseklik açısında Jeodezik Kuzey ve Jeodezik Doğu değerleriyle, Elipsoit Yükseklik (N, E, U) eksenlerinde ortalama 1 cm'lik koordinat farkları görülmüştür (Tablo 5.21), (Tablo 5.22), (Tablo 5.23), (Tablo 5.24).

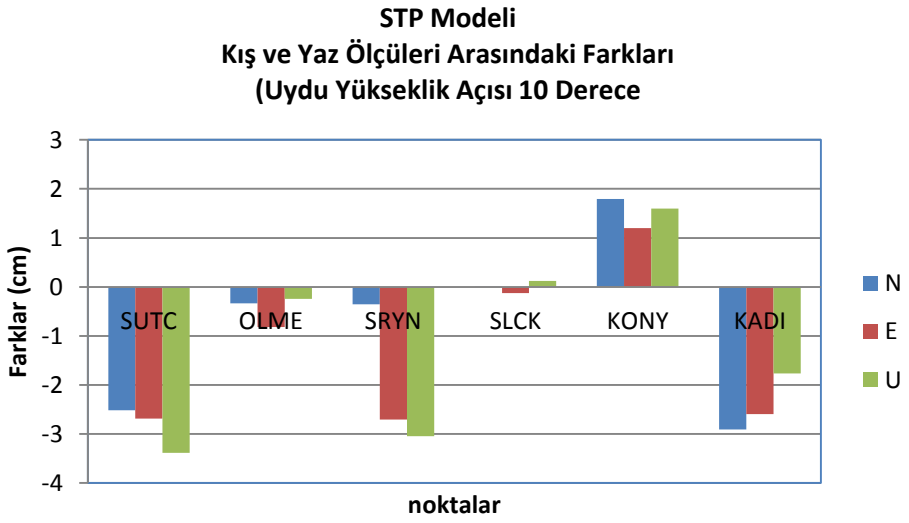
Tablo 5.21. Farklı Mevsimlerde Gerçekleştirilen Uygulama Çalışmaları STP Modeli (0) Derece



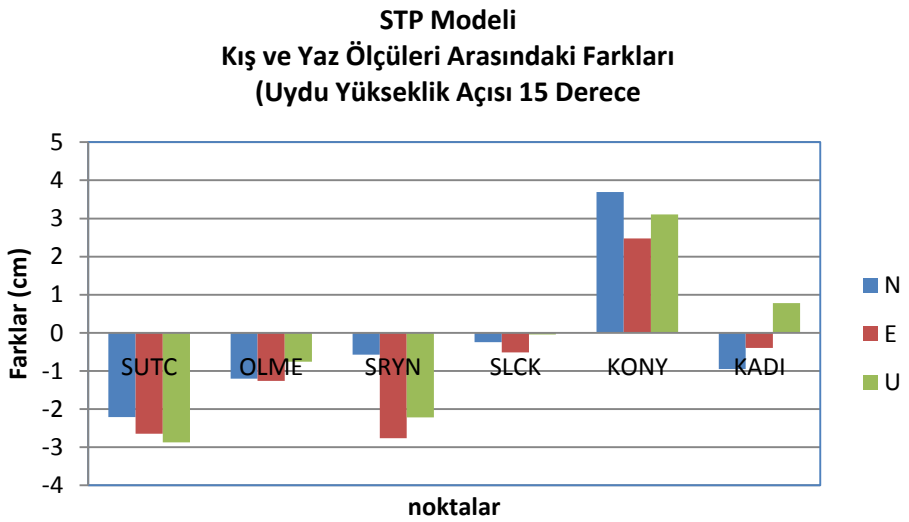
Tablo 5.22. Farklı Mevsimlerde Gerçekleştirilen Uygulama Çalışmaları STP Modeli (5) Derece



Tablo 5.23. Farklı Mevsimlerde Gerçekleştirilen Uygulama Çalışmaları STP Modeli (10) Derece

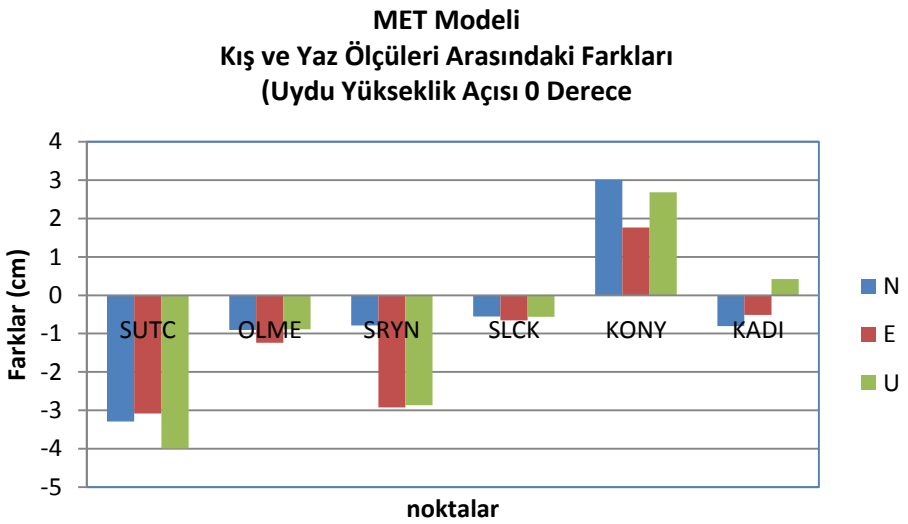


Tablo 5.24. Farklı Mevsimlerde Gerçekleştirilen Uygulama Çalışmaları STP Modeli (15) Derece

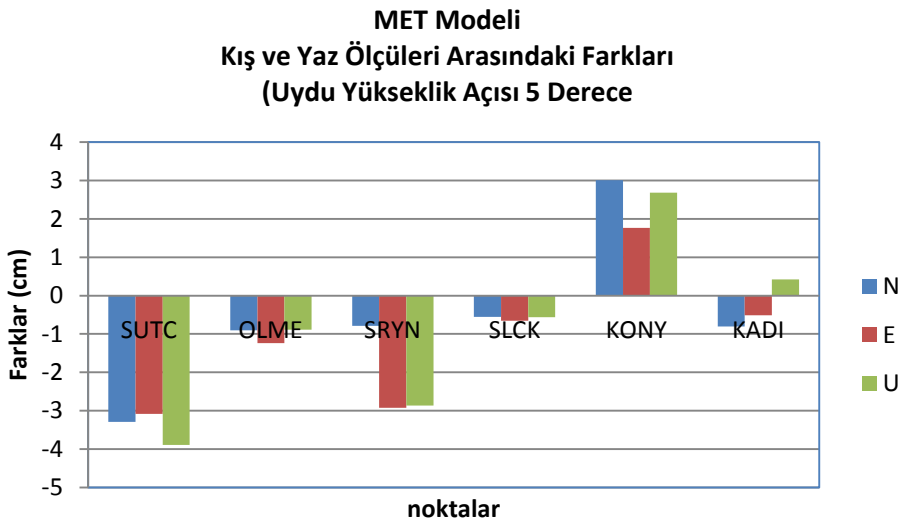


STP modelinin kullanıldığı çözümlerde elde edilen sonuçlar her üç eksende ve farklı uydu yükseklik açılarında, GPT modeli ile elde edilen koordinatlarla 10 mm'lik değişimlerle aynı olarak elde edilmiştir (Tablo 5.25), (Tablo 5.26), (Tablo 5.27), (Tablo 5.28).

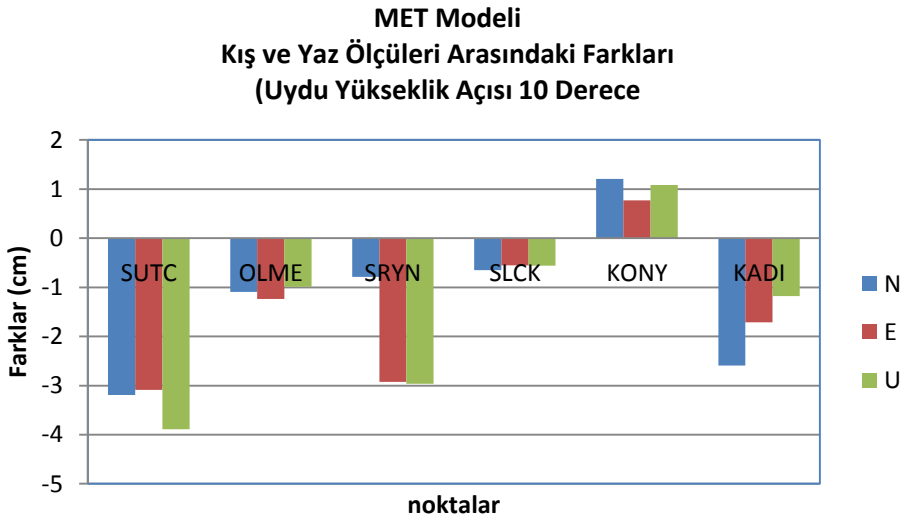
Tablo 5.25. Farklı Mevsimlerde Gerçekleştirilen Uygulama Çalışmaları Met-File Modeli (0) Derece



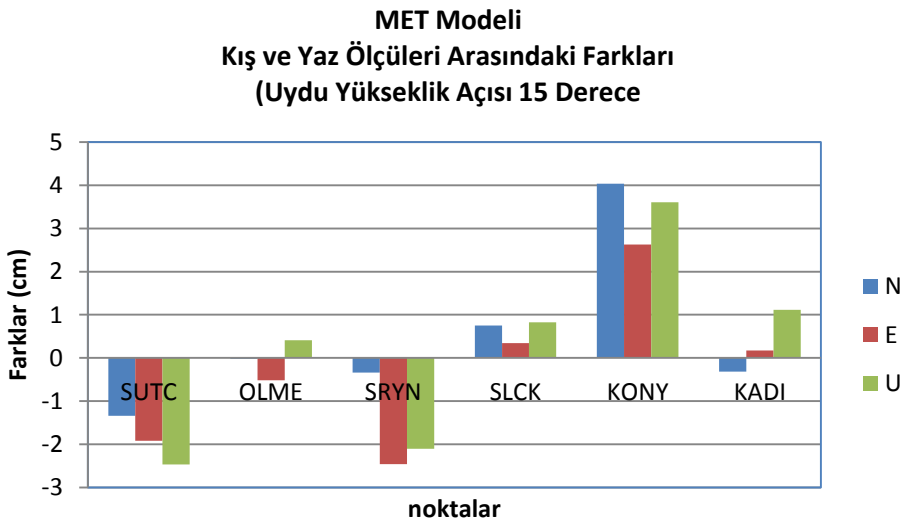
Tablo 5.26. Farklı Mevsimlerde Gerçekleştirilen Uygulama Çalışmaları Met-File Modeli (5) Derece



Tablo 5.27. Farklı Mevsimlerde Gerçekleştirilen Uygulama Çalışmaları Met-File Modeli (10) Derece



Tablo 5.28. Farklı Mevsimlerde Gerçekleştirilen Uygulama Çalışmaları Met-File Modeli (15) Derece



Yerinde ölçülen meteorolojik verilerin kullanıldığı kış ve yaz aylarındaki ölçüm sonucu elde edilen koordinatlar arasındaki farkların, 15^{o} lik uydu yükseklik açısının kullanıldığı çözümlerde ortalama 0 cm ile aynı sonuçları verdiği gözlenmiştir. Buna göre Kış ve Yaz Ölçüm sonuçlarının birbiriyle %100 uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Kış ve Yaz ölçülerinin birbirleriyle uyumlu olduğu da göz önüne alınırsa, TUTGA Arşiv nokta koordinatları modelleme yöntemine göre elde edildiğine göre özellikle Bilimsel çalışmalarda yerinde meteorolojik sensör verilerini kullanmak uygun olacaktır.

TUTGA ölçümlerinin 1996-2000 yılları arasında gerçekleştirildiği, hesaplamalarının da yine aynı yıllara ait hesap ve modellemelerle (örneğin, hesaplamalarda standart atmosfer modeli kullanılması) yapıldığı dikkate alındığında, arazide meteorolojik sensörler ve en son atmosferik modellemeler kullanılarak yapılmış olan bu hesaplamaların daha güvenilir olduğu ifade edilebilir. Ancak, bu yorumun doğrulanması için TUTGA ve/veya TUSAGA-Aktif ağlarının farklı bölümlerini temsil edecek şekilde seçilecek daha fazla sayıda (örneğin 30) noktada, daha fazla sayıda meteorolojik sensör (örneğin 30) temin edilerek aynı çalışmanın tekrar edilmesi ile çok daha doğru sonuçlar elde edilebileceği değerlendirilmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Depremlerin önceden belirlenmesi, Meteorolojik çalışmalar ve yüksek doğruluklu GNSS ağı kurulmasını amaçlayan jeodezik ve jeofizik çalışmalarda elde edilen en düşük doğruluklu koordinat bileşeni yükseklik bilgisidir (≈3-5 cm).

Bu çalışmanın amacı; statik GNSS ölçümleriyle elde edilen GPS elipsoit yüksekliklerinin doğruluklarının hesaplamalarda; standart atmosfer model ve indirgeme fonksiyonu kullanmak yerine, arazide eş zamanlı ölçülen gerçek meteorolojik veriler kullanarak artılıp artılamayacağının belirlenmesidir

Bu çalışmadan elde edilmiş olan sonuçlar incelendiğinde; Arazide ölçülmüş gerçek meteorolojik veriler (ısı, basınç ve nem) GPS hesaplamalarına dahil edildiğinde yatay koordinatlarda önemli bir değişim gözlenmezken; Elipsoit Yüksekliğinin (U) ortalama 5 mm'lik bir değişim göstermesi, GPS ölçüsü yapılan her noktada meteorolojik ölçüm de yapılmasının gerekliliğini ortaya koymuştur.

Bu konuda yapılan pek çok bilimsel çalışmaların halâ yükseklik konum bilgisini iyileştirememesi tezin konuya farklı bir yaklaşımla incelenmesindeki haklılığı doğrulamaktadır.

Sonuç olarak; tez çalışmasının değişik bölümlerinde de ifade edilmiş olduğu gibi bu çalışmanın gerçekte çok daha fazla sayıda meteorolojik sensör ve nokta kullanılarak yapılması gerekirken, maddi yetersizlikler nedeniyle sadece 2 sensör temin edilebilmiş ve arazi ölçüleri dönüşümlü olarak yapılabilmiştir. Bu da elde edilmiş olan sonuçların, eş zamanlı ölçülere dayanmaması nedeniyle, teorik olarak doğru olmasına karşın kesin doğru diye nitelenememektedir. Geçmişte TUTGA ağının hesaplanmasının 1990'lı yılların atmosferik modelleme (standart atmosfer model ve 20 derece yükseklik açısı kullanılarak) ile yapıldığı dikkate alındığında bu çalışmanın önemi daha da iyi ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla, bu çalışmanın, daha kesin ve güvenilir sonuçlar sağlayabilmesi için, TUTGA ve/veya TUSAGA-Aktif ağ noktalarından seçilecek en az 30 noktada ve en az 30 meteorolojik sensörle yapılacak geniş kapsamlı bir çalışmanın çok daha anlamlı olacağı değerlendirilmektedir. Eğer böyle kapsamlı bir çalışmada TUTGA arşiv koordinatları (elipsoit yükseklikleri) ile hesaplanacak koordinatlar arasında birkaç cm seviyesinde fark bulunmasının, TUTGA ve/veya TUSAGA-Aktif koordinat hesaplamalarının yinelenmesini zorunlu kılacağı açıktır.

Troposferik gecikmenin yaklaşık %90'ı kuru, %10'u ise ıslak bileşenden oluşmaktadır. Ancak esas hatayı oluşturan kısmı ıslak bileşendir. Dolayısıyla hatayı elimine etmek için Islak bileşenin çok iyi incelenmesi gerekir. Söz konusu kuru (hydrostatic/dry) kısım basınç değerlerinden modellenebilmektedir. Özellikle, düşük yükseklik (10 dereceden düşük) açılarda oldukça doğru modellenmelidir. Bu kapsamda, mm ve altı bir yükseklik doğruluğu için santimetre altı bir "Zenit Doğrultusundaki Kuru Bileşen" doğruluğuna gereksinim vardır. Böyle bir doğruluğa erişebilmek için ise, ölçülen basıncın 5hPa ve daha iyi olması gerekmektedir. Bu doğrulukta bir basınç değeri ancak lokal ölçümlerle elde edilebilmekte, lokal ölçüm imkanı bulunmayan yerlerde ise alternatif olarak sayısal hava tahmin model verisi (VMF1 grid dosyası gibi) kullanılabilmektedir. Lokal ölçüm değerlerinin her noktada mümkün olmaması, olsa bile bu ölçümlerin doğruluğuna ilişkin güvenirlik sorunu (Kalibrasyonlu alet kullanımı v.b.) nedeniyle genelde sayısal hava tahmin modeli verisi tercih edilmektedir.

Hesap ve analiz tekniği ile yükseklik bileşeninde meydana gelen farklılıklar, GPT modeli veya SPT modelinin kullanılması ya da indirgeme fonksiyonlarının seçilmesine göre farklı sonuçlar vermektedir. Bununla beraber, GPT modeli yerine SPT kullanılması sonucu yükseklikte meydana gelecek koordinat değişimi, indirgeme fonksiyonlarından olan VMF1/GMF arasında yapılacak seçimden daha az etkili olacağı J.Kouba 2009 tarafından ortaya konulmuştur.

Kış ve yaz aylarında gerçekleştirilen hesap analiz çalışmalarının sonucunda; bilimsel amaçlı kullanılan process yazılımından olan GAMIT/GLOBK yazılımı ile elde edilen nokta koordinatlarının elde edilmesinde yerinde ölçülen meteorolojik verilerin kullanılmasının standart troposferik modellemeye göre 5 mm. lik olumlu bir iyileşme yaptığı gözlemlenmiştir.

Bunun yanında, özellikle kış ve yaz aylarındaki ölçümler sonunda elde edilen koordinatlardan yerinde gözlenen meteorolojik verilerin kullanıldığı hesaplamalar sonrasında elde edilen koordinatların kendi aralarında tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

Anthes, R.A., 1983, Regional Models of the Atmosphere in Middle Latitudes, *Monthly Weather Review*, 111, 1306-1335.

Bai,Z., 2003, Feng, Y., GPS Water Vapor Estimation Using Interpolated Surface Meteorological Data From Australian Automatic Weather Stations. *Journal of GPS*, Vol.2, No 2, 83-89.

Beutler,G., 1988, Static Positioning With The Global Positioning System(GPS), *State of the Art*, in Groten Strauss (eds.), 363-380.

Beutler, G., 1997, SLR review Committee Report, *International Laser Ranging Service*.

Bevis,M., Businger, S., Herring, T.,A., Rocken, C., Anthes, R.A., Ware, R.,H., 1992, GPS Metetorology: Remote Sensing of Atmospheric Water Vapor Using the Global Positioning System. *Journal of Geoph.Res.* Vol.97, No. D14, 15787-15801.

Boehm, J., Schuh, H., 2004, Vienna mapping functions in VLBI analyses. Geophys Res Lett 31:L01603, doi:10.1029/2003 GL 018984, 1-12.

Boehm, J., Werl, B.,ve Schuh, H., 2006a Troposphere mapping functions for GPS and VLBI from ECMWF operational analysis data, Institute of Geodesy and Geophysics, *Vienna University of Technology, Gusshausstrasse 27-29, 1040* Vienna, Austria, 2-12.

Boehm, J., Niell, A., Tregoning, P., Schuh, H., 2006b, Global Mapping Function (GMF), A Newempirical Mapping Function Based On Numerical Weather Model Data, *Geophys Res Lett 33:L07304. doi:10.1029/ 2005GL025546*, Vienna Austria, 12-19.

Boehm, J., Heinkelmann, R., Schuh, H., 2007, A Global Model Of Pressure And Temperature For Geodetic Applications, *Geod doi:10.1007/s00190-007-0135-3*, Vienna-Austria, 2-8.

Boehm, J, Heinkelmann, R., and Schuh, H., 2007, Short Note: A global model of pressure and temperature for geodetic applications, *Journal of Geodesy.Vol 81 No 11,* 679-683.

Cingöz,A., Demir,C., 2002, Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A), *Harita Dergisi Özel Sayı,* 16, Ankara, 2-8.

Cingöz, A., Erkan, Y., Aysezen, M.,Ş., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Aktuğ, B., Mert, İ., 2008, Preliminary Results of GPS Meteorology at Turkish National Continuous GPS Network, Annual Scientific Meeting of Turkish National Geodetic Commission, *(TUJK) 13-15 November, METU,* Ankara, 3-7.

Dodson A.H., Shardlow P.J., Hubbard L.C.M., Elegered G., and Jarlemark P.O.J.,(1996), "Wet Tropospheric effects on precise relative GPS height determination", Journal of Geodesy, No. 70, 1996

Erkan, Y., ve Cingöz, A., 2008, Effect of Tropospheric Delay Models on Precision of GPS Coordinates, *Annual Scientific Meeting of Turkish National Geodetic Commission (TUJK) 13-15 November, METU,* Ankara, 2-12.

Erkan, Y., 2008, Troposferik Gecikme Modellerinin GPS Nokta Konumlarına Etkisi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Jeodezi A.B.D.Bşk.lığı Yüksek Lisans Tezi*, 81-85.

Ferretti, R., Faccani, C., Francia, M., Cucurull, L., 2005, Operational Assimilation of a network of Ground-based GPS-PW and ZTD into the Weather Forecast. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 7, 06552.

Glowacki, T. J, Penna, N. T., and Bourke, W. P., 2006, Validation of GPS-based estimates of integrated water vapor for the Australian region and identification of diurnal variability, *Aust.Met.Mag. 55,* 131-148.

Haase,J., Calais, E., Talaya, J., Rius, A., Vespe, F., Santangelo, R., Huang, Z.Y., Davila, J., M., Cucumll, M.Ge, L., Flores, A., Sciatetta, C., Pacione, R., Boccolari, M., Pugnaghi, S., Vedel, H., Mogensen, K., Yang, X., Garate J., 2001, The Contributions of the MAGIC Project to the COST-716 Objections of Accessing the Operational Potential of Ground-based GPS Meteorology on an International Scale. *Phys.Chem.Earth* (A), Vol.26,Noı.6-8, 433-438.

Hoffman-Wellenhof, B., Lichtenegger,H., and Collins,J., 1994, Global Positioning System Theory and Practise, *Springer Verlag*, Wien/Newyork.

Hopfield, H.S., 1969, Two–quadratic tropospheric refractivity profile for correction satellite data, Journal of Geophysical Research, 74(18), 4487 – 4499.

Hopfield, H.,S., 1971, Tropospheric Effect on Electromagnetically Measured Range, *Prediction from Surface Weather Data*.

Hopfield, H.,S., 1977, Tropospheric Correction of Electromagnetic Ranging Signals to a Satellite, A Study of Parameters, *Paper presented at Symposium on Electromagnetic Distance Measurements and the Influence of Atmospheric Refraction*, 23-28 May, 205-215.

Janes, H., W., Langley, R., B., Newby, S., P., 1991, Analysis of Tropspheric Delay Prediction Models, Usher Canada Limited, *Edmonton, Alberta TS5, 1K9,* Canada, 62.

Kahveci, M., 1993, Ortometrik Yüksekliklerin Belirlenmesinde GPS Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, (yayımlanmış), *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitisü,* İstanbul, 28-45.

Kahveci, M., 1997, Investigation On The Effect Of Propagation Errors On Gps Observations In Turkey Region, *Istanbul Technical University,* Istanbul, 2-8.

Kahveci, M.,ve Yıldız, F., 2005, Global Konum Belirleme Sistemi (GPS), Teori-Uygulama, *Nobel Yayınevi, Geliştirilmiş 2.baskı*, Ankara, 113-116.

Kahveci, M., 2009, ve Yıldız, F., GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri, ISBN 978-975-591-203-5, *Nobel Yayın Dağıtım Tic.Ltd.Şti,* Ankara, 1-52.

Kahveci, M., 2009, Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları, ISBN 978-9944-0376-1-7, *Zerpa Yayın*, Ankara, 1-3.

Kahveci, M., Yağcı, B., Cingoz, A. ve Atalar, M. K., 2008, GPS'ten Elde Edilen Su Buharı Verilerinin Meteorolojik Amaçlı Kullanımı *(GPS Meteorolojisi) Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü*, Ankara, 1-12

Kahveci, M., Karagöz, H. ve Selbesoğlu,O.M., 2011, *Jeodezi Jeoinformasyon Arazi Yönetimi,* 104, 3-5

Kılıçoğlu, A., Direnç A., Yıldız, H., Bölme, M, Aktuğ, B., Simav, M., Lenk, O., Türkiye Hibrid Jeoidi 2009 (THG-09), Harita Genel Komutanlığı İç Rapor, 2009 Ankara

King, R.,W., 2013, Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology *Bldg 54 Room 822* Cambridge, Kişisel İletişim

King, R.,W., Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology *Bldg 54 Room 822* Cambridge, MA 02139 GAMIT-USA, GLOB/K Referance Manuel,2-48.

Kouba, J., 2009, A Guide To Using International GNSS Service (IGS) Products, *Geodetic Survey Division Natural Resources 615 Booth Street*, Ottawa, Canada, 1-13.

Mac Millan, D.S., Ma, C., 1994, Evaluation of Very Baseline Interferometry, Journal of Geophysical Researches, 64.

Mekik, Ç., 1993, Tropospheric Pat Delay Modelling in GPS Relative Positioning, *Paper presentation, UKGA General Assembly*, Oxford, Britanya

Mendes, V.B., Langley, R.B., 1994, A Comprehensive Analysis of Mapping functions Used In Modelling Tropospheric Propagation Delay In Space Geodetic Data, 43.

Niell, A.E., 1996, Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths, *Journal Geophysical Research* Vol 101(B2), 3227-3246.

Saastamoinen, J., 1972, Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging of satellites, in The Use of Artificial Satellites for Geodesy,

Geophys. Monogr. Ser., vol. 15, edited by S. W. Henriksen, A. Mancini, and B.H. Chovitz, pp. , AGU, Washington, D.C., 247-251

Saastamoinen, J., 1973, Contributions to the Theory of Atmospheric Refraction, Part II, *Bulletin Geodesique*, Vol. 107, 13-34.

Saastamoinen, H., S., 1973, Impact of Different Tropospheric Models on GPS Baseline Accuracy: Case Study in Thailand.

Satirapod, C., Wang, J.&Rizos, C., 2002, Stochastic Assesment of GPS Carrier Phase Measurements for Precise Static Relative Positioning, Journal of Geodesy, 76(2), 95-104

Seeber, G, 1993, Satellite Geodesy, Foundation, Methods and Aplication, *Walter De Gruyter*. Berlin-Newyork de Gruyter. ISBN 3-11-012753-9, 531

Smith, E. K., Weintraub, S., 1953, The Constants in the Equation for the Atmospheric Refractive Index at Radio Frequencies, *Proceedings IRE*, vol. 41, 1035-1037.

Springer, T., Kouba, J., and Mireault, Y., 2000, 1999 Analysis Coordinator Report, in 1999 IGS Technical Reports, *IGS Central Bureau*, *Jet Propulsion Laboratory*, Pasadena, CA.

URL-1: ftp://ftp.legos.obs-mip.fr/pub/soa/maree/tide_model/global_solution/fes2004/tide

URL-2: http://www.epncb.oma.be/_productsservices/coord_trans/index.php

URL-3: http://mars.hg.tuwien.ac.at/~ecmwf1/

http://tai.bipm.org/iers/conv2003/conv2003_c7.html

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Seyit Ali YILMAZ
Uyruğu	**:**	Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Kadınhanı 11.06.1969
Telefon	**:**	05322638775
Faks	**:**	03328340305
e-mail	**:**	seyit@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	**Gazi Lisesi, Konya**	**1986**
Üniversite	:	**Selçuk Üniversitesi, Konya**	**1993**
Yüksek Lisans	:	**Gazi Üniversitesi, Ankara**	**2003**
Doktora	:	**Selçuk Üniversitesi**	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
1993	Selçuk Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

UZMANLIK ALANI Ölçme Tekniği

YABANCI DİLLER İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Kara Nakil Vasıtalarının Uzaktan Algılama ile Yönetilmesi 2003, (Yüksek Lisans Tezinden yapılmıştır)

Observation of Land Transport Vehicles From Satellite, Hong Kong, FIG, 2007

Trafiğin Uzaktan Algılama Yöntemi İle Yönetilmesi, Konya, Türkiye, UMYOS, 2009

The Meteorological Usage of Water Vapor Data Obtained From GPS, Varna, Bulgaristan, SGEM, 2009

Observation Of Land And Seas Transport Vehicles From Satellite, Bangkok, Thailand, IEEE, 2010

Improvement Of Elipsoidal Heights With Athmospherical Data Calculated From GNSS Data, Marrakech, Fas, FIG, 2011

GPS Meteorology, Pattaya, Thailand, PSR CENTER, 2012

The Usage of Water Steam Data Provided From GNSS in Meteorology Bangkok, Thailand, BBENS. 2013