



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TİCARİ GPS YAZILIMLARINDA KULLANILAN TROPOFER
MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim ÖZUĞUR

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Kemal YURT

AKSARAY, 2019

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 112306013 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, **İbrahim ÖZUĞUR** tarafından hazırlanan "**TİCARİ GPS YAZILIMLARINDA KULLANILAN TROPOSFER MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Harita Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Kemal YURT

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Prof.Dr.Hediye ERDOĞAN

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Prof.Dr.Ayhan CEYLAN

Konya Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 22/05/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Doç. Dr Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

İbrahim ÖZÜĞÜR



TEŞEKKÜR

Öncelikle bu çalışmanın yönlendirilmesinde, hazırlanmasında ve şekillendirilmesinde gerekli fırsatı veren, çalışma süresince yardımlarını esirgemeyerek büyük bir katkı sağlayan ve kendisi ile çalışmaktan mutluluk duyduğum tez hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Kemal YURT'a ne kadar teşekkür etsem azdır.

Tezin uygulama aşamasındaki arazi ölçmelerindeki desteklerinden dolayı sayın hocam Dr. Seyit Ali YILMAZ'a, değerli bilgilerini benimle paylaşan Harita Yük. Müh. Sevgi BÖGE'ye, Harita Mühendisi Raşit SAYAR'a ve Harita Mühendisi H.Nihat ERDEM'e olumlu görüş ve tezi bitirmem için sürekli teşvik eden mesai arkadaşlarım Sabahattin AKKUŞ, Hasan ÇAĞLA, Mehmet Can GÜNDOĞDU ve Betül ATALAY'a ve her zaman yanımda olan değerli dostum Ahmet TEKİN'e teşekkür ederim.

Uzun ve yorucu tez çalışmamda büyük bir sabır ve hoşgörüyle bana destek olan ve yalnız bırakmayan sevgili eşim Fadime'ye, kızım Nida ve oğlum Abdullah Hamza'ya sonsuz teşekkür ederim.

İbrahim ÖZUĞUR
AKSARAY, 2019

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. GLOBAL POSITING SYSTEM.....	3
2.1 GPS'in Bölümleri.....	3
2.1.1 GPS uzay bölümü.....	4
2.1.2 GPS kontrol bölümü.....	5
2.1.3 GPS kullanıcı bölümü.....	6
2.2 GPS Sinyalleri.....	6
2.3 Temel GPS Ölçüleri.....	8
2.3.1 GPS kod ölçüsü.....	8
2.3.2 GPS taşıyıcı faz ölçüsü.....	9
2.3.3 Taşıyıcı faz kombinasyonları.....	10
2.3.4 Temel GPS gözlemlerine dayalı olarak türetilen fark gözlemleri.....	12
2.4 GPS Ölçü ve Hesaplarını Etkileyen Hata Kaynakları.....	12
2.4.1 Uydudan kaynaklanan hatalar.....	14
2.4.2 Alıcıdan kaynaklanan hatalar.....	15
2.4.3 Sinyal yayılımına bağlı hatalar.....	16
2.5 GPS'in Avantajları ve Dezavantajları.....	19
3. GPS İLE KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ.....	21
3.1 Mutlak Konum Belirleme.....	22
3.2 Göreli Konum Belirleme.....	22
3.2.1 Statik ölçü yöntemi.....	24
3.2.2 Hızlı statik ölçü yöntemi.....	24
4. ATMOSFERİN GPS'E ETKİLERİ.....	25
4.1 Atmosferik Etkiler.....	25
4.2 Sinyal Yolu Eğriliği.....	26
4.3 Atmosferik Yayınım Gecikmeleri.....	27
4.3.1 İyonosferik gecikme.....	27
4.3.2 Troposferik gecikme.....	28
4.3.3 Troposferik modeller.....	34
4.4 Troposferik Gecikme Etkisinin Hesabı İçin Gerekli Atmosferik Parametrelerin Ölçümü.....	34
4.4.1 Gözlem noktasında ölçülen meteorolojik parametreler.....	35
4.4.2 Standart atmosfer modelleri yardımıyla troposferik etkinin hesabı.....	36
4.4.3 Su buharı radyometreleri.....	36
4.5 Troposferik Parametrelerin Hesabı.....	37
4.6 Troposferik Gecikme Düzeltmesi Formülleri.....	38
4.6.1 Hopfield modeli.....	38
4.6.2 Saastamoinen modeli.....	39
4.6.3 Modified Hopfield modeli.....	40
4.6.4 Simplified Hopfield modeli.....	42
4.6.5 CHAO modeli.....	43

4.6.6 Essen-Froome diferansiyel modeli	43
4.6.7 Goad&Goodman modeli	44
4.6.8 Niell modeli	45
5. UYGULAMA	46
5.1 Çalışma Alanı	46
5.2 Materyal ve Metod	48
5.3 Bulgular ve İrdeleme	49
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	55
EKLER	58
EK A. Şekiller	59
EK B. Çizelgeler	60
ÖZGEÇMİŞ	73



YÜKSEK LİSANS TEZİ

TİCARİ GPS YAZILIMLARINDA KULLANILAN TROPOSFER MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

İbrahim ÖZÜĞÜR

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Kemal YURT

ÖZET

Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS), insanlığın ölçme tarihinde yaptığı en önemli buluşlardan biridir. 1974 yılında GPS, 1976 yılında GLONASS askeri amaçlı kurulmuş olup sırasıyla 1980 ve 1982 yıllarından itibaren sivil kullanıma açılarak günlük yaşamda kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde günlük yaşamın her aşamasında kullanılan ve kullanıcılara kolaylık sağlayan bir sistem haline gelmiştir.

GNSS sistemi teknolojik çalışmalar doğrultusunda çok hızlı gelişmektedir. Bu hızlı gelişmeler bilim insanlarını kullanıcıların her türlü ihtiyacına cevap verebilecek ve en doğru sonuçları alabilmeleri için yeni yöntemler geliştirmeye yöneltmiştir.

GNSS sinyallerinin atmosferde uğradığı etkiyi en aza indirebilmek için yapılan en iyi çalışmalardan biri çift frekanslı GNSS alıcılarının kullanılmasıdır. Bu alıcılar GNSS sinyallerinin iyonosfer tabakasında uğradığı hataları giderebilmektedir. Ancak troposfer tabakasında meydana gelen hataları giderememektedirler. Bu hataları giderebilmek için ölçüm yapılan her noktada nem, sıcaklık ve basınç değerlerini ölçmek ve bu değerleri hesaplamalarda kullanmak suretiyle troposferik etki en aza indirebilmektedir. Fakat bu işlem çok zaman alacağı ve çok masraflı olduğu için bilim insanları tarafından troposferik modellerle yapılmıştır. GNSS yazılımlarında bu modellerin kullanılması ile troposfer tabakasının sinyallere etkisi en aza indirebilmektedir.

Bu çalışmada Troposfer modellerinin değişik atmosferik şartlarda GNSS sinyallerinin uğradığı etkiyi gözlemlemek için dört farklı ölçü kampanyası yapılmıştır. Bu kampanyaları değerlendirmek için Topcon Tools ver.7 ve Leica Geo Office 7.0 yazılımlarından yararlanılmıştır. Bu yazılımlardaki troposfer modellerinin hesaplara etkisi gözlemlenmiştir. Oturum zamanında ölçülen atmosferik değerler ile Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan atmosferik değerlerin hesaplara dahil edilmesi ile de sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Troposferik modeller, Atmosfer modelleri, Atmosfer parametreleri, GPS, Topcon Tools ve Leica Geo Office.

Mayıs, 2019; 73 sayfa

M.Sc. THESIS

COMPARISON OF TROPOSPHER MODELS USED IN COMMERCIAL GPS SOFTWARES

İbrahim ÖZÜĞÜR

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geomatic Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Kemal YURT

ABSTRACT

The Global Navigation Satellite System (GNSS) is one of the most important discoveries made by humanity in the history of measurement. GPS was established in 1974 and GLONASS in 1976 for military purposes. It was opened for civilian use in 1980 and 1982, respectively and started to be used in daily life. Today, it has become a system that is used at every stage of daily life and provides convenience to users.

GNSS system is developing very fast in line with technological studies. These rapid developments have led scientists to develop new methods to meet the needs of users and to obtain the most accurate results.

One of the best efforts to minimize the effect of GNSS signals in the atmosphere is to use dual frequency GNSS receivers. These receivers can eliminate the errors that the GNSS signals encounter in the ionosphere layer. However, they are not able to correct faults that occur in the troposphere layer. In order to eliminate these errors, it can minimize the tropospheric effect by measuring the humidity, temperature and pressure values at each measurement point and using these values in calculations. However, because this process will take a lot of time and is very costly, scientists have made tropospheric modeling. By using these models in GNSS software, the effect of the troposphere layer on signals can be minimized.

In this study, four different measurement campaigns have been conducted to observe the effect encountered by GNSS signals under different atmospheric conditions of Troposphere models. Topcon Tools ver.7 and Leica Geo Office 7.0 were used to evaluate these campaigns. The effect of troposphere models on the calculations was observed in these softwares. The results were compared with the inclusion of the atmospheric values measured at the time of the session and the atmospheric values obtained from Turkish State Meteorological Service.

Keywords: Tropospheric models, Atmospheric models, Atmospheric parameters, GPS, Topcon Tools and Leica Geo Office.

May, 2019; 73 page

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. GPS bölümleri.	4
Şekil 2.2. GPS uzay bölümü.	5
Şekil 2.3. GPS kontrol bölümü.	5
Şekil 2.4. GPS kod ölçüsü.	9
Şekil 2.5. GPS taşıyıcı faz ölçüsü.	10
Şekil 2.6. İyonosfer tabakaları.	16
Şekil 3.1. GPS ile konum belirleme.	21
Şekil 3.2. Mutlak konum belirleme.	22
Şekil 3.3. Göreli konum belirleme.	23
Şekil 4.1. Atmosferinin katmanları.	25
Şekil 4.2. Yükseklik profili.	32
Şekil 4.3. Essen-froome diferansiyel modeli.	44
Şekil 5.1. Uygulama 1 proje alanı ve noktaların konumları.	46
Şekil 5.2. Uygulama 2 proje alanı ve noktaların konumları.	47
Şekil 5.3. Uygulama 3 proje alanı ve noktaların konumları.	47
Şekil 5.4. Uygulama 4 proje alanı ve noktaların konumları.	48
Şekil A.1. Uygulama 4 hatalı modellerin yüksekliğe göre fark yönleri (mm.).	59
Şekil A.2. Uygulama 4 tüm modellerin yüksekliğe göre fark yönleri (mm.).	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. GPS taşıyıcı dalgaları ve sinyallerinin frekans ve dalga boyları.	6
Çizelge 2.2. İyonosfer tabakaları toplam elektron miktarı ve özellikleri.	17
Çizelge 4.1. Sinyal yolu eğriliğinden kaynaklanan düzeltmeler.	27
Çizelge 4.2. Troposfer tabakası molekülleri.	29
Çizelge 4.3. k_1 k_2 ve k_3 için belirlenmiş değerler.	31
Çizelge 4.4. ΔS_d ve ΔS_w değerleri.	32
Çizelge 4.5. Troposferik gecikmenin $Z=0^\circ$ doğrultusunda meteorolojik parametrelere olan bağımlılığı.	35
Çizelge 4.6. α katsayıları.	39
Çizelge 4.7. B katsayısı için standart değerler.	40
Çizelge 4.8. δL düzeltme terimleri (metre).	40
Çizelge 5.1. Ölçülen meteorolojik veriler.	51
Çizelge 5.2. Serbest dengeleme sonuçları.	52
Çizelge B.1. Meteoroloji istasyonlarına ait veriler.	60
Çizelge B.2. 15.01.2012 gününe ait modellerin kıyaslanması.	61
Çizelge B.3. 15.02.2012 gününe ait modellerin kıyaslanması.	62
Çizelge B.4. 15.03.2012 gününe ait modellerin kıyaslanması.	62
Çizelge B.5. 15.04.2012 gününe ait modellerin kıyaslanması.	63
Çizelge B.6. 15.06.2012 gününe ait modellerin kıyaslanması.	64
Çizelge B.7. 15.07.2012 gününe ait modellerin kıyaslanması.	65
Çizelge B.8. 15.08.2012 gününe ait modellerin kıyaslanması.	65
Çizelge B.9. 15.09.2012 gününe ait modellerin kıyaslanması.	66
Çizelge B.10. 15.10.2012 gününe ait modellerin kıyaslanması.	66
Çizelge B.11. 15.01.2012 gününe ait uydu yükseklik açılarının kıyaslanması.	67
Çizelge B.12. 15.06.2012 gününe ait uydu yükseklik açılarının kıyaslanması.	68
Çizelge B.13. Serbest dengeleme sonuçları.	69
Çizelge B.14. Dayalı dengeleme sonuçları.	70
Çizelge B.15. Karakeçili dayalı dengeleme sonuçları.	71
Çizelge B.16. Serbest dengeleme sonuçları.	72

SİMGELER VE KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
b[E]	Sinyal yolu eğriliğinden kaynaklanan yol uzunluğu fazlalığı
BEIDOU	Chinese Regional Navigation System
BFB	Başlangıç Faz Belirsizliği
C/A kod	Coarse /Acquisition Code
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
cm	Santimetre
d	Baz uzunluğu
e	Su Buharının Kısmi Basıncı
E	Uydunun eğim Açısı (yükseklik)
f_d	Islak Bileşen için Projeksiyon Fonksiyonu
f_w	Kuru Bileşen için Projeksiyon Fonksiyonu
GALILEO	Avrupa Global Navigation Satellite System
GHz	Giga Hertz
GLONASS	Rusya GLObal NAVigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positing System
H	Nem
Hz	Hertz
IF	Ionosphere Free
Kg	Kilogram
Km	Kilometre
Kmol	Kilomol
L1	Wide-Lane Phase
L2	Wide-Lane Phase
L3	Ionospher Free Phase
LGO	Leica Geo Office
Mbar	Milibar
MHz	Mega Hertz
mm	Milimetre
N	Atmosferik Kırılma
n	Ortam Kırılma İndisi
N_d(s)	Kuru Bileşen
NL	Narrow Lane
N_w(s)	Islak Bileşen
P Kod	Precise/Protected Code
P	Basınç
Pd	Kuru Hava
P_d	Kuru Havanın Toplam Atmosferik Basıncı
PW	Yağışa dönüşebilir Su Buharı
PDOP	Position (3D) Dilution Of Precision
PPM	Part Per Million
PRN	Pseudo Random Noise
QIF	Quasi Ionosphere Free
SA	Selective Availability
SBR	Su Buhar Radyometresi

SBR	Su Buhar Radyometresi
SLR	Satellite Laser Ranging
T	Atmosferik Sıcaklık
T	Sıcaklık
TD	Troposferik Düzeltme
TEC	Total Electron Content
TT	Topcon Tools
TUSAGA	Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı
TUTGA	Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı
VLBI	Very Long Baseline Inferferometry
WGS-84	World Geodetic System 1984
WL	Wide Lane
WVR	Water Vapor Radiometry
YH	Yörünge Hatası
Z	Uydu Zenit Uzaklığı
δ	Clock dithering tekniği
ΔS_d	Kuru Bileşen
ΔS_{trop}	Troposferik Gecikme Etkisi
ΔS_w	Islak Bileşen
ε	Epsilon tekniği
ΔS_d^0	Zenit Doğrultusundaki Kuru Gecikme Etkisi
ΔS_w^0	Zenit Doğrultusundaki Islak Gecikme Etkisi

1. GİRİŞ

Günümüzde küresel anlamda hizmet veren dört adet konum belirleme sistemi vardır. Bu sistemler ilk ve yaygın olarak kullanılan GPS, GLONASS, GALILEO ve BEIDOU sistemlerdir. Bütün GNSS sistemlerinde uydular tarafından yayınlanan sinyaller GNSS alıcıları tarafından toplanır. Bu sistemdeki var olan hata kaynaklarının büyük çoğunluğu sinyalin uydudan çıkış anı ile GNSS alıcılarının aldığı an arasında olmaktadır. Uyduların yayınladığı sinyaller atmosferden geçerken sapmaya uğramaktadırlar. Bu sapma sinyal yolu eğriliği ve yayının gecikmesi olarak ikiye ayrılmaktadır.

Nötr (iyonize olmamış) atmosferin radyo frekanslarında yayınlanan elektromanyetik dalgalara olan etkisi troposferik gecikme etkisi (ya da troposferik refraksiyon) olarak isimlendirilmektedir. Bu etki elektromanyetik dalganın yavaşlamasına ve eğilmesine neden olur (Kahveci 1997).

Troposfer tabakasındaki sinyal yayının gecikmesi toplam gecikmenin %80'ini oluşturur ve bu gecikme troposferik gecikme olarak adlandırılır (Hopfield, 1971). Troposferden söz edildiğinde genelde yeryüzü atmosferinin alt kısmı kastedilmektedir. Troposferik gecikme kuru gecikme ve ıslak gecikme olmak üzere ikiye ayrılır. Kuru bileşeni yüzey meteorolojik ölçmeleri vasıtasıyla hazırlanan birçok troposferik gecikme modelleriyle yüksek doğrulukla belirlenebilmekte ve bu kısım hidrostatik dengede olduğu için ideal gazlar yasası ile kolayca modellenmektedir. Islak kısmı ise troposferde sıvı su ve su buharının düzensiz dağılımından dolayı hesaplanması (tahmin edilmesi) zordur. 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).

Bu hatalar, kullanılan GNSS alıcıları ve değerlendirme programlarındaki hesap ve modelleme yöntemleri ile ölçülere etkisi en aza indirilebilmektedir. Troposferik gecikme hesabında, Saastamoinen ve Hopfield modelleri, zamandan ve gerçek meteorolojik koşullardan bağımsız atmosferik parametrelerle birlikte GPS gözlemlerinin değerlendirilmesinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Yılmaz, 2013).

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 vd., 2006).

Yılmaz (2013), meteorolojik veriler kullanılarak yapılan hesaplamalarda standart troposfer modellere göre 5mm daha iyi sonuçlar verdiğini yaptığı çalışmada bildirmiştir.

Erkan (2008), çalışmalarında GPS istasyonlarında meteorolojik parametrelerin mevcut olmaması durumunda kullanılan küresel basınç ve sıcaklık modeli ile hesaplanan PW değerleri de test edilmiştir. Test sonucunda, GPS istasyonunda gerçek meteorolojik değerlerin mevcut olması ile bu değerlerin modelden elde edilerek kullanılması arasındaki farkların yaklaşık 1 mm standart sapma ile uyumlu oldukları görülmüştür. Bununla birlikte, GPS istasyonlarında 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.

Erdönmez (2008), toplam gecikmeyi belirleyici faktörün ıslak gecikme olduğu ve bunun da su buharı basıncına ile nispi neme göre değiştiği ve gecikmeye etki olan temel faktörün su buharı olduğu, bunun da sıcaklığa bağlı bir büyüklük olması sebebiyle sıcaklığın önemli bir faktör olduğu sonucuna varmıştır.

Bu çalışmada yayının gecikmesinden kaynaklanan hataların en aza indirilmesi için kullanılan GPS yazılımlarındaki troposfer modellerinin birbirleri ile kıyaslanarak en iyi sonuçları veren modelleri tespit etmek amacı ile uygulama yönünden değişik dört GPS oturumu yapılmıştır.

Kullanılan GNSS alıcılarının sadece GPS uydularından gelen verileri kullandığı için değerlendirmeler de GPS sinyal verilerine yöneliktir. Dolayısıyla bundan sonraki aşamalarda GNSS ifadesi yerine GPS ifadesi kullanılacaktır.

2. GLOBAL POSITING SYSTEM

Global Positing System (GPS), uydular ile GPS alıcısı arasındaki mesafeyi ölçerek dünya üzerindeki alıcı konumunu tespit etmeyi mümkün kılan global bir sistemdir. Transit sisteminin gelişmiş biçimi olarak günlük yaşama giren GPS ABD Savunma Dairesi tarafından navigasyon amaçlı geliştirilmiş ve bilim insanlarının çabasıyla jeodezik problemlerin çözümünde kullanılmaktadır (URL-1).

Sistem, temel olarak jeodezideki en eski tekniklerden biri olan “uzay geriden kestirme” yöntemine dayanır. Geriden kestirme yöntemi, konumu bilinmeyen bir noktadan konumu bilinen noktalara yapılan gözlem ve hesapları kapsar.

Konumu bilinen noktalar GPS uydularıdır. Bilinmeyenler, bulunulan noktanın yer merkezli (earth-fixed) kartezyen koordinatlarıdır (X, Y, Z). Matematik kuralı olarak bu 3 bilinmeyen için 3 ölçü değeri yetiyor gibi gözükse de uydunun anlık konumu belirten zaman dördüncü boyut olarak karşımıza çıkmakta ve en az dört bilinmeyen için konumu bilinen dört uyduya ihtiyaç vardır. GPS, zamanla beraber 4 boyutlu bir sistemdir.

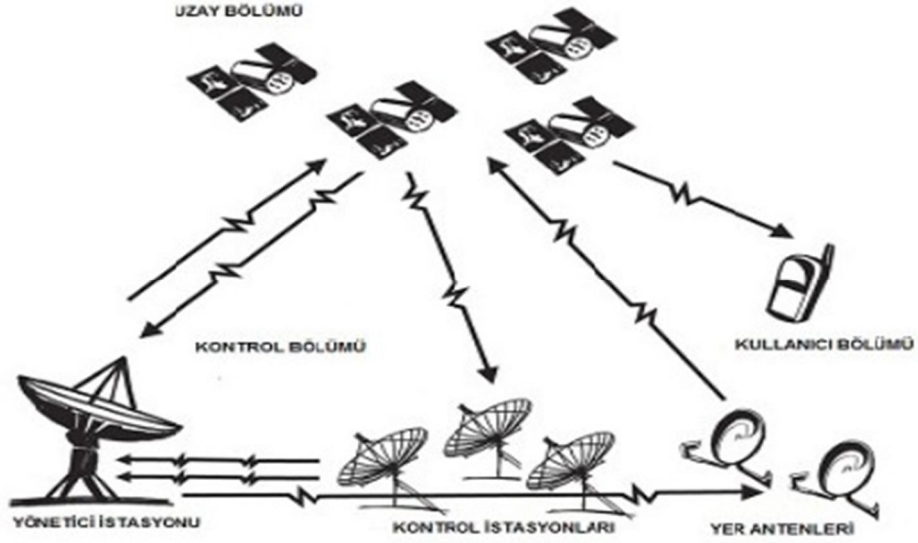
Uydularla konum belirleme yönteminde uydu sinyalleri bir GPS alıcısı tarafından kaydedilerek, sinyalin uydudan yayınlandığı an ile GPS alıcısına geldiği an arasında geçen süre çok hassas olarak ölçülür. Uydunun koordinatları zamana bağlı olarak bilindiğinden, alıcının konumu hesaplanabilir. Uydular, yüksek doğruluklu atomik saatler içerirler.

GPS, kullanım alanları askeri ve sivil olmak üzere birçok amaçlı kullanılmaktadır.

2.1 GPS’in Bölümleri

GPS sistemi üç ana bölümden oluşmaktadır. Şekil 2.1’de gösterilen bölümler;

- 1- Uzay Bölümü
- 2- Kontrol Bölümü
- 3- Kullanıcı Bölümü



Şekil 2.1. GPS bölümleri (URL-2).

2.1.1 GPS uzay bölümü

GPS uzay bölümü Başlangıçta ekvatorla 55° açı yapan 6 yörünge üzerine yerleştirilmiş 24 uydu olarak tasarlanmıştır. Günümüzde, belirlenen ömürleri tamamlamış olmakla beraber halen sağlıklı veriler sağlayan uydularla birlikte toplam 32 GPS uydusu faaliyet göstermektedir. Yörüngesini $11^h58'$ da tamamlamaktadır. Uydular, dünya yüzeyinin yaklaşık 20200 km mesafede bulunurlar. Bu kadar fazla mesafede bulunan uydular oldukça geniş bir görüş alanına sahiptir. Uydular, Dünyanın herhangi bir yerindeki GPS alıcısının her zaman en az 4 adet uyduyu görebileceği şekilde yörüngeye yerleştirilmişlerdir. Şekil 2.2’de GPS uzay bölümü gösterilmektedir.

Her bir GPS uydusu;

- Senkronize zaman sinyallerini,
- Tüm diğer uydulara ait konum bilgilerini
- Yörünge parametrelerine ilişkin bilgileri L1 ve L2/L2C frekansından yayınlar
- Kontrol bölüm tarafından yayınlanan bilgileri alır (Kahveci ve Yıldız, 2007).



Şekil 2.2. GPS uzay bölümü (URL-3).

2.1.2 GPS kontrol bölümü

Bu bölüm 1 Ana kontrol istasyonu (Colorado Springs) ve 5 gözlem istasyonu (Hawaii, Cape Canaveral, Ascension, Diego Garcia, Kwajalein) olmak üzere toplam 6 adet izleme istasyonu, yer antenleri ve işletim kontrol sisteminden oluşmaktadır. Şekil 2.3’de istasyonların dünya üzerindeki dağılımı gösterilmektedir. Bu sistemin görevleri GPS uydularını sürekli izleyerek, uyduların sağlıklı bir şekilde çalışmasını sağlamak, uydu yörüngelerinin belirlenmesi, toplanan verilerin irdelenmesi, uydu saat düzeltmelerinin hesaplanması ve yeni hesaplanan yörünge saat düzeltmesi ve SA etkileri gibi bilgilerin uydulara yüklenmesidir.



Şekil 2.3. GPS kontrol bölümü (URL-4).

2.1.3 GPS kullanıcı bölümü

GPS uyduları tarafından yayınlanan sinyalleri alabilen GPS alıcıları bu sistemin kullanıcı bölümünü oluşturmaktadır. Daha önce bahsedildiği gibi kullanıcı bölümü için askeri ve sivil kullanıcılar olmak üzere iki ayrı sınıflama yapılabilir.

2.2 GPS Sinyalleri

Uydulardan yararlanılarak yapılan GPS ölçmelerinde, elektromanyetik dalgalar kullanılarak uydulardan kullanıcılara veri akışı sağlanmaktadır. Her GPS uydusu konum belirleme amaçlı olarak iki temel frekansa sahip olup bunlar L1 (Link1) ve L2 (Link2)'dir. L1 ve L2 frekansları 10.23 MHz olan temel frekansın 154 ve 120 tam katları alınarak elde edilmiş olup, L1 frekansı 1575.42 MHz ve L2 frekansı 1227.60 MHz'dir (Kahveci ve Yıldız, 2009). Bu frekanslara ek olarak L5 frekansı 2009 yılında faaliyete geçmiştir. Bu frekans hava araçlarının güvenli navigasyonu amacıyla kullanılması planlanmış olsa da tüm kullanıcılara açıktır. Çizelge 2.1'de GPS alıcılarındaki taşıyıcı dalgaları ve sinyallerinin frekans ve dalga boyları gösterilmektedir. Ayrıca L5 frekansı iyonosferik etki konusunda da önemli bir yarar sağlamaktadır. İyonosferik etkinin sinyal frekansının karesi ile ters orantılı ve L1 frekansındaki iyonosferik etkinin L2 sinyaline göre %65 L5 sinyaline göre ise %79 daha fazla olduğu göz önüne alındığında bu yarar daha açık görülebilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2009).

Çizelge 2.1. GPS taşıyıcı dalgaları ve sinyallerinin frekans ve dalga boyları (Kahveci ve Yıldız, 2007).

Bileşenin ADI	Frekans f (Hz)	Dalga Boyu λ (m)
Temel Frekans	$f_0 = 10.23 \text{ MHz}$	
P-kod	f_0	30
C/A-kod	$f_0/10 = 1.023$	300
W-kod	$f_0/20 = 0.5115$	600
L1 taşıyıcı	$154*f_0 = 1575.42 \text{ MHz}$	~ 0.190
L2 taşıyıcı	$120*f_0 = 1227.60 \text{ MHz}$	~ 0.244
L5 taşıyıcı	$115*f_0 = 1176.45 \text{ MHz}$	~ 0.255
Navigasyon Mesajı	$f_0/204600 = 50*10^{-6}$	-

L1 frekansı 1575.42MHz ($10.23\text{MHz} * 154$), dalga boyu 19.05 cm

L2 frekansı 1227.60MHz ($10.23\text{MHz} * 120$), dalga boyu 24.45 cm

L5 frekansı 1176.45MHz ($10.23\text{MHz} * 115$), dalga boyu 25.51 cm

GPS sisteminde çift frekans olmasının amaçları;

- L1 frekansının herhangi bir nedenle ya da elektronik karıştırmaya maruz kalması durumunda L2 frekansının yedek frekans görevi görmesi
- Çift frekans özelliğinden yararlanarak iyonosferik düzeltme olanağı sağlaması olarak sıralanabilir.

L1 ve L2 taşıyıcı frekansları, uydu saati düzeltmeleri, yörünge parametreleri gibi bilgilerin yeryüzündeki alıcıya ulaştırılabilmesi amacıyla kodlarla ve navigasyon mesajı verileri ile modüle edilmiştir. Bu modülasyon işleminde her bir uyduya tek anlamlı PRN kod numarası verilmiştir.

L1 taşıyıcı frekansı üzerine iki PRN kodu ve navigasyon mesajı verileri modüle edilmiştir. Bu PRN kodları C/A kod olarak isimlendirilmektedir. L2 taşıyıcı frekansı ise yalnızca bir PRN kodu ve navigasyon mesajı verileri ile modüle edilmiştir.

L1 taşıyıcı frekansı $\longrightarrow$ C/A kod, P kod ve navigasyon mesajı

L2 taşıyıcı frekansı $\longrightarrow$ P kod ve navigasyon mesajı

C/A kod (coarse/acquisition, clear/access): C/A kod sadece L1 taşıyıcısı üzerine modüle edilmiştir. Bu kod periyodu çok kısa olan 1 MHz'lik PRN kod olup, her 1023 bitlik kod sonunda tekrar etmektedir. C/A kod dalga boyu 293 metre, çözünürlüğü yaklaşık 3 metredir. C/A kod periyodunun çok kısa seçilmesinin amacı GPS alıcılarının açıldıktan sonra uydulara çok kısa sürede kilitlenmesini sağlamaktır. C/A kod tüm kullanıcılara açıktır ve özellikle sivil standart konum belirleme hizmeti için temel oluşturmaktadır.

P kod (precise/protected): L1 ve L2 taşıyıcı frekansların her ikisine de modüle edilmiş olup yaklaşık 266.4 günlük kod uzunluğundadır. P kod dalga boyu 29.3 metre olup çözünürlüğü yaklaşık 30 cm'dir. P kod gibi uzun kodların yeryüzündeki alıcılar tarafından hiçbir destek olmaksızın doğrudan alınması çok zordur. GPS

alıcıları öce C/A koda bağlanarak daha sonra P koda kilitlenebilir. GPS Askeri kullanıcıları için tasarlanmış bu kod, elektronik karıştırmaya (jamming) ve aldatmaya (spoofing) karşı korumak için A-S (anti spoofing) özelliği kullanılarak kriptolanmıştır. Kripto kodu W-kod olarak bilinmekte olup, kriptolanmış P koduna Y-kod adı verilmektedir. Sadece askeri amaçlı GPS alıcılarının doğrudan çözebileceği Y kod ortaya çıkmıştır.

GPS navigasyon mesajı P kod ve C/A kod üzerine bindirilmiş 1500 bit uzunluğunda bir mesajdır. Bu mesaj 50 bit/sn'lik veri hızında ve her biri 300 bitlik 5 alt bölümden oluşmaktadır. Mesajının tamamı 25 sayfadan oluşmaktadır ve tamamının yayınlanması toplam 12.5 dakikalık süre gerektirmektedir. Navigasyon mesajı tüm uydular tarafından yayınlanmaktadır.

Almanak bilgisi GPS alıcılarının ilk açılış anında hızlı bir şekilde uydu sinyallerine kilitlenebilmesi için gerekli olan doğruluğu az uydu koordinatlarını sağlamaktır. Almanak verileri her uydu tarafından yayınlanmakta olup içerisinde tüm uydulara ait yaklaşık konum bilgileri, efemeris ve saat parametrelerinin belirli bir kısmı bulunmaktadır.

2.3 Temel GPS Ölçüleri

GPS ile konum belirlemede iki temel büyüklük ölçülmekte olup bunlar sırasıyla,

- C/A kod ve P kod üzerinden zaman ölçerek GPS kod ölçüleri (Kod Pseudorange),
- L1 ve/veya L2 fazları üzerinden faz ölçerek GPS taşıyıcı faz ölçüleri, Taşıyıcı dalga fazı (Carrier Best Phase) olarak isimlendirilir.

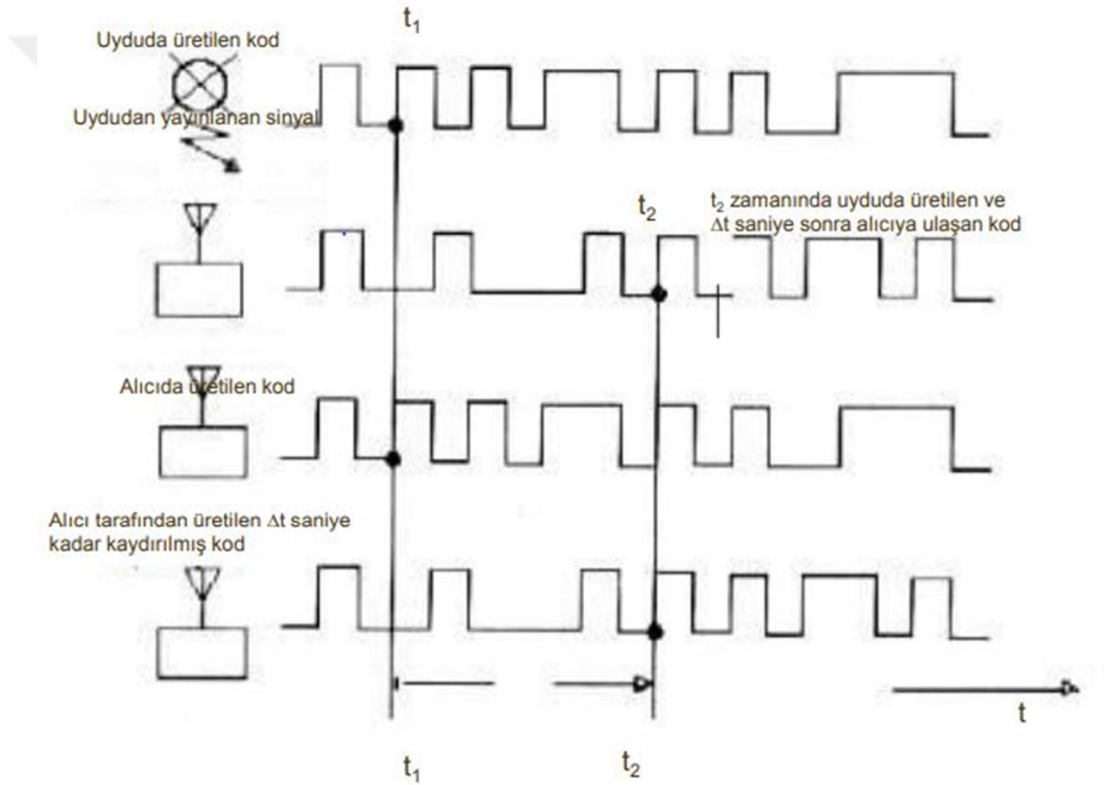
Bilimsel amaçlı çalışmalarda ve jeodezik uygulamalarda faz ölçüleri düşük doğruluklu navigasyon uygulamalarında ise kod ölçüleri kullanılmaktadır.

2.3.1 GPS kod ölçüsü

GPS alıcılarında uzunluk ölçümü alıcıda oluşturulan kopya sinyal ile uydudan gelen sinyalin karşılaştırılması esasına dayanır. Uydudan yayınlanan sinyalin uydudan çıkış anı ile alıcıya ulaştığı ana kadar arada geçen zamanın ışık hızı ile

ölçeklendirilmesiyle elde edilen uydu-alıcı uzaklığıdır (Code Pseudorange). Şekil 2.4’de gösterilmektedir. Sinyalin uyduyu terk ettiği andan itibaren alıcıya ulaşana kadar arada geçen zaman, alıcı ve uydu tarafından üretilen PRN kodlarının karşılaştırılması ile elde edilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2009).

Uydu, alıcı saatindeki kaçınılmaz hatalardan ve uydudan gelen sinyal ile alıcıdaki sinyalin aynı zaman noktasında çakışmaması gibi hatalardan dolayı ölçülen uzunluk geometrik uzunluktan biraz farklı olacaktır. Modellendirilmeyen saat hatalarından kaynaklanan sapmalar nedeniyle elde edilen uydu alıcı uzaklığına ham uydu-alıcı uzaklığı (pseudorange) denir (Kahveci ve Yıldız, 2009).



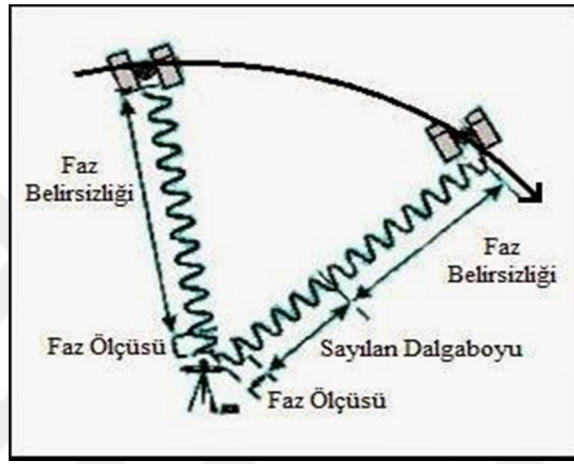
Şekil 2.4. GPS kod ölçüsü (Uydu-Alıcı kod zaman farkı) (Kahveci ve Yıldız, 2001).

2.3.2 GPS taşıyıcı faz ölçüsü

Faz gözlemleri taşıyıcı dalganın modüle edilmemiş (L1 ve L2) haline yapılmaktadır. Faz gözlemi, herhangi bir t anında uydudan yayınlanan sinyalin taşıyıcı fazı ile başka bir t anında alıcı tarafından üretilen referans sinyalin fazı arasındaki farktır. Taşıyıcı dalga faz gözlemleri, alıcı anten açıldığında, uydu ile alıcı arasındaki uzaklığın

karşılığı olan fazın sadece anlık kesirli kısmını ölçebilir. Ölçülemeyen devir tam sayısına tam sayı faz belirsizliği denmektedir. Şekil 2.5’de gösterilmektedir. Taşıyıcı dalga faz gözlemlerinin konum belirlemede kullanılabilmesi için tam sayı faz belirsizliğinin belirlenmesi gerekmektedir (Çelik, 2002).

Faz gözlemi mühendislik amaçlı GPS ölçmelerinde en çok kullanılan gözlemlerdir. Faz gözlemleri taşıyıcı dalganın, P ve C/A kodları yerine modüle edilmemiş (L1 ve L2) haline yapılmaktadır. Bu gözlemler kod bilgisi kullanmadığı için Seçimli Doğruluk Erişimi (SA)’nden etkilenmemektedir (Kahveci ve Yıldız, 2009).



Şekil 2.5. GPS taşıyıcı faz ölçüsü (URL-5).

Kod gözlemleri ile faz gözlemleri arasındaki temel farklılıklar;

- Kod gözlemleri tam olarak ölçülürken, faz gözlemlerinde faz başlangıç belirsizliği söz konusudur.
- Taşıyıcı dalga fazı iyonosferden geçerken hızla getirilecek olan düzeltme “-” işaretlidir. Oysa kod ölçüleri yavaşladığı için iyonosfer düzeltmesi kod gözlemleri için “+” işaretlidir.

2.3.3 Taşıyıcı faz kombinasyonları

GPS alıcıları uydulardan gelen sinyal verilerini alacak şekilde tasarlanmaktadır. Jeodezik uygulamalarda çok frekanslı alıcılar kullanılmaktadır. Çok frekanslı alıcılar L1, L2 ve L5 taşıyıcı fazlarını ölçerler. Alıcılar kod-korelasyon tekniği kullanarak L2 fazını birkaç mm duyarlılığında ölçebilirler. İkinci bir frekansın kullanımı uzun

bazlarda iyonosferik gecikme hatasını tahmin etmeye olanak sağlar. Ayrıca ikinci frekans kısa bazlarda da BFB çözümünde gerekli zamanı azaltır. Bu işlem iki GPS taşıyıcı faz ölçüsünün kombinasyonu ile olur.

Taşıyıcı faz başlangıç belirsizliğinin çözümü için L1, L2 taşıyıcı fazı ve üç adet yapay olarak bu fazlarla türetilen faz kombinasyonları kullanılır. Bu kombinasyonlar:

- 1- Geniş aralık (wide lane)
- 2- Dar aralık (narrow lane)
- 3- İyonosferden bağımsız (ionosphere free) gözlemlerdir.

2.3.3.1 Geniş aralık (wide lane) taşıyıcı faz gözlemi

Geniş aralık taşıyıcı faz gözlemi L2 fazının L1 fazından çıkarılmasıyla oluşturulur. Dalga boyu 86 cm'dir. Uzun dalga boyu nedeniyle genelde tamsayı taşıyıcı faz belirsizliğini çözmesi daha kolaydır. Yaygın olarak kullanılan faz kombinasyonudur.

$$\Phi_{WL} = \Phi_{L1} - \Phi_{L2} \quad (2.1)$$

2.3.3.2 Dar aralık (narrow lane) taşıyıcı faz gözlemi

Dar aralık taşıyıcı faz gözlemi L1 ve L2 taşıyıcı sinyallerin her ikisinin toplamıyla oluşturulur. Dar aralık taşıyıcı gözlemin gürültüsü (ölçme belirsizliği) geniş aralık gözleme oranla daha küçüktür. Kısa dalga boyu nedeniyle, daha duyarlı “ölçme etiketi” sunar, fakat yanlış tamsayıya sabitleme riski vardır (Victoria, 2003).

$$\Phi_{NL} = \Phi_{L1} - \Phi_{L2} \quad (2.2)$$

2.3.3.3 İyonosferden bağımsız (ionosphere-free) taşıyıcı faz gözlemi

İyonosferden bağımsız taşıyıcı faz gözlemi önceki gözlemlerin sonunda bulunan iyonosferik hata terimini elimine etmek için tasarlanmıştır. Gözlem L1 ve L2 taşıyıcı sinyallerini birbirine bağlı olarak ölçeklendirilmesi ile oluşturulur. Bu oluşturulan gözlem kombinasyona ait görüntünün diğer kombinasyonlardan az olması beklenir. İki katsayı (α ve β) için L1 ve L2 taşıyıcı fazlarında aşağıdaki eşitlik uygulanır. Bu iki katsayı keyfi olarak seçilir.

$$\Phi IF = \alpha * \Phi L1 + \beta * \Phi L2 \quad (2.3)$$

2.3.4 Temel GPS gözlemlerine dayalı olarak türetilen fark gözlemleri

Kod gözlemlerinden ve faz gözlemlerinden yararlanılarak oluşturulan lineer kombinasyonlardan oluşturulan farklar yardımıyla alıcı saat hataları, uydu saati hataları ve faz başlangıç belirsizliği gibi birçok ortak hata kaynağı giderilmektedir. Fark kombinasyonları farklı şekilde oluşturulur. Bunlar;

- Alıcılar arasında,
- Uydular arasında,
- Ölçü epokları arasında,
- L1 ve L2 frekansları arasında yapılmaktadır.

2.3.4.1 Tekli farklar (single differences)

İki farklı alıcı noktasında aynı uyduya eş zamanlı olarak yapılan faz gözlemleri arasındaki farklar anlaşılmaktadır. Bu yöntemle temel olarak uydu saatlerindeki hatalar giderilmektedir. Tekli fark, uydular arasında aynı bir alıcı için oluşturulursa bu durumda alıcı saati hatası giderilmiş olur.

2.3.4.2 Çiftli farklar (double differences)

İki tekli farkın farkı olarak tanımlanabilir. Aynı epokta iki farklı uydu için oluşturulan tekli farklar arasındaki farktır. Bu yöntemle uydu alıcı saat hatalarının her ikisi de giderilir, ayrıca kısa baz uzunluklarında troposferik ve iyonosferik etkiler de giderilmektedir.

2.3.4.3 Üçlü farklar (triple differences)

İki farklı epokta oluşturulan iki ikili fark arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Üçlü fark gözlemlerinin oluşturulmasındaki temel amaç taşıyıcı faz başlangıç belirsizliğinin (ambiguity) giderilmesidir.

2.4 GPS Ölçü ve Hesaplarını Etkileyen Hata Kaynakları

Gelişen GPS teknolojisinin amacı, en hızlı ve en yüksek doğrulukla kullanıcının

konumunu belirlemektir. İlk olarak GPS sistemi bilimsel ve jeodezik amaçlı kullanıcılar için 1-2 m duyarlılığında, sıradan kullanıcılar için bu duyarlılığın 1-2 kat büyüklüğünde duyarlılıkla üç boyutlu konum doğruluğuna ulaşmaktı. Teknolojik gelişmelerle GPS sisteminin duyarlılığı da aynı oranda arttı. Uydu Teknolojisinin gelişmesi ve bu konudaki bilimsel araştırmalar sayesinde GPS sisteminin performansını düşüren sınırlamalar ya da hata kaynakları da azaldı. Fakat GPS sistemi de konum belirlemede diğer sistemlerde olduğu gibi ölçüleri ve hesapları etkileyen hata kaynakları mevcuttur.

GPS sistemi bugüne kadar geliştirilmiş en yüksek doğruluklu global konum belirleme ve navigasyon sistemi olsa da GPS ölçülerinden elde edilen sonuçları da etkileyen bazı rastlantısal ve sistematik sapmalar söz mevcuttur.

Bu sapmaların bazıları görelî konum belirleme yöntemlerinin kullanılması durumunda bile ölçülere etkilerini sürdürmektedir. Bu sapmalar GPS'in birçok kullanım alanı için önemli bir sakınca oluşturmamakla beraber özellikle jeodezik ve bilimsel amaçlı çalışmalarda, bu sapmaların davranışı ve büyüklüğü çok iyi modellendirilmeli ve kontrol altında tutulmalıdır.

GPS ile ilgili hatalar veya sapmaları üç ana grupta sınıflandırılabilir. Bunlar;

- Uydudan kaynaklanan hatalar,
 - ✓ Uydu efemeris hatası
 - ✓ Uydu saat hatası
 - ✓ Seçimli doğruluk erişimi (selective availability, SA)
- Alıcıdan kaynaklanan hatalar,
 - ✓ Alıcı saat hatası
 - ✓ Alıcı faz merkezi hatası
 - ✓ Alıcı frekans gürültüsü
- Sinyal yayılımına bağlı hatalar
 - ✓ İyonosfer etkisi
 - ✓ Troposfer etkisi
 - ✓ Sinyal yansımaları (multipath)
 - ✓ Faz sıçramaları (cycle slip)

2.4.1 Uydudan kaynaklanan hatalar

2.4.1.1 Uydu efemeris hatası

Uydu yörünge bilgisi izleme istasyonlarınca toplanan verilerin ana kontrol istasyonu tarafından işlenmesi ve tekrar izleme istasyonlarına göndererek, navigasyon mesajının her bir uyduya yüklenmesini sağlar.

GPS ana kontrol istasyonunun tarafından hesaplanan uydu yörünge bilgisi uydunun gerçek konumundan farklı olması durumundaki hataya uydu yörünge hatası denir.

2.4.1.2 Uydu saat hatası

Uydu saat zamanı ile GPS alıcı saat zamanı arasındaki farktır. GPS ile konum belirlemenin temelini zaman ölçümü oluşturduğundan konum belirlemede en büyük hata kaynağını da uydu saat hataları oluşturmaktadır. Bu etki, uydunun hareketinden bağımsız olup ölçü yapılan tüm noktalardaki alıcılar için aynı büyüklüğe sahiptir. GPS uydularında yüksek kaliteli atomik saatler kullanılmasına rağmen, uydu saat hatasından kaçınılamaz.

Uydu saati hatası kontrol bölümü tarafından sürekli olarak izlenmekte ve yayın efemerisi saat düzeltmelerini günlük olarak navigasyon mesajının bir bölümü olarak yüklenmektedir. Bu düzeltmelerin temel nedeni uydu-alıcı uzaklığının hesaplanmasındaki toplam hatayı olabildiğince azaltmak, bunun için ise uydu saatleri ile GPS zamanı arasındaki yaklaşık 30 nanosaniyelik senkronizasyonu sağlamaktır. Uydu saat hatası eş zamanlı olarak aynı uyduları izleyen iki alıcı için aynı olacağı prensibinden yararlanarak bağıl konum belirlemede uydu saat hatası iki alıcıdan elde edilen ölçülerin farkları alınarak ta elemine edilebilir.

2.4.1.3 Seçimli doğruluk erişimi (SA)

Uydu konum bilgilerinin veya uydu saatlerinin epsilon ve dither teknikleri uygulanarak kasıtlı olarak bozulmaları biçiminde tanımlanabilir. Yetkisiz kullanıcıların GPS'in sağladığı doğruluklara ulaşmasını engellemek amacıyla mutlak konum belirleme doğruluklarının ABD tarafından kasıtlı olarak kötüleştirilmesidir.

Seçimli doğruluk erişimi 25 Mart 1990 tarihinde uygulanmaya başlamış, 1 Mayıs 2000 tarihinde sona erdirilmiştir.

SA etkisi uygulanmadığı durumlarda konum doğruluğu yaklaşık 20 metre iken, SA uygulandığı durumlarda yatayda doğruluk yaklaşık 100 metre, dūřeyde ise 150 metredir (Kahveci ve Yıldız, 2009).

SA etkisi iki farklı şekilde uygulanmıştır. Birincisinde uydu navigasyon mesajında yayınlanan yörünge bilgileri ile oynanmakta (ϵ = epsilon tekniği), ikincisi de uydu saati ile oynanarak yapılmaktadır (δ = clock dithering tekniği) (Kahveci ve Yıldız, 2009).

2.4.2 Alıcıdan kaynaklanan hatalar

2.4.2.1 Alıcı saat hatası

GPS Alıcısındaki saat zamanı ile gerçek GPS zamanı arasındaki farktır. GPS alıcıları uyduların saatlerine göre çok daha ucuz saatler kullanıldığı için uydu saat hatasına kıyasla alıcı saat hatası çok daha büyüktür.

Gps alıcısı ile eş zamanlı olarak yapılan tüm ölçülerde yapılan tüm ölçüler için aynı olacağı prensibinden yararlanarak Bağlı konum belirlemede ikili farklar yöntemi ile bu hata giderilebilmektedir.

2.4.2.2 Anten faz merkezi hatası

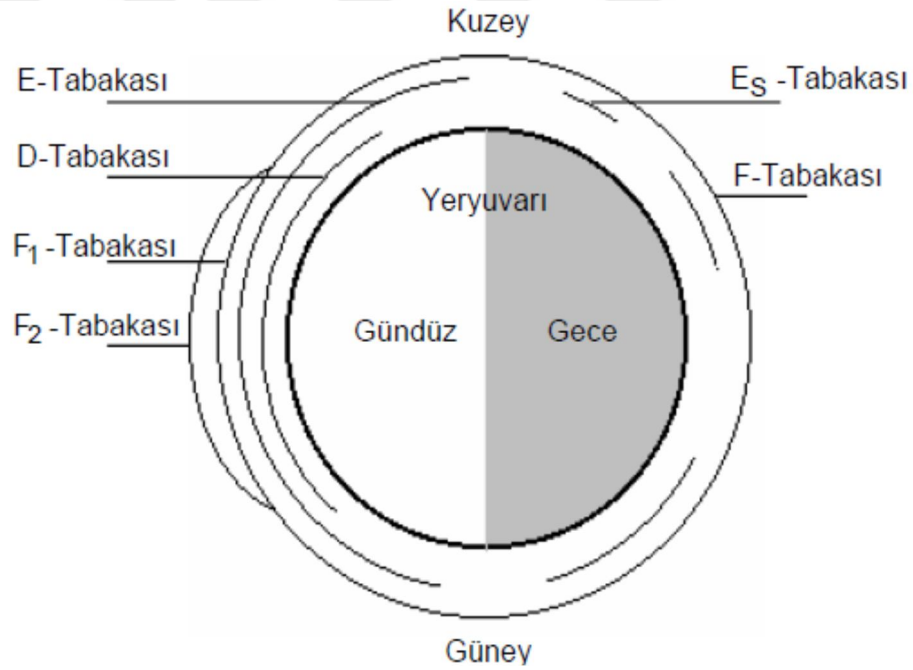
Alıcı anteni faz merkezi GPS sinyallerinin antene ulaştığı nokta olup bu nokta genellikle geometrik faz merkezinden farklıdır. İdeal olarak GPS anteninin faz merkezi, antene ulaşan sinyalin geliş doğrultusundan bağımsız olması gerekir. Ancak, uygulamada, uydu sinyalinin azimut ve yükseklik açısında bağlı olarak jeodezik antenlerin faz merkezlerinde küçük değişimler gözlenmektedir. Sözü konusu değişimler L1 ve L2 sinyalleri için farklıdır. L1 ve L2 sinyallerinin faz merkezleri birbirinden farklı olup, bu faz merkezleri laboratuvar koşullarında üretici firma tarafından belirlenen faz merkezinden farklıdır (Kahveci ve Yıldız, 2009).

2.4.3 Sinyal yayılımına bağlı hatalar

Uydudan alıcıya gelen sinyaller atmosferik gecikme ve yansıma hatasından etkilenir. Atmosferik gecikmeye iyonosfer ve troposfer adı verilen iki atmosfer tabakası sebep olmaktadır.

2.4.3.1 İyonosfer etkisi

İyonosfer tabakası yer yüzeyinden itibaren 100-1000 km yüksekliğe kadar olan bölgedir. İyonosfer tabakasının büyük kısmı nötr gazlardan oluşmuştur. İyonosferde atomlardan kopmuş serbest elektronlar, elektromanyetik dalgaların yayılmasını değiştirmeye yetecek kadar çoktur. Şekil 2.6'da iyonosfer içindeki tabakaları ve Çizelge 2.2'de iyonosferdeki tabakaların özellikleri ve elektron yoğunlukları verilmektedir.



Şekil 2.6. İyonosfer tabakaları (Başçiftçi, 2017).

İyonosferin elektromanyetik dalgaların yayılmasındaki etkisi Toplam Elektron Miktarı (TEC) ile ifade edilmektedir. TEC, uydu ile alıcı arasındaki sinyal yolu boyunca m^2 'deki toplam elektron sayısına denir. TEC zamana, mevsime, enleme, manyetik alana, yerel zamana, yüksekliğe ve büyük ölçüde güneş hareketlerine bağlı olarak hızlı bir değişim gösterir (Başçiftçi, 2017).

Çizelge 2.2. İyonosfer tabakaları toplam elektron miktarı ve özellikleri (Başçiftçi, 2017).

Tabakalar	Yükseklik (km)	Elektron Yoğunluğu (1/cm ³)		Nötr gaz yoğunluğu (1/cm ³)
		Gece	Gündüz	
D	60-85	10 ² -10 ⁴	---	10 ¹⁵
E	85-140	10 ⁵	2. 10 ³	2. 10 ¹²
F ₁	140-200	3. 10 ⁵	10 ³	10 ¹⁰
F ₂	200-1000	5. 10 ⁵	3. 10 ³	10 ⁶ -10 ¹⁰

Bunların dışında gözlenen uydunun yükseklik açısının da iyonosferik etkinin büyüklüğü üzerinde etkisi vardır.

İyonosfer tabakasında bulunan serbest elektronlar nedeni ile GPS sinyalleri bu tabakayı tam ışık hızında geçemez. İyonosfer tabakasının GPS ile yapılan kod ve faz ölçülerine olan etkileri farklı olmaktadır. Kod ölçüleri için iyonosferik grup gecikme etkisi (group delay) kod uzunluk ölçüsünün olması gerekenden daha uzun olmasına neden olmaktadır. Faz ölçüleri için faz hızlanması (phase advance) ölçülen faz ölçüsünün olması gerekenden daha kısa olmaktadır.

İyonosfer tabakasının radyo frekanslarını dağıtıcı bir özelliğe sahiptir. İyonosferik etki TEC ile doğru orantılı ve sinyal frekansının karesi ile ters orantılıdır. İyonosferik etki frekansa bağımlıdır. Bu frekans bağımlılığı nedeniyle ikinci bir frekansın kullanılması iyonosferik etkiyi büyük oranda giderilebilmektedir.

2.4.3.2 Sinyal yansıma (multipath) etkisi

GPS alıcı antenlerinin tüm yönlerden gelen uydu sinyallerini eş zamanlı alabilme (omnidirectional) özelliğine sahiptir. GPS alıcısının veri topladığı arazi yapısına ve sinyal yükseklik açısına bağlı olarak kaydedilen uydu sinyallerine yansıtıcı yüzeylerden gelen sinyal yansımalarının da karışması söz konusudur.

Uydulardan yayınlanan sinyallerin yeryüzündeki GPS alıcısına bir veya daha fazla sayıda yol izleyerek ve esas sinyale karışarak ulaşmasına sinyal yansıma (multipath) etkisi denir. Sinyal yansıması uydu ve alıcının her ikisi için de söz konusudur.

Sinyal yansıma hatasının büyüklüğü dalga boyu ile orantılıdır. Teorikte kod uzunluk

ölçüsünde maksimum yansıma hatası yaklaşık dalga boyu uzunluğundadır (C/A kod için yaklaşık 300 metre iken P-kod için yaklaşık 30 metredir). Buna karşılık taşıyıcı faz ölçüsünde maksimum yansıma hatası dalga boyunun çeyreği kadardır (L1 taşıyıcı faz ölçüsü için yaklaşık 5 cm, L2 için yaklaşık 6 cm kadardır) (Kahveci ve Yıldız, 2009).

Yansıma etkisi, uydular ufka yaklaştıkça daha da belirgin hale gelir. Ancak birbirlerini izleyen günlerde yapılan GPS ölçülerinin değerlendirilmesi ile elde edilen sonuçlar yansıma hatasının ardışık günlerde hemen hemen aynı düzeyde gerçekleştiğini ortaya koymaktadır (Özlüdemir, 2003).

Uyduların sinyal yansıma hatasına neden olduğu özellikte 100 km'den küçük ağlarda bazın her iki ucundaki anten için aynı büyüklüğe sahip olacağından görelî konum belirleme yöntemi ile büyük ölçüde giderilmektedir. Bunun dışında sinyal yansıma etkisinin giderilmesi, her noktada farklı geometri ve çevre şartları söz konusu olacağından her zaman mümkün değildir. Fark alma yöntemleri kullanılarak bu etki giderilemez. Etkinin giderilebilmesi için en kolay ve en etkin yol, alıcının çok yakınında yansıtıcı yüzeylerin olmamasına dikkat etmek ve çok uzun süre ölçü yapmaktır. Bir başka yol ise yansıma sonucu sinyal dağılımı etkisini içinde sayısal olarak filtreleme yapan alıcı kullanmak ve yansıyan dalgayı engelleyen özel alıcı tipleri kullanmaktır. Uydularla belirli bir yükseklik açısının üzerinde gözlem yapmak yansıma etkisini azaltmaktadır (en az 10° - 15°) (Rizos, 1997).

2.4.3.3 Faz sıçramaları

Faz sıçramaları, uydu sinyalinin izlediği yol ile GPS alıcısının arasında kısa süreli bir engel sebebiyle sinyalin alete ulaşamaması sonucu kesinti oluşur. Bunun sonucunda faz ölçüleri de doğru olmayan tesadüfî değerler olur. Uydunun hareketinden dolayı, nokta-uydu arasındaki görüş tekrar sağlanır veya sinyalin alete ulaşmasını engelleyen faktörler ortadan kalkar ise ölçme işlemi tekrar normal hale dönüşür. GPS gözlemleri devam ederken uydu sinyallerinin alınmasında karşılaşılabilecek herhangi bir problem nedeniyle meydana gelecek sinyal kesikliklerine faz kesiklikleri, faz sıçramaları (cycle slips) denir.

Faz kesikliklerinin genel olarak nedenleri;

- Ölçü noktası çevresindeki ağaç, bina, köprü, dağ vb. uydu sinyallerinin alıcıya ulaşmasını engelleyen nesneler,
- Kötü iyonosferik şartlar nedeniyle sinyal-gürültü oranının düşük olması,
- Sinyal yansıma etkisi
- Alıcı yazılımında (firmware) oluşabilecek hatalar şeklinde sayılabilir.

Engel öncesi ölçülerdeki tam dalga sayısı ile engelin kalkması sonucu yapılan ölçülerdeki tam dalga sayısı birbiriyle uyuşmaz. Uydu-alıcı arasındaki taşıyıcı dalga fazının kaç tane tam dalga içerdiği bilinmemektedir. Bu bilinmeyene de Taşıyıcı Dalga Faz Başlangıcı Belirsizliği ya da Faz Belirsizliği (ambiguity) adı verilir.

Faz sıçramalarının giderilmesi bilimsel amaçlı uzun bazlara ait GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde çok yoğun bir çaba, ayrıntılı bilgi ve deneyim gerektirmektedir. Ancak pratik amaçlı konumlama için (20 km'yi geçmeyen kısa bazlarda) bu sorun mevcut yazılımlarda tamamen otomatik olarak çözülmektedir.

Faz belirsizliği bilinmeyenlerinin çözümünde de birçok yöntem mevcut olup bunlar genel olarak;

- ✓ Klasik yöntemler (geometrik yöntem, EKK dengeleme yöntemi),
- ✓ P-kod destekli yöntem,
- ✓ Anten yer değiştirmesi yöntemi,
- ✓ Modern (QIF, FARA, LAMBDA, FASF vb.) yöntemlerdir.

2.5 GPS'in Avantajları ve Dezavantajları

- Noktalar arasında rasat vb. gözlem yapılmayacaksa birbirini görme zorunluluğu ortadan kalkmıştır. GPS alıcı anteninin uydu sinyalini izleyebilmesi için gökyüzünü görmesi yeterlidir. Tünel gibi kapalı alanlarda, sualtında ve binaların yoğun olduğu yerleşim yerlerinde GPS ile sonuç alınamaz. Uydu görmek için açık alan gerekir.

- Nirengi ağı oluşturulurken noktaların yüksek yerlerde olması gibi zorunluluklar ortadan kalkmıştır. Gereksinim duyulan ve GPS ölçüsünün yapılmasına olanak veren her yerde nokta tesisi yapılabilir.
- GPS ölçülerinin yapılması büyük oranda hava şartlarından bağımsızdır. Yoğun yağışta, güçlü radyo yayınının yapıldığı ya da yayın antenlerinin olduğu yerlerde verimli değildir.
- Gece ve gündüz sürekli (24 saat) ölçüm yapılabilir.
- GPS ölçü aletlerinin kolay ve hızlı kurulması ve kullanıcı hatalarının olmaması (anten yüksekliği ölçümü hariç) nedenleriyle ekonomik bir sistemdir.
- Üç boyutlu nokta koordinatlarını çok hassas şekilde vermektedir. GPS, koordinatları WGS-84 datumunda vermektedir. GPS ile noktaların elipsoid yükseklikleri belirlenmektedir.
- Elde edilen jeodezik doğruluklar en duyarlı klasik jeodezik tekniklerle elde edilenlerle eşit ya da daha iyidir.

3. GPS İLE KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ

GPS ile konum belirleme yöntemi uydu alıcı uzaklıklarının hesabına dayanan uzay geriden kestirme probleminin çözümüdür. Uydu sinyalleri GPS alıcıları tarafından kaydedilerek, sinyalin uydudan yayınlandığı an ile alıcıda kaydedildiği an arasında geçen süre çok hassas olarak ölçülür. Bu süre sinyalin yayılma hızı ile çarpılarak uydu ile alıcı arasındaki mesafe belirlenir. Uydu koordinatları, zamana bağlı olarak bilindiği için alıcının konumu da hesaplanabilir.



Şekil 3.1. GPS ile konum belirleme (URL-6).

GPS ile konum belirlemede temel düşünce geometrik olarak uydu-alıcı arasındaki uzaklıklarından faydalanılarak yapılır. Ancak tek uydu ile yapılan uydu-alıcı uzaklığında uydu merkezli bir küre oluşacağından alıcı bu küre üzerindeki herhangi bir nokta olacaktır. Ancak bu kürenin neresinde olduğumuza dair kesin bir bilgi bulunmamaktadır. Eldeki tek bilgi uydu-alıcı uzaklığıdır. Uydu mesajlarında doğrultuya ilişkin herhangi bir bilgi olmadığından herhangi bir yönde olabiliriz. Konum belirlemedeki bu belirsizlik ikinci hatta üçüncü uyduya gözlem yapılırsa bile tam olarak çözülemez. Bu problemin çözümü için birçok varsayım yapılacağı gibi en uygun ve kesin çözüm yöntemi dördüncü uyduya gözlem yapmaktır. Şekil 3.1’de 4. uydu olmadan çözümün geniş aralıklı olacağı gösterilmiştir.

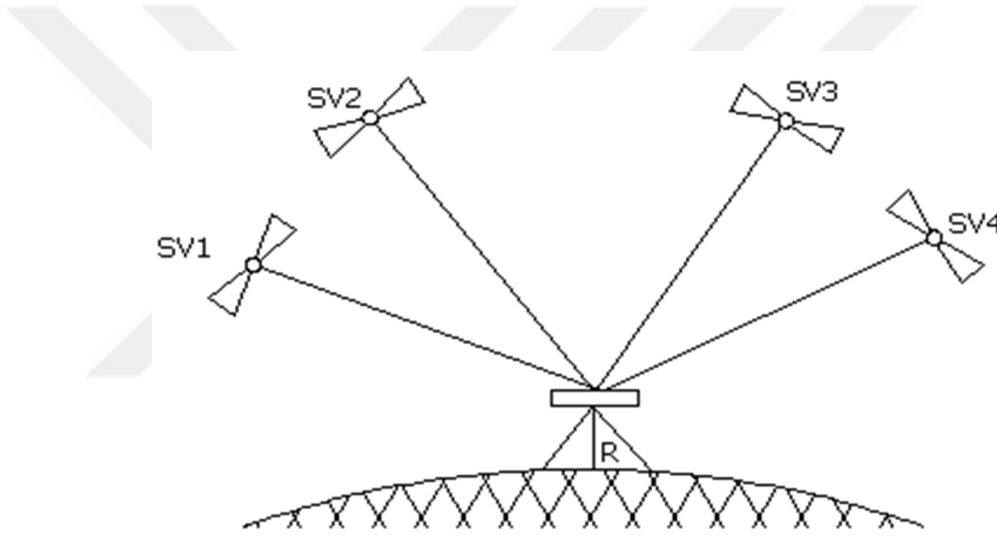
GPS ile iki ana konum belirleme yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar;

- Mutlak konum belirleme (absolute/point positioning)
- Göreli konum belirleme (relative positioning)

3.1 Mutlak Konum Belirleme

GPS ile konumu belirlenmek istenen noktaların cinsine, istenen duyarlılığa ve amacına göre farklı ölçme metotları uygulanır. Sonuçta elde edilen koordinatların hassasiyeti alıcı tipine, gözlem süresine, uyduların konumu ve sayısına, ölçü tipine göre değişir. Bir noktanın konumu (enlem, boylam, yükseklik veya X, Y, Z) sadece uydulardan gelen verilere göre belirleniyorsa buna mutlak konum belirleme (absolute/point positioning) denir.

Mutlak konum belirlemede GPS alıcısının dört ya da daha fazla uydudan kod gözlemleri yapılarak üzerinde gözlem yapılan noktanın konumunu belirlemektir. Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



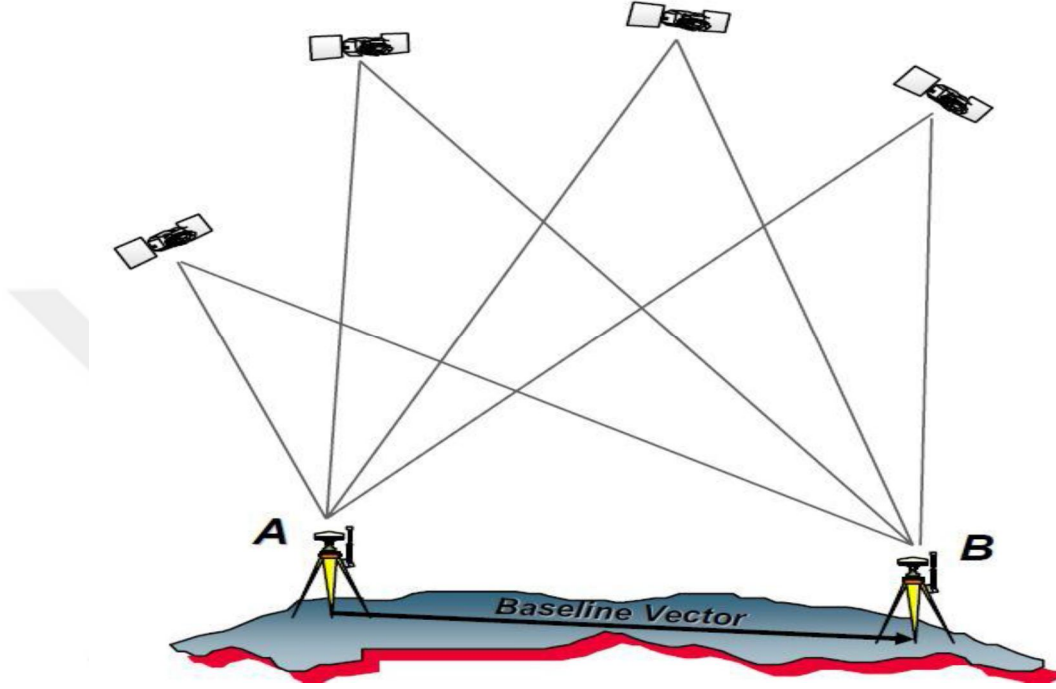
Şekil 3.2. Mutlak konum belirleme (URL-7).

Yöntem sinyalin uydu çıkışından GPS alıcısına ulaşana kadar geçen zaman ve ışık hızı çarpılarak hesaplanan uydu-alıcı uzaklıkları ile uyduların bilinen koordinatları ile uzay geriden kestirme esaslarına dayanmaktadır. Gözlem yapılan noktanın koordinatları, kullanılan kod bilgisine ve uydu geometrisine bağlı olarak anlık belirlenebilmektedir.

3.2 Göreli Konum Belirleme

Görelî konum belirlemede konumu bilinen bir noktaya göre diğer nokta ya da noktaların konumlarının belirlenmesidir. Görelî konum belirleme ile iki nokta arasındaki baz vektörü belirlenmektedir.

Görelî konum belirleme için eş zamanlı kurulan iki GPS alıcısının aynı uydulara eş zamanlı kod ve/veya faz gözlemleri yapması gerekir. Görelî konum belirleme ile elde edilen doğruluk mutlak konum belirlemeye göre daha hassas olup alıcı tipi, ölçü süresi, gözlem yapılan uydu geometrisi, uydu sayısı ve kullanılan efemeris bilgisine bağılı olarak doğruluğu 0.001 ile 100 ppm arasında değişmektedir.



Şekil 3.3. Görelî konum belirleme (Ayers, 2011).

Şekil 3.3’de görüldüğü gibi A noktası referans (sabit) alınarak referans noktasının konumuna göre B noktasının konumu belirlenebilmektedir.

Kod gözlemleri ile anında konum belirleme için yeterli doğruluk sağlanmakta ve pratik olarak büyük önem taşımaktadır. Ancak mühendislik ve bilimsel hizmetler için çok daha duyarlı sonuçlara gereksinim vardır. Bu amaç için faz gözlemleri kullanılmaktadır. Faz gözlemleri kullanılarak yapılan görelî konum belirlemede beş farklı yöntem mevcut olup, bunlar;

- Statik ölçü yöntemi,
- Hızlı (Rapid/fast) Statik ölçü yöntemi,
- Tekrarlı (reoccupation/pseudostatic) ölçü yöntemi,
- Dur-Git (stop and go) ölçü yöntemi

- Kinematik ölçü yöntemi

şeklinde sıralanabilir. Burada kullanılan ölçü yöntemleri olan statik ve hızlı statik ölçü yönteminden bahsedilecektir.

3.2.1 Statik ölçü yöntemi

Klasik GPS ölçü tekniği olup,

- Noktalar arasında uzun bazlar söz konusu ise (20 km'den uzun bazlar)
- Güvenilir ve yüksek duyarlık istenen çalışmalarda
- Uydu geometrisi başka bir ölçüm tekniğine cevap vermediğinde
- Atmosferik etkilerin dikkate alınması gereken durumlarda (iyonosfer ve troposfer etkisi)

kullanılacak en iyi yöntemdir.

Bu ölçü yönteminde iki ya da daha fazla sayıda alıcı ile en az bir saat eş zamanlı ölçü GPS gözlemi yapılmaktadır. Gözlem süresi baz uzunluğu ile de orantılıdır. Çalışmanın hassasiyetine göre kayıt aralığı 10-30 saniye arasında seçilmektedir.

3.2.2 Hızlı statik ölçü yöntemi

Hızlı statik ölçü yöntemi de statik ölçü yöntemi olup gözlem yapılan noktalarda kısa süreli ölçülerle duyarlı sonuçlar vermektedir. Ölçü yöntemi statik ölçü yöntemi ile aynıdır.

Hızlı statik yöntemi konumu belirlenmek istenen noktalar arasında alıcı taşınırken açık olmasına gerek yoktur. Bu da pratik açıdan büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu ölçü yönteminde ölçü süresi, noktalar arası uzaklığa ve uydu geometrisine bağlıdır.

Hızlı statik ölçü yöntemi, özellikle kısa süre içerisinde çok sayıda noktanın doğru ve ekonomik olarak ölçülmesi gerektiği durumlarda kullanılan en iyi yöntemdir.

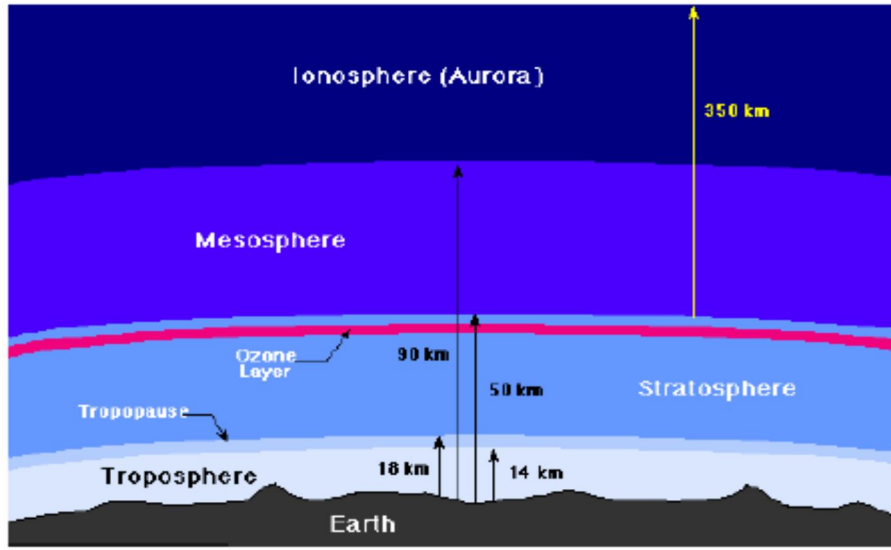
Ölçülen noktanın hassasiyetini arttırmak için 2 sabit alıcıdan iki vektör ile ya da 1 alıcıdan iki farklı zamanda 2 vektör ile nokta konumları hesaplanmalıdır. Kayıt aralığı 5-10 saniyedir (Kontrol ölçmeleri, poligon ağı ölçmeleri).

4. ATMOSFERİN GPS'E ETKİLERİ

4.1 Atmosferik Etkiler

GPS uyduları tarafından yayınlanan sinyallerin atmosferde karşılaştığı ilk tabaka iyonosfer tabakasıdır. GPS sinyallerinin iyonosfer tabakasındaki ilerleme hızı sinyal frekansına bağlıdır. İyonosfer tabakasının GPS sinyallerine olan etkisi çift frekanslı alıcılar kullanılarak büyük ölçüde giderilebilmektedir.

İyonosfer tabakasından geçen sinyaller sırasıyla mezosfer, stratosfer ve troposfer tabakalarından ilerler (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Atmosferinin katmanları (Erdönmez, 2008).

İyonosfer tabakası dünyayı çevreleyen ve güneş ışınları ile iyonize olmuş kısmını oluşturduğundan bu tabaka radyo frekansları için dağıtıcı (dispersive) bir özelliğe sahiptir. Oysa Şekil 4.1'de belirtilen stratosfer ve troposfer tabakaları elektrik yüklü olmadığından (iyonize olmamış; nötr) yaklaşık 30 GHz'in altındaki radyo frekansları için dağıtıcı bir özelliğe sahip olmadığı için radyo dalgalarının yayılması frekansa bağımlı değildir. Bu nedenle, troposfer tabakasının faz ve kod ölçülerine olan etkileri aynı büyüklüktedir. GPS alıcılarının çift frekans özelliğinden yararlanarak gidermek olanaklı değildir. İyonosferik etki GPS frekanslarından yararlanarak doğrudan hesaplanabilmektedir. Troposferik etkiyi bu şekilde elimine etmek mümkün olmadığından troposfer modellerinden faydalanılmalı yahut hava basıncı, sıcaklık ve nem değerleri doğrudan ölçülmelidir.

Uydular tarafından yayınlanan mikrodalga frekansındaki elektro manyetik sinyallerde atmosferin etkisiyle geometrik uzaklıktan sapma meydana gelir. Atmosfer iki belirgin bölgeden oluşmaktadır. Yeryüzeyinden 100 km yüksekliğe kadar elektriksel olarak nötr olan troposfer tabakası ve 100 km'den 1000 km yüksekliğe kadar elektrik yüklü iyonosfer tabakasıdır. Bu tabakalarda meydana gelen sapma iki şekilde gerçekleşir:

- a) Sinyal yolu eğriliği
- b) Yayınım gecikmesi

En önemli etki, iyonosferik ve troposferik olarak ikiye ayrılabilen yayınım gecikmesidir. Her türlü hava koşulunda ölçmeye olanak tanıyan ve her geçen gün önemi hızla artan uydu jeodezisinde yol gecikmesini saptamaya yönelik uygun yöntem ve modellere gereksinim vardır.

4.2 Sinyal Yolu Eğriliği

Fermat ilkesine göre bir elektromanyetik sinyal, elektromanyetik olarak “en hızlı” yol boyunca seyahat eder. Bu da her zaman geometrik olarak en kısa yol demek değildir. Atmosfer bir vakum (boşluk) olmadığından, elektromanyetik sinyal bir eğri yol boyunca hareket eder. Eğri yol ile doğru yol arasındaki fark, başucu (zenit) doğrultusunda tam olarak sıfırdan yatayda bir kaç metreye kadar ulaşmaktadır. (Hopfield, 1977). 10° nin üzerindeki eğim açıları için eğrilik terimi her zaman 2 cm. den daha küçüktür (Berrada Baby vd., 1988). Kouba (1979), atmosferdeki sinyal yolu eğriliğini hesaba katan bir ampirik model sunmuştur.

$$b[E] = \frac{1.92}{E^2} + 0.6 \quad (4.1)$$

Burada, $b[E]$ sinyal yolu eğriliğinden kaynaklanan yol uzunluğu fazlalığı, E ise uydunun eğim (yükseklik) açısıdır.

Çizelge 4.1’de çeşitli eğim açıları için ‘ $b[E]$ ’ değerleri sunulmuştur. Uygulamada 15° eğim açısının altında yapılan uydu gözlemleri nadiren kullanılır, çünkü bu tür eğim açıları için iyonosferik ve troposferik etkileri modellemek zordur. Sinyal yolu eğriliğini değerlendirmeye tabi tutma gereği böylelikle ortadan kalkmış oluyor.

Çizelge 4.1. Sinyal yolu eğriliğinden kaynaklanan düzeltmeler (Erdönmez, 2008).

E (°)	b[E] (m)
0	3.200
5	0.075
10	0.019
15	0.009
20	0.005
30	0.002
40	0.001
50	0.001
60	0.001
70	0.001

4.3 Atmosferik Yayınım Gecikmeleri

Modern uzay bazlı jeodezik sistemlerde, atmosferin neden olduğu elektromanyetik sinyallerin yayınım gecikmeleri, sınırlayıcı hata kaynaklarından biri olarak bilinir. Bu sistemler, iki belirgin frekans bandı kullanır. Bunlar; Çok Uzun Bazlı İnterferometri (VLBI) ve Küresel Konumlama Sistemi (GPS) gibi mikrodalga bandı veya Uydu Lazer Uzunluk Ölçme (SLR) gibi optik band. Mikrodalga frekanslarında, iyonosfer saçıcı (dispersif) olup, yayınım gecikmesine katkısı çift-frekanslı band gözlemleriyle yaklaşık olarak ortadan kaldırılabilir. Oysa troposfer tabakası yaklaşık 15 Ghz'lık frekanslara kadar etkin olarak saçıcı olmayan (non-dispersif) bir bölgedir. Bu yüzden iki radyo frekansın kullanımı troposferik yol gecikmesinin etkisini düzeltmeyecektir. (veya ortadan kaldırmayacaktır) (Cross ve Seller, 1991).

Atmosferik yayınım gecikmelerini, iyonosferik ve troposferik gecikme olarak inceleyebiliriz.

4.3.1 İyonosferik gecikme

İyonosfer, yerküreyi 100 km ile 1000 km mesafeler arasında çevreleyen ve güneş ışınları ile iyonize olmuş gazların meydana getirdiği atmosfer tabakası olarak tanımlanabilir (Arıkan vd., 2003).

İyonosferin GPS sinyallerine olan gecikme etkisi elektron yoğunluğuna bağlıdır. Bu elektron yoğunluğu gece/gündüz ve mevsimsel değişimler, coğrafi konum ile güneşte meydana gelen manyetik fırtınalar gibi etkenlerin tümünden etkilenerek değişir.

Güneş ışınlamı ile elektronlarından ayrılıp serbest hale geçen iyonlar yerel saatle 12:00-14:00 arasında en yoğun değerine ulaşır. Elektronların iyonlarla birleşmesinden dolayı geceleri iyonlaşma azalır (Başçiftçi, 2017). Bütün bu etkiler göz önüne alındığında GPS ile ilk uzunluk 0.15 metre ile 50 metre arasında yanlış elde edilebilir.

İyonosfer tabakasında seyahat eden bir elektromanyetik sinyal iki şekilde etkilenir. Faz hızı artarken grup hızı yavaşlar. Her iki etki de büyüklük olarak aynı fakat ters işaretlidir. GPS kod ölçmeleri gecikir, fakat taşıyıcı faz ölçmeleri ise hızlanır. Bu yüzden uydu ile GPS alıcısı arasındaki geometrik uzunluğa kıyasla kod ön-uzunlukları (code pseudoranges) daha uzun, taşıyıcı faz ön-uzunlukları (phase pseudoranges) daha kısa ölçülür. Her ikisinde de boyut aynıdır.

İki frekansta yapılan gözlemleri birleştirme, iyonosferik etkileri gidermede en kolay ve en doğru yöntemdir. GPS alıcılarına iki tane taşıyıcı dalga yerleştirilmiş olmasının ana nedeni de bu çift frekans yöntemi kullanımına olanak tanımadır (Hofmann-Wellenhof vd., 1994).

4.3.2 Troposferik gecikme

Atmosferin nötr kısmı troposferdeki gecikme toplam gecikmenin %80'ini oluşturur ve bu gecikme troposferik gecikme olarak adlandırılır (Hopfield, 1969). Troposferden söz edildiğinde genelde yeryüzü atmosferinin alt kısmı kastedilmektedir. Troposferik gecikme Kuru gecikme ve ıslak gecikme olmak üzere ikiye ayrılır. Kuru bileşeni yüzey meteorolojik ölçmeleri vasıtasıyla hazırlanan birçok troposferik gecikme modelleriyle yüksek doğrulukla belirlenebilir. Troposferin kuru kısmı hidrostatik dengede olduğun için ideal gazlar yasası ile kolayca modellenilmektedir. Islak kısmı ise troposferde sıvı su ve su buharının düzensiz dağılımından dolayı hesaplanması (tahmin edilmesi) zordur. Nötr atmosfer, kuru hava ve su buharından oluşur. Kuru havanın temel bileşenleri Çizelge 4.2'de sunulmuştur. 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). Gecikmenin ıslak bileşeni toplam etkinin %10 kadar kısmını oluşturmaya rağmen (Janes vd., 1989), toplam gecikme için çok hassas bir çözüm bulmada kısıtlayıcı rol oynayan bir belirsizliğe neden olmaktadır.

Uydu sinyallerinin ile GPS alıcısına 15° 'nin altında ulaştığı durumlarda troposferik gecikme çok büyük boyutlara ulaşmakta ve modellenmesi daha da zorlaşmaktadır. Troposferik gecikmenin zenitteki 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 metre arasında değişebilmektedir. Bu yüzden GPS ölçmeleri yapanlardan troposferden ve sinyal yolu eğriliğinden fazla etkilenmemeleri için gözlemlerini yükseklik açısı 15° 'nin altına inen uydulara yapmamaları gerekir (Mekik, 1993).

Çizelge 4.2. Troposfer tabakası molekülleri (Mekik, 1999).

Bileşenler	Molar Ağırlık (kg/kmol)	Miktar
N ₂ (azot)	28.0134	0.78084
O ₂ (oksijen)	31.9988	0.209476
Ar (argon)	39.948	0.00934
CO ₂ (karbondioksit)	44.00995	0.000314
Ne (neon)	20.183	0.00001818
He (Helyum)	4.00126	0.00000524
Kr (Kripton)	83.30	0.00000114
Xe (Xenon)	131.30	0.000000087

Troposfer tabakasındaki ıslak bileşeni yani toplam troposferik gecikmeye yönelik yöntemler bilim adamları tarafından oluşturulmuştur. Bu yöntemler; yüzey modelleri (Saastamoinen ve Hopfield modelleri), radyosond profilleri, su buharı radyometresi (SBR) ve troposferik parametre kestirimi (standart atmosfer modeli) dir.

Nötr atmosferin elektromanyetik dalgaların hızını ve yönünü değiştirmesi elektromanyetik dalgaının yavaşlamasına ve bir miktar da eğilmesine neden olmaktadır. Elektromanyetik dalgaının yavaşlaması ve eğilmesinin neden olduğu gecikme uydu-alıcı arasındaki uzaklık boyunca mevcut ortam kırılma indisinin (n) değişimine bağlıdır.

Bu gecikme miktarı (ΔS_{trop}) ise S sinyal yolu boyunca;

$$\Delta S_{trop} = \int_a^b (n - 1) ds + (S - G) \quad (4.2)$$

ile ifade edilebilir. Burada ifade edilen (G) boşluktaki sinyal yolunu, (S) gerçekte olan sinyal yolunu ifade eder. Zenit doğrultusundaki gözlemlerde (4.2) eşitliğinde $S=G$ olacağından eşitlikteki integralin alınması haline dönüşecektir. Böylece troposferik gecikme etkisi,

$$\Delta S_{trop} = \int_a^b (n - 1) ds \quad (4.3)$$

ile ifade edilebilir. (4.3.) eşitliğindeki kırılma indisi ($n - 1$) yerine kırıcılık $N = 10^{-6}$ kullanılmaktadır.

$$N = (n - 1) \times 10^6 \quad (4.4)$$

(4.4)'den yararlanarak,

$$\Delta S_{trop} = 10^{-6} \int_a^b N(s) ds \quad (4.5)$$

şeklinde yazılabilir. Burada atmosferik kırılma $N(s)$, sıcaklık, basınç ve su buharının bir fonksiyonu olarak,

$$N(s) = k_1 \cdot \frac{P_d}{T} + k_2 \cdot \frac{e}{T} + k_3 \cdot \frac{e}{T^2} \quad (4.6)$$

olarak verilmektedir. 4.6 denklemindeki ifadesinde P_d , kuru havanın toplam atmosferik basıncını (mbar), e ; su buharının kısmi basıncını (mbar), T atmosferik sıcaklığı (Kelvin) ifade etmektedir. k_1 k_2 k_3 katsayıları ise Çizelge 4.3 de gösterilmektedir. Bu tabloda K , Kelvin'i ifade etmektedir.

Çizelge 4.3. k₁, k₂ ve k₃ için belirlenmiş değerler.

	(Smith ve Weintraub, 1953)	(Thayer, 1974).
k ₁ (K/mbar)	77.610±0.010	77.604±0.014
k ₂ (K/mbar)	71.600±9	64.790±0.080
k ₃ (K ² /mbar)	(3.747±0.03)x10 ⁵	(3.776±0.004)x10 ⁵

4.6 eşitliğinin doğruluk derecesi normal atmosferik koşullarda yaklaşık % 0.5 olarak verilmektedir. Atmosfer, iki ideal gazın bir karışımı (kuru hava ve su buharı) olarak düşünülürse eşitlik;

$$N = N_d(s) + N_w(s) \quad (4.7a)$$

$$N_d(s) = 77.6 \left(\frac{P}{T}\right) \quad (4.7b)$$

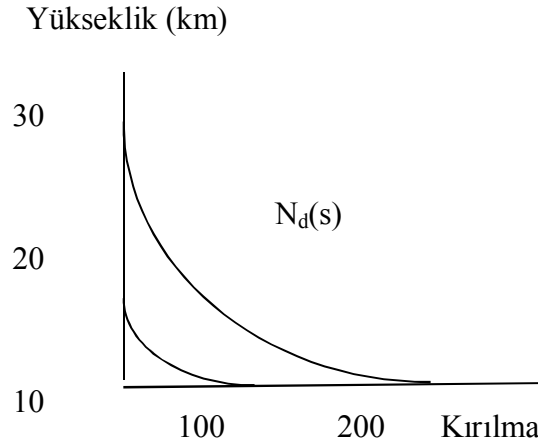
$$N_w(s) = 3.73 \times 10^5 \left(\frac{e}{T^2}\right) \quad (4.7c)$$

olarak iki ana bileşenle ifade edilebilir. Bunlardan N_d(s) kuru bileşen, N_w(s) ise ıslak bileşen olarak adlandırılmaktadır. Ancak N_d(s) ifadesinin, kuru bileşen olarak isimlendirilmesi gerçekte doğru değildir. Çünkü bu bileşene esas etki her ne kadar kuru havadan gelmekte ise de su buharından gelen etki de göz ardı edilemeyecek kadar önemlidir. Bu nedenle N_d(s) ifadesine hidrostatik gecikme denmektedir. N_w(s) bileşeni ise tamamen atmosferik su buharı dağılımının bir fonksiyonudur.

Troposferik gecikmenin (kırılmanın) yaklaşık %90 kuru bileşen ve geri kalan %10'luk kısmı ise ıslak bileşenden oluşmaktadır. Yerel zenit doğrultusundaki kuru bileşen, hidrostatik denge ve ideal gaz kanununa uyduğu kabul edilerek, yalnızca basınç ölçü değeri kullanılarak yeterli doğrulukta belirlenebilmektedir. Ancak aynı durum ıslak bileşen için söz konusu değildir. Çünkü, atmosferdeki su buharı dağılımı yeterli doğrulukta belirlenememektedir. Su buharı basıncı dağılımı çok değişken olup bu değişimler kuru bileşene göre yaklaşık üç kat daha fazladır. Radyo sondaj verileri yardımıyla N_d(s) ve N_w(s) için elde edilen yükseklik profili Şekil 4.2 de gösterilmektedir.

- * $N_d(s)$ 'in troposferdeki değişimi çok küçüktür,
- * $N_d(s)$, 40 km ve daha yukarı yüksekliklerde gözardı edilebilir. $N_w(s)$ ise yalnızca yere yakın yükseklikler (0-5 km) için önemlidir.

Dolayısıyla, $N_w(s)$ bileşeni yüksekliğe, zamana ve konuma bağlı olarak büyük değişimler gösterdiğinden modellendirilmesi oldukça zordur. Ayrıca, ıslak bileşen ile arazide yapılan meteorolojik ölçüler arasında çok az korelasyon olduğu için arazide yapılan bu ölçülerle gerçeğe yakın sonuçlar elde edilememektedir.



Şekil 4.2. Yükseklik profili.

Islak ve kuru bileşenlerin zenit açısına bağlı olarak büyüklükleri Çizelge 4.4'de verilmektedir (Mekik, 1993), ($T=15^\circ\text{C}$, $P=1013.25\text{ mbar}$). Burada, (4.5) eşitliğine uyumlu olarak kuru bileşen ΔS_d , ıslak bileşen ise ΔS_w ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. ΔS_d ve ΔS_w değerleri (Kahveci, 1997).

Zenit Açısı (derece)	Kuru Bileşenin Etkisi ΔS_d (m)	Islak Bileşenin Etkisi ΔS_w (m)
0	2.3	0.2
60	4.6	0.4
80	13.0	1.2
85	26.0	2.3

Çizelge 4.4 de görüleceği gibi, yerel zenitde ($Z=0^\circ$) ve deniz seviyesindeki enlemlerde ΔS_d değeri -2.31 m, ΔS_w ise ~20 cm'dir. Zenit açısı büyüdükçe bu değerler artmaktadır. Başka bir deyişle, GPS alıcısına gelen uydu sinyalinin zenit

açısı ne kadar büyükse, bu sinyal atmosferde zenit doğrultusuna göre daha uzun bir yol izleyecektir. Bu nedenle ΔS_d ve ΔS_w değerleri de o kadar fazla olacaktır. Bu artım miktarı da yaklaşık $1/\cos Z$ kadardır. Dolayısıyla, troposferik gecikme, uydu sinyalinin troposfer katmanındaki kat ettiği yola bağlı olduğundan aynı zamanda GPS alıcısına olan zenit açısının da bir fonksiyonu olacaktır. Bu nedenle, GPS alıcıları kullanılarak yapılan gözlem ve değerlendirmelerde genelde uydu yükseklik açısı 15° - 20° seçilmektedir. 15° 'den daha küçük veri toplama açılarının kabul edilmesi ayrıca sinyal yansıma etkilerine (multipath) de neden olacaktır (Kahveci ve Yıldız, 2009).

Çizelge 4.4 için bir grafik çizildiğinde belirli zenit açılarında troposferik gecikme etkisinin; zenit doğrultusundaki gecikme etkisi ile bu etkinin daha büyük zenit açılarındaki değerlerini hesaplamaya yarayan bir fonksiyon ile çarpımı sonucu hesaplanabileceği görülmektedir. Zenit doğrultusundaki gecikme miktarından yararlanarak kullanılan bir zenit açısı doğrultusundaki değerin hesaplanmasını sağlayan $1/\cos Z$ fonksiyonuna projeksiyon fonksiyonu (mapping function) adı verilmektedir. $1/\cos Z$ deneysel bir ifade olup araştırmacılar tarafından yapılmış ve daha duyarlı fonksiyonlar yayımlanmıştır (Kahveci, 1997).

Ayrıca, su buharının etkisi 10 km yükseklikten sonra sıfır değerini aldığı ve kuru atmosfer etkisi 40-50 km'ye kadar uzandığı için uygulamalarda ıslak ve kuru bileşenler için farklı projeksiyon fonksiyonları kullanılmaktadır. Böylece zenit doğrultusundaki kuru gecikme etkisi (4.4) eşitliğinden ΔS_d^0 ile, ıslak gecikme etkisi ΔS_w^0 ile, kuru bileşen için projeksiyon fonksiyonu f_d^z ; ıslak bileşen için f_w^z ile ve herhangi zenit uzaklığındaki toplam troposferik gecikme etkisi de ΔS_{trop}^z ile gösterilirse sonuç eşitlik olarak,

$$\Delta S_{trop}^z = f_d^{(z)} \cdot \Delta S_d^0 + f_w^z \cdot \Delta S_w^0 \quad (4.8)$$

yazılabilir. Burada;

$$f_w^{(z)} = \frac{1}{\sin E + \frac{0.00035}{0.0170 + \tan E}} \quad (4.9)$$

$$f_d^{(z)} = \frac{1}{\sin E + \frac{0.00143}{0.04454 + \tan E}} \quad (4.10)$$

E: uydu yükseklik açısı

$$(e = 90 - Z) \quad (4.11)$$

ile verilmektedir.

Troposferik Modeller

- Hopfield (1971), ve ilgili diğerleri
 - Yionoulis (1970),
 - Goad and Goodman,
 - Black (1978),
 - Black ve Eisner (1984),
- Saastamoinen Modeli (1973),
 - Duyarlı formüller ile
 - Standart formüller ile
- Sürekli-Kesirli Modeller
 - Marini ve Murray (Marini 1972, Davis)
 - Chao (1972),
 - Davis (1986),
 - Niell (1995),
 - Herring (1992),
- Su Buharı (WVRs: Water Vapour Radiometers) Modelleri
 - Chao (1973),
 - Berman70 (1976),
 - Berman76 (1976).

4.4 Troposferik Gecikme Etkisinin Hesabı İçin Gerekli Atmosferik Parametrelerin Ölçümü

Troposferik gecikme hesabında kullanılan atmosferik parametreler gözlem noktasında ölçülen meteorolojik verilerden (basınç, kuru ısı ve ıslak ısı) veya daha su buharı radyometreleri ve radyosondajlardan yararlanarak elde edilmektedir.

4.4.1 Gözlem noktasında ölçülen meteorolojik parametreler

Gözlem noktasında yapılan meteorolojik ölçülerden yararlanarak troposferik gecikmenin hesaplandığı birçok atmosferik model geliştirilmiştir.

Yanlış ölçülmüş meteorolojik veriler yapılan analiz sonucunda elde edilen GPS sonuçlarında sapmalara neden olmaktadır. Genel olarak, söz konusu meteorolojik ölçülerden yararlanarak troposferik gecikme hesaplayan modeller, bölüm (4.3.3)'de açıklanan standart modellere göre çoğu zaman daha kötü sonuçlar vermektedir. Yüksek doğruluklu meteorolojik ölçü yapmak zordur. Ayrıca GPS alıcılarının bulunduğu noktalarda ölçülen bu parametreler noktanın üzerindeki atmosferi iyi temsil edememektedir. Bu nedenle özellikle kısa kenarlı (~5 - ~15) km lokal GPS ağlarında yapılan hesaplamalarda ölçülen atmosferik veriler özel haller dışında genellikle tercih edilmemektedir (Kahveci, 1993).

Zenit doğrultusundaki troposferik gecikme ΔS_{trop}^z 'nin arazide GPS gözlemleri sırasında ölçülen meteorolojik parametrelere bağımlılığını gösteren sonuçlar hesaplanmış olup Çizelge 4.5'de verilmektedir.

Çizelge 4.5. Troposferik gecikmenin $Z=0^\circ$ doğrultusunda meteorolojik parametrelere olan bağımlılığı (Beutler, 1988).

T (°C)	P mbar	H %	$\delta \Delta S_{\text{trop}}^z$	$\delta \Delta S_{\text{trop}}^z$	$\delta \Delta S_{\text{trop}}^z$
			δT	δP	δH
			(mm/°C)	(mm/mbar)	(mm/(%l))
0	1000	100	5	2	0.6
30	1000	100	27	2	4
0	1000	50	3	2	0.6
30	1000	50	14	2	4

Çizelge 4.5'de T, atmosferik sıcaklığı, P atmosferik basıncı ve H ise atmosferin nem oranını göstermektedir. Çizelge 4.5'de görüldüğü gibi yüksek sıcaklık ve nem GPS sonuçlarını olumsuz yönde etkilemektedir.

4.4.2 Standart atmosfer modelleri yardımıyla troposferik etkinin hesabı

GPS gözlemi yapılan noktalarda atmosferik parametrelerin ölçümü; kullanılan aletlerin kalibrasyon hataları, yapılan atmosferik ölçülerin noktanın üstündeki sinyal yolunu iyi temsil edememesi gibi nedenlerle, elde edilen GPS sonuçlarında önemli hatalara neden olmaktadır (Yılmaz, 2013).

Standart atmosfer modelinde genellikle, deniz düzeyindeki referans h_0 0 m. sıcaklık (T_0) 18°C, basınç (P_0) 1013.25 mbar ve nem (H_0) %50 değerleri tanımlanmaktadır. Bu değerlerin yükseklikle doğrusal değiştiği kabul edilerek, GPS gözlemi yapılan nokta yüksekliğindeki atmosferik parametre değerleri hesaplanmakta olup hesaplanan bu değerler zamandan ve gerçek hava koşullarından bağımsızdır.

h_u yüksekliğindeki bir nokta için extrapole edilmiş değerler,

$$T_u = T_0 - 0.0065h_u \quad (4.12a)$$

$$P_u = P_0(1 - 0.0000226.h_u)5.225f'' \quad (4.12b)$$

$$H_u = H_0.exp(-0.0006396.h_u) \quad (4.12c)$$

$$h_u = h - h_u \quad (4.12d)$$

olarak verilmektedir. Bu değerler (Sastamoinen (1973) veya Hopfield (1977)) verilen formüllerde kullanılarak GPS gözlemi yapılan noktadaki atmosferik veriler ve bu verilere bağlı olarak da troposferik gecikme miktarı hesaplanmaktadır. Özellikle kısa kenarlı ağlarda (iki nokta arasındaki yükseklik farkının çok fazla olduğu özel durumlar dışında) bu atmosferik veriler ile hesaplanan troposferik gecikme miktarının arazide ölçülen gerçek atmosferik verilere dayalı hesaplananlara göre daha tutarlı sonuçlar verdiği birçok araştırmacı tarafından ortaya konmuştur (Beutler, 1997, Kahveci, 1997).

4.4.3 Su buharı radyometreleri

Atmosferdeki su buharı dağılımı yeterli doğrulukta modellendirilemediği için GPS'in çok yüksek doğruluk isteyen jeodinamik amaçlı kullanımı veya VLBI (Very Long

Baseline Interferometry) gözlemleri gibi çalışmalar söz konusu olduğunda uydu-alıcı arasındaki sinyal yolu boyunca olan su buharı dağılımını doğrudan ölçme yoluna gidilir. Bu ise atmosferdeki su buharı tarafından yayınlanan mikrodalga radyasyonunu ölçen su buharı radyometreleri (WVR; Water Vapor Radiometry) ile yapılmaktadır.

WVR ile atmosferdeki açık gökyüzü sıcaklığı (sky brightness temperature) ölçülmektedir. Bu ölçülerden yararlanarak sinyal yolundaki troposferik gecikme etkisinin ıslak bileşeni $N_w(s)$ hesaplanmaktadır. Söz konusu gecikme WVR ölçülerinden yararlanarak 1-3 cm doğruluğunda belirlenebilmektedir.

WVR, çift kanallı, pasif uzaktan algılama tekniğine dayanan bir mikrodalga radyometresidir. Bu cihaz yoğun yağmurda çalışmaz ancak açık ve bulutlu havalarda çalışabilir. Uygun anten düzenleri ile 10 derecelik yükseklik açılarına kadar gözlem yapabilir. Günümüzde WVR'ler daha çok VLBI gözlemleri ile birlikte kullanılmaktadır. Pahalı ve ağır bir sistem olması nedeniyle henüz GPS kampanyalarında pek tercih edilmemektedir.

Günümüzde farklı WVR'ler üretilmiş olup bunlar,

- R-serisi WVR'ler,
- Onsala WVR ,
- J-serisi WVR'ler,

şeklinde sıralanabilir.

Troposferik etkinin doğru olarak modellendirilmesindeki zorluklar nedeniyle araştırmaların biraz zaman alacağı açıktır.

4.5 Troposferik Parametrelerin Hesabı

Günümüzde mevcut pratik ve/veya bilimsel amaçlı GPS değerlendirme yazılımlarının çoğunda troposferik etkinin hesabında iki temel yöntem uygulanmaktadır. Bunlardan, özellikle pratik amaçlı yazılımlar, troposferik etkinin hesabında genellikle, bölüm (4.4.2)'de anlatılan standart atmosfer modelini (model

atmosfer) kullanılmaktadır. Dolayısıyla, standart atmosfer modelinden olan sapmaların küçük değerler olduğu kabul edilmekte ve bu değerler dikkate alınmamaktadır.

Oysa bilimsel amaçlı yazılımlarda troposferik etki hesabı iki aşamalı olarak gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada standart atmosfer modeline ilişkin troposferik etki hesaplanmakta, daha sonra bu standart atmosfer modelinden olan sapmalar farklı modellendirmeler kullanılarak hesaplanmaktadır. İkinci aşamadaki hesaplamalar genellikle zenit gecikme parametrelerinin belirlenmesi olarak bilinmektedir. Dolayısıyla, bundan sonraki bölümlerde zenit gecikme parametrelerinin hesaplanması ile standart atmosfer modelindeki sapmaların (ya da standart model ile elde edilen değerlere getirilecek olan düzeltmelerin) belirlenmesi ifade edilecektir.

Günümüzde mevcut bilimsel amaçlı GPS ölçülerini değerlendirme yazılımlarında, zenit gecikme parametrelerinin hesabında iki temel yöntem uygulanmaktadır. Bunlar;

- a) Zenit gecikme değerlerinin Standart En Küçük Kareler (EKK) yöntemi ile hesaplanması (yani, her bir nokta ve gözlem grubu için 1 parametre),
- b) Zenit gecikme değerlerinin, filtreleme algoritmaları kullanılarak hesaplanması.

Bunların dışındaki ara yöntemlerden bazıları ise her ölçü grubu için birden fazla (örneğin, her saat için bir) parametre hesabıdır. Bu parametreler özellikle kısa kenarlı ağlarda nokta yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak belirlenir.

4.6 Troposferik Gecikme Düzeltmesi Formülleri

4.6.1 Hopfield modeli

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

$$\Delta L_d^z = \frac{77.6}{5 \cdot 10^6} \cdot \frac{P_S}{T_S} H_d^e = \frac{43136 \cdot 77.6}{5 \cdot 10^6} \frac{P_S}{T_S} - \frac{0.14872 \cdot 77.6}{5 \cdot 10^6} \frac{P_S}{T_S} t_s \quad (4.13)$$

genel bir ifade ile

$$\Delta L_d^z = \alpha(1) + \alpha(2) \frac{P_s}{T_s} + \alpha(3) \frac{P_s}{T_s} t_s + \alpha(4) \cos(\emptyset) \quad (4.14)$$

ile verilmektedir. Hesaplamalarda kullanılan katsayılar Çizelge 4.6 da verilmiştir.

Çizelge 4.6. α katsayıları (Yılmaz, 2013).

Katsayı	B	St. Hata	Beta	t
$\alpha(1)$	-0.0049731203	0.000		-79.229
$\alpha(2)$	0.6203999193	0.000	1.705	37410.219
$\alpha(3)$	0.0022687952	0.000	1.328	30421.536
$\alpha(4)$	0.0137729699	0.000	0.032	1066.138

4.6.2 Saastamoinen modeli

Troposferik uzunluk düzeltmesi (range-correction)

$$\Delta S_{trop}^z = 0.00227 \cdot \frac{1}{\cos Z} \cdot \left[P + \left(\frac{1255}{273.15 + T} + 0.05 \right) \cdot e - B \cdot \frac{1}{\tan^2 Z} \right] + \delta L \quad (4.15)$$

ile verilmektedir. Burada,

ΔS_{trop}^z : metre biriminde uydu-alıcı uzaklığına gelecek olan düzeltmeyi,

Z : Uydu zenit uzaklığını,

P : Atmosferik basınç (mbar),

T : Mutlak sıcaklık (°C),

e : kısmi buhar basıncı,

B : Noktanın yüksekliğinden dolayı tablodan alınacak katsayı,

δL uydu zenit açısına ve nokta yüksekliğine bağlı olarak tablodan alınacak olan düzeltme değeri (metre)

$$TD = 273.15 + T \quad (4.16)$$

kabul edilirse;

$$e = \frac{H}{100} \exp(-37.2465 + 0.213166(TD) - 0.000256908 \cdot (TD)^2) \quad (4.17)$$

Burada, H: Nisbi nem (relative humidity) olarak verilmektedir. B katsayısı için standart düzeltme değerleri Çizelge 4.7'da, δL için ise Çizelge 4.8'de verilmektedir.

Çizelge 4.7. B katsayısı için standart değerler (Kahveci, 1997).

Deniz seviyesinden olan nokta yüksekliği (km)	Troposferik düzeltme B (mbar)
0	1.156
0.5	1.079
1.0	1.006
1.5	0.938
2.0	0.874
2.5	0.874
3.0	0.813
3.5	0.757
4.0	0.654
5.0	0.563

Çizelge 4.8. δL düzeltme terimleri (metre) (Kahveci, 1997).

Görünen Zenit Uzaklığı	Deniz Seviyesinden Olan Nokta Yüksekliği							
	0 km	0.5 km	1 km	1.5 km	2 km	3 km	4 km	5 km
60°00'	+0.003	+0.003	+0.002	+0.002	+0.002	+0.002	+0.001	+0.001
66°00'	+0.006	+0.006	+0.005	+0.005	+0.004	+0.003	+0.003	+0.002
70°00'	+0.012	+0.011	+0.010	+0.009	+0.008	+0.006	+0.005	+0.004
73°00'	+0.020	+0.018	+0.017	+0.015	+0.013	+0.011	+0.009	+0.007
75°00'	+0.031	+0.028	+0.025	+0.023	+0.021	+0.017	+0.014	+0.011
76°00'	+0.039	+0.035	+0.032	+0.029	+0.026	+0.021	+0.017	+0.014
77°00'	+0.050	+0.045	+0.041	+0.037	+0.033	+0.027	+0.022	+0.018
78°00'	+0.065	+0.059	+0.054	+0.049	+0.044	+0.036	+0.030	+0.024
78°30'	+0.075	+0.068	+0.062	+0.056	+0.051	+0.042	+0.034	+0.028
79°00'	+0.087	+0.079	+0.072	+0.065	+0.059	+0.049	+0.040	+0.033
79°30'	+0.102	+0.093	+0.085	+0.077	+0.070	+0.058	+0.047	+0.039
79°45'	+0.111	+0.101	+0.092	+0.083	+0.076	+0.063	+0.052	+0.043
80°00'	+0.121	+0.110	+0.100	+0.091	+0.083	+0.068	+0.056	+0.047

4.6.3 Modified Hopfield modeli

Su buharı etkisi yaklaşık 11 km'den sonra gözardı edilebileceğinden ve 11 km'den sonra 40 km'ye kadar ise hava basıncının etkisinin önemli ölçüde varolduğu düşünülürse troposferik uzaklık düzeltmesi burada iki bileşene ayrılabilir.

- Kuru bileşen;

$$Nd = 0.776E - 4.P/TD \quad (4.18)$$

ile verilmekte olup bunun için yükseklik

$$h = 40.136 + 0.14872.(TD - 273.16) \text{ km} \quad (4.19)$$

olarak hesaplanmaktadır.

- Islak bileşen;

$$Nw = 0.373.e/TD/TD \quad (4.20)$$

$h_w = 11$ km olarak verilmektedir. Ayrıca, gözlemcinin yarıçapı,

$$R_u = 6378 + h_u/1000 \text{ km} \quad (4.21)$$

yükseklik açısı,

$$E = 90 - Z \quad (4.22)$$

ile verilmektedir. Sonuç olarak troposferik uzaklık düzeltmesi Bernese yazılımında aşağıdaki işlem adımları uygulanarak hesaplanmaktadır;

a. Islak bileşenin üst kısmına kadar olan eğik mesafe hesaplanmakta,

$$Rw = \sqrt{(R_u + h_w)^2 - (R_u - \cos E)^2} - R_u - \sin E \quad (4.23)$$

b. Islak bileşen katsayıları hesaplanmakta,

$$A_w = -\sin E/h_w \quad (4.24)$$

$$B_w = -\cos^2 E/2h_w R_u \quad (4.25)$$

$$\begin{aligned}
\alpha_{1W} &= 1 \\
\alpha_{2W} &= 4.A_W \\
\alpha_{3W} &= 6A_W^2 + 4B_W \\
\alpha_{4W} &= 4A_W + (A_W^2 + 3B_W) \\
\alpha_{5W} &= A_W^2 + 12 A_W^2 B_W + 6B_W^2 \\
\alpha_{6W} &= 4A_W B_W + (A_W^2 + 3B_W) \\
\alpha_{7W} &= B_W^2 . (6A_W^2 + 4B_W) \\
\alpha_{8W} &= 4.A_W . B_W^3 \\
\alpha_{9W} &= B_W^4
\end{aligned} \tag{4.26}$$

c) Islak bileşene getirilecek düzeltme hesaplanmakta

$$\Delta S_w^z = N_w . 10^3 \sum_{i=1}^9 \frac{\alpha_{iw}}{z} R_w^i \tag{4.27}$$

d) Aynı işlem adımları kuru bileşen ΔS_d^z için de tekrar edilmekte,

e) Sonuç troposferik uzaklık düzeltmesi

$$\Delta S_{trop}^z = \Delta S_w^z + \Delta S_d^z \tag{4.28}$$

ile hesaplanmaktadır. Bu formülle bulunan sonuç ile Saastamoinen modelinden yararlar hesaplanan düzeltmeler 10° ila 90° arasındaki zenit uzaklıklarında yaklaşık aynı sonuçları vermekte olup aradaki farklar 1 cm'nin altında kalmaktadır.

4.6.4 Simplified Hopfield modeli

Burada da troposferik uzaklık düzeltmesi kuru ve ıslak bileşenlerle aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$K_W = 7.46512E - 2.e/TD ** 2 * (11000 - h_u) \tag{4.29}$$

$$KD = 1.552E - 5.P/TD.((148.72TD - 488.3552) - h_u) \tag{4.30}$$

$$\Delta S_{trop}^z = \frac{K_D}{\sin \left(\sqrt{E^2 + 6.25 \frac{\pi}{180}} \right)} + \frac{K_W}{\sin \left(\sqrt{E_T^2 + 2.25 \frac{\pi}{180}} \right)} \tag{4.31}$$

4.6.5 CHAO modeli

Bu modelde troposferik uzaklık düzeltmesi,

$$\Delta S_{trop}^z = C_W \cdot F_W + C_D \cdot F_D \quad (4.32)$$

ile verilmektedir. Burada C_W ve C_D sırasıyla ıslak ve kuru bileşenleri, F_W ve F_D ise sırasıyla ıslak ve kuru bileşenler için projeksiyon fonksiyonlarıdır ve aşağıdaki eşitliklerle verilmektedir.

$$CD = 470 \frac{e_{uc}^{1.23}}{TD^2} + 10230 \frac{e_{uc}^{1.23}}{TD^3} \quad (4.33)$$

$$CD = 0.002276 * P \quad (4.34)$$

$$euc = \frac{H_u}{100} * 35.65 * 10^{7.617 - \frac{2285}{TD}} \quad (4.35)$$

$$F_W = \frac{1}{\sin E + \frac{0.0003 * S}{0.0170 + \tan E}} \quad (4.36)$$

$$F_D = \frac{1}{\sin E + \frac{0.00143}{0.0445 + \tan E}} \quad (4.37)$$

Chao modeli ve Modified Hopfield modeli ile elde edilen sonuçlar 10° ila 90° derece arasında genelde 5 cm'den küçük farklar göstermektedir. Chao modelinde sinyal yolunun eğikliğinden dolayı olan düzeltme de dikkate alındığından bu durum özellikle uzun bazların değerlendirilmesinde diğer modellere göre bir üstünlük olarak düşünülebilir.

4.6.6 Essen-Froome diferansiyel modeli

Bu modelde troposferik uzaklık düzeltmesi bir bazın iki ucundaki noktalar arasında kalan bölge için (AA_0) geleneksel kırılma formülleri ile hesaplanmaktadır (Şekil 4.3). B noktasının üzerinde kalan bölge (A_0S) için ise standart Saastamoinen veya Hopfield modelleri kullanılmakta ve burada A_0 kuramsal nokta yüksekliğinin üzerindeki tüm noktalar için aynı meteorolojik parametrelerin mevcut olduğu kabul edilmektedir.

$$n_i = (77.64 * \frac{P}{TD} - 12.96 \frac{e}{TD} + 371780 \frac{e}{TD^2}) * 10^{-6} \quad (4.38)$$

i= A, B (A ve B noktaları için)

ile verilmektedir. Böylece A ve B noktaları arasındaki düzeltme

$$\Delta S^{A_0} = \frac{n_A + n_B}{2} * I \quad (4.39)$$

ile hesaplanabilir. Burada,

$$I = \frac{h_B - h_A}{\sin E_A} \quad (4.40)$$

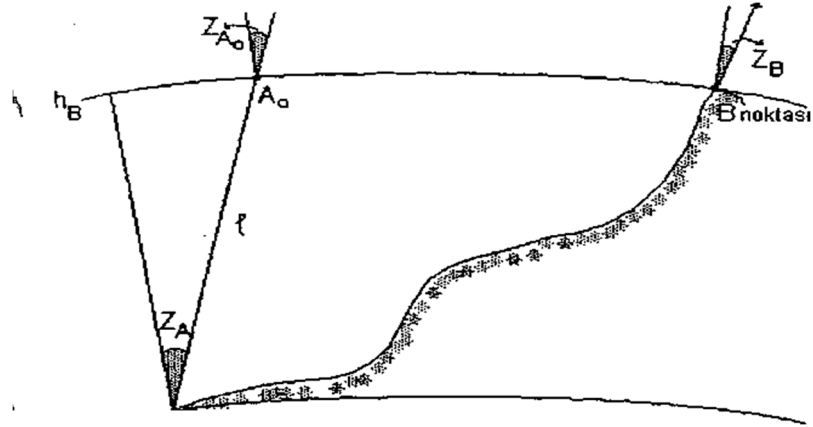
h_A, h_B : noktaların deniz yüzeyinden olan yükseklikleri,

E_A : en düşük noktadaki uydu zenit açısı.

Toplam troposferik uzaklık düzeltmesi ise,

$$\Delta S_{trop}^z = \Delta S_A^{A_0} + S_A^{A_0} \quad (4.41)$$

ile hesaplanabilir.



Şekil 4.3. Essen-froome diferansiyel modeli (Kahveci, 1997).

4.6.7 Goad&Goodman modeli

Saastamoinen (1973) kendi izdüşüm fonksiyonunda uyguladığı, troposferde yükseldikçe sıcaklığın lineer olarak düştüğü fakat stratosferde sabit kaldığı varsayımını, Goad ve Goodman 1974 yılında Hopfield modeli üzerinde uygulayarak

kendilerine ait izdüşüm fonksiyonu oluşturmuştur. Bunun yapılabilmesi için Saastamoinen zenit düzeltmelerinin ıslak ve kuru bileşenlerini, eşdeğer yükseklik (H_d^e ve H_w^e) değerlerini kalibre etmek için kullanılmıştır. Goad ve Goodman izdüşüm fonksiyonu kimi zaman literatürde modifiye edilmiş Hopfield modeli olarak geçmektedir. Bu kullanımdan kaçınılmalıdır çünkü bu tabir Moffett izdüşüm fonksiyonu ile karıştırılabilir (Mendes, 1999).

4.6.8 Niell modeli

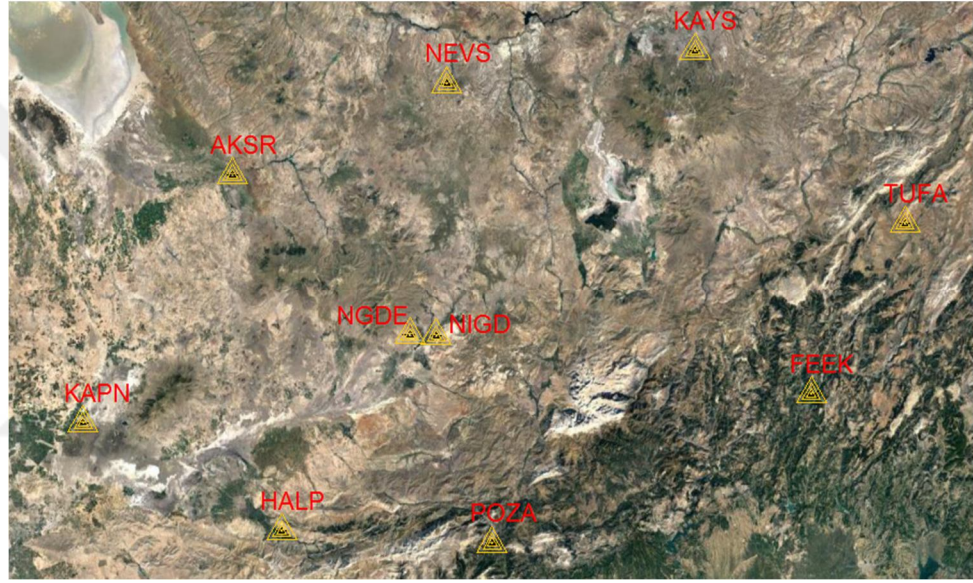
Niell modelinde atmosferik gecikmeler, noktanın bulunduğu enlem, yükseklik ve zamana göre modellenmiştir ve hem hidrostatik hemde ıslak fonksiyonlar içerir. Niell, hidrostatik izdüşüm fonksiyonunun değişken güneş ışımlarından dolayı enlem ve mevsime, aynı zamanda atmosfer kalınlık oranının eğrilik yarıçapı yükseldikçe, azaldığından dolayı gözlem noktasının geoitten olan yüksekliğine bağlı olduğunu belirtmiştir. Fakat ıslak izdüşüm fonksiyonunda, su buharı hidrostatik dengede olmadığı için yüksekliğe göre dağılımının istasyon yüksekliğinden yararlanılarak tahmin edilebilmesi beklenemez (Niell, 1996).

5. UYGULAMA

5.1 Çalışma Alanı

GPS yazılımlarındaki troposfer modellerinin GPS değerlendirme sonuçlarına etkilerini değerlendirmek amacı ile 4 farklı uygulama yapılmıştır.

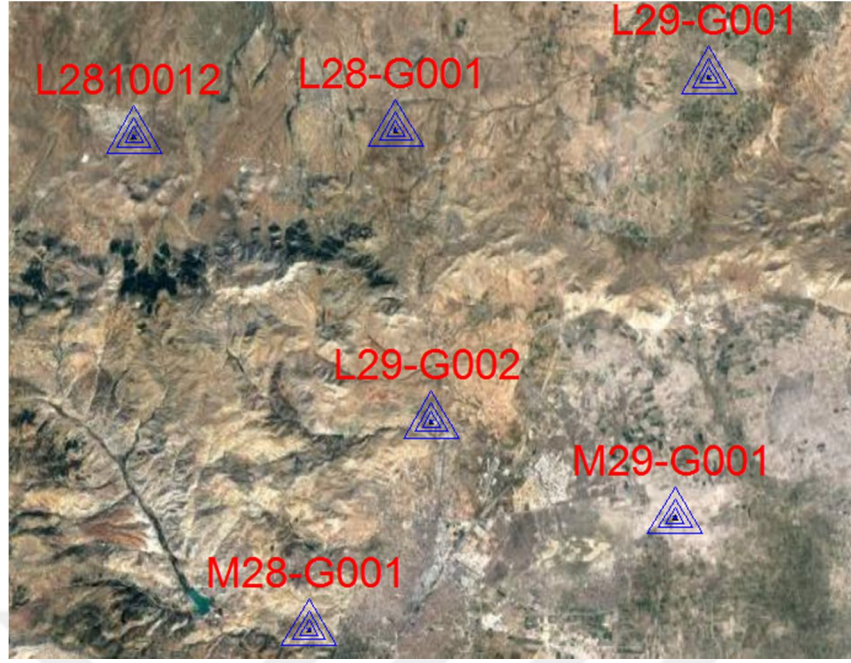
Uygulama 1 uzun kenarlı (150 km.*250 km) GPS ağında TUSAGA aktif projesi kapsamında kurulan NIGD isimli TUSAGA noktası referans alınarak AKSR, FEEK, HALP, KAPN, KAYS, NEVS, NGDE, POZA, TUFA isimli TUSAGA noktaları uygun dağılımda GPS ağına dahil edilmiştir.



Şekil 5.1. Uygulama 1 proje alanı ve noktaların konumları.

Referans ile uzaklığı 7 km ila 147 km olan bu noktalar arasında uzak mesafeli ölçülen bazlardaki farklı troposfer modellerinin farklı atmosferik şartlarda ve farklı uydu yükseklik açılarındaki etkileri gözlemlenmek istenmiştir. Şekil 5.1’de noktaların dağılışı görülmektedir. Seçilen gözlem noktaları yerleşim yerlerinde bulunmaktadır.

Uygulama 2 Konya merkez ve civarında bulunan birbirlerine 19 ila 55 km mesafedeki L28-G001, L29-G001, L29-G002, M28-G001 ve M29-G001 TUTGA noktaları ile L2810012 nolu C1 dereceli nirengi orta uzunluktaki (40 km * 55 km) ağı dahil edilmiş olup noktaların dağılımı Şekil 5.2’de görülmektedir.



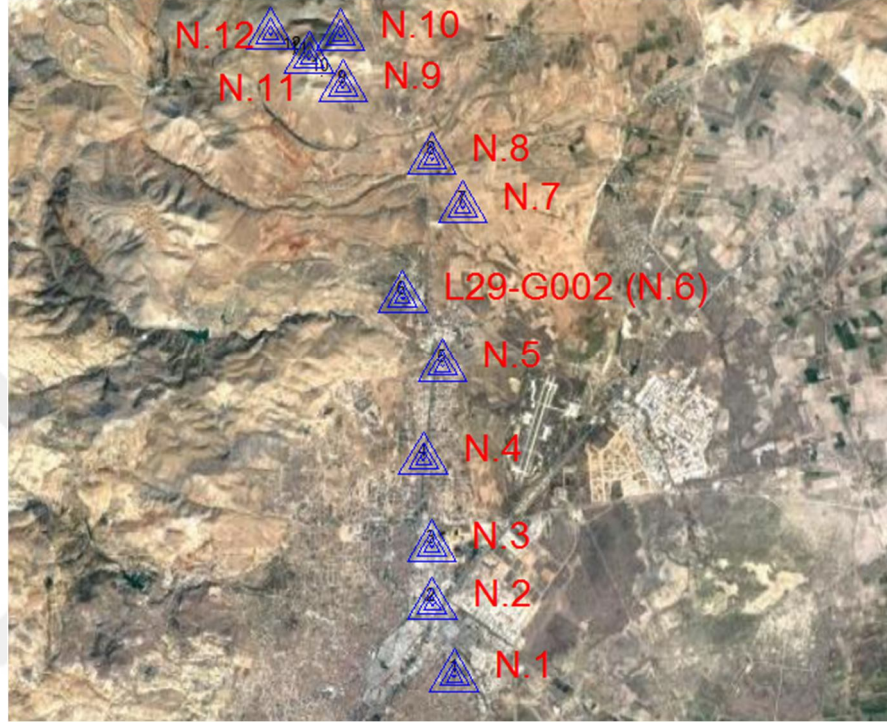
Şekil 5.2. Uygulama 2 proje alanı ve noktaların konumları.

Uygulama 3 alanı Kırıkkale ili Karakeçili ilçesi mücavir alanı seçilmiştir. Uygulama 3 alanı içerisinde 36 adet C3 dereceli nirengi bulunmakta olup kısa kenarlı (4 km*6 km) bir ağıdır. Uygulama 3 alanı Şekil 5.3'te görülmektedir.



Şekil 5.3. Uygulama 3 proje alanı ve noktaların konumları.

Uygulama 4 Konya – Adana çevre yolu civarındaki Aşkarlıhöyüğü’nden başlanarak İstanbul yolu istikametinde kuzey-güney doğrultusunda Konya-Afyon karayolu boyunca Karacaören Çiftliği’nin kuzeyinde bulunan Çalınbaş Tepe’ye kadar arazinin karakter değiştirdiği yerlerde 12 adet nokta tespit edilerek ağı dahil edilmiştir. Uygulama 4 alanı Şekil 5.4’te görülmektedir.



Şekil 5.4. Uygulama 4 proje alanı ve noktaların konumları.

5.2 Materyal ve Metod

Uygulama 1’de Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü ve Harita Genel Müdürlüğünden 2012 yılına ait her ayın 15’i olacak şekilde veriler talep edilmiştir. Ancak aynı istasyonlardaki verilerin elde edilememesi sebebi ile mayıs, kasım ve aralık aylarına ait ölçüm verilerine ulaşılamamıştır. Seçilen noktaların bulundukları Aksaray, Nevşehir, Kayseri, Konya-Karapınar, Adana-Feke, Adana-Pozantı, Adana-Tufanbeyli yerleşim merkezlerinde meteoroloji ölçüm istasyonu bulunmakta olup sadece Konya-Halkapınar ilçesinde Meteoroloji istasyonu bulunmamaktadır. Bu ilçede Konya ili Ereğli ilçesine 15 km. mesafede bulunmakta olduğu için Ereğli meteoroloji ölçüm istasyonuna ait yıl içinde sıcaklık farkının en yüksek olduğu 15.01.2012 ve 15.06.2012 tarihli meteorolojik veriler talep edilmiştir. Talep edilen

verilerde Kayseri, Pozantı, Tufa ve Feke meteoroloji istasyonlarında bu zamana ait ölçüm verileri temin edilememiştir.

Uygulama 2’de gözlem yapılan nokta tesislerinin hepsi pilye olup Topcon Hiper Plus, Topcon Hiper Pro ve Javad marka GPS alıcıları kullanılmıştır. TUTGA ve C1 dereceli noktalarda 2012 yılı mart ayının 10, 11 ve 12. günlerinde ve 2013 yılı haziran ayının 10, 11 ve 12. günlerinde olmak üzere toplam 6 gün ölçü yapılmıştır. Ölçümlerde günlük bir istasyonda meteorolojik verilerin ölçülmesi amacı ile Vaisala PTU 307 Meteorolojik Sensörü kullanılmış, ölçüm yapılan noktadaki Sıcaklık, Nem ve Basınç değerleri ölçülmüştür.

Uygulama 3 kapsamındaki 36 adet nirengiden 9 adedi pilye, 26 adedi taş ve 1 adedi de bronz tesislidir. Uygulama alanı kot değişimi 722.022 – 924.104 arasında olup az dalgalı bir arazidir. Uygulama alanındaki 36 adet Nirengi noktasına 35 dakikadan az olmayacak şekilde Topcon Hiper Plus marka GPS alıcısı ile oturma yapılmıştır. Uygulamanın amacı lokal bir alan içerisinde troposfer modellerinin incelenmesidir.

Uygulama 4’de ele alınan başlangıç ve bitiş noktaları arasında Yaklaşık olarak 23 km’lik bir mesafede yükseklik değişiminin yaklaşık 750 m olduğu bir alanda troposfer modellerinin ölçülere etkileri gözlemlenmek istenmiştir. Ölçüm alanının yaklaşık ortasında olan L29-G002 nolu TUTGA noktası referans alınarak GPS gözlemleri yapılmış ve noktaların elipsoidal yükseklikleri elde edilmiştir. GPS gözlemlerinde 2 adet Astech Z Surveyor, 6 adet Trimble 5700 Serisi, 2 adet Leica 300 Serisi, 2 adet Topcon Hiper Plus Alıcılar kullanılmıştır.

5.3 Bulgular ve İrdeleme

Uygulama 1 için talep edilen Çizelge B.1’deki referans istasyona ait meteorolojik veriler Topcon Tools programına girilerek hesaplama yapılmıştır. NIGD TUSAGA istasyonu referans alınarak Hopfield troposfer modeline göre diğer modellerin kıyaslaması yapılmıştır. Model kıyaslamasında Y ve X koordinatlarında da değişimler olsa da troposferik modellerin en çok etkilediği nokta yükseklikleri için kıyaslama yapılmıştır. Çizelge B.2’de görülen ocak ayındaki 15° yükseklik açısı ve Hopfield tabakasındaki çözüm baz alınarak diğer aylardaki aynı parametrelerle

kıyaslama yapılmış aylık değişimler görülmüştür. Uygulama sonucunda noktalardaki yükseklik değişimi kullanılan modele göre -450 mm ila +450 mm arasında değişkenlik göstermektedir. Troposfer etkisi kullanılan GPS veya başka bir yöntemle düzeltilemediği için seçilecek model ölçüm alanına ve hava durumuna göre en iyi etkiyi ve en doğru sonucu verebilecek model seçilmelidir.

Yapılan uygulama sonucunda LGO programında Hopfield ve Saastamoinen modelleri ile TT programında Goad&Goodman modelleri diğer modellere göre en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiştir. Çizelge B.2 ve Çizelge B.6'da meteorolojik yöntemlerle elde edilen sonuçlar ile program verileri Goad&Goadman modeli üzerinde karşılaştırıldığında standart atmosfer model ile yakın değerler olması ve istasyonlar arasındaki mesafelerin büyük olması, programda sadece bir noktaya ait meteorolojik verilerin girişine olanak sağlaması ve değerlendirmeye alınan noktalar farklı coğrafi bölgede olsa da benzer hava koşullarında bulunması sebebi ile hesaplanan yükseklik farkları çok küçük çıkmıştır. Çizelge B.3, Çizelge B.4, Çizelge B.5, Çizelge B.7, Çizelge B.8, Çizelge B.9 ve Çizelge B.10'daki troposfer modeller kıyaslandığında standart modellerin meteorolojik şartlar değiştiğinde bile ± 1 cm içinde sonuçlar verdiği görülmüştür.

Uydu yükseklik açılarına göre yapılan hesaplamalarda Çizelge B.11 ve Çizelge B.12'de gösterilmekte olan Hopfield tabakasındaki 15°'lik yükseklik açısı referans alınarak 10° ve 20°'lik açılarda hesaplanan nokta yükseklikleri kıyaslandığında en iyi sonucu veren Hopfield, Saastomonien ve Good&Goodman modelleridir. Bu modellerin 10° ve 20° kesme açılarında yapılan hesaplamaların sonuçlarının aynı modellerin 15°'lik açılarıyla kıyaslandığında 10°'lik yükseklik açılarının 20°'lik yükseklik açılarına göre ters yönde olduğu görülmüştür. Yine bu modellerdeki 0°'lik uydu kesme açısıyla yapılan hesaplarda Hopfield, Saastomonien ve Good&Goodman modellerinde 2 cm'e varan farklar görülmüştür. Bu durumda uydu yükseklik açısı olarak 15°'lik açıları referans alınması ve 5° ve 1° lik açılarda troposfer modellendirilmesi yapılamamasından dolayı düşük dereceli açılar hesaplarda kullanılmaması gerekmektedir.

Uygulama 2 alanında bulunan L29-G002 nolu nokta referans alınarak L2810012, L28-G001, L29-G001, M28-G001 ve M29-G001 nolu noktaların Leica Geo Office

(LGO) ve Topcon Tools (TT) programındaki troposfer modeller kullanılarak serbest dengeleme yöntemi ile hesaplanmıştır. L28-G001, L29-G001 ve M29-G001 nolu noktalar sabit alınarak dayalı dengeleme yöntemleri ile de hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1. Ölçülen meteorolojik veriler.

Nokta Adı	Tarih	Basınç	Sıcaklık	Nem	Basınç Mb
M29-G001	10.03.2012	910.17	12.09	47	1014.416
M28-G001	11.03.2012	874.37	6.33	47.6	1015.560
M29-G001	12.03.2012	910.01	12.36	47.73	1014.256
M28-G001	10.06.2013	862.3	23.66	35.37	1003.490
L29-G001	11.06.2013	898.88	30.66	19.75	1003.126
L2810009	12.06.2013	877.45	28.73	19.89	1004.299

LGO ve TT programlardaki troposfer modelleri ile yapılan serbest ve dayalı dengelemelere ek olarak Çizelge 5.1'deki arazide ölçülen meteorolojik verilere göre 10.03.2012 ve 11.03.2012 tarihli günlerin değerlemesinde TT programındaki standart meteorolojik değerler ile ölçülen meteorolojik veriler girilerek yapılan serbest ve dayalı dengelemeler arasında küçük farklar bulunmaktadır. 11.06.2013 ve 12.06.2013 tarihli günlerin değerlendirmesinde TT programındaki standart modeller ile meteorolojik veriler girilerek yapılan serbest ve dayalı dengelemeler arasında Çizelge B.13 ve Çizelge B.14'de görüldüğü gibi 10 mm. kadar etki ettiği görülmüştür. TT programındaki Niell ve UNBabc modellerinde meteorolojik verilerin girilmesi ile birlikte program nokta yüksekliklerinde ± 20 cm. kadar hesaplamalarda hata yaptığı görülmüştür.

Uygulama 3 alanında I3020025 ve I302H039 nolu noktalara dayalı olarak yapılan dayalı dengeleme sonucunda Çizelge B.15’de troposfer modellerinin hesaplarda olan farkları verilmiştir. Troposfer modellerinden Computed, Essen Froome ve No Troposfer modellerinde +70 ila -70 mm. arasında değişkenlik görülmektedir. Görülen değişkenlikler GPS ölçümlerinin ölçü zamanına göre sıralanması ile ölçüm anındaki troposfer tabakasının etkisi modellerdeki hatalar ile görünür hale gelmektedir. Diğer troposfer modelleri kendi arasında hesap yapılması için uygundur. Proje alanı ne kadar küçük olsa bile Troposfer modeli kullanılmadan yapılacak bir hesabın doğruluğundan söz edemeyiz.

Çizelge 5.2’de serbest dengeleme sonuçları verilen Uygulama 4 alanının şeritvari şeklinde kuzey-güney doğrultusunda yapılan GPS ölçümleri neticesinde kot aralığının 1008 m ila 1731 m arasında olan proje sahasında; Çizelge B.16’da görülen uydu kesme açılarındaki değişim 1 ila 5 mm. civarında yüksekliklere etki ettiği görülmüştür. Troposfer modellerinin kıyaslanmasında ise ölçülen noktaların yüksekliğine göre modellerin hata verdiği gözlemlenmiştir. Şekil A.1’de hatalı modellerin Hopfield modeline göre farkları ve yönleri şekil A.2’de tüm modelleri Hopfield modeline göre farkları ve yönleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Serbest dengeleme sonuçları.

GRİD KOORDİNATLAR				
Nokta No	Sağa Değer	Yukarı Değer	Elipsoid Yükseklik	Ortometrik Yükseklik
N.1	458436.8327	4196369.7513	1048.2608	1012.4954
N.2	457653.9916	4198967.7074	1043.9379	1008.1671
N.3	457634.2323	4201058.3400	1061.2080	1025.4559
N.4	457320.6123	4204217.6405	1067.0177	1031.2210
N.5	458021.5624	4207592.2942	1130.6929	1094.8688
N.6	456583.3324	4210077.0407	1204.2221	1168.2660
N.7	458759.1467	4213343.2688	1171.0878	1135.1629
N.8	457637.9467	4215116.2801	1228.3914	1192.3887
N.9	454411.0031	4217718.3255	1449.4089	1413.1897
N.10	453665.2202	4218133.2367	1561.6760	1525.4150
N.11	452847.8713	4218777.4788	1768.7565	1732.4494
N.12	452613.0950	4218905.8890	1767.4989	1731.1614

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan hesaplamaların sonucunda troposfer modellerinden elde edilen sonuçların, en iyi model baz alınarak kendi aralarında kıyaslandığında sadece düşey konuma etki ettiği ve yatay konuma etkisinin çok küçük olduğu görülmüştür. LGO programı meteorolojik verilerin girilmesine izin vermemesine rağmen program tarafından otomatik olarak seçilen Hopfield modeli ve Saastamoinen modellerinin farklı hava koşullarında uzun mesafeli ve kısa mesafeli bazlarda ve ölçüm yapılan arazinin düz veya dalgalı olması durumlarında bile en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. Simplified Hopfield modelinin kısmen dalgalı arazilerde uygulama 3’de örneğinde iyi sonuçlar verdiği referans nokta ile GPS gözlemi yapılan nokta arasındaki yükseklik farkı değiştikçe modelin hassasiyeti ortadan kalkmaktadır. Uygulama 1, uygulama 2 ve uygulama 4 de görüldüğü üzere referans noktadan daha alçakta olan nokta yüksekliği için 15° Hopfield modeli ile yapılan karşılaştırmada negatif yönde, referans noktadan yukarıda kalan nokta yükseklikleri için pozitif yönde hata vermektedir. Essen Froome modeli nispeten düz araziler için kullanılması uygun olan bir model olup Uygulama 4 de görüleceği üzere az dalgalı arazilerde bile +6 cm ile -6 cm aralığında hata vermektedir. Essen Froome modeli de Simplified Hopfield modeli gibi referans noktadan daha alçakta kalan nokta yüksekliği için negatif yönde, referans noktadan yukarıda kalan nokta yükseklikleri için pozitif yönde hata vermektedir. No Troposfer seçeneği ile yapılan hesaplamalar aynı bölgede aynı troposferik etkiye uğramış GPS sinyallerinin aynı yükseltiye sahip noktalar için uygulandığında yüksek ihtimalle noktaların hesabında doğru sonuçlar verebilecektir. Uygulama yaptığımız proje sahalarında böyle bir olay ile karşılaşma olasılığımız çok düşük görülmektedir. Troposfer modeli uygulanmayan hesaplamalarda Simplified Hopfield ve Essen Froome modellerinin tersine referans noktadan yukarıda kalan yükseklikler için negatif yönde, alçakta kalan yükseklikler için pozitif yönde hata vermektedir. Computed modeli farklı troposferik koşullara sahip ve noktalar arasındaki yükseklik farkının çok olduğu noktalarda Simplified Hopfield, Essen Froome ve No Troposphere modellerine göre daha iyi sonuçlar veren bir model olup uzun bazlı hesaplamalarda Hopfield ve Saastamoinen modelinden faydalanılamayacak ise bu modelin kullanılması daha uygun olacaktır.

TT programı meteorolojik verilerin eklenmesine izin veren menüsü ölçülmüş meteorolojik değerlerin kullanılmasına imkân vermektedir. Programda kullanılan Goad&Goodman, Niell ve UNBabc modelleri programın kendi içinde kıyaslamasında birbirlerine çok yakın sonuçlar vermektedir. TT programında sabit olan meteorolojik veriler; basınç 1013.2 mbar, sıcaklık 20°C, nem %50'dir. Programa ölçülen veya temin edilen meteorolojik verilerin girilmesi ile Goad&Goodman modeli sabit alınan parametreler ile yakınlığına göre benzer sonuçlar verirken Niell ve UNBabc modeli Meteorolojik verilerin girilmesi ile çok uzak sonuçlar vermektedir. Topcon Tools programında meteorolojik veriler ile hesap yapılırken Niell ve UNBabc modelleri kullanılmamalıdır.

Lokal olarak yapılan hesaplamalarda veya az dalgalı araziler için programlarda kullanılan troposfer modelleri uygulama alanı ve konumuna göre uygun olan modellerle hesaplanmasında bir sakınca olmamaktadır. Geniş bazlı GPS gözlemleri sonucunda (TUSAGA uygulaması gibi) yapılacak olan hesaplamalarda farklı bölgelerdeki nem, sıcaklık ve basınç değerlerinin farklı olacağı için standart bir troposfer modelinin kullanılması uygulama alanına göre hatalı sonuç verebileceği için yüksek prezisyonlu ölçümlerde meteorolojik verilerin ölçülmesi ve bu verilerin yüklenebileceği programlarda hesaplamaların yapılması uygun olacaktır.

Atmosferik verilerin ölçülmesi ile Troposfer modellerinin kıyaslanmasından daha etkin bir sonuç almak için TUTGA noktalarından faydalanarak deniz kenarındaki noktalar ile farklı yükseklik ve basınç değerlerine sahip olan iç kesimlerdeki noktalardaki atmosferik verilerin ölçülmesi ile bir akademik çalışma yapılması kıyaslamaların yapılabilmesi noktasında daha yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Arıkan, F., Erol, C. ve Arıkan, O., 2003. Regularized estimation of vertical total electron content from Global Positioning System data, *Journal of Geophysical Research-Space Physics*, 108 (A12), 1469-1480.
- Ayers, H.B., 2011. GNSS (GPS and GLONASS) positioning used in land surveying and engineering, Canada.
- Başçiftçi, F., 2017. GNSS verileri kullanılarak iyonosfer modelinin oluşturulması ve global modellerle karşılaştırılması, Doktora Tezi, SÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Berrada Baby, H., Gole, P. ve Lavernat, J., 1988. A model for the tropospheric excess path length of radio waves from surface meteorological measurements, *Radio science*, 23, 6, 1023-1038.
- Beutler, G., 1988. Static positioning with the Global Positioning System (GPS), *State of the Art*, 363-380.
- Beutler, G., 1997. SLR review Committee Report, International Laser Ranging Service.
- Cross, P.A. ve Sellere P.C., 1991. The use of GPS in crustal dynamics studies-navigating the continents? *Proceedings of NAV 91 satellite navigation*, Royal Institute of Navigation, Londra, 20.
- Çelik, R.N., 2002. GPS lecture notes, İTÜ Civil Engineering Faculty Geodesy and Photogrammetry Engineering Department Geodesy Division, İstanbul.
- Erdönmez, O., 2008. Troposferik gecikmelerin GPS ölçülerine olan etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erkan Y., 2008. Troposferik gecikme modellerinin GPS nokta konumlarına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, ZKU, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Glowacki J., Penna N.T. ve Bourke W.P., 2006. Validation of GPS-based estimates of integrated water vapor for the Australian region and identification of diurnal variability *Australian Meteorological Magazine*, 55, 131-148.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger H., ve Collins J., 1994. GPS, Theory and Practice, 3. revised edition, Springer-Verlag, Viyana, Avusturya.
- Hopfield, H.S., 1969. Two-quartic tropospheric refractivity profile for correcting satellite data, *Journal of Geophysical Research*, 74, 188, 4487-4499.
- Hopfield, H.S., 1971. Tropospheric effect on electromagnetically measured range, Prediction from surface weather data *Radio Science*, 6, 3, 357-367.

- Hopfield, H.S., 1977. Tropospheric correction of electromagnetic ranging signals to a satellite: A study of parameters, International Association of Geodesy symposium, May 23-28, Wageningen, Hollanda.
- Janes, H.W., Langley, R.B. ve Newby S.P., 1989. A comparisan of several models for the prediction of tropospheric propagation delay, Proceedinds of the Fifth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, March 13-17, Las Cruces, New Mexico, 1, 28-52.
- Kahveci, M., 1993. Ortometrik yüksekliklerin belirlenmesinde GPS sistemi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kahveci, M., 1997. Investigation on the effect of propagation errors on GPS observations in Turkey region, Ph.D. dissertation, Istanbul Technical University, Istanbul.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F., 2007. Global konum belirleme sistemi, Nobel Yayınevi, geliştirilmiş 3.baskı, Ankara.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F., 2009. GPS/GNSS uydularla konum belirleme sistemleri, Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti, 4.baskı, Ankara.
- Kouba, J., 1979, Improvements in Canadian geodetic Doppler programs, Proceedings of Second Inter, Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning, Austin, Teksas, ABD, 63-82.
- Mendes, V.B., 1999. Modeling the neutral-atmosphere propagation delay in radiometric space techniques, Ph.D. dissertation, Department of geodesy and geomatics engineering technical report no 199, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada.
- Mekik, Ç., 1993. Tropospheric path delay modelling in GPS relative positioning, paper presentation, UKGA General Assembly, Oxford, Britanya,
- Mekik, Ç., 1999. GPS'e atmosferin etkileri, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası dergisi, 86, 14-20.
- NATO, 1990. NAVSTAR Global Positioning System (GPS), system characteristics, preliminary draft, draft Issue L, August 1.
- Niell, A.E., 1996. Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths, Journal Geophysical Research, 101(B2), 3227-3246.
- Özlüdemir, M.T., 2003. The stochastic modeling of GPS observations Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences 28 (2004) , 223 – 231.
- Rizos, C., 1997. Principles and practice of GPS surveying, Monograph 17, school of geomatic engineering, The University of New South Wales, ISBN 0-85839--071-X, approx, 560.

Saastamoinen, J., 1972. Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging of satellites, in the use of artificial satellites for geodesy, 109 Geophysics Monograph Series, 15, AGU, Washington, D.C., 247-251.

Saastamoinen, H.S., 1973. Impact of different tropospheric models on GPS baseline accuracy, case study in Thailand.

Saastamoinen, J., 1973. Contribution to the theory of atmospheric refraction, Part II, Bulletin Geodesique, 107, 13-34.

Seeber, G., 1993. Satellite geodesy, foundation, methods and application, Walter De Gruyter, Berlin-Newyork.

Smith, E.K. ve Weintraub, S., 1953. The constants in the equation for atmospheric refractive index at radio frequencies, Proceedings of I.R.E., 1035-1037.

Thayer, G.D., 1974. An improved equation for the radio refractive index of air radio science, 9, 803-807.

Yılmaz, S., 2013. GNSS verilerinden hesaplanan elipsoid yüksekliklerinin atmosferik verilerle iyileştirilmesi, Doktora Tezi, SÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

URL-1<<https://slideplayer.biz.tr/slide/3096164/>>, Erişim Tarihi 23.04.2019.

URL-2<<https://sites.google.com/site/rembeet/summersemester2013/digital-communication-systems-elec675/class-work/11-gps-study-referene-material/>>, Erişim Tarihi: 23.04.2019.

URL-3< <https://www.space.com/19794-navstar.html/>>, Erişim Tarihi: 23.04.2019.

URL-4<<https://www.gps.gov/systems/gps/space/#generations/>>, Erişim Tarihi: 23.04.2019.

URL-5<<https://haritaonline.blogspot.com/2014/12/gps-olcu-ve-hesaplarn-etkileyen-hata.html/>>, Erişim Tarihi 23.04.2019.

URL-6< <https://slideplayer.com/slide/5777266/>>, Erişim Tarihi: 23.04.2019.

URL-7<<https://haritaonline.blogspot.com/2014/12/gps-ile-konum-belirleme-yontemleri.html/>>, Erişim Tarihi 23.04.2019.

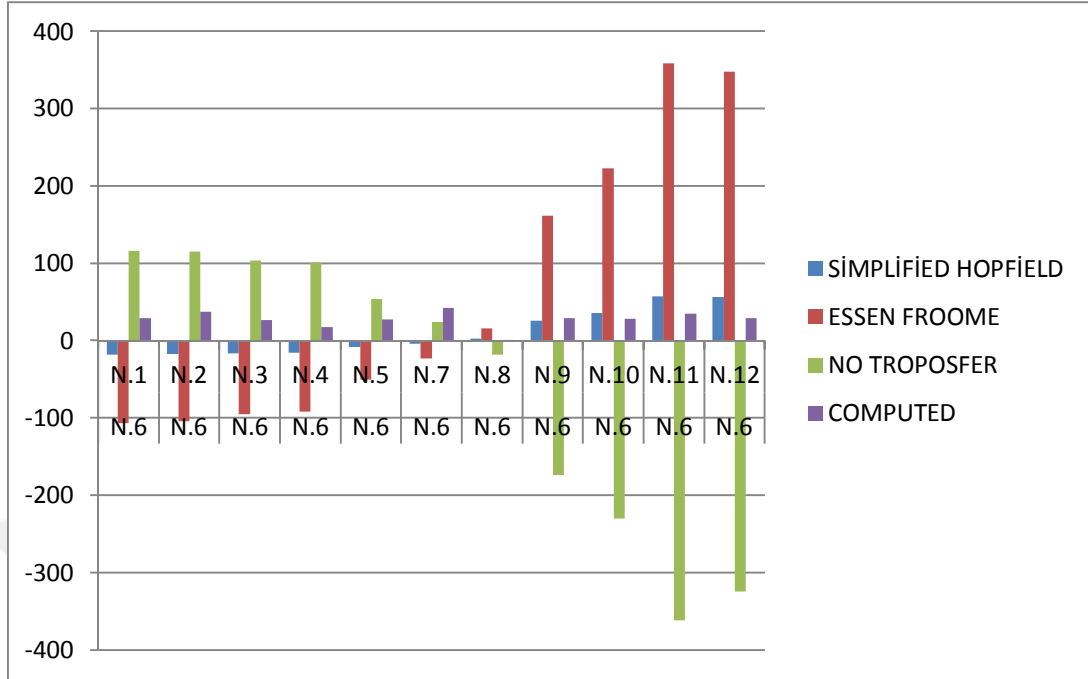
EKLER

Ek A. Şekiller.

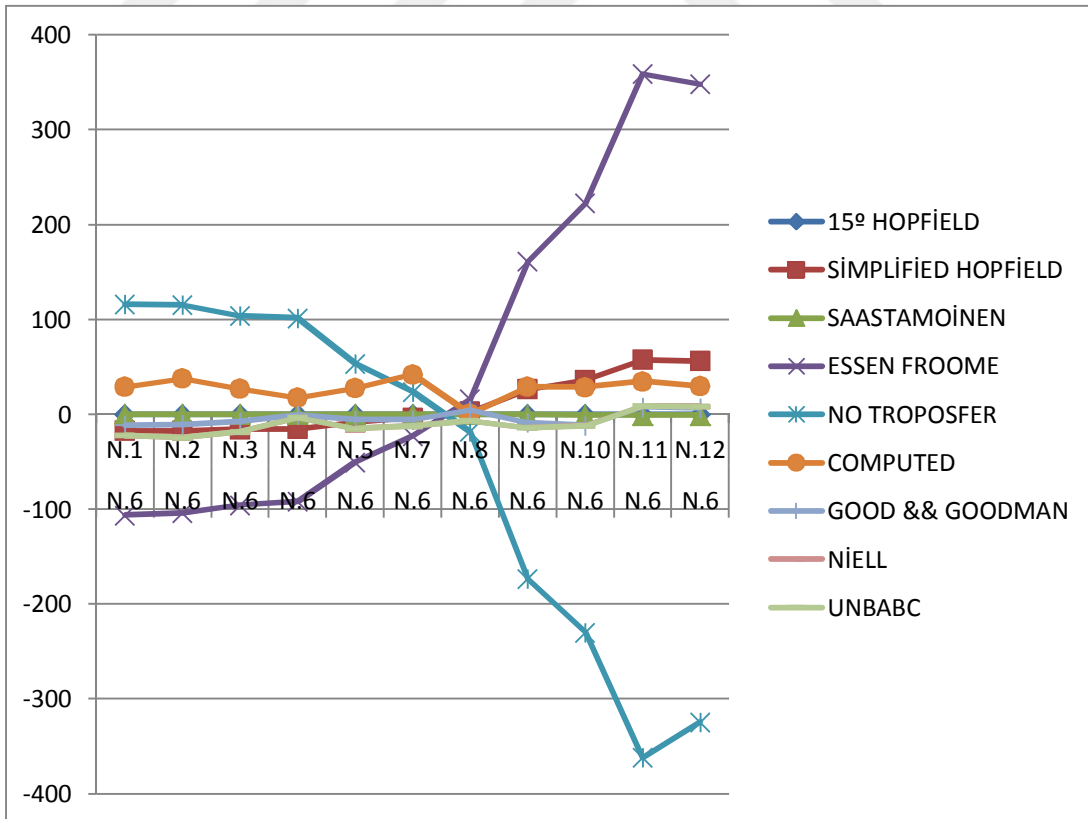
Ek B. Çizelgeler.



EK A. Şekiller.



Şekil A.1.Uygulama 4 hatalı modellerin yüksekliğe göre fark yönleri (mm.).



Şekil A.2. Uygulama 4 tüm modellerin yüksekliğe göre fark yönleri (mm.).

EK B. Çizelgeler.

Çizelge B.1. Meteoroloji istasyonlarına ait veriler.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü																	
Istasyon No	Istasyon Adı	YIL	AY	GÜN	ORTALAMA SICAKLIK	MAKSİMUM SICAKLIK	MINİMUM SICAKLIK	ORTALAMA NEM	TOPLAM YAĞIS	ORTALAMA HAVA BASINCI hPa	HESAPLANAN ORTALAMA HAVA BASINCI mbar	ORTALAMA BULUTLULUK MİKTARI	ORTALAMA RÜZGAR YONU	ORTALAMA RÜZGAR HIZI	MAKSİMUM RÜZGAR YONU	MAKSİMUM RÜZGAR HIZI	MAKSİMUM RÜZGAR ZAMANI
17192	AKSARAY	2012	1	15	2.8	5.6	0.1	82.2	0	899.8	996.80	4.5	241WSW	3.3	220SW	10.8	05:10
17193	NEVŞEHİR	2012	1	15	1.8	4.9	-1.1	75.8		868	994.00	3.7	209SSW	3.1	170S	11.3	01:23
17248	EREĞLİ	2012	1	15	7.4	11.6	2	52.3		890.8	995.40	4	208SSW	3.6	210SSW	14.4	11:00
17250	NİĞDE	2012	1	15	4.2	7.4	1.2	68.2		873.5	994.60	3.3	227SW	3.8	240WSW	11.3	18:44
17902	KARAPINAR	2012	1	15	3.8	7.4	1.1	79.7	0.5	896.1	995.70		138SE	2.9	207SSW	9.4	07:14
17934	POZANTI	2012	1	15	4.3	8	-7.2	79.8		889.6	997.60		271W	1.6	203SSW	7.2	13:03
17192	AKSARAY	2012	6	15	26.9	34.2	18.1	30.9	0	904.8	1001.80	1.9	354N	1.7	70ENE	10.3	23:23
17193	NEVŞEHİR	2012	6	15	25.6	32.8	17.5	27.5	0.2	875.5	1001.50	4	23NNE	1.8	50NE	7.7	17:39
17248	EREĞLİ	2012	6	15	25.3	34.5	15.9	42	3.6	896.2	1000.80	1.3	78ENE	1.2	170S	4.1	17:30
17250	NİĞDE	2012	6	15	25.5	34.2	15.3	30.8	0	879.6	1000.70	2.4	40NE	1.8	30NNE	6.2	19:40
17902	KARAPINAR	2012	6	15	26.7	35.3	15.8	32.1	0	901.2	1000.80		352N	1.9	308NW	6.3	11:39
17934	POZANTI	2012	6	15	26.4	35	17.3	30.2	0	892.6	1000.60		284WNW	2.1	283WNW	10.5	14:33
1) NOTLAR: 1 – Verilen Saat UTC (Koordine Edilmiş Evrensel Saat)'dir. Türkiye saatine çevirmek için kışın 2 saat, yaz saatine göre ise 3 saat eklenir. 2016 Yılı ve sonrası 3 saat eklenir. Son 35 güne kadar olan bilgiler kalite kontrolünden geçmemiştir, daha sonraki tarihlerde değerler değişebilir.Sistemde ve verilerde düzenlemeler yapılmıştır, önceki veriler ile zaman zaman farklılıklar olabilir. 2 – Hava sıcaklığı gölgede, 2 metre yükseklikte santigrat derece (°C) olarak ölçülmektedir. 3 – Günlük Minimum Sıcaklığın 0 °C 'nin altına düştüğü günler Donlu Gün olarak ifade edilir. 4 – Rüzgar Tablosunda; Sakin (C): 0.0-0.2 m/sn (0 Bofor), Esinti: 0.3-1.5 m/sn (1 Bofor), Hafif Rüzgâr: 1.6-3.3 m/sn (2 Bofor), Tatlı Rüzgar: 3.4-5.4 m/sn (3 Bofor), Orta Rüzgar: 5.5-7.9 m/sn (4 Bofor), Sert Rüzgar: 8.0-10.7 m/sn (5 Bofor), Kuvvetli Rüzgar: 10.8-13.8 m/sn (6 Bofor), Fırtınası Rüzgar: 13.9-17.1 m/sn (7 Bofor), Fırtına: 17.2-20.7 m/sn (8 Bofor), Kuvvetli Fırtına: 20.8-																	

Çizelge B.2. 15.01.2012 gününe ait modellerin kıyaslanması.

15_01_2012																	
NOKTA			LEICA GEO OFFİCE						TOPCON TOOLS						METEOROLOJİK VERİLER		
									PROGRAM VERİLERİ			NIGD istasyonuna ait veriler					
Adı	Kotu (Elipsoid)	Referansa Uzaklığı M.	HOPFIELD 15°	SIMPLIFIED HOPFIELD 15°	SAASTAMOINEN 15°	ESSEN FROOME 15°	NO TROPOSPHERE 15°	COMPUTED15°	GOAD&GOODMAN 15°	NEILL 15°	UNBABC 15°	GOAD&GOODMAN 15°	NEILL 15°	UNBABC 15°	Ortalama Sıcaklık	Ortalama Nem	Ortalama Basınç
AKSR	1005.803	75194.356	0	27	0	174	-159	2	16	-2	26	14	-186	-186	2.8°	82	996.800
FEEK	600.315	109635.274	0	73	0	459	-427	38	-39	-37	-48	-46	-535	-535	4.3°	80	997.600
HALP	1252.456	71877.256	0	0	0	0	7	-50	0	-4	-1	1	-1	-1	7.4°	52.3	995.400
KAPN		105024.447															
KAYS	1138.758	111294.034	0	13	0	75	-89	-11	-8	5	15	0	-90	-90	1.8°	93	994.000
NEVS	1292.459	73059.724	0	-4	0	-26	81	5	-4	-12	-3	-4	24	23	1.8°	93	994.000
NGDE	1410.622	7641.969	0	-17	0	-102	110	-14	7	7	9	6	128	128	4.2°	68	994.600
NIGD	1252.326		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.2°	68	994.600
POZA	826.403	61941.176	0	48	0	283	0	-10	-18	-6	-5	-21	-332	-332	4.3°	80	997.600
TUFA	1459.390	139300.830	0	-23	0	-147	135	5	-1	2	-1	5	142	142	4.3°	80	997.600

* Farklar mm cinsinden yazılmıştır.

** Topcon Tools Programında Meteorolojik Veriler Sıcaklık 20°, Nem 50, Basınç 1013.2 Mb girilmektedir.

***Tüm bazlar için Meteorolojik veri girişi mümkün olmadığı için Niğde Meteoroloji istasyonundaki bilgiler girilmiştir.

Çizelge B.3. 15.02.2012 gününe ait modellerin kıyaslanması.

15_02_2012										
PROGRAM	LEICA GEO OFFİCE							TOPCON TOOLS		
Nokta Adı	15.01.2015 HOPFIELD 15°'e GÖRE FARK	HOPFIELD 15°	SIMPLIFIED HOPFIELD 15°	SAASTAMOINEN 15°	ESSEN FROOME 15°	NO TROPOSPHERE 15°	COMPUTED 15°	GOAD&GOODMAN 15°	NEILL 15°	UNBABC 15°
AKSR	-4	0	28	-1	165	-161	-1	-13	-10	-7
FEEK	-1	0	76	0	463	-512	21	-43	-24	-18
HALP	-7	0	0	0	0	19	-3	1	10	12
KAPN		0	24	0	142	-104	6	-2	-5	-5
KAYS	-1	0	13	0	75	-97	-15	-13	0	-12
NEVS	-2	0	-4	0	-26	30	-5	-6	-13	-1
NGDE	-3	0	-17	0	-102	110	7			
NIGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POZA	-7	0	49	0	282	-301	4	-19	-18	-22
TUFA	1	0	-22	0	-131	127	12	7	4	1

* Farklar mm cinsinden yazılmıştır.

Çizelge B.4. 15.03.2012 gününe ait modellerin kıyaslanması.

15_03_2012										
PROGRAM	LEICA GEO OFFİCE							TOPCON TOOLS		
Nokta Adı	15.01.2015 HOPFIELD 15°'e GÖRE FARK	HOPFIELD 15°	SIMPLIFIED HOPFIELD 15°	SAASTAMOINEN 15°	ESSEN FROOME 15°	NO TROPOSPHERE 15°	COMPUTED 15°	GOAD&GOODMAN 15°	NEILL 15°	UNBABC 15°
AKSR	-3	0	28	0	164	-155	4	-12	-3	7
FEEK	-1	0	75	0	483	-499	-43	-39	-39	-38
HALP	-7	0	0	0	0	21	2	5	6	8
KAPN		0	24	0	142	-96	-5	-6	-11	-20
KAYS	-2	0	13	0	73	-84	2	-11	-12	20
NEVS	-2	0	-4	0	-23	30	12	6	11	10
NGDE	-3	0	-17	0	-102	110	1	9	-1	5
NIGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POZA	-4	0	48	0	334	-288	-36	-17	-19	-23
TUFA	0	0	-22	0	-132	100	-25	1	4	2

* Farklar mm cinsinden yazılmıştır.

Çizelge B.5. 15.04.2012 gününe ait modellerin kıyaslanması.

15_04_2012										
PROGRAM	LEICA GEO OFFİCE							TOPCON TOOLS		
Nokta Adı	15.01.2015 HOPFIELD 15°'e GÖRE FARK	HOPFIELD 15°	SIMPLIFIED HOPFIELD 15°	SAASTAMOINEN 15°	ESSEN FROOME 15°	NO TROPOSPHERE 15°	COMPUTED 15°	GOAD&GOODMAN 15°	NEILL 15°	UNBABC 15°
AKSR	3	0	28	0	152	-159	-21	-11	-3	18
FEEK	3	0	75	0	425	-425	40	-43	-24	-38
HALP	9	0	0	0	0	26	-83	1	16	23
KAPN		0	23	0	134	-81	-27	4	9	-4
KAYS	-2	0	10	-2	72	-94	13	7	-17	1
NEVS	2	0	-4	0	-25	25	2	5	1	-2
NGDE	-5	0	-17	0	-103	110	-5	0	4	5
NIGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POZA	-6	0	48	0	319	-300	22	-22	-13	-29
TUFA	-2	0	-22	-1	-128	107	22	3	27	19

* Farklar mm cinsinden yazılmıştır.

Çizelge B.6. 15.06.2012 gününe ait modellerin kıyaslanması.

15 06 2012																		
NOKTA			LEICA GEO OFFICE							TOPCON TOOLS						METEOROLOJİK VERİLER		
Adı	Kotu (Elipsoid)	Referansa Uzaklığı M.	15.01.2015 HOPFIELD 15°'e GÖRE FARK	HOPFIELD 15°	SIMPLIFIED HOPFIELD 15°	SAASTAMOINEN 15°	ESSEN FROOME 15°	NO TROPOSPHERE 15°	COMPUTED 15°	PROGRAM VERİLERİ			NİGD İSTASYONUNA AİT VERİLER			Ortalama Sıcaklık	Ortalama Nem	Ortalama Basınç
										GOAD&GOODMAN 15°	NEILL 15°	UNBABC 15°	GOAD&GOODMAN 15°	NEILL 15°	UNBABC 15°			
AKSR	1005.803	75194.356	1	0	28	0	161	-152	24	-9	-5	4	-6	-190	-190	27.9°	29	1001.800
FECK	600.315	109635.274	-6	0	76	0	457	-440	-3	1	-1	-26	-1	-483	-483	26.4°	30	1000.600
HALP	1252.456	71877.256	-3	0	0	0	0	44	32	25	13	22	20	20	21	26.2°	42	1000.800
KAPN		105024.447																
KAYS	1138.758	111294.034	0	0	12	0	74	-95	56	-8	-2	-3	-2	-72	-73	25.6°	28	1001.500
NEVS	1292.459	73059.724	1	0	-4	0	-26	29	40	4	-6	0	4	30	30	25.6°	28	1001.500
NGDE	1410.622	7641.969	-8	0	-17	0	-102	109	11	-6	16	6	8	127	127	25.5°	31	1000.700
NİGD	1252.326		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25.5°	31	1000.700
POZA	826.403	61941.176	-7	0	42	0	283	-290	14	14	4	-1	7	-314	-312	26.4°	30	1000.600
TUFA	1459.390	139300.830	-7	0	-21	0	-130	85	13	7	12	13	20	144	144	26.4°	30	1000.600

* Farklar mm cinsinden yazılmıştır.

** Topcon Tools Programında Meteorolojik Veriler Sıcaklık 20°, Nem 50, Basınç 1013.2 Mb girilmektedir.

***Tüm bazlar için Meteorolojik veri girişi mümkün olmadığı için Niğde Meteoroloji istasyonundaki bilgiler girilmiştir.

Çizelge B.7. 15.07.2012 gününe ait modellerin kıyaslanması.

15_07_2012										
PROGRAM	LEICA GEO OFFICE							TOPCON TOOLS		
Nokta Adı	15.01.2015 HOPFIELD 15°'e GÖRE FARK	HOPFIELD 15°	SIMPLIFIED HOPFIELD 15°	SAASTAMOINEN 15°	ESSEN FROOME 15°	NO TROPOSPHERE 15°	COMPUTED 15°	GOAD&GOODMAN 15°	NEILL 15°	UNBABC 15°
AKSR	-5	0	27	0	171	-127	-14	-6	-6	-2
FEEK	-4	0	90	0	510	-582	-20	-22	-30	-7
HALP	-10	0	-1	0	0	7	-27	-4	-3	-5
KAPN		0	24	0	180	-86	-32	4	0	-11
KAYS	-2	0	12	0	73	-121	46	-10	-3	-8
NEVS	-4	0	-4	0	-27	26	24	-3	-2	-8
NGDE	-6	0	-17	0	-102	109	-9			
NIGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POZA	4	0	55	0	378	-322	-93	-33	-46	-48
TUFA	-4	0	-21	0	-135	111	3	10	4	6

* Farklar mm cinsinden yazılmıştır.

Çizelge B.8. 15.08.2012 gününe ait modellerin kıyaslanması.

15_08_2012										
PROGRAM	LEICA GEO OFFICE							TOPCON TOOLS		
Nokta Adı	15.01.2015 HOPFIELD 15°'e GÖRE FARK	HOPFIELD 15°	SIMPLIFIED HOPFIELD 15°	SAASTAMOINEN 15°	ESSEN FROOME 15°	NO TROPOSPHERE 15°	COMPUTED 15°	GOAD&GOODMAN 15°	NEILL 15°	UNBABC 15°
AKSR	3	0	27	0	163	-210	-5	5	-2	12
FEEK	-10	0	75	0	524	-452	68	-44	-49	-18
HALP	-6	0	2	0	0	72	13	3	2	-4
KAPN		0	25	1	141	-142	-26	-7	-6	3
KAYS	-1	0	12	0	72	-139	-4	-19	-9	-22
NEVS	1	0	-4	0	-26	19	2	1	2	-3
NGDE	-1	0	-16	0	-101	109	-5	4	8	2
NIGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POZA	-7	0	49	0	346	-289	-4	4	3	-11
TUFA										

* Farklar mm cinsinden yazılmıştır.

Çizelge B.9. 15.09.2012 gününe ait modellerin kıyaslanması.

15_09_2012										
PROGRAM	LEICA GEO OFFİCE							TOPCON TOOLS		
Nokta Adı	15.01.2015 HOPFIELD 15°'e GÖRE FARK	HOPFIELD 15°	SIMPLIFIED HOPFIELD 15°	SAASTAMOINEN 15°	ESSEN FROOME 15°	NO TROPOSPHERE 15°	COMPUTED 15°	GOAD&GOODMAN 15°	NEILL 15°	UNBABC 15°
AKSR	2	0	28	0	162	-143	15	-13	-8	-11
FEEK	-2	0	72	0	521	-559	-22	-41	-51	-119
HALP	-6	0	0	0	0	17	8	-3	-5	-8
KAPN		0	24	0	136	-89	6	-7	-12	-26
KAYS	0	0	12	0	73	-126	12	-8	-5	-14
NEVS	1	0	-4	0	-25	28	16	-4	0	-6
NGDE	-1	0	-16	0	-101	108	12	-1	1	3
NIGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POZA	-3	0	48	0	313	-309	-28	-17	-28	-5
TUFA	-2	0	-21	0	-133	77	-18	-7	-9	-22

* Farklar mm cinsinden yazılmıştır.

Çizelge B.10. 15.10.2012 gününe ait modellerin kıyaslanması.

15_10_2012										
PROGRAM	LEICA GEO OFFİCE							TOPCON TOOLS		
Nokta Adı	15.01.2015 HOPFIELD 15° 'e GÖRE FARK	HOPFIELD 15°	SIMPLIFIED HOPFIELD 15°	SAASTAMOINE N 15°	ESSEN FROOME 15°	NO TROPOSPHERE 15°	COMPUTED 15°	GOAD& GOODMAN 15°	NEILL 15°	UNBABC 15°
AKSR	-2	0	28	0	156	-170	-14	-26	-18	-6
FEEK	-5	0	76	0	409		38	-49	-31	-39
HALP	-10	0	0	0	0	41	27	5	4	5
KAPN		0	24	0	141	-154	-5	-5	4	8
KAYS	-3	0	12	0	75	-61	20	-3	3	-4
NEVS	-4	0	-4	0	-26	29	13	-6	-2	-2
NGDE	-5	0	-17	0	-102	109	-13	2	3	0
NIGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POZA	-12	0	44	0	310	-274	48	-9	-6	9
TUFA	-5	0	-21	0	-132		39	-5	2	-5

* Farklar mm cinsinden yazılmıştır.

Çizelge B.11. 15.01.2012 gününe ait uydu yükseklik açılarının kıyaslanması.

Nokta Adı	LEICA GEO OFFİCE																													
	HOPFIELD					SIMPLIFIED HOPFIELD					SAASTAMOINEN					ESSEN FROOME					NO TROPOSPHERE					COMPUTED				
	20°	15°	10°	5°	1°	20°	15°	10°	5°	1°	20°	15°	10°	5°	1°	20°	15°	10°	5°	1°	20°	15°	10°	5°	1°	20°	15°	10°	5°	1°
AKSR	-2	0	3	5	10	23	0	34	38	38	-2	0	5	7	7	159	174	173	210	210	-153	-159	-151	-201	-201	-17	2	5	13	13
FEEK	0	0	-5	-6	-6	68	0	77	77	77	0	0	-5	-5	-5	425	459	477	497	497	-375	-427	-405	-422	-422	33	38	27	27	27
HALP	-5	0	4	6	6	-5	0	4	6	6	-5	0	4	7	7	-5	0	4	7	7	-1	7	26	1	1	-52	-50	-41	-36	-36
KAPN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KAYS	-2	0	2	3	3	9	0	16	17	17	-2	0	2	2	2	64	75	85	94	94	-80	-89	-80	-112	-112	-2	-11	-10	-5	-5
NEVS	0	0	-1	-1	-1	-3	0	-5	-5	-5	0	0	0	-1	-1	-23	-26	-29	-31	-31	38	81	103	82	82	10	5	1	-1	-1
NGDE	-1	0	0	0	0	-16	0	-19	-21	-21	-1	0	0	1	1	-91	-102	-115	-123	-123	95	110	123	131	131	-14	-14	-9	-6	-6
NIGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POZA	0	0	0	0	0	43	0	54	56	56	0	0	0	-1	-1	254	283	334	336	336	-266	0	-286	-275	-275	-10	-10	-10	-4	-4
TUFA	0	0	-1	-3	-3	-18	0	-27	-28	-28	1	0	-2	-1	-1	-119	-147	-164	-201	-201	148	135	1266	115	115	13	5	2	2	2

Nokta Adı	TOPCON TOOLS														
	GOAD&GOODMAN					NEILL					UNBABC				
	20°	15°	10°	5°	1°	20°	15°	10°	5°	1°	20°	15°	10°	5°	1°
AKSR	18	16	12	10	17	24	2	-15	-3	25	12	26	0	25	13
FEEK	-39	-39	-58	-60	-53	-18	-37	-38	-42	-41	-37	-48	-21	-52	-51
HALP	-7	0	7	15	21	-4	-4	8	7	2	-5	-1	-5	28	11
KAPN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KAYS	-8	-8	-11	-9	-18	-13	5	-28	-16	-30	-17	15	-15	2	-11
NEVS	-6	-4	-10	-8	-14	5	-12	-7	-6	8	2	-3	-8	4	2
NGDE	0	7	4	10	8	0	7	4	12	5	0	9	9	6	7
NIGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POZA	-16	-18	-24	-25	-24	-8	-6	-25	-26	-12	-8	-5	-7	-15	-16
TUFA	0	-1	-4	-4	-5	7	-2	-5	-2	-4	-9	-1	0	7	-9

* Farklar mm cinsinden yazılmıştır.

Çizelge B.12. 15.06.2012 gününe ait uydu yükseklik açılarının kıyaslanması.

Nokta Adı	LEICA GEO OFFICE																													
	HOPFIELD					SIMPLIFIED HOPFIELD					SAASTAMOINEN					ESSEN FROOME					NO TROPOSPHERE					COMPUTED				
	20°	15°	10°	5°	1°	20°	15°	10°	5°	1°	20°	15°	10°	5°	1°	20°	15°	10°	5°	1°	20°	15°	10°	5°	1°	20°	15°	10°	5°	1°
AKSR	2	0	-2	-4	-4	26	28	28	31	31	2	0	-2	-3	-3	145	161	168	181	181	-142	-152	-170	-170	-170	29	24	21	16	16
FEEK	-2	0	4	2	2	66	76	84	95	97	-2	0	2	5	5	410	457	477	480	480	-429	-440	-456	-461	-461	12	-3	-3	-3	-3
HALP	1	0	0	-2	-2	1	0	5	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	76	44	44	54	54	35	32	20	23	23
KAPN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KAYS	5	0	-6	-10	-10	16	12	8	5	5	5	0	-6	-9	-9	71	74	75	77	77	-111	-95	-115	-87	-87	61	56	55	53	53
NEVS	5	0	-6	-10	-10	2	-4	-11	-14	-14	5	0	-6	-9	-9	-18	-26	-37	-42	-42	31	29	26	25	25	42	40	40	40	40
NGDE	2	0	-1	-2	-2	-12	-17	-20	-23	-23	2	0	-1	-1	-1	-87	-102	-116	-122	-122	97	109	122	130	130	-1	11	10	4	4
NIGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POZA	-2	0	2	4	4	40	42	54	53	53	-2	0	2	4	4	244	283	305	323	323	-266	-290	-308	-311	-311	12	14	1	-5	-5
TUFA	0	0	0	0	0	-19	-21	-24	-21	-21	0	0	0	2	2	-117	-130	-142	-144	-145	54	85	7	-9	-9	15	13	9	11	11

Nokta Adı	TOPCON TOOLS														
	GOAD&GOODMAN					NEILL					UNBABC				
	20°	15°	10°	5°	1°	20°	15°	10°	5°	1°	20°	15°	10°	5°	1°
AKSR	-5	-9	-16	-21	-36	-7	-5	-11	-19	-11	-5	4	-10	-5	-18
FEEK	-10	1	5	-2	-4	-13	-1	-10	-35	-8	-39	-26	-15	13	-5
HALP	21	25	10	24	17	18	13	26	11	13	22	22	17	-2	0
KAPN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KAYS	-1	-8	1	-18	-16	11	-2	-29	-11	-53	6	-3	-59	-41	-25
NEVS	8	4	-8	-2	-6	8	-6	2	-28	-11	4	0	-5	-17	-26
NGDE	7	-6	1	6	-4	9	16	8	5	7	13	6	27	16	3
NIGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POZA	6	14	13	24	25	-12	4	16	11	12	-9	-1	11	13	8
TUFA	6	7	11	-5	6	3	12	11	6	5	14	13	8	8	9

*NIGD TUSAGA noktası Referans nokta olarak seçilmiştir

Çizelge B.13. Serbest dengeleme sonuçları.

SERBEST DENGEME SONUÇLARI																		
ÖLÇÜ GÜNLERİ	Nokta Adı	10.03.2012 HOPFIELD MODELİNE GÖRE	HOPFIELD	SIMPLİFİE LD HOPFIELD	SAASTOM ONIEN	ESSEN AND FROME	NO TROPOSFER	COMPUTE D	GOAD&GO ODMAN 15°	NIELL 15°	UNBABC 15°	GOAD&GO ODMAN 15°	NIELL 15°	UNBABC 15°	GOAD&GO ODMAN 10°	GOAD&GO ODMAN 5°	GOAD&GO ODMAN 1°	
10.03.2012	Ref Kotu:	1204.244	PROGRAM VERİLERİ; BASINÇ: 1013.2 Mb SICAKLIK: 20°C NEM: 50										ORT. BASINÇ:1014.42 SICAKLIK:12 NEM:%47					
	L2810012	1244.386	0	-5	-40	-71	-7	-56	1	-2	1	2	30	30	2	2	2	
	L29-G001	1012.829	0	22	-41	14	-121	-57	-11	-11	-15	-7	-159	-159	-8	-8	-8	
	M28-G001	1411.985	0	-22	-41	-176	157	-43	12	8	11	9	169	169	8	8	8	
	L28-G001	1227.057	0	-2	-31	-31	-31	-31	0	-2	-3	0	16	16	1	1	1	
	M29-G001	1042.390	0	19	-66	-66	-66	-66	0	1	4	-3	-134	-134	0	0	0	
11.03.2012			PROGRAM VERİLERİ; BASINÇ: 1013.2 Mb SICAKLIK: 20°C NEM: 50										ORT. BASINÇ:1015.56 SICAKLIK:6 NEM:%48					
	L2810012	11.5	0	-4	0	-26	20	-48	3	7	7	7	36	36	11	17	17	
	L29-G001	11.8	0	22	0	133	-137	3	-13	-16	-16	-9	-171	-171	-7	-6	-6	
	M28-G001	6.4	0	-23	0	-140	146	-3	7	10	8	4	172	172	6	1	1	
	L28-G001	8.5	0	-2	0	-15	23	0	-2	-4	-4	-1	16	16	0	-14	-11	
	M29-G001	-14.9	0	18	0	111	-117	1	-8	-3	-6	-7	-139	-139	-5	-7	-6	
12.03.2012			PROGRAM VERİLERİ; BASINÇ: 1013.2 Mb SICAKLIK: 20°C NEM: 50										ORT. BASINÇ:1014 SICAKLIK:12 NEM:%48					
	L2810012	17.5	0	-4	0	-26	26	-27	3	-4	-1	34	34	34	11	15	15	
	L29-G001	-7.7	0	22	0	129	-129	6	-7	-11	-10	-144	-144	-144	-7	-11	-10	
	M28-G001	23.7	0	-22	0	-135	145	-17	12	10	17	174	174	174	18	32	26	
	L28-G001	-5.1	0	-2	0	-15	24	16	-3	-5	-5	14	14	14	-4	-1	-1	
	M29-G001	-18.5	0	18	0	109	-105	1	9	16	13	-109	-109	-109	3	11	10	
10.06.2013			PROGRAM VERİLERİ; BASINÇ: 1013.2 Mb SICAKLIK: 20°C NEM: 50										ORT. BASINÇ:1003.49 SICAKLIK:24 NEM:%35					
	L2810012	12.8	0	-4	0	-26	34	14	0	2	-4	1	30	30	-4	-10	-10	
	L29-G001	43.1	0	21	0	127	-145	40	-15	-16	-15	-14	-168	-168	-23	-28	-28	
	M28-G001	10.3	0	-22	0	-132	147	27	2	0	1	3	153	153	3	-3	0	
	L28-G001	-15.8	0	-3	0	-16	15	-31	9	6	6	10	26	26	17	18	18	
	M29-G001	-30.6	0	18	0	105	-119	-23	3	7	2	2	-115	-115	4	4	4	
11.06.2013			PROGRAM VERİLERİ; BASINÇ: 1013.2 Mb SICAKLIK: 20°C NEM: 50										ORT. BASINÇ:1003.126 SICAKLIK:31 NEM:%20					
	L2810012	25	0	-4	0	-26	32	0	15	3	17	18	47	47	19	14	13	
	L29-G001	27.1	0	21	0	126	-136	-5	11	12	10	6	-122	-122	10	8	8	
	M28-G001	26.9	0	-22	0	-132	144	19	21	20	20	27	178	178	28	33	33	
	L28-G001	-5.5	0	-3	0	-16	15	-29	-9	-12	-8	-9	9	9	2	3	3	
	M29-G001	-7.1	0	18	0	104	-112	-34	10	5	11	-3	-105	-113	19	19	19	
12.06.2013			PROGRAM VERİLERİ; BASINÇ: 1013.2 Mb SICAKLIK: 20°C NEM: 50										ORT. BASINÇ:1004.299 SICAKLIK:28 NEM:%20					
	L2810012	7.9	0	-4	0	-26	35	8	-1	-4	1	1	28	29	1	-2	-3	
	L29-G001	10.8	0	21	0	127	-138	12	-11	-12	-11	-17	-154	-154	-19	-19	-19	
	M28-G001	31.5	0	-22	0	-132	144	18	9	14	7	18	157	157	14	25	23	
	L28-G001	-9.8	0	-2	0	-16	16	-14	0	-3	-10	2	19	19	1	1	1	
	M29-G001	-15.9	0	18	0	105	-121	-25	-11	-11	-3	-17	-123	-124	-6	-6	-6	

Çizelge B.14. Dayalı dengeleme sonuçları.

DAYALI DENGELEME SONUÇLARI																
ÖLÇÜ GÜNLERİ	Nokta Adı	LEICA GEO OFFICE						TOPCON TOOLS								
		HOPFIELD	SIMPLIFIED HOPFIELD	SAASTOMO NIEN	ESSEN AND FROME	NO TROPOSFER	COMPUTED	GOAD&GOO DMAN 15°	NIELL 15°	UNBABC 15°	GOAD&GOO DMAN 15°	NIELL 15°	UNBABC 15°	GOAD&GOO DMAN 10°	GOAD&GOO DMAN 5°	GOAD&GOO DMAN 1°
10.03.2012		PROGRAM VERİLERİ; BASINÇ: 1013.2 Mb SICAKLIK: 20°C NEM: 50									ORT. BASINÇ:1014.42 SICAKLIK:12 NEM:%47					
	L2810012	0	-11	0	-31	33	-16	0	-1	-1	1	26	26	-1	-3	-3
	L29-G001	0	14	0	56	-80	-15	0	1	1	-2	162	162	-3	-5	-5
	M28-G001	0	-26	0	-136	198	-3	0	-2	-3	3	-148	-148	-1	-8	-8
11.03.2012		PROGRAM VERİLERİ; BASINÇ: 1013.2 Mb SICAKLIK: 20°C NEM: 50									ORT. BASINÇ:1015.56 SICAKLIK:6 NEM:%48					
	L2810012	0	-9	0	-47	46	-50	4	8	1	4	23	23	7	7	8
	L29-G001	0	14	0	55	-92	1	22	24	25	21	189	189	20	20	19
	M28-G001	0	-28	0	-144	176	-4	-10	-10	-14	-9	-174	-174	-2	-2	-6
12.03.2012		PROGRAM VERİLERİ; BASINÇ: 1013.2 Mb SICAKLIK: 20°C NEM: 50									ORT. BASINÇ:1014.00 SICAKLIK:12 NEM:%47					
	L2810012	0	-9	0	-44	43	-35	9	-18	-18	-34	7	31	14	15	15
	L29-G001	0	15	0	74	-94	1	21	-7	-7	-40	160	189	25	36	32
	M28-G001	0	-28	0	-145	167	-23	1	-7	-8	-7	-158	-149	-3	-8	-9
10.06.2013		PROGRAM VERİLERİ; BASINÇ: 1013.2 Mb SICAKLIK: 20°C NEM: 50									ORT. BASINÇ:1003.49 SICAKLIK:24 NEM:%35					
	L2810012	0	-5	0	-28	36	17	-15	-18	-19	-15	6	6	-27	-29	-29
	L29-G001	0	20	0	117	-132	44	-4	-8	-10	-6	144	144	-8	-10	-9
	M28-G001	0	-22	0	-135	151	30	-30	-33	-38	-30	-184	-184	-43	-46	-46
11.06.2013		PROGRAM VERİLERİ; BASINÇ: 1013.2 Mb SICAKLIK: 20°C NEM: 50									ORT. BASINÇ:1003.126 SICAKLIK:31 NEM:%20					
	L2810012	0	-5	0	-26	37	5	-18	-29	-22	-14	61	61	-25	-26	-26
	L29-G001	0	18	-2	107	-128	-2	-14	-12	-12	-5	174	174	-6	-4	-3
	M28-G001	0	-21	0	-134	148	21	-28	-35	-37	-36	-114	-114	-43	-44	-44
12.06.2013		PROGRAM VERİLERİ									ORT. BASINÇ:1004.299 SICAKLIK:28 NEM:%20					
	L2810012	0	-5	0	-28	39	11	-17	-13	-19	-15	8	4	-15	-16	-16
	L29-G001	0	20	0	112	-128	14	-1	-3	-10	6	146	146	4	10	10
	M28-G001	0	-22	0	-133	151	20	-29	-31	-28	-32	-164	-164	-36	-35	-35

Farklar mm cinsinden

Çizelge B.15. Karakeçili dayalı dengeleme sonuçları.

Adı	Ortometrik Kot	Elipsoid Kot	N.25'e MESAFE	SIMPLIFIED HOPFIELD	SAASTOMO NIEN	ESSEN FROOME	NO TROPOSFE R	COMPUTED	GOAD&GO ODMAN	NEILL	UNBABC	Ölçü Başlama Zamanı	Ölçü Bitiş Zamanı
I3020025		918.035	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	06:26	19:24
I302H039	804.717	840.771	7074.880	0	0	0	0	0	0	0	0	06:41	18:10
I303H343	876.158	912.127	2012.348	-3	0	-12	8	0	-2	-1	6	06:56	08:07
I303H341	854.671	890.647	1770.437	0	0	1	-6	-3	-2	16	5	07:04	08:05
I3020026		872.810	2876.927	2	0	14	-13	5	7	8	-8	07:11	07:58
I303H010	883.275	919.230	3795.970	-4	0	-22	17	-12	2	-5	20	08:14	08:58
I303H321	902.494	938.474	3351.404	-3	0	-17	17	-4	7	6	14	08:14	12:23
I303H328	882.611	918.534	2791.215	-3	0	-17	15	-17	-3	1	11	08:20	09:05
I3030337		915.113	2208.604	-2	0	-12	7	-10	8	2	2	08:30	09:10
I303H003	878.991	914.964	2040.595	-4	0	-17	18	6	-8	13	16	09:18	10:01
I303H344	835.050	871.065	875.055	2	0	13	-13	6	-4	-10	-11	09:26	10:08
I303H342	872.209	908.191	1555.130	-1	0	-9	2	-1	0	-10	0	10:05	10:48
I303H340	876.806	912.786	1833.131	-2	0	-12	5	0	-13	3	25	10:12	10:55
I303H339	895.015	930.961	3092.170	-7	0	-37	35	-5	11	-15	-24	11:02	11:50
I303H338	895.681	931.598	3500.900	-7	0	-41	42	2	-3	-4	-10	11:07	11:46
I303H319	917.625	953.583	2738.627	-9	0	-52	46	-25	4	2	10	11:55	12:40
I303H318	924.104	960.029	3511.144	-9	0	-56	48	-30	-9	-9	-9	12:01	12:45
I303H320	903.059	939.013	3259.556	-6	0	-35	31	-8	-7	-9	17	12:19	13:07
I303H317	849.172	885.186	4327.898	1	0	4	-19	-35	-6	-4	-7	12:55	13:39
I303H313	871.622	907.623	4565.611	-1	0	-9	6	-23	-5	21	-13	13:00	13:53
I303H312	853.237	889.281	4132.403	0	0	0	0	-3	-2	-8	-2	13:15	14:03
I3030332		951.496	5158.528	-10	0	-52	65	-42	4	-30	25	13:49	14:35
I303H323	870.065	906.034	4285.082	-3	0	-18	23	-29	5	-13	12	13:59	14:42
I303H314	864.571	900.579	5270.418	-3	0	-18	19	-20	-4	-8	12	14:09	14:54
I303H316	881.760	917.786	5285.319	-5	0	-27	29	-29	-7	-14	-2	14:45	15:35
I303H315	857.833	893.879	6161.577	-2	0	-11	7	-8	-8	-8	-10	14:49	15:38
I303H326	870.429	906.461	5172.217	-3	0	-15	16	-36	4	5	4	14:59	15:42
I303H322	806.597	842.562	3917.971	9	0	53	-56	-5	-18	0	-32	15:28	16:08
I303H325	819.841	855.856	4660.842	1	0	6	-4	-37	5	6	7	15:46	16:43
I303H324	819.636	855.639	4449.009	1	0	4	-6	-36	-4	-12	0	15:51	16:38
I303H336	831.310	867.303	3827.789	1	0	4	-5	-5	-3	-2	7	16:03	17:02
I303H327	791.672	827.708	5649.284	5	0	27	-27	5	-14	-11	-25	16:47	17:31
I303H334	767.282	803.301	5826.356	10	0	56	-60	-15	-17	16	6	17:24	18:05
I303H331	756.789	792.836	7072.216	5	0	30	-31	-2	-1	-4	-3	09:51	10:45
I303H333	722.022	758.051	6842.572	11	0	65	-70	-5	-7	-8	-7	10:51	11:43
I303H330	814.420	850.439	6150.759	-1	0	-4	3	-10	1	0	8	12:47	13:37
I303H329	794.601	830.634	6603.505	2	0	9	-9	6	-3	-2	-3	13:10	14:30
I303H335	772.355	808.404	4687.024	5	0	25	-26	-11	-2	-4	-10	13:43	15:27

Çizelge B.16. Serbest dengeleme sonuçları.

Nokta Adı	15° HOPFIELD	10° HOPFIELD	5° HOPFIELD	0° HOPFIELD	SIMPLIFIED HOPFIELD	SAASTAMOINEN	ESSEN FROOME	NO TROPOSFER	COMPUTED	UNBABC	GOOD & GOODMAN	NIELL	Referansa Mesafe	Elipsoit Kot	Ortometrik Kot
N.1	0	-2	-3	-4	-18	0	-106	116	29	-22	-11	-22	13835.06	1048.2608	1012.4954
N.2	0	-3	-5	-5	-17	0	-104	115	38	-24	-10	-25	11163.68	1043.9379	1008.1671
N.3	0	-3	-4	-5	-16	0	-95	104	27	-19	-8	-19	9082.259	1061.2080	1025.4559
N.4	0	-1	-2	-3	-15	0	-92	99	37	-3	-1	-3	5908.116	1067.0177	1031.2210
N.5	0	-2	-3	-4	-8	0	-50	54	28	-13	-8	-13	2872.374	1130.6929	1094.8688
N.6														1204.2221	1168.2660
N.7	0	-1	-1	-1	-4	0	-23	24	42	-12	-6	-12	3925.376	1171.0878	1135.1629
N.8	0	1	2	3	3	0	16	-18	1	-7	4	-7	5149.336	1228.3914	1192.3887
N.9	0	1	2	3	26	0	162	-173	29	-14	-8	-14	7949.315	1449.4089	1413.1897
N.10	0	1	2	3	36	0	223	-229	29	-12	-12	-12	8577.512	1561.6760	1525.4150
N.11	0	1	2	3	58	-1	359	-362	35	9	8	9	9487.219	1768.7565	1732.4494
N.12	0	1	2	4	56	-1	348	-324	30	8	7	8	9698.846	1767.4989	1731.1614

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : İbrahim ÖZUĞUR
Adres : Yaşamkent Mah. 3263 Cad. Ayarslan Sitesi B Blok
Daire 24 Çankaya/ANKARA
E-posta adresi : iozugur@hotmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Selçuk Üniversitesi, 2005-2009
Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, 2012-

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Botaş Tanap Kamulaştırma Direktörlüğü, Mühendis