T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜREKLİ GÖZLEM YAPAN REFERANS İSTASYONLARI İLE GERÇEK ZAMANLI KİNEMATİK KONUM BELİRLEMENİN YAPILAŞMIŞ VE ORMANLIK ALANLARDAKİ UYGULAMALARININ DOĞRULUK ANALİZİ

ZÜMRÜT KURTULGU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEOMATİK PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. ATINÇ PIRTI

İSTANBUL, 2018

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜREKLİ GÖZLEM YAPAN REFERANS İSTASYONLARI İLE GERÇEK ZAMANLI KİNEMATİK KONUM BELİRLEMENİN YAPILAŞMIŞ VE ORMANLIK ALANLARDAKİ UYGULAMALARININ DOĞRULUK ANALİZİ

Zümrüt KURTULGU tarafından hazırlanan tez çalışması 21.06.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Atınç PIRTI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Atınç PIRTI

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. D. Uğur ŞANLI

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Bihter EROL

İstanbul Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Hayat devamlı bir öğrenme sürecidir ve bu süreçte insan hem olumlu hem de olumsuz şeyler ile karşılaşıyor. Yeni yeni şeyler öğrenerek mutlu olmak sanırım insanın yaşam enerjisini arttırıyor. Bu düşünce ile yapmış olduğum yüksek lisans tezimde yardımları için danışmanım Prof. Dr. Atınç Pırtı hocama çok teşekkür ederim. Gereken ölçüm cihazlarını temin etmemde yardımcı olan Erciyes Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümündeki hocalarıma da çok teşekkür ederim. Ayrıca her zaman destek veren, üzüldüğümde, vazgeçmeye kalktığımda beni motive eden, dualarını esirgemeyen canım aileme (özellikle ölçümlerimde yardımcı olan babama), harika dostlarıma ve candan arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Haziran, 2018

Zümrüt KURTULGU

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ ix

KISALTMA LİSTESİ x

ŞEKİL LİSTESİ xii

ÇİZELGE LİSTESİ xii

ÖZET xv

ABSTRACT xvii

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 2
1.3 Hipotez 2

BÖLÜM 2

GNSS SİSTEMLERİ 3

2.1 GPS 5
2.2 GLONASS 7
2.3 GALILEO 9
2.4 Diğer GNSS Sistemleri 11
2.5 Sürekli Gözlem Yapan GNSS Sistemleri (CORS) 11
2.5.1 Aktif GNSS Sistemleri 12
2.5.2 Pasif GNSS Sistemleri 12
2.5.3 TUSAGA Aktif Ağı (CORS -TR) VE TUSAGA Aktif İstasyonları 13
2.5.4 Dünya'daki CORS Sistemleri 17

2.5.4.1 JAPONYA GEONET Sistemi……..18
2.5.4.2 ALMANYA SAPOS Sistemi……18
2.5.4.3 ABD NGS Sistemi Ve Diğer Sistemler……..19

BÖLÜM 3

KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ……20

3.1 Mutlak Konum Belirleme……..22
3.2 Bağıl (Göreli-Rölatif) Konum Belirleme……23
3.2.1 Statik Ölçü Yöntemi……24
3.2.2 Hızlı Statik Ölçü Yöntemi……25
3.2.3 Kinematik Ölçü Yöntemi……..25

BÖLÜM 4

GERÇEK ZAMANLI SABİT GNSS SİSTEMLERİ / AĞ RTK / CORS……..26

4.1 Klasik (Standart) RTK…… 27
4.1.1 GPS Taşıyıcı Faz Tamsayı Belirsizliği Konsepti Ve Test Edilmesi……..29
4.1.2 RTK Tekniğinde Veri Aktarma Protokolleri……31
4.1.2.1 Uluslararası Standart Protokoller……32
4.1.2.2 İnternet Protokolleri……..33
4.1.2.2.1 NTRIP Protokolü……..34
4.1.2.2.2 RT-IGS Protokolü……35
4.2 Ağ RTK / Network RTK……35
4.2.1 Ağ RTK Verisi Hesap Ve Aktarma Yöntemleri……..37
4.2.1.1 Ana-Yardımcı Referans İstasyonları Yöntemi (MAC)……38
4.2.1.2 Alan Düzeltme Parametreleri Yöntemi (FKP)……..41
4.2.1.3 Sanal Referans İstayonu Yöntemi (VRS/VBS)……43
4.3 Ağ RTK'daki Hata Kaynakları……45
4.3.1 Sinyal Yansıma (Multipath) Etkisi……46
4.3.2 Taşıyıcı Faz Belirsizliği ve Faz Kesikliği……47
4.3.3 Veri Gecikmesi……49
4.3.4 Sinyal Kaybı……49
4.3.5 Uydu Yörünge Hatası……49
4.3.6 Saat Hatası……50
4.3.7 İyonsfer Hatası……50

4.3.8 Troposfer Hatası……50
4.4 Ağ RTK GPS İle Yapılan Ölçme Uygulamalarının Doğruluk Analizi……51
4.4.1 Enterpolasyon Algoritmaları……51
4.4.1.1 Lineer Kombinasyon Modeli……52
4.4.1.2 Lineer Enterpolasyon Modeli……53
4.4.1.3 En Küçük Karelerle Belirsizlik Arama Modeli……54
BÖLÜM 5
ORMANLIK VE YAPILAŞMIŞ ALANDA ELDE EDİLEN VERİLERİN ANALİZİ…… 56
5.1 CORS-VRS ve CORS-FKP Ölçümleri……57
5.2 Statik Ölçüm……70
5.3 Total Station Ölçümleri……75
5.4 İstatistiksel Test……78
BÖLÜM 6
SONUÇ VE ÖNERİLER 81
KAYNAKLAR 84
EK-A
ÇALIŞMA BÖLGESİNDE ELDE EDİLEN VE HESAPLANILAN ÖLÇÜMLER 88
Çizelge A.1 CORS-VRS ve CORS-FKP Tekniğine Göre 2 Kasım Ölçü Sonuçları……88
Çizelge A.2 CORS-VRS ve CORS-FKP Tekniğine Göre 3 Kasım Ölçü Sonuçları…… 88
Çizelge A.3 CORS-VRS ve CORS-FKP Tekniğine Göre 4 Kasım Ölçü Sonuçları……89
Çizelge A.4 CORS-VRS ve CORS-FKP Tekniğine Göre 5 Kasım Ölçü Sonuçları…….. 89
Çizelge A.5 Statik Ölçüm ile Total Station Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması….90
Çizelge A.6 CORS-VRS ile Total Station Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması…… 90
Çizelge A.7 CORS-FKP ile Total Station Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması…….. 91
ÖZGEÇMİŞ…… 92

SİMGE LİSTESİ

c	Boşlukta ışığın yayılma hızı(m/s),
A^T	Katsayılar matrisinin transpozesi,
A	Katsayılar matrisi,
λ	Dalga boyu,
ρ	Uydu ile alıcı arasındaki geometrik uzunluk,
X_K, Y_K	K Referans noktasının koordinatları,
X_U, Y_U	U Kullanıcı noktasının koordinatları,
V_K	Dalga faz verisi,
ΔX	X koordinat farkları,
ΔY	Y koordinat farkları,
P	Ölçülen kod uzunluğu,
φ	Ölçülen faz uzunluğu,
dt	Saat hatası,
I_r^s	İyonosfer gecikmesi,
T_r^s	Troposfer gecikmesi,
d_r	Uydu kod donanım gecikmesi,
d^s	Alıcı kod donanım gecikmesi,
N	Tamsayı olmayan faz belirsizlik parametresi,
ε_P	Gürültü ve multipath etkisi kod hatası,
ε_φ	Gürültü ve multipath etkisi faz hatası,
$\Delta\phi$	Çiftli farklar faz ölçüsü,
bh	Sistemin birikme hatası

KISALTMA LİSTESİ

AS	Anti Spoofing
AFM	Ambiguity Function Method
CIGNET	Cooperative International GPS Network
CORS	Continuously Operating Reference Station
C/A Kod	Coarse/Acquition Kod
DGPS	Institute of Electrical and Electronics Engineers
DOM	Dilim Orta Meridyeni
DOY	Day Of Year in GPS Week
ED50	European Datum 1950
EDGE	Enchanced Data Rates for GSM Evolution
EPS	Real Time Positioning Service
FAA	Federal Aviation Administration
FARA	The Fast Ambiguity Resolution Technique
FKP	Flaechen Korrektur Parameter
GHPS	Geodetic High Precise Positioning Service
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Navigation System
GPPS	Geodetic Precise Positioning Service
HEPS	High Precision Real Time Positioning
IERS	International Earth Rotation Service
IGS	International GPS Service for Geodynamics
ITRF	International Terrestrial Reference Frame

KAYS	Kayseri İli CORS İstasyonu
LAMBDA	The Least Squares Ambiguity Decorrelation Adjustment
LCM	Linear Combination Model
LSAST	The Least Squares Ambiguity Search Technique
MAC	Master Auxiliary Corrections
MHz	Megahertz
NASA	National Aeronautics an Space Administration
NGS	National Geodetic Survey
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NSF	National Science Foundation
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
OTF	On-the-fly Ambiguity Resolution
PPS	Precise Positioning Service
P-kod	Precise Ephemerides
RMS	Karesel Ortalama Hata
RTCM	The Radio Technical Commission for Marine
RTK	Real Time Kinematic
SAPOS	Satellite Positioning
SPS	Standart Positioning Service
TAKBİS	Tapu ve Kadastro Bilgi Sistemi
TCP	Transmission Control Protocol
TKGM	Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü
TUSAGA	Gerçek Zamanlı Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı
TUTGA	Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
UDP	User Datagram Protocol
UHF	Ultra High Frequency
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTC	Universal Time Coordinated
URL	Uniform Resource Locator
VLBI	Very Long Baseline Interferometry
VRS	Virtual Reference Station

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 GPS Kontrol İstasyonları……6
Şekil 2.2 GNSS Sinyalleri……10
Şekil 3.1 GPS ile Konum Belirlemede Temel Düşünce……20
Şekil 3.2 GNSS Konum Belirleme Yöntemleri……22
Şekil 3.3 Mutlak Konum Belirleme……22
Şekil 3.4 Bağıl Konum Belirleme……23
Şekil 3.5 Statik Ölçü Yöntemi……24
Şekil 3.6 Hızlı Statik Ölçü Yöntemi ……25
Şekil 4.1 (Real Time) Kinematik Çalışma Prensibi……29
Şekil 4.2 RTK GPS'in Genel Şeması ……31
Şekil 4.3 Ana-Yardımcı Referans İstasyonlarının Yöntemi (MAC) ……40
Şekil 4.4 FKP Yöntemi……41
Şekil 4.5 FKP Çalışma Prensibi……42
Şekil 4.6 VRS Yöntemi……45
Şekil 4.7 GPS Hata Kaynakları ……46
Şekil 4.8 Multipath Etkisi ……47
Şekil 5.1 Çalışma Alanı ……56
Şekil 5.2 Çalışma Alanına Ait Görüntüler……57
Şekil 5.3 Ağaçlık Alanların Yoğun Olduğu Bölgelerdeki Noktalar……58
Şekil 5.4 Ağaçların Az Olduğu ve Yapılaşmış Alandan Biraz Uzaklıktaki Bölgelerde Bulunan Noktalar……58
Şekil 5.5 Bina Köşelerindeki Noktalar……59
Şekil 5.6 Ashtech ProMark 800 GNSS Alıcısı Çoklu Uydu Sinyalleri……61

Şekil 5.7 2 Kasım 2017'de Ölçülen CORS-VRS ve CORS-FKP Farkları.....62
Şekil 5.8 3 Kasım 2017'de Ölçülen CORS-VRS ve CORS-FKP Farkları.....62
Şekil 5.9 4 Kasım 2017'de Ölçülen CORS-VRS ve CORS-FKP Farkları.....63
Şekil 5.10 5 Kasım 2017'de Ölçülen CORS-VRS ve CORS-FKP Farkları.....63
Şekil 5.11 Her bir Noktaya Ait Farklar.....64
Şekil 5.12 P1 Noktasına Ait Uydu Sayı (GPS/GLONASS) Grafiği.....65
Şekil 5.13 P2 Noktasına Ait Uydu Sayı (GPS/GLONASS) Grafiği.....66
Şekil 5.14 P3 Noktasına Ait Uydu Sayı (GPS/GLONASS) Grafiği.....66
Şekil 5.15 P4 Noktasına Ait Uydu Sayı (GPS/GLONASS) Grafiği.....67
Şekil 5.16 P5 Noktasına Ait Uydu Sayı (GPS/GLONASS) Grafiği.....67
Şekil 5.17 P6 Noktasına Ait Uydu Sayı (GPS/GLONASS) Grafiği.....68
Şekil 5.18 CORS-VRS ve CORS-FKP 2 Kasım Verilerine Ait RMS Grafiği.....69
Şekil 5.19 CORS-VRS ve CORS-FKP 3 Kasım Verilerine Ait RMS Grafiği.....69
Şekil 5.20 CORS-VRS ve CORS-FKP 4 Kasım Verilerine Ait RMS Grafiği.....70
Şekil 5.21 CORS-VRS ve CORS-FKP 5 Kasım Verilerine Ait RMS Grafiği.....70
Şekil 5.22 CORS-VRS ile Statik Ölçümler Arasındaki Δx Farklarına Ait Grafik.....72
Şekil 5.23 CORS-FKP ile Statik Ölçümler Arasındaki Δx Farklarına Ait Grafik.....72
Şekil 5.24 CORS-VRS ile Statik Ölçümler Arasındaki Δy Farklarına Ait Grafik.....72
Şekil 5.25 CORS-FKP ile Statik Ölçümler Arasındaki Δy Farklarına Ait Grafik.....73
Şekil 5.26 CORS-VRS ile Statik Ölçümler Arasındaki Δh Farklarına Ait Grafik.....73
Şekil 5.27 CORS-FKP ile Statik Ölçümler Arasındaki Δh Farklarına Ait Grafik.....74
Şekil 5.28 Statik Ölçümler ile CORS Ölçümleri Δx Farklarının Karşılaştırma Grafiği.....74
Şekil 5.29 Statik Ölçümler ile CORS Ölçümleri Δy Farklarının Karşılaştırma Grafiği.....75
Şekil 5.30 Statik Ölçümler ile CORS Ölçümleri Δh Farklarının Karşılaştırma Grafiği.....75
Şekil 5.31 Total Station ile Statik Ölçümler Arasındaki Farklara Ait Grafik.....76
Şekil 5.32 Total Station ile CORS-VRS Ölçümler Arasındaki Farklara Ait Grafik.....77
Şekil 5.33 Total Station ile CORS-FKP Ölçümler Arasındaki Farklara Ait Grafik.....77

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 GPS Sinyal Özellikleri……..6
Çizelge 2.2 GLONASS Sinyal Özellikleri……..8
Çizelge 4.1 RINEX, RTCM, NMEA Formatlarının Genel Özellikleri…… 33
Çizelge 5.1 Kayseri İline Ait Koordinat Değerleri……..60
Çizelge 5.2 Oluşturulan Noktaların Statik Ölçüm Değerleri……..60
Çizelge 5.3 ITRF2005'de Statik Ölçülerin Sonuçları……71
Çizelge 5.4 Ölçme Yöntemlerine Göre Hesaplanan Farklarının İstatistiksel Değerleri .78
Çizelge 5.5 Ölçme Yöntemlerine (CORS-VRS ve CORS-FKP) göre ANOVA Değerleri……79
Çizelge 5.6 Ölçme Yöntemlerine Göre Mesafe Farklarının İstatistiksel Değerleri ……..79
Çizelge 5.7 Ölçme Yöntemlerine Göre Karşılaştırmalar (Tukey Testi)…….. 80

ÖZET

SÜREKLİ GÖZLEM YAPAN REFERANS İSTASYONLARI İLE GERÇEK ZAMANLI KİNEMATİK KONUM BELİRLEMENİN YAPILAŞMIŞ VE ORMANLIK ALANLARDAKİ UYGULAMALARININ DOĞRULUK ANALİZİ

ZÜMRÜT KURTULGU

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Atınç PIRTI

Günümüzde konum hizmeti denilince akla gelen ve uzaydan aktarılan sinyalleri kullanarak işlenmesinde ve analiz edilmesinde yardımcı olan GPS+GLONASS+GALILEO ve diğer uydu sistemleri sayesinde konumlandırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Uzaydaki uydu tabanlı sistemlerin artması ile daha hassas ve doğruluğu yüksek konumlandırma yapılabilmektedir. Ayrıca sürekli gözlem yapan referans istasyonları (CORS-RTK) ile birlikte de konum belirleme işlemleri ekonomik, hızlı, anlık ve cm mertebesinde gerçekleşmekte ve sivil, bilimsel ve askeri gibi çeşitli kullanım alanlarında önemli rol oynamaktadır.

Bu tezde, uydu görüşlerinin olmadığı veya az olduğu, multipath etkisinin yoğun olduğu hem yapılaşmış hem de ormanlık alanda sürekli gözlem yapan referans istasyonların kullanılarak gerçekleştirilen gerçek zamanlı kinematik konum belirleme uygulamalarının doğrulukları analiz edilmiştir.

Bu kapsamda ormanlık alanda iki nokta, yapılaşmış alanda iki nokta ve diğer 2 nokta da hem ağaçlık alandan hem de yapılaşmış alandan biraz uzaktaki bölgelerde olmak üzere toplam 6 nokta belirlenmiştir.

Bu toplam altı nokta için 02.11.2017, 03.11.2017, 04.11.2017 ve 05.11.2017 tarihlerinde CORS-VRS ve CORS-FKP teknikleri ile ölçümler yapılmıştır. 4.11.2017 tarihinde ormanlık ve yapılaşmış alandaki noktalarda 2'er saat, diğer noktalarda 1'er saatlik statik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Total station ile de yatay-düşey açı, yatay mesafe, alet yüksekliği ve işaret yükseklikleri ölçülmüştür. Daha sonra yapılan bu ölçümlerden elde edilen koordinat farkları, mesafe farkları, uydu sayıları ve RMS değerlerine göre analiz edilmiş ve değerlendirme yapılmıştır. Yapılan bu değerlendirmede, tamsayı belirsizliğinin çözülmüş olmasına dikkat edilmiştir. GPS+GLONASS uydularının ve GNSS Alıcısının Z-Blade sinyal işleme teknolojisinin etkisiyle yatay koordinatlardaki farkları 1 mm-4.5 cm aralığında, yükseklik değerlerindeki farkları ise 5 cm-30 cm aralığında elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gerçek Zamanlı Kinematik, GPS, GLONASS, Z-Blade Teknolojisi, VRS, FKP, Statik, Total station, Doğruluk

ABSTRACT

ACCURACY ANALYSIS OF REAL-TIME KINEMATIC POSITIONING APPLICATIONS WITH CONTINUOUSLY OPERATING REFERENCE STATION IN THE URBAN AND FORESTED AREAS

ZÜMRÜT KURTULGU

Department of Geomatics

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Atınç PIRTI

The positioning process is determined by GPS+GLONASS+GALILEO and other satellite systems that help in processing and analyzing by using transmitted signals from space and which comes to mind as the positioning system at the present time. More precise and higly accuracy positioning can be achieved with the increase of satellite based systems in the space. Moreover, the positioning operations are taken place economic, fast, real time and cm-level accuracy with continuously operating reference stations and is played an important role in various fields of usage such as civil, scientific and military.

In this thesis, accuracy of real time kinematic positioning applications using reference stations is analyzed in both urban and forested areas which are satellite views are not or less, multipath effect is intence. Six points has assigned in the study area. These points have been determined two points in the built-up areas, other two points in the forestland and others two points are that little far in the built-up areas and forestland. These six points were measured on November 2th 2017, on November 3th 2017, on November 4th 2017 and on November 5th 2017 with CORS-VRS and CORS-FKP techniques. Static measurements were made 2 hours for points in the forestland and built-up area and 1 hour for other points. Horizontal, vertical angle, horizontal

distance, tool height and mark height were measured with total station. Later, in these measurements coordinate differences, distance differences, satellite numbers and RMS values have analyzed and evaluated. It has been noted that the integer ambiguity has been resolved in this evaluation. The obtained horizontal differences between CORS-VRS and Static survey are 1 mm-4.5 cm and the height differences obtained 5-30 cm. And this differences determined that an error can be made with effects of GPS+GLONASS satellites and GNSS receicer's Z-Blade signal processing technology.

Keywords: Real Time Kinematic, GPS, GLONASS, Z-Blade Technology, VRS, FKP, Static, Total Station, Accuracy

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

RTK tekniğinin 1990'lı yıllarda başlaması ve yapılan uygulamalardaki sonuçlar ve devamında gelen gerçek zamanlı GNSS (RTK CORS) sistemlerinin gelişmesiyle yüksek doğruluklu, hassas, sivil, bilimsel ve askeri amaçlı kullanım alanlarıyla hem uluslararası hem de ulusal sistemler ve standartlarla (ITRF, GRS 80, WGS-84 vb.) uyumlu bir sistem olarak geliştirilmiştir. Zamanla GPS+ GLONASS uydularının geliştirilmiş ve GALILEO ile diğer uydu sistemleri ise yaşanan eksiklikleri gidermek ve daha da geniş kullanım alanları sunmak için geliştirilmeye devam edilmektedir. Kapalı alanlarda, uydu görüşlerinin olmadığı veya az olduğu ormanlık alanlarda, bina çatı altlarında, yapılaşmış alanlarda, vadilerde, köprülerde vb. elde edilen konum doğrulukları geliştirilen uydu sistemleri (GALILEO ve diğer uydu sistemleri) sayesinde yapılan uygulamalarda daha fazla uydu görüşleri sağlanabilmekte ve bu da konum doğruluklarını etkilemektedir. Yapılan bu çalışmanın uygulama alanı olarak [18], [34], [35], [36], [37], [38] çalışmalarda da yapıldığı gibi ya ormanlık alan ya da yapılaşmış alan seçilmiş, statik, CORS, RTK ve total station ölçümleri yapılarak, uydu yörünge açısı, koordinat farkları, mesafe farkları, uydu sayıları, PDOP değerleri, RMS değerlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılacak CORS ölçüm teknikleri için [2], [14], [16] ve [17] tarafından incelenen çalışmalarda MAC, FKP ve VRS tekniklerinin çalışma prensipleri incelenmiştir. [29] ve [30] çalışmalarında tamsayı belirsizlik çözümü için gereken yöntemler irdelenmiştir. [25] çalışmasında da veri iletimi için gerekli standartların neler olduğu araştırılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Sürekli gözlem yapan referans istasyonları tüm dünyada ve ülkemizde de sağlıklı hizmet veren, hızlı, ekonomik ve modern bir sistem olmuştur. Baz istasyonundan 50-100 km uzaklığa kadar çözüm sağlayabilen ve geniş kullanım alanları olan sistemlerdir. Bu tez çalışmasında, Ağ RTK teknikleri (VRS/FKP) teknikleri kullanarak ormanlık ve yapılaşmış alandaki uygulamalarının doğrulukları analiz edilmiştir. Aynı zamanda statik ölçüm ve total station ile ölçümler yapılarak tüm ölçümler birbirleriyle koordinat farkları, mesafe farkları, uydu sayıları ve RMS değerleri bakımından karşılaştırılmıştır.

Ormanlık ve yapılaşmış alanlarda uydu görüşünün az olması veya olmaması ve multipath etkisine rağmen Z-Blade teknolojisi barındıran GNSS alıcıların sensörleri ve komple alıcı çözümleri uygun olan tüm GLONASS düzeltmelerinden faydalanarak çözüme ulaştırmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalar ile karşılaştırıldığında, anlık konum doğruluklarının iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir.

1.3 Hipotez

Ormanlık ve yapılaşmış alanlar gibi uydu görüşlerinin zor olduğu ve hata kaynaklarına maruz kaldığı bölgelerde yapılan GNSS (GPS+GLONASS) ölçümleri klasik ve statik yönteme göre doğruluğu yeni teknolojik (Z-Blade Teknolojisi) GNSS alıcıları ile araştırılmıştır. Ayrıca daha önceden yapılan çalışmalar ve kullanılan yöntemlerin benzerliği; bu çalışmada konum doğruluğunun istenilen değerler aralığında elde edildiğini göstermiştir.

BÖLÜM 2

GNSS SİSTEMLERİ

Haritacılık ve ölçme bilgisi insanoğlunun varolduğu tarihten günümüze kadar yararlanılan en eski ve önemli mühendislik dallarından biridir. Geçmişte, arazi ile ilgili bilgiler genellikle kâğıt ve filmler üzerinde saklanırdı. Bu tür bilgilerin birlikte kullanımı ve analizi hem zor hem de pahalı olmaktaydı. Teknoloji sayesinde yüksek hızdaki bilgisayarlar, analitik çiziciler, grafik workstation, total station, normal çiziciler gibi sayısal aletlerin uygulamaya girmesiyle birlikte çizgi haritacılığından sayısal haritacılığa bir geçiş sağlanmıştır [1].

İlk çağlarda ilkel yöntemlerle konum ve yer belirleme işleri yapılırken zamanla gelişen teknolojisi sayesinde günümüzde konum belirleme sistemlerinde önemli gelişmeler olmuştur [3].

Kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu, jeodezik ve jeodinamik ölçmeler, kadastral ölçmeler, kinematik GPS destekli fotogrametrik çalışmalar, yerel ve küresel deformasyon ölçmeleri, araç takip sistemleri, aktif kontrol ağları (CORS), CBS veri tabanlarının geliştirilmesi, turizm, tarım, ormancılık, spor ve arkeoloji uygulamalarında, hidrografik ölçmeler gibi sivil uygulamalarda ve asayiş, arama-kurtarma, hedef bulma, füze güdümü, uçakların görüşün sınırlı ya da hiç olmadığı hava koşullarında iniş-kalkış gibi askeri bölgelerde kullanım alanları olan Uydularla Konum Belirleme Sistemleri (GNSS) bulunmaktadır.

İlk yapay uydu SPUTNIK'in 1957 yılında uzaya fırlatılmasıyla birlikte uzay teknolojisinde yeni bir devir başlamış ve bu uyduyu değişik amaçlı uydular takip etmiştir [1].

Sonrasında uydu ve bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde 1980'li yılların önemli teknolojik ürünlerinden biri olan Küresel Konum Belirleme (GPS)'nin günlük yaşamımıza girmiştir [2]. Ayrıca öne çıkan düşünce uydu navigasyon sistemlerinin, her yerde ve her zaman ulaşılabilen, doğru, güvenilir ve kullanımı kolay olması şeklinde özetlenebilmektedir [6].

Uydularla Konum Belirleme sistemleri GPS (ABD), GLONASS (RUSYA), GALİLEO (AVRUPA BİRLİĞİ) , BEIDOU/ COMPASS (ÇİN), QZSS (JAPONYA) , IRNSS/GAGAN (HİNDİSTAN) vb. ile uydu bazlı sistemler (SBAS) , yer bazlı sistemler (GBAS) ve yer bazlı bölgesel sistemler (GRAS) birlikte GNSS yani; Uydularla Konum Belirleme Sistemleri şeklinde adlandırılmaktadır. GNSS grupları ve uydu sistemleri arttıkça, çok daha fazla yer ve çok yüksek doğrulukta konum hesaplanabilmektedir [5].

Her uydu sistemi, belirli sinyal karekterlerine sahiptir. Ancak her sistem, sinyaller arasındaki zayıflamaları ve etkileşimleri önlemek için birbirleriyle uyumlu olmaya çalışmaktadır.

Günümüzde, GPS ve GLONASS uydularını her iki frekansta eşzamanlı olarak takip eden bazı jeodezik tip alıcılar, özellikle Ashtech Z18 alıcı ve TPS (Topcon Konumlandırma Sistemleri) eski alıcılar mevcuttur. Gelecekteki GNSS alıcısı, farklı GNSS sinyallerini izlemek üzere tasarlanabilir ve birçok türden olabilir:

- Birinci tip, tüm GNSS sinyallerini yani; GPS L1, L2 ve L5, E5 ve E6 sinyallerini kullanarak Galileo OS, CS ve ayrıca GLONASS L1 ve L2'yi kullanarak işleyebilir.
- İkinci tip GPS sinyalleri ve kodları, GPS L1 ve L2C ve Galileo L1 ve E5'de OS sinyallerini kullanır.
- Üçüncü tip L1 ve E5 kullanır.
- Dördüncü tip GPS L1 ve L2 kullanır.
- Beşinci tip ise GPS ve GLONASS sinyallerini kullanmaktadır [32].

2.1 GPS (Global Konumlama Sistemi) (ABD)

GPS, ilk kurulan GNSS sistemidir. GPS (ya da resmi olarak kullanılan adı NAVSTAR) uyduları ABD Savunma Bakanlığı tarafından 1970'lilerin sonu ve 1980'lilerin başında başlamıştır. O zamandan beri, GPS uydularının birkaç generasyonu (Blocks olarak adlandırılan) oluşturulmuştur. İlk olarak GPS askeri amaçlar için kullanılmaktaydı, ancak 1983'deki bir kararla sivil kullanım için de GPS geliştirildi [4].

Herhangi bir yerde ve zamanda, her türlü hava koşullarında, küresel bir koordinat sisteminde, yüksek duyarlılıkta, ekonomik olarak, anında ve sürekli konum, hız ve zaman belirlemesine olanak veren bir konum belirleme sistemidir [7].

Sistem temel olarak jeodezideki en eski teknikleriden biri olan '' geriden kestirme '' esasına dayanmaktadır. Geriden kestirme, konumu bilinmeyen bir noktadan konumu bilinen noktalara yapılan gözlem ve hesapları kapsamaktadır. Konumu bilinen noktalar GPS uydularıdır. Bilinmeyenler, bulunulan noktanın yer merkezli Kartezyen koordinatlarıdır (X,Y,Z) . Matematik kuralı olarak bilinen bu 3 bilinmeyenin çözümü için 3 ölçü değeri yeterli gibi gözükse de, saat hatalarını ortadan kaldırmak için en az 4 adet konumu bilinen uyduya ihtiyaç vardır. Bu yüzden GPS, 4 boyutlu bir sistemdir (X,Y,Z,t) [6].

GPS bileşenleri; 27 adet asıl ve 4 adet yedek olmak üzere 31 adet uydu, 6 adet yörünge düzlemin, 55° 'lik yörünge açısı ve 20200 km yörünge yarıçapına sahiptir.

Uzay Bölümü; her uydunun yörünge periyodu yaklaşık 12 saattir, bu yüzden açık hava şartları altında yeryüzündeki herhangi bir noktadan görüşte en az 6 adet uyduyu GPS alıcısı görmektedir. GPS uyduları devamlı olarak uydu kimliklerini, değişen sinyalleri, uydu durum ve yörünge parametrelerini (doğrulanmış efemeris bilgilerini) yayınlamaktadır. Bu uydular ya Uzay Makine Numarası (SVN) ya da PRN (pseuorandom noise) ile tanınmaktadırlar [4].

Link	Frekans	Tanımlama
L1	1575.42MHz	Tüm kullanıcılar tarafından kullanılan C/A kodu ile askeri ve yetkili kullanıcılar tarafından kullanılan P kodu ile modüle edilmektedir.
L2	1227.60MHz	P kodu, Block llR-M uydularından başlayarak L2C sivil kodu modüle edilir. L2C sivil yön bulma mesajlarının yayınlamaktadır.
L5	1176.45MHz	Block llF uyduları ile başlayan L5 sivil yön bulma (CNAV) mesajlarını yayınlamaktadır.

Çizelge 2.1 GPS Sinyal Özellikleri ,[4].

Kontrol Bölümü; bir ana kontrol istasyonu (ve bir adet yedek ana kontrol istasyonu), yer antenleri, izleme istasyonları ve uzaktan erişim izleme istasyonlarından oluşmaktadır. Dünyanın çevresinde 6 tanesi Birleşmiş Milletler Hava Kuvvetleri, 10 tanesi ABD Savunma Bakanlığına bağlı olan Ulusal Uzay İstihbarat Ajansı (NGA) tarafından kontrol edilmek üzere 16 izleme istasyonu bulunmaktadır.



Şekil 2.1 GPS Kontrol İstasyonları, [4].

İzleme istasyonları yıllık verileri, uydu saati, değişen sinyaller, uydu efemeris verilerini içeren yayın sinyalleri sayesinde bu uydular izlenmektedir. Bu sinyaller, efemeris bilgilerinin tekrar hesaplandığı ana kontrol istasyonlarına aktarılmaktadır. Hesaplanan efemeris ve saat düzeltmeleri veri iletişim yoluyla uydulara gönderilmektedir. Yer antenleri, kontrol GPS uyduları ile birlikte ana kontrol istasyonu kullanarak izleme istasyonlarına tekrar konum bilgileri iletilmektedir.

Hava Kuvvetleri Uydu Kontrol Ağı (AFSCN) uzaktan erişim izleme istasyonları, ana kontrol istasyonuna uzaktan erişim, ölçüm ve kontrolün düzeltilmesi için ayrıca uyduların bilgilerini içermektedir[4].

Kullanıcı bölümü; GPS çok farklı amaçlar için kullanılan bir sistem olup, elinde GPS alıcısı bulunan herkes bir kullanıcıdır. GPS'in kullanım alanları aynı zamanda kullanıcıların kullanım alanlarını oluşturmaktadır [7].

2.2 GLONASS (RUSYA)

1970'lerde uzman askeri iletişim sistemi olarak Rus Hükümeti tarafından geliştirildi. Soğuk Savaş sona erdiğinde Rus Hükümeti, GLONASS'ın ticari uygulamalara sahip olduğunu, sistemin hava durumu yayınlarını iletme yeteneği, iletişim, navigasyon ve keşif verilerine sahip olduğunu açıkladı. İlk GLONASS uydusu, 1982'de yörüngeye yerleştirildi. Bu sistem, 1993'te tamamen faaliyete geçtiğini duyurmuştur.

GLONASS performansını duyurduktan sonra Rusya en az 18 aktif uydu gerektiğini belirtmiş ve geliştirmeye başlamıştır. Günümüzde, GLONASS bileşenlerinde 24 uydu bulunmaktadır. En son geliştirilmiş uydusu GLONASS-M uydusudur. GLONASS bileşenleri bulunduğumuz yere bağlı olarak değişken sayıda uydunun görüşünü sağlamaktadır. Bu görüşte, en az 4 uydu konumu üç boyutlu hesaplamakta ve sistem zaman senkronize etmesi için bir GLONASS alıcısı tanımaktadır.

GLONASS bileşenleri; 24 adet asıl, 3 adet yedek uydu sayısı, 3 adet yörünge düzlemi, 64.8° yörünge açısı ve 19140 km yörünge yarıçapından oluşmaktadır.

Uzay bölümü; 3 yörünge düzlemine sahip olduğundan her bir yörüngede 8 adet uydu olmak üzere 24 adet uydu bulunmaktadır. GLONASS geometrisi; yaklaşık 8 günde bir tekrarlanır.

Her bir uydunun yörünge periyodu, bir yıldız zaman gününün yaklaşık 8/17'sidir. 8 yıldız zaman gününden sonra GLONASS uyduları tam 17 yörünge dönüşümünü tamamlamaktadır. Her bir yörünge düzlemi eşit olarak 8 adet uydu içermektedir. Uydulardan biri, hergün aynı yıldız zamanında gökyüzünde aynı konumda olmaktadır. Uydular 64.8°'lik açı yapmaktadır ve GPS uydularından yaklaşık 1600 km daha aşağıda olan 19400 km 'lik bir yörünge yarıçapı bulunan nominal yuvarlak yörüngelere yerleştirilmektedir. GLONASS uydu sinyalleri, uydu durum bilgisi, uydu konumunu hesaplamak için konumlama, hız ve zaman bilgileri, UTC'den GLONASS zaman farkı, tüm GLONASS uydularının yıllık bilgilerini içermektedir.

Kontrol bölümünde; sistem kontrol merkezi ve Rusya genelinde komut izleme istasyon ağlarından oluşmaktadır. Uyduların durumunu, efemeris düzeltmeleri ve GLONASS zamanına ve UTC'ye bağlı olarak uydu saat farkları gibi bilgilerle; GPS yapısına benzemektedir. Günde iki kez uydulara düzeltmeler gönderilmektedir.

Link	Frekans (MHz)	Tanımlama
L1	1598.0625-1609.3125	L1, standart sinyalleri(SP) ve yüksek hassasiyet sinyalleri(HP) ile modüle edilmiştir.
L2	1242.9375-1251.6875	L2, HP ve SP sinyallerinden modüle edilmiştir.

Çizelge 2.2 GLONASS Sinyal Özellikleri ,[4].

Her bir GLONASS uyduları L1 ve L2 'deki P kodu (HP Kodu) ile L1 (tüm uydular) ve L2 (çoğu uydularda) C/A kodu (SP kodu) ile nispeten farklı L1 ve L2 frekansları iletmektedir. GLONASS uyduları, farklı frekansta aynı kodu iletebilmektedir. Bu durum GPS 'ten farklı bir teknik olduğunu göstermektedir. GLONASS, GPS ile aynı elektromanyetik dalgaların yönlendirmesine sahip olmakta ve karşılaştırılabilir sinyal gücüne sahip olmaktadır. GLONASS, 12 frekans kullanarak 24 adet uydu temeline sahiptir. Bu uydular, aynı frekansta iletilen ters yönde uydulara sahip olan frekansları paylaşmaktadır. Ters yönde uydular, aynı frekansta iletişim yapabilmektedir. Çünkü Dünya yüzeyindeki bir alıcının görüşünde aynı zamanda gözükmemektedir [4].

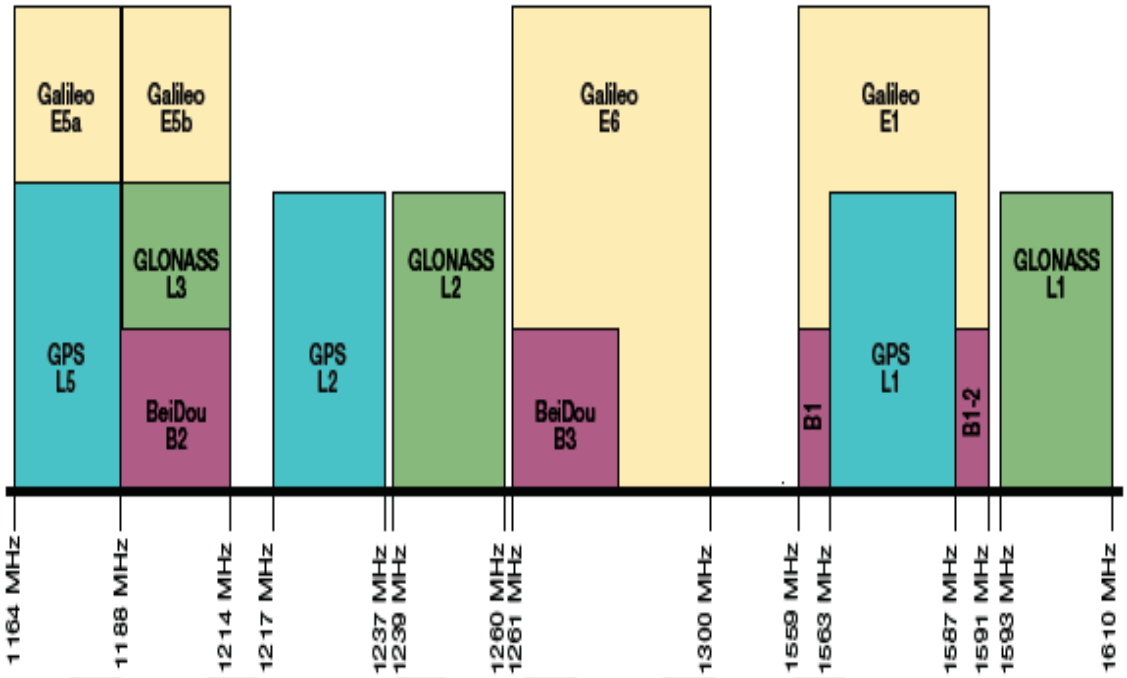
2.3 GALILEO (AVRUPA BİRLİĞİ UYDU KONUM BELİRLEME SİSTEMİ)

GALILEO, Avrupa Birliği (European Union) ve ESA (European Space Agency) öncülüğünde ve sorumluluğunda başlatılmıştır. Galileo ‘nun işletilmesi sivil kontrol altındadır. Avrupa’nın uydu seyrüsefer teknolojisinin ikinci basamağıdır (GNSS-2). Bu alandaki ilk basamak EGNOS (GNSS-1) ‘tur. EGNOS’un Galileo 'ya uyumu için gereken tüm detaylar yapılmaktadır [9].

ABD ve AB ‘de GPS ve Galileo’nun uyumlu olmasını sağlamak için 2004’ten beri işbirliği içerisinde çalışmaktadır. Standart olarak çift frekanslı hizmet sunarak, Galileo daha önce kamuya açık bir sistem sunarak konumlama doğruluğunda hizmet sağlamaktadır.

Galileo bileşenleri; 27 adet asıl ve 3 yedek olmak üzere 30 adet uydu sayısı, 3 adet yöründe düzlemi, 56° ‘lik yörünge açısı ve 23222 km yörünge yarıçapından oluşmaktadır[4].

Galileo’nun ilk sinyalleri en az GPSllF/lll ‘in eşitliği kadar yüksek kaliteli açık servis hizmeti olmuştur. Bu yüzden özellikle GPS/Galileo ‘nun yapıları birbirine yakınlık gösterdiğinden modernize edilmiş GPS sinyalinin planına benzemektedir. GPSllF/lll uydusunun planları L1, L2 ve L5 olmak üzere üç frekans sunmaktadır. Ayrıca modernize edilmiş GPS programı L2 ‘de yeni bir kod yapısı sunmaktadır. Band genişliğinin etkisi uygulamada, Galileo‘nun en kapsamlı çalışmalarına odaklanır. Pseudo-range performansı ile karşılaştırmak için doğrudan Gabor band-genişliği kavramı ile ilgili olan kod gecikme hesabı ile minimum yansız varyans hesabı kullanılır. Optimum alıcı uygulaması için kapalı-döngü kod gürültü varyansı temeline dayanır [8].



Şekil 2.2 GNSS Sinyalleri, [4].

Uzay bölümü; toplam 30 adet uydudan oluşmaktadır. Uydular 3 yörünge düzlemine dağıtılmış olup bu yörüngeler orta uzaklıklı yörünge (MEO: Medium Earth Orbit) olarak adlandırılmaktadır. Uydunun yörüngeyi bir tam devir süresi 14,4 saattir. Herhangi bir yer ve zamanda en az 6 uydunun görüşü sağlanmıştır.

Yer Kontrol bölümü; iki kontrol merkezinden oluşmaktadır. Bu merkez 20 kadar Galileo alıcı istasyonları (GSS: Galileo Sensor Stations) tarafından desteklenmektedir. Kontrol merkezleri ile uydular arasındaki veri alışverişi için; tüm dünyaya dağıtılmış 15 istasyon kurulmuştur [7].

Uydulara lazerle uzaklık ölçme yöntemi olan SLR (Satellite Laser Ranging) sisteminde, yer istasyonunda üretilen kısa süreli lazer sinyali optik bir düzenekle uyduya gönderilmektedir. Lazer sinyalinin gönderildiği uyduda geri yansımayı sağlayan yansıtıcılar bulunmaktadır. Bu yansıtıcılar vasıtasıyla; uydudan geri yansıtılan lazer sinyali yer istasyonunda alınmakta, analiz edilmekte ve lazerin uyduya gidiş ile yer istasyonuna geliş gidişi arasındaki zaman (Δt) , ışık hızı (c) ile çarpılarak uzunluk d birimine dönüştürülmektedir.

VLBI (Very Long Baseline Interferometry) geometrik bir teknik olup, bu teknikte yeryüzünde tesis edilmiş olan iki yer antenine çok uzaklardaki Kuasar adı verilen gök cisimlerinden yayınlanan radyo dalgalarının ulaşmaları arasındaki zaman farkı ölçülmektedir [7].

2.4 Diğer GNSS SİSTEMLERİ

BeıDou /Compass uydu sistemi Çin tarafından bölgesel amaçlı olarak kurulmuştur. Bu sistem 35 uydudan oluşmaktadır. Bölgesel hizmeti Aralık 2012 'de kullanılmaya başlamıştır. BeıDou 2020 'nin sonuna kadar küresel kapsama sağlamak için genişletilecektir.

IRNSS/GAGAN, Hindistan bölgesel uydu konumlama sistemi Hindistan ve çevresinde bu hizmeti sunmaktadır. Bu sistem ise yedi uydudan oluşmakta olup 2015 'de faaliyete geçmiştir.

QZSS, Japonya bölgesel konumlama sistemi Japonya ve Asya-Okyanusya bölgesinde hizmet sağlamaktadır. Bu sistemin 2018 'de tamamlanması planlanmıştır [4].

2.5 Sürekli Gözlem Yapan GNSS Sistemleri (CORS)

1990'lı yıllarda RTK tekniğinin ortaya çıkması ve bu uygulamalardan elde edilen deneyimler gerçek zamanlı GNSS sistemlerini ortaya çıkarmıştır. GNSS sistemleri sürekli gözlem yapan bir sistem olarak oluşturulmuştur. Jeodezik doğruluk isteyen tüm GNSS sistemlerinde en az iki ile eş zamanlı ölçüye gereksinim vardır. Bunlardan bir tanesi koordinatları bilinen referans istasyonu, diğeri ise koordinatları hesaplanacak olan gezen alıcı olarak tanımlanmaktadır. Bu gelişmeler ile birlikte kurulan sabit referans istasyonlar ile kullanıcılara kesintisiz hizmet sağlamaktadır [2].

Gerçek zamanlı sabit GNSS sistemlerinin konum doğruluğunu etkileyen birçok parametresi vardır. Bunlar sabit istasyonlar arasındaki uzaklıklar, sabit istasyonlarla kontrol merkezi arasındaki veri alış verişi için gereken zaman (data-latency), kullanıcının elindeki gezen alıcının (rover) özellikleri ve veri iletişiminde kullanılan yöntemin kapsama alanı vb. olarak sayılabilir [24].

Gerçek zamanlı sabit GNSS sistemlerinin kurulmasındaki temel amaç uzaklığa bağlı olarak farklılık gösteren hataların (iyonosfer, troposfer, yörünge vb.) giderilmesidir.

Gerçek zamanlı ve kontrollü hesaplamaların yapılabilmesi için sistemdeki tüm istasyonlar birbirleriyle güvenilir bir iletişim vasıtasıyla bağlanmaktadır. Bir referans istasyonu en az bir alıcı, bir anten, iletişim vasıtası ve güç kaynağından oluşmaktadır. Sisteme herhangi bir iletişim vasıtasıyla bağlanabilen kullanıcılar olacaktır. Eğer kullanıcıya ağ hizmeti, gerçek zamanlı verilmiyorsa buna 'çevrim dışı (offline) hizmeti' adı verilmektedir. Bu tür sistemler sonradan büro hesaplamaları (post-processing) için kullanılmakta olup, veriler genelde RINEX formatında arşivlenmektedir. Gerçek zamanlı hizmet veren sistemlerde ise genelde RTCM formatı kullanılmaktadır [2].

2.5.1 Aktif GNSS Sistemleri

Günümüzde gerçek zamanlı kadastro ölçmeleri, makine kontrol sistemleri, araç takip sistemleri ve navigasyon, tarım gibi uygulamalardan dolayı sistemlerin aktif olmasını zorunlu hale getirmiştir. Aktif GPS/GNSS sistemlerinde verilerin arşivlenmesi ve hesaplanmasının yanında, çeşitli alanlarda konum düzeltme bilgileri de kullanıcılara gerçek zamanlı olarak; herhangi bir iletişim aracı vasıtasıyla yayınlanmaktadır. Bu şekildeki sistemlere 'Gerçek Zamanlı GNSS (RTK CORS) sistemleri ' adı verilmektedir. Ağ-RTK tekniğinin günümüzde en fazla uygulanan şekli sabit GNSS (CORS) sistemleridir. CORS ile Ağ-RTK tanımları arasında ise bir takım farklar bulunmaktadır. CORS sistemi, cm doğruluğunda konum belirlenmesine olanak tanıyan, ulusal nitelikte olan ve aynı zamanda ölçme sonrası büro hesaplamalarına imkân sunan arşiv sistemine sahiptir. Oysa Ağ-RTK 'da yerel ve özel kuruluşlarca tesis edilen ve işletilen, cm doğruluğunda gerçek zamanlı hizmet veren sistemler anlaşılmaktadır. CORS ve Ağ-RTK sistemlerinin ortak yanı ise her iki sistemde de yeryüzünde belirli sıklıkta kurulmuş sabit GNSS istasyon verilerinin kullanılmasıdır.

2.5.2 Pasif GNSS Sistemleri

Gerçek zamanlı veya sonradan büroda hesaplama (post-processing) uygulamaları için; jeodezik ölçmeler, kadastro ölçmeleri, mühendislik amaçlı ölçmeler, depremlerin önceden belirlenmesi çalışmalarına yönelik ölçmeler, meteorolojik amaçlı ölçmeler vb. olarak sayılabilmektedir. Bu uygulamalardaki ağlar pasif GPS/GNSS ağları olarak tanımlanmaktadır.

Başka bir deyişle bağımsız referans noktalarından oluşan ve gerektiğinde üzerine alet kurularak ölçme yapılan ağlara pasif jeodezik GPS sistemleri (Örn. TUTGA-Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı) adı verilmektedir. Bu sistemlerde elde edilen uzun süreli ölçüler büroda mevcut bilimsel ve araştırma amaçlı yazılımlarla değerlendirilmekte ve sonuçta yüksek doğrulukta konum ve hız bilgileri elde edilmektedir [10].

2.5.3 TUSAGA Aktif Ağı (CORS -TR) Ve TUSAGA Aktif İstasyonları

Türkiye'de uzay jeodezisi faaliyetleri oldukça eskiye dayanmaktadır. Doğu Akdeniz'de plaka hareketleri ve kabuk deformasyonlarını ölçmeyi amaçlayan WEGENER MEDLAS Proje kapsamında Yığılca (Bolu), Diyarbakır, Melengiçlik (Karaman), Demirköy (Kırklareli) ve Yozgat'ta uluslararası proje çerçevesinde tesis edilen SLR (uydulara lazerle mesafe ölçme) noktalarında, 1987 yılında ilk uydu lazer ölçmeleri gerçekleştirilmiştir. Aynı yıl içerisinde Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği- GPS (UJJ-GPS) programı hazırlanarak, sonraki yıllarda farklı ülkelerden (ABD, Almanya, İsviçre, İngiltere) yabancı kuruluşlarla imzalanan protokoller çerçevesinde, 300'den fazla GPS noktasında jeodezik ve jeodinamik amaçlı tekrarlı GPS kampanyaları yapılmıştır.

Ayrıca, Türkiye'nin dünyanın önemli fay hatlarının bulunduğu ve yerkabuğu hareketleri bakımından son derece aktif bir bölgede yer alması sebebiyle, jeodezik ağlarda zaman içerisinde önemli deformasyonlar oluşmaktadır. Bu deformasyonların belirlenebilmesi için yüksek duyarlılıklı modern ölçme ve hesaplama tekniklerine gereksinim duyulmaktadır.

Hızlı nüfus artışı ve kalkınmaya yönelik alt yapı hizmetlerine de gereksinim artmış, bu da özellikle ülke kadastrosunun sayısal formda, doğru ve en kısa zamanda tamamlanmasını zorunlu hale getirmiştir.

Günümüzde, özellikle uzay teknikleri, sayısal teknikler ve bilgisayarlardaki gelişmeler coğrafi bilgi ve belge üretim yöntemleri ile bunlardan beklenen doğruluklarda değişmektedir.

Coğrafi Bilgi Sistemlerinin temelini oluşturan geometrik ve öznitelik bilgilerinin modern teknikler kullanarak yüksek duyarlılıklı ve güvenilir olarak belirlenmesi ve bu bilgilerin Ülke Temel Jeodezik Ağlarına dayalı olarak elde edilmesi gerekmektedir.

Bunun için ülke yüzeyini yeterli sıklıklarla kaplayan, üç boyutlu koordinatları istenen doğrulukta belirlenmiş noktalardan oluşan ve uydu tekniklerine dayalı bir temel jeodezik ağa gereksinim duyulmaktadır.

Bu amaçla Harita Genel Komutanlığı ile Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) arasında "Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) Projesi " nin birlikte yürütülmesi konusunda 1996 yılında protokol imzalanmıştır. HGK, TUTGA çalışmalarını 1997 yılında fiilen başlatmıştır.

Buna göre TUTGA; ülke yüzeyini jeoidin değişimine bağlı olarak 15-70 km sıklıkla kaplayan, Uluslararası Yersel Referans Sisteminde (ITRF, International Terrestrial Reference Frame) birkaç cm doğruluğunda üç boyutlu koordinatları (X, Y, Z) ve bu koordinatların zamana bağlı değişimleri (hızlar; Vx, Vy, Vz) ile uygun yükseklik sisteminde ortometrik yüksekliği (H) ve jeoit yüksekliği (N) bilinen 594 noktadan oluşan bir ağdır. Yani, bu ağın her noktasının 3 boyutlu koordinatları ve hızları; ortometrik yükseklikleri ve jeoit yükseklikleri (X, Y, Z, Vx, Vy, Vz, H, N) olmak üzere 8 elemanı belirlenecektir.

Bu ağın genel özellikleri;

1.Tüm noktalar bağıl (göreli) statik GPS yöntemi ve faz gözlemleri kullanılarak ölçülmüştür.

2.Yerel noktaların hesaplanmasında yeterli sayıda ve uygun dağılımda IGS global noktası çözüme dahil edilmiştir.

3.Yerel datum (ED-50) ile ilişkiyi sağlamak için yeterli sayıda mevcut ülke 1 ve 2'inci derece yatay kontrol noktası; Türkiye mutlak jeoidini belirlemek amacıyla yeterli sayıda düşey kontrol ağı noktası TUTGA noktası olarak seçilmiştir.

4.Gerekli dış kontrol ve bağlantıların yapılabilmesi ve nokta hızlarının hesaplanabilmesi için mevcut SLR noktaları ve uluslararası GPS projeleri ile belirlenmiş olan GPS noktaları arasından uygun dağılımı sağlayanlar TUTGA'ya dâhil edilmiştir.

5.IERS'in ITRFyy (yy=yıl) koordinat ve hız çözümleri referans alınmıştır.

6.Ağın kalıcılığını sağlamak üzere her noktada olabildiğince kalıcı, çok amaçlı ve tek tip pilye tesis edilmiştir.

TUSAGA-Aktif ağının temel amaçları ise;

a. Ülke savunmasını ve kalkınmasını sağlamak amacıyla coğrafi bilgi ve belgelerin üretilmesi için gerekli hassas koordinat bilgilerinin hızlı ve ekonomik bir şekilde elde edilmesi,

b. Her türlü navigasyon ve araç izleme için hassas ve güvenilir konum belirlemek, bunları ilgili kullanıcılara sağlamak,

c. Tüm Türkiye için hücresel dönüşüm parametrelerini (ED-50-ITRFyy) belirleyerek klasik yöntemlerle üretilmiş olan mevcut analog formdaki kadastro paftalarının halen kullanılmakta olan ITRFyy datumuna dönüştürmek ve bu bilgilerin TAKBİS 'e aktarmak,

ç. Türkiye'deki tektonik hareketlerin sürekli ve hassas olarak izlenmesi ve oluşan deformasyon miktarlarının mm seviyesinde belirlenmesi ve böylece depremlerin belirlenmesi ve erken uyarı çalışmalarına katkı sağlamak,

d. Türkiye için atmosferik modelleme (iyonosfer ve tropsfer) yapmak [2].

e. Tüm Türkiye genelinde 7/24 saat ilkesine göre coğrafi konumları hem gerçek zamanda (RTK) hem de post-processing ile hızlı, ekonomik ve duyarlı olarak belirlemek,

Tüm istasyonlardan toplanan veriler ADSL ve GPRS/EDGE (ADSL çalışmadığı zaman devreye girecek) yolu veri merkezlerine aktarılmakta ve burada düzeltme parametreleri hesaplanarak tüm kullanıcılara sunulmaktadır. Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) düzeltme veriler RTCM (Radio Technical Commission for Aeronautics) iletişim formatında olup ve GSM, GPRS ve NTRIP (Internet Protokolü üzerinden RTCM verisinin Ağ Dağıtımı) vasıtalarından biri veya birkaçı yardımıyla gezici alıcılara gönderilmektedir.

Türkiye koşullarında istasyon noktaları için;

a. Optimum mesafenin < 100 km olması,

b. Kullanıcıların yoğun olduğu il merkezlerinde kurulması,

c. Sağlam zeminlerde olması,

d. Lojistik destek sağlanabilmesi,

e. Enerji ve haberleşme olanaklarının uygun olması,

f. Plaka hareketlerinin izlenmesine olanak sağlaması koşulları göz önünde bulundurulmuştur.

Bu kriterlere göre Türkiye'de toplam 147 adet TUSAGA-Aktif istasyonu ve 2 adet kontrol merkezinin yerleri belirlenmiştir [12].

Kurulmuş olan 2 adet kontrol merkezine Tüm Türkiye'deki TUSAGA-Aktif istasyonların verisi otomatik olarak gönderilmekte ve hesaplamalar yapılarak oluşturulan düzeltmeler kullanıcılara aktarılmaktadır. Ana kontrol merkezi ve Yedek (İkinci) kontrol merkezi bünyesinde bulundurdukları sunucuların yanısıra çok güçlü kontrol yazılımına sahiptirler. Bu yazılımın en önemli fonksiyonları;

1.Tüm NETR5 referans istasyonuna gözlemleri ve bağlantıları iletmek,

2.TUSAGA-Aktif noktalarının koordinatlarını hesaplamak,

3.Mobil yayınları ve düzeltme hesaplamaları, efemeris hatalarını ve yayılımlarını modellemek,

4.RTK hizmetleri

5.WEB hizmetleri

6.Mobil izleme

7.Verileri toplama ve diğer hizmetler.

Kontrol merkez yazılımı Trimble VRS SW tarafından sağlandı. Bu yazılım 250 Trimble NetR5 referans istasyonu için tasarlandı ve GPSNet, RTKNet, Webserver, gezici birimi (Rover Integrity), koordinat ekranı ve veri depolama modüllerinden oluşmaktadır. Bu yazılım yansıma (multipath), iyonosfer, troposfer ve yörünge düzeltmelerini hesaplayabilir ve RTK konumunu belirlemeyi amaçlayarak VRS, MAC, FKP teknikleri üzerinde koordinatları ve düzeltmeleri yayınlayabilmektedir [16].

Kontrol merkezi ile gezici alıcılar arasındaki iletişim için RTCM 3.0 ve daha sonraki protokoller kullanılmakta ve böylece radyo dâhil, GSM, GPRS/EDGE üzerinden NTRIP protokolü ile iletişimleri sağlanabilmektedir.

NetR5 referans istasyonlarıyla kontrol merkezlerinden oluşan CORS-TR sayesinde ülkenin tamamında 24 saat RTK hizmetleri verilmektedir.

Bu istasyonlardan 1 saniyelik, 30 saniyelik, 1 dakikalık ve saatlik RINEX verisi toplanmaktadır. Ayrıca otomatik olarak precise efemeris (hassas yörünge) verileri de sistem tarafından yüklenmektedir. Ana Kontrol ve Yedek kontrol merkezinden VRS CMR+, VRS RTCM3.1, SAPOS FKP 2.3, RTCM3Net, MAC ve DGPS düzeltme yayınları yapılmaktadır. Ayrıca gerçek zamanlı kullanıcılar izlenebilmektedir [12].

Statik veri kullanımı için bir Webserver yazılımı Webrouter sunucusu üzerinden çalışmaktadır ve müşteriler gerekli istasyon için periyodik esnada ya da var olan istasyon tarafından RINEX verisi indirebilmektedir. RINEX verisi, sıkıştırılmış veri, kayıtlar, kütük dosyalar, tüm sunucuların yedekleri otomatik olarak saat saat alınarak depolanmaktadır.

147 TUSAGA-Aktif istasyonları (Benchmark testine göre) 80-100 km aralıklarla planlanmıştır. Her bir istasyon 12 Volt DC akımıyla beslenmekte ve genel elektrik problemlerinden bağımsız olarak tasarlanmıştır. Elektrikli bataryalar şarj edilerek kullanılacaktır. Güç kesintisi durumunda sistem batarya sistemlerinin yardımıyla ortalama 48 saate kadar işlemeye devam etmektedir. Bunun için batarya amperleri farklı olarak yerleştirilmiştir [16].

2.5.4 Dünya'daki Bazı CORS Sistemleri

Uydu teknolojilerinin konum belirleme, navigasyon ve zaman belirleme yeteneklerine sahip olmaları ülkeleri milli menfaatleri gereği kendi bölgesel ve küresel uydu sistemlerini geliştirmeye zorlamaktadır. Bu zorluluğun temelinde yatan ana düşünce ise egemenlik kavramına dayanmaktadır. Egemenlik kavramını güçlendiren ve geçerli kılan hususun ise GNSS ve diğer bütünleşik navigasyon sistemlerindeki ileri teknoloji pazarından ülkelerin pay alma düşüncesi olduğu söylenebilir. Dolayısıyla, teorik olarak her egemen ülkenin kendi uydu sistemini yapma özgürlüğü vardır [20]. Böylece RTK CORS sistemleri ile ilgili olarak dünyada faaliyet gösteren çok sayıda örnek mevcuttur.

2.5.4.1 JAPONYA GEONET Sistemi

Sabit GPS istasyonları çalışması Japonya'da ulusal haritacılık kuruluşu olan GSI tarafından 110 istasyonun (COSMOS-G2) kurulması ile 1993 yılında başlatılmıştır. 1994 yılında 100 istasyon daha kurulmuş, her iki sistem daha sonra 1995 yılında birleştirilmiş ve bunlara 400 istasyon daha eklenmiştir. Böylece birleştirilerek genişletilen bu ağa GEONET adı verilmiştir.

GEONET ağı ortalama 25 km sıklıkla yaklaşık 1230 referans istasyonundan oluşmaktadır. İstasyonların tamamı 5 metre uzunluğunda paslanmaz çelik yapı şeklindeki zemin tesisi olup, kullanılan alıcı modeli çift frekanslı jeodezik alıcılar, anten modeli ise "randome" takılı "choke ring " antenlerdir. Alıcı güç kaynağı vb. tüm çevre birimleri bu tesisin alt tarafında bulunan kilitli bölme içerisine yerleştirilmişlerdir. Bu istasyonlarda 1 Hz sıklıklı 24 saat gerçek zamanlı veri transferi yapılmaktadır. Bu ağa gerçek zamanlı veri transferi kabiliyeti 2003 yılında kazandırılmıştır.

GSI GEONET Ağı, başlangıçta yerkabuğu hareketlerinin incelenmesi amacıyla kurulmuş, ancak GRAPES projesi ile birlikte deprem anındaki yer değiştirmelerin de belirlenebileceği görülmüştür. GEONET ile volkanik patlamaların da izlenebileceği sonucuna varılmıştır. Günümüzde GEONET, jeodezik ölçmeler, kadastro ve mühendislik ölçmeleri, meteorolojik çalışmalar vb. amaçlı olarak yoğun şekilde kullanılmaktadır [2].

2.5.4.2 ALMANYA SAPOS Sistemi

Almanya 16 federal eyaletin ölçme, jeodezi, kadastro ve bilgi teknolojileri faaliyetlerinden sorumlu ulusal ve yerel resmi kurum temsilcilerinin kararıyla kurulmuştur. Bu ağın kurulmasındaki amaç, klasik jeodezik ve ölçme yöntemlerinin yerine gerçek zamanlı ve yüksek doğruluk sağlayan uydularla konum belirleme yönteminin kullanılmasıdır. Yani SAPOS, DGNSS ve RTK tekniklerinin ülke çapında etkin olarak kullanılması amacıyla kurulmuştur.

SAPOS, 40-70 km aralıklı toplam 250 istasyondan oluşmaktadır. Referans istasyonlarında kullanılan donanım, çift frekanslı jeodezik GNSS alıcıları ile "randome" takılmış "choke ring" antenlerdir.

Kullanıcılara EPS (Real Time Positioning Service), HEPS (High Precision Real Time Positioning), GPPS (Geodetic Precise Positioning Service) ve GHPS (Geodetic High Precision Positioning Service) olmak üzere dört farklı doğruluk seviyesinde hizmet verilmektedir.

2.5.4.3 ABD NGS Sistemi Ve Diğer Sistemleri

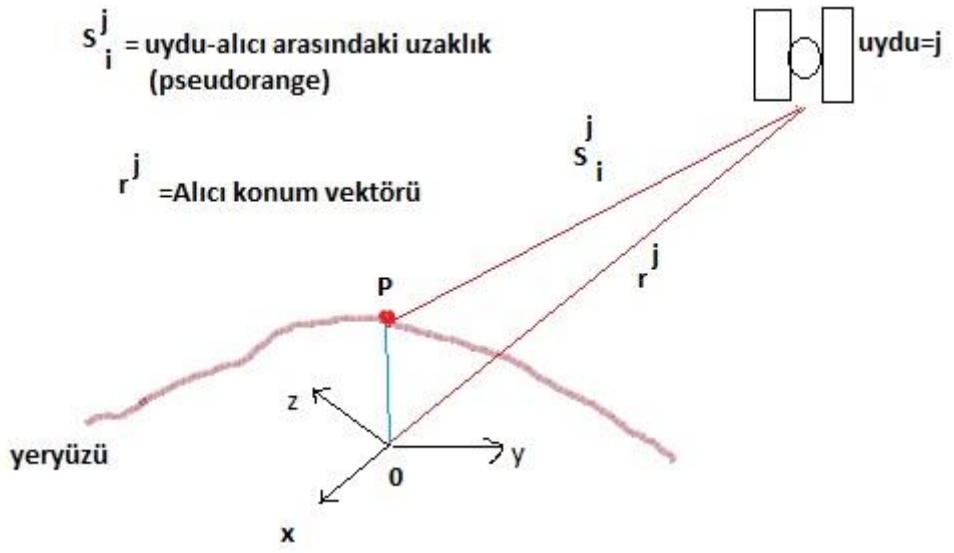
ABD'de sabit noktaların düşüncesi 1990'lı yılların başında yaklaşık 10 noktalı CIGNET (Cooperative International GPS Network) ağı ile başlamış ve bugün CORS adı altında yaklaşık 1300 noktalı bir ağ haline gelmiştir. ABD'de yaklaşık her eyaletin kendi CORS sistemi vardır ve istasyon sayısı her yıl ortalama 200 adet artmaktadır.

Bunların dışında birçok özel/ticari kuruluşun da ağı hizmet vermektedir. Özet olarak ABD'deki sabit GNSS ağlarının yaklaşık %98'i özel kurulmuş ağlardan oluşmaktadır. Bunların yalnızca %2'si NGS desteğinde kurulmuştur. %98'lik bölüm yaklaşık 180 ağ operatörüne karşılık gelmektedir. ABD'de ağlardan sorumlu diğer kuruluşları FAA, NSF, NASA, NOAA, USC vs. şeklinde sıralayabiliriz [2].

BÖLÜM 3

KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ

GNSS ile konum belirleme uydu-alıcı uzaklıklarının hesabına dayanan üç boyutlu bir uzaydan geriden kestirme probleminin çözümüdür. Yani, GPS sinyali içerisinde azimut ve yükseklik bilgileri bulunmamaktadır. GPS alıcısında yapılan temel işlem, tüm yönlerden gelen uydu sinyallerinin kaydedilmesi ve bunlardan yararlanarak uydu-alıcı uzaklıklarının hesaplanmasıdır.



Şekil 3 .1 GPS ile Konum Belirlemede Temel Düşünce,[7].

Şekil 3.1'den de anlaşıldığı gibi hesaplanmak istenen uydu (j) ile alıcı (P) arasındaki S_i^j uzaklığıdır. Burada uydu (j) , uydu konum vektörü olup uydu sinyallerinde yayınlanmaktadır. r^j , alıcı konum vektörü olup hesaplanmaktadır.

Uydu–alıcı uzaklığı (pseudorange) sinyalin uydudan çıkıp alıcıya ulaşana kadar arada geçen zamanın ışık hızı ile çarpılması sonucu elde edilmektedir.

$$S_i^j = c.\Delta t \qquad (3.1)$$

Daha sonra en az 4 uyduya eş zamanlı olarak yapılan gözlemlerle ve (3.1) eşitliğinden konum vektörü hesaplanmaktadır [7].

Ancak ne kadar çok uydu varsa o kadar da uydulara ait kesişim noktalarının hangisinin doğru olduğu kesin olarak bilinmese de konum doğruluğunu artırmaktadır.

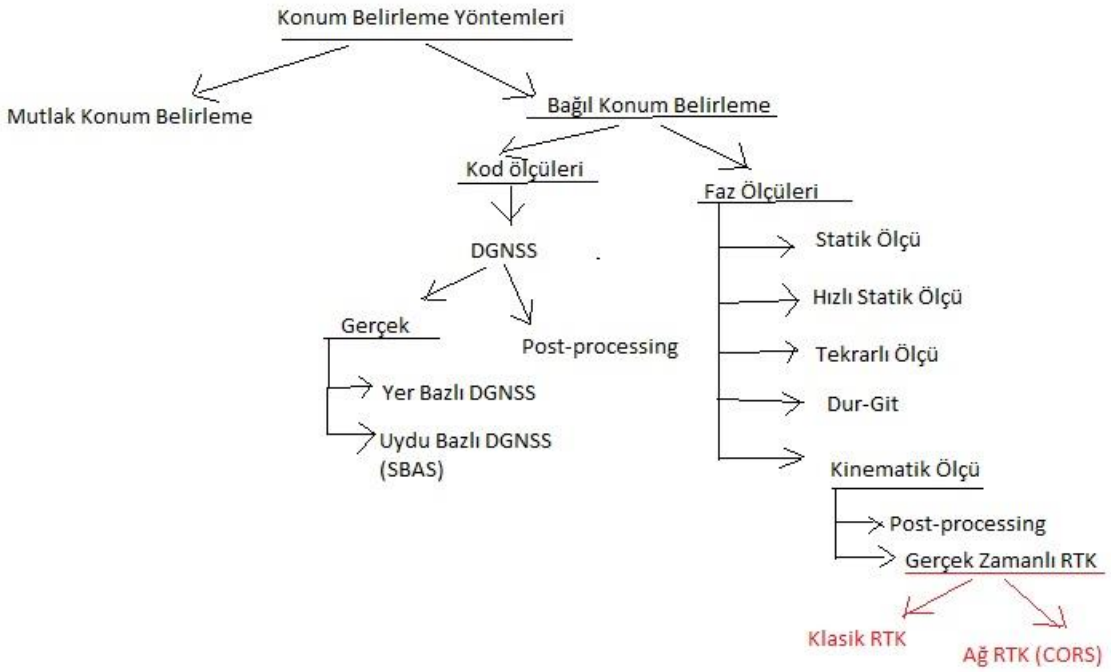
GPS ile konum belirleme ve navigasyon hizmetleri iki farklı kullanıcı seviyesinde kullanılmaktadır. Bunlar Standart Konum Belirleme Hizmeti (SPS: Standart Positioning Service) ve Duyarlı Konum Belirleme Hizmeti (PPS: Precise Positioning Service)'dir.

PPS, yüksek doğruluklu konum, hız ve zaman belirleme hizmeti olup yalnızca yetkili (askeri ve güvenlik amaçlı) kullanıcılara açıktır. PPS'e erişim AS (Anti Spoofing) şifreli yazı özelliği ile kontrol edilmektedir. Elektronik aldatmayı engellemek amacıyla kullanılmaktadır. AS ile kriptolanmış P koduna Y kod(ya da P(Y) kod) denilmektedir.

SPS ise tüm kullanıcılara açık olup doğruluğu PPS'den daha düşüktür.

GPS ile iki ana konum belirleme yöntemi kullanılmakta olup, bunlar mutlak konum belirleme ve bağıl (rölatif-göreli) konum belirleme yöntemleridir [7].

Konumu belirlenecek nokta hareketsiz ise (nirengi, nivelman, detay) statik konum belirleme; hareketli ise (uçak, gemi, tank) kinematik konum belirleme yöntemidir. Uçak, gemi ve benzeri araçların navigasyonu amacıyla anlık (real-time) konum belirleme yapılmaktadır. Bu genellikle askeri amaçlı kullanımda söz konusudur. Ölçülerden daha hassas sonuçlar elde edebilmek için arazideki ölçmelerden sonra büroda değerlendirilmesi de (post-processing) mümkündür. Bu durum, daha çok mühendislik uygulamalarında yapılmaktadır [6].

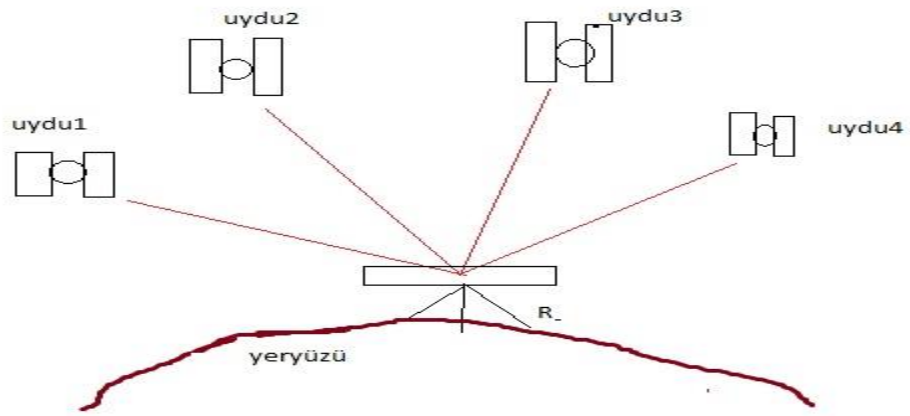


Şekil 3.2 GNSS Konum Belirleme Yöntemleri, [7].

3.1 Mutlak Konum Belirleme

Tek bir alıcı ile normal olarak dört ya da daha fazla uydudan kod gözlemleri yapılarak üzerinde alıcı kurulu olan noktanın koordinatları belirlenmektedir.

Yöntem, sinyalin uydu çıkışından alıcıya ulaşınca kadar geçen zaman ve ışık hızının çarpılması ile hesaplanan uydu-alıcı arasındaki uzaklığın ve uyduların bilinen koordinatları ile uzayda üç boyutlu geriden kestirme yöntemi esasına dayanan bir konum belirleme yöntemidir [7].

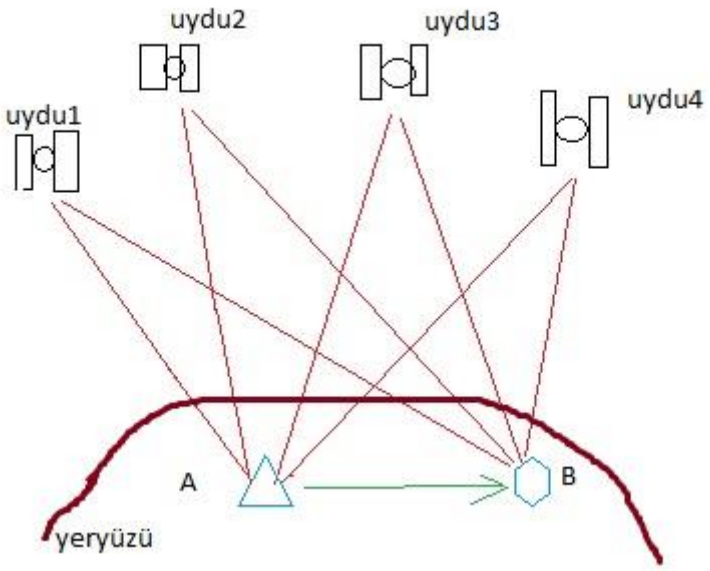


Şekil 3.3 Mutlak Konum Belirleme ,[7].

3.2 Bağıl (Göreli-Rölatif) Konum Belirleme

Koordinatları bilinen bir noktaya göre diğer nokta ya da noktaların koordinatlarının belirlenmesi söz konusudur. Yani, iki nokta arasındaki baz vektörünün bulunmasıdır.

Bağıl konum belirleme için iki ayrı noktada kurulmuş olan iki alıcı ile aynı uydulara eş zamanlı kod ve faz gözlemleri yapılmaktadır. Elde edilen doğruluk mutlak konum belirlemeden daha iyi elde edilmiş ve alıcı tipi, ölçü süresi, gözlenen uydu geometrisi, uydu sayısı ve kullanılan efemeris bilgisine bağlı olarak elde edilen doğruluk 0.001 ile 100 ppm arasında değişmektedir.



Şekil 3.4 Bağıl Konum Belirleme, [7].

Kod gözlemleri ile anında konum belirlemek için yeterli doğruluk sağlanmakta ve bu durum pratik olarak büyük önem taşımaktadır. Ancak, mühendislik ölçmeleriyle jeodezik amaçlı GPS ölçmeleri için çok daha duyarlı sonuçlara gereksinim vardır. Bu yüzden faz gözlemleri kullanılmaktadır. Faz gözlemleri kullanılarak beş farklı yöntem ile konum belirlenebilmektedir [7].

Başka bir ifadeyle bağıl konum belirleme iki nokta arasındaki baz vektörünün belirlenmesi olarak ifade edilebilmektedir. Bu noktalardan bir tanesi koordinatları bilinen A noktası, diğeri ise koordinatları bilinmeyen B noktası ve aralarındaki baz uzunluğu vektörüde rAB olarak tanımlanmaktadır.

Konum vektörü rA ve rB arasındaki ilişki

$$rB = rA + rAB \tag{3.2}$$

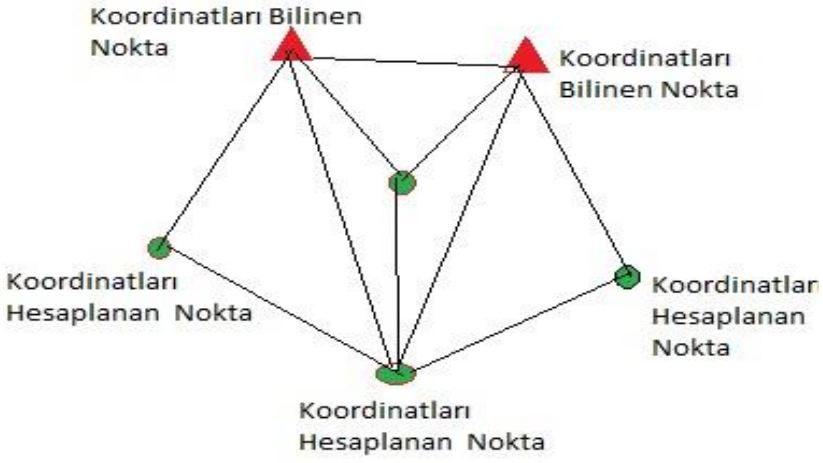
formüle edilebilir ve baz vektörünün bileşenleri rAB

$$rAB = \begin{bmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{bmatrix} \tag{3.3}$$

elde edilmektedir [12].

3.2.1 Statik Ölçü Yöntemi

Çok yüksek doğruluk istendiğinde, uzun bazlar söz konusu olduğunda, mevcut uydu geometrisi başka bir ölçüm tekniğine olanak vermediğinde, sistematik etkilerin dikkate alınması durumunda en iyi yöntemdir. Bu ölçü yönteminde iki ya da daha fazla sayıda alıcı ile en az bir saat eş zamanlı ölçü yapılmaktadır [7].

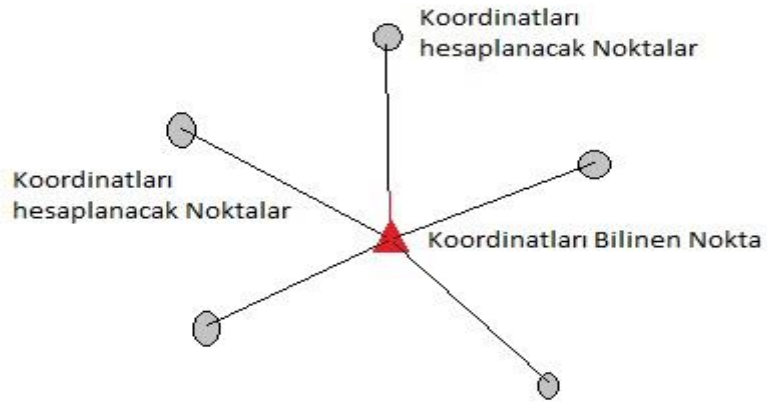


Şekil 3.5 Statik Ölçü Yöntemi,[7].

Bu teknik ile bazlar (5 mm + 1 ppm) hassasiyetinde ölçülebilmektedir. Ölçü süresi 1 saat ve daha fazladır. Baz uzunluğuna bağlı olarak ölçü süresi orantılı arttırılabilmektedir. Çok geniş arazilerin jeodezik kontrol ağların ölçümü, ulusal ve kıtasal ağların ölçümü, tektonik hareketlerin izlenmesi, güçlü yer hareketlerinin (deprem, fay hattı, volkanizma, heyelan) izlenmesi, yüksek doğruluk gerektiren özel ölçmeler gibi uygulama alanları bulunmaktadır [5].

3.2.2 Hızlı Statik Ölçü Yöntemi

Daha kısa süreli ölçülerle, duyarlı sonuçların alınması nedeniyle ekonomik bakımdan büyük önem taşımaktadır. Alıcılardan birisi referans noktası üzerinde sabit bırakılarak sürekli gözlem yaparken başka alıcı ya da alıcılar tüm diğer noktalara çok kısa süreler için kurularak eş zamanlı olarak gözlemler yapılmaktadır [7].



Şekil 3.6 Hızlı Statik Ölçü Yöntemi

Bu teknik ile bazlar (5-10 mm + 1 ppm) hassasiyetinde ölçülebilmektedir. Kontrol ölçmeleri, kontrol ağının sıklaştırılması, hassas poligon ölçümü, yerel ağların ölçülmesinde kısa bazlar için yüksek doğruluk istenildiğinde bu yönteme başvurulmaktadır. Ayrıca kolay, hızlı, etkili, ekonomik fakat sadece kısa bazların (20 km nin altında) ölçülmesinde bu teknik kullanılmaktadır [5].

3.2.3 Kinematik Ölçü Yöntemi

Bu yöntem hızlı ve ekonomik bir ölçü tekniği olmakla birlikte özellikle hareket halindeki uygulamalar ve hidrografik amaçlı ölçmelerde uygun olmaktadır.

Bu teknik ile (1-2 cm + 1 ppm) baz ölçüm doğruluğu elde edilmektedir.

Kinematik ölçü yöntemi kendi içerisinde ikiye ayrılmaktadır. Özellikle gerçek zamanlı kinematik (RTK) ölçüleri günümüzde en yoğun kullanılan yöntemdir. Bu amaçla ülkeler, yerel kuruluşlar ve özel sektör gerçek zamanlı sabit GNSS ağları kurmaktadır. Bu ağlara CORS ya da Ağ-RTK adı verilmektedir.

BÖLÜM 4

GERÇEK ZAMANLI KİNEMATİK (RTK) GNSS SİSTAMLERİ/ AĞ RTK/ CORS

Diferansiyel GNSS (DGNSS/DGPS) tekniğinde koordinatları bilinen bir referans istasyonuna dayalı olarak gezen bir alıcının (ölçmeci, gemi, araba vb.) koordinatları kod (pseudorange) gözlemleri kullanılarak metre mertebesindeki doğruluklarla belirlenmektedir. Ancak daha yüksek doğruluk isteyen uygulamalarda faz gözlemleri kullanılmakta olup bu da sistemin kullanımında oldukça karmaşık yapılara yol açmaktadır. Bu karmaşık yapının en önemli nedenlerinden birisi faz belirsizliklerinin yüksek doğrulukla çözümündeki sorunlardır. Bu durum özellikle GPS (GNSS) donanım ve yazılımlarında önemli yeniliklerin gelişmesine yol açmıştır. Son yıllarda bu konuda yaşanan gelişmeler nedeniyle faz gözlemleri ile yüksek doğruluklu gerçek zamanlı kinematik uygulamaların yapılmasına imkân tanımıştır. Gerçek zamanlı konum belirlemede yaşanan bu gelişmeler, yaklaşık aynı mertebelerdeki doğrulukların hareket halindeki GNSS alıcıları için de geçerli olmasını sağlamıştır. Bu sistemlere gerçek zamanlı kinematik GNSS (RTK GNSS) denilmekte ve RTK, zamanın oldukça önemli olduğu araç takip ve navigasyonu, makine kontrol sistemleri ve kazı-dolgu çalışmaları gibi alanlarda etkili şekilde kullanılan bir teknik ve sistem olmuştur. Bu sistemde de aynı DGPS/DGNSS sisteminde olduğu gibi tek bir referans istasyonu söz konusudur. Yani, RTK sisteminde referans alıcı ile gezen alıcı arasındaki uzaklık sistemin kullanılması ile elde edilecek doğruluğu etkileyen en önemli faktördür.

Klasik DGPS tekniğinde bu sorunu ortadan kaldırmak için geniş bir coğrafi bölgeye dağıtılmış ana kontrol ve izleme istasyonları ağından oluşan WAAS ve WADGPS gibi sistemler kurulmuştur.

Ancak bu sistemlerden de metre ya da en iyi durumda metre altı doğruluklar elde edilmektedir. Çünkü kullanılan gözlem yöntemi kod (pseudorange) gözlemidir. Ancak, hem gerçek zamanlı uygulamalarda (navigasyon, araç takip, arama-kurtarma) hem de haritacılık kapsamındaki ölçmelerde (CBS, konum belirleme, deprem modelleme vb.) faz ölçülerinin kullanılması ile daha yüksek doğruluklar (mm/cm) gerektirmektedir. Böylece, WAAS ya da WADGPS tekniğinin yüksek doğruluk isteyen gerçek zamanlı uygulamalarda nasıl kullanılabileceği problemi ortaya çıkmıştır. Bu problemin çözümü birden fazla referans istasyonuna dayalı olarak çalışan ve klasik RTK tekniğinin uzaklık ile ortaya çıkan hataların modellendirilmesi ve bu modellendirme sayesinde hataların (iyonosfer, troposfer, yörünge hatası, vb) en aza indirgenerek hesaplanmasıdır. Ağ RTK ya da Ağ tabanlı RTK tekniği ortaya çıkmıştır [2].

4.1 Klasik (Standart) RTK

RTK ile konum belirleme, gezen alıcılar tarafından uydulardan (GPS/GLONASS) kaydedilen faz gözlemlerine ve aynı anda referans bir istasyondan gerçek zamanlı olarak gezen alıcıya gönderilen ham ölçü veya düzeltme bilgilerine (konum, pseudorange, atmosfer vb.) dayalı olarak gerçekleştirilen, hesapların ise gezen alıcıda yapıldığı bir konum belirleme tekniğidir.

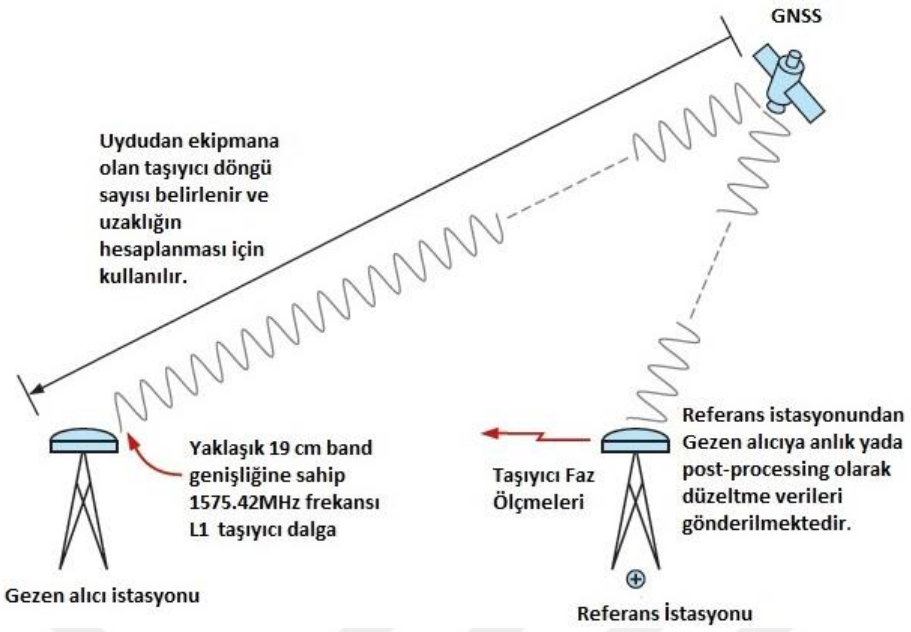
Klasik RTK tekniğinde hem referans hem de gezici istasyonda çift frekanslı GPS alıcıları kullanılmaktadır. Ayrıca bu metotta, statik ve kinematik GNSS ölçü yöntemlerinde kullanılan donanımdan farklı olarak bazı ek donanımlar gereklidir. Sabit istasyonda, hesaplanan taşıyıcı dalga faz ölçü düzeltmelerini yayımlayan bir radyo vericisi ve gezici birimde de gönderilen bu düzeltmeleri alan bir radyo alıcısı kullanılmaktadır. Klasik RTK uygulamasında bir referans istasyonda hesaplanan düzeltme bilgileri gezen alıcıya gönderilmektedir. Gönderilen düzeltme mesajları belli bir formata uygun olmalıdır. Her alıcı firması gerçek zamanlı uygulamalar için kendi özel formatını üretmiştir. Fakat bu durumda farklı formatlardaki veriler farklı alıcılar tarafından kullanılamamıştır. Bu sorunu çözmek için Teknik Radyo Komisyonu Denizcilik Servisi Özel Komitesi referans alıcı ile gezici arasında düzeltme verilerinin yayınlanması amacıyla standart bir format yayınlamıştır ve bu format RTCM SC-104 olarak belirlenmiştir. RTCM SC-104 formatı hemen hemen GPS navigasyon mesaj formatının aynısıdır.

Deneyler sonucunda; RTCM SC-104 veri formatı ve mesaj formatının genellikle güvenilir olduğu kanısına varılmıştır.

Sistematik hatalardan (atmosferik etkiler, yörünge hatası etkisi vb.) kaçınmak için referans istasyonu ile kullanıcı arasındaki 5 km yi geçmemesi gerekmektedir [13].

GPS ölçümlerinde tüm noktaların doğru olarak ölçme güvencesi vardır. Klasik kinematik yöntemde sabit istasyonda faz sıçraması olursa veya sinyal kesilmesi oluşursa (ve fark edilmezse) kinematik konum hesabı yapılamaz. Gerçek zamanlı kinematik de bu durum anında fark edildiğinden yeni bir tamsayı belirsizliği çözümüyle gözlemlere devam edilir [40].

Referans ve gezici ölçümler, düzeltilmiş kodların yardımıyla ve çift taraflı mod ile birleştirilmektedir, biri onların kovaryans matrisi ile bilinmeyen belirsizlik için gerçek değerler ile birlikte gezici konumunun tamsayı düzeltmeleri elde edilebilmektedir. Kovaryans matris, belirsizliğin elde edilmiş gerçek değerleri etrafında güvenli bir bölge oluşturmaktadır. Güvenli bölgenin (elipsin) boyutları güvenirlik seviyesinin yanısıra bilinmeyen belirsizliğin boyutuna bağlıdır. Güven bölgesi, eğer hesaplanmış uydu sayısı 2 ise elips şeklini; hesaplanmış uydu sayısı 3 ise elipsoid şeklini, hesaplanmış uydu sayısı 4 veya daha fazla ise hiper-elipsoid şeklini oluşturmaktadır. Hiper-elipsoid kesişim noktasında bilinmeyenler için yapılan çözümün bir döngü grid hatlarına bölünmesidir. İstatistiksel değerlemeye bağlı olarak, yalnızca bir nokta tamsayı belirsizliği için referans olarak seçilmektedir. Bu belirsizlik doğru bir şekilde çözümlendiğinde, son bir düzeltme çözümü cm doğruluk seviyesinde gezici koordinatları elde etmek için uygulanmaktadır [39].



Şekil 4.1 (Real Time) Kinematik Çalışma Prensibi, [4].

4.1.1 GPS Taşıyıcı Faz Belirsizliği Konsepti ve Test Edilmesi

Klasik GPS ya da RTK GPS ölçme teknikleri olsun, ölçüm esnasında ilk başta tam sayı belirsizlikleri çözümlenmeli ve 5 ya da daha fazla uyduya sürekli gözlem yapılmalıdır. RTK uygulamalarında koordinatları bilinen bir noktada bir GPS alıcısı sürekli gözlem yaparken, bir ya da daha fazla gezici GPS alıcısı da hızlı bir şekilde konum çözümünü gerçekleştirmektedir.

GPS tamsayı belirsizliğinin çözümü iki kesin bölümden oluşmaktadır.

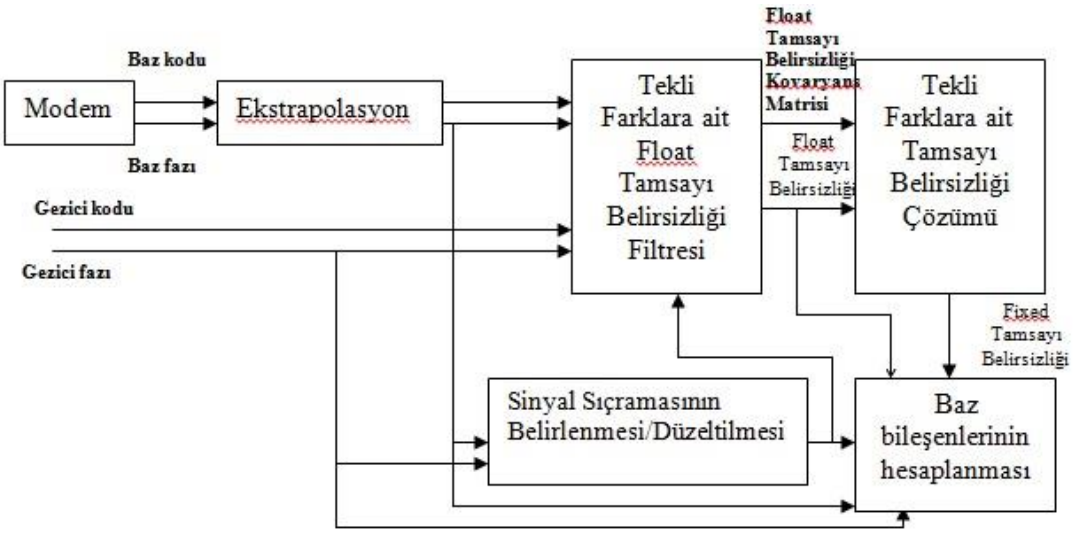
1. Tamsayı belirsizliğinin çözümü
2. Tamsayı belirsizliğinin geçerliliği

Ölçü eşitlikleri için verilen bir model, bilinmeyen parametrelerin hesaplanması için en uygun yöntemi ifade etmektedir. Bu durum tamsayı belirsizliğinin çözümü için optimum bir yöntem olan en küçük kareler çözümünü göstermektedir. Tamsayı belirsizliğinin geçerlilik bölümü, doğruluk ve yapılan hesaplamalardaki belirginlik açısından önemli olmaktadır. Kısacası en küçük kareler yöntemi ile yapılan hesaplamanın zayıf veya kaliteli nitelikte olup olmadığı elde edilebilmektedir. Geçerlilikteki sorun, en küçük karelerle yapılan çözümün istenilen ve kabul edilebilecek nitelikte çözüm olup olmadığına bağlı olmaktadır.

Genellikle havada ve denizde hareket eden nesnelerin izlediği yolun dm veya cm doğrulukla belirlenmesi için kinematik ölçü yöntemleri kullanılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus alıcı anteni hareketliyken sürekli olarak en az 4 uyduyu izlemesi koşulu yerine getirilmelidir. Ayrıca, faz ölçüleri kullanılarak kinematik GPS ile duyarlı konum belirlemede, ölçü başlangıcında veya sinyal kesilmesi sonucu faz kaymaları oluştuğunda ya da yeni bir uydunun ilave edilmesi sonucunda tamsayı bilinmeyeninin hesaplanması gerekmektedir. Hareket eden cisimlerde ölçü yapan bir alıcıda, başlangıçtaki tamsayı bilinmeyeni kaybolduğu zaman, tekrar belirlemek için statik yöntemlere başvurmak olanaklı değildir. Bu nedenle alıcı hareketliyken tamsayı bilinmeyeninin çözülmesi tekniği (OTF– Ambiguity Resolution) dir.

OTF çözüm yönteminde, saatlere bağlı hatalar yok edilerek tamsayı bilinmeyenini içeren ikili farklar kullanılmaktadır. OTF yaklaşımları arasında, Belirsizlik Fonksiyonu Metodu (Ambiguity Function Method (AFM)), En Küçük Kareler Belirsizlik Araştırma Tekniği (the Least Squares Ambiguity Search Technique (LSAST)), Hızlı Belirsizlik Çözüm Tekniği (the Fast Ambiguity Resolution Technique (FARA)), Korelasyonsuz En Küçük Kareler Belirsizlik Dengelemesi (the Least Squares Ambiguity Decorrelation Adjustment (LAMBDA)) ve hiçlik uzay metodu (the null-space method) sayılabilir. LAMBDA yöntemi yukarıda sayılan diğer yöntemlerden farklı olarak, özellikle OTF yöntemi içinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yani OTF' nin temel yaklaşımı, kod veya faz ölçülerinden hesaplanan en iyi yaklaşık değerlerle önceden belirlenen araştırma hacmi içindeki muhtemel tamsayıların her biri tamsayıya ulaşıncaya kadar araştırma yaparak bilinmeyeni belirlemektir [12].



Şekil 4.2 RTK GPS'in Genel Şeması, [12].

4.1.2 Ağ RTK Tekniğinde Veri Aktarma Protokolleri

Global navigasyon uydu sistemleri (GNSS)'nin gerçek zamanlı (real-time) uygulamaları birçok farklı disiplin ve kullanıcı tarafından tercih edilen etkin sistemler haline gelmiştir. Bu bağlamda, Ağ RTK (NRTK/ RTN) prensibinde çalışan GNSS/CORS ağları, gerçek zamanlı diferansiyel düzeltme hesap teknikleri (VRS, FKP, MAC), GPS/GNSS kullanıcı donanım, yazılımları ile telekomünikasyon teknolojileri gerçek zamanlı uygulamalar dikkate alındığında ön plana çıkmaktadır. Başta bilimsel çalışmalar olmak üzere, günlük yaşantımızdaki uygulamalar için etkin bir şekilde kullanılan bu sistemler, gelişen ve değişen teknolojiye paralel olarak her geçen gün kullanıcıya yüksek doğrulukta daha üstün hizmetler sunmaktadırlar.

Bugün GPS ve GLONASS sistemlerinin aktif kullanımının yanı sıra yakın bir gelecekte GALILEO ve COMPASS gibi diğer global sistemlerin devreye girmesi, bölgesel sistemler (QZSS, IRNSS vb.) ile kapsama alanı genişletici/augmentation (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN vb.) diğer sistemleri de içeren GNSS konseptinin her yerde, her zaman, doğru ve güvenilir olarak etkin kullanımını sağlamak amacıyla uluslararası standartlar oluşturulmuştur.

Gerçek zamanlı konum belirleme sistemlerinin, veri iletim mekanizmalarını oluşturan veri formatları (RTCM, NMEA, CMR/CMR+), veri iletim protokollerinin (NTRIP, RTIGS) ve veri iletişim linklerinin (VHF, UHF, GSM, GPRS, EDGE, UMTS) gerçek zamanlı GNSS

veri iletimindeki önemi vurgulanmış ve özellikle NTRIP protokolü ile RTCM veri formatı mesaj yapısı, mesaj türleri ve içerikleri, farklı sürümleri geliştirilmiştir [25].

4.1.2.1 Uluslararası Standart Protokoller

Günümüzde ölçme ve navigasyon amaçlı konum belirleme uygulamalarında, GNSS verisinin değişimi için geliştirilmiş 2 temel standart kullanılmaktadır. Bunlardan ilki özellikle diferansiyel (göreli/rölatif/bağıl) konumlamada ölçü sonrası büroda değerlendirme (post-processing) çalışmaları ile veri arşivleme için geliştirilmiş, gerçek zamanlı veri iletimi için uygun olmayan RINEX formatıdır. İkincisi ise gerçek zamanlı (real-time) uygulamalar için geliştirilmiş olan RTCM formatıdır. Bu standartların dışında gerçek zamanlı uygulamalar için GPS/GNSS alıcıları ile diğer cihazlar (örneğin PDA) arasında veri iletimi için NMEA formatı kullanılmaktadır. Genel olarak GNSS alıcısı üreten birçok firma, kendine özgü veri formatını geliştirmekte ve korumaktadır. Üretici firma tanımlı bu veri formatları çoğunlukla alıcı markasına bağımlı "binary" formatta olup, bazı firmalar tarafından "ASCII" formatta da geliştirilmektedir. Bazı durumlarda GNSS alıcısı üreten firmalar, değişik modeldeki alıcılar ve uygulamaya yönelik olarak farklı veri formatları da oluşturabilmektedirler. Ashtech MBEN ve PBEN, Javad JVS, Leica LB2, Trimble RT17 ve RT27 ve Topcon TPS bu kapsamda iyi bilinen üretici firma tanımlı veri formatlarıdır. GNSS ölçmelerinde gözlenen tüm veriler çoğunlukla alıcı markasına bağımlı "binary" veri formatında kaydedilerek, ölçü sonrası değerlendirme (post-processing) işlemi için bilgisayara aktarılmaktadır. Ancak kullanıcılar tarafından farklı marka ve modeldeki GNSS alıcı, donanım ile ticari/akademik veri değerlendirme yazılımlarının kullanılıyor olması, gözlenen verilerin alıcıdan bağımsız bir veri değişim formatına dönüştürülerek her türlü yazılımla değerlendirilmesine olanak tanıyan uluslararası endüstriyel bir standardın oluşumunu zorunlu kılmıştır. Bilimsel ve jeodezik uygulamalarda GPS verisinin değişimi için "ASCII" dosya formatında RINEX (Receiver INdependent EXchange) formatı geliştirilmiştir. RINEX formatının, RINEX 2.10, RINEX 2.11, RINEX 2.12, RINEX 2.20, RINEX 3.00, RINEX 3.01 ve RINEX 3.02 gibi farklı sürümleri vardır.

GNSS veri değişimi için geliştirilmiş uluslararası bir diğer standartta gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılan RTCM formatıdır.

Özellikle farklı marka ve modeldeki alıcılardan oluşabilen GNSS/CORS ağlarının, birlikte çalışması ve uyumuyla bu ağlardan mobil kullanıcılara (gezici alıcılara /rover) iletilen gerçek zamanlı verilerin bir protokol ve veri formatında gönderilmesi, kullanıcılar tarafından da bunların kabul edilebilir olması gerekmektedir. Bu nedenle uluslararası bir standart olarak geliştiren RTCM, başta DGNSS olmak üzere günümüzde RTK uygulamalarında etkin olarak kullanılan bir veri formatıdır. Genel olarak RINEX, RTCM ve NMEA gibi formatların yanında uluslararası anlamda bilinen CMR/CMR+, RTCA, SP3, BINEX gibi farklı içerik ve nitelikteki uluslararası standart formatlar da bulunmaktadır. Bunların dışında üretici firma tanımlı (ham data) daha birçok veri formatı da geliştirilmiştir [25].

RINEX	Farklı GNSS alıcısı üreten firmaların, üretici firma tanımlı verilerinin RINEX kombine edilmesi sağlar.
	Özellikle statik verilerin büroda değerlendirilmesi (post-processing) ve arşivlenmesinde kullanılmaktadır.
RTCM	GNSS alıcıları arasında veri iletimini sağlar. Örneğin Referans Alıcı (Base) ⟶ Gezici Alıcı (Rover)
	"Binary" dosya yapısındadır. Kompakt yapıda olmasına karşın anlaşılması güçtür.
NMEA	GNSS alıcıları ile diğer cihaz ve aletler arasındaki veri iletimi için kullanılmaktadır. Örneğin GNSS anteni ⟶ CBS için ArcPad yazılımlı PDA
	Gerçek zamanlı konum belirleme uygulamaları için kullanılmaktadır.

Çizelge 4.1 RINEX, RTCM, NMEA formatlarının genel özellikleri , [25]

4.1.2.2 İnternet Protokolleri

TCP (İletişim Kontrol Protokolü) ve UDP (Kullanıcı Datagram Protokolü) bağlantıları internet hattı üzerindeki iletişimlerde kullanılan en iyi protokollerdir. TCP protokolü güvenli iletişim için bir bağlantı oluşturmaya odaklı protokoldür ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer taraftan UDP, bağlantı ve güvenirliği garanti etmek için yöntem gerekli değildir. Bu yüzden UDP en hızlı iletişime izin verir ve TCP ie karşılaştırıldığında etkili şekilde iletişim gerçekleştirmektedir. Ayrıca, UDP sistemden izinlerin olup olmamasına gerek kalmadan veriyi tek taraflı olarak iletebilmektedir. Böylece UDP yayınband verisi için en uygundur ve TCP'den daha düşük iletişim maliyetine sahip olarak fayda sağlamaktadır. Kinematik (Hareketli) RTK GPS konumlama perspektifi ile gerçek zamanda meydana geldiği için önemlidir ve veri iletişim güvenirliği çok yüksek olmalıdır. Ancak, çift taraflı iletişim gerektiren TCP'den ziyade, UDP'nin güvenirliği

TCP'den daha düşük olmasına rağmen yayınband iletişimi için yüksek hızlı iletişim yeteneği ve uygunluğu için mevcut deney olarak kabul edilmektedir [17].

4.1.2.2.1 NTRIP Protokolü

Günümüzde GNSS verilerinin internet üzerinden yayınlanması ve dağıtımı amacıyla geliştirilmiş 2 standart protokol bulunmaktadır. Bunlardan "Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP)", gerçek zamanlı olarak internet radyo teknolojisini geliştirip desteklemek amacıyla Almanya Federal Kartografya ve Jeodezi Dairesi (BKG) tarafından geliştirilmiştir. "RealTime IGS (RTIGS)" ise Uluslararası GNSS Servisi (IGS) tarafından geliştirilme süreci devam eden diğer bir protokoldür.

NTRIP' in ilk sürümü olan NTRIP v1.0, 2004 yılında RTCM SC104 Komitesi tarafından RTCM standardı olarak kabul edilmiş bir internet protokoldür. Yalnızca RTCM veri formatı veya standart diğer veri formatları için değil, üretici tabanlı özel veri formatları içinde kullanılmaktadır. NTRIP, Hypertext Transfer Protocol HTTP/1.1' ye dayalıdır.

Kablosuz internet ile GSM, GPRS, EDGE ve UMTS gibi çeşitli mobil IP ağlarını destekleyen bir protokoldür. NTRIP v1.0, güvenli bir şekilde veri iletimini sağlamak için "Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP)" kullanır. NTRIP, sabit ve mobil kullanıcılar ve özellikle gerçek zamanlı diferansiyel uygulamalarda mobil kullanıcılar için PC, Laptop, PDA ile GNSS alıcılarının eş zamanlı kullanımında internet üzerinden veri akışının kontrolünü sağlar. 2009 yılında RTCM SC104 Komitesi tarafından NTRIP' in yeni sürümü olan NTRIP v2.0'da kabul edilmiştir. Bu yeni sürümde HTTP' ye tam uyum için, TCP/IP'ye ek olarak "User Datagram Protocol/Internet Protocol (UDP/IP)" nin kullanımı değerlendirilme aşamasındadır. NTRIP v2.0 daha önceki sürümü olan NTRIP v1.0 ile uyumlu olarak geliştirilmiştir. NTRIP protokolü RINEX, BINEX, SOC veri formatlarının, DGPS/RTK uygulamaları için RTCM formatı ile yayın efemerislerinin, yörünge/saat düzeltmelerinin, havacılık uygulamalarında RTCA düzeltmelerinin (EGNOS, WAAS, MSAS ile) ve diğer GNSS veri formatlarının kontrollü olarak akışını sağlar. NTRIP, 3 ana sistem yazılımı bileşeninden oluşmaktadır. Bunlar "NtripClients", "NtripServers" ve "NtripCasters" olarak isimlendirilmektedir.

Bir diğer veri iletim protokolü olan RTIGS' de internet üzerinden GNSS veri akışının kullanımının yaygınlaşması için IGS çalışma gruplarından "RealTime Working Group

(RTWG)" tarafından geliştirilmiştir. RTIGS protokolü, UDP/IP'yi kullanmaktadır. Aynı zamanda minimum bant genişliği ile GPS gözlem verilerini taşımak için JPL tarafından geliştirilmiş SOC veri formatını kullanır. TCP/IP, kullanılan birçok ağda veri akış yoğunluğunun giderilmesinde internet radyo'daki önemli deneyimlerden biri olmuştur. Ancak "Server"da fazla iş yükü olmasına neden olmaktadır. UDP/IP ise veri akışı için alt ağlarda daha etkin çözüm ve sonuçlar vermektedir. Fakat bunun gerçekleşebilmesi için tüm kullanıcı alt ağların sisteme erişebilir olması gerekmektedir. Örneğin UDP mobil IP kullanıcıları desteklememektedir [25].

4.1.2.2.2 RT-IGS Protokolü

"RealTime IGS (RTIGS)" Uluslararası GNSS Servisi (IGS) tarafından geliştirilme süreci devam eden bir protokoldür. Bu internet protokolleri, ilgili veri formatındaki GNSS bilgilerini içeren dosyaların bir ağ üzerinde güvenilir akış kontrol mekanizmalarını sağlayarak, veri iletimini yönetirler. Başka bir ifadeyle GNSS verilerinin (istasyon bilgileri, gözlemler, efemeris, atmosferik parametreler) internet üzerinden nasıl yayınlanacağını tanımlayan protokollerdir[2, 25].

4.2 Ağ-RTK / Network- RTK

Sürekli gözlem yapan referans istasyon (CORS) sisteminin geçmişi ilk olarak ABD Ulusal Uzay Referans İstasyonuna (NSRS) erişim sağlamak, sürdürmek ve korumak için ve Ulusal Okyanus ve Atmosferik Bölümünün (NOAA) Ulusal Jeodezik Harita (NGS)'nın misyonu ile bağlantılıdır. NSRS, ABD ve çevresindeki herhangi bir noktada düşey deformasyon, gravite ivmesi, jeopotansiyel, ortometrik yükseklik hatta jeodezik enlem, boylam ve elipsoidal yükseklikleri belirlemek için bir kullanıcı sağlayarak sivil amaçlı ve devlet destekli resmi sistemi kurmuştur. NSRS, uluslararası referans sistemi ve ölçeği ile NSRS'yi tanımlarken veya erişirken kullanılan tüm uydular hakkında bilgiler içermektedir. Ayrıca NSRS ulusal ekonomik, sosyal ve çevresel ihtiyaçları karşılamak için çok önemli bir yer tutmaktadır.

NGS, GPS gelişmelerinin ilk aşamasında NSRS'yi geliştirmek için GPS (Global Konum Belirleme)'in potansiyel katkıları olarak tanımlanmaktadır. Bu yüzden bu bölüm 1980'lerin sonunda NSRS'i geliştirmek için GPS tekniklerini ve kullanım alanlarını kurmaya başlamıştır.

NGS ilk olarak geleneksel referans istasyonları olarak kurulan uygulamalar için kullanılan koordinatları belirlemek amacıyla GPS uygulamıştır. 1987 'de NGS, 50 eyaletin her birinde çok yüksek doğrulukta referans istasyonu olarak adlandırılan çok yüksek doğruluklu referans istasyonunu (HARN: An High Accuracy Reference Station) kurmak için çeşitli bölgesel, federal kuruluşlar ile iş birliğinde bulunmuştur.

1989'da CIGNET (Cooperative International GPS Network) ABD 'de 3 istasyon kurmuştur. 1990'da Güney yarım küreye kadar yayılmıştır. NGS yavaş yavaş CIGNET Ağını artırmış ve o zamanlar hiç bilinmeyen ilk halk küresel GPS ağı kurulmuştur. Böylece Uluslararası Jeodezi Birliği'nin yardımlarıyla Global Konumlama Uydu Sistem (GNSS) Hizmet Ağı (IGS) geliştirilmiştir. NSRS 'i geliştirmek için CORS Ağı ile birlikte tüm ABD'yi kapsama alanı 1994'te kabul edilmiştir.

Günümüzde CORS Ağı ABD, Kanada, Avustralya, Meksika, Japonya, Avrupa, Türkiye, Irak, Hindistan 'de hatta Dünya genelinde kullanılmaktadır [11].

Klasik RTK tekniğinde ham ölçüler ve düzeltme bilgileri tek bir referans istasyonu ile tek bir gezen alıcı (rover) arasında aktarılmaktadır. Jeodezik ölçülerde ağ yapısındaki ölçü ve hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Ağ yapısındaki ölçülerde çok sayıda noktada, tekrarlı gözlemler yapılmaktadır. Daha sonra hatalardan arındırılmış ölçüler ile ağ dengelemesi yapılmakta, istatistik analizlerle kaba hatalar ayıklanmakta, sistematik etkiler daha iyi modellenmekte, böylece yüksek doğruluklu ve güvenilir koordinatlar elde edilmektedir. Jeodezik Ağların bu üstünlüğü zaman içerisinde GNSS gözlemlerine de yansıtılmıştır. Klasik RTK tekniğinin zayıf taraflarını, ortadan kaldırmak ve bu tekniğin daha güvenilir ve doğru sonuçlar vermesini sağlamak için çok sayıda referans istasyonu kurulması düşüncesi ortaya çıkmıştır. Böylece gezen alıcının etrafındaki referans istasyonlarından gelen veriler kullanılarak yörünge hatası, atmosferik etkiler gibi hataların modellenmesi olanaklı hale gelmiştir [2].

Böylece tek bir referans istasyonuna olan bağımlılık ortadan kalmış, çok sayıda referans istasyonu kavramı gelişmiştir [10].

Gerçek zamanlı kinematik GNSS (RTK GNSS) yönteminde elde edilecek doğruluğu, sabit istasyondan uzaklığa bağlı olarak artan sistematik hatalardan kaynaklanan etkiler sınırlamaktadır.

Bu sınırlamalardan kaçınmak için birden çok sayıda istasyon kurulması fikri ortaya atılmıştır. Bu fikrin uygulanması ve elde edilen deneyimlerden yararlanılması sonucunda sabit GPS/GNSS (Global Positioning System/Global Navigation Satellite System) Ağları (Ağ-RTK;Net-RTK) kavramı ortaya çıkmıştır [10].

Ağ RTK sisteminde tek bir referans istasyonuna olan bağımlılık ortadan kalkması, çok sayıda referans istasyonuna ait verilerden yararlanarak belirli bir bölgeye ait atmosferik modelleme yapılması olanağını da sağlanmıştır. Bu modelleme sonucunda ise GPS/GNSS ölçülerini etkileyen en önemli hata kaynaklarından birisi olan iyonosfer ve troposfer hataları, konum belirleme uygulamaları için en düşük seviyeye indirilmiş olmaktadır.

Günümüzde gerçek zamanlı uygulamalar (kadastro ölçmeleri, makine kontrol sistemleri, araç takip ve navigasyon, tarım vb.) bu ağların aktif olmasını zorunlu hale getirmiştir. Aktif GPS/GNSS ağlarında verilerin arşivlenmesi ve hesaplanmasının ayrıca, çeşitli uygulama alanlarında konum düzeltme bilgileri de kullanıcılara gerçek zamanlı olarak herhangi bir iletişim vasıtasıyla yayınlanmaktadır. Bu şekildeki aktif ağlara Gerçek Zamanlı GNSS (RTK CORS; Real Time Kinematic Continously Operating Reference Stations) Ağları denilmektedir. Ağ-RTK tekniğinin günümüzde en fazla uygulanan şekli sabit GNSS (CORS) Ağlarıdır. Ülke jeodezik ağları, sürekli ve gerçek zamanlı gözlem yapan sabit GNSS ağlarından (CORS) oluşmaktadır.

Sabit GNSS ağları, yüksek doğruluklu, çok amaçlı (jeodezi, jeofizik, jeodinamik, ölçme, navigasyon, CBS, meteoroloji vb.) aktif ve gerçek zamanlı (anlık) , uluslararası sistemler ve standartlarla IGS (International GPS Service for Geodynamics), IERS(International Earth Rotation Service),ITRF (International Terrestrial Reference Frame) uyumlu bir ağ olarak hizmet vermektedir [2].

4.2.1 Ağ RTK Verisi Hesap Ve Aktarma Yöntemleri

CORS kontrol merkezinde hesaplanan tüm bilgilerin gezen alıcılara gerçek zamanlı ve sorunsuz olarak yayınlanması gerekmektedir. Bu amaçla kurulan ağların bir bölümü ağda kullanılan alıcı modelinin veri aktarma formatı ile kendisini kısıtlamaktadır. Çünkü bu format ve yöntemler genelde donanıma ve yazılıma bağlı olmaktadır. Bu yüzden iki yönlü iletişim tesis edilmelidir.

Yani, merkezde yapılan hesaplama yöntemleri ile yayınlanan düzeltmelerin içeriğinin kullanıcılar tarafından bilinmesi, kurulan sistemden etkin yararlanmanın temel şartını oluşturmaktadır. RTK ağ uygulamalarında kullanıcılara düzeltme gönderilmesinde kullanılan yöntemler, gözlem uzayının modellenmesini sağlamaktadır. Gözlem uzayının modellenmesini sağlayan ve CORS kapsamında kullanılan veri aktarma yöntemleri üç ana başlık altında incelenecek olursa [2] ;

4.2.1.1 Ana-Yardımcı Referans İstasyonları Yöntemi (MAC)

Gerçek zamanlı GNSS uygulamalarında veri aktarma yöntemlerinin başarısı, ağ hesap ve kontrol merkezinde hazırlanan tüm bilgilerin eksiksiz ve sorunsuz olarak arazide ölçü yapan tüm gezen alıcılara en kısa sürede aktarılmasıdır. Ancak geçmişte kurulmuş olan bazı ağ yapılarında firmalara ait yazılımlar kullanılmış ve GNSS gezen alıcıların çoğu yazılım formatlarının farklı olmasından dolayı ağ hizmetleri istenen hedefe ulaşılamamıştır. Alıcı markalarının ve veri aktarım formatlarının farklı olması nedeniyle yaşınılan sorunlar, aynı RTCM ve RINEX benzeri uluslararası ve firmalar bir standartın oluşturulmasını zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda 104 numaralı RTCM Özel Komisyonu (RTCM SC-104) ağ prensipli RTK çalışma grubu, ağ yapısındaki referans istasyonları ile arazide ölçü yapan gezen alıcılar arasında veri iletişiminde geleceğin standartını belirlemek amacıyla oluşturulmuştur. Bu grup tarafından uygun bulunan MAC yöntemi, "RTCM V3.1 Ağ Mesajları" formatının temelini oluşturmaktadır. Bu yöntem ağ düzeltmelerinin yayınlanması konusunda son kullanıcıya önemli katkılar getirmekte olup, bu alanda ilk uluslararası standarttır.

MAC yönteminin temel prensibi; GNSS ağına ve gözlemlere ilişkin azami hata bilgisinin paket halinde gezen alıcılara gönderilmesidir. Böylece ağa ilişkin ne kadar çok bilgi gelirse gezen alıcının kendi konumunu doğru olarak belirleme olasılığı o kadar artacaktır. MAC yönteminde, bir merkez referans istasyonu (master) ve onun "RTCM V3.1 Mesaj 1004 " formatında tüm ham ölçü verileri ile diğer (auxiliary, yardımcı) referans istasyonlarının azaltılmış verileri birlikte kullanılmaktadır [2].

MAC tekniğinde ana istasyonun gezen alıcılara en yakın olması gerekmemektedir. Önemli olan aynı uydulara gözlem yapılmış olmasıdır.

Çünkü ana istasyonun düzeltmelerinin hesaplanmasında özel bir görevi olmayıp, esas olarak düzeltmelerin yayınlanmasında rolü vardır [23].

MAC prensibinde referans istasyonları ile uydular arasındaki faz uzaklıkları ortak bir belirsizlik seviyesine getirilmektedir. Burada, tüm referans istasyonlarında kaydedilen faz gözlemleri arasında ikili faz farkları oluşturularak tamsayı bilinmeyenleri elimine edilmektedir. Böylece ağ modellemesinde faz bilinmeyenlerin çözümü minimum seviyeye düşürülerek, geriye kalan iyonosfer, troposfer ve uydu yörünge hataları yüksek doğrulukta modellendirilmektedir.

Ağ yapısında modellendirmede ortaya çıkan büyük hacimli verileri aktarmaktan kaçınmak için;

1.Ana istasyona ait tüm düzeltme ve kontrol bilgileri yayınlanmakta,

2.Ağın diğer referans istasyonları (yardımcı, auxiliary) için yalnızca düzeltme ve koordinat farkları yayınlanmaktadır.

3.Ana istasyon ile ağın diğer referans istasyonları arasında hesaplanan bu farklar (düzeltme ve koordinat farkları) küçük boyutlu olup, mesaj içerisinde fazla yer tutmamaktadır.

4.Yayınlanan bu düzeltme farkları, gezen alıcılar tarafından bulunulan nokta için enterpole yapılmasına ya da

5.Ağdaki tüm referans istasyonlarına ait mutlak düzeltmelerin tekrar oluşturulmasına yaramaktadır. Böylece, gezen alıcının konum hesabı için hiçbir veri kaybı olmaksızın yalnızca tek yönlü veri aktarma hattı kullanılarak en uygun çözüm elde edilmektedir.

6.Ayrıca verilerin yayınlanması için gerekli bant genişliği de, düzeltmeleri yayılan (dispersive) ve yayılmayan (non-dispersive) şeklinde ikiye ayırarak en aza indirilmektedir. Burada yayılan ile hızlı değişim gösteren (iyonosfer) ve yayılmayan ile zaman içerisinde yavaş değişim gösteren (troposfer, yörünge) ifade edilmektedir.

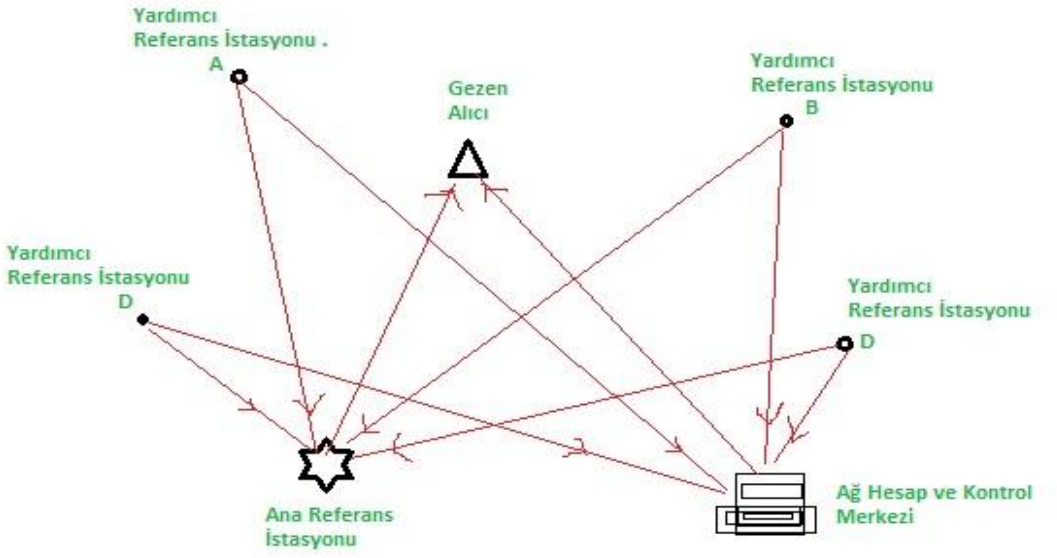
7.Yayılan (iyonosferik) düzeltme zamanla hızlı değişim gösterdiği ve frekans bağımlı olduğu için, tüm frekanslardaki (L1, L2, L5) düzeltmeler tam olarak ve sık aralıklarla yayınlanır. Türkiye'nin de aralarında bulunduğu orta enlemlerde diferansiyel iyonosferik değişim saniyede birkaç mm.'dir.

8.Oysa troposfer ve uydu yörünge düzeltmeleri, zaman içinde yavaş değişim gösterdiğinden daha seyrek aralıklarla yayınlanır. Bu nedenle, iyonosferik düzeltmelerin 2-10 sn sıklıkla, troposferik düzeltmelerin ise 10-30 sn.'de bir yayınlanması yeterlidir.

Sonuç olarak, atmosferik düzeltmelerin 2 sn ile 10 sn arasında bir güncelleme hızı ile yayınlanması gezen alıcı konumunun hesaplanmasında önemli bir doğruluk kaybına neden olmayacaktır. Herhangi bir nedenle ana istasyondan veri alınamaması durumunda yardımcı istasyon veya yardımcı referans istasyonlarından birisi bu görevi üstlenirler. MAC yönteminde tüm hata kaynaklarına ilişkin düzeltmeler, gezen alıcılara aktarılmaktadır.

Bunun sonucunda ise,

- Sistem bütünlüğü sağlanmakta,
- Uydulara kilitlenme ve ölçüye başlama süresi azalmakta,
- Faz belirsizliği çözümleri daha doğru ve hızlı olmakta,
- Böylece konum belirleme doğruluğu artmaktadır.



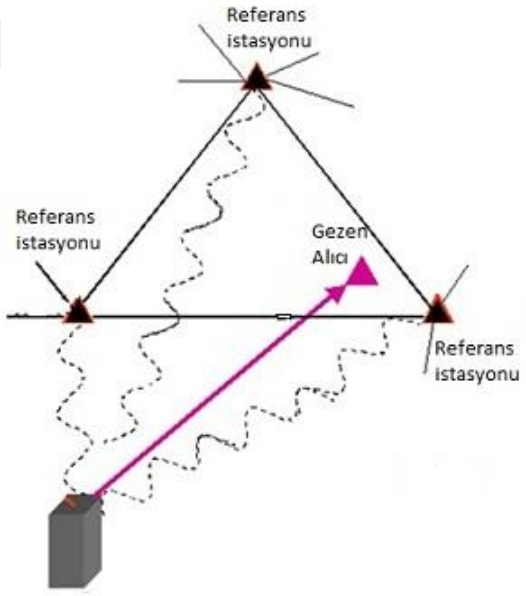
Şekil 4.3 Ana-Yardımcı Referans İstasyonları Yöntemi (MAC) [2].

4.2.1.2 Alan Düzeltme Parametreleri Yöntemi (FKP)

FKP (Flachen Korrektur Parameter) yöntemi Alman SAPOS (SAtellite POSitioning) tarafından geliştirilmiştir. Temel prensibi VRS ile benzer olup, farklı olarak gezici alıcının koordinatlarının bilinmesi zorunluluğu yoktur. Burada düzeltmeler, gezen alıcının enterpole etmesine imkân tanıyan gradyen (değişim, açısal) yöntemine göre oluşturulmaktadır. Bu durum, RTCM formatında (mesaj-59) lineer iyonosfer parametreleri ve geometrik düzeltmeleri kapsamaktadır. FKP parametreleri referans istasyonlarının çevrelediği geniş bir alan için yayınlanmaktadır.

Referans istasyonu verileri ana sistemde toplanır ve analiz edilir.

Hesap merkezinden gezici alıcıya tek yönlü bir iletişim vardır. Yayınlanan veriler iyonosferik etki olmak üzere, referans istasyonlarına ait gözlemleri kapsamaktadır. Gezen alıcı bu parametreler yardımıyla (hızlıca) başlangıç tam sayı belirsizliğini çözer, referans gözlemleri ile klasik gerçek zamanlı kinematik gerçekleştirir. Çok yüksek boyutlarda veri transferi gerekir [2].

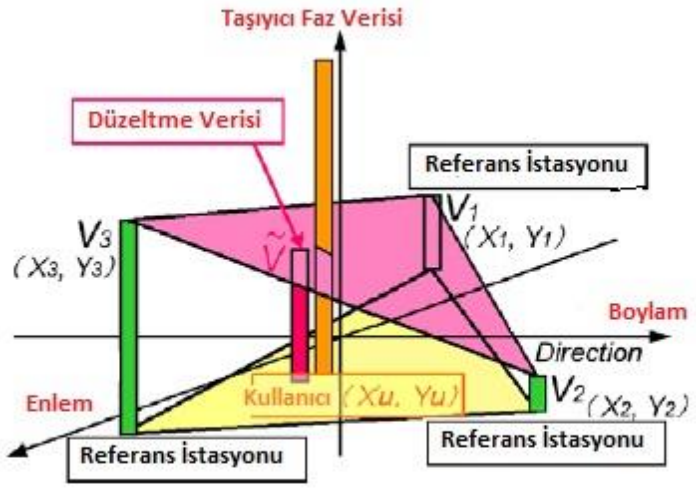


Şekil 4.4 FKP Yöntemi, [15].

Şekil 4.4'de 3 adet referans istasyonundan taşıyıcı faz verisi veri merkezine gönderilmektedir.

Lineer Kombinasyon Model yöntemini kullanarak veri dönüştürüldükten sonra, alan düzeltme parametreleri (FKP), RTCM++ verisi ve FKP veri iletişim hattı aracılığıyla kullanıcı istasyonuna iletilmektedir.

Ana referans istasyonu, referans istasyon verisinden taşıyıcı faz ham verisinin kullanımı anlamına gelmektedir. FKP sistemi ana referans istasyonu ile başka referans istasyonları arasında tek faz değişkeni kullanmaktadır. RTCM Tip-59 FKP verisinden yakınlardaki kullanıcı istasyonuna en son düzeltme verisini dönüştürmek için, bir kullanıcı istasyonun yaklaşık konumu gerekmektedir.



Şekil 4.5 FKP Çalışma Prensibi ,[17]

Düzeltme verisi alan FKP 'yi oluşturmak için kavramsal diyagram kavramı ile açıklanmıştır. Kavramsal diyagram 2 boyutlu terimleri açıklamaktadır. Referans istasyonu K (Xk, Yk)'dan taşıyıcı dalga faz verisi (Vk) lineer kombinasyon uygulayarak ağ dengelemektedir. Eğer kullanıcı istasyon (Xu, Yu) yakınlarında referans istasyonu kurulmuş ise taşıyıcı faz verisi (V) düzeltme verisi oluşturabilmek için ölçülmelidir. Veri merkezi tek faz fark hesaplama sürecinin vektör merkezi olarak seçilmiş GPS referans istasyonunu almakta ve gözlenmiş 3 ya da daha fazla referans istasyonunda taşıyıcı dalga faz verisinden FKP hesaplanmaktadır. Sonra, bu veri ana GPS referans istasyonunun koordinatları ve ana GPS referans istasyonunun taşıyıcı faz ham verisi kullanıcılara iletilmekte ve kullanıcı tarafı için V düzeltmesi hesaplanmaktadır.

Kullanıcı referans istasyon ağındaki her yerden RTK GPS konumlama uygulamak için FKP kullanabilmektedir.

Birkaç referans istasyon tüm gözlemlenen GPS uydularından eşzamanlı olarak radyo dalgaları alabilmektedir, böylece geniş bir alan üzerindeki iyonosfer etkisini düzeltmek mümkün olabilmektedir. Sonuç olarak, referans istasyon ağı tarafından etrafta yer alan çok büyük genişlikleri alan üzerinde RTK GPS tabanlı taşıyıcı dalga faz ölçümleri kullanarak fix konumlandırma mümkün olmaktadır.

Genellikle, her bir referans istasyonuna bağlı olarak, her bir taşıyıcı faz hatası iyonosfer ve troposfer yüzünden aynı nitelikte değildir. Böylece değişen ana GPS referans istasyonu konumlandırma sonuçlarında bir etkiye sahip olmaktadır [17].

4.2.1.3 Sanal Referans İstayonu Yöntemi (VRS/VBS)

Sanal referans istasyonu (VRS) tekniği, Sanal Baz İstasyonu (VBS) olarak da bilinmekte olup GNSS ölçülerinde uzun süredir kullanılan bir kavramdır [2].

VRS, lineer enterpolasyon yöntemi kullanan Trimble Terrasat tarafından geliştirilen bir Ağ-RTK / CORS yaklaşımıdır [14].

Ağ RTK konumlamasının bağımlı geometrisi ve konumu nedeniyle RTK Ağlarının performansı genel olarak ülkede ya da bölgesel ölçekte test edilmektedir [16].

VRS yönteminde prensip, üzerine alet kurulmamış hayali bir istasyon olup, gezen alıcıdan yalnızca birkaç metre uzaklıktadır. VRS noktasına ilişkin gözlem verileri, çevredeki referans istasyonlarının verilerinden yararlanılarak ve sanki VRS noktasında alet kurularak gözlem yapılmış gibi oluşturulmaktadır [2].

Sistem arazide çalışan her bir gezici için çift yönlü haberleşme sonucu, en yakındaki tek bir referans istasyonu yerine, tüm ağdan hesaplanan her tür atmosferik ve yörünge etki ve hatalarından arındırılmış, gezici yakınında sanal bir referans istasyonu oluşturur ve o gezici bu sanal istasyondan düzeltme alır. Bu yöntem ile 10 km'den sonra oluşan hassasiyet azalması ile uzun başlangıç süresi problemleri çözüldüğü için, referans istasyonları arasında mesafe 80km- 100 km'ye kadar çıkabilmektedir. VRS sisteminde merkezde tüm iyonosferik, troposferik ve yörüngesel hatalar modellenerek, bu etkiler minimuma indirgenir.

Türkiye'de halen RTK yönetmeliklerinde Ağ RTK yöntemi için tanımlı bir teknik olmadığından ve genel olarak RTK çalışmalarında baz gezici mesafesi 5 km olduğundan, VRS yönteminde oluşan sanal baz istasyonu ile gezici arasındaki mesafe mevcut yönetmeliklere uygun olabilmesi için merkezde 5 km ile sınırlandırılmıştır. Yani; gezici ilk sisteme bağlandığında, bulunduğu konumda bir sanal referans istasyonu (VRS) oluşmakta ve gezici bu konumdan 5 km uzaklaşana kadar bu istasyondan düzeltme almaktadır. Gezici bu mesafeyi aşarsa sistem ona yeni bir sanal istasyon oluşturmaktadır. Bu sistem otomatik olduğundan, arazideki kullanıcıyı etkilememekte, sadece ona yeni bir istasyon oluştuğu bilgisi gelmektedir [12].

Tüm referans alıcı ağlarının verileri ilişkilendirilerek, hata kaynağının kesin modelleri oluşturulmaktadır. VRS yaklaşımında sanal referans istasyonu farklı fazlarda belirtilmektedir. Aşağıdaki prosedürler uygulanmaktadır.

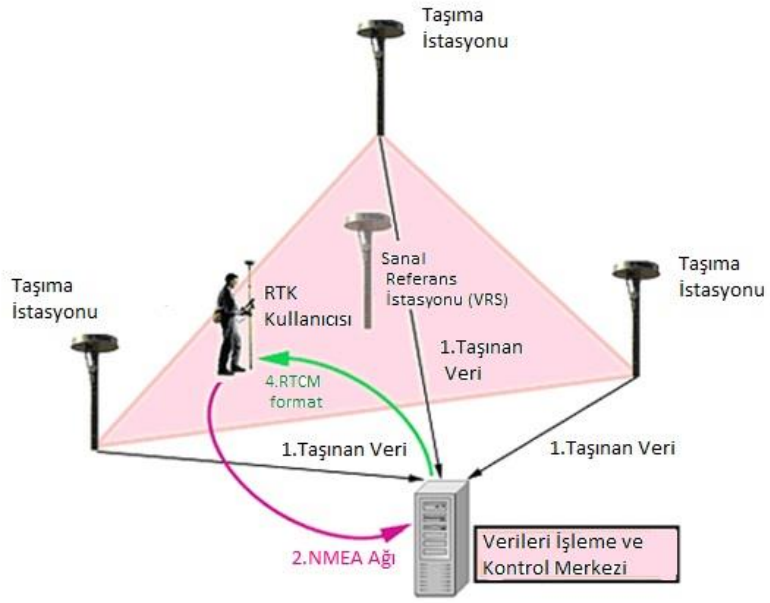
1.Gerçek zamanlı konumlama modunda yerel alıcı başlatıldıktan sonra kullanıcı mobil telefon aracılığıyla veri iletişim yeteneği için sanal referans istasyon ağ hizmetine dönüşmektedir.

2.İletişim başarılı bir şekilde sağlandıktan sonra, kullanıcı alıcı konumunu Hesaplama Merkez Birimine (NMEA) göndermektedir.

3.Yaklaşık konum tahmini alındıktan sonra, Kontrol Hesaplama Merkezi yaklaşık yeni kullanıcı konumunu sanal referans istasyonu için koordinat oluşturmaktadır. Sonra sanal referans istasyon koordinatlarına ilişkin RTK konumu için taşıyıcı faz ve kod düzeltmeleri gönderilmektedir.

4.VRS konumu için oluşturulan referans verisinin devamlı veri çıkışı RTCM kullanıcı alıcıya gönderilmektedir.

5.Bu noktada, GNSS alıcısı sabitleme prosedürüne başlamakta ve ölçme klasik RTK ile devam etmektedir [14].



Şekil 4.6 VRS Yöntemi [15].

Ağ içindeki bir geziciyi kullanan bir haritacı GPRS teknolojisi sayesinde bir kullanıcı adı ve şifresi ile merkez birime (birkaç saniyeden fazla bir dakikadan az zaman içerisinde) bağlanmaktadır. Çabuk bir başlangıç bağlantısı; gezici yakınlarında sanal bir referans istasyonu oluşturarak; klasik RTK uygulamalarına benzer referans istasyonu yakınlarındaki noktaları toplamaktadır. Referans istasyon ağ teknolojisinin yararları çoktur. En önemli yararı donanım maliyetinde önemli bir azalmadır. Radyo iletişim ve baz istasyonuna olan ihtiyacı yok etmek/azaltmak çok önemlidir. Üstelik anlık yayınlanmış olan alan içindeki proje bölgesinde noktaları kurmak için gerekebilecek çaba ayrıca azaltılabilmektedir.

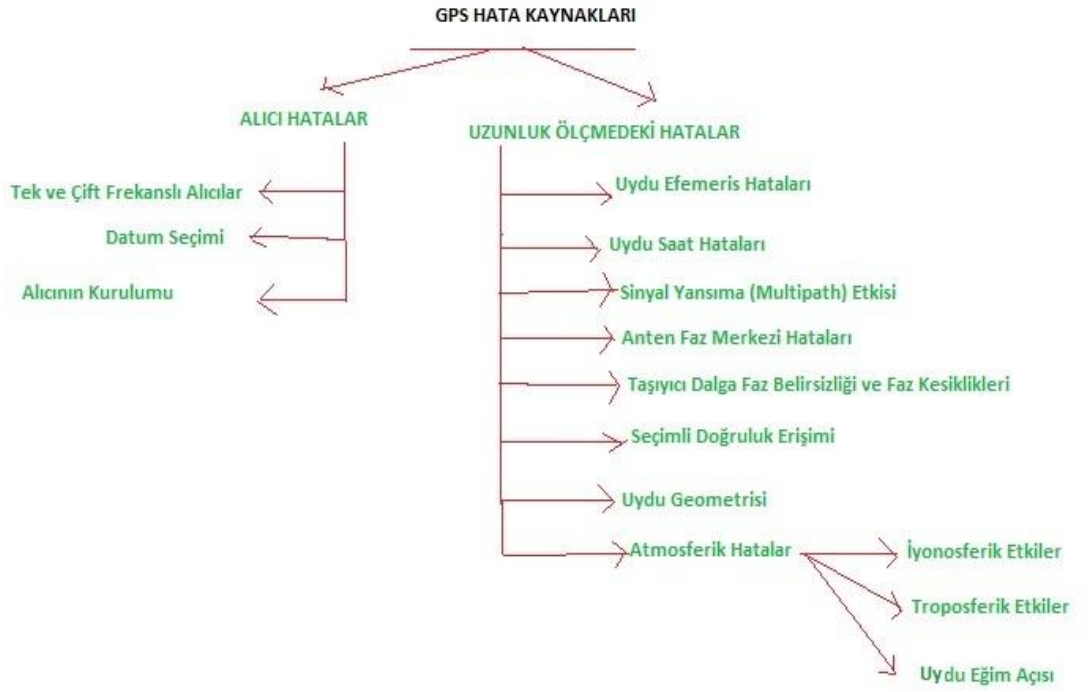
Ayrıca baz istasyonu üzerinde izlemek için verilen personel ihtiyacını kaldırarak proje için gerekli çaba yarıya kadar düşmektedir [16].

4.3 Ağ-RTK da ki Hata Kaynakları

Klasik RTK, yüksek hassasiyetteki GPS konumlama ve navigasyon için önemli sınırlamalarda sıkıntı yaşamaktadır. Sistematik hatalar; çözümlerin doğruluğunu azalttığı için kullanıcı istasyonu bir referans istasyonunun çevresinde olmalıdır. Ağ tabanlı RTK yaklaşımı GPS sinyali ile bölgesel atmosferik etkilerin haritasını çizmek için çoklu referans istasyonları kullanmaktadır. Genellikle, böyle hata kaynakları çalışılan bölgeye bağlı olarak, bölgeye bağlı hatalar ve bölgeye bağlı olmayan hatalar olmak

üzere ikiye ayrılmaktadır. İlk kategori uydu yörünge hataları, iyonosfer ve troposferi gecikmelerini içermektedir. İkinci kategori ise anten faz merkez yansıması, çift taraflı alıcı saat hataları, alıcı ses ve multipath (yansıma) hatalarını kapsamaktadır.

Günümüzde en etkili hata kaynağı olarak, belirsizlik çözüm performansını etkileyen iyonosferik hatadır. Bu sapmalar, iki farklı yaklaşım olan farklılaştırılmış ve farklılaştırılmamış yaklaşım olarak hesaplanabilmektedir. Farklılaştırılmış yaklaşım hem L1 hem de L2 frekansları ile kod ve faz gözlemlerinde çift taraflı farklı bileşenler kullanılmaktadır. Farklılaştırılmamış yaklaşım ise gerçek zamanda sapmaların hesaplanması için hassas fizik modelleri kullanılmaktadır [14].

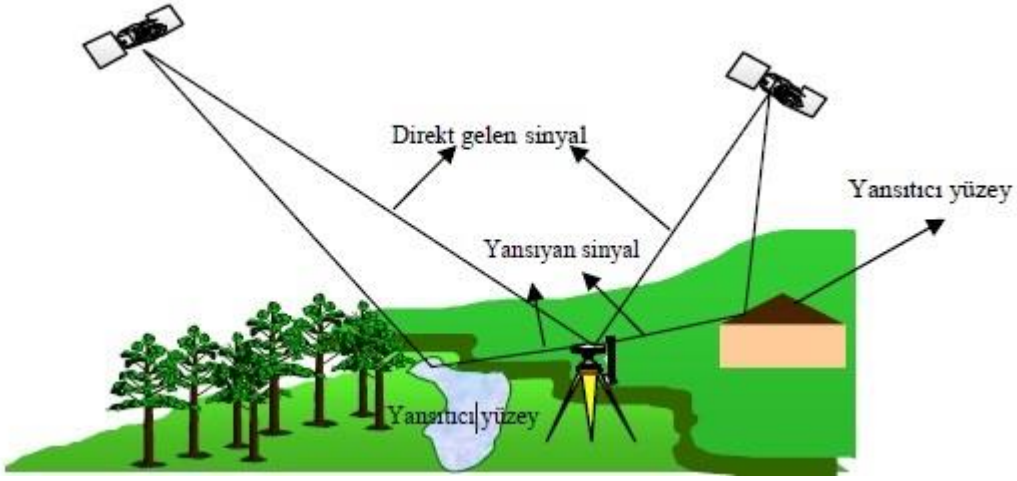


Şekil 4.7 GPS Hata Kaynakları , [19].

4.3.1 Sinyal Yansıma (Multipath) Etkisi

GPS sinyallerinin alıcıya iki ya da daha fazla yol izleyerek ulaşmasıyla sonuçlanan bir yansıma etkisi olan multipath, GPS ile konum belirlemede en önemli hata kaynaklarından biridir. GPS alıcıları ile birlikte kullanılan antenlerin tamamı tüm yönlerden gelen uydu sinyallerini eşzamanlı alabilme (omni-directional) özelliğine sahiptir. Antenin kurulduğu arazi yapısına ve sinyal yükseklik açısına (cut-off angle; elevation angle) bağlı olarak kaydedilen uydu sinyallerinde arzu edilmeyen sinyal

yansımalarının da karışması söz konusudur. Kelime anlamı birden fazla yol olan multipath, uydudan gönderilen sinyallerin alıcıya birden fazla yol izleyerek ulaşmasına denilmektedir. Multipath etkisi, özellikle de büyük yansıtıcı yüzeylerin yakınındaki istasyonlarda yapılan ölçmelerde etkisini hissettirir. Sinyal yansımalarını, uyduların neden olduğu yansımalar (satellite multipath) ve alıcı anteninin çevresindeki yüzeylerin neden olduğu yansımalar (antenna multipath) diye ikiye ayırmak mümkündür. Bunlardan uyduların neden olduğu etkiler, özellikle yerel ağlardaki orta uzunluklu bazlarda (~100-200 km) bazın her iki ucundaki anten için de aynı büyüklüğe sahip olacağından göreli konumlama yöntemi kullanıldığında büyük ölçüde elimine olacaktır[26].



Şekil 4.8 Multipath Etkisi, [26]

4.3.2 Taşıyıcı Faz Belirsizliği ve Faz Kesiklikleri

Taşıyıcı dalga fazı gözlemlerinde temel prensip kod ölçüleri ile aynı olmasına karşın aradaki en önemli fark, kod gözlemlerinde kodun 'chip' uzunluğu ölçülürken; faz ölçülerinde taşıyıcı dalganın dalga boyları (cycles) sayılmaktadır.

GPS alıcısı ölçü anında yalnızca uydu sinyali ile alıcı sinyali arasındaki fazı ölçer. Alıcının açıldığı anda devreye giren bir sayaç, uydu-alıcı fazı 0 ile 2π arasında değiştiğinde +1 veya -1 tamsayı artar veya azalır. Böylece ilk ölçü epokundan itibaren fazdaki tamsayı dalga boyu değişimleri belirlenmiş olur. Bununla birlikte ilk epok (başlangıç anı) için uydu-alıcı arasındaki taşıyıcı dalga fazının kaç tane tam dalga içerdiği bilinmemektedir.

Bu bilinmeyene taşıyıcı dalga faz başlangıcı belirsizliği (Initial Phase Ambuguity) ya da faz belirsizliği adı verilmektedir. Faz belirsizliği genel olarak N ile gösterilmekte olup, GPS alıcıları gözlenen her uyduya hiçbir ölçü eksikliği olmadan gözlemlerini sürdürmelidir. Böylece, gözlemlerde sinyal eksikliği olmadığı sürece N sabit olacaktır.

Diğer taraftan GPS gözlemi devam ederken uydu sinyallerinin alınmasında karşılaşılacak herhangi bir problem nedeniyle meydana gelecek sinyal kesikliklerine; faz kesiklikleri ya da faz kayıklıkları (cycle slips) adı verilmektedir.

Faz kesikliklerinin genel olarak nedenleri;

- Ölçü noktası çevresinde ağaç, bina, köprü, dağ vb. uydu sinyallerinin alıcıya ulaşmasını engelleyen nesneler,
- Kötü iyonosferik şartlar nedeniyle sinyal-gürültü (S/N-CNO) oranının düşük olması,
- Sinyal yansıma etkisi (multipath)
- Alıcı yazılımında (firm-ware) oluşabilecek arızalar şeklinde sayılabilir.

Faz belirsizliği bilinmeyenlerinin çözümü için birçok yöntem mevcut olup bunlar genel olarak;

- Klasik yöntemler (geometrik yöntem, EKK yöntemi vb.)
- P-kod destekli yöntem
- Anten yer değiştirmesi (antenna exchange/swap) yöntemi
- Modern (QIF, FARA, LAMBDA, FASF, OTF vb.) yöntemleridir.

OTF tekniği ile özellikle birkaç saniyelik veri kaydı yapılarak faz belirsizliklerinin çözümü olanaklı hale gelmiştir. OTF tekniği, hareketli platformların (uçak, gemi, araç vb.) 3 boyutlu koordinatlarının anlık (real-time) olarak birkaç cm doğrulukla belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu yöntemde, klasik yöntemlerin aksine alıcıların hepsi hareketli olabilmektedir. Faz belirsizliği çözümüne, kod ölçülerinden elde edilen çözümlerle başlanmaktadır. Bu nedenle kod gözlemlerinin doğruluğu ne kadar iyi ise bilinmeyenlerin çözümü için gereken ölçü süresi de o kadar kısa olmaktadır [7].

4.3.3 Veri Gecikmesi

GPS 'de çiftli farklar tekniği uygulandığında gezici ve referans istasyonundaki dataların zamansal tanımlarıyla, değerlendirilen yazılımın uyumlu olma zorunluluğu vardır. Real Time (Anlık) uygulamalarda datalar referans istasyonundan toplanır, gerekli hesaplamalar yapılır ve bazı gecikmelere uğrayarak gezicilere ulaştırılır. Datalar formatlı olduğu için bir bağlantı üzerinden yayınlanabilir ve kodlu oldukları için de gezici alıcı yazılımlarına rahatlıkla geçiş yapabilir. Tüm bu anlatılan işlemlerin eş zamanlı olarak gerçekleşmesi esastır. Ancak bazı sebeplerden dolayı bu işlemler eş zamanlı olarak yapılamaz. Gecikme nedeniyle oluşan doğruluk kaybını azaltmak için çeşitli teknikler kullanılır. Bu tekniklerden biri, eş zamanlı hale getirme yaklaşım tarzıdır. Burada aynı epoğun verileri geziciye ulaştığı anda zaman etiketlenir ve işlenir. Bunun anlamı belirli bir epoğun koordinatları, verilerin toplanmasından itibaren birkaç saniye içerisinde hesaplanıyor demektir. Bu tekniğin doğruluğu, gecikmeden dolayı azalmaz ve genellikle cm seviyesinde doğruluk sağlanır.

4.3.4 Sinyal Kaybı

Sinyaller verici antenden yayınlandığından dolayı uygun olmayan şartlara göre zayıflamaktadır. Bu serbest uzay kaybı olarak adlandırılmaktadır. Böylelikle tüm sinyal yol kaybı, çeşitli faktörlere bağımlı olmaktadır. Bu faktörler yer refraksiyon özelliklerine, araziye ve binaların konumuna bağlıdır [3].

4.3.5 Uydu Yörünge Hatası

Uydu yörünge bilgisi izleme istasyonlarınca toplanan izleme verilerinden üretilir. Ana kontrol istasyonu izleme verisini işler ve diğer üç izleme istasyonuna göndererek navigasyon mesajının her bir uyduya yüklenmesini bu üç istasyon aracılığıyla sağlar. Aslında tam olarak uydu yörüngesini modellemek imkânsızdır. Bu nedenle ana kontrol istasyonunca hesaplanan uydu yörünge bilgisi uydunun gerçek konumundan farklıdır. İşte bu farka uydu yörünge hatası denir.

Yörünge hatasının noktasal konum belirlemedeki etkisi ise:

Nokta Konum Hatası = PDOP x YH (yörünge hatası) (4.7)

Yörünge hatasının bağıl konum belirlemedeki etkisi ise:

Baz hatası = d (baz uzunluğu)) / 20000 x YH (4.8)

Baz uzunluğu arttıkça yörünge hatasının etkisi de oransal olarak artacaktır.

Yayın efemerisi (broadcast ephemeris) yerine IGS'den elde edilen hassas GPS yörüngeleri (precise ephemeris, SP3 uzantılı dosya) kullanılarak uydu yörünge hatası azaltılabilir [19].

4.3.6 Saat Hatası

GPS hassas zaman ölçülerine bağımlıdır. GPS uyduları rubidyum ve sezyum saatleri taşımakta ve doğrulukları ise 10^{12} ve 10^{13}, alıcı saatleri ise quartz, doğruluğu da 10^{18} değerine sahiptir. Zaman ofseti, uydu saati tarafından kayıt edilen zaman ile alıcı tarafından kayıt edilen zaman arasındaki farktır. Bu zaman farklılığından dolayı kullanıcı tarafından ölçülen uzunlukta hata meydana gelmektedir [3].

4.3.7 İyonosfer Hatası

Sinyalin faz ölçüsü veya kod ölçüsü durumuna göre bu gecikme azalma veya artma olarak karşımıza çıkmaktadır. Atmosferde sinyal ilerlerken, belirli tabakalardan geçer. Bu tabakalardan birisi de iyonosferdir. Sinyal bu tabakadan geçerken değişime uğramaktadır. İyonosferik gecikmenin sebepleri; güneş patlamalarının atmosferdeki gaz modekülleri ile etkileşmesi, atmosferdeki gaz iyonlarının bağımsız elektronlar oluşturması (TEC), bağımsız iyonlar ile GPS sinyallerinin etkileşmesi şeklinde sıralanabilmektedir. İyonosferik gecikmenin sonuçları ise; sinyalin yayılma hızının değişmesi, frekansa bağımlılık, taşıyıcı dalga faz ölçüleri atmosferde ışık hızından daha hızlı ilerlemektedir. Kod ölçüleri ise daha yavaş ilerlemektedir. Bu nedenle kod (P) veya faz (ϕ) ölçüleri için yazılan eşitliklerde iyonosferik etki kod ölçüsünde (+) , faz ölçüsünde (-) işaretlidir.

4.3.8 Troposfer Hatası

Troposfer tabakası yer yüzeyinden itibaren atmosferin 50.km'ye kadar olan tabakadır. Bu tabaka radyo frekanslarını dağıtıcı bir özelliğe sahip değildir.

Bu nedenle troposfer tabakasında radyo dalgalarının yayılması frekansa bağımlı olmayıp faz ve kod uzunluk ölçülerine etkisi aynıdır.

Troposferik gecikme, alıcının ve uydunun yükseklik açısının bir fonksiyonudur. Bu gecikme atmosferik basınç, sıcaklık ve su buharı oranına bağlıdır. Troposferik gecikme alıcının başucu doğrultusunda gelen sinyallerde yaklaşık 2 m kadar, alıcının 10 derecelik yükseklik engel açısında gelen sinyallerde ise 20 m kadar bir gecikmeye sebep olur[19].

4.4 Ağ RTK GPS İle Yapılan Ölçme Uygulamalarının Doğruluk Analizi

GNSS teorisine göre GNSS konumlama hatası 3 kısımda incelenmektedir. Bunlar;

- GPS uyduları ile ilgili: Uydu saat sapmaları, uydu efemeris değerleri
- Yayılma yolu ile ilgili: İyonosferik gecikme, troposferik gecikme ve sinyal yansıması (multipath)
- Alıcılar ile ilgili: Alıcı saat sapmaları ve gürültü

Troposferik gecikme, iyonosferik gecikme ile karşılaştırıdığında oldukça yavaş şekilde değişkenlik gösteren bir yayılma söz konusudur. Geleneksel GNSS ölçümlerinde; bu sapma bir model düzeltmesi uygulayarak elimine edilmektedir. Ancak Ağ RTK da çoklu referans istasyonundan kaynaklanan veriler enterpolasyon algoritmaları kullanarak bu hata düzeltilmektedir. Troposferik gecikme, yükseklik değerinin bulunmasında çok önemli bir etmendir. Ağ RTK tasarımcıları bu etkiyi düşünmektedir.

İyonosferik gecikme, sinyal frekansları ile ilgili bir yayılım gerçekleşmektedir. Çift-farklı iyonosferik düzeltmeler, çift frekanslı GNSS alıcıları kullanmaktadır.

Multipath etkisinde, en iyi uydu görüş alanını belirlemek ve multipath etkisini azaltacak anten türünü seçmek gerekmektedir. [27].

4.4.1 Enterpolasyon Algoritmaları

Her bir referans istasyonu için sapmalar hesaplanıldığında enterpolasyon aracılığıyla kullanıcı konumuna uyumlu hale getirilmektedir. Referans istasyon ağ sapmaları için fonksiyonel model kullanmaktadır. Kullanıcı konumlamaya göre hem farklılaştırılmış hem de farklılaştırılmamış yaklaşımlarda tahmin edilmektedir. Enterpolasyon yapmak için mekânsal olarak ilişkili hatalar L1 ve L2 frekans ya da lineer enterpolasyon için karşılıklı taşıyıcı faz ve pseudorange olabilmektedir. Mesafeye bağlı karşılıklı sapmalar; enterpolasyon yapmak için birkaç enterpolasyon yöntemi önerilmektedir.

Bunlar; lineer kombinasyon modeli (LCM), uzaklık enterpolasyon modeli (DIM), lineer enterpolasyon modeli (LIM), düşük/alçak konum yüzey modeli (LSM) ve en küçük kareler yöntemi (LSC) içermektedir [14].

4.4.1.1 Lineer Kombinasyon Modeli

Göreli konum belirleme teknikleri ve modellemeler hızla gelişmeye başlamıştır. Gerçekte, GPS/GNSS yazılımı hazırlayanlar kod ve faz gözlemlerine getirilmesi gereken düzeltmelerin neler olduğu konusunda, daha başlangıçtan beri bilgi sahibiydiler. Bu düzeltmelerin büyük bölümü metreler mertebesinde olup, GPS ile konum belirlemede öncelikle dikkate alınmalar gerekmekteydi. Diğer taraftan, hesaplamalarda hassas yörünge ve uydu saati bilgileri ile L3 iyonosferden bağımsız lineer kombinasyon kullanıldığında, kod ve faz hesaplamalarında dikkate alınmamış olan baz diğer etkilerin de hesaba katılması gerekliliği zaman içerisinde ortaya çıkmıştır. Başka bir ifadeyle, büyük etkiye sahip sorunlar giderildikçe, hesaplama ve modelleme algoritmalar geliştikçe daha küçük etkiye sahip hata kaynakları dikkate alınmaya ve gözlemlere düzeltme olarak getirilmeye başlanmıştır. Bozucu etkisi kullanım alanına bağlı olarak küçük olan hata kaynaklarının zaman içerisinde dikkate alınmasında ve giderilmesindeki en büyük katkı Uluslararası GNSS Servisi (IGS) yapmıştır [28].

$$P_1 = \rho_r^s + c(dt_r - dt^s) + I_{r,1}^s + T_r^s + c\left(d_{r,1} + d_1^s\right) + \varepsilon_{p,1} \quad (4.9)$$

$$P_2 = \rho_r^s + c(dt_r - dt^s) + I_{r,2}^s + T_r^s + c\left(d_{r,2} + d_2^s\right) + \varepsilon_{p,2} \quad (4.10)$$

$$\varphi_1 = \rho_r^s + c(dt_r - dt^s) - I_{r,1}^s + T_r^s + c\left(\delta_{r,1} + \delta_1^s\right) + \lambda_1 N_1 + \varepsilon_{\varphi,1} \quad (4.11)$$

$$\varphi_2 = \rho_r^s + c(dt_r - dt^s) - I_{r,2}^s + T_r^s + c\left(\delta_{r,2} + \delta_2^s\right) + \lambda_2 N_2 + \varepsilon_{\varphi,2} \quad (4.12)$$

P_1 ve P_2, L1 ve L2 kod ölçümleri; φ_1 ve φ_2, L1 ve L2 faz ölçümleri; ρ_r^s, uydu-alıcı arasındaki mesafe; c, ışık hızı; dt_r ve dt^s, alıcı –uydu saat hataları; $I^s_{r,1}$ ve $I^s_{r,2}$,L1 ve L2 iyonosfer gecikmesi; T_r^s, troposfer gecikmesi; d_r ve d^s,uydu ve alıcı için kod donanım gecikmesi; λ_1 ve λ_2, L1 ve L2 taşıyıcı frekansların dalga boyları; N_1 ve N_2 , L1 ve L2'de tamsayı olmayan faz belirsizlik parametreleri, ε_ρ ve ε_φ gürültü ve multipath etkisi dahil modellenemeyen kod ve faz hataları. Kod ve faz ölçümlerinin geometrik olmayan lineer kombinasyonları alıcı ve uydu saat hatalarını, troposferik gecikme hatalarını elimine etmek için kullanılmaktadır [29].

4.4.1.2 Lineer Enterpolasyon Modeli

Bu yöntem kullanıcı çevresindeki refarans istasyonlarından iyonosfer hataları, troposfer hataları ve yörünge hatalarını modellemek için kullanılmaktadır.

Ana referans istasyonundan sanal referans istasyonuna olan düzeltmeler aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$V_{u,n} = (\Delta X_{u,n} \quad \Delta Y_{u,n}) \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} \tag{4.13}$$

$\Delta X_{u.n}$, $\Delta Y_{u.n}$ sanal referans istasyonu ile ana referans istasyonu arasındaki koordinat farkıdır. VRS konumlama işleminin gerçekleşmesi için α ve b parametrelerin bilinmesi gereklidir. Bu yüzden aşağıdaki enterpolasyon modeli gibi tanımlanabilir:

$$\begin{pmatrix} V_{1,n} \\ V_{2,n} \\ \vdots \\ V_{n-1,n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta X_{1,n} & \Delta Y_{1,n} \\ \Delta X_{2,n} & \Delta Y_{2,n} \\ \vdots & \vdots \\ \Delta X_{n-1,n} & \Delta Y_{n-1,n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} \tag{4.14}$$

$\Delta X_{i,n}$ 、 $\Delta Y_{i,n}$ sanal referans istasyonu i ile ana referans istasyonu n arasındaki koordinat farkıdır. Referans istasyonun sayısı 3 veya daha fazla olursa α ve b parametreleri en küçük kareler dengeleme yöntemiyle çözümlenmektedir.

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = (A^T A)^{-1} A^T V \,, \tag{4.15}$$

$$A = \begin{pmatrix} \Delta X_{1,n} & \Delta Y_{1,n} \\ \Delta X_{2,n} & \Delta Y_{2,n} \\ \vdots & \vdots \\ \Delta X_{n-1,n} & \Delta Y_{n-1,n} \end{pmatrix}, \quad V = \begin{pmatrix} V_{1,n} \\ V_{2,n} \\ \vdots \\ V_{n-1,n} \end{pmatrix}. \tag{4.16}$$

Düzeltmeler eşitlikten bulunur [27].

4.4.1.3 En Küçük Karelerle Belirsizlik Arama Modeli

En küçük karelerle belirsizlik arama yönteminin uygulanabilmesi için yaklaşık konumun bir şekilde (genellikle kod-uzunluk çözümünden) elde edilmesi gerekmektedir. Yöntemin temel ilkelerinden biri, uyduları bir ana ve bir de ikinci gruba ayırmaktır. Ana grup iyi bir DOP'a sahip dört uydudan oluşmakta olup, bunlarla olası belirsizlik kümeleri belirlenir. İkinci grup uydular ise olası belirsizlik kümesindeki aday çözümleri azaltmada kullanılır. Taşıyıcı faz ölçmeleriyle yüksek doğruluklu konum belirlenebilmesi için, belirsizliklerin doğru tamsayı değerlerinin bulunması gerekmektedir. Kısa bazlar, göz önüne alındığında atmosferik ve diğer küçük etkilerin ihmal edilebilmesi mümkün olmakta ve çiftli-fark faz modeli basitleştirilerek şu şekilde yazılabilmektedir:

$$\Delta\Phi = \frac{\rho}{\lambda} + N + bh \tag{4.17}$$

Burada λ ile taşıyıcı sinyalin dalga boyu, bh ile de sistemin birikme hatasını ifade edilmektedir.

Olası çözümler kümesi olarak basitleştirilmiş çiftli-fark modeli için, (4.13) eşitliği ele alınır. Belirsizlikler bilinen kabul edilip eşitliğin sol tarafına alınırsa model şu hale gelir.

$$\lambda\Delta\Phi - N = \rho \tag{4.18}$$

Dört uydu için bu biçimde üç denklem kurulabilir. Eşitliğin sağında bulunan ρ doğrusallaştırılarak ve 3 x 3 'lük katsayılar matrisinin tersi alınarak durak noktasının üç bilinmeyen koordinatı hesaplanabilir. Katsayılar matrisinin tersi değişmeden kalarak eşitliğin solundaki üç belirsizliğin değiştirilmesiyle yeni konuma ilişkin çözümler bulunur. Üç belirsizliğin değişimine bağlı olarak olası çözümler kümesi elde edilir [30].

Tamsayı çözümünün araştırılması işleminin, etkin bir şekilde ve kısa bir sürede yapılabilmesi için araştırma uzayının olabildiğince küresel bir şekle sahip olması gerekir. Bununla birlikte, GPS uygulamalarında belirsizlikler arasında, özellikle GPS gözlem süresi kısa olduğunda yüksek korelasyonlar söz konusu olduğu için araştırma uzayı önemli ölçüde uzayabilmektedir.

Güçlü ve modern bir belirsizlik kestirim yöntemi olan LAMBDA yönteminin uygulanması iki aşamadan oluşmaktadır: (1) orijinal kesirli belirsizliklerin bağlantısızlaştırılması ve (2) ardışık koşullu en küçük kareler algoritmasına dayalı tamsayı çözüm araştırması LAMBDA yönteminin etkinliği bağlantısı işlemi ile açıklanabilmektedir. Kısa bir gözlem süresi kullanıldığı zaman, kesirli çözüm sonunda elde edilen belirsizlikler son derece korelasyonlu olmakta ve varyansları oldukça büyük olmaktadır. Bağlantısızlaştırma işlemi sayesinde belirsizlik araştırma elipsoidinin şekli ikinci aşamada yapılacak olan araştırma işlemi için olabildiğince en uygun hale getirilmektedir. Böylece dönüştürülmüş belirsizlikler, arasındaki korelasyonlar büyük ölçüde azaltılmış olmakta ve belirsizliklerin varyansları da önemli ölçüde küçültülmektedir. Bu da tamsayı belirsizliği kestiriminin daha hızlı ve etkin bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır [31].

BÖLÜM 5

ORMANLIK VE YAPILAŞMIŞ ALANDA ELDE EDİLEN VERİLERİN ANALİZİ

Sürekli gözlem yapan referans istasyonlarının CORS (Ağ RTK) VRS ve FKP yöntemleri, Statik ölçü yöntemi ve total station ile yersel ölçümler ormanlık ve yapılaşmış alanda yapılarak bu uygulamaların doğrulukları analiz edilmiş ve değerlendirme yapılmıştır. Çalışma alanı; Kayseri ili Kocasinan ilçesi Mimarsinan Mahallesinde hem bitişik nizam şeklinde yapılaşmış alan hem de yaklaşık 2,5 km uzunluğunda ve 150-200 m genişliğinde ağaçlandırılmış alan seçilerek bu bölge de ölçümler yapılmış ve analiz sonuçları değerlendirilmiştir.



Şekil 5.1 Çalışma Alanı

5.1 CORS-VRS ve CORS-FKP Ölçümleri

Çalışma alanındaki ormanlık alan 2 ila 3 m sıklıkta ve 5 m ‘den fazla yükseklikte iğne yapraklı çam ağaçları ve toprak üzerinde çimlerden ve 1,5-2 m genişliğinde yürüyüş yollarından oluşmaktadır. Yapılaşmış alan ise 7- 8 katlı bitişik nizam şeklinde binalardan oluşmaktadır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Çalışma Alanına Ait Görüntüler

Şekil 5.1’deki çalışma alanında 6 nokta belirlenmiştir. Bu noktalardan P1 ve P2 noktaları ağaçlık alanın yoğun olduğu bölgelerde, P3 noktası ağaçlık alanın az olduğu bölgede, P4 noktası yapılaşmış alan ile ormanlık alandan belli uzaklıktaki bir bölgede, P5 ve P6 noktaları ise yapılaşmış alanın olduğu bina köşelerinde bulunmaktadır. Ayrıca bu noktaların bazıları birbirlerini görmektedir.



Şekil 5.3 Ağaçlık Alanların Yoğun Olduğu Bölgelerdeki Noktalar



Şekil 5.4 Ağaçların Az Olduğu ve Yapılaşmış Alandan Biraz Uzaklıktaki Bölgelerde Bulunan Noktalar



Şekil 5.5 Bina Köşelerindeki Noktalar

GNSS'in çalışma prensibinde genel olarak açık alanda ölçümlerin yapılmasının tercih edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Fakat çalışma bölgelerinde bu şartların yerine getirilme zorunluluğu oldukça zorlayıcıdır. Bu yüzden ağaçlık bölgelerde ve bina çatı altlarında, bina köşelerinde şebeke sinyal iletimi sorunu yaşanmakta; sinyaller ağaç gövdesinden, toprak üzerindeki çimlerden, bina çatılarından, bina duvarlarından, bina pencerelerinden ve çevresel etkilerden dolayı sinyallerin yansıma hatası (multipath) oluşmaktadır. Ağaç altında ve bina köşelerinde de yansıyan sinyallerden dolayı sinyal zayıflaması artmakta, böylece PDOP (hassasiyet dağılımı) değeri artmakta ve bu durumda konum hassasiyetinin kötüleşmesine neden olmaktadır.

Ormanlık alan azaldıkça elde edilen konumda doğruluk iyileşmiş ve taban alanı ile ağaçların sayısı istenilen konum doğruluğu için önemli derecede ilişkili olduğu anlaşılmıştır [22]. Ağaç yapraklarından, ağaç gövdelerinden, ağaç gölgelerinden, toprak üzerindeki çimlerden, binalardan ve çevresel etkilerden uydu sinyallerinin engellendiği ve radyo sinyallerinin gücünde azalma meydana gelmesi sonucu ise CORS-VRS ve CORS-FKP ölçümlerinin doğruluk ve hassasiyetlerini kötüleştirdiği düşünülmektedir.

Çalışma alanının, Kayseri ilindeki CORS istasyonuna (KAYS) olan uzaklığı ise yaklaşık 3,5 km'dir. TUSAGA-Aktif istasyonlarının ITRF 1996 2005.0 sistemindeki güncel Kayseri iline ait koordinatları ve bu koordinatlara karşılık Coğrafi UTM Koordinat dönüşümü yaparak

Kayseri için 36 derece dilim orta meridyeni (DOM) ve 3 derecelik dilim için koordinat değerleri aşağıdaki Çizelge 5.1 de verilmiştir.

NOKTA	Coğrafi Koordinatlar			UTM Koordinatlar (3°)		
	Enlem (° ' ")	Boylam (° ' ")	Elipsoidal Yükseklik	Sağa Değer (m)	Yukarı Değer (m)	Elipsaidal Yükseklik (m)
KAYS	384230.139520	353128.059161	1138.776	458637.086	4286236.927	1138.776

Çizelge 5.1 Kayseri iline ait Koordinat Değerleri

NN	Yukarı Değer (m)	Sağa Değer (m)	Elipsoidal Yükseklik (m)
P1	4289534.411	457262.249	1088.64
P2	4289511.81	457270.022	1088.642
P3	4289500.024	457274.061	1088.926
P4	4289482.931	457254.764	1088.979
P5	4289467.544	457270.289	1088.859
P6	4289483.913	457313.424	1088.712

Çizelge 5.2 Oluşturulan Noktaların Statik Ölçüm Değerleri

Bu noktalardaki CORS ve statik ölçümleri, GNSS (GPS+GLONASS+GALILEO) uydularını görme özelliğine sahip olan Ashtech ProMark 800 GNSS Alıcısı ve Spectra Precision ProMark 120 Kontrol Ünitesi kullanılarak yapılmıştır.

Ashtech ProMark 800 GNSS Alıcısı statik ölçümlerde, (5 mm+0,5 ppm) yatay konum doğruluğu; (10 mm+0,5 ppm) düşey konum doğruluğu kullanım klavuzlarında verilmiştir. Farklı uydu sisteminde bağımsız çözüm üretebilmekte olan bu cihaz özellikle vadi, şehiriçi ve ormanlık sahalarda 3 GPS+2 GLONASS, 2 GPS+3 GLONASS, 5 GLONASS, 2 GPS+ 2 GLONASS+ 2 GALILEO uydular ile çalışabilmektedir. GPS L1 C/A, L1/ L2 P-kod, L2C, L5 dalga boyu taşıyıcılar, GPS L1/L2/L5 tam dalga boyu taşıyıcılar, GLONASS L1 C/A, L2 C/A, L1/L2 tam dalga boyu taşıyıcılar, GALILEO E1 ve E5 taşıyıcılar ve SBAS kod ve taşıyıcılar özelliklerine sahiptir [21]. Ayrıca Z-Blade teknolojisi sayesinde zor koşullarda (yüksek binalar ya da vadiler ve ormanlar) hassas ve hızlı ölçüm yapabilmektedir.

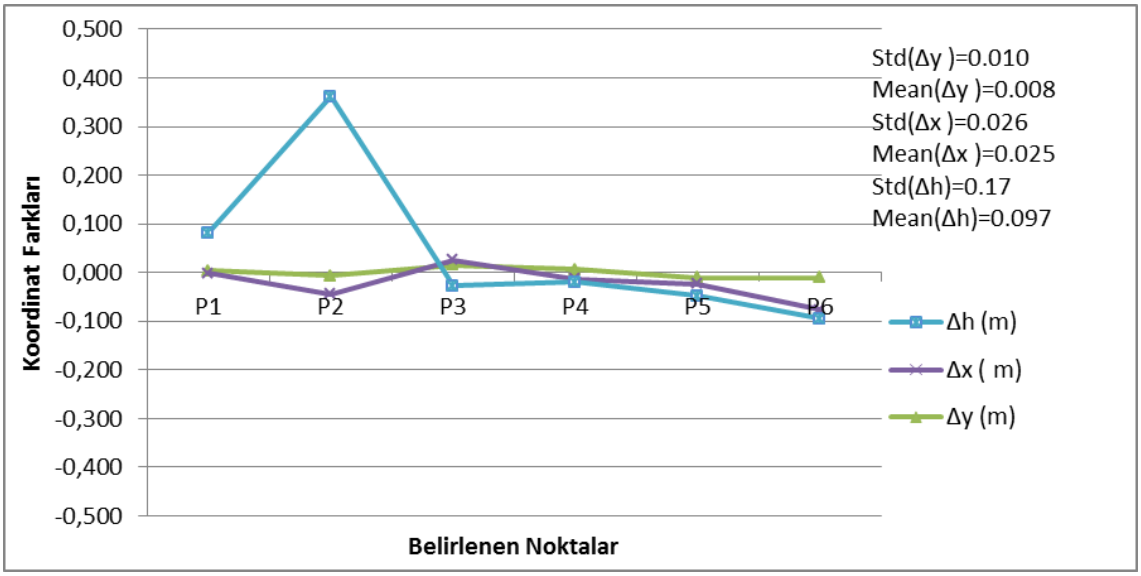
Z-Blade konumlandırma sistemi, GLONASS ve diğer uydu sistemlerini en aktif şekilde kullanarak çözüme ulaşmayı sağlayan bir sistemdir. Yani, alıcının fix olması ve hassas bir ölçüm yapabilmesi için 5 GPS uydusuna zorunlu gözlem olması durumu ortadan kalkmakta ve 5 GLONASS uydusu ile de yeterli hassasiyet durumuna gelerek ölçüm yapabilmektedir. Z-Blade Teknolojisi ile, GLONASS'ta kullanılan frekans bölüşümlü çoklu erişimde bulunan parazitleri otomatik olarak ölçmekte ve yok ederek herhangi bir üreticinin sabit ve referans istasyonu ile çalışmasını sağlamaktadır. Bu durumda zor koşullarda bile hassas ölçüm yapabilecek ve işleri hızlı bir şekilde yapabilmektedir [42].



Şekil 5.6 Ashtech ProMark 800 GNSS Alıcısı Çoklu Uydu Sinyalleri, [21].

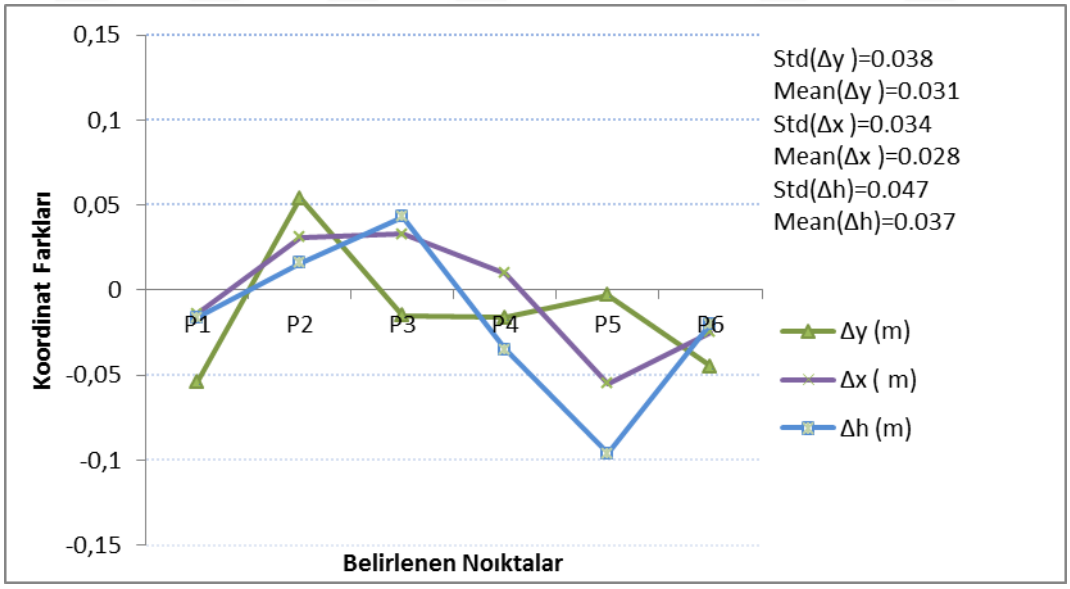
Belirlenen noktalardaki CORS-VRS ve CORS-FKP ölçümleri için 2-3-4 ve 5 Kasım 2017 tarihlerinde ardı ardına ölçümler yapılmıştır. Her iki yöntem için uydu yükseklik açıları 10 derece, gözlem süreleri 10 epok ve 1 saniye kayıt aralığında gerçekleştirilmiştir.

Aşağıda tablolarda CORS-VRS ve CORS-FKP ölçülerine ait 4 gün boyunca yapılan her noktanın Δy, Δx ve Δh değerlerine ait grafikler gösterilmiştir.



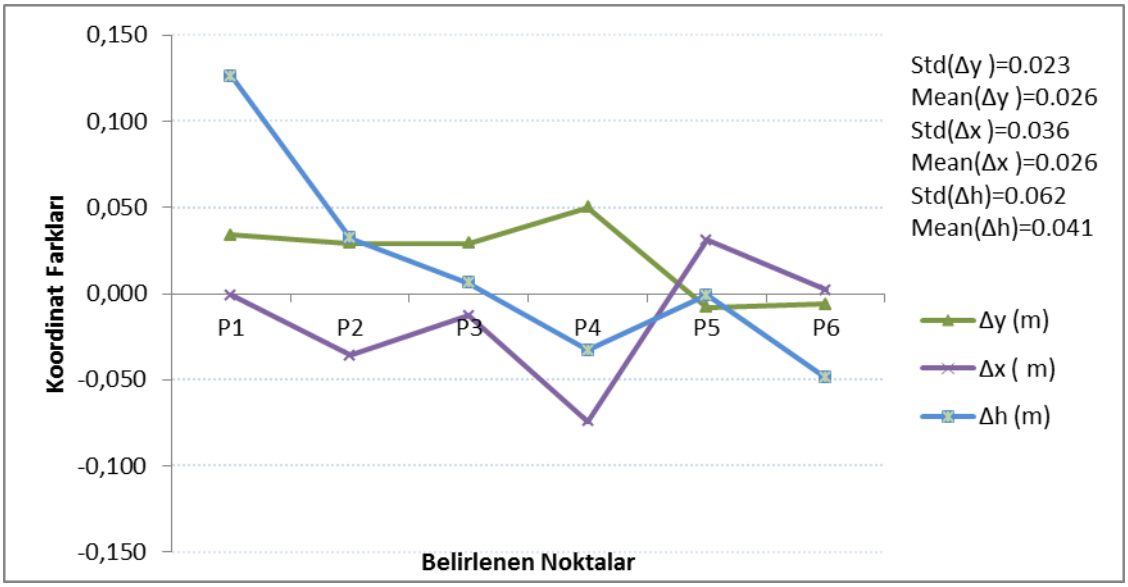
Şekil 5.7 2 Kasım 2017'de ölçülen CORS-VRS ve CORS-FKP farkları

2 Kasım tarihinde yapılan ölçülerde sağa değer farkları Δy ±(1-2)cm, yukarı değer farkları Δx ± (1-7) cm ve yükseklik değer farkları Δh ± (7 mm-41 cm) arasında değişim göstermektedir (Şekil 5.7). En büyük fark P1 ve P2 noktasının yükseklik değerlerindedir. Bunun nedeninin yoğun ağaçlık bölgede yapılan ölçümden kaynaklandığı düşünülmektedir.



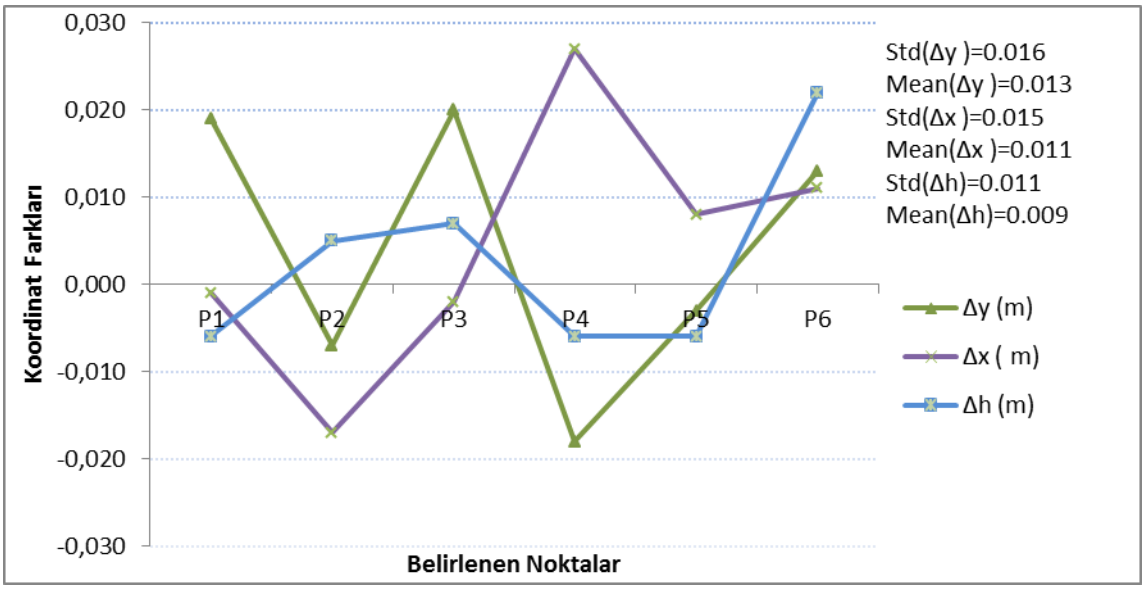
Şekil 5.8 3 Kasım 2017'de ölçülen CORS-VRS ve CORS-FKP farkları

3 Kasım tarihinde yapılan ölçülerde sağa değer farkları Δy ±(3-5)cm, yukarı değer farkları Δx ± (1-6)cm ve yükseklik değer farkları Δh ± (2-10) cm arasında değişim göstermektedir (Şekil 5.8).



Şekil 5.9 4 Kasım 2017'de ölçülen CORS-VRS ve CORS-FKP farkları

4 Kasım tarihinde yapılan ölçülerde sağa değer farkları Δy ±(1-5)cm, yukarı değer farkları Δx ± (1mm-7 cm) ve yükseklik değer farkları Δh ± (1 mm-12 cm) arasında değişim göstermektedir (Şekil 5.9). P1 noktasının yatay ve düşey koordinat değerlerindeki yüksek değişimler, bu noktanın ağaçlık alan içinde olduğunun göstergesidir.



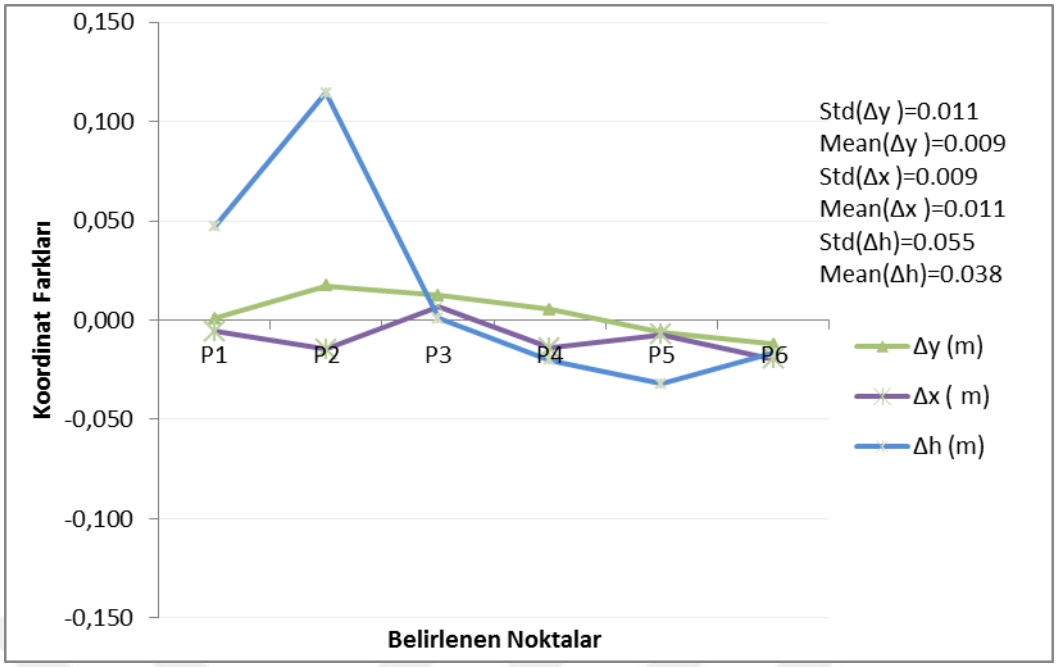
Şekil 5.10 5 Kasım 2017'de ölçülen CORS-VRS ve CORS-FKP farkları

5 Kasım tarihinde yapılan ölçülerde sağa değer farkları Δy ±(1-2)cm, yukarı değer farkları Δx ± (1 mm-3 cm) ve yükseklik değer farkları Δh ± (6 mm-2 cm) arasında değişim göstermektedir (Şekil 5.10).

Yapılan CORS ölçümleri arasındaki farklar en uygun olarak bu tarihte gerçekleşmiştir. Elde edilen uydu sayısı ve konfigürasyonu, PDOP değerleri bu tarihte en uygun değerlerde elde edilmiştir. Bunun sonucunda, Multipath ve uydu geometrisi hatalarının ölçümleri daha az etkilediği düşünülebilmektedir.

Sinyalin yansıması ve gücündeki düşmenin temel etkisi, PDOP değerlerinde bir artış ve bozulma olarak gerçekleşmektedir. Uydu sayısının fazlalığı ve uyduların gökyüzünde homojen dağılımı ile düşük PDOP değeri elde edilmektedir. Böylelikle PDOP uydu geometrisinin kalitesini gösteren birimsiz bir ölçümdür. Yukarıda açıklandığı gibi uydular gökyüzünde homojen bir şekilde yayıldığında, PDOP değeri düşük elde edilir ve hesaplanan konumda istenilen doğrulukta kalmaktadır. Uydular birbirlerine yakın şekilde gruplandırıldığında ise PDOP yüksek ve konumlama en az doğruluktadır. PDOP doğrudan konum doğruluğu ile ilişkili olduğu için çok uydu ve düşük PDOP değeri; çoğunlukla ağaçların altındaki noktalarda yapılan ölçümlerin daha iyi doğruluğa sahip olduğunu gösterecek bir ölçüttür [35].

Ayrıca CORS-VRS ve CORS-FKP teknikleri ile yapılan ölçümler, o günün tarihlerine göre değilde her nokta için karşılaştırmada yapılmıştır. Böylece bu yöntemlerden elde edilen farklar şöyle bulunmuştur.



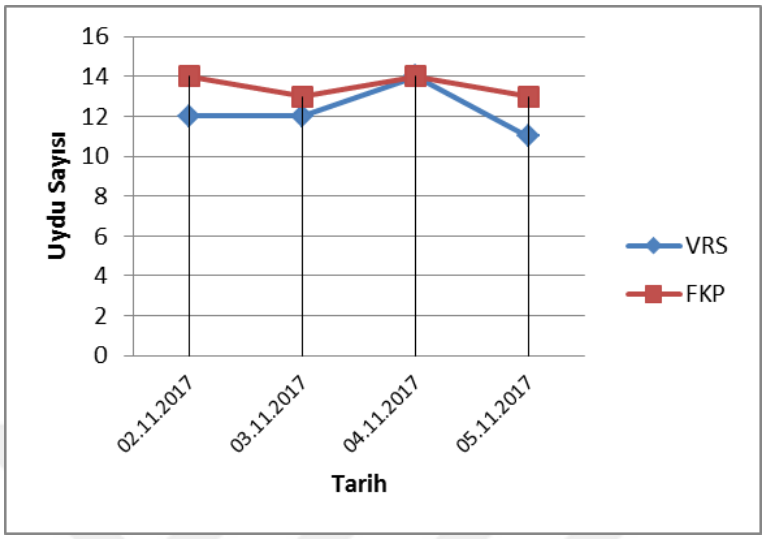
Şekil 5.11 Her Bir Noktaya Ait Koordinat Farkları

Her nokta 4 gün üst üste yapılan CORS-VRS ve CORS-FKP ölçümlerinin koordinat farkları arasındaki değerlerin ortalaması alınarak her noktaya ait tek fark elde edilmiş ve buna göre grafik çizilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı gibi P1 ve P2 noktalarında yükseklik farkları çok büyüktür. P1 noktasında 5 cm, P2 noktasında ise 11 cm ye kadar fark hesaplanmıştır. Bu noktalar ağaçlık alanda yer almakta ve neticesinde bu farklar oluşmaktadır. Ayrıca P6 noktası bina köşesinde olmasına rağmen uydu görüş açısında herhangi bir sorun yaşanmadığından dolayı son derece iyi bir sonuç elde edilmiştir.

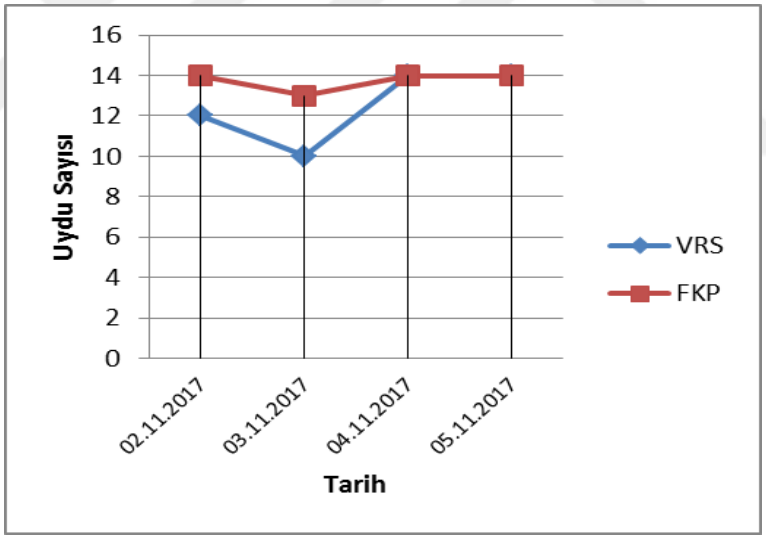
Aynı zamanda CORS-VRS ve CORS-FKP teknikleri kullanılarak yapılan ölçümlerde hangi nokta kaç adet uydu sayısına sahip olduğu aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.

Bu uygulamada yapılan ölçümlerden çıkarılan sonuç, çalışma esnasında 5-10 sayıları arasında GPS+GLONASS uyduları kullanılarak elde edilen koordinatlar yeterli doğrulukta belirlenmiştir. Burada 5 uydu sayısı kritik bir değerdir. Bu çalışmada 5 uydu ile gözlem gene yapılabilmektedir. Ancak uydu sayısının fazla olması konumlama doğruluğunu artırmaktadır ve belirsizlik çözümü hızlı bir şekilde hesaplanması sağlamaktadır [37].

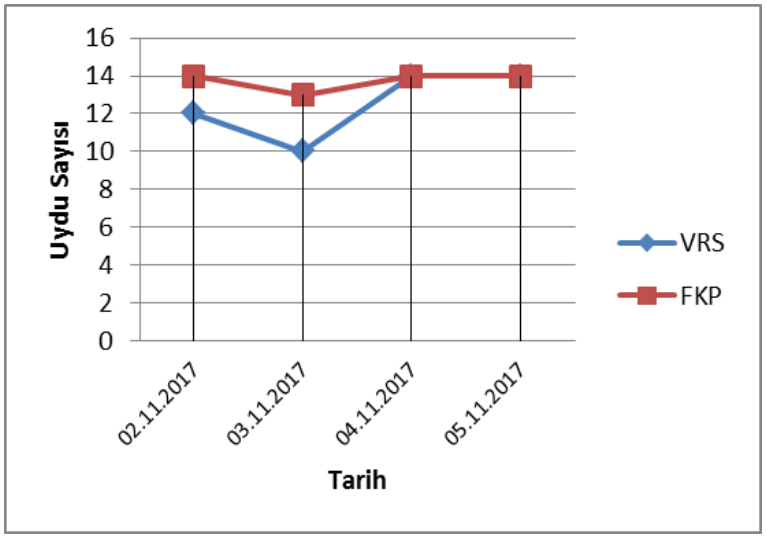
Ashtech ProMark 800 GNSS Alıcısı GPS+GLONASS uydularını görebilmesi ve Z Blade teknolojisi sayesinde tamsayı belirsizliği çözümü ve koordinat değerlerini elde etme olanaklarımızı çok uygun şekilde etkilemiştir.



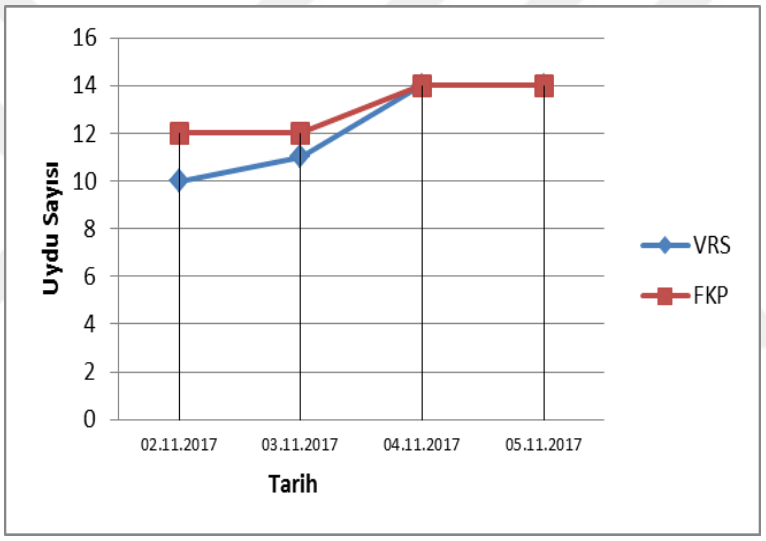
Şekil 5.12 P1 Noktasına Ait Uydu Sayı (GPS/GLONASS) Grafiği



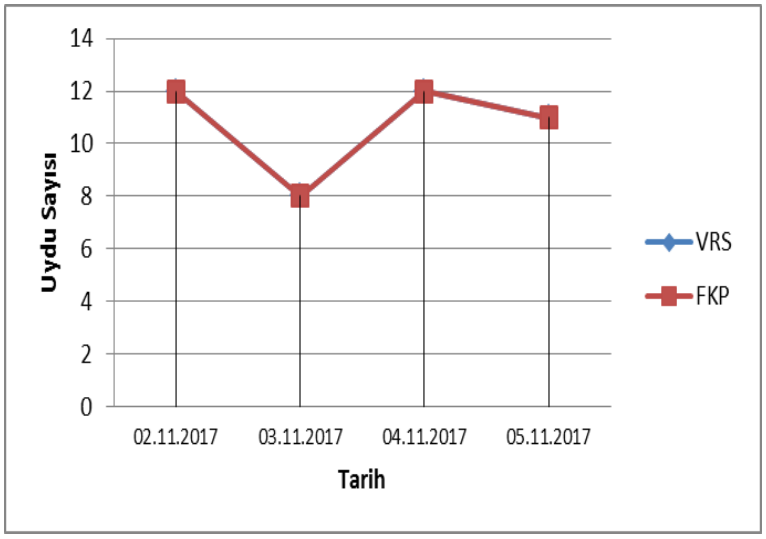
Şekil 5.13 P2 Noktasına Ait Uydu Sayı (GPS/GLONASS) Grafiği



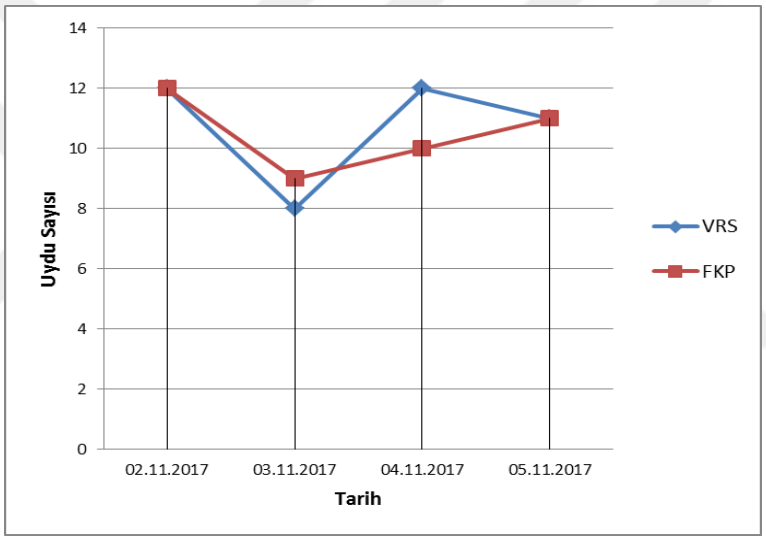
Şekil 5.14 P3 Noktasına Ait Uydu Sayı (GPS/GLONASS) Grafiği



Şekil 5.15 P4 Noktasına Ait Uydu Sayı (GPS/GLONASS) Grafiği



Şekil 5.16 P5 Noktasına Ait Uydu Sayı (GPS/GLONASS) Grafiği

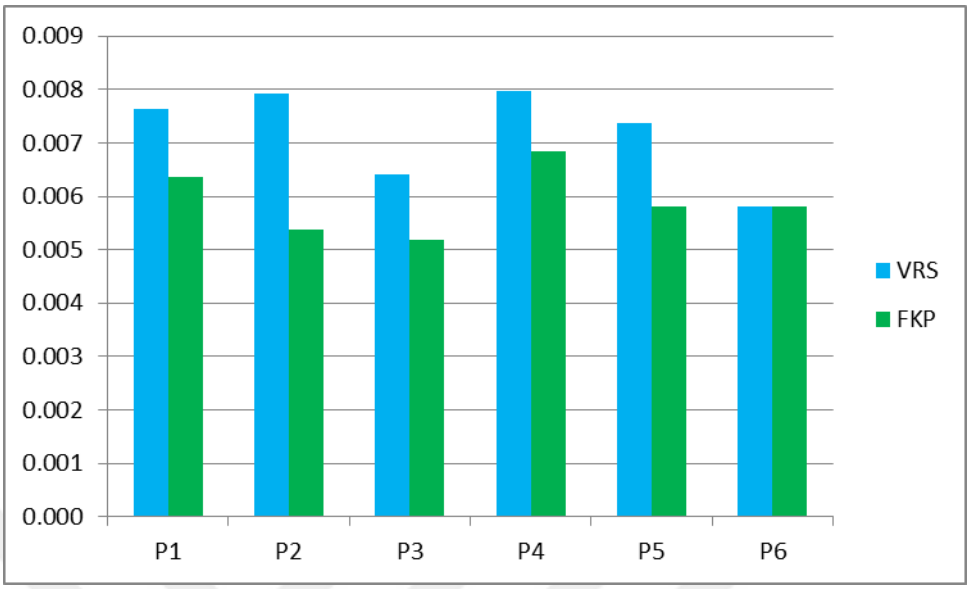


Şekil 5.17 P6 Noktasına Ait Uydu Sayı (GPS/GLONASS) Grafiği

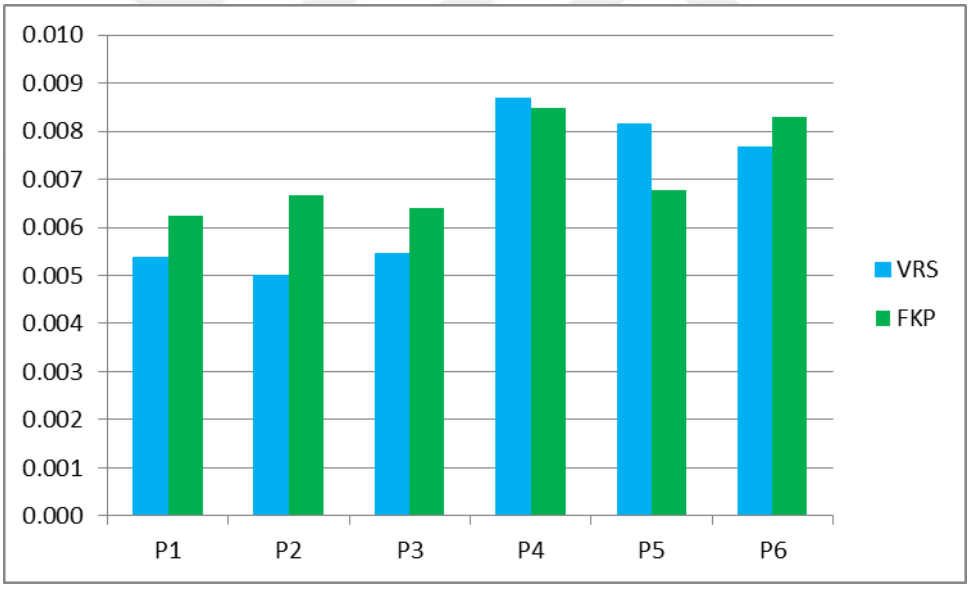
Ölçüm yapılan günlere ait P5 ve P6 noktalarından görülen uydu sayılarının ortalaması; diğer noktalara göre daha azdır. Bunun nedeni ise bu noktaların bina köşelerinde olması ve uydu görüşüne engel olmasıdır. Genel olarak ölçüm yapılan günlerden 3 Kasım tarihine ait uydu sayıları, diğer günlere göre daha düşüktür. Bu durum o güne ait ölçüm zamanındaki uydu konfigürasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

İstatistiksel test ölçütlerinden biri olan ve ölçülerin doğruluğu, hassasiyeti ve kalitesi hakkında bilgi veren karesel ortalama hata (RMS) değeri, istasyondaki alıcı ile uydular arasındaki mesafe gözlemlerine gelen düzeltme miktarlarının karelerinin toplamının ölçü sayısına bölünmesi ile elde edilen değerin karekökünü ifade etmektedir.

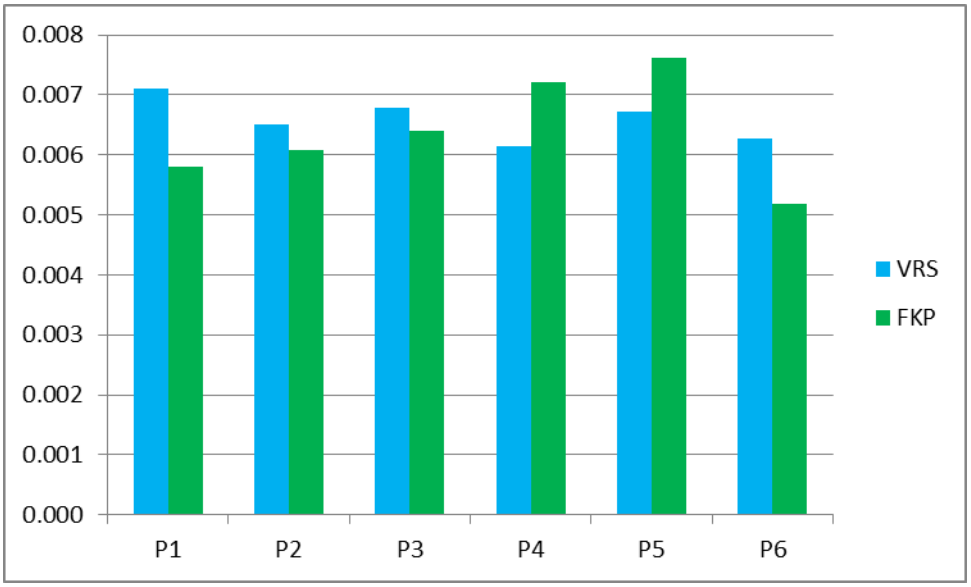
Bu çalışmadaki yatay ve düşey RMS değerleri ile hesaplanılan RMS'ye ait değerler aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir (Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21).



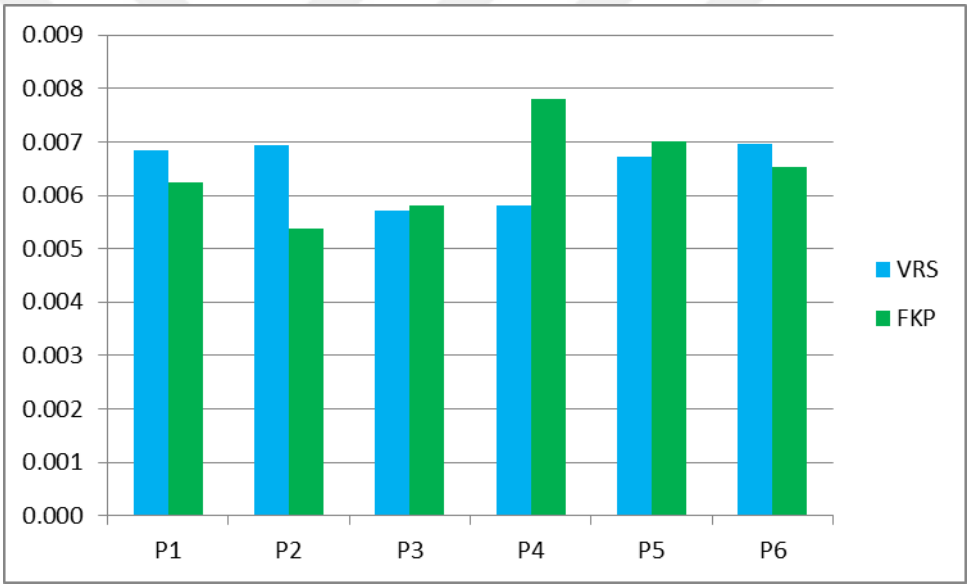
Şekil 5.18 CORS-VRS ve CORS-FKP 2 Kasım Verilerine Ait RMS Grafiği



Şekil 5.19 CORS-VRS ve CORS-FKP 3 Kasım Verilerine Ait RMS Grafiği



Şekil 5.20 CORS-VRS ve CORS-FKP 4 Kasım Verilerine Ait RMS Grafiği



Şekil 5.21 CORS-VRS ve CORS-FKP 5 Kasım Verilerine Ait RMS Grafiği

5.2 Statik Ölçüm

Statik ölçüm yöntemi uzun süreli ve farklı uydu konfigürasyonlarını içeren en hassas ölçüm yöntemi olarak literatürde yerini almıştır. Elde edilen bu gözlemler en küçük kareler yaklaşımı tarafından hesaplanmaktadır. Bu yöntem uzun ölçüm zamanı gerektirir ve neticesinde de yüksek doğruluk sağlamaktadır [33].

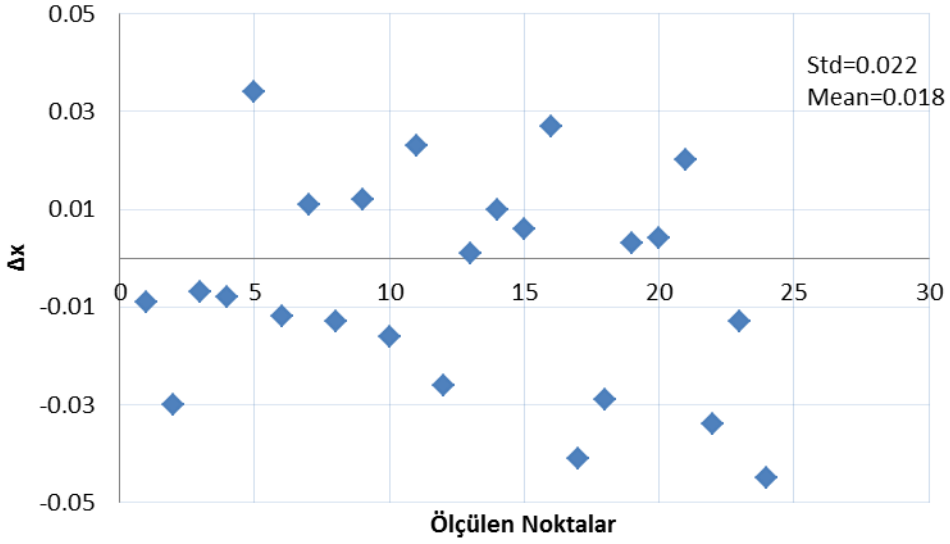
Statik ölçümde Ashtech ProMark 800 GNSS alıcısı jalon üzerine monte edilip; tüm noktalarda 2 m anten yüksekliğinde ölçümler gerçekleşmiştir.

Bu ölçümler, 4 Kasım 2017 tarihinde (DOY 308) P1, P2, P5 ve P6 noktalarında 2'şer saat, P3 ve P4 noktalarında ise 1'er saatlik değerlerde yapılmıştır. Daha sonra TUSAGA-Aktif merkezinden Kayseri bölgesi (KAYS noktası) ait 4 Kasım 2017 tarihli 24 saatlik RINEX (ITRF 2005.0 epoğunda) verileri alınarak Topcon Magnet TOOLS yazılımı ile değerlendirilmiş ve dengelenmiş böylelikle diğer noktalara ait koordinatlar elde edilmiştir (Çizelge 5.3).

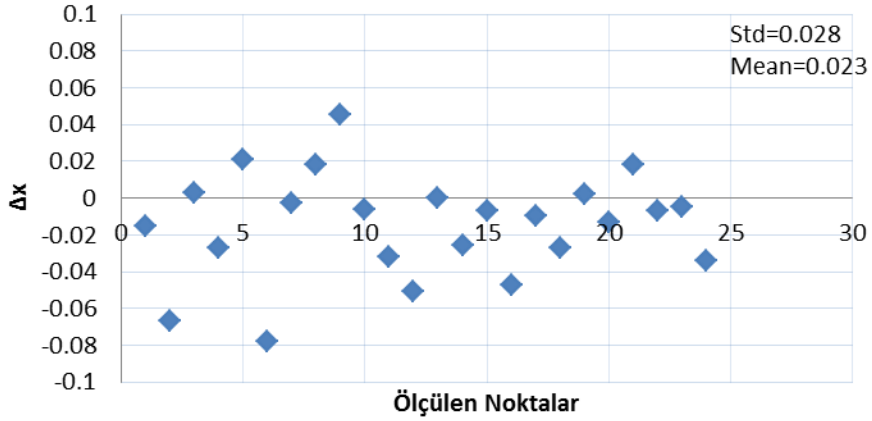
NOKTA	Yukarı Değer (X)	Std Dev n (mm)	Sağa Değer (Y)	Std Dev e (mm)	Elipsoidal Yükseklik	Std Dev u (mm)
KAYS	4286236.927	0	458637.086	0	1138.776	0
P1	4289534.411	6	457262.249	5	1088.64	12
P2	4289511.81	3	457270.022	3	1088.642	7
P3	4289500.024	5	457274.061	3	1088.926	8
P4	4289482.931	3	457254.764	3	1088.979	7
P5	4289467.544	6	457270.289	3	1088.859	7
P6	4289483.913	6	457313.424	2	1088.712	6

Çizelge 5.3 ITRF 2005'de Statik Ölçülerin Sonuçları

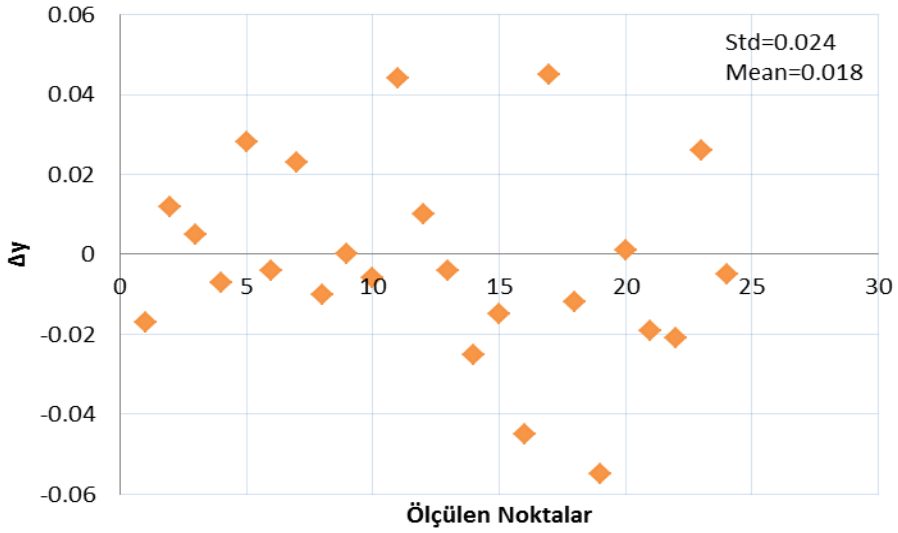
Hesaplanılan statik ölçümler 4 gün ard arda yapılan CORS-VRS ölçümleri ile karşılaştırıldığında Δx değerlerinin standart sapmaları 1.gün 2.1 cm, 2.gün 1.9 cm, 3.gün 2.5 cm ve 4.gün ise 2.4 cm olarak değerler elde edilmiştir. Δy değerlerinin standart sapmaları ise 1.gün 1.5 cm, 2.gün 2 cm, 3.gün 3 cm ve 4.gün ise 2.6 cm değerleri olarak hesaplanmıştır. Δh değerlerinin standart sapmaları ise 1.gün 2 cm, 2 gün 2.3 cm, 3. Gün 2.5 cm ve 4.gün ise 1.3 cm değerleri elde edilmiştir. Yapılan CORS-FKP ölçümleri ile statik ölçümler karşılaştırıldığında ise Δx değerlerinin standart sapmaları 1.gün 3.8 cm, 2.gün 3.4 cm, 3.gün 1.7 cm ve 4.gün 1.7 cm elde edildiği; Δy değerlerinin standart sapmaları 1.gün 1.4 cm, 2.gün 3.5 cm, 3.gün 1.9 cm ve 4.gün ise 2.4 cm hesaplandığı; Δh değerlerinin standart sapmaları 1.gün 3.6 cm , 2.gün 4.2 cm ,3.gün 4.9 cm ve 4.gün ise 1 cm olarak hesaplanmıştır. Elde edilen statik ölçümler ile CORS-VRS ve CORS-FKP ölçümleri karşılaştırılmış ve aşağıdaki grafikler çizilmiştir.



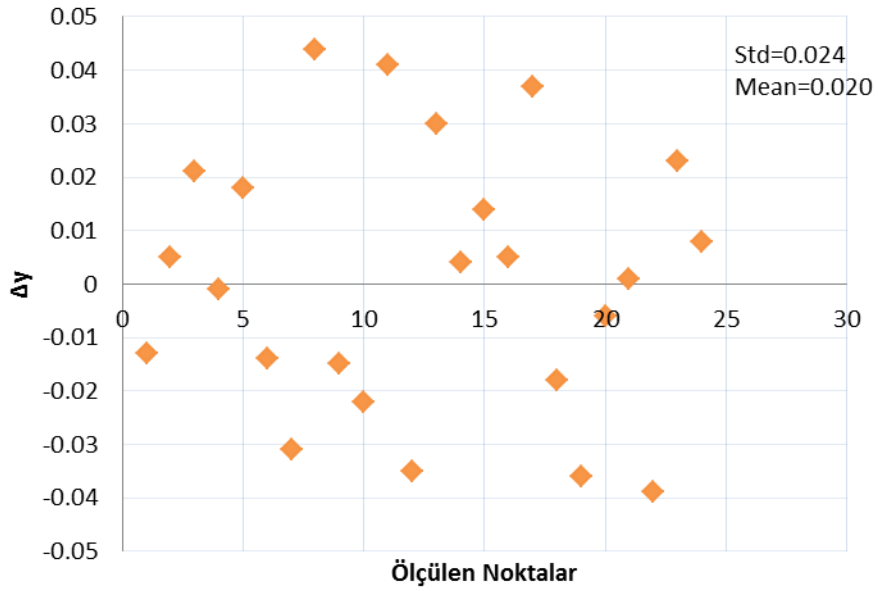
Şekil 5.22 CORS-VRS ile Statik Ölçümler Arasındaki Δx Farklarına Ait Grafik



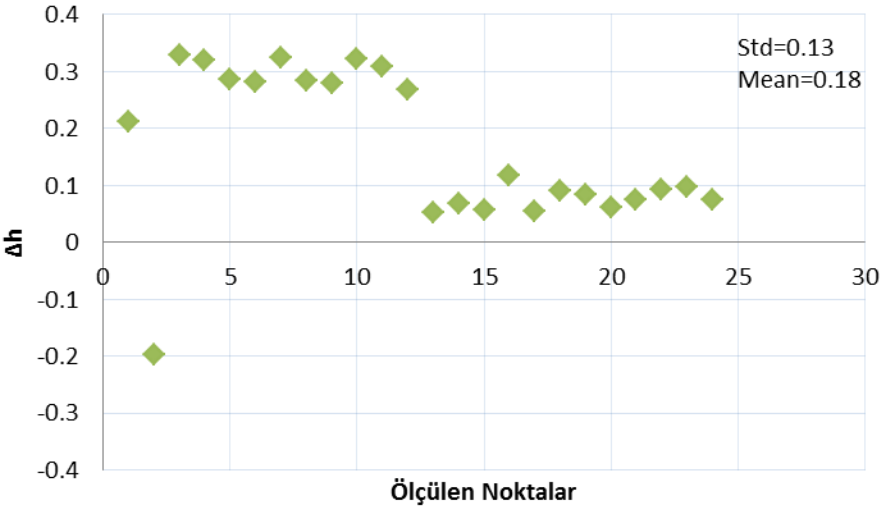
Şekil 5.23 CORS-FKP ile Statik Ölçümler Arasındaki Δx Farklarına Ait Grafik



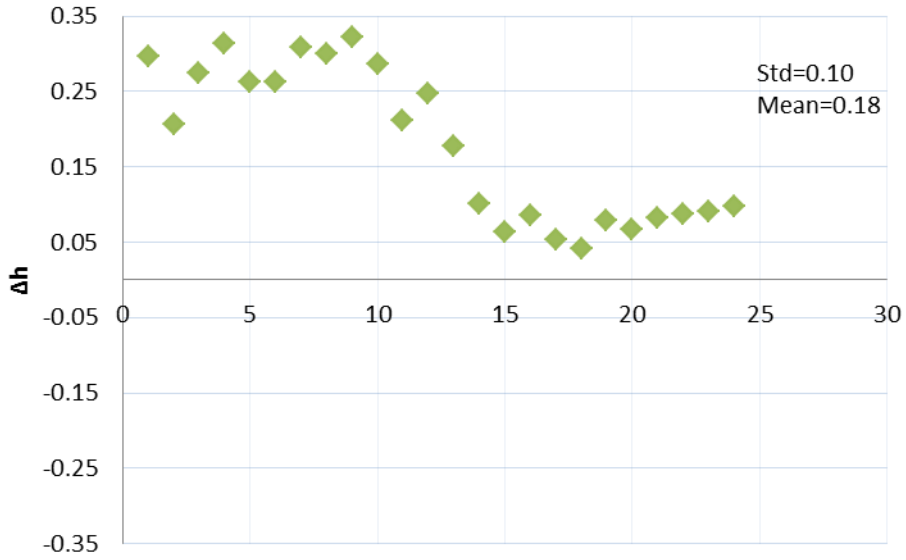
Şekil 5.24 CORS-VRS ile Statik Ölçümler Arasındaki Δy Farklarına Ait Grafik



Şekil 5.25 CORS-FKP ile Statik Ölçümler Arasındaki Δy Farklarına Ait Grafik

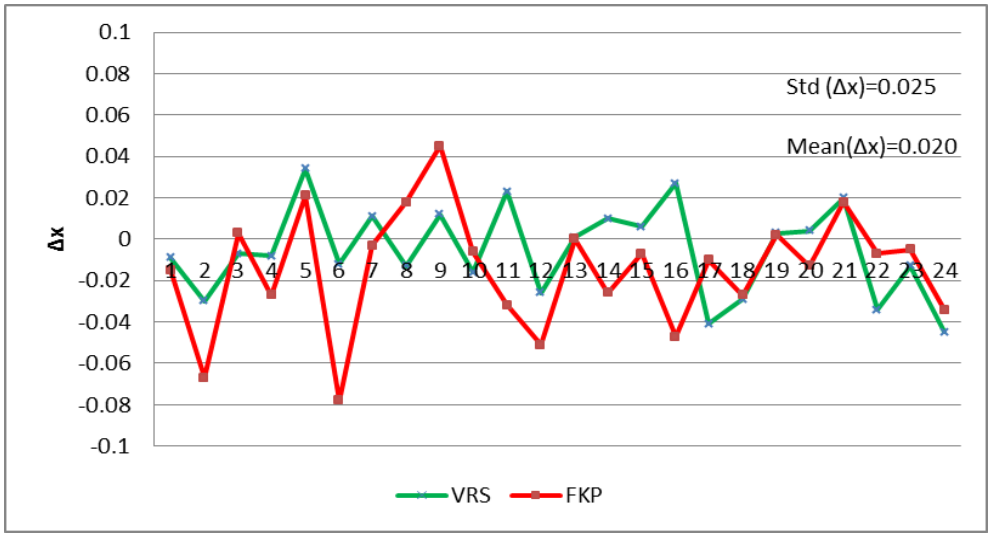


Şekil 5.26 CORS-VRS ile Statik Ölçümler Arasındaki Δh Farklarına Ait Grafik

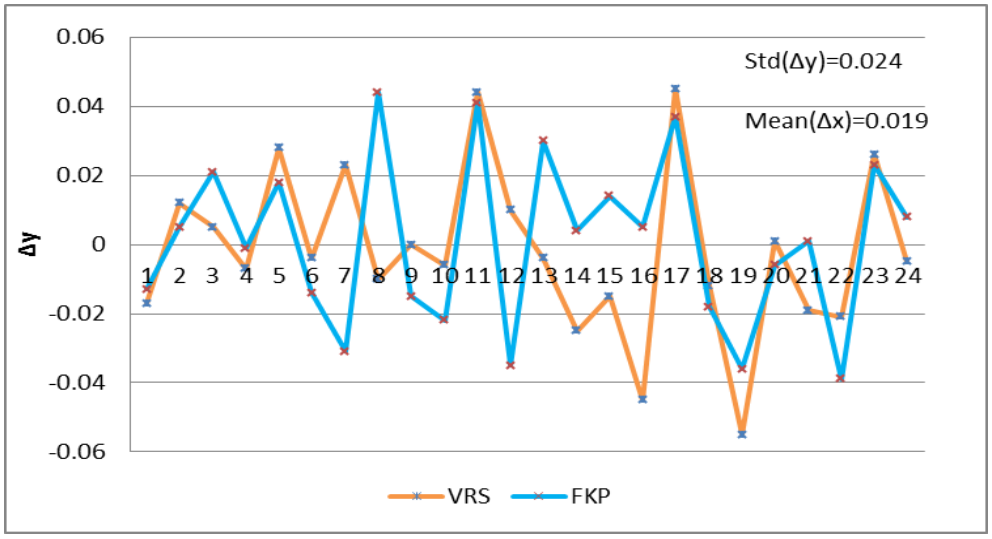


Şekil 5.27 CORS-FKP ile Statik Ölçümler Arasındaki Δh Farklarına Ait Grafik

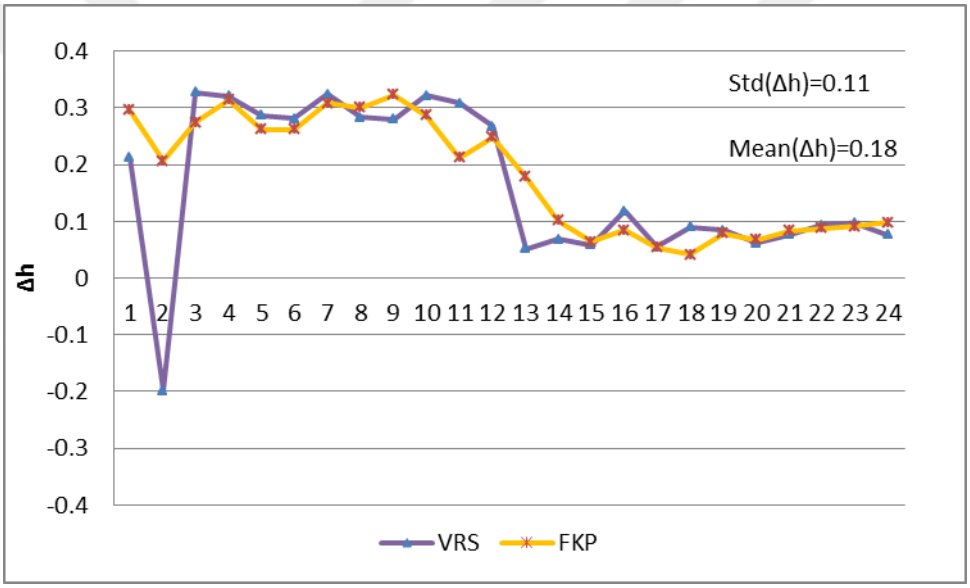
Yapılan CORS-VRS/FKP ölçümleri ile statik ölçümler karşılaştırılmış ve elde edilen koordinat farkları grafiksel olarak gösterilmiştir. Elde edilen Δx koordinat farklarına ait değerlerin standart sapması 2.5 cm ve ortalama değeri ise 2 cm dir. Elde edilen Δy koordinat farklarına ait değerlerin standart sapması 2.4 cm ve ortalama değeri 1.9 cm dir. Elde edilen Δh koordinat farklarına ait değerlerin standart sapması ise 11 cm ve ortalama değeri 18 cm olduğu gözükmektedir. Statik ölçüm ile CORS-VRS/FKP ölçümlerinin tümünün Δx, Δy ve Δh koordinat değerlerine ait farkları ayrı ayrı aşağıdaki grafiklerle çizilmiştir.



Şekil 5.28 Statik ölçümler ile CORS ölçümleri Δx farkların Karşılaştırma Grafiği



Şekil 5.29 Statik ölçümler ile CORS ölçümleri Δy farkların Karşılaştırma Grafiği



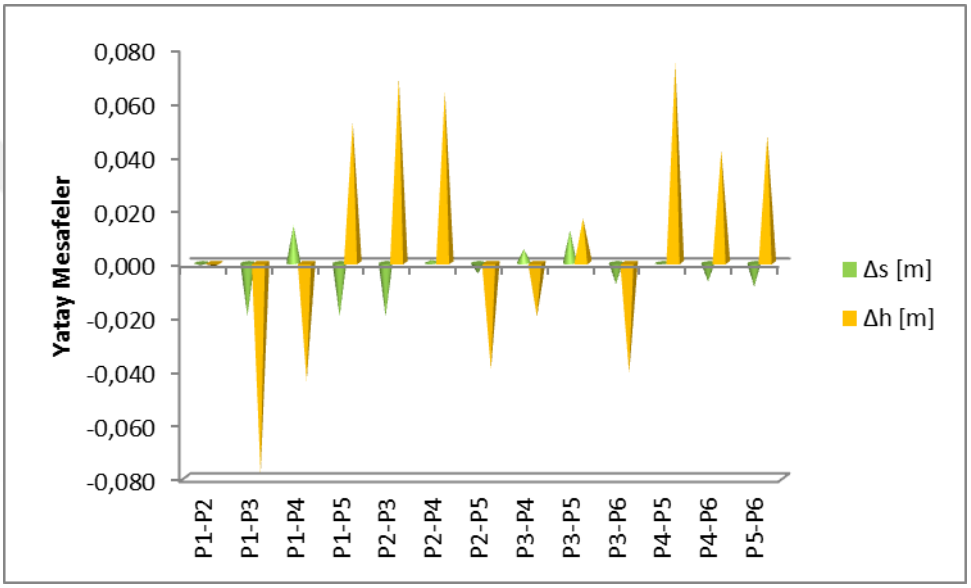
Şekil 5.30 Statik ölçümler ile CORS ölçümleri Δh farkların Karşılaştırma Grafiği

5.3 Total Station Ölçümleri

GNSS uydu takip teknolojisi sayesinde zayıf sinyaller ağaçlık altında gözlemlenebilecektir. Buna rağmen, bu sinyaller gürültü, zayıflık, yansıma ve multipath etkilerine maruz kalmaktadır. Bu durumdan elde edilen sonuçların geçerliliğini denetlemek amacıyla yersel ölçümlerden (total station) faydalanılarak; GNSS sonuçlarının kontrolü sağlanabilmektedir [35].

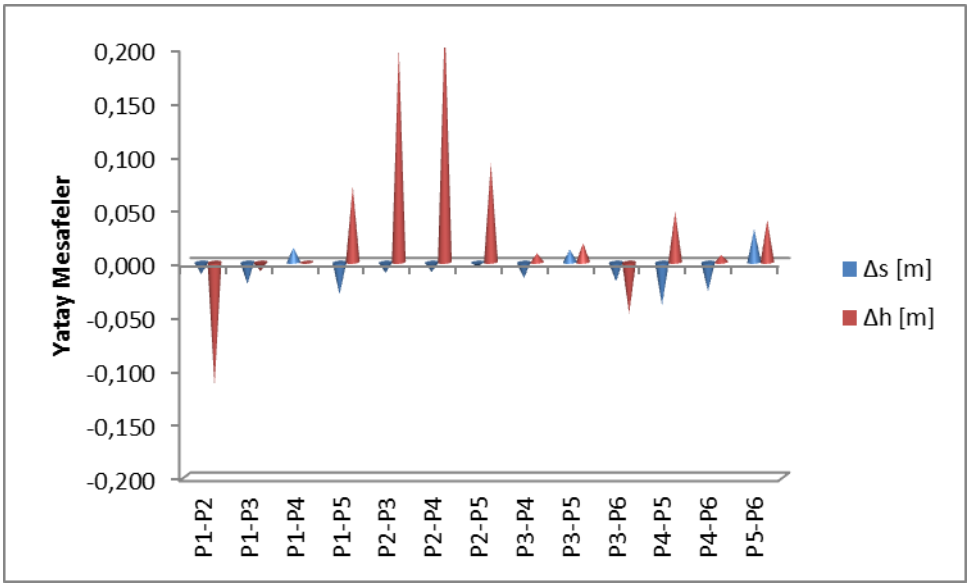
Bu uygulamada elde edilen GNSS sonuçlarının doğruluğunu incelemek amacıyla total station kullanarak ölçüm yapılmıştır. P1, P2, P3, P4, P5 ve P6 noktalarında yatay ve düşey açı, yatay mesafe, alet yüksekliği ve işaret yükseklikleri ölçülmüştür. Yapılan bu ölçümlerde LINERTEC LTS-205N (açı hassasiyeti ± 5"), (mesafe ölçüm doğruluğu 3 mm+2 ppm) total station kullanılmıştır.

Aşağıdaki grafiklerde total station kullanarak ölçülen yatay mesafeler ve yükseklik farkları ile GNSS ölçümlerinden elde edilen elipsoidal yükseklikler ile hesaplanan yükseklik farkları ve koordinatlardan hesaplanılan yatay mesafeler karşılaştırılmıştır.



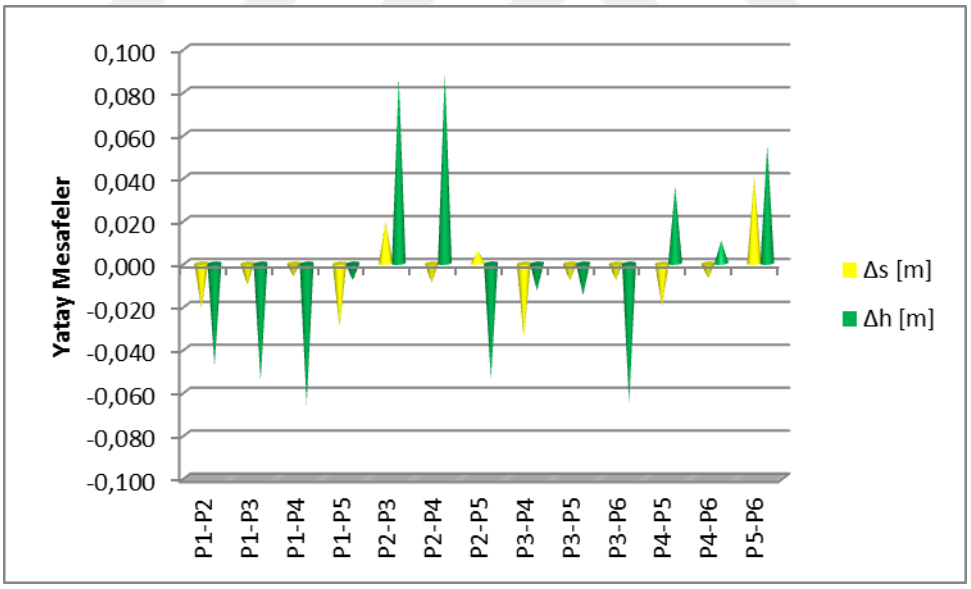
Şekil 5.31 Total Statıon ile Statik Ölçümler Arasındaki Farklara Ait Grafik

Total station ile statik GNSS ölçüm sonuçları arasında elde edilen yatay koordinat farkları için ±1-5 mm arasında, yükseklik farkları ise ±1 – 79 mm arasında kalmıştır (Şekil 5.31).



Şekil 5.32 Total Statıon ile CORS-VRS Ölçümler Arasındaki Farklara Ait Grafik

Total station ile CORS-VRS ölçümleri arasında hesaplanılan yatay farklar için ±4 mm-4 cm arasında, yükseklik farkları ise ±1 mm – 11 cm arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 5.32).



Şekil 5.33 Total Statıon ile CORS-FKP Ölçümler Arasındaki Farklara Ait Grafik

Total station ile CORS-FKP ölçümleri arasında hesaplanılan yatay farklar için ±6 mm-4 cm arasında, yükseklik farkları ise ±8 mm -9 cm arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 5.33). Elde edilen bu sonuçlar ormanlık ve yapılaşmış alanda yapıldıkları için duyarlılıkları iyi derecededir diyebiliriz.

5.4 İstatistiksel Test

Statik ölçme yöntemi ile elde edilen dengelenmiş koordinatlar ile CORS-VRS ve CORS-FKP teknikleri kullanarak elde edilen koordinatların farkları hesaplanmıştır. Bu farklara ilişkin grafikler Şekil 5.22, …, Şekil 5.27 'de gösterilmiştir. Hesaplanan bu farklara (Δx,Δy ve Δh) göre CORS-VRS ve CORS-FKP teknikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı belirlenmek istenmiş ve istatistiksel analiz yapılmıştır.

Yöntem		N	Ortalama	Standart Sapma	Std Hata	%95 Güven Aralığı		Min	Max
						Alt Sınır	Üst Sınır		
ΔX Farkları	VRS	24	-0.0055	0.0216	0.0044	-0.0146	0.0036	-0.045	0.034
	FKP	24	-0.0145	0.0283	0.0057	-0.0265	-0.0025	-0.078	0.045
	Toplam	48	-0.0100	0.0253	0.0036	-0.0174	-0.0027	-0.078	0.045
ΔY Farkları	VRS	24	-0.0021	0.0242	0.0049	-0.0124	0.0081	-0.055	0.045
	FKP	24	0.0009	0.0246	0.0050	-0.0095	0.0113	-0.039	0.044
	Toplam	48	-0.0063	0.0242	0.0034	-0.0077	0.0064	-0.055	0.045
Δh Farkları	VRS	24	0.1645	0.1347	0.0275	0.1077	0.2214	-0.198	0.328
	FKP	24	0.1801	0.1027	0.0210	0.1368	0.2235	0.041	0.323
	Toplam	48	0.1723	0.1187	0.0171	0.1379	0.2068	-0.198	0.328

Çizelge 5.4 Ölçme Yöntemlerine Göre Hesaplanan Farklarının İstatistiksel Değerleri

Bağımsız değişkenlerin (CORS-VRS ve CORS-FKP) bağımlı değişkenler (Δx,Δy ve Δh) üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla varyans analizi gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel analiz yaparken varsayımlar oluşturmak ve bu varsayımlara göre yapılacak istatistiksel testi belirlemek gerekmektedir. Bu varsayımlar; değişkenlerin normal dağılması, varyansların eşit olması ve yeterli (>30) örneklem sayısına sahip olması gerekmektedir. İlk olarak; verilerin normal dağılıma uygunluğu "Tek Örneklem Kolmogorov Smirov Testi" kullanılarak belirlenmiştir. Asymp. Sig. (Anlamlılık) satırındaki değerlerin istatistiksel anlamlılık hesaplamalarında sınır değeri kabul edilen 0.05'den büyük olması incelenen ölçülerin dağılımlarının normal olduğunu göstermektedir. İkinci olarak; verilerin homojenliğini "Tek Yönlü ANOVA" testi ile gerçekleştirilmiştir. Sig. (Anlamlılık) değerleri 0.05'den büyük olması yapılan ölçülerin dağılımlarının homojen olduğunu göstermektedir. Üçüncü olarak; örneklem sayımız (>30) olduğu için bu varsayımlar doğrultusunda parametrik test yöntemlerinden birini kullanarak bağımsız değişkenin bağımlı değişkenler üzerindeki etkisini anlamamızı sağlayacaktır. Koordinat farkları (Δx,Δy ve Δh) ile ilgili CORS-VRS ve CORS-FKP teknikleri arasında istatistiksel fark olup olmadığını test etmek için " Bağımsız Örneklem T-Testi " kullanılmıştır.

Bağımsız örneklem t-testi (Independent-Sample T Test) iki ayrı grubun ortalamalarını test ettiği için ortalama değerlerine göre incelenmektedir. Ancak bu ortalama değerlerin rastlantısal bir fark olup olmadığını incelersek, Sig. (anlamlılık) sütunundaki değerler, 0.05'den büyük olduğu için CORS-VRS ile CORS-FKP koordinat farkları arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı söylenebilmektedir.

Bağımlı Değişkenler		Kareler Toplamı	df	Kareler Ort.	F	Sig.
X Koordinat Farkları	Gruplar Arası	.001	1	.001	1.533	.222
	Gruplar İçinde	.029	46	.001		
	Toplam	.030	47			
Y Koordinat Farkları	Gruplar Arası	.000	1	.000	.181	.672
	Gruplar İçinde	.027	46	.001		
	Toplam	.028	47			
H Koordinat Farkları	Gruplar Arası	.003	1	.003	.203	.654
	Gruplar İçinde	.660	46	.014		
	Toplam	.663	47			

Çizelge 5.5 Ölçme Yöntemlerine (CORS-VRS ve CORS-FKP) göre ANOVA Değerleri

Ölçme yöntemleri (Statik, CORS-VRS, CORS-FKP ve Total Station) kullanarak elde edilen P1, P2, P3, P4, P5 ve P6 noktalar arasındaki mesafe farkları bulunmuştur. Yani, GNSS ölçümler ve yersel ölçümler yapılarak hesaplanılan noktalar arasındaki mesafe farkları ile yapılan ölçme yöntemleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı belirlenmek istenmiştir.

Yöntemler	N	Ortalama	Standart Sapma	Std. Hata	%95 Güven Aralığı Ortalama Değerler İçin		Min	Max
					Alt Sınır	Üst Sınır		
Statik GNSS	13	38.2077	15.6285	4.3345	28.7635	47.6519	12.46	67.35
CORS-VRS	13	38.2023	15.6307	4.3352	28.7568	47.6478	12.47	67.34
CORS-FKP	13	38.2054	15.6291	4.3347	28.7608	47.65	12.5	67.34
Total Station	13	38.2121	15.6297	4.3349	28.7671	47.657	12.48	67.37
Toplam	52	38.2069	15.1628	2.1027	33.9855	42.4282	12.46	67.37

Çizelge 5.6 Ölçme Yöntemlerine Göre Mesafe Farklarının İstatistiksel Değerleri

Çizelge 5.6'da ölçme yöntemlerine göre hesaplanan mesafe farklarına ait istatistiksel bilgiler verilmiştir. Burada, bağımlı değişkenlerin (mesafe farkları) bağımsız değişkenler (Statik GNSS, CORS-VRS, CORS-FKP, Total Station) üzerindeki etkisi için normal dağımlı olup olmadığı ve homojenlik testi yapılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda mesafe farklarının istatistiksel olarak anlamını belirlemek için "Bağımsız Örneklem Tek Yönlü Varyans Analizi" yapılmıştır.

Varyans analizi farklı grupların birbirinden farklı olup olmadığını göstermektedir. Farklılıkların hangi gruplar arasında olduğu "Tukey Testi" yaparak belirlenebilmektedir.

(I) Yöntemler	(J) Yöntemler	Ortalama Fark (I-J)	Std. Hata	Sig.	95% Güven Aralığı	
					Alt Sınır	Üst Sınır
Statik GNSS	CORS-VRS	.00538	6.13039	1.000	-16.3099	16.3206
	CORS-FKP	.00231	6.13039	1.000	-16.3130	16.3176
	Total Station	-.00438	6.13039	1.000	-16.3196	16.3109
CORS-VRS	Statik GNSS	-.00538	6.13039	1.000	-16.3206	16.3099
	CORS-FKP	-.00308	6.13039	1.000	-16.3183	16.3122
	Total Station	-.00977	6.13039	1.000	-16.3250	16.3055
CORS-FKP	Statik GNSS	-.00231	6.13039	1.000	-16.3176	16.3130
	CORS-VRS	.00308	6.13039	1.000	-16.3122	16.3183
	Total Station	-.00669	6.13039	1.000	-16.3220	16.3086
Total Station	Statik GNSS	.00438	6.13039	1.000	-16.3109	16.3196
	CORS-VRS	.00977	6.13039	1.000	-16.3055	16.3250
	CORS-FKP	.00669	6.13039	1.000	-16.3086	16.3220

Çizelge 5.7 Ölçme Yöntemlerine Göre Karşılaştırmalar (Tukey Testi)

Her bir grupta ortalama değerler, standart hata değerleri yer almaktadır. Ölçüm teknikleri ortalamalarına bakıldığında bu ortalama değerleri birbirlerine yakındır. İstatistiksel olarak rastlantısal olup olmadığı incelendiğinde Tukey tablosunun sig. (anlamlılık) değeri 1.000 olduğu görülmektedir. $p > 0.05$ olduğu için istatistiksel olarak anlamlı olmadığı söylenebilmektedir [41].

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada sürekli gözlem yapan referans istasyonların ormanlık ve yapılaşmış alanlarda doğruluk analizi için bir uygulama yapılmıştır. Hem ağaçlık bölgede hem de yapılaşmış bölgede 2'şer nokta ve 1 nokta ağaçların az olduğu bir bölgelerde tesis edilmiştir. İlaveten de 1 nokta, yapılaşmış bölgeden belli bir mesafe uzaklıkta oluşturulmuştur. Ölçümler, Ashtech ProMark 800 GNSS Alıcısı ile 2 Kasım 2017, 3 Kasım 2017, 4 Kasım 2017 ve 5 Kasım 2017 tarihlerinde CORS-VRS ve CORS-FKP teknikleriyle yapılmıştır. 4 Kasım tarihinde aynı zamanda GNSS Alıcısı ile statik ölçümler yapılarak veriler elde edilmiştir. Statik ölçümlerin yapılmasındaki ana amaç ölçümlerin karşılaştırmasındaki doğru bir ölçüt değerin elde edilmesine dayanmaktadır. TUSAGA-Aktif merkezinden Kayseri bölgesine (KAYS noktası) ait olan 4 Kasım 2017 tarihli 24 saatlik RINEX (ITRF 2005.0 epoğunda) verileri alınarak Topcon Magnet TOOLS yazılımı ile değerlendirilmiş ve dengelenmiş nokta koordinatları hesaplanmıştır. Total station kullanarak da noktaların yatay ve düşey açıları, yatay mesafeleri, alet, işaret yükseklikleri ölçülmüştür. Dört gün boyunca yapılan CORS/VRS-FKP ölçümleri karşılaştırıldığında Δy değerlerinin standart sapmaları 1.gün için 1 cm, 2.gün için 2.8 cm, 3.gün için 2.3 cm ve 4.gün için 1.1 cm değeri; Δx değerlerinin standart sapmaları ise 1.gün için 2.6 cm, 2.gün için 3.4 cm, 3.gün için 3.6 cm ve 4.gün için 1.5 cm değeri; Δh değerlerinin standart sapmaları ise 1.gün için 17cm, 2.gün için 47 cm, 3.gün için 62 cm ve 4.gün için 11 cm değeri elde edilmiştir. Ölçüm anlarındaki uydu sayıları 8-14 (GPS+GLONASS) arasında değişim göstermektedir.

HRMS ve VRMS değerlerinden hesaplanılan RMS değerleri ise 5 ila 8 mm aralığında elde edilmiştir. Elde edilen bu değerlerden anlaşılıcağı gibi çevresel etki, multipath etkisi ve uydu izlenmesinden kaynaklı hatalar olduğu açıkça gözükmektedir. Statik ölçümler ile CORS-VRS ölçümleri her bir nokta için karşılaştırıldığında ise Δx değeri P1 noktası için 1 mm-1 cm aralığında; P2 noktası için 4 mm-1.3 cm; P3 noktası için 6 mm-2 cm; P4 noktası için 8 mm-3.4 cm; P5 noktası için 1.3-4.1 cm ve P6 noktası için de 1.2-4.5 cm aralığında değerler elde edilmiştir. Ayrıca Δy değeri P1 noktası için 1 mm- 5.5 cm, P2 noktası için 1 mm- 2.5 cm; P3 noktası için 5 mm- 1.9 cm; P4 noktası için 6 mm-4.5 cm; P5 noktası için 2.8 cm-4.5 cm; P6 noktası için 4 mm-1.2 cm aralığında değerler elde edilmiştir. İlavetende Δh değeri P1 noktası için 5 cm-21 cm; P2 noktası için 6 cm-28 cm; P3 noktası için 5 cm-32 cm; P4 noktası için 9 cm-32 cm; P5 noktası için 5 cm-30 cm; P6 noktası için 7 cm-28 cm aralığında değerler elde edilmiştir. Statik ölçümler ile CORS-FKP ölçümleri her nokta için karşılaştırıldığında Δx değeri P1 noktası için 2 mm-1.5 cm; P2 noktası 1.3 cm-6.7 cm; P3 noktası 3 mm- 4.5 cm; P4 noktası 6 mm- 4.7 cm; P5 noktası 5 mm- 3.2 cm; P6 noktası 2.7 cm-7.8 cm aralığında değerler elde edilmiştir. Ayrıca Δy değeri P1 noktası için 1.3 cm-3.6 cm; P2 noktası 4 mm-4.4 cm; P3 noktası 1 mm-2.1 cm; P4 noktası 1 mm- 3.9 cm; P5 noktası için 1.8 cm- 4.1 cm; P6 noktası için8 mm- 3.5 cm aralığında değerler elde edilmiştir. İlavetende Δh değerleri P1 noktası için 7 cm-30 cm; P2 noktası için 6 cm-30 cm; P3 noktası için 6 cm- 32 cm; P4 noktası için 8 cm-31 cm; P5 noktası için 5 cm- 26 cm aralığında ve P6 noktası için de 4 cm-26 cm aralığında değerler elde edilmiştir. Proje bölgesinde P1 ve P2 noktaları, ağaçların yoğun olduğu bölgelerde bulunmakta; P3 noktası ağaçların az olduğu bölgede yer almakta; P4 yapılaşmış alanın biraz dışındaki bir bölgede bulunmakta; P5 ve P6 noktaları ise yapılaşmış alan içinde ve de bina çatı altlarında tesis edilmiştir. Statik ölçümler ile CORS/VRS-FKP ölçümleri karşılaştırıldığında ise Δy değerinin standart sapması 2.5 cm, Δx değerinin standart sapması 2.4 cm ve Δh değerinin standart sapması ise 11 cm olduğu hesaplanmıştır. Total station ile Statik ölçümler karşılaştırıldığında ise yatay koordinat farkları 1-5 mm aralığında, yükseklik farkları ise 1 mm ile 8 cm arasında değişmektedir. Total station ile CORS-VRS ölçümleri arasında yatay farkları 4 mm-4 cm aralığında, yükseklik farkları ise 1 mm-11 cm aralığında değişmektedir.

Total station ile CORS-FKP ölçümleri arasındaki yatay koordinat farkları ise 6 mm-4 cm aralığında, yükseklik farkları 8 mm-9 cm aralığında değişmektedir. Bu tez çalışmasında elde edilen koordinat farkları daha önce yapılan benzer çalışmalar ile karşılaştırıldığında; nispeten daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Statik ölçümler ile CORS-VRS ve CORS-FKP düzeltme yöntemleri kullanarak hesaplanılan koordinat farkları için yapılan istatistiksel testte (Bağımsız Örneklem T-Testi) bu tekniklerin (CORS-VRS ve CORS-FKP) bağımlı değişkenler (Δx, Δy ve Δh) üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olmadığı bulunmuştur. Ölçme yöntemleri kullanarak (Statik, CORS-VRS, CORS-FKP, Total Station) hesaplanılan mesafa farklarına istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek için bağımsız örneklem tek yönlü varyans analizi testi uygulanmıştır. Kullanılan ölçme yöntemlerine göre karşılaştırmalar yapılmış ve bağımlı değişkenler (mesafe farkları) üzerinde ölçme yöntemlerinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlemiştir. Yani, ölçme yöntemlerinin farklı olmayan sonuçlar gösterdiği söylenebilmektedir. Yukarıda açıklanan olumlu sonuçların elde edilmesindeki ana etmenler; Z-Blade teknolojisi farklı GNSS sinyallerinin optimal kombinasyonu için ve sadece bir uydu grubu (GLONASS) için farklı patentli teknikleri barındırmaktadır. Komple GNSS çoklu bant motoru (GPS+GLONASS+GALILEO+SBAS ve diğer GNSS sinyalleri, L1&L2 veya diğer bantlar) olarak tasarlanan bu teknoloji ile birlikte GPS+GLONASS uyduları sayesinde konum doğruluğun arttığı aşikârdır. Gelecekte de GALILEO sisteminin tamamlanması ve diğer uydu sistemlerinin geliştirilmesi ile uydu görüşlerinin az olduğu alanlarda bile konum doğruluğunun iyi bir şekilde gerçekleşebileceği umut edilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Eren K. ve Uzel T., (1995), ” GPS Ölçmeleri”, YTÜ Maatbası,İstanbul.

[2] Kahveci M., (2009), Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları, Zerpa Yayınları, 102, Ankara.

[3] Pırtı A., (2016), GPS Ağları Ders notları, YTÜ Harita Mühendisliği Bölümü.

[4] An Introduction to GNSS, NovAtel Inc., Second Edition, 2015.

[5] http://atlas.selcuk.edu/tr/1205301/GNSS_TUM.pdf, 2 Ağustos 2017.

[6] BÜ KRDAE/Jeodezi Ana Bilim Dalı/Global Konum Belirleme Ders Notları,2016.

[7] Kahveci M., (Ocak 2016), GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri Teori ve Uygulama,Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.,6.Basım.

[8] Guenter W.Hein, Jeremie Godet, Jean-Luc Issler, Jean-Christophe Martin, Rafael Lucas-Rodriguez and Tony Pratt, (2001),” The Galileo Frequency Structure and Signal Design”, Members of the Galileo signal task force of the European Commission, Brussels, Pages(1273-1282).

[9] Ekütekin V. ve SönmezT., (,2009), ” Güncel Durum ve Gelecekteki Gelişmeler Işığında Ülkemizdeki Uygulamalara Genel Bir Bakış”, Ulusal Uçak,Havacılık ve Uzay Mühendisliği Kurultayı,Küresel Uydu Navigasyon Sistemleri.

[10] Kahveci M.,(2009),” Gerçek Zamanlı Ulusal Sabit GNSS (CORS) Ağları ve Düşündürdükleri” ,Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2009/1, sayı 100.

[11] Richard A.Snay, Tomas Soler, M.ASCE, (November 2008),”Continuously Operating Reference Station (CORS): History, Applications And Future Enhancements”, Journal of Surveying Engineering.

[12] Pırtı A., (2009), Mühendislik Ölçmelerinde Gerçek Zamanlı Kinematik GPS (GZK GPS) ve CORS Tekniği Ders Notları, YTÜ Ölçme Tekniği Ana Bilim Dalı ,İstanbul.

[13] İnal, C., Gündüz A.M.ve Bülbül S.,(2014), ” Klasik Rtk Ve Ağ-Rtk Yöntemlerinin Karşılaştırılması” , S.Ü.Müh.Bilim.Ve Teknik Dergisi,c.2,s.2.

[14] Gordini,C., Kealy,A.N., Grgich, P.M. and Hale M.J.,(2006),”Testing and Evaluation of a GPS CORS Network forReal Time Centimetric Positioning – The Victoria GPSnet™, Internatıonal Global Navigation Satellite Society IGNSS Symposium Australia.

[15] https://www.tkgm.gov.tr/tr/icerik/tusaga-aktif-sistemi-duzeltme-parametreleri ,27.12.2017.

[16] Yıldırım Ö.,(16 November 2011),” A Comparative Analysis Of The Virtual Reference Stations(VRS)”, Scientific Research and Essays Vol.6 (27), pp. 5726-5733.

[17] Namıe,H., Okamoto, O., Fan,C. and Yasuda A.,(2010),” Development of a Network-Based RTK-GPS Positioning System Using FKP Via The Internet”, The Instıtute of Positioning Navigation and Tımıg of Japan.

[18] Pırtı A., (2017),”Ormanlık Alanlarda Kullanılabilecek Alternatif Konum Belirleme Yöntemlerinin İncelenmesi”, 16.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı,Ankara.

[19] GPS Hata Kaynakları, KTÜ Ders Notları, 21.12.2017

[20] Kahveci M. ve Can N.,(2012), " Konum Belirleme Uyduları (GPS/GNSS) ve Bunların Verilerinin Kullanımına İlişkin Yasal Sorunlar", IV. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı.

[21] Spectra Precision ProMark 800 GNSS Alıcı Broşürü

[22] Kaartinen H., Hyyppa J., Vastaranta M., Kukko A., Jaakkola A., Yu X., Pyörala J., Liang X., Liu J., Wang Y., Kaijaluoto R., Melkas T., Holopainen M. and Hyyppa Hannu, (2015), "Accuracy of Kinematic Positioning Using Global Satellite Navigation Systems Under Forest Canopies ", Forests, 6,3218-3236.

[23] Bülbül S., İnal C. ve Yıldırım Ö., (2015), "Nokta Konumlarının Belirlenmesinde GZK, Ağ GZK ve Total Station Verilerinin Karşılaştırılması " , Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7(2) : 27-35.

[24] Kahveci M., (2014), "Uydularla Konum Belirleme Sistemleri (GNSS)'in Hassas Tarımda Kullanımı ve Sağladığı Katkılar", Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6(2):35-48.

[25] Öcalan T. ve Soycan M.,(18-22 Nisan 2011)," GNSS Verilerinin Gerçek Zamanlı İletimi İçin Uluslararası Standartlar ve Gelişmeler", 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, , Ankara.

[26] Tiryakioğlu İ., Güllü M., Baybura T. ve Erdoğan S., (23-25 Kasım 2005)," GPS Sinyal Yansımasının (Multipath) Nokta Konumlarına Etkisinin Araştırılması", 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, , İTÜ, İstanbul.

[27] Wei E., (2006). "VRS Virtual Observations Generation Algorithm", Journal of Global Positioning Systems(2006), Vol.5, No.1-2:76-81.

[28] Kahveci M., (2010). "GPS/GNSS Gözlemlerini Değerlendirme Yöntemlerinde Son Gelişmeler ", Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2010/1,Sayı 102.

[29] Mansour M.A.M., (2016). "A Study on Modeling The Regional Ionosphere Using Multi-Constellation GNSS Observations For Single-Frequency PPP", Doktora Tezi.

[30] Mekik Ç.ve Akçın H., (1998), “GPS’te Tamsayı Belirsizliği Çözüm Yöntemleri” , Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Dergisi, 84.

[31] Yetkin M. ve İnal C., (2010),”GNSS Taşıyıcı Faz Ölçmelerind Belirsizlik Çözümü İçin LAMBDA Yöntemi ”, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2010/2, Sayı 103.

[32] https://www.princeton.edu~alainkOrf467F07GNSS.pdf, 27.12.2017

[33] Erenoğlu R.C., (2015),” A Comprehensive Evalution of GNSS and CORS-based positioning and terrestrial surveying for cadastral surveys”, Survey Review 2017, Vol:49, No:352.

[34] Pırtı A., (2016), “The Seasonal Effects of Deciduous Tree Foliage In CORS-GNSS Measurements (VRS/FKP) ”, Technicki Vjesnik 23, 3(2016), 769-774.

[35] Pırtı A., (2008), “ Accuracy Analysis of GPS Positioning Near The Forest Environment ”, Croat. J. For eng.29 (2008)2.

[36] Gümüş K., (2016), “A Research On The Effect of Different Measuring Configurations in Network RTK Applications ”, Measurement 78, 334-343.

[37] Pırtı A., Gümüş K., Erkaya H. ve Hoşbaş R.G., (2010), “Evaluating Repeatability of RTK GPS/GLONASS Near/Under Forest Environment ”, Croat. J. for.eng.31 (2010)1.

[38] Dobelis D. and Zvirgzds J., (22 September 2016), “Network RTK Performance Analysis: A Case Study in Latvia ” , Geodesy and Cartography.

[39] Mageed K.M.A., (2013), “Accuracy Evalution Between GPS Virtual Reference Station (VRS) and GPS Real Time Kinematic (RTK) Techniques ”, World Applied Sciences Journal 24(9):1154-1162.

[40] Mekik Ç. Ve Arslanoğlu M., (2003), “Gerçek Zamanlı Kinematik GPS Konumlarının Doğruluk Analizi Ve Bir Örnek Uygulama” ,9.Türkiye Harita Bİlimel ve Teknik Kurultayı, syf: 549-558, Ankara.

[41] Eymen U. E., (2007), “SPSS 15.0 Veri Analiz Yöntemleri”, www.istatistikmerkezi.com

[42] Spectra Precision ,(March 2013), “ Increased Productivity ın Harsh Environments With Spectra Precison Z-Blade Technology”, Colorado, USA.

EK-A

ÇALIŞMA BÖLGESİNDE ELDE EDİLEN VE HESAPLANILAN ÖLÇÜMLER

TEKNİK	NOKTA NO	TARİH	SAĞA DEĞER(y) m	YUKARI DEĞER(x) m	ELİPSOİD YÜKSEKLİĞİ(h)
VRS	P1	02.11.2017	457262.266	4289534.42	1088.428
VRS	P2	02.11.2017	457270.01	4289511.84	1088.84
VRS	P3	02.11.2017	457274.056	4289500.031	1088.598
VRS	P4	02.11.2017	457254.771	4289482.939	1088.658
VRS	P5	02.11.2017	457270.261	4289467.51	1088.572
VRS	P6	02.11.2017	457313.428	4289483.925	1088.431
FKP	P1	02.11.2017	457262.262	4289534.426	1088.344
FKP	P2	02.11.2017	457270.017	4289511.877	1088.435
FKP	P3	02.11.2017	457274.04	4289500.021	1088.651
FKP	P4	02.11.2017	457254.765	4289482.958	1088.665
FKP	P5	02.11.2017	457270.271	4289467.523	1088.597
FKP	P6	02.11.2017	457313.438	4289483.991	1088.45

Çizelge A.1 CORS-VRS ve CORS-FKP Tekniklerine göre 2 Kasım Ölçü Sonuçları

TEKNİK	NOKTA NO	TARİH	SAĞA DEĞER(y) m	YUKARI DEĞER(x) m	ELİPSOİD YÜKSEKLİĞİ(h)
VRS	P1	03.11.2017	457262.226	4289534.4	1088.316
VRS	P2	03.11.2017	457270.032	4289511.823	1088.358
VRS	P3	03.11.2017	457274.061	4289500.012	1088.646
VRS	P4	03.11.2017	457254.77	4289482.947	1088.657
VRS	P5	03.11.2017	457270.245	4289467.521	1088.551
VRS	P6	03.11.2017	457313.414	4289483.939	1088.444
FKP	P1	03.11.2017	457262.28	4289534.414	1088.332
FKP	P2	03.11.2017	457269.978	4289511.792	1088.342
FKP	P3	03.11.2017	457274.076	4289499.979	1088.603
FKP	P4	03.11.2017	457254.786	4289482.937	1088.692
FKP	P5	03.11.2017	457270.248	4289467.576	1088.647
FKP	P6	03.11.2017	457313.459	4289483.964	1088.464

Çizelge A.2 CORS-VRS ve CORS-FKP Tekniklerine göre 3 Kasım Ölçü Sonuçları

TEKNİK	NOKTA NO	TARİH	SAĞA DEĞER(y) m	YUKARI DEĞER(x) m	ELİPSOİD YÜKSEKLİĞİ(h)
VRS	P1	04.11.2017	457262.253	4289534.41	1088.588
VRS	P2	04.11.2017	457270.047	4289511.8	1088.573
VRS	P3	04.11.2017	457274.076	4289500.018	1088.868
VRS	P4	04.11.2017	457254.809	4289482.904	1088.861
VRS	P5	04.11.2017	457270.244	4289467.585	1088.804
VRS	P6	04.11.2017	457313.436	4289483.942	1088.622
FKP	P1	04.11.2017	457262.219	4289534.411	1088.462
FKP	P2	04.11.2017	457270.018	4289511.836	1088.541
FKP	P3	04.11.2017	457274.047	4289500.031	1088.862
FKP	P4	04.11.2017	457254.759	4289482.978	1088.894
FKP	P5	04.11.2017	457270.252	4289467.554	1088.805
FKP	P6	04.11.2017	457313.442	4289483.94	1088.671

Çizelge A.3 CORS-VRS ve CORS-FKP Tekniklerine göre 4 Kasım Ölçü Sonuçları

TEKNİK	NOKTA NO	TARİH	SAĞA DEĞER(y) m	YUKARI DEĞER(x) m	ELİPSOİD YÜKSEKLİĞİ(h)
VRS	P1	05.11.2017	457262.304	4289534.408	1088.555
VRS	P2	05.11.2017	457270.021	4289511.806	1088.58
VRS	P3	05.11.2017	457274.08	4289500.004	1088.85
VRS	P4	05.11.2017	457254.785	4289482.965	1088.885
VRS	P5	05.11.2017	457270.263	4289467.557	1088.762
VRS	P6	05.11.2017	457313.429	4289483.958	1088.636
FKP	P1	05.11.2017	457262.285	4289534.409	1088.561
FKP	P2	05.11.2017	457270.028	4289511.823	1088.575
FKP	P3	05.11.2017	457274.06	4289500.006	1088.843
FKP	P4	05.11.2017	457254.803	4289482.938	1088.891
FKP	P5	05.11.2017	457270.266	4289467.549	1088.768
FKP	P6	05.11.2017	457313.416	4289483.947	1088.614

Çizelge A.4 CORS-VRS ve CORS-FKP tekniklerine göre 5 Kasım Ölçü Sonuçları

	Statik GNSS		Total Station		Farklar	
	Uzaklık [m]	Yükseklik Farkı [m]	Uzaklık [m]	Yükseklik Farkı [m]	Δs [m]	Δh [m]
P1-P2	23.9	-0.002	23.901	-0.001	-0.001	-0.001
P1-P3	36.36	-0.339	36.380	-0.260	-0.020	-0.079
P1-P4	52.02	-0.339	52.006	-0.295	0.014	-0.044
P1-P5	67.35	-0.219	67.370	-0.271	-0.020	0.052
P2-P3	12.46	-0.284	12.480	-0.353	-0.020	0.069
P2-P4	32.66	-0.337	32.659	-0.401	0.001	0.064
P2-P5	44.27	-0.217	44.274	-0.177	-0.004	-0.040
P3-P4	25.78	-0.053	25.775	-0.033	0.005	-0.020
P3-P5	32.7	0.067	32.688	0.050	0.012	0.017
P3-P6	42.53	0.214	42.538	0.255	-0.008	-0.041
P4-P5	21.86	0.12	21.860	0.046	0.000	0.074
P4-P6	58.67	0.267	58.677	0.225	-0.007	0.042
P5-P6	46.14	0.147	46.149	0.099	-0.009	0.048

Çizelge A.5 Statik Ölçüm sonuçları ile Total Station Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması

	CORS-VRS		Total Station		Farklar	
	Uzaklık [m]	Yükseklik Farkı [m]	Uzaklık [m]	Yükseklik Farkı [m]	Δs [m]	Δh [m]
P1-P2	23.89	-0.116	23.901	-0.001	-0.011	-0.115
P1-P3	36.36	-0.26875	36.38	-0.260	-0.020	-0.008
P1-P4	52.02	-0.2935	52.006	-0.295	0.014	0.001
P1-P5	67.34	-0.2005	67.37	-0.271	-0.030	0.071
P2-P3	12.47	-0.15275	12.48	-0.353	-0.010	0.200
P2-P4	32.65	-0.1775	32.659	-0.401	-0.009	0.223
P2-P5	44.27	-0.0845	44.274	-0.177	-0.004	0.093
P3-P4	25.76	-0.02475	25.775	-0.033	-0.015	0.008
P3-P5	32.7	0.06825	32.688	0.050	0.012	0.018
P3-P6	42.52	0.20725	42.538	0.255	-0.018	-0.048
P4-P5	21.82	0.093	21.86	0.046	-0.040	0.047
P4-P6	58.65	0.232	58.677	0.225	-0.027	0.007
P5-P6	46.18	0.139	46.149	0.099	0.031	0.040

Çizelge A.6 CORS-VRS sonuçları ile Total Station Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması

	CORS-FKP		Total Station		Farklar	
	Uzaklık [m]	Yükseklik Farkı [m]	Uzaklık [m]	Yükseklik Farkı [m]	Δs [m]	Δh [m]
P1-P2	23.88	-0.0485	23.901	-0.001	-0.021	-0.048
P1-P3	36.37	-0.315	36.380	-0.260	-0.010	-0.055
P1-P4	52	-0.36075	52.006	-0.295	-0.006	-0.066
P1-P5	67.34	-0.2795	67.370	-0.271	-0.030	-0.008
P2-P3	12.5	-0.2665	12.480	-0.353	0.020	0.086
P2-P4	32.65	-0.31225	32.659	-0.401	-0.009	0.089
P2-P5	44.28	-0.231	44.274	-0.177	0.006	-0.054
P3-P4	25.74	-0.04575	25.775	-0.033	-0.035	-0.013
P3-P5	32.68	0.0355	32.688	0.050	-0.008	-0.015
P3-P6	42.53	0.19	42.538	0.255	-0.008	-0.065
P4-P5	21.84	0.08125	21.860	0.046	-0.020	0.036
P4-P6	58.67	0.23575	58.677	0.225	-0.007	0.011
P5-P6	46.19	0.1545	46.149	0.099	0.041	0.055

Çizelge A.7 CORS-FKP sonuçları ile Total Station Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Zümrüt KURTULGU

Doğum Tarihi ve Yeri : 1985 / Kayseri

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta :zumrut.kurtulgu@inonu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Harita Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2018
Lisans	Harita Müh.	Erciyes Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimler (MF)	Behice Yazgan Lisesi	2003

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2016	İnönü Üniversitesi Darende MYO	Öğretim Görevlisi
2015	Gümüşhane Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2011	Mimarsinan Teknik ve Meslek Lisesi Harita-Kadastro Bölümü	Öğretmen
2009	Şah-Kar Harita	Harita Mühendisi

YAYINLAR

Bildiri

1.Zümrüt KURTULGU, Atınç PIRTI / Comparison of VRS and FKP Techniques In Different Application Fields/ International Congress on Engineering and Life Science/ 26-29 Nisan 2018/ Kastamonu-Türkiye