



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



CORS-TR ÖLÇMELERİNDE GLONASS'IN
KONUM DOĞRULUĞUNA ETKİSİ: KONYA
ÖRNEĞİ

Ömer YURDAKUL

DOKTORA TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ömer YURDAKUL tarafından hazırlanan “CORS-TR Ölçmelerinde GLONASS’ın Konum Doğruluğuna Etkisi: Konya Örneği” adlı tez çalışması 26/03/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Tamer BAYBURA

.....

Danışman

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI

.....

Üye

Prof. Dr. Ali TOR

.....

Üye

Doç. Dr. S. Sermet ÖĞÜTCÜ

.....

Üye

Doç. Dr. Mustafa YILMAZ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/....../2021 gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. S. Savaş DURDURAN
FBE Müdürü

Bu tez çalışması BAP Koordinatörlüğü tarafından 191419001 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Ömer YURDAKUL

Tarih:

ÖZET

DOKTORA TEZİ

CORS-TR ÖLÇMELERİNDE GLONASS'IN KONUM DOĞRULUĞUNA ETKİSİ: KONYA ÖRNEĞİ

Ömer YURDAKUL

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim KALAYCI

2021, 149 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI

Prof. Dr. Ali TOR

Prof. Dr. Tamer BAYBURA

Doç. Dr. S. Sermet ÖĞÜTCÜ

Doç. Dr. Mustafa YILMAZ

GNSS teknolojisinin yoğun kullanımı, yüksek doğruluk ve duyarlılık olarak gerçek zamanlı konum belirleme ihtiyacını doğurmuş ve bunun sonucu olarak öncelikle klasik RTK tekniği, ardından da Ağ Bazlı RTK tekniği geliştirilmiştir. Günümüzde birçok ülkede Ağ Bazlı RTK tekniğini kullanan sürekli gözlem yapan sabit GNSS ağı (CORS) bulunmaktadır. Ülkemizde de tüm ülkeyi kapsayan TUSAGA-Aktif (CORS-TR) sistemi, ulusal ölçekte bir sistem olarak tesis edilmiş ve Aralık 2008'de kullanıma açılmıştır.

GPS sisteminden sonra GLONASS'ın 8 Aralık 2011 tarihinden itibaren tam kapasite kullanılmaya başlanmasıyla Dünya'da küresel ölçekte çalışan ikinci sistem olmuştur. Bu sebeple GLONASS'ın CORS sistemlerinde kullanımı, konum doğruluğuna etkisi gibi konularda bilimsel çalışmalar yapılmaya başlanılmıştır. Bu tez çalışmasında, GLONASS'ın CORS-TR ölçmelerinde konum doğruluğuna etkisi Ağ Bazlı RTK yöntemleri bazında araştırılmış ve bu amaçla bir uygulama yapılmıştır. Uygulama Karaman (KAMN) ve Beyşehir (BEYS) CORS istasyonları arasında KAMN istasyonu ana istasyon (düzeltme verisinin alındığı) olmak üzere 5., 10., 20., 40. ve 55. Km'lerde tasarlanan özel bir platform üzerinde 6 adet aynı marka ve model GNSS alıcı cihazlar ile yapılmıştır. Ölçümler önce epok aralığı 1 saniye ve uydu yükseklik açısı 10° olarak 2 saatlik Ağ Bazlı RTK ölçümü (Cihazlar; 1. Cihaz GPS – VRS tekniği, 2. Cihaz GPS – FKP tekniği, 3. Cihaz GPS – MAC tekniği, 4. Cihaz GPS + GLONASS – VRS tekniği, 5. Cihaz GPS + GLONASS – FKP tekniği ve 6. Cihaz GPS + GLONASS – MAC tekniği olarak ayarlanmıştır) sonra cihazlara hiç temas etmeden kontrol üniteleri yardımıyla uydu yükseklik açısı 30° olarak 2 saatlik Ağ Bazlı RTK ölçümü ardından da cihaz kurulan noktaların doğru koordinatlarının elde edilebilmesi amacıyla 4 saatlik statik oturum ölçümü şeklinde yapılmıştır. Statik oturum sonucunda elde edilen verilerin dengelenmesi ile bulunan koordinatlar cihaz kurulan noktaların doğru koordinatları kabul edilmiştir. Kontrol amacıyla KAMN - BEYS bazı dışında başka bir bazda ölçümler yapılmıştır. Kontrol ölçümleri, Cihanbeyli (CIHA) ve Aksaray (AKSR) bazında CIHA istasyonunun 20. Km'sinde ve AKSR istasyonunun 43. Km'sinde yukarıda anlatılan şekilde yapılmıştır. Her bir teknikte eş zamanlı olarak yaklaşık 45.000 (ilk üç cihaz) ve 57.000 (son üç cihaz) adet epok veri (yukarı değer, sağa değer ve elipsoid yükseklik) toplamda ise 308.908 adet veri bir saniyelik aralıklarla toplanmıştır. Ölçüm sonucu elde edilen veri setlerinin değerlendirme ve analizleri neticesinde; GLONASS'ın konum doğruluğuna olumlu etkisinin olduğu fakat yer yer bozucu bir etkiye de sahip olduğu, Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında karşılaştırma yapılmış VRS ve FKP tekniklerinin daha doğru

ve prezisyonlu sonuçlar verdiği ve baz mesafesi ile konum doğruluğu arasında doğru orantı olduğu yani baz mesafesi arttıkça rms ve standart sapma değerlerinin artan bir trende sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ağ Bazlı RTK, FKP, GLONASS, GNSS, MAC, VRS.



ABSTRACT

Ph.D THESIS

THE EFFECT OF GLONASS ON POSITION ACCURACY IN CORS-TR MEASUREMENTS: CASE OF KONYA

Ömer YURDAKUL

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN GEOMATIC ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. İbrahim KALAYCI

2021, 149 Pages

Jury

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI

Prof. Dr. Ali TOR

Prof. Dr. Tamer BAYBURA

Assoc. Prof. Dr. S. Sermet ÖĞÜTCÜ

Assoc. Prof. Dr. Mustafa YILMAZ

The intensive use of GNSS technology has created the need for real-time position determination with high accuracy and precision, and as a result, the classical RTK technique and then Network Based RTK technique have been developed. Today, in many countries, there are constant GNSS networks (CORS) that make continuous observations using the Network Based RTK technique. The TUSAGA-Active (CORS-TR) system, which covers the whole country in our country, was established as a national system and was put into use in December 2008.

After the GPS system, GLONASS was the second system operating on a global scale with the introduction of full capacity as of December 8, 2011. For this reason, scientific studies have started to be conducted on subjects such as the use of GLONASS in CORS systems and its effect on position accuracy. In this thesis, the effect of GLONASS on position accuracy in CORS-TR measurements was investigated on the basis of Network Based RTK techniques and an application was made for this purpose. Application, between Karaman (KAMN) and Beyşehir (BEYS) CORS stations, KAMN station is the main station (where correction data is received), on a special platform designed in 5th, 10th, 20th, 40th and 55th Km. was made with 6 same brands and model GNSS receiving devices. Firstly, 2-hour Network Based RTK measurement was made as epoch interval 1 second and satellite elevation angle 10° (Devices; 1. Device GPS – VRS technique, 2. Device GPS – FKP technique, 3. Device GPS – MAC technique, 4. Device GPS + GLONASS – VRS technique, 5th Device GPS + GLONASS – FKP technique and 6. Device GPS + GLONASS – MAC technique). Then, with the help of control units without touching the devices, a satellite elevation angle of 30° for 2 hours Network Based RTK measurement was made. Then, was made as a 4-hour static session measurement in order to obtain the correct coordinates of the points where the device is installed. The coordinates found by processing the data obtained as a result of the static session were accepted as the correct coordinates of the points where the device was installed. For control purposes, measurements were made on a baseline other than KAMN - BEYS baseline. Control measurements were made on the baseline of Cihanbeyli (CIHA) and Aksaray (AKSR) at 20th km of CIHA station and 43th km of AKSR station as described above. In each technique, approximately 45.000 (first three devices) and 57.000 (last three devices) epoch data (north value, east value and ellipsoidal height) were collected simultaneously in one second intervals. As a result of the evaluation and analysis of the data sets obtained as a result of the measurement; It has been observed that GLONASS has a positive effect on position accuracy, but also has a disruptive effect. Compared between Network Based

RTK techniques, VRS and FKP techniques were found to give more accurate and precision results. It was observed that there is a correct ratio between the baseline distance and the position accuracy, that is, the rms and standard deviation values have an increasing trend as the baseline distance increases.

Keywords: FKP, GLONASS, GNSS, MAC, Network Based RTK, VRS.



ÖNSÖZ

Bu tez çalışması boyunca benden değerli katkılarını esirgemeyen başta danışman hocam Prof. Dr. İbrahim KALAYCI'ya, Doç. Dr. S. Sermet ÖĞÜTCÜ'ye, Prof. Dr. S. Savaş DURDURAN'a ve bölümümüzün diğer hocalarına teşekkür eder, saygılar sunarım.

Tezin gerçekleştirilmesinde 191419001 numaralı proje ile destek veren Necmettin Erbakan Üniversitesi BAP Koordinatörlüğüne, tezin uygulama kısmında CORS-TR (TUSAGA-Aktif) sisteminin kullanımında yardımcı olan Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü yetkililerine, GNSS cihazı temininde yardımcı olan Geomatics Müh. Harita Ltd. Şti. Genel Müdürü Mehmet KOCAMANOĞLU'na, verilerin değerlendirilmesinde kullanılan Leica Geo Office 8.4 yazılımını sağlayan Sistem A.Ş.'ye ve ölçüm aşamasında bana yardımcı olan tüm meslektaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarımın her aşamasında beni destekleyen sabır ve anlayış gösteren sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ömer YURDAKUL
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1. Materyal	12
3.1.1. GPS	12
3.1.1.1. GPS'in bölümleri	13
3.1.1.1.1. Uzay bölümü	13
3.1.1.1.2. Kontrol bölümü	16
3.1.1.1.3. Kullanıcı bölümü	16
3.1.2. GLONASS	17
3.1.2.1. GLONASS'ın bölümleri	17
3.1.2.1.1. Uzay bölümü	18
3.1.2.1.2. Kontrol bölümü	26
3.1.2.1.3. Kullanıcı bölümü	28
3.1.3. Galileo.....	30
3.1.4. Compass-BeiDou	32
3.1.5. Diğer sistemler	36
3.1.6. CORS sistemleri	38
3.1.7. CORS-TR/TUSAGA-Aktif sistemi	40
3.1.8. Dünya'da CORS sistemleri.....	43
3.1.9. Ağ Bazlı RTK teknikleri.....	44
3.1.9.1. VRS tekniği.....	46
3.1.9.2. FKP tekniği	50
3.1.9.3. MAC tekniği	54
3.1.9.4. Ağ Bazlı RTK tekniklerinin karşılaştırılması	58
3.2. Yöntem.....	59
3.2.1. Arazi çalışması.....	60
3.2.2. Statik oturum verilerinin dengelenmesi	68
3.2.3. Uyuşumsuz ölçüler testi.....	70

3.2.4. Doğruluk ve prezisyon değerlerinin hesaplanması.....	76
3.2.4.1. Doğruluk değerleri (kareseel ortalama hata, rms: root mean square).....	76
3.2.4.2. Prezisyon değerleri (standart sapma, hassasiyet).....	77
3.2.5. f testi (Anlamlılık testi).....	85
3.2.5.1. Sadece GPS ölçümleri ile GPS + GLONASS ölçümleri arasında f testi.....	86
3.2.5.2. Sadece GPS ölçümlerinin Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında f testi	87
3.2.5.3. GPS + GLONASS ölçümlerinin Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında f testi	89
3.2.5.4. Baz mesafeleri arasında f testi	90
3.2.6. Normal dağılım analizi	92
3.2.7. GLONASS'ın iyileştirdiği, bozduğu ve nötr olduğu ölçütler.....	98
3.2.7.1. GLONASS'ın iyileştirdiği ölçütler	100
3.2.7.2. GLONASS'ın bozduğu ölçütler.....	101
3.2.7.3. GLONASS'ın etkisinin nötr/anlamsız olduğu ölçütler.....	102
3.2.8. Ağ Bazlı RTK ölçümlerinin epoklara göre sınıflandırılması.....	108
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	114
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	119
KAYNAKLAR	121
ÖZGEÇMİŞ	131

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

λ	Sinyalin dalga boyu
c	Işığın boşluktaki hızı
$\varphi_A^j(t)$	Taşıyıcı faz gözlemleri
N_A^j	Faz başlangıç belirsizliği
$\delta^j(t)$	Uydu saat hatası
$\delta_A(t)$	Alıcı saat hatası
$I_A^j(t)$	İyonosferik hata
$T_A^j(t)$	Troposferik hata
$E_A^j(t)$	Yörünge hatası
Δ	Tekli farklar
$\nabla\Delta$	İkili farklar
$\Delta\varphi_A^{m,n}$	Ana referans istasyonunda oluşturulan faz ölçümlerinin tekli farkları
$\Delta\varphi_{VRS}^{m,n}$	VRS istasyonunda oluşturulan faz ölçümlerinin tekli farkları
$\nabla\Delta\varphi_{A,VRS}^{m,n}$	Ana referans istasyonu ve VRS istasyonu arasındaki faz ölçümleri ikili farkları
$\nabla\Delta\rho_{A,VRS}^{m,n}$	İkili farklar sonucu ana referans istasyonu ve VRS istasyonu arasındaki uydu ve istasyonlar arasındaki geometrik mesafe
δr_{L1}	L1 frekansı için mesafeye bağlı hata
δr_{L2}	L2 frekansı için mesafeye bağlı hata
f_1	L1 sinyalinin frekans değeri (154)
f_2	L2 sinyalinin frekans değeri (120)
$\rho_A^j(t)$	(A) referans istasyonu ile (j) uydusu arasındaki (t) zamanında bilinen koordinatları ile hesaplanan geometrik mesafe
ρ_{AB}^i	İki istasyon arasındaki geometrik mesafe farkı

Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ASECNA	The Agency for the Safety of Air Navigation in Africa and Madagascar
BDT	Beidou Time
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CC	Central Clocks
CDMA	Code Division Multiple Access
CGCS	China Geodetic Coordinate System
CIGNET	Cooperative International GPS Network
Cm	Santimetre
CORS	Continuously Operating Reference Stations
CPC	Carrier Phase Correction
DGNNS	Differential GNSS

DMA	Defence Program Office
DOD	Department of Defence
DOP	Dilution of Precision
DOT	Department of Transportation
EGNOS	European Geostationary Overlay Service
ESA	European Space Agency
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FKP	Flachen Korrektur Parameter
FOC	Full Operational Capability
GAGAN	GPS Aided Geo Augmented Navigation
GDOP	Geometric Dilution Of Precision
GEO	Geostationary Earth Orbit
GEONET	GPS Earth Observation NETwork System
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya
GMT	Greenwich Mean Time
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
GSI	Geographical Survey Institute
GSO	Geosynchronous Orbit
GST	Galileo System Time
GTRF	Galileo Terrestrial Reference Frame
HDOP	Horizontal Dilution Of Precision
HEO	High Earth Orbit
HGM	Harita Genel Müdürlüğü
IGOS	Inclined Geosynchronous Orbit Satellites
IGS	International GNSS Service
IGSO	Inclined GeoSynchronous Orbit
IRNSS	Indian Regional Navigation Satellite System
JPO	Joint Program Office
KKTC	Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti
km	Kilometre
LEO	Low Earth Orbit
m	Metre
MAC	Master Auxiliary Concept
MEO	Medium Earth Orbit
MS	Monitor Stations
MSAS	MTSAT Satellite-based Augmentation System
MTSAT	Multi-Functional Transport Satellite
NASA	National Aeronautics And Space Administration
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NAVSTAR-GPS	Navigation Satellite Timing And Ranging – Global Positioning System
NGS	National Geodetic Survey
NSS	Navigation Satellite System
NNSS	Navy Navigational Satellite System
NTFS	National Time and Frequency Service
PDOP	Position Dilution Of Precision
PIVOT	Progressive Infrastructure Via Overlaid Technology
PPP	Precise Point Positioning
PRC	PseudoRange Correction

PZ	Parametry Zemli/Parameters of the Earth
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System
RIMS	Ranging and Integrity Monitoring Stations
RTCM	Radio Technical Commission for Aeronautics
RTK	Real Time Kinematic
RTN	Real Time Network
SA	Selective Availability
SACCSA	Solución de Aumentación para Caribe, Centro y Sudamérica (Orta ve Güney Amerika ve Karayipler İçin Alan Genişletme Çözümü)
SAPOS	Satellite Positioning
SBAS	Satellite Based Augmentation System
SPAN	Southern Positioning Augmentation Network
SCC	System Control Center
SLR	Satellite Laser Ranging
TDOP	Time Dilution Of Precision
TKGM	Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü
TT&C	Telemetry, Tracking And Command Stations
TUSAGA-Aktif	Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı – Aktif
UHF	Ultra High Frequency
US	Uplink Stations
UTC	Coordinated Universal Time
VDOP	Vertical Dilution Of Precision
VHF	Very High Frequency
VRS	Virtual Reference Station
WAAS	Wide Area Augmentation System

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3. 1. GPS'in uzay bölümü (URL-3).....	14
Şekil 3. 2. GPS uydularının modernizasyonu (URL-3).....	15
Şekil 3. 3. GLONASS uyduları (URL-6)	18
Şekil 3. 4. GLONASS uydularının yörünge düzlemindeki pozisyonları (Teunissen ve Montenbruck, 2017).....	19
Şekil 3. 5. GLONASS uydularının yer izleri (Teunissen ve Montenbruck, 2017).....	20
Şekil 3. 6. GLONASS uydularının sinyal modernizasyonu (İçen, 2018).....	25
Şekil 3. 7. GLONASS kontrol bölümü bileşenleri (Teunissen ve Montenbruck, 2017)	27
Şekil 3. 8. Galileo'nun kontrol bölümü ve çalışma prensibi (URL-13)	32
Şekil 3. 9. BeiDou sistemi uydularının (BeiDou-2) 1 Temmuz 2014 tarihli yer izleri [GEO (kırmızı), IGSO (mavi) ve MEO (yeşil)] (Teunissen ve Montenbruck, 2017)	34
Şekil 3. 10. Compass-BeiDou sisteminin uzay bölümü ve uyduları (BeiDou Navigasyon Uydu Sistemi Açık Servis Performans Standartları, 2013)	35
Şekil 3. 11. Ağ Bazlı RTK uygulaması (Öğütücü, 2014)	40
Şekil 3. 12. CORS-TR istasyonları (159 istasyon, yaklaşık 80 – 100 km mesafelerde) (URL-32)	41
Şekil 3. 13. Iğdır CORS-TR istasyonu (Yıldırım vd., 2011).....	42
Şekil 3. 14. VRS tekniği (İnal vd., 2018)	46
Şekil 3. 15. VRS tekniğinde geometrik yer değiştirme (Öğütücü, 2017; Wei vd., 2006)	48
Şekil 3. 16. 4 adet referans istasyonun oluşturduğu FKP düzlemleri (Öğütücü, 2014; Wübbena vd., 2001).....	51
Şekil 3. 17. FKP düzlemi (Öğütücü, 2017).....	51
Şekil 3. 18. MAC tekniği (İnal vd., 2018)	55
Şekil 3. 19. CORS-TR istasyon noktaları (URL-36).....	61
Şekil 3. 20. Çalışma/Uygulama alanı (Google Earth görüntüsü)	61
Şekil 3. 21. GNSS ölçüm platformu	61
Şekil 3. 22. Ağ Bazlı RTK ölçümü.....	62
Şekil 3. 23. Tüm ölçüm istasyonlarındaki Ağ Bazlı RTK ölçümlerinin ortalama uydu sayıları.....	63
Şekil 3. 24. Tüm ölçüm istasyonlarındaki Ağ Bazlı RTK ölçümlerinin ortalama PDOP değerleri	63
Şekil 3. 25. Statik ölçüm.....	64
Şekil 3. 26. Kontrol ölçüm noktaları (Google Earth görüntüsü)	64
Şekil 3. 27. Spectra Precision SP80 marka GNSS alıcı cihazı (URL-37)	66
Şekil 3. 28. Ölçüm yapılan tarihlerdeki dst ve kp indeks değerleri (URL-38)	68
Şekil 3. 29. Uyuşumsuz ölçülerin Ağ Bazlı RTK tekniklerine göre oranı	73
Şekil 3. 30. Uyuşumsuz ölçülerin baz mesafelerine göre oranı.....	74
Şekil 3. 31. Uyuşumsuz ölçülerin uydu yükseklik açılarına göre oranı	75
Şekil 3. 32. Uyuşumsuz ölçülerin GNSS sistemine göre oranı	76
Şekil 3. 33. Tüm ölçü setlerine ait sağa değer rms değerleri (mm)	79
Şekil 3. 34. Tüm ölçü setlerine ait sağa değer standart sapma değerleri (mm)	79
Şekil 3. 35. Tüm ölçü setlerine ait yukarı değer rms değerleri (mm)	79
Şekil 3. 36. Tüm ölçü setlerine ait yukarı değer standart sapma değerleri (mm)	80
Şekil 3. 37. Tüm ölçü setlerine ait yatay rms değerleri (mm)	80
Şekil 3. 38. Tüm ölçü setlerine ait yatay standart sapma değerleri (mm).....	80
Şekil 3. 39. Tüm ölçü setlerine ait elipsoidal yükseklik rms değerleri (mm).....	81
Şekil 3. 40. Tüm ölçü setlerine ait elipsoidal yükseklik standart sapma değerleri (mm)81	

Şekil 3. 41. GPS – VRS tekniğine ait tüm ölçü setlerinin rms ve standart sapma değerleri (mm)	81
Şekil 3. 42. GPS – FKP tekniğine ait tüm ölçü setlerinin rms ve standart sapma değerleri (mm).....	82
Şekil 3. 43. GPS – MAC tekniğine ait tüm ölçü setlerinin rms ve standart sapma değerleri (mm)	82
Şekil 3. 44. GPS + GLONASS – VRS tekniğine ait tüm ölçü setlerinin rms ve standart sapma değerleri (mm)	83
Şekil 3. 45. GPS + GLONASS – FKP tekniğine ait tüm ölçü setlerinin rms ve standart sapma değerleri (mm).....	83
Şekil 3. 46. GPS + GLONASS – MAC tekniğine ait tüm ölçü setlerinin rms ve standart sapma değerleri (mm)	84
Şekil 3. 47. KAMN 10. Km GPS + GLONASS – VRS tekniğine (uydu yükseklik açısı 10°) ait sağa değer hata dağılımı.....	93
Şekil 3. 48. KAMN 40. Km GPS – MAC tekniğine (uydu yük. açısı 10°) ait yukarı değer hata dağılımı.....	93
Şekil 3. 49. KAMN 5. Km GPS + GLONASS – FKP tekniğine (uydu yük. açısı 10°) ait elipsoidal yükseklik hata dağılımı	94
Şekil 3. 50. KAMN 5. Km GPS – MAC tekniğine (uydu yükseklik açısı 10°) ait sağa değer hata dağılımı.....	94
Şekil 3. 51. AKSR 43. Km GPS + GLONASS – FKP tekniğine (uydu yük. açısı 10°) ait yukarı değer hata dağılımı	94
Şekil 3. 52. KAMN 55. Km GPS + GLONASS – VRS tekniğine (uydu yük. açısı 30°) ait elipsoidal yükseklik hata dağılımı	95
Şekil 3. 53. Normal dağılımlı olmayan ölçümlerin baz mesafelerine göre dağılımı	96
Şekil 3. 54. Normal dağılımlı olmayan ölçümlerin VRS tekniğine göre dağılımı	97
Şekil 3. 55. Normal dağılımlı olmayan ölçümlerin FKP tekniğine göre dağılımı.....	97
Şekil 3. 56. Normal dağılımlı olmayan ölçümlerin MAC tekniğine göre dağılımı	97
Şekil 3. 57. GLONASS'ın yatayda nötr/anlamsız olduğu ölçütlerin baz mesafelerine göre dağılımı	104
Şekil 3. 58. GLONASS'ın yatayda nötr/anlamsız olduğu ölçütlerin VRS tekniğine göre dağılımı	104
Şekil 3. 59. GLONASS'ın yatayda nötr/anlamsız olduğu ölçütlerin FKP tekniğine göre dağılımı	104
Şekil 3. 60. GLONASS'ın yatayda nötr/anlamsız olduğu ölçütlerin MAC tekniğine göre dağılımı	105
Şekil 3. 61. GLONASS'ın düşeyde nötr/anlamsız olduğu ölçütlerin baz mesafelerine göre dağılımı	107
Şekil 3. 62. GLONASS'ın düşeyde nötr/anlamsız olduğu ölçütlerin VRS tekniğine göre dağılımı	107
Şekil 3. 63. GLONASS'ın düşeyde nötr/anlamsız olduğu ölçütlerin FKP tekniğine göre dağılımı	107
Şekil 3. 64. GLONASS'ın düşeyde nötr/anlamsız olduğu ölçütlerin MAC tekniğine göre dağılımı	108
Şekil 3. 65. KAMN 5. Km sadece GPS – VRS (uydu yükseklik açısı 10°) ölçümlerinin 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm).....	109
Şekil 3. 66. KAMN 5. Km GPS + GLONASS – VRS (uydu yükseklik açısı 10°) ölçümlerinin 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm) ..	109
Şekil 3. 67. KAMN 5. Km sadece GPS – VRS (uydu yükseklik açısı 30°) ölçümlerinin 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm).....	110

Şekil 3. 68. KAMN 5. Km GPS + GLONASS – VRS (uydu yükseklik açısı 30°)	
ölçümlerinin 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm) ..	110
Şekil 3. 69. KAMN 55. Km sadece GPS – FKP (uydu yükseklik açısı 10°) ölçümlerinin	
5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm).....	110
Şekil 3. 70. KAMN 55. Km GPS + GLONASS – FKP (uydu yükseklik açısı 10°)	
ölçümlerinin 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm) ..	111
Şekil 3. 71. KAMN 55. Km sadece GPS – FKP (uydu yükseklik açısı 30°) ölçümlerinin	
5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm).....	111
Şekil 3. 72. KAMN 55. Km GPS + GLONASS – FKP (uydu yükseklik açısı 30°)	
ölçümlerinin 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm) ..	111
Şekil 3. 73. CIHA 20. Km GPS – MAC (uydu yükseklik açısı 10°) ölçümlerinin 5 dk.,	
15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm).....	112
Şekil 3. 74. CIHA 20. Km GPS + GLONASS – MAC (uydu yükseklik açısı 10°)	
ölçümlerinin 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm) ..	112
Şekil 3. 75. CIHA 20. Km GPS – MAC (uydu yükseklik açısı 30°) ölçümlerinin 5 dk.,	
15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm).....	112
Şekil 3. 76. CIHA 20. Km GPS + GLONASS – MAC (uydu yükseklik açısı 30°)	
ölçümlerinin 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm) ..	113

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3. 1. GLONASS uydularının modernizasyonu ve teknik özellikleri (Teunissen ve Montenbruck, 2017; URL-8)	21
Çizelge 3. 2. GLONASS uydularının sinyalleri (Teunissen ve Montenbruck, 2017)	24
Çizelge 3. 3. PZ90 datumu parametreleri (Kahveci ve Yıldız, 2017; Teunissen ve Montenbruck, 2017).....	26
Çizelge 3. 4. PZ90 datumu dönüşüm parametreleri (Teunissen ve Montenbruck, 2017)	26
Çizelge 3. 5. GLONASS ile GPS sistemleri arasında benzerlikler ve farklılıklar (Kahveci ve Yıldız, 2017; URL-5; URL-6).....	29
Çizelge 3. 6. GLONASS navigasyon doğruluğunun GPS navigasyon doğruluğu ile karşılaştırılması (URL-11).....	30
Çizelge 3. 7. Compass-BeiDou sistemi ile diğer küresel konum belirleme sistemlerinin karşılaştırılması (Chen vd., 2011; China's Beidou NSS; URL-19; URL-20)	36
Çizelge 3. 8. Ağ Bazlı RTK tekniklerinin karşılaştırılması (Öğütçü, 2017; Kahveci, 2017; Öğütçü, 2014; Brown vd., 2006; Euler vd., 2001)	59
Çizelge 3. 9. Ağ Bazlı RTK yöntemlerinin ölçümü esnasında kullanılan ortalama uydu sayıları ve PDOP değerleri	63
Çizelge 3. 10. Spectra Precision SP80 marka GNSS alıcı cihazı teknik özellikleri (URL-37).....	66
Çizelge 3. 11. Statik verileri dengeleme parametreleri.....	69
Çizelge 3. 12. Tüm ölçüm noktalarının 3 boyutlu koordinat eksenleri yönündeki standart sapma değerleri (mm).....	70
Çizelge 3. 13. Ölçüm yapılan istasyonların Ağ Bazlı RTK teknikleri ile yapılan toplam ölçü sayıları, uyuşumsuz ölçüler ve uyuşumsuz ölçüler atıldıktan sonra kalan ölçüler .	72
Çizelge 3. 14. Uyuşumsuz ölçülerin Ağ Bazlı RTK tekniklerine göre oranı	73
Çizelge 3. 15. Uyuşumsuz ölçülerin baz mesafelerine göre oranı.....	74
Çizelge 3. 16. Uyuşumsuz ölçülerin uydu yükseklik açılarına göre oranı	75
Çizelge 3. 17. Uyuşumsuz ölçülerin GNSS sistemine göre oranı	76
Çizelge 3. 18. İstasyonların rms ve standart sapma değerleri (mm).....	78
Çizelge 3. 19. Sadece GPS ölçümleri ile GPS + GLONASS ölçümlerinin Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında f testi sonuçları (anlamsız olanların dağılımı).....	87
Çizelge 3. 20. Sadece GPS ölçümlerinin Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında f testi sonuçları (anlamsız olanların dağılımı)	88
Çizelge 3. 21. GPS + GLONASS ölçümlerinin Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında f testi sonuçları (anlamsız olanların dağılımı)	90
Çizelge 3. 22. Baz mesafelerine ait rms değerleri (mm)	91
Çizelge 3. 23. Baz mesafeleri arasında karşılaştırmalı f testi sonuçları	92
Çizelge 3. 24. Normal dağılımlı olmayan ölçümlerin sayısal dağılımı	96
Çizelge 3. 25. HALP istasyonunun koordinatlarından hesaplanan toposentrik koordinatlar (m)	100
Çizelge 3. 26. GLONASS'ın yatayda iyileştirdiği ölçütler	100
Çizelge 3. 27. GLONASS'ın düşeyde iyileştirdiği ölçütler.....	101
Çizelge 3. 28. GLONASS'ın yatayda bozduğu ölçütler	101
Çizelge 3. 29. GLONASS'ın düşeyde bozduğu ölçütler	102
Çizelge 3. 30. GLONASS'ın etkisinin yatayda nötr/anlamsız olduğu ölçütler	103
Çizelge 3. 31. GLONASS'ın etkisinin düşeyde nötr/anlamsız olduğu ölçütler	106
Çizelge 4. 1. En küçük rms ve standart sapma değerleri.....	117
Çizelge 4. 2. En büyük rms ve standart sapma değerleri.....	118

1. GİRİŞ

İnsanoğlu tarihin başlangıcından bu yana fiziksel konumunu belirleyebilmek için çeşitli ölçme yöntemleri kullanmıştır. Yapılan tarihi araştırmalarda milattan önceki dönemlerde ilkel ölçme yöntemlerinin kullanıldığı ve bunun sonucunda da haritaların oluşturulduğu gözlemlenmiştir. Bu haritalara örnek olarak, günümüzden yaklaşık olarak 8.200 yıl öncesine ait olan Çatalhöyük Antik Kentinde (Çumra/Konya) bir kazıda ortaya çıkarılan Çatalhöyük Kent Haritası verilebilir (Ülkekel, 2016). Zaman içerisinde insanların ihtiyaçlarının değişmesi ve teknolojinin gelişmesine paralel olarak ölçme yöntemlerinde günümüze kadar ciddi gelişmeler kayıt altına alınmıştır.

ABD Savunma Bakanlığı tarafından 1970’li yıllardan itibaren askeri amaçlar için kullanılmaya başlayan GPS, bugün geline nokta da hayatımızın birçok alanında harita üretiminin yanı sıra jeodezik ve kadastral ölçmeler, CBS, navigasyon ve araç takip sistemleri, hassas tarım uygulamaları ve ormancılık gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Teknolojinin ilerlemesine paralel olarak küresel konum belirleme sistemlerinin kullanım alanları da günden güne artmaktadır.

ABD’nin GPS sistemine rakip denilebilecek ilk sistem eski adıyla Sovyetler Birliği (Rusya Federasyonu) tarafından geliştirilen GLONASS olmuştur. Daha sonra Avrupa Birliği tarafından Galileo, Çin tarafından Compass-BeiDou gibi konum belirleme sistemleri üzerinde çalışmalara başlanılmıştır. Sabit ve sürekli gözlem yapan referans ağları oluşturma fikrinin ortaya çıkması ile birlikte Dünya’da ve Türkiye’de CORS sistemleri tesis edilmeye başlanılmıştır. Dünya’da ABD, Almanya ve Japonya gibi ülkelerde örneği bulunan CORS sistemleri Ülkemizde TUSAGA-Aktif Projesi (CORS-TR) ile 2008 yılında İstanbul Kültür Üniversitesi, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü ve Harita Genel Müdürlüğü tarafından hayata geçirilmiştir.

CORS-TR sisteminde kullanılan uydular GPS ve GLONASS uydularıdır. Şuan küresel ölçekte çalışan başka bir sistem olmadığı için bu iki sistemin uydularından faydalanılmaktadır. CORS-TR sisteminin merkezi yazılımı Trimble Pivot Platform GPS, GLONASS ve QZSS uydu sistemleri için tam destek sağlamaktadır. Fakat sadece GPS ve GLONASS sistemleri için her üç yöntemde düzeltme verilerini yayımlarken QZSS sistemi için ise sadece VRS yöntemine ait düzeltme verilerini yayımlamaktadır. Ayrıca, yazılım Galileo ve Compass-BeiDou uydu sistemlerinin izlenmesini ve verilerinin depolanmasını da desteklemektedir (URL-1). Bu bağlamda yapılan bilimsel çalışmalar genellikle GPS ve GLONASS uydularından temin edilen veriler üzerinden

yapılmaktadır. GPS sisteminin ilk sistem olması sebebiyle GPS üzerine yapılan akademik çalışmalar bir hayli fazladır. Fakat GLONASS sistemi 8 Aralık 2011 tarihinde tam kapasite çalışmaya başladığından, GLONASS üzerine yapılan bilimsel çalışmalar GPS sistemine göre daha azdır. Aynı zamanda Ülkemizde CORS-TR projesinin Aralık 2008 tarihinde kullanıma açılmasıyla birlikte GLONASS uydularının CORS-TR’de kullanımı ve etkileri araştırılmaya başlanılmıştır. Yapılan çalışmaların değerlendirilmesi sonucunda GLONASS uydularının kullanılması ile uyduların sınırlı görünürlüğe sahip olduğu engelli alanlarda (kentsel veya ağaçlık alanlar vb.) görülebilir uydu sayısının arttığı, ölçü sonuçlarına anlamlı etkilerinin olduğu ve kullanıcılara büyük faydalar sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte GLONASS’ın CORS-TR sisteminde Ağ Bazlı RTK teknikleri ile kullanımı sonucunda yine olumlu etkilerinin olduğu ortaya konulmuştur.

Bu tez çalışmasında; küresel konum belirleme sistemleri olan GPS, GLONASS ve diğerler sistemler ile bölgesel uydu bazlı konum belirleme sistemleri, Ağ Bazlı RTK, Ağ Bazlı RTK teknikleri olan VRS, FKP ve MAC teknikleri ve bunların karşılaştırılması ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Ayrıca küresel çapta çalışan ikinci uydu bazlı sistem olan GLONASS’ın hizmete girdiği tarihten bu yana kısa zaman geçmesi ve üzerine yapılan bilimsel çalışmaların kısıtlı olması sebebiyle GLONASS’ın CORS-TR sisteminde konum doğruluğuna etkisini belirleyebilmek amacıyla bir uygulama yapılmış ve uygulama sonuçları ile elde edilen bulgular anlatılmıştır.

Tezin amacı; Ülkemizde sürekli ve sabit gözlem yapan referans istasyonları olan CORS-TR ağına sadece GPS ve GPS + GLONASS sistemleri ile üç Ağ Bazlı RTK tekniği kullanılarak 6 adet aynı marka, model ve yazılıma sahip GNSS alıcı cihazları (Cihazlar; 1. Cihaz GPS – VRS tekniği, 2. Cihaz GPS – FKP tekniği, 3. Cihaz GPS – MAC tekniği, 4. Cihaz GPS + GLONASS – VRS tekniği, 5. Cihaz GPS + GLONASS – FKP tekniği ve 6. Cihaz GPS + GLONASS – MAC tekniği olarak ayarlanmıştır) ile farklı baz mesafelerinde eş zamanlı ölçümler yapılarak elde edilen verilerin analizleri ile CORS-TR ölçmelerinde GLONASS’ın konum doğruluğuna etkisi, Ağ Bazlı RTK teknikleri (VRS, FKP ve MAC) arasında doğruluk karşılaştırması ve her bir nokta için baz mesafesinin konum doğruluğuna etkisinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Tezin bilime katkısı; kaynak araştırması neticesinde GLONASS’ın CORS-TR ölçmelerine etkisinin Ağ Bazlı RTK teknikleri ve baz mesafeleri dikkate alınarak kapsamlı bir çalışma yapılması ile bilime önemli bir katkı sunacağı düşünülerek tez çalışması gerçekleştirilmiş ve sonucunda CORS-TR ağına GLONASS sisteminin

ölçüm sonuçlarına etkisi, Ağ Bazlı RTK teknikleri (VRS, FKP ve MAC) arasında doğruluk karşılaştırması ve ölçüm yapılan her bir nokta için baz mesafesinin konum doğruluğuna etkisi tespit edilerek ortaya konulmuştur. Bu sayede bilimsel literatüre katkı sunulmuştur. Bununla birlikte başta tüm CORS-TR kullanıcıları ve akademik çevreler olmak üzere harita sektöründen tarım, ormancılık, taşımacılık, askeri sanayiye varana kadar birçok mesleki disiplin tarafından yararlanılabilecektir.

Tez genel olarak şu bölümlerden oluşmaktadır; ikinci bölümde tez çalışmasıyla ilgili daha önce yapılmış ve yayınlanmış kaynak araştırmalarına ilişkin özetler sunulmuştur. Üçüncü bölümde materyal olarak tez ile ilgili teorik konulara, yöntem olarak ise arazi uygulamasına ve elde edilen sonuçlara ayrıntılı bir şekilde yer verilmiştir. Dördüncü bölümde arazi uygulamasından elde edilen bulgular değerlendirilmiştir. Beşinci bölümde ise sonuç ve önerilerde bulunularak tez çalışması tamamlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

GLONASS sisteminin uydu takımını tamamlayıp tam kapasite çalışmaya başlamasıyla birlikte, çok sayıda uyduya gözlem olanağı sunarak uydu geometrisini iyileştirmiştir. Ayrıca GLONASS ile elde edilen sonuçlar sayesinde GPS ile elde edilen sonuçların doğruluğunu test edilebilme imkânı sağlamıştır (Alçay ve İnal, 2010). Aynı GPS sisteminde olduğu gibi GLONASS sisteminde de RTK, statik ve diğer konum belirleme yöntemleri kullanılarak ölçü yapılabilmektedir. Aşağıda, GLONASS sisteminin kullanımı ve özellikle Ağ Bazlı RTK’da kullanımına ilişkin kaynak araştırması yapılarak elde edilen çalışmaların önemli bir kısmı ile sonuçları anlatılmıştır.

Alçay (2010) tarafından yapılan “Küresel Konumlamada GLONASS’ın Kullanılabilirliğinin Araştırılması” isimli yüksek lisans tezinde, GLONASS’ in küresel konum belirlemede kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla 4 çalışma gerçekleştirilmiştir. İlk çalışmada, GPS/GLONASS alıcılarıyla donatılmış IGS istasyonları arasında farklı uzunluklarda 4 baz oluşturulmuştur. Bazlar, 4, 8 ve 24 saatlik ölçü süreleri göz önüne alınarak değerlendirilmiş ve analiz edilmiştir. İkinci çalışmada GPS/GLONASS alıcılarıyla donatılmış 6 IGS istasyonundan oluşan bir ağ belirlenmiştir. 6, 12 ve 24 saatlik ölçü süreleri göz önüne alınarak değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Üçüncü çalışmada Konya mücavir alan sınırları içerisinde 7 noktalı bir ağ oluşturulup, 6 saatlik ölçülerin ardından değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Dördüncü çalışmada ise tekrarlanabilirliği araştırmak amacıyla 4 IGS istasyonundan oluşan bir ağ belirlenmiş ve 10 günlük gözlemler değerlendirilmiştir. Tüm çalışmalarda değerlendirmeler Bernese 5.0 akademik analiz yazılımı ve GPS, GPS/GLONASS ve GLONASS gözlemleri kullanılarak ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre uzun süreli oturumlarda GLONASS gözlemlerinin özellikle ağ yaklaşımında kullanılabileceği ancak GLONASS uydu sinyallerinden kaynaklanan problemler olduğunda (Uygulama III) ise yalnız kullanılamayacağı ve GPS/GLONASS sonuçlarını da olumsuz etkileyebileceği görülmüştür.

Al-Shaery vd. (2011) tarafından sunulan “Sadece GPS’in Kullanımına Karşın GPS ve GLONASS Entegresinin Kullanılarak Ağ Bazlı Konum Belirleme Performansının Değerlendirilmesi” isimli bildiride, GLONASS ve GPS verilerinin farklı uydu izleme ve görünürlük koşullarında ağ bazlı konum belirleme yöntemi ile birleştirilmesinin etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın amacı, GLONASS’ın tamamen çalışır

durumda olması nedeniyle, sadece GPS/GLONASS'ı GPS ile karşılaştırmak değil, aynı zamanda GLONASS'ın kalitesini GPS/GLONASS çözümüyle karşılaştırmaktır. Testte kullanılan veriler, Avustralya'nın Sidney bölgesinde bulunan CORS ağının 7 istasyonundan alınmıştır. İstasyonlar arası mesafeler 20.7 km ile 62.5 km arasındadır. Tüm istasyonlarda hem GPS hem de GLONASS uydularını izleyebilen jeodezik alıcılar mevcuttur. Koordinatlar üç çözüm senaryosu (uydu yükseklik açıları 15° , 30° ve 45° olarak) ile sadece GPS, sadece GLONASS ve GPS/GLONASS kullanılarak Bernese bilimsel yazılımı ile hesaplanmıştır. Sonuçta, GPS/GLONASS çözümü sadece GPS çözümü ile karşılaştırıldığında, önemli bir iyileşme sağlamıştır. Aynı sonuçlar, sadece GLONASS çözümü ile karşılaştırıldığında da geçerlidir ve GLONASS verilerinin GPS'e eklenmesi ile sonuçlarda anlamlı etkiler meydana gelmiştir.

Zhang vd. (2011) tarafından sunulan “Entegre GPS ve GLONASS Gözlemleri Kullanarak Ağ Bazlı RTK Konum Belirleme” isimli bildiride, GPS ve GLONASS entegresinin Ağ RTK algoritmasını test etmek ve doğrulamak için CORSnet-NSW ağından veriler kullanılmıştır. Test için CORSnet-NSW ağında 6 istasyondan 5 saniye kayıt aralığında 1 epok olarak 24 saatlik ve VRS tekniği ile elde edilen veriler kullanılmıştır. Sonuçlar, CORS bazlarının taşıyıcı faz belirsizlikleri (ambiguities) başarılı bir şekilde tespit edildikten sonra, hem GPS hem de GLONASS uydularının atmosferik gecikmelerinin santimetre seviyesinde doğrulukla enterpole edilebileceğini göstermiştir. Ağ bazlı RTK konum belirleme sonuçları; GPS konum belirleme hassasiyetinin, doğu, kuzey ve yukarı yönlerde yaklaşık 0.91, 1.21 ve 6.88 cm olduğunu ve GPS/GLONASS entegrasyonunun, hassasiyeti sırasıyla 0.80, 1.01 ve 6.04 cm'ye kadar arttırdığını göstermiştir. Ayrıca tek epok belirsizlik çözümü başarı oranı, sadece GPS çözümünde % 89 iken GPS/GLONASS entegrasyon çözümünde % 96.1'e yükselmiştir. GLONASS uydu sisteminin geri kazanılmasıyla, GPS/GLONASS bütünleşik ağ bazlı RTK'nın hem konum belirleme hassasiyeti hem de taşıyıcı faz belirsizliği çözümü için başarı oranının iyileştirilebildiği sonucuna varılmıştır.

Martin ve McGovern (2012) tarafından sunulan “İrlanda'da Ağ RTK GNSS Hizmetlerinin Performansının Değerlendirilmesi” isimli bildiride, İrlanda'daki üç ticari NRTK servislerinin yani SmartNet, VRS Now İrlanda ve TopNET+'in performansı ve GLONASS'ın ölçülere etkisi araştırılmıştır. Dublin şehrinin 50 km'lik yarıçapındaki dokuz noktada NRTK verileri normal gözlem ve işleme yöntemlerini kullanarak toplanmış ve değerlendirilmiştir. Ölçüler için IRENET ağında koordinatları sabit olan 9 istasyon noktası kullanılmıştır. Her nokta 5 epok (her epok 1 saniye), 10° 'lık yükseklik

açısı ve 45 dakikalık gözlem süresi ile ilk olarak GPS/GLONASS uyduları, ikinci olarak da sadece GPS uyduları kullanılmak kaydıyla iki kere ölçülmüştür. Her bir nokta için standart sapma, ortalama, standart hata ve RMSE gibi istatistikler oluşturulmuştur. Sonuçta, üç sistemin karşılaştırılabilir olduğu, yatay ve düşey doğrulukları sağladığı bulunmuştur. GLONASS gözlemlerinin çözümlere eklenmesinin sonuçlarda anlamlı bir fark oluşturmadığı görülmüştür.

Gündüz (2013) tarafından yapılan “Klasik RTK ve Ağ RTK Yöntemlerinin Karşılaştırılması” isimli yüksek lisans tezinde, klasik RTK yönteminde gezici alıcının sabit referans istasyonuna olan uzaklığının konum doğruluğuna etkisi araştırılarak klasik RTK ile Ağ RTK yöntemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Uygulama Konya-Afyon Karayolunun bir kısmı ile Aliya İzzet Begoviç Caddesi üzerinde sırasıyla 1 km, 2 km, ..., 10 km uzaklıkta seçilen çalışma alanlarında 10’ar m aralıklarla tesis edilen 30 sabit nokta üzerinde (toplam 300 nokta) klasik RTK ve Ağ RTK (TUSAGA-Aktif) yöntemleri kullanılarak ölçüler yapılmıştır. Klasik RTK, daha önceden koordinatları bilinen pilye üzerine sabit GNSS alıcısı kurulumu, bu alıcıya bağlanan gezici alıcılarla yapılmıştır. Ölçüler sadece GPS uydularını kullanarak ölçü yapan GNSS alıcısı ve GPS/GLONASS uydularını kullanarak ölçü yapan GNSS alıcıları ile eş zamanlı olarak yapılmıştır. Klasik RTK ve Ağ RTK ölçüleri 1 sn kayıt aralığında ve 5 epok olarak 10°’lik yükseklik açısı ile yapılmıştır. Ölçüler toplamda 2 günde ve aynı uydu geometrisini yakalayabilmek amacıyla, ilk gün 09.30 itibariyle başlamış, ikinci gün ise 4 dakika önce 09.26’da başlayarak yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler neticesinde 10 km yarıçapındaki çalışma alanı içinde klasik RTK yönteminde gezici alıcının sabit referans istasyonuna olan uzaklığının konum doğruluğuna etkisi olmadığı, sonuçların doğruluğuna daha çok çalışma alanının çevresinde bulunan engellerin (bina, hava alanı, üst geçit vb.) etki ettiği görülmüştür. Ayrıca klasik RTK yöntemi ile yapılan ölçülerin Ağ RTK yöntemiyle yapılan ölçülerle uyumlu olduğu ve GPS ve GPS/GLONASS ölçülerinin birbirleriyle ve CORS ölçülerıyla uyumlu olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla CORS yöntemi sayesinde tek alet kullanarak ölçü yapmanın yeterli olacağı kanısına varılmıştır.

Pırtı vd. (2013) tarafından yayımlanan “Engelli ve Engelsiz Alanlarda Gerçek Zamanlı Kinematik GNSS (GPS ve GPS/GLONASS) Yöntemlerinin Test Edilmesi” isimli makalede, Samatya’da (kıyı bölgesi, İstanbul/Türkiye) farklı uydu sistemleri ve saha koşullarında, ağaçlık alanlarda ve sinyal blokajı nedeniyle beklenen problemlerin olduğu ortamlarda RTK GPS ve RTK GPS/GLONASS’ın ulaşılabilir doğruluğu ve

tekrarlanabilirliği araştırılmıştır. RTK (GPS ve GPS/GLONASS) teknikleri, verimlilik ve hassasiyet açısından tanımlanmış ve karşılaştırılmıştır. Test alanı olarak seçilen Samatya’da 3 farklı referans noktasından (klasik RTK yöntemi ile) ölçülen 292 nokta belirlenmiş ve bu noktalar 3 gün boyunca art arda ölçülmüştür. Veri toplama ve işleme hızı olarak, 10°’lik yükseklik açısı ile bir saniye ayarlanmıştır. Bu noktaların 9’u ağaçlık alanda kalmaktadır. Test noktalarının ölçüleri GPS ve GPS/GLONASS uyduları kullanılarak iki bağımsız ölçü şeklinde gerçekleştirilmiştir. Üç gün boyunca 292 test noktası için toplam 876 gözlem yapılmıştır. Analiz aşamasında, 292 test noktasının koordinatları arasındaki farklar ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Sonuçlar Autodesk LandXplorer Studio Professional™ Yazılımında değerlendirilmiştir. Test alanındaki 9 noktanın, ağaçlık alanda olmaları nedeniyle GPS uydularına zayıf görüş imkânı verirken RTK GPS/GLONASS kullanıldığında uydu sayısının yeterli sayının üzerine çıktığı ve GLONASS’ın sonuçlara anlamlı etkisinin olduğu görülmüştür. Ayrıca yapılan test çalışması RTK GPS/GLONASS’ın işlevsellik, çok yönlülük ve yüksek düzeyde engelleme maruz kalan alanlarda çalışma yeteneği açısından avantajlarını göstermiştir. Özellikle, uyduların sınırlı görünürlüğe sahip olduğu engelli alanlarda (kentsel veya ağaçlık alanlar, binalar vb.) bir cm yatay doğruluğun gerekli olduğu durumlarda, RTK GPS/GLONASS yönteminin problemsiz çalıştığı ve üstün performans sağlayan güvenilir bir yöntem olduğu belirlenmiştir.

Öğütücü (2014) tarafından yapılan “Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) Uygulamalarında Ağ Bazlı Tekniklerin Doğruluk Analizleri” isimli yüksek lisans tezinde CORS-TR sisteminde aynı ölçüm koşulları sağlanarak 3 adet Ağ Bazlı RTK tekniğinin doğruluk, hassasiyet, ağa kilitlenme ve kinematik analizleri Konya bölgesinde yapılmıştır. 7 adet ölçüm noktasında yapılan doğruluk analizleri sonucu, en düşük konum hatasına (1.6 cm) FKP ve VRS ölçümleri sonucu istasyon_7 noktasında ulaşılmıştır. En yüksek konum hatasına ise (5.2 cm) istasyon_5 noktasında MAC ölçümleri sonucu ulaşılmıştır. Ölçüm noktalarında yapılan hassasiyet ve ağa kilitlenme analizlerinde en iyi sonuçlar VRS tekniğinden alınmıştır. Ayrıca VRS yöntemi için hem sadece GPS hem de GPS/GLONASS uyduları kullanılarak ölçüm ve analizler yapılmıştır. Sonuçta GLONASS’ın ölçülerde anlamlı etkilerinin olduğu fakat bazı ölçülerde ise bozucu bir etkiye de sahip olduğu görülmüştür.

Maciuk (2015) tarafından yayımlanan “GLONASS Sinyalleri Eklemenin RTK Ölçümlerinin Kalitesine Etkisi” isimli makalede, ASG-EUPOS düzeltmelerinin kullanılmasıyla bir dizi RTK hassas çözümüne GLONASS sinyalleri eklemenin etkisi

belirlenmeye çalışılmıştır. Ölçüm, kentsel alanlarda sınırlı görüş ufku koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Her noktada, NAWGEO servisinin ağ düzeltmeleri (VRS 3.1) ve tek bir baz istasyonundan (KRA1 - 140-260 m uzaklıkta, PROS - 30 km, KATO - 66 km) düzeltmeler kullanılarak RTK ölçümleri yapılmıştır. Böylece, her bir nokta çifti (4 adet) üzerinde GPS ve GNSS (GPS+GLONASS) kombinasyonunda dört farklı çözüm uygulanmıştır. Sonuçta, analiz edilen VRS düzeltme durumlarının her biri için, hassas çözümlerin sayısı GPS çözümlerine kıyasla daha iyi veya eşitti. Benzer şekilde, en kısa baz mesafesi (KRA1) için her noktada GNSS (GPS+GLONASS) sinyalleri kullanılarak aynı veya daha kesin çözümler elde edildi. En uzun baz mesafesi (KATO) için ek GLONASS gözlemleri, daha doğru çözümlerin elde edilmesini sağladı. Sadece bir ortalama baz mesafesinde olan (PROS) vektöründe, GPS gözlemlerinin kullanılması bazı noktalarda GPS+GLONASS'dan daha doğru çözümler sağladı. Özetle, büyük engellerin olduğu alanlarda, GNSS (GPS+GLONASS) sinyallerinin kullanıldığı RTK çözümleri, GPS sinyallerine göre daha doğru çözümler elde etmemizi sağlar. Bu, hem tek bir baz istasyonundan hem de ağ çözümlerinden gelen düzeltmeler için elde edilen sonuçlarla doğrulanmıştır.

Allahyari (2016) tarafından yapılan “Gerçek Zamanlı GNSS Ölçü Gözlemlerinin Doğruluk Değerlendirmesi” isimli yüksek lisans tezinde, gerçek zamanlı ağ gözlemlerini oluşturmak ve jeodezik kontrolünü değerlendirmek için, ABD'nin güney doğu ve kuzey batısında olmak üzere iki eyalette test çalışması yapılmıştır. Çalışmalarda gözlem süresinin bir fonksiyonu olarak gerçek zamanlı gözlemlerin yatay ve dikey doğruluğu, DOP değerleri araştırılmış, GLONASS gözlemlerinin etkileri incelenmiş, RTK yönteminin sonuçları, ağ bazlı yaklaşıma karşı tek bir baz istasyonu (klasik RTK) kullanılarak değerlendirilmiştir. Güney Carolina'da yapılan çalışmada 20 adet nokta belirlenmiş ve bu noktaların konumları GPS/GLONASS ve sadece GPS uyduları kullanılarak hem klasik RTK hem de Ağ RTK yöntemleri ile belirlenmiştir. Her bir nokta 5, 30, 60, 180, 300 ve 600 saniyelik gözlem süreleri ile 6 kez ve VRS tekniği ile ölçülmüştür. Oregon'da yapılan çalışmada ise 18 nokta belirlenmiş ve aynı şekilde ölçülmüştür. Fakat gözlem süreleri 5, 30, 60, 120, 180, 300, 480, 600 ve 900 saniye olmak üzere 9 kez ve MAC tekniği ile ölçülmüştür. Toplamda 38 nokta, iki çalışma alanında, farklı gözlem süreleri için 5 saniyeden 15 dakikaya değişen klasik RTK ve bir Ağ RTK kullanılarak GNSS ile tekrar tekrar gözlenmiştir. Sonuçta veriler ayrıntılı olarak incelenmiş ve gerçek zamanlı gözlemlerin süresinin artmasının, hem dikey hem de yatay yönlerde ki doğruluğu biraz geliştirdiği doğrulanmıştır. Optimum

bir gerçek zamanlı gözlem süresi 180 ila 300 saniye arasında bulunmuştur. Uzun gözlemler gerçek zamanlı GNSS ağıının doğruluğunu artırmaya yardımcı olabilirken, 3 veya 5 dakikalık gözlemden sonra ölçünün doğruluğu önemli ölçüde değişmemiştir. Ağ RTK kullanılarak elde edilen gerçek zamanlı veriler, tek bazlı RTK (klasik RTK) verisinden daha doğru ve hassas olma eğilimindedir. GLONASS gözlemlerinin eklenmesi ile sadece GPS gözlemlerine dayanan çözümlerden daha uzun baz uzunluklarında daha sabit çözümlerin elde edilmesine yardımcı olduğu, gözlemlerin doğruluğunu artırdığı ve özellikle de daha zayıf uydu görünürlüğüne sahip istasyonlar için doğrulukta çok küçük bir gelişme olduğu tespit edilmiştir.

Abdulmajed (2017) tarafından yapılan “RTK ve Statik Yöntemlerde GPS ve GPS/GLONASS Arasındaki Doğruluk Karşılaştırılması” isimli yüksek lisans tezinde, GPS ve GPS/GLONASS uyduları kullanılarak RTK ve hızlı statik yöntemlerle engelli (bina, ağaç vb. gibi) ve engelsiz alanlarda yapılan ölçülerin nokta konum doğrulukları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla RTK yöntemi için 14 test noktası ve hızlı statik yöntemi için 3 test noktası kurulmuş ve arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. RTK ölçüleri 5 sn kayıt aralığında ve 1 epok olarak 15°'lik yükseklik açısı ile yapılmıştır. Her nokta iki kere ölçülmüştür. İlk olarak, GPS/GLONASS uydularından gelen sinyaller kayıt edilerek, ikinci ise sadece GPS uydularından gelen sinyaller kayıt edilerek ölçülmüştür. Hızlı statik yönteminde belirlenen 3 nokta, 15 dakikalık oturumlar yapılarak GPS/GLONASS ve sadece GPS uyduları kullanılarak ölçülmüştür. Veriler Leica Geo Office programında aynı parametreler kullanılarak değerlendirilmiştir. Ölçüler her iki alanda da yapılmıştır. Sonuç olarak, GLONASS'ın anlamlı bir etkisinin olduğu ve nokta konum doğruluğunu iyileştirdiği görülmüştür. Ayrıca GPS/GLONASS kullanılarak, sinyal kaybı ve sinyal yansıma hataları azaltılmış ve özellikle engelli alanlarda kullanılabilir uydu sayısı arttığı için daha iyi bir uydu geometrisi sağlayarak daha az gözlem süresine ihtiyaç duyulmuştur.

Siejka (2017) tarafından sunulan “RTK Düzeltme Verileri Kullanılarak Gerçek Zamanlı, Hassas Çoklu GNSS Konumlamanın Doğruluk Değerlendirmesi” isimli bildiride, GPS, GPS + GLONASS ve GPS + Galileo navigasyon sistemlerinin kombinasyonundan elde edilen gözlemlerin gerçek zamanlı olarak çalışmasının sonuçları sunulmaktadır. RTK ölçümleri çeşitli varyantlarda gerçekleştirilmiştir. Bunların temelinde, sadece GPS konumlandırmasına ek GLONASS ve Galileo gözlemlerinin dahil edilmesinin, uydu konumlandırmanın kullanılabilirliğini nasıl artırdığı ve doğruluğunu nasıl etkilediği gösterilmiştir. Çalışma kapsamında, 24 saatlik

üç ölçüm serisi halinde ölçümler yapılmıştır. Otomatik modda 20 saniye aralıklarla eş zamanlı olarak ölçümler yapılmış ve sonuçlar hassasiyet ve doğruluk açısından karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; ilave GLONASS veya Galileo sistemlerinden gelen gözlemlerin GPS sistemine eklenmesi ile uydu ölçümleri yapma koşullarını iyileştirdiği kanıtlanmıştır. GLONASS ölçümlerinin GPS'e eklenmesiyle yaklaşık olarak x için % 29, y için % 6, H için % 17 şeklinde ortalama doğruluğun iyileştirildiği; Galileo ölçümlerinin GPS'e eklenmesiyle ise yaklaşık olarak x için % 15, y için % 2, H için % 6 şeklinde ortalama koordinatların hassasiyetinin iyileştirildiği bulunmuştur. Analizler ayrıca, üç konumlandırma varyantının her birinde bazı sistematik hatalar olduğunu göstermiştir. En büyük sistematik hatalar doğu bileşeni (y) içindir. Hem GLONASS hem de Galileo uydu gözlemlerini sadece GPS gözlemlerine eklemenin, kuzey bileşen (x) ve yükseklik (H) için sistematik hataları artırdığı ve bu durumun, bu sistemlerin tamamen senkronize olmadıklarını kanıtladığı görülmüştür.

Öğütücü ve Kalaycı (2018) tarafından yayımlanan “Baz Uzunluğu ve Ölçü Süresinin Bir Fonksiyonu Olarak Ağ Bazlı RTK Tekniklerinin Doğruluğu ve Prezisyonu” isimli makalede; CORS-TR sisteminde FKP, MAC ve VRS tekniklerinin ampirik doğruluk ve prezisyon modelini, baz uzunluğu ve ölçü süresinin bir fonksiyonu olarak oluşturmak amaçlanmış ve bunun için bir test alanında ölçüler yapılmıştır. Doğruluk ve prezisyon açısından, sonuçlar ampirik doğruluk modelinin sadece ölçü süresine bağlıken, ampirik prezisyon modelinin hem en yakın CORS istasyonuna göre baz uzunluğuna ve hem de her NRTK tekniği için ölçü süresine bağlı olduğunu göstermektedir. Sonuçlar, tahmini doğruluk ve prezisyon modellerin görev planlama amaçları için güvenle kullanılabileceğini göstermektedir.

Ayrıca klasik RTK (tek bazlı) ile Ağ RTK yaklaşımları arasındaki benzer ve farklı yönler (Janssen ve Haasdyk, 2011), GPS/BDS/GLONASS/Galileo entegre uydu sistemleri ile RTK konum belirleme yönteminde taşıyıcı faz belirsizliği (ambiguity) çözümü (Li vd., 2018; Gao vd., 2016), GLONASS sinyal ayırma tekniği ve frekanslar arası sapmalar (Teunissen, 2019; Pan vd., 2019; Jiang vd., 2017), GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP yöntemlerinin incelenmesi ve karşılaştırılması (Öğütücü, 2019; Köz vd., 2019; Alçay, 2016; Alkan vd. 2014; Kızılarıslan, 2014; Choy vd., 2013) gibi çeşitli çalışmalar da yapılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal bölümü; küresel konum belirleme sistemleri olan GPS, GLONASS ve diğer sistemler ile bölgesel uydu bazlı konum belirleme sistemleri, CORS sistemleri, Ağ Bazlı RTK, Ağ Bazlı RTK teknikleri olan VRS, FKP ve MAC teknikleri ve bunların karşılaştırılmasından oluşmaktadır.

Yöntem olarak ise CORS-TR ölçmelerinde GLONASS'ın etkisini belirleyebilmek amacıyla arazi çalışması yapılmış ve elde edilen verilerin analiz ve değerlendirmeleri bu bölümde anlatılmıştır.

Uydu bazlı konum belirleme sistemlerinin materyal bölümüne geçmeden önce uydular hakkında kısa bir bilgi verilmesinin faydalı olacağı düşünülmüştür. Uydular; yüzlü gramlardan onlarca tona kadar değişen ağırlıklarda ve görevlerine göre askeri, navigasyon, iletişim ve meteoroloji gibi farklı amaçlarla uzaya fırlatılan, iletişim sistemleri sayesinde yer istasyonu ile haberleşen ve bunları gerçekleştirirken uzayın ortam koşullarından etkilenmemek için birçok elektronik ve mekanik alt bileşenden oluşan ve uzayda bir yörüngede hareket eden insan tasarımı cihazlardır (Topçu, 2017). Uydular yaygın olarak yeryüzünden yüksekliklerine göre sınıflandırılırlar. Buna göre uydular üç gruba ayrılır;

1. Alçak Yörünge Uyduları (Low Earth Orbit - LEO)
2. Orta Yörünge Uyduları (Medium Earth Orbit- MEO)
3. Yer-durağan (sabit) Yörünge Uyduları (Geostationary Earth Orbit-GEO)

Yeryüzünden yaklaşık 200 – 2.000 km arası bir yörüngede olan LEO uydularının dönme periyodu 1,5 – 2 saat arasındadır. LEO uyduları, yeryüzünden yüksekliklerinin az olması sebebiyle yeryüzünde daha dar kapsamlı alanları görürler. Öte yandan, atmosferik etkilere maruz kaldıklarından dolayı ömürleri kısadır. Örnek olarak; yeryüzünden yaklaşık 400 km yükseklikte olan gravite alanı belirlemede kullanılan CHAMP, GRACE ve GOCE uyduları; yeryüzünden yaklaşık 800 – 1.000 km yükseklikte olan uzaktan algılama uyduları SPOT, LANDSAT ve ERS uyduları verilebilir. MEO uydularının yükseklikleri yaklaşık olarak 2.000 – 25.000 km arasında olup, dönme periyodu ise 5 – 12 saat arasında değişir. Bu grubun bilinen uyduları yaklaşık 20.000 km yükseklikteki GPS ve GLONASS uyduları ile yaklaşık 24.000 km yükseklikteki Galileo uydularıdır. Yörünge yükseklikleri yaklaşık 36.000 km olan GEO uyduları ise genellikle iletişim amaçlıdır. Yörünge düzlemleri ekvator düzleminde yer alır. Dünya'nın dönme hızı ile GEO uyduların dönme hızları birbirine eşittir, bu sebeple

dönme periyotları yerin dönüş periyoduna eşittir (yaklaşık 23 saat 56 dk 4 sn). Dolayısıyla, yeryüzündeki bir gözlemciye göre GEO uyduları durağan gibi görünür (Topcu, 2017; Doğanalp, 2013; Maini ve Agrawal, 2011).

3.1. Materyal

Sputnik-I'in 4 Ekim 1957 tarihinde uzaya fırlatılmasıyla uzay jeodezi bilimi ve küresel konum belirleme sistemleri fiilen başlamıştır. Ayrıca, 1960'lı yıllarda ABD Silahlı Kuvvetleri tarafından askeri araçların koordinatlarının belirlenmesi amacıyla TRANSIT (DOPPLER veya NNSS) sistemi hayata geçirilmiştir. Bu sistem yeryüzünden yaklaşık 1.100 km uzaklıkta olan 6 adet uydudan oluşmaktadır. 1967 yılından sonra sistem sivil kullanıcıların kullanımına açılmıştır. 1980'li yılların başından itibaren elektronik ve uzay çalışmalarındaki hızlı gelişmeler, hesaplama tekniği ve ölçme kolaylığı sağlaması sayesinde GNSS'in günlük yaşamımıza girmesine neden olmuştur (Kahveci ve Yıldız, 2017; Yüksel, 2015). Böylece GNSS teknolojisi haritacılık disiplinine kolay adapte olmuş, hızlı bir şekilde kullanımı yaygınlaşmış ve farklı ülkeler tarafından ABD'nin GPS sistemine karşılık veya alternatif olarak küresel konum belirleme sistemleri tesis edilmiş ve halen kurulum çalışmaları devam etmektedir.

3.1.1. GPS

ABD Askeri Kuvvetleri ve NASA tarafından 1960'lara doğru askeri ve ticari amaçlar için dünya çapında bir ağ kurmak ve geniş bölgelerde ölçümlerde bulunmak amacıyla uzay tabanlı konum belirleme sistemi üzerinde çalışmalara başlanılmış ve bu amaçla 1967 yılında TRANSIT adıyla bir sistemin kullanımına başlanılmıştır. Sistemin bir günden fazla ölçüm yaparak ulaşılabilecek doğruluğu 1 m'nin altındadır. Bu sebeple parsel ve nirengi ölçümleri için gerekli doğruluğu sağlayamamaktadır. Uyduların yüksekliği 1.100 km'dir ve yerçekiminden çok etkilenmektedir. Bu gibi dezavantajlar nedeniyle 1974 yılında ABD Savunma Bakanlığı tarafından navigasyon amaçlarını karşılamak amacıyla NAVSTAR-GPS'in temelleri atılmıştır (Kalaycı, 2003).

GPS öncelikle sadece askeri amaçlı (hedef bulma, füze güdümü, arama-kurtarma vs.) kullanılmak üzere TRANSIT sisteminin gelişmiş bir versiyonu iken, ABD Savunma Bakanlığı tarafından yönetilen JPO kurumu tarafından geliştirilmiş ve DMA,

NATO, Amerikan Hava ve Deniz Kuvvetleri, DOT ve DOD gibi birçok kurumun ortak çalışmaları sonucu oluşturulmuştur. 28 Haziran 1983 tarihinden itibaren de GPS'in kullanımını sivillere açmıştır. Sivilde kara, deniz, hava araçları navigasyonunda, jeodezik ve jeodinamik amaçlı ölçmelerde, deformasyon ölçmelerinde, araç takip sistemlerinde, turizm, tarım, ormancılık, güvenlik, hidrografik ölçmeler gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Yüksel, 2015; Kalaycı, 2003).

Sistemin temel çalışma prensibi şu şekildedir: yörüngede sürekli olarak dönen 21'i aktif, 3'ü yedek 24 adet uydudan oluşur. Uyduların yaydığı radyo sinyalleri ile Dünya üzerinde bulunan bir noktadaki GPS alıcısı arasındaki haberleşmenin süresi ölçülerek, aradaki mesafe belirlenir ve böylece konum belirlemesi mümkün olur. GPS sistemi UTC ve GMT'den farklı olarak kendi uyduları üzerindeki atomik saatleri kullanmaktadır. Bunlar 6 Haziran 1980'de sıfırlanmış ve artık saniyelerin düzeltilmesi yapılmadığı için UTC'den 14 saniye ileridedir. Bu nedenle periyodik olarak GPS alıcılarına UTC saat bilgisi gönderilir (Gündüz, 2013).

ABD tarafından ulusal güvenlik nedenleri ile GPS sisteminde seçmeli erişilebilirlik (Selective Availability – SA) uygulanarak GPS sinyalleri kasıtlı olarak bozulmaktaydı. Seçmeli erişilebilirlik (SA) kullanımı, 1 Mayıs 2000 de GPS'i tüm dünyadaki sivil ve ticari kullanıcılara daha duyarlı hale getirmek için durdurulmuştur (Koca ve Ceylan, 2018; Teunissen ve Montenbruck, 2017).

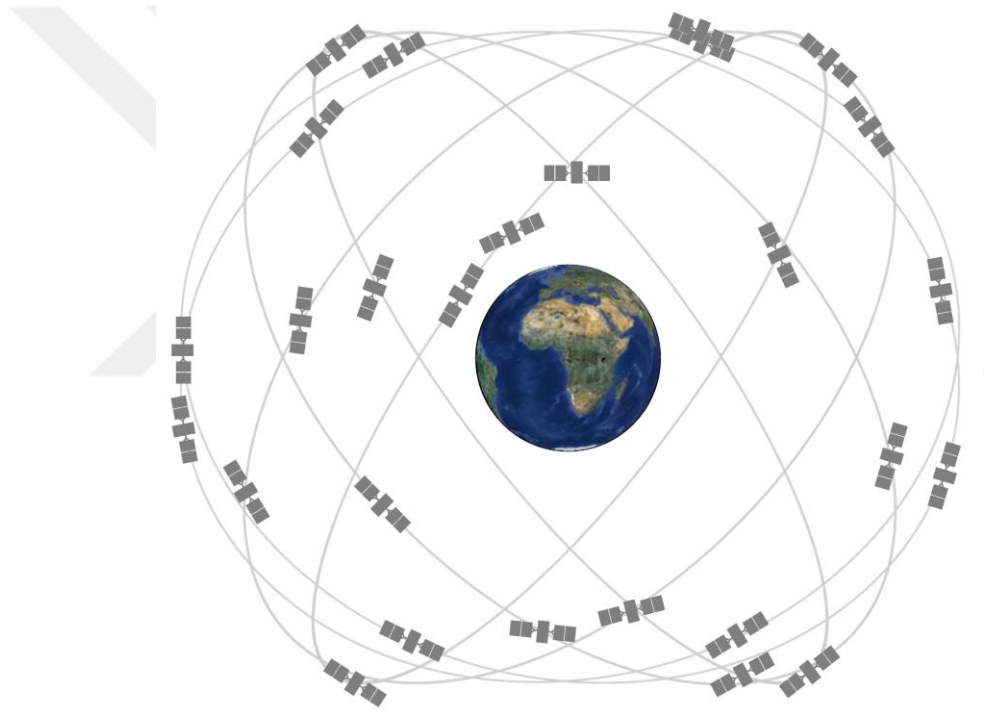
3.1.1.1. GPS'in bölümleri

GPS sistemi temel olarak üç ana bölümden oluşur. Uzay bölümü (uydular), kontrol bölümü (yer istasyonları) ve kullanıcı bölümüdür (GPS alıcı cihazları).

3.1.1.1.1. Uzay bölümü

Uzay bölümü ekvator ile 55°'lik eğim yapan 6 yörünge düzlemi üzerine yerleştirilmiş orta yörüngeli (MEO) uydulardan oluşmaktadır (Şekil 3.1). Uydular üç seri uydu bloğundan oluşmaktadır. Bunlar Blok I, Blok II, Blok IIA, Blok IIR, Blok IIR-M, Blok IIF, Blok III ve Blok IIIF uydularıdır. Bu uydulardan Blok I, Blok II ve Blok IIA faaliyette değildir. Blok III uyduları tasarımı ve üretimi tamamlanmış olup, üç tanesi kullanımda diğerleri ise üretici firma tarafından zamanla fırlatılmaktadır. Blok IIIF uyduları ise tasarım aşamasındadır. Mart 2021 tarihi itibarıyla 31 GPS uydusu

faaliyettedir (Şekil 3.2). GPS uyduları saatte 7.000 mil hızla (yaklaşık 11.200 km) hareket ederler ve ortalama dönüş zamanları 11 saat 58 dk'dır. Bu uyduların dünyaya uzaklıkları yaklaşık 20.200 km'dir. İçinde sinyal gönderici, sinyal kaydedici, anten, osilator ve mikroişlemci bulunmaktadır. Güneş enerjisi kullanılarak çalışırlar ve en az 10 yıl kullanılmak üzere tasarlanmışlardır. Ayrıca güneş enerjisi kesintilerine karşı (güneş tutulması vs.) yedek bataryaları ve yörünge düzeltmeleri için de küçük ateşleyici roketleri vardır. Bu roketler kullanımdan çıkartılacak uyduyu yörüngeden almak için de tasarlanmışlardır. Dünyanın her yerinden en az 4, en çok 10 uydü gözleme imkânı verecek şekilde hareket etmektedirler (Kahveci ve Yıldız, 2017; Gündüz, 2013; Kalaycı, 2003; URL-2; URL-3).



Şekil 3. 1. GPS'in uzay bölümü (URL-3)

ESKİ UYDULAR		MODERNİZE UYDULAR		
BLOK IIA	BLOK IIR	BLOK IIR-M	BLOK IIF	GPS III / IIIF
0 operasyonel	8 operasyonel	7 operasyonel	12 operasyonel	4 operasyonel
- Sivil kullanıcılar için L1 frekansında Kaba Edinim (C / A) kodu - Askeri kullanıcılar için L1 ve L2 frekanslarında hassas P (Y) kodu 7,5 yıllık tasarım ömrü 1990-1997'de piyasaya sürüldü - Sonuncusu 2019'da hizmet dışı bırakıldı	- L1'de C / A kodu - L1 ve L2'de P (Y) kodu - Yerleşik saat izleme 7,5 yıllık tasarım ömrü 1997-2004'te piyasaya sürüldü	- Tüm eski sinyaller - L2'de (L2C) 2. sivil sinyal - Gelişmiş sıkışma direnci için yeni askeri M kodu sinyalleri - Askeri sinyaller için esnek güç seviyeleri 7,5 yıllık tasarım ömrü 2005-2009'da piyasaya sürüldü	- Tüm Blok IIR-M sinyalleri - L5 frekansında (L5) 3. sivil sinyal - Gelişmiş atom saatleri - İyileştirilmiş doğruluk, sinyal gücü ve kalite 12 yıllık tasarım ömrü 2010-2016'da piyasaya sürüldü	- Tüm Blok IIF sinyalleri - L1'de (L1C) 4. sivil sinyal - Gelişmiş sinyal güvenilirliği, doğruluğu ve bütünlüğü - Seçici Kullanılabilirlik Yok 15 yıllık tasarım ömrü - IIIF: lazer reflektörler; arama ve kurtarma yükü 2018'de ilk lansman

Şekil 3. 2. GPS uydularının modernizasyonu (URL-3)

GNSS sinyalleri, ışık hızında yayılan elektromanyetik dalgalardır. Bu sinyaller için yaklaşık 1.2 ile 1.6 GHz (L-bandının bir bölümü) arasındaki radyo spektrumundaki sinyal frekansları seçilmiştir, çünkü bunlar yeterli hassasiyette ölçüm sağlar, ortak hava koşullarında atmosferdeki zayıflamadan etkilenmez (Teunissen ve Montenbruck, 2017).

GPS sisteminde, sivil amaçlı tasarlanmış dört sinyal bulunmaktadır. Bunlar; L1 C/A, L2C, L5 ve L1C'dir. Fakat kullanıcıların yeni sinyallerden yararlanabilmeleri için donanımlarını da iyileştirmeleri gerekmektedir. L2C, ticari ihtiyaçları karşılamak için özel olarak tasarlanmış ikinci sivil GPS sinyalidir. L2C adını, sinyalin L2 (1227,60 MHz) bandında yayın yapmasından almaktadır. L2C, eski L1 C/A sinyalinden daha yüksek güçle yayın yapma imkânı sunmaktadır. L2C sinyali ilk olarak Blok IIR-M uydusu ile 2005 yılında hizmete sunulmuştur. L5 sinyali, sadece havacılık güvenliği hizmetleri için ayrılan radyo bandında (L5 bandı 1176,45 MHz) yayın yapan üçüncü sivil sinyaldir. L5'in kullanımı ile sistemin doğruluğunun yanında, havayolları,

demiryolları, denizyolları ve otoyollardaki kapasite kullanımını ve yakıt verimliliğini artırması hedeflenmiştir. L5 sinyali ilk olarak Blok IIF uydusu ile 2010 yılında hizmete sunulmuştur. L1C ise GPS ve uluslararası uydu navigasyon sistemlerinin birlikte çalışabilirliğini sağlamak üzere tasarlanan dördüncü sivil sinyaldir. L1C sinyali de L1 (1575,42 MHz) bandında yayınlanmaktadır. L1'de iki askeri sinyalin yanı sıra eski C/A sinyali de vardır. L1C, L1 C/A ile karıştırılmamalıdır. ABD ve Avrupa ilk olarak L1C'yi GPS ve Galileo için ortak bir sivil sinyal olarak geliştirmiştir. L1C sinyali, Blok III uyduları ile yayınlanmaya başlamıştır (Koca ve Ceylan, 2018; URL-4).

3.1.1.1.2. Kontrol bölümü

Kontrol bölümü GPS'in sağlıklı bir şekilde çalışmasını sağlamak için kurulmuş yer istasyonlarından oluşmaktadır. Ana Kontrol İstasyonu, İzleme İstasyonları ve Yer Antenleri birimlerinden oluşan Kontrol Bölümü'nde, Hawaii, Colorado Springs, Cape Canaveral, Ascensiyon Adası, Diego Garcia ve Kwajalein'e kurulan 6 adet izleme istasyonu, 1.5 saniyede bir yaptıkları pseudorange gözlemlerini iyonosferik ve meteorolojik verilerle birleştirerek Ana Kontrol İstasyonuna gönderir ve sürekli olarak GPS uydularını gözleyerek, uydu yörüngelerinin belirlenmesini, uydu saat düzeltmelerinin hesaplanmasını ve her saat bu bilgileri içeren mesajların güncellenmesini sağlarlar. Gözlem İstasyonları, presizyonlu sezyum saatler ve P kod alıcılar ile yaptıkları gözlemleri uydu yörüngelerini belirlemede kullanırlar. Ana Kontrol İstasyonu, aldığı verilerle uydu yörüngelerini, uydu saat düzeltmelerini hesaplar ve bunları, Yer Antenleri aracılığıyla uydulara gönderir. Üç adet antenden oluşan ve S-Band radyo hatlarını kullanan Yer Antenleri, uydulardan gelen verileri alan ve her 8 saatte bir ana kontrol istasyonundan gelen verileri uydulara yükleyen birimlerdir (Kahveci ve Yıldız, 2017; Alçay, 2010; Hofmann-Wellenhof vd., 2008; Kalaycı, 2003).

3.1.1.1.3. Kullanıcı bölümü

GPS alıcıları (receiver), GPS uydularından yayılan sinyaller üzerinden bilgileri alarak yeryüzündeki bir noktanın konumunun belirlenmesini sağlar ve sistemin kullanıcı bölümünü oluştururlar. GPS çok farklı amaçlar için kullanılabilen bir sistem olması dolayısıyla, elinde GPS alıcısı bulunan herkes bir kullanıcı sayılabilir. GPS alıcıları, artık günlük hayatımızda kullandığımız cep telefonları ve navigasyon cihazları gibi

birçok dijital cihazın içinde yer almaya başlamıştır. GPS alıcı cihazlarında kullanıcı bölümü; GPS alıcısı ve yazılımı, GPS anteni ve anten kablosu, alet sehпасı, batarya, üç ayak düzeç gibi bölümlerden oluşur. GPS ölçülerinde kullanılan en önemli donanım alıcı ve anten sistemidir. GPS alıcısı temel işlev olarak uydu sinyalinin kaydeder, kaydedilen sinyal işleme tabi tutar (signal processing), anlık (real-time) uygulamalar için koordinat dönüşümleri yapar, gerektiğinde navigasyon için gerekli bilgileri hesaplar (Pektaş, 2010; Kaplan ve Hegarty, 2006; Kalaycı, 2003).

3.1.2. GLONASS

GLONASS (Rusçası: ГЛОНАСС: ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система, okunuşu: GLObalnaya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) sistemi, 1970'li yılların başında Rusya Federasyonu Silahlı Kuvvetleri Uzay Kuvvetleri Komutanlığına bağlı bir program olarak Sovyet Askeri Kuvvetlerinin balistik füzelerinin gerçek zamanlı konum, hız tespiti ve hedeflemedeki hassasiyetini artırmak için ABD'nin GPS sistemine karşılık üretilen bir projedir. Rus Doppler sistemi olan Tsicada'nın yerine geliştirilmiştir. Birçok yönden GPS sistemine benzer olan GLONASS sistemi, 1983 yılında resmi olarak ilan edilmiş ve 24 Eylül 1993 tarihinde, operasyonel 12 uyduya sahip olmasıyla birlikte askeri alanda hizmet vermeye başlamıştır. Tam operasyonel kapasiteye ise uydu sayısını 24'e tamamlamasıyla 1995 yılında ulaşmıştır. 1990'lı yılların sonuna doğru Rus ekonomisinin bozulmasıyla GLONASS sistemine yatırımlar durmuş, uyduların modernizasyonu gerçekleştirilememiş ve bu nedenle aktif uydu sayısı 2001 yılında 7 uyduya kadar düşmüştür. 2001 yılından itibaren Rusya, sistemi tekrar çalıştırmak için yatırımlarını artırmış ve 2011 yılında 24 uydu takımını tamamlayarak küresel ölçekte çalışır hale getirmiştir (İçen, 2018; Kahveci ve Yıldız, 2017; Teunissen ve Montenbruck, 2017; Gündüz, 2013; Mekik, 2010).

3.1.2.1. GLONASS'ın bölümleri

GLONASS sistemi, GPS sisteminde olduğu gibi uzay bölümü, kontrol bölümü ve kullanıcı bölümü olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır.

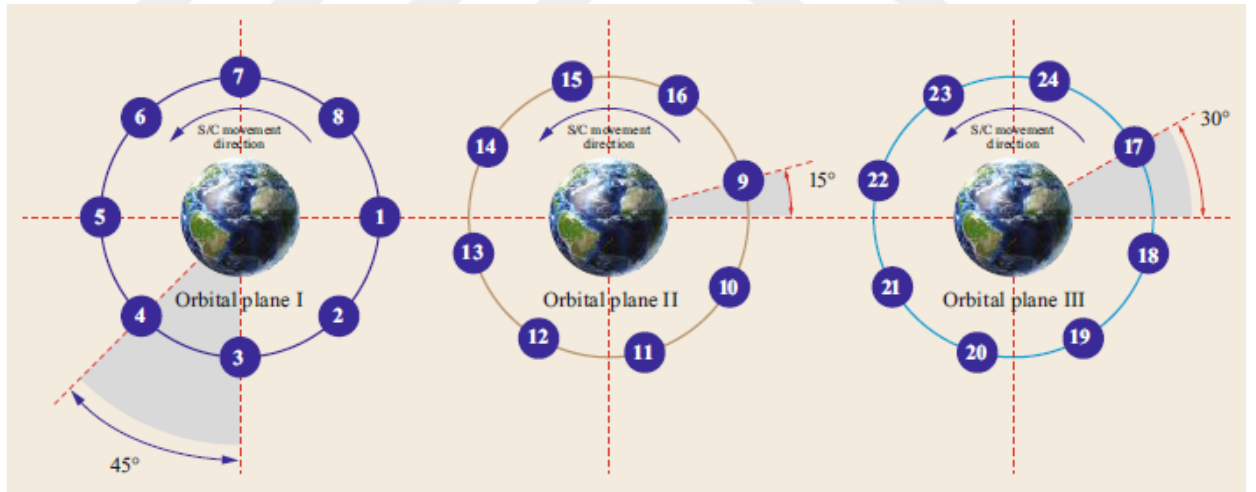
3.1.2.1.1. Uzay bölümü

İlk uydusu 12 Ekim 1982 yılında yörüngeye oturtulan GLONASS sisteminin uzay bölümü; 21+3 yedek uydudan oluşacak şekilde planlanmasına karşın mevcut uydu sayısı Mart 2021 tarihi itibarıyla 23'ü operasyonel, 1'i bakım için geçici olarak geri çekilmiş (yörüngesinde), 2'si test aşamasında ve 1'i de yörünge rezervi yapılarak kullanıma hazırlanma aşamasında olmak üzere toplam 27 adet MEO uydusundan oluşmaktadır (Şekil 3.3). GLONASS yörünge düzlemi üç tane olup, boylamları arasında 120° 'lik fark vardır. Yörünge düzlemlerinin yörünge eğiklik açısı $64,8^\circ$ 'dir. Her yörüngede, sezyum ve rubidyum saatlerle donatılmış 8 uydu olacak şekilde planlanmıştır. Uyduların yeryüzünden yüksekliği yaklaşık 19.140 km'dir. Uydu yörüngelerinin büyük yarı eksenini yaklaşık 25.510 km olduğundan uyduların yörüngeyi bir tam dolanım süresi 11 saat 15 dakika 44 saniye sürmektedir. Bir uydunun yörüngede dönüş hızı yaklaşık olarak 4 km/sn'dir (İçen, 2018; Teunissen ve Montenbruck, 2017; URL-5).

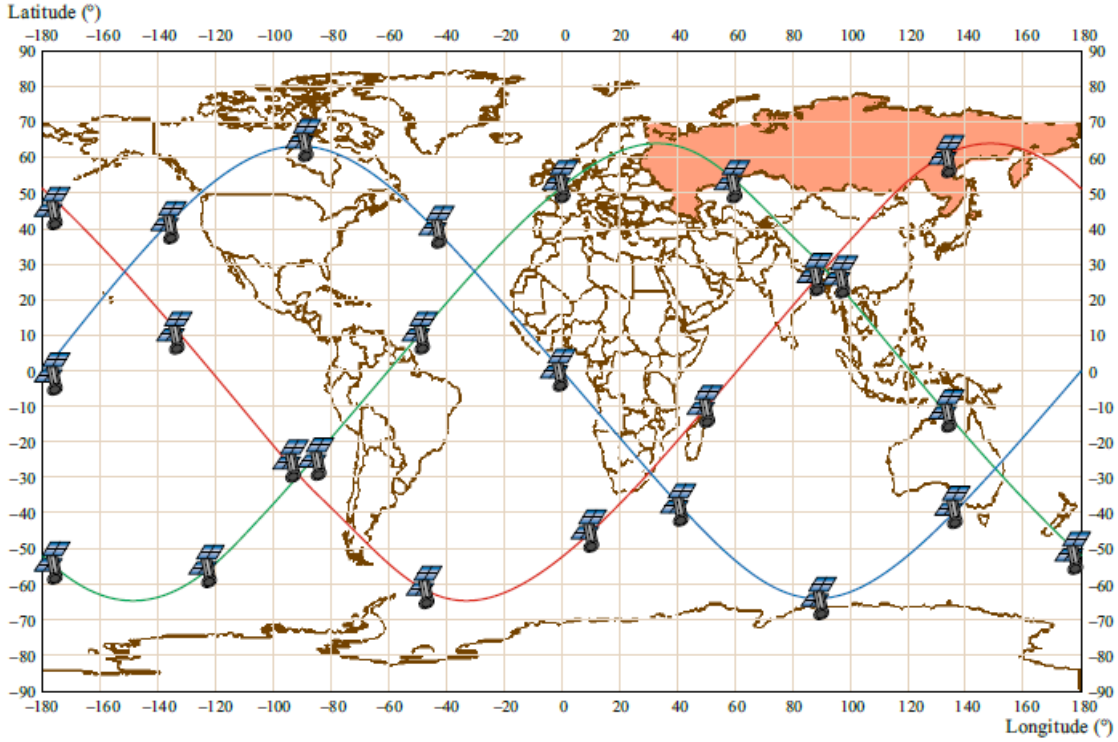


Şekil 3. 3. GLONASS uyduları (URL-6)

GLONASS sisteminin her yörünge düzleminde 8 uydu vardır. Aynı yörünge düzleminde dönen uydular arasına, 45° eş aralık bırakılarak yerleştirilmiştir. Her üç yörünge düzleminde 8 uydu bulunması ve uyduların yörüngelere homojen biçimde dağıtılması sayesinde, her gün aynı yerden aynı zamanda gökyüzüne bakıldığında uydulardan bir tanesi aynı yerde görülür. Uyduların uydu takımındaki konumunu belirleyebilmek için slot numaraları tanımlanmıştır. Üç yörünge düzlemine sıra ile verilmiş olan slot numaraları, uydunun hangi yörünge düzleminde ve nerede bulunduğu dair bilgiler vermektedir. Birinci yörünge düzleminde 1 – 8 slot nolu uydular, ikinci yörünge düzleminde 9 – 16 slot nolu uydular ve üçüncü yörünge düzleminde de 17 – 24 slot nolu uydular bulunmaktadır (Şekil 3.4). GLONASS uyduları sahip olduğu yörünge eğiklik açısından dolayı $64,8^\circ$ kuzey ve $64,8^\circ$ güney enlemleri arasında dalgasal salınım hareketi yaparak yer izi çizerler (Şekil 3.5). Aynı yörüngede dönen uydular sırasıyla aynı yer izi üzerinde hareket ederler. Bir uydunun yeryüzünde çizdiği yer izi her 17 turda bir tekrar eder ve bu 17 tur 8 gün sürer. Yani her sekiz günde bir uydu, Dünya yüzeyinde aynı noktadan geçer. (İçen, 2018; Teunissen ve Montenbruck, 2017).



Şekil 3. 4. GLONASS uydularının yörünge düzlemindeki pozisyonları (Teunissen ve Montenbruck, 2017)



Şekil 3. 5. GLONASS uydularının yer izleri (Teunissen ve Montenbruck, 2017)

GLONASS uydularının modernizasyonu

İlk GLONASS uydusunun fırlatıldığı 12 Ekim 1982 yılından Mart 2021 yılına kadar yaklaşık 141 uydü yörüngeye yerleştirilmiştir. Günümüzde bu uydulardan 23 tanesi yörüngede operasyonel olarak görevini sürdürmektedir. Uydu serilerini adlandırmada “GLONASS” ya da “Uragan” isimleri kullanılmıştır. Uragan kelimesi Rusça da “Kasırğa” anlamına gelmektedir. Birinci nesil uydular “GLONASS”, ikinci nesil uydular “GLONASS-M” ve üçüncü nesil uydular ise “GLONASS-K” şeklinde, tasarım aşamasında olan sonraki nesil uydular ise “GLONASS-K2” ve “GLONASS-V” şeklinde adlandırılmıştır (Çizelge 3.1). Ayrıca birinci nesil uydularda GPS sistemine benzer Blok I, Blok IIa, Blok IIb, Blok IIv ve Blok III serileri bulunmaktadır. Birinci nesil GLONASS uydularından 1982-2005 yılları arasında toplam 88 adet üretilmiş, 82 uydü başarıyla yörüngeye yerleştirilmiş ve 6 uydünün ise fırlatımı başarısız olmuştur. GLONASS uydularının I. serisinde 2 rubidyum atomik saat, II. serisinde ise 3 sezyum saat kullanılmıştır. Ortalama ömürleri yaklaşık 1,5 yıl olan ilk atomik saatler, uyduların ömürlerini ciddi biçimde kısıtlamıştır. Birinci nesil uyduların başlangıçta yaklaşık 1 – 1,5 yıl olan uydü ömürleri, son üretilen uydularda 4 – 5 yıla kadar çıkmıştır. Bu uyduların en sonuncusu (2403 nolu GLONASS Blok IIv uydusu) 1 Mayıs 2009 yılında

görev dışı kalmıştır. Birinci nesil uydularda sinyal ayırma tekniği olarak sadece FDMA yöntemi kullanılmıştır. Güvenli hizmet sinyali hem L1 hem de L2 bant üzerinden yayınlanırken açık hizmet sinyali ise sadece L1 bant üzerinden aktarılmıştır (İçen, 2018; Teunissen ve Montenbruck, 2017; Kaplan ve Hegarty, 2017; Kahveci ve Yıldız, 2017; Alçay, 2010; URL-7; URL-8).

Çizelge 3. 1. GLONASS uydularının modernizasyonu ve teknik özellikleri (Teunissen ve Montenbruck, 2017; URL-8)

YEİENEKLER	GLONASS	GLONASS-M	GLONASS-K	GLONASS-K2
Fırlatma Zamanı	1982-2005	2003-2016	2011-2018	2017+
Durum	Hizmetten çıkarıldı	Kullanımda	Yörünge içi doğrulamaya dayalı tasarım olgunlaşması	Geliştirilmekte
Nominal Yörünge Parametreleri		Dairesel Yükseklik - 19.100 km Eğim - 64,8 ° Periyot - 11 sa 15 dk 44 sn		
Takımyıldızdaki Uydusu Sayısı (Navigasyon için Kullanılır)		24		
Yörünge Düzlemlerinin Sayısı		3		
Bir Düzlemdeki Uydusu Sayısı		8		
Fırlatıcı (Roketler)		Soyuz-2.1b, Proton-M		
Tasarım Ömrü, yıl	3.5	7	10	10
Kütle, kg	1500	1415	935	1600
Boyutlar, m		2,71x3,05x2,71	2,53x3,01x1,43	2,53x6,01x1,43
Güç, W		1400	1270	4370
Atomik Saat	Rb, Cs	Cs	Cs, Rb	Cs, Rb
Platform Tasarımı	Basınçlı	Basınçlı	Basıncısız	Basıncısız
Saat Kararlılığı, Spesifikasyona / Gözlemlenen	$5 * 10^{-13} / 1 * 10^{-13}$	$1 * 10^{-13} / 5 * 10^{-14}$	$1 * 10^{-13} / 5 * 10^{-14}$	$1 * 10^{-14} / 5 * 10^{-15}$
Sinyal Tipi	FDMA	FDMA (+ SV'ler 755-761 için CDMA)	FDMA ve CDMA	FDMA ve CDMA
Açık Erişim Sinyalleri (FDMA Sinyalleri için Merkez Frekans Değerleri Sağlanmıştır)	L1OF (1602 MHz)	SV'ler 755+ için L1OF (1602 MHz) L2OF (1246 MHz) L3OC (1202 MHz)	L1OF (1602 MHz) L2OF (1246 MHz) L3OC (1202 MHz) L2OC (1248 MHz) SVs 17L + için	L1OF (1602 MHz) L2OF (1246 MHz) L1OC (1600 MHz) L2OC (1248 MHz) L3OC (1202 MHz)
Kısıtlı Erişim Sinyalleri	L1SF (1592 MHz) L2SF (1237 MHz)	L1SF (1592 MHz) L2SF (1237 MHz)	SV'ler 17L + için L1SF (1592 MHz) L2SF (1237 MHz) L2SC (1248 MHz)	L1SF (1592 MHz) L2SF (1237 MHz) L1SC (1600 MHz) L2SC (1248 MHz)
Uydu Çapraz Bağlantıları:				
RF	-	+	+	+
Lazer	-	-	-	+
Arama kurtarma	-	-	+	+

İkinci nesil uydular (GLONASS-M), 2003 yılından itibaren birinci nesil uyduların yerini almaya başlamıştır. Mart 2021 yılına kadar yaklaşık 50 adet GLONASS-M uydusu başarıyla yörüngeye yerleştirilmiş ve 6 uydunun ise fırlatımı başarısız olmuştur. Daha hassas yörünge tahmini için uyduların üzerine lazer yansıtıcılar yerleştirilmiştir. İkinci nesil uyduların her birinde 3 sezyum saat bulunmaktadır. İkinci nesil uydular, birinci nesile göre daha iyi atomik saatlere ve daha uzun uydu ömrüne sahiptir. İkinci nesil uyduların tasarım ömrü 7 yıldır. Şu an yörüngede aktif olarak görev yapan en eski GLONASS-M uydusu 26 Ekim 2007 tarihinde fırlatılmıştır ve yaklaşık 13 yıldır görevini sürdürmektedir. Sisteme en son katılan ikinci nesil uydu, 16 Mart 2020 tarihinde fırlatılmıştır. GLONASS-M uyduları, sinyal ayırma tekniği olarak FDMA yöntemi kullanmakla beraber bu neslin ikinci serisi uydulara CDMA yöntemi de ilave edilerek L3OC sinyali yayınlama kabiliyeti kazandırılmıştır. GLONASS-M uyduları ile L2 bant üzerinden açık hizmet sinyalinin aktarımına başlanmıştır. GLONASS-M uyduları, birinci nesil uydulardan farklı olarak iki taşıyıcı frekans üzerinden sivil sinyal yayınlarlar. Bu da iyonosferik hataların giderilmesi için çift sinyal kullanımını mümkün kılmaktadır. Şuanda operasyonel 22 adet GLONASS-M uydusu bulunmaktadır. GLONASS uydularından şimdiye kadar ulaşılan en uzun görev süresi yaklaşık 13 yıldır ve bu uydular (2432 ve 2433 nolu GLONASS-M uyduları) halen aktif olarak çalışmaktadır (İçen, 2018; Teunissen ve Montenbruck, 2017; Kaplan ve Hegarty, 2017; Kahveci ve Yıldız, 2017; Alçay, 2010; URL-7; URL-8).

Üçüncü nesil uydular (GLONASS-K), K1 ve K2 olmak üzere iki seriden oluşmaktadır. Mart 2021 yılına kadar sadece 3 adet GLONASS-K1 uydusu üretilmiş olup bu uydular 26 Şubat 2011, 30 Kasım 2014 ve 25 Ekim 2020 tarihlerinde fırlatılmıştır. Birinci ve üçüncü uyduların test çalışmaları halen devam etmekte olup, ikinci uydu ise operasyonel olarak çalışmaktadır. GLONASS-K1 uydularının Rusya tarafından halen üretimi ve fırlatımı devam etmektedir. Geliştirme süreci devam eden GLONASS-K2 uydularının ise fırlatımına yaklaşık 2021 yılından itibaren başlanması hedeflenmektedir. Üçüncü nesil uydularda 2 sezyum ve 2 rubidyum atomik saat bulunmaktadır. Önceki nesil uydulara göre daha kararlı atomik saat bulunan bu uydular ayrıca Cospas-Sarsat arama ve kurtarma fonksiyonuna sahiptir. Bu uyduların tasarım ömrü 10 yıla çıkarılmıştır. 2022 yılına kadar 9 adet GLONASS-K1 uydusunun fırlatılması ve 2024 yılına kadar da 7 adet GLONASS-K2 uydusunun fırlatılması planlanmaktadır. GLONASS-K1 ve K2 uydularında sinyal ayırma tekniği olarak

CDMA yöntemi kullanılmaktadır (İçen, 2018; Teunissen ve Montenbruck, 2017; Kaplan ve Hegarty, 2017; Kahveci ve Yıldız, 2017; Alçay, 2010; URL-7; URL-8).

GLONASS uydularının sinyal yapısı

GLONASS sisteminde, diğer sistemlerden farklı olarak frekans bölmeli çoklu erişim (FDMA) modülasyonu kullanılır. Burada uydular aynı uzaklık ölçüm kodunu her uyduya ait frekanslar üzerinden aktarırken, CDMA yönteminde uydular, kendilerine ait uzaklık ölçüm kodlarını aynı frekans üzerinden aktarırlar. Alıcı cihazına gelen sinyalin, hangi uyduya ait olduğu FDMA yönteminde sinyal frekansından, CDMA yönteminde ise uzaklık ölçüm kodundan ayırt edilir. GLONASS FDMA sinyallerinde farklı sinyal frekanslarının kullanılması, tüm uydular için ortak bir aralık kodunun kullanılmasını sağlar ve CDMA sinyallerine kıyasla dar bantlı parazitlere karşı koruma sağlar, çünkü bu tür parazitler bir seferde yalnızca bir veya birkaç uyduyu etkiler. Bununla birlikte, CDMA yöntemine göre tasarımda artan bir karmaşıklığa da neden olur ve genellikle bu durum, GLONASS alıcılarında istenmeyen grup ve faz gecikmesi değişimlerinin kaynağıdır. Bu durumun, mevcut veri işleme metodolojisinde hassas nokta konumlandırma hesaplamaları sağlayarak bu gecikmelerin kullanıcı düzeyinde tespit edilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde hatalara sebep olacağı görülmektedir. FDMA yönteminde sinyalleri aktarmada farklı frekanslar kullanıldığı için daha geniş bir bant aralığına ihtiyaç duyması, frekans çakışma riskini de artırır. GLONASS sistemi, diğer sistemler ile birlikte çalışabilirliğin sağlanması amacıyla GLONASS-M uydularının ikinci serileri ile birlikte (2011 yılı) CDMA sinyallerini de yayınlamaya başlamıştır. Çizelge 3.2’de GLONASS uydularının yayınladıkları sinyaller verilmiştir. Çizelgede kullanılan kısaltmalar “O” ve “S” harfleri verilen hizmet türünü (O: Open - Açık, S: Secure - Güvenli), “F” ve “C” harfleri de kullanılan modülasyonu (F: FDMA, C: CDMA) ifade etmektedir (İçen, 2018; Teunissen ve Montenbruck, 2017).

Çizelge 3. 2. GLONASS uydularının sinyalleri (Teunissen ve Montenbruck, 2017)

UYDULAR	FDMA		CDMA		
	L1	L2	L1	L2	L3
GLONASS	L1OF L1SF	L2SF			
GLONASS-M	L1OF L1SF	L2OF L2SF			(L3OC)
GLONASS-K1	L1OF L1SF	L2OF L2SF			L3OC
GLONASS-K2	L1OF L1SF	L2OF L2SF	L1OC L1SC	L2OC L2SC	L3OC

GLONASS sisteminde L1 sinyalleri 1598,0625 – 1605,375 MHz frekans aralığında, L2 sinyalleri ise 1242,9375 – 1248,625 MHz frekans aralığında yayınlanmaktadır. FDMA sinyallerinin yayınlanması için her bantta kullanılabilir 14 taşıyıcı frekans (kanal) tanımlanmıştır. Bu tanımlama L1 bandındaki sinyaller arasında 0,5625 MHz, L2 bandındaki sinyaller arasında ise 0,4375 Mhz eş aralık bırakılarak gerçekleştirilmiştir. Bu farklı taşıyıcı frekansların her biri aşağıdaki denklemlerle tanımlanır:

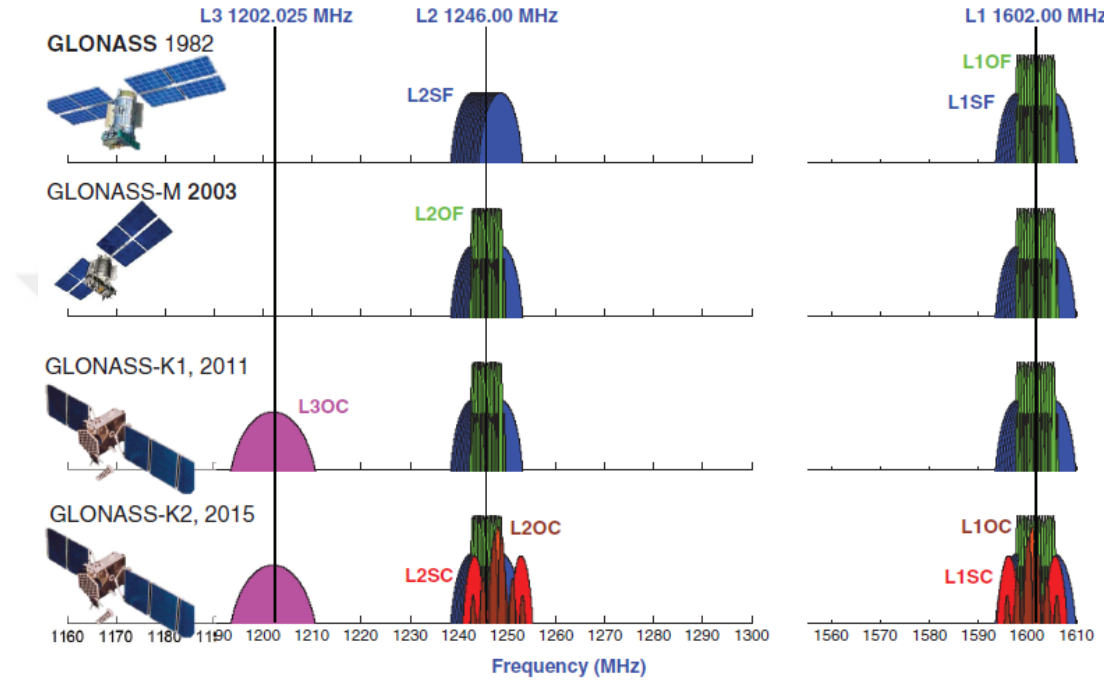
$$f_{L1}(k) = (1602,0 + k \cdot 0,5625) \text{MHz} \quad (3.1)$$

$$f_{L2}(k) = (1246,0 + k \cdot 0,4375) \text{MHz} \quad (3.2)$$

burada k , ayrı ayrı tahsis edilmiş her bir taşıyıcı frekansı tanımlayan -7 ile $+6$ arasında bir tamsayı değeridir. Başlangıçta k , her uydü için farklı bir tamsayı idi ve 0 ile 24 arasında değişiyordu. Bununla birlikte, L1 sinyal iletimlerinin, $1,612$ MHz'e yakın hidroksil (OH) radikalının radyo astronomi ölçümlerine müdahale ettiği keşfedildi. Uluslararası Telekomünikasyon Birliği'nin (ITU) tavsiyesi uyarınca, 1998'de ilk frekans tahsisi $k = 0, \dots, 12$ olarak değiştirildi ve 2005'te negatif kanallar tanıtıldı, böylece kanal aralığı $k = -7, \dots, +6$ (14 kanal) olarak değiştirildi. Bu kanal sınırlaması, aynı k numarasının Dünya'nın zıt taraflarındaki uydulara (ters modlu) atanmasıyla giderilmiştir (İçen, 2018; Kaplan ve Hegarty, 2017; Hofmann-Wellenhof vd., 2008).

GLONASS sisteminde L1 ve L2 sinyalleri üzerinden C/A kod (standart hassasiyetli kod) ile açık hizmet, P kod (yüksek hassasiyetli kod) ile güvenli hizmet sunulmaktadır. Standart kod kullanan açık hizmet sinyalleri L1OF ve L2OF, yüksek hassasiyetli kod kullanan güvenli hizmet sinyalleri ise L1SF ve L2SF olarak isimlendirilmektedir. GLONASS-M uyduları ile L1OF ile aynı standart koda ve sinyal yapısına sahip olan L2OF sinyali yayınlanmaya başlamıştır. GLONASS uyduları L1SF

ve L2SF sinyallerini, L1OF ve L2OF sinyalleri ile aynı taşıyıcı frekansta yayınlamaktadır. GLONASS sisteminde L3 sinyali 1202,025 MHz merkezi frekansı ile yayınlamaktadır ve Galileo E5B ve BeiDou B2 frekanslarına oldukça yakındır. L3 bandı üzerinden sadece L3OC açık hizmet sinyali sunulmaktadır (Şekil 3.6), (İçen, 2018; Teunissen ve Montenbruck, 2017; URL-9).



Şekil 3. 6. GLONASS uydularının sinyal modernizasyonu (İçen, 2018)

GLONASS sisteminde navigasyon mesajının yayınlanması 2.5 dakika sürmekte, efemeris ve saat bilgileri ise 30 saniyede bir tekrar edilmektedir. P kod 12 dakikada yayınlanmakta olup, efemeris ve saat bilgileri 10 saniyede bir tekrar edilmektedir. GLONASS zaman sistemi UTC (SU) olup, bu zaman sistemi Rusya Federasyonu Ulusal Metroloji Enstitüsü tarafından sürdürülmektedir ve UTC ile arasında üç saatlik fark vardır. Sistemin jeodezik datumu PZ-90 (Parametry Zemli 1990 veya Parameters of the Earth 1990) (Çizelge 3.3) yersel referans sistemidir ve efemeris bilgilerinin referans sistemi olarak kullanılmaktadır. Rusya GLONASS sisteminin diğer sistemler ile entegrasyonunu kolaylaştırmak için PZ-90 datumunu güncelleyerek PZ-90.11 datumunu elde etmiş ve 31 Aralık 2013 tarihinden itibaren uygulamaya başlamıştır. PZ-90 datumunun dönüşüm parametreleri Çizelge 3.4’de verilmiştir. (Kahveci ve Yıldız, 2017; Teunissen ve Montenbruck, 2017; Alçay, 2010; Pektaş, 2010; Yalçın, 2007).

Çizelge 3. 3. PZ90 datumu parametreleri (Kahveci ve Yıldız, 2017; Teunissen ve Montenbruck, 2017)

Parametre Adı	Büyüklüğü
Yer Dönme Oranı (Açısal hız)	72.92115×10^{-6} rad/s
Yerçekimi Sabiti (G)	6.67259×10^{-11} m ³ /(kg.s ²)
Jeosantrik Yerçekimi Sabiti (Atmosfer dahil – GM)	398600.4418×10^9 m ³ /sn ²
Elipsoit Büyük Yarı Eksen (a)	6378136.0 m
Elipsoit Basıklığı (f)	1/298.25784

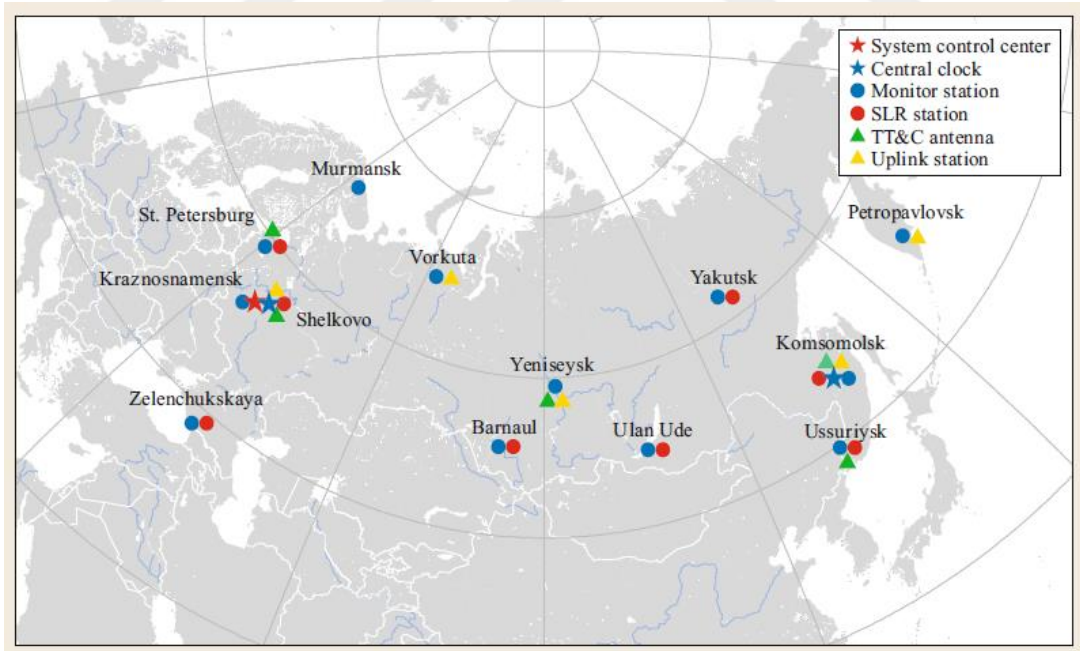
Çizelge 3. 4. PZ90 datumu dönüşüm parametreleri (Teunissen ve Montenbruck, 2017)

1. Datum	2. Datum	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)	ω_x ($10^{-3}''$)	ω_y ($10^{-3}''$)	ω_z ($10^{-3}''$)	m (10^{-6})	Epok
PZ-90	WGS-84	-1.100	-0.300	-0.900	0.000	0.000	-200.000	-0.120	1990.00
PZ-90	ITRF-97	0.070	0.000	-0.770	-19.000	-4.000	353.000	-0.003	
PZ-90	PZ-90.02	-1.070	-0.030	0.020	0.000	0.000	-130.000	-0.220	2002.00
PZ-90.02	WGS-84 (1150)/ITRF-2000	-0.360	0.080	0.180	0.000	0.000	0.000	0.000	2002.00
PZ-90.11	ITRF-2008	-0.003	-0.001	0.000	0.019	-0.042	0.002	0.000	2010.00

3.1.2.1.2. Kontrol bölümü

GLONASS sisteminin kontrol bölümü; bir sistem kontrol merkezi (SCC), iki merkezi saat tesisi (CC) ve Rusya topraklarına (ve eski Sovyetler Birliği devletlerine) dağılmış izleme ve komut istasyonlarından (TT&C) oluşmaktadır. İzleme ve komut istasyonları ağında; telemetri, izleme ve komut istasyonları (TT&C), yukarı yönlü bağlantı istasyonları (US), tek yönlü izleme istasyonları (MS) ve lazerli mesafe ölçüm istasyonları (SLR) bulunmaktadır. Bu istasyonlar Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Bu istasyonların görevi, GPS’in kontrol bölümü ile aynı olup, uyduların verimli bir şekilde çalışmasının sağlanması, uydulardan toplanan veriler ile uydu yörüngelerinin hesaplanması ve uydu saat düzeltmelerinin hesaplanmasıdır. Navigasyon verileri uydulara günde iki kez yüklenmektedir. Kontrol bölümünün tüm bileşenlerinin planlama ve koordinasyonundan sorumlu olan sistem kontrol merkezidir ve Moskova şehir merkezinin yaklaşık 40 km güney batısında yer alan Krasnoznamensk’te kuruludur. Merkezi saat tesisleri ise Schelkovo’da bulunan ana tesis ile Komsomolsk’te bulunan ikinci bir tesisten oluşmaktadır. Telemetri, izleme ve komut istasyonları GLONASS uydularından durum bilgilerini almak, kontrol komutları göndermek ve yörünge belirlemede iki yönlü ölçümler yapmak için kullanılır. Maksimum kapsama için, Rusya’nın batı, orta ve doğu bölgelerinde bulunan toplam beş TT&C istasyonu mevcuttur. Bunlar, Schelkovo, Yeniseysk, Komsomolsk, Vorkuta ve Petropavlovsk’taki

beş yukarı yönlü bağlantı istasyonu ile tamamlanmaktadır. Bu bölgelerin her biri, her GLONASS uydusuna günde en fazla üç yörünge ve saat verisi yüklemesine olanak tanıyan iki antenle donatılmıştır. GLONASS'ın kontrol bölümüne toplamda 13 izleme istasyonu (MS) ve 9 lazerli mesafe ölçüm istasyonu (SLR), dâhil edilmiştir. İzleme istasyonları, yörünge ve saat bilgisi elde etmek için tek yönlü sahte uzaklık ve taşıyıcı faz ölçümleri gerçekleştirir. Uyduların çevrimdışı performansını ve entegrasyonunu izler. SLR istasyonları ise iki yönlü optik uzaklık ölçümü yapılmasında kullanılır. Yapılan ölçümler yörünge belirlemede, hassasiyetin doğrulanmasında ve radyometrik uzaklık hesaplamalarının kalibrasyonunda kullanılmaktadır. GLONASS, SLR istasyonlarını rutin olarak operasyonlarında kullanan tek uydu navigasyon sistemidir, GLONASS sisteminde kullanılan geleneksel radyometrik izleme istasyonlarının coğrafi yayılımının sınırlı olması doğruluğu düşüren bir etkidir. Yüksek doğruluğa sahip SLR ölçümleri, doğruluğun iyileştirilmesine yardımcı olur. Bununla birlikte Rusya, son yıllarda GLONASS izleme ağını genişletmek için küresel çapta yeni istasyonlar kurmaktadır (İçen, 2018; Teunissen ve Montenbruck, 2017; Kaplan ve Hegarty, 2017; Kahveci ve Yıldız, 2017).



Şekil 3. 7. GLONASS kontrol bölümü bileşenleri (Teunissen ve Montenbruck, 2017)

GLONASS'ın modernizasyonu ve geliştirmesinin bir parçası olarak, diferansiyel düzeltme ve izleme sistemi (SDCM) kurulmuştur. SDCM, gerçek zamanlı veri aktarımı için birleşik GPS/GLONASS çift frekanslı alıcılar, hidrojen maser atomik saatler ve

doğrudan iletişim bağlantıları ile donatılmış bir referans istasyonları ağına dayanmaktadır. Rusya topraklarında toplam 18 istasyon ve Antarktika ve Brezilya'da dört istasyon konuşlandırılmıştır. Küba ve Kazakistan'ın yanı sıra Güney Amerika, Afrika ve Asya/Okyanusya'daki diğer ülkelerde dünya çapında bir kapsama alanı elde etmek için başka istasyonlar planlanmaktadır. SDCM ağı, sürekli bir performans ve bütünlük izleme ile birlikte hassas nokta konumlandırma uygulamaları için gerçek zamanlı düzeltmeler sağlar. SDCM düzeltme verileri, karasal kullanıcılar için internet ve iletişim uyduları aracılığıyla sağlanır. SDCM referans istasyonlarının GLONASS yörüngesine ve saat belirlemeye dâhil edilmesi, küresel çapta yüksek performanslı bir GLONASS navigasyon hizmeti için önemli bir yapı taşı oluşturabilir (Teunissen ve Montenbruck, 2017).

3.1.2.1.3. Kullanıcı bölümü

Kullanıcı bölümü ise GLONASS uydularının yayınladığı verileri toplayıp, farklı amaçlar için değerlendirebilen GNSS alıcı cihazları ile kullanıcılardan oluşmaktadır. Bu uygulamalara şunlar örnek olarak verilebilir; başta harita ve jeodezik amaçlı kullanım olmak üzere, kara, hava ve deniz navigasyonu, askeri kullanım, CBS, afet yönetimi, hassas tarım uygulamaları, araç takibi ve filo yönetimi, cep telefonlarıyla entegrasyon (Kaplan ve Hegarty, 2017; URL-10).

GLONASS ile GPS sistemleri arasında temel benzerlikler ve farklılıklar bulunmaktadır. Bunlar Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3. 5. GLONASS ile GPS sistemleri arasında benzerlikler ve farklılıklar (Kahveci ve Yıldız, 2017; URL-5; URL-6)

Parametre/Teknik Özellikler	GLONASS	GPS
Temel Uydu Sayısı	21 asıl + 3 yedek	21 asıl + 3 yedek
Mevcut Uydu Sayısı	23	31
Yörünge Düzlemi Sayısı	3	6
Yörünge Düzlemi Eğimi	64.8°	55°
Yörünge Yarıçapı (km)	25.510	26.560
Temel Saat Frekansı (MHz)	5.0	10.23
Sinyal Ayırma Tekniği	FDMA + CDMA	CDMA
Taşıyıcı Frekanslar: L1 (MHz)	1602.0 - 1615.5	1575.42
L2 (MHz)	1246.0 - 1256.5	1227.60
Navigasyon Mesajı Süresi (dk)	2.5	12.5
Uydu Efemeris Bilgileri	Jeosentrik kartezyen	Kepler yörünge
	koordinat sisteminde	elemanları ve
	koordinatlar ve türevleri	bozucu etkiler
Zaman Referans Sistemi	UTC (SU)	UTC (USNO)
Jeodezik Datum	PZ-90	WGS84

GLONASS sisteminde, GPS sisteminde 1 Mayıs 2000 tarihinde kaldırılan sistem doğruluğunun kasıtlı olarak düşürülmesi (SA) gibi etkiler uygulanmamaktadır. Sistemin yatayda 5 m, düşeyde ise 10 m'lik bir konum doğruluğu performansına sahip olduğu belirtilmektedir (Teunissen ve Montenbruck, 2017). Rusya'nın SDCM sistemini izlediği resmi internet sayfasında, GLONASS sisteminin navigasyon doğruluğuna ilişkin 18 istasyonda yapılan ölçüm sonuçları ve GPS navigasyon doğruluğu ile karşılaştırmaları verilmektedir (URL-11). Bu bilgiler Çizelge 3.6'da sunulmuştur. Günümüzde GPS ve GLONASS alıcıları ile yaklaşık 55 uyduya erişim imkânı sağladığından vadi, orman ve yüksek katlı binaların bulunduğu kent merkezleri gibi sınırlı uydu görüş olanağı bulunan yerlerde uydu görememe sorunu büyük ölçüde ortadan kalkmaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2017).

Çizelge 3. 6. GLONASS navigasyon doğruluğunun GPS navigasyon doğruluğu ile karşılaştırılması (URL-11)

İstasyon	GLONASS Navigasyon Hataları (p=0.95)				GPS Navigasyon Hataları (p=0.95)				GLONASS+GPS Navigasyon Hataları (p=0.95)			
	enlem (m)	boylam (m)	yükseklik (m)	Uydu Sayısı	enlem (m)	boylam (m)	yükseklik (m)	Uydu Sayısı	enlem (m)	boylam (m)	yükseklik (m)	Uydu Sayısı
Arti	5.64	4.52	12.13	8	5.88	4.35	13.94	10	4.05	3.48	9.32	18
Bilibino	4.97	4.97	12.55	8	4.6	4.99	16.24	11	3.61	3.59	9.74	20
Vladivostok	5.27	4.98	10.47	7	5.06	3.5	11.2	9	4.19	3.24	8.05	17
Gelendzhik	5.03	5.89	12.08	7	6.32	3.98	11.16	10	3.72	3.65	8.83	17
Irkutsk	5.08	4.22	10.11	8	5.22	3.65	12.39	10	3.49	2.98	8.04	18
Kamçatka	7.4	7.3	14.13	8	6.79	5.12	14.77	10	5.33	4.39	10.51	18
Kislovodsk	5.11	5.68	12.25	7	6.63	4.18	13.09	10	3.87	3.91	8.86	17
Magadan	5.52	18.3	10.3	8	5.21	17.29	13.1	10	4.18	16.97	8.36	18
Mendeleev	5.23	5.09	11.91	8	5.36	4.31	12.64	10	3.39	3.62	9.02	18
Novosibirsk	6.06	4.41	11.01	8	5.14	4.21	13.44	11	3.62	3.1	7.96	19
Norilsk	4.67	4.02	11.63	8	5.1	4.08	16.15	11	3.22	3.08	9.58	20
Noyabrsk	9.24	8.4	25.62	8	8.53	7.16	25.84	11	6.81	6.58	20.99	19
Pulkovo	6.01	7.08	14.21	7	6.95	5.33	16.88	9	4.68	4.99	11.15	16
Revda	4.52	5.13	11.58	8	4.85	4.55	17.5	11	3.12	3.91	8.93	19
Sveteen	5.01	4.88	12.32	8	4.89	4.4	13.81	10	3.37	3.62	9.69	18
Tiksi	4.76	3.81	10.42	8	4.67	4.19	18.78	11	3.24	2.66	9.19	19
Yujno-Sahalinsk	5.28	5.71	10.59	8	5.27	3.51	13.46	10	4.21	3.6	8.33	18
Yakutsk	5.78	4.8	13.23	8	6.26	4.73	16.53	11	4.19	3.53	11.35	19

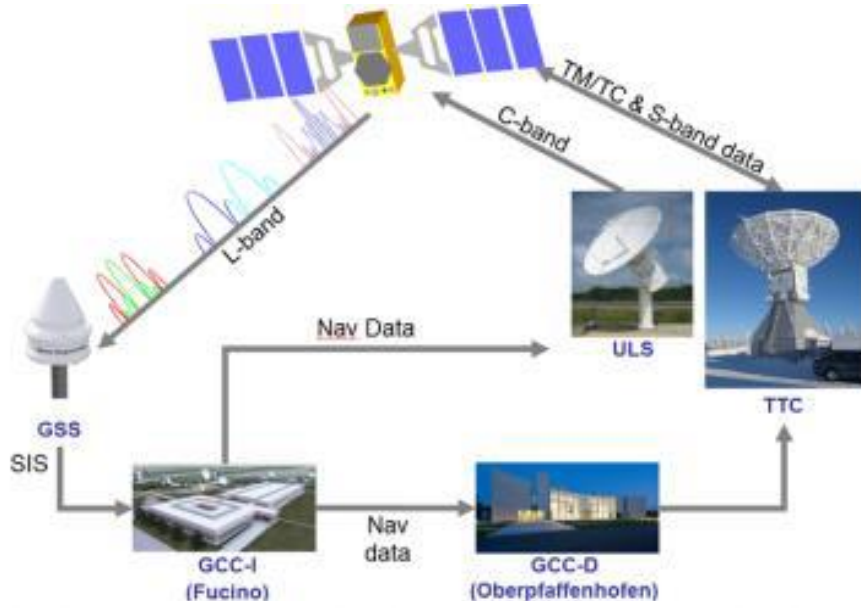
3.1.3. Galileo

AB ülkeleri Ulaştırma Bakanlıkları tarafından geliştirilen Galileo sistemi, 2000 yılında tasarlanmış ve AB Ulaştırma Bakanlar Kurulunun 26 Mart 2002 tarihli toplantısında Avrupa Birliği kurumları ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından yürütülecek 450 milyon Euro'luk bir proje olarak onaylanmıştır. Galileo sisteminin hayata geçirilmesinde, GPS'in sivil kullanıcılara sağladığı doğruluğun zamana ve konuma bağlı olarak değiştiği özellikle Avrupa'da ulaşım sektörü için yetersiz olduğu ve Galileo ile bu açığın kapatılabileceği düşüncesi, GPS' in kapsama alanının kuzey bölgelerde yetersiz olması, GPS sisteminin herhangi bir nedenle devre dışı kalması veya kullanıma kapatılması, siyasi, askeri ve ekonomik gibi çeşitli nedenler söz konusu olmuştur. İlk deneysel uydu, GIOVE-A 28 Aralık 2005 tarihinde, ikinci uydu GIOVE-B 27 Nisan 2008 tarihinde ve ilk operasyonel uydusu ise 21 Ekim 2011 tarihinde fırlatılmıştır. Sistemin tam aktif olarak çalışabilmesi için 27 kullanımda ve 3 yedek olmak üzere toplam 30 MEO uydusu planlanmakta ve 2020 yılında tam kapasite (FOC) olarak devreye girmesi beklenmekte idi. Sistem ilk hizmetine 15 Aralık 2016'da başlamıştır (Kahveci ve Yıldız, 2017; Teunissen ve Montenbruck, 2017; Gündüz, 2013; Alçay, 2010; URL-12; URL-13; URL-14).

Galileo sistemi GPS ve GLONASS sistemlerine benzer olarak uzay bölümü, kontrol bölümü ve kullanıcı bölümü olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır.

Uzay bölümü Galileo uydularından oluşmaktadır. Uyduların yörünge yüksekliği yaklaşık olarak 23.616 km'dir. Bir uydunun dolanım süresi 14 saat 4 dakika 45 saniyedir. Sistem her yörünge düzleminde 8 operasyonel uydu olacak şekilde toplam 3 yörünge düzlemi ile tasarlanmıştır. Yörüngeler ise ekvatorla 56°'lik açı yapmaktadır. Dünya üzerinde herhangi bir yer ve zamanda en az 6 uydunun gözlenebilmesi sağlanacaktır. Uydular 10 farklı kodda sinyal gönderecek olup, bunların 6'sı günlük yaşam için hizmete açık, 2'si ticari, 2'si devlete ait olacaktır. Uydu ömürleri 10 yıl olacak şekilde planlanmaktadır. ESA tarafından son olarak 25 Temmuz 2018 tarihinde fırlatılan 4 uydu takımı ile birlikte fırlatılan uydu sayısı Mart 2021 tarihi itibarıyla; 24 kullanımda ve 4'ü kullanılamaz halde olmak üzere 28'i bulmuştur. Bununla birlikte AB tarafından 2021 yılı içerisinde 2 ve 2022 yılı içerisinde 10 uydu fırlatılacağı ifade edilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2017; Alçay, 2010; Hofmann-Wellenhof vd., 2008; URL-15; URL-16; URL-17).

Galileo sisteminin kontrol bölümü, Avrupa'da bulunan iki adet kontrol merkezi (Oberpfaffenhofen ve Fucino), beş Telemetri, İzleme ve Komuta istasyonları (Kiruna, Kourou, Redu, Reunion Adası ve Yeni Kaledonya Adası), dünya çapında 20 adet alıcı istasyonu ve uydular ile kontrol merkezi arasındaki haberleşmeyi sağlamak için 15 istasyondan oluşmaktadır. Şekil 3.8'de kontrol bölümü ve çalışma prensibi gösterilmektedir. TT&C istasyonları uydulardan durum bilgilerini alır. Paralel olarak, sensör istasyonları navigasyon sinyallerini alır. Bütün bu bilgiler işlendiği ve analiz edildiği her iki kontrol merkezine gönderilir. Kontrol merkezleri, güncellenmiş navigasyon mesajlarının yanı sıra uydu platformundaki herhangi bir yörüngesel sapma veya anormal bir durum için düzeltilecek uyduların komutlarını da hesaplar. Güncellenmiş navigasyon bilgileri ve uydulara verilen komutlar, sırasıyla yukarı bağlantı ve TT&C istasyonları üzerinden iletilir. Bu çalışma prensibi, sistemin mümkün olan en iyi performans ve hizmeti sunmayı amaçlayan ve sürekli işleyen bir süreçtir. Galileo sisteminde jeodezik datum olarak ITRF referans sisteminin kullanılması planlanmıştır. Referans çerçevesi olarak ise Galileo Yersel Referans Çerçevesi (GTRF) kullanılmakta olup, ITRF ile 3 cm seviyesinde uyumlu olması hedeflenmiştir. Sistemin referans zamanı olarak Galileo Sistem Zamanı (GST) kullanılmakta fakat bu zaman sistemi GPS zamanından nanosaniyeler seviyesinde farklı olmasına rağmen yaklaşık olarak aynı kabul edilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2017; Akçay, 2010; URL-12; URL-13).



Şekil 3. 8. Galileo'nun kontrol bölümü ve çalışma prensibi (URL-13)

Galileo sisteminin kullanıcı bölümü ise GPS ve GLONASS sistemlerinin kullanıcı bölümleri ile yaklaşık olarak aynıdır.

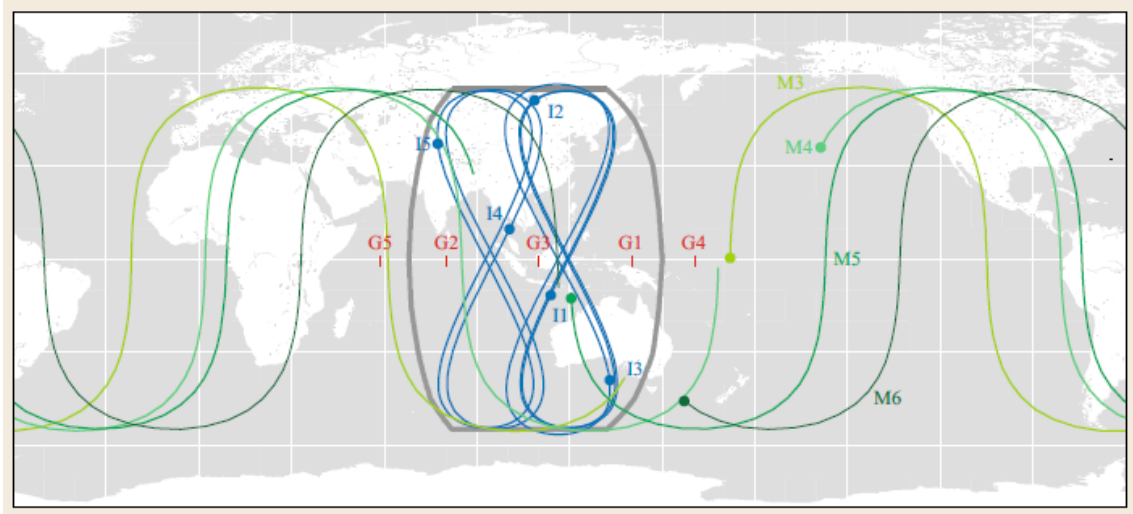
3.1.4. Compass-BeiDou

Dünya'da GPS, GLONASS ve Galileo'dan sonra gelen dördüncü küresel konum belirleme sistemi Çin Halk Cumhuriyeti, Uydu Navigasyon Sistemi Yönetim Ofisi tarafından geliştirilen Compass-Beidou sistemidir. 1990'lı yılların sonlarında Çin, ülkenin ulusal güvenliğini, ekonomik ve sosyal gelişim ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak bağımsız ve ulusal koşullarına uygun bir navigasyon uydu sistemi araştırmaya ve geliştirme başladı ve üç aşamalı bir strateji geliştirdi. 1. Aşama olarak 2000 yılı sonuna kadar ülke bütününe hizmet sağlayacak şekilde Beidou-1 sisteminin inşasını tamamlamak, 2. aşama 2012 yılı sonunda Asya-Pasifik bölgesine hizmet sağlamak için Beidou-2'yi tamamlamak ve 3. aşama da 2020 yılı civarında dünya çapında hizmet sunmak için BeiDou sistemini tamamlamak şeklinde hedeflenmiştir (Teunissen ve Montenbruck, 2017; China's BeiDou NSS, 2016; URL-18; URL-19).

Beidou, Çince Büyükayı Takım Yıldızı olarak bilinen yıldız takımı anlamına gelmektedir. Çinliler tarihte Büyükayı Yıldız Takımını Polaris Kuzey Yıldızını bulmak için kullanmışlardır. Yön ve konum bulma amacı ile kullanılması sebebi ile benzetme yapılarak Çin tarafından geliştirilen navigasyon sistemi, Beidou olarak adlandırılmıştır (Hofmann-Wellenhof vd., 2008; URL-20).

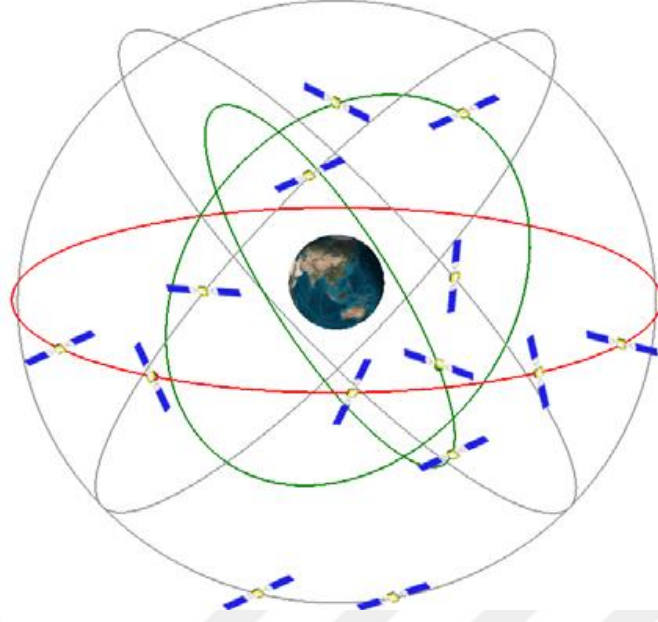
Sistemin ilk nesli BeiDou-1 olarak bilinir. Dünyanın bir bölümünü 70° ila 140° doğu boylamları ile 5° ila 55° kuzey enlemleri arasında hizmet veren bölgesel uydu navigasyon sistemidir. 1 yedekle 3 uyduya dayanır. İlk uydular; 30 Ekim 2000 yılında BeiDou-1A 140° boylamında ve 20 Aralık 2000 yılında BeiDou-1B 80° boylamında olmak üzere yer sabit yörüngelerine fırlatılmıştır. 3 Yıl sonra üçüncü bir uydu olan BeiDou-1C, 110.5° boylamında onlara katılmıştır. Sistemin dördüncüsü uydusu olan BeiDou-1D'nin 2007 yılında fırlatılması ile sisteminin dört uydusu da GEO uydusu olarak yörüngelerine yerleştirilmiş ve BeiDou-1 sistemi bölgesel olarak faaliyete geçmiştir. Beidou-2 (Compass) ise sistemin ikinci neslidir. İlk BeiDou-2 uydusu 14 Nisan 2007 tarihinde Compass-M1 adlı bir orta yükseklikli yörüngeli (MEO) uydu olarak 55.5° 'lik bir eğimle 21.528 km'de dairesel bir yörüngeye yerleştirilmiştir. Beidou-2 sistemi için 2007 ila 2012 yılları arasında, 5 adet MEO uyduları Compass-M1'den Compass-M6'ya (Compass-M2 yok) kadar fırlatılmıştır. 2009'dan 2012'ye kadar geçen sürede, Compass-G1'den G6'ya kadar 6 adet GEO uydusu fırlatılmıştır. Konumları 140° doğu boylamı (G1), 110.5° doğu boylamı (G3), 160° doğu boylamı (G4), 58.75° doğu boylamı (G5) ve 80° doğu boylamı (G6)'dır. G2 uydusu daha sonra devre dışı kalmıştır. 2010'dan 2011'e kadar, Compass-IGS01'den IGS05'e 5 adet yüksek yörüngeli (GEO) BeiDou-2 uyduları yaklaşık 35.786 km'lik bir yüksekliğe fırlatılmıştır. Kısaltması IGSO olan ve eğik yer eşzamanlı yörüngeli uydular anlamına gelen IGS01, IGS02 ve IGS03 uyduları yaklaşık 120° doğu boylamında IGS04 ve IGS05 ise yaklaşık 95° doğu boylamındadırlar. Tüm IGSO uyduları 55° 'lik bir eğime sahiptir ve bir tanesi her zaman Çin bölgesi üzerinde olacak şekilde düzenlenmiştir. Bu uydular ile BeiDou-2 sistemi tamamlanmış ve sistem 2011 yılı sonlarında deneme çalışmalarına başlamış ve 55° ila 180° doğu boylamları ve 55° güney ila 55° kuzey enlemleri arasında sınırlandırılmış bölgelere hizmet vermeye başlamıştır (Şekil 3.9). BeiDou-3 sistemi de 30 Mart 2015 tarihinde fırlatılan IGSO uydusu ile başlamış ve günümüze kadar fırlatılan farklı yörüngeli (IGSO, GEO ve MEO) uydular ile devam ettirilmektedir. BeiDou-3 sisteminin son uydusu 23 Haziran 2020'de fırlatılan GEO uydusudur. BeiDou-3 uyduları, diğer mevcut küresel navigasyon uydu sistemleri ile birlikte çalışabilen yüksek performanslı sistemler ile donatılmıştır. Aynı zamanda SBAS ve SAR (Arama ve Kurtarma) hizmetleri de vermektedir. Sistem, dünyayı tam olarak kapsayacak şekilde 5 tane GEO uydusu, 3 tane IGSO uydusu ve 27 tane de MEO uydusu içeren 35 uydudan oluşan bir sistem olarak tasarlanmıştır. Tüm BeiDou uyduları Çin'in güney batısındaki Sichuan Eyaletindeki XSLC'den (Xichang Uydu Fırlatma

Merkezi) fırlatılmıştır. Mart 2021 tarihi itibarıyla toplam 59 uydu fırlatılmış, bunlardan 17'si kullanılamaz durumda, 12'si BeiDou-2 sistemine ait uydular (4'ü GEO, 8'i IGSO) ve 30'u da BeiDou-3 sistemine ait uydulardır (5'i IGSO ve 25'i MEO). Compass-Beidou koordinat sistemi olarak, CGCS 2000 kullanmakta ve diğer koordinat sistemlerine dönüşümü mevcuttur. Zaman sistemi olarak da UTC ve BDT kullanılmaktadır. Yine UTC ve BDT arasında senkronizasyon ve uyum sağlanmaktadır. (Teunissen ve Montenbruck, 2017; Al-Tamar, 2016; Junhong vd., 2014; URL-19; URL-21; URL-22).



Şekil 3. 9. BeiDou sistemi uydularının (BeiDou-2) 1 Temmuz 2014 tarihli yer izleri [GEO (kırmızı), IGSO (mavi) ve MEO (yeşil)] (Teunissen ve Montenbruck, 2017)

Beidou sistemi, diğer sistemlerde olduğu gibi uzay bölümü, kontrol bölümü ve kullanıcı bölümlerinden oluşmaktadır. Uzay bölümü (Şekil 3.10), yörüngedeki eğik yer eşzamanlı yörüngeli (IGSO) uydular, yüksek yörüngeli (GEO) uydular ve orta yükseklikli yörüngeli (MEO) uydularından oluşur. Kontrol bölümü, ana kontrol istasyonu, zaman senkronizasyonu istasyonu ve izleme istasyonu gibi birkaç yer istasyonu içerir. Kullanıcı bölümü ise BeiDou sistemi ve diğer sistemler ile uyumlu alıcı antenlerinden oluşmaktadır (BeiDou Navigasyon Uydu Sistemi Açık Servis Performans Standartları, 2013; URL-18).



Şekil 3. 10. Compass-BeiDou sisteminin uzay bölümü ve uyduları (BeiDou Navigasyon Uydu Sistemi Açık Servis Performans Standartları, 2013)

Compass-BeiDou sistemi ile diğer küresel konum belirleme sistemlerinin parametrelerinin karşılaştırılması Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3. 7. Compass-BeiDou sistemi ile diğer küresel konum belirleme sistemlerinin karşılaştırılması
(Chen vd., 2011; China's Beidou NSS; URL-19; URL-20)

Parametre	GPS	GLONASS	Galileo	Compass/BeiDou
Ülke	ABD	Rusya	Avrupa (EC, ESA)	Çin
İlk fırlatma	22 Şubat 1978	12 Ekim 1982	28 Aralık 2005	30 Ekim 2000 (GEO) 14 Nisan 2007 (MEO)
FOC	17 Temmuz 1995	18 Ocak 1996 8 Aralık 2011	~ 2020	~ 2020
Sağlanan hizmetler	Askeri Sivil	Askeri Sivil	Ticari Açık	Yetkili Açık / Ticari
Temel uydu sayısı	24	24	30	35 (3 IGSO + 5 GEO + 27 MEO)
Mevcut uydu sayısı	31	23	24	42 (13 IGSO + 4 GEO + 25 MEO)
Yörünge düzlemleri	6	3	3	3
Eğim	55°	64.8°	56°	55°
Yarı büyük eksen	26.560 km	25.508 km	29.601 km	27.840 km
Yeryüzünden yükseklik	20.200 km	19.140 km	23.616 km	21.528 km
Yörünge dönemi	11 sa 58 dk	11 sa 15 dk 44 sn	14 sa 04 dk 45 sn	12 sa 50 dk
Koordinat sistemi	WGS-84	PZ-90	GTRF	CGCS2000
Zaman sistemi	GPST	UTC (SU)	GST	Çin UTC
Sinyal ayırma tekniği	CDMA	FDMA + CDMA	CDMA	CDMA
Sinyal frekansları (MHz)	L1: 1575.42	G1: 1602	E1: 1575.42	B1-2: 1589.74 (E1)
	L2: 1227.60	G2: 1246	E5a: 1176.45	B-1: 1561.10 (E2)
	L5: 1176.45	G3: 1202	E5b: 1207.14 E6: 1278.75	B2: 1207.14 B3: 1268.52

3.1.5. Diğer sistemler

Dünya üzerinde çeşitli konum belirleme sistemleri her geçen gün geliştirilmekte ve bu sistemler ile gerek askeri gerekse sivil hayatta ihtiyaç duyulan amaçlara göre kullanılmaya devam edilmektedir. Yukarıda açıklanan sistemlerin dışında küresel ölçekte çalışan bir sistem bulunmamakla birlikte bazı ülkeler tarafından bölgesel ölçekte çalışan sistemler tesis edilmiştir.

Japonya tarafından geliştirilen bölgesel olarak çalışan bir sistemde QZSS'dir. İlk uydu "Michibiki" 11 Eylül 2010'da fırlatılmıştır. Sistemin 4 uydudan oluşması planlanmış ve dördüncü uydu Michibiki-4 10 Ekim 2017 tarihinde fırlatılmıştır. QZSS, Doğu Asya ve Okyanusya bölgesini kapsayan alana hizmet vermektedir. 1 Kasım 2018 tarihinde resmi olarak tam kapasite hizmet vermeye başlamıştır. Sistemin diğer GNSS uydularından gelen verilerle birlikte çalışması tasarlanmıştır. Jeodezik referans sistemi JGS'dir ve ITRS sistemine uyumludur. Zaman sistemi ise QZSST'dir. QZSS sisteminin, Japon Hükümeti tarafından 2023 yılında 3 adet uydu fırlatmak suretiyle GPS'den

bağımsız bir sistem haline getirilmesi planlanmaktadır. Sistemin bileşenleri (uzay, kontrol ve kullanıcı bölümleri) GPS ve GLONASS sistemlerine benzer yapıdadır (Kahveci ve Yıldız, 2017; Kılıç, 2015; Mekik, 2010; URL-23; URL-24).

Hindistan tarafından bölgesel olarak çalışan Hindistan Bölgesel Konum Belirleme Sistemi (IRNSS) geliştirilmiştir. IRNSS, GPS sisteminin yerel bir Hindistan versiyonu olarak değerlendirilebilir. Sistem öncelikli hizmet alanı olan sınırından 1.500 km'ye kadar uzanan bölgede ve Hindistan'daki kullanıcılara doğru konum bilgisi hizmeti vermek üzere tasarlanmıştır. Sistem, 3'ü GEO uydusu ve 4'ü GSO (yer merkezli yörüngeli) uydusu olmak üzere toplam 7 uydusu ile hizmet vermek üzere tasarlanmıştır. Bu uyduların ilki 1 Temmuz 2013 tarihinde sonuncusu ise 12 Nisan 2018 tarihinde fırlatılmış olup, bu tarihten itibaren sistem hizmet vermektedir. IRNSS sistemi, IRNSS zaman sistemini ve WGS84 jeodezik koordinat sistemini kullanmaktadır. Hindistan Hükümeti tarafından ilerleyen tarihlerde 5 adet IGSO uydusu fırlatılması planlanmaktadır. Sistemin bileşenleri (uzay, kontrol ve kullanıcı bölümleri) GPS ve GLONASS sistemlerine benzer yapıdadır (Kahveci ve Yıldız, 2017; Teunissen ve Montenbruck, 2017; Gündüz, 2013; URL-25; URL-26).

Bunların yanı sıra Uydu Bazlı Alan Büyütme Sistemleri (SBAS) ile yeryüzünde geniş bir alana yayılmış çok sayıda referans istasyonu bir iletişim kanalıyla (internet, uydu vb.) kontrol merkezine bağlanarak izlenen uydulara ilişkin veriler ve işlemler sonucu yüksek doğrulukla konum belirlenmektedir. Bu sayede özellikle uçakların ve gemilerin güvenli bir biçimde güzergâh izlemeleri sağlanmaktadır. Kontrol merkezinde tüm referans istasyonlardan gelen bilgilerle uydulara ait düzeltme verileri ve iyonosferik gecikme miktarları hesaplanır. Bu bilgiler sonradan kullanıcıya bir SBAS uydusuyla gönderilir, kullanıcı bu değerleri kendi hassas konumunu hesaplamada kullanır. SBAS sistemleri, GNSS sistemlerinde olduğu gibi uzay, kontrol ve kullanıcı bölümlerinden oluşmaktadır. Günümüzde mevcut SBAS sistemleri WAAS (ABD), SDCM (Rusya), EGNOS (AB), MSAS/MTSAT (Japonya), GAGAN (Hindistan), SACCSA (Güney ve Orta Amerika ve Karayipler), BDSBAS/SNAS (Çin), KASS (Güney Kore), ASECNA (Afrika) ve SPAN (Avustralya ve Yeni Zelanda)'dır. Bunların yanı sıra ticari amaçlı işletilen OmniSTAR (Trimble), Globalstar ve Starfire gibi sistemler de bulunmaktadır (Teunissen ve Montenbruck, 2017; Kahveci, 2017; Mekik, 2010; URL-27).

WAAS sistemi uydu (4 adet GEO) bazlı bir DGPS sistemi olup ABD tarafından geliştirilmiştir. WAAS, GPS sinyallerini kontrol eden yaklaşık 38 yer istasyonu ve bu istasyonlardan gelen verileri toplayıp düzelten iki referans istasyonundan oluşur. SDCM

sistemi, Rusya tarafından hayata geçirilen diferansiyel düzeltme ve izleme sistemidir. Sistem, 3 GEO uydusuna ve 23 yer referans istasyonuna sahiptir. Kontrol ve izleme merkezi ise Moskova'dadır. EGNOS, AB'ye ait bir servis olup, uzay bölümünde 3 tane GSO uydusu (AORE-E: Doğu Atlantik üzerinde, IOR-W: Hint Okyanusu üzerinde ve Artemis: Afrika üzerinde) bulunmaktadır. Sistemin kontrol bölümü ise 4 ana kontrol istasyonu, bir merkezi hesaplama birimi, bir merkezi kontrol birimi ve 36 izleme istasyonundan oluşmaktadır. MSAS/MTSAT, Japon Ulaştırma Bakanlığı tarafından 2010 yılında kurulan diğer sistemlere benzer şekilde hava navigasyonunun doğruluğunu, güvenilirliğini ve sürekliliğini sağlayan bir sistemdir. Sistem 2 GSO uydusuna sahip olup, bunlar MTSAT-1R ve MTSAT-2 uydularıdır. GAGAN sistemi ise Hindistan hava sahasındaki uçuşlarda kesintisiz navigasyon hizmeti sağlamak amacıyla Hintliler tarafından geliştirilmiş bir sistem olup, Hint (Sanskrit) dilinde "Gökyüzü" anlamına gelmektedir. Sistemde 3 GEO uydusu, 8 yer referans istasyonu, bir ana kontrol merkezi ve uydulara navigasyon verisi yükleyen bir istasyon mevcuttur. SACCSA sistemi, Güney ve Orta Amerika ve Karayipler bölgesi için Arjantin, Bolivya, Kolombiya, Kosta Rika, Guatemala, Panama, İspanya, Venezuela tarafından geliştirilen ve kullanılan bir sistemdir. BDSBAS/SNAS sistemi Çin tarafından geliştirilmektedir. 3 GEO uydusuna ve 20 yer istasyonuna sahip olan sistemin 2020/2021 yılında kullanıma açılması planlanmaktadır. KASS sistemi, Güney Kore Havacılık ve Uzay Araştırma Enstitüsü tarafından geliştirilmektedir. Sistemin 6 uydu ve 5 veya daha fazla kontrol istasyonundan oluşması ve 2022 yılında kullanıma açılması planlanmaktadır. ASECNA sistemi, Afrika için ASECNA Birliğine üye 18 devlet (Benin, Burkina Faso, Kamerun, Orta Afrika Cumhuriyeti, Kongo, Fildişi Sahili, Fransa, Gabon, Gine Bissau, Ekvator Ginesi, Madagaskar, Mali, Moritanya, Nijer, Senegal, Çad, Togo ve Komorlar Birliği) tarafından geliştirilen 2021/2022 yıllarında kullanıma açılması planlanan bir SBAS sistemidir. SPAN sistemi de Avustralya ve Yeni Zelanda tarafından ortaklaşa geliştirilme aşamasında olan bir SBAS sistemidir (Li vd., 2020; Teunissen ve Montenbruck, 2017; Kahveci, 2017; Mekik, 2010; Pektaş, 2010; URL-27; URL-28; URL-29; URL-30).

3.1.6. CORS sistemleri

1990'lı yıllarda RTK tekniğinin ortaya çıkması ve bu uygulamalardan elde edilen deneyimler sonrasında gerçek zamanlı GNSS ağları ortaya çıkmıştır. Sabit ve

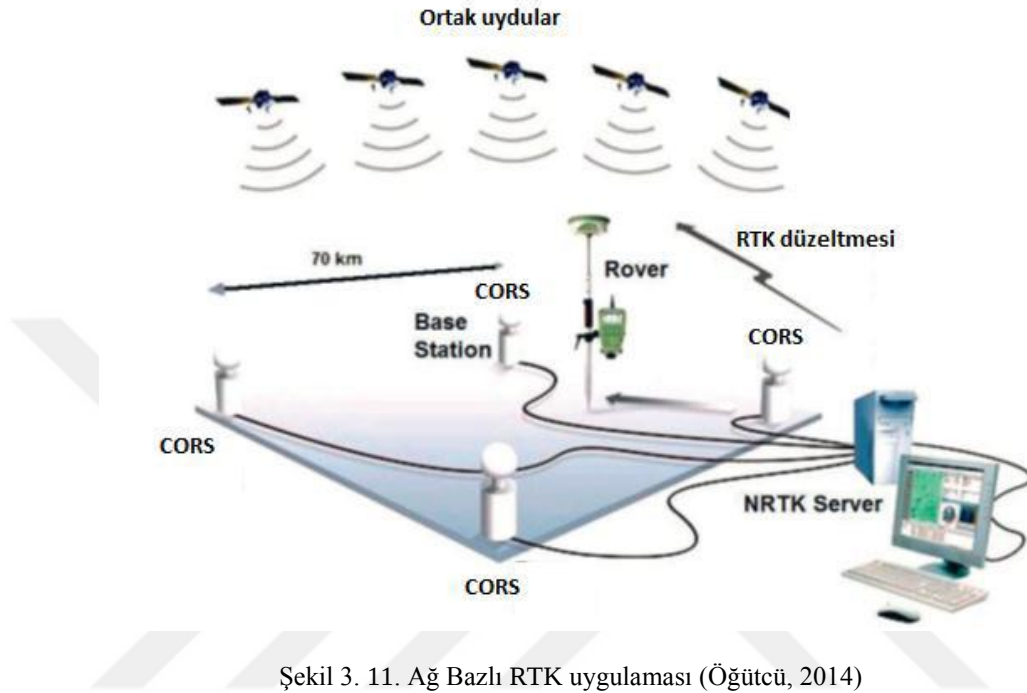
sürekli ölçü yaptığı için Sürekli Çalışan Referans İstasyonları ismi verilmiştir. CORS ağları, yüksek doğruluklu, çok amaçlı başta haritacılık olmak üzere askerî ve sivil birçok alanda (jeodezik, jeofizik ve mühendislik ölçmeleri, navigasyon uygulamaları, CBS uygulamaları, meteorolojik çalışmalar vb.), uluslararası sistemler ve standartlara (IERS, IGS, ITRF vb.) uyumlu bir ağ olarak hizmet vermektedirler. Günümüzde CORS uygulamaları cm doğruluğunda anlık GNSS ölçümleri için, zaman, maliyet ve süreklilik faktörleri açısından kullanıcıların Ağ Bazlı RTK ölçü yöntemini genellikle diğer yöntemlere göre tercih ettiklerinden dolayı, temel bir ihtiyaç haline gelmiştir (Öğütçü, 2014; Gündüz, 2013).

Ağ Bazlı RTK ağlarının günümüzde en fazla uygulanan şekli sabit GNSS (CORS) ağlarıdır. En kapsamlı tanımıyla CORS ağları; ara mesafeleri yaklaşık 70 ila 100 km'li 7 gün 24 saat uydu gözlemlerini toplayan ve ülke çapında tesis edilmiş sabit istasyonlardan oluşan, cm doğruluğunda konum belirlenmesine olanak tanıyan, aynı zamanda ölçme sonrası büro hesaplamalarına imkân veren ve arşiv sistemine sahip ağlardır. CORS ağları; her kullanıcı için bir referans istasyonu kurmaya gerek olmadığından maliyet ve iş gücü azaltımı sağlaması, hesaplanan gezici konumlarının doğruluğunun homojen, tutarlı ve referans istasyonları ile gezici arasındaki daha büyük mesafelerde korunması, birden çok kullanıcıyı aynı anda desteklemesi ve bir referans istasyonunda arıza olması halinde, referans istasyonlarının geri kalanından düzeltme verileri elde edilebilmesi gibi nedenlerden dolayı Ülkemizde ve Dünyada birçok ülkede tesis edilmiştir (Jin, 2012; Kahveci, 2009).

CORS ağlarının kurulmasındaki temel amaç uzaklığa bağlı olarak farklılık gösteren hataların (iyonosfer, troposfer, yörünge vb.) giderilmesi ve böylece doğruluğu yüksek koordinatların gerçek zamanlı olarak elde edilmesidir. Gerçek zamanlı ve kontrollü hesaplamaların yapılabilmesi için ağdaki tüm istasyonlar birbirleriyle güvenilir bir iletişim vasıtasıyla bağlanmaktadır. Bir referans istasyonu en az bir alıcı, bir anten, iletişim vasıtası ve güç kaynağından oluşmaktadır. Sistemin son ucunda ise ağa herhangi bir iletişim vasıtasıyla (örneğin cep telefonu, internet vb.) bu istasyonlara bağlanabilen kullanıcılar bulunmaktadır (Kahveci, 2017; Öğütçü, 2014).

Ağ Bazlı RTK uygulaması; uydulara sürekli gözlem yapan referans istasyonları, elde edilen gözlem verilerinin merkezi sunucuya aktarılması, merkezi sunucuda bu gözlem verilerinin işlenmesi ve referans istasyonlarının oluşturduğu Ağ Bazlı düzeltmelerin modellenerek geziciye aktarılması şeklinde çalışmaktadır. Dolayısıyla tek bir referans istasyonu kullanmak yerine birden çok referans istasyonu kullanılarak

troposferik ve iyonosferik modellemeler daha sağlıklı bir şekilde yapılabilir. Şekil 3.11’de 4 adet referans istasyonundan oluşan bir ağda, referans istasyonları tarafından merkezi sunucuya veri aktarmakta ve merkezi sunucuda işlenen veriler düzeltme olarak geziciye gönderilmektedir (Öğütçü, 2014; Jin, 2012).



3.1.7. CORS-TR/TUSAGA-Aktif sistemi

Sürekli Gözlem Yapan GNSS İstasyonları Ağı ve Ulusal Datum Dönüşümü Projesi (CORS-TR/TUSAGA-Aktif sistemi) TÜBİTAK’ın 1007 proje kod numarası ile İstanbul Kültür Üniversitesi yürütücülüğünde, Harita Genel Müdürlüğü (Harita Genel Komutanlığı) ve Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü müşterek müşteri olmak üzere, 8 Mayıs 2006 tarihinde başlamış ve Aralık 2008 itibariyle tamamlanmasıyla faaliyete geçmiştir. CORS-TR sisteminin işletilmesi ve düzeltme parametrelerinin hesaplanması kontrol ve analiz merkezlerinde yapılmaktadır. Tüm istasyonlardan toplanan veriler ADSL ve GPRS/EDGE yolu ile veri merkezlerine aktarılmakta ve burada düzeltme parametreleri hesaplanarak tüm kullanıcılara sunulmaktadır. RTK düzeltme verileri RTCM iletişim formatında olup GSM, GPRS, NTRIP vasıtalarından biri veya birkaçı yardımıyla gezici alıcılara gönderilmektedir (Cankurt vd., 2019; Yıldırım vd., 2011; Cingöz vd., 2009; CORS-TR Uygulama Raporu, 2006; URL-31).

CORS-TR istasyonlarının yerlerinin seçiminde zemin yapısı, elektrik, telefon, internet ve güvenlik hususları dikkate alınmış ve tüm Türkiye’de ve KKTC’de gerçekleştirilen arazi keşifleri neticesinde, Türkiye’de 142 ve KKTC’de 4 istasyon olmak üzere toplam 146 istasyon noktası meteoroloji istasyonları, üniversiteler, belediyeler ile kamu kurum ve kuruluşlarına ait bina ve araziler seçilerek tesis edilmiştir. Proje 2018 yılında gözden geçirilerek yıl sonunda bazı bölgelerde (özellikle sınır bölgeleri) nokta sıklaştırması yapılmış, 13 istasyon daha tesis edilmiş ve Türkiye’de 155 ve KKTC’de 4 istasyon olmak üzere toplam istasyon sayısı 159’u bulmuştur (Şekil 3.12 ve 3.13). Proje kapsamında Trimble Firması (proje yüklenicisi) tarafından kurulan istasyonlarda birer adet GNSS (GPS/GLONASS) alıcısı (Trimble Net R9) ve alıcıya bağlı bir jeodezik GNSS anteni bulunmaktadır. Sistemde, sabit GNSS istasyonları ile kontrol merkezleri arasındaki iletişim ADSL üzerinden sağlanmaktadır. Kontrol merkezlerinde bulunan sunucular (server) tüm istasyonlardan gelen anlık verilerden yararlanarak atmosferik modelleme yapmakta ve DGPS/RTK düzeltme verileri hesaplamaktadır. Söz konusu düzeltme verileri ise arazide bulunan gezici alıcılara GPRS üzerinden aktarılmaktadır. Bu şekilde tek frekanslı bir GNSS alıcısı DGPS verisini kullanarak metre altı doğrulukta, çift frekanslı bir GNSS alıcısı ise RTK verisini kullanarak 1-10 cm doğrulukta konum belirlemektedir. Veri aktarım formatı olarak NTRIP kullanılmaktadır (Yılmaz, 2020; Cankurt vd., 2019; Yıldırım vd., 2011; Cingöz vd., 2009; CORS-TR Uygulama Raporu, 2006; URL-31).



Şekil 3. 12. CORS-TR istasyonları (159 istasyon, yaklaşık 80 – 100 km mesafelerde) (URL-32)



Şekil 3. 13. Iğdır CORS-TR istasyonu (Yıldırım vd., 2011)

Projesi kapsamında TKGM’de ve HGM’de olmak üzere 2 adet kontrol merkezi kurulmuştur. Tüm CORS-TR istasyon verileri, otomatik olarak bu merkeze iletilmekte ve burada yapılan ağ hesapları ve düzeltmeler buradan kullanıcılara ulaştırılmaktadır. Kontrol merkezi yazılımı Trimble VRS SW tarafından sağlanmıştır. Bu yazılım, iyonosfer, troposfer, yansıma (multipath) ve yörünge düzeltmelerini hesaplayabilmekte, RTK konum belirleme amaçlı olarak VRS (RTCM3.1 ve CMR+), FKP (RTCM2.3) ve MAC (RTCM3.1NET) teknikleriyle düzeltme ve/veya koordinatları yayınlamaktadır. Aynı zamanda sistemin internet adresi üzerinden statik oturum yapılan günlere ait verilerin (RINEX) kullanılmasına olanak sağlanmaktadır. TKGM tarafından kontrol merkezi yazılımı (Trimble VRS SW) güncelleme çalışmaları çerçevesinde merkezi yazılım güncellenerek 24 Aralık 2014 tarihinden itibaren Trimble Pivot Platform versiyonuna geçilmiştir (Cankurt vd., 2019; Kahveci, 2017; Yıldırım vd., 2011).

CORS-TR sistemi; HGM tarafından farklı koordinat sistemleri (ED-50/WGS-84) arasındaki dönüşüm parametrelerinin belirlenmesinde, jeodezik uygulamaların gerçekleştirilmesinde, tüm GNSS çalışmalarında referans koordinat sistemi belirsizliğini giderecek sabit nokta hizmeti alanlarında, TKGM tarafından kadastral amaçlı ölçümlerde, belediyeler tarafından hâlihazır haritalar, altyapı ve diğer coğrafi

çalışmalar, e-belediye uygulamalarında, üniversiteler tarafından yer bilimleri ve CBS araştırmaları, deprem mühendisliği, jeofizik ve sismoloji alanları, depremlerin önceden bilinmesi ve erken uyarı çalışmaları, meteorolojik çalışmalar, uzay ve yer bilimlerindeki diğer çalışmalarda kullanılmaktadır. Ayrıca birçok bakanlık, kamu kurum ve kuruluşları ile harita firmaları tarafından haritacılık, vb. alanlarda kullanılmaktadır. 10 Ekim 2019 tarihi itibarıyla sisteme kayıtlı toplam kullanıcı sayısı, tüm kamu kurumları ve özel sektör dâhil 12.228 adettir. (Cankurt vd., 2019; Yıldırım vd., 2011).

3.1.8. Dünya’da CORS sistemleri

ABD’de Ağ RTK düşüncesi 1990’lı yılların başında ortaya atılmış ve NGS (Ulusal Jeodezik Araştırmalar Kurumu) tarafından yaklaşık 10 noktalı CIGNET ağı ile başlamıştır. Farklı amaçlar için tesis edilmiş referans istasyon sayısı Eylül 2018 tarihi itibarıyla yaklaşık 1768 civarındadır ve ağa her yıl ortalama 200 adet referans istasyonu eklenmektedir. ABD’de hemen hemen her eyaletin kendine ait CORS sistemi vardır. Bunlarla birlikte birçok özel/ticari kuruluş da CORS sistemi kurarak ağ hizmeti vermektedir. Ayrıca ABD’deki CORS ağlarının yaklaşık % 98’i özel amaçlı kurulmuş (NGS dışındaki kurum/kuruluşlar, eyaletler, ticari işletmeler vb.) ağlardan oluşmaktadır. Bu ağların sadece %2’si NGS desteğiyle kurulmuştur (Choi, 2018; Kahveci, 2017; Kahveci, 2009; URL-33).

Almanya’da SAPOS ağı, 16 federal eyaletinin ölçme, jeodezi, kadastro ve bilgi teknolojilerinden sorumlu ulusal ve yerel resmi kurum temsilcilerinden oluşan bir komisyon kararıyla, klasik ölçme yöntemleri yerine gerçek zamanlı ve yüksek doğruluk sağlayan uydular ve sabit referans istasyonları ile konum belirleme yöntemlerinin kullanılması için RTK tekniklerinin ülke çapında etkin olarak kullanılması amacıyla kurulmuştur. SAPOS ağı tüm ülkeye yayılmış sürekli çalışan 40 ila 70 km arasında değişen mesafelerde, yaklaşık 250 istasyon noktasından oluşmaktadır (Kahveci, 2017; Gündüz, 2013; URL-34).

Japonya’da GSI (Ulusal Haritacılık Kurumu) tarafından 1993 yılında 110 istasyon ile başlayan çalışmalar ve sonraki yıllarda tesis edilen referans istasyonları sonucu 25 – 30 km mesafeli yaklaşık 1300 noktalı GEONET isimli bir CORS ağı kurulmuştur. Ağın kuruluş amaçları; depremlerin önceden belirlenmesi çalışmaları, jeodezik çalışmalar, kadastro çalışmaları, meteorolojik çalışmalar ve ticari kullanımlar

(araç takip, navigasyon, turizm vb.) olarak sıralanabilir (Kahveci, 2017; Gündüz, 2013; Kahveci, 2009; URL-35).

Bunların dışında Fransa'da Martec firması tarafından 100 istasyonlu olarak kurulmuş French CORS, Hollanda'da genelde Topcon alıcıları ve antenler kullanılan ve sabit istasyonlar arası mesafe 20 ila 60 km arasında değişen NETPOS, İsviçre'de Trimble alıcılar kullanılan, sabit istasyonlar arası mesafe yaklaşık 50 km ve 40 istasyonlu SWISSTOPO, Çin'in Tianjin şehrinde Tianjin VRS Network ve Chengdu şehrinde VRS Network, Portekiz'de 1st RTK Network, İtalya'da The VRS GPS Net Demo Network, Sırbistan'da Nation Wide Trimble VRS System, İngiltere'de Ordnance Survey CORS Network, İsveç'de SWEPOS Services, Finlandiya'da VRS RTK Network Service ve Suudi Arabistan'da KSA CORS gibi sistemler kullanılmaktadır (Tiryakioğlu, 2010; CORS-TR Uygulama Raporu, 2006).

3.1.9. Ağ Bazlı RTK teknikleri

Ağ içerisinde CORS istasyonlarından hesaplanan düzeltme verilerinin gezici GNSS alıcısının konumuna göre hesaplanması için çeşitli enterpolasyon teknikleri kullanılmaktadır. Bu tekniklerden bazıları lineer enterpolasyon, kovaryans fonksiyonları, en küçük karelerle kolokasyon, en küçük karelerle enterpolasyon ve mesafe ağırlıklı enterpolasyondur. Bu tekniklerin amacı gezici GNSS alıcısı ağda hangi konumda bulunursa bulunsun doğruluğunun bu konumdan etkilenmemesini sağlamaktadır. Ağ Bazlı RTK teknikleri olarak 3 adet ana yöntem belirlenmiştir. Bunlar VRS (Sanal Referans İstasyonu Tekniği), FKP (Alan Düzeltme Parametreleri Tekniği) ve MAC (Ana Yardımcı Referans İstasyon Tekniği) olarak adlandırılmıştır (Yılmaz, 2020; İnal vd., 2018; Ögütçü, 2017; Jin, 2015; Lin, 2006; Wübbena vd., 2001; Euler vd., 2001; Vollath vd., 2000).

Ağ Bazlı RTK düzeltmelerinin genel matematiksel eşitlikleri

Ağ Bazlı RTK diferansiyel düzeltmelerinin; (A) referans istasyonu ve (j) uydusu için (t) zamanındaki kod (PRC) ve faz gözlemlerinin (CPC) genel matematiksel eşitlikleri sırasıyla şu şekilde yazılabilir (Jin, 2015; Jin, 2012);

$$PRC^j(t) = \rho_A^j(t) - R_A^j(t) - c\delta^j(t) - c\delta_A(t) - I_A^j(t) + T_A^j(t) + E_A^j(t) \quad (3.3)$$

$$CPC^j(t) = \rho_A^j(t) - \lambda\varphi_A^j(t) - \lambda N_A^j - c\delta^j(t) - c\delta_A(t) + I_A^j(t) + T_A^j(t) + E_A^j(t) \quad (3.4)$$

$$\rho_A^j(t) = \sqrt{(X_A - X^j)^2 + (Y_A - Y^j)^2 + (Z_A - Z^j)^2} \quad (3.5)$$

Yukarıdaki eşitliklerde;

$\rho_A^j(t)$: (A) referans istasyonu ile (j) uydusu arasındaki (t) zamanında bilinen koordinatları ile hesaplanan geometrik mesafeyi,

λ : sinyalin dalga boyunu,

c : ışığın boşluktaki hızını,

$\varphi_A^j(t)$: taşıyıcı faz gözlemlerini,

N_A^j : faz başlangıç belirsizliğini,

$\delta^j(t)$: uydu saat hatasını,

$\delta_A(t)$: alıcı saat hatasını,

$I_A^j(t)$: iyonosferik hatayı,

$T_A^j(t)$: troposferik hatayı ve

$E_A^j(t)$: yörünge hatasını, ifade etmektedir.

Ağdaki, farklı düzeltmeleri aynı belirsizlik ve zaman seviyesine getirmek için, merkezi işlemci birimindeki yazılımın her şeyden önce her istasyondaki belirsizlikleri ve hataları hesaplaması gerekir. Merkezi işlemci birimindeki yazılımın temel işlevi, gezici GNSS alıcısının konumunu hesaplamak için bir hesaplama modeli oluşturmak üzere troposferik ve iyonosferik gecikmeleri tahmin etmede hataların ayrımını yapmaktır. Saat hatasının ve faz belirsizliğinin bilinen değerleri verildiğinde, önceki denklemler yardımıyla kod ve taşıyıcı faz için düzeltmeler (tekli farklar), sırasıyla (B) gezici GNSS alıcısı için aşağıdaki gibi türetilir (Jin,2015; Jin, 2012);

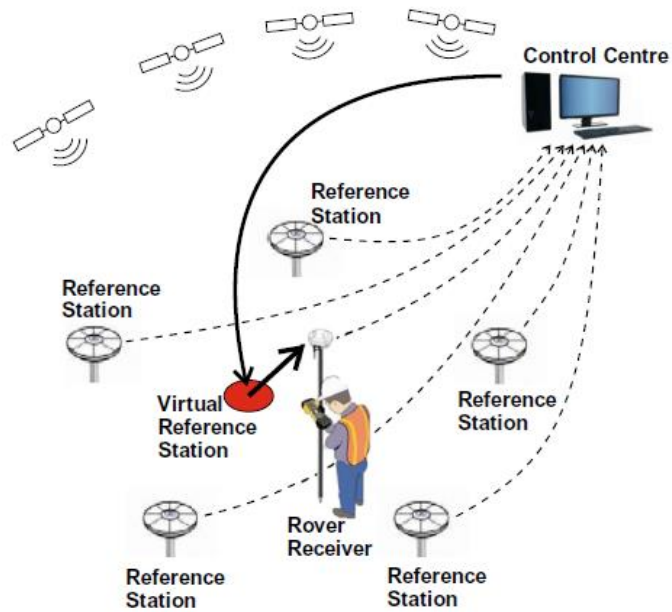
$$R_B^j(t)_{düz.} = R_B^j(t) + PRC(t) = \rho_B^j(t) - c\delta_{AB}(t) - \Delta I_{AB}^j(t) + \Delta T_{AB}^j(t) + \Delta E_{AB}^j(t) \quad (3.6)$$

$$\lambda\varphi_B^j(t)_{düz.} = \rho_B^j(t) + CPC(t) = \rho_B^j(t) - c\delta_{AB}(t) - \lambda N_{AB}^j + \Delta I_{AB}^j(t) + \Delta T_{AB}^j(t) + \Delta E_{AB}^j(t) \quad (3.7)$$

Ağda bulunan referans istasyonları arasındaki bazlarda ikili farklar sonucu belirlenen faz başlangıç belirsizliği çözümü için ise geniş aralık, dar aralık faz başlangıç belirsizliği kombinasyonu uygulanabilir (Öğütücü, 2017; Teunissen ve Montenbruck, 2017).

3.1.9.1. VRS tekniği

Trimble firması tarafından ticari amaçlar için geliştirilen ve ilk olarak Vollath vd. (2000) tarafından önerilen, ilk Ağ Bazlı RTK tekniklerindendir. VRS tekniği, gezici GNSS alıcı cihazlarındaki mevcut yazılımlarla uyumlu olması ve yazılımlarda değişiklik gerektirmemesi nedeniyle kullanılan en yaygın yöntemdir ve buda yöntemin en büyük avantajıdır. Bununla birlikte, yöntemin temel bir dezavantajı, VRS gözlemlerinin her bir kullanıcı için özelleştirilmesi nedeniyle, merkezi işlemci biriminin kapasitesine göre kullanıcı sayısı üzerinde bir kısıtlamanın varlığıdır. VRS tekniğinin temel prensibi, gerçek fiziksel bir referans istasyonu yerine sanal gözlem verileri kullanan sanal bir referans istasyonu kullanmasıdır (Şekil 3.14). VRS tekniğinde, klasik RTK yöntemi (tek referans istasyonlu) kullanılarak sağlanan doğruluğun, tesis edilmeyen ve gözle görülmeyen bir sanal nokta oluşturularak sağlanmaktadır. Gezici GNSS alıcısı için geçerli düzeltme verileri, çalışma sahasındaki birden çok referans istasyonu verisinden enterpolasyon ile hesaplanmaktadır. Böylece gezici GNSS alıcısının ölçümlerindeki bazı sistematik hatalar (iyonosferik, troposferik, yörünge vb.) en aza indirilmiş olmaktadır. VRS tekniğinin uygulanabilmesi için gezici GNSS alıcısı CORS ağı içerisinde en az 3 adet referans istasyonundan (CORS-TR sistemi için en az 5 adet gerekli) veri alması gerekir ve gezici GNSS alıcısı iki yönlü iletişimi desteklemek zorundadır (Yılmaz, 2020; Öğütcü, 2017; Kahveci, 2017; Jin, 2012; Janssen, 2009; Hu vd., 2003; Landau vd., 2002; Vollath vd., 2000).

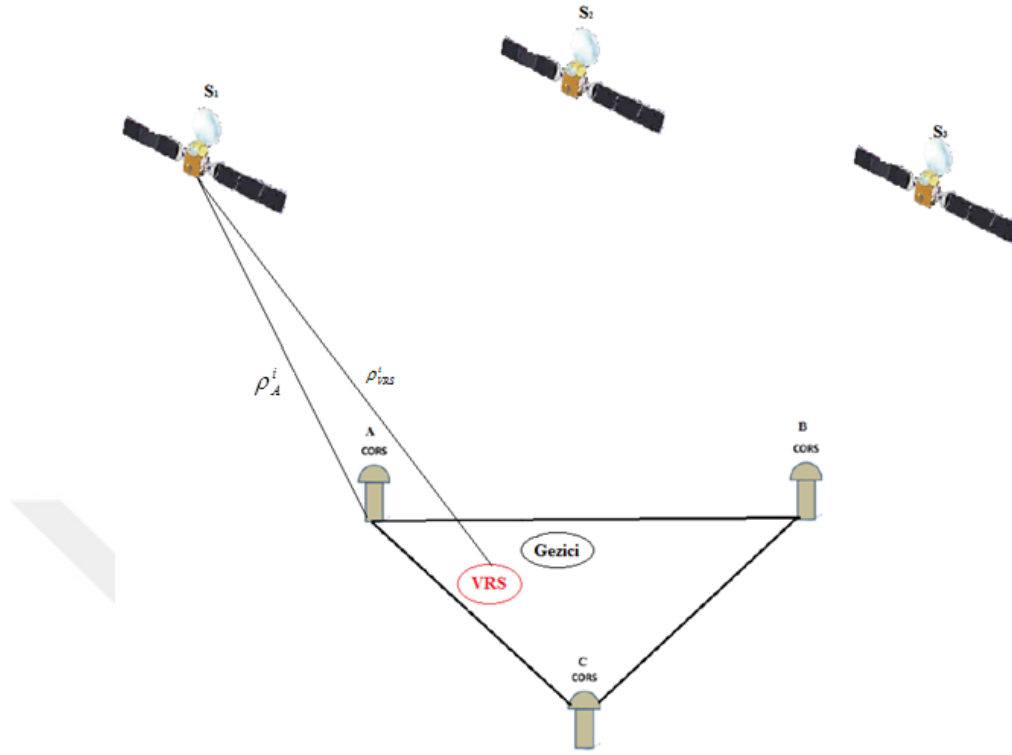


Şekil 3. 14. VRS tekniği (İnal vd., 2018)

VRS tekniğinin çalışma yöntemi kısaca şu şekildedir. Referans istasyonlarındaki gözlem verileri, merkezi işlemci birimine gönderilir. Gezici GNSS alıcısı kendi konumunu belirlemek için kullandığı navigasyon koordinatlarını (kod ölçümü sonucu, metre doğruluğunda) merkezi işlemci birimine NMEA formatında GSM veya GPRS aracılığı ile gönderir. Merkezi işlemci birimi bu navigasyon koordinatları ile gezici GNSS alıcısının en yakın hangi referans istasyonları (3 adet) arasında kaldığını belirler ve sanal bir referans istasyonu oluşturur. Gezici GNSS alıcısının en yakınında bulunan referans istasyonu ana referans istasyonu olarak belirlenir. Referans istasyonları arasındaki bazlarda taşıyıcı dalga faz başlangıç belirsizleri çözülerek troposfer, iyonosfer ve yörünge hataları cm doğruluğunda belirlenir. Ana referans istasyonundaki pseudorange ve taşıyıcı dalga fazı gözlem verileri geometrik olarak sanal referans istasyon noktasına ötelenir ve ağıdaki düzeltmeler (iyonosferik, troposferik ve yörünge) bu sanal istasyon noktasına göre enterpole edilerek ölçümlere ilave edilir. Oluşturulan sanal referans noktasındaki veriler kullanıcıya RTCM protokolü aracılığıyla merkezi işlemci birimi tarafından gönderilir. Gezici GNSS alıcısı gelen düzeltme verilerini fiziksel bir referans istasyon noktasından geliyormuş gibi klasik RTK çözümlemesinde kullandığı algoritmaları kullanarak bulunduğu noktanın konumunu hesaplar (Öğütçü, 2017; Jin, 2015; Öğütçü, 2014).

VRS tekniği için CORS-TR sisteminin Trimble Pivot Platform yazılımında enterpolasyon, ağırlıklandırılmış doğrusal yaklaşımla en küçük karelerle kolokasyon tekniği ile yapılmaktadır. Ayrıca GNSS düzeltme verileri fiziksel bir referans istasyonu yerine sanal bir referans istasyonuna göre modellendiği için bu verinin takip edilip analizi veya tekrarlanması da mümkün değildir. VRS tekniğinin performansını etkileyen önemli kriterlerden biri de ana referans istasyonu ve gezici GNSS alıcısı arasındaki baz uzunluğudur. Aynı zamanda ana referans istasyonu ile gezici GNSS alıcısı arasındaki baz uzunluğunu düşürerek korelasyonlu hataları gidermesi VRS tekniğinin temel amaçlarından biridir. VRS istasyonu ile gezici GNSS alıcısı arasındaki baza ait iyonosferik etki ile ana referans istasyonu ve gezici GNSS alıcısı arasındaki baza ait iyonosferik etki birbirinden farklı olduğu durumda VRS istasyonundaki iyonosferik etki tam olarak giderilemez. Bunun nedeni gezici GNSS alıcısı ile VRS istasyonu arasındaki baz mesafesinin VRS istasyonu ile referans istasyonu arasındaki baz mesafesine göre çok kısa olmasıdır (Öğütçü, 2017; Öğütçü, 2014; Euler vd., 2001).

VRS tekniğinin matematiksel modeli



Şekil 3. 15. VRS tekniğinde geometrik yer değiştirme (Öğütçü, 2017; Wei vd., 2006)

Şekil 3.15’de gezici GNSS alıcısına en yakın CORS istasyonunun A istasyonu olduğu varsayılmaktadır. A istasyonunun koordinatları kesin olarak bilinir, uyduların koordinatları ise efemeris (ultra, rapid, predicted veya efemeris ürünleri) bilgilerinden elde edilir. Böylece her bir uydu ile gezici GNSS alıcısı arasındaki geometrik mesafe de kesin olarak belirlenebilir. A istasyon noktasının her bir gözlenebilen uyduya olan mesafesi ρ_A^i ; uyduların $(\bar{x}_S)$ ve A istasyon noktasının $(\bar{x}_A)$ yer merkezli vektör bileşenleri kullanılarak aşağıdaki şekilde yazılabilir (Öğütçü, 2017; Jin, 2012; Wei vd., 2006);

$$\rho_A^i = \bar{x}_S - \bar{x}_A \quad (3.8)$$

Gezici GNSS alıcısının navigasyon (kod ölçümü) koordinatlarıyla üretilen VRS istasyonunun her bir gözlenebilen uyduya olan mesafesi VRS istasyonunun ve uyduların yer merkezli vektör bileşenleri kullanılarak şu şekilde yazılabilir;

$$\rho_{VRS}^i = \bar{x}_S - \bar{x}_{VRS} \quad (3.9)$$

Her bir uydu ile ana referans istasyonu ve uydu ile VRS istasyonu mesafeleri için geometrik yer değiştirme ise şu şekilde yazılabilir;

$$\Delta\rho_{A,VRS}^i = \rho_A^i - \rho_{VRS}^i \quad (3.10)$$

Böylece en yakın referans istasyonundaki geometrik mesafe ile VRS istasyonundaki geometrik mesafe arasındaki fark yardımıyla ötelenen pseudorange hesaplanmış olur. Bu sanal pseudorange yardımıyla uydu konumları VRS istasyonu için Kepler elemanları yardımıyla iterasyonlu bir algoritma kullanılarak bulunabilir. Güncellenen uydu pozisyon bilgileri ve gözlem verileri yardımıyla düzeltilmiş geometrik farklar VRS istasyonu için tekrar hesaplanır (Öğütçü, 2017).

Uydular arası tekli farklar (m, n uyduları için) ana referans istasyonu ve VRS istasyonu için aşağıdaki şekilde oluşturulur;

$$\Delta\phi_A^{m,n} = \frac{1}{\lambda} * (\rho_A^{m,n} - \Delta I_A^{m,n} + \Delta T_A^{m,n}) - \Delta N_A^{m,n} \quad (3.11)$$

$$\Delta\phi_{VRS}^{m,n} = \frac{1}{\lambda} * (\rho_{VRS}^{m,n} - \Delta I_{VRS}^{m,n} + \Delta T_{VRS}^{m,n}) - \Delta N_{VRS}^{m,n} \quad (3.12)$$

Uydular arası ikili farklar ise (m, n uyduları için) ana referans istasyonu ve VRS istasyonu için aşağıdaki şekilde oluşturulur;

$$\nabla\Delta\phi_{A,VRS}^{m,n} = (\Delta\phi_{VRS}^{m,n} - \Delta\phi_A^{m,n}) \quad (3.13)$$

$$\nabla\Delta\phi_{A,VRS}^{m,n} = \frac{1}{\lambda} * (\nabla\Delta\rho_{A,VRS}^{m,n} - \nabla\Delta I_{A,VRS}^{m,n} + \nabla\Delta T_{A,VRS}^{m,n}) - \nabla\Delta N_{A,VRS}^{m,n} \quad (3.14)$$

Eşitlik 3.14'de $\nabla\Delta\rho_{A,VRS}^{m,n}$ ikili farklar sonucu ana referans istasyonu ve VRS istasyonu arasındaki geometrik ilişki yani geometrik yer değiştirmedir ve şu şekilde belirlenebilir;

$$\nabla\Delta\rho_{A,VRS}^{m,n} = (\rho_{VRS}^n - \rho_A^n) - (\rho_{VRS}^m - \rho_A^m) \quad (3.15)$$

Yukarıdaki eşitliklerde;

Δ : tekli farkları,

$\nabla\Delta$: ikili farkları,

$\Delta\phi_A^{m,n}$: ana referans istasyonunda oluşturulan faz ölçümlerinin tekli farklarını,

$\Delta\phi_{VRS}^{m,n}$: VRS istasyonunda oluşturulan faz ölçümlerinin tekli farklarını,

$\nabla\Delta\phi_{A,VRS}^{m,n}$: ana referans istasyonu ve VRS istasyonu arasındaki faz ölçümleri ikili farkları,

$\nabla\Delta\rho_{A,VRS}^{m,n}$: ikili farklar sonucu ana referans istasyonu ve VRS istasyonu arasındaki uydu ve istasyonlar arasındaki geometrik mesafeyi,

$\nabla\Delta I_{A,VRS}^{m,n}$: ikili farklar sonucu iyonosferik gecikmeyi,

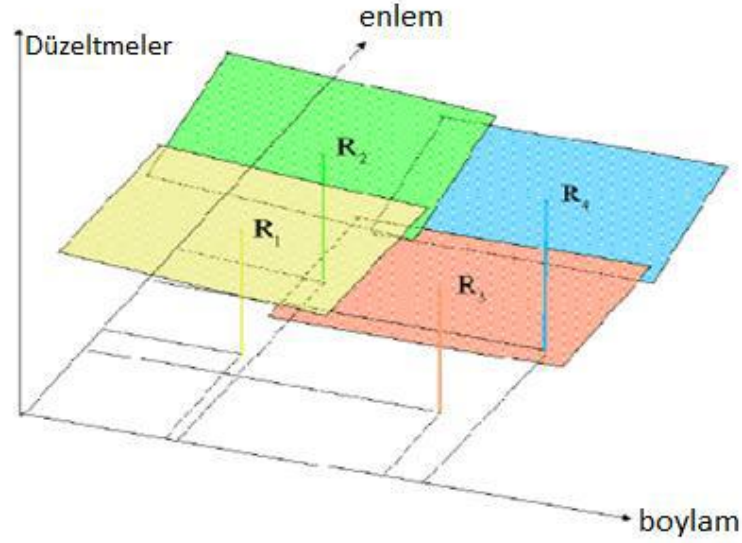
$\nabla\Delta T_{A,VRS}^{m,n}$: ikili farklar sonucu troposferik gecikmeyi ve

$\nabla\Delta N_{A,VRS}^{m,n}$: ikili farklar sonucu faz başlangıç belirsizliğini, ifade etmektedir (Öğütçü, 2017; Wei vd., 2006; Vollath vd., 2000).

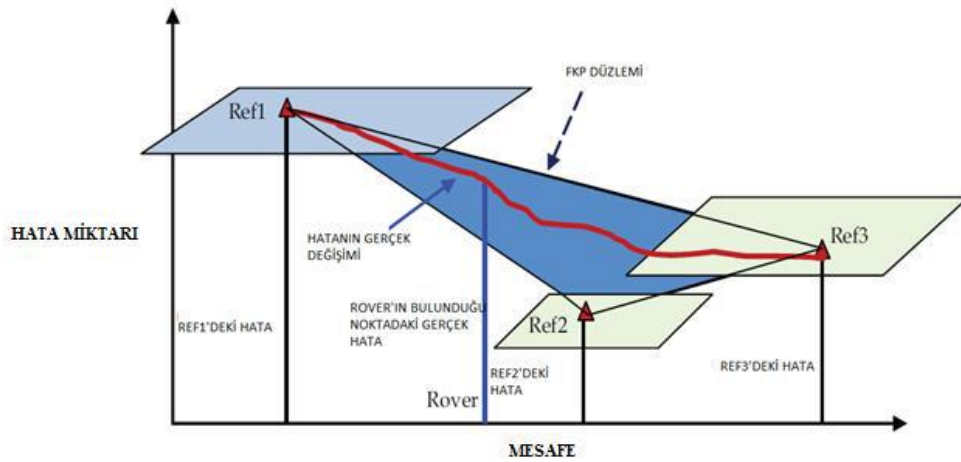
Eşitlik 3.13’de tekli farklar faz gözlemleri ($\Delta\phi_{VRS}^{m,n}$) bilinmeyenidir. Fakat ikili farklar sonucu faz başlangıç belirsizliği ($\nabla\Delta N_{A,VRS}^{m,n}$) çözüldüğünde, tekli farklar faz gözlemleri ($\Delta\phi_{VRS}^{m,n}$) de hesaplanabilir. İkili farklar sonucu iyonosferik gecikme ($\nabla\Delta I_{A,VRS}^{m,n}$) ve ikili farklar sonucu troposferik gecikme ($\nabla\Delta T_{A,VRS}^{m,n}$) enterpolasyon algoritmaları yardımıyla gezici GNSS alıcısı için hesaplanır (Yılmaz, 2020; Öğütçü, 2017; Wei vd., 2006; Hu vd., 2003).

3.1.9.2. FKP tekniği

SAPOS grubu (Almanya) tarafından 1990’lı yılların ortalarında geliştirilen ilk Ağ Bazlı RTK yöntemlerinden biri olan FKP (Flächen Korrektur Parameter, Alan Düzeltme Parametreleri) tekniğinin temel prensibi, referans istasyonlarından hesaplanan alan düzeltme parametre bilgilerinin gezici GNSS alıcılarına aktarılmasıdır. FKP, düzlem düzeltme parametreleri ismi de buradan gelmektedir. Ağdaki (referans istasyonunda) bilgiler troposferik, iyonosferik ve yörünge hatalarını modelleyebilmek amacıyla lineer parametrelerle hesaplanarak bir polinomal yüzey aracılığıyla kullanıcı için enterpole edilir. Bu tekniğin temelinde doğrusal enterpolasyon vardır. Referans istasyonları ile gezici GNSS alıcısı arasındaki mesafe enterpolasyon işleminde ağırlıklandırma için kullanılır. Modellenen alana göre gezici GNSS alıcısı için, kuzey-güney ve doğu-batı şeklinde düzlemsel düzeltme parametreleri oluşturulur (Şekil 3.16). Frekansa bağımlı ve frekanstan bağımsız oluşturulan düzeltme parametreleri her bir referans istasyonu için kuzey-güney ve doğu-batı doğrultularındaki hataların doğrusal korelasyonunu ifade eder (Yüksel, 2015; Öğütçü, 2014; Wübbena ve Bagge, 2006; Higuchi vd., 2004).



Şekil 3. 16. 4 adet referans istasyonunun oluşturduğu FKP düzlemleri (Öğütücü, 2014; Wübbena vd., 2001)



Şekil 3. 17. FKP düzlemi (Öğütücü, 2017)

Şekil 3.17’de hataların değişimini gösteren üç adet referans istasyonundan oluşan FKP düzlemi görülmektedir. FKP düzleminin oluşturulabilmesi için gezici GNSS alıcısının en az 3 adet referans istasyonunun içinde kalması gerekmektedir. Bu teknikte referans istasyonlarının merkezinde her uyduya ait frekansa bağımlı ve frekanstan bağımsız hatalar için iki adet uzay gözlem düzlemi oluşturulur. Bunlar, her bir referans istasyonunda mesafeye bağlı hatalar için geometrik (troposferik ve yörünge) ve iyonosferik hatalar için olmak üzere iki farklı düzlemdir. Düzeltme verileri ise genellikle gezici GNSS alıcısına en yakın referans istasyonundan yayımlanır (Öğütücü, 2017; Öğütücü, 2014).

FKP tekniğinde, merkezi işlemci birimi ve gezici GNSS alıcısı hesaplama işlemlerinde görev almaktadır. Merkezi işlemci biriminde, referans istasyonlarının bulunduğu noktalarda ağ bazlı yüzey katsayıları hesaplanmaktadır. Gezici GNSS alıcısındaki yazılım ise hesaplanan katsayıları ve ana referans istasyonundaki ham verileri kullanarak hataları kendi konumuna göre enterpole eder. Gezici GNSS alıcısına yayımlanan düzeltme katsayıları, anlık olarak merkezi işlemci birimi tarafından troposferik, iyonosferik ve yörünge hatalarının değişim durumuna göre güncellenmektedir. FKP tekniği tek yönlü iletişim ile de kullanılabilir. Ancak tek yönlü iletişim kullanıldığı zaman gezici GNSS alıcısı tarafından ham düzeltmelerin yayınlanacağı ana referans istasyonu seçilmek zorundadır. Çünkü gezici GNSS alıcısı yaklaşık konumunu merkezi işlemci birimine tek yönlü iletişim olduğu için gönderememektedir. Dolayısıyla gezici GNSS alıcısının hangi referans istasyonuna (ana referans istasyonu olarak belirlemek amacıyla) en yakın olduğu bilinmemektedir. CORS-TR sisteminde FKP tekniği için çift yönlü iletişim kullanılmaktadır. GSM veya GPRS yayınının olmadığı yerlerde radyo aracılığı ile düzeltme katsayıları ve ham veriler gezici GNSS alıcısına gönderilebilir. Gezici GNSS alıcısının çalışma alanının büyük olduğu durumlarda, gezici GNSS alıcısına en yakın olan referans istasyonu değişim gösterebilir dolayısıyla gezicinin hangi referans istasyonunu ana referans istasyonu olarak kullanacağına merkezi işlemci birimindeki yazılım aracılığı ile karar verilir. FKP tekniği ana referans istasyonun bulunduğu konumdan maksimum 100 km'lik yarıçaptaki bir alanda geçerlidir. Bu alanın dışına çıkıldığı zaman FKP parametreleri gezici GNSS alıcısının bulunduğu konuma göre sağlıklı bir şekilde hesaplanamayabilir. Bunun nedeni bu mesafeden sonra hataların doğrusal olmayan bir değişim göstermesinden kaynaklanır. Belirli bir zamanda bir referans istasyonunda hesaplanan FKP düzeltme parametreleri o alandaki bütün gezici GNSS alıcıları için aynı değerde yayımlanır. Ana referans istasyonundaki istasyon koordinatları, ham veriler ve düzeltme parametreleri gezici GNSS alıcılarına gönderilir. Gezici GNSS alıcıları, kendi yazılımları ile FKP düzlemini referans alarak gönderilen veriler ile kendi konumuna göre uzaklığa bağlı hataları enterpole ederek ve ana referans istasyonundaki ham verilere düzeltmeler getirerek konum çözümlemesini yapar. Burada gezici GNSS alıcısının konumunun navigasyon çözümlemesi ile bulunması enterpolasyon için yeterlidir. Bu yöntemde iki farklı uygulama yapılabilmektedir. Birincisi proje alanında en yakın sabit istasyona ait FKP düzeltmeleri yayınlanır. Bu durumda tek yönlü iletişim kullanılır. İkincisi ise gezici GNSS alıcısının durduğu her nokta için FKP düzeltmeleri

hesaplanıp yayınlanır. Bu durumda iki yönlü iletişim kullanılır. FKP tekniğinde eş zamanlı kullanıcı sayısında kısıtlama yoktur (Kahveci, 2017; Öğütçü, 2017; Öğütçü, 2014; Jin, 2012).

FKP tekniğinin matematiksel modeli

FKP tekniğinde konuma bağlı hataların gösterimi için bir doğrusal düzlem polinomu kullanılır. Bu düzlem, referans istasyonunun yüksekliğinde WGS-84 elipsoidine paralel olarak tanımlanan bir yüzeyi ifade eder. Bir gezici GNSS alıcısının faz gözlemleri için bu yüzeye atıfta bulunan koordinatlar (φ, λ) , mesafeye bağlı hataları (FKP düzlem parametreleri) aşağıdaki şekilde türetmek için kullanılır (Öğütçü, 2017; Öğütçü, 2014; Jin, 2012; Wübbena ve Bagge, 2006):

$$\delta r_0 = 6.37 * (N_0 * (\varphi - \varphi_R) + E_0 * (\lambda - \lambda_R) * \cos(\varphi_R)) \quad (3.16)$$

$$\delta r_1 = 6.37 * H * (N_1 * (\varphi - \varphi_R) + E_1 * (\lambda - \lambda_R) * \cos(\varphi_R)) \quad (3.17)$$

$$H = 1 + 16 * (0.53 - E/\pi)^3 \quad (3.18)$$

Yukarıdaki eşitliklerde;

N_0 : FKP düzleminde kuzey-güney doğrultusundaki geometrik sinyal değişimi (iyonosferden bağımsız, ppm),

E_0 : FKP düzleminde doğu-batı doğrultusundaki geometrik sinyal değişimi (iyonosferden bağımsız, ppm),

N_1 : FKP düzleminde kuzey-güney doğrultusundaki iyonosferik sinyal değişimi (kısa aralık kombinasyonu, ppm),

E_1 : FKP düzleminde doğu-batı doğrultusundaki iyonosferik sinyal değişimi (kısa aralık kombinasyonu, ppm),

φ_R, λ_R : WGS84 datumunda referans istasyonunun coğrafi koordinatları (radyan),

E : uydu yükseklik açısı (radyan),

δr_0 : geometrik sinyal kombinasyonunun uzaklığa bağlı hatası (iyonosferden bağımsız, m),

δr_1 : iyonosferik sinyal kombinasyonunun uzaklığa bağlı hatası (kısa aralık kombinasyonu, m)'dir.

L1 ve L2 frekansları için mesafeye bağlı hatalar (toplam düzeltmeler) şu şekilde hesaplanabilir:

$$\delta r_{L1} = \delta r_0 + \left(\frac{f_2^2}{f_1} * \delta r_1\right) \quad (3.19)$$

$$\delta r_{L2} = \delta r_0 + \left(\frac{f_1^2}{f_2} * \delta r_1\right) \quad (3.20)$$

Burada;

δr_{L1} : L1 frekansı için mesafeye bağlı hata (m),

δr_{L2} : L2 frekansı için mesafeye bağlı hata (m),

$f1$: L1 sinyalinin frekans değerini (154) ve

$f2$: L2 sinyalinin frekans değerini (120), ifade etmektedir.

Gezici GNSS alıcısı için düzeltilmiş taşıyıcı dalga faz gözlemleri aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\varphi 1_{düz.} = \varphi 1_{ham} - \delta r_{L1} \quad (3.21)$$

$$\varphi 2_{düz.} = \varphi 2_{ham} - \delta r_{L2} \quad (3.22)$$

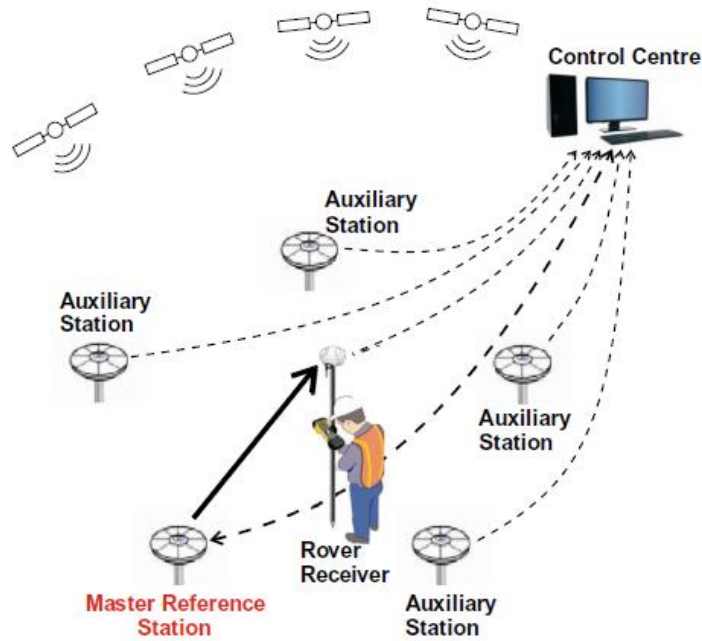
Bu işlemlerden sonra gezici GNSS alıcısı ile ana referans istasyonu arasındaki faz başlangıç belirsizliği, klasik RTK algoritması uygulanarak ikili farklar sonucu tamsayı olarak çözülür. Hesaplanan parametreler RTCM veri formatı 59 mesajı ile kullanıcılara iletilir (Yılmaz, 2020; Ögütçü, 2017; Jin, 2015; Ögütçü, 2014; Wübbena ve Bagge, 2006).

3.1.9.3. MAC tekniği

Ana-Yardımcı Referans İstasyonu (Master Auxiliary Concept) tekniğinin temel prensibi, CORS ağına ve gözlemlere ilişkin hata bilgilerinin bir bütün olarak gezici GNSS alıcılarına gönderilmesidir. Ağa ilişkin gezici GNSS alıcısına ne kadar çok bilgi gelirse gezici GNSS alıcısının kendi konumunu doğru olarak belirleme olasılığı o kadar artmaktadır. MAC yönteminde, bir ana referans istasyonu (master) ve onun “RTCM V3.1 Mesaj 1004” formatında tüm ham ölçü verileri ile diğer yardımcı (auxiliary, minimum 5 yardımcı referans istasyonu) referans istasyonlarının azaltılmış verileri birlikte kullanılmaktadır. MAC tekniğinde referans istasyonları ile uydular arasındaki faz uzaklıkları ortak bir belirsizlik seviyesine indirgenmektedir. Böylece ağın modellenmesinde faz bilinmeyenlerinin çözümü minimum seviyeye düşürülerek geriye

kalan iyonosfer, troposfer ve uydu yörünge hataları yüksek doğruluklarla modellendirilmektedir (Öğütçü, 2017; Kahveci, 2017; Yüksel, 2015; Jin, 2015; Brown vd., 2006).

Ağ Bazlı RTK uygulamalarında karşılaşılan sorunlardan en önemlisi ortak bir formatın uygulamada kullanılamamasıdır. VRS ve FKP tekniklerinin düzeltme verileri modellendiği için RTCM standartlarında ortak bir formatta değildir ve üretici firmaya aittir. Euler vd. (2001) tarafından, bu sorunları ortadan kaldırabilmek için düzeltme verilerinin aktarılması ve kullanılması bakımından diğer Ağ Bazlı RTK tekniklerine göre farklı bir yaklaşım olan MAC tekniği geliştirilmiştir. MAC tekniğinin amacı büyük hacimli ağ verilerinden olabildiğince yoğun bir şekilde yararlanmaktır. Bu tekniği, diğer tekniklerinden ayıran en önemli özellik, merkezi işlemci birimi yazılımının gezici GNSS alıcısı için hata hesaplamaları, gezici GNSS alıcılarına yüklü bir yazılım aracılığı ile yapılmasıdır (Şekil 3.18) (Öğütçü, 2017; Euler vd., 2001).



Şekil 3. 18. MAC tekniği (İnal vd., 2018)

MAC tekniğinin çalışma yöntemi kısaca şu şekildedir. Referans istasyonlarından toplanan ham gözlem verileri (kod ve faz gözlemleri) merkezi işlemci birimine 1sn aralıklarla gönderilir. Gelen veriler merkezi işlemci birimi tarafından işlenerek referans istasyonları arasındaki faz başlangıç belirsizliği ortak bir seviyeye indirgenir. Faz uzaklıkları (uydu – gezici GNSS alıcı çiftleri için) ortak bir belirsizlik seviyesine indirgenir.

Gezici GNSS alıcısının navigasyon ölçümü ile bulduğu konum bilgileri NMEA formatında merkezi işlemci birimine gönderilir. Merkezi işlemci birimi tarafından gezici GNSS alıcısının konumuna en yakın referans istasyonu (en yakın referans istasyonunun kullanılamaması halinde en uygun referans istasyonu) ana referans istasyonu (master) olarak seçilir, gezici GNSS alıcısının yakınındaki, belirli sayıda referans istasyonları ise yardımcı referans istasyonları (auxiliary) olarak belirlenir. (CORS-TR sisteminde, yardımcı referans istasyon sayısı 6 olarak belirlenmiştir.) Böylece gezici GNSS alıcısının konumuna göre tüm ağı alt ağı belirlenmiş olur. Sonra ana referans istasyon noktasına ait koordinat bilgileri, ham gözlemler ve düzeltme verileri (geometrik ve iyonosferik) ve ana referans istasyon noktası ile yardımcı referans istasyon noktalarının koordinat farkları ve tekli farklar sonucu, her bir uydu ve gezici GNSS alıcı çifti için düzeltme farkları gezici GNSS alıcılarına RTCM 3.1 mesaj formatında gönderilir. Gezici GNSS alıcısı yazılımına bağlı olarak gelen düzeltme verilerini konumuna göre enterpole edebilir (lineer enterpolasyon yöntemi, düşük dereceden yüzey modelleri veya en küçük karelerle kolokasyon modeli kullanılabilir) veya ağ bilgilerini kullanarak tekrar bir düzeltme verisi oluşturarak konumunu yüksek doğrulukta hesaplayabilir (Öğütçü, 2017; Kahveci, 2017; Brown vd., 2006).

MAC tekniğinde bazı durumlarda ana referans istasyonu, referans istasyonlarının geometrisi ve sayısı, ağı etkin çalışabilirliğine göre değişiklik gösterebilir ve her zaman gezici GNSS alıcılarına en yakın istasyon, ana referans istasyonu olmayabilir. Önemli olan aynı uydulara gözlem yapılmış olmasıdır. Çünkü ana istasyon noktasının düzeltmelerin hesaplanmasında özel bir görevi olmayıp, temel olarak düzeltmelerin yayınlanmasında rolü vardır. Herhangi bir nedenle ana istasyondan veri alınamaması durumunda yardımcı referans istasyonlarından birisi bu görevi üstlenir. MAC yönteminde tüm hata kaynaklarına ilişkin düzeltmeler gezici GNSS alıcılarına aktarılmaktadır. Bunun sonucunda sistem bütünlüğü sağlanmakta, uydulara bağlanma ve ölçüye başlama süresi azalmakta, faz belirsizliği çözümü daha doğru ve hızlı olmakta ve konum belirleme doğruluğu artmaktadır. Bu yöntemde düzeltme verileri tek yönlü iletişim yolu ile de (CORS-TR sisteminde çift yönlü iletişim kullanılır) gezici GNSS alıcılarına gönderilebilir. Fakat bu durumda ana referans istasyonu ve ağı alt ağını oluşturan yardımcı referans istasyonları önceden seçilmek zorundadır. Bu yöntem, ana referans istasyonundan 300 km'lik mesafelere kadar kullanılabilir (Kahveci, 2017; Öğütçü, 2017; Yüksel, 2015; Jin, 2015; Janssen, 2009; Euler vd., 2001).

MAC tekniğinin matematiksel modeli

MAC yönteminde, taşıyıcı faz belirsizlikleri, sabit tekli fark belirsizlik değerlerine göre belirlenir. Ana referans istasyonu (A) ve yardımcı referans istasyonu (B) arasında (i) uydusu için tekli farklar aşağıdaki şekilde oluşturulur (Öğütçü, 2017; Yüksel, 2015; Jin, 2012; Euler, 2006; Lin, 2006);

$$\lambda * \Delta \varphi_{AB}^i = \Delta \rho_{AB}^i + c * \Delta \delta t_{AB} + \lambda * \Delta N_{AB}^i + \Delta T_{AB}^i - \Delta I_{AB}^i + \Delta Y_{AB}^i \quad (3.23)$$

Yukarıdaki eşitlikte;

$\Delta \varphi_{AB}^i$: ana referans istasyonu ile yardımcı referans istasyonu arasındaki faz ölçümlerinin tekli farklarını,

ρ_{AB}^i : iki istasyon arasındaki geometrik mesafe farkını,

δt_{AB} : uydu saat hatalarını,

N_{AB}^i : frekans bağımlı faz başlangıç belirsizliğini ve

$T_{AB}^i, I_{AB}^i, Y_{AB}^i$: sırasıyla troposferik, iyonosferik ve uydu yörünge hatalarını, ifade etmektedir.

Anten faz merkezi ofset değeri ve değişimi, merkezi işlemci birimindeki yazılım tarafından geometrik mesafeye ilave edilebilir. Bu durumda tekli farklar düzeltmesi aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$V_{AB}^i = \rho_{AB}^i - \lambda * \varphi_{AB}^i + c * \delta t_{AB} + \lambda * N_{AB}^i - I_{AB}^i + T_{AB}^i + Y_{AB}^i \quad (3.24)$$

Troposferik ve iyonosferik etkiler için standart modeller kullanılabilir. Dolayısıyla eşitlik 3.24'de $I_{AB}^i + T_{AB}^i$ artık iyonosferik ve troposferik hataları göstermektedir. Tekli farklar sonucu oluşan toplam düzeltme miktarı (L1 ve L2 frekansları için) iyonosferik, troposferik ve uydu yörünge hatalarından oluşmaktadır. Referans istasyonlarının saat hataları, epok bazlı pseudorange gözlem verilerinin dengelenmesiyle bulunur. Ana referans istasyonu (A) ve yardımcı referans istasyonu (B) arasındaki (i) uydusu için ve (t) zamanında; iyonosferik, troposferik ve uydu yörünge düzeltme farkları her bir sinyal (L1 ve L2 frekansları) için aşağıdaki şekilde gösterilebilir (Öğütçü, 2017; Yüksel, 2015; Lin, 2006);

$$L1_{düzeltme farkları}_{AB}^i = \left(\frac{\Delta I_{AB}^i(t)}{f_1^2} \right) - (\Delta T_{AB}^i(t) + \Delta Y_{AB}^i(t)) \quad (3.25)$$

$$L2_{düzeltme farkları}_{AB}^i = \left(\frac{\Delta I_{AB}^i(t)}{f_2^2} \right) - (\Delta T_{AB}^i(t) + \Delta Y_{AB}^i(t)) \quad (3.26)$$

Tekli farklar kullanılarak belirlenen faz başlangıç belirsizliği, ikili farklar yaklaşımı ile daha güvenilir bir şekilde belirlenir. (i) uydusundaki faz başlangıç

belirsizliği, başka bir (j) uydusunun kullanımı ile bunların ikili farkı aşağıdaki şekilde bulunabilir (Jin, 2012; Lin, 2006);

$$N_{AB}^i = N_{AB}^j + N_{AB}^{j,i} \quad (3.27)$$

Böylece, ikili farklar kullanılarak gerçek belirsizlik ile referans uydunun tahmini belirsizliği arasındaki fark olan ve genellikle belirsizlik seviyesi olarak bilinen belirsizlik hesaplanmış olur. Gezici GNSS alıcısında bulunan yazılım, MAC düzeltme verilerini aldıktan sonra da kendi konumunu hesaplamak için hangi enterpolasyon yöntemini kullanacağına karar verir ve konumunu hesaplar (Jin, 2012).

3.1.9.4. Ağ Bazlı RTK tekniklerinin karşılaştırılması

Ağ Bazlı RTK tekniklerinin özellikleri ve matematiksel modelleri yukarıda açıklanmıştır. Tekniklerin birbirlerine göre farklı ve ortak yönleri ise Çizelge 3.8’de gösterilmektedir. Teknikler arası farklar genellikle gezici GNSS alıcısı ve merkezi işlemci biriminde bulunan yazılımların farklılıkları ile ağ bazlı düzeltme verilerini hesaplama yöntemlerinin farklılığından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 3. 8. Ağ Bazlı RTK tekniklerinin karşılaştırılması (Öğütçü, 2017; Kahveci, 2017; Öğütçü, 2014; Brown vd., 2006; Euler vd., 2001)

TEKNİKLER & STANDARTLAR	VRS	FKP	MAC
Düzeltilme verilerinin hacmi	Düzeltilme verileri, sanal referans istasyonundan klasik RTK tekniğinde olduğu gibi ikili farklar uygulanarak gönderildiği için veri hacmi düşüktür.	Düzeltilme verilerinin hesaplanması doğrusal enterpolasyon ile yapıldığı için veri hacmi düşüktür.	Gezici GNSS alıcılara gönderilen veri seti yoğun olduğu için veri hacmi yüksektir.
Düzeltilme verilerinin standardı	RTCM 3.0, 2.3, CMR+ Üretici firmaya (Trimble) özgüdür.	RTCM 2.3 Üretici firmaya (SAPOS) özgüdür.	RTCM V3.1 Uluslararası standart.
CORS-TR sisteminde yayımlanan düzeltme verilerinin standardı	RTCM 3.1VRS, CMR+ 3.1VRS	RTCM 2.3	RTCM 3.1NET
Kullanılan matematiksel model	En küçük karelerle kolokasyon (Klasik RTK algoritması).	Doğrusal (lineer) enterpolasyon.	Alt ağ modellemesi (lineer enterpolasyon yöntemi, düşük dereceden yüzey modelleri veya en küçük karelerle kolokasyon modeli kullanılabilir).
İletişim alt yapısı	Çift yönlü iletişim zorunludur.	Çift yönlü iletişimin olmadığı durumlarda tek yönlü iletişim alt yapısında da kullanılabilir.	Çift yönlü iletişimin olmadığı durumlarda tek yönlü iletişim alt yapısında da kullanılabilir.
RTCM standardına uygunluğu	Modellenen veri içerdiği için RTCM standardına uygun değildir.	Modellenen veri içerdiği için RTCM standardına uygun değildir.	Gezici GNSS alıcısı fiziksel referans istasyonlarının ham verilerini direkt kullanabildiği için RTCM standardına uygundur.
Merkezi işlemci birimindeki yazılımın görevi	Sanal referans istasyonunu oluşturarak gezici GNSS alıcısı için düzeltme verilerinin hesabını yapmak.	Düzeltilme parametrelerinin hesabını ve bunların gezici GNSS alıcılara aktarılmasını yapmak.	Ana ve yardımcı referans istasyonlarının (alt ağın) belirlenmesi ve ham gözlemlerin gezici GNSS alıcılara aktarılmasını yapmak.
Gezici GNSS alıcısındaki yazılımın görevi	Ana referans istasyonu ve sanal referans istasyonu arasında klasik RTK algoritmasını uygulamak.	Düzeltilme parametrelerini kendi konumuna eklemek ve düzeltme verilerinin enterpolasyonunu yapmak.	Ana ve yardımcı referans istasyonlarının ham verilerini ve tekli farklarını kullanarak konumuna göre düzeltme verilerini hesaplamak.
Eş zamanlı kullanıcı kısıtlaması	Her bir kullanıcının konumuna bağlı olarak düzeltmelerin hesabı merkezi işlemci birimi tarafından yapıldığı için belirli bir sayının üstünde eş zamanlı kullanıcı, sistemin kilitlenmesine neden olur. Bu nedenle eş zamanlı kullanıcı kısıtlaması vardır.	Belli bir bölge için hesaplanan düzeltme parametreleri o bölgede bulunan tüm gezici GNSS alıcıları için geçerli olduğundan eş zamanlı kullanıcı kısıtlaması yoktur.	Düzeltilme verilerinin modellenmesi gezici GNSS alıcısındaki yazılım tarafından yapıldığı için merkezi işlemci birimindeki iş yükü azaldığından eş zamanlı kullanıcı kısıtlaması yoktur.
Gerekli olan minimum referans istasyon sayısı	3 referans istasyonu (CORS-TR'de 5).	3 referans istasyonu (CORS-TR'de 5).	1 ana 5 yardımcı referans istasyonu (CORS-TR'de 1 ana 6 yardımcı).
Ağa bağlanma süresi	Kısadır.	Uzundur.	Kısadır.

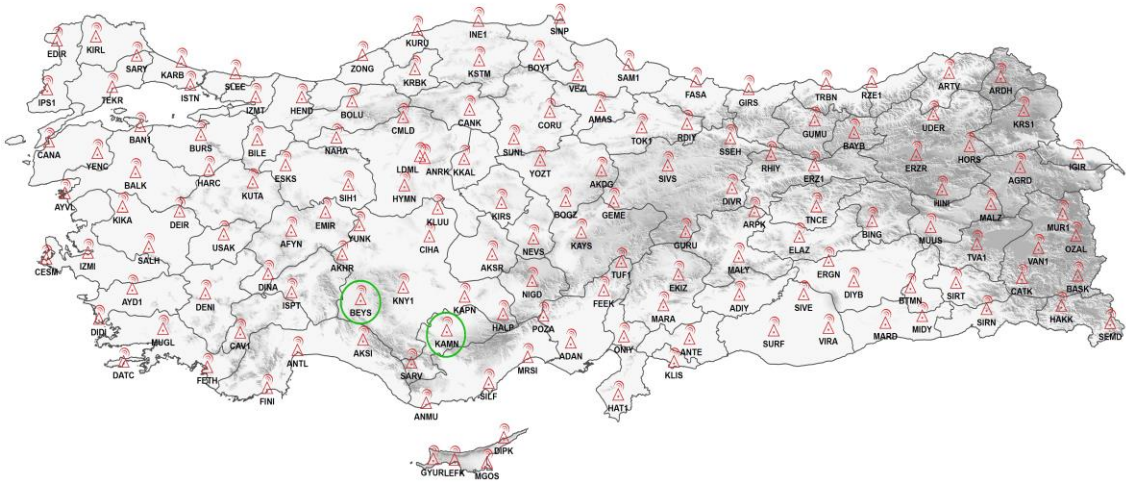
3.2. Yöntem

CORS-TR ölçmelerinde GLONASS'ın konum doğruluğuna etkisini belirleyebilmek amacıyla arazi çalışması yapılmış ve elde edilen verilerin analiz ve

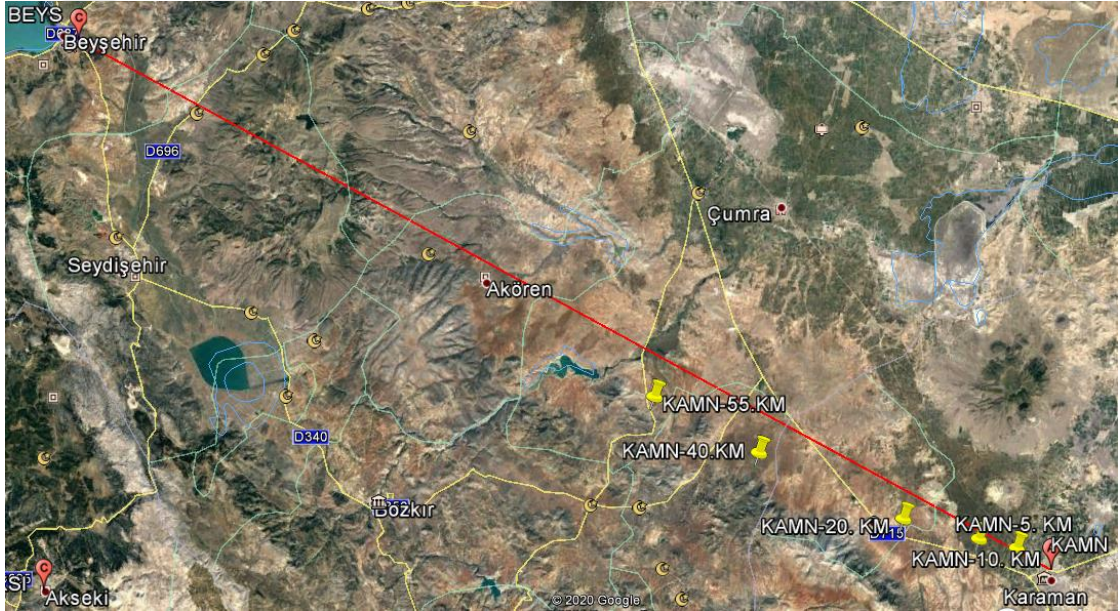
değerlendirmeleri bu bölümde anlatılmıştır. Bu amaçla CORS-TR ağında yer alan Karaman (KAMN) ve Beyşehir (BEYS) istasyonları seçilmiştir. Bu istasyonların seçilme nedenleri ise istasyonların ilk tesisinden günümüze kadar yerlerinin hiç değiştirilmemiş olması ve KAMN istasyonundan BEYS istikametine doğru arazi yapısının istenilen km'lerde ölçüm yapmaya elverişli olmasıdır. Kontrol ölçüleri ise bu bazın dışında Cihanbeyli (CIHA) ve Aksaray (AKSR) istasyonları arasında yapılmıştır.

3.2.1. Arazi çalışması

Çalışma şu şekilde yapılmıştır: CORS-TR istasyonlarından Şekil 3.19'da gösterilen KAMN ve BEYS istasyonları arasında (baz mesafesi 141,1 km), KAMN noktası ana referans istasyonu (düzeltme verisinin alındığı istasyon) olmak üzere 5., 10., 20., 40. ve 55. Km'lerde (Şekil 3.20), hem GPS hem de GPS + GLONASS uyduları kullanılarak eş zamanlı aynı marka, model ve yazılıma sahip 6 adet GNSS alıcı cihazı (Cihazlar; 1. Cihaz GPS – VRS tekniği, 2. Cihaz GPS – FKP tekniği, 3. Cihaz GPS – MAC tekniği, 4. Cihaz GPS + GLONASS – VRS tekniği, 5. Cihaz GPS + GLONASS – FKP tekniği ve 6. Cihaz GPS + GLONASS – MAC tekniği olarak ayarlanmıştır) ile tasarlanan özel bir platform üzerinde (Şekil 3.21) Ağ Bazlı RTK (VRS, FKP ve MAC) teknikleri kullanılarak 2 + 2 saatlik, uydu yükseklik açısı 10° ve 30° şeklinde ve epok aralığı 1 saniye olarak ölçümler yapılmıştır (Şekil 3.22). Tüm ölçümler eş zamanlı yapılarak GNSS ölçümlerini etkileyen hataların (atmosferik ve yörünge hataları vb.) statik ve Ağ Bazlı RTK ölçümlerinde aynı seviyede olması hedeflenmiştir. Farklı yükseklik açılarında ölçüm yapılmasının sebebi ise uydu sinyallerinin engellendiği şehir merkezleri gibi yapılaşmış alanlarda ve ormanlık bölgelerde GLONASS'ın etkisinin belirlenebilmesidir. Bununla birlikte CORS-TR sisteminde GLONASS'ın etkisi araştırıldığı için yapılan tüm ölçümler, GPS ve GLONASS sistemleri aktif (açık) diğer uydu sistemleri pasif (kapalı) şekilde yapılmıştır. Ağ Bazlı RTK ölçümleri yapılırken, sadece tam sayı belirsizliği çözülmüş (fixed) veriler kaydedilmiş, tam sayı belirsizliğinin çözülemediği (float) veriler kaydedilmemiştir. Bu sebeple toplanan veriler (epok sayıları) farklılık göstermiştir. Kontrol noktalarıyla birlikte toplamda yedi istasyon noktasında ve her üç teknikte 308.908 epok veri ölçümü/kaydı yapılmıştır. Ölçümler 02 - 08 Ağustos 2019 tarihlerinde, yaklaşık 07:00 – 17:00 saatleri arasında, önce Ağ Bazlı RTK ölçümleri sonra statik ölçüm olacak şekilde yapılmıştır.



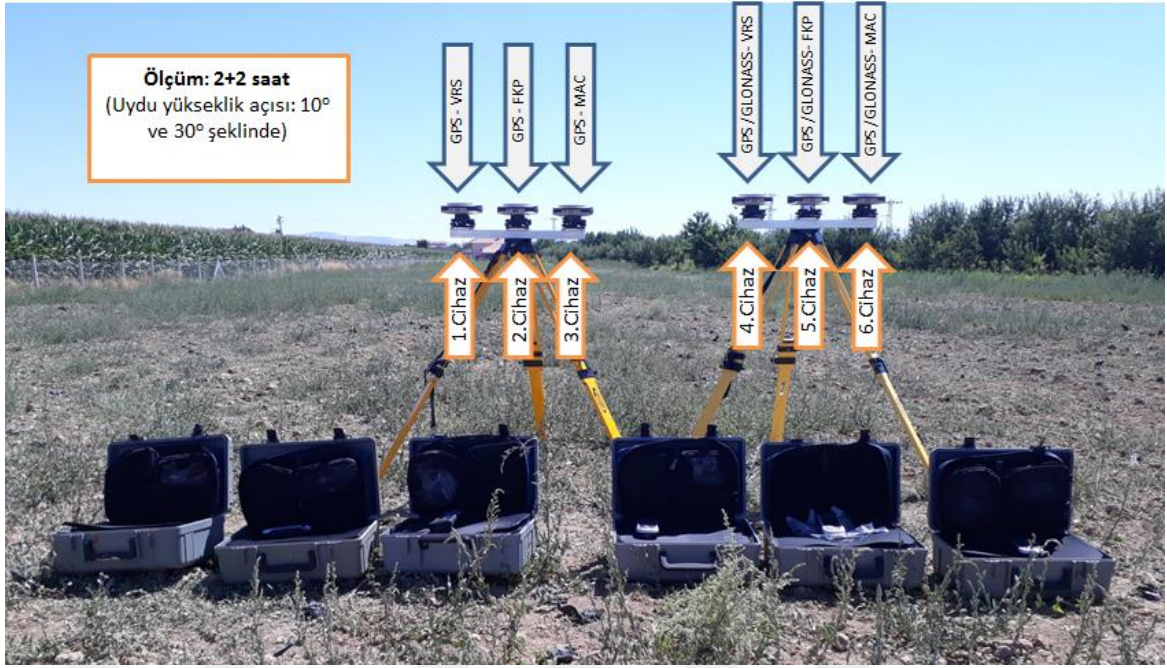
Şekil 3. 19. CORS-TR istasyon noktaları (URL-36)



Şekil 3. 20. Çalışma/Uygulama alanı (Google Earth görüntüsü)



Şekil 3. 21. GNSS ölçüm platformu

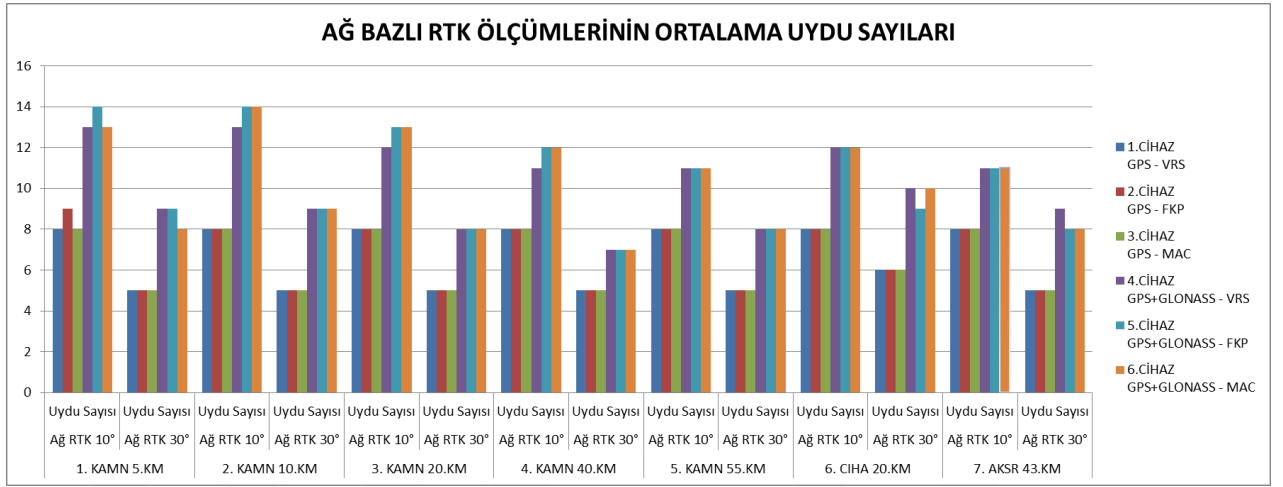


Şekil 3. 22. Ağ Bazlı RTK ölçümü

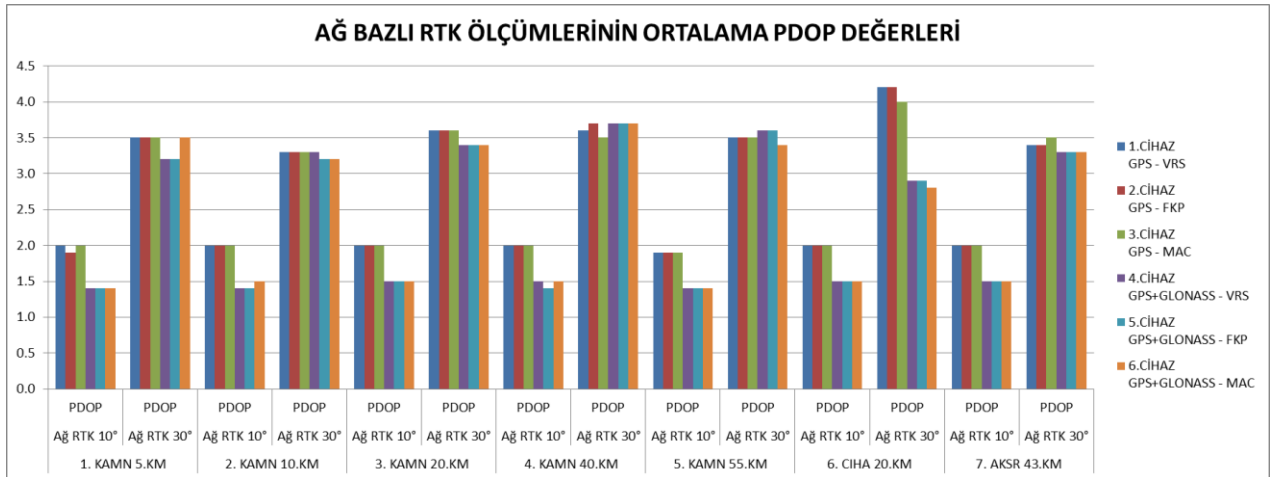
Ölçümlerde temin edilen verilerin bilgisayara aktarılması ile noktalara ait projeksiyon koordinatları (ITRF96 Datumu 2005.00 Referans Epok) txt ve excel formatlarında elde edilmiştir. Ağ Bazlı RTK tekniklerinin ölçüm esnasında kullandığı ortalama uydu sayıları ve PDOP değerleri Çizelge 3.9, Şekil 3.23 ve 3.24’de verilmiştir. Ağ Bazlı RTK ölçümlerinin ardından cihazlara hiç temas etmeden 4 saatlik statik oturum ölçümü yapılmıştır (Şekil 3.25). Elde edilen veriler, Leica Geo Office 8.4 lisanslı yazılımda dengelenmiş ve bulunan koordinatlar, cihaz kurulan noktaların yatay ve düşey konumda doğru koordinatları kabul edilmiştir. Kontrol ölçümleri olarak ana ölçümlerin yapıldığı bazın dışında iki nokta belirlenmiştir (Şekil 3.26). İlki CIHA ve AKSR istasyonları (baz mesafesi 98,8 km) arasında CIHA noktasından itibaren 20. Km ve ikincisi ise AKSR noktasından itibaren 43. Km’lerde yukarıda anlatılan niteliklerde kontrol amaçlı ölçümler yapılmıştır.

Çizelge 3. 9. Ağ Bazlı RTK yöntemlerinin ölçümü esnasında kullanılan ortalama uydu sayıları ve PDOP değerleri

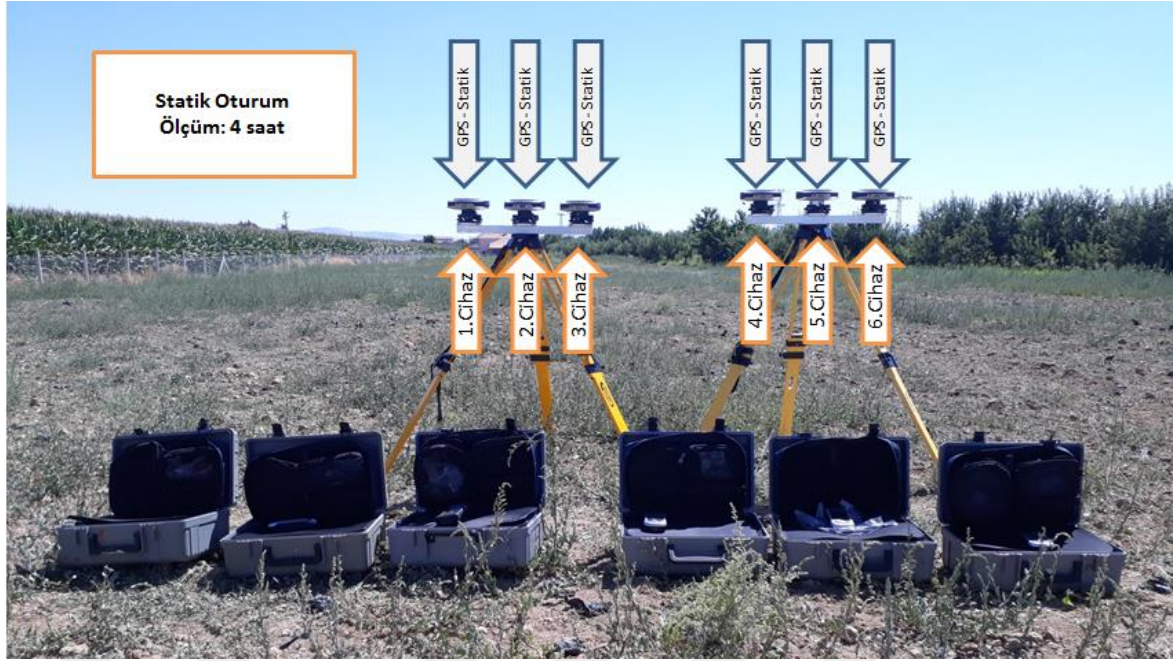
AĞ BAZILI RTK ÖLÇÜMLERİNİN ORTALAMA UYDU SAYILARI VE PDOP DEĞERLERİ																												
Veri (Epok) Aralığı: 1 saniye Ölçüm Süresi: 2 saat	KARAMAN - BEYŞEHİR CORS İSTASYONLARI ARASI ÖLÇÜM NOKTALARI																				CHANBEYLİ - AKSARAY CORS İSTASYONLARI ARASI KONTROL ÖLÇÜM NOKTALARI							
	1. KAMN 5KM				2. KAMN 10KM				3. KAMN 20KM				4. KAMN 40KM				5. KAMN 55KM				6. CHA 20KM			7. AKSR 43KM				
	Ağ RTK 10°		Ağ RTK 30°		Ağ RTK 10°		Ağ RTK 30°		Ağ RTK 10°		Ağ RTK 30°		Ağ RTK 10°		Ağ RTK 30°		Ağ RTK 10°		Ağ RTK 30°		Ağ RTK 10°		Ağ RTK 30°					
	Uydu Sayısı	PDOP	Uydu Sayısı	PDOP	Uydu Sayısı	PDOP	Uydu Sayısı	PDOP	Uydu Sayısı	PDOP	Uydu Sayısı	PDOP	Uydu Sayısı	PDOP	Uydu Sayısı	PDOP	Uydu Sayısı	PDOP	Uydu Sayısı	PDOP	Uydu Sayısı	PDOP	Uydu Sayısı	PDOP				
1.CİHAZ GPS - VRS	8	2.0	5	3.5	8	2.0	5	3.3	8	2.0	5	3.6	8	2.0	5	3.6	8	1.9	5	3.5	8	2.0	6	4.2	8	2.0	5	3.4
2.CİHAZ GPS - FKP	9	1.9	5	3.5	8	2.0	5	3.3	8	2.0	5	3.6	8	2.0	5	3.7	8	1.9	5	3.5	8	2.0	6	4.2	8	2.0	5	3.4
3.CİHAZ GPS - MAC	8	2.0	5	3.5	8	2.0	5	3.3	8	2.0	5	3.6	8	2.0	5	3.5	8	1.9	5	3.5	8	2.0	6	4.0	8	2.0	5	3.5
4.CİHAZ GPS+GLONASS - VRS	13	1.4	9	3.2	13	1.4	9	3.3	12	1.5	8	3.4	11	1.5	7	3.7	11	1.4	8	3.6	12	1.5	10	2.9	11	1.5	9	3.3
5.CİHAZ GPS+GLONASS - FKP	14	1.4	9	3.2	14	1.4	9	3.2	13	1.5	8	3.4	12	1.4	7	3.7	11	1.4	8	3.6	12	1.5	9	2.9	11	1.5	8	3.3
6.CİHAZ GPS+GLONASS - MAC	13	1.4	8	3.5	14	1.5	9	3.2	13	1.5	8	3.4	12	1.5	7	3.7	11	1.4	8	3.4	12	1.5	10	2.8	11	1.5	8	3.3



Şekil 3. 23. Tüm ölçüm istasyonlarındaki Ağ Bazlı RTK ölçümlerinin ortalama uydu sayıları



Şekil 3. 24. Tüm ölçüm istasyonlarındaki Ağ Bazlı RTK ölçümlerinin ortalama PDOP değerleri



Şekil 3. 25. Statik ölçüm



Şekil 3. 26. Kontrol ölçüm noktaları (Google Earth görüntüsü)

DOP faktörleri uydu geometrisinin navigasyon çözümlerinden elde edilen doğruluklar üzerindeki etkilerini ifade etmekte kullanılan kriterlerdir. DOP faktörleri alıcı ile gözlem yapılan uyduların birbirlerine göre olan konumlarına bağlı olarak tanımlanan ve ölçü noktasına ait konum parametrelerinin pseudorange hataları ile ilişkisini kuran doğruluk sınırlayıcı geometrik faktörlerdir. Noktalar arasında oluşturulan baz vektörlerinden yararlanarak oluşturulan kofaktör matrisinden

hesaplanan DOP faktörleri aşağıdaki formüller ile hesaplanmaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2017; Yalçın, 2007).

σ_0 gözlenen pseudorange ölçüsünün standart sapmasını, σ koordinat bileşenlerinin (yatay ve düşey) standart sapmasını belirtmek üzere;

$$\sigma = DOP \cdot \sigma_0 \quad (3.28)$$

Bu hesaplamalarda her bir uydu gezici GNSS alıcı çifti için hesaplanan uzaklıklar korelasyonsuz kabul edildiğinde ağırlık matrisi;

$$\underline{P} = \sigma_0^2 \cdot \underline{I} \quad (3.29)$$

eşitliği ile verilmektedir. Dengelenmiş nokta koordinatları ve gezici GNSS alıcı saati hatasına ilişkin kofaktör matrisinden yararlanarak,

$$\underline{Q}_{ECEF} = (\underline{A}^T \cdot \underline{A})^{-1} = \begin{bmatrix} q_x^2 & q_{xy} & q_{xz} & q_{xt} \\ q_{yx} & q_y^2 & q_{yz} & q_{yt} \\ q_{zx} & q_{zy} & q_z^2 & q_{zt} \\ q_{tx} & q_{ty} & q_{tz} & q_t^2 \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

elde edilir. Matrisin köşegen elemanlarından yararlanarak DOP faktörlerini yazacak olursak,

$$GDOP = \sqrt{q_x^2 + q_y^2 + q_z^2 + q_t^2} \quad (3.31)$$

$$PDOP = \sqrt{q_x^2 + q_y^2 + q_z^2} \quad (3.32)$$

$$HDOP = \sqrt{q_x^2 + q_y^2} \quad (3.33)$$

$$VDOP = \sqrt{q_z^2} \quad (3.34)$$

$$TDOP = \sqrt{q_t^2} \quad (3.35)$$

elde edilir.

Ölçümlerde altı adet Spectra Precision SP80 marka jeodezik amaçlı çoklu uydu sistemleri ile çalışabilen gelişmiş GNSS alıcı cihazları kullanılmıştır (Şekil 3.27). Spectra Precision SP80 cihazının teknik özellikleri Çizelge 3.10'da verilmiştir. Ölçüm noktalarının yerleri belirlenirken sinyal yansımalarına neden olabilecek herhangi bir nesneden uzakta olmasına ve internet alt yapısının elverişli olmasına özen gösterilmiştir. Tüm ölçüm noktalarında aynı uydu geometrisini sağlayabilmek için ölçüm yapılan noktaların civarında 10°'nin üstünde uydu sinyallerini engelleyecek herhangi bir nesne olmamasına ve tüm ölçümlerin eş zamanlı olarak yapılmasına dikkat edilmiştir.



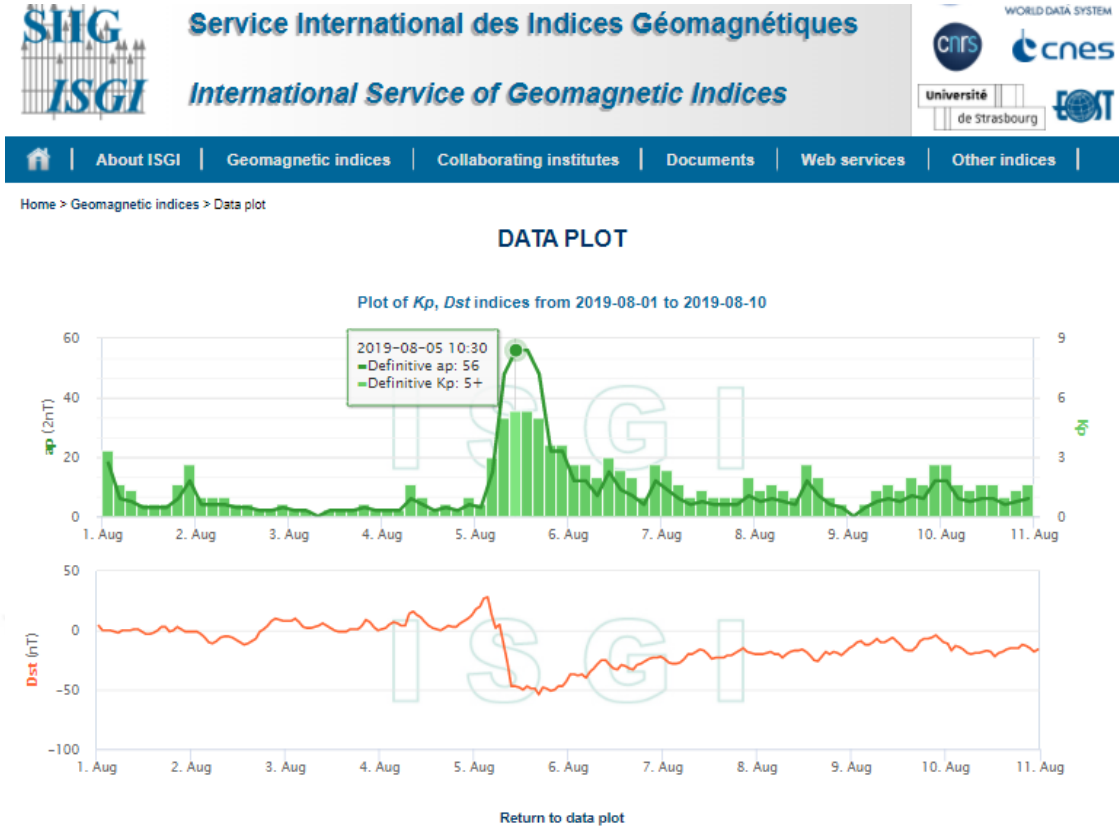
Şekil 3. 27. Spectra Precision SP80 marka GNSS alıcı cihazı (URL-37)

Çizelge 3. 10. Spectra Precision SP80 marka GNSS alıcı cihazı teknik özellikleri (URL-37)

Teknik Özellikler	Açıklama
Alıcı Tanımı	Çift Frekanslı
Kanal Sayısı	240 GPS L1C/A, L1P(Y), L2C, L5 GLONASS L1C/A, L2C/A ve diğerleri
Desteklediği Uydular	GPS+GLONASS+BEIDOU+GALILEO+QZSS+SBAS+IRNSS
Desteklediği Formatlar	ATOM, CMR, CMR+, RTCM 2.1, 2.3, 3.1 ve 3.2, NMEA
Ölçüm Hassasiyeti (Statik)	Yatay: 3 mm + 0.5 ppm, Düşey: 5 mm + 0.5 ppm
Ölçüm Hassasiyeti (RTK)	Yatay: 8 mm + 1 ppm, Düşey: 15 mm + 1 ppm
Batarya	2 adet batarya (10 saat)
Tam Şarj Süresi	4 saat
Çalışma Sıcaklığı	-40°C ile + 65°C
Depolama Sıcaklığı	-40°C ile + 85°C
Radyo Modem	2W Radyo Modem
Hafıza	2 GB
SD Kart	32 GB'a kadar destekler
Bluetooth	Var
USB	Var (Mini USB)
WI-FI	Var
Toz ve Suya karşı dayanıklılık	IP67

Ölçüm noktalarında GNSS alıcıları düzeçlendikten sonra altı alıcı sırası ile GPS – VRS, GPS –FKP, GPS – MAC, GPS + GLONASS – VRS, GPS + GLONASS – FKP ve GPS + GLONASS – MAC tekniklerinden veri alacak şekilde el üniteleri yardımıyla ayarlanmış ve cihazların yerlerinden oynamaması için tedbir amaçlı ölçümler tamamlanıncaya kadar cihazlara el değmemiştir. Kontrol üniteleri GNSS alıcıları cihaz sehpaalarına monte edilmemiş yaklaşık bir metre mesafede uygun bir yere konulmuştur. Bir ölçüm tamamlanıp sonraki ölçüme geçileceği zaman kontrol ünitesinden komut verilerek işlemler tamamlanmıştır. Toplamda sekiz saatin üzerinde ölçüm yapıldığı için GNSS alıcı cihazları harici batarya ile desteklenerek ölçümler tamamlanabilmiştir. Yazılımdan kaynaklı etkileri gidermek için tüm GNSS alıcı cihazlarının ve kontrol ünitelerinin aynı yazılıma (firmware) sahip olmalarına dikkat edilmiştir. Bununla birlikte düzeltme verilerinin alınmasında aynı özellikte GSM hatları (Turkcell) kullanılmıştır.

Ölçüm yapılan günlerde (02 - 08 Ağustos 2019) iyonosferik ve jeomanyetik fırtınalara ilişkin analizler yapılmıştır. Jeomanyetik fırtınalar esnasında iyonosferde bulunan elektron miktarında birtakım değişimler meydana gelir ve bu değişimler GNSS sinyallerini olumsuz yönde etkiler. Jeomanyetik fırtınaların şiddeti ve iyonosfer tabakasında oluşturduğu değişimler Disturbance Storm Time Index (Dst) ve The Estimated Planetary Index (Kp) indeksleri ile izlenmektedir. Dst indeksi, yakın ekvatorial jeomanyetik gözlem merkezlerinden elde edilen, jeomanyetik fırtınanın derecesi hakkında bilgi veren parametredir. Nano tesla (nt) birimi ile ifade edilir. -100 nt birimine eşit veya daha küçük indeks verileri jeomanyetik fırtınanın olduğunun göstergesidir. Kp indeksi de jeomanyetik fırtınaların izlenmesinde ve jeomanyetik alandaki düzensiz bozulmaların incelenmesinde kullanılan bir parametredir. Kp indeksi $0 \leq kp \leq 9$ arasında değerler almaktadır. 5 değerine eşit veya büyük olan kp indeks değerleri jeomanyetik fırtınanın olduğunun göstergesidir. Şekil 3.28’de, ölçüm tarihlerindeki dst ve kp indeks değerleri gösterilmiştir. En yüksek dst (-49) ve kp (5) değerleri 5 Ağustos tarihinde saat 10:30’da (GMT) gözlenmiştir. Bu tarih ve saat aralığında ölçüm yapılmış olmasına rağmen sonuçlarda ise diğer günlerde yapılan ölçümler ile karşılaştırıldığında anlamlı farkların olmadığı görülmüştür (İnyurt ve Şentürk, 2020; El-Eraki vd., 2018; Öğütçü, 2017; Cander, 2012).



Şekil 3. 28. Ölçüm yapılan tarihlerdeki dst ve kp indeks değerleri (URL-38)

3.2.2. Statik oturum verilerinin dengelenmesi

Ölçüm noktalarında GNSS alıcı cihazlarının kurulduğu nokraların doğru kabul edilen koordinatlarını bulabilmek amacıyla 4 saatlik statik oturum yapılmıştır. Statik oturum verileri Leica Geo Office 8.4 lisanslı yazılım kullanılarak dengelenmiştir. Dengeleme parametreleri Çizelge 3.11’de gösterilmiştir. Dengeleme sonucunda cihaz kurulan istasyonların koordinatları, ITRF96 datumu 2005.00 referans epoğu, Gauss-Kruger projeksiyonunda 3° dilim genişliğinde 33. derece dilim orta meridyenine ait sağa, yukarı ve elipsoidal yükseklik değerleridir. KAMN – BEYS istasyonları arasında bulunan 5., 10., 20., 40. ve 55. Km’lerdeki ölçüm noktaları KAMN istasyonu referans alınarak, kontrol noktaları CIHA 20. Km’deki nokta CIHA istasyonu referans alınarak ve AKSR 43. Km’deki nokta ise AKSR istasyonu referans alınarak tek noktaya dayalı zorlamasız dengeleme yöntemi ile çözümlenmiştir.

Çizelge 3. 11. Statik verileri dengeleme parametreleri

Dengeleme Parametreleri	
Datum	ITRF96 referans epöü statik datum
Dengeleme	Tek noktaya dayalı zorlamasız dengeleme
Uydu yükseklik açısı	10°
Epok aralığı	30 saniye
Toplam oturum (ölçüm) süresi	4 saat
GNSS Sistemi	GPS
Yörünge bilgileri	IGS duyarlı efemeris
İyonosfer veri kombinasyonu	L1, L2 lineer kombinasyon
Faz başlangıç belirsizliği çözümü	Tüm fazlar fix
GNSS ve uydu anten faz merkezi değişim dosyası	IGS08.atx
Troposferik model	Hopfield
İyonosferik model	Otomatik

Statik oturum ölçümlerinde GPS ve GLONASS sistemleri kullanılmıştır. Ölçüm verilerinin dengelenmesi ise sadece GPS verileri ve GPS + GLONASS verileri kullanılarak iki şekilde yapılmıştır. Sonuçlar karşılaştırılmış ve koordinat bileşen farklarının kısa bazlarda çoğunlukla sıfır, uzun bazlarda (20. Km ve üzeri) genellikle sıfır ve sıfıra yakın değerler, uzun bazlara ait bazı koordinat bileşen farklarının ise 1 mm'nin altında ve civarında olması sebebiyle sadece GPS sisteminden elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Bu yöntem ile aynı zamanda GLONASS sisteminin CORS-TR ölçmelerinde ki yalın etkisini ortaya çıkarmak hedeflenmiştir. Statik oturum verilerinin dengelenmesi sonucunda, GNSS alıcı cihazı kurulan tüm noktaların 3 boyutlu koordinat eksenleri yönündeki standart sapma değerleri Çizelge 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3. 12. Tüm ölçüm noktalarının 3 boyutlu koordinat eksenleri yönündeki standart sapma değerleri (mm)

Baz Mesafesi	Nokta No	Sağa Standart Sapma	Yukarı Standart Sapma	Elipsoidal Yük. Standart Sapma	Baz Mesafesi	Sağa Standart Sapma	Yukarı Standart Sapma	Elipsoidal Yük. Standart Sapma
KAMN 5. KM	1.Cihaz	1.6	1.7	4.0	KAMN 55. KM	3.3	3.5	8.0
	2. Cihaz	1.6	1.8	4.1		4.4	4.7	10.8
	3. Cihaz	1.6	1.7	4.0		3.5	3.7	8.5
	4. Cihaz	1.7	1.8	4.1		3.2	3.5	7.9
	5. Cihaz	1.7	1.8	4.2		3.3	3.6	8.2
	6. Cihaz	1.6	1.8	4.1		3.3	3.5	8.1
KAMN 10. KM	1.Cihaz	1.9	2.1	4.8	CIHA 20. KM	3.2	3.7	8.2
	2. Cihaz	2.0	2.1	4.9		3.0	3.6	7.8
	3. Cihaz	2.0	2.1	4.9		3.5	4.2	8.5
	4. Cihaz	2.0	2.2	4.9		4.3	5.2	11.1
	5. Cihaz	2.0	2.2	4.9		3.1	3.7	8.1
	6. Cihaz	2.0	2.1	4.9		2.9	3.5	7.7
KAMN 20. KM	1.Cihaz	3.4	3.6	8.3	AKSR 43. KM	2.8	3.2	7.2
	2. Cihaz	3.4	3.7	8.5		3.0	3.3	7.5
	3. Cihaz	3.3	3.6	8.3		2.7	3.0	6.9
	4. Cihaz	3.4	3.7	8.5		3.0	3.4	7.6
	5. Cihaz	3.6	3.9	9.0		3.0	3.4	7.7
	6. Cihaz	3.6	3.8	8.9		3.0	3.3	7.5
KAMN 40. KM	1.Cihaz	3.1	3.4	7.8				
	2. Cihaz	3.2	3.4	7.9				
	3. Cihaz	3.2	3.5	7.9				
	4. Cihaz	3.4	3.7	8.5				
	5. Cihaz	3.2	3.5	8.0				
	6. Cihaz	3.3	3.6	8.2				

3.2.3. Uyuşumsuz ölçüler testi

Ölçüm yapılan her istasyon noktasında (7 nokta) GNSS alıcı cihazı kurulan toplam altı adet noktada yapılan Ağ Bazlı RTK teknikleri ile elde edilen ölçü setlerinde (7 istasyonda ve her bir istasyonda 6 adet GNSS alıcı cihazı ile uydu yükseklik açısı 10° ve 30° olmak üzere toplam 84 ölçü seti) kaba hatalı veya uyuşumsuz ölçülerin belirlenebilmesi için uyuşumsuz ölçüler testi yapılmıştır. Genellikle çoğu jeodezik uygulamalarda ve bilimsel çalışmalarda ± 10 cm ve üstü hatalar uyuşumsuz ölçü olarak kabul edilmektedir. Özellikle RTK uygulamalarında cm ve dm altı doğruluklar genellikle nominal doğruluk sınırları içinde kaldığından ± 10 cm, uyuşumsuz ölçüler için eşik değer olarak kabul edilmiştir (Öğütücü ve Kalaycı, 2018; Geng ve Shi, 2017; Öğütücü, 2017; Geng vd., 2010). Ölçüm noktaların doğru koordinatları ile Ağ Bazlı RTK teknikleri ile elde edilen koordinatlarının, koordinat bileşenlerinin (sağa değer, yukarı değer ve elipsoidal yükseklik) farkları alınmıştır. Her bir koordinat bileşeni için ± 10 cm'den büyük değerlerin uyuşumsuz kabul edilmesi yöntemi uygulanarak ölçü gurubundan atılmıştır. Tüm ölçü gurubu (toplam 308.908 epok ölçü) içerisinde test sonucunda sadece 2.789 adet ölçünün uyuşumsuz olduğu görülmüştür. Uyuşumsuz ölçüler atıldıktan sonra kalan doğru ölçüler (306.119 epok ölçü) ile analizlere devam edilmiştir. Uyuşumsuz ölçüler testi sonucunda;

- Uyuşumsuz ölçülerin toplam ölçülere oranının % 0,90 olduğu (Çizelge 3.13),
- Uyuşumsuz ölçüler ile Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında bir ilişki olduğu ve en fazla uyuşumsuz ölçülerin sırasıyla MAC, FKP ve VRS tekniklerinde olduğu (Çizelge 3.14, Şekil 3.29),
- Uyuşumsuz ölçülerin baz mesafesi ile aralarında doğru orantı olduğu baz mesafesi arttıkça uyuşumsuz ölçülerinde arttığı (Çizelge 3.15, Şekil 3.30),
- Uyuşumsuz ölçülerin, Ağ Bazlı RTK ölçümlerinin yapıldığı 10° ve 30°'lik uydu yükseklik açılarına göre sınıflandırmasında toplam 2.789 adet uyuşumsuz ölçünün 1.592'sinin (oran % 57,08) 10°'lik ölçümlere ait olduğu ve 1.197'sinin (oran % 42,92) ise 30°'lik ölçümlere ait olduğu (Çizelge 3.16, Şekil 3.31),
- Sadece GPS ile yapılan ölçümlere ait ölçüm grubundaki uyuşumsuz ölçülerin sayısı 1.104 (toplam 136.640 epok ölçü, toplam GPS ölçümlerine oran % 0,81 ve tüm uyuşumsuz ölçülere oranı % 39,58) iken GPS + GLONASS ile yapılan ölçümlere ait ölçüm grubundaki uyuşumsuz ölçülerin sayısının 1.685 (toplam 172.268 epok ölçü, toplam GPS + GLONASS ölçümlerine oran % 0,98 ve tüm uyuşumsuz ölçülere oranı % 60,42) olduğu (Çizelge 3.17, Şekil 3.32) görülmüştür.

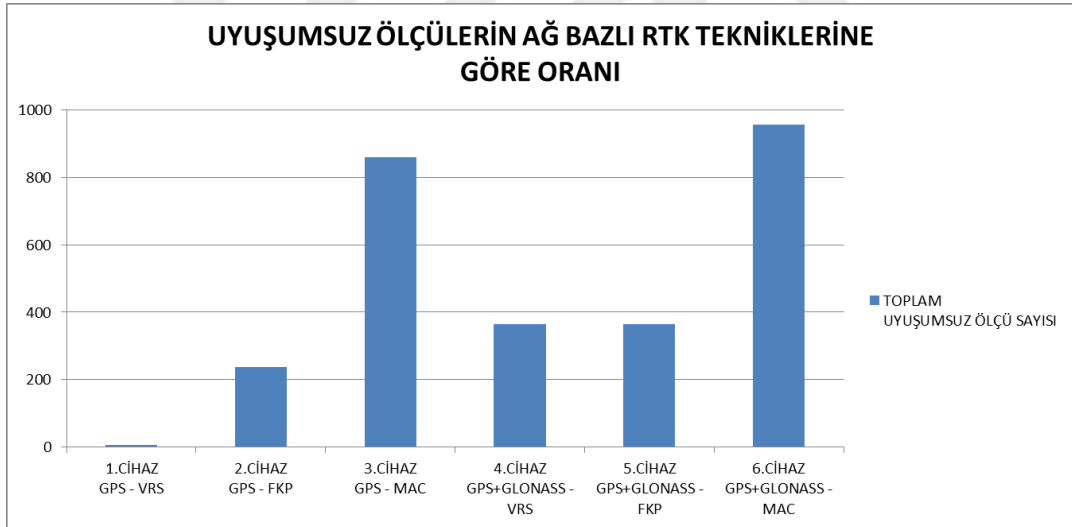
Çizelge 3.13'de toplam ölçü sayıları, uyuşumsuz ölçüler, bu ölçülerin hangi koordinat bileşeninde bulunduğu ve uyuşumsuz ölçüler atıldıktan sonra kalan ölçü sayıları, Çizelge 3.14 ve Şekil 3.29'da uyuşumsuz ölçülerin Ağ Bazlı RTK tekniklerine göre oranı, Çizelge 3.15 ve Şekil 3.30'da uyuşumsuz ölçülerin baz mesafelerine göre oranı, Çizelge 3.16 ve Şekil 3.31'de uyuşumsuz ölçülerin uydu yükseklik açılarına göre oranı ve Çizelge 3.17 ve Şekil 3.32'de uyuşumsuz ölçülerin GNSS sistemlerine göre oranı gösterilmiştir.

Çizelge 3. 13. Ölçüm yapılan istasyonların Ağ Bazlı RTK teknikleri ile yapılan toplam ölçü sayıları, uyuşumsuz ölçüler ve uyuşumsuz ölçüler atıldıktan sonra kalan ölçüler

Veri (Epok) Analizi: 1 saniye Ölçüm Süresi: 2 saat	İSTASYONLARIN AĞ BAZLI RTK ÖLÇÜMSAYILARI, UYUŞMUSUZ ÖLÇÜLER VE KALAN ÖLÇÜ SAYILARI																TOPLAM UYUŞMUSUZ ÖLÇÜ SAYISI	TOPLAM UYUŞMUSUZ ÖLÇÜ SAYISI	UY. GENEL ÖLÇÜLER İN ORANI
	KARAMAN - BEYŞEHİR CORS İSTASYONLARI ARASI ÖLÇÜM NOKTALARI								ÇİHANBEYLİ - AKSARAY CORS İSTASYONLARI ARASI KONTROL ÖLÇÜM NOKTALARI										
	1. KAMIN 5.KM Ağ RTK 10° Ağ RTK 30°	2. KAMIN 10.KM Ağ RTK 10° Ağ RTK 30°	3. KAMIN 20.KM Ağ RTK 10° Ağ RTK 30°	4. KAMIN 40.KM Ağ RTK 10° Ağ RTK 30°	5. KAMIN 55.KM Ağ RTK 10° Ağ RTK 30°	6. ÇİHA 20.KM Ağ RTK 10° Ağ RTK 30°	7. AKSR 43.KM Ağ RTK 10° Ağ RTK 30°		1. AKSR 43.KM Ağ RTK 10° Ağ RTK 30°	2. AKSR 43.KM Ağ RTK 10° Ağ RTK 30°	3. AKSR 43.KM Ağ RTK 10° Ağ RTK 30°	4. AKSR 43.KM Ağ RTK 10° Ağ RTK 30°	5. AKSR 43.KM Ağ RTK 10° Ağ RTK 30°	6. AKSR 43.KM Ağ RTK 10° Ağ RTK 30°	7. AKSR 43.KM Ağ RTK 10° Ağ RTK 30°				
1.ÇİHAZ GPS - VRS	4185	2327	4183	2372	4175	2015	4206	2028-2 2026	4199	2334-1 2333	4115	3175	4197-4 4193	1981	45485	7	45492	0.02%	
2.ÇİHAZ GPS - FRP	4175	2259	4215	2392	4192	2023	4041-10 4031	1990-22 1968	4203-190 4013	2439	3850-14 3836	3207-1 3206	4207	1964	44920	237	45157	0.52%	
3.ÇİHAZ GPS - MAC	3341-249 392	2026	4454	2471	4417	2077	4089	1490-608 882	4439	2463-2 2461	4436	3712-1 3711	4459	2117	45131	860	45991	1.87%	
4.ÇİHAZ GPS+GLONASS - VRS	4162	4027-2 4025	4181	3767	4475	4174	4184	4053-1 4052	4206	3973-35 3938	4240	3045	4215-296 3919	4050-30 4020	56388	364	56752	0.64%	
5.ÇİHAZ GPS+GLONASS - FRP	4201	4063	4136	4190	4198	4176	4173	4027	4172	3960	4019	4148	4195-364 3831	4192	57486	364	57850	0.63%	
6.ÇİHAZ GPS+GLONASS - MAC	4450	4055	4112-2 4110	4121	4140-1 4139	4162-455 3707	4170	3540	4163-460 3703	4055-2 4053	4184	4167	4178-2 4176	4169-35 4134	56709	957	57666	1.66%	
TOPLAM	24265	18755	25279	19313	25596	18172	24853	16495	24732	19184	24830	21452	24785	18408	306119	2789	308908	0.90%	
UYUŞMUSUZ ÖLÇÜLER																			
GENEL TOPLAM	24514	18757	25281	19313	25597	18627	24863	17128	25382	19224	24844	21454	25451	18473	308908				
UYUŞMUSUZ ÖLÇÜLERİN ORANI	1.02%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	2.44%	0.04%	3.70%	2.56%	0.21%	0.06%	0.01%	2.62%	0.35%	0.90%				
UYUŞMUSUZ ÖLÇÜLE RİN TOPLAMI																			
KİMLİK BAZINDA TOPLAM ÖLÇÜ SAYISI	43271	44594			44224		41991		44606		46298		43924		308908				
KİMLİK BAZINDA UYUŞMUSUZ ÖLÇÜLERİN ORANI	0.58%	0.00%			1.03%		1.53%		1.55%		0.03%		1.66%		0.90%				

Çizelge 3. 14. Uyuşumsuz ölçülerin Ağ Bazlı RTK tekniklerine göre oranı

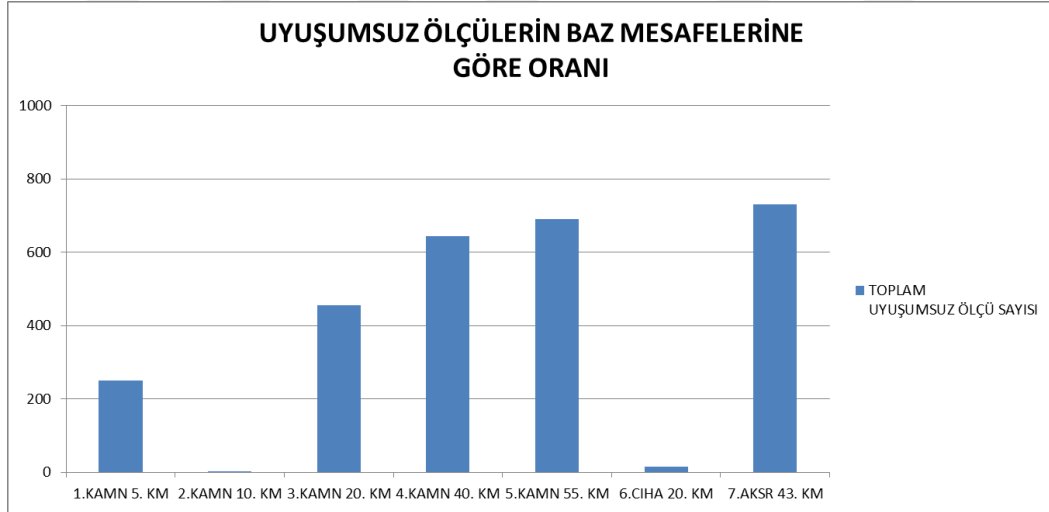
UYUŞUMSUZ ÖLÇÜLERİN AĞ BAZLI RTK TEKNİKLERİNE GÖRE ORANI			
TEKNİKLER	TOPLAM UYUŞUMSUZ ÖLÇÜ SAYISI	GENEL TOPLAM	UY. ÖLÇÜLERİN ORANI
1.CİHAZ GPS - VRS	7	45492	0.02%
2.CİHAZ GPS - FKP	237	45157	0.52%
3.CİHAZ GPS - MAC	860	45991	1.87%
4.CİHAZ GPS+GLONASS - VRS	364	56752	0.64%
5.CİHAZ GPS+GLONASS - FKP	364	57850	0.63%
6.CİHAZ GPS+GLONASS - MAC	957	57666	1.66%
TOPLAM	2789	308908	0.90%



Şekil 3. 29. Uyuşumsuz ölçülerin Ağ Bazlı RTK tekniklerine göre oranı

Çizelge 3. 15. Uyuşumsuz ölçülerin baz mesafelerine göre oranı

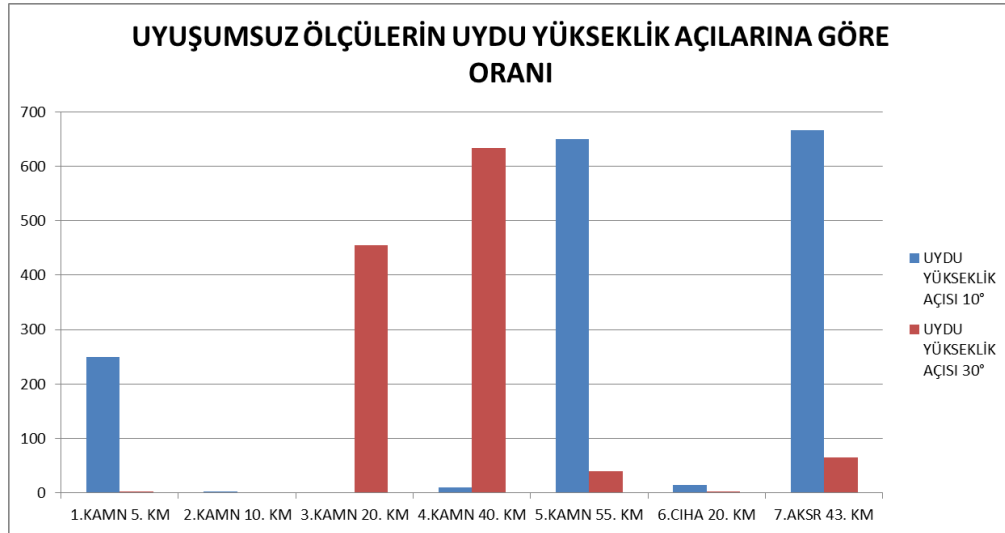
UYUŞUMSUZ ÖLÇÜLERİN BAZ MESAFELERİNE GÖRE ORANI			
BAZ MESAFELERİ	TOPLAM UYUŞUMSUZ ÖLÇÜ SAYISI	GENEL TOPLAM	UY. ÖLÇÜLERİN ORANI
1.KAMN 5. KM	251	43271	0.58%
2.KAMN 10. KM	2	44594	0.00%
3.KAMN 20. KM	456	44224	1.03%
4.KAMN 40. KM	643	41991	1.53%
5.KAMN 55. KM	690	44606	1.55%
6.CIHA 20. KM	16	46928	0.03%
7.AKSR 43. KM	731	43924	1.66%
TOPLAM	2789	308908	0.90%



Şekil 3. 30. Uyuşumsuz ölçülerin baz mesafelerine göre oranı

Çizelge 3. 16. Uyuşumsuz ölçülerin uydu yükseklik açılarına göre oranı

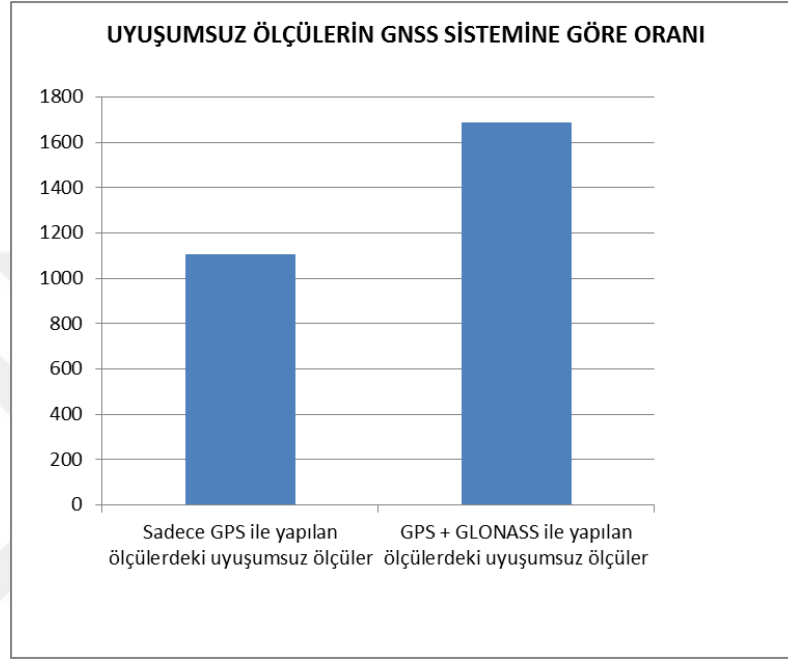
UYUŞUMSUZ ÖLÇÜLERİN UYDU YÜKSEK AÇILARINA GÖRE ORANI			
BAZ MESAFELERİ	UYDU YÜKSEKLİK AÇISI 10°	UYDU YÜKSEKLİK AÇISI 30°	TOPLAM
1.KAMN 5. KM	249	2	251
2.KAMN 10. KM	2	0	2
3.KAMN 20. KM	1	455	456
4.KAMN 40. KM	10	633	643
5.KAMN 55. KM	650	40	690
6.CIHA 20. KM	14	2	16
7.AKSR 43. KM	666	65	731
TOPLAM	1592	1197	2789
ORAN	57.08%	42.92%	



Şekil 3. 31. Uyuşumsuz ölçülerin uydu yükseklik açılarına göre oranı

Çizelge 3. 17. Uyuşumsuz ölçülerin GNSS sistemine göre oranı

GNSS SİSTEMİ	UYUŞUMSUZ ÖLÇÜ SAYISI	Σ ÖLÇÜ	ORAN	TOPLAM UYUŞ. ÖLÇÜLERE ORANI
Sadece GPS ile yapılan ölçülerdeki uyumsuz ölçüler	1104	136640	0.81%	0.36%
GPS + GLONASS ile yapılan ölçülerdeki uyumsuz ölçüler	1685	172268	0.98%	0.55%
TOPLAM	2789	308908	0.90%	0.90%



Şekil 3. 32. Uyuşumsuz ölçülerin GNSS sistemine göre oranı

3.2.4. Doğruluk ve prezisyon değerlerinin hesaplanması

3.2.4.1. Doğruluk değerleri (karesel ortalama hata, rms: root mean square)

Ölçüm yapılan 5 nokta ve 2 adet kontrol noktaları için doğruluk değerleri (karesel ortalama hata, rms) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 3.18'de gösterilmiştir (Öğütçü, 2017; Navidi, 2011; Çelebi, 2007).

$$sağa_{rms} = \sqrt{\sum (sağa_{hata}^2) / n} \quad (3.36)$$

$$yukarı_{rms} = \sqrt{\sum (yukarı_{hata}^2) / n} \quad (3.37)$$

$$yatay_{rms} = \sqrt{sağa_{rms}^2 + yukarı_{rms}^2} \quad (3.38)$$

$$elipsoidal_{rms} = \sqrt{\sum (elipsoidal_{hata}^2) / n} \quad (3.39)$$

Yukarıda, $sağa_{hata}$, $yukarı_{hata}$ ve $elipsoidal_{hata}$ Ağ Bazlı RTK tekniklerinden alınan koordinat bileşenleri ile bu koordinat bileşenlerinin statik oturum sonucu bulunan

doğru koordinatları arasındaki farklardır, n ise ölçü sayısıdır. Rms değerleri, uyuşumsuz ölçüler atıldıktan sonra hesaplanmıştır.

3.2.4.2. Prezisyon değerleri (standart sapma, hassasiyet)

Ölçüm yapılan 5 nokta ve 2 adet kontrol noktaları için prezisyon değerleri (standart sapma) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 3.18’de gösterilmiştir (Öğütçü, 2017; Navidi, 2011; Çelebi, 2007).

$$sağa_{ortalama} = \sum(sağa) / n \quad (3.40)$$

$$yukarı_{ortalama} = \sum(yukarı) / n \quad (3.41)$$

$$elipsoidal_{ortalama} = \sum(elipsoidal) / n \quad (3.42)$$

$$sağa_{s\ tan\ dart_sapma} = \sqrt{\sum(sağa_{fark}^2) / (n-1)} \quad (3.43)$$

$$yukarı_{s\ tan\ dart_sapma} = \sqrt{\sum(yukarı_{fark}^2) / (n-1)} \quad (3.44)$$

$$yatay_{s\ tan\ dart_sapma} = \sqrt{sağa_{s\ tan\ dart_sapma}^2 + yukarı_{s\ tan\ dart_sapma}^2} \quad (3.45)$$

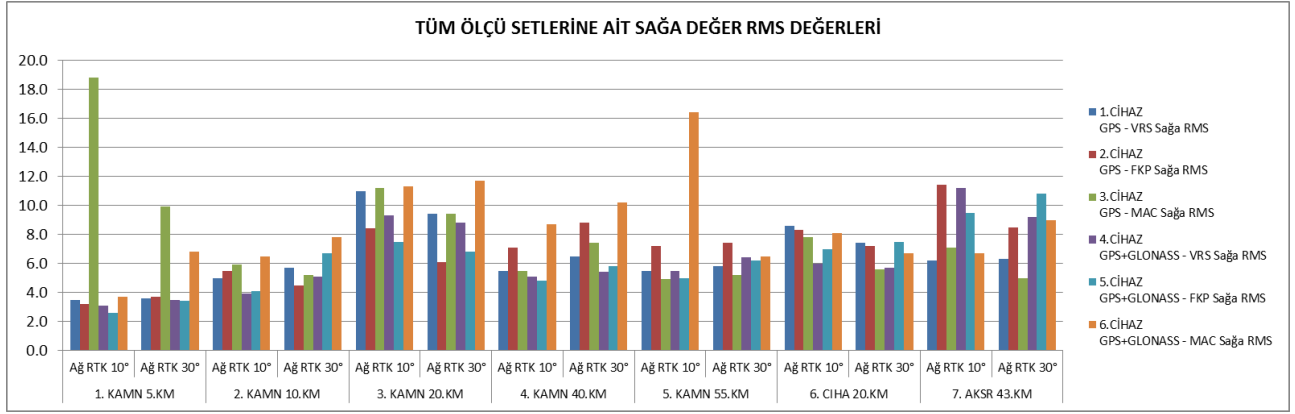
$$elipsoidal_{s\ tan\ dart_sapma} = \sqrt{\sum(elipsoidal_{fark}^2) / (n-1)} \quad (3.46)$$

Yukarıda, $sağa_{ortalama}$, $yukarı_{ortalama}$ ve $elipsoidal_{ortalama}$ Ağ Bazlı RTK tekniklerinden alınan sağa değer, yukarı değer ve elipsoidal yükseklik değerlerinin uyuşumsuz ölçüler atıldıktan sonraki ortalama değerleridir. $sağa_{fark}$, $yukarı_{fark}$ ve $elipsoidal_{fark}$, sağa değer, yukarı değer ve elipsoidal yükseklik değerlerin bu değerlerin ortalamalarından olan farklarıdır, n ise ölçü sayısıdır.

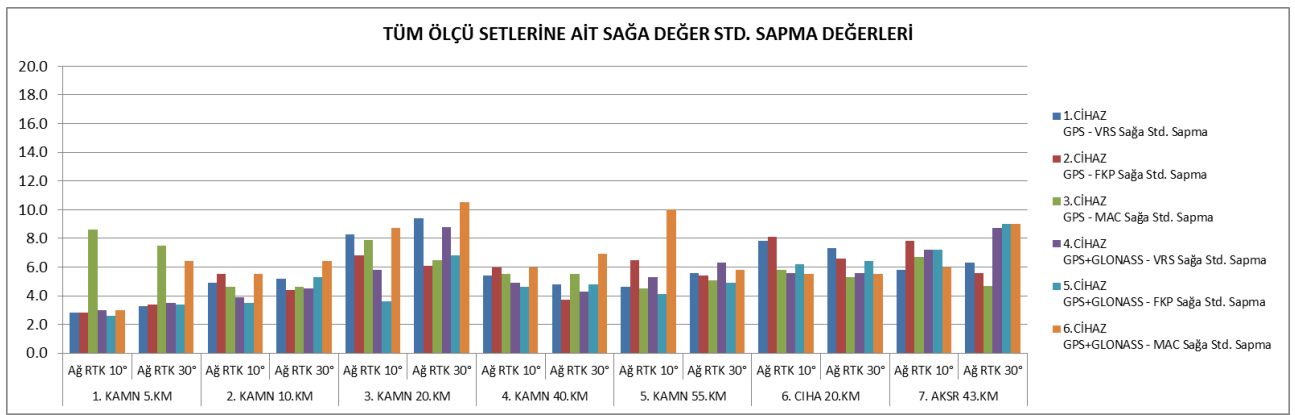
Çizelge 3. 18. İstasyonların rms ve standart sapma değerleri (mm)

İSTASYONLARIN RMS VE STANDART SAPMA DEĞERLERİ															
TEKNİKLER	RMS ve Std. Sapma Değerleri	KARAMAN - BEYŞEHİR CORS İSTASYONLARI ARASI ÖLÇÜM NOKTALARI										ÇİHANBEYLİ - AKSARAY CORS İSTASYONLARI ARASI KONTROL ÖLÇÜM NOKTALARI			
		1. KAMN 5.KM		2. KAMN 10.KM		3. KAMN 20.KM		4. KAMN 40.KM		5. KAMN 55.KM		6. CİHA 20.KM		7. AKSR 43.KM	
		Ağ RTK 10°	Ağ RTK 30°	Ağ RTK 10°	Ağ RTK 30°	Ağ RTK 10°	Ağ RTK 30°	Ağ RTK 10°	Ağ RTK 30°	Ağ RTK 10°	Ağ RTK 30°	Ağ RTK 10°	Ağ RTK 30°	Ağ RTK 10°	Ağ RTK 30°
1.ÇİHAZ GPS - VRS	Sağa RMS	3.5	3.6	5.0	5.7	11.0	9.4	5.5	6.5	5.5	5.8	8.6	7.4	6.2	6.3
	Yukarı RMS	6.9	8.4	6.5	8.0	7.5	13.4	6.5	6.7	12.0	10.4	7.1	7.4	9.7	10.6
	Yatay RMS	7.8	9.1	8.2	9.8	13.3	16.3	8.5	9.3	13.2	12.0	11.2	10.5	11.5	12.4
	Elip. Yük. RMS	11.0	16.8	35.2	20.2	20.6	26.8	50.7	56.1	31.2	60.3	22.8	21.2	23.9	23.9
	Sağa Std. Sapma	2.8	3.3	4.9	5.2	8.3	9.4	5.4	4.8	4.6	5.6	7.8	7.3	5.8	6.3
	Yukarı Std. Sapma	4.3	6.1	6.2	7.8	7.4	10.4	6.3	6.4	8.8	8.4	7.1	6.8	9.6	10.4
	Yatay Std. Sapma	5.2	7.0	8.0	9.4	11.1	14.0	8.3	8.0	9.9	10.1	10.5	10.0	11.2	12.1
2.ÇİHAZ GPS - FKP	Elip. Yük. Std. Sapma	8.4	11.6	12.5	14.1	19.8	26.8	18.6	19.2	17.4	14.9	12.7	18.4	21.9	18.0
	Sağa RMS	3.2	3.7	5.5	4.5	8.4	6.1	7.1	8.8	7.2	7.4	8.3	7.2	11.4	8.5
	Yukarı RMS	7.3	7.3	6.3	7.1	12.2	13.2	11.5	6.0	10.3	13.3	10.7	8.5	13.3	8.9
	Yatay RMS	8.0	8.2	8.4	8.4	14.8	14.6	13.6	10.6	12.6	15.2	13.6	11.1	17.5	12.3
	Elip. Yük. RMS	10.3	18.0	23.5	15.1	19.3	24.0	50.8	65.2	51.4	48.3	52.7	47.6	17.9	25.7
	Sağa Std. Sapma	2.8	3.4	5.5	4.4	6.8	6.1	6.0	3.7	6.5	5.4	8.1	6.6	7.8	5.6
	Yukarı Std. Sapma	4.4	5.4	6.1	6.9	10.8	7.4	10.3	5.4	7.4	7.0	9.1	6.9	12.6	8.8
3.ÇİHAZ GPS - MAC	Yatay Std. Sapma	5.2	6.4	8.2	12.8	9.6	11.9	6.6	9.8	8.9	12.2	9.6	14.8	10.5	10.5
	Elip. Yük. Std. Sapma	9.3	12.9	9.6	14.2	18.5	21.2	21.2	13.4	21.7	11.3	17.3	15.3	17.7	18.5
	Sağa RMS	18.8	9.9	5.9	5.2	11.2	9.4	5.5	7.4	4.9	5.2	7.8	5.6	7.1	5.0
	Yukarı RMS	26.8	10.9	7.1	9.0	7.0	6.3	6.4	6.4	9.5	7.8	7.1	9.1	13.8	10.7
	Yatay RMS	32.8	14.7	9.3	10.4	13.2	11.3	8.5	9.8	10.7	9.3	10.6	10.7	15.5	11.8
	Elip. Yük. RMS	44.5	23.1	33.5	16.8	25.8	21.8	47.2	44.3	31.6	56.6	18.7	54.1	43.8	36.5
	Sağa Std. Sapma	8.6	7.5	4.6	4.6	7.9	6.5	5.5	5.5	4.5	5.1	5.8	5.3	6.7	4.7
4.ÇİHAZ GPS+GLONASS - VRS	Yukarı Std. Sapma	19.1	10.9	6.9	8.6	7.0	7.0	6.4	5.4	6.9	6.0	6.2	6.7	9.7	6.8
	Yatay Std. Sapma	20.9	13.2	8.3	9.8	10.6	9.5	8.5	7.7	8.2	7.8	8.5	8.5	11.8	8.3
	Elip. Yük. Std. Sapma	44.5	15.9	14.4	13.4	18.3	19.8	14.2	13.9	16.6	13.2	15.0	16.6	19.4	13.1
	Sağa RMS	3.1	3.5	3.9	5.1	9.3	8.8	5.1	5.4	5.5	6.4	6.0	5.7	11.2	9.2
	Yukarı RMS	5.6	8.8	7.7	5.2	11.0	6.3	5.4	7.3	6.6	8.8	8.3	6.3	48.2	8.0
	Yatay RMS	6.4	9.5	8.6	7.3	14.4	10.9	7.5	9.1	8.6	10.8	10.2	8.5	49.5	12.2
	Elip. Yük. RMS	8.1	18.3	27.2	22.8	18.7	24.8	52.0	54.9	29.7	51.8	25.2	23.5	65.3	38.8
5.ÇİHAZ GPS+GLONASS - FKP	Sağa Std. Sapma	3.0	3.5	3.9	4.5	5.8	8.8	4.9	4.3	5.3	6.3	5.6	5.6	7.2	8.7
	Yukarı Std. Sapma	3.8	4.4	6.8	5.2	7.1	6.3	5.4	7.3	5.3	6.7	5.5	5.7	22.8	7.4
	Yatay Std. Sapma	4.8	5.7	7.8	6.9	9.2	10.8	7.3	8.5	7.5	9.2	7.9	8.0	24.0	11.4
	Elip. Yük. Std. Sapma	7.5	16.6	9.4	18.4	17.9	24.7	13.8	14.8	11.9	15.4	8.7	16.4	36.4	21.4
	Sağa RMS	2.6	3.4	4.1	6.7	7.5	6.8	4.8	5.8	5.0	6.2	7.0	7.5	9.5	10.8
	Yukarı RMS	5.7	9.0	5.6	5.4	7.3	7.0	8.0	5.3	8.1	8.2	8.5	6.8	55.9	8.3
	Yatay RMS	6.3	9.6	6.9	8.6	10.4	9.8	9.4	7.8	9.5	10.3	11.0	10.1	56.7	13.6
6.ÇİHAZ GPS+GLONASS - MAC	Elip. Yük. RMS	8.0	17.7	18.2	21.0	15.1	21.0	49.8	54.5	30.8	50.6	31.0	35.8	69.0	29.0
	Sağa Std. Sapma	2.6	3.4	3.5	5.3	3.6	6.8	4.6	4.8	4.1	4.9	6.2	6.4	7.2	9.0
	Yukarı Std. Sapma	3.6	4.3	5.1	5.1	5.5	6.2	6.6	4.8	5.8	6.8	4.2	6.4	10.5	6.2
	Yatay Std. Sapma	4.4	5.5	6.2	7.3	6.6	9.2	8.1	6.8	7.1	8.4	7.5	9.0	12.7	10.9
	Elip. Yük. Std. Sapma	7.7	15.8	7.3	18.8	14.2	20.6	11.7	12.7	14.2	14.7	9.6	19.4	21.0	20.5
	Sağa RMS	3.7	6.8	6.5	7.8	11.3	11.7	8.7	10.2	16.4	6.5	8.1	6.7	6.7	9.0
	Yukarı RMS	8.6	15.3	12.9	5.8	13.1	8.1	11.1	8.0	15.4	7.8	6.3	6.3	17.9	7.5
7.ÇİHAZ GPS+GLONASS - FKP	Yatay RMS	9.3	16.8	14.4	9.7	17.3	14.2	14.1	12.9	22.5	10.2	10.3	9.2	19.1	11.7
	Elip. Yük. RMS	12.1	42.3	61.8	37.5	31.4	48.8	59.7	30.4	69.2	55.1	25.8	22.5	25.3	39.5
	Sağa Std. Sapma	3.0	6.4	5.5	6.4	8.7	10.5	6.0	6.9	10.0	5.8	5.5	5.5	6.0	9.0
	Yukarı Std. Sapma	3.5	10.1	12.1	5.7	12.0	8.1	11.1	7.8	9.7	6.2	5.6	6.3	6.5	7.1
	Yatay Std. Sapma	4.7	12.0	13.3	8.5	14.8	13.3	12.6	10.4	13.9	8.5	7.8	8.4	8.9	11.4
	Elip. Yük. Std. Sapma	10.2	25.1	20.9	19.7	30.5	40.9	21.3	13.3	17.4	16.8	9.6	17.2	21.7	25.0
	Sağa RMS	3.7	6.8	6.5	7.8	11.3	11.7	8.7	10.2	16.4	6.5	8.1	6.7	6.7	9.0

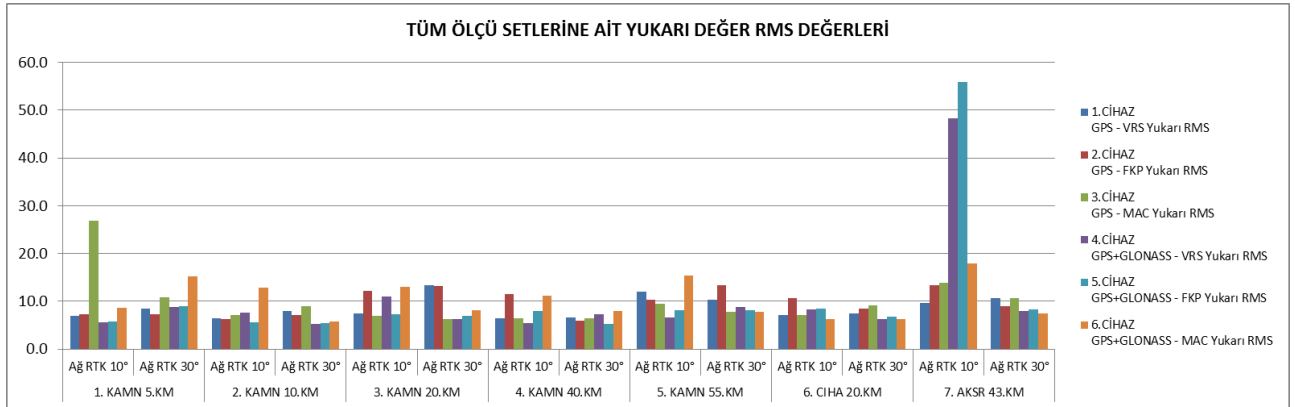
Ayrıca Ağ Bazlı RTK tekniklerinin rms ve standart sapma değerleri tüm ölçüm setleri, baz mesafeleri ve Ağ Bazlı RTK teknikleri bazında aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



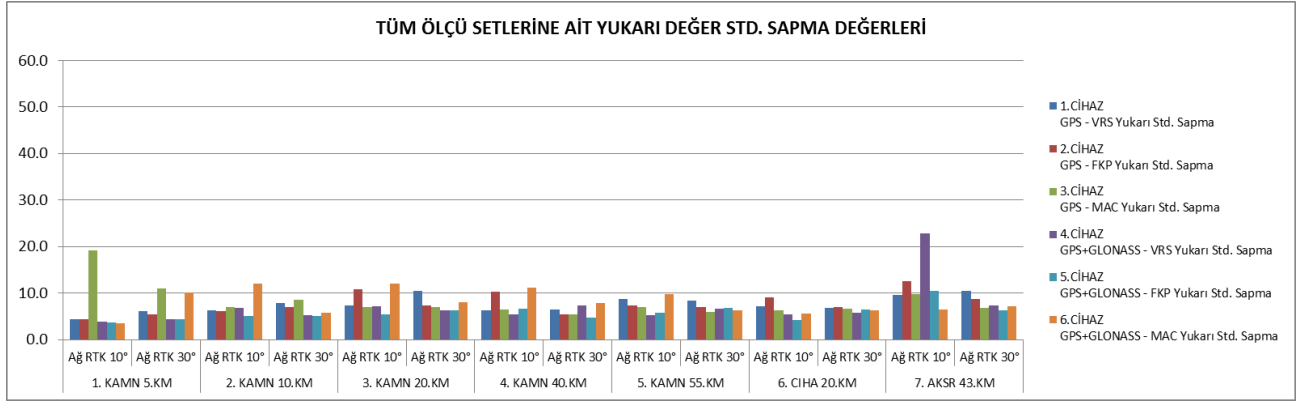
Şekil 3. 33. Tüm ölçü setlerine ait sağa değer rms değerleri (mm)



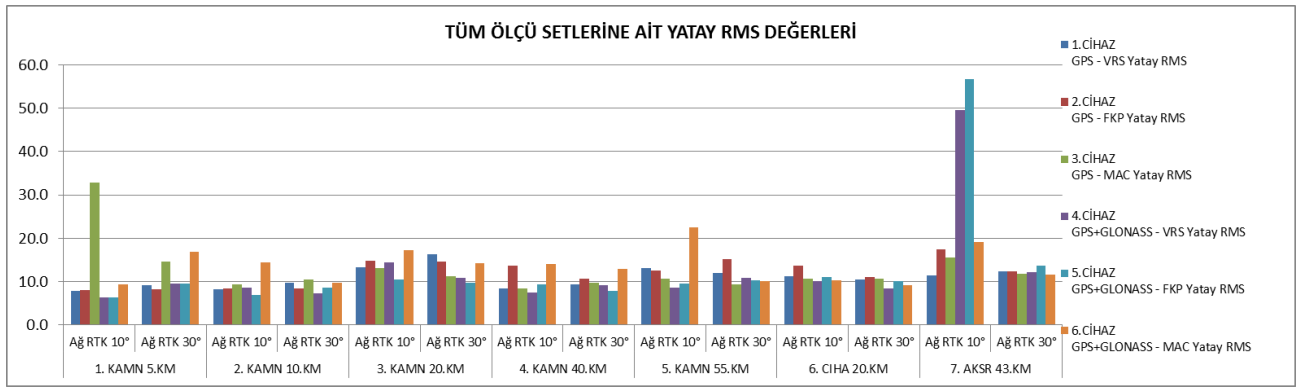
Şekil 3. 34. Tüm ölçü setlerine ait sağa değer standart sapma değerleri (mm)



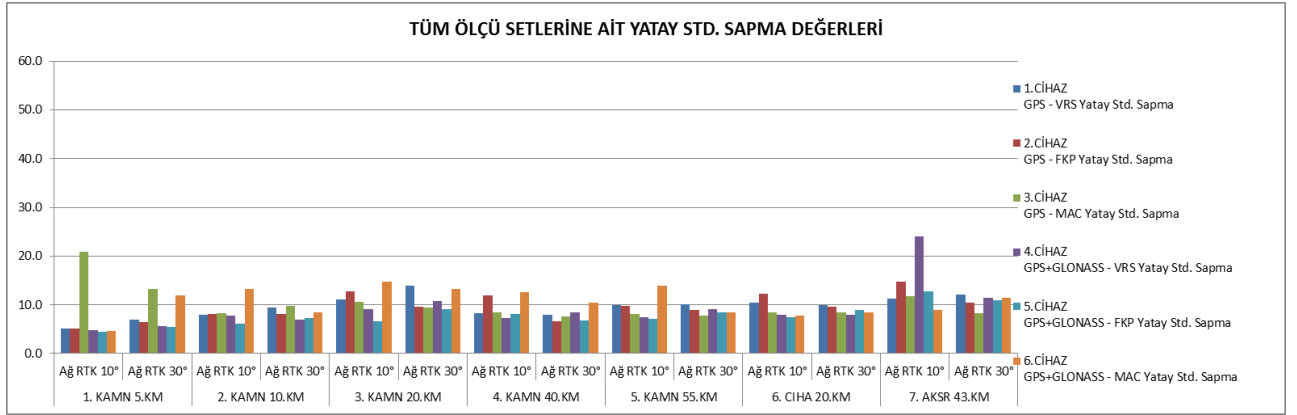
Şekil 3. 35. Tüm ölçü setlerine ait yukarı değer rms değerleri (mm)



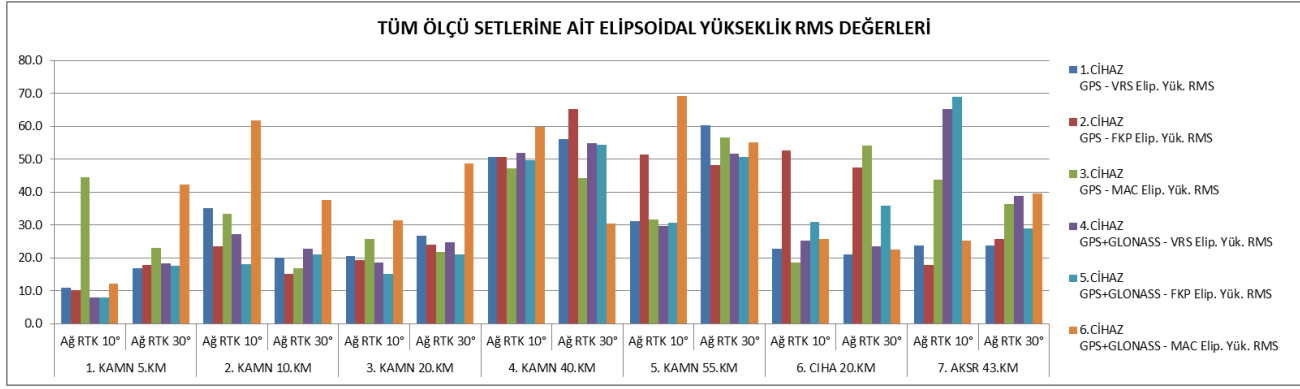
Şekil 3. 36. Tüm ölçü setlerine ait yukarı değer standart sapma değerleri (mm)



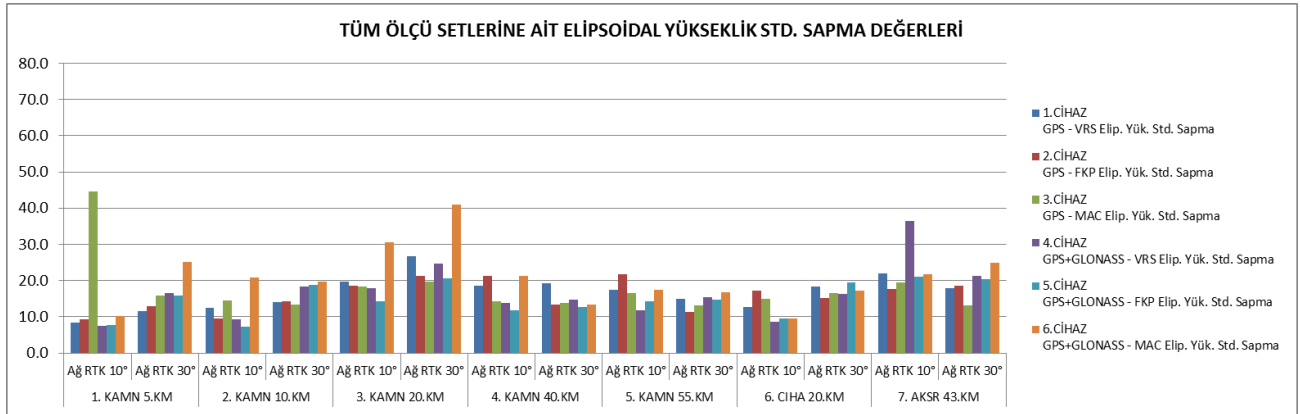
Şekil 3. 37. Tüm ölçü setlerine ait yatay rms değerleri (mm)



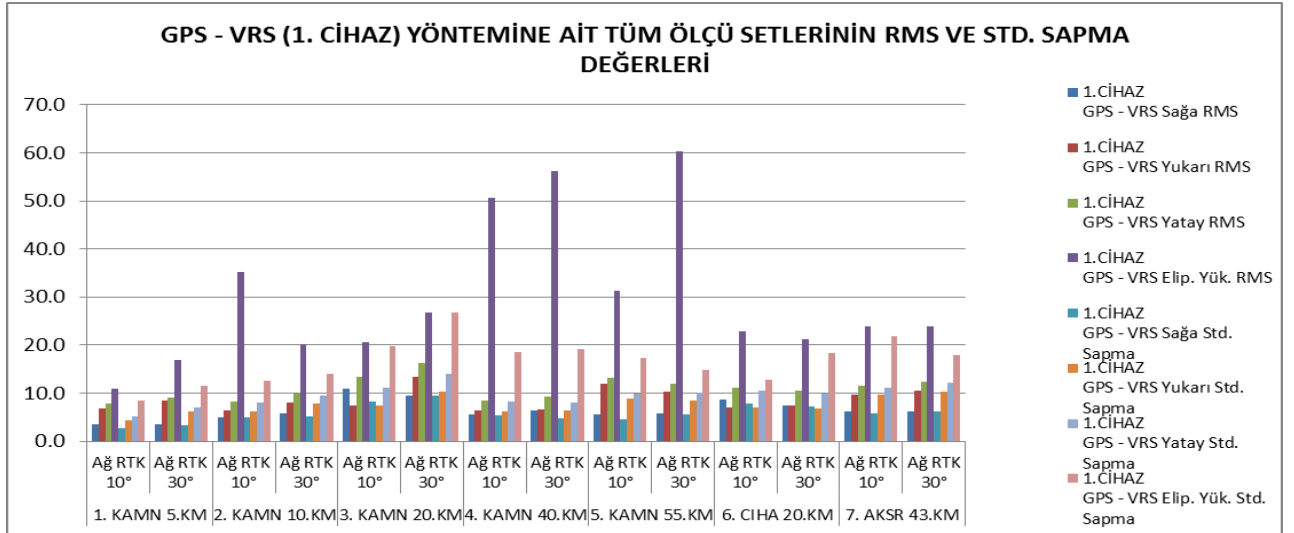
Şekil 3. 38. Tüm ölçü setlerine ait yatay standart sapma değerleri (mm)



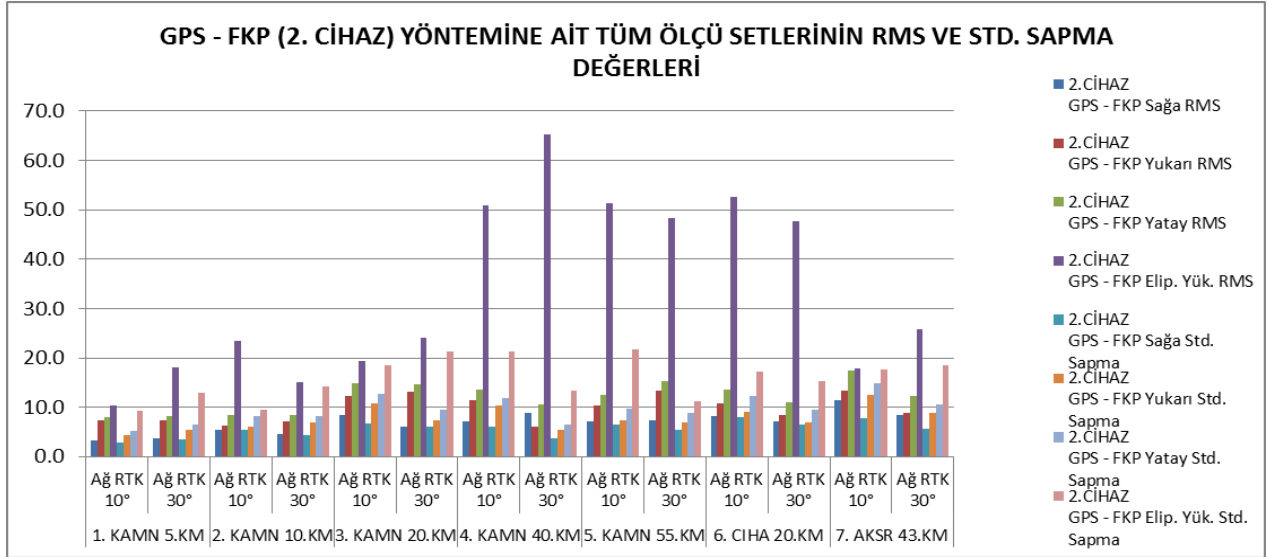
Şekil 3. 39. Tüm ölçü setlerine ait elipsoidal yükseklik rms değerleri (mm)



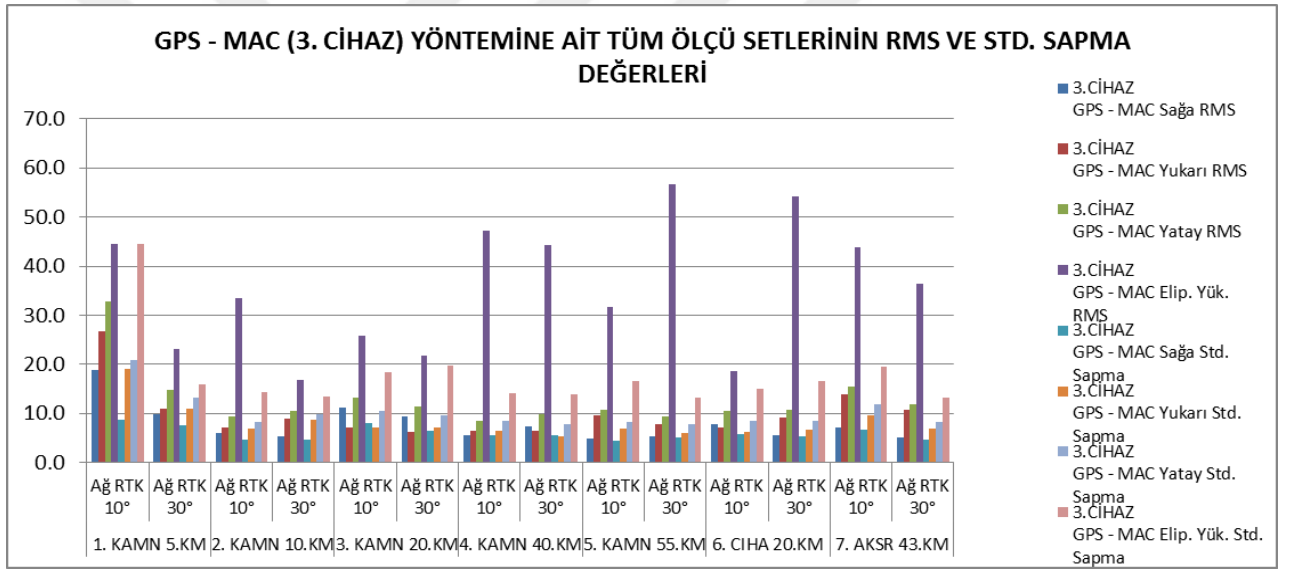
Şekil 3. 40. Tüm ölçü setlerine ait elipsoidal yükseklik standart sapma değerleri (mm)



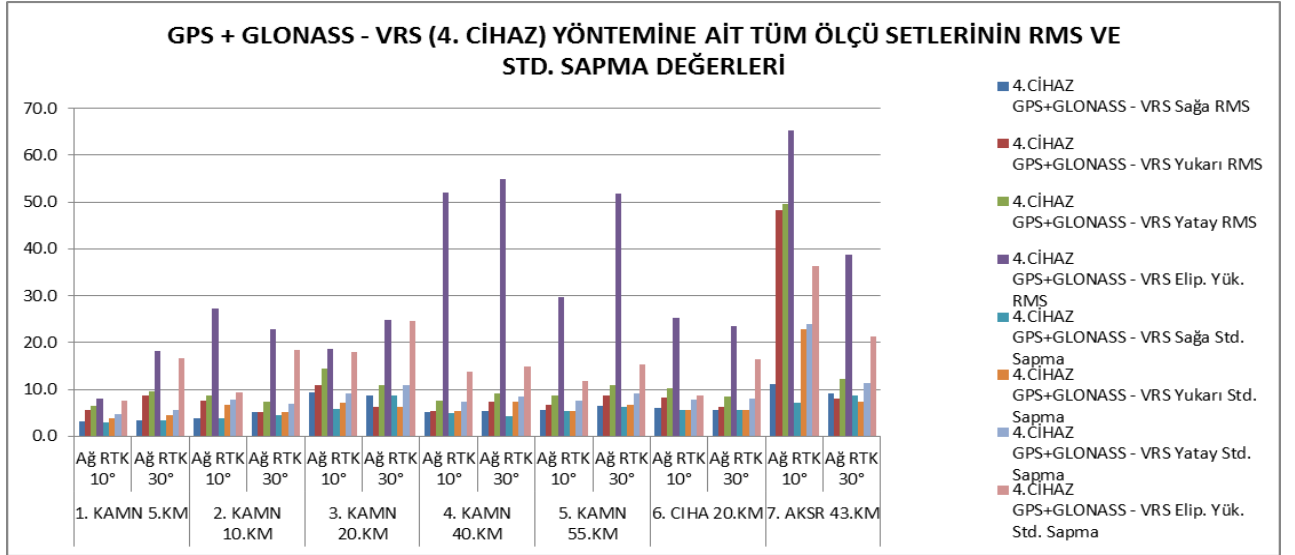
Şekil 3. 41. GPS – VRS tekniğine ait tüm ölçü setlerinin rms ve standart sapma değerleri (mm)



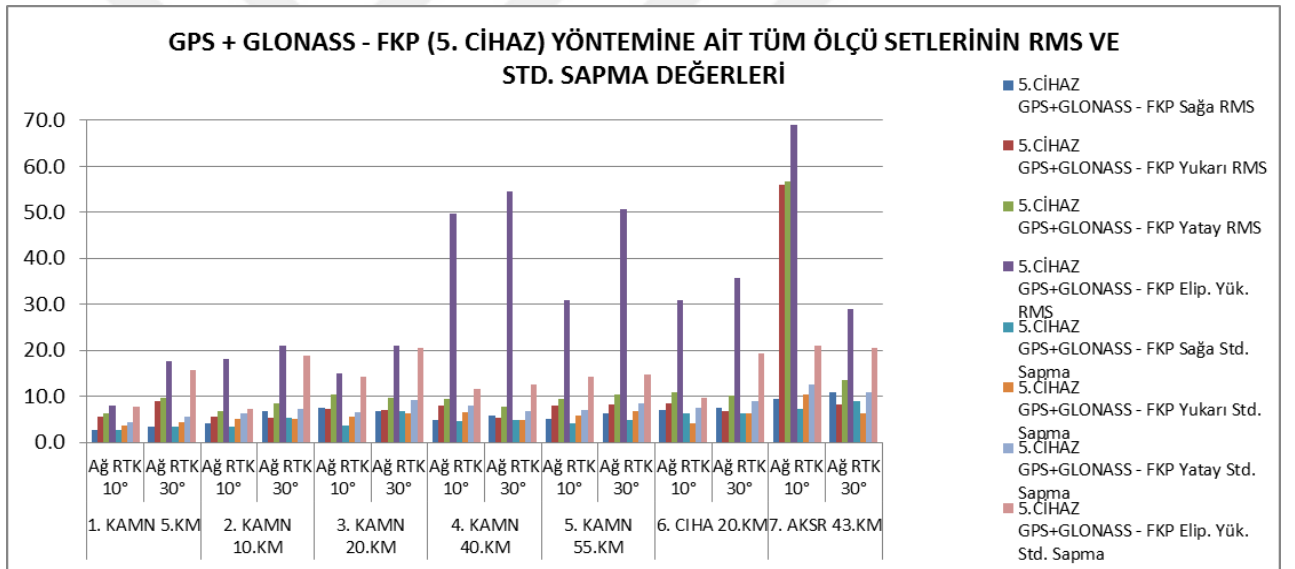
Şekil 3. 42. GPS – FKP tekniğine ait tüm ölçü setlerinin rms ve standart sapma değerleri (mm)



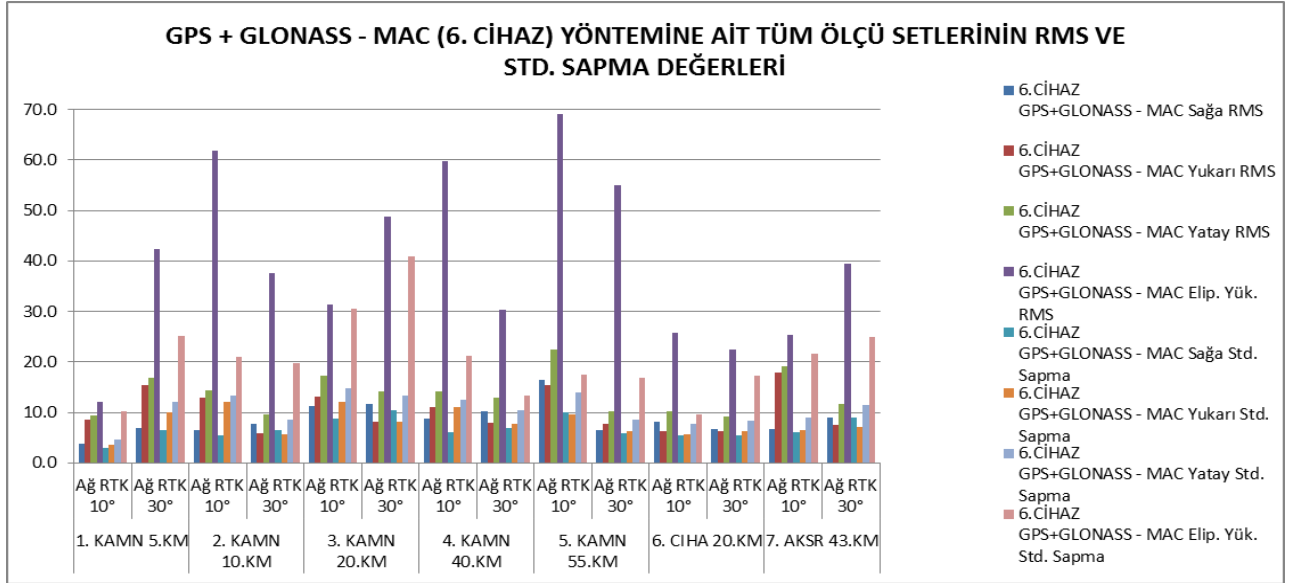
Şekil 3. 43. GPS – MAC tekniğine ait tüm ölçü setlerinin rms ve standart sapma değerleri (mm)



Şekil 3. 44. GPS + GLONASS – VRS tekniğine ait tüm ölçü setlerinin rms ve standart sapma değerleri (mm)



Şekil 3. 45. GPS + GLONASS – FKP tekniğine ait tüm ölçü setlerinin rms ve standart sapma değerleri (mm)



Şekil 3. 46. GPS + GLONASS – MAC tekniğine ait tüm ölçü setlerinin rms ve standart sapma değerleri (mm)

Her bir ölçü setine ait rms ve standart sapma değerlerinin incelenmesi sonucunda;

- Baz mesafeleri arttıkça yatay rms, yatay standart sapma ve düşey standart sapma değerlerinin arttığı (mm mertebesinde), fakat 20. Km'den sonra azalıp tekrar bir artış trendine girdiği, düşey rms değerlerinin ise genel olarak baz mesafesi arttıkça artan bir trende sahip olduğu (Şekil 3.37, 3.38, 3.39 ve 3.40),
- Rms ve standart sapma değerlerinin birbirleri ile karşılaştırılması durumunda rms değerlerinin daha yüksek, standart sapma değerlerinin ise daha düşük olduğu, yani ölçülerin prezisyon değerlerinin doğruluk değerlerinden daha iyi olduğu (Şekil 3.37, 3.38, 3.39 ve 3.40),
- Ağ Bazlı RTK tekniklerinin birbirleri ile karşılaştırılması durumunda VRS ile FKP tekniklerinin sonuçlarının birbirlerine yakın olduğu, MAC tekniğinin ise diğer iki tekniğe göre rms ve standart sapma değerlerinin daha yüksek olduğu (Şekil 3.41, 3.42, 3.43, 3.44, 3.45 ve 3.46),
- Uydu yükseklik açılarına göre bir karşılaştırma yapılması halinde sonuçların birbirlerine yakın olmasıyla birlikte 30°'lik ölçü setlerinde genel olarak rms ve standart sapma değerlerinin küçük farklarla yüksek olduğu, uydu yükseklik açısı 10°'lik ölçülerin daha iyi sonuçlar verdiği,
- Sadece GPS ile GPS + GLONASS ölçümlerinin birbirleri ile karşılaştırılması durumunda, GLONASS'ın genel olarak sonuçları iyileştirdiği, fakat bazı

istasyonlarda (Aksaray 43. Km yatay ve düşey rms ve standart sapma değerlerinde olduğu gibi Şekil 3.44 ve 3.45) bozucu etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Genel olarak değerlerin birbirleri ile uyumlu olduğu fakat KAMN 5. Km GPS – MAC tekniği (3.Cihaz) uydu yükseklik açısı 10°'lik ölçümlerin rms ve standart sapma değerlerinin diğer tekniklerle karşılaştırıldığında beklenen değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür. Bunun nedeni olarak CORS-TR sisteminin o zaman dilimine ait sadece GPS uyduları için gönderdiği MAC düzeltme verilerinde bir hata olabileceği ve/veya GNSS alıcı cihazının anlık olarak MAC çözümlemesinde bir hata yapabileceği şeklinde değerlendirilmiştir.

3.2.5. f testi (Anlamlılık testi)

f testi iki veya daha fazla ölçü grubuna ait ortalamalar arasındaki farkın anlamlı olup olmadığı ile ilgili hipotezleri test etmek için kullanılmaktadır. Bu yüzden ölçü setleri arasındaki rms değerlerinin istatistiksel olarak birbirine eşit olup olmadıklarını analiz edebilmek için f testi yapılmıştır (Aydın, 2016; Kalaycı, 2003; Yerci, 2002). Elde edilen tüm ölçümler için; sadece GPS ölçümleri ile GPS + GLONASS ölçümleri arasında, sadece GPS ölçümlerinin Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında, GPS + GLONASS ölçümlerinin Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında ve baz mesafeleri arasında f testi yapılmıştır. f testi, ölçü setlerinin aynı doğrulukta mı yoksa aralarındaki farkın anlamlı olup olmadıklarını belirleyebilmek amacıyla yapılmıştır. Bunun için ölçü setlerine ait yatay ve elipsoidik yükseklik karesel ortalama hatalarının (rms) (Çizelge 3.18) karşılaştırmaları yapılmıştır. f testi için aşağıdaki eşitlikten faydalanılmıştır.

$$f_{test} = m_1^2 / m_2^2 \quad (m_1 > m_2 \text{ olmalıdır.}) \quad (3.47)$$

Burada m_1 ve m_2 değerleri, karşılaştırması yapılacak olan ölçü setlerine ait rms değerleridir. Hipotezler;

$H_0: f_{test} < f_{tablo}$: Ölçü setleri arasında anlamlı fark yoktur.

$H_1: f_{test} > f_{tablo}$: Ölçü setleri arasında anlamlı fark vardır.

f testi yaparken bulunan sonuç (f_{test}), Matlap programından yararlanılarak % 95 güven aralığında (2 sigma güven aralığı) elde edilen (f_{tablo}) değerinden küçükse istatistiksel olarak sonuç anlamsız, büyükse anlamlı olarak değerlendirilmiştir.

Testler ölçü setlerinin rms değerlerinin cm duyarlılığında (cm mertebesine yuvarlanarak) karşılaştırılması suretiyle yapılmıştır. Karşılaştırması yapılan Ağ Bazlı

RTK tekniklere ait rms değerleri, (3.47) eşitliğinde yerine konularak elde edilen f_{test} değeri, f_{tablo} değeri ile karşılaştırılarak tekniklerin anlamlılık/anlamsızlık oranları bulunmuştur. Bilindiği gibi klasik haritacılık uygulamalarında Ağ Bazlı RTK tekniklerinden beklenen doğruluk 10 cm'nin altında ve $\pm 2 - 3$ cm mertebelerindedir. Bu doğruluklar dikkate alındığında Ağ Bazlı RTK teknikleri arasındaki anlamlılık oranının bulunan oranlardan daha aşağıda, anlamsızlık oranının ise bulunan oranlardan daha yukarıda olacağı görülmektedir.

3.2.5.1. Sadece GPS ölçümleri ile GPS + GLONASS ölçümleri arasında f testi

Sadece GPS ölçümleri ile GPS + GLONASS ölçümleri arasında yapılan f testinde (GPS-VRS ile GPS+GLONASS-VRS, GPS-FKP ile GPS+GLONASS-FKP ve GPS-MAC ile GPS+GLONASS-MAC tekniklerinin karşılaştırılması), her bir baz mesafesinde, her 3 yöntemde ve her bir noktada yatay rms ve elipsoidal yükseklik rms değerleri ve uydu yükseklik açısı 10° ve 30° olmak üzere toplam 4 ölçüt ile 7 istasyon noktasında toplam $(4 \times 7 \times 3)$ 84 test yapılmıştır. Bunların 54 tanesinde ölçümlerin anlamsız, 30 tanesinde ise anlamlı olduğu, oransal olarak ölçümlerin % 64 oranında anlamsız, % 36 oranında ise anlamlı olduğu görülmüştür. Anlamsız olan 54 ölçümün 33'ünün yatay, 21'inin de düşey yöne ait olduğu görülmüştür. Baz mesafesi yönüyle incelendiğinde (her baz mesafesinde 12 test yapılmıştır); 5. Km'de 9, 10. Km'de 9, 20. Km'de 7, 40. Km'de 9, 55. Km'de 7, kontrol istasyonlarında ise Cihanbeyli 20. Km'de 7 ve Aksaray 43. Km'de 6 anlamsız ölçü bulunduğu görülmüştür. Ağ Bazlı RTK teknikleri yönüyle incelendiğinde (her teknik için 28 test yapılmıştır) ise, VRS tekniğinde 21, FKP tekniğinde 19 ve MAC tekniğinde de 14 anlamsız ölçü bulunduğu görülmüştür. Yani MAC tekniğinde sadece GPS ölçümleri ile GPS + GLONASS ölçümleri arasında anlamlı ölçümler daha fazladır. Uydu yükseklik açılarına göre de bir analiz yapmak gerekirse (her bir uydu yükseklik açısında 42 test yapılmıştır) uydu yükseklik açısı 10° olan ölçü setlerinin 24 tanesi anlamsız iken uydu yükseklik açısı 30° olan ölçü setlerinin 30 tanesinin anlamsız olduğu görülmüştür (Çizelge 3.19).

Çizelge 3. 19. Sadece GPS ölçümleri ile GPS + GLONASS ölçümlerinin Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında f testi sonuçları (anlamsız olanların dağılımı)

SADECE GPS ÖLÇÜMLERİ İLE GPS + GLONASS ÖLÇÜMLERİNİN AĞ BAZLI RTK TEKNİKLERİ ARASINDA F TESTİ SONUÇLARI (ANLAMSIZ OLANLARIN DAĞILIMI)								
BAZ MESAFESİ	TEKNİK	Ağ RTK - 10°	Ağ RTK - 30°	Yatay	Düşey	Σ Ağ RTK - 10°	Σ Ağ RTK - 30°	Σ
5. KM	VRS	2	2	2	2			
	FKP	2	2	2	2	4	5	9
	MAC	0	1	1	0			
10. KM	VRS	1	2	2	1			
	FKP	2	2	2	2	4	5	9
	MAC	1	1	2	0			
20. KM	VRS	2	1	1	2			
	FKP	1	1	0	2	4	3	7
	MAC	1	1	1	1			
40. KM	VRS	2	2	2	2			
	FKP	2	1	2	1	5	4	9
	MAC	1	1	2	0			
55. KM	VRS	2	1	2	1			
	FKP	1	1	1	1	3	4	7
	MAC	0	2	1	1			
CIHA 20. KM	VRS	1	2	2	1			
	FKP	1	1	2	0	3	4	7
	MAC	1	1	2	0			
AKSR 43. KM	VRS	0	1	1	0			
	FKP	0	2	1	1	1	5	6
	MAC	1	2	2	1			
TOPLAM		24	30	33	21	24	30	54
ORAN		44%	56%	61%	39%	44%	56%	100%
Ağ Bazlı RTK Tekniklerinin Dağılımı				Anlamsızlık Oranı		Genel Anlamsızlık Oranı		
TOPLAM	VRS	21	75%			39%		
	FKP	19	68%			35%		
	MAC	14	50%			26%		
GENEL TOPLAM		54						

3.2.5.2. Sadece GPS ölçümlerinin Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında f testi

Sadece GPS ölçümlerinde Ağ Bazlı RTK tekniklerinin birbirleri arasında yapılan f testinde (GPS-VRS ile GPS-FKP, GPS-VRS ile GPS-MAC ve GPS-FKP ile GPS-MAC tekniklerinin karşılaştırılması), her bir baz mesafesinde, her 3 teknikte ve her bir noktada yatay rms ve elipsoid yükseklik rms değerleri ve uydu yükseklik açısı 10° ve 30° olmak üzere toplam 4 ölçüt ile 7 istasyon noktasında toplam (4x7x3) 84 test yapılmıştır. Bunların 47 tanesinde ölçümlerin anlamsız, 37 tanesinde ise anlamlı olduğu, oransal olarak ölçümlerin % 56 oranında anlamsız, % 44 oranında anlamlı olduğu görülmüştür. Anlamsız olan 47 ölçümün 30'unun yatay, 17'sinin de düşey yöne ait olduğu görülmüştür. Baz mesafesi yönüyle incelendiğinde (her baz mesafesinde 12 test yapılmıştır); 5. Km'de 6, 10. Km'de 9, 20. Km'de 4, 40. Km'de 9, 55. Km'de 6, kontrol istasyonlarında ise Cihanbeyli 20. Km'de 8 ve Aksaray 43. Km'de 5 anlamsız ölçü bulunduğu görülmüştür. Ağ Bazlı RTK teknikleri yönüyle incelendiğinde (teknikler

arası karşılaştırmalarda 28'er test yapılmıştır) ise, VRS – FKP tekniklerinin karşılaştırmasında 17, VRS – MAC tekniklerinin karşılaştırmasında 16 ve FKP - MAC tekniklerinin karşılaştırmasında da 14 anlamsız ölçü bulunduğu görülmüştür. VRS ve FKP tekniklerinin karşılaştırılmasında anlamsız ölçü sayısı, MAC tekniği ile karşılaştırmalardan daha fazla olması, anlamlı ölçü sayısının daha az olduğu ve bu iki tekniğin doğruluğunun birbirlerine daha yakın olduğu şeklinde anlaşılmıştır. Uydu yükseklik açılarına göre de bir analiz yapmak gerekirse (her bir uydu yükseklik açısında 42 test yapılmıştır) uydu yükseklik açısı 10° olan ölçü setlerinin 23 tanesi anlamsız iken uydu yükseklik açısı 30° olan ölçü setlerinin 24 tanesinin anlamsız olduğu görülmüştür (Cizelge 3.20).

Çizelge 3. 20. Sadece GPS ölçümlerinin Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında f testi sonuçları (anlamsız olanların dağılımı)

SADECE GPS ÖLÇÜMLERİNİN AĞ BAZLI RTK TEKNİKLERİ ARASINDA F TESTİ SONUÇLARINI (ANLAMSIZ OLANLARIN DAĞILIMI)								
BAZ MESAFESİ	TEKNİK	Ağ RTK - 10°	Ağ RTK - 30°	Yatay	Düşey	Σ Ağ RTK - 10°	Σ Ağ RTK - 30°	Σ
5. KM	VRS-FKP	2	2	2	2			
	VRS-MAC	0	1	0	1	2	4	6
	FKP-MAC	0	1	0	1			
10. KM	VRS-FKP	1	2	2	1			
	VRS-MAC	1	2	2	1	3	6	9
	FKP-MAC	1	2	2	1			
20. KM	VRS-FKP	1	1	1	1			
	VRS-MAC	1	0	1	0	2	2	4
	FKP-MAC	0	1	0	1			
40. KM	VRS-FKP	2	1	2	1			
	VRS-MAC	2	1	2	1	6	3	9
	FKP-MAC	2	1	2	1			
55. KM	VRS-FKP	1	0	1	0			
	VRS-MAC	2	2	2	2	4	2	6
	FKP-MAC	1	0	1	0			
CIHA 20. KM	VRS-FKP	1	1	2	0			
	VRS-MAC	2	1	2	1	4	4	8
	FKP-MAC	1	2	2	1			
AKSR 43. KM	VRS-FKP	1	1	1	1			
	VRS-MAC	0	1	1	0	2	3	5
	FKP-MAC	1	1	2	0			
TOPLAM		23	24	30	17	23	24	47
ORAN		49%	51%	64%	36%	49%	51%	100%
Ağ Bazlı RTK Tekniklerinin Dağılımı				Anlamsızlık Oranı		Genel Anlamsızlık Oranı		
VRS-FKP		17		61%		36%		
TOPLAM		VRS-MAC		16		57%		34%
		FKP-MAC		14		50%		30%
GENEL TOPLAM		47						

3.2.5.3. GPS + GLONASS ölçümlerinin Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında f testi

GPS + GLONASS ölçümlerinde Ağ Bazlı RTK tekniklerinin birbirleri arasında yapılan f testinde (GPS+GLONASS-VRS ile GPS+GLONASS-FKP, GPS+GLONASS-VRS ile GPS+GLONASS-MAC ve GPS+GLONASS-FKP ile GPS+GLONASS-MAC tekniklerinin karşılaştırılması), her bir baz mesafesinde, her 3 teknikte ve her bir noktada yatay rms ve elipsoidal yükseklik rms değerleri ve uydu yükseklik açısı 10° ve 30° olmak üzere toplam 4 ölçüt ile 7 istasyon noktasında toplam ($4 \times 7 \times 3$) 84 test yapılmıştır. Bunların 49 tanesinde ölçümlerin anlamsız, 35 tanesinde ise anlamlı olduğu, oransal olarak ölçümlerin % 58 oranında anlamsız, % 42 oranında ise anlamlı olduğu görülmüştür. Anlamsız olan 49 ölçümün 33'ünün yatay, 16'sının da düşey yöne ait olduğu görülmüştür. Baz mesafesi yönüyle incelendiğinde (her baz mesafesinde 12 test yapılmıştır); 5. Km'de 8, 10. Km'de 7, 20. Km'de 5, 40. Km'de 8, 55. Km'de 6, kontrol istasyonlarında ise Cihanbeyli 20. Km'de 10 ve Aksaray 43. Km'de 5 anlamsız ölçü bulunduğu görülmüştür. Ağ Bazlı RTK teknikleri yönüyle incelendiğinde (teknikler arası karşılaştırmalarda 28'er test yapılmıştır) ise, VRS – FKP tekniklerinin karşılaştırmasında 23, VRS – MAC tekniklerinin karşılaştırmasında 14 ve FKP - MAC tekniklerinin karşılaştırmasında da 12 anlamsız ölçü bulunduğu görülmüştür. VRS ve FKP tekniklerinin karşılaştırılmasında anlamsız ölçü sayısı, MAC tekniği ile karşılaştırmalardan daha fazla olması, anlamlı ölçü sayısının daha az olduğu ve bu iki tekniğin doğruluğunun birbirlerine daha yakın olduğu şeklinde anlaşılmıştır. Uydu yükseklik açılarına göre de bir analiz yapmak gerekirse (her bir uydu yükseklik açısında 42 test yapılmıştır) uydu yükseklik açısı 10° olan ölçü setlerinin 24 tanesi anlamsız iken uydu yükseklik açısı 30° olan ölçü setlerinin 25 tanesinin anlamsız olduğu görülmüştür (Çizelge 3.21).

Ayrıca sadece GPS ölçümlerinin Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında yapılan f testinde anlamsızlık oranı % 56, anlamlılık oranı % 44 iken GPS + GLONASS ölçümlerinin Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında yapılan f testinde ise anlamsızlık oranı % 58, anlamlılık oranının % 42 olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 3. 21. GPS + GLONASS ölçümlerinin Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında f testi sonuçları (anlamsız olanların dağılımı)

GPS + GLONASS ÖLÇÜMLERİNİN AĞ BAZLI RTK TEKNİKLERİ ARASINDA F TESTİ SONUÇLARI (ANLAMSIZ OLANLARIN DAĞILIMI)								
BAZ MESAFESİ	TEKNİK	Ağ RTK - 10°	Ağ RTK - 30°	Yatay	Düşey	Σ Ağ RTK - 10°	Σ Ağ RTK - 30°	Σ
5. KM	VRS-FKP	2	2	2	2			
	VRS-MAC	2	0	1	1	6	2	8
	FKP-MAC	2	0	1	1			
10. KM	VRS-FKP	1	2	2	1			
	VRS-MAC	1	1	2	0	3	4	7
	FKP-MAC	1	1	2	0			
20. KM	VRS-FKP	2	1	2	1			
	VRS-MAC	0	1	1	0	2	3	5
	FKP-MAC	0	1	1	0			
40. KM	VRS-FKP	2	2	2	2			
	VRS-MAC	1	1	2	0	4	4	8
	FKP-MAC	1	1	2	0			
55. KM	VRS-FKP	2	2	2	2			
	VRS-MAC	0	1	1	0	2	4	6
	FKP-MAC	0	1	1	0			
CIHA 20. KM	VRS-FKP	2	1	2	1			
	VRS-MAC	2	2	2	2	6	4	10
	FKP-MAC	2	1	2	1			
AKSR 43. KM	VRS-FKP	1	1	1	1			
	VRS-MAC	0	2	1	1	1	4	5
	FKP-MAC	0	1	1	0			
TOPLAM		24	25	33	16	24	25	49
ORAN		49%	51%	67%	33%	49%	51%	100%
Ağ Bazlı RTK Tekniklerinin Dağılımı		Anlamsızlık Oranı		Genel Anlamsızlık Oranı				
TOPLAM	VRS-FKP	23		82%			47%	
	VRS-MAC	14		50%			29%	
	FKP-MAC	12		43%			24%	
GENEL TOPLAM		49						

3.2.5.4. Baz mesafeleri arasında f testi

Baz mesafeleri arasında yapılan f testi, cihaz kurulan tüm noktaların statik oturum sonucu elde edilen gerçek koordinatlarından bulunan baz mesafeleri ile Ağ Bazlı RTK teknikleri ile elde edilen koordinatlarından bulunan baz mesafeleri farklarından hesaplanan rms değerlerinin (Çizelge 3.22) cm duyarlılığında çapraz karşılaştırılması ile yapılmıştır. Her bir bazın Ağ Bazlı RTK tekniklerinden elde edilen rms değerleri, diğer bazların rms değerleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar uydu yükseklik açısı 10°'lik ve 30°'lik ölçü setleri olarak ayrı ayrı yapılmıştır. Testler 5. Km ile 10. Km, 5. Km ile 20. Km, 5. Km ile 40. Km, 5. Km ile 55. Km, 10. Km ile 20. Km, 10. Km ile 40. Km, 10. Km ile 55. Km, 20. Km ile 40. Km, 20. Km ile 55. Km ve 40. Km ile 55. Km'lik baz mesafelerinden hesaplanan rms değerlerinin karşılaştırılması suretiyle yapılmıştır. Her bir baz mesafesinde, her 3 teknikte ve uydu yükseklik açısı 10° ve 30° olmak üzere 5 istasyon noktasının çapraz karşılaştırılması ile toplam 120 test

yapılmıştır. Bu ölçümlerin 113 tanesinin anlamsız, 7 tanesinin ise anlamlı olduğu, oransal olarak ölçümlerin % 94 oranında anlamsız, % 6 oranında ise anlamlı olduğu görülmüştür. Sadece GPS ölçümlerinde anlamlı olan 4 ölçü setinin de 5. Km'deki MAC tekniğine ait 10°'lik ölçülere ait olduğu ve bu ölçülerin normal dağılımlı olmadığı göz önünde bulundurulduğunda, sadece GPS ölçümlerinin Ağ Bazlı RTK tekniklerinin baz mesafeleri arasında yapılan f testinde (toplam 60 test) tümünün anlamsız olduğu ifade edilebilir. GPS + GLONASS ölçümlerinin Ağ Bazlı RTK tekniklerinin baz mesafeleri arasında yapılan f testinde (toplam 60 test) ise sadece 3 ölçümün anlamlı, 57 ölçümün ise anlamsız (% 95 oranında) olduğu gözlemlenmiştir. Ağ Bazlı RTK teknikleri yönüyle incelendiğinde anlamlı olan 7 ölçü setinin de MAC tekniğine ait olduğu görülmüştür. Yani VRS ve FKP tekniklerinde tüm ölçü setlerinin anlamsız olduğu ve bu iki tekniğin doğruluklarının birbirlerine yakın olduğu anlaşılmıştır. Uydu yükseklik açılarına göre de bir analiz yapmak gerekirse, anlamlı olan 7 ölçü setinin de uydu yükseklik açısı 10°'lik ölçülere ait olduğu, uydu yükseklik açısı 30°'lik ölçü setlerinin tamamının anlamsız olduğu görülmüştür (Çizelge 3.23).

Çizelge 3. 22. Baz mesafelerine ait rms değerleri (mm)

BAZ MESAFELERİNE AİT RMS DEĞERLERİ (mm)			
BAZ MESAFESİ	TEKNİK	Uydu Yükseklik Açısı	
		Ağ RTK 10°	Ağ RTK 30°
5. KM	1.CİHAZ GPS-VRS	4.0	3.4
	2.CİHAZ GPS-FKP	3.6	3.5
	3.CİHAZ GPS-MAC	20.8	9.4
	4.CİHAZ GPS+GLO-VRS	3.3	3.7
	5.CİHAZ GPS+GLO-FKP	2.7	3.6
	6.CİHAZ GPS+GLO-MAC	4.2	7.6
10. KM	1.CİHAZ GPS-VRS	5.0	5.3
	2.CİHAZ GPS-FKP	5.4	4.2
	3.CİHAZ GPS-MAC	5.8	4.7
	4.CİHAZ GPS+GLO-VRS	3.9	5.1
	5.CİHAZ GPS+GLO-FKP	4.1	6.5
	6.CİHAZ GPS+GLO-MAC	5.9	7.6
20. KM	1.CİHAZ GPS-VRS	10.7	9.8
	2.CİHAZ GPS-FKP	8.7	6.3
	3.CİHAZ GPS-MAC	12.0	11.1
	4.CİHAZ GPS+GLO-VRS	8.6	8.8
	5.CİHAZ GPS+GLO-FKP	7.0	7.1
	6.CİHAZ GPS+GLO-MAC	10.0	11.8
40. KM	1.CİHAZ GPS-VRS	5.6	6.7
	2.CİHAZ GPS-FKP	8.1	9.3
	3.CİHAZ GPS-MAC	5.5	8.0
	4.CİHAZ GPS+GLO-VRS	5.0	5.5
	5.CİHAZ GPS+GLO-FKP	5.2	6.0
	6.CİHAZ GPS+GLO-MAC	7.5	9.2
55. KM	1.CİHAZ GPS-VRS	7.2	6.2
	2.CİHAZ GPS-FKP	6.6	9.8
	3.CİHAZ GPS-MAC	6.1	5.4
	4.CİHAZ GPS+GLO-VRS	5.9	6.0
	5.CİHAZ GPS+GLO-FKP	6.1	7.2
	6.CİHAZ GPS+GLO-MAC	17.7	5.7

Çizelge 3. 23. Baz mesafeleri arasında karşılaştırmalı f testi sonuçları

BAZ MESAFESİ	TEKNİK	BAZ MESAFELERİ ARASINDA F TESTİ									
		5.KM		10.KM		20.KM		40.KM		55.KM	
		Ağ RTK 10°	Ağ RTK 30°	Ağ RTK 10°	Ağ RTK 30°	Ağ RTK 10°	Ağ RTK 30°	Ağ RTK 10°	Ağ RTK 30°	Ağ RTK 10°	Ağ RTK 30°
5. KM İLE DİĞERLERİ ARASINDA	GPS - VRS			Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız
	GPS - FKP			Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız
	GPS - MAC			Anlamlı	Anlamsız	Anlamlı	Anlamsız	Anlamlı	Anlamsız	Anlamlı	Anlamsız
	GPS + GLONASS - VRS			Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız
	GPS + GLONASS - FKP			Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız
	GPS + GLONASS - MAC			Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız
10. KM İLE DİĞERLERİ ARASINDA	GPS - VRS					Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız
	GPS - FKP					Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız
	GPS - MAC					Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız
	GPS + GLONASS - VRS					Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız
	GPS + GLONASS - FKP					Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız
	GPS + GLONASS - MAC					Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamlı	Anlamsız
20. KM İLE DİĞERLERİ ARASINDA	GPS - VRS							Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız
	GPS - FKP							Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız
	GPS - MAC							Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız
	GPS + GLONASS - VRS							Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız
	GPS + GLONASS - FKP							Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız	Anlamsız
	GPS + GLONASS - MAC							Anlamsız	Anlamsız	Anlamlı	Anlamsız
40. KM İLE DİĞERLERİ ARASINDA	GPS - VRS									Anlamsız	Anlamsız
	GPS - FKP									Anlamsız	Anlamsız
	GPS - MAC									Anlamsız	Anlamsız
	GPS + GLONASS - VRS									Anlamsız	Anlamsız
	GPS + GLONASS - FKP									Anlamsız	Anlamsız
	GPS + GLONASS - MAC									Anlamlı	Anlamsız
55. KM İLE DİĞERLERİ ARASINDA	GPS - VRS										
	GPS - FKP										
	GPS - MAC										
	GPS + GLONASS - VRS										
	GPS + GLONASS - FKP										
	GPS + GLONASS - MAC										

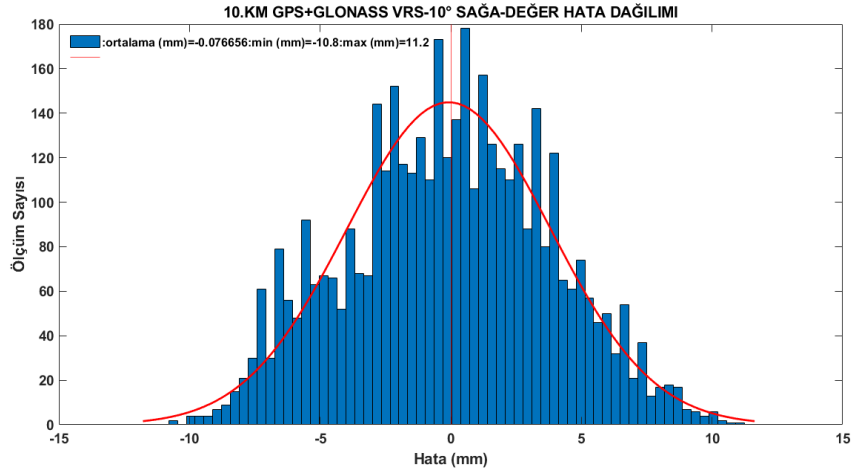
3.2.6. Normal dağılım analizi

İstatistikçi Abraham De Moivre tarafından ilk olarak 18. yüzyılda ortaya atılan ve 19. yüzyılın başlarında Alman matematikçi Gauss tarafından geliştirilen normal dağılım analizi birçok alanda uygulanmakla birlikte ölçü gruplarındaki hataların dağılımlarının normal dağılımlı olup olmadıklarının belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Normal dağılım, sürekli ve olasılıklı bir fonksiyon eğrisi olup, “Gauss Dağılımı” veya “Gauss Eğrisi” olarak da bilinir. Normal dağılımın karakteristik özellikleri genel olarak $(-\infty, +\infty)$ aralığında değerler alması, simetrik olması ve eğri altındaki toplam alanın olasılığının 1 olması şeklinde ifade edilebilir. Elde edilen tüm ölçümlerin, doğru koordinatları ile Ağ Bazlı RTK tekniklerinden elde edilen koordinatları arasındaki farkların/hataların normal dağılımlı olup olmadıklarını anlayabilmek için normal dağılım histogram grafikleri, eşitlik (3.48) yardımı ile hesaplanmıştır (Rahmanlar, 2019; Montgomery ve Runger, 2014; Özmen vd., 2012; Navidi, 2011; Çelik, 2006). Normal dağılım histogram grafikleri, Matlab 2019a programında, % 95 güven aralığında (2 sigma güven aralığı) ve her bir ölçü setinin (84

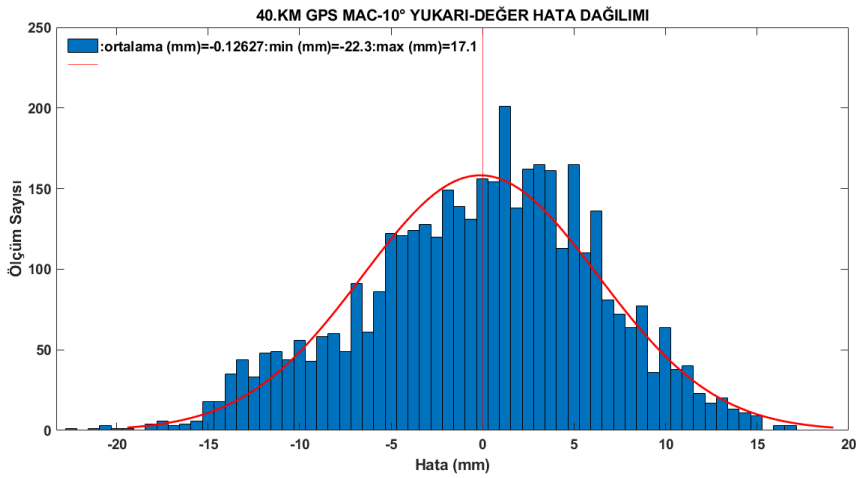
adet) 3 koordinat bileşeni için toplam 252 adet olarak çizdirilmiştir. Normal dağılımlı veri setlerine örnek histogram grafikleri, Şekil 3.47, 3.48 ve 3.49’da verilmiştir. Normal dağılımlı olmayan histogram grafiklerine ise Şekil 3.50, 3.51 ve 3.52’de örnek verilmiştir. (Diğer normal dağılımlı ve normal dağılımlı olmayan veri setlerinin histogram grafikleri, toplam 252 adet olduğu ve yaklaşık 84 sayfa kaplayacağı için verilmemiştir).

$$y = f\left(\frac{x}{\mu}, \sigma\right) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.48)$$

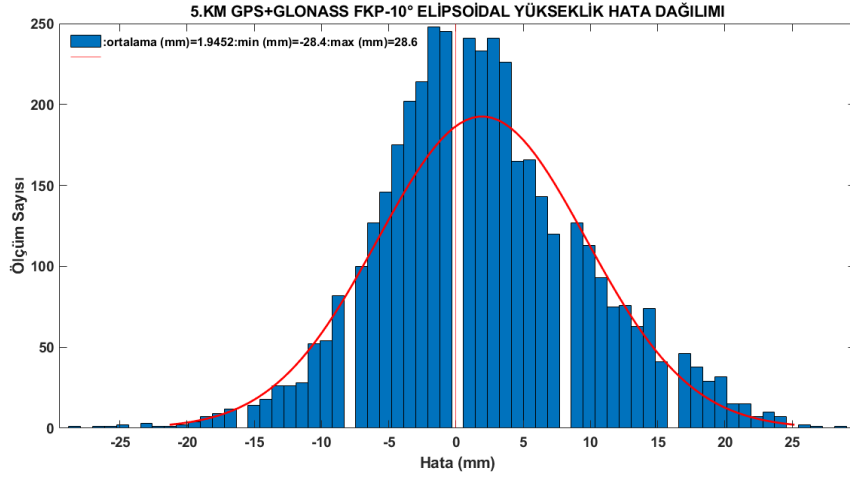
Yukarıdaki eşitlikte; μ ortalama, σ standart sapmadır.



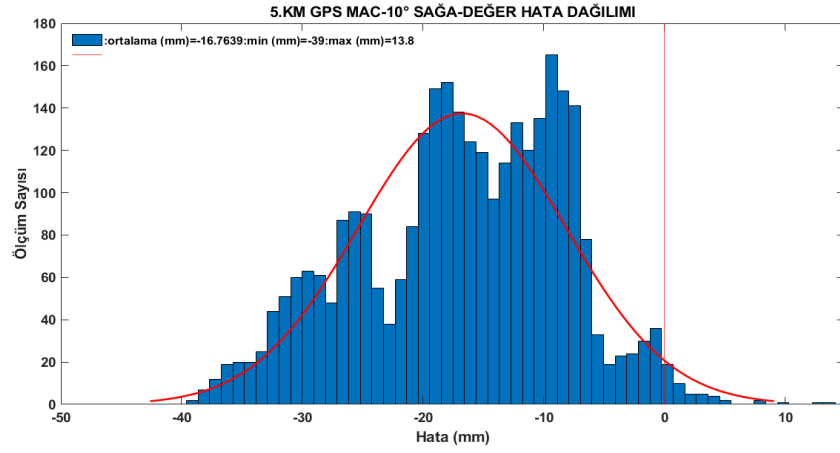
Şekil 3. 47. KAMN 10. Km GPS + GLONASS – VRS tekniğine (uydu yükseklik açısı 10°) ait sağa değer hata dağılımı



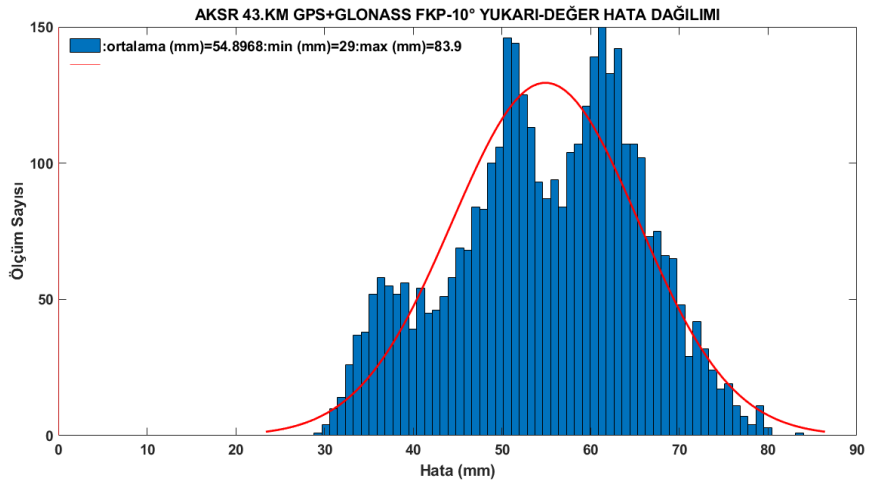
Şekil 3. 48. KAMN 40. Km GPS – MAC tekniğine (uydu yük. açısı 10°) ait yukarı değer hata dağılımı



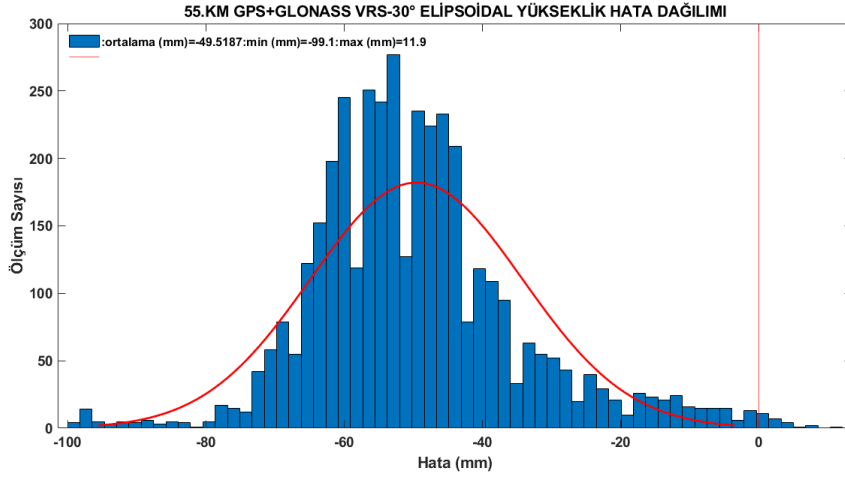
Şekil 3. 49. KAMN 5. Km GPS + GLONASS – FKP tekniğine (uydu yük. açısı 10°) ait elipsoidal yükseklik hata dağılımı



Şekil 3. 50. KAMN 5. Km GPS – MAC tekniğine (uydu yükseklik açısı 10°) ait sağa değer hata dağılımı



Şekil 3. 51. AKSR 43. Km GPS + GLONASS – FKP tekniğine (uydu yük. açısı 10°) ait yukarı değer hata dağılımı



Şekil 3. 52. KAMN 55. Km GPS + GLONASS – VRS tekniğine (uydu yük. açısı 30°) ait elipsoidal yükseklik hata dağılımı

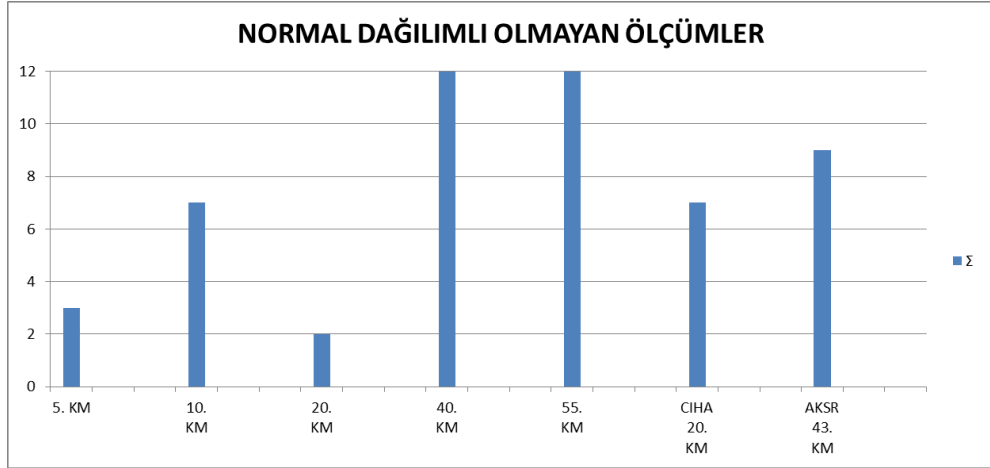
Toplam 252 adet normal dağılım histogram grafiklerinin değerlendirilmesi neticesinde; 200 tanesinin normal dağılımlı olduğu (% 80), 52 tanesinin ise normal dağılımlı olmadığı (% 20) görülmüştür. Baz mesafesi yönüyle incelendiğinde; 5. Km’de 3, 10. Km’de 7, 20. Km’de 2, 40. Km’de 12, 55. Km’de 12, kontrol istasyonlarında ise Cihanbeyli 20. Km’de 7 ve Aksaray 43. Km’de 9 adet koordinat bileşenine ait histogramın normal dağılımlı olmadığı ve baz mesafesi attıkça normal dağılımlı olmayan histogramların arttığı görülmüştür (Çizelge 3.24 ve Şekil 3.53). Ağ Bazlı RTK teknikleri yönüyle incelendiğinde (her teknik için 84 histogram grafiği çizdirilmiştir) ise, VRS tekniğinde 14, FKP tekniğinde 16 ve MAC tekniğinde de 22 histogramın normal dağılımlı olmadığı, yani normal dağılımlı olmayan grafiklerin en fazla sırasıyla MAC, FKP ve VRS tekniklerinde olduğu anlaşılmıştır (Şekil 3.54, 3.55 ve 3.56). Uydu yükseklik açılarına göre bir analiz yapıldığında, uydu yükseklik açısı 10° olan ölçü setlerinin 31 tanesinin koordinat bileşenine ait histogram normal dağılımlı değil iken uydu yükseklik açısı 30° olan ölçü setlerinin 21 tanesinin normal dağılımlı olmadığı görülmüştür.

Hata dağılım histogramlarının, sadece GPS ve GPS + GLONASS ile yapılan ölçümler şeklinde bir ayırım yaparak incelenmesi halinde sadece GPS ölçümlerine ait 126 adet normal dağılım histogramının 23 tanesinin normal dağılımlı olmadığı (% 18), GPS + GLONASS ile yapılan ölçümlere ait 126 adet normal dağılım histogramının ise 29 tanesinin normal dağılımlı olmadığı (% 23) anlaşılmıştır.

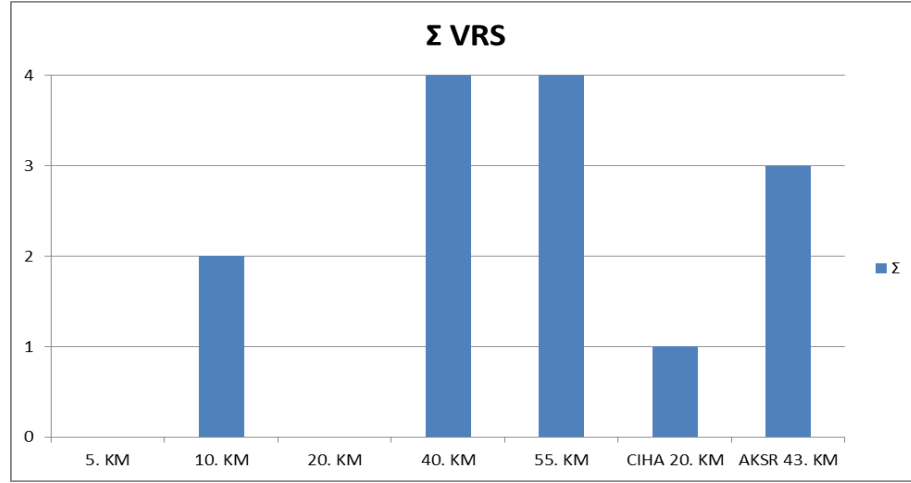
Genel olarak normal dağılımlı olmayan histogram grafiklerinin, rms ve standart sapma değerleri yüksek olan ölçü setlerine ait olduğu görülmüştür.

Çizelge 3. 24. Normal dağılımlı olmayan ölçümlerin sayısal dağılımı

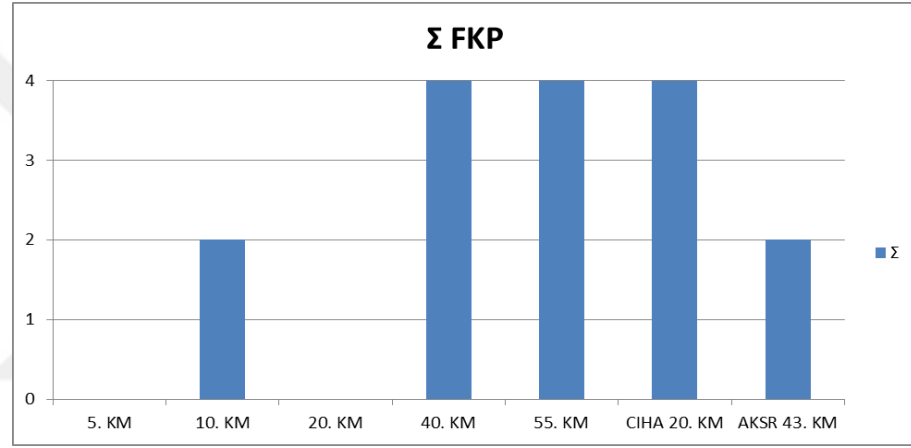
NORMAL DAĞILIMLI OLMAYAN ÖLÇÜMLER									
BAZ MESAFESİ	TEKNİK	Ağ RTK - 10°	Ağ RTK - 30°	Σ	Yatay	Düşey	Σ Ağ RTK - 10°	Σ Ağ RTK - 30°	Σ
5. KM	VRS			0					
	FKP			0			2	1	3
	MAC	2	1	3	2	1			
10. KM	VRS	2		2		2			
	FKP	2		2		2	6	1	7
	MAC	2	1	3		3			
20. KM	VRS			0					
	FKP			0			1	1	2
	MAC	1	1	2		2			
40. KM	VRS	2	2	4		4			
	FKP	2	2	4		4	6	6	12
	MAC	2	2	4		4			
55. KM	VRS	2	2	4		4			
	FKP	2	2	4		4	6	6	12
	MAC	2	2	4		4			
CIHA 20. KM	VRS	1		1		1			
	FKP	2	2	4		4	4	3	7
	MAC	1	1	2		2			
AKSR 43. KM	VRS	2	1	3	1	2			
	FKP	2		2	1	1	6	3	9
	MAC	2	2	4	1	3			
TOPLAM		31	21	52	5	47	31	21	52
ORAN		60%	40%	100%	10%	90%	60%	40%	100%
Normal Dağılımlı olmayan ölçümlerin tekniklere göre dağılımı ve oranları;									
Σ VRS	14	17%							
Σ FKP	16	19%							
Σ MAC	22	26%							
TOPLAM	52								



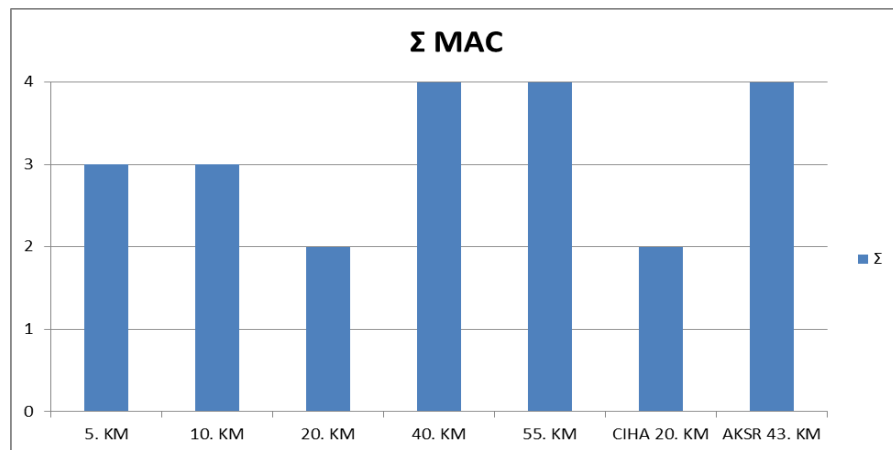
Şekil 3. 53. Normal dağılımlı olmayan ölçümlerin baz mesafelerine göre dağılımı



Şekil 3. 54. Normal dağılımlı olmayan ölçümlerin VRS tekniğine göre dağılımı



Şekil 3. 55. Normal dağılımlı olmayan ölçümlerin FKP tekniğine göre dağılımı



Şekil 3. 56. Normal dağılımlı olmayan ölçümlerin MAC tekniğine göre dağılımı

Aynı zamanda normal dağılımlı olmayan 52 adet histogramın 5 tanesinin (oransal olarak % 10, tüm histogramlara oranı % 2) yatay bileşenlere, 47 tanesinin de (oransal olarak % 90, tüm histogramlara oranı % 18) düşey bileşene yani elipsoidal yükseklik hatalarına ait olduğu görülmüştür. Yukarıda anlatıldığı üzere normal dağılım histogramları, ölçüm yapılan noktaların statik oturum sonucu elde edilen ve doğru kabul edilen koordinatları ile Ağ Bazlı RTK tekniklerinden elde edilen koordinatlar arasındaki farkların/hataların normal dağılım fonksiyonuna ait eşitlikle (3.48) hesaplanması sonucu bulunmuştur. Statik oturumdan elde edilen koordinatların doğruluğu hata dağılımlarını etkileyen en önemli etkidir. Özellikle normal dağılımlı olmayan koordinat bileşenlerinin % 90'nının düşey bileşende olması ölçüm yapılan noktaların doğru kabul edilen koordinatlarının temininde yapılan ölçüm süresinin artırılarak düşey koordinat bileşeninin doğruluğunun artırılacağı dolayısıyla bu sayede düşey bileşendeki normal dağılımlı olmayan ölçümlerin azalacağı değerlendirilmiştir.

Ayrıca hem Ağ Bazlı RTK ölçümlerinde hem de statik oturum ölçümlerinde referans olarak, CORS-TR ağında İç Anadolu Bölgesinde yer alan KAMN, AKSR ve CIHA istasyonları esas alınmıştır. Ülkemiz coğrafi konumu ve içinde bulunduğu Anadolu plakasının tektonik yapısı sebebiyle deprem riski taşımakla birlikte ortalama olarak yılda 23 mm hız ile batı yönüne doğru kayma hareketi yapmaktadır. Bu sebeple hemen hemen tüm CORS-TR istasyonlarında yatay ve düşey yönlerde hareketler gözlemlenmektedir. Bunların tespiti amacıyla HGM ve TKGM tarafından belli aralıklarla CORS-TR istasyonlarının koordinatları güncellenmektedir, son güncelleme ise 2016 yılında yapılmıştır (Doğruluk, 2020; Ögütçü ve Kalaycı, 2018).

3.2.7. GLONASS'ın iyileştirdiği, bozduğu ve nötr olduğu ölçütler

GLONASS'ın CORS-TR ağında Ağ Bazlı RTK teknikleri ile yapılan ölçümlere etkisini tespit edebilmek amacıyla doğruluk ölçütleri (rms) karşılaştırması yapılmıştır. Bunun için sadece GPS ile GPS + GLONASS ölçümlerinden hesaplanan, Çizelge 3.18'de verilen yatay rms ve elipsoidal yükseklik (düşey) rms değerleri karşılaştırılmıştır.

Yatay rms değerleri arasında ± 1 cm ve üzeri, düşey rms değerleri arasında ± 2 cm ve üzeri farkların anlamlı olduğu değerlendirilerek; GPS + GLONASS ölçümlerine ait rms değerlerinin, sadece GPS ölçümlerine ait rms değerlerinden çıkarılması ile elde edilen farkların yatayda +1 cm'den, düşeyde +2 cm'den büyük sonuç verenler

GLONASS'ın iyileştirdiği ölçütler (Çizelge 3.26 ve 3.27); farkların yatayda -1 cm'den, düşeyde -2 cm'den küçük sonuç verenler GLONASS'ın bozduğu ölçütler (Çizelge 3.28 ve 3.29) ve farkların yatayda ± 1 cm, düşeyde ± 2 cm arasında kalanlar ise GLONASS'ın etkilemediği veya etkisinin nötr/anlamsız olduğu ölçütler (Çizelge 3.30 ve 3.31) olarak değerlendirilmiştir. Karşılaştırmalar; GPS + GLONASS ölçü setlerine ait toplam 84 rms değeri (3 Ağ Bazlı RTK tekniği ile ölçüm yapılan 7 istasyon noktasında yatay ve düşey rms değerleri, uydu yükseklik açısı 10° ve 30° olmak üzere 4 ölçüt ($3 \times 7 \times 4$)), yine sadece GPS ölçümlerine ait 84 rms değeri ile yapılmıştır.

Karşılaştırmalarda yatay rms değerleri için ± 1 cm, düşey rms değerleri için ise ± 2 cm esas alınmıştır. Bu eşik değerlerin belirlenmesi için Ağ Bazlı RTK ölçümlerinde referans alınan (düzeltme verisi alınan) KAMN istasyonundan 90 km'lik baz mesafesine sahip olan HALP (Halkapınar) istasyonunun, ölçümlerin yapıldığı tarihe ait eş zamanlı 4 saatlik statik oturum verileri ölçü epoğunda dengelenerek koordinatları hesaplanmıştır. Dengelemede HALP istasyonunun koordinatları, KAMN istasyonu referans alınarak tek noktaya dayalı zorlamasız dengeleme yöntemi ile çözümlenmiştir. Hesaplama KAMN istasyonundan ölçüm yapılan 5 gün için yapılmıştır. HALP istasyonunun buradan bulunan koordinatları ile TKGM tarafından yayımlanan CORS istasyonlarının koordinat listesinde verilen koordinatları, hız vektörleri yardımıyla ölçü epoğuna ötelenerek hesaplanan ölçü epoğundaki koordinatları karşılaştırılmıştır. Aynı istasyona ait iki yöntemle elde edilen iki farklı koordinat arasındaki hatanın net görülebilmesi için toposentrik koordinat sistemine (north, east, up) dönüştürülerek Çizelge 3.25'de verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü üzere hata miktarı yatay bileşenlerde yaklaşık 1 cm, düşey bileşende ise 2 cm seviyelerinde olması sebebiyle yukarıda belirtilen GLONASS'ın iyileştirdiği ve bozduğu ölçütlerde eşik değer olarak, bu değerler alınmıştır. Bu sayede Ağ Bazlı RTK ölçümlerinde önemli hata kaynaklarından olan referans istasyon noktalarından gelen hatalar dikkate alınmış ve aynı zamanda Ağ Bazlı RTK ölçümlerinden elde edilebilecek maksimum doğruluk bu değerlerden daha küçük olamayacağı için bu şekilde eşik değer belirlenmesi yapılmıştır.

Çizelge 3. 25. HALP istasyonunun koordinatlarından hesaplanan toposentrik koordinatlar (m)

HALP İstasyonu	Toposentrik Koordinatlar (m)		
	North	East	Up
1.GÜN (02.08.2019)	0.0094	0.0079	-0.0165
2.GÜN (03.08.2019)	0.0063	0.0004	0.0003
3.GÜN (04.08.2019)	0.0111	0.0002	-0.0458
4.GÜN (05.08.2019)	0.0114	-0.0008	0.0068
5.GÜN (06.08.2019)	0.0093	0.0052	-0.0137

3.2.7.1. GLONASS'ın iyileştirdiği ölçütler

GLONASS'ın yatayda toplam 42 rms değerinin 1 tanesinde, rms değerlerini iyileştirdiği, iyileştirme oranının % 2,5 olduğu, düşeyde ise toplam 42 rms değerinin 4 tanesinde, rms değerlerini iyileştirdiği ve iyileştirme oranının % 10 olduğu, genel iyileştirme oranının ise % 6 olduğu görülmüştür. Yatayda iyileşen doğruluk ölçütünün 5. Km'de MAC tekniğine ve uydu yükseklik açısı 10° olan ölçü setine ait olduğu görülmüştür (Çizelge 3.26). Düşeyde ise iyileşen doğruluk ölçütleri; baz mesafesi yönüyle incelendiğinde (her bir baz mesafesinde toplam düşey ölçüt sayısı 6'dır); 5. Km'de 1, 55. Km'de 1 ve kontrol istasyonu olan Cihanbeyli 20. Km'de 2 ölçüt bulunduğu görülmüştür. Ağ Bazlı RTK teknikleri yönüyle incelendiğinde ise (her teknikte toplam düşey ölçüt sayısı 14'dür), FKP tekniğinde 2 ve MAC tekniğinde de 2 ölçüt bulunduğu görülmüştür. Uydu yükseklik açılarına (uydu yükseklik açısı 10° 'de 21 ve 30° 'de 21 olmak üzere toplam düşey ölçüt sayısı 42'dir) göre de bir analiz yapmak gerekirse uydu yükseklik açısı 10° olan ölçü setlerinden hesaplanan düşey rms değerlerinin 3 tanesini iyileştirirken uydu yükseklik açısı 30° olan ölçü setlerinden hesaplanan düşey rms değerlerinin 1 tanesini iyileştirdiği görülmüştür (Çizelge 3.27).

İyileşen toplam 5 ölçütün 1'inin yatay, 4'ünün ise düşey rms değerlerine ait olması sebebiyle GLONASS'ın iyileştirme oranının düşeyde daha iyi olduğu ifade edilebilir.

Çizelge 3. 26. GLONASS'ın yatayda iyileştirdiği ölçütler

GLONASS'IN İYİLEŞTİRDİĞİ ÖLÇÜTLER (YATAY)						
S.No	Baz Mesafesi	Teknik	Doğruluk Ölçütü	GPS (cm)	GPS+GLONASS (cm)	Fark (cm)
1	5.KM	MAC - 10°	Yatay RMS	3.28	0.93	2.35

Çizelge 3. 27. GLONASS'ın düşeyde iyileştirdiği ölçütler

GLONASS'IN İYİLEŞTİRDİĞİ ÖLÇÜTLER (DÜŞEY)						
S.No	Baz Mesafesi	Teknik	Doğruluk Ölçütü	GPS (cm)	GPS+GLONASS (cm)	Fark (cm)
1	5.KM	MAC - 10°	Elip. Yük. RMS	4.45	1.21	3.24
2	55.KM	FKP - 10°	Elip. Yük. RMS	5.14	3.08	2.06
3	CIHA 20.KM	FKP - 10°	Elip. Yük. RMS	5.27	3.10	2.17
4		MAC - 30°	Elip. Yük. RMS	5.41	2.25	3.16

3.2.7.2. GLONASS'ın bozduğu ölçütler

GLONASS'ın yatayda toplam 42 rms değerinin 3 tanesinde, rms değerlerini bozduğu, bozma oranının % 7 olduğu, düşeyde ise toplam 42 rms değerinin 6 tanesinde, rms değerlerini bozduğu ve bozma oranının % 14 olduğu, genel bozma oranının ise % 11 olduğu görülmüştür. Yatayda bozulan doğruluk ölçütlerinin 55. Km'de MAC tekniğine ve kontrol istasyonu olan Aksaray 43. Km'de VRS ve FKP tekniklerine ait olduğu ve her 3 ölçütünde uydu yükseklik açısı 10° olan ölçü setlerine ait olduğu görülmüştür (Çizelge 3.28). Düşeyde ise bozulan doğruluk ölçütleri; baz mesafesi yönüyle incelendiğinde (her bir baz mesafesinde toplam düşey ölçüt sayısı 6'dır); 10. Km'de 2, 20. Km'de 1, 55. Km'de 1 ve kontrol istasyonu olan Aksaray 43. Km'de 2 ölçüt bulunduğu görülmüştür. Ağ Bazlı RTK teknikleri yönüyle incelendiğinde ise (her teknikte toplam düşey ölçüt sayısı 14'dür), VRS tekniğinde 1, FKP tekniğinde 1 ve MAC tekniğinde de 4 ölçüt bulunduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre GLONASS'ın MAC tekniğinde düşey bileşende daha kötü sonuçlar verdiği ifade edilebilir. Uydu yükseklik açılarına (uydu yükseklik açısı 10°'de 21 ve 30°'de 21 olmak üzere toplam düşey ölçüt sayısı 42'dir) göre de bir analiz yapmak gerekirse uydu yükseklik açısı 10° olan ölçü setlerinden hesaplanan düşey rms değerlerinin 4 tanesini bozarken, uydu yükseklik açısı 30° olan ölçü setlerinden hesaplanan düşey rms değerlerinin 2 tanesini bozduğu görülmüştür (Çizelge 3.29).

Çizelge 3. 28. GLONASS'ın yatayda bozduğu ölçütler

GLONASS'IN BOZDUĞU ÖLÇÜTLER (YATAY)						
S.No	Baz Mesafesi	Teknik	Doğruluk Ölçütü	GPS (cm)	GPS+GLONASS (cm)	Fark (cm)
1	55.KM	MAC - 10°	Yatay RMS	1.07	2.25	-1.18
2	AKSR 43.KM	VRS - 10°	Yatay RMS	1.15	4.95	-3.80
3		FKP - 10°	Yatay RMS	1.75	5.67	-3.92

Çizelge 3. 29. GLONASS'ın düşeyde bozduğu ölçütler

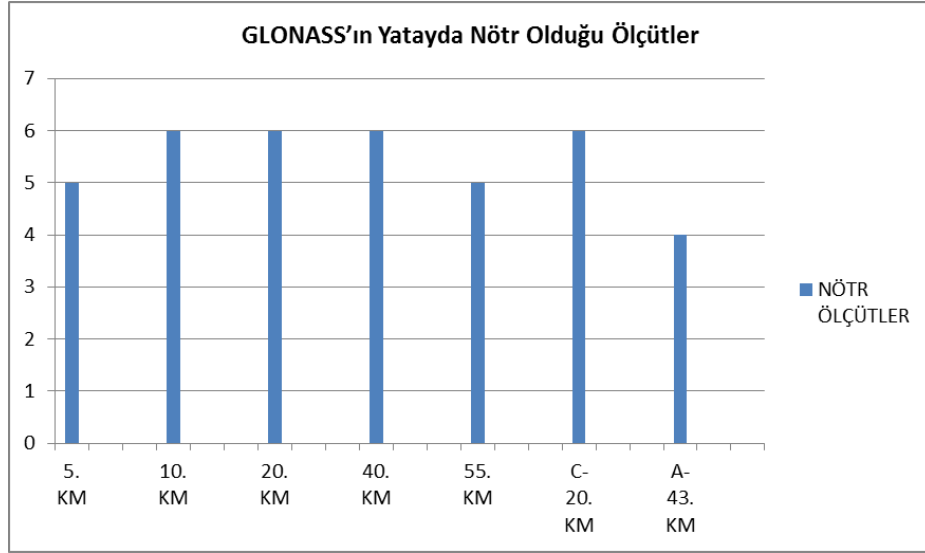
GLONASS'IN BOZDUĞU ÖLÇÜTLER (DÜŞEY)						
S.No	Baz Mesafesi	Teknik	Doğruluk Ölçütü	GPS (cm)	GPS+GLONASS (cm)	Fark (cm)
1	10.KM	MAC - 10°	Elip. Yük. RMS	3.35	6.18	-2.83
2		MAC - 30°	Elip. Yük. RMS	1.68	3.75	-2.07
3	20.KM	MAC - 30°	Elip. Yük. RMS	2.18	4.88	-2.70
4	55.KM	MAC - 10°	Elip. Yük. RMS	3.16	6.92	-3.76
5	AKSR 43.KM	VRS - 10°	Elip. Yük. RMS	2.39	6.53	-4.14
6		FKP - 10°	Elip. Yük. RMS	1.79	6.90	-5.11

3.2.7.3. GLONASS'ın etkisinin nötr/anlamsız olduğu ölçütler

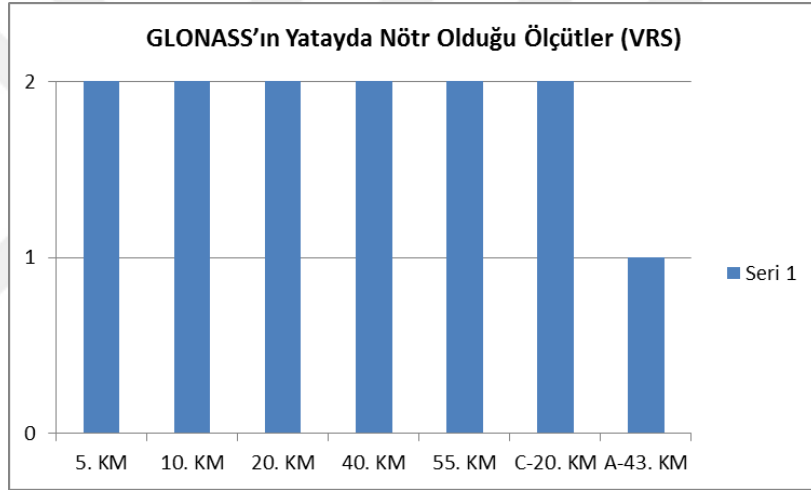
GLONASS'ın yatayda toplam 42 rms değerinin 38 tanesinde, rms değerleri arasındaki farkların +1 cm ile -1 cm arasında kaldığı ve bu ölçütlerin GLONASS'ın etkilemediği veya etkisinin nötr/anlamsız olduğu ölçütler olarak değerlendirilmiş, oransal olarak ise % 90,5 olduğu görülmüştür. Düşeyde ise toplam 42 rms değerinin 32 tanesinde, rms değerleri arasındaki farkların +2 cm ile -2 cm arasında kaldığı ve bu ölçütlerin GLONASS'ın etkisinin nötr/anlamsız olduğu ölçütler olarak değerlendirilmiş, oransal olarak ise % 76 olduğu ve genel nötr oranının ise % 83 olduğu görülmüştür. Yatay nötr doğruluk ölçütleri; baz mesafesi yönüyle incelendiğinde (her bir baz mesafesinde toplam yatay ölçüt sayısı 6'dır); 5. Km'de 5, 10. Km'de 6, 20. Km'de 6, 40. Km'de 6, 55. Km'de 5, kontrol istasyonlarında ise Cihanbeyli 20. Km'de 6 ve Aksaray 43. Km'de 4 ölçüt bulunduğu görülmüştür. Ağ Bazlı RTK teknikleri yönüyle incelendiğinde ise (her teknikte toplam yatay ölçüt sayısı 14'dür), VRS tekniğinde 13, FKP tekniğinde 13 ve MAC tekniğinde de 12 ölçüt bulunduğu görülmüştür. Uydu yükseklik açılarına (uydu yükseklik açısı 10°'de 21 ve 30°'de 21 olmak üzere toplam yatay ölçüt sayısı 42'dir) göre de bir analiz yapmak gerekirse uydu yükseklik açısı 10° olan ölçü setlerinden hesaplanan rms değerlerinin 17 tanesinde GLONASS'ın etkisi nötr iken uydu yükseklik açısı 30° olan ölçü setlerinden hesaplanan rms değerlerinin 21 tanesinde nötr olduğu görülmüştür (Çizelge 3.30, Şekil 3.57, 3.58, 3.59 ve 3.60). Sonuçların birbirine yakın olması sebebiyle GLONASS'ın yatayda nötr etkisinin, baz mesafelerinde, Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında ve uydu yükseklik açılarında bir trend oluşmadığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 3. 30. GLONASS'ın etkisinin yatayda nötr/anlamsız olduğu ölçütler

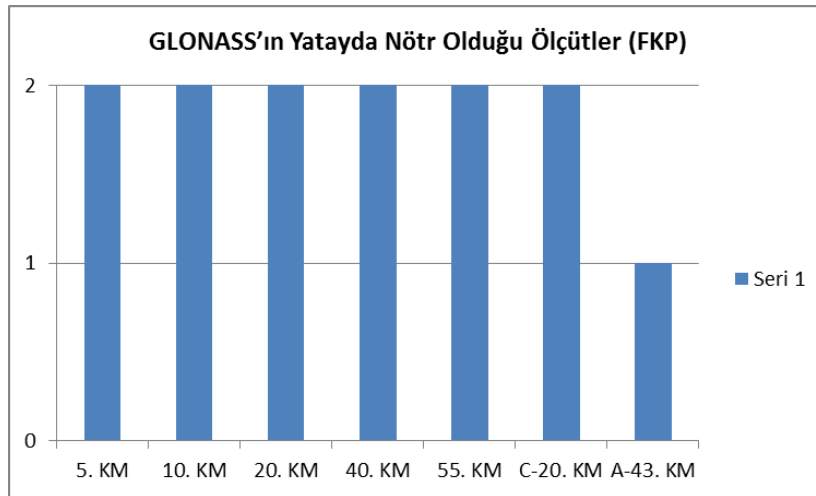
GLONASS'IN NÖTR/ANLAMSIZ OLDUĞU ÖLÇÜTLER (YATAY)						
S.No	Baz Mesafesi	Teknik	Doğruluk Ölçütü	GPS (cm)	GPS+GLONASS (cm)	Fark (cm)
1	5.KM	VRS - 10°	Yatay RMS	0.78	0.64	0.14
2		FKP - 10°	Yatay RMS	0.80	0.63	0.17
3		VRS - 30°	Yatay RMS	0.91	0.95	-0.04
4		FKP - 30°	Yatay RMS	0.82	0.96	-0.14
5		MAC - 30°	Yatay RMS	1.47	1.68	-0.21
6	10.KM	VRS - 10°	Yatay RMS	0.82	0.86	-0.04
7		FKP - 10°	Yatay RMS	0.84	0.69	0.15
8		MAC - 10°	Yatay RMS	0.93	1.44	-0.51
9		VRS - 30°	Yatay RMS	0.98	0.73	0.25
10		FKP - 30°	Yatay RMS	0.84	0.86	-0.02
11	20.KM	MAC - 30°	Yatay RMS	1.04	0.97	0.07
12		VRS - 10°	Yatay RMS	1.33	1.44	-0.11
13		FKP - 10°	Yatay RMS	1.48	1.04	0.44
14		MAC - 10°	Yatay RMS	1.32	1.73	-0.41
15		VRS - 30°	Yatay RMS	1.63	1.09	0.54
16	40.KM	FKP - 30°	Yatay RMS	1.46	0.98	0.48
17		MAC - 30°	Yatay RMS	1.13	1.42	-0.29
18		VRS - 10°	Yatay RMS	0.85	0.75	0.10
19		FKP - 10°	Yatay RMS	1.36	0.94	0.42
20		MAC - 10°	Yatay RMS	0.85	1.41	-0.56
21	55.KM	VRS - 30°	Yatay RMS	0.93	0.91	0.02
22		FKP - 30°	Yatay RMS	1.06	0.78	0.28
23		MAC - 30°	Yatay RMS	0.98	1.29	-0.31
24		VRS - 10°	Yatay RMS	1.32	0.86	0.46
25		FKP - 10°	Yatay RMS	1.26	0.95	0.31
26	CIHA 20.KM	VRS - 30°	Yatay RMS	1.20	1.08	0.12
27		FKP - 30°	Yatay RMS	1.52	1.03	0.49
28		MAC - 30°	Yatay RMS	0.93	1.02	-0.09
29		VRS - 10°	Yatay RMS	1.12	1.02	0.10
30		FKP - 10°	Yatay RMS	1.36	1.10	0.26
31	AKSR 43.KM	MAC - 10°	Yatay RMS	1.06	1.03	0.03
32		VRS - 30°	Yatay RMS	1.05	0.85	0.20
33		FKP - 30°	Yatay RMS	1.11	1.01	0.10
34		MAC - 30°	Yatay RMS	1.07	0.92	0.15
35		MAC - 10°	Yatay RMS	1.55	1.91	-0.36
36	AKSR 43.KM	VRS - 30°	Yatay RMS	1.24	1.22	0.02
37		FKP - 30°	Yatay RMS	1.23	1.36	-0.13
38		MAC - 30°	Yatay RMS	1.18	1.17	0.01



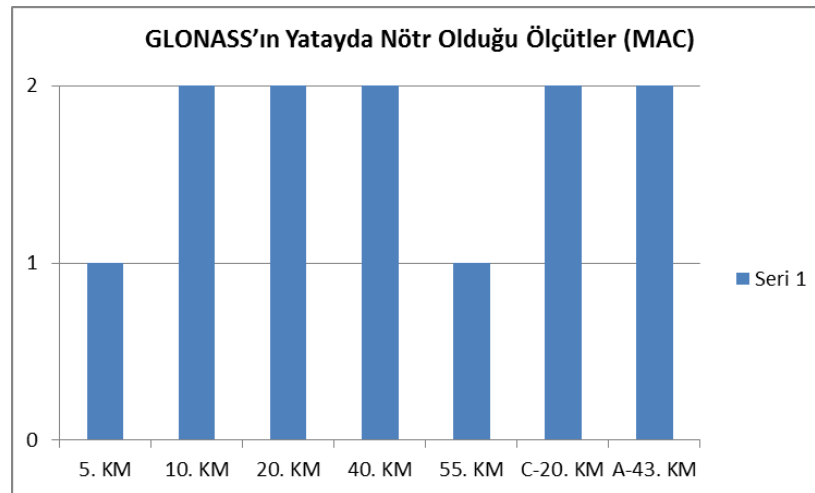
Şekil 3. 57. GLONASS'ın yatayda nötr/anlamsız olduğu ölçütlerin baz mesafelerine göre dağılımı



Şekil 3. 58. GLONASS'ın yatayda nötr/anlamsız olduğu ölçütlerin VRS tekniğine göre dağılımı



Şekil 3. 59. GLONASS'ın yatayda nötr/anlamsız olduğu ölçütlerin FKP tekniğine göre dağılımı

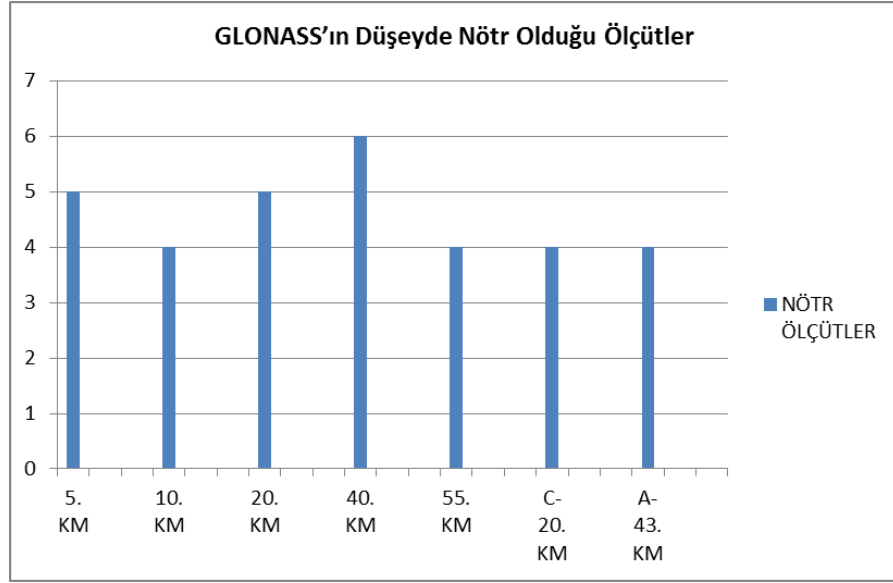


Şekil 3. 60. GLONASS'ın yatayda nötr/anlamsız olduğu ölçütlerin MAC tekniğine göre dağılımı

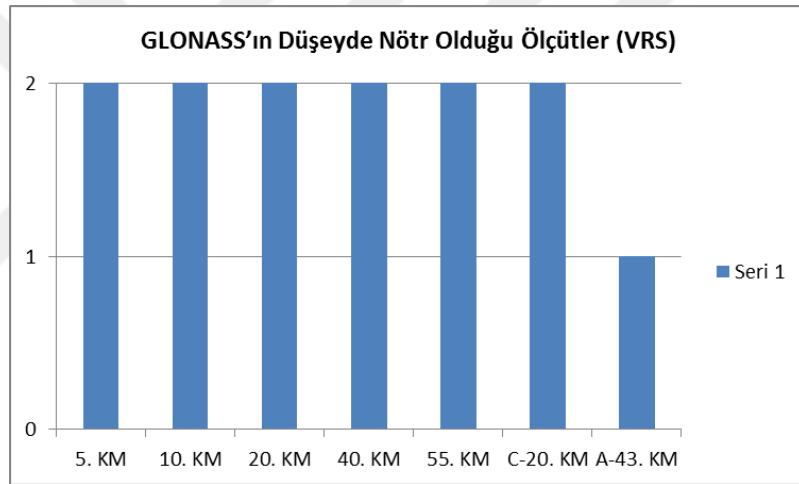
GLONASS'ın düşeyde toplam 42 rms değerinin 32 tanesinde, rms değerleri arasındaki farkların +2 cm ile -2 cm arasında kaldığı ve bu ölçütlerin GLONASS'ın etkisinin nötr/anlamsız olduğu ölçütler olarak değerlendirilmiş ve oransal olarak % 76 olduğu görülmüştür. Düşey nötr doğruluk ölçütleri; baz mesafesi yönüyle incelendiğinde (her bir baz mesafesinde toplam düşey ölçüt sayısı 6'dır); 5. Km'de 5, 10. Km'de 4, 20. Km'de 5, 40. Km'de 6, 55. Km'de 4, kontrol istasyonlarında ise Cihanbeyli 20. Km'de 4 ve Aksaray 43. Km'de 4 ölçüt bulunduğu görülmüştür. Ağ Bazlı RTK teknikleri yönüyle incelendiğinde ise (her teknikte toplam düşey ölçüt sayısı 14'dür), VRS tekniğinde 13, FKP tekniğinde 11 ve MAC tekniğinde de 8 ölçüt bulunduğu görülmüştür. GLONASS'ın düşeyde nötr etkisinin Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında en fazla sırasıyla VRS, FKP ve MAC tekniklerinde olduğu ifade edilebilir. Uydu yükseklik açılarına (uydu yükseklik açısı 10° 'de 21 ve 30° 'de 21 olmak üzere toplam yatay ölçüt sayısı 42'dir) göre de bir analiz yapmak gerekirse uydu yükseklik açısı 10° olan ölçü setlerinden hesaplanan rms değerlerinin 14 tanesinde GLONASS'ın etkisi nötr iken uydu yükseklik açısı 30° olan ölçü setlerinden hesaplanan rms değerlerinin 18 tanesinde nötr olduğu görülmüştür (Çizelge 3.31, Şekil 3.61, 3.62, 3.63 ve 3.64). Sonuçların birbirine yakın olması sebebiyle GLONASS'ın düşeyde nötr etkisinin, baz mesafelerinde ve uydu yükseklik açılarında bir trend oluşmadığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 3. 31. GLONASS'ın etkisinin düşeyde nötr/anlamsız olduğu ölçütler

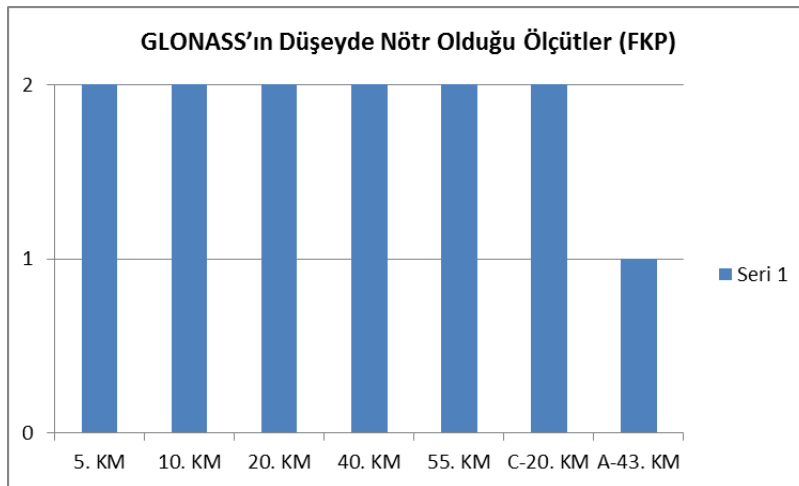
GLONASS'IN NÖTR/ANLAMSIZ OLDUĞU ÖLÇÜTLER (DÜŞEY)						
S.No	Baz Mesafesi	Teknik	Doğruluk Ölçütü	GPS (cm)	GPS+GLONASS (cm)	Fark (cm)
1	5.KM	VRS - 10°	Elip. Yük. RMS	1.10	0.81	0.29
2		FKP - 10°	Elip. Yük. RMS	1.03	0.80	0.23
3		VRS - 30°	Elip. Yük. RMS	1.68	1.83	-0.15
4		FKP - 30°	Elip. Yük. RMS	1.80	1.77	0.03
5		MAC - 30°	Elip. Yük. RMS	2.31	4.23	-1.92
6	10.KM	VRS - 10°	Elip. Yük. RMS	3.52	2.72	0.80
7		FKP - 10°	Elip. Yük. RMS	2.35	1.82	0.53
8		VRS - 30°	Elip. Yük. RMS	2.02	2.28	-0.26
9		FKP - 30°	Elip. Yük. RMS	1.51	2.10	-0.59
10		VRS - 10°	Elip. Yük. RMS	2.06	1.87	0.19
11	20.KM	FKP - 10°	Elip. Yük. RMS	1.93	1.51	0.42
12		MAC - 10°	Elip. Yük. RMS	2.58	3.14	-0.56
13		VRS - 30°	Elip. Yük. RMS	2.68	2.48	0.20
14		FKP - 30°	Elip. Yük. RMS	2.40	2.10	0.30
15		VRS - 10°	Elip. Yük. RMS	5.07	5.20	-0.13
16	40.KM	FKP - 10°	Elip. Yük. RMS	5.08	4.98	0.10
17		MAC - 10°	Elip. Yük. RMS	4.72	5.97	-1.25
18		VRS - 30°	Elip. Yük. RMS	5.61	5.49	0.12
19		FKP - 30°	Elip. Yük. RMS	6.52	5.45	1.07
20		MAC - 30°	Elip. Yük. RMS	4.43	3.04	1.39
21	55.KM	VRS - 10°	Elip. Yük. RMS	3.12	2.97	0.15
22		VRS - 30°	Elip. Yük. RMS	6.03	5.18	0.85
23		FKP - 30°	Elip. Yük. RMS	4.83	5.06	-0.23
24		MAC - 30°	Elip. Yük. RMS	5.66	5.51	0.15
25		VRS - 10°	Elip. Yük. RMS	2.28	2.52	-0.24
26	CIHA 20.KM	MAC - 10°	Elip. Yük. RMS	1.87	2.58	-0.71
27		VRS - 30°	Elip. Yük. RMS	2.12	2.35	-0.23
28		FKP - 30°	Elip. Yük. RMS	4.76	3.58	1.18
29	AKSR 43.KM	MAC - 10°	Elip. Yük. RMS	4.38	2.53	1.85
30		VRS - 30°	Elip. Yük. RMS	2.39	3.88	-1.49
31		FKP - 30°	Elip. Yük. RMS	2.57	2.90	-0.33
32		MAC - 30°	Elip. Yük. RMS	3.65	3.95	-0.30



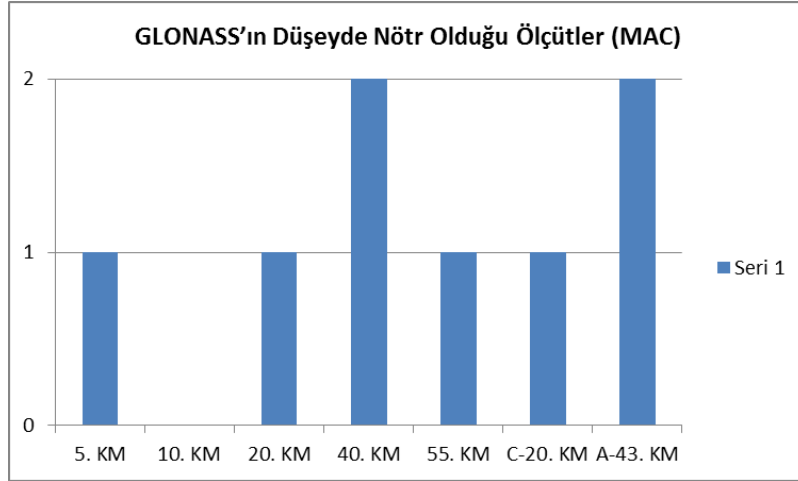
Şekil 3. 61. GLONASS'ın düşeyde nötr/anlamsız olduğu ölçütlerin baz mesafelerine göre dağılımı



Şekil 3. 62. GLONASS'ın düşeyde nötr/anlamsız olduğu ölçütlerin VRS tekniğine göre dağılımı



Şekil 3. 63. GLONASS'ın düşeyde nötr/anlamsız olduğu ölçütlerin FKP tekniğine göre dağılımı



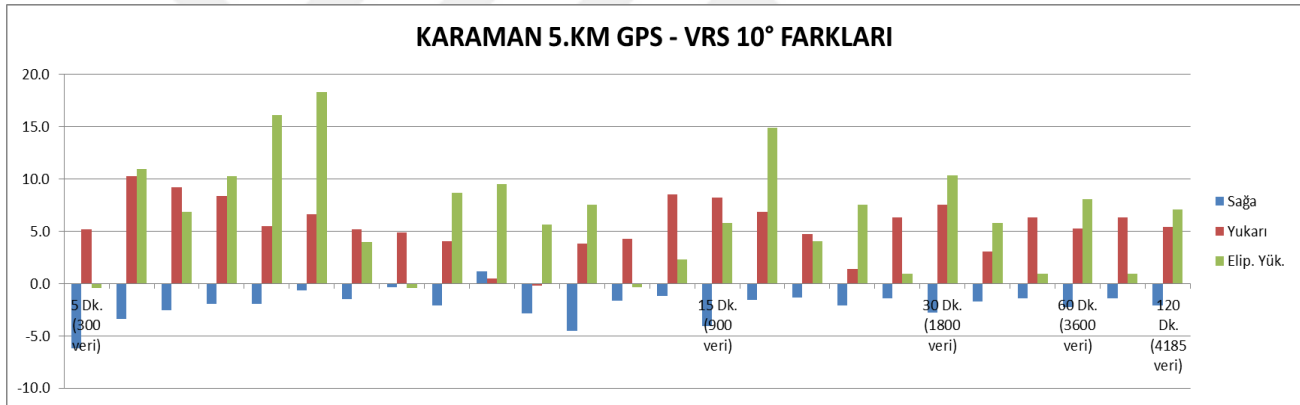
Şekil 3. 64. GLONASS'ın düşeyde nötr/anlamsız olduğu ölçütlerin MAC tekniğine göre dağılımı

3.2.8. Ağ Bazlı RTK ölçümlerinin epoklara göre sınıflandırılması

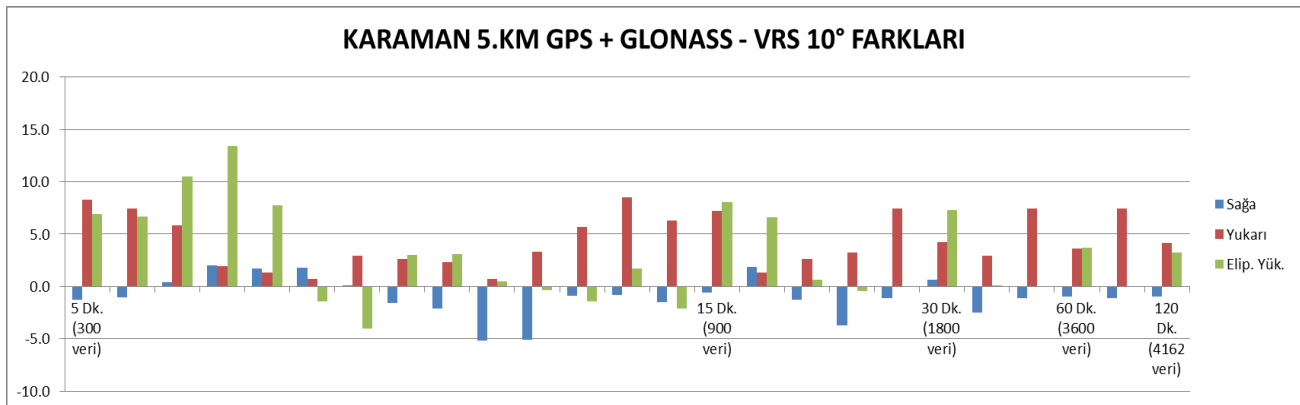
Ağ Bazlı RTK ölçümlerinden elde edilen tüm ölçü setleri; 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 saat ve 2 saatlik (sırasıyla 300, 900, 1800, 3600 ve tüm ölçü/epok ortalaması) ölçülerin/epoğun ortalaması bir ölçü olacak şekilde sınıflandırılmıştır. İstasyonların doğru koordinatları ile ölçü ortalamalarının farkları alınarak sadece GPS ölçümleri ile GPS + GLONASS ölçümlerinden elde edilen farklar grafikler halinde karşılaştırılmıştır. Örnek olarak KAMN – BEYS güzergâhının 5. Km'sinin VRS tekniğine ait karşılaştırma grafikleri (Şekil 3.65, 3.66, 3.67 ve 3.68), 55. Km'sinin FKP tekniğine ait grafikler (Şekil 3.69, 3.70, 3.71 ve 3.72) ve kontrol noktalarından CIHA istasyonunun 20. Km'sinin MAC tekniğine ait grafikler (Şekil 3.73, 3.74, 3.75 ve 3.76) verilmiştir. Grafiklerin değerlendirilmesi neticesinde;

- Ölçü/epok sayısının az olduğu ölçü gruplarında, özellikle 5 dk. ve 15 dk. gibi hata farklarının yüksek olduğu, ölçü/epok sayısı arttıkça hata farklarının azalarak doğruluğun arttığı,
- Ölçü/epok sayısının az olduğu ölçü gruplarında (özellikle 5dk.'lık ölçülerde), hata farklarının yaklaşık olarak sinüzoidal bir eğri oluşturarak dağılım sergilediği, doğruluğun değişkenlik gösterdiği ve bazı ölçü gruplarında doğruluk cm altı seviyelerde iken bazı ölçü gruplarında ise birkaç cm seviyelerinde olduğu,
- Ölçü/epok sayısının fazla olduğu ölçü gruplarında hata farklarının daha stabil olduğu,

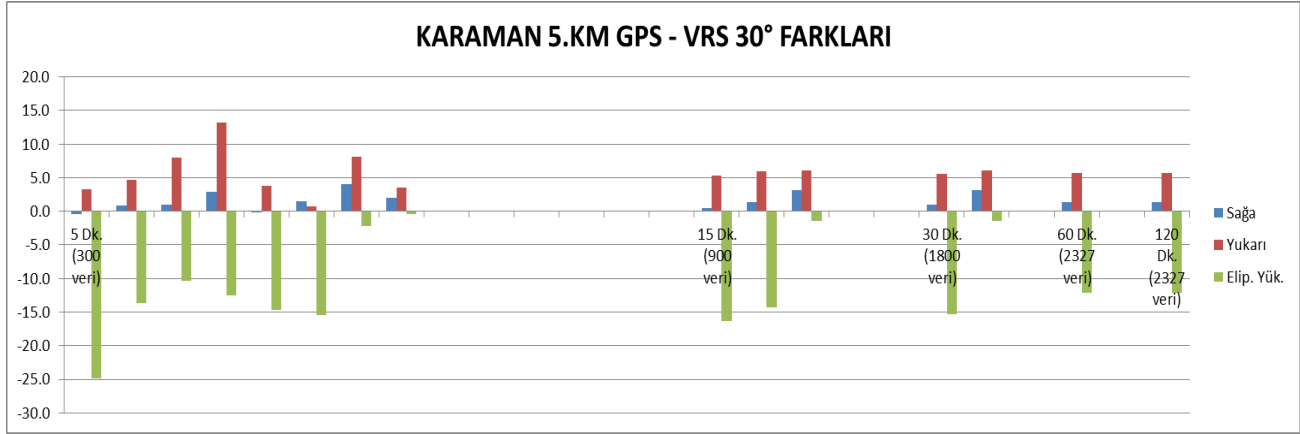
- Baz mesafesinin ölçü gruplarına etkisinin düşeyde maksimum seviyede olduğu, baz mesafesi arttıkça düşey yöndeki koordinat farklarının arttığı yani doğruluğunun azaldığı, yatay da ise etkisinin minimum seviyede olduğu,
- Ağ Bazlı RTK tekniklerinin karşılaştırılması durumunda VRS ve FKP tekniklerinden elde edilen sonuçların birbirlerine yakın olduğu, MAC tekniğinden elde edilen ölçümlerin doğruluklarının ise daha düşük olduğu,
- Uydu yükseklik açısı 10° ve 30° olan ölçü gruplarında ise 10° 'lik ölçülerin genellikle daha doğru (özellikle düşey yönde) sonuçlar verdiği,
- GLONASS'ın etkisinin genel olarak olumlu olduğu fakat yer yer bozucu etkisinin de olduğu görülmüştür. GLONASS'ın en önemli katkısının ise özellikle uydu yükseklik açısı 30° olan ölçü gruplarında ölçüm için gerekli olan minimum uydu sayısının sağlanması sayesinde, yapılan ölçüm sayısını artırdığı gözlemlenmiştir.



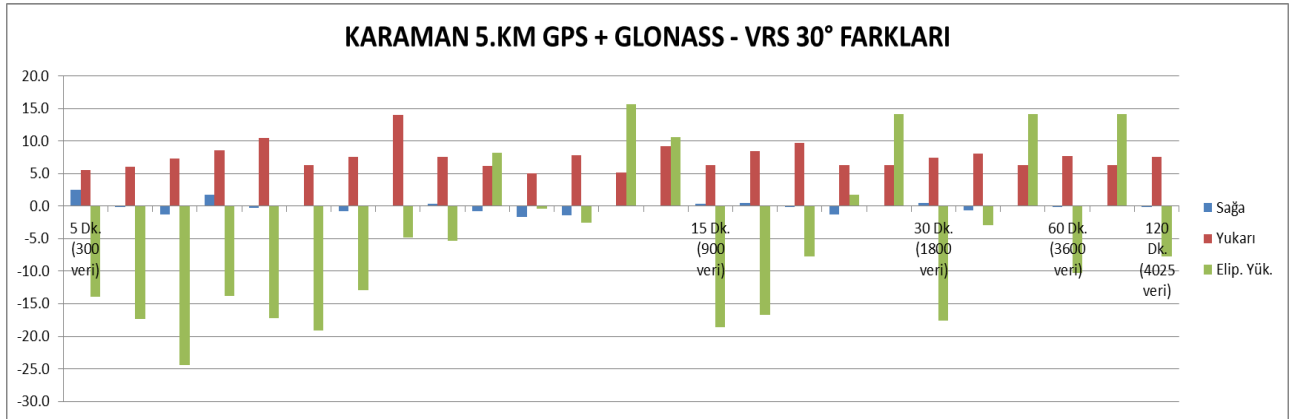
Şekil 3. 65. KAMN 5. Km sadece GPS – VRS (uydu yükseklik açısı 10°) ölçümlerinin 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm)



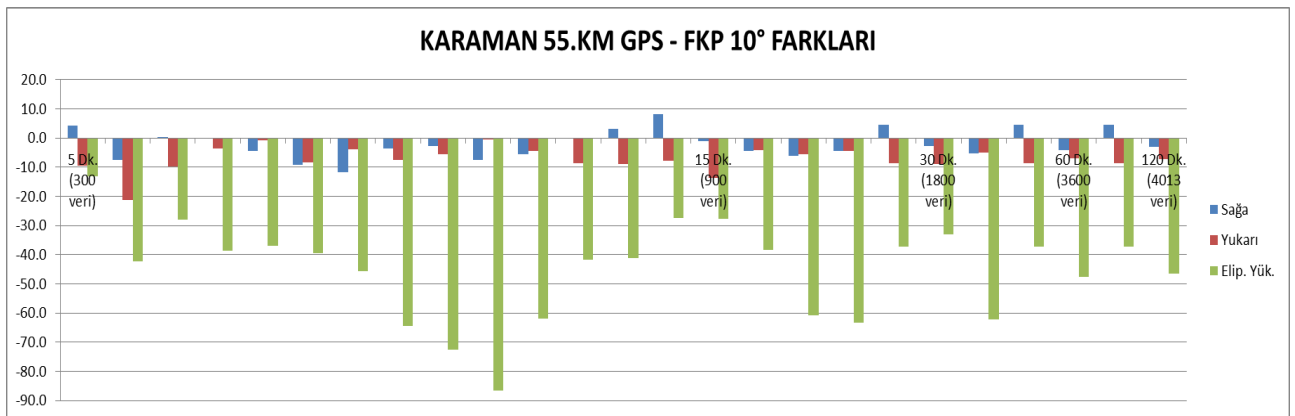
Şekil 3. 66. KAMN 5. Km GPS + GLONASS – VRS (uydu yükseklik açısı 10°) ölçümlerinin 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm)



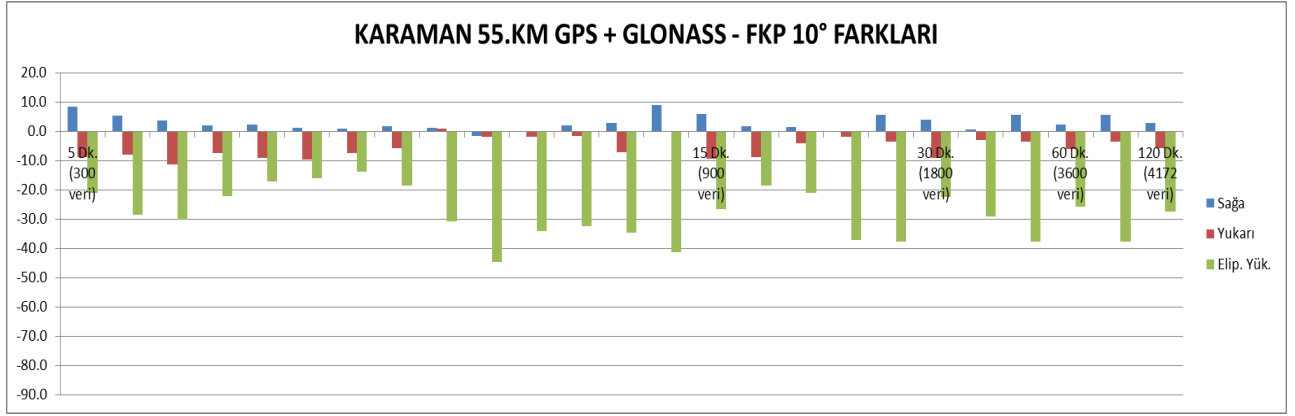
Şekil 3. 67. KAMN 5. Km sadece GPS – VRS (uydu yükseklik açısı 30°) ölçümlerinin 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm)



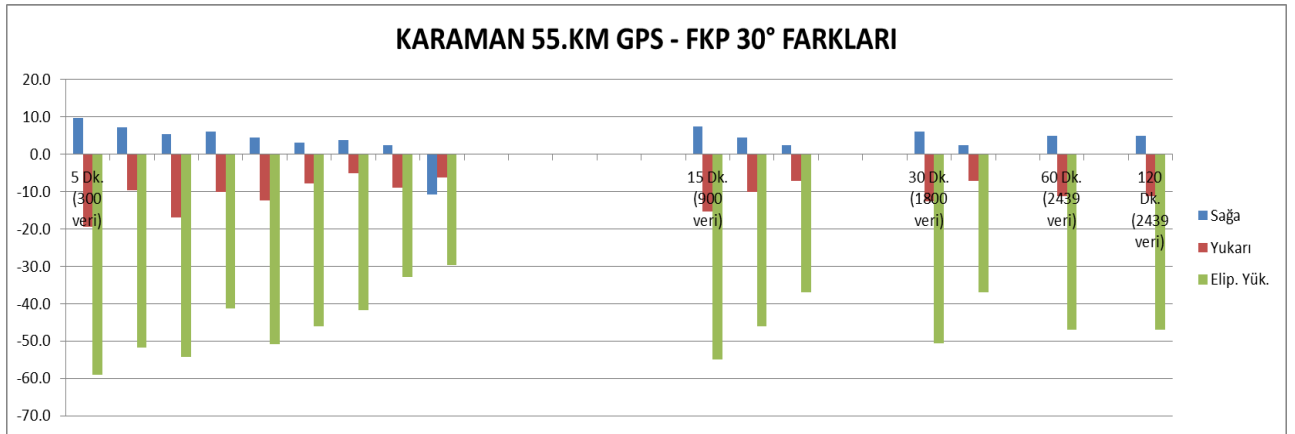
Şekil 3. 68. KAMN 5. Km GPS + GLONASS – VRS (uydu yükseklik açısı 30°) ölçümlerinin 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm)



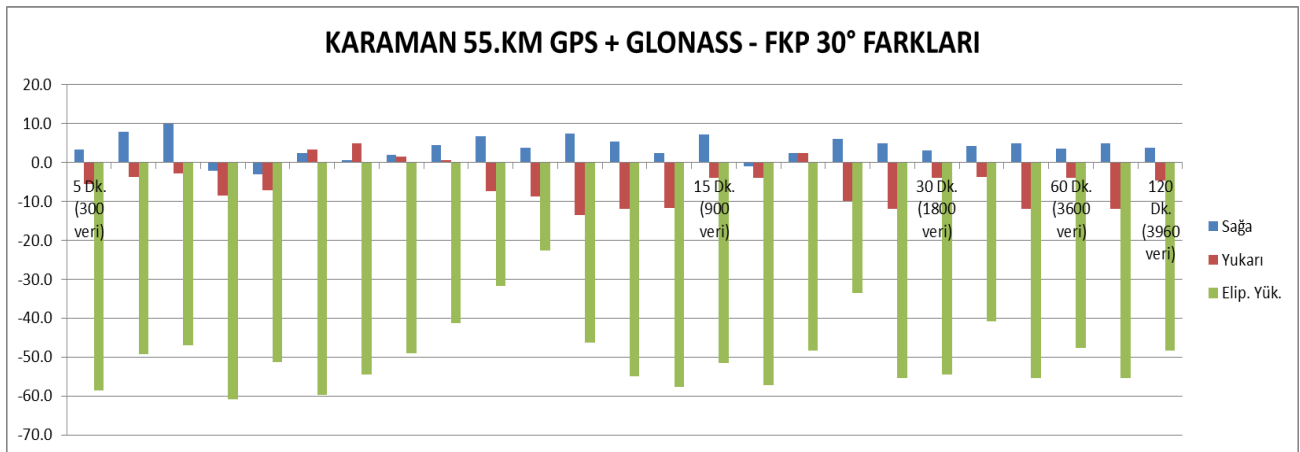
Şekil 3. 69. KAMN 55. Km sadece GPS – FKP (uydu yükseklik açısı 10°) ölçümlerinin 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm)



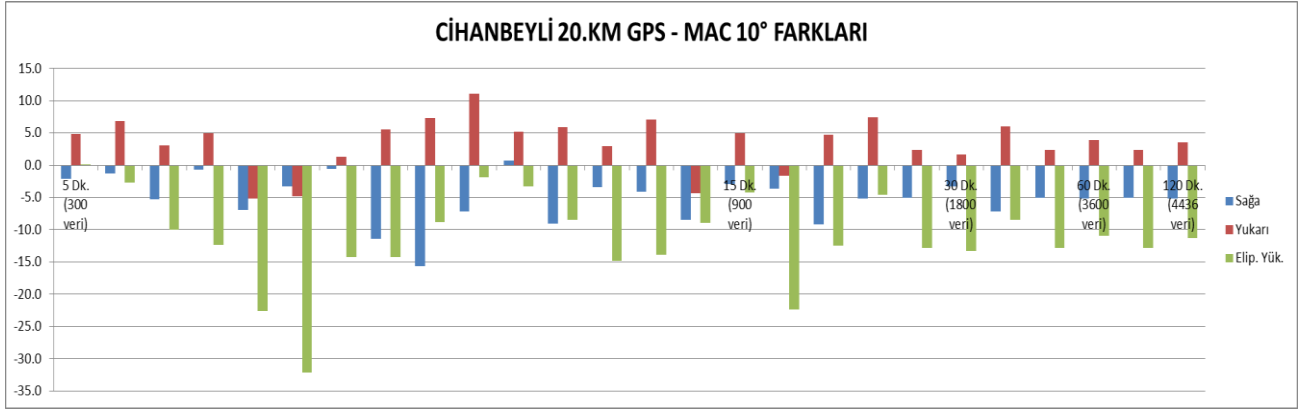
Şekil 3. 70. KAMN 55. Km GPS + GLONASS – FKP (uydu yükseklik açısı 10°) ölçümlerinin 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm)



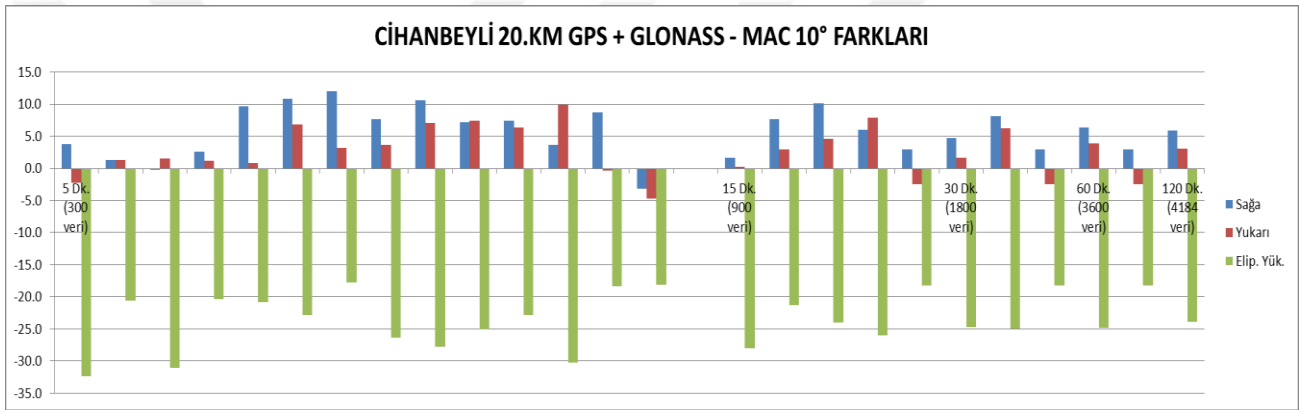
Şekil 3. 71. KAMN 55. Km sadece GPS – FKP (uydu yükseklik açısı 30°) ölçümlerinin 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm)



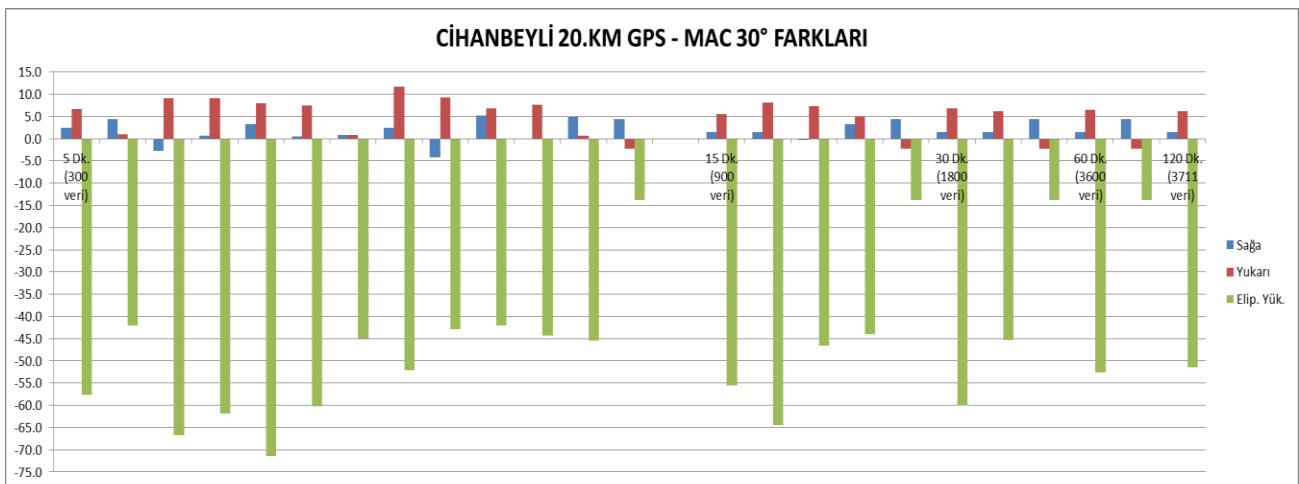
Şekil 3. 72. KAMN 55. Km GPS + GLONASS – FKP (uydu yükseklik açısı 30°) ölçümlerinin 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm)



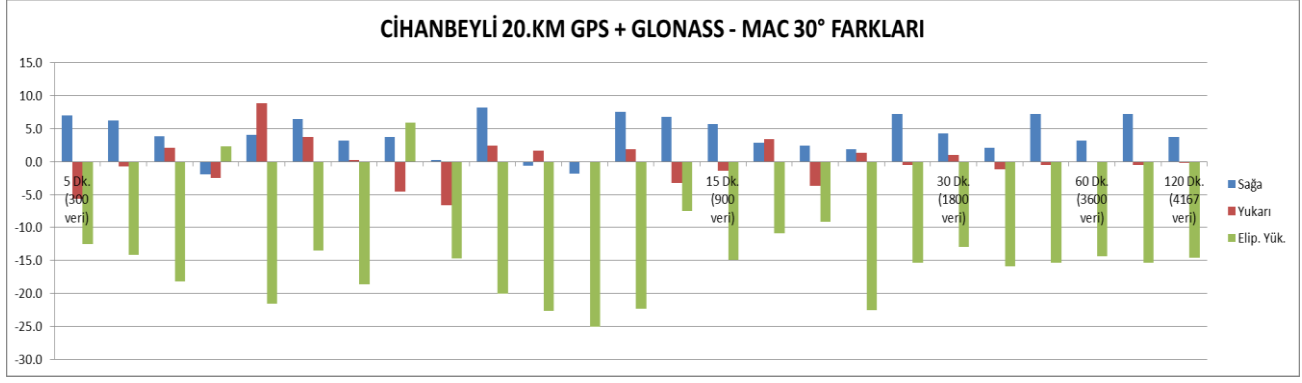
Şekil 3. 73. CIHA 20. Km GPS – MAC (uydu yükseklik açısı 10°) ölçümlerinin 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm)



Şekil 3. 74. CIHA 20. Km GPS + GLONASS – MAC (uydu yükseklik açısı 10°) ölçümlerinin 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm)



Şekil 3. 75. CIHA 20. Km GPS – MAC (uydu yükseklik açısı 30°) ölçümlerinin 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm)



Şekil 3. 76. CIHA 20. Km GPS + GLONASS – MAC (uydu yükseklik açısı 30°) ölçümlerinin 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 s. ve 2 s.'lik ölçülerin koordinat farkları (mm)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

GLONASS'ın CORS-TR ölçmelerinde konum doğruluğuna etkisini belirleyebilmek amacıyla arazi çalışması yapılmış ve elde edilen veriler ile değerlendirmeler önceki bölümde anlatılmıştır. Yapılan uygulama sonucunda elde edilen bulgular, aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Toplamda yedi istasyon noktasında ve her üç teknikte 308.908 epok veri ölçümü yapılmıştır. Ölçümlerde GLONASS'ın gözlemlenebilir uydu sayısını artırarak ölçümlerin yapılabilirliğini artırdığı, özellikle 30°'lik ölçümlerde bu durumun daha açık olarak görüldüğü ve PDOP değerlerini düşürdüğü (Çizelge 3.9) gözlemlenmiştir. GLONASS sistemi ile gözlem yapılacak uydu sayısı arttığından uydu sinyallerinin engellendiği şehir merkezleri gibi yapılaşmış alanlarda ve ormanlık bölgelerde GLONASS'ın olumlu etkisinin olabileceği anlaşılmıştır.

Ölçüm yapılan yedi istasyonda cihaz kurulan tüm noktaların, statik oturum ile elde edilen dataların dengelenmesi sonucu doğru kabul edilen koordinatları temin edilmiştir. Ağ Bazlı RTK teknikleri ile yapılan ölçümlerde bulunan kaba hatalı veya uyuşumsuz ölçülerin belirlenebilmesi amacıyla uyuşumsuz ölçüler testi yapılmıştır. Bu noktaların doğru koordinatları ile Ağ Bazlı RTK teknikleri ile elde edilen koordinat bileşen farklarının ± 10 cm'den büyük olanlar uyuşumsuz kabul edilerek ölçü setlerinden (7 istasyonda ve her bir istasyonda 6 adet GNSS alıcı cihazı ile uydu yükseklik açısı 10° ve 30° olmak üzere toplam 84 ölçü seti) atılmış ve analizlere bu şekilde devam edilmiştir. Toplam 308.908 epok veride sadece 2.789 adet ölçünün uyuşumsuz olduğu görülmüştür. Uyuşumsuz ölçülerin toplam ölçülere oranının % 0,90 olduğu (Çizelge 3.13), en fazla uyuşumsuz ölçülerin sırasıyla MAC, FKP ve VRS tekniklerinde olduğu (Çizelge 3.14), uyuşumsuz ölçülerin baz mesafesi ile aralarında doğru orantı olduğu (Çizelge 3.15), uyuşumsuz ölçülerin en fazla 10°'lik ölçümlerde olduğu (Çizelge 3.16) ve uyuşumsuz ölçülerin GPS + GLONASS ölçümlerinde sadece GPS ölçümlerinden daha fazla olduğu (Çizelge 3.17) görülmüştür.

Tüm ölçü setleri için rms ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.18). Rms ve standart sapma değerlerinin değerlendirilmesi ile baz mesafeleri arttıkça yatay rms, yatay standart sapma ve düşey standart sapma değerlerinin arttığı (mm mertebesinde), fakat 20. Km'den sonra azalıp tekrar bir artış trendine girdiği, düşey rms değerlerinin ise genel olarak baz mesafesi arttıkça artan bir trende sahip olduğu, VRS ile FKP tekniklerinin sonuçlarının birbirlerine yakın olduğu, MAC tekniğinde ise diğer

iki tekniğe göre rms ve standart sapma değerlerinin daha yüksek olduğu, uydu yükseklik açısı 10° olan ölçülerin küçük farklarla iyi sonuçlar verdiği, sadece GPS ile GPS + GLONASS ölçümlerinin birbirleri ile karşılaştırılması durumunda, GLONASS'ın genel olarak sonuçları iyileştirdiği, fakat bazı istasyonlarda bozucu etkiye sahip olduğu, rms ve standart sapma değerlerinin birbirleri ile karşılaştırılması durumunda rms değerlerinin daha yüksek, standart sapma değerlerinin ise daha düşük olduğu, yani ölçülerin prezisyon değerlerinin doğruluk değerlerinden daha iyi olduğu görülmüştür.

Ölçü setleri arasındaki farkların anlamlı olup olmadığını test etmek için f testi yapılmıştır. f testi; sadece GPS ölçümleri ile GPS + GLONASS ölçümleri arasında, sadece GPS ölçümlerinin Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında, GPS + GLONASS ölçümlerinin Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında ve baz mesafeleri arasında yapılmıştır. f testi sonuçlarının genel olarak değerlendirilmesi neticesinde (Çizelge 3.19, 3.20, 3.21, 3.22 ve 3.23); ölçü setleri arasındaki farkların genel olarak anlamsız olduğu, anlamlı ölçü setlerine ait sayıların birbirlerine yakın olması sebebiyle uydu yükseklik açılarında bir trend oluşmadığı gözlemlenmiştir. Ağ Bazlı RTK tekniklerinden VRS ve FKP tekniklerinin karşılaştırılmasında anlamsız ölçü sayısının, MAC tekniği ile karşılaştırmalardan daha fazla olduğu, anlamlı ölçü sayısının ise daha az olduğu ve bu durum ile iki tekniğin doğruluğunun birbirlerine daha yakın olduğu şeklinde anlaşılmıştır. Baz mesafeleri arasında yapılan f testinde ölçülerin % 94 oranında anlamsız olduğu bu sebeple baz mesafeleri arasında bir trend oluşmadığı görülmüştür (Çizelge 3.22, 3.23). Ayrıca sadece GPS ölçümlerinin Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında yapılan f testinde anlamsızlık oranı % 56, anlamlılık oranı % 44 iken GPS + GLONASS ölçümlerinin Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında yapılan f testinde ise anlamsızlık oranı % 58, anlamlılık oranının % 42 olduğu gözlemlenmiştir.

Ölçü setlerinin doğru koordinatları ile Ağ Bazlı RTK tekniklerinden elde edilen koordinatları arasındaki farkların/hataların dağılımlarının normal dağılımlı olup olmadıklarını anlayabilmek için normal dağılım histogram grafikleri (84 ölçü setinin 3 koordinat bileşeni için toplam 252 adet) çizdirilmiştir. Normal dağılım histogram grafiklerinin değerlendirilmesi neticesinde (Çizelge 3.24); 200 tanesinin normal dağılımlı olduğu (% 80), 52 tanesinin ise normal dağılımlı olmadığı (% 20), baz mesafesi attıkça normal dağılımlı olmayan histogramların arttığı (Çizelge 3.24), normal dağılımlı olmayan grafiklerin en fazla sırasıyla MAC, FKP ve VRS tekniklerinde olduğu, normal dağılımlı olmayan grafiklerin en fazla, uydu yükseklik açısı 10° 'lik ve GPS + GLONASS ölçü setlerinde ve düşey bileşene yani elipsoidal yükseklik hatalarına

ait olduğu görülmüştür. Genel olarak normal dağılımlı olmayan histogram grafiklerinin, rms ve standart sapma değerleri yüksek olan ölçü setlerine ait olduğu görülmüştür.

GLONASS'ın CORS-TR ağında Ağ Bazlı RTK teknikleri ile yapılan ölçümlere etkisini tespit etmek amacıyla doğruluk ölçütleri (rms) karşılaştırması yapılmış, sadece GPS ile GPS + GLONASS ölçümlerinden hesaplanan yatay rms ve elipsoidal yükseklik (düşey) rms değerleri ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar; GPS + GLONASS ölçü setlerine ait toplam 84 rms değeri, yine sadece GPS ölçümlerine ait 84 rms değeri ile yapılmıştır. GLONASS'ın 42 yatay rms değerinin 1 tanesinde rms değerlerini iyileştirdiği (Çizelge 3.26) oransal olarak % 2,5 olduğu, düşeyde ise toplam 42 rms değerinin 4 tanesinde rms değerlerini iyileştirdiği (Çizelge 3.27) oransal olarak % 10 olduğu ve genel iyileştirme oranının ise % 6 olduğu görülmüştür. GLONASS'ın yatayda toplam 42 rms değerinin 3 tanesinde rms değerlerini bozduğu (Çizelge 3.28) oransal olarak % 7 olduğu, düşeyde toplam 42 rms değerinin 6 tanesinde rms değerlerini bozduğu (Çizelge 3.29) oransal olarak % 14 olduğu ve genel bozma oranının ise % 11 olduğu görülmüştür. GLONASS'ın yatayda toplam 42 rms değerinin 38 tanesinde rms değerleri arasındaki farkların +1 cm ile -1 cm arasında kaldığı ve bu ölçütlerin GLONASS'ın etkilemediği veya etkisinin nötr/anlamsız olduğu ölçütler olarak değerlendirilmiş (Çizelge 3.30) oransal olarak ise % 90,5 olduğu görülmüştür. Düşeyde ise toplam 42 rms değerinin 32 tanesinde nötr/anlamsız ölçütler bulunduğu (Çizelge 3.31) oransal olarak % 76 olduğu ve genel nötr oranının ise % 83 olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre GLONASS'ın iyileştirme oranının, sonuçların birbirine yakın olması sebebiyle yatayda bir trendin oluşmadığı, düşeyde ise daha iyi olduğu, Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında MAC tekniğinin düşey bileşende daha kötü sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. GLONASS'ın yatayda nötr etkisinin; baz mesafelerinde, Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında ve uydu yükseklik açılarında bir trend oluşmadığı; düşeyde nötr etkisinin ise Ağ Bazlı RTK teknikleri arasında en fazla sırasıyla VRS, FKP ve MAC tekniklerinde olduğu, baz mesafelerinde ve uydu yükseklik açılarında ise bir trend oluşmadığı gözlemlenmiştir.

Ağ Bazlı RTK ölçümlerinden elde edilen tüm ölçü setleri; 5 dk., 15 dk., 30 dk., 1 saat ve 2 saatlik (300, 900, 1800, 3600 ve tüm ölçü/epok ortalaması) ölçülerin/epoğun ortalaması bir ölçü olacak şekilde sınıflandırılmıştır. İstasyonların doğru koordinatları ile ölçü ortalamalarının farkları alınarak sadece GPS ölçümleri ile GPS + GLONASS ölçümlerinden elde edilen farklar grafikler halinde karşılaştırılmıştır. Grafiklerin değerlendirilmesi ile ölçü/epok sayısının az olduğu ölçü gruplarında, özellikle 5 dk. ve

15 dk. gibi hata farklarının yüksek olduğu, ölçü/epok sayısı arttıkça hata farklarının azalarak doğruluğun arttığı, baz mesafesinin ölçü gruplarına etkisinin düşeyde maksimum seviyede olduğu, baz mesafesi arttıkça düşey yöndeki koordinat farklarının arttığı yani doğruluğunun azaldığı, yatay da ise etkisinin minimum seviyede olduğu, Ağ Bazlı RTK tekniklerinin karşılaştırılması durumunda VRS ve FKP tekniklerinden elde edilen sonuçların birbirlerine yakın olduğu, MAC tekniğinden elde edilen ölçümlerin doğruluklarının ise daha düşük olduğu, uydu yükseklik açısı 10°'lik ölçülerin genellikle daha doğru (özellikle düşey yönde) sonuçlar verdiği ve GLONASS'ın etkisinin genel olarak olumlu olduğu fakat yer yer bozucu etkisinin de olduğu, en önemli katkısının ise özellikle uydu yükseklik açısı 30° olan ölçü gruplarında ölçüm için gerekli olan minimum uydu sayısının sağlanması sayesinde, yapılan ölçüm sayısını artırdığı gözlemlenmiştir.

Ayrıca ölçümler sonucunda en küçük (en iyi) rms ve standart sapma değerleri Çizelge 4.1'de, en büyük (en kötü) rms ve standart sapma değerleri ise Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 1. En küçük rms ve standart sapma değerleri

		En Küçük Değer (mm)	Baz Kesafesi	Teknik	Uydu Yük. Açısı	GNSS	Cihaz No
RMS	Sağa	2.6	5. Km	FKP	10°	GPS+GLONASS	5
	Yukarı	5.2	10. Km	VRS	30°	GPS+GLONASS	4
	Yatay	6.3	5. Km	FKP	10°	GPS+GLONASS	5
	Elip. Yük.	8.0	5. Km	FKP	10°	GPS+GLONASS	5
Standart Sapma	Sağa	2.6	5. Km	FKP	10°	GPS+GLONASS	5
	Yukarı	3.5	5. Km	MAC	10°	GPS+GLONASS	6
	Yatay	4.4	5. Km	FKP	10°	GPS+GLONASS	5
	Elip. Yük.	7.3	10. Km	FKP	10°	GPS+GLONASS	5

Çizelge 4. 2. En büyük rms ve standart sapma değerleri

		En Büyük Değer (mm)	Baz Kesafesi	Teknik	Uydu Yük. Açısı	GNSS	Cihaz No
RMS	Sağa	18.8 16.4	5. Km 55. Km	MAC	10°	GPS GPS+GLONASS	3 6
	Yukarı	55.9	AKSR 43. Km	FKP	10°	GPS+GLONASS	5
	Yatay	56.7	AKSR 43. Km	FKP	10°	GPS+GLONASS	5
	Elip. Yük.	69.2	55. Km	MAC	10°	GPS+GLONASS	6
Standart Sapma	Sağa	10.5	20. Km	MAC	30°	GPS+GLONASS	6
	Yukarı	22.8	AKSR 43. Km	VRS	10°	GPS+GLONASS	4
	Yatay	24.0	AKSR 43. Km	VRS	10°	GPS+GLONASS	4
	Elip. Yük.	44.5 40.9	5. Km 20. Km	MAC	10° 30°	GPS GPS+GLONASS	3 6

Sonuçta, en doğru ve en prezisyonlu ölçümlerin en kısa baz mesafeleri olan 5. ve 10. Km'deki, uydu yükseklik açısı olarak 10° olan, Ağ Bazlı RTK tekniği olarak VRS ve FKP teknikleri ve GLONASS'lı ölçüm setlerine ait olduğu, en kötü sonuçların ise uzun baz mesafelerinde (genellikle 43 ve 55. Km'ler) ve MAC tekniğine ait ölçüm gruplarında olduğu sonucuna varılmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması ile küresel konum belirleme sistemleri olan GPS, GLONASS ile diğer sistemler ve bölgesel uydu bazlı konum belirleme sistemleri, Ağ Bazlı RTK, Ağ Bazlı RTK teknikleri olan VRS, FKP ve MAC teknikleri ve bunların karşılaştırılması ayrıntılı olarak açıklanmıştır. GLONASS sisteminin CORS-TR ağında konum doğruluğuna etkisini, baz mesafesi ve Ağ Bazlı RTK teknikleri yönüyle belirleyebilmek amacıyla arazi uygulaması yapılmış ve uygulama sonuçları ile elde edilen bulgular tartışılmıştır.

Sonuç olarak; tez çalışmasında hedeflenen temel unsurlar belirlenmiştir. Bunlar, birinci olarak CORS-TR ölçmelerinde GLONASS'ın konum doğruluğuna etkisinin belirlenmesi idi. Yapılan uygulama neticesinde GLONASS'ın konum doğruluğuna olumlu etkisinin olduğu belirlenmiştir. Fakat bazı durumlarda bozucu bir etkisinin de olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin gökyüzünde uydu dağılımlarının eşit dağılımlı olmayıp bir yönde birikmiş olabileceği, GPS ve GLONASS uydu verilerinin birlikte değerlendirilmesinde kullanılan algoritmalarından/yazılımlardan kaynaklanabileceği şeklinde tahmin edilmiştir. Bununla birlikte GPS ve GLONASS uydu sistemlerini bir arada kullanmanın; sinyal yapıları, koordinat, zaman sistemleri ve yörünge sayılarının farklılığı, alıcı saat hataları, taşıyıcı faz gözlem modelleri, GNSS alıcı cihaz kanalları arası sapmalar ve bunların modellemelerinin farklılıklarından kaynaklanabileceği gibi bir takım zorluklarının da olduğu değerlendirilmiştir (Siejka, 2017; Al-Shaery vd., 2012; Alçay vd., 2012; Maini ve Agrawal, 2011; Ong vd., 2009; Wang vd., 2001). Ayrıca yapılan literatür taramalarında GLONASS'ın kullandığı sinyal ayırma tekniği olan FDMA yönteminin birinci ve ikinci nesil GLONASS uydularında (GLONASS ve GLONASS-M uydularının ilk nesli) kullanıldığı, bu yöntemin cm seviyelerinde sapmalara neden olabileceği ifade edilmektedir (Ma, vd., 2012; Yang, vd., 2020). FDMA yönteminin faz başlangıç belirsizliği çözüm performansının ise CDMA yönteminden daha düşük olması ve faz başlangıç belirsizliği çözümünde özellikle alıcı saat hatalarının modellenmesi gibi bir takım hataların tam olarak giderilememesi, GLONASS'ın olumsuz etkisi olarak ölçü sonuçlarına yansımaktadır (Brack vd., 2021; Zhu vd., 2018; Henkel vd., 2016; Reussner ve Wanninger, 2011; Wang, 2000). Bununla birlikte GLONASS'ın en önemli katkısı; görülebilir uydu sayısını arttırması, özellikle uydu yükseklik açısının 30° olduğu ölçümlerde, bir ölçüm için gerekli uydu sayısının rahatlıkla sağlandığı, şehir merkezleri, ormanlık alanlar gibi uydu yükseklik açısının

daraldığı bölgelerde sadece GPS uydularının yetmediği durumlarda GLONASS uyduları ile ölçümlerin yapılabilirliğini sağlaması olduğu gözlemlenmiştir (Maciuk, 2015). İkinci olarak Ağ Bazlı RTK teknikleri (VRS, FKP ve MAC) arasında doğruluk, presizyon ve 3. bölümde anlatılan yönleriyle karşılaştırmalar yapılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarının birbirlerine yakın olmasına karşın genel olarak VRS ve FKP tekniklerinin birbirlerine daha yakın, daha doğru ve presizyonlu sonuçlar verdiği sonucuna ulaşılmıştır. Son olarak ise her bir ölçüm noktası için baz mesafesinin konum doğruluğuna etkisi belirlenmiştir. Baz mesafelerine ait cm duyarlılığında yapılan f testi ile farklı baz mesafelerinde yapılan ölçümlerden hesaplanan rms değerlerinin karşılaştırılması neticesinde test sonucunun % 94 oranında anlamsız olduğu, yani baz mesafesinin (maksimum 55 km'lik bazlar için) konum doğruluğuna etkisinin bulunmadığı görülmüştür.

GLONASS uydu sisteminin, GPS'den sonra küresel ölçekte kullanılan ikinci sistem olması ve tam kapasite kullanılmaya başlanılmasından bu yana kısa bir zaman dilimi geçmesi sebebiyle üzerine yapılan bilimsel çalışmalar kısıtlıdır. Bu amaçla yapılan bu tez çalışmasında GLONASS'ın konum doğruluğuna anlamlı etkisinin olduğu, GPS ve diğer uydu sistemleri ile entegre kullanılması durumunda, özellikle uyduların sınırlı görünürlüğe sahip olduğu engelli alanlarda görülebilir uydu sayısını artırdığı, DOP değerlerini düşürdüğü ve sonuçları olumlu olarak etkilediği gibi veriler elde edilmiştir.

Bu çalışma ile GLONASS sisteminin GPS sistemi ile birlikte CORS-TR ağında kullanımında, mm seviyesinde doğruluk gerektirmeyen çalışmalarda kullanılabileceği fakat akademik ve bilimsel çalışmalarda ise kontrollü kullanılmasının uygun olacağı kanısına varılmıştır.

Yukarıdaki sonuçlar, arazi uygulamasının yapıldığı KAMN – BEYS istasyonları ile kontrol ölçümlerinin yapıldığı CIHA – AKSR istasyonları arasında maksimum 55 km'lik bazlarda yapılan ölçümler neticesinde elde edilmiştir. Sonuçların tüm CORS-TR ağında ve daha uzun bazlarda geçerliliği için test ölçümlerinin farklı bölgelerde ve daha uzun bazlarda yapılması faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abdulmajed, R., İ., A., 2017, *Accuracy Comparison Between GPS Only And GPS Plus Glonass in RTK And Static Methods*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Alçay, S., 2010, *Küresel Konumlamada GLONASS'ın Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Alçay, S., 2016, *Farklı Gözlem Sürelerinde GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP Yöntemlerinin Konum Belirleme Performanslarının İncelenmesi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt: 16, Sayı: 2, Afyon.
- Alçay, S., ve İnal, C., 2010, *Global Bir Ağda GPS/GLONASS, GPS ve GLONASS Sonuçlarının Karşılaştırılması*, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, C.25, S.1, Konya.
- Alçay, S., İnal, C., Yiğit, C., O. ve Yetkin, M., 2012, *Comparing GLONASS-Only with GPS-Only And Hybrid Positioning in Various Length of Baselines*, Acta Geodaetica et Geophysica Dergisi, Vol: 47 (1), Macar Bilim Akademisi, Macaristan, 1 – 12.
- Alkan, R., M., İlçi, V. ve Özulu, İ., M., 2014, *PPP Yönteminde GPS ve GLONASS Uydularının Kullanımının Nokta Konum Doğruluğuna Etkisinin Araştırılması*, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 6, Sayı: 2, Afyon.
- Allahyari, M., 2016, *Accuracy Evaluation of Real-Time GNSS Survey Observations*, Yüksek Lisans Tezi, Oregon State Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, ABD.
- Al-Shaery, A., Lim, S. ve Rizos, C., 2011, *Assessment of Network-Based Positioning Performance Using GPS Alone Versus GPS And GLONASS Combined*, 24rd International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation, ABD.
- Al-Tamar, K., A., F., 2016, *Jeodezik Amaçlı GNSS Göreli Konum Belirleme Yöntemlerinde Doğruluk Araştırması*, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Aydın, T., K., 2016, *CORS İstasyonlarının Sayı ve Yönsel Faktörlerinin Statik Ağ Dengelemesinde Konum Doğruluğuna Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- BeiDou Navigation Satellite System, Signal In Space Interface Control Document, 2013, Open Service Signal (Version 2.0), China Satellite Navigation Office, Çin.
- Brack, A., Männel, B. and Schuh, H., 2021, *GLONASS FDMA data for RTK positioning: a five -system analysis*, GPS Solutions, Vol: 25, No: 9, Springer Link, İsviçre.

- Brown, N., Geisler, I. and Troyer, L., 2006, *RTK Rover Performance using the Master-Auxiliary Concept*, Journal of Global Positioning Systems, Vol: 5, No: 1-2, Springer Open, 135-144.
- Cander, L. R., 2012, *Total Electron Content Modelling for Space Weather Applications*, 6. GNSS Vulnerabilities and Solutions Conference , 21 – 24 May 2012, Hırvatistan.
- Chen, H., C., Huang, Y., S., Chiang, K., W., Yang, M. and Rau, R., J., 2011, *The Performance Comparison Between GPS And BeiDou-2/Compass: A Perspective From Asia*, Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol. 32, No. 5, Çin, 679-689.
- China's BeiDou Navigation Satellite System, 2016, The State Council Information Office of the People's Republic of China, Çin.
- Choi, K., 2018, *Current Status and the future of CORS network*, 58th Meeting of the Civil GPS Service Interface Committee, 24 – 25 Eylül 2018, Florida, ABD.
- Choy, S., Zhang, S., Lahaye, F. ve Heroux, P., 2013, *A Comparison Between GPS-Only And Combined GPS+GLONASS Precise Point Positioning*, Journal of Spatial Science, Vol: 58, No: 2, 169-190, Birleşik Krallık.
- Cingöz, A., Yıldırım, Ö., Eren, K., Uzel, T., Lenk, O., Gürdal, M., A., Bakıcı, S., ve Aktuğ, B., 2009, *Sürekli Gözlem Yapan GPS İstasyonları Ağı ve Ulusal Datum Dönüşümü Projesi (TUSAGA-Aktif/Cors-Tr)*.
- CORS-TR Uygulama Raporu, 2006, TÜBİTAK Ulusal CORS (Sürekli Gözlem Yapan GPS İstasyonu) Sisteminin Kurulması (Ulusal Datum Dönüşümü) Projesi, Proje No: 105G017.
- Çelebi, H., 2007, *Mühendisler İçin İstatistik Yöntemler ve Uygulamalar*, Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Ders Notları, Mersin, 92 – 93.
- Çelik, Ş., 2006, *Normal Dağılım ve Normal Dağılımla İlgili Çıkarımlar*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Doğanalp, S., 2013, *Gravite Alanı Belirleme Amaçlı Yakın Yer Uyduları İçin Duyarlı Yörünge Belirleme Teknikleri*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1 - 5.
- Doğruluk, A., D., 2020, *CORS-TR İstasyonlarının 3 Boyutlu Tektonik Hızlarının Doğruluk Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- El-Eraki, M., A., Lethy, A., Samy, A. and Deebes, H., A., 2018, *The disturbance storm time (Dst) index prediction using time delay neural network during some extreme geomagnetic storms*, Academia Journal of Scientific Research, Vol: 6, No: 7, Academia Publishing, 295 – 302.

- Euler, H. J., Keenan, C. R., Zebhauser, B. E. and Wübbena, G., 2001, *Study of a Simplified Approach in Utilizing Information From Permanent Reference Station Arrays*, ION GPS 2001, Salt Lake City, USA.
- Euler, H. J., 2006, *Real-time RTK messages for permanent reference station applications standardized by RTCM*, Symposium of the IAG, 9 – 10 October 2006, Munich, Germany.
- Gao, W., Gao, C. ve Pan, S., 2016, *A Method of GPS/BDS/GLONASS Combined RTK Positioning For Middle-Long Baseline With Partial Ambiguity Resolution*, Survey Review Dergisi, Vol: 49, No: 354, Çevre Fakültesi, The West of England Üniversitesi, Birleşik Krallık.
- Geng, J. and Shi, C., 2017, *Rapid initialization of real-time PPP by resolving undifferenced GPS and GLONASS ambiguities simultaneously*, Journal of Geodesy, Vol: 91, Springer Link, İsviçre, 361–374.
- Geng, J., Meng, X., Teferle, F., N., and Dodson, A., H., 2010, *Performance of precise point positioning with ambiguity resolution for 1-to 4-hour observation periods*, Survey Review, Vol: 42, No: 316, Çevre Fakültesi, The West of England Üniversitesi, Birleşik Krallık, 155-165.
- Gündüz, A., M., 2013, *Klasik RTK ve Ağ-RTK Yöntemlerinin Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Henkel, P., Mittmann, U. and Iafrancesco, M., 2016, *Real-Time Kinematic Positioning with GPS and GLONASS*, 24th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), 28 August - 2 September 2016, Budapest, Hungary.
- Higuchi, H., Saito, M., Iwahashi, T. and Usui, S., 2004, *Network based high accuracy realtime GPS positioning for GCP correction of high resolution satellite imagery*, International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 20-24 Sept. 2004, Anchorage, AK, USA.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Wasle, E., 2008, *GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo and more*, SpringerWienNewYork Publishing, Avusturya.
- Hu, G., R., Khoo, H., S., Goh, P., C. and Law, C., L., 2003, *Development and assessment of GPS virtual reference stations for RTK positioning*, Journal of Geodesy, Vol: 77, Springer Link, İsviçre, 292–302.
- İçen, E., 2018, *Küresel ve Bölgesel Konumlama Sistemleri, Teknolojileri ve Uygulamaları*, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Uzmanlığı Tezi, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Genel Müdürlüğü, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara, 42 – 58.
- İnal, C., Bülbül, S. ve Bilgen, B., 2018, *Statistical analysis of accuracy and precision of GNSS receivers used in network RTK*, Arabian Journal of Geosciences, Vol: 11, No: 227, Springer Link, İsviçre.

- İnyurt, S. ve Şentürk, E., 2020, *Manyetik Fırtına Kaynaklı İyonosferik Değişimlerin GNSS Ölçümleri Kullanılarak İrdelenmesi*, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 9(1), Bitlis, 288 – 296.
- Janssen, V., 2009, *A comparison of the VRS and MAC principles for network*, International Global Navigation Satellite Systems Society IGNS Symposium 2009, 1 – 3 December 2009, Qld, Australia.
- Janssen, V. and Haasdyk, J., 2011, *Assessment of Network RTK Performance Using CORSnet-NSW*, International Global Navigation Satellite Systems Society IGNS Symposium 2011, New South Wales Üniversitesi, Avustralya.
- Jiang, W., An, X., Chen, H. and Zhao, W., 2017, *A new method for GLONASS inter-frequency bias estimation based on long baselines*, GPS Solutions, Vol: 21, Springer Link, İsviçre, 1765 – 1779.
- Jin, S., 2012, *Global Navigation Satellite Systems Signal, Theory and Applications*, 1. Basım, InTech Yayınları, Hırvatistan.
- Jin, S., 2015, *Satellite Positioning Methods, Models and Applications*, Published by AvE4EvA.
- Junhong, L., Defeng, G., Bing, J., Jing, Y., Xiaojun, D. and Dongyun, Y., 2014, *Basic Performance of Beidou-2 Navigation Satellite System Used in Leo Satellites Precise Orbit Determination*, Chinese Journal of Aeronautics, 2017/27, College of Science, National University of Defense Technology, China.
- Kahveci, M., 2009, *Gerçek Zamanlı Ulusal Sabit GNSS (CORS) Ağları ve Düşündürdükleri*, HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2009/1, Sayı 100.
- Kahveci, M., 2017, *Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları*, 2. Basım, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., No:1813, Ankara.
- Kahveci, M., ve Yıldız, F., 2017, *GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri Teori – Uygulama*, 8. Basım, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., No:363, Ankara.
- Kalaycı, İ., 2003, *GPS Destekli Detay Alımında Yeni Bir Teknik (GPSSİT)'in Uygulanabilirliğinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kaplan, E., D. and Hegarty, C., J., 2006, *Understanding GPS Principles and Applications*, Second Edition, British Library Cataloguing in Publication Data, İngiltere.
- Kaplan, E., D. and Hegarty, C., J., 2017, *Understanding GPS/GNSS Principles and Applications*, Third Edition, Artech House Yayınları, ABD.

- Kılıç, Ç., 2015, *Quasi-Zenith Satellite Systems Technical Literature Review*, SPTP: Global Positioning System, West Virginia Üniversitesi, Mühendislik ve Maden Kaynakları Koleji Mekanik ve Uzay Mühendisliği Bölümü, ABD.
- Kızıllarsan, M., 2014, *GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP Yöntemlerinin Konum Belirleme Performansının Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Koca, B. ve Ceylan, A., 2018, *Uydu Konum Belirleme Sistemlerindeki (GNSS) Güncel Durum ve Son Gelişmeler*, Geomatik Dergisi, Vol: 3, No: 1, Türkiye, 63-73.
- Köz, İ., Erol, S., Karaç, A., M., ve Erol, B., 2019, *Çoklu-GNSS ile Mutlak Prezisyonlu Nokta Konum Belirleme Üzerine Örnek Bir İnceleme*, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25 – 27 Nisan 2019, Ankara.
- Landau, H., Vollath, U. and Chen, X., 2003, *Virtual Reference Station Systems*, Journal of Global Positioning Systems, Vol: 1, No: 2, Springer Open, 137-143.
- Li, R., Zheng, S., Wang, E., Chen, J., Feng, S., Wang, D. and Dai, L., 2020, *Advances in BeiDou Navigation Satellite System (BDS) and satellite navigation augmentation Technologies*, Satellite Navigation, Vol: 1, No: 12, Springer Link, İsviçre.
- Li, X., Li, X., Yuan, Y., Zhang, K. and Zhang, X., 2018, *Multi-GNSS Phase Delay Estimation And PPP Ambiguity Resolution GPS, BDS, GLONASS, Galileo*, Geodsy Dergisi, Vol: 92, No: 6, Almanya.
- Lin, M., 2006, *RTCM 3.0 Implementation in Network RTK and Performance Analysis*, Degree Of Master Of Science, University Of Calgary, Department Of Geomatics Engineering.
- Maciuk, K., *The Influence of Adding GLONASS Signals on Quality of RTK Measurements*, Geomatics And Environmental Engineering Dergisi, Vol: 9, No: 1, Polonya.
- Maini, A., K. and Agrawal, V., 2011, *Satellite Technology Principles and Applications*, 2. Basım, John Wiley & Sons Ltd. Yayınları, Birleşik Krallık, 66 - 68.
- Martin, A. ve McGovern E., 2012, *An Evaluation of the Performance of Network RTK GNSS Services in Ireland*, FIG Working Week 2012, İtalya.
- Mekik, Ç., 2010, *Global Uydu Navigasyon Sistemleri ve Uydu Bazlı Alan Büyütme Sistemleri*, CeBIT - Eurasia 2010, Coğrafi Bilgi Teknolojileri Çalıştayı, 8 Ekim 2010, İstanbul.
- Montgomery, D., C. and Runger, G., C., 2014, *Applied Statistics And Probability For Engineers*, 6th Edition, John Wiley & Sons, Inc., USA, 119 – 123.

- Navidi, W., 2011, *Statistics For Engineers And Scientists*, Third Edition, Published by McGraw-Hill, A business unit of The McGraw-Hill Companies, Inc., USA, 241 – 248.
- Öğütçü, S., S., 2014, *Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) Uygulamalarında Ağ Bazlı Tekniklerin Doğruluk Analizleri*, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Öğütçü, S., S., 2017, *Ağ Bazlı RTK Tekniklerinin (VRS, FKP, MAC) Baz Uzunluğu ve Epok Sayısına Bağlı Doğruluk ve Duyarlık Modellerinin Oluşturulması Üzerine Bir Çalışma*, Doktora Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Öğütçü, S., 2019, *The contribution of Multi-GNSS Experiment (MGEX) to precise point positioning over Turkey: Consideration of observation time and satellite geometry*, El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, Vol: 6, No: 3, Türkiye, 642-658.
- Öğütçü, S. and Kalaycı, İ., 2018, *Accuracy and precision of network-based RTK techniques as a function of baseline distance and occupation time*, Arabian Journal of Geosciences, Vol: 11, No: 354, Springer Link, İsviçre.
- Özmen, A., Er, F., Atlas, M., Aslanargun, A., Peker, Ö., Şıklar, E. ve Sönmez, H., 2012, *İstatistik*, Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayını, No: 1559, Eskişehir, 142 – 150.
- Pan, L., Zhang, X., and Guo, F., 2019, *Characterizing inter-frequency bias and signal quality for GLONASS satellites with triple-frequency transmissions*, Advances in Space Research, Vol: 64, Science Direct, Elsevier, 1398 – 1414.
- Pektaş, F., 2010, *Gerçek Zamanlı Ulusal ve Yerel Sabit GNSS Ağlarına Dayalı Kinematik Konumlama (TUSAGA-Aktif – İSKİ-UKBS Ağlarının Yerel Ölçekte Karşılaştırılması)*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pırtı, A., Yücel, M., A. ve Gümüş, K., 2013, *Testing Real Time Kinematic GNSS (GPS And GPS/GLONASS) Methods In Obstructed And Unobstructed Sites*, Geodetski Vestnik Dergisi, Vol: 57, No: 3, Slovenya.
- Rahmanlar, S., T., 2019, *Doğru Hız Kestirimi İçin Aylık GPS Kampanyalarının Performansı Üzerine Bir İnceleme*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 61 – 62.
- Reussner, N. and Wanninger, L., 2011, *GLONASS Inter-frequency Biases and Their Effects on RTK and PPP Carrier-phase Ambiguity Resolution*, Proceedings of the 24th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2011), September 2011, Portland, 712-716.
- Siejka, Z., 2017, *Accuracy Evaluation of Precise Multi-Gnss Positioning, in The Real Time Using RTK Corrections*, Coğrafi Bilgi Sistemleri Konferans ve Sergisi, GIS ODYSSEY 2017, Trento – Vattaro İtalya.

- Teunissen, P., J., G., 2019, *A new GLONASS FDMA model*, GPS Solutions, Vol: 23, No: 100, Springer Link, İsviçre.
- Teunissen, P., J., G. and Montenbruck, O., 2017, *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*, Springer International Publishing, İsviçre.
- Tiryakioğlu, İ., 2010, *TUSAGA-Aktif, CORS-TR (Continuously Operating Reference Stations) Sistemi ve Igs Ürünlerinin Kullanımı*, Afyon.
- Topçu, M., 2017, *Türkiye Uydu Haberleşme Sistemlerindeki Gelişmeler ve GPS Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 19 - 21.
- Topçu, O., Kara, T., Bulut, A., A., Salgın, Ö. ve Bakıcı, S., 2017, *Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemi (GNSS) Verileri İle Deprem Tahmini Yapmak*, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- URL-1: https://www.trimble.com/infrastructure/pdf/Pivot_ReleaseNotes.pdf [Ziyaret Tarihi: 23 Temmuz 2020].
- URL-2: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/gps.html> [Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2021].
- URL-3: <https://www.gps.gov/systems/gps/space/> [Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2021].
- URL-4: <https://www.gps.gov/systems/gps/modernization/civilsignals/> [Ziyaret Tarihi: 25 Ağustos 2020].
- URL-5: <https://www.glonass-iac.ru/GLONASS/index.php> [Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2021].
- URL-6: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_Space_Segment [Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2021].
- URL-7: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_GLONASS_satellites [Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2021].
- URL-8: <https://www.glonass-iac.ru/en/guide/index.php> [Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2021].
- URL-9: <https://www.glonass-iac.ru/guide/gnss/glonass.php> [Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2021].
- URL-10: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_Future_and_Evolutions#Ground_Segment [Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2021].
- URL-11: <http://www.sbcm.ru/smglo/stparam?version=eng&repdate&site=extern> [Ziyaret Tarihi: 11 Eylül 2020].
- URL-12: https://ec.europa.eu/growth/sectors/space/galileo/history_en [Ziyaret Tarihi: 17 Eylül 2020].

- URL-13: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/33024> Avrupa Radyo Navigasyon Planı, [Ziyaret Tarihi: 17 Eylül 2020].
- URL-14: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_General_Introduction [Ziyaret Tarihi: 17 Eylül 2020].
- URL-15: <https://www.gsc-europa.eu/system-service-status/constellation-information> [Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2021].
- URL-16: <https://www.gsc-europa.eu/galileo/programme> [Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2021].
- URL-17: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Galileo_satellites [Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2021].
- URL-18: <http://www.beidou.gov.cn/xt/xtjs/> [Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2021].
- URL-19: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/content/-/article/cnss> [Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2021].
- URL-20: https://tr.wikipedia.org/wiki/BeiDou_Uydu_Konu%20land%C4%B1rma_Sistemi [Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2021].
- URL-21: <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1879> [Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2021].
- URL-22: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_BeiDou_satellites [Ziyaret Tarihi: 29 Mart 2021].
- URL-23: <https://qzss.go.jp/en/technical/qzssinfo/index.html> [Ziyaret Tarihi: 22 Eylül 2020].
- URL-24: https://en.wikipedia.org/wiki/Quasi-Zenith_Satellite_System [Ziyaret Tarihi: 22 Eylül 2020].
- URL-25: <https://www.isro.gov.in/irnss-programme> [Ziyaret Tarihi: 24 Eylül 2020].
- URL-26: https://en.wikipedia.org/wiki/Indian_Regional_Navigation_Satellite_System [Ziyaret Tarihi: 24 Eylül 2020].
- URL-27: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/SBAS_Systems [Ziyaret Tarihi: 25 Eylül 2020].
- URL-28: <http://www.sbcm.ru/smglo/staticpages?version=rus&site=extern&title=about> [Ziyaret Tarihi: 25 Eylül 2020].
- URL-29: https://www.kari.re.kr/eng/sub03_06.do [Ziyaret Tarihi: 25 Eylül 2020].
- URL-30: <https://asecnaonline.asecna.aero/index.php/en/2014-03-31-16-47-52-fr/2014-03-31-16-53-9-en/etats-membres-en> [Ziyaret Tarihi: 25 Eylül 2020].

- URL-31: <https://tkgm.gov.tr/tr/icerik/tusaga-aktif-0> [Ziyaret Tarihi: 29 Eylül 2020].
- URL-32: <https://www.tusaga-aktif.gov.tr/Sayfalar/IstasyonHaritasi.aspx> [Ziyaret Tarihi: 29 Eylül 2020].
- URL-33: https://www.ngs.noaa.gov/CORS/Establish_Operate_CORS.shtml aspx [Ziyaret Tarihi: 30 Eylül 2020].
- URL-34: <https://www.zentrale-stelle-sapos.de/kurzdarstellung.html> [Ziyaret Tarihi: 30 Eylül 2020].
- URL-35: https://www.gsi.go.jp/ENGLISH/page_e30030.html [Ziyaret Tarihi: 30 Eylül 2020].
- URL-36: https://www.tkgm.gov.tr/sites/default/files/icerik/ekleri/tusaga-aktif_2018.pdf [Ziyaret Tarihi: 19 Kasım 2020].
- URL-37: <http://www.geomaticsgroup.com/urunler/spectra-precision-sp80-gnss-alicisi> [Ziyaret Tarihi: 15 Ağustos 2020].
- URL-38: http://isgi.unistra.fr/data_plot.php [Ziyaret Tarihi: 24 Ağustos 2020].
- Ülkekul, C., 2016, *Çatalhöyük Haritası Üzerine Yeni Bir Yorum*, Dönence Basım ve Yayın Hizmetleri, İstanbul.
- Vollath, U., Buecherl, A., Landau, H., Pagels, C. and Wagner, B., 2000, *Multi-Base RTK Positioning Using Virtual Reference Stations*, Proceedings of 13th International Technical Meeting of the Satellite of the ION, Salt Lake City, USA, 123-131.
- Wang, J., 2000, *An approach to GLONASS ambiguity resolution*, Journal of Geodesy, Vol: 74, Springer Verlag, İsviçre, 421-430.
- Wei, E., Chai, H., An, Z. and Liu, J., 2006, *VRS Virtual Observations Generation Algorithm*, Journal of Global Positioning Systems, Vol: 5, No: 1-2, 76-81.
- Wübbenna, G., Bagge, A. and Schmitz, M., 2001, *Network-Based Techniques for RTK Applications*, GPS Society, Japan Institute of Navigation, 14 – 16 November 2001, Tokyo, Japan.
- Wübbena, G. and Bagge, A., 2006, *RTCM Message Type 59-FKP for transmission of FKP*, Geo++ White Paper, Nr: 2006.01, Garbsen, Germany.
- Yalçın, B., 2007, *Yerel Bir Ağda GPS Ölçü Süresinin Nokta Konum Doğruluğuna Etkisinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yerci, M., 2002, *Hatalar Bilgisi ve İstatistik*, Selçuk Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Ders Notları, Konya, 109-111.

- Yıldırım, Ö., Bakıcı, S. ve Mekik, Ç., 2011, *TUSAGA-Aktif (CORS-TR) Sisteminin Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğüne Katkıları*, HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2011/2 Özel Sayı, Ankara.
- Yılmaz, M., 2020, *Farklı Uydu Yükseklik Açılarında Ağ-RTK Düzeltme Tekniklerinin Performanslarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Yüksel, H., 2015, *Gerçek Zamanlı Sabit GNSS Referans Ağlarının (CORS) Baz Uzunluğuna Bağlı Doğruluk Analizi: TUSAGA-Aktif Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zhang, S., Zhang, K., Wu, S. ve Li, B., 2011, *Network-Based RTK Positioning Using Integrated GPS and GLONASS Observations*, International Global Navigation Satellite Systems Society IGSS Symposium 2011, New South Wales Üniversitesi, Avustralya.
- Zhu, J., Liu, Y., Wang, B. and Ye, S. 2018, *Improved Method for GLONASS Long Baseline Ambiguity Resolution without Inter-Frequency Code Bias Calibration*, Remote Sensing, Vol: 10, Sayı: 8, İsviçre.