



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN NİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**AKTİF KÜRESEL NAVİGASYON UYDU
SİSTEMLERİ İLE RTK PERFORMANSININ
İNCELENMESİ**

Ceren KONUKSEVEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

**Mayıs-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

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.

Ceren KONUKSEVEN

Tarih: 20.05.2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKTİF KÜRESEL NAVİGASYON UYDU SİSTEMLERİ İLE RTK PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Ceren KONUKSEVEN

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Salih ALÇAY

2021, 78 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Salih ALÇAY

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI

Dr. Öğr Üyesi Sercan BÜLBÜL

Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS), kullanıcılara hızlı, uygun maliyetli ve güvenilir bir konum belirleme hizmeti sağlamaktadır. Gerçek zamanlı kinematik (RTK) yöntemi birçok mühendislik uygulamasında gerçek zamanlı konumlama için pratik bir araç haline gelmiştir. RTK yönteminin doğruluğu, yörünge hatası ve atmosferik hatalar nedeniyle referans istasyonu ile gezici arasındaki baz mesafesine bağlıdır. Ayrıca günümüzde RTK düzeltmeleri internet protokollerinin gelişimiyle birlikte GSM üzerinden iletilebilmekte olup radyo modemden kaynaklanan mesafe sınırlandırılması da ortadan kalkmıştır. RTK ölçmeleri genel olarak GPS ve GLONASS uydu sistemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Ancak günümüzde GALILEO ve BEIDOU gibi yeni GNSS sistemleri de kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. Bu tez çalışmasında internet tabanlı klasik RTK yöntemi kullanılarak çoklu GNSS kombinasyonlarının performansını test etmek amacıyla farklı baz mesafeleri (~20, ~40, ~60, ~80 km) dikkate alınarak, Konya’da arazi çalışmaları yapılmıştır. Ölçüm yapılan noktalarda eşit koşullara sahip 3 gezici alıcı kullanılarak sadece GPS, GPS+GLONASS, GPS+GLONASS+GALILEO+BEIDOU uydu konfigürasyonlarında ölçümler yapılmıştır. RTK koordinatları farklı uydu konfigürasyonları ile her uygulama noktasında yaklaşık 9 saat olmak üzere 10°, 20° ve 30° yükseklik açılarında üç oturum şeklinde elde edilmiştir. Her uygulama noktasında ilk oturumlarda (10°) yaklaşık 5 saatlik RTK ölçümlerinin yanı sıra statik veri kaydı da alınmıştır. Gezici alıcıların gerçek koordinatları, statik verilerin GAMIT/GLOBK akademik yazılımı kullanılarak, bağıl yöntemle değerlendirilmesiyle elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar tekrarlılık ve doğruluk açısından değerlendirilmiştir. Çoklu GNSS kombinasyonlarının 10° uydu yükseklik açısında RTK performansını tekrarlılık açısından iyileştirdiği görülmüştür. Yalnız GPS çözümlerinin doğruluğu yatay ve düşey bileşenler için sırasıyla 0.63/2.17cm ve 2.40/4.94cm arasında değişmiştir. Ancak RTK yöntemi için çoklu GNSS kombinasyonlarının, yalnız GPS’e göre uydu yükseklik açısı 30° seçildiğinde bile doğruluk açısından dikkate değer bir üstünlüğe sahip olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: GAMIT/GLOBK, Multi-GNSS, RTK

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF RTK PERFORMANCE USING ACTIVE GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS

Ceren KONUKSEVEN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN GEOMATICS ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Salih ALÇAY

Year, 78 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Salih ALÇAY

Prof. Dr. Ibrahim KALAYCI

Assist. Prof. Dr. Sercan BULBUL

Global Navigation Satellite System (GNSS) provides to users fast, cost-effective and reliable geolocation service. It has become a practical tool for real-time positioning in many engineering applications with its real-time kinematics (RTK) method. The accuracy of the RTK method depends on the base distance between the reference station and the rover due to orbital error and atmospheric errors. Nowadays, RTK corrections can be transmitted over GSM with the development of internet protocols and the distance limitation caused by the radio modem has also disappeared. In general, RTK measurements are made by using GPS and GLONASS satellite systems. However presently, new GNSS systems such as GALILEO and BEIDOU are also available to users. In this study, a field test was carried out for testing the performance of the Internet based multi-GNSS classical RTK considering different base distances (~20, ~40, ~60, ~80 km) in Konya, Turkey. The RTK measurements at the each test point were performed using three same GNSS receivers-as rovers - which are placed on the same stand and configured to be track G, GR, GREC satellite combinations. RTK coordinates were obtained in three sessions at 10°, 20° and 30° elevation angles, approximately 9 hours at each application point with different satellite configurations. At each application point, about 5 hours of RTK measurements were taken in the first sessions (10°), as well as static data recording. The ground truth coordinates of the rovers were obtained by post-processing relative method using GAMIT/GLOBK software. The results were investigated in terms of accuracy and precision. The results showed that multi-GNSS combinations provided better repeatability at the 10° cut off angle option. The accuracy of GPS-only solutions varied between 0.63/2.17 cm and 2.40/4.94 cm for horizontal and vertical components, respectively. However, the multi-GNSS combinations did not have a remarkable superiority in terms of position accuracy even at 30° cut off angle compared to the GPS-only RTK.

Keywords: GAMIT/GLOBK, Multi-GNSS, RTK

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana her zaman destek olan ve yol gösteren, sabırla beni her zaman çalışmaya teşvik eden değerli danışman hocam sayın Doç.Dr. Salih ALÇAY'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım. Arazi çalışmalarım ve değerlendirilmesi sürecindeki yardımları, önerileri ve paylaştıkları için sayın Doç. Dr. Salih Sermet ÖĞÜTCÜ hocama ve Ars.Gör. Ömer Faruk ATİZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda GNSS alıcıları ile ilgili teknik desteklerinden dolayı Ufuk ÖZBEY'e ve CHC firmasına teşekkür ederim.

Bu süreçte yanımda olduklarını her zaman hissettiren, beni destekleyen ve motive eden canım arkadaşlarıma ve daimî destekçilerim canım annem ve babama sonsuz teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 201319004 nolu proje ile desteklenmiştir.

Ceren KONUKSEVEN
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. KÜRESEL NAVİGASYON UYDU SİSTEMİ(GNSS)	7
3.1. Küresel Navigasyon Sistemi (GPS).....	7
3.1.1. Uzay bölümü.....	7
3.1.2. Kontrol bölümü.....	10
3.1.3. Kullanıcı bölümü	11
3.2. GLONASS	12
3.2.1. Uzay bölümü.....	12
3.2.1.1. GLONASS sisteminin gelişimi ve sinyal yapısı.....	13
3.2.2. Kontrol bölümü.....	15
3.2.3. Kullanıcı bölümü	16
3.3. GALILEO	16
3.3.1. Uzay bölümü.....	17
3.3.2. Sinyal yapısı.....	17
3.3.3. Galileo gelişim aşamaları.....	19
3.3.4. Galileo hizmetleri	20
3.3.5. Galileo sistemi mesaj yapısı	23
3.3.6. Kontrol bölümü.....	24
3.3.7. Kullanıcı bölümü	25
3.4. BEIDOU (BDS).....	26
3.4.1. Uzay bölümü.....	26
3.4.2. Kontrol bölümü.....	29
3.4.3. Kullanıcı bölümü	30
4. GNSS İLE KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ	31
4.1. Mutlak Konum Belirleme	31
4.1.1. Tek nokta konum belirleme (SPP).....	32
4.1.2. Hassas nokta konum belirleme (PPP).....	32
4.2. Bağıl Konum Belirleme	33
4.2.1. Statik yöntem	33
4.2.2. Kinematik yöntem.....	34

4.2.3. Gerçek Zamanlı Kod Ölçüleri – DGNS	35
5. VERİ İLETİM MEKANİZMALARI	36
5.1 Veri İletim Protokolü	36
5.2 Veri İletişim Linkleri	37
5.3 Veri Formatları	37
6. MATERYAL VE YÖNTEM	38
7. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	44
8. SONUÇ	67
9. KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	78



SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

ADOP	: Ambiguity Dilution of Precision
BDS	: BeiDou Navigation Satellite System
BKG	: Federal Agency for Cartography and Geodesy BKG
C/A Kod	: Coarse/Acquisition Code
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CC	: Central Clock
CDMA	: Code Division Multiple Access
CORS-TR	: Continuously Operating Reference Stations-TR
CS	: Commercial Service
CSRS-PPP	: The Canadian Spatial Reference System-PPP
DD	: Double Difference
DOP	: Dilution of Precision
ECEF	: Earth Centred Earth Fixed
ESA	: European Space Agency
FDMA	: Frequency Division Multiple Access
FKP	: Flachen Koorectur Parameter
FOC	: Full Operational Capability
GA	: Ground Antennas
GEO	: Geostationary Earth Orbit
GLONASS	: Global Navigation Satellite System
GNSS	: Global Navigation Satellite
GPRS	: General Packet Radio Service
GPS	: Global Positioning System
GSM	: Global System for Mobile Communications
HAS	: High Accuracy Service
HEO	: Highly Elliptical Yörünge
ICAO	: International Civil Aviation Organization
IGS	: International GNSS Service
IMO	: International Maritime Organization
IOV	: In-Orbit Validation
IP	: Internet Protokol
IRNSS	: Indian Regional Navigation Satellite System
ITRF	: International Terrestrial Reference System
ITU	: International Telecommunication Union
LBS	: Location Based Services
MAC	: Master Auxiliary Concept
MEO	: Medium Earth Orbit
MMS	: Monitoring and Measuring Stations
MS	: Monitor Stations
NAVSTAR/GPS	: Navigation Satellite Timing And Ranging/GPS
NL	: Narrow-Lane
NTRIP	: Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
OS	: Open Service
PDOP	: Position Dilution of Precision
PNT	: Positioning, Navigation and Timing
PRS	: Public Regulated Service

QZSS	: Quasi-Zenith Satellite System
RMS _e	: Root Mean Square Error
RNSS	: Radio Navigation Satellite Service
RTCA	: Radio Technical Commission for Aeronautics
RTCM	: Radio Technical Commission for Maritime Services
RTIGS	: Real-Time IGS
RTK	: Real-Time Kinematik
SA	: Selective Availability
SAR	: Search and Rescue Service
SBAS	: Space-Based Augmentation Systems
SCC	: System Control Centre
SLR	: Laser Ranging Stations
SoL	: Safety of Life
TT&C	: Telemetry, Tracking and Command
UHF	: Ultra High Frequency
ULS	: Uplink Station
UMTS	: Universal Mobile Telecommunications System
VHF	: Very High Frequency
VRS	: Virtual Reference Stations
WL	: Wide-Lane
ZTD	: Zenith Total Delay

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 GPS uydu yörüngeleri (URL-2)	8
Şekil 3.2 GPS uyduları (URL-3).....	8
Şekil 3.3 GPS uydularının güncel durumları (URL-4).....	9
Şekil 3.4 GPS kontrol bölümü (URL-7).....	11
Şekil 3.5 GLONASS konumlama sistemi (URL-9).....	12
Şekil 3.6 GLONASS antipodal uydular.....	13
Şekil 3.7 GLONASS uyduları (URL-1)	13
Şekil 3.8 GLONASS uydularının güncel durumu (URL-12)	15
Şekil 3.9 GLONASS yer kontrol merkezleri (Revnivkykh ve ark.,2017).....	16
Şekil 3.10 Galileo frekans bandı (Navipedia, 2019).....	17
Şekil 3.11 SAR hizmeti (Koca, 2019)	22
Şekil 3.12 Galileo navigasyon mesajı yapısı	24
Şekil 3.13 Galileo Altyapısı (URL-13).....	25
Şekil 3.14 Galileo kontrol bölümü (URL-6).....	25
Şekil 3.15 BeiDou uydularının güncel durumu (URL-11)	28
Şekil 3.16 GNSS sistemlerinin sinyal frekansları (Povero, 2019).....	29
Şekil 4.1 GNSS ile konum belirleme yöntemleri	31
Şekil 4.2 Mutlak Konum Belirleme (Ayers, 2011).....	32
Şekil 4.3 Bağıl Konum Belirleme (Ayers, 2011).....	33
Şekil 4.4 Statik Ölçü Yöntemi	34
Şekil 6.1 Ölçüm yapılan noktaların konumları.....	38
Şekil 6.2 N72 GNSS referans alıcısı ve CHC C220GR GNSS Choke Ring Anteni	39
Şekil 6.3 N72 GNSS referans alıcısı ve modem.....	39
Şekil 6.4 Alıcıların sehpa üzerine yerleştirilmesini sağlayan aparat	40
Şekil 6.5 Ölçümler esnasında gezici alıcılar	40
Şekil 6.6 10° yükseklik açısına ait PDOP değerleri.....	42
Şekil 6.7 20° yükseklik açısına ait PDOP değerleri.....	42
Şekil 6.8 30° yükseklik açısına ait PDOP değerleri.....	43
Şekil 7.1 10° uydu yükseklik açısı için tekrarlılık iyileşmesi.....	47
Şekil 7.2 20° uydu yükseklik açısı için tekrarlılık iyileşmesi.....	47
Şekil 7.3 30° uydu yükseklik açısı için tekrarlılık iyileşmesi.....	48
Şekil 7.4 10° uydu yükseklik açısı için doğruluk iyileşmeleri	50
Şekil 7.5 20° uydu yükseklik açısı için doğruluk iyileşmeleri	51
Şekil 7.6 30° uydu yükseklik açısı için doğruluk iyileşmeleri	51
Şekil 7.7 A noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı	52
Şekil 7.8 A noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı.....	52
Şekil 7.9 A noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı	52
Şekil 7.10 A noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı	53
Şekil 7.11 A noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı.....	53
Şekil 7.12 A noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı ...	53
Şekil 7.13 A noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı	54
Şekil 7.14 A noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı.....	54
Şekil 7.15 A noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı ...	54
Şekil 7.16 B noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı	55
Şekil 7.17 B noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı.....	55
Şekil 7.18 B noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı....	55
Şekil 7.19 B noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı	56
Şekil 7.20 B noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı.....	56

Şekil 7.21 B noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı....	56
Şekil 7.22 B noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı	57
Şekil 7.23 B noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı.....	57
Şekil 7.24 B noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı....	57
Şekil 7.25 C noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı	58
Şekil 7.26 C noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı.....	58
Şekil 7.27 C noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı....	58
Şekil 7.28 C noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı	59
Şekil 7.29 C noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı.....	59
Şekil 7.30 C noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı....	59
Şekil 7.31 C noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı	60
Şekil 7.32 C noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı.....	60
Şekil 7.33 C noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı....	60
Şekil 7.34 D noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı	61
Şekil 7.35 D noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı.....	61
Şekil 7.36 D noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı ...	61
Şekil 7.37 D noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı	62
Şekil 7.38 D noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı.....	62
Şekil 7.39 D noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı ...	62
Şekil 7.40 D noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı	63
Şekil 7.41 D noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı.....	63
Şekil 7.42 D noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı ...	63
Şekil 7.43 Ölçüm günlerindeki Kp, Dst ve F10.7 indis değerleri.....	64
Şekil 7.44 Ölçümlerin ilk oturumlarına ait ZTD değerleri	65
Şekil 7.45 06.07.2020 gününe ait koordinat zaman serisi (D Noktası)	66

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.1 GPS uyduları ve özellikleri.....	8
Çizelge 3.2 GLONASS uydularının özellikleri	14
Çizelge 3.3 Her bir sinyal için taşıyıcı frekansları ve bant genişliği (Hofmann-Wellenhof ve ark.,2008)	18
Çizelge 3.4 Galileo hizmetleri ve öngörülen frekans bantları	18
Çizelge 3.5 21 Ocak 2021 itibariyle Galileo uydularının durum özeti.....	19
Çizelge 3.6 Galileo uydularının güncel durumu.....	20
Çizelge 3.7 Galileo sistemi Açık Servis (OS) özellikleri	21
Çizelge 3.8 Galileo navigasyon mesajı parametreleri (Arslan, 2016)	23
Çizelge 3.9 BDS-3 uyduların özellikleri (CSNO,2020)	27
Çizelge 3.10 BeiDou uyduları ve sinyal frekansları (Chukwunonso ve Ibiam,2021)	29
Çizelge 5.1 Üretici Firma Veri Aktarma Protokolleri	36
Çizelge 6.1 Ölçüm yapılan noktalara ve baz mesafelerine ait detaylar	38
Çizelge 6.2 Ortalama görülebilir uydu sayısı	41
Çizelge 7.1 GAMIT/GLOBK değerlendirme parametreleri.....	44
Çizelge 7.2 WL ve NL faz başlangıç belirsizlik yüzdeleri	45
Çizelge 7.3 Tamsayı belirsizlik çözüm oranı.....	45
Çizelge 7.4 Oturumlara ait aykırılık yüzdeleri	46
Çizelge 7.5 GPS verileri ile hesaplanan standart sapma değerleri	46
Çizelge 7.6 Uygulama noktalarındaki oturumlar için kuzey, güney ve yukarı bileşenlerine ait ortalama değerleri.....	49
Çizelge 7.7 GPS verileri ile hesaplanan karesel ortalama hata değerleri	50
Çizelge 7.8 ZTD korelasyon yüzdeleri	65

1. GİRİŞ

Ölçmenin tarihi insanlık tarihi kadar eskidir. Geçmişten günümüze konum belirlemeye her zaman ihtiyaç duyulmuştur. Geçmişte konum belirlemek için yıldızlar, rüzgâr yönleri, deniz fenerleri gibi araçlar kullanılmış daha sonra artan ihtiyaçlar ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda farklı yöntemlerle konum belirlenmeye başlanmıştır. Günümüzde yapay uydularla konum belirleme yöntemleri kullanılmaktadır ve her geçen gün hesaplama, ölçüm teknikleri ve uydular geliştirilmektedir.

Uydularla konum belirleme 1957 yılında, Sovyetler Birliği'ne ait olan STUPNIK-1 uydusunun uzaya gönderilmesi ile başlamıştır. 1978 yılında ABD'ye ait ilk GPS uydusu yörüngeye yerleştirilmiş ve böylece ilk kez üç boyutlu, gerçek zamanlı, konum, hız ve zaman bilgisinin elde edilebilmesi bilim dünyasında büyük bir dönüm noktası olmuştur. Bununla birlikte küresel anlamda konum verisi elde etme ihtiyacı sadece ABD ile sınırlı kalmayıp zamanla tüm dünyada önemli bir konu haline gelmiştir. Bu bağlamda zaman içerisinde küresel (GLONASS (Rusya), GALILEO (AB), BEIDOU (Çin)) ve bölgesel (QZSS (Japonya) ve IRNSS (Hindistan)) uydu sistemleri geliştirilmiştir. Tüm bu küresel sistemlerin adına da Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri adı verilmiştir.

Son yıllarda, GNSS sistemleri cm-mm mertebelerinde konum doğruluğu sağlayan, mutlak ve bağıl konum belirleme yöntemleri ile kullanılmaktadır. Göreli yöntemlerden biri olan gerçek zamanlı konumlama yöntemi, double difference (DD) tekniği ile birçok hatayı ortadan kaldırmaktadır ve birçok çalışmada yaygın olarak kullanılmaktadır (Odiş ve ark. 2012; Yu ve ark. 2016; Erenoğlu 2017; Dabove 2019; Li ve ark. 2019; Öğütcü 2019). Gerçek zamanlı kinematik (RTK) yöntemde doğruluk, yörünge hataları ve değişen atmosferik koşullar nedeniyle temel olarak referans istasyonu ile alıcı arasındaki mesafeye bağlıdır. Hata kaynaklarının yanı sıra, radyo modemlerin dalga yayılımları nedeniyle oluşan mesafe sınırlaması da uzun baz RTK için başka bir sorundur. NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) veri iletim protokolü sayesinde bu sorunda ortadan kaldırılmıştır (Weber ve ark.,2005). Günümüzde CORS istasyonlarının da geliştirilmesiyle, kullanıcı tarafından bir referans istasyon kurma zorunluluğu ortadan kaldırılmıştır. CORS sisteminin temel amacı, gezici alıcı etrafındaki referans istasyonları kullanan kullanıcılara, tahmini RTK düzeltmelerini sağlamaktır. Bu düzeltmeler VRS, FKP ve MAC ağ RTK teknikleri ile sağlanmaktadır (Öğütcü ve Kalaycı,2018). Ancak CORS (Continuously Operating Reference Stations) sisteminin performansı hala en yakın referans istasyonuna bağlıdır. CORS sistemi RTK

düzeltilmelerini internet protokolleri (GSM) üzerinden sağlamaktadır. Bu nedenle tek bir CORS istasyonu ile uzun mesafeli RTK yöntemi uygulanabilmektedir (Shu ve ark. 2018; Baybura ve ark. 2019).

Genel olarak RTK ölçümlerini için tam kapasiteye ulaşan GPS ve GLONASS uydu sistemleri kullanılmaktadır. Son yıllarda GNSS kapsamı Galileo ve BeiDou küresel uydu sistemleri ile de genişletilmiştir. Bu gelişme ile çoklu-GNSS RTK ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Li ve ark. 2017; Paziewski ve Wielgosz 2017; Dabove ve Di Pietra 2019; Mi ve ark. 2019; Tian ve ark. 2019; Luo ve ark. 2020; Zhang ve ark. 2020). Bunlara göre, çoklu-GNSS ile daha iyi bir uydu geometrisi sağlanmaktadır ve tamsayı belirsizlik çözümü geliştirilerek RTK'nın konumlama performansı artırılmaktadır.

Multi-GNSS ile ilgili birçok çalışma yapılmış olsa da hala güncel bir araştırma konusudur. Bu nedenle, bu tez çalışmasında multi-GNSS'in klasik RTK'ya katkısı, farklı baz mesafeleri açısından incelenmiştir. Bu amaçla, Konya'da sadece GPS, GPS+GLONASS ve GPS+GLONASS+GALILEO+BEIDOU gibi farklı uydu kombinasyonları kullanılarak bir arazi uygulaması yapılmıştır. Farklı mesafe ve farklı uydu konfigürasyonlarının yanında ayrıca farklı uydu yükseklik açıları (10° , 20° , 30°) seçilmiştir. Sonuçlar doğruluk ve tekrarlılık açısından analiz edilmiştir. Ayrıca gerçek zamanlı konumlama performansında önemli rol oynayan atmosferik etkiler, iyonosfer ve troposferin durumu da incelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

RTK ve Ağ RTK tekniklerinin doğruluk analizlerini, çoklu GNSS sistemlerinin gerçek zamanlı kinematik yöntemlere katkılarını içeren bazı bilimsel çalışmaların kısa özetleri aşağıda verilmiştir.

Erdal B. (2009), RTK ve statik ölçü yöntemi ile farklı baz mesafelerinde, uyduların görülmesine engel olacak alanlarda (ağaç, yüksek yapı, dar sokak vb.) yapılan ölçümlerin konum doğruluğuna etkisini istatistiksel anlamda değerlendirmiştir. İyonosfer ve troposferden kaynaklanan atmosferik hata etkilerinin artması, uydu geometrisinin iyi olmaması ve radyo sinyallerindeki gecikmeler RTK yönteminin konum doğruluğu üzerinde olumsuz sonuçlara yol açtığı ve konum doğruluğunu düşürdüğü sonucuna ulaşmıştır. Yaptığı uygulama ile 5 km'ye kadar olan baz mesafelerinde, referans alıcı ile gezici alıcı arasındaki baz mesafesinin konum doğruluğu üzerinde etkisinin olmadığını belirlemiştir.

Bahşi M.N. (2010), GPS uydularını kullanarak RTK yönteminin konum doğruluğunu test etmiştir. Baz uzunluğunu yaklaşık 35 km belirleyerek 8 farklı noktada RTK ve statik ölçüm gerçekleştirmiştir. Her bir noktada elde edilen koordinatları duyarlılık anlamında test etmiştir. Bu amaçla elde edilen koordinat farklarından standart sapma değerlerini hesaplamış ve tüm bileşenlerin standart sapma değerlerinin 4 cm altında olduğunu belirlemiştir. Analiz ve değerlendirmeler sonucunda RTK yönteminin kadastro, belediye ve tüm kamu kurum kuruluşlarının CBS/KBS çalışmaları için hızlı, ekonomik ve doğru olarak belirlenmesine yönelik tüm ihtiyaçlarını karşılayabilecek duyarlılıkta olduğu sonucuna ulaşmıştır.

İnal ve ark. (2014), gerçek zamanlı konum bilgisini son derece hızlı ve cm mertebesinde sağlayabilen klasik RTK ve Ağ-RTK ölçme yöntemleriyle ilgili detaylı araştırmalar yaparak, Klasik RTK yönteminde gezici alıcının referans istasyonuna olan uzaklığının konum doğruluğuna etkisini araştırmıştır. Yapılan değerlendirmeler neticesinde 10 km yarıçapındaki çalışma alanı içinde Klasik RTK yönteminde gezici alıcının referans istasyonuna olan uzaklığının konum doğruluğuna etkisinin olmadığı, konum 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, dolayısıyla günlük hayatta CORS yöntemi sayesinde tek alet kullanarak ölçüm yapmanın yeterli olacağı sonucuna varılmıştır.

Abdulmajed R.I. (2017), RTK ve statik yöntem kullanarak sadece GPS ve GPS+GLONASS uydu sistemlerinin engelli ve engelsiz alanlarda konum doğruluğu üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Bu amaçla 17 farklı test noktasında arazi çalışması yapmıştır. GPS ve GLONASS sistemlerinin birlikte kullanılmasının uydu sayısını arttırdığı ve daha iyi uydu geometrisi sağladığı için konum doğruluğunu arttırdığı sonucuna varmıştır.

Öğütücü S.S. (2017), TUSAGA-Aktif sisteminden yayınlanan ağ bazlı RTK tekniklerini (VRS, FKP, MAC) ampirik doğruluk ve prezisyon modelleri oluşturarak, baz mesafesi ve ortalaması alınan epok sayısına bağlı olarak değerlendirmiştir. Aksaray ve Cihanbeyli güzergahında yedi farklı noktada ölçümler yapmıştır. Ayrıca GNSS alıcılarının bulunduğu noktaların doğru kabul edilen koordinatlarının belirlenmesi için her noktada statik oturumlar gerçekleştirmiştir. Yaptığı analizler sonucunda VRS, FKP ve MAC tekniklerinin doğruluğunun GNSS alıcısı (rover) ile düzeltmenin yayınlandığı GNSS alıcısına en yakın CORS istasyonu arasındaki baz mesafesine bağlı olmadığı (50 km'ye kadar) sadece ortalaması alınan epok sayısına bağlı olduğunu sonucuna ulaşmıştır. Prezisyon analizi ile ağ bazlı RTK tekniklerinin prezisyonunun hem baz mesafesine hem de ortalaması alınan epok sayısına bağlı olduğunu sonucuna ulaşmıştır.

Kurgultu Z. (2018), görünür uydu sayısının kısıtlı olduğu, sinyal yansımasının yoğun olduğu kentsel ve ormanlık alanlarda gerçek zamanlı kinematik konum belirleme yöntemlerinin konum doğruluğunu analiz etmiştir. Bu kapsamda 6 farklı noktada CORS-FKP ve CORS-VRS teknikleriyle ölçümler gerçekleştirmiştir. Ayrıca ölçümlerin karşılaştırılmasında doğru bir ölçüt elde edebilmek için statik ölçümler de yapmıştır. Total station ile de yatay-düşey açı, yatay mesafe, alet yüksekliği ve işaret yüksekliklerini ölçmüştür. Yaptığı bu ölçümlerden elde ettiği koordinat farklarını, uydu sayıları ve karesel ortalama hata değerlerine göre analiz etmiştir. Bu analizlerin sonucunda GPS+GLONASS uydularının sağladığı konum doğruluğunu yatay bileşenlerde farkları 1 mm-4.5 cm aralığında, yükseklik bileşeninde ise 5 cm-30 cm aralığında olduğunu belirlemiştir.

Baybura ve ark. (2019), GPS+GLONASS uydu konfigürasyonu ile ağ-RTK ve uzun baz RTK yöntemlerini, 5 ve 60 km arasında altı farklı noktada ölçümler yaparak doğruluk ve mesafe açısından karşılaştırmıştır. 40km'ye kadar seçilen baz uzunluklarında iki yöntemin benzer sonuçlar gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Bramanto ve ark. (2019), yeni bir algoritma geliştirerek kadaströ çalışmaları için RTK yönteminin konum doğruluğunu araştırmışlardır. Konum doğruluğunun birkaç

santimetreden desimetreye kadar değiştiğini bulmuşlardır. Geliştirdikleri algoritmanın 90 km'ye kadar olan baz mesafelerinde RTK yöntemine önemli katkılar sağladığı, kadastro ölçümleri için kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Mutlu İ. (2019), GNSS ile elde edilen konum, zaman ve hız bilgilerini olumsuz etkileyen hata kaynaklarından birisi olan uydu geometrisinin konumlama üzerinde etkisini incelemiştir. Uydu geometrisinin etkisini uzun süreli statik yöntemde ve ağ-RTK yönteminde incelemiştir. Yaptığı sayısal uygulama sonucunda da statik yöntem için uydu geometri etkisinin koordinatlarda birkaç cm'yi geçmediği ve önemli bir hataya sebep olmadığı sonucuna ulaşmıştır. Ağ-RTK ölçülerinde ise uydu geometrisi etkisinin önemli hatalara neden olduğu sonucuna varmıştır.

Castro-Arvizu ve ark. (2020), yalnız GPS ve GPS+GALILEO kombinasyonu ile RTK yönteminin farklı uydu yükseklik açılarındaki (10°, 15°, 25°, 35°, 45°) performansını test etmişlerdir. Sonuçları tamsayı belirsizlik çözüm oranları ve ADOP (Ambiguity Dilution of Precision) değerlerine göre karşılaştırmışlardır. Çift frekanslı L1/E1+L5/E5a GPS+GALILEO kombinasyonunun yalnız GPS'e kıyasla konum doğruluğu açısından uydu yükseklik açısı 45° seçildiğinde bile daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Zhang ve ark. (2020), yeni bir üçlü frekans gözlem modeli kullanarak, QZSS uydu sisteminin GPS+GLONASS+GALILEO RTK'ya katkısını araştırmışlardır. Sonuçlar, uzun baz RTK için QZSS uydu sisteminin doğruluk ve tamsayı belirsizlik çözümünü iyileştirdiğini göstermiştir.

Liu ve ark. (2021), RTK yönteminin performansını BeiDou uydularını farklı konfigürasyonlar ve farklı uydu yükseklik açılarında dikkate alarak test etmişlerdir. Öncelikle BDS-2 ve BDS-3 uydularının birlikte çalışabilirliğini incelemişlerdir. BDS-2 ve BDS-3 uyduları arasındaki sistemler arası kayıklığın (inter system bias) ihmal edilebileceği ve tek uydu sistemi gibi kullanılabileceği sonucuna varmışlardır. Daha sonra sadece BDS-2, BDS-3 ve BDS-3/BDS-2 şeklinde kısa baz uzunluğu Wuhan'da kinematik ve statik ölçümler yapmışlar. Ölçümler sonucunda sadece BDS-3 uydularının BDS-2 uydularına göre daha iyi konum doğruluğu sağladığı sonucuna ulaşmışlar. BDS-3/BDS-2 ile yapılan ölçümlerde ise 40° uydu yükseklik açısında bile RTK yönteminin tam sayı belirsizlik çözümünü %96.9 elde ederek, ikili kombinasyonun özellikle zorlu koşullar altında sadece BDS-2 ve sadece BDS-3'e göre tamsayı belirsizlik çözüm performansını önemli ölçüde arttırabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Zhu ve ark. (2021), çoklu GNSS sistemlerinin sinyal farklarını dikkate alarak farklı uydu yükseklik açılarında, çok kısa ve kısa baz mesafelerinde ve farklı uydu konfigürasyonlarında RTK performansını değerlendirmişlerdir. Yalnız GPS, yalnız QZSS, GPS+GALILEO+QZSS, GPS+GALILEO+QZSS+BDS kombinasyonlarını gevşek (loosely) ve sıkı (tightly) DD kombine modellerle karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Sonuç olarak, GPS+GALILEO+QZSS ve GPS+GALILEO+QZSS+BDS konfigürasyonlarında sıkı DD kombine modelde özellikle uydu yükseklik açısının büyük seçildiği oturumlarda konum doğruluğunun daha üstün olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca GPS+GALILEO+QZSS+BDS konfigürasyonu için çok kısa ve kısa bazda 25° uydu yükseklik açısında bile tamsayı faz belirsizliği çözümünü sırasıyla ortalama %100 ve %97.6 elde ederek GPS+GALILEO+QZSS+BDS konfigürasyonun en iyi RTK performansı sağladığı sonucuna ulaşmışlardır.

Wang ve ark. (2021), PPP-RTK yöntemi ile kentsel alanlarda araç navigasyonu için çoklu GNSS PPP-RTK modeli geliştirmişlerdir. Önerdikleri yöntemi doğrulamak için banliyöler, üst geçitler ve tüneller gibi farklı bölgelerde araç deneyleri yapmışlardır. PPP-RTK'nin yaklaşık 5-7 sn'lik tamsayı çözüm süresiyle yatayda ~2-3 cm, düşeyde ~5-6 cm konum doğruluğu elde etmişlerdir. Sinyallerin sık sık kesildiği kentsel alanlarda ise 5 sn içinde hızlı bir belirsizlik çözümü sağlamışlardır. Ayrıca, yalnız GPS in sağladığı konum doğruluğu ile çoklu GNSS PPP-RTK yöntemi karşılaştırıldığında çoklu GNSS PPP-RTK yönteminin daha iyi konum doğruluğu sağladığı sonucuna ulaşmışlardır.

3. KÜRESEL NAVİGASYON UYDU SİSTEMİ (GNSS)

Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS), birçok uydudan elde edilen sinyaller yardımıyla karada, denizde ve uzayda, anlık olarak ve yüksek doğrulukta konum, hız ve zaman belirlemek için kullanılan bir sistemdir.

Günümüzde, dünya çapında hizmet veren çok sayıda uydu sistemi vardır. Bu sistemler küresel ve bölgesel olarak hizmet vermektedir. GNSS terimi, küresel hizmet veren tüm uydu sistemlerini kapsayan bir terimdir. Bu uydu sistemleri ABD 'nin Küresel Konum Belirleme Sistemi, Çin'in BeiDou uydu sistemi, Rusya'ya ait olan GLONASS uydu sistemi ve Avrupa Birliği tarafından geliştirilmiş olan Galileo uydu sistemidir.

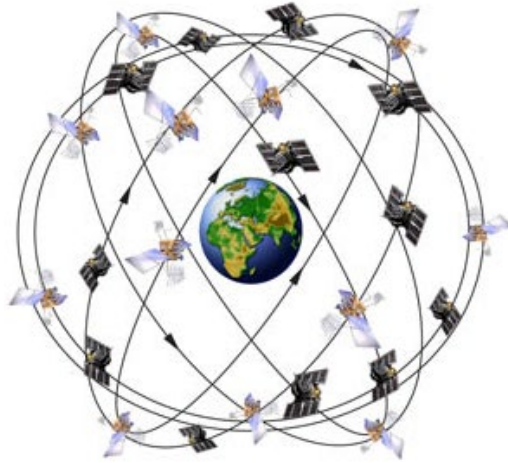
GNSS sistemleri uzay, kontrol ve kullanıcı olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır.

3.1. Küresel Navigasyon Sistemi (GPS)

ABD Savunma Bakanlığı, 1973'den beridir askeri amaçlar için küresel bir konumlama sistemi geliştirmeye başlamıştır. İlk uydu 1977'de fırlatılmış olup, 1995 yılında tam kapasiteye ulaşmıştır. ABD kongresi 2000 yılında GPS sistemini sivillere sunmak için bir adım atmıştır ve dünyanın her yanındaki sivil kullanıcılara ücretsiz erişim sağlanmıştır (Dawoud, 2012). Bu küresel sistem, sinyal yayınlayan uyduları içeren uzay bölümü, tüm sistemi izleyen kontrol bölümü, çeşitli alıcıları ve uygulamaları içeren kullanıcı bölümü olacak şekilde üç bölümden oluşmaktadır.

3.1.1. Uzay bölümü

GPS uyduları, yeryüzünden yaklaşık 20200 km yükseklikte, ekvator ile 55° eğim yaparak 6 yörünge düzlemi üzerine yerleştirilmiş şekilde bulunmaktadır. Her uydu 11 saat 58 dakikalık periyotlar ile dünyanın etrafında günde iki kez dönmektedir (Kaplan ve Hegarty, 2017).



Şekil 3.1 GPS uydu yörüngeleri (URL-2)

Günümüzde GPS sistemi, 31 uydu ile hizmet vermektedir (Şekil 3.1). Altı farklı tip GPS uydusu vardır. Bunlar; Block I, Block II, Block IIA, Block IIR/IIR-M, Block IIF ve Block III (GPS III) uydularıdır (Şekil 3.2). Günümüzde Blok I, Blok II ve 2019'da devre dışı bırakılan Block IIA uyduları hizmet vermemektedir. Yörüngedeki uydular Şekil 3.2, Şekil 3.3'de ve bazı özellikleri Çizelge 3.1'de verilmektedir.



Şekil 3.2 GPS uyduları (URL-3)

Çizelge 3.1 GPS uyduları ve özellikleri

ÖZELLİKLER	BLOCK IIR	BLOCK IIR-M	BLOCK IIF	GPS III / IIF
İşletimde olan uydu sayısı	8	7	12	4
Piyasaya sürüldüğü tarih	1997-2004	2005-2009	2010-2016	2018 (ilk lansman)
Sinyal	L1,L2	L1,L2	L1,L2,L5	L1,L2,L5,L1C
Tasarım ömrü	7.5 yıl	7.5 yıl	12 yıl	15 yıl

GPS CONSTELLATION STATUS, 22.04.21

Total satellites in constellation	32 SC
Operational	30 SC
In commissioning phase	-
In maintenance	2 SC
In decommissioning phase	-

GPS CONSTELLATION STATUS FOR 22.04.21 UNDER THE ANALYSIS OF THE ALMANAC ACCEPTED IN IAC

Plane	Slot	PRN	NORAD	Type SC	Launch date	Input date	Outage date	Life-time (months)	Notes
A	1	24	38833	II-F	04.10.12	14.11.12		101.3	
	2	31	29486	IIR-M	25.09.06	13.10.06		174.4	
	3	30	39533	II-F	21.02.14	30.05.14		82.8	
	4	7	32711	IIR-M	15.03.08	24.03.08	22.04.21	157.1	In maintenance
B	1	16	27663	II-R	29.01.03	18.02.03		218.2	
	2	25	36585	II-F	28.05.10	27.08.10		127.9	
	3	28	26407	II-R	16.07.00	17.08.00		248.3	
	4	12	29601	IIR-M	17.11.06	13.12.06		172.4	
	5	26	40534	II-F	25.03.15	20.04.15		72.1	
	6	14	46826	III-A	05.11.20	02.12.20		4.6	
C	1	29	32384	IIR-M	20.12.07	02.01.08		159.7	
	2	27	39166	II-F	15.05.13	21.06.13		94.1	
	3	8	40730	II-F	15.07.15	12.08.15		68.4	
	4	17	28874	IIR-M	26.09.05	13.11.05		185.4	
	5	19	28190	II-R	20.03.04	05.04.04		204.7	
D	1	2	28474	II-R	06.11.04	22.11.04		197.1	
	2	1	37753	II-F	16.07.11	14.10.11		114.3	
	3	21	27704	II-R	31.03.03	12.04.03		216.5	
	4	6	39741	II-F	17.05.14	10.06.14		82.5	
	6	18	44506	III-A	22.08.19	01.04.20		12.7	
E	1	3	40294	II-F	29.10.14	12.12.14		76.4	
	2	10	41019	II-F	30.10.15	09.12.15		64.5	
	3	5	35752	IIR-M	17.08.09	27.08.09		139.9	
	4	20	26360	II-R	11.05.00	01.06.00		250.8	
	5	23	45854	III-A	30.06.20	01.10.20		6.7	
	6	22	28129	II-R	21.12.03	12.01.04		207.5	
F	1	32	41328	II-F	05.02.16	09.03.16		61.5	
	2	15	32260	IIR-M	17.10.07	31.10.07		161.8	
	3	9	40105	II-F	02.08.14	17.09.14		79.2	
	4	4	43873	III-A	23.12.18	13.01.20		15.3	
	6	13	24876	II-R	23.07.97	31.01.98		278.9	

Şekil 3.3 GPS uydularının güncel durumları (URL-4)

Kullanımda olan GPS uydularına ait frekans bilgileri yayınladıkları frekanslar aşağıda verilmiştir;

- Block IIR : L1 C/A, L1/L2 P (Y)
- Block IIR-M : L1 C/A, L1/L2 P (Y), L2C, L1/L2 (M)
- Block IIF : L1 C/A, L1/L2 P (Y), L2C, L1/L2 (M), L5
- Block III (GPS III) : L1 C/A, L1/L2 P (Y), L1/L2 M, L1C, L2C, L5

3.1.1.1. GPS sinyal yapısı

GPS uyduları L1 ve L2 olarak iki temel frekansa sahiptir. Bu frekanslar temel frekans olan 10.23 MHz 'in belli katları alınarak, L1 frekansı 1575.42 MHz ve L2 frekansı 1127.60 MHz olarak elde edilmiştir. Block IIF uydusu ile L5 sinyali de 1176.45 MHz frekansı üzerinden yayınlanmaya başlanmıştır (Dawoud, 2012).

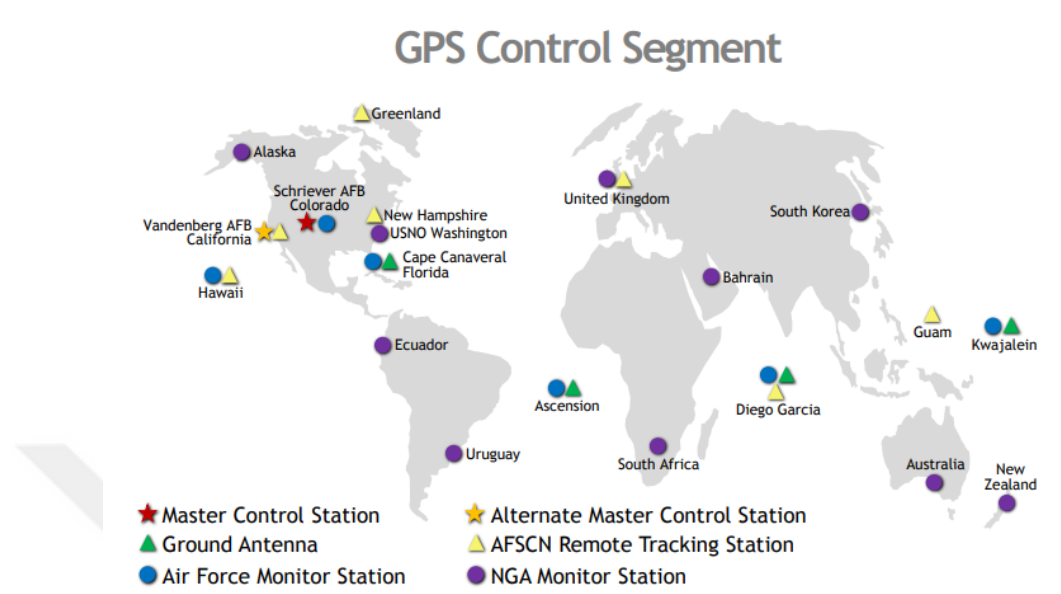
GPS L1 bandı navigasyon amacıyla kullanılan en önemli banttır ve 1575. 42 MHz'lik bir frekansa sahiptir. L1'de GPS tarafından C/A Kod, P Kod ve M Kod iletilmektedir. L2 bandı 1227.60 MHz'lik bir frekansa sahiptir ve P Kod, M Kod ve ikinci sivil GPS sinyali olan L2C sinyalini iletmektedir. L2C, özellikle ticari ihtiyaçları karşılamak için tasarlanmıştır.

L5, havacılık güvenliği ve diğer yüksek performanslı uygulamalar için tasarlanmış, 1176.45 MHz'lik bir frekansa sahip üçüncü sivil GPS sinyalidir. Diğer sinyallere göre güç, bant genişliği ve tasarım açısından üstündür. Gelecekte uçaklar için doğruluğu artırmak amacıyla L1 C/A ile birlikte kullanılacaktır. L1C sinyali, GPS ve diğer küresel navigasyon uydu sistemlerinin birlikte çalışabilirliğini sağlamak amacıyla tasarlanmış dördüncü sivil sinyaldir. İlk L1C sinyali GPS III uydusu ile çalışmaktadır ve geriye dönük uyumluluk için dördüncü sivil sinyalin, L1 C/A sinyali ile aynı frekans değerinde yayın yapmaktadır (Hegarty, 2017).

3.1.2. Kontrol bölümü

GPS kontrol bölümü, GPS sisteminin işletilmesinden sorumludur. Kontrol bölümü tarafından gerçekleştirilen ana görevler; uydu yörünge parametrelerinin izlenmesi ve kontrolü, uydu sisteminin durumunu izlemek, yedek uyduların aktivasyonlarını sağlamak, navigasyon mesajındaki parametrelerin güncellenmesi (efemeris, almanak, saat düzeltmeleri) ve uyduların takibi olarak sıralanabilir. Operasyonel kontrol bölümü (OCS), bir tane ana kontrol istasyonu, 11 tane komuta ve

kontrol anteni, bir tane alternatif kontrol istasyonu ve 16 tane izleme bölgesini içermektedir. Bu istasyonların yerleri Şekil 3.4’de gösterilmektedir.



Şekil 3.4 GPS kontrol bölümü (URL-7)

3.1.3. Kullanıcı bölümü

Farklı amaçlarla GPS kullanarak yerini bulmak isteyen herhangi birisi, kullanıcı bölümünün bir parçasıdır. Teknolojinin gelişmesiyle askeri ve sivil kullanıcılar için GPS büyük ilerlemeler göstermiştir. Genel olarak her türlü amaç için farklı duyarlıkları olan donanımlı GPS alıcıları kullanıcı bölümünü oluşturmaktadır.

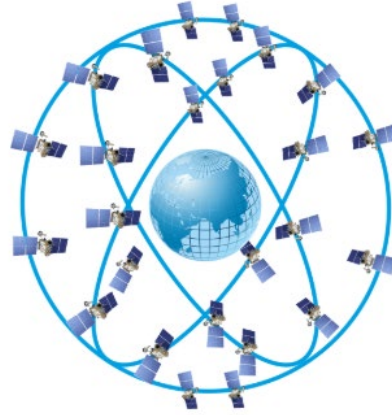
GPS uygulama alanı oldukça geniştir. GPS teknolojisi artık akıllı telefonlardan kol saatlerine, nakliye araçlarına ve bankacılık hizmetlerine kadar her alandadır. GPS, astronomi, haritacılık, afet yardımı ve acil hizmetler, arama ve kurtarma çalışmaları, filo takipleri, havacılık, araç takip sistemleri, madencilik, hassas tarım, spor uygulamalarında, meteorolojik tahminlerde, deprem izleme ve çevre koruma gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

3.2. GLONASS

GLONASS 1970'li yılların başında, Rusya tarafından geliştirilmiş bir küresel uydu sistemidir. Dünya da GPS 'den sonra en çok kullanılan konumlama sistemidir. GLONASS, Rus Silahlı Kuvvetleri Uzay Kuvvetleri Komutanlığına bağlı olarak 1983 yılında resmi olarak ilan edilmiştir (Kahveci ve Yıldız,2019).

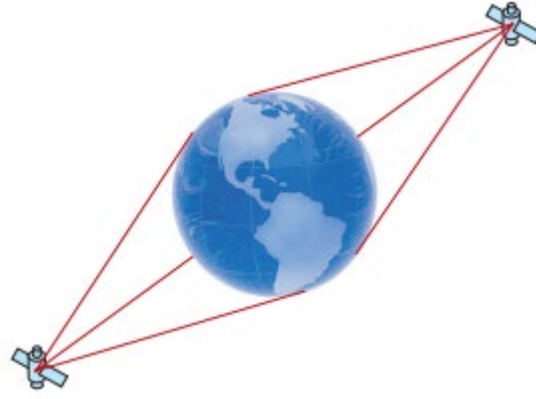
3.2.1. Uzay bölümü

Uzay bölümünün ana amacı, radyo navigasyon sinyallerini ve kontrol bölümü tarafından gönderilen navigasyon mesajını iletmektir. GLONASS uyduları, yeryüzünden yaklaşık 19.100 km yükseklikte, 64.8° eğim ve 11 saat 15 dakika 44 saniyelik periyotlar ile yörüngesel devir sağlamaktadır. GLONASS, 3 yörüngeden oluşmaktadır ve her bir yörüngede 8 uydu olarak toplam 24 uydudan oluşmaktadır (Şekil 3.5) (Jeffrey, 2010).



Şekil 3.5 GLONASS konumlama sistemi (URL-9)

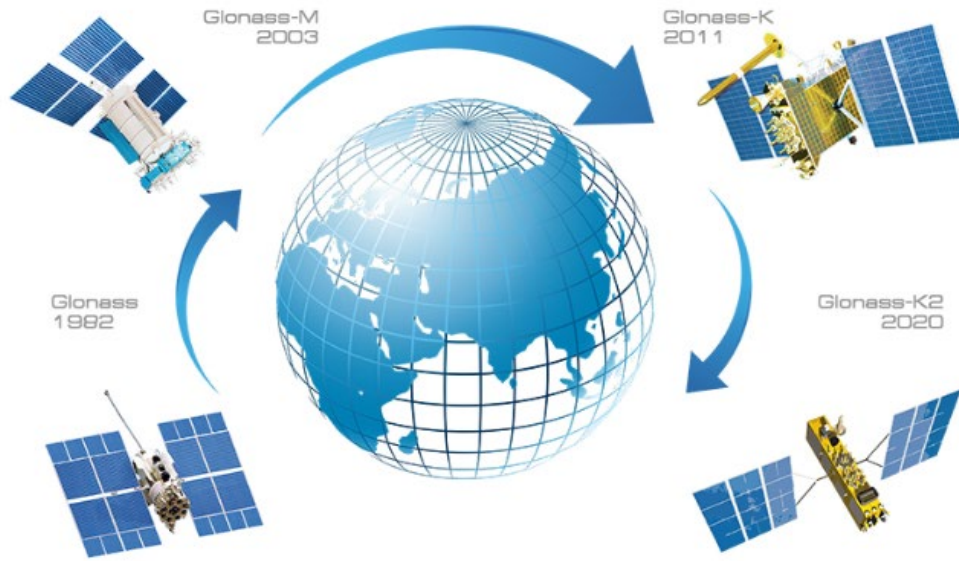
GLONASS, 12 frekans kanalında yayın yapan 24 uyduya sahiptir. Bu durum göz önüne alındığında aynı frekansa sahip uyduların varlığını göstermektedir. Uydular, aynı frekansı ileten antipodal uydulara sahiptir. Antipodal uydular aynı yörünge düzleminde olup aralarında 180 derece fark bulunmaktadır (Jeffrey, 2010). Bu durum Şekil 3.6'da verilmektedir.



Şekil 3.6 GLONASS antipodal uydular

3.2.1.1. GLONASS sisteminin gelişimi ve sinyal yapısı

GLONASS'ın ilk testleri GLONASS uydusunun Ekim 1982'de uzaya fırlatılması ile başlamıştır. GLONASS uyduları, L1 ve L2 frekanslarında FDMA navigasyon mesajını iletmiştir (Montenbruck ve ark., 2015).



Şekil 3.7 GLONASS uyduları (URL-1)

GLONASS uzay bölümünün gelişimi, ikinci nesil GLONASS-M uydusunun Nisan 2003'te fırlatılması ile başlamıştır. Üçüncü nesil GLONASS-K1 uydusu ise ilk kez 2011 yılında hizmet vermeye başlamıştır. Bunların ardından, 10 yıl kullanılacak, CDMA sivil sinyaline sahip L3 bandında 1205 MHz frekanslı GLONASS-K1 uydusu uzaya fırlatılmıştır (Montenbruck ve ark., 2015).

GLONASS-K2 uydularının tasarımı 10 yıl olacak ve ek olarak L3 bandındaki CDMA sinyalleri ile L1 ve L2 bandındaki FDMA sinyalleri de yayınlanacaktır. GLONASS-K uyduları hem FDMA sinyallerini hem de CDMA sinyallerini iletmektedir

(Revnivkyh ve ark.,2017). GLONASS-K uydularının üçüncü bloğu olan GLONASS-KM uyduları ile ise sisteme L5 sinyali eklenecektir (Jeffrey, 2010). Şekil 3.7 de modernizasyon aşamaları, Çizelge 3.2’de kısaca uydulara ait özellikler verilmektedir.

Çizelge 3.2 GLONASS uydularının özellikleri

Özellikler	GLONASS-M	GLONASS-K	GLONASS-K2
Yörüngeye Yerleştirme	2003-2016	2011-2018	2017+
Durum	Kullanımda	Yörüngelere bağlı tasarım geliştirilmesi	Geliştirilmekte
Nominal Yörünge Parametreleri	Yükseklik - 19.100 km Eğim - 64.8° Periyot - 11 sa 15 dk 44 sn		
Yörünge Sayıları	3		
Uydu Sayıları	24		
Tasarım Ömrü (Yıl)	7	10	10
Sinyal Tipi	FDMA(L1,L2)	FDMA (L1,L2) ve CDMA (L3)	FDMA(L1,L2) ve CDMA(L1,L2,L3)

GLONASS genelde 24 uydu ile hizmet vermesine rağmen zaman zaman kontrol ve testlere bağlı olarak uydu sayısı 24’ün altına ineabilmektedir (Şekil 3.8).

GLONASS CONSTELLATION STATUS, 22.04.2021

Total satellites in constellation	27 SC
Operational	23 SC
In commissioning phase	-
In maintenance	1 SC
Under check by the Satellite Prime Contractor	-
Spares	1 SC
In flight tests phase	2 SC

GLONASS CONSTELLATION STATUS AT 22.04.2021 BASED ON BOTH THE ALMANAC ANALYSIS AND NAVIGATION MESSAGES RECEIVED AT 22:00 22.04.21 (UTC) IN IAC PNT TSNIMASH

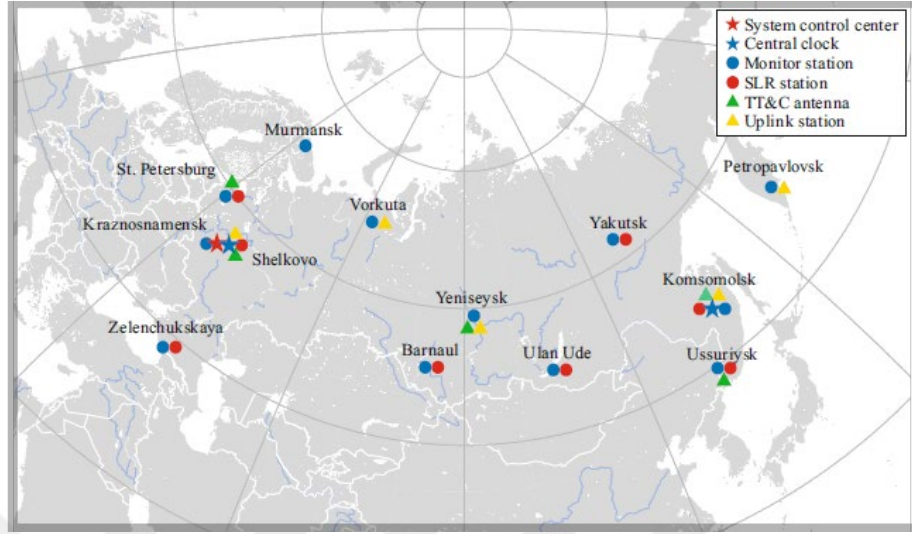
Orb. slot	Orb. pl.	RF chnl	# GC	Launched	Operation begins	Operation ends	Life-time (months)	Satellite health status		Comments
								In almanac	In ephemeris (UTC)	
1	1	01	730	14.12.09	30.01.10		136.3	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
2	1	-4	747	26.04.13	04.07.13		95.9	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
3	1	05	744	04.11.11	08.12.11		113.7	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
4	1	06	759	11.12.19	03.01.20		16.4	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
5	1	01	756	17.06.18	29.08.18		34.2	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
6	1	-4	733	14.12.09	24.01.10		136.3	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
7	1	05	745	04.11.11	18.12.11		113.7	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
8	1	06	743	04.11.11	20.09.12		113.7	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
9	2	-2	702	01.12.14	15.02.16		76.7	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
10	2	-7	723	25.12.07	22.01.08		160.0	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
11	2	00	705	25.10.20			5.9	-	- 22:25 22.04.21	Flight Tests
12	2	-1	758	27.05.19	22.06.19		22.9	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
13	2	-2	721	25.12.07	08.02.08		160.0	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
14	2	-7	752	22.09.17	16.10.17		43.0	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
15	2	00	757	03.11.18	27.11.18		29.6	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
16	2	-1	736	02.09.10	04.10.10		127.7	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
17	3	04	751	07.02.16	28.02.16		62.5	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
18	3	-3	754	24.03.14	14.04.14		85.0	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
19	3	03	720	26.10.07	25.11.07		162.0	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
20	3	02	719	26.10.07	27.11.07		162.0	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
21	3	04	755	14.06.14	03.08.14		82.3	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
22	3	-3	735	02.03.10	28.03.10		133.8	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
23	3	03	732	02.03.10	28.03.10		133.8	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
24	3	02	760	16.03.20	14.04.20		13.2	+	+ 22:25 22.04.21	In operation
15	2		716	25.12.06	12.10.07	24.11.18	172.0			Spares
11	2		753	29.05.16	27.06.16	19.11.20	58.8			Maintenance
20	3	-6	701	26.02.11			121.9			Flight Tests

Şekil 3.8 GLONASS uydularının güncel durumu (URL-12)

3.2.2. Kontrol bölümü

GLONASS kontrol bölümü, sistem kontrol merkezinden ve Rusya genelindeki komuta takip istasyonlarından oluşan bir ağdan oluşmaktadır. GLONASS kontrol bölümü uyduların durumlarını izler ve efemeris düzeltmelerini belirler. Uydu saat hatalarını GLONASS zamanına ve eş güdümlü evrensel zamana (UTC) göre belirlemektedir

(Kaplan ve Hegarty,2017). Günde iki kez uydulara düzeltmeler sağlamaktadır (Jeffrey, 2010). Şekil 3.9 da yer kontrol merkezlerinin konumları verilmektedir.



Şekil 3.9 GLONASS yer kontrol merkezleri (Revnivykh ve ark.,2017)

3.2.3. Kullanıcı bölümü

GLONASS kullanıcı bölümü, GLONASS sinyallerini alan, koordinatları elde eden ve doğru bir zaman, konum sağlamak için navigasyon mesajını çözen L-bantlı radyo alıcısı, işlemciler ve antenlerden oluşmaktadır. Bir GLONASS alıcısı, uydular tarafından yayınlanan sinyali işleyerek kullanıcı konumunu, hızını ve kesin zamanı belirlemektedir. (JSC, 2016)

GLONASS sınırsız sayıda kullanıcı için karada, denizde, havada küresel navigasyon hizmeti sağlamaktadır. GLONASS uygulama alanı oldukça geniş olup bunlar; iletişim ve enerji sistemleri hizmeti, askeri, jeodezik uygulamalar, tektonik plaka hareketlerinin belirlenmesi, konumlama, deniz ve karayolu navigasyonu, hayvan takibi, arama kurtarma uygulamaları şeklinde verilebilir.

3.3. GALILEO

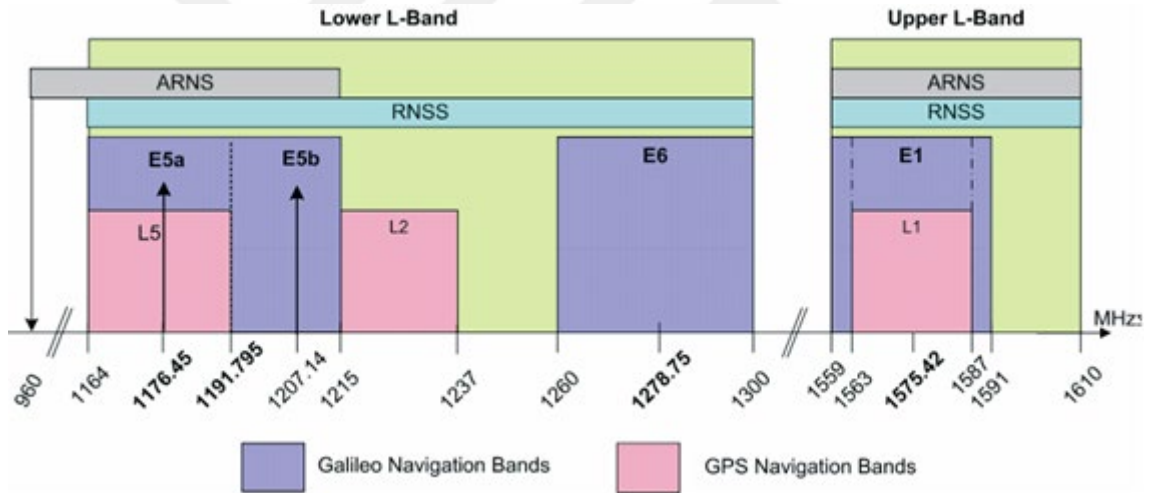
Galileo uydu sistemi, GPS'e alternatif olarak tasarlanmış, kullanıcılara doğru, güvenilir ve hassas konum hizmeti sunan, Avrupa'nın küresel konum belirleme sistemidir. Halen çalışmaları devam eden Galileo sistemi, GPS ve GLONASS gibi diğer küresel uydu sistemleri ile beraber çalışabilir özellikte tasarlanmıştır. Galileo uydu sistemi de diğer uydu sistemleri gibi uzay, kontrol ve kullanıcı bölümü olarak 3 bölümden oluşmaktadır.

3.3.1. Uzay bölümü

Galileo uzay bölümü 23222 km yükseklikte 27 aktif 3 yedek olarak toplam 30 uydudan oluşacak şekilde planlanmıştır. Uydular 3 yörünge düzleminde ve her yörünge ekvator ile 56° 'lik açı yapan orta yörünge uydularından (MEO) oluşmaktadır. Galileo uydularının yörüngedeki periyotları yaklaşık 14 saattir (Nurmi ve ark.,2015).

3.3.2. Sinyal yapısı

Galileo navigasyon sinyalleri dört frekans bandında iletilir. Bu frekans bantları E5a, E5b, E6 ve E1'dir (Şekil 3.10). Bu frekans bantları, aynı zamanda Radyo Navigasyon Uydu Servisleri (RNSS) için tahsis edilmiş spektrumda seçilmiştir. Buna ek olarak E5a, E5b ve E1 bantları sivil havacılık tarafından kullanılan Havacılık Radyo Navigasyon Servisleri (ARNS) 'ne ayrılan frekans spektrumlarına dahildir (Siddiqui, 2009).



Şekil 3.10 Galileo frekans bandı (Navipedia, 2019)

Galileo sisteminin sinyal bilgileri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Her bir sinyal için taşıyıcı frekansları ve bant genişliği (Hofmann-Wellenhof ve ark.,2008)

Sinyal	Taşıyıcı Frekans (MHz)	Bant Genişliği (MHz)
E1	1575.420	32
E6	1278.750	40.9
E5	1191.795	51.2
E5a	1176.450	24
E5b	1207.140	24

Galileo sinyalleri E1, E5 ve E6 olarak 3 temel sinyal ve bunlara bağlı 10 alt sinyalden oluşmaktadır. Bu alt sinyaller şu şekildedir (Hofmann-Wellenhof ve ark.,2008);

- E1 sinyalinin alt bantları: E1A, E1B ve E1C
- E5 sinyalinin alt bantları: E5a-I, E5a-Q, E5b-I ve E5b-Q
- E6 sinyalinin alt bantları: E6A, E6B ve E6C

Galileo tarafından kullanılan frekans bantları hizmet türlerine göre Çizelge 3.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 Galileo hizmetleri ve öngörülen frekans bantları

Sinyaller	Açık Hizmet (OS)	Ticari Hizmet (CS)	Yaşam Emniyeti Hizmeti (SoL)	Kamu Asayiş Hizmeti (PRS)
E1A				+
E1B	+	+	+	
E1C	+	+	+	
E5a-I	+	+		
E5a-Q				
E5b-I	+	+	+	
E5b-Q				
E6A				+
E6B		+		
E6C		+		

Galileo sinyalleri, sistem tarafından sunulan servisleri sağlayabilmek için 4 farklı navigasyon veri formatı kullanılmaktadır. Bunlar:

- Serbest Erişilebilir Navigasyon Mesajı (F/NAV)

- Bütünlük Navigasyon Mesajı (I/NAV)
- Ticari Navigasyon Mesajı (C/NAV) ve Kamusal Navigasyon Mesajı (G/NAV)

3.3.3. Galileo gelişim aşamaları

Galileo programı iki ana aşamaya göre yapılandırılmıştır. Bu iki aşama Yörünge Doğrulama (IOV) ve Tam Fonksiyonel Çalışma Kabiliyeti (FOC) olarak adlandırılmaktadır.

Yörünge doğrulama (IOV) aşaması, sistemin altyapısının nitelendirilmesini, uyduların çalışması ve yörünge doğrulamalarının, test uyduları ve iki deneysel uydu ile değerlendirilmesini kapsamaktadır. Bu iki deneysel uydu GIOVE A ve GIOVE B olarak adlandırılmaktadır. Sırasıyla Aralık 2005 ve Nisan 2008 yılında fırlatılmıştır. Amaçları, orta yörüngede (MEO) radyasyon gibi çevresel şartların uygunluğunu ve yük taşıma teknolojisinin, atom saatlerinin performansını test etmektir. Galileo sisteminin ilk operasyonel uydusu 21 Ekim 2011’de fırlatılmıştır, ikinci operasyonel uydu ise 12 Ekim 2012’de fırlatılmıştır (Kaplan ve Hegarty, 2017).

Tam Fonksiyonel Çalışma Kabiliyeti (FOC) aşaması, uzay ve yer altyapılarının tamamlanmasını ve sistemin tamamen fonksiyonel olmasını kapsamaktadır. Başlangıçta 4 adet IOV uydusu olmak üzere toplam 18 uydunun çalışabilir olması planlanmıştır. (Luo ve ark.,2020) 25 Temmuz 2018’de 4 FOC uydusunun son lansmanı ile Galileo uydu sistemi günümüzde 22 tanesi kullanılabilir olan 26 uydudan oluşmaktadır (Kuang ve ark.,2021). Galileo yörüngelerine yerleştirilmiş, işletilmede olan ve fırlatılması planlanan Galileo uydu sayıları Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6’da gösterilmektedir.

Çizelge 3.5 21 Ocak 2021 itibariyle Galileo uydularının durum özeti

Uydu	Başlatılan Dönem	Fırlatılan Uydu Durumları			Yörüngedeki Uydu Sayısı
		Başarılı	Başarısız	Fırlatılması Planlanan	
GIOVE	2005-2008	2	0	0	0
IOV	2011-2012	4	0	0	3
FOC	2014'den itibaren	20	2	12	19
G2G	2024+	0	0	12	0
Toplam Uydu Sayısı		26	2	24	22

Çizelge 3.6 Galileo uydularının güncel durumu

Uydu İsmi	Uzay Aracı Tanımlayıcı (ID)	Saat	Durum
GSAT0101	E11	RAFS	Kullanılabilir
GSAT0102	E12	PHM	Kullanılabilir
GSAT0103	E19	PHM	Kullanılabilir
GSAT0104	E20	RAFS	Kullanım dışı
GSAT0201	E18	PHM	Kullanım dışı
GSAT0202	E14	PHM	Kullanım dışı
GSAT0203	E26	PHM	Kullanılabilir
GSAT0204	E22	RAFS	Kullanım dışı
GSAT0205	E24	PHM	Kullanılabilir
GSAT0206	E30	PHM	Kullanılabilir
GSAT0207	E07	PHM	Kullanılabilir
GSAT0208	E08	PHM	Kullanılabilir
GSAT0209	E09	PHM	Kullanılabilir
GSAT0210	E01	PHM	Kullanılabilir
GSAT0211	E02	PHM	Kullanılabilir
GSAT0212	E03	PHM	Kullanılabilir
GSAT0213	E04	PHM	Kullanılabilir
GSAT0214	E05	PHM	Kullanılabilir
GSAT0215	E21	PHM	Kullanılabilir
GSAT0216	E25	PHM	Kullanılabilir
GSAT0217	E27	PHM	Kullanılabilir
GSAT0218	E31	PHM	Kullanılabilir
GSAT0219	E36	PHM	Kullanılabilir
GSAT0220	E13	PHM	Kullanılabilir
GSAT0221	E15	PHM	Kullanılabilir
GSAT0222	E33	PHM	Kullanılabilir

Çizelge 3.6'dan görüldüğü gibi yörüngede 3 IOV uydusu ve 19 FOC uydusu olmak üzere toplam 22 tane uydu bulunmaktadır.

3.3.4. Galileo hizmetleri

Galileo uydu sisteminde kullanıcılar için diğer küresel navigasyon uydu sistemlerinden farklı olarak Açık Hizmet (OS), Ticari Hizmet (CS), Yaşam Emniyeti Hizmeti (SoL), Kamu Düzenlenmiş Hizmeti (PRS) ve Arama-Kurtarma Hizmeti (SAR) olarak beş farklı hizmet türü planlanmıştır.

3.3.4.1. Açık hizmet (OS)

Galileo açık hizmet, kullanıcılar tarafından ücretsiz olarak erişilebilen, araçlarda ve cep telefonlarında kullanılacak konumlama, hız ve zaman bilgisi sağlar. Küresel olarak kullanılmaktadır. Genel olarak, Açık Servis hizmeti Galileo ve GPS uydu sinyallerinin kombinasyonunu kullanmaktadır, kullanılan sinyaller L1, E5a ve E5b'dir. Bu hizmet için öngörülen performans değerleri Çizelge 3.7'de verilmiştir (Kaplan ve Hegarty, 2017).

Çizelge 3.7 Galileo sistemi Açık Servis (OS) özellikleri

		Tek Frekans	Çift frekans
Doğruluk	Yatay	15m/24m	4m
	Düşey	35m	8m
Zaman doğruluğu		30ns	
Mevcutluk (küresel)		%99.5	
Erişim kontrolü		Ücretsiz erişim	

3.3.4.2. Ticari Servis (CS)

Ticari Servis (CS), açık servis ile elde edilenden daha gelişmiş performans ve veriler ile daha profesyonel ve ticari kullanımlar için kullanılan ücretli bir hizmettir. Ticari servis E6 bandındaki sinyalleri kullanmaktadır. CS ile sağlanabilecek öngörülen hizmetler, yüksek doğruluk ve kimlik doğrulama ile ilgilidir (Andrei ve ark.,2021).

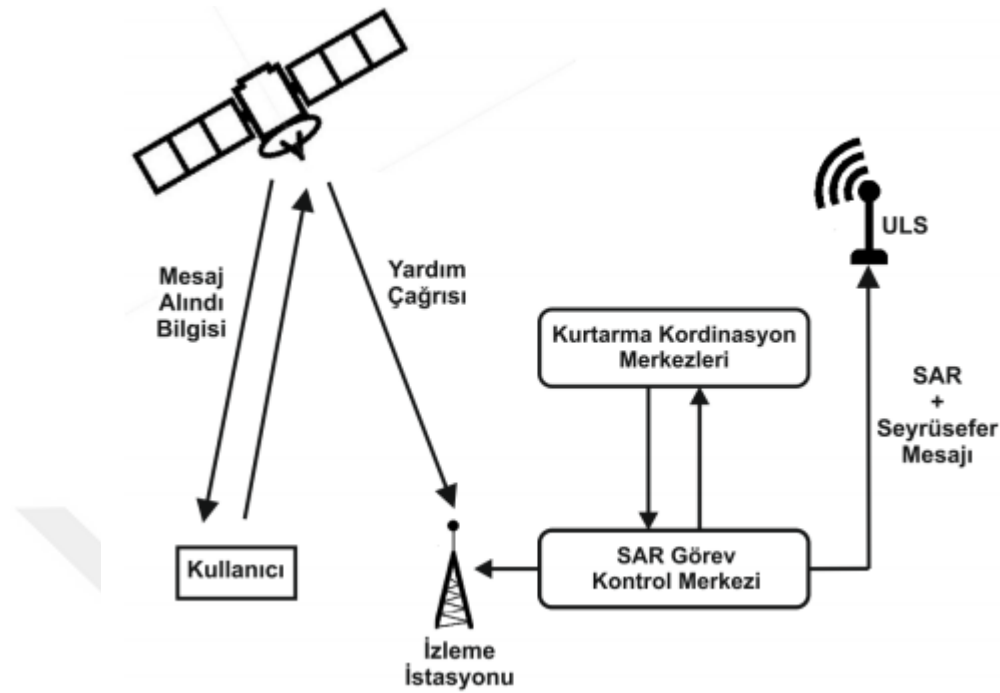
3.3.4.3. Kamu düzenlenmiş hizmeti (PRS)

Galileo Kamu Düzenlenmiş Hizmeti (PRS), hizmet sürekliliği gerektiren devletin yetkili kullanıcıları için konum ve zamanlama hizmeti sağlamak üzere planlanmıştır. Hizmetlere erişim kontrollüdür. PRS hizmetinin diğer hizmetlere göre üstünlüğü, diğer navigasyon servislerine erişim sağlanamadığı durumlarda, sinyal yayınının bozulması gibi durumlarda sürekli olarak, güçlü ve şifreli sinyali sağlayacak olmasıdır. PRS hizmeti E1 ve E6 bantlarında kullanılmaktadır (Kaplan ve Hegarty, 2017).

3.3.4.4. Arama ve kurtarma hizmeti (SAR)

Galileo Arama Kurtarma (SAR) işlemleri, tehlike altındaki insanların yerini tespit etmeyi ve yardım etmeyi amaçlar, operatörlerin tehlike sinyaline daha hızlı ve daha verimli olarak yanıt vermesine yardımcı olur (Şekil 3.11). SAR hizmeti, Galileo ilk hizmetlerinin bir parçası olup, küresel SAR hizmetini sunan ilk GNSS sistemidir. SAR

hizmeti, denizde, dağlarda, çöllerde ve Galileo/SAR hizmet kapsam alanı içinde havada kullanılmaktadır (URL-10).



Şekil 3.11 SAR hizmeti (Koca, 2019)

Galileo SAR, Avrupa'nın uluslararası uydu tabanlı arama kurtarma, tehlike tespit sistemi olan COSPAS-SARSAT (Search and Rescue Satellite Listen Worldwide for Disaster Recovery)'a katkısıdır. COSPAS-SARSAT, 1979 yılında Kanada, Fransa, ABD ve eski Sovyetler Birliği tarafından kurulmuştur, SAR operatörlerinin uygulamalarına yardımcı olmak için doğru, güvenilir ve zamanında, alarm ve konum bilgisi sağlar. COSPAS-SARSAT, katılımcı ülkeler tarafından sürdürülen ve koordine edilen bir uydu sistemi üzerinden çalışmaktadır. Sistemin işletimine ve yönetimine aralarında ülkemizin de bulunduğu 43 ülke katılmıştır. COSPAS-SARSAT ayrıca Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO), Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) ve Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) gibi çeşitli uluslararası kuruluşlarla da iş birliği yapmaktadır (URL-10).

Galileo Arama Kurtarma Hizmeti (SAR), COSPAS-SARSAT tarafından tanımlanan birlikte çalışabilirlik parametlerine uygundur ve bu Galileo/SAR, GPS/SAR, GLONASS/SAR sistemlerinin altyapıları tarafından iletilen sinyallerin, bu sinyallerin tespitini ve konumlamasını sağlar (Nurmi ve ark., 2015).

3.3.5. Galileo sistemi mesaj yapısı

Galileo navigasyon mesajı kontrol bölümü tarafından oluşturulur ve Galileo uydularına yüklenir. Galileo navigasyon mesajları için Çizelge 3.8’de gösterildiği gibi beş farklı veri modeli öngörülmüştür; yörünge parametleri, zaman ve saat düzeltme parametreleri, bütünlük, servis parametreleri ve almanak (Hofmann-Wellenhof ve ark.,2008).

Navigasyon mesajları, kullanıcının tam bir konum, hız ve zaman hesaplanması için gerekli tüm parametreleri içerir. Aktif her uyduda bulunurlar ve Galileo sisteminin tüm uyduları tarafından dünya çapında yayınlanırlar.

Çizelge 3.8 Galileo navigasyon mesajı parametreleri (Arslan, 2016)

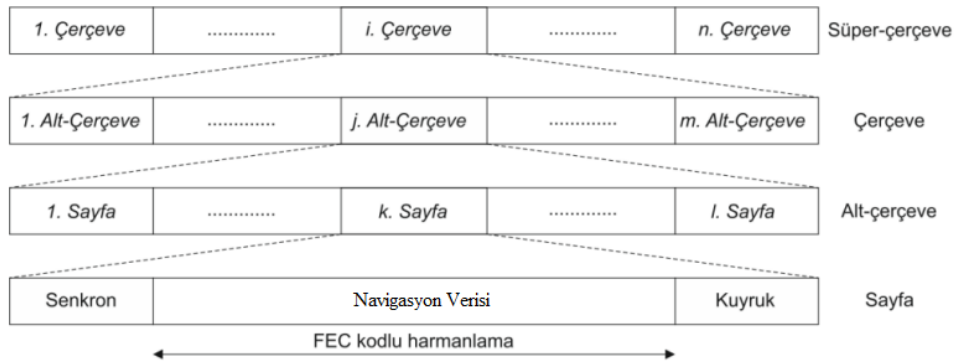
Veri	Model
Efemeris	Yörünge Parametreleri
Galileo Sistem Zamanı (GST)	
Saat Düzeltmesi	
Yayın Grup Gecikmesi	Zaman ve Saat Düzeltme Parametreleri
İyonosfer Düzeltmesi	
GST – UTC Dönüşümü	
GPS’den Galileo Sistem Zamanına Dönüşüm	
Uydu Almanak Verileri	Almanak
Almanak Referansları	
Uzaydaki Sinyalin Doğruluğu	Bütünlük
Uydu Kimliği	
Sorunlu Veriler (IOD-Issue of data)	
Navigasyon Verisinin Geçerliliği ve Sinyal Sağlık Durumu	Servis Parametreleri
CRC (Döngüsel Artıklık Denetimi)	

- Efemeris bilgileri: Kullanıcı alıcıya uyduların konumunu hesaplamak için gerekli parametreleri sağlar.
- Servis parametreleri: Navigasyon verilerini, uydu ve sinyallerin sağlık durumu gösterir.
- Zaman ve saat düzeltme parametreleri: Alıcı ve uydu arasındaki mesafeyi hesaplamak için gerekli parametreleri içerir.
- Galileo sistem zamanı (GST): 12 bitlik hafta numarası (WN) ve 20 bitlik haftanın zamanı (TOW) parametrelerinden oluşur. Sistem toplam 32 bitlik ikili sayı olarak verilir. Hafta numarası Galileo zamanının başlangıcından itibaren geçen hafta

sayısını verir. Haftanın zamanı bir önceki haftadan itibaren meydana gelen saniyeyi vermektedir (URL-8).

- Almanak verileri: Yörüngedeki aktif uydulardaki saat ve efemeris parametrelerinin bir altkümesidir. Almanak verileri uyduların konumlarını belirlemek için gereklidir (Arslan, 2016).

Galileo navigasyon mesajının genel yapısı Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Tüm navigasyon mesajı verileri, her bir veri bileşenine bir bölüm dizisi olarak iletilir. Şekil 3.12’de görüldüğü gibi, navigasyon mesajı bölüm, alt bölüm, sayfa bölümlerinden oluşmaktadır. Bir bölüm birkaç alt bölümden oluşur ve sırayla bir alt bölüm birkaç sayfadan oluşur. Sayfa, navigasyon mesajı oluşturmak için temel bir yapıdır. Bu düzenlemeler, hızlı oran (bütünlük gibi acil veriler), orta oran (efemeris, saat düzeltmeler vb.), ve yavaş oranlarda (almanaklar) tekrarlanan üç farklı ana veri kategorisinin gerçekleşmesine izin verir (URL-8).



Şekil 3.12 Galileo navigasyon mesajı yapısı

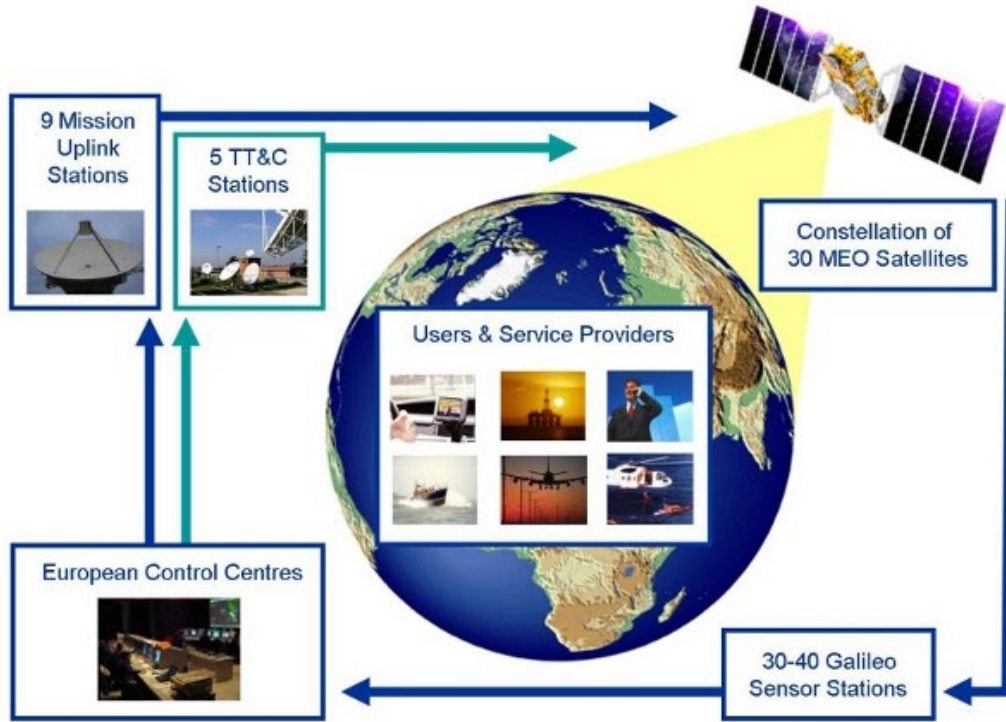
3.3.6. Kontrol bölümü

Galileo yer kontrol merkezleri, Yer Hizmet Bölümü (GMS) ve Yer Kontrol Bölümü (GCS) olarak adlandırılmaktadır. Yer Kontrol Bölümü, uyduların komuta ve kontrolü ile ilgili tüm işleri yerine getirir. Yer Hizmet Bölümü, Galileo navigasyon sinyallerini ölçer ve izler, navigasyon verilerini hesaplar ve uydulara iletimini sağlar (Falcone ve ark., 2017).

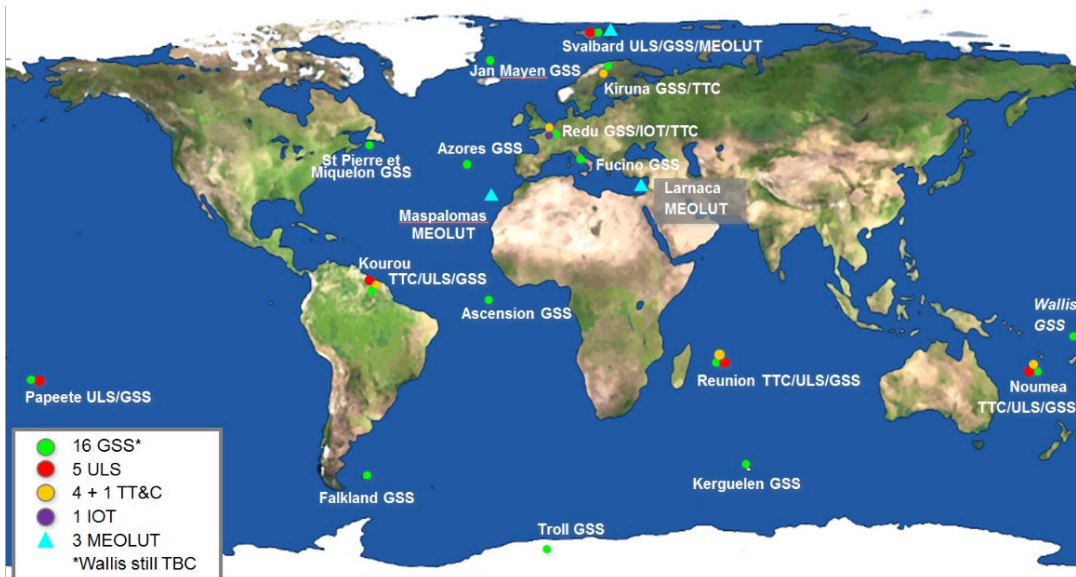
Galileo uydu sisteminin kontrol bölümü;

- İki Yer Kontrol Merkezi (GCC),
- Beş Telemetri-İzleme ve Kontrol İstasyonu (TT&C),
- Dokuz C-bandında yerden uzaya yayın yapan istasyon (ULS)

- Yaklaşık kırk adet Galileo Sensör İstasyonu (GSS)' ndan oluşmaktadır (Şekil 3.13-Şekil 3.14) (Berkes, 2002).



Şekil 3.13 Galileo Altyapısı (URL-13)



Şekil 3.14 Galileo kontrol bölümü (URL-6)

3.3.7. Kullanıcı bölümü

Galileo kullanıcı bölümü, diğer uydu sistemleri gibi kara, hava ve denizdeki tüm kullanıcıları kapsar. Kullanıcı bölümü, Galileo sinyallerini elde eden, koordinatları

belirleyen ve doğru zaman senkronizasyonunu sağlamak için navigasyon denklemlerini çözen uyumlu alıcılar ve cihazlardan oluşur. Uygulamaya bağlı olarak taşımacılıktan zamanlama uygulamalarına kadar geniş bir yelpazeyi kapsayan farklı kullanıcı toplulukları vardır (Bartolomé ve ark.,2015).

Avrupa komisyonu, Galileo uygulamalarına ilişkin altı alana öncelik vermiştir;

- Cep telefonları için uygulamalar (LBS);
- Karayolu taşımacılığı;
- Havacılık;
- Deniz taşımacılığı;
- Hassas tarım ve çevre koruma;
- Sivil korunma ve gözetim (Navipedia, 2018).

3.4. BEIDOU (BDS)

BeiDou navigasyon uydu sistemi (BDS), Çin'in, sürekli olarak navigasyon ve zamanlama hizmetlerini sunan küresel uydu navigasyon sistemidir. BeiDou uydu sisteminin BeiDou-1 (BDS-1), BeiDou-2 (BDS-2) ve BeiDou-3 (BDS-3) olarak üç aşamalı gelişim stratejisi vardır. BDS-3 ile küresel bir nitelik kazanmıştır.

3.4.1. Uzay bölümü

BeiDou uydu sistemi diğer GNSS sistemlerinden farklı olarak orta dünya yörüngeli (MEO) uyduların yanında yer sabit dünya yörünge (GEO) ve eğik eş zamanlı yörünge uydularını (IGSO) da kullanmaktadır.

DeneySEL amaçlı olarak geliştirilen ve BeiDou-1 olarak bilinen ilk BeiDou sistemi, 3 yer sabit yörünge uydusundan oluşmaktadır ve sınırlı bir kapsama alanına sahiptir. Proje 1994 yılında başlamış ve 2000 yılında iki GEO uydusunun lansmanı tamamlanıp ve işletilmeye başlanmıştır. Üçüncü GEO uydusu 2003 yılında piyasaya sürülmüştür ve sistem performansını arttırmıştır. Sistem Çin ve komşu ülkelere konumlama, zamanlama ve kısa mesaj iletimi sağlamıştır (Yang ve ark.,2019).

İkinci adım olan BeiDou-2, 2004 yılında başlamış ve 2012 yılı sonunda, uydu dağılımını tamamlamak amacıyla 5 GEO, 5 IGSO ve 4 MEO uydusu olarak toplam 14 uydu ile başlatılmıştır. BDS-2 uyduları, BDS-1 ile uyumlu bir teknik plana sahip olmasının yanı sıra pasif konumlama planı ve Asya-Pasifik bölgesinde konumlama, hız ve zamanlama, kısa mesaj iletimi hizmeti sunmuştur (Yang ve ark.,2019).

Bölgesel hizmet veren BDS-2'nin ardından, BeiDou sistemini tamamlamak ve küresel hizmet sunmak amacıyla 2015 yılında BDS-3 geliştirilmeye başlanmıştır. Son GEO uydusu Haziran 2020'de fırlatılmasıyla BeiDou uydu sayısı tamamlanmıştır. BDS-3 sistemin üçüncü aşamasıdır ve 24 MEO, 3 IGSO ve 3 GEO uydularından oluşmaktadır. (CSNO, 2020). Günümüzde 55 BDS uydusu yörüngeye fırlatılmıştır ve küresel olarak kullanıcılara daha güvenilir konumlama, navigasyon ve zamanlama hizmeti sunmaktadır (Lu ve ark.,2020). Çizelge 3.9'da ise BDS-3'deki uyduların özellikleri verilmektedir.

Çizelge 3.9 BDS-3 uyduların özellikleri (CSNO,2020)

3 Uydu GEO	Eğim	80 ° E, 110,5 ° E, 140 ° E
	Yükseklik	35 786 km
24 Uydu MEO	Eğim	55 °
	Yükseklik	21 528 km
	Düzlem Sayısı	3
3 Uydu IGSO	Eğim	55 °
	Yükseklik	35 786 km

Günümüzde 44 tane işletimde olan BeiDou uydusu vardır. Bu uydular 3 MEO, 5 GEO VE 7 IGSO olarak toplam 15 tane BeiDou-2, 24 MEO, 2 GEO ve 3 IGSO olarak 29 tanesi BeiDou-3 uydusudur (Şekil 3.15).

BEIDOU CONSTELLATION STATUS 22.04.21

Total satellites in constellation	49
SV is included in operational orbital constellation	44
SV is not included in operational orbital constellation	5

BEIDOU CONSTELLATION STATUS 22.04.21

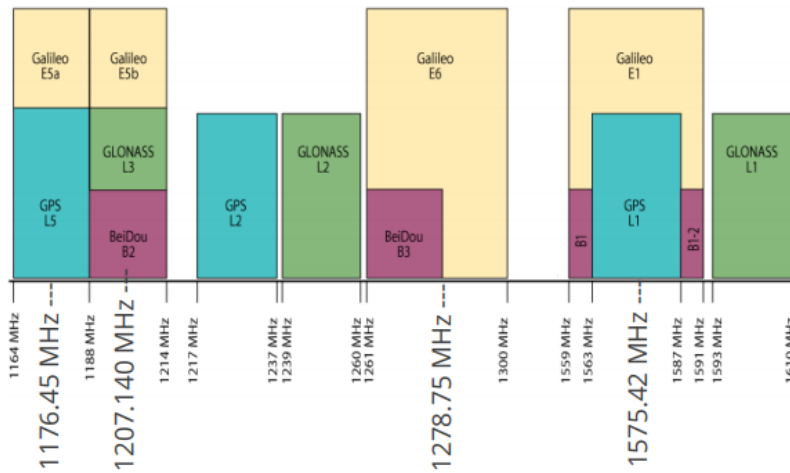
Setellite Number	NORAD	Setellite Name	Type of system	Launch date	Life-time (days)	Notes
C01	44231	GEO-8	BDS-2	17.05.19	706	In operation
C02	38953	GEO-6	BDS-2	25.10.12	3101	In operation
C03	41586	GEO-7	BDS-2	12.06.16	1775	In operation
C04	37210	GEO-4	BDS-2	01.11.10	3825	In operation
C05	38091	GEO-5	BDS-2	25.02.12	3344	In operation
C06	36828	IGSO-1	BDS-2	01.08.10	3917	In operation
C07	37256	IGSO-2	BDS-2	18.12.10	3778	In operation
C08	37384	IGSO-3	BDS-2	10.04.11	3665	In operation
C09	37763	IGSO-4	BDS-2	27.07.11	3557	In operation
C10	37948	IGSO-5	BDS-2	02.12.11	3429	In operation
C11	38250	MEO-3	BDS-2	30.04.12	3279	In operation
C12	38251	MEO-4	BDS-2	30.04.12	3279	In operation
C13	41434	IGSO-6	BDS-2	30.03.16	1849	In operation
C14	38775	MEO-6	BDS-2	19.09.12	3137	In operation
C16	43539	IGSO-7	BDS-2	10.07.18	1017	In operation
C19	43001	MEO-1	BDS-3	05.11.17	1264	In operation
C20	43002	MEO-2	BDS-3	05.11.17	1264	In operation
C21	43208	MEO-3	BDS-3	12.02.18	1165	In operation
C22	43207	MEO-4	BDS-3	12.02.18	1165	In operation
C23	43581	MEO-5	BDS-3	29.07.18	998	In operation
C24	43582	MEO-6	BDS-3	29.07.18	998	In operation
C25	43603	MEO-11	BDS-3	25.08.18	971	In operation
C26	43602	MEO-12	BDS-3	25.08.18	971	In operation
C27	43107	MEO-7	BDS-3	12.01.18	1196	In operation
C28	43108	MEO-8	BDS-3	12.01.18	1196	In operation
C29	43245	MEO-9	BDS-3	30.03.18	1119	In operation
C30	43246	MEO-10	BDS-3	30.03.18	1119	In operation
C32	43622	MEO-13	BDS-3	19.09.18	946	In operation
C33	43623	MEO-14	BDS-3	19.09.18	946	In operation
C34	43648	MEO-15	BDS-3	15.10.18	920	In operation
C35	43647	MEO-16	BDS-3	15.10.18	920	In operation
C36	43706	MEO-17	BDS-3	19.11.18	885	In operation
C37	43707	MEO-18	BDS-3	19.11.18	885	In operation
C38	44204	IGSO-1	BDS-3	20.04.19	733	In operation
C39	44337	IGSO-2	BDS-3	25.06.19	667	In operation
C40	44709	IGSO-3	BDS-3	05.11.19	534	In operation
C41	44864	MEO-19	BDS-3	16.12.19	493	In operation
C42	44865	MEO-20	BDS-3	16.12.19	493	In operation
C43	44793	MEO-21	BDS-3	23.11.19	516	In operation
C44	44794	MEO-22	BDS-3	23.11.19	516	In operation
C45	44543	MEO-23	BDS-3	23.09.19	577	In operation
C46	44542	MEO-24	BDS-3	23.09.19	577	In operation
C59	43683	GEO-1	BDS-3	01.11.18	903	In operation
C60	45344	GEO-2	BDS-3	09.03.20	409	In operation
C31	40549	IGSO-15	BDS-3S	30.03.15	2215	Not in operational orbital constellation
C56	40938	IGSO-25	BDS-3S	30.09.15	2031	Not in operational orbital constellation
C57	40749	MEO-15	BDS-3S	25.07.15	2098	Not in operational orbital constellation
C58	40748	MEO-25	BDS-3S	25.07.15	2098	Not in operational orbital constellation
C61	45807	GEO-3	BDS-3	23.06.20	303	Not in operational orbital constellation

Şekil 3.15 BeiDou uydularının güncel durumu (URL-11)

BeiDou sistemi navigasyon sinyallerini üç frekans bandında iletir. Bu bantlar diğer GNSS sinyalleriyle aynı L-bandında bulunan B1, B2 ve B3 sinyalleridir. BeiDou uydu sisteminin frekans bant genişlikleri, B1 (1559.052-1591.788MHz), B2 (1166.22-1217.37 MHz) ve B3 (1250.618-1286.423 MHz) olarak belirlenmiştir (Stansell, 2018). BeiDou uydularının kullandığı sinyaller ve frekansları Çizelge 3.10'da gösterilmektedir (Stansell, 2018).

Çizelge 3.10 BeiDou uyduları ve sinyal frekansları (Chukwunonso ve Ibiam,2021)

Uydu	Sinyal	Frekans Değeri
BDS	B1	1561.098 MHz
	B2	1207.14 MHz
	B3	1268.52 MHz
BDS-2	B1-2	1589.742 Mhz
	B1-BOC	1575.42 Mhz
	B2-BOC	1207.14 Mhz
BDS-3	B3-BOC	1268.52 Mhz
	B1C	1575.42 MHz
	B2a	1176.45 MHz
	B3I	1268.52 MHz



Şekil 3.16 GNSS sistemlerinin sinyal frekansları (Povero, 2019)

3.4.2. Kontrol bölümü

Kontrol bölümü, çeşitli yer istasyonları, ana kontrol istasyonları, zaman senkronizasyonu ve izleme istasyonları olmak üzere standart bir merkezi sisteme dayanmaktadır. 1 ana istasyon, 30 izleme istasyonu ve 2 adet yükleme istasyonundan

oluşmaktadır. Her uydu için hassas yörünge ve saat verileri istasyonlar aracılığı ile yüklenmektedir (Chukwunonso ve Ibiam,2021).

Ana kontrol istasyonu, uyduların kontrolünden sorumludur ve navigasyon mesajı oluşturmak için izleme istasyonları tarafından alınan ölçümlerin işlenmesini sağlar. Yükleme istasyonu, yörünge düzeltmelerini ve navigasyon mesajını BeiDou uydularına yüklenmesini sağlar. İzleme istasyonları, uydu navigasyon sinyallerini sürekli olarak gözlemler ve ana kontrol istasyonuna gerçek zamanlı veri sağlar (CSNO,2018).

3.4.3. Kullanıcı bölümü

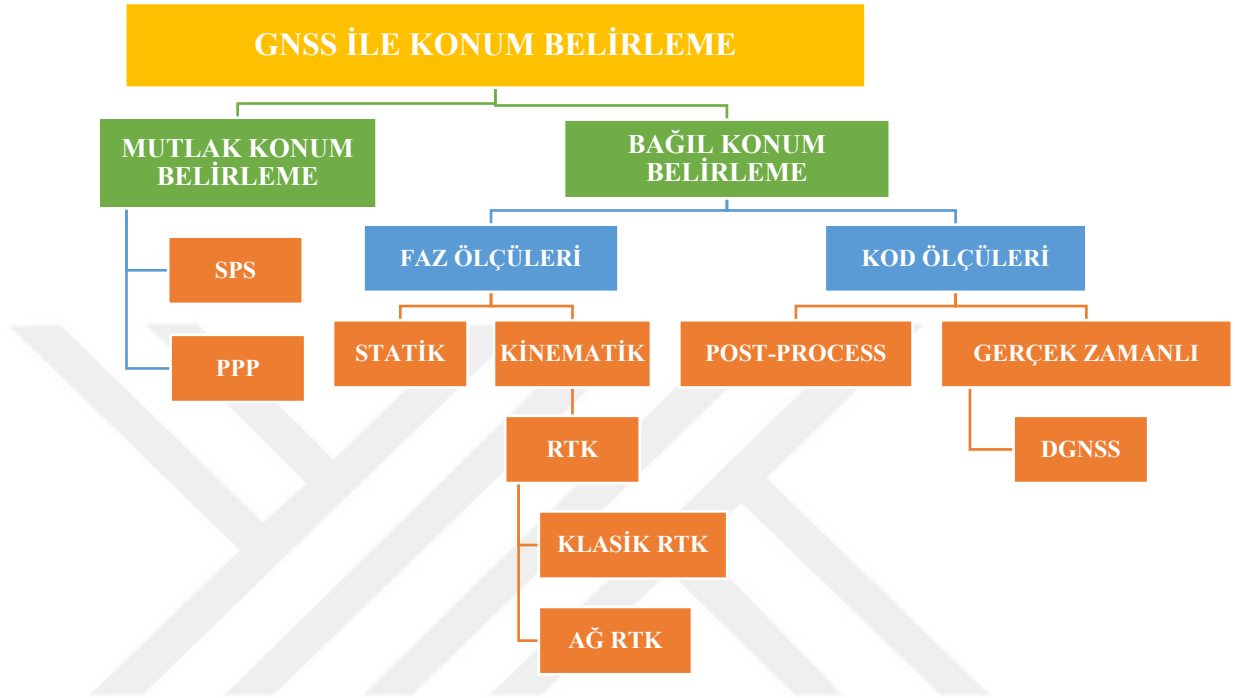
BeiDou kullanıcı bölümü, BeiDou navigasyon sinyallerini alan, koordinatları bulmak amacıyla navigasyon denklemlerini çözen, BeiDou sistemi ile uyumlu alıcılar ve cihazlardan oluşur.

GNSS uygulamaları, uygulama tarafından kullanılacak konum, hız ve zaman bilgilerini toplamak için GNSS sinyallerini kullanır. Bir BeiDou uydusu ile kullanıcı bölümü tarafından sağlanan konum ve hız ile aşağıdaki gibi farklı uygulamalar yapılabilmektedir (CSNO,2018);

- Tarım ve Balıkçılık
- Afet önleme ve azaltma
- Zamanlama
- Ulaşım
- Meteoroloji
- Orman yangını önleme
- Toprak ve kömür madeni güvenliği izlemesi
- Kamu Güvenliği
- Konumlama
- Yer tabanlı destek sistemleri (GBAS)

4. GNSS İLE KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ

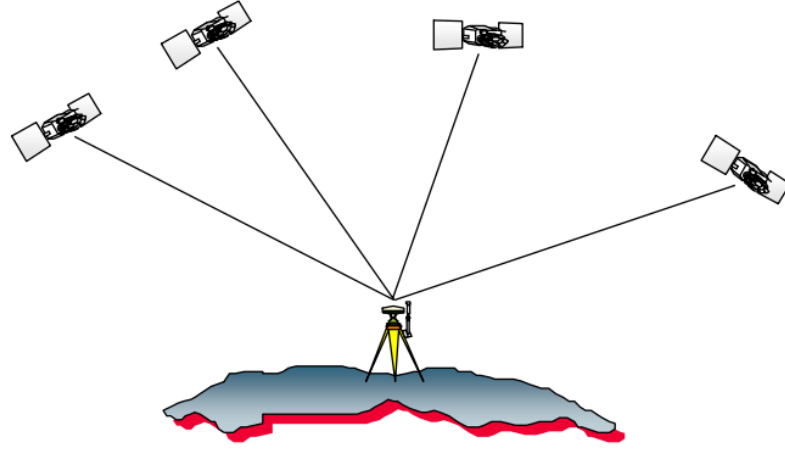
GNSS ile konum belirleme yöntemleri temelde mutlak ve bağıl olmak üzere iki türdür. GNSS ile konum belirleme yöntemleri Şekil 4.1' de gösterilmektedir.



Şekil 4.17 GNSS ile konum belirleme yöntemleri

4.1. Mutlak Konum Belirleme

Mutlak konum belirleme, tek bir alıcı ile dört veya daha çok uydudan kod ve/veya faz gözlemleri yapılarak alıcı kurulu olan noktanın koordinatlarının belirlenmesidir. Uydu-alıcı uzaklıkları ve uyduların bilinen koordinatları ile uzay geriden kestirme ile noktaların koordinatları belirlenmektedir (Şekil 4.2) (Kahveci ve Yıldız, 2019).



Şekil 4.18 Mutlak Konum Belirleme (Ayers, 2011)

Mutlak konum belirleme yöntemi SPP ve PPP olarak ikiye ayrılmaktadır.

4.1.1. Tek nokta konum belirleme (SPP)

GPS uyduları yörüngeye yerleştirilip kullanılmaya başlandığında SPP yöntemi kullanılmaktaydı. Başlarda genel olarak navigasyon amacı ile kullanılmaktaydı. Yöntemin dezavantajı yalnız kod ölçülerini kullanıyor olmasıdır. SPP yönteminde atmosferik hatalar, uydu saat hataları, uydu efemeris hataları, alıcı sinyal hatası ve multipath gibi hatalar elemine edilememektedir. Hassas yörünge yerine yayın (broadcast) efemerisi kullanılmaktadır. Konum doğruluğu metreler mertebesini bulmaktadır ve günümüzde akıllı telefon ve tabletlerde hala kullanılmaktadır (Gürtürk, 2016).

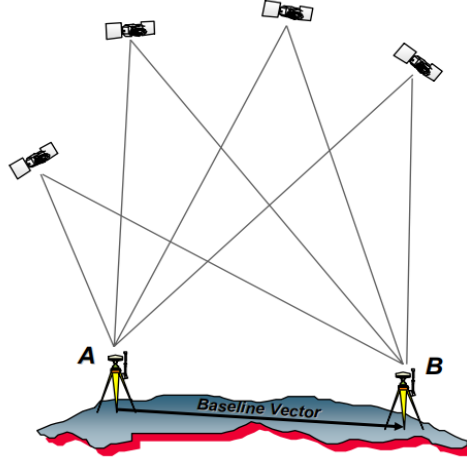
4.1.2. Hassas nokta konum belirleme (PPP)

PPP yöntemi, konum belirleme için öncelikle uydu yörünge ve uydu saat düzeltmeleri bilgilerini ve diğer düzeltme modelleriyle birlikte tek GNSS alıcısı ile mutlak konum belirleme esaslarına dayalı olarak geliştirilen, teknoloji ile güncel olarak kullanılan bir yöntemdir (Turgut, 2019).

PPP yönteminde SPP yönteminden farklı olarak hem faz hem de kod ölçüleri, hassas saat ve yörünge ürünleri kullanılmaktadır. Bu farkların doğrultusunda SPP yöntemindeki m mertebesindeki doğruluk PPP yönteminde cm seviyesine ulaşmaktadır. PPP yönteminin diğer bağıl yöntemlerine göre farkı ise, bağıl yöntemlerdeki ikili fark gözlemlerinin aksine sıfır fark gözlemlerini kullanması ve bağıl konumlama yönteminin başarısı büyük ölçüde alıcılar arasındaki mesafeye bağlıken PPP yönteminde böyle bir durumun söz konusu olmamasıdır (Gürtürk, 2016).

4.2. Bağıl Konum Belirleme

Bağıl konum belirleme yöntemi koordinatları bilinen bir noktaya göre diğer nokta veya noktaların koordinatların elde edilmesidir (Şekil 4.3). Yani, iki nokta arasındaki baz vektörünün belirlenmesidir. Bağıl konum belirleme için iki ayrı noktaya kurulmuş iki alıcı ile aynı uydulara eş zamanlı olarak kod veya faz gözlemleri yapılmaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2019).



Şekil 4.19 Bağıl Konum Belirleme (Ayers, 2011)

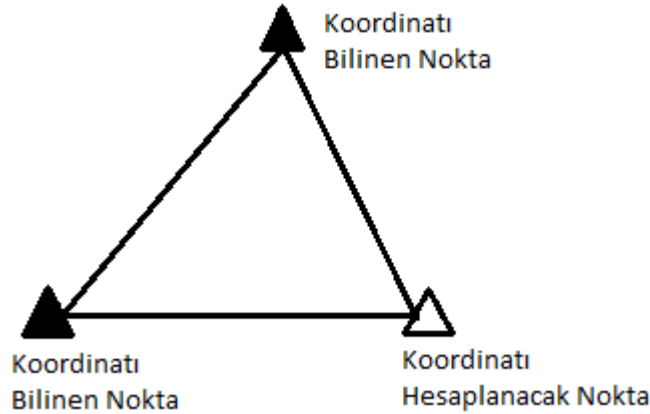
Bağıl konum belirleme ile elde edilen doğruluk mutlak konum belirlemeye göre çok daha iyidir ancak alıcı tipi (P kodlu, P kodsuz), ölçü süresi, gözlenen uydu geometrisi, uydu sayısı ve kullanılan efemeris bilgisine (yayın ya da duyarlı) bağlı olarak elde edilen doğruluk 0.001 ile 100 ppm arasında değişmektedir. Kod gözlemleri ile anında konum belirlemek için yeterli doğruluk pratik olarak sağlanmaktadır ancak mühendislik ölçmeleri, jeodezik amaçlı ölçmeler için daha duyarlı konum doğruluklarına ihtiyaç vardır. Bu nedenle faz gözlemleri kullanılmaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2019).

GNSS ile konum belirlemede kullanılan ölçü yöntemleri statik ve kinematik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Seçilen yöntem, ölçüm yapılacak olan noktanın hareketli ya da sabit olmasına, ölçüm süresine, elde edilecek duyarlılığa ve kullanılan alıcılara bağlı olarak değişmektedir.

4.2.1. Statik yöntem

Statik ölçü yöntemi klasik bir ölçü yöntemi olup çok yüksek doğruluk istendiğinde, uzun bazlarda, mevcut uydu geometrisi diğer yöntemlere olanak vermediğinde, sistematik etkilerin dikkate alınması durumunda en iyi yöntemdir (Şekil

4.4). Bu yöntemde, iki veya daha fazla alıcı ile gözlem yapılmaktadır. Ölçü süresi mesafeye bağlı olarak değişmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2019).



Şekil 4.20 Statik Ölçü Yöntemi

4.2.2. Kinematik yöntem

4.2.2.1. Klasik RTK

Gerçek zamanlı kinematik (RTK) yöntem ile konum belirleme, gezen alıcıların uydulardan kaydettiği faz gözlemlerine ve aynı zamanda referans istasyonundan gezen alıcıya gönderilen ham ölçü veya düzeltme bilgilerine (pseudorange, atmosfer vb.) göre yapılmaktadır. Bu yöntemde hesaplar gezen alıcıda yapılır. Klasik RTK yönteminde elde edilecek doğruluk sistematik hatalar nedeniyle (atmosferik hatalar, yörünge hatası vb.) referans istasyon ile gezen alıcı arasındaki mesafeye bağlıdır. Referans istasyonu gezen alıcılara düzeltme bilgilerini radyo bağlantısı, internet, uydu haberleşmesi gibi herhangi bir iletişim aracılığıyla gönderir. Düzeltme bilgisi radyo bağlantısı aracılığıyla alındığında baz mesafesi yaklaşık 10 km ile sınırlıdır. İnternet aracılığı ile sağlandığında ise daha uzak mesafelerde de klasik RTK yöntemi kullanılabilir (Alçay ve Atiz,2021).

4.2.2.2. Ağ RTK

Ağ-RTK yöntemi ile tek referans istasyonuna bağlılık ortadan kalkmış, referans istasyonları ile atmosferik modelleme yapılması olanağı sağlanmıştır. Ağ-RTK, klasik RTK yöntemine göre daha uzun bazlarda faz gözlemlerine bağlı olarak gerçek zamanlı konum belirleme tekniğidir. Sistemdeki gezici alıcı sunucuya radyo modem veya internet ile bağlanır. Gezici alıcı, gerçek zamanlı kinematik veriyi alıp uygun bir algoritmaya göre bulunduğu konumu hesaplamaktadır.

Ağ-RTK tekniğinin günümüzde en çok kullanılan şekli sabit GNSS ağlarıdır. Ülkemizde bu amaçla TUSAGA-AKTİF sistemi ile ülkemiz ve KKTC de yeterli GNSS uydusunun görülebildiği yerlerde, yer kontrol noktalarına ihtiyaç olmadan, birkaç saniye içinde konum bilgisi elde edebildiğimiz, 146 noktadan oluşan CORS-TR ağı kurulmuştur (URL-5).

CORS-TR sisteminde gerçek zamanlı anlık konum belirleme için üç teknik kullanılmaktadır. Bunlar; FKP, VRS, MAC tekniğidir.

VRS tekniği ticari olarak ortaya çıkan ilk ağ bazlı RTK tekniğidir. Bu yöntemde gerçek bir fiziksel referans istasyonu yerine sanal bir referans istasyon kullanılmaktadır. Düzeltmeler bu sanal referans istasyon üzerinden yayınlanmaktadır. VRS tekniğinin uygulanması için CORS ağındaki kontrol merkezi ile gezici alıcı arasındaki iki yönlü iletişim gereklidir (Öğütçü ve Kalaycı, 2018).

FKP olarak bilinen alan düzeltme yaklaşımında tüm CORS ağı kullanılarak her sabit istasyonda atmosferik düzeltmeler ve taşıyıcı faz düzeltmeleri hesaplanmaktadır. Böylece düzeltmeler gezici tarafından kullanılmaktadır. Bu teknik için çift ya da tek yönlü iletişim yeterli olmaktadır. Kullanıcı sayısında bir sınırlandırma söz konusu olmamaktadır. Gezici, ağ düzeltmesini sabit istasyonların birinden alır ve çift yönlü haberleşmede bu istasyonu merkez olarak belirler (Öğütçü ve Kalaycı, 2018).

MAC tekniği, bir adet ana istasyon ve birden çok yardımcı istasyondan oluşan ağ içerisinde gezici alıcının konumunun belirlenmesine dayanır. MAC tekniğinde ana istasyonun gezen alıcılara en yakın istasyon olması zorunlu değildir. Mac tekniğinde önemli olan aynı uydulara gözlem yapılmış olmasıdır. Bunun nedeni, ana istasyonun düzeltmelerin hesaplanmasından ziyade düzeltmelerin yayınlanmasında rolü olmasıdır. Ayrıca bu yöntemde herhangi bir nedenle ana istasyondan veri alınmaması durumunda yardımcı referans istasyonlarında birisi ana referans istasyonu görevini üstlenmektedir (İnal ve ark,2014).

4.2.3. Gerçek Zamanlı Kod Ölçüleri – DGNSS

Diferansiyel GNSS (DGNSS/DGPS) tekniğinde koordinatları bilinen bir referans istasyonuna bağlı olarak gezen bir alıcının koordinatları kod (pseudorange) gözlemleri kullanılarak metre mertebesindeki doğruluklarla belirlenmektedir. Bu sistemde konumu belirli referans noktası üzerinde ölçme yapılmakta ve temel olarak ölçülerin olması gereken değerleri ölçülerle karşılaştırılmaktadır ve aradaki fark konumu belirlenecek noktalara düzeltme olarak getirilmektedir (Kahveci, 2017).

5. VERİ İLETİM MEKANİZMALARI

Günümüzde gerçek zamanlı konum belirleme konusunda DGNS ve RTK teknikleri kullanıcılara yüksek doğruluk sağlamaktadır. Bu yöntemlerde bir veya daha fazla referans istasyonundan yayınlanan düzeltme verilerinin alıcıya iletilmesi diferansiyel konumlanmanın temel anahtarıdır. Bu kapsamda birçok GNSS alıcısı üreticisi kendi veri formatlarını geliştirmiştir (Çizelge 5.1) (Kahveci, 2017). Bu veri formatları genellikle alıcı markasına bağımlı ‘binary’ veya ‘ASCII’ formatta geliştirilmektedir.

Çizelge 5.11 Üretici Firma Veri Aktarma Protokolleri

Üretici Firma	Veri Aktarma Protokolü
TOPCON	TPS
JAVAD	JVS
LEICA	LB2
TRIMBLE	RT17, TSIP, CMR/CMR+, CMRx
JPL	SOC
ASTECH	MBEN/PBEN, DBEN

DGNS, RTK, CORS ağları söz konusu olduğunda farklı tür ve markalardaki GNSS alıcılarını birlikte çalışabilirlik açısından yönetmek zordur. Bu karışıklığı giderebilmek amacıyla GNSS konseptinin her zaman, her yerde doğru ve güvenilir olarak kullanımını sağlamak amacıyla uluslararası standartlar oluşturulmuştur. Bunlar RINEX, RTCM, NMEA, CMR/CMR+, RTCA, SP3 ve BINEX formatlarıdır. Bunların haricinde üretici firma tarafından geliştirilen birçok veri formatı vardır (Öcalan ve Soycan,2011).

GNSS bilgilerinin gerçek zamanlı iletimi için veri iletim protokolü (transmission protocol), veri formatı (data format) ve veri iletişim linki (data communications link) olmak üzere üç temel bileşen bulunmaktadır.

5.1 Veri İletim Protokolü

Veri iletim protokolü, güvenilir akış kontrol mekanizmaları sağlayarak bir ağ üzerinden veri dağıtımını yönetir. GNSS verilerini internet üzerinden iletimini sağlamak için iki standart protokol vardır. Bunlar ‘Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP)’ ve ‘Real-Time IGS (RTIGS)’dir (Heo ve ark. ,2009). NTRIP, Almanya Federal Kartografya ve Jeodezi Dairesi (BKG) tarafından geliştirilmiş HTTP tabanlı bir uygulama protokolüdür. 2004 yılında RTCM SC-104 Komitesi tarafından bir

RTCM standardı olarak kabul edilmiştir. NTRIP yalnızca GNSS veri iletim protokolü olmayıp verilerin nasıl yayınlanacağını da tanımlayan bir protokoldür. Bu protokol, DPGS, RTK gibi diferansiyel düzeltme verilerini ve diğer GNSS verilerininin sabit ya da mobil kullanıcılara yaymak için tasarlanmıştır. NTRIP aynı zamanda GSM, EDGE, GPRS ve UMTS gibi kablosuz ağlar üzerinden internet erişimini desteklemektedir (Kahveci,2017; Weber ve ark, 2005; Lenz,2004).

5.2 Veri İletişim Linkleri

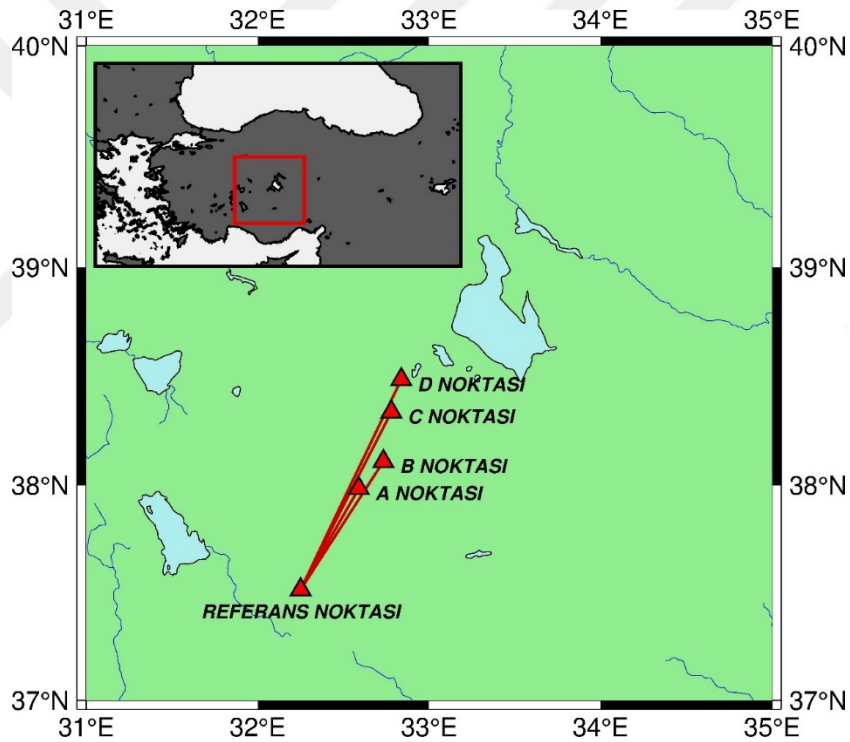
DGNSS ve RTK uygulamalarında, referans ve gezen alıcı arasındaki ham veriler ile faz ve kod ölçü düzeltmelerinin alışverişi oldukça önemlidir. Dolayısıyla veri iletişim linkleri gerçek zamanlı diferansiyel konumlama için oldukça gereklidir. DGNSS ve RTK düzeltme verileri uzun süre ultra yüksek frekans (UHF) ve çok yüksek frekans (VHF) radyo sinyalleri aracılığıyla radyo modemler kullanılarak iletilmiştir. Bu düzeltme verilerinde iletişimin sağlanması için hem gezen alıcılarda hem de referans alıcıda radyo modemin bulunması şarttır. Teknolojideki gelişmeler doğrultusunda kablosuz iletişiminin kullanılması GNSS düzeltmelerinde internet protokolü (IP) ağlarının tercih edilmesini sağlamıştır. Günümüzde bilgisayar ve internetin etkin kullanımı ile GNSS alıcıları, iki yönlü kablosuz iletişim için GSM, EDGE, GPRS ve UMTS gibi farklı kablosuz linkleri veri iletişimi için kullanmaktadır (Heo ve ark.,2009). GSM üzerinden yapılan bağlantılar bağlantı süresine göre ücretlendirilirken, GPRS’de indirilen verinin miktarına göre ücretlendirme yapılmaktadır (Öcalan ve Soycan, 2011).

5.3 Veri Formatları

NMEA 0183, denizcilikte kullanılan elektronik cihazlar arasındaki veri hızları ve mesaj formatı gibi uyumsuzlukları önlemek için U.S National Marine Electronics Association tarafından geliştirilmiş bir standarttır. Bu nedenle NMEA, bir GNSS alıcısı ile diğer cihazlar arasında veri iletişimi için kullanılır (Heo ve ark, 2009). İletişim tek taraflıdır, gezen alıcılarda karşılıklı iletişim ya da bağlantı söz konusu değildir. NMEA basit ASCII formatı kullanmaktadır ve veriler kolayca okunmaktadır. NMEA mesajında genel navigasyon bilgileri bulunmaktadır (Park ve ark.,2013).

6. MATERYAL VE YÖNTEM

RTK yönteminde farklı uydu sistemlerinin birlikte kullanılmasının, referans-alıcı arasındaki baz mesafesinin ve farklı uydu yükseklik açısı seçimlerinin konumlama üzerindeki etkisini test etmek amacıyla 3-6 Temmuz 2020 tarihlerinde Konya’da arazi çalışması yapılmıştır. Farklı baz mesafelerinin RTK yönteminin sağladığı konum doğruluğu üzerindeki etkilerini araştırabilmek için 4 farklı baz mesafesinde ölçüm noktaları seçilmiştir. Bu noktalar Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi çatısında bulunan referans istasyonundan yaklaşık 20, 40, 60 ve 80 km uzaklıkta olup ölçüm yapılan noktaların konumları Şekil 6.1’de ve baz mesafelerine ait detaylar Çizelge 6.1’de gösterilmektedir.



Şekil 6.1 Ölçüm yapılan noktaların konumları

Çizelge 6.1 Ölçüm yapılan noktalara ve baz mesafelerine ait detaylar

İsim	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	Mesafe
Referans İstasyonu	37.8662	32.4192	1210.72	-
A	37.9845	32.5902	1041.85	20.0 km
B	38.1093	32.7336	1058.94	38.6 km
C	38.3373	32.7796	1002.50	61.1 km
D	38.4861	32.8378	982.16	78.0 km

Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde bulunan N72 sabit GNSS istasyonu referans olarak kullanılmıştır. Bu referans alıcı 624 kanallı GNSS teknolojisine sahip olup, tüm GPS (L1 / L2 / L5), GLONASS (L1 / L2), BeiDou (B1 / B2) ve Galileo (E1, E5A, E5B) sinyallerini izleyebilir özelliktedir. N72 sabiti GNSS istasyonu TNC tipi bir konnektör ile Mühendislik Fakültesi çatı katında bulunan CHC C220GR GNSS Choke Ring antenine bağlıdır (Şekil 6.2). Ayrıca referans alıcı, gerçek zamanlı veri akışını sağlayabilmek için bir modeme bağlıdır (Şekil 6.3).



Şekil 6.2 N72 GNSS referans alıcısı ve CHC C220GR GNSS Choke Ring Anteni



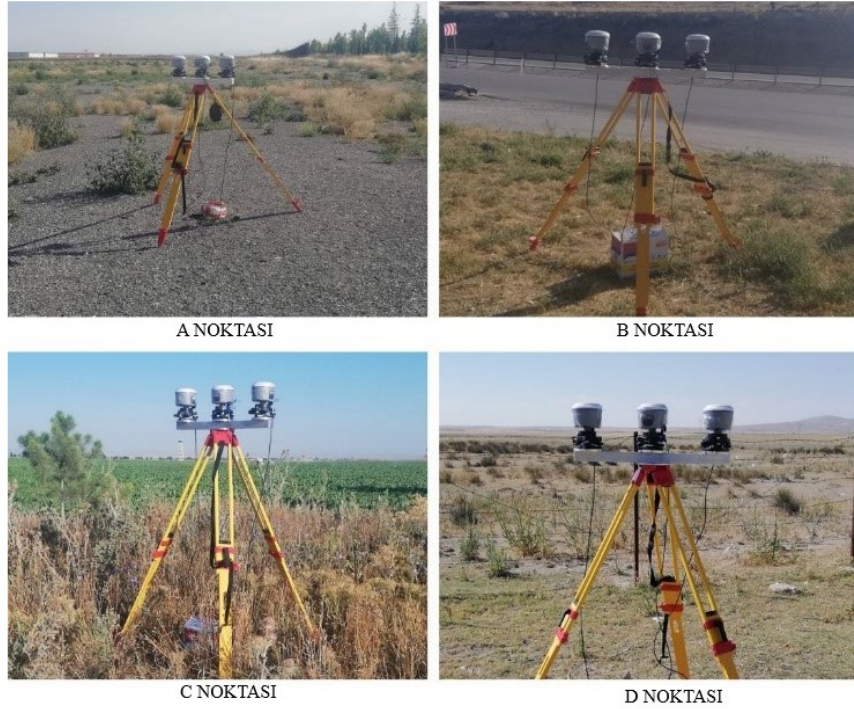
Şekil 6.3 N72 GNSS referans alıcısı ve modem

Gezici alıcı olarak 3 adet CHC i50 jeodezik GNSS alıcısı kullanılmıştır. Bu üç alıcı GPS, GLONASS, GALILEO ve BEIDOU uydularını izleyebilir özellikte olup, geziciler arasındaki sistematik hatalardan kaçınmak için aynı ürün yazılımına sahiptir. Bu 3 alıcıdan biri yalnız GPS (G), diğeri GPS+GLONASS (GR) ve son alıcı da GPS+GLONASS+BEIDOU+GALILEO (GREC) uydularını izleyecek şekilde ayarlanmıştır. Alıcıların eşit koşullara sahip olmaları için Şekil 6.4'deki apart ile 3 alıcı aynı sehpa üzerine yerleştirilerek ölçüm yapılmıştır.



Şekil 6.4 Alıcıların sehpa üzerine yerleştirilmesini sağlayan aparat

Alet sehpası üzerine yerleştirilen aparat sayesinde geziciler her uygulama alanı için aynı multipath etkisine ve atmosferik koşullara sahiptir. Ayrıca her gezici alıcı, alttaki kutuda yer alan bir güç kaynağına bağlıdır ve böylece ölçümler esnasında batarya kesintisi yaşanmamıştır. Şekil 6.5’de ölçüm yapılan noktalar ve gezici alıcılar gösterilmektedir.



Şekil 6.5 Ölçümler esnasında gezici alıcılar

RTK koordinatları G, GR ve GREC uydu konfigürasyonları ile her uygulama noktasında yaklaşık 9 saat ölçüm yapılarak elde edilmiştir. Her noktada üç oturum ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bu üç oturum uydu konfigürasyonları için seçilen 10° , 20° ve 30° yükseklik açılarındaki ölçümlerden oluşmaktadır. İlk oturumda yükseklik açısı her alıcı için 10° olarak ayarlanmıştır. Büroda sonradan değerlendirme ile baz çözümü yapmak için ilk oturum, statik veri kaydı da dahil olmak üzere yaklaşık 5 saat sürmüştür. Epok aralığı statik veri kaydı için 30 saniye, RTK için ise 1 saniye seçilmiştir. İkinci oturumda, birinci oturumdaki uydu konfigürasyonu değiştirilmeden yükseklik açısı 20°

ayarlanarak, 1 saniye epok aralığı seçilerek 2 saatlik RTK ölçümü yapılmıştır. Üçüncü oturumda ise diğer oturumlarda olduğu gibi 3 alıcı için uydu konfigürasyonu G, GR, GREC seçilip, 30° yükseklik açısı ile 2 saatlik RTK ölçümü yapılmıştır. Ancak 4 Temmuz'da yapılan, 10° uydu yükseklik açısı seçilerek yapılan ölçüm GSM operatöründeki arıza nedeniyle 3 saat sürmüştür.

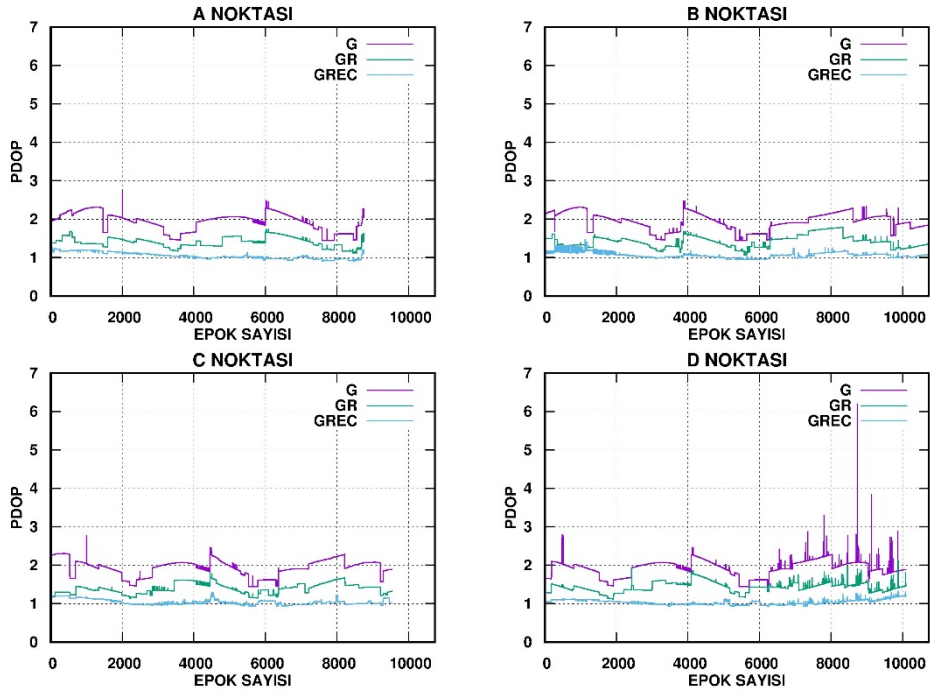
Bir ön değerlendirme olarak görünür uydular ve dağılımları incelenmiştir. Her oturum ve uydu konfigürasyonu için, görünür uyduların ortalaması Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2 Ortalama görülebilir uydu sayısı

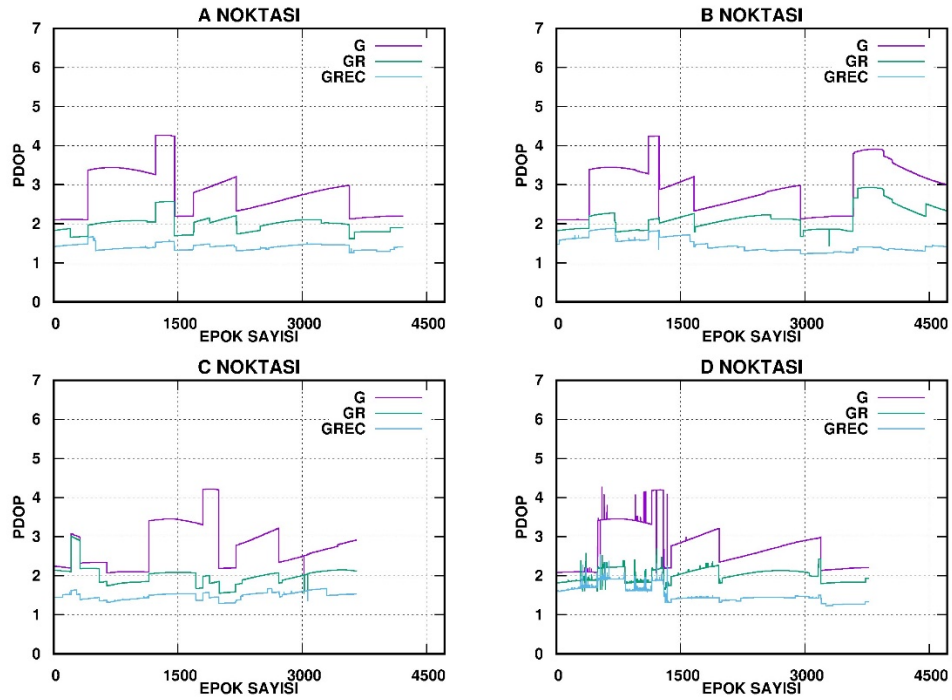
Nokta No	Yükseklik Açısı	G	GR	GREC
A	10°	9	15	34
	20°	7	13	28
	30°	6	10	22
B	10°	8	15	40
	20°	7	13	29
	30°	7	10	24
C	10°	8	15	34
	20°	7	13	26
	30°	6	10	18
D	10°	8	15	35
	20°	7	13	28
	30°	6	9	21

Sırasıyla G, GR ve GREC konfigürasyonlarında en az 6, 9 ve 18 uydu görülmüştür. Ölçümlerin ardışık günlerde ve benzer zamanlarda yapılması nedeniyle, ortalama görülebilir uydu sayıları farklı ölçüm noktalarında birbirine yakındır.

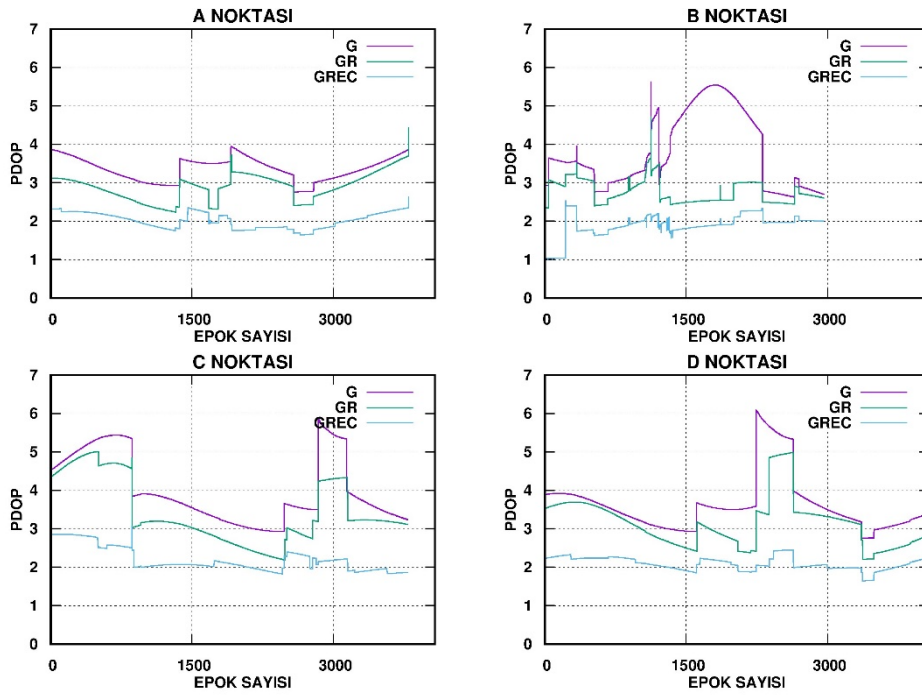
Farklı uydu kombinasyonları kullanıldığında PDOP (Position Dilution of Precision) faktörü yaygın olarak kullanılan ölçütlerden biridir. PDOP değeri uydu geometrisinin durumunu ve uydu geometrisinin hesaplanan yatay ve düşey koordinatlara etkisini göstermektedir. PDOP değerini incelemek için, her oturum için her bir yükseklik açısına göre PDOP değerleri Şekil 6.6, Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de verilmiştir.



Şekil 6.6 10° yükseklik açısına ait PDOP değerleri



Şekil 6.7 20° yükseklik açısına ait PDOP değerleri



Şekil 6.8 30° yükseklik açısına ait PDOP değerleri

Tüm oturumlarda beklenildiği gibi GREC konfigürasyonu en iyi PDOP değerine sahipken, G en kötü PDOP değerine sahiptir. Uydu yükseklik açlarına göre incelendiğinde ise en ideal PDOP değeri 10° yükseklik açısında elde edilmiştir. Ancak D noktasında yapılan ölçümlerin son kısmında bir bozulma meydana gelmiştir. 20° yükseklik açılarında GR ve GREC için PDOP değeri sırasıyla 2.0 ve 1.5 iken, G daha yüksek bir PDOP değerine sahip olsa da iyi bir seviyede olduğu söylenebilir. 30° yükseklik açılarında ise PDOP değeri bütün uydu konfigürasyonları için çok daha büyük olsa da yine de kabul edilebilir bir seviyede olduğu görülmektedir.

7. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ölçüm noktalarında doğruluk analizi yapabilmek için her gezicinin referans koordinatları statik oturum ile bulunmuştur. Veriler büroda sonradan değerlendirme yöntemi ile elde edilmiştir. Bu amaçla, her oturumun statik verileri GAMIT/GLOBK akademik yazılımı kullanılarak işlenmiştir. Değerlendirme parametreleri Çizelge 7.1 'de verilmektedir.

Çizelge 7.3 GAMIT/GLOBK değerlendirme parametreleri

GNSS Sistemi	GPS
Dengeleme Modeli	Stokastik Kalman Filtreleme
Ağırlıklandırma Stratejisi	Faz ölçüsü : 1.0 cm Kod ölçüsü : 1.0 m Uydu yükseklik açısına göre veri ağırlıklandırma
Epok Aralığı	30 saniye
Uydu Yükseklik Açısı	10 derece
Yörünge Bilgileri	IGS final ürünleri
Faz Kesikliği	Düzeltildi
Alıcı saat sıçraması	Düzeltildi
İyonosfer	İyonosferden bağımsız kombinasyon ve IGS IONEX ürünü kullanıldı.
Troposfer	GPT2 modeli Rastgele yürüyüş stokastik model (5×10^{-8} m ² /s)
Faz Belirsizlik Çözümü	Geniş aralık ve dar aralık kombinasyonları
Anten Faz Merkezi Kayıklıkları	IGS14.atx dosyası kullanıldı.
Kod ölçümlerinin görelî hataları	CODE DCB (Differential Code Bias) ürünü kullanıldı.

Büroda sonradan değerlendirme ile GAMIT/GLOBK yazılımından elde edilen koordinatların güvenilirliğini incelemek için geniş (WL) ve dar (NL) aralıklı faz başlangıç belirsizliği yüzdeleri kontrol edilmiştir. Her üç gezici için WL ve NL faz belirsizlik yüzdeleri aynı test alanlarında genel olarak benzer sonucu vermiştir. Basitlik olması adına her test alanındaki üç geziciye ait ortalama belirsizlik çözümü yüzdeleri Çizelge 7.2'de verilmektedir.

Çizelge 7.4 WL ve NL faz başlangıç belirsizlik yüzdeleri

Nokta No	Geniş Aralık (WL)	Dar Aralık (NL)
A	100.00%	100.00%
B	100.00%	72.70%
C	100.00%	73.30%
D	100.00%	100.00%

GAMIT/GLOBK yazılımı ile yapılan dengeleme sonucu elde edilen koordinatlar yer merkezli yer sabit koordinatlardır. Daha tutarlı bir analiz yapabilmek için her uygulama noktasındaki toplanan RTK verileri, ortak zamana göre eşitlenmiştir. GAMIT/GLOBK ile elde edilen koordinatlar doğru kabul edilerek, yer merkezli yer sabit (ECEF) RTK koordinatları, toposentrik (Kuzey(N), Doğu(E), Yukarı(U)) koordinatlara dönüştürülmüştür. Tamsayı belirsizlik çözümü RTK tekniği için önemli olduğundan her oturumun tamsayı belirsizlik çözüm oranı incelenmiştir (Çizelge 7.3).

Çizelge 7.5 Tamsayı belirsizlik çözüm oranı

Nokta No	Yükseklik Açısı	G	GR	GREC
A	10°	99.9	100	93.3
	20°	100	100	100
	30°	87.5	100	100
B	10°	99.9	99.8	94.5
	20°	99.5	99.6	97.1
	30°	88	99.2	95.5
C	10°	100	99.7	98.9
	20°	100	100	96.7
	30°	99.8	100	92.3
D	10°	97.1	100	100
	20°	93.9	100	100
	30°	100	100	98.9

Çizelge 7.3'e göre minimum tamsayı belirsizlik çözüm oranı A noktasında G-30° oturumunda olup %87,5 olarak elde edilmiştir. Ayrıca kuzey, doğu ve yukarı bileşenler için ± 10.00 cm aralık kullanılarak bir aykırılık testi uygulanmıştır. Her bir oturum için tamsayı belirsizliği yüksek oranda çözüldüğünden bundan sonraki analizlerde float çözümler dikkate alınmamıştır. Her uygulama noktasındaki oturum için aykırılık yüzdeleri Çizelge 7.4'de verilmiştir.

Çizelge 7.6 Oturumlara ait aykırılık yüzdeleri

Nokta No	Uydu Yükseklik Açısı	G (%)	GR (%)	GREC (%)
A	10°	0.16	0.05	0.09
	20°	5.95	9.17	4.34
	30°	0.08	0.11	0.03
B	10°	0.07	0.11	0.07
	20°	28.29	29.88	13.87
	30°	5.2	4.73	5.33
C	10°	2.4	0.28	0.23
	20°	7.95	5.3	18.86
	30°	100	8.78	21.38
D	10°	0.06	0.08	1.04
	20°	1.70	0.79	4.34
	30°	0.69	0.78	21.09

Çizelge 7.4’de görüldüğü gibi, aykırı değerlerin yüzdeleri G, GR ve GREC konfigürasyonları için neredeyse benzerdir. C noktasındaki G-30° oturumundaki tüm sonuçlar eşik değerini aşmaktadır. Bunun nedeni RTK ölçümlerinden elde edilen tamsayı belirsizliklerinin yanlış sabitlemesi olabilir. Bu nedenle, bu oturum daha sonraki analizlere dahil edilmemiştir.

GNSS ölçülerinin değerlendirilmesinde doğruluk ve tekrarlılık iki önemli kriterdir. Tekrarlılığı değerlendirmek amacıyla standart sapma değeri incelenmiştir (Çizelge 7.5).

Çizelge 7.7 GPS verileri ile hesaplanan standart sapma değerleri

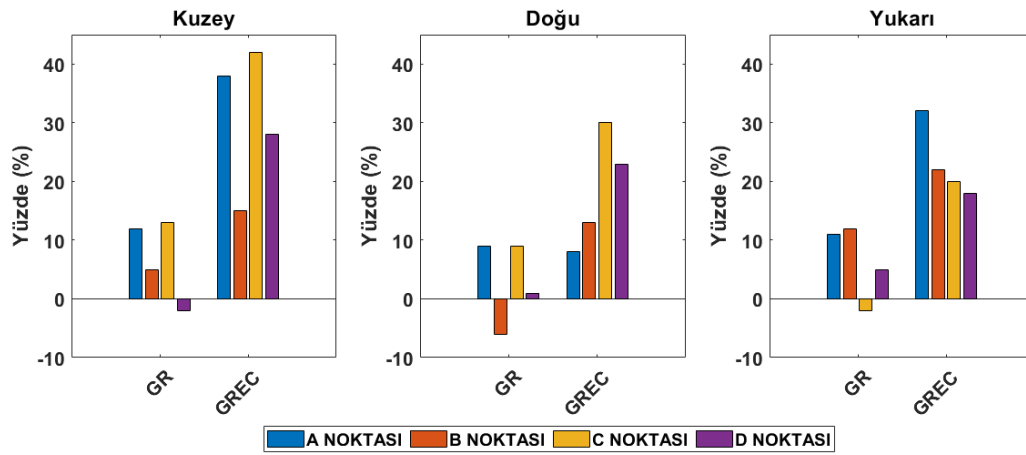
Nokta No	Uydu Yükseklik Açısı	N (cm)	E (cm)	U (cm)
A	10°	0.94	0.60	2.29
	20°	1.34	0.93	4.01
	30°	0.84	0.95	3.31
B	10°	1.01	1.08	2.47
	20°	1.29	1.39	3.24
	30°	1.13	1.10	3.82
C	10°	1.49	0.99	2.46
	20°	1.90	1.06	2.79
	30°	-	-	-
D	10°	1.41	0.94	2.61
	20°	1.24	1.22	3.63
	30°	0.98	0.89	2.66

Standart sapma iyileştirme yüzdesi basitçe aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

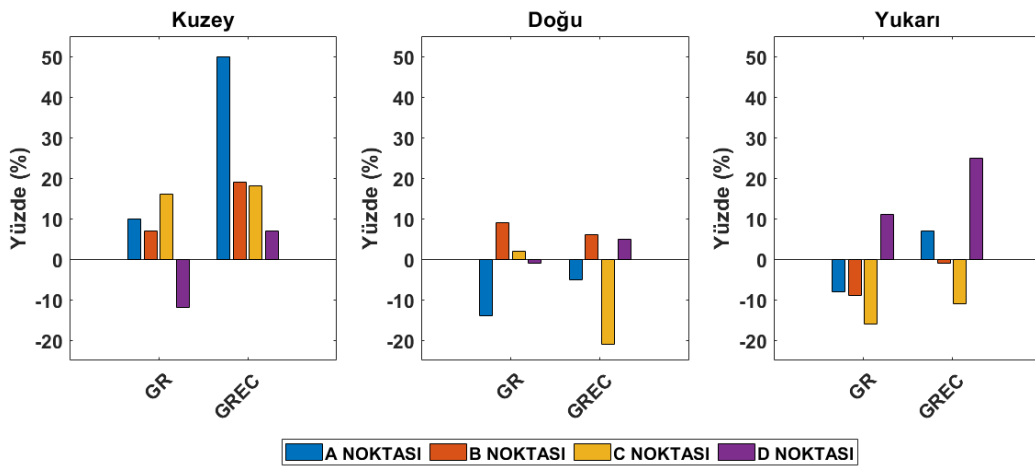
$$std\ iyileşme(\%)_{GR} = 100 * \left(1 - \frac{std_{GR}}{std_G}\right) \quad (7.1)$$

$$std\ iyileşme(\%)_{GREC} = 100 * \left(1 - \frac{std_{GREC}}{std_G}\right) \quad (7.2)$$

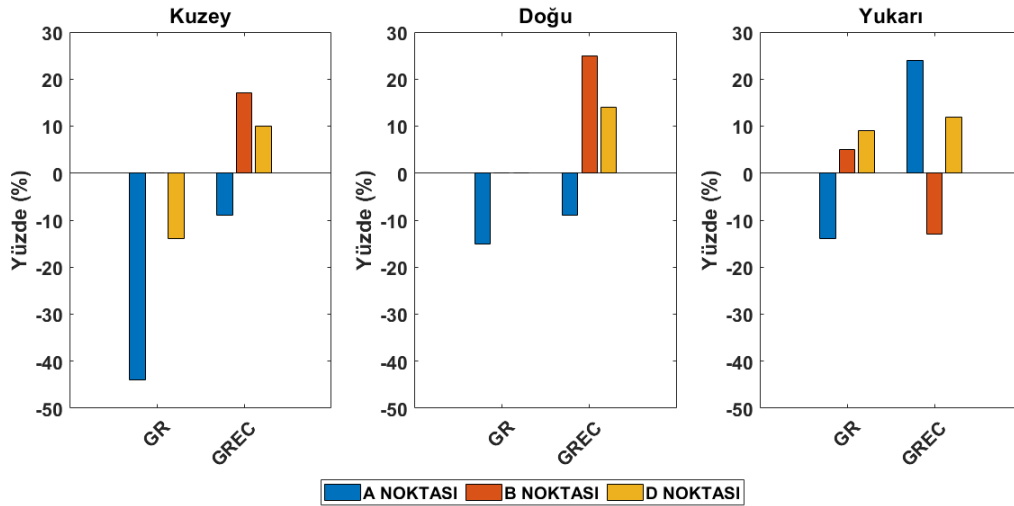
Burada G , GR ve $GREC$ alt simgeleri G , GR ve $GREC$ konfigürasyonlarını göstermektedir. GR ve $GREC$ konfigürasyonlarının 10° , 20° ve 30° uydu yükseklik açılarındaki tekrarlılığa katkısı Şekil 7.1-7.3'de gösterilmiştir.



Şekil 7.9 10° uydu yükseklik açısı için tekrarlılık iyileşmesi



Şekil 7.10 20° uydu yükseklik açısı için tekrarlılık iyileşmesi



Şekil 7.11 30° uydu yükseklik açısı için tekrarlılık iyileşmesi

Şekil 7.1’de görüldüğü gibi 10° uydu yükseklik açısında GR ve GREC konfigürasyonları neredeyse tüm bileşenlerde tekrarlılığı iyileştirmektedir. Ayrıca GREC’in iyileştirme yüzdeleri GR’ye göre daha iyi seviyede olduğu görülmektedir. Şekil 7.2’de 20° uydu yükseklik açısına ait sonuçlar incelendiğinde GR ve GREC konfigürasyonlarının, kuzey bileşeninde tekrarlılığı çoğunlukla iyileştirdiği, ancak doğu ve yukarı bileşenlerde ise bazı noktalarda iyileşmenin gerçekleştiği, bazılarında ise aksi bir durum olduğu görülmüştür. 30° uydu yükseklik açısına ait sonuçlar incelendiğinde (Şekil 7.3), 20°’de elde edilen sonuçlar gibi bazı istasyon ve bileşenlerde iyileşme bazılarında ise kötüleşme olduğu görülmektedir. Bu durum uydu yükseklik açısının artmasının, uydu konfigürasyonlarına ait sonuçlar üzerinde olumsuz bir etkisinin olduğunu göstermektedir.

Ayrıca her oturum için ortalama değerler hesaplanmıştır (Çizelge 7.6). Çizelge 7.6’ya göre, yatay bileşenler G, GR ve GREC konfigürasyonları için sırasıyla -1.71/0.32 cm, 1.20/1.08 cm ve -2.46/1.17 cm arasında değişmektedir. Düşey bileşen için G, GR ve GREC konfigürasyonları için sırasıyla -1.71/4.08 cm, -3.40/2.34 cm ve -2.02/6.00 cm aralığındadır.

Çizelge 7.8 Uygulama noktalarındaki oturumlar için kuzey, güney ve yukarı bileşenlerine ait ortalama değerleri

Nokta No	Uydu Yükseklik Açısı	G			GR			GREC		
		N (cm)	E (cm)	U (cm)	N (cm)	E (cm)	U (cm)	N (cm)	E (cm)	U (cm)
A	10°	-0.62	-0.17	-0.72	-0.49	0.04	-2.13	-0.86	-0.02	-2.02
	20°	-1.71	-0.02	1.61	-0.74	-0.47	-1.38	-0.91	-0.14	-0.69
	30°	-0.47	-0.84	0.59	0.11	-0.99	0.19	-0.63	-0.86	1.33
B	10°	0.15	-0.33	-0.62	-0.31	-0.32	-2.44	-1.21	0.03	-0.01
	20°	0.32	-1.49	-1.71	0.45	-1.19	-3.40	-0.32	-0.90	0.48
	30°	-0.02	-0.02	-0.43	-0.18	0.06	-1.41	-1.05	0.37	-0.36
C	10°	-0.73	-0.45	4.00	-0.72	-0.50	2.25	-1.35	-0.61	3.38
	20°	-1.02	0.29	4.08	-0.77	-0.27	2.34	-1.52	-0.38	2.58
	30°	-	-	-	-1.20	1.08	-1.64	-0.58	0.29	-0.63
D	10°	-0.74	-0.25	-0.84	-0.74	-0.67	-0.18	0.12	-2.00	3.70
	20°	-0.34	0.06	1.43	-0.74	-0.29	1.60	0.49	-2.46	3.76
	30°	-0.51	-0.06	0.61	-0.90	-0.12	1.71	1.17	-2.01	6.00

Konum doğruluğunu değerlendirmek amacıyla toposentrik koordinatlar yardımıyla karesel ortalama hata (RMSe) değerleri (7.3) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$RMSe = \sqrt{\frac{\sum(x)^2}{n}} \quad (7.3)$$

Formüldeki x toposentrik koordinat bileşenini, n ise toplam ölçüm sayısını göstermektedir. Çizelge 7.7’de GPS çözümleri için karesel ortalama hata değerleri verilmiştir. Çizelge 7.7’den görüleceği üzere sırasıyla kuzey bileşen 0.96/2.17 cm, doğu bileşeni 0.63/2.04 cm ve yukarı bileşen için karesel ortalama hata değerleri 2.40/4.94 cm değerleri arasında değişmektedir.

Çizelge 7.9 GPS verileri ile hesaplanan karesel ortalama hata değerleri

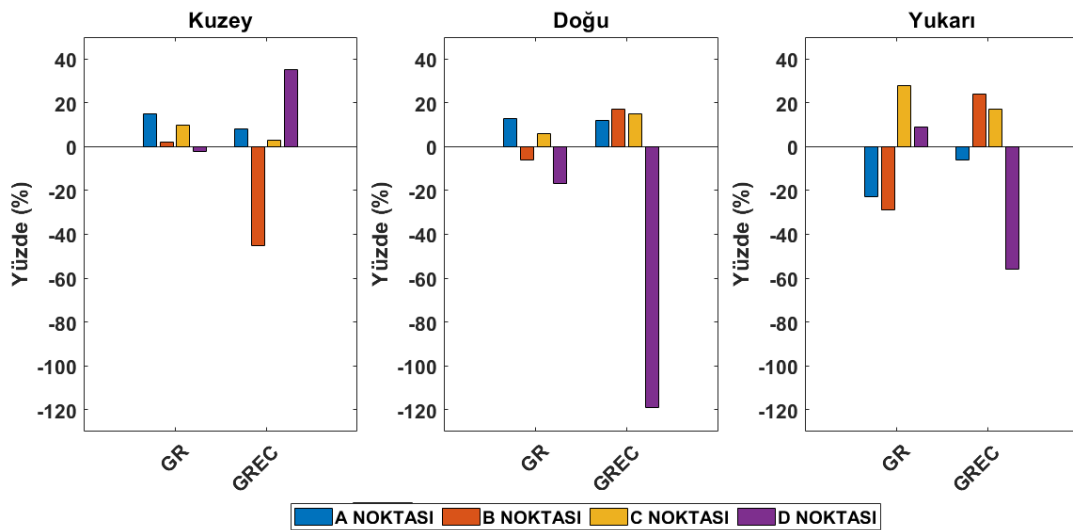
Nokta No	Uydu Yükseklik Açısı	N (cm)	E (cm)	U (cm)
A	10°	1.13	0.63	2.40
	20°	2.17	0.94	4.32
	30°	0.96	1.27	3.36
B	10°	1.02	1.13	2.54
	20°	1.33	2.04	3.66
	30°	1.13	1.10	3.85
C	10°	1.66	1.09	4.69
	20°	2.16	1.10	4.94
	30°	-	-	-
D	10°	1.59	0.97	2.74
	20°	1.29	1.23	3.91
	30°	1.11	0.89	2.73

Karesel ortalama iyileştirme yüzdesi basitçe aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

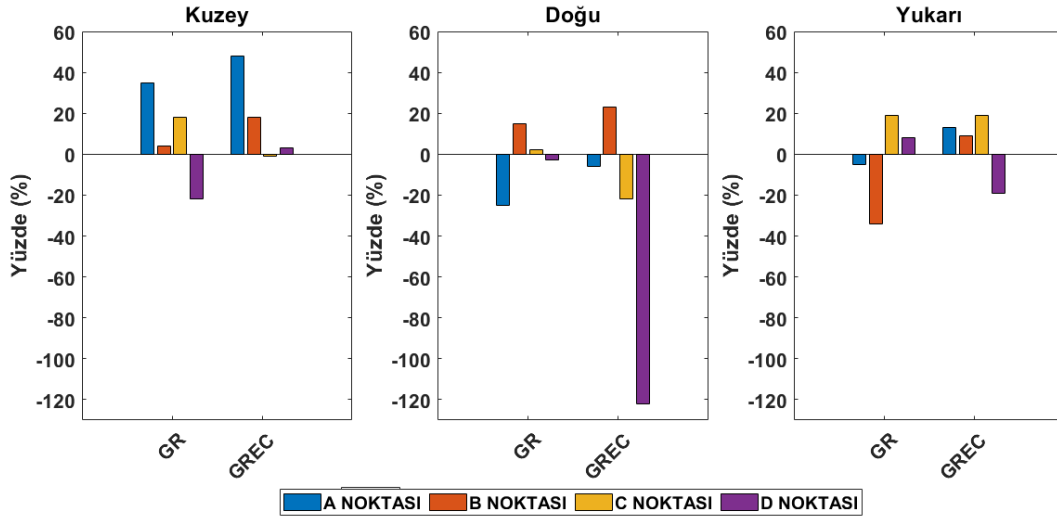
$$RMSe\ iyileşme(\%)_{GR} = 100 * \left(1 - \frac{RMSe_{GR}}{RMSe_G}\right) \quad (7.4)$$

$$RMSe\ iyileşme(\%)_{GREC} = 100 * \left(1 - \frac{RMSe_{GREC}}{RMSe_G}\right) \quad (7.5)$$

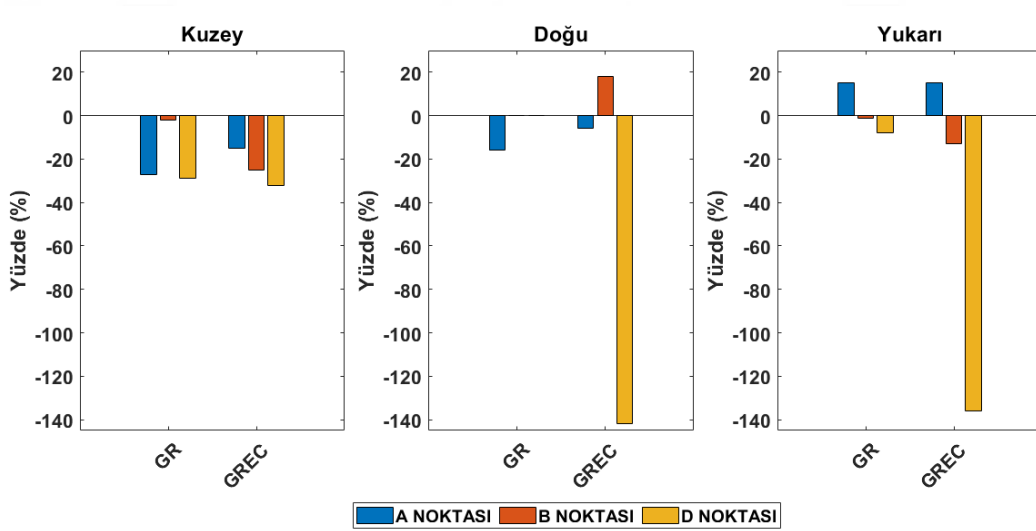
Burada G , GR ve $GREC$ alt simgeleri G , GR ve $GREC$ konfigürasyonlarını göstermektedir. GR ve $GREC$ konfigürasyonlarının Şekil 7.4-7.6'da her uygulama noktasındaki doğruluk iyileşmeleri uydu yükseklik açlarına göre verilmiştir.



Şekil 7.12 10° uydu yükseklik açısı için doğruluk iyileşmeleri



Şekil 7.13 20° uydü yükseklik açısı için doğruluk iyileşmeleri

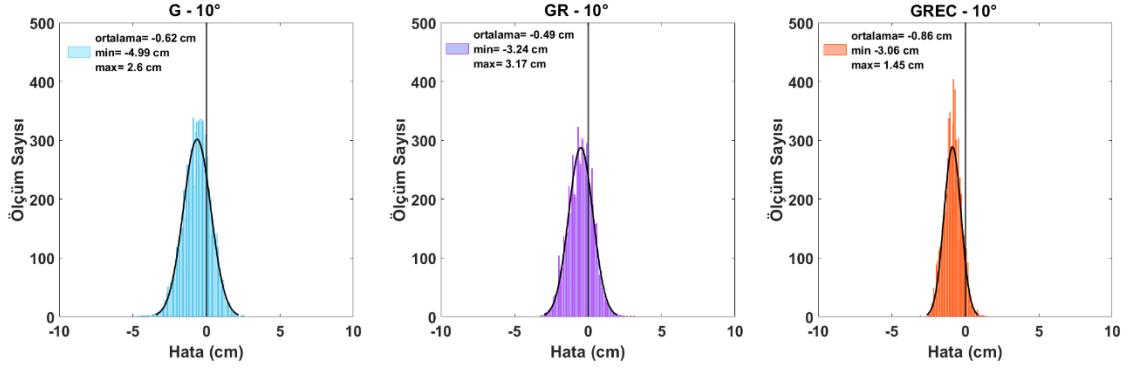


Şekil 7.14 30° uydü yükseklik açısı için doğruluk iyileşmeleri

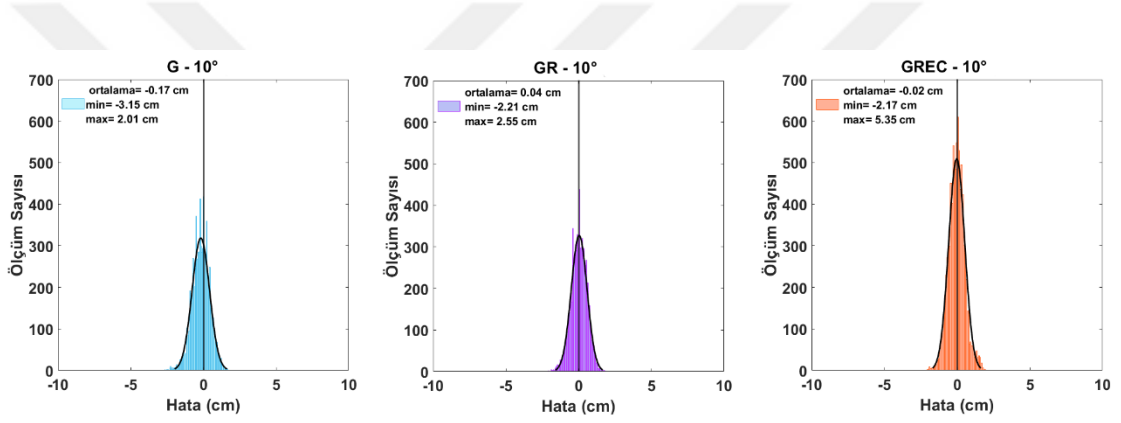
GR ve GREC konfigürasyonları için düşük uydü yükseklik açısında yatay bileşenler için A noktasındaki doğruluğun iyileştiği görülmektedir. 10° uydü yükseklik açısında C noktasında hem yatay hem de düşey bileşenler için doğruluk iyileşmiştir. Uydü yükseklik açılarının tümü incelendiğinde GR ve GREC konfigürasyonları için D noktasında doğruluğun düştüğü görülmüştür. Yatay bileşendeki maksimum iyileşme A noktasında kuzey bileşendedir.

Verilerin daha iyi anlaşılması için her oturma ve koordinat bileşenlerine ait hata dağılımı incelenmiştir. Hata, RTK koordinatları ile GAMIT/GLOBK yazılımı ile yapılan dengeleme sonucu elde edilen kesin koordinatlar arasındaki fark olarak tanımlanabilir. Hata dağılımını temsil etmek için toposentrik koordinatlar (kuzey,doğu,yukarı) kullanılmıştır. Tüm oturumlara ait hata dağılım grafikleri Şekil 7.7-Şekil 7.42'de

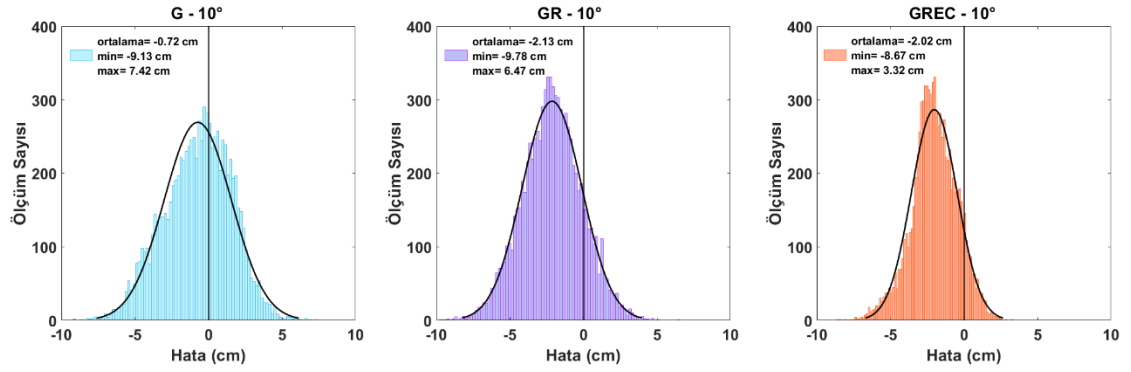
verilmiştir. A noktasına ait hata dağılım grafikleri Şekil 7.7-Şekil 7.15’de gösterilmektedir.



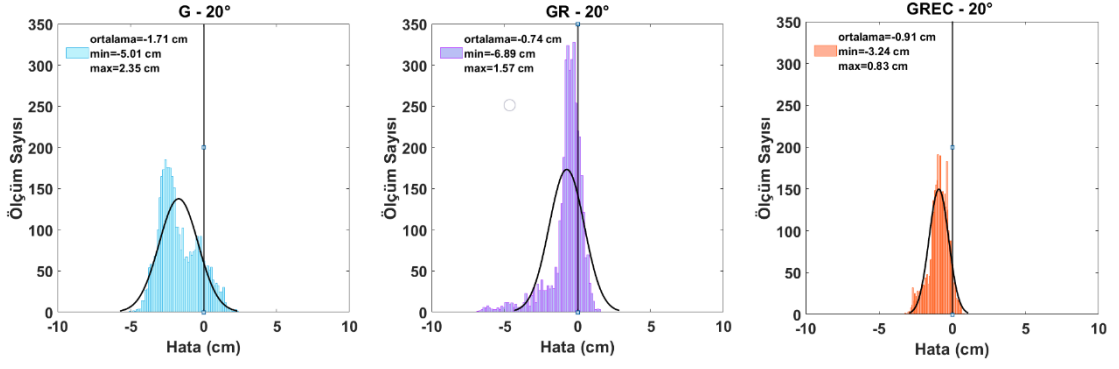
Şekil 7.15 A noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı



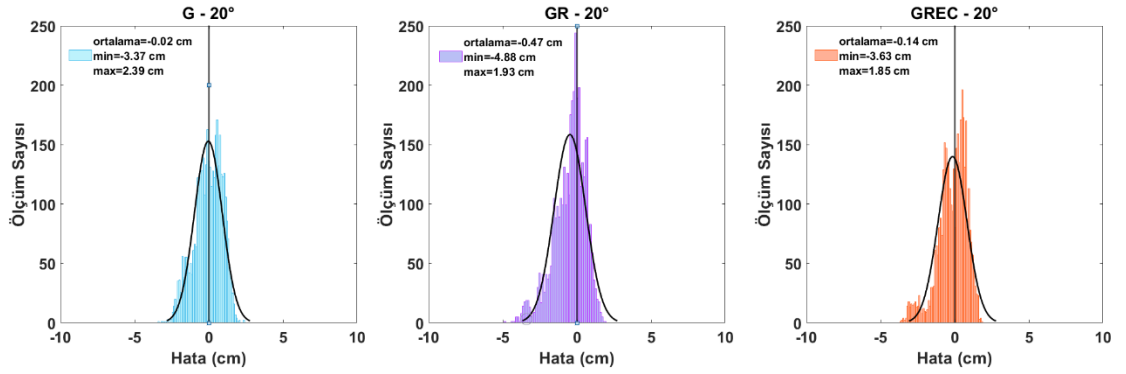
Şekil 7.16 A noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı



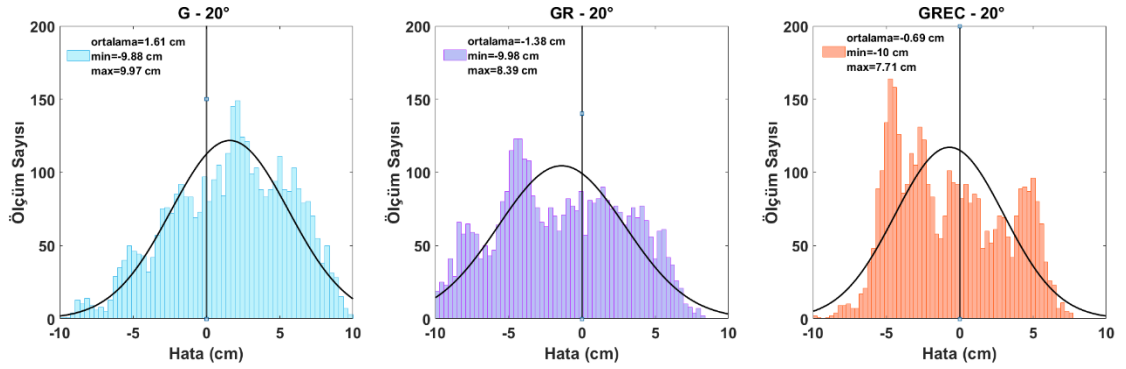
Şekil 7.17 A noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı



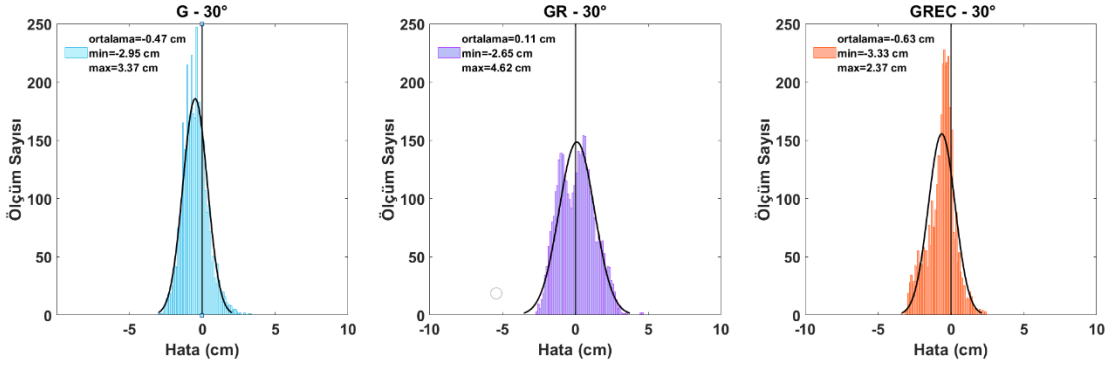
Şekil 7.18 A noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı



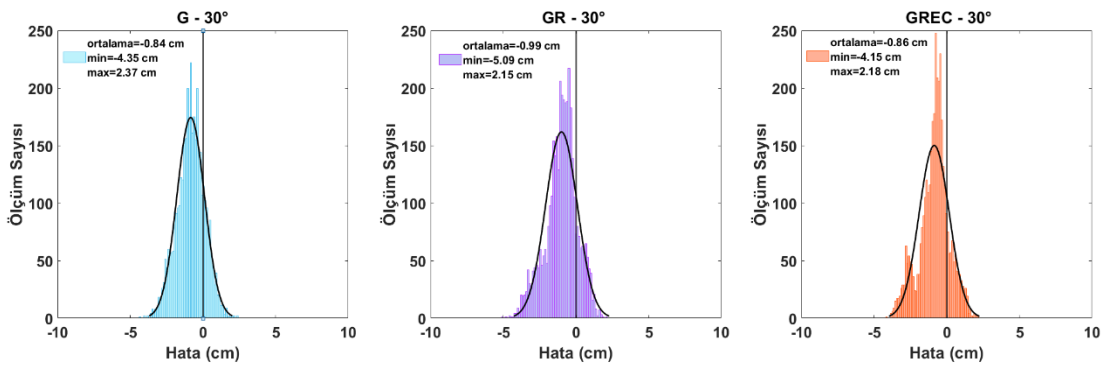
Şekil 7.19 A noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı



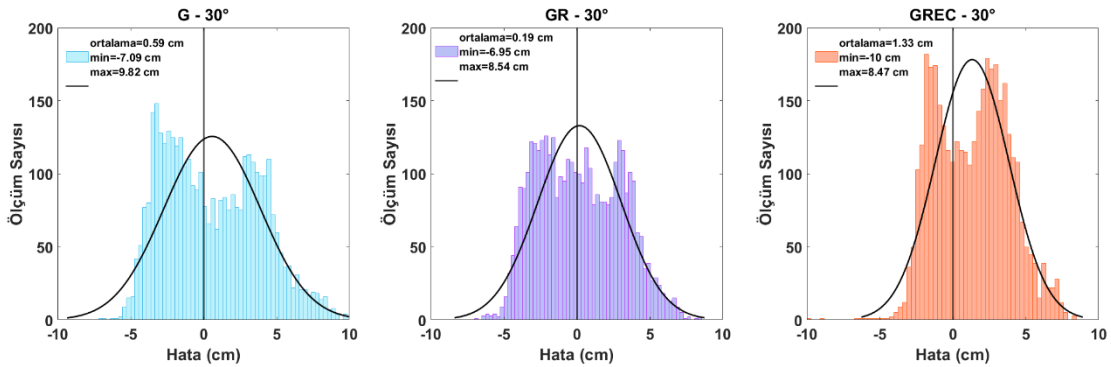
Şekil 7.20 A noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı



Şekil 7.21 A noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı



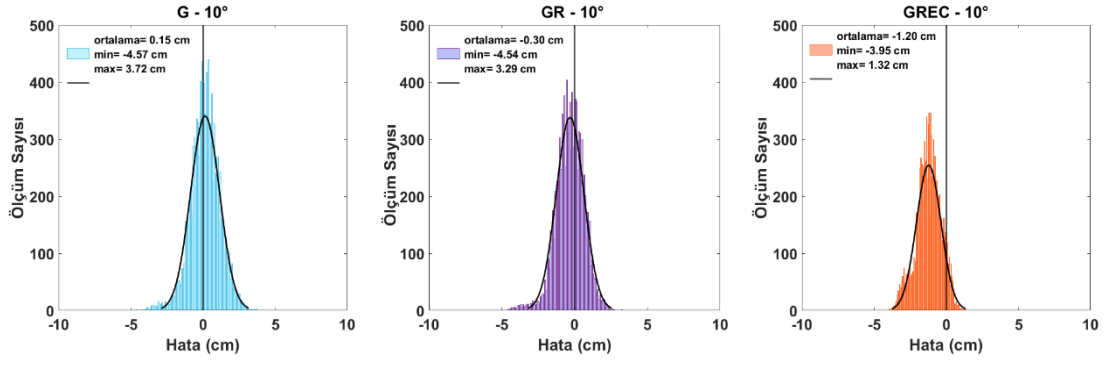
Şekil 7.22 A noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı



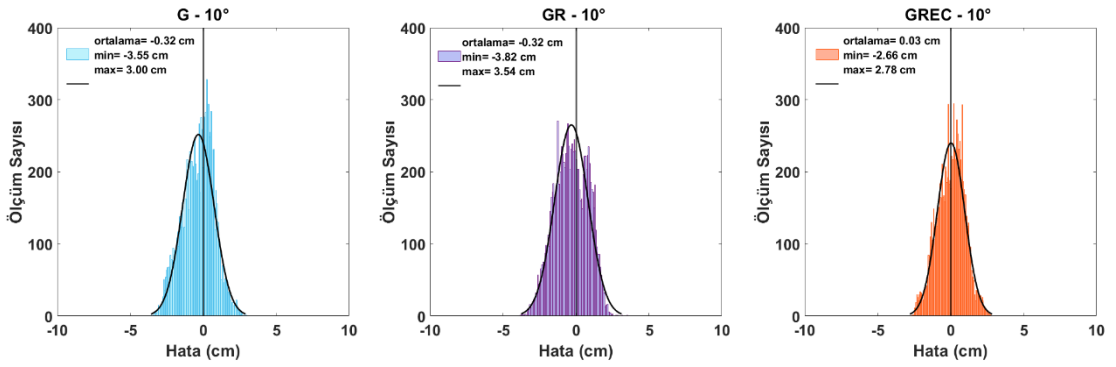
Şekil 7.23 A noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı

Şekil 7.7-7.15’de görüldüğü gibi A noktasında yükseklik açısının 10° seçildiği oturumlarda yatay bileşenler için hata dağılımları -5.00/6.00 cm, 20° seçildiği oturumlarda -7.00/3.00 cm, 30° için -6.00/5.00 cm aralığındadır. Düşey bileşende hatalar ± 10 cm’e ulaşmaktadır. A noktasında, tüm uydu yüksekliklerinde kuzey bileşeni için, GR uydu konfigürasyonunun GREC ve G çözümlerinden daha iyi olduğu görülmektedir.

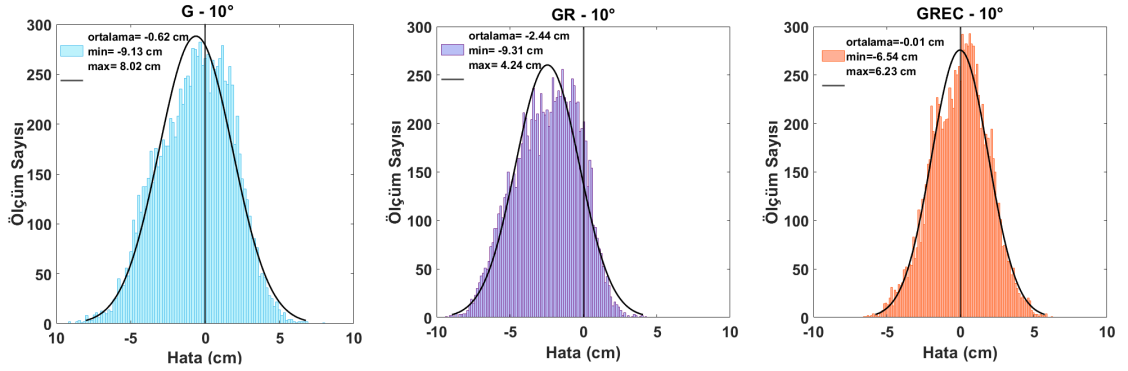
Şekil 7.16-Şekil 7.24’de B noktasına ait hata dağılım grafikleri gösterilmektedir.



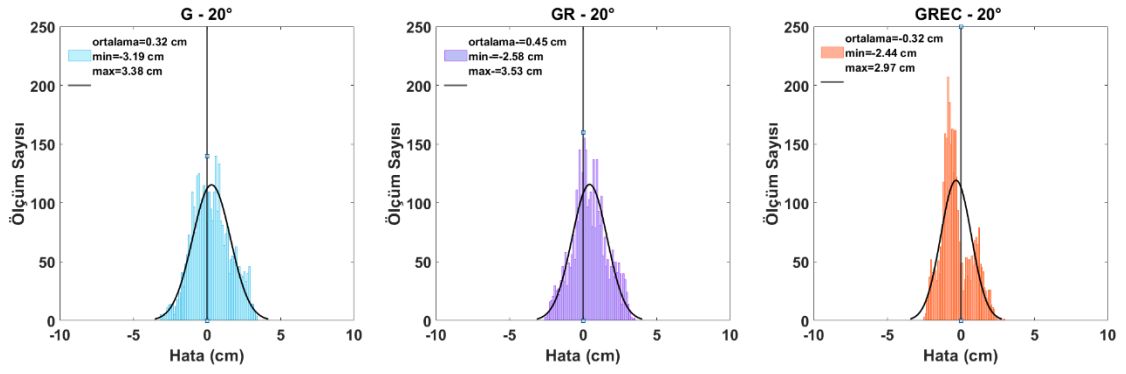
Şekil 7.24 B noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı



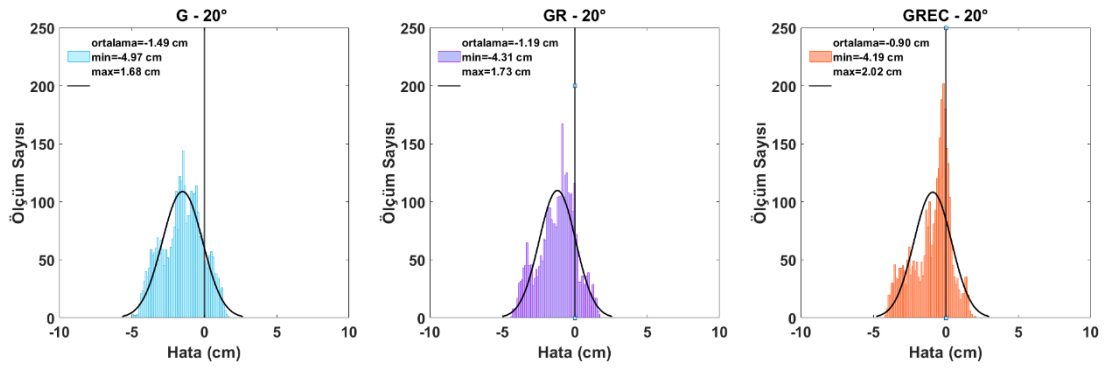
Şekil 7.25 B noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı



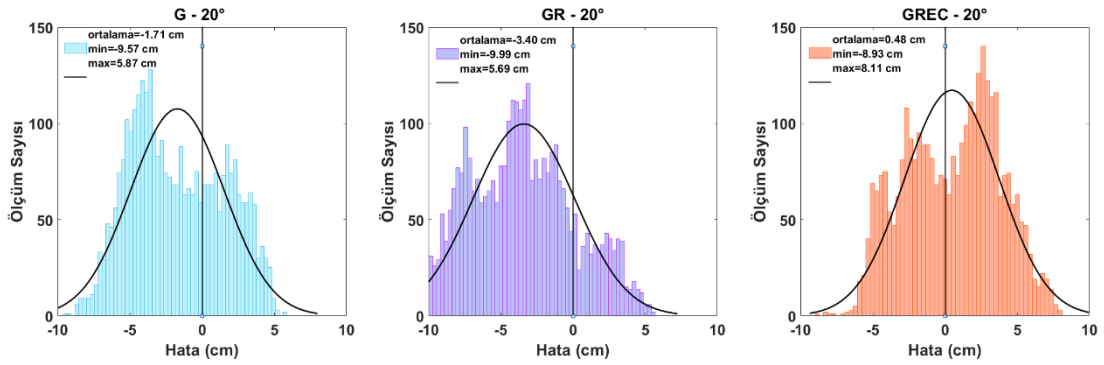
Şekil 7.26 B noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı



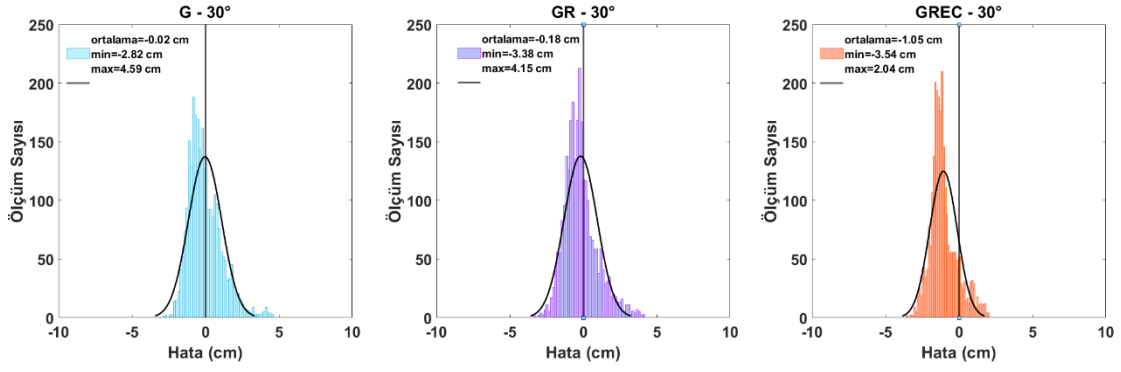
Şekil 7.27 B noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı



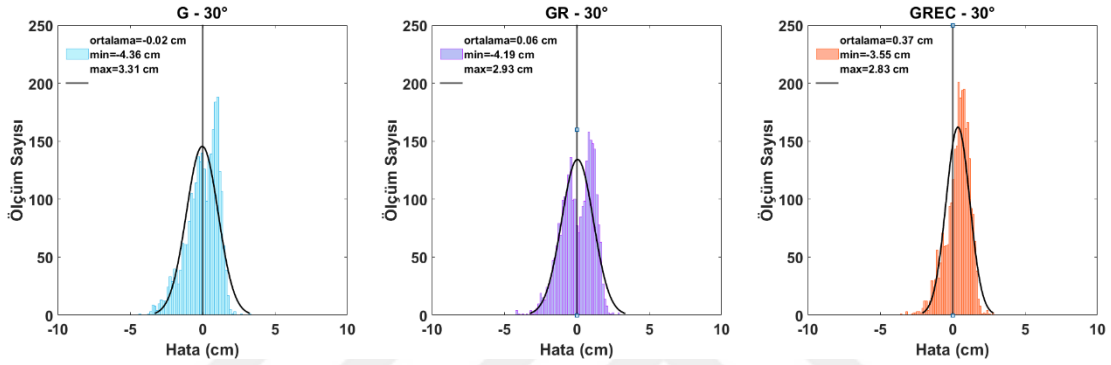
Şekil 7.28 B noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı



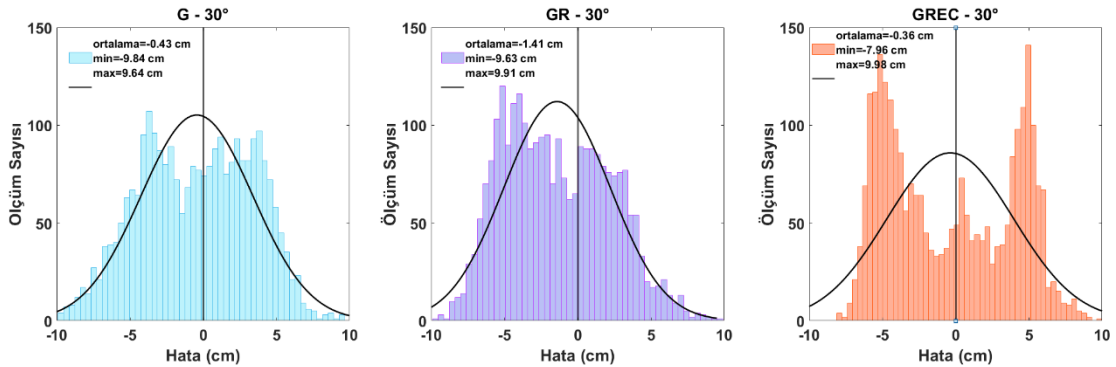
Şekil 7.29 B noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı



Şekil 7.30 B noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı



Şekil 7.31 B noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı

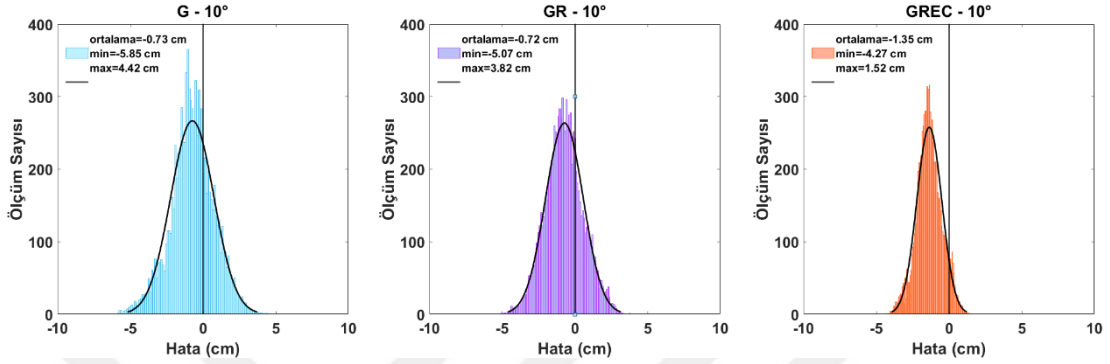


Şekil 7.32 B noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı

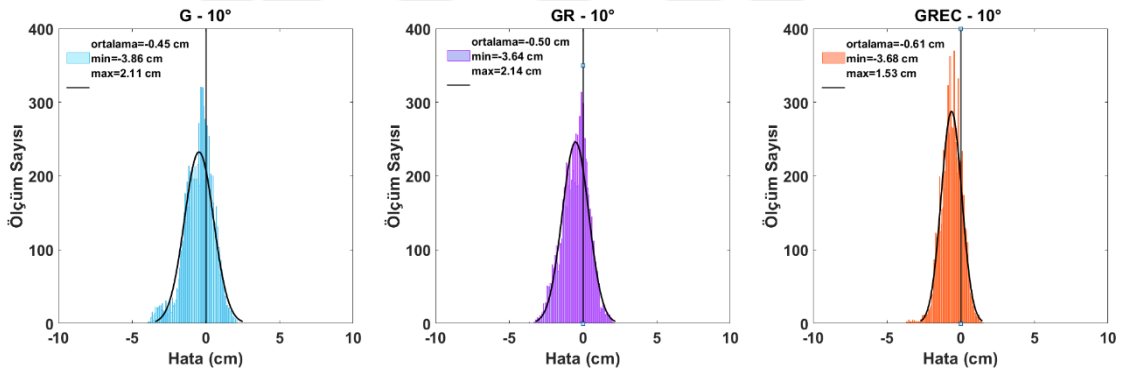
Şekil 7.16-7.24'de görüldüğü gibi B noktasında yükseklik açısının 10° ve 20° seçildiği oturumlarda yatay bileşenler için hata dağılımları -5.00/4.00 cm, 30°'de yatay bileşenler -5.00/5.00 cm aralığındadır. Düşey bileşende hatalar ± 10 cm'e ulaşmaktadır. 10°, 20° ve 30°'de yatay bileşenlerin Gauss dağılımı benzerdir. B noktasında 10° uydu yükseklik açısında kuzey bileşen için yalnız G çözümleri, çoklu GNSS çözümlerine göre daha iyi sonuç vermiştir. Şekil 7.16'da GREC çözümü, kuzey bileşeninin hata dağılımı

ortalaması -1.20cm 'dir. G ve GR çözümleri benzer olsa da GREC doğu ve yukarı bileşenlerde ideal bir çözüm sunmuştur (Şekil 7.16). Uydu yükseklik açılarının tümünde kuzey bileşeni için en iyi sonucu G, yukarı bileşen için en iyi çözümü GREC uydu konfigürasyonu vermiştir.

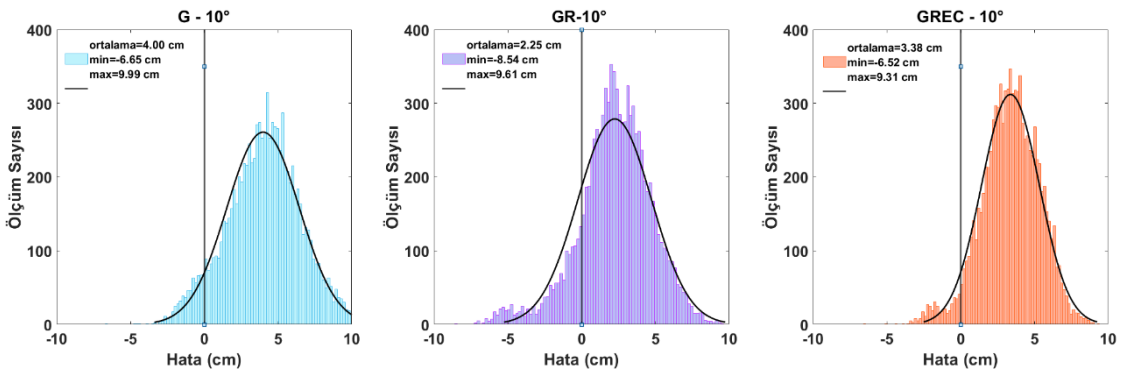
Şekil 7.25-Şekil 7.33'de C noktasına ait hata dağılımları gösterilmektedir.



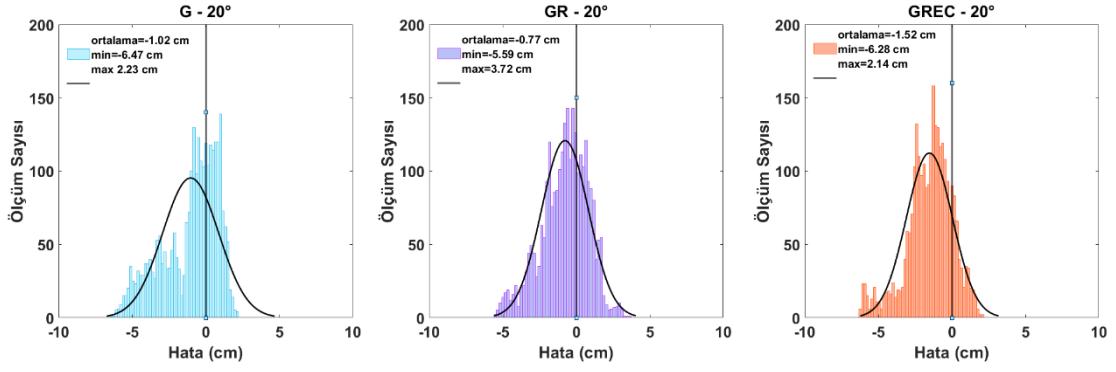
Şekil 7.33 C noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı



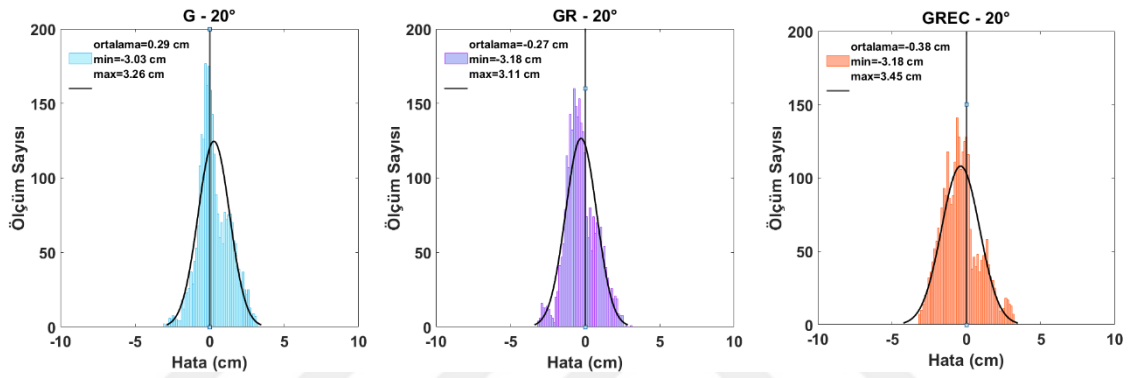
Şekil 7.34 C noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı



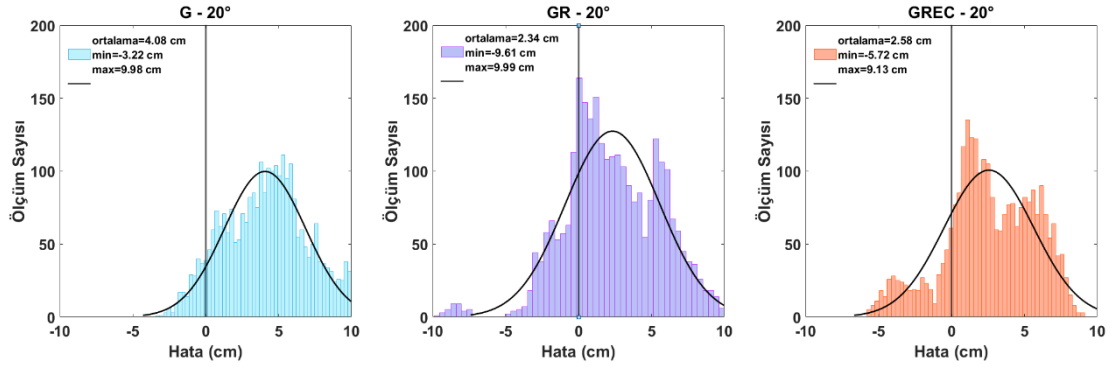
Şekil 7.35 C noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı



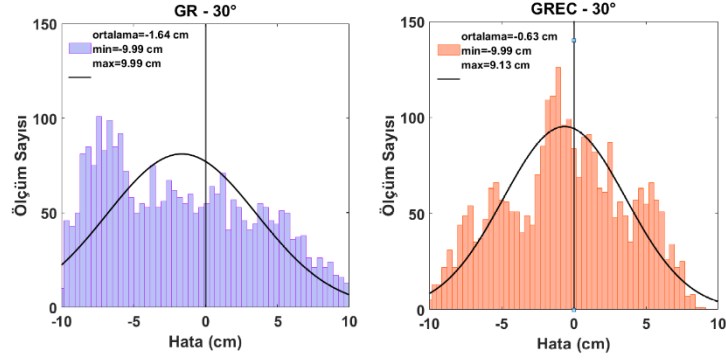
Şekil 7.36 C noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı



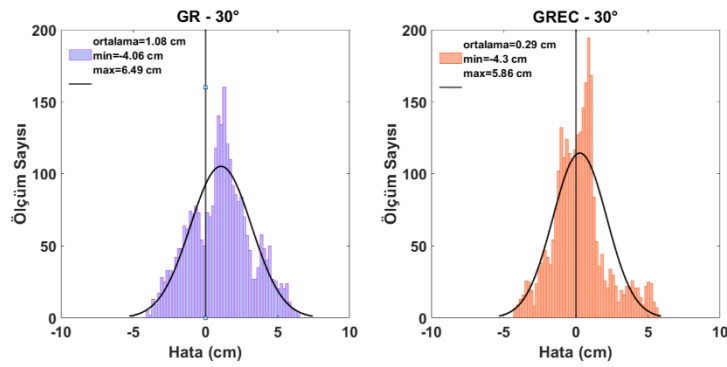
Şekil 7.37 C noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı



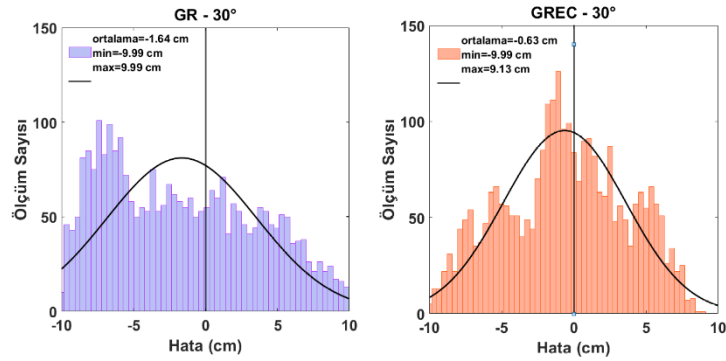
Şekil 7.38 C noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı



Şekil 7.39 C noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı



Şekil 7.40 C noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı

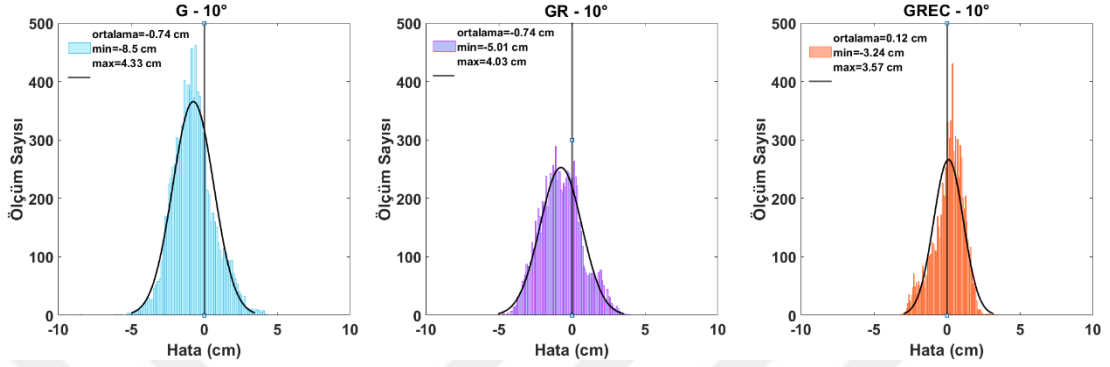


Şekil 7.41 C noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı

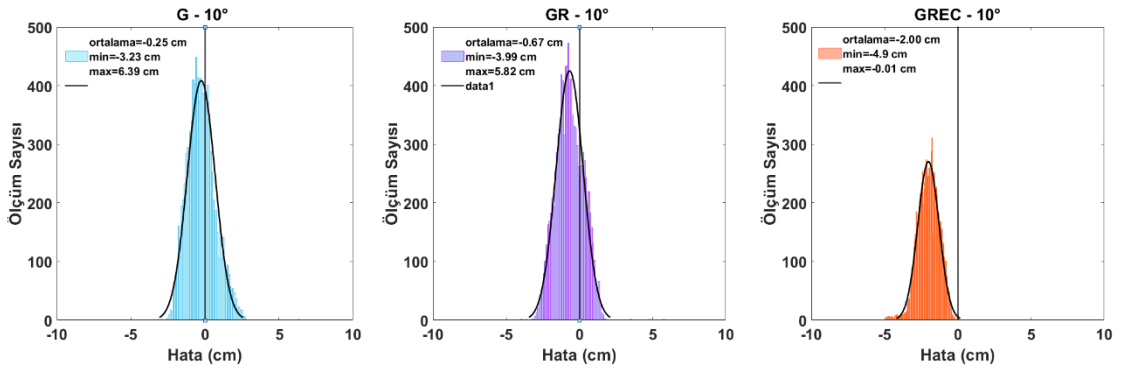
Şekil 7.25-7.33'de görüldüğü gibi C noktasında yükseklik açısının 10° seçildiği oturumlarda yatay bileşenler için hata dağılımları -6.00/5.00 aralığında değişmektedir. 20° seçildiği oturumlarda yatay bileşenler için hata dağılımları -7.00/4.00 cm aralığındadır. C noktasındaki G-30° oturumundaki tüm sonuçlar eşik değerini aştığı için aykırılık yüzdesi %100'dür. Bu nedenle bu oturum analize dahil edilmemiştir. GR-30° ve GREC-30° oturumlarında yatay ve düşey bileşenler ± 10 cm'e kadar ulaşmaktadır. 10°

uydu yükseklik açısında doğu bileşen için GR çözümleri, G ve GREC çözümlerine göre daha iyi sonuç vermiştir (Şekil 7.26). 20° uydu yükseklik açısında tüm bileşenler için en iyi sonucu GR, 30°'de ise GREC konfigürasyonu en ideal çözümü vermiştir.

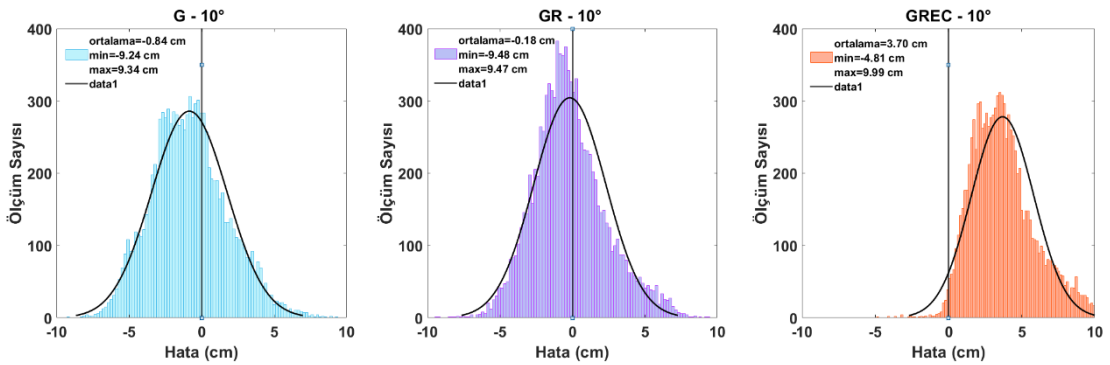
Şekil 7.34-Şekil 7.42'de D noktasına ait hata dağılım grafikleri gösterilmektedir.



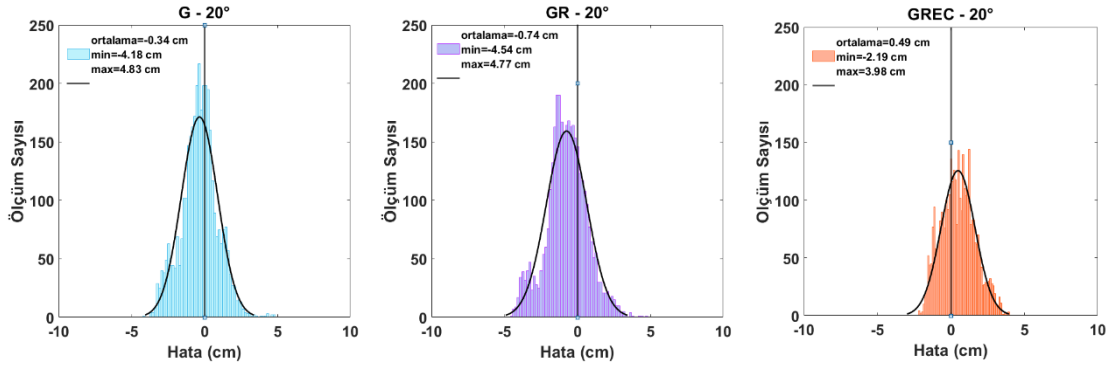
Şekil 7.42 D noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı



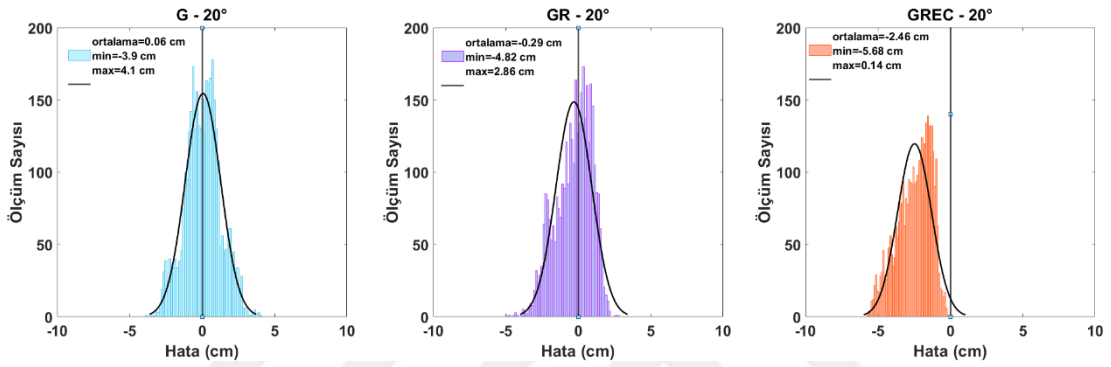
Şekil 7.43 D noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı



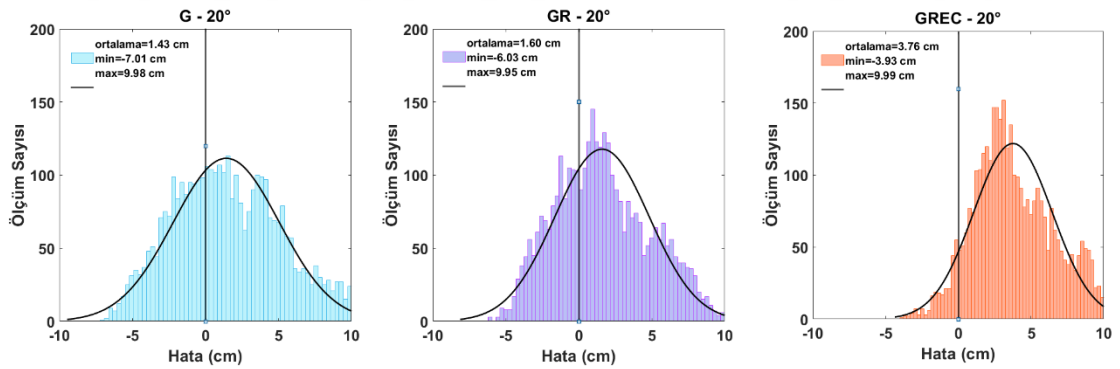
Şekil 7.44 D noktasındaki 10° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı



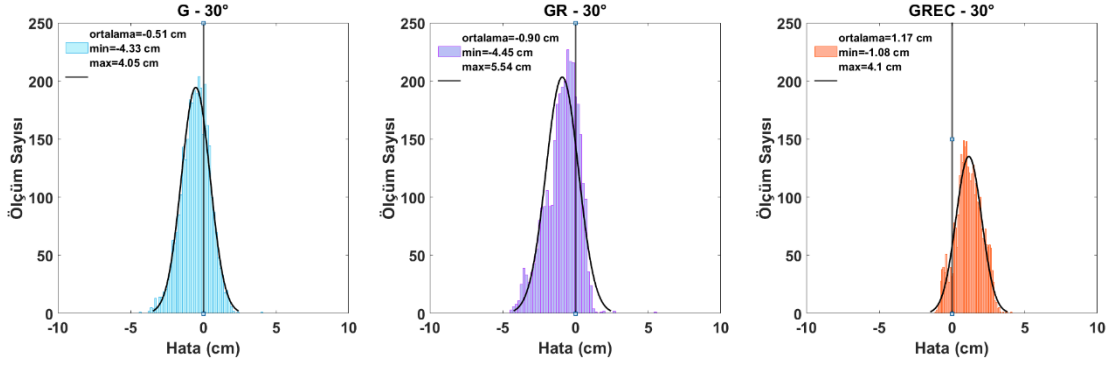
Şekil 7.45 D noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı



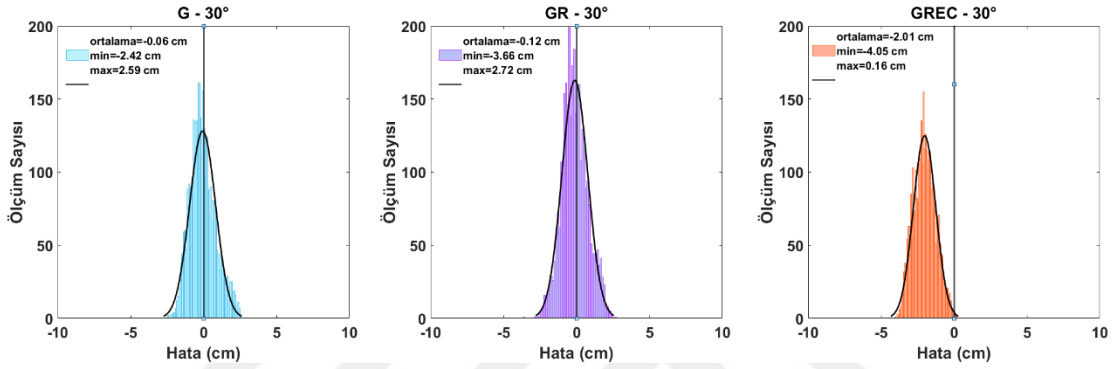
Şekil 7.46 D noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı



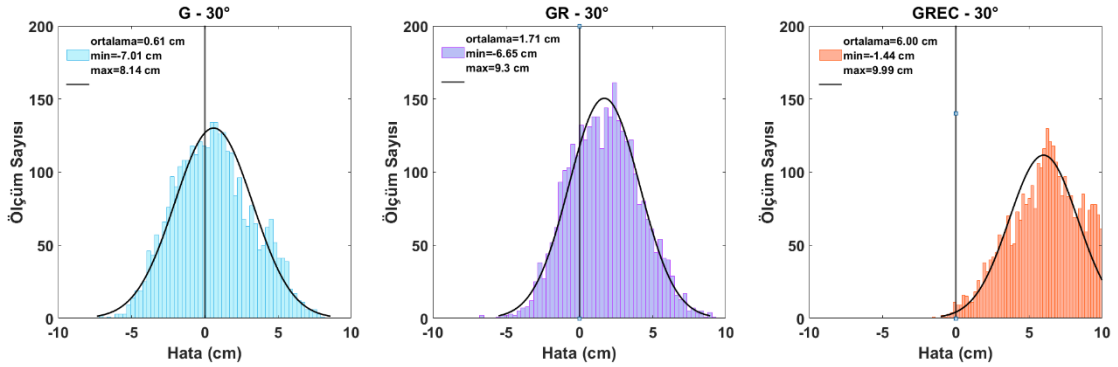
Şekil 7.47 D noktasındaki 20° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı



Şekil 7.48 D noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin kuzey bileşene ait hata dağılımı



Şekil 7.49 D noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin doğu bileşene ait hata dağılımı

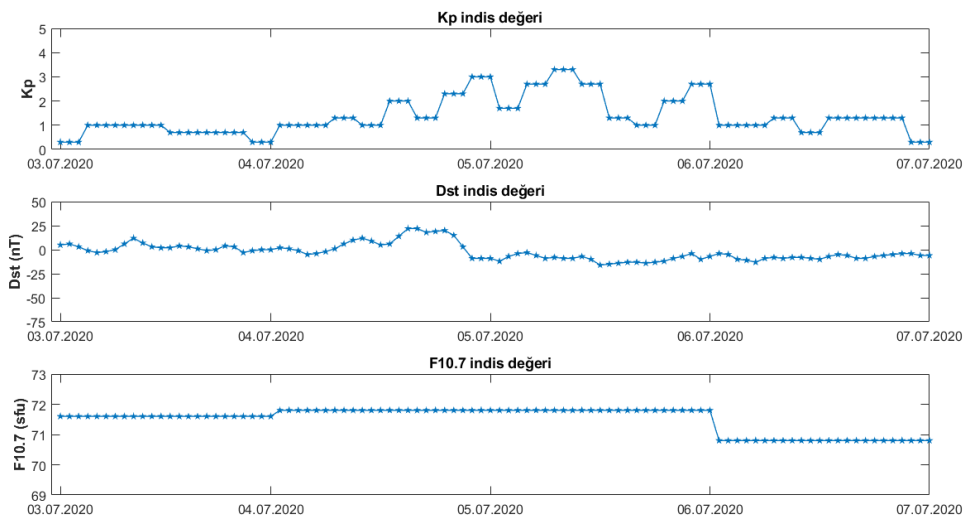


Şekil 7.50 D noktasındaki 30° oturumlarına ilişkin yukarı bileşene ait hata dağılımı

Şekil 7.34-7.42’de görüldüğü gibi D noktasında yükseklik açısının 10° seçildiği oturumlarda yatay bileşenler için hata dağılımları -9.00/7.00 cm, 20° seçildiği oturumlarda -6.00/5.00 cm aralığında, 30° seçildiği oturumlarda ise -5.00/6.00 cm aralığındadır. Düşey bileşende hatalar ± 10 cm’e ulaşmaktadır. 10° uydu yükseklik açısında kuzey bileşen için G ve GR çözümleri benzer sonuç göstermiştir ancak en ideal çözüm GREC çözümünde olup ortalama hata 0.12cm’dir (Şekil 7.34). 20° ve 30° seçilen oturumlarda kuzey, doğu ve yukarı bileşenler için G en iyi çözümü sunmuştur.

Hata dağılım grafiklerinin tümü incelendiğinde 10° 'de kuzey bileşen için genel olarak çoklu GNSS kombinasyonlarına göre G çözümleri daha iyidir. Diğer bileşenlerde ise 80.km'ye kadar uydu konfigürasyonlarında anlamlı bir fark görülmemiştir. Sonuç olarak, uydu konfigürasyonları tekrarlılığı iyileştirmelerine rağmen, ortalama hata değerleri her oturumda sıfıra yakın olmadığından konum doğruluğunu düşürebilmektedir. Bu nedenle, çoklu GNSS kombinasyonları, hata dağılım grafiklerinden görülebileceği gibi doğruluğu her zaman iyileştirmemektedir.

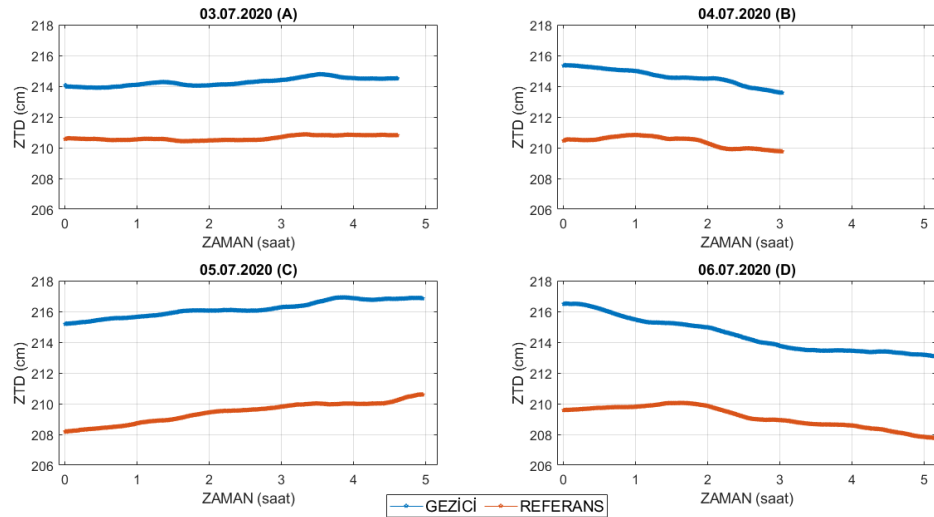
Daha kapsamlı bir değerlendirme için ölçüm günlerine ait atmosferik koşullar iyonosfer ve troposfer açısından incelenmiştir. Ölçüm süresince iyonosfer tabakasında herhangi bir jeomanyetik ve solar fırtına olup olmadığını belirlemek için Kp, Dst ve F10.7 indisleri incelenmiş olup, indis değerleri Şekil 7.43'de gösterilmektedir. Şekil 7.43 incelendiğinde Kp, Dst ve F10.7 indislerinin sınır değerlerini aşmadığı ve herhangi bir fırtınanın varlığının söz konusu olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 7.51 Ölçüm günlerindeki Kp, Dst ve F10.7 indis değerleri

RTK yönteminde konum doğruluğunu etkileyen bir başka faktör de GNSS sinyal yayılımını etkileyen troposferik gecikmedir. Troposferik gecikmeleri incelemek için statik GNSS ölçüleri CSRS-PPP kullanılarak değerlendirilmiştir (URL-14). CSRS-PPP, koordinat ya da troposferik gecikmeler için çevrimiçi olarak kullanılan bir PPP hizmetidir (Mendez Astudillo ve ark.,2018). Ölçüm yapılan noktalarda sadece 10° de yapılan oturumlarda statik veri kaydı alındığı için toplam troposferik gecikme (ZTD) değerleri sadece ilk oturumlar için değerlendirilmiştir. Troposfer durumu, farklı uydu konfigürasyonları için aynı olduğundan, CSRS-PPP ile sadece GR konfigürasyonuna ait gezici alıcıların verileri işlenmiştir.

Referans istasyon ile gezici alıcıların bulunduğu uygulama noktalarındaki troposferik koşullar değişkenlik gösterebilmektedir. Dolayısıyla referans istasyonuna ait ZTD değerleri de CSRS-PPP yardımıyla elde edilmiştir. Şekil 7.44’de her bir ölçüm gününde referans istasyonunu ve gezici alıcılara ait ZTD değerleri gösterilmektedir.



Şekil 7.52 Ölçümlerin ilk oturumlarına ait ZTD değerleri

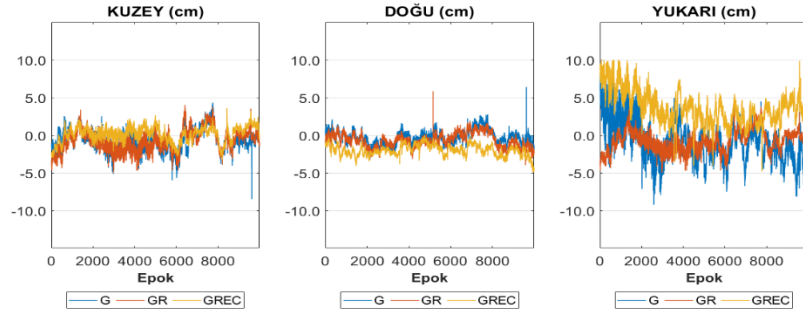
Şekil 7.44 ‘e göre referans alıcı ile gezici alıcılar arasındaki maksimum ZTD farkları 3-6 Temmuz 2020 tarihleri arasında sırasıyla 3.97 cm, 4.88 cm, 7.07 cm ve 6.92 cm'dir. Referans istasyonu ile gezici alıcıların bulunduğu konumlardaki ZTD değerleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Çizelge 7.8’de her bir ölçüm günü için referans alıcı ile gezici alıcılar arasındaki ZTD korelasyon yüzdeleri gösterilmektedir.

Çizelge 7.10 ZTD korelasyon yüzdeleri

Nokta No	Gün	Korelasyon (%)
A	3.07.2020	84.93
B	4.07.2020	81.20
C	5.07.2020	95.37
D	6.07.2020	87.15

Çizelge 7.8’den görüldüğü gibi bütün uygulama noktalarında ZTD değerleri arasındaki ilişki %81’den yüksektir. En düşük korelasyon ise B noktasındadır. Troposferik değerler arasındaki ilişkinin yüksek olduğunu gösterebilmek için baz mesafesi olarak en uzak olan D noktasındaki 10° uydu yükseklik açısındaki oturuma ait

G, GR ve GREC konfigürasyonlarının koordinatları zaman serileri olarak verilmiştir (Şekil 7.45). Baz mesafesi olarak en uzak olan D noktasındaki Şekil 7.45'den görüleceği üzere G ve GREC uydu konfigürasyonlarında yukarı bileşenler incelendiğinde ilgili güne ait ZTD değerleri ile benzer bir eğilim göstermiştir.



Şekil 7.53 06.07.2020 gününe ait koordinat zaman serisi (D Noktası)

8. SONUÇ

Klasik RTK yönteminin sağladığı konum doğruluğu referans ile alıcı arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmektedir. Düzeltme bilgisi radyo modem aracılığıyla sağlandığında baz mesafesi yaklaşık 15-20 km ile sınırlıdır. Düzeltme bilgisinin internet aracılığıyla sağlanmasıyla mesafe sınırlandırılması ortadan kaldırılmıştır. Bu tez çalışmasında internet tabanlı klasik RTK yönteminin performansını test etmek amacıyla farklı baz mesafeleri (~20, ~40, ~60, ~80 km) dikkate alınarak arazi çalışmaları yapılmıştır. Her bir baz mesafesinde eşit koşullara (aynı marka/model ve alet sehpa üzerinde) sahip 3 gezici alıcı kullanılarak G, GR ve GREC uydu konfigürasyonlarında ölçümler yapılmıştır. RTK koordinatları G, GR ve GREC uydu konfigürasyonları ile her uygulama noktasında toplamda yaklaşık 9 saat olmak üzere farklı uydu görünürlük koşullarını incelemek amacıyla 10°, 20° ve 30° yükseklik açılarında üç oturum şeklinde elde edilmiştir. Her bir uygulama noktasında ilk oturumlar (10°) yaklaşık 5 saat olacak şekilde RTK ölçümlerinin yanı sıra statik veri kaydı da alınmıştır. Referans istasyonu ve gezici alıcılarda toplanan statik ölçümler GAMIT/GLOBK akademik yazılımı kullanılarak bağıl yöntemle değerlendirilerek gerçek koordinatlar elde edilmiştir. Dengeleme sonucu elde edilen koordinatlar kesin değer kabul edilerek RTK koordinatları toposentrik (kuzey, doğu, yukarı) koordinatlara dönüştürülmüştür. Her bir koordinat bileşeni için ± 10 cm'yi geçen hatalar aykırı değer kabul edilerek ölçü grubundan çıkarılmıştır.

RTK yöntemiyle elde edilen sonuçlara ilişkin karesel ortalama hata, standart sapma, minimum ve maksimum gibi bazı istatistiksel parametreler hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre RTK koordinatları için doğruluk ve tekrarlılık analizleri yapılmıştır. Buna göre 10° uydu yükseklik açısında GR ve GREC konfigürasyonlarının yalnız GPS uyduları kullanılması durumuna göre tüm bileşenlerde tekrarlılığı iyileştirdiği görülmüştür. Daha büyük uydu yükseklik açılarında ise çoklu GNSS kombinasyonlarının RTK sonuçlarına tekrarlılık açısından çoğu oturumda anlamlı bir katkı sağladığı görülmüştür.

Sonuçlar doğruluk açısından incelendiğinde 80 km'ye kadar olan bazların tümünde yalnız GPS ile yatay bileşende yaklaşık 2 cm, düşey bileşende ise yaklaşık 5 cm doğruluk elde edilmiştir. Buradan RTK yönteminin uzun baz mesafelerinde bile (~80 km) birkaç cm doğruluk sağlayabileceği sonucuna ulaşılabilir. Genel olarak RTK ölçümlerinde uydu sayısı arttıkça uydu geometrisi de iyileşeceğinden RTK performansının artması beklenmektedir. Ancak bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlara

göre çoklu GNSS kombinasyonları RTK sonuçlarının doğruluğunu her zaman arttırmamıştır. Uydu geometrisinin durumunu ifade eden DOP (Dilution of Precision) değerleri analiz edildiğinde çoklu GNSS kombinasyonlarının uydu geometrisini iyileştirdiği ancak yalnız GPS uyduları kullanılması durumunda da iyi bir seviyede olduğu görülmüştür. Sonuç olarak 80 km'ye kadar olan bazlarda uydu geometrisinin yeterli olması durumunda çoklu GNSS kombinasyonlarının RTK sonuçlarına anlamlı bir katkı sağlamadığı görülmüştür.

Ayrıca ölçüm yapılan günlerde konum doğruluğunu etkileyebilecek herhangi bir iyonosferik anomali olup olmadığı araştırılmıştır. Bu amaçla Kp, Dst ve F10.7 indisleri incelenmiştir ve ölçüm günlerinde herhangi bir jeomanyetik veya solar fırtına olmadığı görülmüştür. RTK yönteminde konum doğruluğunu etkileyen bir diğer hata kaynağı olan troposfer ise ilk oturumlarda kaydedilen statik ölçümler kullanılarak değerlendirilmiştir. Referans istasyonu ve gezici alıcılara ilişkin zenit yönündeki toplam troposferik gecikme (ZTD) miktarları CSRS-PPP yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Buna göre gezici alıcı ve referans istasyonu arasındaki yükseklik farkı arttıkça ZTD farkının arttığı görülmüştür.

Sonuç olarak, bu tez çalışmasında, internet tabanlı klasik RTK yöntemiyle elde edilen konum doğruluğunun ağ RTK yöntemi ile benzer olduğu görülmüştür. Ancak klasik RTK yönteminde baz mesafesi sınırlandırılması ortadan kalkmış olsa da ölçüm günlerinde iyonosferik fırtınalar olmadığı için konum belirleme performansına etkisi net olarak incelenememiştir. Dolayısıyla internet tabanlı klasik RTK'nın konum belirleme performansı iyonosfer fırtınalı günlerde de incelenmelidir. Çoklu GNSS kombinasyonlarının internet tabanlı klasik RTK ölçümlerine etkisi daha uzun baz mesafeleri ve ölçüm süreleri dikkate alınarak kapsamlı olarak araştırılmalıdır. Ayrıca Baz mesafesinin yanı sıra referans ve gezici alıcılar arasındaki troposfer durumunu etkileyen yükseklik farkı da dikkate alınmalıdır.

9. KAYNAKLAR

- Abdulmajed R.I., 2017, Accuracy comparison between GPS only and GPS+GLONASS RTK and static methods, Master Thesis, Selcuk University The Graduate School of Natural and Applied Science, Konya.
- Alçay S & Atiz Ö (2021). Farklı Yazılımlar Kullanılarak Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konum Belirleme (RT-PPP) Yönteminin Performansının İncelenmesi. *Geomatik*, 6 (1), 77-83. <https://doi.org/10.29128/geomatik.687709>.
- Andrei, C. O., Lahtinen, S., Poutanen, M., Koivula, H., & Johansson, J. (2021). Galileo L10 Satellites: Orbit, Clock and Signal-in-Space Performance Analysis. *Sensors*, 21(5), 1695.
- Arslan, E. (2016, Ocak). Galileo Sistemi Genel Yapısı. Galileo Uydu Seyrüsefer Sistemi E5 Sinyal Simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi.
- Ayers, H. B. (2011). GNSS (GPS and GLONASS) Positioning used in Land Surveying and Engineering Land Surveying and Engineering . Leica Geosystems Ltd., Canada.
- Bahşi M.N., 2010, İnternet ve GSM teknolojileri kullanılarak tek sabit referans istasyonlu RTK GPS tekniğinin açık alanlarda uygulanabilirliğinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bartolomé, J. P., Maufröid, X., Hernández, I. F., Salcedo, J. A. L., & Granados, G. S. (2015). Overview of Galileo system. In *GALILEO Positioning Technology* (9-33). Springer, Dordrecht.
- Baybura T, Tiryakioğlu İ, Uğur M A, Solak H İ & Şafak Ş (2019). Examining the accuracy of network RTK and long base RTK methods with repetitive measurements. *Journal of Sensors*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/3572605>.
- Berkes, D. U. (2002, Aralık). Galileo Ground Segment. Eylül 10, 2019 tarihinde Galileo System Update:
<https://www.gps.gov/cgsic/international/2002/brussels/berkes.pdf> adresinden alındı

- Bramanto B, Gumilar I, Taufik M & Hermawan I M D (2019). Long-range Single Baseline RTK GNSS Positioning for Land Cadastral Survey Mapping. In E3S Web of Conferences (ISGNSS 2018), 94, 01022, Bali, Indonesia.
- Castro-Arvizu J M, Medina D & Ziebold R (2020). Impact of Satellite Elevation Mask in GPS+ Galileo RTK Positioning. In Institute of Navigation International Technical Meeting 2020, 487-498, San Diego, California.
- Chukwunonso, S., & Ibiam, J. Conception and Evolution of the China's Beidou (BDS) Navigation Satellite System: Its Implications for Space Users.
- CSNO, C. S. (2020, Haziran). BeiDou Navigation Satellite System Signal In Space Interface Control Document Open Service Signal B2b (Version 1.0). China Satellite Navigation Office: <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/Officialdocument/202008/P020200803544811195696.pdf> adresinden alındı
- CSNO, C. S. (2018, Aralık). Development of the BeiDou Navigation Satellite System. China Satellite Navigation Office: <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/Officialdocument/201812/P020190523251292110537.pdf> adresinden alındı
- Dabove P (2019). The usability of GNSS mass-market receivers for cadastral surveys considering RTK and NRTK techniques. *Geodesy and Geodynamics*, 10(4), 282-289. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2019.04.006>.
- Dabove P & Di Pietra V (2019). Single-baseline RTK positioning using dual-frequency GNSS receivers inside smartphones. *Sensors*, 19(19), 4302. <http://dx.doi.org/10.3390/s19194302>.
- Dawoud, S. (2012). GNSS principles and comparison. Potsdam University.
- Erdal, B. (2009). RTK GPS yönteminin konumlama hassasiyeti ve RTK GPS'e etki eden hata faktörleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Erenoğlu R C (2017). A comprehensive evaluation of GNSS-and CORS-based positioning and terrestrial surveying for cadastral surveys. *Survey Review*, 49(352), 28-38. <https://doi.org/10.1080/00396265.2015.1104093>.
- Falcone, M., Hahn, J., & Burger, T. (2017). Galileo. In *Springer handbook of global navigation satellite systems (247-272)*. Springer, Cham.
- Gürtürk, M. (2016). Hava GNSS Verilerinin Değerlendirilmesinde Hassas Kinematik Nokta Konumlama. Tek Nokta Konumlama (SPP) Tekniği . İstanbul : Yıldız Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi .
- Hegarty, C. J. (2017). The Global Positioning System(GPS). O. M. Peter J.G. Teunissen içinde, *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems (s. 197-217)*. Berlin: Springer.
- Heo, Y., Yan, T., Lim, S., & Rizos, C. (2009, December). International standard GNSS real-time data formats and protocols. In *IGNSS Symp.*
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2008). Navigation messages. B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, & E. Wasle içinde, *GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo and more (s. 391)*. SpringerWienNewYork.
- İnal, C., Gündüz, A. M., & Bülbül, S. (2014). KLASİK RTK ve Ağ-RTK YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI. eylül 10, 2019 tarihinde <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/215659> adresinden alındı
- Jeffrey, C. (2010). *An introduction to GNSS: GPS, GLONASS, Galileo and other global navigation satellite systems*. NovAtel.
- JSC, R. S. (2016). ICD GLONASS CDMA General Description. Russian Space Systems: <http://russianspacesystems.ru/wp-content/uploads/2016/08/ICD-GLONASS-CDMA-General.-Edition-1.0-2016.pdf> adresinden alındı
- Kahveci, M. (2017). *Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları*. Nobel yayıncılık.

- Kahveci M., Karagöz H., Selbesoğlu M.O., 2011, Statik ve RTK GNSS ölçüm ve hesaplarının karşılaştırılması, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, Sayı 104.
- Kahveci, P., & Yıldız, P. (2019). Uydularla Konum Belirleme Sistemi-GNSS. Ankara: Nobel Yayıncılık .
- Kaplan, E. D., & Hegarty, C. J. (2017). Understanding GPS/GNSS Principles and Applications Third Edition. Artech House.
- Koca, B. (2019, Mayıs). GLONASS Sisteminin Gelişimi ve Geleceği. GNSS Sistemlerindeki Güncel Durum ve Son Gelişmelerin İncelenmesi. Konya: Yüksek Lisans Tezi.
- Kuang, K., Li, J., & Zhang, S. (2021). Galileo real-time orbit determination with multi-frequency raw observations. *Advances in Space Research*.
- Kurgultu, Z. (2018) Sürekli gözlem yapan referans istasyonları ile gerçek zamanlı kinematik konum belirlemenin yapılaşmış ve ormanlık alanlardaki uygulamalarının doğruluk analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lenz, Elmar (2004). "Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP) – Application and Benefit in Modern Surveying Systems" (PDF). FIG Working Week 2004.
- Li G, Wu J, Zhao C & Tian Y (2017b). Double differencing within GNSS constellations. *GPS Solutions*, 21(3), 1161-1177. <https://doi.org/10.1007/s10291-017-0599-4>.
- Li T, Zhang H, Niu X & Gao Z (2017a). Tightly-coupled integration of multi-GNSS single-frequency RTK and MEMS-IMU for enhanced positioning performance. *Sensors*, 17(11), 2462. <http://dx.doi.org/10.3390/s17112462>.
- Li X, Lv H, Ma F, Li X, Liu J & Jiang Z (2019). GNSS RTK positioning augmented with large LEO constellation. *Remote Sensing*, 11(3), 228. <https://doi.org/10.3390/rs11030228>.

- Liu, W., Wu, M., Zhang, X., Wang, W., Ke, W., & Zhu, Z. (2021). Single-epoch RTK performance assessment of tightly combined BDS-2 and newly complete BDS-3. *Satellite Navigation*, 2(1), 1-17.
- Lu, J., Guo, X. & Su, C. Global capabilities of BeiDou Navigation Satellite System. *Satell Navig* 1, 27 (2020). <https://doi.org/10.1186/s43020-020-00025-9>
- Luo X, Schaufler S, Branzanti M & Chen J (2020). Assessing the benefits of Galileo to high-precision GNSS positioning—RTK, PPP and post-processing. *Advances in Space Research*. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.08.022>.
- Mendez Astudillo J, Lau L, Tang Y T & Moore T (2018). Analysing the zenith tropospheric delay estimates in on-line precise point positioning (PPP) services and PPP software packages. *Sensors*, 18(2), 580. <https://doi.org/10.3390/s18020580>.
- Mi X, Zhang B & Yuan Y (2019). Multi-GNSS inter-system biases: estimability analysis and impact on RTK positioning. *GPS Solutions*, 23(3), 81. <https://doi.org/10.1007/s10291-019-0873-8>.
- Montenbruck, O., Schmid, R., Mercier, F., Steigenberger, P., Noll, C., Fatkulin, R., ... & Ganeshan, A. S. (2015). GNSS satellite geometry and attitude models. *Advances in Space Research*, 56(6), 1015-1029.
- Mutlu İ., 2019, GNSS uydu dağılımının statik GNSS ölçülerinde ve gerçek zamanlı konum belirlemedeki önemi, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Navipedia. (2018, Haziran 29). GLONASS User Segment. Eylül 19, 2019 tarihinde ESA Navipedia: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_User_Segment adresinden alındı
- Navipedia. (2019, Nisan 9). Galileo Signal Plan. Eylül 10, 2019 tarihinde Navipedia: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/File:Galileo_Frequency_Plan.png adresinden alındı

- Nurmi, J., Lohan, E. S., Sand, S., & Hurskainen, H. (Eds.). (2015). GALILEO positioning technology (Vol. 176). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Odijk D & Teunissen P J (2013). Characterization of between-receiver GPS-Galileo inter-system biases and their effect on mixed ambiguity resolution. *GPS solutions*. 17(4), 521-533. <https://doi.org/10.1007/s10291-012-0298-0>.
- Öcalan, T , Soycan, M . (2011). GNSS Verisinin Gerçek Zamanlı İletimi İçin Uluslararası Standartlar ve Gelişmeler . *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi* , Sayı: 104.ÖS.2 , 123-133 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/pub/hkmojjd/issue/53173/705396>
- Öğütçü, 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). Temporal correlation length of network based RTK techniques. *Measurement*, 134, 539-547. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.10.099>.
- Öğütçü, S., & Kalaycı, İ. (2018). Accuracy and precision of network-based RTK techniques as a function of baseline distance and occupation time. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(13), 1-13.
- Park, B., Kim, Y., Yun, H., & Kee, C. (2013, January). DGPS enhancement to GPS NMEA output data: DGPS by correction projection to position-domain. In *Proceedings of the 2013 International Technical Meeting of The Institute of Navigation* (486-494).
- Paziewski J & Wielgosz P (2017). Investigation of some selected strategies for multi-GNSS instantaneous RTK positioning. *Advances in Space Research*, 59(1), 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2016.08.034>.
- Povero, G. (2019, Haziran 14-19). GNSS Signals Introduction. Eylül 2019 tarihinde United Nations Office for Outer Space Affairs: http://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2019/ait-gnss/AIT2019_09.pdf adresinden alındı

- Revnivkykh, S., Bolkunov, A., Serdyukov, A., & Montenbruck, O. (2017). GLONASS. P. J. Teunissen, & O. Montenbruck içinde, Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems (s. 219-245). Springer.
- Shu B, Liu H, Xu L, Qian C, Gong X & An X (2018). Performance analysis of BDS medium-long baseline RTK positioning using an empirical troposphere model. *Sensors*, 18(4), 1199. <https://doi.org/10.3390/s18041199>.
- Siddiqui, B. A. (2009, Kasım). Galileo Signal Characteristics . Eylül 10, 2019 tarihinde Simulink-Based Acquisition Unit For Galileo E1 Cboc Modulated Signals : <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/6688/siddiqui.pdf> adresinden alındı
- Stansell, T. (2018, Ocak 23). GNSS Signal Structures - BeiDou Signal Plans . Eylül 5, 2019 tarihinde United Nations Office for Outer Space Affairs: http://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2018/ait-gnss/03_gnss.pdf adresinden alındı
- Tian Y, Sui L, Xiao G, Zhao D & Tian Y (2019). Analysis of Galileo/BDS/GPS signals and RTK performance. *GPS Solutions*, 23(2), 37. <https://doi.org/10.1007/s10291-019-0831-5>.
- Turgut, M. (2019, Ocak). Hassas Nokta Konumlama . Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konumlama (RT-PPP) Yönteminin Performansının İncelenmesi. Konya : Yüksek Lisans Tezi.
- URL-1. GLONASS History. <https://www.glonass-iac.ru/en/guide/index.php>.
- URL-2. The GPS satellite constellation. 50 SW completes GPS constellation expansion. <https://www.schriever.af.mil/News/Article-Display/Article/277054/50-sw-completes-gps-constellation-expansion/>.
- URL-3. Current and Future Satellite Generations. Space Segment. <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>.
- URL-4. GPS Constellation Status. Information and Analysis Center For Positioning, Navigation and Timing. <https://www.glonass-iac.ru/en/GPS/index.php>.

- URL-5. TUSAGA-AKTİF. <https://www.tkgm.gov.tr/tr/icerik/tusaga-aktif-0> adresinden alındı
- URL-6. (2015). Galileo GNSS. <https://galileognss.eu/wp-content/uploads/2015/01/Galileo-remote-sites.png>.
- URL-7. Control Segment. GPS Control Segment Map. <https://www.gps.gov/multimedia/images/GPS-control-segment-map.pdf>.
- URL-8. (2016, Aralık). European Union Navigation Data. Eylül 12, 2019 tarihinde European GNSS (Galileo) Open Service, Signal-In-Space Interface Control Document, Galileo OS SIS ICD: <https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo-OS-SIS-ICD.pdf> adresinden alındı
- URL-9. SATELLITE CONSTELLATION. Eylül 19, 2019 tarihinde GLONASS Global Navigation Satellite System: <https://www.glonass-iac.ru/guide/gnss/glonass.php#structure> adresinden alındı
- URL-10. (2019, Ocak 7). Galileo Search and Rescue (SAR) Service. Eylül 20, 2019 tarihinde European Global Navigation Satellite Systems Agency: <https://www.gsc-europa.eu/galileo/services/galileo-search-and-rescue-sar-service> adresinden alındı
- URL-11. Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing. Ekim 21, 2019 tarihinde <https://www.glonass-iac.ru/en/BEIDOU/index.php> adresinden alındı
- URL-12. GLONASS Constellation Status. Eylül 26, 2019 tarihinde Information and Analysis Center For Positioning Navigation and Timing: <https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS/> adresinden alındı
- URL-13. (2018, Kasım 28). European Commission - Phases of the programme. Eylül 11, 2019 tarihinde The history of Galileo: https://ec.europa.eu/growth/sectors/space/galileo/history_en adresinden alındı

- URL-14. Natural Resources Canada, CSRS-PPP. tarih yok.
<https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>.
- Wang, B., Li, X., Huang, J., Feng, G., Lv, H., Han, X., ... & Li, X. (2021). Multi-frequency and multi-GNSS PPP-RTK for vehicle navigation in urban environments (EGU21-9039). Copernicus Meetings.
- Weber G, Dettmering D & Gebhard H (2005). Networked transport of RTCM via internet protocol (NTRIP). In *A Window on the Future of Geodesy*, 60-64, Berlin, Germany.
- Yang, Y., Gao, W., Guo, S., Mao, Y., & Yang, Y. (2019). Introduction to BeiDou-3 navigation satellite system. *NAVIGATION, Journal of the Institute of Navigation*, 66(1), 7-18.
- Yu J, Yan B, Meng X, Shao X & Ye H (2016). Measurement of bridge dynamic responses using network-based real-time kinematic GNSS technique. *Journal of Surveying Engineering*, 142(3), 04015013.
[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000167](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000167)
- Zhang Y, Kubo N, Chen J, Chu F Y, Wang H & Wang J (2020). Contribution of QZSS with four satellites to multi-GNSS long baseline RTK. *Journal of Spatial Science*, 65(1), 41-60. <https://doi.org/10.1080/14498596.2019.1646676>.
- Zhu, S., Yue, D., Chen, J., & Liu, Z. (2021). GPS+ Galileo+ QZSS+ BDS tightly combined single-epoch single-frequency RTK positioning. *Survey Review*, 53(376), 16-26.