T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GERÇEK ZAMANLI HASSAS NOKTA KONUMLAMA TEKNİĞİNİN DOĞRULUĞUNUN ARAŞTIRILMASI

Talha ESEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Programı

Danışman

Prof. Dr. Bahattin ERDOĞAN

Kasım, 2024

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GERÇEK ZAMANLI HASSAS NOKTA KONUMLAMA TEKNİĞİNİN DOĞRULUĞUNUN ARAŞTIRILMASI

Talha ESEN tarafından hazırlanan tez çalışması 08.11.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Geomatik Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Bahattin ERDOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Bahattin ERDOĞAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Taylan ÖCALAN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Ali Hasan DOĞAN, Üye
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Bahattin ERDOĞAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konumlama Tekniğinin Doğruluğunun Araştırılması başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Talha ESEN

İmza

TEŞEKKÜR

Akademik hayatım ve tez çalışma sürecim boyunca bilimsel katkılarıyla yoluma ışık tutan, yardımlarını esirgemeyen, bana her türlü desteği sağlayan kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Bahattin ERDOĞAN'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarım sırasında bilgi birikimiyle beni aydınlatan, karşılaştığım zorluklarda desteğini hiç esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Furkan KARLITEPE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Analizlerin yapılması sırasında desteğini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan Dr. Öğr. Üyesi Ali Hasan DOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Gözlemlerin değerlendirilmesi için lisanslı GipsyX yazılımını bilimsel çalışmalarda kullanılmak üzere sunan NASA Jet Propulsion Laboratory'ye, verilerini ücretsiz sunan IGS veri servis hizmetine ve BNC v2.12.18 yazılım desteği sağlayan BKG organizasyonuna teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca benden desteğini esirgemeyen aileme ve bu çalışmamda gösterdiği özverinin yanı sıra hayatımda karşılaştığım her zorlukta yanımda olan meslektaşım ve kıymetli nişanlım Merve Nur GÜLEÇ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Talha ESEN

İÇİNDEKİLER

KISALTMA LİSTESİ vi

ŞEKİL LİSTESİ viii

TABLO LİSTESİ xi

ÖZET xii

ABSTRACT xiv

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Taraması 2

1.2 Tezin Amacı 5

1.3 Hipotez 6

2 KÜRESEL KONUMLANDIRMA SİSTEMLERİ 7

2.1 Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri 7

2.1.1 GPS 8

2.1.2 GLONASS 9

2.1.3 Galileo....11

2.1.4 BeiDou....14

2.2 Konum Belirleme Yöntemleri 17

2.2.1 Bağıl (Rölatif) Konum Belirleme 18

2.2.2 Mutlak Konum Belirleme 18

3 METODOLOJİ 22

3.1 GipsyX v2.0 22

3.2 BKG Ntrip Client 23

3.3 Gerçek Zamanlı Çoklu GNSS Veri Sağlayan Servisler 23

3.3.1 BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie),....23

3.3.2 CNES (The Centre National d'Etudes Spatiales) 24

3.3.3 GFZ (German Research Centre for Geosciences) 24
3.3.4 GMV 24
3.3.5 SHAO (Shanghai Astronomical Observatory) 25
3.3.6 NRCan (Natural Resources Canada) 25
3.3.7 WHU (Wuhan University).....25
3.3.8 IGS (International GNSS Service).....25
3.4 Gelen mesajlar 26

4 UYGULAMA 32

5 SONUÇ 63

KAYNAKÇA 65

A İSTASYONLARIN FARKLI UYDU KOMBİNASYONLARINA AİT TOPOSENTRİK KOORDİNAT BİLEŞENLERİ 68

B BİRİNCİ DENEYE AİT MUTLAK ORTALAMA DEĞERLER 79

C SERVİSLERE AİT BÜTÜN RMS DEĞERLERİ 80

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 86

KISALTMA LİSTESİ

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BNC	BKG NTRIP Client
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
DGPS	Differential Global Positioning System
ECEF	Earth Centered Earth Fixed
ESA	Europen Space Agency
GEO	Geostationary Earth Orbit
GFZ	German Research Centre for Geosciences
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikova Sistema
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
GPX	GPS Exchange Format
HAS	High Accuracy Service
IGS	International GNSS Service
IGSO	Inclined Geosynchronous Satellite Orbit
JPL	Jet Propulsion Laboratory
MEO	Medium Earth Orbit
MGEX	Multi-GNSS Experiment
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NAVSAT	Navy Navigation Satellite System
NMEA	National Marine Electronics Association
NRCan	Natural Resources Canada
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
OSR	Observation Space Representation
PPP	Precise Point Positioning
PPP-RTK	Precise Point Positioning Real Time Kinematic
PP-PPP	Post Process Precise Point Positioning

PRS	Public Regulated Service
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services
RT-PPP	Real Time Precise Point Positioning
SHAO	Shanghai Astronomical Observatory
SoL	Safety of Life
SSR	State Space Representation
TCP	Transmission Control Protocol
WHU	Wuhan University

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 GLONASS uydu sisteminin kontrol, izleme ve yükleme istasyonları 11
Şekil 2.2 Galileo uydu sisteminin kontrol, izleme/yükleme istasyonları 13
Şekil 4.1 Deney 1 için seçilen 8 istasyon 32
Şekil 4.2 Çalışmada kullanılan örnek BNC programı arayüzü 34
Şekil 4.3 BNC yazılımı ile elde edilen sonuç dosyaları 35
Şekil 4.4 CZTG istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait kuzey değerleri 39
Şekil 4.5 CZTG istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait doğu değerleri 40
Şekil 4.6 CZTG istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait yukarı değerleri 40
Şekil 4.7 Birinci deneye ait ilk 20 dakikalık kuzey bileşen mutlak ortalama değerleri 44
Şekil 4.8 Birinci deneye ait ilk 20 dakikalık doğu bileşen bileşen mutlak ortalama değerleri 44
Şekil 4.9 Birinci deneye ait ilk 20 dakikalık yukarı bileşen mutlak ortalama değerleri 45
Şekil 4.10 Birinci deneye ait 20 dakika sonrası kuzey bileşen mutlak ortalama değerleri 45
Şekil 4.11 Birinci deneye ait 20 dakika sonrası doğu bileşen mutlak ortalama değerleri 46
Şekil 4.12 Birinci deneye ait 20 dakika sonrası yukarı bileşen mutlak ortalama değerleri 46
Şekil 4.13 CZTG istasyonunun uydu kombinasyonlarına göre RMS değerleri ... 48
Şekil 4.14 GOPE istasyonunun uydu kombinasyonlarına göre RMS değerleri ... 49
Şekil 4.15 MAW1 istasyonunun uydu kombinasyonlarına göre RMS değerleri . 50
Şekil 4.16 NYA2 istasyonunun uydu kombinasyonlarına göre RMS değerleri .. 51
Şekil 4.17 CZTG istasyonunun ürünlere göre RMS değerleri 52
Şekil 4.18 GOPE istasyonunun ürünlere göre RMS değerleri 52
Şekil 4.19 MAW1 istasyonunun ürünlere göre RMS değerleri 53
Şekil 4.20 NYA2 istasyonunun göre RMS değerleri 53

Şekil 4.21 BKG servisine ait RMS değerleri 54
Şekil 4.22 CNES servisine ait RMS değerleri 55
Şekil 4.23 GFZ servisine ait RMS değerleri 56
Şekil 4.24 GMV servisine ait RMS değerleri 57
Şekil 4.25 IGS servisine ait RMS değerleri 58
Şekil 4.26 IGS03 servisine ait RMS değerleri 59
Şekil 4.27 NRCan servisine ait RMS değerleri 60
Şekil 4.28 SHAO servisine ait RMS değerleri 61
Şekil 4.29 WHU servisine ait RMS değerleri 62
Şekil 5.1 GOPE istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait kuzey değerleri 68
Şekil 5.2 GOPE istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait doğu değerleri 69
Şekil 5.3 GOPE istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait yukarı değerleri 69
Şekil 5.4 GRAZ istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait kuzey değerleri 70
Şekil 5.5 GRAZ istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait doğu değerleri 70
Şekil 5.6 GRAZ istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait yukarı değerleri 71
Şekil 5.7 KIR8 istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait kuzey değerleri 71
Şekil 5.8 KIR8 istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait doğu değerleri 72
Şekil 5.9 KIR8 istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait yukarı değerleri 72
Şekil 5.10 MAW1 istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait kuzey değerleri 73
Şekil 5.11 MAW1 istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait doğu değerleri 73
Şekil 5.12 MAW1 istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait yukarı değerleri 74
Şekil 5.13 MAYG istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait kuzey değerleri 74
Şekil 5.14 MAYG istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait doğu değerleri 75
Şekil 5.15 MAYG istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait yukarı değerleri 75

Şekil 5.16 NYA2 istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait kuzey değerleri 76
Şekil 5.17 NYA2 istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait doğu değerleri 76
Şekil 5.18 NYA2 istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait yukarı değerleri 77
Şekil 5.19 ORID istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait kuzey değerleri 77
Şekil 5.20 ORID istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait doğu değerleri 78
Şekil 5.21 ORID istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait yukarı değerleri 78
Şekil 5.22 Birinci deneye ait ilk 20 dakikalık bütün yukarı bileşen mutlak ortalama değerleri 79
Şekil 5.23 Birinci deneye ait 20 dakika sonrası bütün yukarı bileşenlarin mutlak ortalama değerleri 79
Şekil 5.24 BKG servisine ait bütüm RMS değerleri 80
Şekil 5.25 GFZ servisine ait bütüm RMS değerleri 81
Şekil 5.26 GMV servisine ait bütüm RMS değerleri 82
Şekil 5.27 IGS servisine ait bütüm RMS değerleri 83
Şekil 5.28 NRC servisine ait bütüm RMS değerleri 84
Şekil 5.29 SHA servisine ait bütüm RMS değerleri 85

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 GPS sinyallerinin özellikleri 8
Tablo 2.2 GLONASS uydu sinyal bilgileri 10
Tablo 2.3 Galileo sinyallerinin özellikleri 12
Tablo 2.4 BeiDou sinyallerinin özellikleri 14
Tablo 2.5 GNSS sistemlerinin sinyal bilgileri 15
Tablo 2.6 PPP tekniğinin hata kaynakları 19
Tablo 3.1 İstasyonlardan gelen mesaj bilgileri 27
Tablo 3.2 Servislerden gelen düzeltme ürünleri 29
Tablo 4.1 Tez kapsamında kullanılan istasyonların konumları 33
Tablo 4.2 ITRF2014 sisteminde referans koordinatlar 36
Tablo 4.3 İstasyonlara ait yakınsama epok numaraları 41
Tablo 4.4 İkinci deney için tarih bilgileri 47

ÖZET

Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konumlama Tekniğinin Doğruluğunun Araştırılması

Talha ESEN

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Bahattin ERDOĞAN

Günümüz dünyasında konum belirleme hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olmuştur. GNSS ile konum belirleme ileri teknoloji gerektiren mühendislik hizmetleri ve otonom sistemlerin gelişmesi için gereklidir. Özellikle Hassas Nokta Konumlama (PPP-Precise Point Positioning) tekniğinin gerçek zaman (Real Time, RT) ve post-process (Post Process, PP) uygulamalarında konum hassasiyetini hata parametreleri önemli ölçüde etkilemektedir. GNSS hata parametrelerini, farklı uluslararası organizasyonlar ücretsiz olarak sunmaktadır. Günümüzde gerçek zamanlı PPP (RT-PPP) tekniği kullanımı geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Bu çalışmada RT-PPP çözümleri için BKG Ntrip Client yazılımı, PP-PP çözümler için GipsyX v2.0 yazılımı kullanılmıştır. RT-PPP yönteminin performansını değerlendirmek üzere iki farklı deney tasarlanmıştır. Bu deneylerde kullanılmak için yaklaşık aynı boylamda olmak üzere ilki için 8, ikincisi için 4 adet IGS (International GNSS Service) istasyonu seçilmiştir. Her iki deney kapsamında bu istasyonlardan 1 saniye aralıklı; GPS, GPS-GLONASS, GPS-GLONASS-Galileo ve GPS-GLONASS-Galileo-BeiDou uydu kombinasyonları gözlemleri yapılmıştır.

İlk deney için kullanılan yazılımda yayın efemerisi ve yörünge/saat düzeltme ürününü olarak IGS03 seçilmiştir. Diğer deneyde ise düzeltme ürünlerinin performansının araştırılması için BKG, CNE, GFZ, GMW, IGS, IGS03, NRC, SHA ve WHU olmak üzere 9 farklı yörünge/saat düzeltme ürünü kullanılmıştır. İlk 20 dakika, 20. dakika sonrası için karesel ortalama hata değerleri hesaplanmıştır. Bu gözlemler 4 farklı uydu kombinasyonunun her biri kendi içinde eş zamanlı olacak şekilde yapılmıştır. Yakınsama süresi konum hassasiyeti kuzey ve doğu için 0.1 m, yukarı için 0.3 m kabul edilmiştir. İlk deney sonucunda yalnız GPS ve GPS-GLONASS ölçümlerine kıyasla GPS-GLONASS-Galileo ve GPS-GLONASS-Galileo-BeiDou uydularının ortak çalışması, yakınsama süresini kısaltmış ve konum doğruluğunu iyileştirmiştir. İkinci deney sonucunda ise IGS03'ün diğer ürünlerden daha iyi performans sergilediği tespit edilmiştir. Aynı zamanda uydu sistemi sayısını arttırmak bu deneyde de konum doğruluğunu arttırmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gerçek zamanlı, hassas mutlak konum belirleme, çoklu GNSS, yakınsama, doğruluk.

ABSTRACT

Investigating the Accuracy of Real-Time Precise Point Positioning Technique

Talha ESEN

Department of Geomatic Engineering

Master of Science

Supervisor: Prof. Dr. Bahattin ERDOĞAN

In today's world, geolocation has become an essential part of our lives. GNSS positioning is essential for the development of high-tech engineering services and autonomous systems. Especially in real-time (RT) and post-process (PPP) applications of the Precise Point Positioning (PPP) technique, error parameters significantly affect the position accuracy. Different international organizations provide GNSS error parameters free of charge. Nowadays, the use of real-time PPP (RT-PPP) technique finds a wide range of applications. In this study, BKG Ntrip Client software was used for RT-PPP solutions and GipsyX v2.0 software was used for PP-PPP solutions. Two different experiments were designed to evaluate the performance of the RT-PPP method. For these experiments, 8 IGS (International GNSS Service) stations were selected for the first one and 4 IGS (International GNSS Service) stations were selected for the second one at approximately the same longitude. In both experiments, GPS, GPS-GLONASS, GPS-GLONASS-Galileo and GPS-GLONASS-Galileo-BeiDou satellite combinations were observed from these stations at 1 second intervals. In the software used for the first experiment, IGS03 was selected as the broadcast ephemeris and orbit/time correction product. In the other experiment, 9 different orbit/hour correction products, namely BKG,

CNE, GFZ, GMW, IGS, IGS03, NRC, SHA and WHU, were used to investigate the performance of the correction products. Squared mean squared error values were calculated for the first 20 minutes and after the 20th minute. These observations were made simultaneously for each of the 4 different satellite combinations. Convergence time position accuracy was assumed to be 0.1 m for north and east and 0.3 m for up. As a result of the first experiment, the joint operation of GPS-GLONASS-Galileo and GPS-GLONASS-Galileo-BeiDou satellites shortened the convergence time and improved the position accuracy compared to GPS and GPS-GLONASS measurements alone. The second experiment showed that IGS03 outperformed the other products. At the same time, increasing the number of satellite systems also improved the position accuracy in this experiment.

Keywords: Real-time, precise point positioning, multi GNSS, convergence, accuracy.

1
GİRİŞ

Günümüzde konum belirleme, mühendislik uygulamalarında olduğu kadar gündelik hayatımızda da yaygın olarak kullanılmaktadır. Gelişen Küresel Navigasyon ve Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems, GNSS) ile konum belirleme çalışmaları hızla artmıştır. Konum belirleme bağıl ve mutlak olmak üzere iki ana başlığa ayrılır. Bağıl konum belirleme yönteminde bir GNSS alıcısıyla birlikte sabit bir istasyona ihtiyaç duyulmaktadır. Mutlak konum belirleme yönteminde ise tek bir alıcı ile konum belirlemek mümkündür [1]. Bağıl konum belirleme yöntemi her ne kadar konum doğruluğu açısından mutlak konum belirlemeye göre daha iyi sonuçlar verdiğini kanıtlasa da sabit bir istasyona ihtiyaç duyması maliyet ve kullanış kolaylığı yönünden bir dezavantajdır [2-4]. Bu yüzden mutlak konum belirleme yöntemi olan hassas mutlak konum belirleme (Precise Point Positioning, PPP) üzerindeki çalışmalar hız kazanmıştır. Hassas nokta konumlama tekniğini üzerinde pek çok çalışma yapılmıştır [2-12].

Ölçüm sonrası PPP tekniği güvenilir sonuçlar verse de otonom araçlar ve bunun gibi birçok çalışmada ihtiyaç duyulan gerçek zamanlı PPP (Real Time Precise Point Positioning, RT-PPP) uygulamalarında, uzun yakınsama süresi nedeni ile istenilen güvenilirlik elde edilememektedir. Ancak uluslararası GNSS servisi (International GNSS Service, IGS)'nin son yıllarda gerçek zamanlı uydu verisi sağlamaya başlaması ile birlikte RT-PPP çalışmalarının sayısında artış olmuştur [13].

Günümüzde IGS in yanı sıra birçok servis, gerçek zamanlı GNSS verisi sağlamaya başlamıştır. GNSS sistemine yeni katılan uydu sistemlerinin konfigürasyonlarıyla ve gerçek zamanlı veri sağlayan servislerle birlikte RT-PPP yöntemindeki dezavantaj olan yakınsama süresini kısaltmak için çalışmalar yapılmaktadır [5], [9], [12].

Bu çalışmada ise gerçek zamanlı hassas nokta konumlandırma uygulamalarında enlem etkisi göz önünde bulundurularak, uydu sistemlerinin birlikte kombinasyonunun konum doğruluğuna ve yakınsama süresine olan etkisi, BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie), CNES (The Centre National d'Etudes Spatiales), SHAO (Shanghai Astronomical Observatory), GFZ (German Research Centre for Geosciences), GMV, NRCan (Natural Resources Canada), IGS ve WHU (Wuhan University) servis sağlayıcılarının GPS, GLONAS, Galileo ve BeiDou uydu sistemlerinden elde edilen verileri, farklı enlemlerdeki 8 istasyon kullanılarak incelenmiştir

1.1 Literatür Taraması

Gerçek zamanlı hassas nokta konumlandırma ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Karadeniz vd. (2023); akıllı telefondan elde ettikleri gözlem verilerini, sabit bir GNSS alıcısı kullanılarak alınan ölçümlerle kıyaslanıştır. Bu gözlem verileri IGS, CNES, JAXA ve WHU olmak üzere 4 farklı servis hizmeti yardımıyla RT-PPP tekniği kullanarak işlenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde CNES ürünlerinin daha yüksek doğruluk vermesiyle birlikte 4 farklı servisin sonuçlarının hem yatay düzlemde hem de düşey doğrultuda milimetre seviyesinde birbirleriyle uyumlu oldukları gözlenmiştir. Veri analizinde kullanılan akıllı telefonun günümüzde yaygın olan akıllı telefonlara yazılımsal ve donanımsal özellik bakımından görece daha zayıf olmasına rağmen yüksek doğruluklu güvenilir sonuçlar vermesi, RT-PPP yönteminin akıllı telefonlarda kullanımının yaygınlaşmasının önünü açacağı belirtilmiştir [5].

Li vd. (2023); gerçek zamanlı ürünler yardımı ile akıllı telefonların PPP performansını GPS, Galileo, GLONASS ve BeiDou uydu sistemlerini kullanarak değerlendirmiştir. Yapılan araştırmaların neticesinde GPS ve Galileo'nun yörünge saat ve kayıklık performansının BeiDou ve GLONASS'tan daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca akıllı telefon ile yapılan gerçek zamanlı statik PPP çözümlerinin desimetre düzeyinde olduğuna, kinematik PPP'nin ise yakınsama sonrasında metre düzeyinde konum doğruluğuna ulaşacağı sonucuna varılmıştır. Bu deney Huawei Mate40 ve P40 tarafından gözlemlenebilen toplam 30 uydu ile gerçekleştirilmiştir. Araştırmada kullanılan iki akıllı telefondan Huawei P40, en iyi performansını GPS/BeiDou/Galileo kombinasyonunda göstermektedir [6].

Turgut ve Alçay (2019); IGS-RTS (Real Time Service) istasyonlarından biri olan ISTA istasyonundan elde ettikleri verileri ile BKG Ntrip Client (BNC) v.2.12 yazılımını kullanarak RT-PPP performansını test etmişlerdir. Araştırmacılar çoklu uydu sistemlerinin konum doğruluğuna olan etkisini araştırmak için bu araştırmada hem GPS hem de GPS-GLONASS uydu kombinasyonlarını kullanmışlardır. Eş zamanlı olarak 1 saniye aralıklarla, 2'şer saatlik üç zaman diliminde yaptıkları gözlemler sonucunda elde ettikleri koordinat verilerini analiz etmişlerdir. Bu veriler, referans kabul ettikleri CSRS-PPP yazılımı ile ilgili günde istasyonun 24 saatlik gözlem dosyası kullanılarak statik değerlendirme sonucunda hesapladıkları koordinat değerleri ile kıyaslanmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre tüm bileşenlerde ilk yakınsama süresi dikkate alınmadığında 10 cm'den daha iyi bir doğruluğa ulaşmışlardır. Ayrıca GPS-GLONASS uydu kombinasyonun tüm bileşenlerde daha iyi sonuç verdiği açıkça görülmüştür. Buna ek olarak en iyi sonuçların son zaman diliminde (22:38-00:38) elde edildiği belirtilmiştir [7].

Nie vd. (2017); hassas iyonosfer ürünleri ile tek frekanslı iyonosferik düzeltilmiş kod ölçümlerini kullanarak PPP yönteminin en büyük dezavantajı olan düşük maliyetli GNSS alıcılarında yakınsama süresini azaltmak için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemin performansını hem sabit (statik) hem de otomotiv saha testleri (kinematik) olarak gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlara göre yöntemin doğruluğu başlarda yatayda düzlemde yaklaşık yarım metre iken yakınsama süresinin birkaç dakikaya kadar düştüğünü görülmüştür [8].

Karlıtepe (2017); PPP tekniğinin performansını dördü aynı boylamda farklı enlemlerde, 3'ü farklı boylamlarda ve farklı enlemlerde olmak üzere 7 IGS istasyonundan elde ettiği verileri, 4 farklı yörünge/saat düzeltme ürünü kullanarak hem RT-PPP hem de ölçü sonrası PPP (Post Process-PPP) olarak analiz etmiştir. Bu çalışmada günün 4 farklı saat diliminde oturumlar yapılarak, güneş ışınlarının konum doğruluğuna olan etkisi de araştırılmıştır. Buna ek olarak aynı boylam üzerinde tercih edilen istasyonlardan elde edilen verilerle iyonosfer tabakasındaki serbest iyon miktarının RT-PPP yönteminin konum doğruluğuna olan etkisi araştırılmıştır. Ayrıca bu çalışma kapsamında çoklu uydu kombinasyonlarının RT-PPP yöntemine etkisini araştırmak amacıyla analizler hem GPS hem de GPS-GLONASS uydu kombinasyonu için tekrarlanmıştır. GPS-GLONASS sisteminin birlikte kullanılması sadece GPS sisteminin kullanılmasına göre daha iyi sonuçlar

verdiği tespit edilmiş ve aynı zamanda yakınsama süresinin kısaldığı gözlemlenmiştir [9].

Alçay ve Turgut (2021); 6 adet IGS RTS istasyonu seçerek bu istasyonlarda GPS, GPS-GLONASS ve GPS-GLONASS-Galileo-BeiDou uydu kombinasyonlarında BNC yazılımını kullanarak RT-PPP yönteminin performansını incelemişlerdir. 1 saniye aralıklarla 4 saat boyunca elde ettikleri verilerini, CSRS-PPP online servisiyle 24 saatlik gözlem verilerini ölçü sonrası analiz ederek karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlarda Galileo ve BeiDou uydu sistemlerinin GNSS sistemine dahil edilmesiyle RT-PPP yönteminde olumlu sonuçlar görülmüştür. Bu araştırma, çoklu GNSS kullanımının, RT-PPP uygulamaları için daha iyi sonuçlar ortaya koyacağını göstermiştir [10].

Ramachadran vd. (2019); IGS İstasyon Ağı ve hassas ürünlerini kullanarak RT-PPP ve statik GPS tekniğinin konumlandırma doğruluğunu değerlendirmiş, RT-PPP'nin kadastro çalışmaları için güvenirliğini araştırmıştır. Buna ek olarak hassas GPS yörüngesi ve saat bilgileri yardımı ile çift frekanslı bir alıcı olan Hemisphere Atlas'ın performansını RT-PPP yöntemi için analiz etmiştir [11].

Karlıtepe vd. (2021); GPS, GPS-GLONASS, GPS-GLONASS-Galileo, GPS-GLONASS-Galileo-BeiDou gibi çoklu uydu kombinasyonlarının RT-PPP yönteminin konum doğruluğuna ve yöntemin en büyük dezavantajı olan yakınsama süresine olan etkisini araştırmıştır. Bu bağlamda IGS-MGEX'ten KOUG ve SCRZ istasyonları seçilmiş olup 1 saniye aralıklarla 3 saatlik gözlemlerin analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler BNC v2.12.6 yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Gözlem verilerden elde edilen RINEX dosyaları kullanılarak GIPSY OASIS II v6.4 yazılımında PP-PPP yöntemi ile referans koordinatlar hesaplanmıştır. Daha sonra RT-PPP yönteminden elde edilen koordinatlardan referans koordinatlar çıkartılarak koordinat farkları elde edilmiştir. Araştırmaların sonucunda koordinat farklarının ortalama değerlerinin birden fazla uydu kombinasyonunun bir arada kullanılmasıyla sıfıra daha yaklaştığı görülmektedir. Ayrıca kuzey bileşeni için GPS-GLONASS-Galileo-BeiDou uydu kombinasyonun en iyi sonuç verdiği kanıtlanmıştır. Birden fazla uydu kombinasyonun kullanılmasının yakınsama süresine de olumlu yönde etki ettiği sonucuna da varılmıştır [12].

1.2 Tezin Amacı

Yapılan çalışmalar dikkate alındığında gerçek zamanlı hassas nokta konumlandırma çalışmaları küresel uydu sistemlerinin sayısının artması ve Çoklu-GNSS verisi sağlayan kuruluşların artmasıyla hız kazanmıştır. RT-PPP yönteminde mühendislik uygulamaları için büyük dezavanj olan yakınsama süresini kısaltma ve konum hassasiyetini arttırma çalışmaları devam etmektedir [13].

Li vd. (2015); Çoklu-GNSS çözümleri ile yakınsama süresinin %70 kısaldığını, konum belirleme doğruluğunun ise %25 arttığını vurgulamıştır [14]. Xia vd. (2019); Galileo sisteminin diğer uydu sistemlerine olan katkısını incelediği çalışmasında, Galileo kullanımının sadece GPS çözümlerine göre yakınsama süresini %30.45, GPS/GLONASS kombinasyon süresini ise %7.80 azalttığını gözlemlemiştir[15]. Öğütcü (2019); GipsyX yazılımı ile 6 IGS istasyonunun farklı gözlem sürelerine ait Çoklu-GNSS verilerini değerlendirdiği çalışmasında; farklı uydu sistemlerinin özellikle kısa süreli gözlemlerin analizine büyük oranda katkı yaptığı sonucuna varmıştır [16].

Çalışmalar incelendiğinde, RT-PPP yönteminin gelişimine katkı sağlamak için, uydu sistemlerinin sayısının artmasıyla birlikte gerçek zamanlı Çoklu-GNSS verisi sunan servis sağlayıcılarının bu artışa nasıl tepki vereceğinin kapsamlı bir şekilde incelenmesi önemlidir.

Son yıllarda artan Çoklu-GNSS verisi sağlayan servis sağlayıcıları ve gelişen GNSS sistemleri, mühendislik çalışmaları için gelişmesi elzem olan ve yeterli doğruluğa ulaştığında hayatımızın birçok alanında kolaylık sağlayacak gerçek zamanlı hassas nokta konumlandırma tekniğinin en büyük dezavantajı olan yakınsama süresini kısaltma çalışmalarında kullanılmaktadır. Çoklu-GNSS veri sağlayan servislerin ve GNSS sistemlerinin birlikte kullanılması durumunda servislerin ve uydu sistemlerinin gerçek zamanlı hassas nokta konumlandırma doğruluğu bakımından incelenmesi bu çalışmanın ana motivasyon kaynağıdır. Bu kapsamda RT-PPP uygulamalarında güncel veri sağlayıcıların performanslarının çoklu-GNSS ölçümlerinde araştırılması amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Son zamanlarda otonom sistemlerinin ve ileri teknoloji gerektiren mühendislik hizmetlerinin GNSS konum belirleme yöntemlerine olan ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Hiç şüphesiz bu yöntemler arasında en çok dikkat çeken ise PPP'dir. Ne yazık ki PPP tekniğinde fark alma teknikleri kullanılmadığı için hata kaynakları model içerisinde yer almaktadır. Bunun yanı sıra mutlak nokta konumlama yöntemi olan PPP'nin özellikle gerçek zamanlı uygulamalarda yaygın halde kullanılmasının önündeki en büyük engel ise yakınsama süresidir. Literatür taramasında yapılan çalışmalar incelendiğinde farklı uydu kombinasyonlarının konum doğruluğuna olan etkisi göze çarpmaktadır. Günümüzde çoklu-GNSS sistemlerinin gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılması konum doğruluğunu arttıracak ve yakınsama süresini azaltacaktır. Ayrıca farklı uydu kombinasyonlarının birlikte kullanılmasının yanı sıra farklı yörünge saat düzeltmeleri kullanan GNSS analiz merkezlerinin de konum doğrulukları ve yakınsama süreleri farklı olacaktır.

2
KÜRESEL KONUMLANDIRMA SİSTEMLERİ

2.1 Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri

İlk olarak navigasyon amaçlı geliştirilen GPS sistemi teknolojik gelişmeler sonucunda konum doğruluğunun artmasıyla birlikte, başta jeodezi olmak üzere yer bilimlerinde de aktif bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde, uzun ölçüm süreleri ile elde edilen statik ölçülerin faz gözlemleri ve ölçü sonrası analizlerle 1-10 cm doğruluk ile analiz edilebildiği ortaya konmuştur. Zamanla sistem için GLONASS, Galileo ve BeiDou uydu sistemlerinin GPS ile birlikte kullanılmasıyla daha genel bir tanım olan GNSS adı kullanılmaya başlanmıştır [17].

GNSS, dünya genelinde konum, hız ve zaman bilgilerini sağlamak amacıyla kullanılan uydu tabanlı sistemlerdir. GNSS, çeşitli uydu sistemleri ve yer kontrol segmentleri aracılığıyla çalışır ve kullanıcıların dünya üzerindeki konumlarını yüksek doğrulukla belirlemelerini sağlar. İlk kez askeri uygulamalar için kullanılmaya başlanan küresel uydu sistemleri zaman içinde sivil uygulamalar için de kullanıma hazır hale gelmiştir [4]. Günümüzde ise ağırlıklı olarak insansız hava araçları, her türlü askeri araç ve teçhizatın konumlandırılması gibi askeri alanlarda, coğrafi bilgi sistemleri uygulamaları, deformasyonların izlenmesinde, jeoloji çalışmalarında, uzaktan algılama çalışmalarında, jeodezik ölçümlerde, haritacılık gibi bilimsel araştırmalarda, kullanılmaya devam etmektedir.

GNSS, modern yaşamın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiş ve çok çeşitli uygulamalarda kullanılarak önemli avantajlar sağlamıştır. Bu sistemler, küresel konumlandırma, zaman senkronizasyonu ve navigasyon çözümleri sunarak hem günlük yaşamda hem de profesyonel alanlarda büyük kolaylıklar getirmektedir.

Küresel anlamda ilk sistem Amerika'ya ait olan GPS sistemidir. Daha sonra bunu Rusya'ya ait olan GLONASS takip etmistir. Sonrasında Avrupa Birliği ilk iki sisteme alternatif olacak Galileo uydu sistemini devreye almıştır ve son olarak Çin BeiDou uydu sistemiyle küresel konum belirleme sistemi yarışına dahil olmuştur.

2.1.1 GPS

Konum belirleme amaçlı uydu sistemleri içerisinde en yaygın olan hiç şüphesiz GPS'tir. İlk uydusu 18 Nisan 1960 yılından fırlatılan NAVSAT (Navy Navigation Satellite System) ABD tarafından ilk kez askeri uygulamalar için geliştirilmiştir. NAVSAT, Dünya'dan yaklaşık 1100 km yükseklikte 6 uydu yer almaktadır ve sistemden elde edilen doğruluklar oldukça düşüktür. Birkaç günlük ölçüyle en fazla desimetre mertebesinde bir doğruluk sağlanabilmiş, ancak bu seviye ne yazık ki navigasyon hizmetleri için yeterli bulunmamıştır. ABD Savunma Dairesi, NAVSAT sistemi yerine hava koşullarından etkilenmeden sürekli gözlem yapabilen ve yeryüzünde tek anlamlı ve doğru konum belirlemeye olanak tanıyan bir sistem olan NAVSTAR/GPS'i geliştirmiştir. Minimum 4 uydunun görülmesiyle birlikte oldukça yüksek konum doğruluğu sunan GPS sistemi gece ve gündüz fark etmeksizin 24 saat ölçüm yapmaya imkân tanır [18-20] GPS sistemi 3 ana bölümden oluşur:

- Uzay bölümü
- Kontrol bölümü
- Kullanıcı bölümü

GPS sinyalleri f_o=10.23 MHz olarak kabul edilen temel frekansın katsayılarla çarpılması sonucu elde edilir. GPS sinyallerinin frekans ve dalga boyları, Tablo 2.1'de verilmiştir [17-18].

Tablo 2.1 GPS sinyallerinin özellikleri

Sinyal	Katsayı	Frekans (MHz)	Dalga Boyu (cm)
L_1	**154**	**1575.42**	**19.0**
L_2	**120**	**1227.60**	**24.4**
L_5	**115**	**1176.45**	**25.5**

GPS sinyalleri çift frekanslı çalışır. Böylece iyonosferde meydana gelen atmosferik hataların büyük ölçüde giderilmesini sağlar. Bunun yanı sıra sinyallerden birinin arızalanması durumunda diğer sinyalin yedeği olarak görev yapar. L_1 ve L_2 frekansları, sivil kullanıcılar için tasarlanan C/A (Coarse/Acquisition) kod ve hem askeri hem de sivil kullanıma açık P (Precision/Protected) kod olarak adlandırılan PRN (Pseudo Random Noise) kodu ve navigasyon mesajı içerir. L_5 sinyali ise ulaşım ve hassas konum gerektiren yüksek performanslı projeler için tasarlanan üçüncü sivil GPS sinyali olmasının yanı sıra dünya çapındaki kullanıcılara en gelişmiş sivil GPS sinyalini sağlamaktadır [17].

Saniyede 50 bitlik veri akışına sahip navigasyon mesajı, uydunun yörüngesi, uydunun sağlığı, bazı düzeltme verileri, çeşitli mesajlar ve diğer veri mesajları gibi bilgiler içermektedir. Buna ek olarak uydu ile alıcı saati arasındaki zaman sapmaları yayınlanmaktadır. Belirli periyotlarda güncellenen GPS navigasyon mesajları kontrol istasyonları tarafından uydulara yüklenmektedir [18].

2.1.2 GLONASS

GLONASS, (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikova Sistema) Rusya tarafından geliştirilen bir uydu sistemidir. Hassas doğruluk ve küresel kapsama sağlayarak, navigasyon, acil durum hizmetleri, tarım, haritalama ve bilimsel araştırmalar gibi çok çeşitli alanlarda geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Bu özellikleriyle, GNSS teknolojisinin önemli bir bileşeni olarak öne çıkar.

İlk GLONASS uydusu olan COSMOS 1982 yılında fırlatılmış ve GLONASS uydu sistemi Ocak 1996'da tamamlanmıştır. Rusya bu uydu sistemini önce denizcilere yüksek doğruluğa sahip koordinat bilgisi vermek için tasarlamıştır. 1992 yılına kadar askeri gizlilik nedeniyle koordinat verileri sivil kullanıcılarla paylaşılmamıştır. 1995 yılında kurulan Rus Uzay Kuvvetleri Bilimsel Bilgi Merkezi (Coordinational Scientific Information Center of the Russian Space Forses) sivil kullanıcılarla koordinat verilerini paylaşmaktadır [18], [21].

GLONASS uydu sisteminin çalışma prensibi GPS'e oldukça benzemektedir. Rusya federasyonu sınırları içinde 8 adet yer kontrol istasyonu bulunmaktadır. Bunun yanı sıra GPS'in ana kontrol merkezi gibi görev yapan sistem kontrol merkezi tüm sistemin çalışmasını kontrol ederek yönetmektedir. Merkezi eşleştiricinin sinyalleri şekillendirmesinin ardından bu verileri Faz Kontrol Sistemi adı verilen uydudan

gönderilen sinyalleri kumanda eden bölüme iletir. Yer kontrol biriminde Sistem Kontrol Merkezi, Yer İzleme İstasyonları ve Yer İzleme İstasyonlarının yanı sıra dünya koordinat sistemini ve gravitasyonel alan modellerini belirlemek ve uyduların uzaklıklarını ölçmek için çalışan Laser Kontrol İstasyonları bulunmaktadır [18].

Uzay biriminde ise 18840-19940 km yükseklikte, yaklaşık 65° eğimli 3 dairesel yörüngede dönen 24 uydu bulunmaktadır. Her GLONASS uydusu, kendi konumunu sürekli olarak yayınlar. Ancak yayınlanan bu veriler, Yer-Merkezli Yer-Sabit (ECEF=Earth-Centered-Earth-Fixed) koordinatlar ve ekstrapolasyon terimleri formundadır. GLONASS uyduları bu yönüyle GPS'ten ayrılır. Çünkü GPS uyduları, yörüngesel bilgileri yayınlar. GLONASS, GPS'ten farklı olarak her uydu için farklı koherent sinyal kullanır. GLONASS uyduları, L1 ve L2 frekanslarında açık sinyalleri içermesiyle GPS'e benzer. Bunun yanı sıra GLONASS uyduları CDMA (kod bölmeli çoklu erişim) modülasyonu yerine tipik olarak FDMA (frekans bölmeli çoklu erişim) modülasyonunu kullanarak navigasyon sinyallerini iletmesi yönüyle diğer uydu sistemlerinden ayrışır. Ayrıca bu yöntem sayesinde dar bantlı parazitlere karşı daha iyi koruma sağlar. Rusya 2011 yılından itibaren modernizasyon projesi kapsamında sistem karmaşıklığını gidermek adına 202.025 MHz'de CDMA (L3) ile ek bir sinyal sunan GLONASS-K uydularını fırlatmıştır. GLONASS sitemine ait sinyal bilgileri Tablo 2.2'de gösterilmiştir [21-22]

Tablo 2.2 GLONASS uydu sinyal bilgileri

Sinyal Bandı	**Sinyal İsmi**
L1	**L1OF (Open Service)**
	L1SF (Special Service)
L2	**L2OF (Open Service)**
	L2SF (Special Service)

Tablo 2.3 GLONASS uydu sinyal bilgileri (devamı)

L3	**L3OC (Open Code)**
L1-C/A	**C/A (Coarse/Acquisition)**

Kullanıcı birimi ise yapı olarak GPS'e oldukça benzemektedir. Şekil 2.1'de GLONASS uydu sisteminin kontrol, izleme ve yükleme istasyonları harita üzerinde gösterilmiştir [21].



Şekil 2.1 GLONASS uydu sisteminin kontrol, izleme ve yükleme istasyonları

2.1.3 Galileo

Avrupa Birliği ve Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency, ESA) yüksek konum duyarlığına sahip üstelik sivil kullanıma yönelik Galileo adını verdikleri küresel uydu navigasyon sistemini geliştirmiştir. ESA'nın küresel konum belirleme sistemi olan Galileo için ilk adımı 2005 yılında GIOVE-A ve 2008 yılında GIOVE-B olmak üzere iki uydunun yörüngeye fırlatılmasıyla atmıştır. 21 Ekim 2011 tarihinde 2 operasyonel uydu, sistemi doğrulamak için devreye girmiştir. Ardından 12 Ekim 2012 tarihinde sistemin doğruluğunu arttırmak için yörüngeye 2 uydu daha eklenmiştir. İlk kez 2020 yılında tam faaliyet göstermesinin ardından 2024 yılı itibariyle yörüngesinde 25 aktif 7 pasif olmak üzere toplam 32 uydu bulunmaktadır [2].

23222 km yükseklikte yer alan uydular ekvator düzlemi ile 56 derecelik eğim yapar ve 3 yörünge düzleminde hareket eder. Ayrıca her uyduda bir navigasyon eklentisi ve Arama ve Kurtarma (SAR) vericisi mevcuttur. Bu uydular yörünge düzlemleri ile 120 derecelik açı yapar. Galileo uydularının periyotları ise 14 saat 4 dakika sürmektedir [18], [19]. Galileo uydularına ait sinyallerin özellikleri Tablo 2.3'te verilmiştir [22].

Tablo 2.4 Galileo sinyallerinin özellikleri

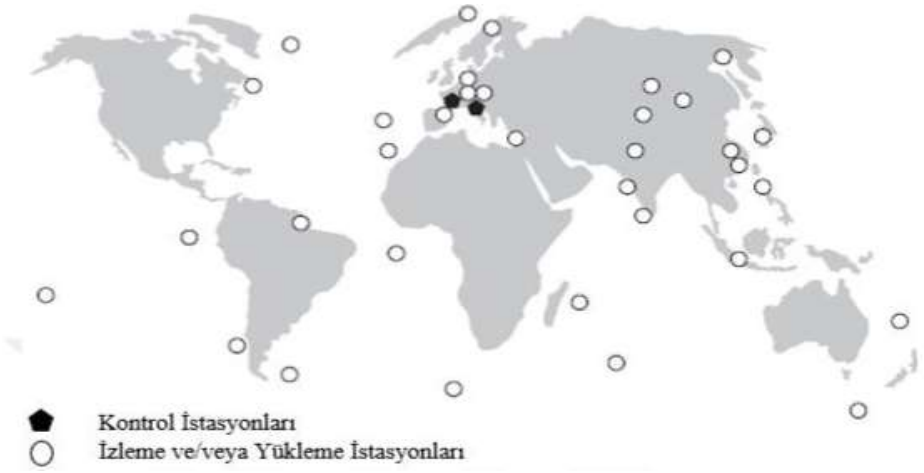
Sinyal	**Frekans (MHz)**
E1-I	**1575.42**
E1-Q	**1575.42**
E2-I	**1561.098**
E2-Q	**1561.098**
E5a-I	**1176.45**
E5a-Q	**1176.45**
E5b-I	**1207.14**
E5b-Q	**1207.14**
E6-I	**1278.75**
E6-Q	**1278.75**
L6	**1544.71**

Galileo uydularına ait sinyallerden ikisi GPS sinyalleriyle (L_1 ve L_5) aynı frekans değerindedir. Açık Hizmet (OS: Open Service), Yüksek Doğruluk Hizmeti (HAS: High Accuracy Service), Kamu Düzenlenmiş Hizmet (PRS: Public Regulated

Service) ve Can Güvenliği Hizmeti (SoL: Safety of Life) olmak üzere 4 farklı hizmet sunmaktadır. Galileo uydularının kullanımı tıpkı GPS ve GLONASS gibi ücretsizdir. Tek frekanslı alıcılarda yatayda 8 m düşeyde 35 m hassasiyetle, çift frekanslı alıcılarda ise yatayda 8 m düşeyde 15 m doğrulukla konum hizmeti sunmaktadır [18-19], [22].

GPS uyduları Avrupa'daki kuzey ülkeler için yetersiz kalırken Galileo bu bölge için daha iyi bir kapsama alanına sahiptir. HAS, gelişmiş performans ve işletim sistemi sayesinde daha güvenilir verilere sahiptir. Buna ek olarak ücretsiz yaklaşık 1 cm düzeyinde konum doğruluğu sunmasının yanı sıra ticari ve diğer yazılımların geliştirilmesine de imkân tanımaktadır. Galileo HAS, E6 bandındaki ve OS E1 bandındaki sinyallerin birleşimini kullanarak herkesin erişimine açık konum hizmeti sağlar. PRS ise biraz daha spesifik olup devlet tarafından yetki verilen kolluk kuvvetlerine sınırlı konum ve zamanlama bilgileri hizmeti sunar. SoL hizmeti ise yeterli doğruluğa ulaşmadığında kullanıcıları uyararak bir bütünlük sağlamaktadır. Galileo uyduları uluslararası uyduların yardımıyla arama kurtarma çalışmaları yürüten bir kuruluş olan Cospas-Sarsat tarafından sağlanan E1 ve L6 bantlarını kullanan sinyalleri tespit edebilir [6], [19].

Galileo uydu sisteminin yer kontrol bölümü Oberpfaffenhofen (Almanya) ve Fucino (İtalya) olmak üzere iki ana kontrol merkezinden meydana gelir. Şekil 2.2'de Galileo uydu sisteminin kontrol, izleme/yükleme istasyonlarının yer aldığı harita verilmiştir. Birden fazla ana kontrol merkezinin olması ise Galileo uydu sisteminin güvenirliğini arttıran etmenlerdendir [21].



Şekil 2.2 Galileo uydu sisteminin kontrol, izleme/yükleme istasyonları

2.1.4 BeiDou

BeiDou, ekvator düzlemiyle 55 derece eğimli açı yapan 6 adet GEO (Geostationary Earth Orbit: Jeostatik Dünya Yörüngesi) uydusu, 10 adet IGSO (Inclined Geosynchronous Satellite Orbit: Eğik Jeosenkron Uydu Yörüngesi) uydusu ve 27 adet MEO (Medium Earth Orbit: Orta Dünya Yörüngesi) uydusu olmak üzere 3 çeşit uydudan oluşan Çin Halk Cumhuriyeti'ne ait hem bölgesel hem de küresel hizmet sunan bir GNSS sistemidir. Yaklaşık 21528 kilometre yükseklikte yer alan BeiDou uyduları periyodunu 12 saat 53 dakika 24 saniyede tamamlar. Sinyallerin frekansı göz önüne alındığında GPS ve Galileo ile benzerlik göstermektedir [14-15]. BeiDou sinyallerinin özellikleri Tablo 2.4'de verilmiştir [22].

Tablo 2.5 BeiDou sinyallerinin özellikleri

Sinyal	Frekans
B1-I	**1561.098**
B1-Q	**1561.098**
B1-C	**1575.42**
B1-A	**1575.42**
B2-I	**1207.14**
B2-Q	**1207.14**
B2a	**1176.45**
B2b	**1207.14**
B3-I	**1268.52**
B3-Q	**1268.52**
B3-A	**1268.52**

Yüksek yörüngelerde daha fazla uyduya sahip olduğu için ekvatora yakın bölgelerde oldukça iyi performans sergilemektedir. Ayrıca BeiDou uyduları çoklu frekansların navigasyon sinyallerini kullanma kapasitesinden dolayı konum doğruluğunu kolaylıkla iyileştirmektedir. Buna ek olarak BeiDou uyduları küresel konumlandırma ve iletişim işlevini birlikte kullanır. Bu sayede navigasyon, uluslararası arama kurtarma, hassas nokta konumlandırma gibi birçok hizmet sağlamaktadır. Tıpkı diğer izleme istasyonlarında olduğu gibi uyduları takip eden izleme istasyonları elde ettiği verileri ana kontrol istasyonuna iletir. Daha sonra ana kontrol istasyonu elde ettiği bu verileri uydu yörünge bilgisi ve uydu saati düzeltme verilerine ekleyerek yükleme istasyonlarına gönderir. Yükleme istasyonları ise bu verileri tüm uydulara günde minimum bir kez aktarır. Bu döngünün neticesinde uydular, yörünge bilgilerini radyo sinyalleri ile birlikte GNSS alıcılarına iletir [16].

Tez çalışması kapsamında kullanılan 4 uydu sistemine ait sinyal tipi ve kullanıcı bilgileri Tablo 2.5'de verilmiştir [6], [12], [15], [17-19], [22].

Tablo 2.6 GNSS sistemlerinin sinyal bilgileri

Sistem	Sinyal Tipi	Taşınan Bilgi	Kullanıcı
GPS	L1 (C/A Kodu)	Navigasyon mesajı, pozisyon bilgisi	Sivil kullanıcılar
	L1 (P(Y) Kodu)	Şifreli sinyal, yüksek hassasiyet	Askeri kullanıcılar
	L2C	Daha yüksek doğruluk	Sivil kullanıcılar
	L5	Uçuş güvenliği, kritik görevler	Havacılık, kritik görevler
	L3	Algılama verileri	Askeri kullanıcılar

Tablo 2.5 GNSS sistemlerinin sinyal bilgileri (devamı)

	L6	**Hassas sinyal, araştırmalar**	**Araştırmacılar**
GLONASS	**L1 (C/A Kodu)**	**Navigasyon mesajı, pozisyon bilgisi**	**Sivil kullanıcılar**
	L1 (P Kodu)	**Şifreli sinyal, yüksek doğruluk**	**Askeri kullanıcılar**
	L2 (C/A Kodu)	**Hassasiyetli pozisyon bilgisi**	**Sivil kullanıcılar**
	L2 (P Kodu)	**Şifreli sinyal, yüksek hassasiyet**	**Askeri kullanıcılar**
	L3	**Acil durum sinyali**	**Arama kurtarma ekipleri**
	L5	**Uçuş güvenliği, kritik görevler**	**Havacılık, kritik görevler**
Galileo	**E1 (OS)**	**Navigasyon mesajı, pozisyon bilgisi**	**Sivil kullanıcılar**
	E5a	**Uçak ve hassas uygulamalar**	**Havacılık kullanıcıları**
	E5b	**Daha hassas uygulamalar**	**Sivil kullanıcılar**
	E5 (Altbant)	**Hassasiyet ve çoklu yol azaltma**	**Sivil kullanıcılar**

Tablo 2.5 GNSS sistemlerinin sinyal bilgileri (devamı)

	E6 (Ticari Hizmet - CS)	**Şifreli sinyal, yüksek doğruluk**	**Ticari kullanıcılar**
	E1 (SAR)	**Acil durum sinyalleri**	**Arama kurtarma ekipleri**
BeiDou	**B1I**	**Navigasyon mesajı, pozisyon bilgisi**	**Sivil ve askeri kullanıcılar**
	B1C	**Gelişmiş doğruluk**	**Sivil kullanıcılar**
	B2a	**Uçuş güvenliği, havacılık**	**Havacılık kullanıcıları**
	B2b	**Daha yüksek doğruluk**	**Sivil kullanıcılar**
	B3I	**Şifreli sinyal, güvenli uygulamalar**	**Askeri kullanıcılar**
	B3Q	**Ticari sinyal**	**Ticari kullanıcılar**

2.2 Konum Belirleme Yöntemleri

Günümüzde sıklıkla kullanılan navigasyon hizmetlerine ek olarak konum belirleme, deformasyon izleme gibi birçok mühendislik uygulamasında kullanılan GNSS'in alt yapısında farklı ülkeler tarafından geliştirilen GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou uydu sistemleri bulunur. GNSS yöntemi ile ölçümlerden elde edilen noktaların cinsine, ölçüm amacına ve ölçüm hassasiyetine göre farklı ölçme yöntemleri kullanılır. GNSS ile konum belirleme yöntemleri en az 2 GNSS alıcısına

gereksinim duyan bağıl ve tek bir GNSS alıcısı ile konum hizmeti sunan mutlak konum belirleme olmak üzere iki ana başlıkta incelenebilir [22].

Tek frekanslı alıcılar ile sadece C/A kod ölçülerinin tek nokta konum belirleme yöntemi olan SPP (Single Point Positioning) ve çift frekanslı alıcılar ile hem kod hem de faz ölçülerinin birlikte kullanıldığı PPP mutlak konum belirleme yönteminin iki uygulamasıdır. SPP yönteminde iyonosferik hatalar çoklu frekanstaki alıcılarda olduğu gibi giderilemediği için konum doğruluğu 1-10 m arasında değişmektedir. Bu yöntem genel olarak araç ve cep telefonu navigasyon uygulamalarında kullanılırken, hassas konum doğruluğu gerektiren mühendislik çalışmalarında kullanılamaz. Çift frekanslı alıcıların kullanıldığı PPP yöntemi ise, iyonosfer bağımsız kombinasyonlar ile iyonosfer hata kaynakları, büyük oranda giderilerek cm düzeyinde doğruluk sunabilmektedir [23-26].

2.2.1 Bağıl (Rölatif) Konum Belirleme

Bağıl konum belirlemede amaç, bilinen bir noktanın koordinatları baz alınarak diğer noktaların koordinatlarını hesaplamaktır. İki ayrı noktada kurulmuş iki alıcı ile aynı uydulara eş zamanlı kod veya faz gözlemleri yapılarak 2 nokta arası baz vektörü hesaplanır. Alıcı tipi (P kodlu, P kodsuz), ölçü süresi, gözlenen uydu geometrisi, uydu sayısı ve kullanılan efemeris bilgisine (yayın veya duyarlı) bağlı olarak bağıl konumun doğruluğu değişse de elde edilen doğruluk 0.001 ile 100 ppm arasındadır. Bu durum bağıl konum belirlemenin mutlak konum belirlemeye göre oldukça iyi performans sergilediğini kanıtlamaktadır [9].

2.2.2 Mutlak Konum Belirleme

Tek bir alıcı kullanarak 4 ya da daha fazla uydudan kod gözlemleri ile alıcı üzerindeki noktanın doğrudan dünya üzerindeki X, Y, Z koordinatını uydu alıcı arasındaki uzaklık ve uyduların koordinatları sayesinde geriden kestirme yöntemi ile bulmaya mutlak konum belirleme yöntemi denir. Bu yöntem sayesinde günümüzde P kod ve C/A kod olmak üzere kod bilgisine ve uydu geometrisine bağlı olarak, birkaç metre doğruluğunda konum bilgisi elde edilmektedir. Bu yöntem alıcının hareketli ve sabit olmasına bağlı olarak statik ve kinematik olmak üzere ikiye ayrılır [9].

Klasik ölçme yöntemlerinin yanı sıra noktaların birbirini görme zorunluluğunu ortadan kaldıran ve her türlü hava koşulunda ve tüm gün gözlem yapmaya olanak

tanıyan GNSS yöntemi ile en az 2 GNSS alıcısı kullanılarak yüksek doğrulukta konum bilgisi elde edebilmek mümkündür. Zumberge vd. (1997)'de ilk defa ortaya atılan ardından Kouba ve Héroux (2001) ve Gao ve Shen (2001) tarafından geliştirilen PPP tekniği ile tek alıcı kullanılarak cm düzeyinde konum bilgisi elde etmek mümkündür. PPP tekniğini diğer diferansiyel konum belirleme yöntemlerinden ayıran en önemli avantajı, koordinatı bilinen bir ya da daha fazla referans istasyonuna gereksinim duyulmamasıdır [1], [27-28]. Buna karşın cm hassasiyetindeki doğruluk için gerekli olan tamsayı belirsizliği çözümünün yakınsama süresinin yaklaşık 20 dakika olması bu yöntemin en büyük dezavantajıdır [21-24]. Son yıllarda GPS uydularına farklı uydu sistemlerinin (GLONASS, Galileo, BeiDou) katılması, yakınsama süresini kısaltmada önemli katkı sağlayacaktır [16], [18-19].

PPP tekniğinde kod ve faz ölçülerinin lineer kombinasyonlarının birlikte kullanılmasıyla iyonosfer tabakasındaki hatalar elemine edilerek tek bir GNSS alıcısı ile cm mertebesinde konum doğruluğu elde edilebilir. Ancak bağıl konum belirlemede kullanılan fark alma teknikleri ile elemine edilen diğer hata kaynakları, PPP yönteminde tek alıcı kullanıldığı için giderilememektedir. Bu hata kaynakları, uluslararası kuruluşların ürettiği düzeltme ürünleri kullanılarak model içerisinde yer alır. PPP tekniğinin hata kaynakları Tablo 2.6'da verilmiştir [25-26].

Tablo 2.6 PPP tekniğinin hata kaynakları

Hata Kaynakları ve Modelleri	**Düzeltme Türü**
Uydu Kaynaklı Hatalar	**Hassas uydu saat düzeltmeleri**
	Uydu anteni faz merkezi offset değerleri
	Uydu anteni faz merkezi kayıklıkları
	Hassas uydu yörüngeleri
	Diferansiyel grup gecikmeleri

Tablo 2.6 PPP tekniğinin hata kaynakları (devamı)

	Görelilik koşulu
	Uydu anteni faz dönmesi
Alıcı Kaynaklı Hatalar	**Alıcı anteni faz merkezi offset değerleri**
	Alıcı anteni faz merkezi kayıklıkları
	Alıcı anteni faz dönmesi
Jeofiziksel Modeller	**Katı yeryuvarı gelgiti**
	Okyanus yüklemesi
	Kutup gelgiti
	Plaka tektonik hareketleri
Atmosferik Modelleme	**Troposferik gecikme**
	İyonosferik gecikme

Ölçü sonrası analizlerin yanı sıra tüm dünya genelinde 400'den fazla istasyonuyla ücretsiz veri akışı sağlayan IGS ile birlikte birçok uluslararası organizasyon da PPP yönteminin gerçek zamanlı olarak kullanılabilmesi için yüksek hassasiyete sahip kaliteli veri hizmeti sunmaktadır. Bu organizasyonların sunduğu yörünge ve saat düzeltmeleri, anten faz merkezi değişimleri, gel-git etkileri, atmosferik parametreler, yer dönmesi gibi parametreler sayesinde RT-PPP yönteminde konum doğruluğu cm-dm arasında değişmektedir. Ayrıca OSR (Observation Space Representation) ve SSR (State Space Representation) modelleri sayesinde tamsayı belirsizliği yakınsama süresini azaltmak üzere yapılan çalışmalar, hız kesmeden devam etmektedir. Bu modeller yalnızca RT-PPP çalışmalarında kullanılır ve PP-

PPP çözümlerinde bu modellere ihtiyaç duyulmaz. Tüm çalışmalara ek olarak IGS küresel çapta IGS Çoklu-GNSS (MultiGNSS Experiment, MGEX) projesi ve Gerçek Zamanlı Servis (Real Time Service, RTS) projelerinin yürütücülüğünü ve geliştirilmesini üstlenmektedir. IGS'nin öncülüğünde yürütülen RTS projesi, PPP yönteminin gerçek zamanlı olarak hizmet vermesi için NRCan, BKG ve ESA/ESOC iş birliği ile tasarlanan anlık konum belirleme servisi projesidir [12].

3
METODOLOJİ

3.1 GipsyX v2.0

GipsyX v2.0, GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou gibi uydu kombinasyonlarından elde edilen verileri, jeodezik ve jeofizik araştırmalarda kullanılmak üzere analiz edebilen NASA'nın Jet Propulsion Laboratory (JPL) tarafından geliştirilen yüksek hassasiyetli bir GNSS değerlendirme yazılımıdır [29].

GipsyX yazılımı PPP tekniğine göre çözüm gerçekleştirmektedir. PPP tekniğinde, taşıyıcı faz ve kod ölçüleri kullanılır. Alıcı zamanı ve uydu zamanı arasındaki zaman farkına dayanan kod faz ölçüleri için minimum 4 uydu gözlemi gerekmektedir. Her ne kadar faz ölçüleri kod ölçülerine oranla daha iyi konum doğruluğu sunsa da faz ölçülerinde tam sayı belirsizliği çözümü için bir süre beklenmesi gerekmektedir. Bu tez çalışması kapsamında yapılan 2 deneyde de RT-PPP yönteminin doğruluğu GipsyX v2.0 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen PP-PPP analiz neticesinde elde edilen referans koordinatlar kullanılarak araştırılmıştır. Analiz adımında, alıcı ve antenler için mutlak IGS faz merkezi bilgileri kullanılmıştır. Gözlem olarak IonoFree kombinasyonları, gelgit parametreleri, JPL final yörünge ve saat ürünleri dikkate alınmıştır. Varsayılan yapılandırmada olduğu gibi troposferik gecikmeleri tahmin etmek için GMF modeli seçilmiştir. Son olarak, istasyonların koordinatları ve kovaryans matrisleri hesaplanmıştır. Analizler ile ilgili olarak Bertiger vd. (2020)'deki kriterler dikkate alınmıştır [30].

GipsyX v2.0 yazılımı yüksek hassasiyetle uydu yörüngelerini belirlemesi sayesinde uydu tabanlı konum belirleme misyonları açısından oldukça önemli rol oynar. Ayrıca GNSS veri analizlerinin yanı sıra atmosferik gecikmeleri (iyonosferik ve troposferik) düzeltmek için modeller içermesi, konum doğruluğunu önemli ölçüde artırır. Buna ek olarak uydu saat hataları gibi hataları minimize etmek için çeşitli

algoritmalar içerir. Bu da PPP yöntemi için de cm doğruluğunda hassasiyet sunar. Ayrıca istasyon koordinatlarının ürettiği hassas zaman serileriyle birlikte tektonik hareketlerin, deniz seviyesi değişimlerinin ve diğer jeofizik olayları takip edilmesini kolaylaştırır [29-30].

3.2 BKG Ntrip Client

Alman Federal Kartografi ve Jeodezi Kurumu (BKG) tarafından geliştirilen BKG Ntrip Client (BNC) yazılımı günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamamızda BKG Ntrip Client yazılımının v2.12.18 versiyonu kullanılmıştır. BNC kullanıcılarına hassas nokta konumlandırmanın geliştirilmesinde önemli olan GNSS düzeltme verilerini almasını NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) vasıtası ile sağlar. NTRIP internet üzerinden RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) formatındaki verilerin akışının gerçekleştiği bir protokoldür. BNC, kullanıcıların yüksek hassasiyetli konum verilerine erişimini kolaylaştırması, geniş veri ağı ve anlaşılır arayüzü ile ön plana çıkmaktadır. GNSS teknolojisinin ilerlemesi ve gerçek zamanlı çoklu GNSS verisi sağlayan servislerin sayısının artmasıyla BNC'nin önemi giderek artmıştır [31-32].

3.3 Gerçek Zamanlı Çoklu GNSS Veri Sağlayan Servisler

Gerçek zamanlı çoklu GNSS verisi sağlayan servisler, kullanıcıların bu verileri anında alıp kullanmasına imkân tanır. Bu tür servisler, konum belirleme, navigasyon ve diğer GNSS uygulamaları için oldukça büyük bir öneme sahiptir. Uygulamada kullanılan gerçek zamanlı çoklu GNSS verisi sağlayan servisler aşağıda açıklanmıştır.

3.3.1 BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie),

Federal Haritacılık ve Jeodezi Ajansı, Alman kuruluşu olup, uluslararası kuruluşlarla iş birliği içinde topografik veriler, haritacılık hizmetleri üretir. Buna ek olarak da Alman hükümeti için jeodezik referans sistemlerinin merkezi hizmet sağlayıcısıdır. BKG bu referans sistemlerinin bakımlarını ve kurulumlarını da Jeodezi departmanıyla birlikte gerçekleştirmektedir. Ayrıca BKG uluslararası ortaklar ile birlikte sağladığı ölçümlerin yanı sıra kuruluş bünyesinde ek ölçümler de yapmaktadır. Örneğin, Wettzell Jeodezik Gözlemevi, GPS ve Galileo gibi uydu

sistemlerinin yanı sıra, Ay ve diğer uydulara yönelik lazer ölçümler gerçekleştirir. Çok uzaktaki radyo kaynağı yıldızlara yönelik radyo-teleskopik ölçümler yapmaktadır.

BKG, uluslararası ortakları ile birlikte bu verilere ve diğer birçok veri kaynağına dayanarak, Dünya'nın ve uyduların uzaydaki hareketlerinin yanı sıra dünya yüzeyindeki yüksek hassasiyetli koordinatları hesaplamak amacıyla farklı koordinat, yükseklik ve yerçekimi referans sistemlerini de belirlemektedir [33].

3.3.2 CNES (The Centre National d'Etudes Spatiales)

CNES, 1961 yılında Fransız hükümetine bağlı olarak kurulan Fransız Uzay Ajansı'dır. Bağlı olduğu Fransız Devleti'nin uzay çalışmalarını desteklemenin yanı sıra uluslararası ortaklarıyla birlikte bilimsel çalışmalar için veri hizmeti sağlamaktadır. Uzay Mars araştırmalarına ek olarak CNES, SPOT uyduları sayesinde telekomünikasyon, navigasyon (EGNOS, Galileo), konum (Argos) ve Arama&Kurtarma (Sarsat) alanlarında da veri üretmeye ve hizmet sunmaya devam etmektedir [34].

3.3.3 GFZ (German Research Centre for Geosciences)

GFZ, Alman Yer Bilimleri Araştırma Merkezi'ne bağlı bir kuruluş olup bilimsel araştırmalar için veri hizmeti sunar. GFZ Veri Hizmetleri tüm yer bilimleri disiplinlerini kapsamaktadır. Meta verileri kamu malı olarak kabul eden GFZ, verilerin bilimsel makalelerde alıntı yapılarak kullanılmasına da izin vermektedir [35].

3.3.4 GMV

GMV, ESA ile iş birliği yapan önemli bir teknoloji ve mühendislik şirketidir. GMV, uzay ve havacılık alanında çeşitli projelerde ESA ile çalışarak GNSS ve diğer uzay teknolojilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır.

GMV, Avrupa'nın küresel uydu navigasyon sistemi olan Galileo'nun geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Galileo yer segmenti, yörünge hesaplamaları, saat düzeltmeleri ve sinyal doğrulama gibi alanlarda GMV'nin sağladığı teknolojiler kullanılmaktadır. GMV, GNSS uydularının yörünge ve saat hesaplamaları üzerinde çalışır ve bu verilerin doğruluğunu artırmak için gelişmiş algoritmalar geliştirir. ESA'nın uydu operasyonlarında yüksek doğrulukta yörünge

ve zamanlama bilgileri sağlar. GMV, ESA ile birlikte yenilikçi uzay teknolojileri ve sistemleri üzerinde araştırma ve geliştirme faaliyetleri yürütür. Ayrıca GMV gelecekteki uzay görevleri ve uygulamaları için yeni çözümler ve teknolojiler geliştirmeyi hedeflemektedir [36].

3.3.5 SHAO (Shanghai Astronomical Observatory)

SHAO (Shanghai Astronomical Observatory), Çin Bilimler Akademisi'ne bağlı bir araştırma enstitüsüdür ve GNSS analiz merkezlerinden biridir. SHAO GNSS Analizi Merkezi, küresel konumlandırma ve navigasyon sistemleriyle ilgili veri analizleri yaparak çeşitli bilimsel ve pratik uygulamalara katkıda bulunur. SHAO GNSS Analizi Merkezi'nin görevleri ve çalışma alanları; GNSS verilerinin toplanması ve analizi, yüksek hassasiyetli konumlandırma, jeodezi ve deprem bilimi, atmosferik araştırmalar ve diğer uluslararası GNSS analizi merkezleri ve araştırma enstitüleriyle iş birliği yapmak şeklinde sıralanabilir [37].

3.3.6 NRCan (Natural Resources Canada)

NRCan (Natural Resources Canada) GNSS Analiz Merkezi, Kanada ve dünya genelinde GNSS verilerinin toplanması, işlenmesi, analiz edilmesi ve yüksek hassasiyetli konumlandırma çözümlerinden sorumlu bir merkezdir. PPP ve RTK teknikleri kullanarak konumlandırma ve navigasyon hizmetleri için yüksek konum doğruluğu sağlar. Yeryüzü deformasyonlarını ve tektonik hareketleri izler, deprem ve volkanik faaliyetlerle ilgili araştırmalar yapar. Ayrıca GNSS verilerini kullanarak atmosferik değişiklikleri izler ve hava durumu tahminlerine katkıda bulunur [38].

3.3.7 WHU (Wuhan University)

WHU GNSS Veri Analiz Merkezi, Çin'in önde gelen üniversitelerinden biri olan Wuhan Üniversitesi bünyesinde yer alır ve GNSS verilerinin toplanması, işlenmesi ve analizi üzerine yoğunlaşır. Bu merkez, GNSS teknolojilerinin geliştirilmesi ve çeşitli uygulama alanlarında kullanılmasını amaçlamaktadır [39].

3.3.8 IGS (International GNSS Service)

IGS, yirmi beş yıldan fazla bir süredir, yüksek hassasiyetli GNSS verilerini ve ürünlerini ücretsiz ve açık bir şekilde kamunun kullanımına sunmaktadır. IGS, GNSS verilerinin küresel ölçekte toplanması ve analiz edilmesi konusunda lider bir

kuruluş olarak, jeodezi, jeofizik, atmosferik bilimler ve diğer birçok alanda kritik öneme sahip hizmetler sunar. Bu hizmetler, bilimsel araştırmalara, doğal afetlerin izlenmesine ve çeşitli endüstriyel uygulamalara önemli katkılar sağlar. IGS-RTS, gerçek zamanlı GNSS verilerini ve ürünlerini sağlamak amacıyla IGS tarafından başlatılan bir hizmettir. IGS-RTS, küresel çapta kullanıcıların GNSS uydu yörüngeleri, saat verileri, atmosferik veriler ve diğer GNSS parametrelerine gerçek zamanlı olarak erişimini sağlar. Bu hizmet, yüksek doğrulukta ve güvenilir GNSS konumlandırma çözümleri sunar. IGS-MGEX, GNSS verilerini toplama, işleme ve analiz etme konusunda IGS tarafından yürütülen bir araştırma projesidir. MGEX, GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou ve QZSS gibi birden fazla GNSS sisteminden veri toplar ve analiz eder. Bu sayede Çoklu-GNSS'in tüm özelliklerini bir arada kullanmasını amaçlamaktadır. Bu proje, GNSS teknolojilerinin geliştirilmesi ve entegrasyonu için önemli bir platform sağlamaktadır.

Dünya çapındaki birçok akademik ve endüstriyel kuruluşla iş birliği içinde uzun yıllardır veri toplayan ve işleyen organizasyon olan IGS, küresel çaptaki sabit yer istasyonlarının yanı sıra uçaklardan ve mobil sistemlerden gelen verileri de analiz etmesiyle meydana gelen geniş veri tabanı sayesinde diğer kuruluşlara oranla daha yüksek doğrulukla yörünge/saat düzeltme ürünleri sunar [12-13], [16], .

3.4 Gelen mesajlar

Gerçek zamanlı GNSS veri transferi için veri iletişim linkleri, veri iletim protokolleri ve veri formatları olmak üzere üç temel bileşen vardır. Gerçek zamanlı GNSS veri transferi için veri iletişim linkleri özellikle hassas nokta konumlandırma uygulamaları için kritik öneme sahiptir. Veri iletişim linkleri, GNSS verilerinin doğru, güvenilir ve zamanında transfer edilmesini sağlamaktadır. Radyo modemleri, hücresel ağlar, internet tabanlı protokoller, uydu iletişimi bu iletişim yöntemlerinden bazılarıdır. Veri iletim protokollerinden IGS gerçek zamanlı servisi ve NTRIP protokolleri en önemlileridir. BKG, NTRIP RTCM/SSR formatındaki mesajları gerçek zamanlı olarak internet aracılığı ile sağlamak için geliştirmiştir. Veri formatı ise RT-PPP uygulamaları için oldukça önemlidir. Gerçek zamanlı uygulamalarda RTCM mesajları ile düzeltmeler yapılmaktadır. RTCM, RINEX, NMEA, GPX veri formatlarından bazılarıdır. NMEA, ASCII karakter seti kullanan GNSS alıcıları ve deniz elektroniği cihazları arasında veri

iletişimi sağlayan bir format biçimidir. RINEX gözlem, navigasyon mesajları ve met verileri adında üç ana bileşene sahip olan GNSS verilerini saklamak ve paylaşmak amacıyla alıcı bağımsız olarak üretilen bir formattır. RTCM özellikle RTK GNSS için düzeltme verilerini iletmek ve çeşitli düzeltme mesajlarını tanımlamak için kullanılır. GPX ise yol noktaları, izler ve rotalar gibi konum verilerini saklamak ve paylaşmakla görevli XML tabanlı bir formattır. Yapılan uygulamanın amacı göz önünde bulundurularak en uygun veri iletişim linkleri, veri iletim protokolleri ve veri formatları tercih edilmesi gerekmektedir [9]. Çalışmada kullanılan istasyonlardan gelen mesajlara ait bilgiler, Tablo 3.1'de ve servislerden gelen düzeltme mesajlara ait bilgiler Tablo 3.2'de gösterilmiştir [32].

Tablo 3.1 İstasyonlardan gelen mesaj bilgileri

Mesaj	Tanım	İstasyon
1006	**İstasyon Koordinatları ve Anten Yüksekliği**	**CZTG, GOPE, GRAZ, KIR8, MAW1, MAYG, NYA2, ORID**
1008	**Anten Seri Numarası**	**CZTG, GOPE, GRAZ, KIR8, MAYG, ORID**
1013	**Sistem Parametreleri**	**CZTG, GOPE, KIR8, MAW1, MAYG, ORID**
1019	**Küresel Konumlama Sistemi EPH**	**CZTG, GOPE, GRAZ, KIR8, MAW1, MAYG, NYA2, ORID**
1020	**GLONASS EPH**	**CZTG, GOPE, GRAZ, KIR8, MAW1, MAYG, NYA2, ORID**
1033	**Alıcı ve Anten Açıklaması**	**CZTG, GOPE, GRAZ, KIR8, MAW1, MAYG, NYA2, ORID**
1041	**IRNSS EPH**	**MAYG**

Tablo 3.1 İstasyonlardan gelen mesaj bilgileri (devamı)

1042	**BDS'ler EPH**	**CZTG, GOPE, GRAZ, KIR8, MAW1, MAYG, NYA2, ORID**
1044	**QZSS EPH**	**CZTG, KIR8, MAW1**
1045	**Galileo EPH F/NAV**	**CZTG, GOPE, GRAZ, KIR8, MAW1, MAYG, NYA2, ORID**
1046	**Galileo EPH I/NAV**	**CZTG, GOPE, GRAZ, KIR8, MAW1, MAYG, NYA2, ORID**
1074	**Küresel Konumlama Sistemi MSM 1-7**	**GOPE**
1075	**Küresel Konumlama Sistemi MSM 1-7**	**KIR8, ORID**
1077	**Küresel Konumlama Sistemi MSM 1-7**	**CZTG, GRAZ, MAW1, MAYG, NYA2**
1084	**GLONASS MSM 1-7**	**GOPE**
1085	**GLONASS MSM 1-7**	**KIR8, ORID**
1087	**GLONASS MSM 1-7**	**CZTG, GRAZ, MAW1, MAYG, NYA2**
1094	**Galileo MSM 1-7**	**GOPE**
1095	**Galileo MSM 1-7**	**KIR8, ORID**

Tablo 3.1 İstasyonlardan gelen mesaj bilgileri (devamı)

1097	**Galileo MSM 1-7**	**CZTG, GRAZ, MAW1, MAYG, NYA2**
1107	**SBAS MSM 1-7**	**NYA2**
1115	**QZSS MSM 1-7**	**KIR8**
1117	**QZSS MSM 1-7**	**CZTG, MAW1, NYA2**
1124	**BDS'ler MSM 1-7**	**GOPE**
1125	**BDS'ler MSM 1-7**	**KIR8, ORID**
1127	**BDS'ler MSM 1-7**	**CZTG, GRAZ, MAW1, MAYG, NYA2**
1137	**IRNSS MSM 1-7**	**MAYG, NYA2**
1230	**GLONASS L1 ve L2 Kod-Faz Sapmaları**	**CZTG, GOPE, GRAZ, KIR8, MAW1, MAYG, NYA2, ORID**

Tablo 3.2 Servislerden gelen düzeltme ürünleri

Mesaj	Tanım	Sistem
1057	**Efemeris Yayınına Yönelik Yörünge Düzeltmeleri**	**GPS**
1058	**Efemeris Yayınına Yönelik Saat Düzeltmeleri**	**GPS**
1059	**Kod Düzeltmeleri**	**GPS**

Tablo 3.2 Servislerden gelen düzeltme ürünleri(devamı)

1060	**Efemeris Yayınına Yönelik Kombine Yörünge ve Saat Düzeltmeleri**	**GPS**
1063	**Yörünge Düzeltmeleri**	**GLONASS**
1064	**Saat Düzeltmeleri**	**GLONASS**
1065	**Kod Düzeltmeleri**	**GLONASS**
1066	**Kombine Yörünge ve Saat Düzeltmeleri**	**GLONASS**
1240	**Yörünge Düzeltmeleri**	**Galileo**
1241	**Saat Düzeltmeleri**	**Galileo**
1242	**Kod Düzeltmeleri**	**Galileo**
1243	**Kombine Yörünge ve Saat Düzeltmeleri**	**Galileo**
1246	**Yörünge Düzeltmeleri**	**SBAS**
1247	**Saat Düzeltmeleri**	**SBAS**
1248	**Kod Düzeltmeleri**	**SBAS**
1249	**Kombine Yörünge ve Saat Düzeltmeleri**	**SBAS**
1252	**Yörünge Düzeltmeleri**	**QZSS**
1253	**Saat Düzeltmeleri**	**QZSS**
1254	**Kod Düzeltmeleri**	**QZSS**

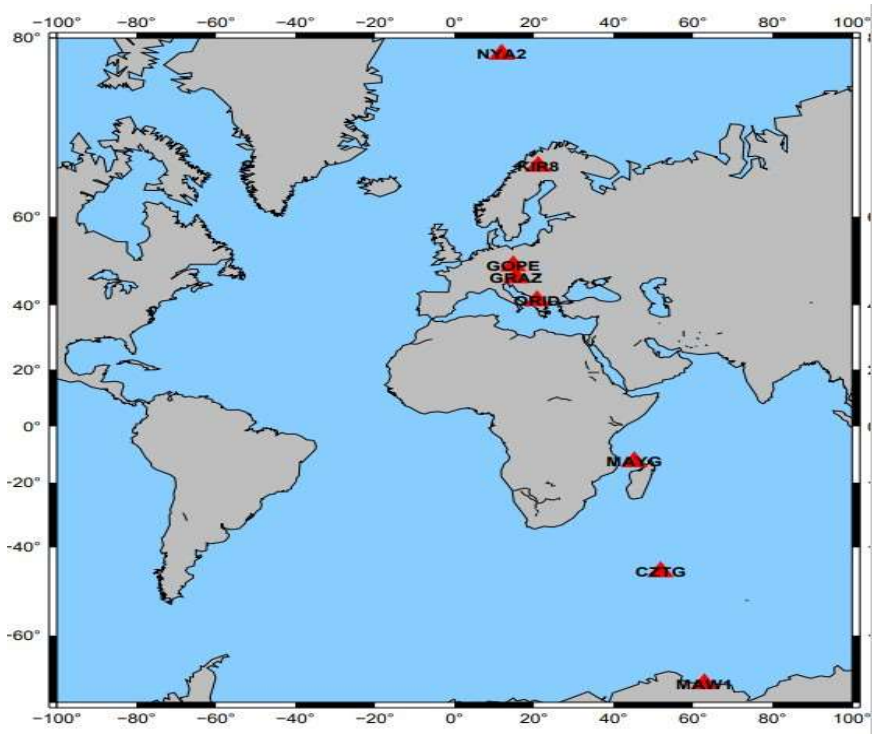
Tablo 3.2 Servislerden gelen düzeltme ürünleri (devamı)

1255	**Kombine Yörünge ve Saat Düzeltmeleri**	**QZSS**
1258	**Yörünge Düzeltmeleri**	**BDS**
1259	**Saat Düzeltmeleri**	**BDS**
1260	**Kod Düzeltmeleri**	**BDS**
1261	**Kombine Yörünge ve Saat Düzeltmeleri**	**BDS**
1264	**VTEC**	**-**
1265	**Faz Düzeltmeleri**	**GPS**
1266	**Faz Düzeltmeleri**	**GLONASS**
1267	**Faz Düzeltmeleri**	**Galileo**
1268	**Faz Düzeltmeleri**	**SBAS**
1269	**Faz Düzeltmeleri**	**QZSS**
1270	**Faz Düzeltmeleri**	**BDS**

4
UYGULAMA

Son dönemdeki GNSS'deki gelişmeler konum belirlemede sabit bir alıcıya ihtiyaç duymayan PPP tekniğin daha güvenilir sonuçlar vermesini sağlamıştır ve sabit istasyon gerektiren bağıl konumlamaya güvenilirlik bakımından rakip olmaya başlamıştır. Ölçü sonrası analizlerin yanı sıra verilerin gerçek zamanlı aktarılması sayesinde RT-PPP tekniği üzerinde çalışmalar hız kazanmıştır. Bu tez kapsamında RT-PPP tekniğinin performansı, konum hassasiyeti ve yakınsama süresi açısından incelenmiştir.

Bu çalışmada iki deney tasarlanmıştır. Birinci deneyde yaklaşık aynı boylamda ve farklı enlemlerde CZTG, GOPE, GRAZ, KIR8, MAW1, MAYG, NYA2 ve ORID olmak üzere 8 istasyon seçilmiştir (Şekil 4.1).



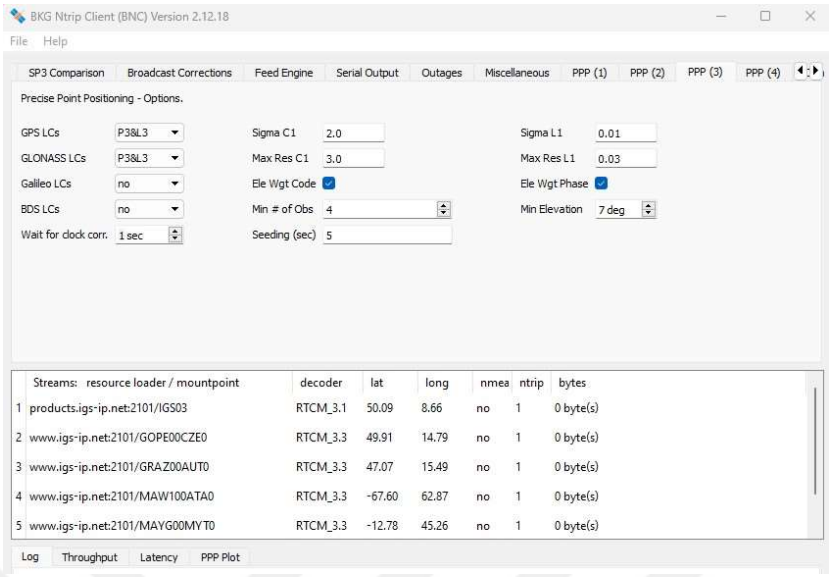
Şekil 4.1 Deney 1 için seçilen 8 istasyon

Noktaların yaklaşık aynı boylamda seçilmesinin nedeni, gerçek zamanlı analizlerde enlemin etkisini incelemektir. İstasyonların enlem, boylam ve yükseklik değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir [40].

Tablo 4.1 Tez kapsamında kullanılan istasyonların konumları

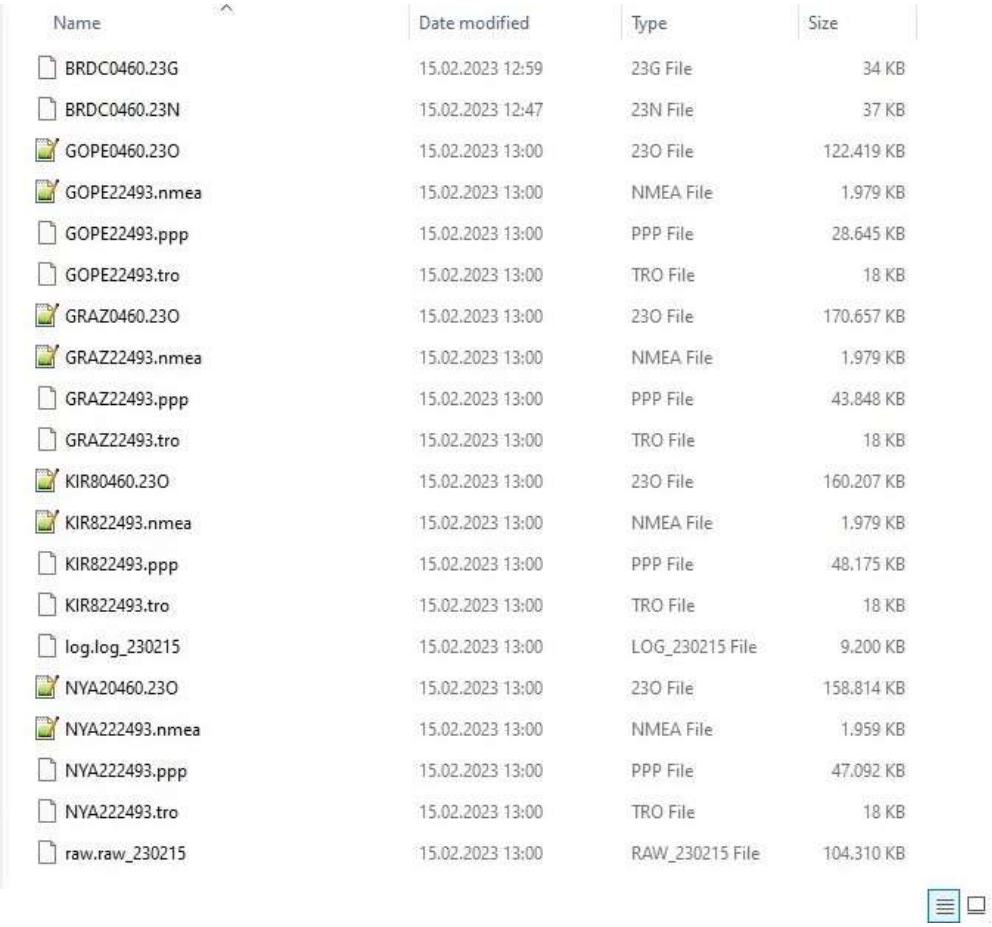
İstasyonlar	Enlem	Boylam	Yükseklik
NYA2	**78.930°**	**11.859°**	**81.50 m**
KIR8	**67.878°**	**21.060°**	**498.00 m**
GOPE	**49.914°**	**14.786°**	**592.60 m**
GRAZ	**47.067°**	**15.493°**	**538.30 m**
ORİD	**41.127°**	**20.794°**	**773.00 m**
MAYG	**-12.782°**	**45.258°**	**-16.35 m**
CZTG	**-46.432°**	**51.855°**	**202.80 m**
MAW1	**-67.605°**	**62.871°**	**59.20 m**

Bu tez çalışmasında analizler BNC v2.12.18 yazılımı ile ilk deney için 8, ikinci deney için de 9 adet bilgisayar eş zamanlı olarak kullanılarak yapılmıştır. Bunun nedeni yaklaşık aynı özellikte bilgisayarlar ve aynı internet ağını kullanarak ölçümler esnasında meydana gelebilecek sorunların tüm çözümlerde benzer olmasını sağlamaktır. BNC yazılımı gerçek zamanlı ölçümleri bir bilgisayar için eş zamanlı olarak 4 adet istasyonu, bir düzeltme ürünü ve bir uydu kombinasyonuyla çözümlemektedir. BNC yazılımındaki düzeltme ürünü ve istasyonlar ve uydu seçimi Şekil 4.2 de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Çalışmada kullanılan örnek BNC programı arayüzü

İlk deneyde 8 istasyon GPS (G), GPS + GLONASS (GR), GPS + GLONASS + Galileo (GRE), GPS + GLONASS + Galileo + BeiDou (GREC) şeklinde olmak üzere 4 uydu takımı kombinasyonuna ait veriler eş zamanlı olarak 15 Şubat 2023 tarihinde Türkiye saati ile saat 08:57 ile 13.00 aralığında analiz edilmiştir. Bu analizler IGS03'ten elde edilen yörünge/saat düzeltme ürünleri kullanılarak ve 1 saniye aralıklı olarak gerçekleştirilmiştir. Bir bilgisayara ait BNC programından elde edilen sonuç dosyaları Şekil 4.3'te verilmiştir.



Name	Date modified	Type	Size
BRDC0460.23G	15.02.2023 12:59	23G File	34 KB
BRDC0460.23N	15.02.2023 12:47	23N File	37 KB
GOPE0460.23O	15.02.2023 13:00	23O File	122.419 KB
GOPE22493.nmea	15.02.2023 13:00	NMEA File	1.979 KB
GOPE22493.ppp	15.02.2023 13:00	PPP File	28.645 KB
GOPE22493.tro	15.02.2023 13:00	TRO File	18 KB
GRAZ0460.23O	15.02.2023 13:00	23O File	170.657 KB
GRAZ22493.nmea	15.02.2023 13:00	NMEA File	1.979 KB
GRAZ22493.ppp	15.02.2023 13:00	PPP File	43.848 KB
GRAZ22493.tro	15.02.2023 13:00	TRO File	18 KB
KIR80460.23O	15.02.2023 13:00	23O File	160.207 KB
KIR822493.nmea	15.02.2023 13:00	NMEA File	1.979 KB
KIR822493.ppp	15.02.2023 13:00	PPP File	48.175 KB
KIR822493.tro	15.02.2023 13:00	TRO File	18 KB
log.log_230215	15.02.2023 13:00	LOG_230215 File	9.200 KB
NYA20460.23O	15.02.2023 13:00	23O File	158.814 KB
NYA222493.nmea	15.02.2023 13:00	NMEA File	1.959 KB
NYA222493.ppp	15.02.2023 13:00	PPP File	47.092 KB
NYA222493.tro	15.02.2023 13:00	TRO File	18 KB
raw.raw_230215	15.02.2023 13:00	RAW_230215 File	104.310 KB

Şekil 4.3 BNC yazılımı ile elde edilen sonuç dosyaları

RT-PPP tekniğine göre gerçekleştirilen değerlendirme adımından sonra veri analizine başlarken ilk olarak BNC programından elde edilen NMEA uzantılı dosyalar seçilmiştir. Bu dosyalar metin dosyasına dönüştürülerek RT-PPP analizi sonucunda hesaplanan GRS80 elipsoidindeki enlem, boylam ve elipsoidal yükseklik değerleri elde edilmiştir. Enlem, Boylam ve elipsoidal yükseklik değerlerinden yer merkezcil kartezyen koordinatlar hesaplanmıştır. Referans koordinatlar ölçümlerin yapıldığı 14-15-16 ve 17 Şubat 2023 tarihindeki 4 günlük verinin 24 saatlik gözlemlerinin GipsyX v2.0 programı kullanılarak PP-PPP yöntemi ile çözümlenmiş sonuçlarının ortalamaları alınarak belirlenmiştir. Her bir istasyonun 4 uydu kombinasyonu içinde ayrı ayrı referans koordinatları hesaplanmıştır. Performans analizleri esnasında da her uydu kombinasyonu kendi içinde değerlendirilmiştir. Noktaların ITRF2014 sisteminde referans kabul edilen kartezyen koordinatları Tablo 4.2 de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 ITRF2014 sisteminde referans koordinatlar

İstasyonlar	Uydular	X (m)	Y (m)	Z (m)
CZTG	G	2719994.7966	3463392.6632	-4598612.9480
	GR	2719994.7935	3463392.6574	-4598612.9463
	GRE	2719994.7936	3463392.6586	-4598612.9475
	GREC	2719994.7916	3463392.6593	-4598612.9446
GOPE	G	3979315.8344	1050312.7805	4857067.2830
	GR	3979315.8332	1050312.7796	4857067.2821
	GRE	3979315.8332	1050312.7786	4857067.2821
	GREC	3979315.8316	1050312.7777	4857067.2803
GRAZ	G	4194423.5085	1162703.0184	4647245.6008
	GR	4194423.5082	1162703.0158	4647245.6005
	GRE	4194423.5084	1162703.0158	4647245.6007
	GREC	4194423.5069	1162703.0143	4647245.5984
KIR8	G	2248126.7740	865685.8121	5886424.7050
	GR	2248126.7717	865685.8131	5886424.7048
	GRE	2248126.7704	865685.8130	5886424.7039
	GREC	2248126.7697	865685.8152	5886424.7042

Tablo 4.2 ITRF2014 sisteminde referans koordinatlar (devamı)

MAW1	**G**	**1111287.2270**	**2168911.1755**	**-5874493.5938**
	GR	**1111287.2259**	**2168911.1773**	**-5874493.5920**
	GRE	**1111287.2276**	**2168911.1773**	**-5874493.5939**
	GREC	**1111287.2247**	**2168911.1761**	**-5874493.5931**
MAYG	**G**	**4379104.2241**	**4418744.7223**	**-1401897.7933**
	GR	**4379104.1677**	**4418744.6719**	**-1401897.7660**
	GRE	**4379104.1677**	**4418744.6729**	**-1401897.7654**
	GREC	**4379104.1654**	**4418744.6751**	**-1401897.7642**
NYA2	**G**	**1202379.2555**	**252474.6947**	**6237786.6179**
	GR	**1202379.2543**	**252474.6929**	**6237786.6232**
	GRE	**1202379.2472**	**252474.6960**	**6237786.6204**
	GREC	**1202379.2489**	**252474.6934**	**6237786.6283**
ORID	**G**	**4498451.4144**	**1708267.3412**	**4173592.0210**
	GR	**4498451.4125**	**1708267.3389**	**4173592.0189**
	GRE	**4498451.4130**	**1708267.3384**	**4173592.0194**
	GREC	**4498451.4099**	**1708267.3370**	**4173592.0173**

RT-PPP analizi sonucunda elde edilen yer merkezcil kartezyen koordinatlar, referans koordinatlar da dikkate alınarak kuzey (k), doğu (d) ve yukarı (y) olmak üzere Eşitlik (4.1) ve (4.2) kullanılarak toposentrik kartezyen koordinatlara dönüştürülmüştür.

$$\mathbf{R}=\begin{vmatrix} -\sin(\lambda) & \cos(\lambda) & 0 \\ -\sin(\varphi)\cos(\lambda) & \sin(\varphi)\sin(\lambda) & \cos(\varphi) \\ \cos(\varphi)\cos(\lambda) & \cos(\varphi)\sin(\lambda) & \sin(\varphi) \end{vmatrix} \tag{4.1}$$

$$\begin{vmatrix} d \\ k \\ y \end{vmatrix} = \mathbf{R} \begin{vmatrix} X - X_R \\ Y - Y_R \\ Z - Z_R \end{vmatrix} \tag{4.2}$$

Burada, X, Y, Z ITRF2014 sistemindeki yer merkezcil Kartezyen koordinatları, R alt indisi referans koordinatları, φ ve λ sırasıyla GRS80 elipsoidine göre enlem ve boylam değerlerini ve **R** dönüşüm matrisini ifade etmektedir.

Bu tez çalışma kapsamında elde edilen toposentrik koordinatların ilk deneyde mutlak ortalama değerleri, ikinci deneyde ise RMS değerleri hesaplanmıştır. RMS değerleri ve mutlak ortalama değerleri hesaplanmadan önce koordinat serilerindeki uyuşumsuz ölçüler; %50 kırılma noktasıyla en güvenilir Robust yöntemlerden biri olan Medyan yöntemiyle analizlerden çıkarılmıştır [41-43]. Medyan yöntemi eşitlik 4.3 ile ifade edilir.

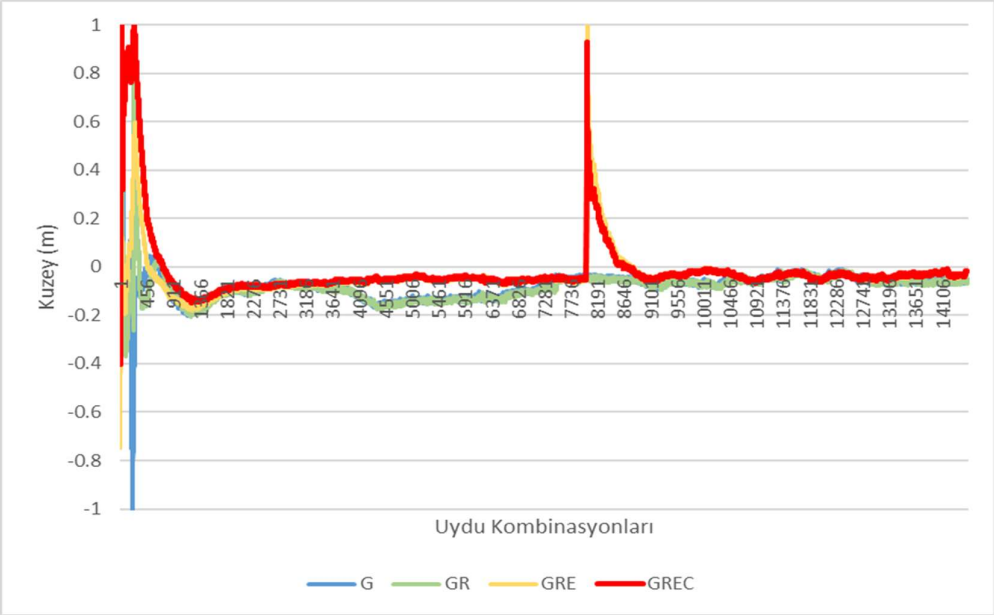
$$\text{MAD}=\begin{cases} 1.2533 * \frac{1}{n} * \sum|X - medyan(X)|, & medyan\big(X - medyan(X)\big) = 0 \\ 1.4826 * medyan(X - medyan(X)) & medyan\big(X - medyan(X)\big) \neq 0 \end{cases} \tag{4.3}$$

Bu eşitlikte X; kuzey doğu ve yukarı bileşenler için koordinat serilerini, n ise ölçü sayısını ifade eder. Gerçek zamanlı ölçümlerde yakınsama süresi içerisindeki verilerin uyuşumsuz ölçü olarak algılanmaması için 100×MAD sınır değeri seçilmiştir. Bu metotta |X-medyan(X)| düzeltme değerleri, 100×MAD sınır değerleriyle karşılaştırılır. Sınır değerlerinden büyük olan koordinat değerleri, koordinat serisinden çıkartılır. Uyuşumsuz ölçü testinden sonra ilk deney için mutlak ortalama değerler eşitlik 4.4 kullanılarak, ikinci deney için ise RMS değerleri eşitlik 4.5 kullanılarak hesaplanmıştır.

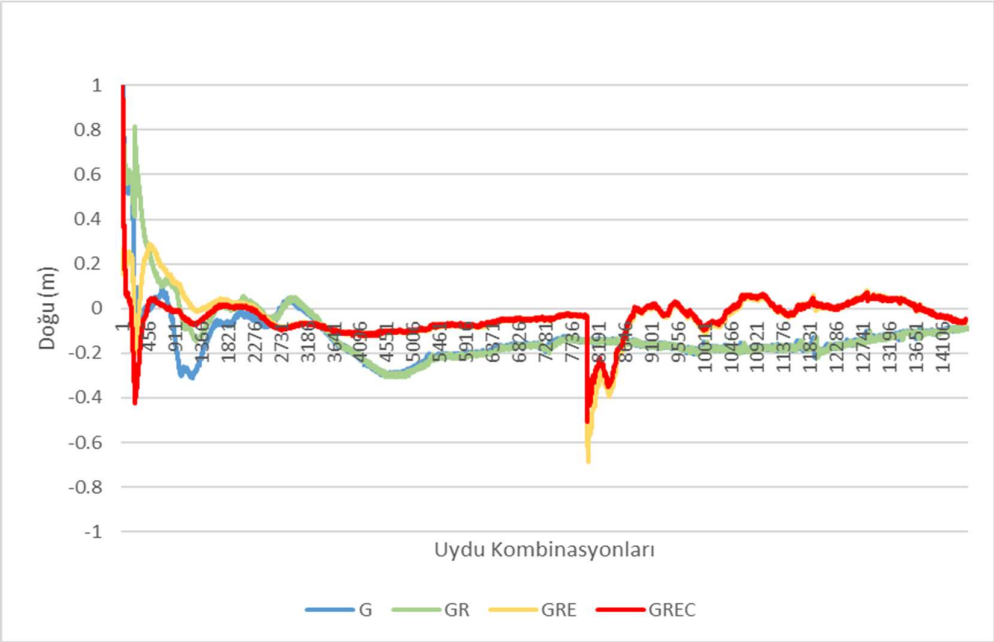
$$\text{Mutlak Ortalama Değer} = \frac{\sum_{i=1}^{n}|X_i - X_R|}{n} \tag{4.4}$$

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - X_R)^2}{n}} \tag{4.5}$$

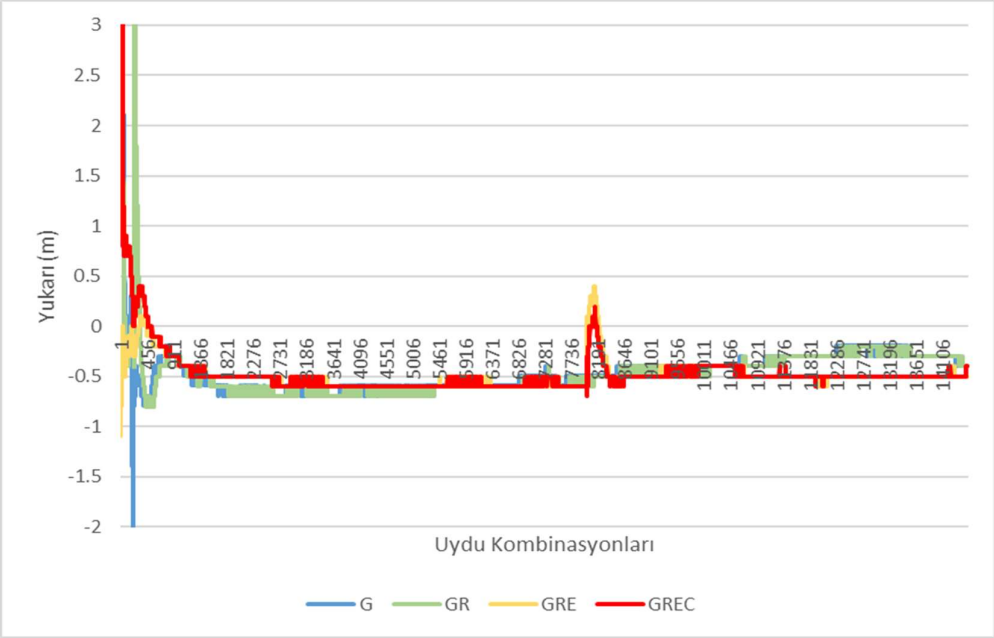
Burada X_i koordinat değerini, X_R referans koordinatı, n ölçü sayısını temsil eder. Uyuşumsuz ölçü testinden sonra ilk deney için koordinat farkının kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerinin grafikleri çizdirilmiştir. Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da CZTG istasyonuna ait sırasıyla kuzey, doğu ve yukarı değerleri gösterilmektedir. Yatay bileşen 1 saniye aralıklı epoğu ifade etmektedir. Diğer 7 istasyona ait grafikler Ek-A'da verilmiştir.



Şekil 4.4 CZTG istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait kuzey değerleri



Şekil 4.5 CZTG istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait doğu değerleri



Şekil 4.6 CZTG istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait yukarı değerleri

Grafikler incelendiğinde özellikle analiz başlangıcında ve ilerleyen süreçlerde dalgalanmaların olduğu görülmektedir. Analiz başlangıcındaki durum çoğunlukla tamsayı belirsizliğinden kaynaklanmasına karşın, ilerleyen süreçte de veri kesikliğinden kaynaklı referans koordinatlardan sapmalar görülmektedir. Bu durum çalışılan ortamdaki internet kesikliğinden veya analiz merkezlerindeki

kesikliklerden kaynaklı olabilmektedir. Ortamdan kaynaklı ortaya çıkabilecek kesikliklerin tüm çözümleri benzer oranda etkilemesini sağlamak amacıyla deney aynı laboratuvarda ve yakın özellikteki bilgisayarlar ile gerçekleştirilmiştir.

RT-PPP'nin en büyük dezavantajı olan yakınsama süresidir. İlk deneyde farklı uydu kombinasyonlarının yakınsama süreleri incelenmiştir. İkinci deneyde ise ilk 20 dakikalık kısım yakınsama süreci kabul edilip, bu süreçten öncesi ve sonrası ayrı ayrı değerlendirilmiştir. İlk deneydeki yakınsama süreci tespitini yapmak için sınır değer olarak kuzey ve doğu bileşenler için 10 cm, yukarı bileşen için 30 cm kabul edilmiştir. Yakınsama sürelerinin tespitinde koordinat farklarının sınır değerlere ilk ulaştıkları zamanlar değil, grafikteki ilk dalgalanmalar bittikten sonra sınır değerin altına düzenli olarak düşülen epok, başlangıç yakınsama epoğu olarak belirlenmiştir. Tablo 4.3'te ilk deneye ait yakınsama epok numaraları verilmiştir.

Tablo 4.3 İstasyonlara ait yakınsama epok numaraları

	İSTASYON	**G**	**GR**	**GRE**	**GREC**
KUZEY	**CZTG**	**1702**	**1930**	**1916**	**1708**
	GOPE	**452**	**296**	**631**	**611**
	GRAZ	**738**	**681**	**689**	**675**
	KIR8	**4315**	**4294**	**579**	**678**
	MAW1	**5382**	**5379**	**266**	**493**
	MAYG	**1810**	**-**	**701**	**686**
	NYA2	**4698**	**4694**	**621**	**613**
	ORID	**1091**	**-**	**337**	**308**
	ORTALAMA	**2522.5**	**2878**	**716.5**	**720.5**

Tablo 4.3 İstasyonlara ait yakınsama epok numaraları (devamı)

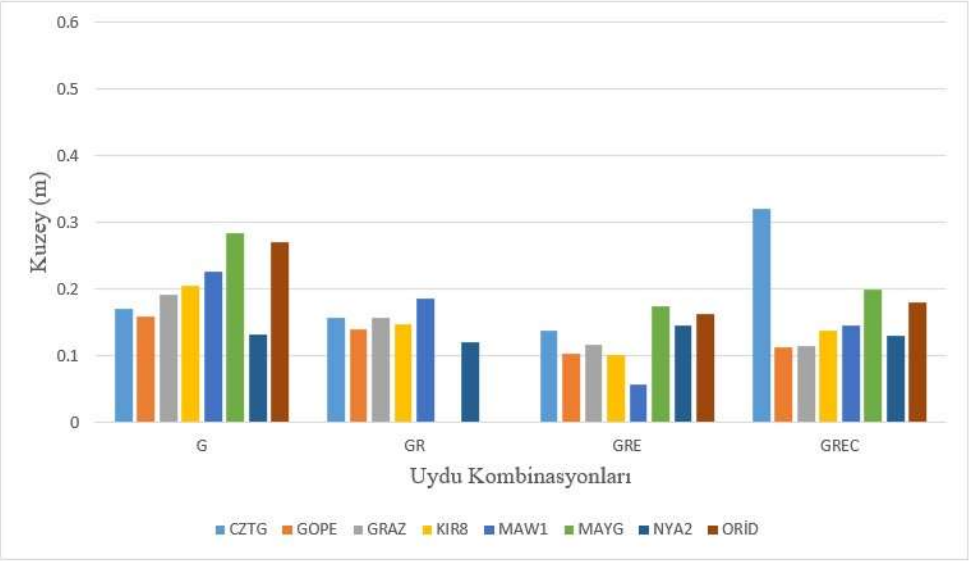
DOĞU	**CZTG**	**1568**	**1459**	**1005**	**354**
	GOPE	**2187**	**2344**	**1956**	**1941**
	GRAZ	**1230**	**1209**	**1296**	**1295**
	KIR8	**1917**	**1792**	**1103**	**1094**
	MAW1	**3831**	**1851**	**3795**	**3809**
	MAYG	**5212**	**-**	**1502**	**1446**
	NYA2	**1796**	**471**	**456**	**416**
	ORID	**1186**	**-**	**753**	**703**
	ORTALAMA	**2364.875**	**1520**	**1482.25**	**1381.25**
YUKARI	**CZTG**	**10658**	**11361**	**-**	**-**
	GOPE	**674**	**240**	**586**	**667**
	GRAZ	**-**	**-**	**-**	**-**
	KIR8	**616**	**626**	**139**	**491**
	MAW1	**1887**	**240**	**952**	**1473**
	MAYG	**869**	**-**	**441**	**428**
	NYA2	**1084**	**1057**	**256**	**581**
	ORID	**336**	**-**	**427**	**469**

Tablo 4.3 İstasyonlara ait yakınsama epok numaraları (devamı)

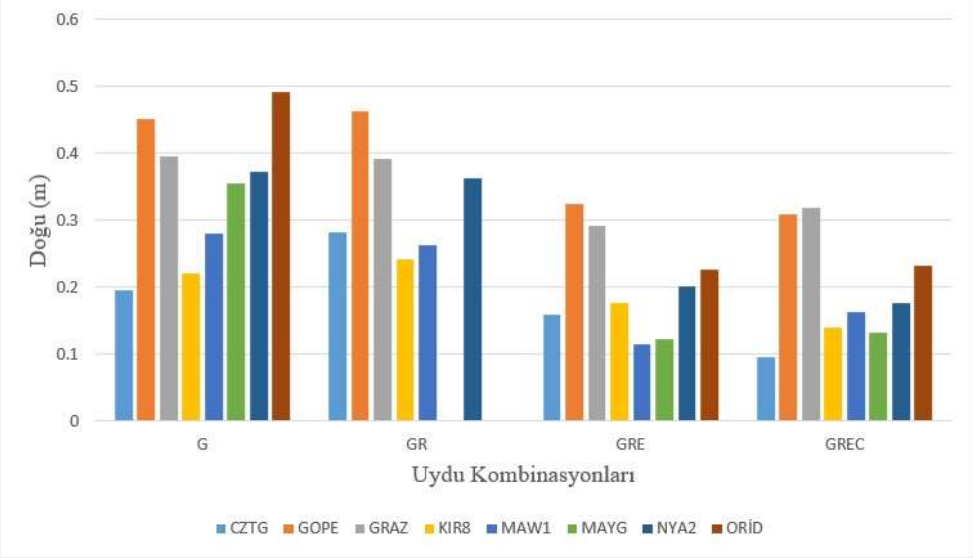
	ORTALAMA	**2302.4**	**2703.8**	**465.8**	**683.8**

MAYG ve ORID istasyonlarının GR ölçümü alınamamıştır. GRAZ istasyonunun yukarı verileri ve CZTG istasyonunun GRE ve GREC uydu kombinasyonlarının yukarı değerleri yakınsama kriterleri içerisine girmemiştir. Tablo 4.2 incelendiğinde genel olarak G ve GR kombinasyonun GRE ve GREC kombinasyonuna göre daha geç yakınsadığı görülmektedir. Özellikle uydu kombinasyonlarındaki sayıların artması noktalardaki ortalama yakınsama sürelerini yaklaşık 45 dakika seviyelerinden, yaklaşık 10 dakika seviyesine düşürmüştür.

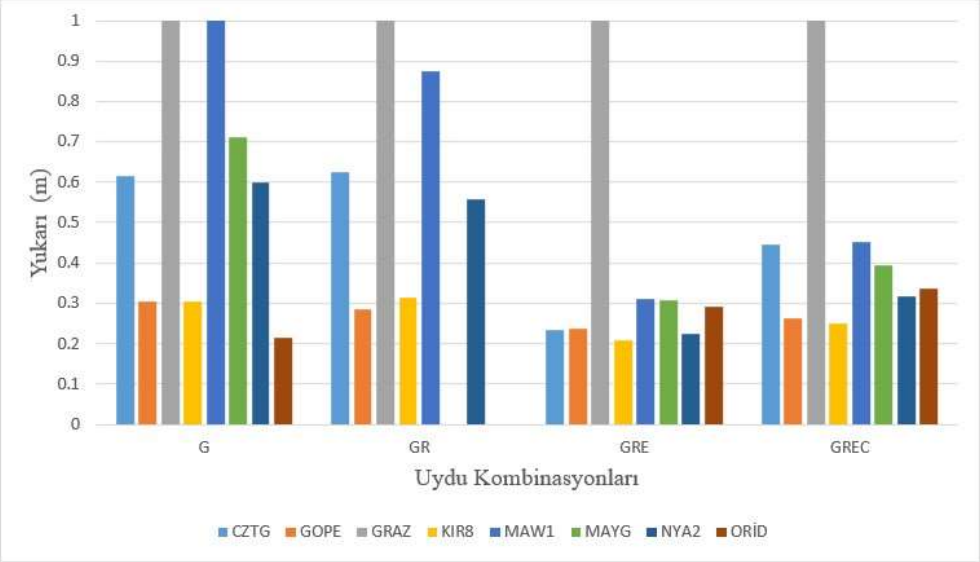
İlk deneyde ayrıca kuzey, doğu ve yukarı bileşenleri için mutlak ortalama değerler ilk 20 dakika ve 20 dakika sonrası olmak üzere iki kısımda incelenmiştir. İlk 20 dakika için kuzey, doğu ve yukarı bileşenleri sırasıyla Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da gösterilmiştir. 20 dakika sonrası için kuzey, doğu ve yukarı bileşenleri sırasıyla Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde; genel olarak GRE ve GREC uydu kombinasyonlarının, G ve GR uydu kombinasyonlarına nazaran daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Grafiklerin okunurluğu arttırmak için kuzey ve doğu bileşenlerinin üst sınırı 0.6 metre yukarı bileşenin üst sınırı 1 metre olarak sınırlandırılmıştır. Yukarı değerler için grafikte çıkmayan kısımlar bütün olarak Ek-A'da verilmiştir.



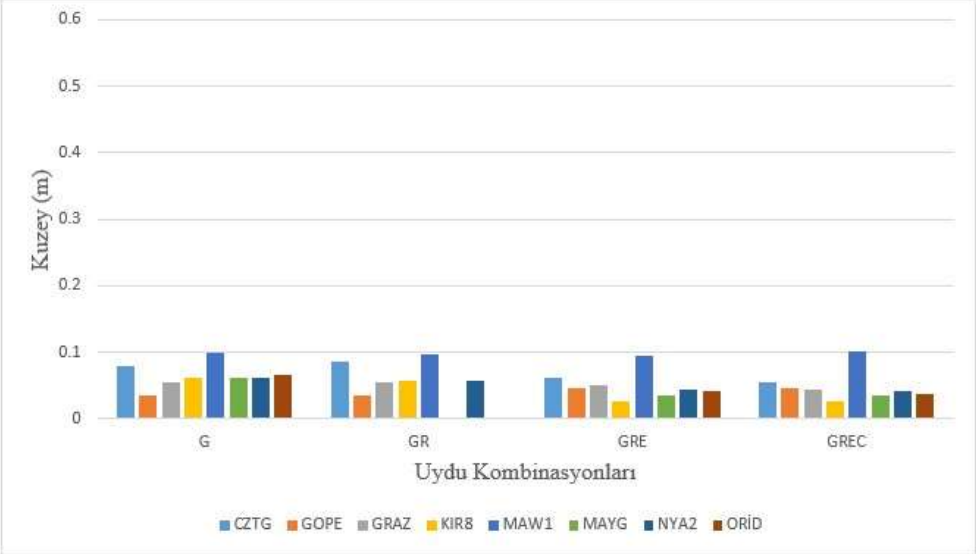
Şekil 4.7 Birinci deneye ait ilk 20 dakikalık kuzey bileşen mutlak ortalama değerleri



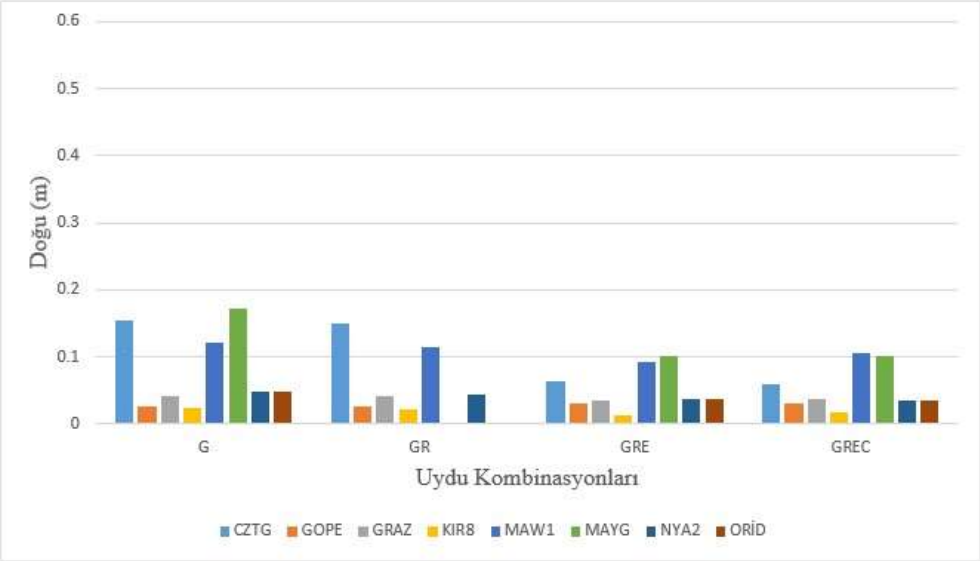
Şekil 4.8 Birinci deneye ait ilk 20 dakikalık doğu bileşen bileşen mutlak ortalama değerleri



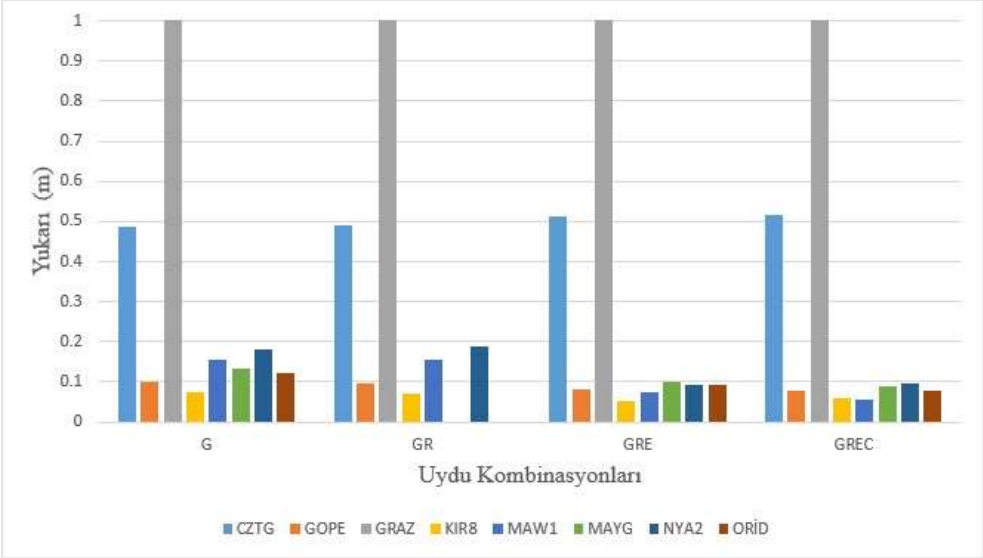
Şekil 4.9 Birinci deneye ait ilk 20 dakikalık yukarı bileşen mutlak ortalama değerleri



Şekil 4.10 Birinci deneye ait 20 dakika sonrası kuzey bileşen mutlak ortalama değerleri



Şekil 4.11 Birinci deneye ait 20 dakika sonrası doğu bileşen mutlak ortalama değerleri



Şekil 4.12 Birinci deneye ait 20 dakika sonrası yukarı bileşen mutlak ortalama değerleri

İkinci deney kapsamında birinci deney istasyonlarından 4 tanesi olan CZTG, GOPE, MAW1 ve NYA2 istasyonları seçilmiştir. Seçilen istasyonların verileri bu deney kapsamında da G + GR + GRE + GREC olmak üzere 4 farklı uydu kombinasyonu kullanılarak; BKG, CNE, GFZ, GMW, IGS, IGS03, NRC, SHA ve WHU olmak üzere 8 farklı uluslararası yörünge/saat düzeltme ürünü sağlayan

organizasyonlardan 9 ürün ile analiz edilmiştir. Her bir uydu takımı kombinasyonuna ait analizler kendi içinde eş zamanlı olacak şekilde 1 saniye aralıklı olarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılan uydu kombinasyonu, tarih ve saat bilgileri (UTC+3) Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4 İkinci deney için tarih bilgileri

Uydu Kombinasyonu	Tarih	Başlama Saati	Bitiş Saati
G	**15.02.2023**	**13:43**	**18:00**
GR	**16.02.2024**	**09:45**	**13:53**
GRE	**16.02.2024**	**14:03**	**18:04**
GREC	**17.02.2024**	**09:26**	**13:27**

Her uydu kombinasyonundan elde edilen sonuçlar birinci deneydeki gibi 50×MAD sınır değeri kullanılarak uyuşumsuz ölçü testine tabi tutulmuştur. Test sonucunda uyuşumsuz ölçüler çıkarıldıktan sonra geriye kalan verilerden RMS değerleri hesaplanmıştır. İlk etapta 4 farklı uydu kombinasyonu test etmek amaçlı CZTG, GOPE, MAW1 ve NYA2 istasyonlarının 20 dakika öncesi ve sonrası RMS değerleri; 9 ürünün uydu bazlı sıralaması verilerek sırasıyla Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmiştir. Her servisin en küçük kuzey, doğu ve yukarı bileşen değerleri tablolarda yeşil renk ile işaretlenmiştir. Ölçüm yapılamayan WHU servisi ise kırmızı ile işaretlenmiştir.

CZTG ilk 20 dakika									
Servisler / Uydu Sistemleri	BKG (m)	CNE (m)	GFZ (m)	GMV (m)	IGS (m)	IGS03 (m)	NRC (m)	SHA (m)	WHU (m)
G (k)	0.4267	0.4347	0.4067	1.3637	0.8320	0.3824	5.0046	0.8576	0.6726
GR (k)	0.4851	0.6036	0.5027	0.5267	0.7628	0.4324	1.1601	0.6750	0.5477
GRE (k)	0.0823	0.1550	0.1247	0.2393	0.1053	0.1457	2.7112	0.1367	0.1926
GREC (k)	0.1740	0.1295	0.2230	0.5966	0.3576	0.4194	3.7555	0.3074	0.1694
G (d)	0.6646	0.5369	0.4317	3.0664	0.2243	0.5100	4.9115	1.0351	0.2298
GR (d)	0.5334	0.5720	0.5469	3.3611	0.4632	0.2902	2.7612	0.9847	0.4655
GRE (d)	0.6851	0.4604	0.3890	0.4991	0.3489	0.2439	3.3824	0.5449	0.3155
GREC (d)	0.2777	0.3718	0.2001	2.8930	0.2776	0.2293	2.4905	0.5248	0.2887
G (y)	1.2298	1.0238	1.0462	0.6697	1.1277	0.6539	4.7826	1.0204	1.1753
GR (y)	0.5369	1.3075	0.4811	2.4486	0.5046	0.5194	0.3310	0.6484	0.3560
GRE (y)	0.6550	0.4924	0.5801	0.3613	0.4504	0.2300	4.4724	0.6599	0.7346
GREC (y)	0.5132	0.5293	0.5466	2.7721	0.5642	0.6754	7.7852	0.5700	0.4972

CZTG 20 dakika sonrası									
Servisler / Uydu Sistemleri	BKG (m)	CNE (m)	GFZ (m)	GMV (m)	IGS (m)	IGS03 (m)	NRC (m)	SHA (m)	WHU (m)
G (k)	0.0419	0.0444	0.0691	0.6459	0.0523	0.0562	1.0252	0.0517	0.0589
GR (k)	0.2973	0.3143	0.3107	0.4903	0.4559	0.2160	0.4530	0.3173	0.3205
GRE (k)	0.0442	0.0497	0.0582	0.3454	0.0620	0.0362	0.2325	0.0380	0.0506
GREC (k)	0.0757	0.1327	0.1176	0.3524	0.0787	0.0622	1.8547	0.0974	0.0734
G (d)	0.1151	0.1513	0.1433	0.3512	0.1572	0.0459	2.0046	0.1222	0.1448
GR (d)	0.5086	0.5144	0.4739	1.0940	0.2497	0.4706	0.4147	0.4766	0.5215
GRE (d)	0.0594	0.0848	0.0812	0.3229	0.0806	0.0236	0.5549	0.1041	0.1433
GREC (d)	0.0914	0.1682	0.1462	1.3213	0.0382	0.0530	2.8594	0.1127	0.1084
G (y)	0.8034	0.8564	0.8833	0.8430	0.7914	0.4578	5.5180	0.8203	0.8106
GR (y)	1.3056	1.2931	1.2181	1.7525	0.8006	0.4968	2.1906	1.2030	1.2651
GRE (y)	0.6896	0.7223	0.7357	0.6910	0.6621	0.4059	0.8285	0.7611	0.7450
GREC (y)	0.6105	0.6217	0.6600	1.5582	0.5830	0.5230	2.5576	0.7233	0.6154

Şekil 4.13 CZTG istasyonunun uydu kombinasyonlarına göre RMS değerleri

Analizlerin başlatılmasından itibaren geçen ilk 20 dakikalık süre içerisindeki sonuçlara bakıldığında; CZTG istasyonunun kuzey ve yukarı bileşenleri için, en küçük RMS değerleri çoğunlukla GRE uydu kombinasyonunda hesaplanırken; doğu bileşeninde en küçük RMS değerleri çoğunlukla GREC uydu kombinasyonunda elde edilmiştir.

Analiz başlangıcından itibaren 20 dakika sonrasındaki sonuçlar incelendiğinde; CZTG istasyonunun kuzey ve doğu bileşenleri için en küçük RMS değerleri çoğunlukla GRE uydu kombinasyonunda; yukarı bileşen için ise en küçük RMS değerleri çoğunlukla GREC uydu kombinasyonunda hesaplanmıştır.

GOPE ilk 20 dakika									
Servisler / Uydu Sistemleri	BKG (m)	CNE (m)	GFZ (m)	GMV (m)	IGS (m)	IGS03 (m)	NRC (m)	SHA (m)	WHU (m)
G (k)	0.2201	0.1701	0.1279	3.6236	0.1013	0.2388	0.3809	0.2699	0.1158
GR (k)	0.2601	0.1028	0.1789	0.4544	0.4252	0.5234	1.6547	0.5922	0.2427
GRE (k)	0.0666	0.1101	0.1081	0.3913	0.2295	0.1932	1.4297	0.0872	0.0882
GREC (k)	0.2899	0.1621	0.2479	0.4223	0.2649	0.1108	1.4763	0.1613	0.2363
G (d)	0.8071	0.9303	1.0172	3.2694	1.0735	0.3778	1.8464	1.7403	0.9742
GR (d)	0.6142	0.4999	0.3374	1.8072	0.1574	0.1809	2.7795	0.6800	0.1922
GRE (d)	0.3408	0.2463	0.2125	0.9745	0.5070	0.1943	1.4468	0.4617	0.4101
GREC (d)	0.2294	0.1370	0.0649	1.0105	0.2458	0.1011	2.2300	0.3051	0.1136
G (y)	0.3440	0.2277	0.6574	4.8266	0.1585	0.2968	2.2660	0.1347	0.1602
GR (y)	0.6632	0.6533	0.6108	1.5355	0.6934	0.5822	5.1768	0.7795	0.7517
GRE (y)	0.2838	0.3377	0.5258	0.4018	0.2532	0.3066	2.9078	0.2367	0.2783
GREC (y)	0.5663	0.3998	0.4846	0.4751	0.4076	0.0740	4.5670	0.6884	0.6781

GOPE 20 dakika sonrası									
Servisler / Uydu Sistemleri	BKG (m)	CNE (m)	GFZ (m)	GMV (m)	IGS (m)	IGS03 (m)	NRC (m)	SHA (m)	WHU (m)
G (k)	0.0443	0.0363	0.0500	1.2118	0.0442	0.0213	0.0682	0.0426	0.0512
GR (k)	0.0594	0.0656	0.0901	0.0308	0.0536	0.0330	0.3412	0.0665	0.0963
GRE (k)	0.0590	0.0840	0.0550	0.6647	0.0953	0.0425	1.6685	0.0715	0.0533
GREC (k)	0.0208	0.0229	0.0427	0.4772	0.0357	0.0361	0.1813	0.0283	0.0362
G (d)	0.1464	0.1315	0.1108	1.8754	0.1352	0.0773	0.2707	0.1416	0.1196
GR (d)	0.0971	0.1122	0.0931	0.1673	0.1023	0.0475	0.6054	0.1280	0.1140
GRE (d)	0.0629	0.0820	0.1282	0.8725	0.0802	0.0668	1.9527	0.1033	0.0758
GREC (d)	0.0330	0.0462	0.0434	0.6226	0.0546	0.0320	0.6198	0.0475	0.0439
G (y)	0.2547	0.2596	0.2680	1.5341	0.2498	0.2086	0.3894	0.2340	0.2698
GR (y)	0.1831	0.1639	0.1658	0.1388	0.1533	0.0969	0.9790	0.2016	0.2018
GRE (y)	0.0803	0.0560	0.1100	1.4783	0.0815	0.0800	4.3525	0.0975	0.0764
GREC (y)	0.1509	0.1397	0.1365	0.2846	0.1490	0.0636	1.3108	0.1529	0.1524

Şekil 4.14 GOPE istasyonunun uydu kombinasyonlarına göre RMS değerleri

Analizlerin başlatılmasından itibaren geçen ilk 20 dakikalık süre içerisindeki sonuçlara bakıldığında; GOPE istasyonunun kuzey bileşeni için en küçük RMS değerleri çoğunlukla GRE uydu kombinasyonunda, doğu bileşeni için en küçük RMS değerleri çoğunlukla GREC uydu kombinasyonunda ve yukarı bileşeni için ise en küçük RMS değerleri sadece GPS ölçülerinde hesaplanmıştır.

Analiz başlangıcından itibaren 20 dakika sonrasındaki sonuçlar incelendiğinde; GOPE istasyonunun yukarı değeri için en küçük RMS değerleri çoğunlukla GRE uydu kombinasyonunda; kuzey ve doğu bileşenleri için en küçük RMS değeri çoğunlukla GREC uydu kombinasyonunda hesaplanmıştır.

MAW1 ilk 20 dakika									
Servisler / Uydu Sistemleri	BKG (m)	CNE (m)	GFZ (m)	GMV (m)	IGS (m)	IGS03 (m)	NRC (m)	SHA (m)	WHU (m)
G (k)	0.7532	0.7389	0.2535	0.3051	0.1295	0.3158	1.9089	0.2701	0.4090
GR (k)	1.3162	0.9846	0.8591	1.1468	0.7676	0.2475	1.3039	0.9541	0.8105
GRE (k)	0.3373	0.2529	0.0811	0.1081	0.0914	0.1784	1.2252	0.0640	0.0591
GREC (k)	0.1751	0.1990	0.2337	0.1611	0.1176	0.1097	1.2029	0.2533	0.1536
G (d)	2.1010	0.7249	0.6214	0.6990	0.5577	0.0680	2.0778	0.1556	0.5413
GR (d)	1.4207	0.4742	0.4832	1.0697	0.4943	0.1024	3.9176	0.6721	0.4250
GRE (d)	1.3014	0.3385	0.3826	0.1872	0.5288	0.0767	1.9186	0.1098	0.4297
GREC (d)	0.7849	0.3463	0.2276	0.3921	0.3166	0.1815	5.9840	0.3158	0.2918
G (y)	1.2515	0.5127	0.3183	0.8248	0.1251	0.4454	2.4226	0.5183	0.2369
GR (y)	4.3992	0.9595	0.2630	1.1058	0.5154	0.4418	0.8581	0.4617	0.3330
GRE (y)	0.3743	0.5212	0.1208	0.3964	0.4507	0.4850	1.8744	0.6406	0.2578
GREC (y)	0.4060	0.4098	0.2948	0.1749	0.3519	0.2594	0.7858	0.5189	0.1944

MAW1 20 dakika sonrası									
Servisler / Uydu Sistemleri	BKG (m)	CNE (m)	GFZ (m)	GMV (m)	IGS (m)	IGS03 (m)	NRC (m)	SHA (m)	WHU (m)
G (k)	0.7033	0.1547	0.1095	0.3459	0.1189	0.1563	1.8320	0.1360	0.1314
GR (k)	0.8984	0.7942	0.6978	0.5630	0.4109	0.1302	0.9331	0.7218	0.7252
GRE (k)	0.0650	0.0310	0.0410	0.0417	0.0365	0.0237	1.2023	0.0220	0.0351
GREC (k)	0.1274	0.1372	0.1204	0.1181	0.0747	0.0357	0.5516	0.1533	0.0857
G (d)	0.5774	0.1633	0.2025	0.2048	0.2146	0.1085	1.6784	0.1142	0.1710
GR (d)	0.9701	0.2123	0.2143	0.2214	0.1434	0.1478	1.2294	0.2368	0.2377
GRE (d)	0.1021	0.0448	0.0314	0.0660	0.0501	0.0539	1.5895	0.0851	0.0846
GREC (d)	0.1557	0.0560	0.0439	0.0583	0.0959	0.0405	1.4457	0.1520	0.0734
G (y)	0.9101	0.4255	0.2203	0.5517	0.2757	0.2725	2.0680	0.2952	0.2405
GR (y)	4.3889	0.4447	0.4200	0.4076	0.2007	0.1190	2.4403	0.4645	0.4431
GRE (y)	0.0921	0.1066	0.1193	0.1019	0.1108	0.0986	1.6110	0.1019	0.1201
GREC (y)	0.2808	0.1355	0.1285	0.1593	0.0831	0.0689	1.8622	0.0795	0.1026

Şekil 4.15 MAW1 istasyonunun uydu kombinasyonlarına göre RMS değerleri

Analizlerin başlatılmasından itibaren geçen ilk 20 dakikalık süre içerisindeki sonuçlara bakıldığında; MAW1 istasyonunun yukarı bileşeni için en küçük RMS değerleri çoğunlukla GREC uydu kombinasyonunda hesaplanırken; kuzey ve doğu bileşenleri için GRE ve GREC uydu kombinasyonlarında yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Analiz başlangıcından itibaren 20 dakika sonrasındaki sonuçlar incelendiğinde; MAW1 istasyonunun kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerinde en küçük RMS değerleri çoğunlukla GRE uydu kombinasyonunda hesaplanmıştır.

NYA2 ilk 20 dakika									
Servisler / Uydu Sistemleri	BKG (m)	CNE (m)	GFZ (m)	GMV (m)	IGS (m)	IGS03 (m)	NRC (m)	SHA (m)	WHU (m)
G (k)	0.3163	0.7392	0.7572	7.7317	1.5095	0.3460	0.7469	2.6296	
GR (k)	0.3057	0.2635	0.1644	2.7276	0.3803	0.7161	0.4570	0.8152	
GRE (k)	0.1757	0.1651	0.1205	1.3352	0.4888	0.2104	0.3399	0.4439	
GREC (k)	0.2249	0.2094	0.1705	0.8364	0.2422	0.1547	0.3606	0.2938	
G (d)	0.9736	1.3181	1.7717	8.8736	2.3432	0.9239	1.4017	3.5062	
GR (d)	0.7950	0.4640	0.4209	3.7617	0.3253	0.4794	0.6300	0.6066	
GRE (d)	0.2382	0.1630	0.2232	2.7455	0.6063	0.2152	0.8169	0.8896	
GREC (d)	0.1830	0.0938	0.1583	1.3317	0.0985	0.1193	0.3845	0.4224	
G (y)	0.9635	0.7982	0.9548	7.4884	1.2401	1.0611	0.7670	1.6334	
GR (y)	0.9348	0.5918	0.6763	1.5574	0.8092	1.1349	0.8216	0.7801	
GRE (y)	0.4630	0.4947	0.8038	4.7674	0.8773	0.5682	1.1034	1.9050	
GREC (y)	0.4881	0.3917	0.2679	0.5407	0.4534	0.1972	0.9001	0.3707	

NYA2 20 dakika sonrası									
Servisler / Uydu Sistemleri	BKG (m)	CNE (m)	GFZ (m)	GMV (m)	IGS (m)	IGS03 (m)	NRC (m)	SHA (m)	WHU (m)
G (k)	0.2818	0.2908	0.3020	2.7327	0.1506	0.2898	0.2231	0.2662	
GR (k)	0.0997	0.0769	0.0712	1.1948	0.0875	0.0918	0.2487	0.2973	
GRE (k)	0.0748	0.2363	0.2821	1.9029	0.1030	0.0664	0.2581	0.3573	
GREC (k)	0.1576	0.0898	0.1018	0.0938	0.1670	0.0319	0.1508	0.2201	
G (d)	0.3022	0.3035	0.3242	2.7049	0.4383	0.1488	0.3013	0.5018	
GR (d)	0.1825	0.1586	0.2150	1.1246	0.2038	0.0493	0.2054	0.2317	
GRE (d)	0.0333	0.1431	0.2743	0.6562	0.1454	0.0666	0.1166	0.2595	
GREC (d)	0.1055	0.0839	0.0930	0.0455	0.0983	0.0591	0.1151	0.2563	
G (y)	0.6783	0.8883	0.8401	1.5611	0.5820	0.4823	0.7541	0.6084	
GR (y)	0.3704	0.3530	0.3788	1.4602	0.4129	0.2181	0.5835	0.5194	
GRE (y)	0.0905	0.1538	0.3265	1.5969	0.0860	0.0922	0.8122	0.3017	
GREC (y)	0.3216	0.2427	0.2070	0.2701	0.3030	0.0772	0.4519	0.2965	

Şekil 4.16 NYA2 istasyonunun uydu kombinasyonlarına göre RMS değerleri

Analizlerin başlatılmasından itibaren geçen ilk 20 dakikalık ve 20 dakika sonrası sonuçlara bakıldığında; NYA2 istasyonunun kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerinde en küçük RMS değerlerinin çoğunlukla GREC uydu kombinasyonunda hesaplandığı görülmektedir. Ölçü esnasında NYA2 istasyonu için WHU servisinden veri alınamamıştır.

Yukarıdaki tablolarda yer alan 4 farklı istasyona ait 9 servisin yörünge/saat düzeltme ürünleriyle elde edilen sonuçlarının analizleri neticesinde G ve GR uydu kombinasyonuna göre GRE ve GREC uydu kombinasyonu kullanılması servisler açısından konum doğruluğunu arttırmıştır. Analizlerin başlangıcından itibaren ilk 20 dakikada referans değerden farklar fazla olsa da farklı uydu kombinasyonlarının doğruluğa olumlu yöndeki etkisi tablolarda görülmektedir.

Uydu kombinasyonları için yapılan çalışmadan sonra ikinci adım olarak 9 adet servis ürününün hangi uydu kombisyonuyla daha verimli çalıştığı incelenmiştir. CZTG, GOPE, MAW1 ve NYA2 istasyonlarına ait ilk 20 dakika ve 20 dakika sonrası için 9 farklı ürünün, 4 farklı uydu kombinasyonda kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerine ait RMS değerleri; Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de verilmiştir. Her uydu kombinasyonunun kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerine ait en küçük RMS değerleri tablolarda yeşil renk ile işaretlenmiştir. Ölçüm yapılamayan WHU servisi ise kırmızı ile işaretlenmiştir.

CZTG	G			GR			GRE			GREC		
ilk 20 dk	k	d	y	k	d	y	k	d	y	k	d	y
BKG (m)	0.4267	0.6646	1.2298	0.4851	0.5334	0.5369	0.0823	0.6851	0.6550	0.1740	0.2777	0.5132
CNE (m)	0.4347	0.5369	1.0238	0.6036	0.5720	1.3075	0.1550	0.4604	0.4924	0.1295	0.3718	0.5293
GFZ (m)	0.4067	0.4317	1.0462	0.5027	0.5469	0.4811	0.1247	0.3890	0.5801	0.2230	0.2001	0.5466
GMV (m)	1.3637	3.0664	0.6697	0.5267	3.3611	2.4486	0.2393	0.4991	0.3613	0.5966	2.8930	2.7721
IGS (m)	0.8320	0.2243	1.1277	0.7628	0.4632	0.5046	0.1053	0.3489	0.4504	0.3576	0.2776	0.5642
IGS03 (m)	0.3824	0.5100	0.6539	0.4324	0.2902	0.5194	0.1457	0.2439	0.2300	0.4194	0.2293	0.6754
NRC (m)	5.0046	4.9115	4.7826	1.1601	2.7612	0.3310	2.7112	3.3824	4.4724	3.7555	2.4905	7.7852
SHA (m)	0.8576	1.0351	1.0204	0.6750	0.9847	0.6484	0.1367	0.5449	0.6599	0.3074	0.5248	0.5700
WHU (m)	0.6726	0.2298	1.1753	0.5477	0.4655	0.3560	0.1926	0.3155	0.7346	0.1694	0.2887	0.4972

CZTG	G			GR			GRE			GREC		
20 dk sonrası	k	d	y	k	d	y	k	d	y	k	d	y
BKG (m)	0.0419	0.1151	0.8034	0.2973	0.5086	1.3056	0.0442	0.0594	0.6896	0.0757	0.0914	0.6105
CNE (m)	0.0444	0.1513	0.8564	0.3143	0.5144	1.2931	0.0497	0.0848	0.7223	0.1327	0.1682	0.6217
GFZ (m)	0.0691	0.1433	0.8833	0.3107	0.4739	1.2181	0.0582	0.0812	0.7357	0.1176	0.1462	0.6600
GMV (m)	0.6459	0.3512	0.8430	0.4903	1.0940	1.7525	0.3454	0.3229	0.6910	0.3524	1.3213	1.5582
IGS (m)	0.0523	0.1572	0.7914	0.4559	0.2497	0.8006	0.0620	0.0806	0.6621	0.0787	0.0382	0.5830
IGS03 (m)	0.0562	0.0459	0.4578	0.2160	0.4706	0.4968	0.0362	0.0236	0.4059	0.0622	0.0530	0.5230
NRC (m)	1.0252	2.0046	5.5180	0.4530	0.4147	2.1906	0.2325	0.5549	0.8285	1.8547	2.8594	2.5576
SHA (m)	0.0517	0.1222	0.8203	0.3173	0.4766	1.2030	0.0380	0.1041	0.7611	0.0974	0.1127	0.7233
WHU (m)	0.0589	0.1448	0.8106	0.3205	0.5215	1.2651	0.0506	0.1433	0.7450	0.0734	0.1084	0.6154

Şekil 4.17 CZTG istasyonunun ürünlere göre RMS değerleri

GOPE	G			GR			GRE			GREC		
ilk 20 dk	k	d	y	k	d	y	k	d	y	k	d	y
BKG (m)	0.2201	0.8071	0.3440	0.2601	0.6142	0.6632	0.0666	0.3408	0.2838	0.2899	0.2294	0.5663
CNE (m)	0.1701	0.9303	0.2277	0.1028	0.4999	0.6533	0.1101	0.2463	0.3377	0.1621	0.1370	0.3998
GFZ (m)	0.1279	1.0172	0.6574	0.1789	0.3374	0.6108	0.1081	0.2125	0.5258	0.2479	0.0649	0.4846
GMV (m)	3.6236	3.2694	4.8266	0.4544	1.8072	1.5355	0.3913	0.9745	0.4018	0.4223	1.0105	0.4751
IGS (m)	0.1013	1.0735	0.1585	0.4252	0.1574	0.6934	0.2295	0.5070	0.2532	0.2649	0.2458	0.4076
IGS03 (m)	0.2388	0.3778	0.2968	0.5234	0.1809	0.5822	0.1932	0.1943	0.3066	0.1108	0.1011	0.0740
NRC (m)	0.3809	1.8464	2.2660	1.6547	2.7795	5.1768	1.4297	1.4468	2.9078	1.4763	2.2300	4.5670
SHA (m)	0.2699	1.7403	0.1347	0.5922	0.6800	0.7795	0.0872	0.4617	0.2367	0.1613	0.3051	0.6884
WHU (m)	0.1158	0.9742	0.1602	0.2427	0.1922	0.7517	0.0882	0.4101	0.2783	0.2363	0.1136	0.6781

GOPE	G			GR			GRE			GREC		
20 dk sonrası	k	d	y	k	d	y	k	d	y	k	d	y
BKG (m)	0.0443	0.1464	0.2547	0.0594	0.0971	0.1831	0.0590	0.0629	0.0803	0.0208	0.0330	0.1509
CNE (m)	0.0363	0.1315	0.2596	0.0656	0.1122	0.1639	0.0840	0.0820	0.0560	0.0229	0.0462	0.1397
GFZ (m)	0.0500	0.1108	0.2680	0.0901	0.0931	0.1658	0.0550	0.1282	0.1100	0.0427	0.0434	0.1365
GMV (m)	1.2118	1.8754	1.5341	0.0308	0.1673	0.1388	0.6647	0.8725	1.4783	0.4772	0.6226	0.2846
IGS (m)	0.0442	0.1352	0.2498	0.0536	0.1023	0.1533	0.0953	0.0802	0.0815	0.0357	0.0546	0.1490
IGS03 (m)	0.0213	0.0773	0.2086	0.0330	0.0475	0.0969	0.0425	0.0668	0.0800	0.0361	0.0320	0.0636
NRC (m)	0.0682	0.2707	0.3894	0.3412	0.6054	0.9790	1.6685	1.9527	4.3525	0.1813	0.6198	1.3108
SHA (m)	0.0426	0.1416	0.2340	0.0665	0.1280	0.2016	0.0715	0.1033	0.0975	0.0283	0.0475	0.1529
WHU (m)	0.0512	0.1196	0.2698	0.0963	0.1140	0.2018	0.0533	0.0758	0.0764	0.0362	0.0439	0.1524

Şekil 4.18 GOPE istasyonunun ürünlere göre RMS değerleri

MAW1	G			GR			GRE			GREC		
ilk 20 dk	k	d	y	k	d	y	k	d	y	k	d	y
BKG (m)	0.7532	2.1010	1.2515	1.3162	1.4207	4.3992	0.3373	1.3014	0.3743	0.1751	0.7849	0.4060
CNE (m)	0.7389	0.7249	0.5127	0.9846	0.4742	0.9595	0.2529	0.3385	0.5212	0.1990	0.3463	0.4098
GFZ (m)	0.2535	0.6214	0.3183	0.8591	0.4832	0.2630	0.0811	0.3826	0.1208	0.2337	0.2276	0.2948
GMV (m)	0.3051	0.6990	0.8248	1.1468	1.0697	1.1058	0.1081	0.1872	0.3964	0.1611	0.3921	0.1749
IGS (m)	0.1295	0.5577	0.1251	0.7676	0.4943	0.5154	0.0914	0.5288	0.4507	0.1176	0.3166	0.3519
IGS03 (m)	0.3158	0.0680	0.4454	0.2475	0.1024	0.4418	0.1784	0.0767	0.4850	0.1097	0.1815	0.2594
NRC (m)	1.9089	2.0778	2.4226	1.3039	3.9176	0.8581	1.2252	1.9186	1.8744	1.2029	5.9840	0.7858
SHA (m)	0.2701	0.1556	0.5183	0.9541	0.6721	0.4617	0.0640	0.1098	0.6406	0.2533	0.3158	0.5189
WHU (m)	0.4090	0.5413	0.2369	0.8105	0.4250	0.3330	0.0591	0.4297	0.2578	0.1536	0.2918	0.1944

MAW1	G			GR			GRE			GREC		
20 dk sonrası	k	d	y	k	d	y	k	d	y	k	d	y
BKG (m)	0.7033	0.5774	0.9101	0.8984	0.9701	4.3889	0.0650	0.1021	0.0921	0.1274	0.1557	0.2808
CNE (m)	0.1547	0.1633	0.4255	0.7942	0.2123	0.4447	0.0310	0.0448	0.1066	0.1372	0.0560	0.1355
GFZ (m)	0.1095	0.2025	0.2203	0.6978	0.2143	0.4200	0.0410	0.0314	0.1193	0.1204	0.0439	0.1285
GMV (m)	0.3459	0.2048	0.5517	0.5630	0.2214	0.4076	0.0417	0.0660	0.1019	0.1181	0.0583	0.1593
IGS (m)	0.1189	0.2146	0.2757	0.4109	0.1434	0.2007	0.0365	0.0501	0.1108	0.0747	0.0959	0.0831
IGS03 (m)	0.1563	0.1085	0.2725	0.1302	0.1478	0.1190	0.0237	0.0539	0.0986	0.0357	0.0405	0.0689
NRC (m)	1.8320	1.6784	2.0680	0.9331	1.2294	2.4403	1.2023	1.5895	1.6110	0.5516	1.4457	1.8622
SHA (m)	0.1360	0.1142	0.2952	0.7218	0.2368	0.4645	0.0220	0.0851	0.1019	0.1533	0.1520	0.0795
WHU (m)	0.1314	0.1710	0.2405	0.7252	0.2377	0.4431	0.0351	0.0846	0.1201	0.0857	0.0734	0.1026

Şekil 4.19 MAW1 istasyonunun ürünlere göre RMS değerleri

CZTG, GOPE ve MAW1 istasyonlarında analiz başlangıcından itibaren ilk 20 dakika ve 20 dakika sonrası için çoğunlukla IGS03 ürününün diğer 8 üründen daha küçük RMS değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

NYA2	G			GR			GRE			GREC		
ilk 20 dk	k	d	y	k	d	y	k	d	y	k	d	y
BKG (m)	0.3163	0.9736	0.9635	0.3057	0.7950	0.9348	0.1757	0.2382	0.4630	0.2249	0.1830	0.4881
CNE (m)	0.7392	1.3181	0.7982	0.2635	0.4640	0.5918	0.1651	0.1630	0.4947	0.2094	0.0938	0.3917
GFZ (m)	0.7572	1.7717	0.9548	0.1644	0.4209	0.6763	0.1205	0.2232	0.8038	0.1705	0.1583	0.2679
GMV (m)	7.7317	8.8736	7.4884	2.7276	3.7617	1.5574	1.3352	2.7455	4.7674	0.8364	1.3317	0.5407
IGS (m)	1.5095	2.3432	1.2401	0.3803	0.3253	0.8092	0.4888	0.6063	0.8773	0.2422	0.0985	0.4534
IGS03 (m)	0.3460	0.9239	1.0611	0.7161	0.4794	1.1349	0.2104	0.2152	0.5682	0.1547	0.1193	0.1972
NRC (m)	0.7469	1.4017	0.7670	0.4570	0.6300	0.8216	0.3399	0.8169	1.1034	0.3606	0.3845	0.9001
SHA (m)	2.6296	3.5062	1.6334	0.8152	0.6066	0.7801	0.4439	0.8896	1.9050	0.2938	0.4224	0.3707
WHU (m)												

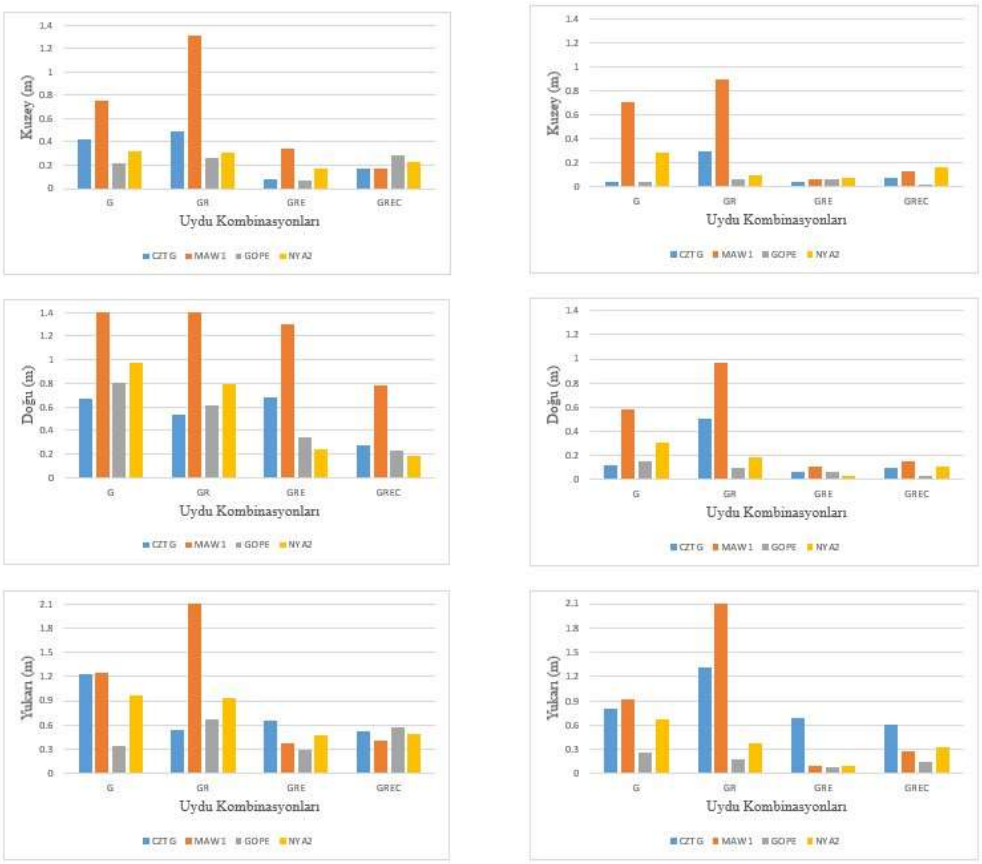
NYA2	G			GR			GRE			GREC		
20 dk sonrası	k	d	y	k	d	y	k	d	y	k	d	y
BKG (m)	0.2818	0.3022	0.6783	0.0997	0.1825	0.3704	0.0748	0.0333	0.0905	0.1576	0.1055	0.3216
CNE (m)	0.2908	0.3035	0.8883	0.0769	0.1586	0.3530	0.2363	0.1431	0.1538	0.0898	0.0839	0.2427
GFZ (m)	0.3020	0.3242	0.8401	0.0712	0.2150	0.3788	0.2821	0.2743	0.3265	0.1018	0.0930	0.2070
GMV (m)	2.7327	2.7049	1.5611	1.1948	1.1246	1.4602	1.9029	0.6562	1.5969	0.0938	0.0455	0.2701
IGS (m)	0.1506	0.4383	0.5820	0.0875	0.2038	0.4129	0.1030	0.1454	0.0860	0.1670	0.0983	0.3030
IGS03 (m)	0.2898	0.1488	0.4823	0.0918	0.0493	0.2181	0.0664	0.0666	0.0922	0.0319	0.0591	0.0772
NRC (m)	0.2231	0.3013	0.7541	0.2487	0.2054	0.5835	0.2581	0.1166	0.8122	0.1508	0.1151	0.4519
SHA (m)	0.2662	0.5018	0.6084	0.2973	0.2317	0.5194	0.3573	0.2595	0.3017	0.2201	0.2563	0.2965
WHU (m)												

Şekil 4.20 NYA2 istasyonunun göre RMS değerleri

NYA2 istasyonunda analiz başlangıcından itibaren ilk 20 dakikalık sonuçlarda IGS03 ve CNE servislerinin RMS değerleri diğer servislere göre daha düşüktür. Öte yandan 20 dakika sonrası için çoğunlukla IGS03 servisi diğer 8 servisten daha küçük RMS değerine sahiptir.

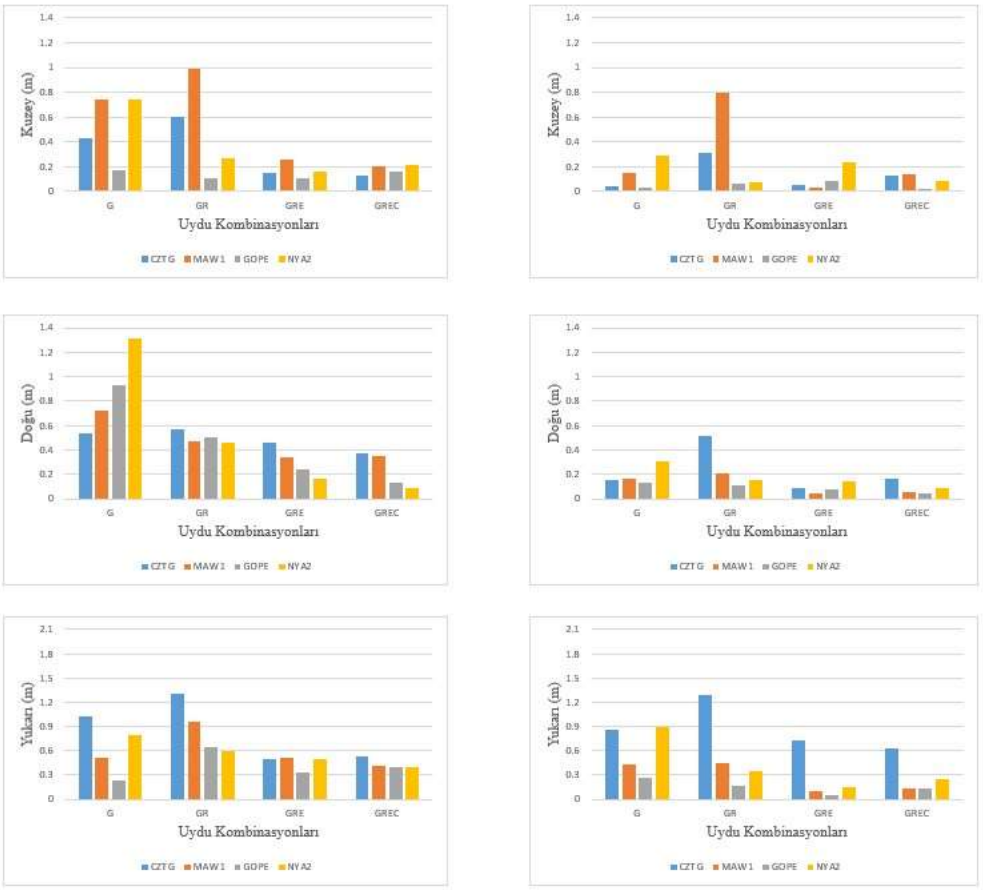
İkinci uygulamadaki sonuçlar 9 adet yörünge/saat ürünü dikkate alınarak; CZTG, GOPE, MAW1 ve NYA2 istasyonları için 4 farklı uydu kombinasyonuna göre Şekil

4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekillerde farklı uydu kombinasyonlarının servislere göre performansları belirlenmek istenmiştir. Ayrıca sol taraftaki veriler ilk 20 dakikalık, sağ taraftaki veriler 20 dakika sonrası verileri için yukardan aşağı sırasıyla kuzey, doğu ve yukarı bileşenlerini göstermektedir. Grafiklerin okunurluğu arttırmak için kuzey ve doğu bileşenlerinin üst sınırı 1.4 metre yukarı bileşenin üst sınırı 2.1 metre olarak sınırlandırılmıştır. Grafiklerin orijinal versiyonları Ek-A'da verilmiştir.



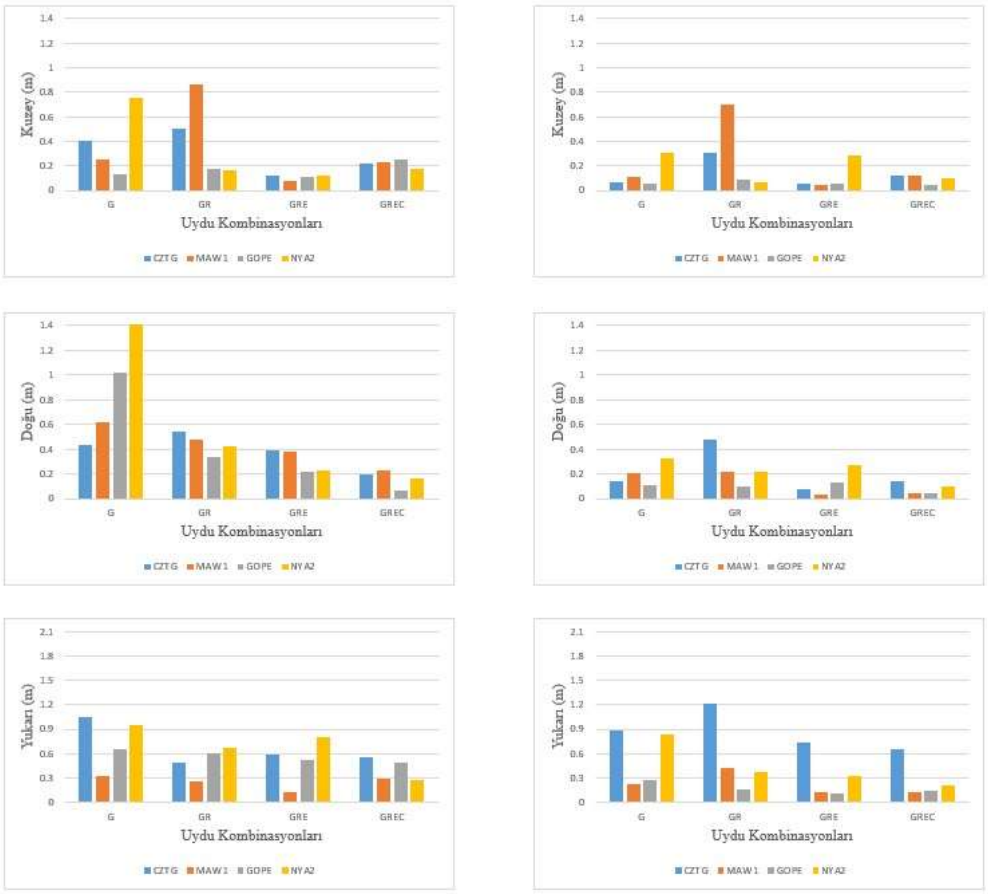
Şekil 4.21 BKG servisine ait RMS değerleri

BKG servisinde, ağırlıklı olarak MAW1, GOPE ve NYA2 istasyonlarında kuzey, doğu ve yukarı bileşenleri için GRE uydu kombinasyonunda en küçük RMS değerleri hesaplanırken, CZTG istasyonu için en küçük RMS değeri GREC uydu kombinasyonunda elde edilmiştir.



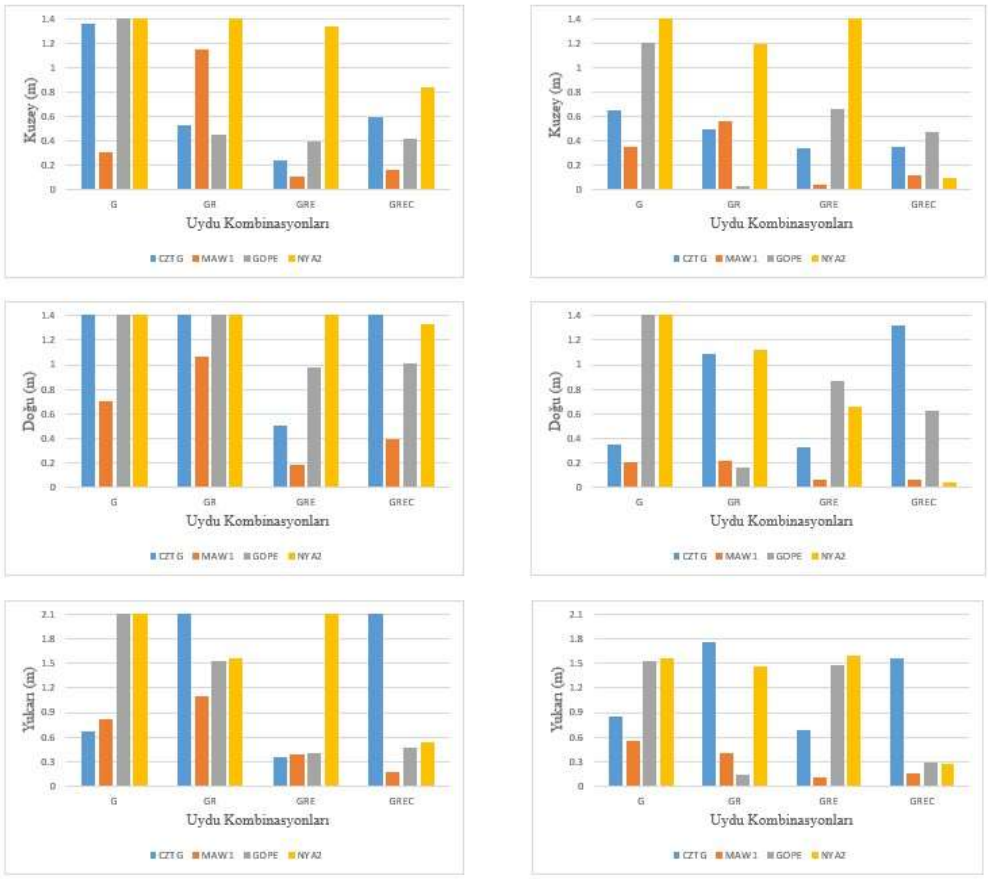
Şekil 4.22 CNES servisine ait RMS değerleri

CNES servisinde, CZTG istasyonunun doğu bileşeninde, MAW1 istasyonunun tüm bileşenlerinde, GOPE ve NYA2 istasyonlarının yukarı bileşenlerinde GRE uydu kombinasyonunda, CZTG istasyonunun yukarı bileşeninde, GOPE ve NYA2 istasyonlarının kuzey ve doğu bileşenlerinde GREC uydu kombinasyonunda en küçük RMS değerleri hesaplanırken, CZTG istasyonunun kuzey bileşeninde en küçük RMS değeri sadece GPS sisteminde elde edilmiştir.



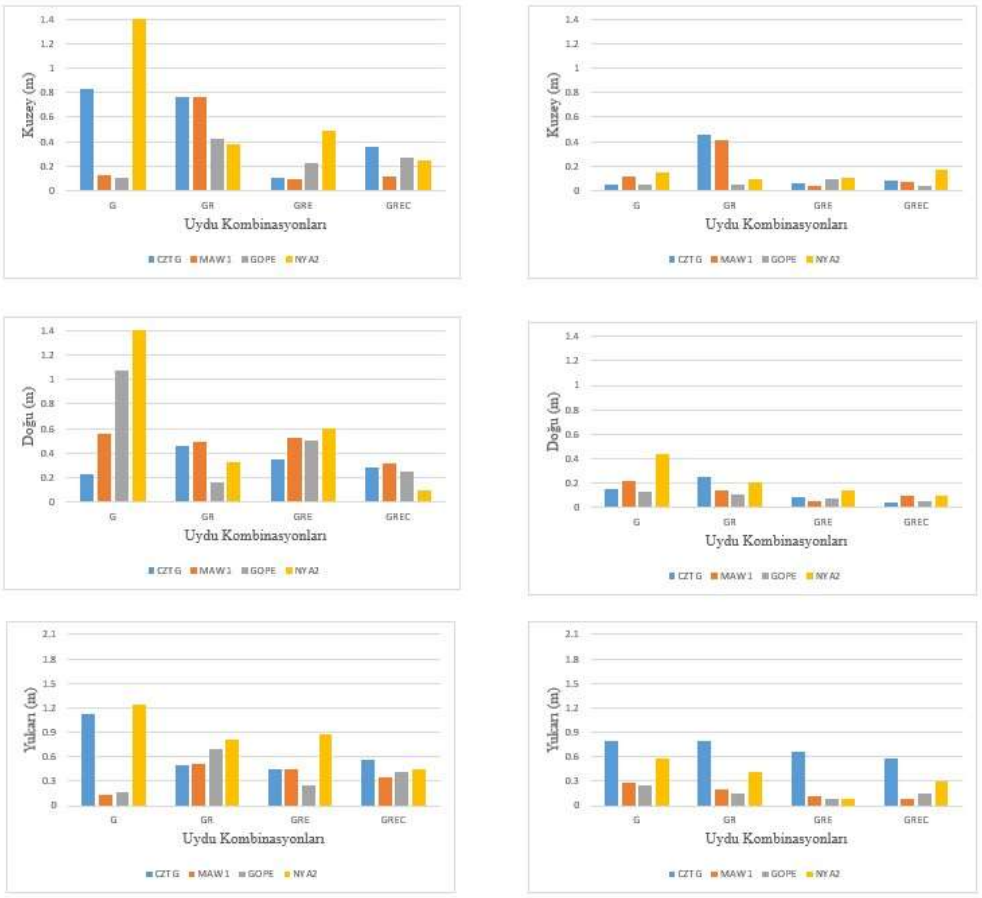
Şekil 4.23 GFZ servisine ait RMS değerleri

GFZ servisinde; CZTG istasyonunun kuzey ve doğu bileşenlerinde, MAW1 istasyonunun tüm bileşenlerinde, GOPE ve NYA2 istasyonlarının yukarı bileşenleri için en küçük RMS değeri GRE uydu kombinasyonunda elde edilirken; GOPE ve NYA2 istasyonlarının kuzey ve doğu bileşenleriyle, CZTG istasyonunun yukarı bileşeni için en küçük RMS değerleri GREC uydu kombinasyonunda hesaplanmıştır.



Şekil 4.24 GMV servisine ait RMS değerleri

GMV servisinde; CZTG ve MAW1 istasyonlarının tüm bileşenlerinde en küçük RMS değerleri GRE uydu kombinasyonunda, GOPE istasyonunun tüm bileşenlerinde GR uydu kombinasyonunda ve NYA2 istasyonunun tüm bileşenlerinde GREC uydu kombinasyonunda hesaplanmıştır.



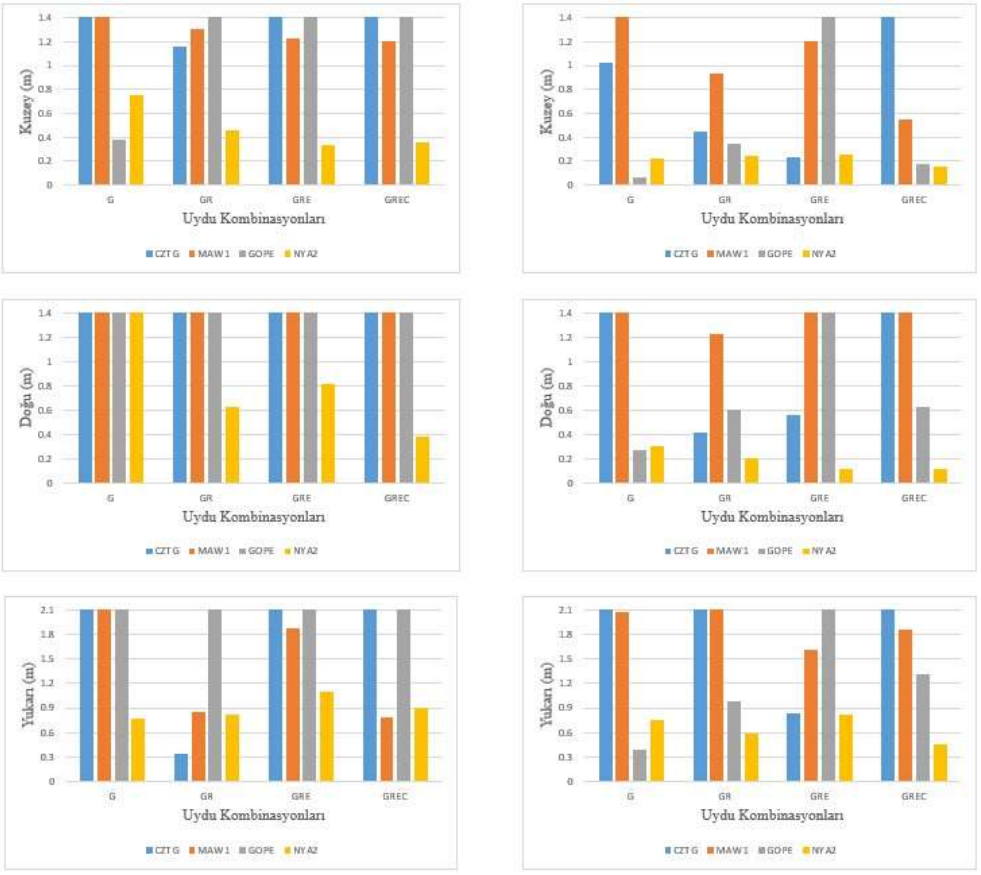
Şekil 4.25 IGS servisine ait RMS değerleri

IGS servisinde; CZTG istasyonunun doğu ve yukarı bileşenlerinde, MAW1 istasyonunun yukarı bileşeninde, GOPE istasyonunun kuzey ve doğu bileşenlerinde, NYA2 istasyonunun doğu bileşeninde GREC uydu kombinasyonu, MAW1 istasyonunun kuzey ve doğu bileşenlerinde, GOPE istasyonunun yukarı bileşeninde, NYA2 istasyonunun ise kuzey ve yukarı bileşenlerinde GRE uydu kombinasyonu en küçük RMS değerlerine sahipken, CZTG istasyonunun kuzey bileşeninde yalnızca GPS en iyi sonucu vermiştir.



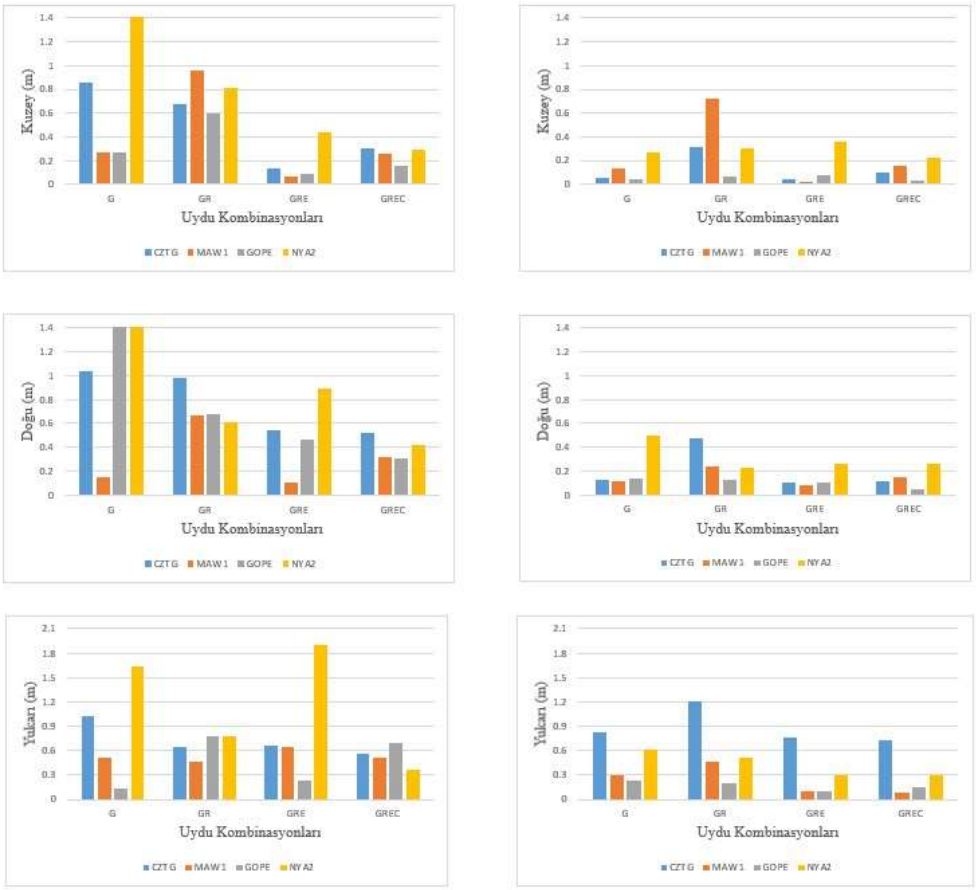
Şekil 4.26 IGS03 servisine ait RMS değerleri

Tüm grafikler incelendiğinde neredeyse tüm uydu kombinasyonlarıyla en iyi sonucu veren yörünge/saat ürünlerinin IGS03 servisine ait olduğu görülmektedir. IGS03 servisinde; CZTG istasyonunun genel olarak bütün bileşenlerinde GRE uydu kombinasyonu en küçük RMS değerlerine sahipken, MAW1, GOPE ve NYA2 istasyonlarının bütün bileşenlerinde GREC uydu kombinasyonu en küçük RMS değerlerine sahiptir.



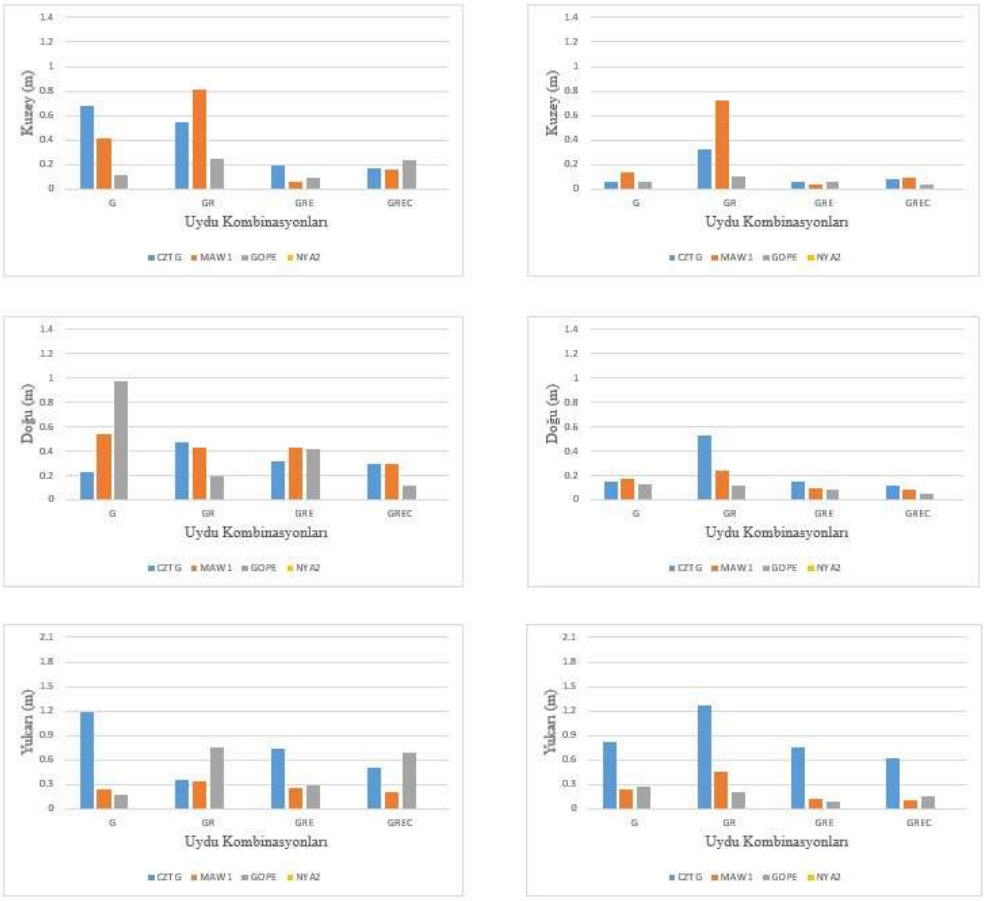
Şekil 4.27 NRCan servisine ait RMS değerleri

NRCan servisinde; CZTG istasyonunun kuzey ve yukarı bileşeninde, MAW1 istasyonunun yukarı bileşeninde GRE uydu kombinasyonu, MAW1 istasyonunun kuzey bileşeninde ve NYA2 istasyonunun tüm bileşenlerinde GREC uydu kombinasyonunda, CZTG ve MAW1 istasyonlarının doğu bileşenlerinde GR uydu kombinasyonunda, GOPE istasyonunun tüm bileşenlerinde ise yalnızca GPS uydularıyla en küçük RMS değerleri hesaplanmıştır. Buna ek olarak grafiklerden NRCan servisinde en iyi sonuçların NYA2 istasyonunda elde edildiği görülmektedir.



Şekil 4.28 SHAO servisine ait RMS değerleri

SHAO servisinde; CZTG ve MAW1 istasyonlarının kuzey ve doğu bileşenlerinde, GOPE istasyonunun yukarı bileşeninde GRE uydu kombinasyonu; CZTG ve MAW1 istasyonlarının yukarı bileşenlerinde, GOPE istasyonunun kuzey bileşeninde, NYA2 istasyonunun kuzey ve yukarı bileşenlerinde GREC uydu kombinasyonunda en küçük RMS değerleri hesaplanırken; NYA2 istasyonunun doğu bileşeninde GR uydu kombinasyonu en küçük RMS değerlerine sahiptir.



Şekil 4.29 WHU servisine ait RMS değerleri

WHU servisinde; CZTG ve MAW1 istasyonlarının kuzey bileşeninde, GOPE istasyonunun yukarı bileşeninde GRE uydu kombinasyonunda en küçük RMS değerleri hesaplanırken; CZTG ve MAW1 istasyonlarının doğu ve yukarı bileşenlerinde, GOPE istasyonunun kuzey ve doğu bileşenlerinde en küçük RMS değerleri GREC uydu kombinasyonunda elde edilmiştir. WHU servisi ile NYA2 istasyonu analiz edilememiştir.

5
SONUÇ

Gerçek zamanlı hassas nokta konum belirleme çalışmaları, bu alanda farklı uydu kombinasyonlarının kullanımı ve günümüzde veri sağlayan kuruluşların da artmasıyla hız kazanmıştır. Bu çalışmada gerçek zamanlı hassas konum belirleme sonuçlarının doğruluğunun araştırılması için iki deney tasarlanmıştır. İlk deney kapsamında yaklaşık aynı boylam üzerinde farklı enlemlerde seçilen 8 IGS istasyonundan G, GR, GRE ve GREC uydu kombinasyona ait veriler ve IGS03 yörünge/saat düzeltme ürünü kullanılmıştır. İkinci deneyde ise 4 IGS istasyonundan ve 4 farklı uydu kombinasyonundan elde edilen veriler ile 9 farklı yörünge/saat düzeltme ürünü kullanılmıştır. Her bir uydu takımı kombinasyonuna ait analizler kendi içinde eş zamanlı olacak şekilde 1 saniye aralıklı olarak gerçekleştirilmiştir. Analizler PP-PPP ve RT-PPP yöntemi ile GipsyX v2.0 ve BNC v2.12.18 yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. GipsyX yazılımı ile 8 IGS istasyonundan elde edilen 24 saatlik veriler, PP-PPP yöntemi ile analiz edildikten sonra ortalamaları alınarak referans koordinatlar hesaplanmıştır. Referans koordinatlar yardımıyla koordinat farkları alındıktan sonra iki deney kapsamında elde edilen kartezyen koordinatlar, toposentrik koordinatlara dönüştürülmüştür. Sinyallerdeki ani değişimlerin yakınsama epoğunu yanıltmaması için medyana dayalı uyuşumsuz ölçü testi kullanılmıştır. İlk deney kapsamında verilerin mutlak ortalamaları, ikinci deney kapsamında da RMS değerleri hesaplanmıştır.

Genel olarak G ve GR kombinasyonun GRE ve GREC kombinasyonuna göre daha geç yakınsadığı görülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında özellikle uydu kombinasyonlarındaki sayıların artması noktalardaki ortalama yakınsama sürelerini yaklaşık 45 dakika seviyesinden, yaklaşık 10 dakika seviyesine düşürdüğü gözlemlenmiştir. Böylece gerçek zamanlı hassas nokta konumlandırma yönteminin en büyük handikabı olan yakınsama süresi önemli ölçüde kısalmaktadır. İki deneyin neticesinde BeiDou uydu takımının sisteme dahil edilmesi bazı istasyonların

bileşenlerinde olumlu sonuç verirken, bazılarında bu olumlu etki görülememektedir. Küresel uydu sistemine son yıllarda dahil edilen BeiDou uydu takımının verilerinin kullanılmasının olumlu veya olumsuz etkisi hakkında sonuç çıkarımı için daha fazla sayıda noktada deneylerin yapılması gerekmektedir.

İkinci deney kapsamında 8 farklı uluslararası organizasyonunun sağladığı 9 farklı düzeltme ürününün performansı incelenmiştir. Çoklu-GNSS yörünge/saat düzeltme ürünü sağlayan servisler içinde ilk 20 dakikalık yakınsama süresi içinde herhangi bir kesinlik sağlanamamasına rağmen IGS ve IGS03 yörünge/saat düzeltme ürünlerinin diğer 7 ürüne kıyasla daha küçük RMS değerlerine sahip olduğu görülmüştür. 20 dakika sonrası için genel olarak IGS03 yörünge/saat düzeltme ürününün diğer ürünlere göre 4 uydu kombinasyonunda da daha küçük RMS değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. NRCan servisinin ise en iyi sonucu kuzey kutbunda olan NYA2 istasyonuyla çalıştığı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

[1] Zumberge, J.F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M. ve Webb, F. H., (1997). Precise Point Positioning for the Efficient and Robust Analysis of GPS Data from Large Networks, Journal of Geophysical Research, 102, B3, 5005-5017.

[2] Pırtı, A., & Yazıcı, D. (2022). İnternet tabanlı GNSS yazılımlarının doğruluk açısından değerlendirilmesi. Geomatik, 7(2), 88-105.

[3] Öcalan, T., Erdoğan, B., & Tunalıoğlu, N. (2013). Analysis of web-based online services for GPS relative and precise point positioning techniques. Boletim de ciencias geodesicas, 19(2), 191-207.

[4] Bahadur B & Üstün A (2014) İnternet Tabanlı GNSS Veri Değerlendirme Servisleri, Harita Dergisi, 152(2), 40–50.

[5] Karadeniz, B., Pehlivan, H., & Arı, B. (2023). Examination of the Performance of Precise Point Positioning Technique with Real-Time Products on Smartphones. Advanced Geomatics, 3(1), Article 1.

[6] Li, M.; Huang, G.; Wang, L.; Xie, W. BDS/GPS/Galileo Precise Point Positioning Performance Analysis of Android Smartphones Based on Real-Time Stream Data. Remote Sens. 2023, 15, 2983.

[7] Turgut M. ; Alçay S. Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konumlama (RT-PPP) Karşılaştırmalı Analizi 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25-27 Nisan 2019, Ankara.

[8] Nie, Z., Liu, F. & Gao, Y. Real-time precise point positioning with a low-cost dual-frequency GNSS device. GPS Solut 24, 9 (2020).

[9] Karlıtepe F., Kurban T., Erdoğan B. Gnss Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konumlama (RT-PPP) Tekniği İçin Karşılaştırmalı Deneysel Çözümler Kayseri (2017)

[10] Alcay, S., Turgut, M. Evaluation of the positioning performance of multi-GNSS RT-PPP method. Arab J Geosci 14, 155 (2021).

[11] Ramachandran, D., Md Din, A. H., Ibrahim, S., & Omar, A. (2019). Real-Time Precise Point Positioning (RT-PPP) for Positioning and Mapping. In Lecture Notes in Civil Engineering (pp. 891–913).

[12] Karlıtepe F, Tunalıoğlu N, Erdoğan B. Performance Evaluatıon Of Real Tıme Precıse Poınt Posıtıonıng For Multı-GNSS Concept. Sıgma. 2021;38(4):2231-44.

[13] Montenbruck, O., Steigenberger, P., Prange, L., Deng, Z., Zhao, Q., Perosanz, F., Romero, I., Noll, C., Stürze, A., & Weber, G. (2017). The Multi-GNSS Experiment (MGEX) of the International GNSS Service (IGS)–achievements, prospects and challenges. Advances in Space Research, 59(7), 1671-1697.

[14] Li, X., Ge, M., Dai, X., Ren, X., Fritsche, M., Wickert, J., & Schuh, H. (2015). Accuracy and reliability of multi-GNSS real-time precise positioning: GPS, GLONASS, BeiDou, and Galileo. Journal of Geodesy, 89(6), 607-635.

[15] Xia, F., Ye, S., Xia, P., Zhao, L., Jiang, N., Chen, D., & Hu, G. (2019). Assessing the latest performance of Galileo-only PPP and the contribution of Galileo to Multi-GNSS PPP. Adva<nces in space research, 63(9), 2784-2795.

[16] Öğütcü, S. (2019). The contribution of Multi-GNSS Experiment (MGEX) to precise point positioning over Turkey: Consideration of observation time and satellite geometry. El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 6(3), 642-658.

[17] Ayso E. and Kahveci M., "GNSS KOD (PSEUDORANGE) ÖLÇÜLERİ İLE TEK NOKTA KONUM BELİRLEME YAZILIMI: KTUN_SPP", KONJES, vol. 10, no. 3, pp. 578–598, 2022,

[18] Bahadur, B. Enhancement of Real-time Absolute GNSS Positioning Performance. 2021.

[19] İnal, C., Gündoğan, T., & Bülbül, S. (2023). Galileo uydu sisteminin nokta konumlamaya etkisi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(3), 799-809.

[20] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2007). GNSS–global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more. Springer Science & Business Media.

[21] Bhatta, B., 2021, Global Navigation Satellite Systems: New Technologies and Applications Second Edition, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York.

[22] Kahveci, M., & Yıldız, F. (2018). GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri. 10. Basım. Nobel Akademik Yayıncılık.

[23] Pan, L., Cai, C., Santerre, R., Zhang, X., 2016, "Performance evaluation of single-frequency point positioning with GPS, GLONASS, BeiDou and Galileo" Survey Review, Cilt 49, Sayı 354, ss. 197 205.

[24] Öcalan, T., (2015). GNSS Ağlarında GPS Hassas Nokta Konumlama (GPS-PPP) Tekniği Yaklaşımlı Çözümler, Doktora tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[25] Rizos, C., Janssen, V., Roberts, C. ve Grinter, T., (2012a). Precise Point Positioning: Is the Era of Differential GNSS Positioning Drawing to an End?, FIG Working Week 2012, 6-10 May 2012, Rome, Italy.

[26] Rizos, C., Janssen, V., Roberts, C. ve Grinter, T., (2012b). PPP Versus DGNSS, Geomatic World, September/October 2012

[27] Kouba, J., & Héroux, P. (2001). Precise point positioning using IGS orbit and clock products. GPS solutions, 5(2), 12-28.

[28] Gao, Y., & Shen, X. (2001). Improving ambiguity convergence in carrier phase-based precise point positioning. Proceedings of the 14th international technical meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, 1532-1539.

[29] Jet Propulsion Laboratory, https://gipsyx.jpl.nasa.gov/, 30.06.2024.

[30] Bertiger, W., Bar-Sever, Y., Dorsey, A., Haines, B., Harvey, N., Hemberger, D., ... & Willis, P. (2020). GipsyX/RTGx, a new tool set for space geodetic operations and research. Advances in Space Research, 66(3), 469-489.

[31] Weber, Georg · Mervart, Leoš · Stürze, Andrea ...BKG ntrip client (BNC) version 2.12.18

[32] Federal Agency for Cartography and Geodesy, "Ntrip - Networked Transport of RTCM via Internet Protocol", https://igs.bkg.bund.de/ntrip/, 30.06.2024.

[33] Federal Agency for Cartography and Geodesy, https://igs.bkg.bund.de/, 30.06.2024.

[34] French Space Agency, https://igsac-cnes.cls.fr/, 30.06.2024.

[35] German Research Centre for Geosciences, https://dataservices.gfz-potsdam.de/portal/about.html, 30.06.2024.

[36] GMV İnavation Solitions, https://www.gmv.com/en-es/sectors/space, 30.06.2024.

[37] Shanghai Astronomical Observatory, http://center.shao.ac.cn/shao_gnss_ac/, 30.06.2024.

[38] Natural Resources Canada, https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/21448, 30.06.2024.

[39] Wuhan University, https://geosun-gnss.en.made-in-china.com/, 30.06.2024.

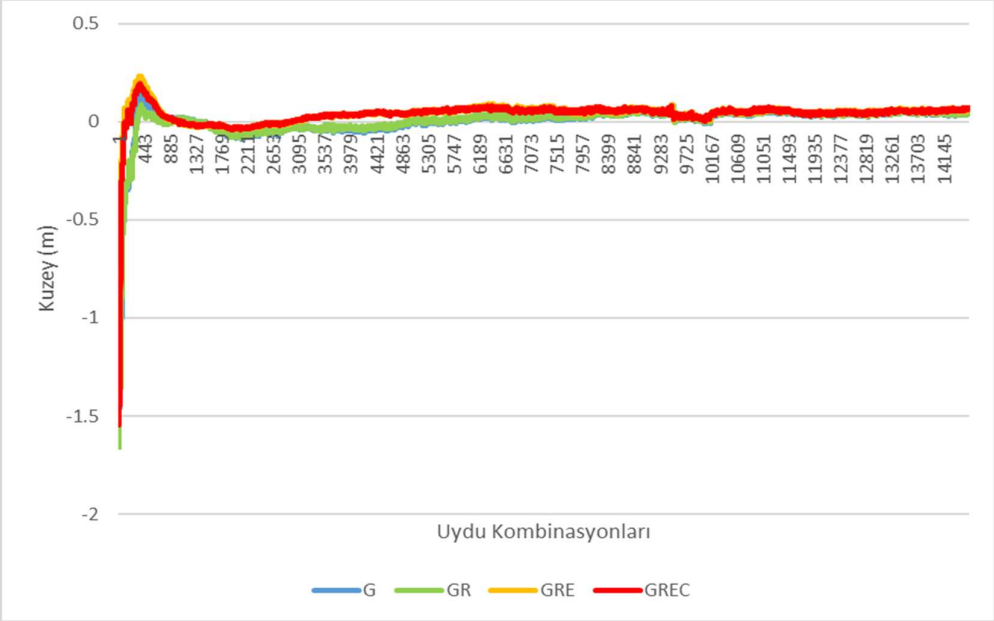
[40] International GNSS Service, https://network.igs.org/, 30.06.2024.

[41] Hampel, F. R., Ronchetti, E. M., Rousseeuw, P. J., & Stahel, W. A. (2011). Robust statistics: the approach based on influence functions. John Wiley & Sons.

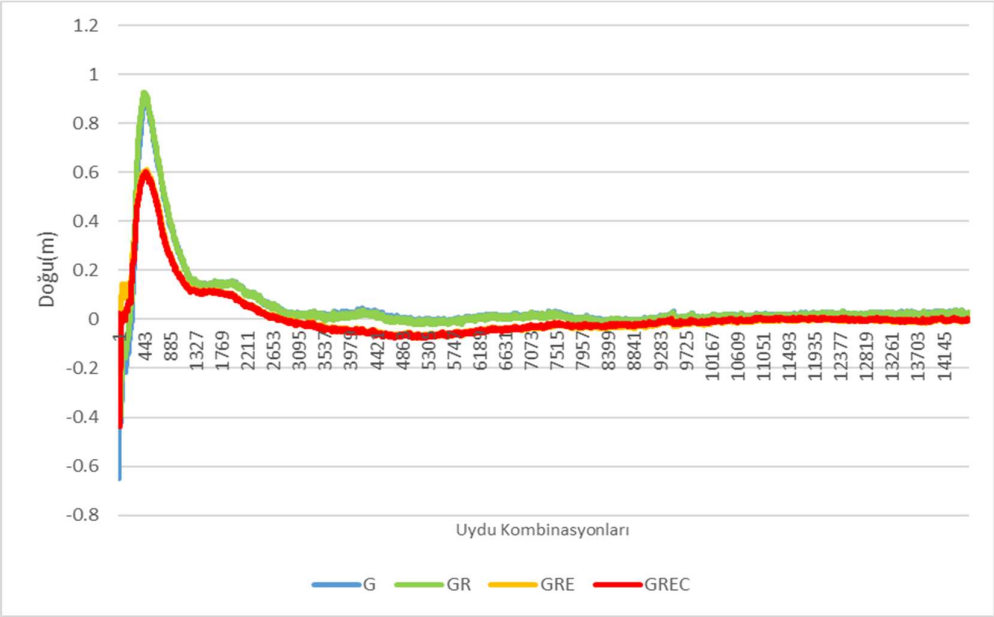
[42] Hekimoğlu, Ş. (2005). Do Robust Methods Identify Outliniers More Reliably Than Conventional Tests for Outliniers ?. ZfV magazine for geodesy, geoinformation and land management, 3, 174-180.

[43] Sezer, G., Doğan, A. H., & Erdoğan, B. (2021). Çoklu-GNSS çözümlerinin performansının internet tabanlı Trimble RTX servisi ile incelenmesi. Jeodezi Ve Jeoinformasyon Dergisi, 8(1), 30-40.

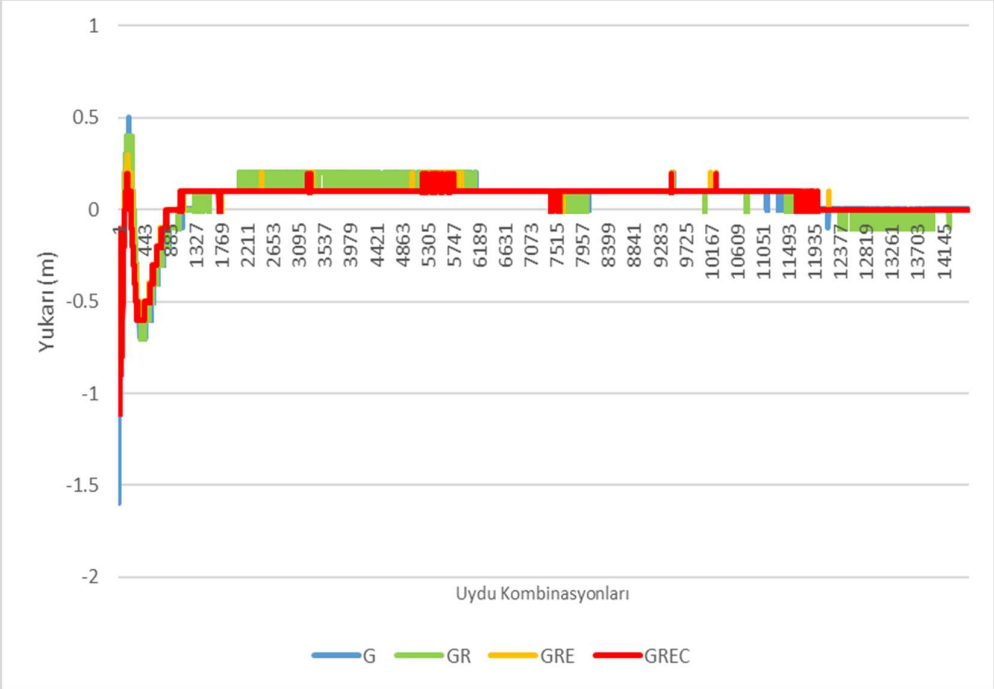
A
İSTASYONLARIN FARKLI UYDU KOMBİNASYONLARINA AİT TOPOSENTRİK KOORDİNAT BİLEŞENLERİ



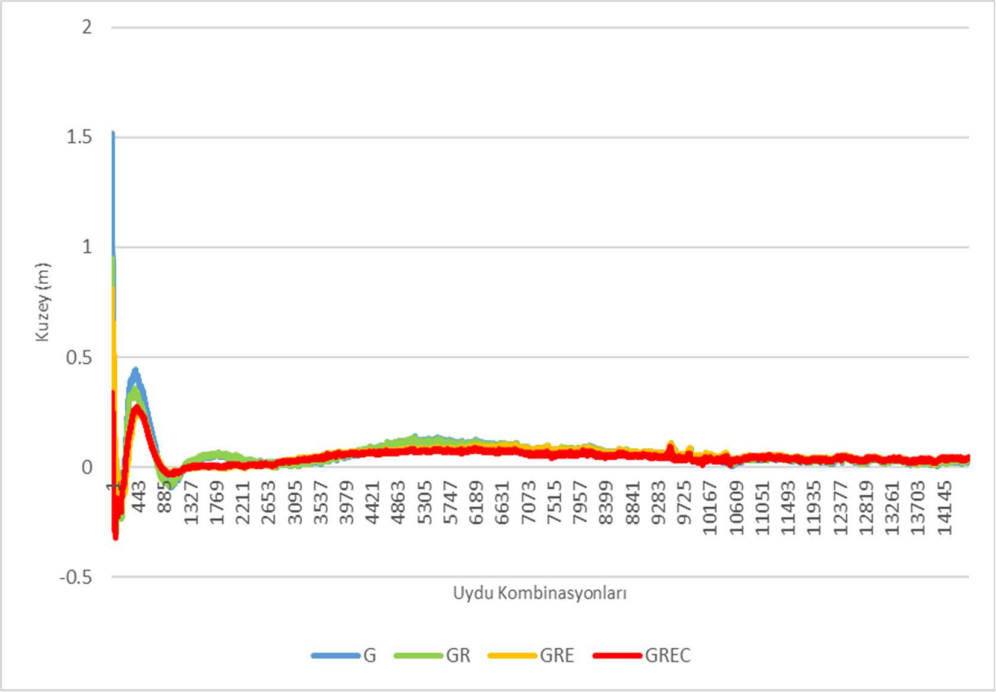
Şekil 5.1 GOPE istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait kuzey değerleri



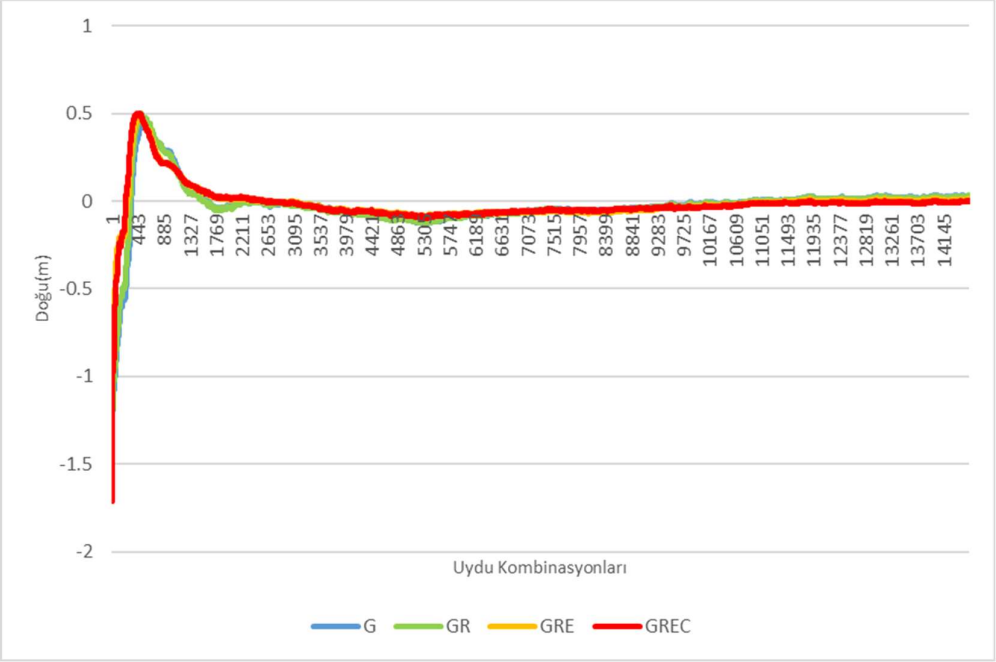
Şekil 5. 2 GOPE istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait doğu değerleri



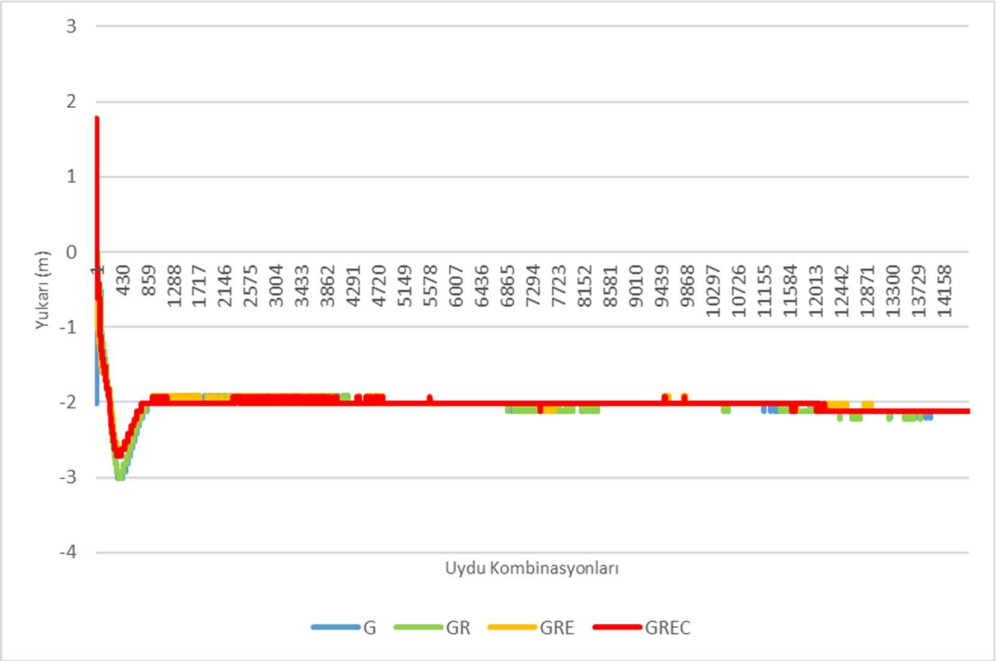
Şekil 5.3 GOPE istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait yukarı değerleri



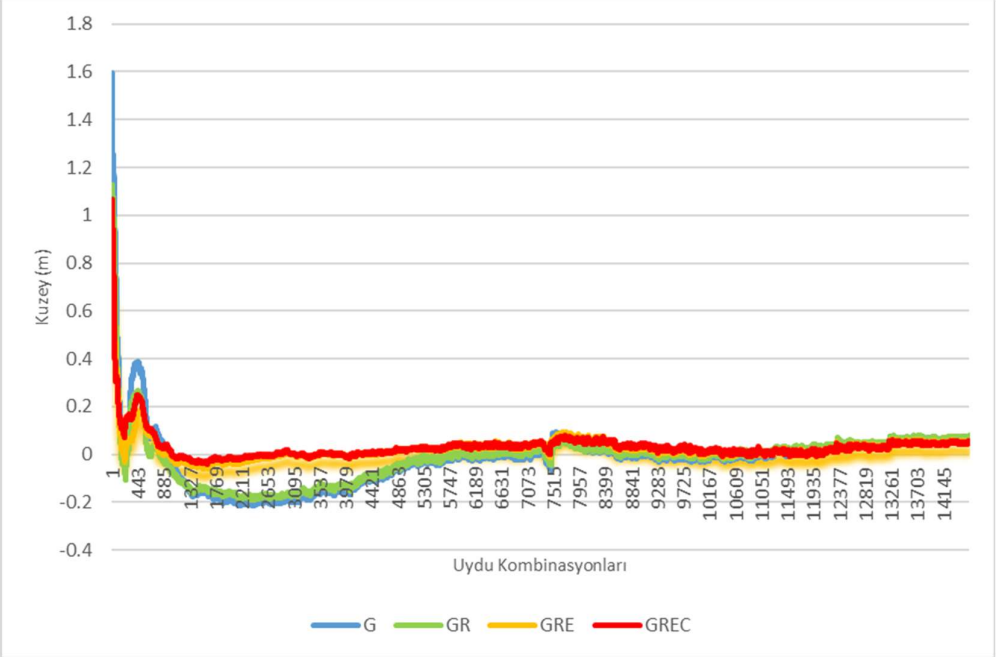
Şekil 5.4 GRAZ istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait kuzey değerleri



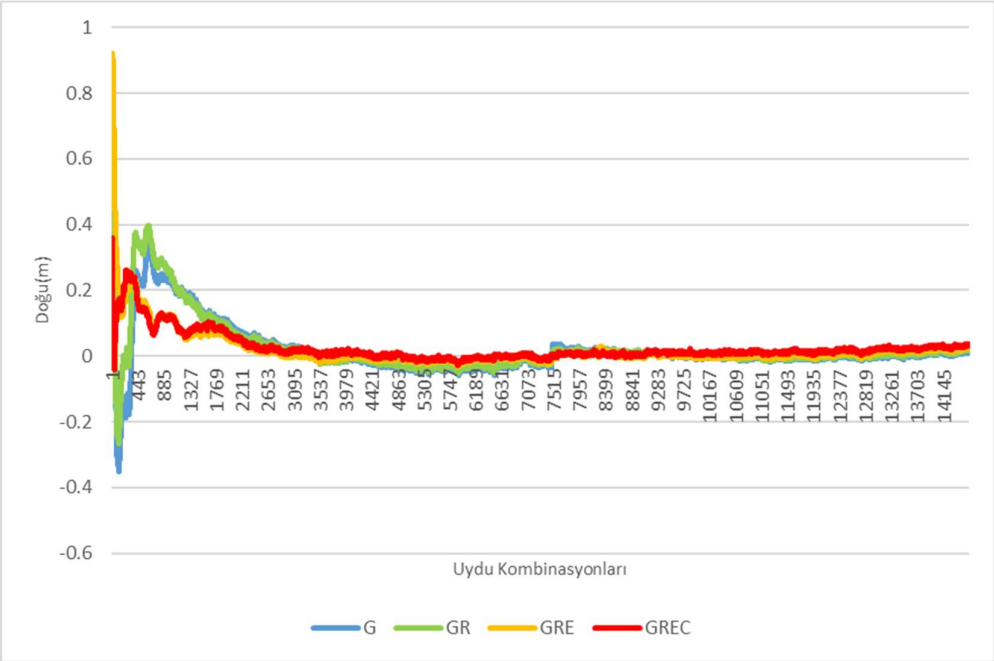
Şekil 5.5 GRAZ istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait doğu değerleri



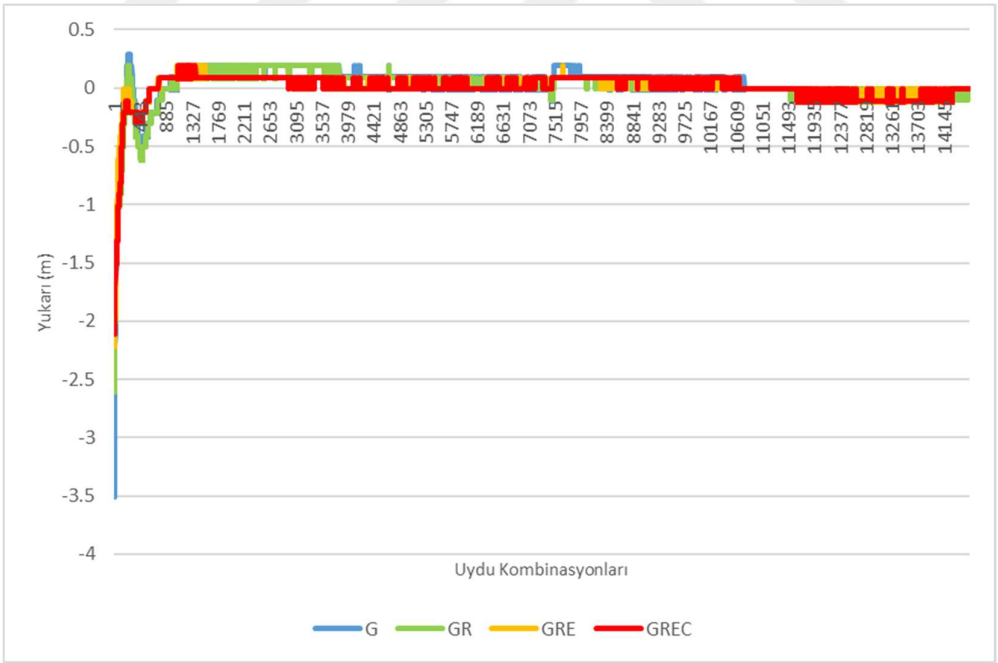
Şekil 5.6 GRAZ istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait yukarı değerleri



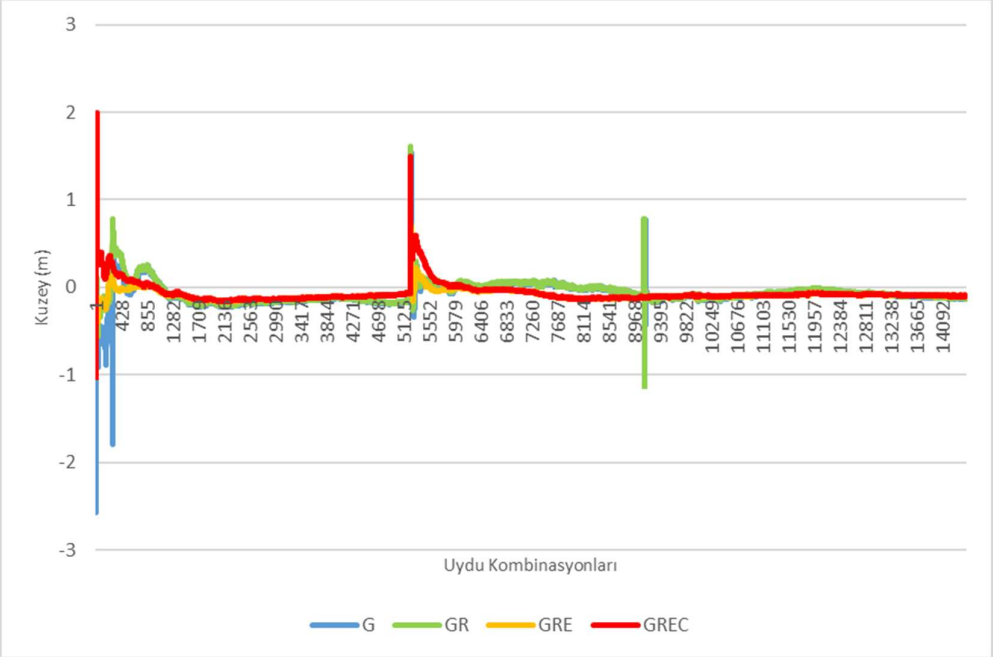
Şekil 5.7 KIR8 istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait kuzey değerleri



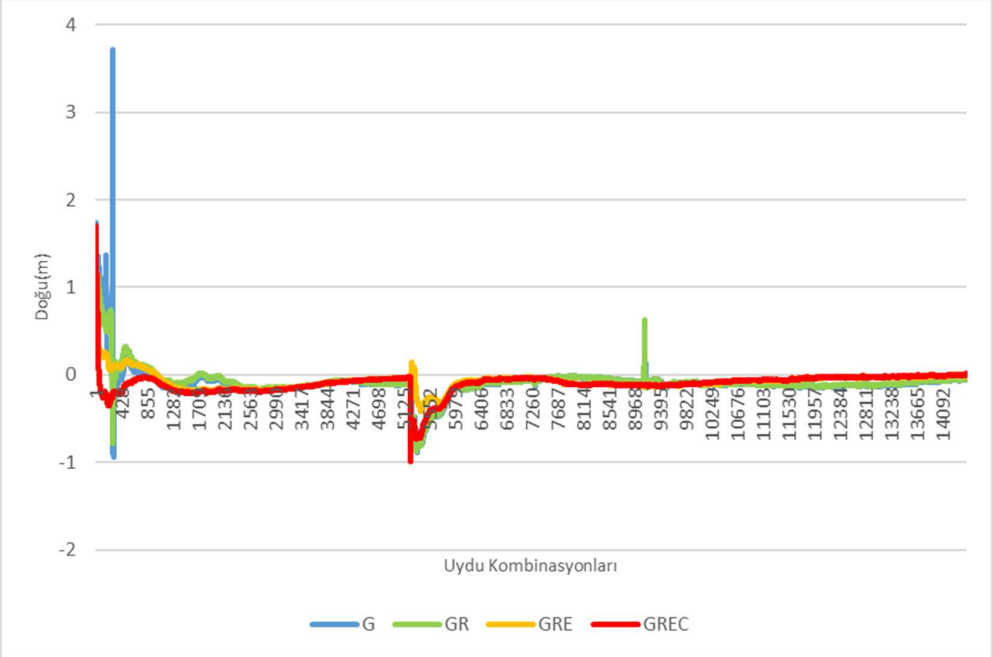
Şekil 5.8 KIR8 istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait doğu değerleri



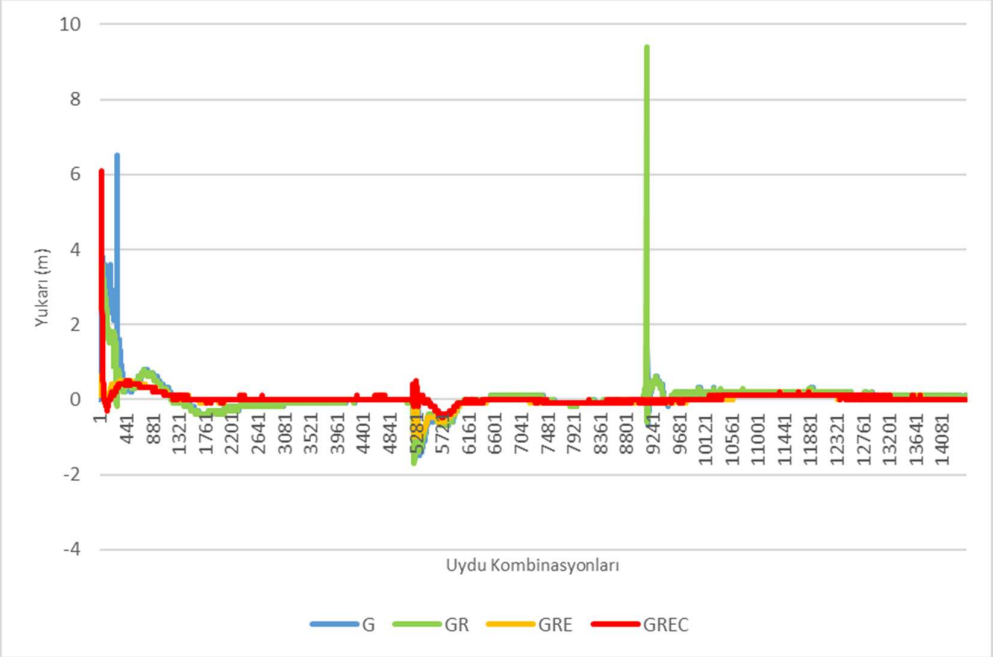
Şekil 5.9 KIR8 istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait yukarı değerleri



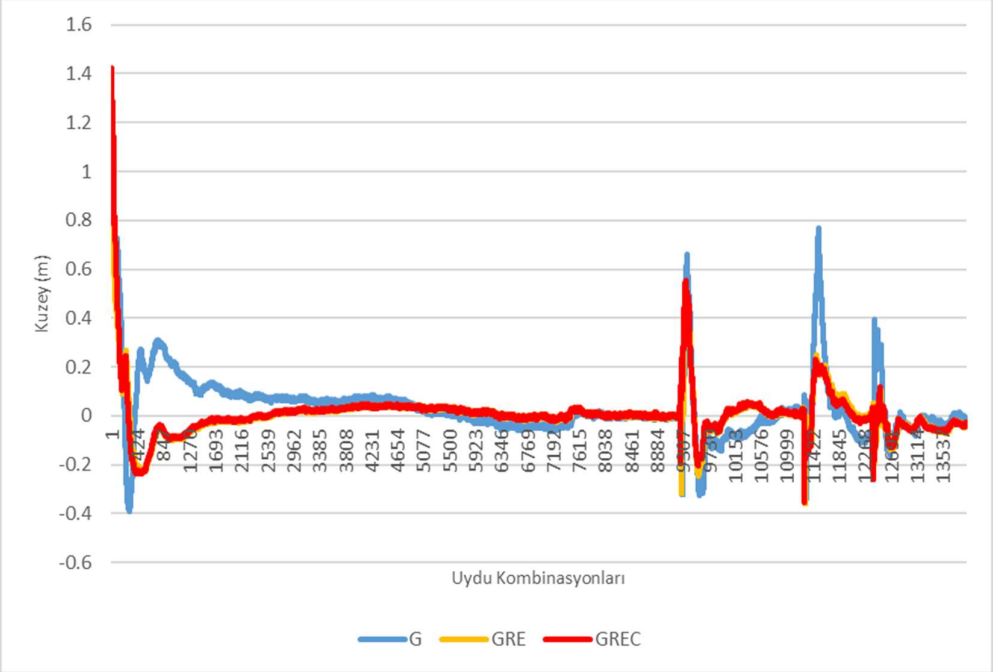
Şekil 5.10 MAW1 istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait kuzey değerleri



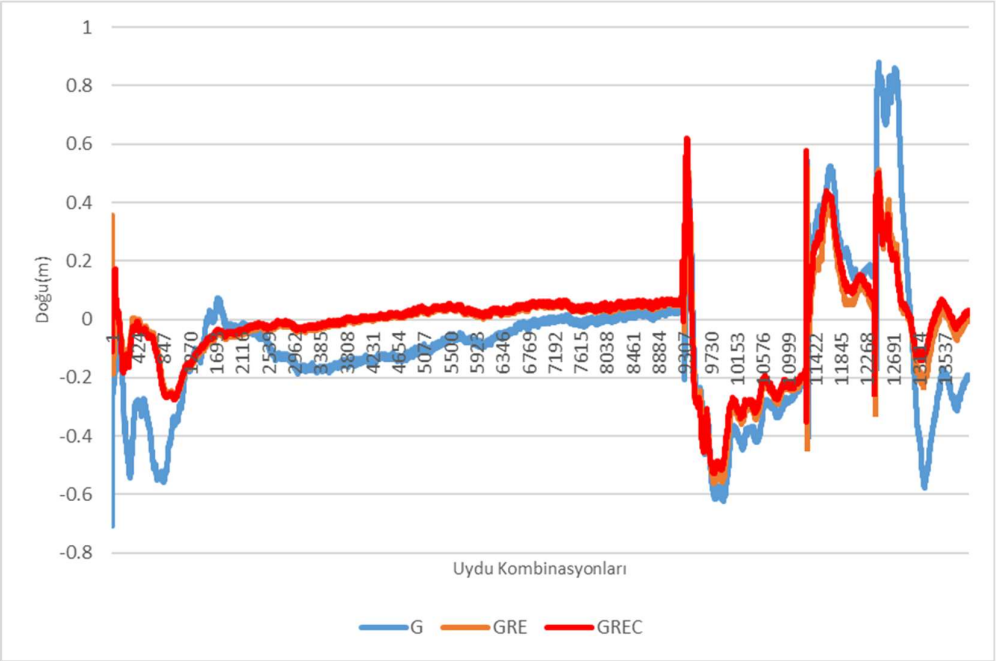
Şekil 5.11 MAW1 istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait doğu değerleri



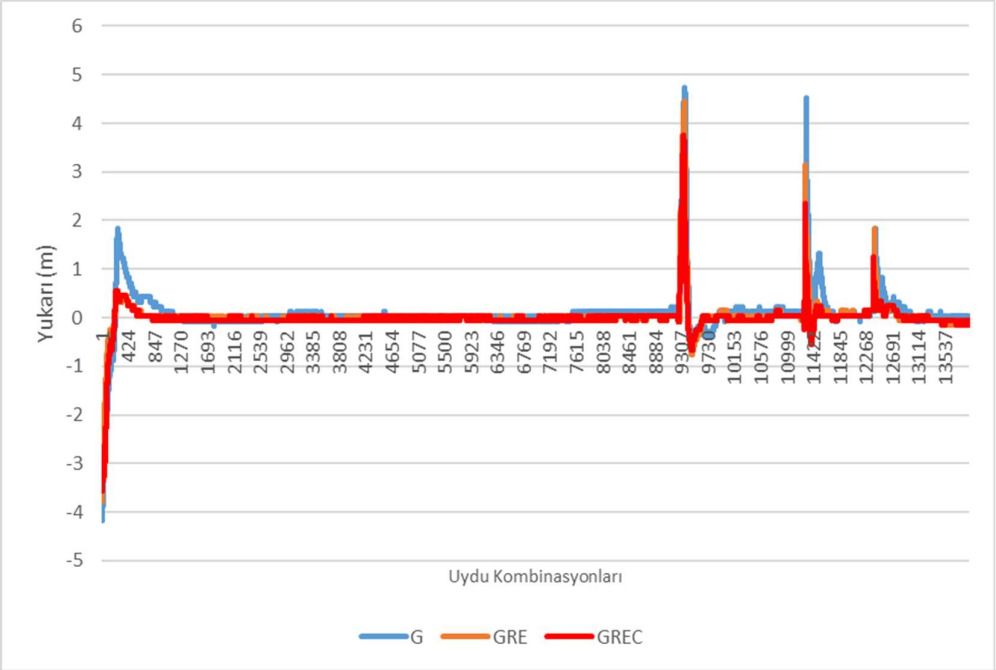
Şekil 5.12 MAW1 istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait yukarı değerleri



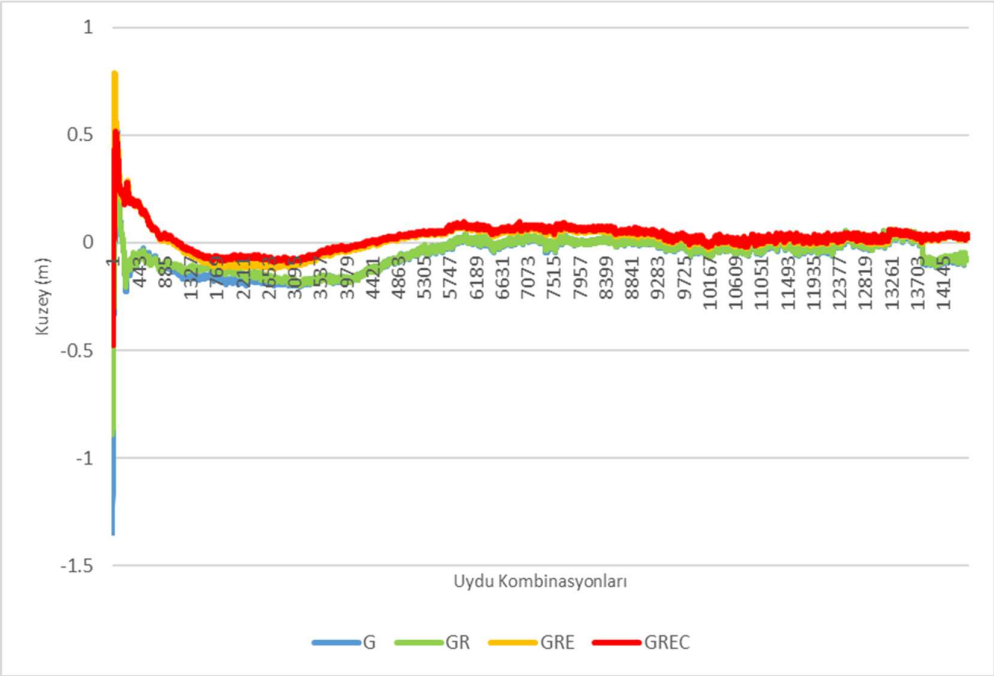
Şekil 5.13 MAYG istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait kuzey değerleri



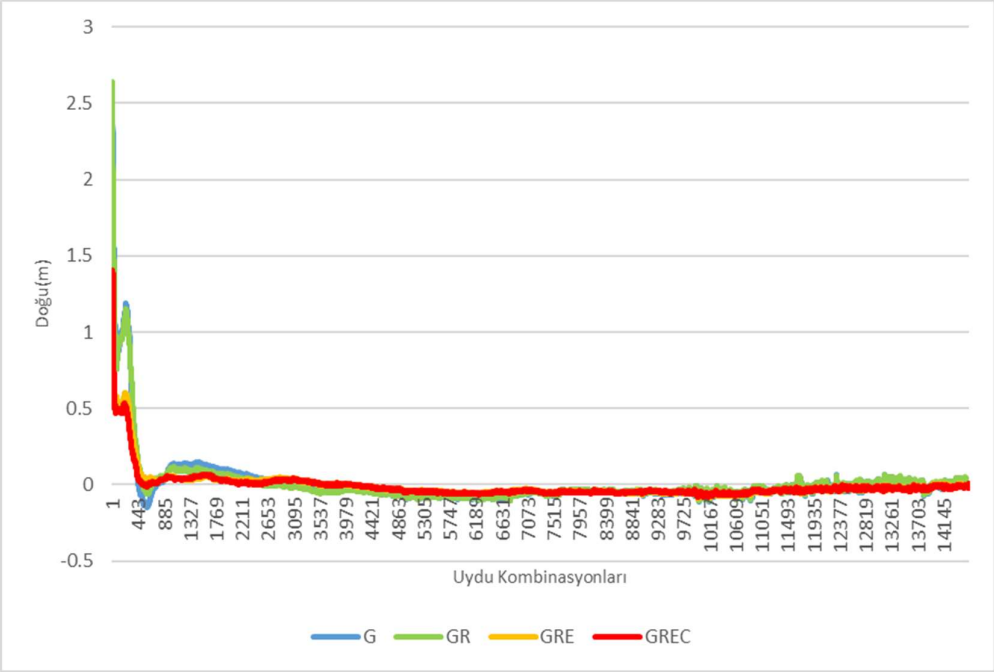
Şekil 5.14 MAYG istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait doğu değerleri



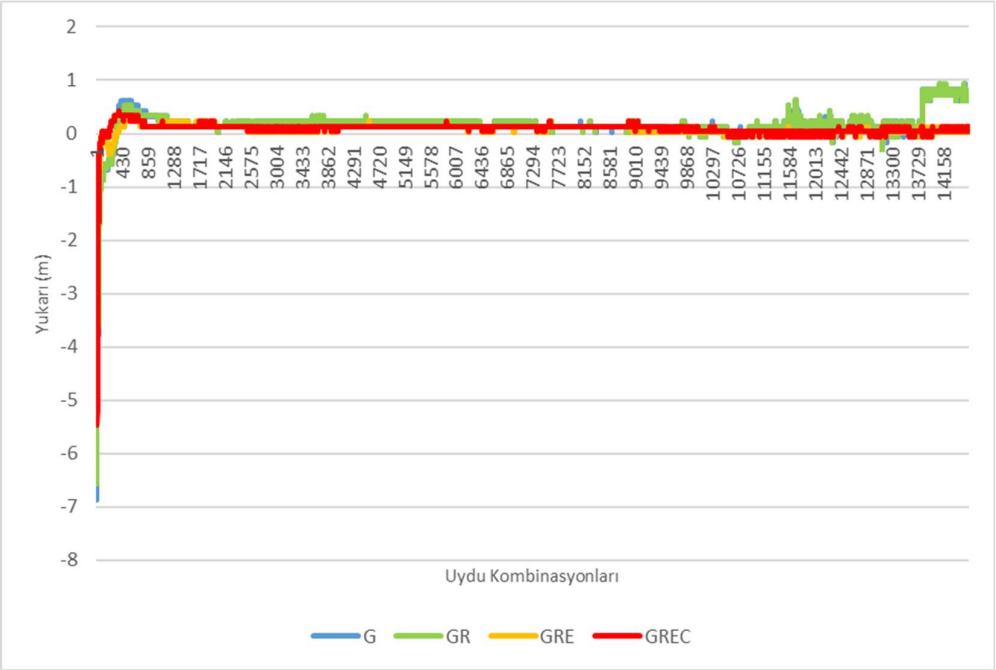
Şekil 5.15 MAYG istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait yukarı değerleri



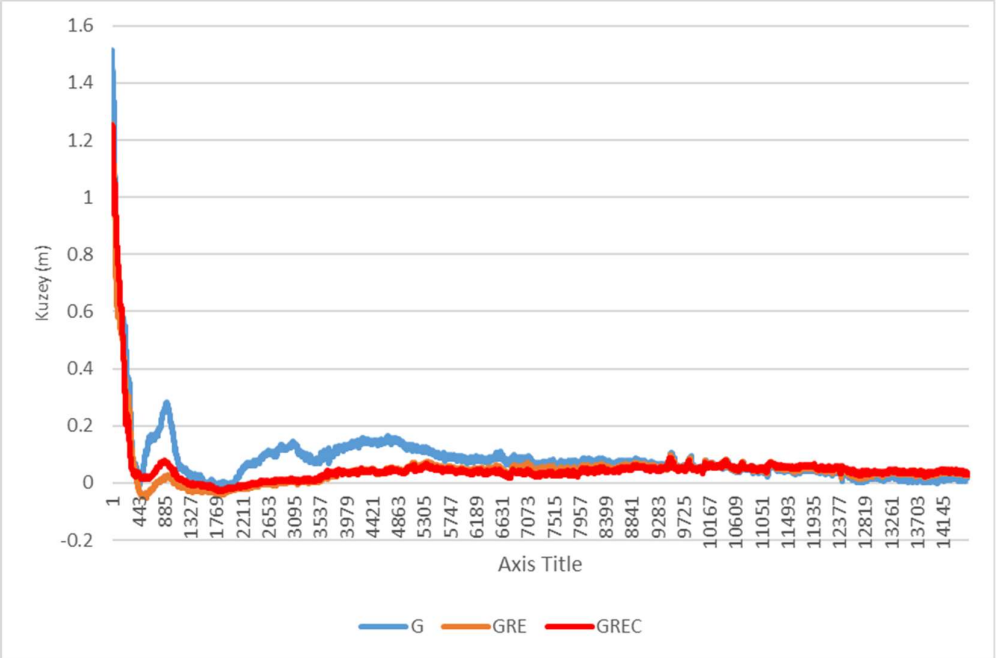
Şekil 5.16 NYA2 istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait kuzey değerleri



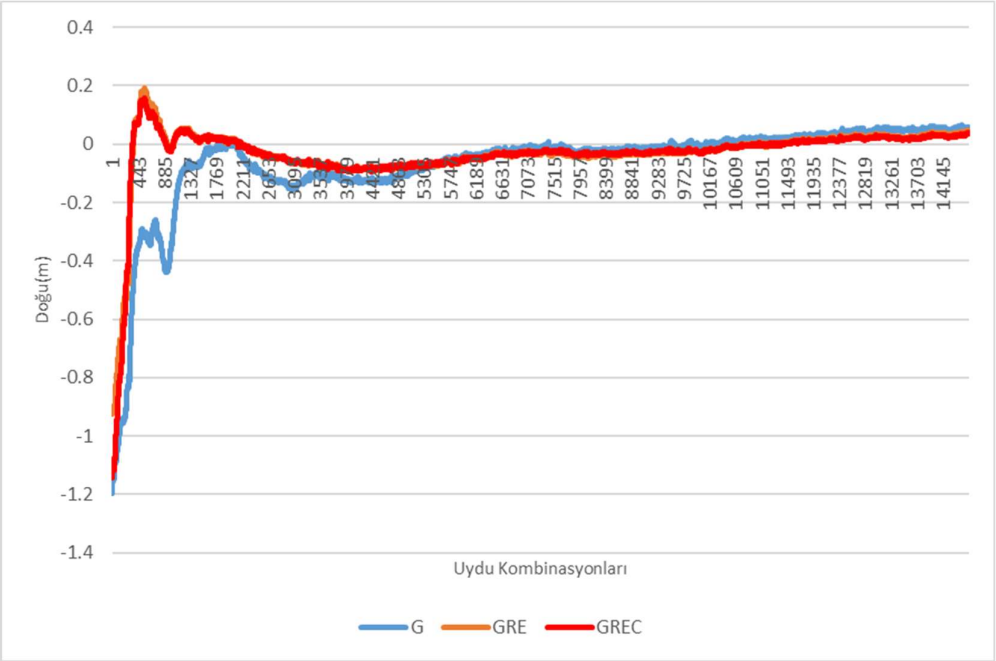
Şekil 5.17 NYA2 istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait doğu değerleri



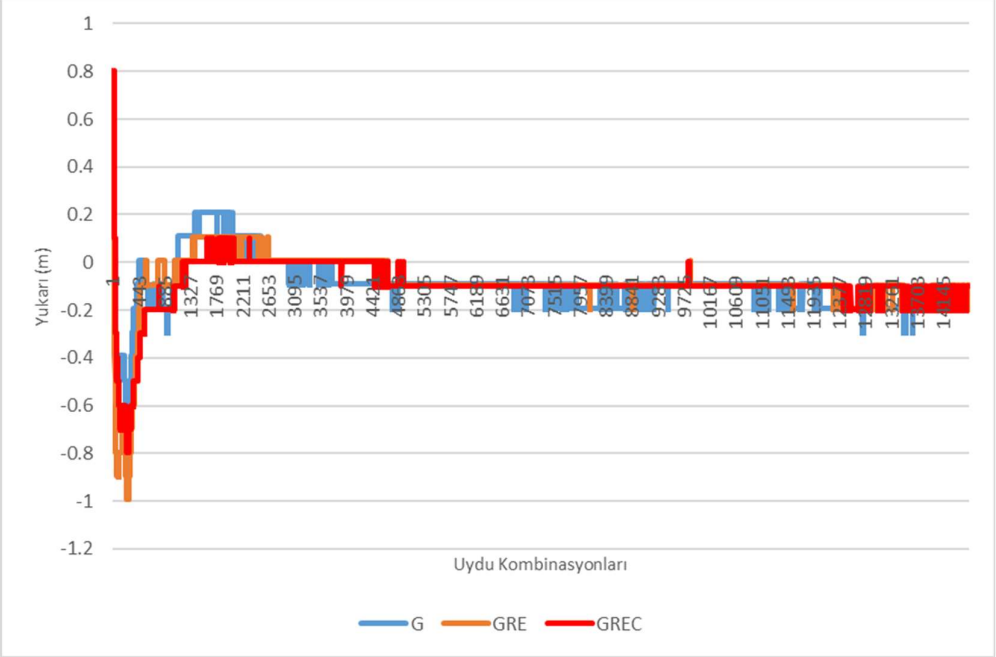
Şekil 5.18 NYA2 istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait yukarı değerleri



Şekil 5.19 ORID istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait kuzey değerleri

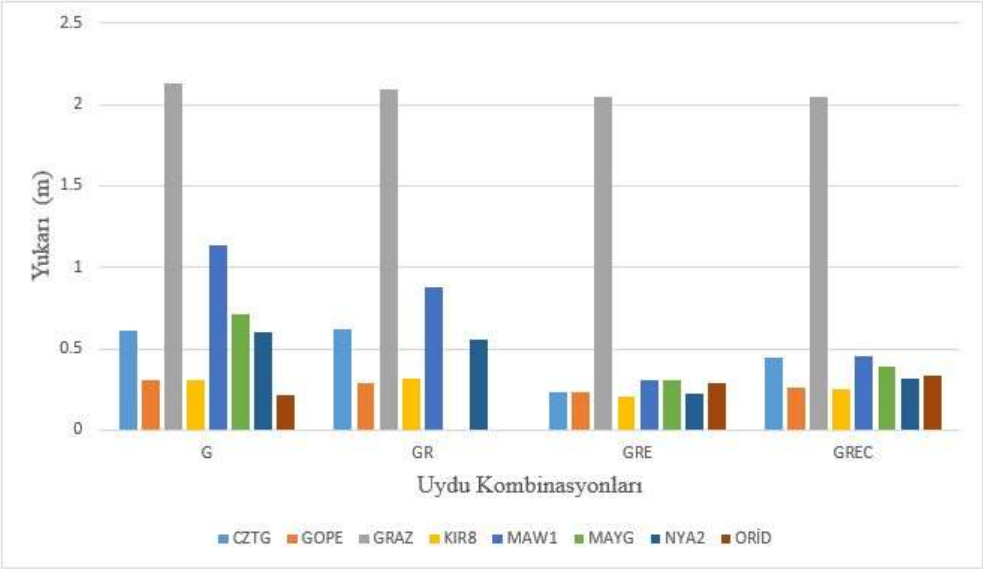


Şekil 5.20 ORID istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait doğu değerleri

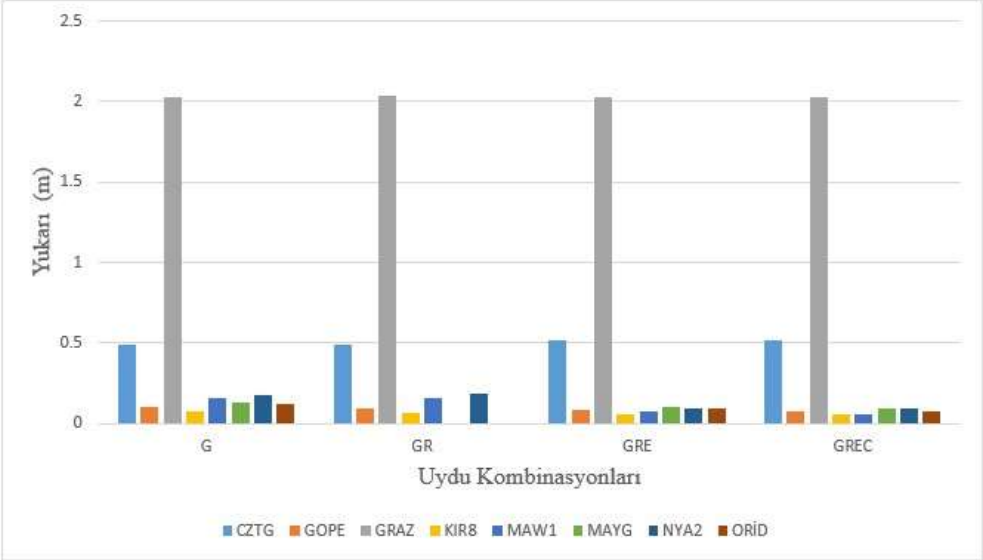


Şekil 5.21 ORID istasyonunun farklı uydu kombinasyonlarına ait yukarı değerleri

B
BİRİNCİ DENEYE AİT MUTLAK ORTALAMA DEĞERLER

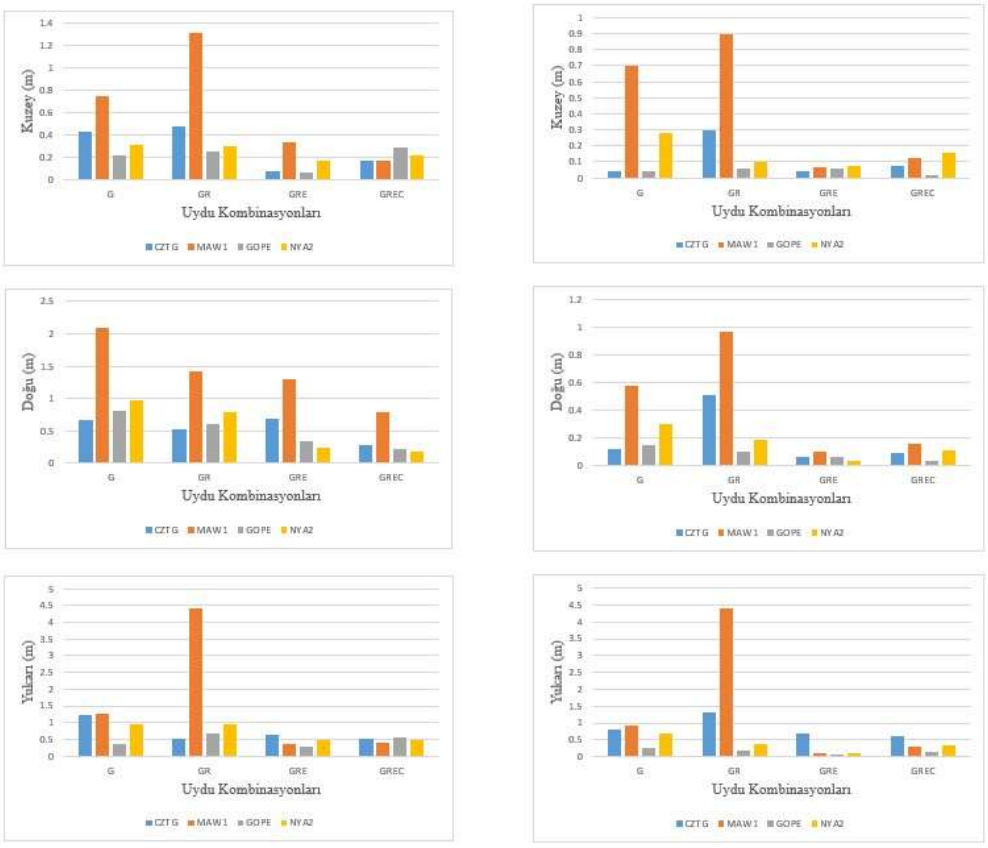


Şekil 5.22 Birinci deneye ait ilk 20 dakikalık bütün yukarı bileşen mutlak ortalama değerleri

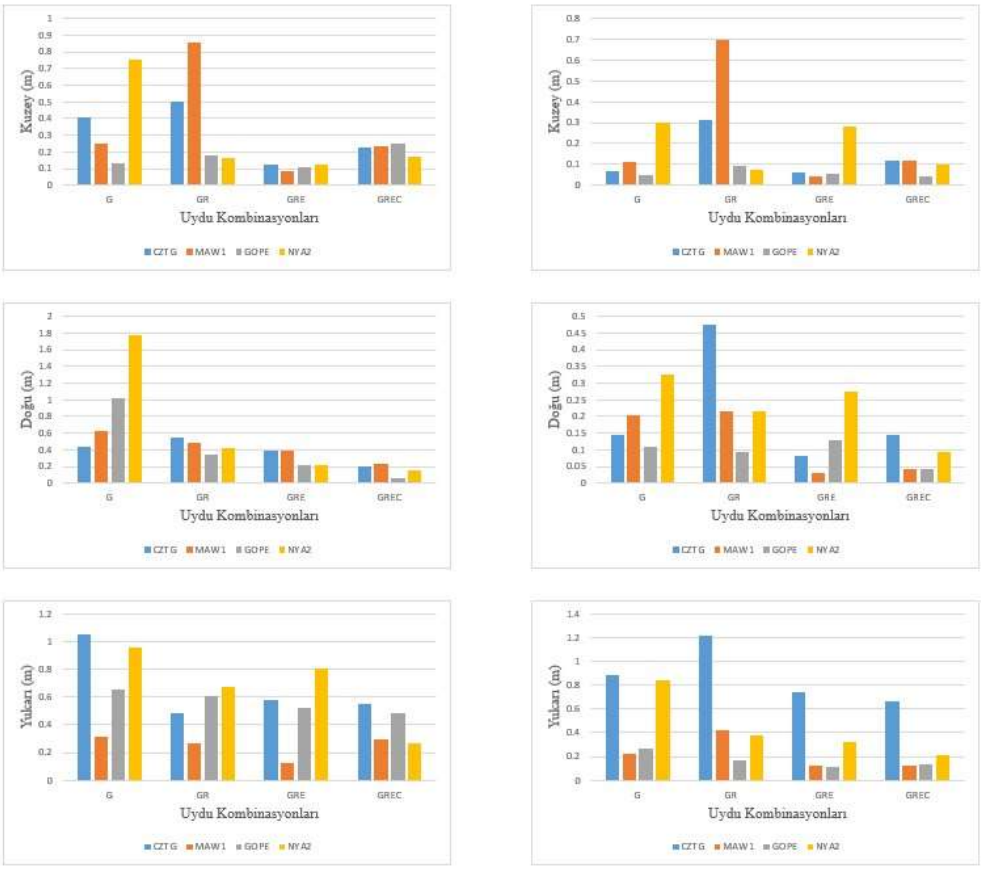


Şekil 5.23 Birinci deneye ait 20 dakika sonrası bütün yukarı bileşenlarin mutlak ortalama değerleri

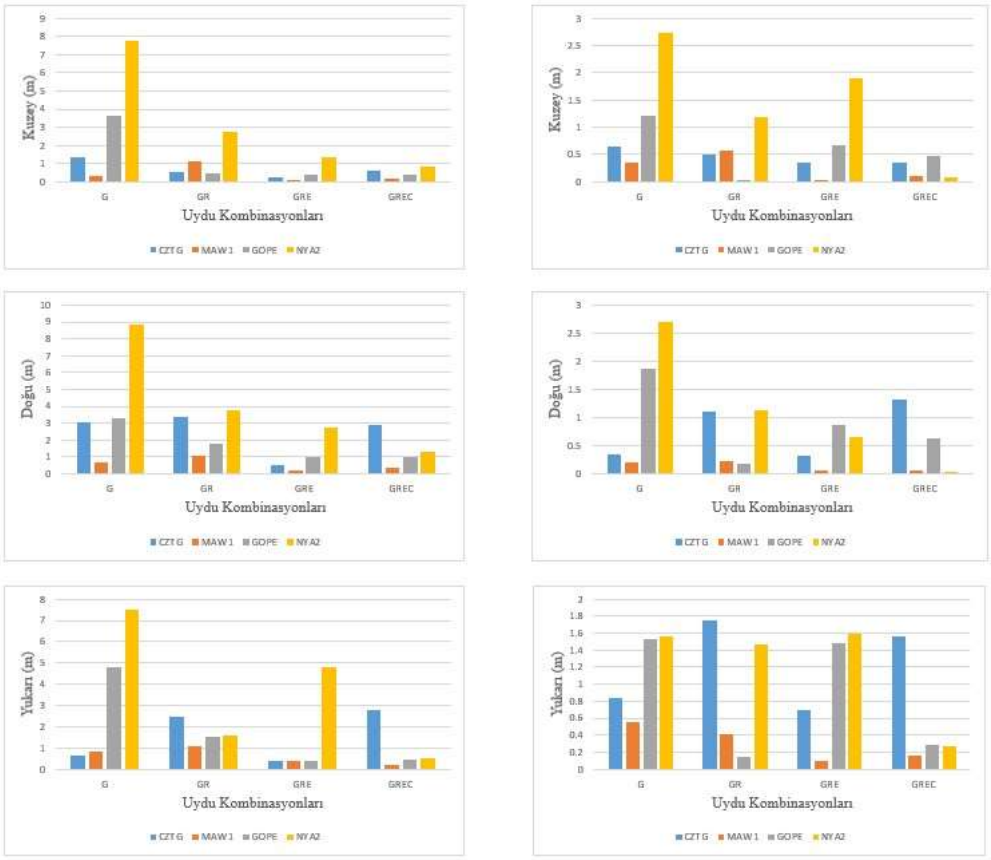
C
SERVİSLERE AİT BÜTÜN RMS DEĞERLERİ



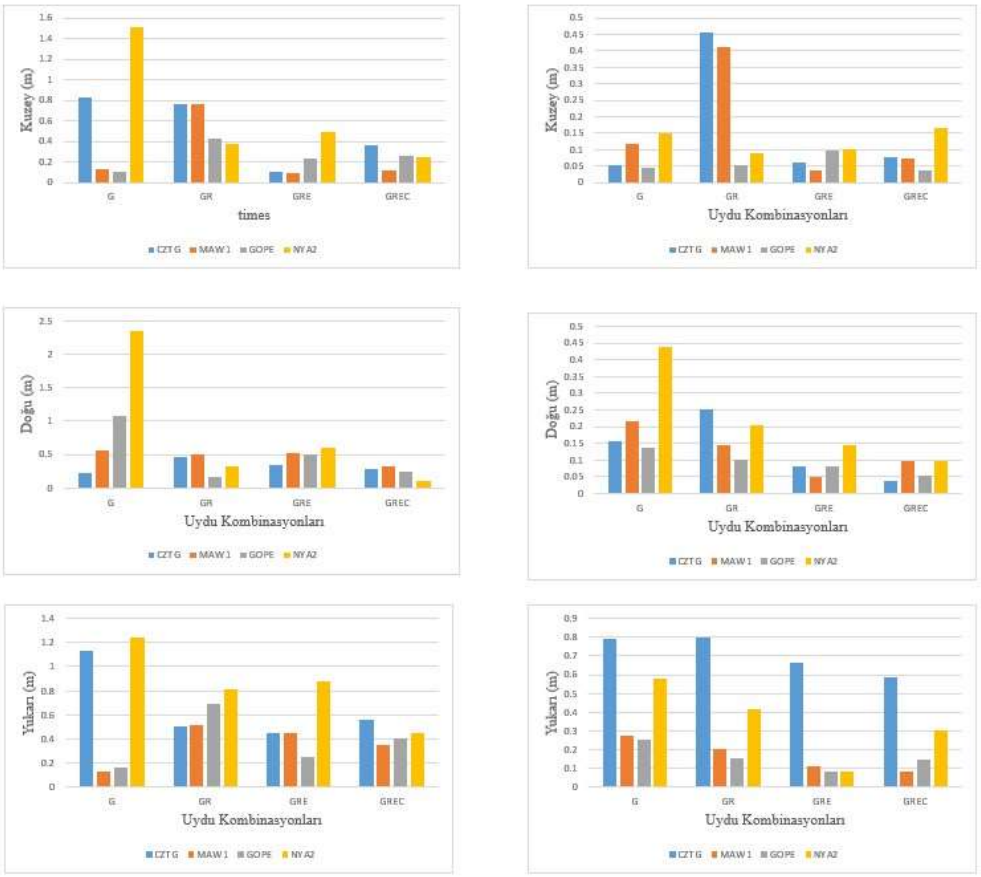
Şekil 5.24 BKG servisine ait bütüm RMS değerleri



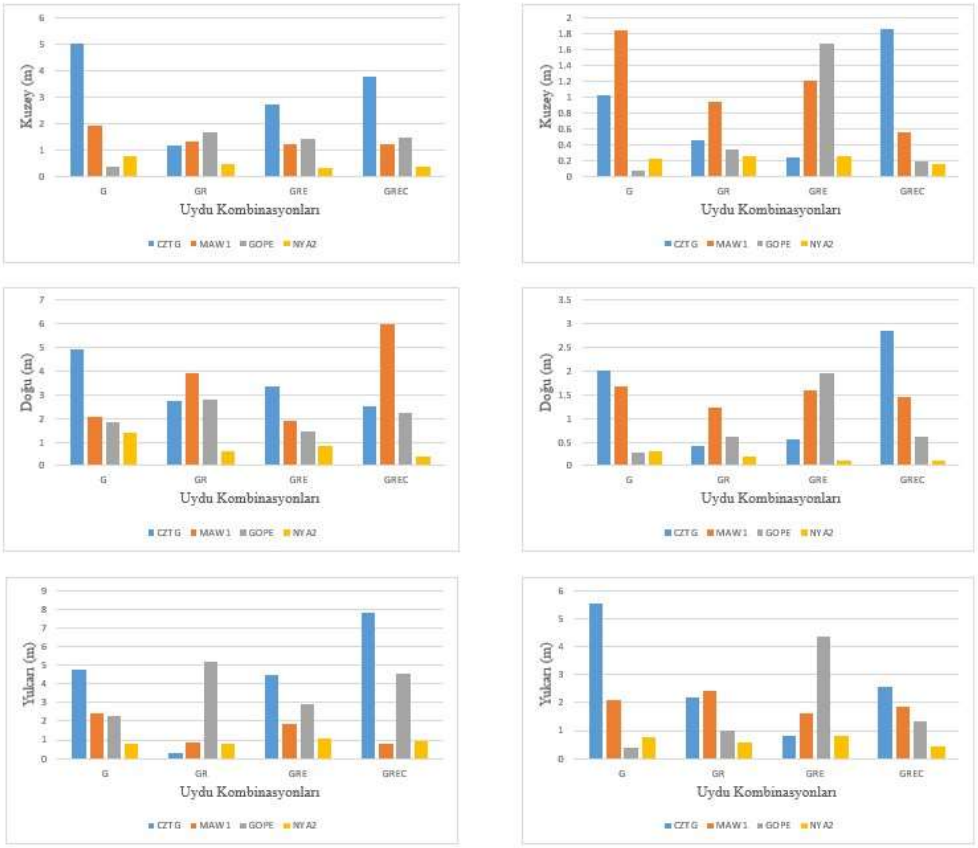
Şekil 5.25 GFZ servisine ait bütün RMS değerleri



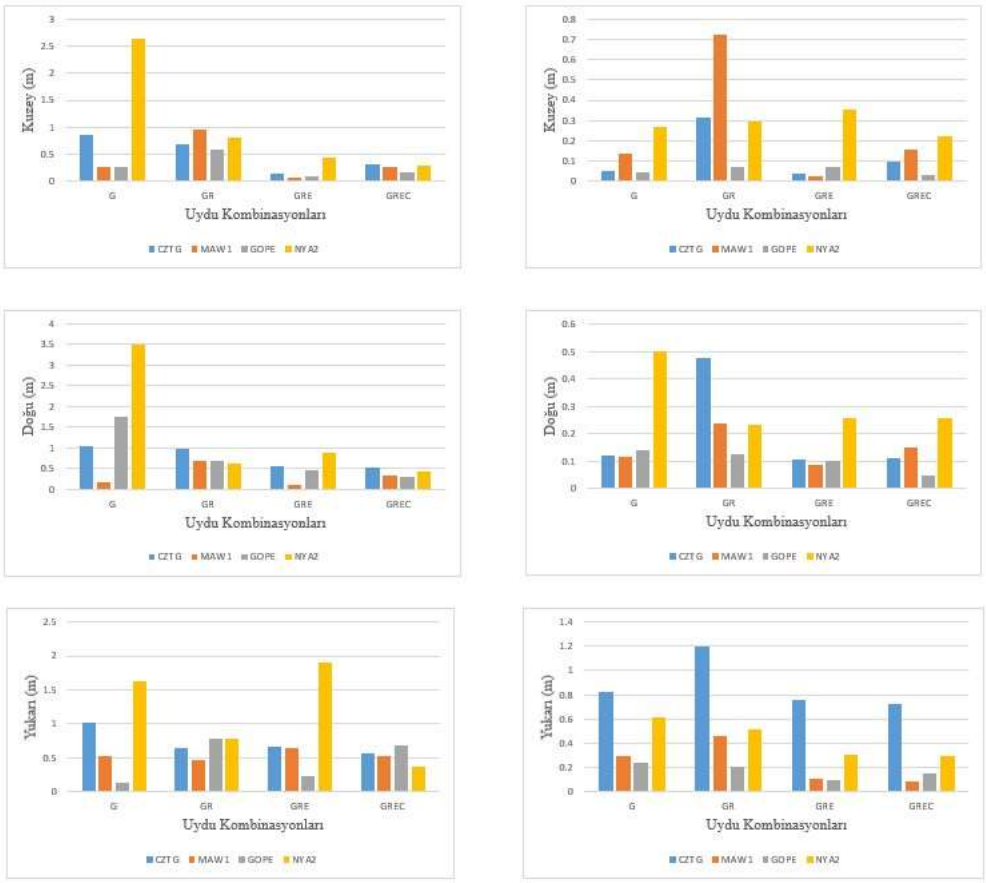
Şekil 5.26 GMV servisine ait bütün RMS değerleri



Şekil 5.27 IGS servisine ait bütün RMS değerleri



Şekil 5.28 NRC servisine ait bütün RMS değerleri



Şekil 5.29 SHA servisine ait bütün RMS değerleri

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Esen, T., Karlıtepe, F., Erdoğan, B., (2023). Gerçek Zamanlı GNSS PPP (RT-PPP) Çözümlerinin Farklı Uydu Sistemleri için Karşılaştırılması. 19. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı. Ankara, Türkiye