



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN NİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



FARKLI ANALİZ MERKEZLERİNDEN  
YAYINLANAN RAPID VE ULTRA-RAPID  
ÜRÜNLERİNİN HASSAS NOKTA  
KONUMLAMA (PPP) PERFORMANSININ  
ANALİZİ

HAITHAM TALİB FARHAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2021  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır.

## TEZ KABUL VE ONAYI

HAITHAM TALIB FARHAN tarafından hazırlanan “Farklı Analiz Merkezlerinden Yayınlanan Hızlı ve Ultra Hızlı Ürünlerinin Hassas Nokta Konum Belirleme (PPP) Performansının Analizi” adlı tez çalışması 13/07/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü harita mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof. İbrahim KALAYCI

.....

#### Danışman

Doç. Dr. Salih Sermet ÖĞÜTÇÜ

.....

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi. Sercan BÜLBÜL

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../20.. gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İBRAHİM KALAYCI  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

## **DECLARATION PAGE**

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

HAITHAM TALIB FARHAN

Tarih:

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### FARKLI ANALİZ MERKEZLERİNDEN YAYINLANAN RAPİD VE ULTRA RAPİD ÜRÜNLERİNİN HASSAS NOKTA KONUM BELİRLEME (PPP) PERFORMANSININ ANALİZİ

HAITHAM TALİB FARHAN

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sermet Öğütçü

2021, 53 Sayfa

Jüri

Danışmanın Doç. Dr. Salih Sermet Öğütçü

Prof. İbrahim KALAYCI

Dr. Öğr. Üyesi. Sercan BÜLBÜL

Hassas nokta konum belirleme (PPP) performansı, esas olarak uydu yörüngesine ve saat doğruluğuna bağlıdır. Göreceli tekniğin aksine uydu yörüngesindeki ve saatteki hatalar, PPP tekniği bakımından doğrudan istasyon koordinatlarını etkiler. Ultra hızlı ve hızlı yörünge/saat ürünleri, zaman kısıtlı uygulamalar için analiz merkezleri (AC) tarafından oluşturulmaktadır. Bu çalışmada GPS-, GLONASS-, Galileo- ve BeiDou (BDS-2) tek sistemli PPP, yedi analiz merkezinden ultra hızlı ve hızlı ürünleri kullanılarak (yani CODE, ESA, IGS, GFZ, JPL, NRCan ve WUHAN) PPP performansı incelenmiştir. 32 Multi-GNSS Experiment (MGEX) istasyonundan gelen veriler kullanılarak statik ve kinematik PPP değerlendirmesi için 2020'de iki aylık bir dönem (Ocak-Şubat) seçilmiştir. Farklı analiz merkezlerine sahip GPS tek sistemli PPP için, GFZ / NRCan ve CODE / NRC, sırasıyla ultra hızlı ve hızlı PPP değerlendirmelerinde ilk sırada yer almaktadır. GLONASS tek sistemli PPP için ultra hızlı ürünlerin kullanıldığı konum belirleme performansları, CODE ve ESA ürünleri dışında performansları yakındır. CODE hızlı ürün sıralaması, GLONASS tek sistemli PPP için son sırada yer almaktadır. Galileo ve BeiDou tek sistemli PPP için GFZ analiz merkezi, ultra hızlı değerlendirmelerinde en iyi performansı gösterilmiştir. Hızlı ürünler kullanan Galileo tek sistemli PPP için CODE ilk sırada yer almaktadır. CODE ultra hızlı ürünü yayın saati verilerini içerdiğinden, CODE ultra hızlı ürünü kullanılarak dm düzeyinde statik PPP doğruluğu elde edilebilmektedir. WUHAN ultra hızlı ürününden BeiDou uydularının metre altı düzeyindeki radyal, along-track and cross-track doğruluğu sayesinde, yatay ve düşey bileşenler için sırasıyla dm altı ve dm düzeyinde PPP doğruluğu, WUHAN ultra hızlı ürünü kullanılarak BeiDou tek sistemli statik PPP uygulayarak elde edilebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** GPS, GLONASS, Galileo, PPP, Hızlı & Ultra Hızlı Ürünleri

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

#### **ASSESSMENT OF THE GNSS PRECISE POINT POSITIONING PERFORMANCE USING ULTRA-RAPID AND RAPID PRODUCTS FROM DIFFERENT ANALYSIS CENTERS**

**HAITHAM TALIB FARHAN**

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

**Advisor: : Assoc.Prof.Dr. Sermet Öğütçü**

**2021, 53 Pages**

**Jury**

**Advisor : Assoc.Prof.Dr.Salih Sermet Öğütçü**

**Prof. İbrahim KALAYCI**

**Dr. Sercan BÜLBÜL**

The performance of precise point positioning (PPP) mainly depends on satellite orbit and clock accuracy. Ultra hızlı and hızlı orbit/clock products have been creating by analysis centres (ACs) for time-critical applications. In this paper, GPS-, GLONASS-, Galileo-, and BeiDou (BDS-2)-only PPP with ultra hızlı and hızlı products from seven ACs (i.e. CODE, ESA, IGS, GFZ, JPL, NRCan, and WUHAN) are investigated for PPP performance. A two-month period in 2020 was chosen for conducting static and kinematic PPP using data from 32 Multi-GNSS Experiment (MGEX) stations. For GPS-only PPP with different ACs, GFZ/NRCan and CODE/ NRCan rank first for ultra hızlı and hızlı PPP processes, respectively. For GLONASS-only PPP, positioning performances using ultra hızlı products are comparable with each other except for CODE and ESA products. CODE hızlı product ranks last for GLONASS-only PPP. For Galileo and BeiDou-only PPP, GFZ AC performs the best for ultra hızlı processes. For Galileo-only PPP using hızlı products, CODE ranks first.

**Keywords:** GPS, GLONASS, Galileo, PPP, Rapid and Ultra Rapid Products

## ÖN SÖZ

Öncelikle, bizi bol bilgiyle kutsayan ve doğru yolda ilerlememize rehberlik eden Allah'ıma hamt ve şükürler olsun.

Doç. Dr. Salih Sermet Öğütçü danışmanıma, yüksek lisans eğitimim süresince yol göstermesi, desteği ve teşviki için sonsuz teşekkürlerimi sunmaktayım. Bu araştırma sürecine, her türlü deneyim, bilgi, bilimsel ve pratik yönden hoşgörülü bir insan olarak destek olmuştur.

Son olarak, bu tez boyunca sonsuz koşulsuz sevgi ve destekleri için annem, babam ve nişanlıma teşekkür ediyorum.

HAITHAM TALIB FARHAN  
KONYA-2021

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖN SÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>3</b>
1.1. Araştırma Amacı .....	5
1.2. Tez Özeti .....	5
<b>2 GNSS SİSTEMLERİNE GENEL BAKIŞ .....</b>	<b>7</b>
2.1. GNSS Sisteminin Tanımı.....	7
2.1.1. GPS .....	7
2.1.2. GLONASS .....	9
2.1.3. GALILEO .....	10
2.1.4. BEIDOU .....	11
2.1.5. GNSS Sistemlerin Mukayesesi .....	13
2.2. GNSS Gözlemleri .....	14
2.2.1. Kod Gözlemleri.....	14
2.2.2. Taşıyıcı Faz.....	15
2.3. Hassas Nokta Konum Belirleme (PPP) Tekniği .....	16
<b>3. GNSS PPP ÖLÇÜLERİNE ETKİ EDEN HATA KAYNAKLARI VE HATALARI AZALTMA STRATEJİLERİ .....</b>	<b>17</b>
3.1. Uydu Yörünge ve Saat Hataları .....	17
3.2. Alıcı Saat Hatası .....	18
<b>3.3.</b> Troposferik Etki .....	19
3.4. İyonosferik Etki .....	20
3.5. Görelilik Etkisi.....	21
3.6. Katı Yeryüzü Etkisi .....	21
3.7. Okyanus Yükleme Etkisi .....	22
3.8. Anten Faz Merkezi Hatası.....	22
<b>3.9.</b> Faz Rüzgâr Etkisi.....	23
<b>3.10.</b> Diferansiyel Kod Hatası.....	24
<b>3.11.</b> Sinyal Sıçraması (Cycle Slips) Etkisi .....	24
<b>3.12.</b> Özet.....	25
<b>4. MATERYAL VE METOT.....</b>	<b>26</b>

4.1. Igs & Mgex Analiz Merkezlerinden Üretilen Hızlı ve Ultra Hızlı Yürünge Ve Saat Verileri .....	26
4.2. İyonosferden Bağımsız PPP Modeli .....	27
4.3. Statik ve Kinematik PPP Değerlendirilmesi .....	29
4.4. Zaman Yakınsama Süresi Değerlendirilmesi .....	34
<b>5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>35</b>
5.1. PPP-GPS Sonuçları .....	35
5.2. PPP-GLONASS SONUÇLARI .....	36
5.3. PPP-Galileo Sonuçları .....	37
5.4. PPP-Beidou Sonuçları .....	38
5.5. Zaman Yakınsama Süresi Değerlendirilmesi Sonucu .....	40
5.6. Tartışma .....	46
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>48</b>
<b>7. KAYNAKLAR .....</b>	<b>49</b>
<b>ÖZ GEÇMİŞ .....</b>	<b>54</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\mathbf{p}_{IF,r}^{s,j}$	: IF combinations of code
$\phi_{IF,r}^{s,j}$	: IF combinations of carrier phase
$\rho$	: Pseudo range (M)
$c$	: Speed of light (M/S)
$dt_r$	: Receiver clock offset (s)
$dt^{s,j}$	: Satellite clock offset (s)
$d_{trop}$	: Tropospheric delay (M)
$HD_{P,r,IF}$	: Receiver hardware delay (M)
$HD_{P,IF}^{s,j}$	: Satellite hardware delay (M)
$\epsilon_{P,IF}^{s,j}$	: Code measurement noise
$\lambda_{IF}^{s,j}$	: IF wavelength
$N_{r,IF}^{s,j}$	: IF carrier phase initial ambiguity
$HD_{\phi,r,IF}$	: IF carrier phase receiver hardware delay (M)
$HD_{\phi,IF}^{s,j}$	: IF carrier phase satellite hardware (M)
$\epsilon_{\phi,IF}^{s,j}$	: Carrier phase measurement noise
$\lambda_{IF}$	: IF wavelength
$f1$	: Frequencies (1.57542 GHz)
$f2$	: Frequencies (1.2276 GHz)
$\widetilde{N}_{IF}$	: Float Ambiguity
$N1$	: First Frequencies Float Ambiguities
$N2$	: Second Frequencies Float Ambiguities
$\lambda_{WL}$	: Wide-lane Wavelength

## **Kısaltmalar**

GNSS: Global Navigation Satellite System  
GPS: Global Position System  
GLONASS: Russian Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema  
GALILEO: European Global Navigation Satellite System  
BEIDOU: Chinese Global Navigation Satellite System  
PPP: Precise Point Positioning  
NASA: National Aeronautics and Space Administration  
IGS: International GNSS Service  
MGEX: Multi-GNSS Experiment  
AC: Analysis Centre  
CODE: Switzerland (both IGS and MGEX ACs).  
NRCan: Natural Resources Canada, Canada (IGS AC).  
ESA: Germany (IGS AC).  
GFZ: Germany (both IGS and MGEX ACs).  
JPL: Jet Propulsion Laboratory USA (IGS AC).  
WUHAN: Wuhan University, China (MGEX AC).  
GREC: GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU Constellations  
APC: Antenna Phase Center  
BDT: BEIDOU Time  
C/A: Coarse / Acquisition  
CDMA: Code Division Multiple Access  
DCB: Differential Code Bias  
ECEF: Earth Centered-Earth Fixed  
EKF: Extended Kalman Filter  
FDMA: Frequency Division Multiple Access  
ICB: Inter Channel Bias  
IERS: International Earth Rotation and Reference Systems Service  
ITRF: International Terrestrial Reference Frame  
PCO: Antenna Phase Center Offset  
PCV: Antenna Phase Center Variation  
UTC: Coordinated Universal Time

## ŞEKİL LİSTESİ

<b>Şekil 2.1:</b>	GPS Takımyıldızı.....	9
<b>Şekil 2.2:</b>	BDS-3'ün Bileşimi.....	11
<b>Şekil 2.2:</b>	Sinyal Seyahat Süresinin Belirlenmesi.....	14
<b>Şekil 3.1:</b>	IGS Çoklu-GNSS İstasyonları.....	18
<b>Şekil 3.2:</b>	Nominal savrulma tutum Modunda GNSS Uydu Yönelimi.....	23
<b>Şekil 4.1:</b>	Çalışmada Seçilen 32 MGEX İstasyonunun Coğrafi Dağılımı.....	32
<b>Şekil 5.1:</b>	GFZ / WUHAN Ultra Hızlı Ürünleri ile Referans CODE MEGX Ürün Arasındaki Yörünge Farklılıkları.....	41
<b>Şekil 5.2:</b>	GPS Hızlı ve Ultra Hızlı Ürünlerin Yakınsama Süresi.....	43
<b>Şekil 5.3:</b>	GLONASS Hızlı ve Ultra Hızlı Ürünlerin Yakınsama Süresi.....	44
<b>Şekil 5.4:</b>	Galileo Hızlı ve Ultra Hızlı Ürünlerin Yakınsama Süresi.....	45
<b>Şekil 5.5:</b>	BeiDou Hızlı ve Ultra Hızlı Ürünlerin Yakınsama Süresi.....	46

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 2.1:</b>	GPS sisteminde Kullanılan Taşıyıcı Frekanslarının Temel Özelliği.....	8
<b>Tablo 2.3:</b>	Galileo Sinyallerinin Temel Özellikleri.....	10
<b>Tablo 2.4:</b>	BDS Sinyallerinin Temel Özellikleri.....	12
<b>Tablo 2.5:</b>	GNSS'nin Temel Özellikleri.....	13
<b>Tablo 3.1:</b>	PPP Hata Kaynakları, Etkileri ve Bunların Azaltma Stratejileri.....	25
<b>Tablo 4.1:</b>	Standart IGS ve MEGX Uydu Yörünge ve Saat Ürünleri.....	27
<b>Tablo 4.2:</b>	Ultra Hızlı ve Hızlı Ürünlere Genel Bakış.....	28
<b>Tablo 4.3:</b>	32 Multi-GNSS Experiment (MGEX) İstasyonları.....	31
<b>Tablo 4.3:</b>	Ultra Hızlı Ürünlerin Uydu ve Saat Mevcudiyeti.....	33
<b>Tablo 4.4:</b>	Hızlı Ürünlerin Uydu ve Saat Mevcudiyeti.....	34
<b>Tablo 4.5:</b>	PPP İşleme Parametreleri.....	34
<b>Tablo 5.1:</b>	Ultra Hızlı Ürünler (birim: cm) Kullanılarak PPP-GPS Statik ve Kinematik PPP'den Hesaplanan RMSE'ler.....	37
<b>Tablo 5.2:</b>	Hızlı Ürünler (birim: cm) Kullanılarak PPP-GPS Statik ve Kinematik PPP'den Hesaplanan RMSE'ler.....	37

<b>Tablo 5.3:</b> Ultra Hızlı Ürünler (birim: cm) Kullanılarak PPP-GLONASS Statik ve Kinematik PPP'den Hesaplanan RMSE'ler.....	38
<b>Tablo 5.4:</b> Hızlı Ürünler (birim: cm) Kullanılarak PPP-GLONASS Statik ve Kinematik PPP'den Hesaplanan RMSE'ler.....	39
<b>Tablo 5.5:</b> Hızlı Ürünler (birim: cm) Kullanılarak PPP-Galileo Statik ve Kinematik PPP'den Hesaplanan RMSE'ler.....	39
<b>Tablo 5.6:</b> Hızlı Ürünler (birim: cm) Kullanılarak PPP-Galileo Statik ve Kinematik PPP'den Hesaplanan RMSE'ler.....	40
<b>Tablo 5.7:</b> Hızlı Ürünler (birim: cm) Kullanılarak PPP-BeiDou Statik ve Kinematik PPP'den Hesaplanan RMSE'ler.....	40
<b>Tablo 5.8:</b> Hızlı Ürünler (birim: cm) Kullanılarak PPP-BeiDou Statik ve Kinematik PPP'den Hesaplanan RMSE'ler.....	41
<b>Tablo 5.9:</b> Yakınsamayan Periyotların Yüzdesi.....	47

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda göreceli veya diferansiyel konumlama teknikleri, Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) endüstrisine hâkim olmuştur. Bu teknikler, bilinen koordinatlara sahip referans noktalarını kullanarak GNSS gözlem hatalarının çoğunu ortadan kaldırıp oldukça hassas konumlama çözümlerinin elde edebilmesini sağlamaktadır. Tanım gereği, göreceli konumlama tekniklerde yüksek konum belirleme doğruluğunu elde etmek için en az 2 veya daha fazla alıcı gerekmektedir. Bu, uygulama maliyetini arttırır. Ayrıca konum belirleme doğruluğu, referans istasyona veya bölgesel ağa olan mesafeye yakından bağlıdır. Dolayısıyla, bu durum göreceli veya diferansiyel yöntemlerin sınırlı bir alanda verimli bir şekilde çalışabileceği anlamına gelmektedir. Son 10 yıllarda Hassas Nokta Konumlama (PPP), alternatif bir konum belirleme tekniği olarak GNSS toplumunda ortaya çıkmıştır. PPP, yalnızca bir alıcıyla santimetre düzeyinde konum belirleme doğruluğu sağlayabilmektedir. PPP'nin temel mantığı, uydu yörünge ve saat hatalarını ortadan kaldırmak için çeşitli hassasiyette olan ürünler kullanmaktır. Ayrıca, iyonosferden bağımsız doğrusal kombinasyon, geleneksel PPP yaklaşımında iyonosfer tabakasının neden olduğu atmosferik etkiyi gidermek veya azaltmak için kullanılır (Zumberge vd., 1997; Kouba ve Héroux, 2011).

Geçtiğimiz on yıl içinde PPP operasyonel basitlik, maliyet etkinliği ve baz istasyonu olmaması gibi faydaları nedeniyle GNSS topluluğu içinde önemli derecede ilgi görmüştür. Sonuç olarak PPP bir standart konum belirleme yöntemi olarak atmosferik izleme ve modelleme, jeolojik tehlike izleme ve kinematik konum belirleme gibi GNSS uygulamaları için kullanılmaktadır (Collins vd., 2010; Shi vd., 2007; Laurichesse vd., 2009; Geng vd., 2010; Li vd., 2014; Shi ve Gao, 2014). PPP algoritmasının doğası gereği PPP'nin performansı, esas olarak göreceli tekniğin aksine uydu yörünge ve saat ürünlerinin doğruluğuna bağlıdır. Bu nedenle çalışmalar, hassas yörünge ve saat ürünlerini, GNSS algoritmalarını ve GNSS sistemlerinin modernizasyonunu iyileştirmeye odaklanmıştır.

Son yıllarda Uluslararası GNSS Hizmeti (IGS) (Dow, 2009) ve Multi-GNSS Deneyi (MGEX) (Montenbruck, 2017) tarafından oluşturulan uydu yörünge ve saat ürünleri, hassas nokta konum belirleme (PPP) için giderek daha fazla kullanılmaktadır. PPP yalnızca harita ve geomatik topluluğunda değil, aynı zamanda atmosferik araştırmalar (Li vd., 2015; Labib vd., 2019), deprem ve tsunaminin erken uyarıları

(Gautam vd., 2019; Chen, 2015), tektonik, jeofizik çalışmalar (Shi vd., 2010, Geng vd., 2017) gibi jeobilim uygulamalarında da daha popüler hâle gelmiştir.

Şu anda, beş tür GNSS uydu yörüngesi ve saat ürünü mevcuttur. Yayın efemerisi ve ultra hızlı (half predicted) ürünler, esas olarak gerçek zamanlı uygulamaları hedeflerken; ultra hızlı (half observed), hızlı ve hassas ürünler sonradan değerlendirme uygulamalar için tasarlanmıştır. Genel olarak yayın efemerisi ve ultra hızlı (half predicted) ürünler, uydu yörüngesinin ve saatinin düşük kalitesinden dolayı yüksek hassasiyet gerektiren PPP uygulamaları için kullanılmaktadır. Ultra hızlı, hızlı ve hassas ürünler arasındaki gecikme ve doğruluk farklılıkları temel olarak işleme stratejisine ve farklı Analiz Merkezlerinden (AC) kullanılan GNSS istasyonlarının sayısına bağlıdır. Zaman kısıtlamaları nedeniyle AC'ler, hassas ürünü oluşturmaya kıyasla hızlı ve ultra hızlı ürünler üretmek için genellikle daha az istasyon kullanmaktadır. Ultra hızlı ve hızlı ürünler üretmenin temel amacı, zaman kısıtlı uygulamalara hizmet etmektir. NRCan AC'den ultra hızlı, hızlı, hassas yörünge ve saat ürünlerinin performansı araştırılmıştır. Sonuçlar, kısa vadeli dinamik yer değiştirmeleri yakalama açısından ürünler arasında önemli bir fark olmadığını göstermiştir (Yigit vd., 2020). Ultra hızlı ve hızlı ürünlerin kullanımının, konum odaklı etkisini araştırmak için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Lu ve Li (2011) yılında yaptıkları çalışmada, IGS yayının, ultra hızlı ve hızlı ürünlerinin PPP üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar, yayın efemerisinin metre altı düzeyde doğruluğa, ultra hızlı ve hızlı erişimde santimetre düzeyinde doğruluğa ulaştığını göstermektedir. Ultra hızlı (observed half), hızlı ve hassas IGS ürünlerinin PPP tekniği üzerindeki etkisi analiz edilmiştir (Park ve Jung, 2014). Ultra hızlı ürünlerin en büyük standart sapmasının PPP için 3,9 cm olduğu, hızlı ve hassas efemerisin standart sapmasının 1 cm'den az olduğu ortaya konmuştur. Düşey dinamik hareketi tespit etmek için hem Natural Resources Canada (NrCAN) ultra hızlı ürünlerine hem de IGS-hassas ürünlerine dayalı PPP kinematik çözümler değerlendirilmiştir (Yigit ve Gurlek, 2014). Deney, dinamik hareketi algılamak için ürünler arasında çok az bir fark olduğunu göstermiştir. PPP konum belirlemesi için hassas hızlı ve hassas ultra hızlı ürünler arasındaki kuzey, doğu ve yukarı farklar hesaplanmıştır (Martín, 2011). Sonuçlar, hızlı ve ultra hızlı (observed half) ürünlerin hassas üründen elde edilen çözüm ile karşılaştırıldığında cm seviyesinde olduğunu göstermiştir. IGS çoklu GNSS ve JPL'ye özgü ultra hızlı PPP ürün performansları araştırılmıştır (Ogutcu, 2020). Sonuçlar, hassas ürün kullanılarak PPP'ye göre IGS / JPL hızlı ve JPL ultra hızlı ürünler kullanılarak mm düzeyinde yatay ve düşey bağlı PPP

doğruluklarının elde edilebileceğini göstermiştir. Sonuçlar ayrıca IGS ultra hızlı (observed half) ve (predicted half) ürünlerinin, IGS hassas ürününe kıyasla cm ila dm düzeyinde göreceli doğruluk sağlayabildiğini de göstermiştir.

### **1.1. Araştırma Amacı**

Yukarıda bahsedilen çalışmalarda sadece sınırlı sayıda analiz merkezi AC'lerine sahip ultra hızlı ve hızlı ürünler için GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou (BDS-2) gibi GNSS takımyıldızlarının ultra hızlı ve hızlı performansı araştırılmıştır. Mevcut tüm AC'lerin performansı araştırılmamıştır. Bu durum deprem, tsunami, heyelanlar, hızlı deformasyon ve yapı izleme çalışmaları gibi çoklu-GNSS kullanan uygulamalar için oldukça önemli olmaktadır. Ayrıca zaman kısıtlı uygulamalar için AC'lerin ultra hızlı ve hızlı ürünleri yukarıdaki literatürde araştırılmamıştır.

Bu nedenle bu çalışmanın amacı, Avrupa'da Yörünge Belirleme Merkezi (CODE), Avrupa Uzay Ajansı (ESA), Natural Resources Canada (NRCan), Jet Propulsion Laboratory (JPL), Geo Forschungs Zentrum (GFZ), International GNSS Service (IGS), Wuhan Üniversitesi (WUHAN) belirtilen yedi AC'den tek sistemli PPP (yani GPS-, GLONASS-, Galileo- ve BeiDou (BDS-2)-tek sistemli PPP) ultra hızlı ve hızlı ürünler kullanılarak konum belirleme performansını araştırmaktır. Konum belirleme performansı, AC'lerden ultra hızlı ve hızlı ürünler kullanılarak iki aylık bir dönemde (Ocak-Şubat) 32 MGEX istasyonunun verilerine dayanan tek sistemli statik ve kinematik PPP konum belirleme performansı değerlendirilmesi araştırılmıştır.

### **1.2. Tez Özeti**

Bu çalışma 6 bölümden oluşmaktadır. İlk olarak çalışmanın girişi, önceki çalışmalar ve araştırma amacı açıklanmıştır.

Bölüm 2'de kısaca GPS, GLONASS, Galileo ve BDS sistemleri açıklanmış ve bu sistemler arasında kapsamlı bir karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca GNSS gözlemleri, bu bölümde açıklanmıştır. Son olarak GNSS ile konum belirleme yöntemleri anlatılmıştır.

Bölüm 3'te geleneksel ve çoklu-GNSS yaklaşımlarının olası hata kaynakları tanımlanmıştır. Ayrıca bu hata kaynaklarını azaltma stratejileri bu bölümde tartışılmıştır.

Bölüm 4'te IGS & MGEX analiz merkezlerinden üretilen hızlı ve ultra hızlı yörünge ve saat verilerinin açıklanması, iyonosferden bağımsız PPP modeli, statik ve kinematik PPP değerlendirilmesi ve zaman yakınsama süresi değerlendirilmesi yapılmıştır.

Bölüm 5'te tek sistemli statik ve kinematik PPP-GPS, -GLONASS, -GALILEO, -BEIDOU değerlendirilmesinin sonucu gösterilmiş ve tartışılmıştır. Son olarak, zaman yakınsama süresinin değerlendirilme sonucu da gösterilmiş ve tartışılmıştır.

Bölüm 6'da, bu çalışmadan çıkan sonuçlar üzerinden gelecekteki çalışmalar için bazı önerilerde bulunulmuştur.

## 2 GNSS SİSTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

Bu bölüm üç kısımdan oluşmaktadır. İlk kısmında, GNSS (GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou) sistemleri kısaca anlatılmıştır. İkinci kısımda, bu sistemlerin gözlemleri ve bu gözlemlerin dayandığı denklemleri özetlenmiş bir şekilde anlatılmıştır. Son kısmında ise, GNSS hassas konum belirleme PPP tekniği detaylıca anlatılmıştır.

### 2.1. GNSS Sisteminin Tanımı

GNSS, konumlama ve navigasyon sistemleridir. Araç navigasyonu, rekreasyon ve hava tahmini gibi uygulamaları günlük aktivitelerimize dokunmaktadır. Deniz navigasyonu, hava navigasyonu, zaman transferi, kurtarma, haritalama gibi diğer birçok kompleks uygulama büyük ölçüde GNSS'e bağlıdır. ABD Savunma Bakanlığı (DoD) tarafından geliştirilen GPS sistemi, Rusya Federasyonu Savunma Bakanlığı tarafından geliştirilen GLONASS sistemi, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından geliştirilen Galileo sistemi ve Çin Ulusal Uzay Dairesi tarafından işletilen BDS sistemi küresel olarak hizmet vermektedir.

#### 2.1.1. GPS

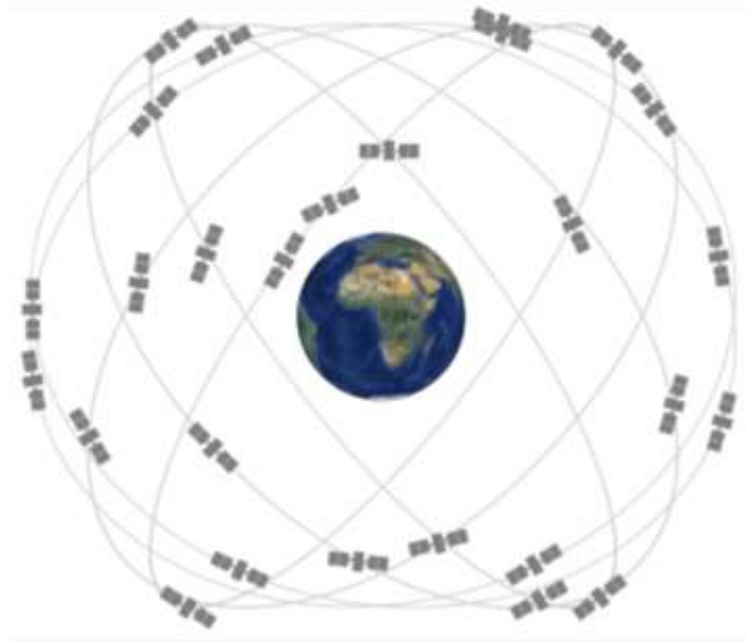
GPS, ABD Dod tarafından oluşturulmuş ve 1994 yılında tam olarak faaliyete geçmiştir. En az 4 eş zamanlı gözlemlenen uydu ile doğrudan görüş hattı (line of sight/LOS) olmak şartıyla, GPS takımyıldızı, herhangi bir yerde ve her türlü hava koşulunda konum ve zaman bilgisi sağlayabilen bir sistemi olarak tasarlanmıştır. Askeri kullanım amacıyla başlamasına rağmen, GPS, son birkaç 10 yıldır tüm dünyada konumlandırma, navigasyon ve zamanlama hizmetleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. Konum belirleme doğruluğu, neredeyse her türlü ölçme, jeodezik ve navigasyon uygulamasını karşılayabilecek şekilde metre seviyesinden milimetre seviyesine geliştirilmiştir. Tüm sistem üç bölümden oluşmaktadır: uzay bölümü (space segment), kontrol bölümü (control segment) ve kullanıcı bölümü (user segment) (GPS-ICD, 2000).

Uzay bölümü, 24 uydudan oluşan ve kullanıcılara radyo sinyalleri ileten GPS uydu takımyıldızını içermektedir Şekil 2.1. GPS uyduları, Dünya yüzeyinden yaklaşık 20200 km yükseklikte, neredeyse dairesel yörüngelerde ve eşit aralıklı 6 yörüngeye

dağıtılmıştır. Her yörünge düzlemi, 4 uydu ile 55 derecelik bir eğime sahiptir ve her uydu günde iki kez Dünya'yı çevreler. Bu konfigürasyon, uzay bölümünün günün herhangi bir saatinde 15 derecelik yüksekliğin üzerinde aynı anda izlenen 4 ila 8 uydu ile küresel kapsama alanını sağlar. GPS takımyıldızı, Blok I, Blok II, Blok IIA, Blok IIR, Blok IIF uyduları ve Blok III (A, B, C) gibi farklı uydu türlerden oluşmaktadır. Uydu ağı, bir Code Division Multiple Access (CDMA) yayılma spektrumu tekniği kullanır. Şu anda, her uydu 10.23 MHz temel frekansından sinyaller iletmektedir. Esas olarak kullanılan iki taşıyıcı, L1 (1575.42 MHz) ve L2 (1227.60 MHz) frekans bantları, temel frekansın sırasıyla 154 ve 120 ile çarpılmasıyla üretilir. Bu çift frekanslı tasarım, iyonosfer gecikmesi gibi büyük hata kaynaklarını ortadan kaldırmak için gerekmektedir. Her uydudan alıcıya giden sinyalin ölçülen seyahat süresinden türetilen kodlar, iki temel taşıyıcı üzerinde modüle edilen 2 pseudo-random noise (PRN) kodunu kullanır. İlk kod C/A (Coarse/Acquisition-code) ve ikinci kod P kodudur (Precision-code/ Hassas kod). Bu iki kod, sırasıyla Standart Konumlandırma Hizmeti (Standard Positioning Service-SPS) ve Hassas Konumlandırma Hizmeti (Precise Positioning Service-PPS) için kullanılır (GPS-ICD, 2000).

C/A-kodu, yalnızca L1 taşıyıcısında modüle edilen 293 m dalga boyuna, 1.023 MHz çip hızına sahiptir. P-kodu ise 29.3 m dalga boyuna ve 10.23 MHz çip hızına sahip olmak üzere hem L1 hem de L2 taşıyıcılarında modüle edilmiştir. PRN kodlarının yanı sıra, uydu efemerileri, iyonosfer modelleme katsayıları, uydu sağlığı bilgisi, sistem saati ve uydu saat sıçraması da iki taşıyıcı üzerinde modüle edilir. GPS modernizasyonu ile sistem performansını artırmak için 1176,45 MHz merkezli L5 nominal frekansı eklenmiştir. L5, daha yüksek güç, daha fazla bant genişliği ve gelişmiş sinyal tasarımına sahiptir (GPS-ICD, 2000).

GPS, 1980'lerin ortasında ABD Savunma Haritalama Ajansı tarafından tasarlanan Dünya Merkezli Yer Sabit (Earth-Centered Earth-Fixed-ECEF) Dünya Jeodezi Sistemi WGS 1984 (WGS 84) adlı kendi koordinat sistemine sahiptir (Hofmann vd, 2008).



Şekil 2.1. GPS Takımı Yıldızı (<http://www.gps.gov>)

GPS uyduları, kod bölmeli çoklu erişim (CDMA) yöntemini kullanmaktadır. Navigasyon sinyallerini oluşturmak amacıyla, tüm uydular için aynı taşıyıcı frekanslarda standart navigasyon sinyalleri modüle edilmiştir. CDMA tekniği alıcıların GPS uydularını, her bir uydu tarafından iletilen farklı kod setleriyle birbirinden ayırt etmesine olanak tanımaktadır. Öte yandan GPS navigasyon sinyalleri, temel bir frekansın ( $f_0 = 10.23 \text{ MHz}$ ) farklı katsayılarla çarpılmasıyla üretilmektedir. Tablo 2.1, GPS’de kullanılan taşıyıcı frekanslarının temel özelliklerini açıklamıştır (GPS-ICD, 2000).

**Tablo 2.1:** GPS sisteminde Kullanılan Taşıyıcı Frekanslarının Temel Özelliği.

Sinyel	Frekans (Mhz)	Dalga Boyu (Cm)
<b>L1</b>	1575.42	19.0
<b>L2</b>	1227.6	24.4
<b>L5</b>	1176.45	25.5

### 2.1.2. GLONASS

Rusya Federasyonu Savunma Bakanlığı Koordinasyon Bilimsel Bilgi Merkezi tarafından yapılan GLONASS, sınırsız sayıda hava, deniz ve diğer her tür kullanıcıya

dünyanın herhangi bir yerinde her türlü hava koşulunda konumlama, navigasyon ve zamanlama (Positioning, Navigation and Timing / PNT) hizmeti sağlama açısından GPS sistemi ile Benzer özelliklere sahiptir. Her iki sistem de aynı veri iletimi ve konum belirleme ilkesini paylaşır. 2000'den önce sistemin uygulanmasını geciktiren bazı ekonomik krizler olmasına rağmen, GLONASS restore edilmiş ve şimdi tam kapasitesine ulaşmıştır. GLONASS, GPS gibi uzay bölümü, kontrol bölümü ve kullanıcı bölümden oluşmaktadır. GLONASS takımyıldızı, 120 derece ile ayrılmış ve 45 derecelik enlem yer değiştirme argümanına sahip üç yörünge düzleminde 24 uydudan oluşmaktadır. Bu uydular yaklaşık 19100 km yükseklikte, yaklaşık 11 saat 15 dakikalık bir dönüş periyodu ile uçmaktadır. GLONASS'tan gelen gözlemler GPS'inkilere çok benzer: C/A-kodu L1 üzründe, P kodu L1 ve L2 üzründe ve taşıyıcı faz ölçümleri L1 ve L2 üzründe iletilir. Ancak GLONASS, antendeki sinyalleri ayırt etmek için Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (Frequency Division Multiple Access-FDMA) teknolojisini kullanır (GLONASS-ICD, 2002).

GLONASS efemerisleri, PZ-90.02 olarak bilinen 1990 tarihli ECEF Parametri Zelmy jeodezik referans çerçevesinde hesaplanır. PZ-90.02'deki koordinatlar, Uluslararası Dünya Rotasyon ve Referans Sistemleri Hizmeti (IERS) tarafından yayınlanan dönüşüm parametreleri ile farklı takımyıldız entegrasyon amaçları için WGS-84 veya diğer koordinat sistemlerine dönüştürülebilir (Leick, 2015).

GLONASS Merkezi Senkronizatör zamanı temelinde oluşturulan GLONASS Zamanı (GLONASS time) olarak bilinen kendi zaman sistemini kullanır. GLONASS saati ile Eşgüdümlü Evrensel Zaman (UTC) arasındaki fark 1 milisaniyedir. GLONASS saati, sistem entegrasyonu için GPS saatine da dönüştürülebilir (Habrich, 1999).

### **2.1.3. GALILEO**

Galileo, sivil kontrol altında son derece hassas küresel PNT hizmeti sağlayabilen Avrupa küresel navigasyon uydu sistemidir. Bu sistem, GPS ve GLONASS ile birlikte çalışabilir olarak tanımlanmıştır. GPS'e benzer şekilde Galileo takımyıldızı, uzay bölümü, yer kontrol bölümü ve kullanıcı bölümünden oluşmaktadır. Tamamı faaliyete olan Galileo takımyıldızı 30 uydudan (27 operasyonel ve 3 yedek) oluşmaktadır. Galileo uyduları, ekvator düzlemine göre 56 derecelik bir eğimle üç dairesel Orta Dünya Yörüngesi düzleminde dağıtılmıştır. Galileo için sırasıyla 1176.450 MHz,

1207.140 MHz, 1278.750 MHz ve 1575.420 MHz merkezli frekans bantları ile E5a, E5b, E6 ve E1 bantları olmak üzere dört frekans bandı bulunmaktadır. Galileo sistemin taşıyıcı frekanslarının temel özellikleri Tablo 2.3'te gösterilmiştir. Bu frekans bantları, güvenlik açısından kritik uygulamalara izin vermek için özel olarak seçilmiştir.

**Tablo 2.3:** Galileo Sinyallerinin Temel Özellikleri (Galileo-ICD, 2010)

Sinyel	Frekans (Mhz)	Dalga Boyu (Cm)
E1	1575.42	19.00
E5a	1176.45	25.50
E5b	1207.14	24.80
E6	1278.75	23.40

Galileo uydularının yörünge periyodu yaklaşık 14 saattir. Galileo uyduları, Dünya'nın ekvator düzleminde  $56^\circ$  birbirinden ayrılmış 3 yörünge düzlemine eşit olarak dağılmıştır. Galileo sistemi, küresel hizmet vermek için tasarlanmıştır. Dolayısıyla, Dünya'nın herhangi bir alanı veya yerinde en az 4 uydu görünmektedir.

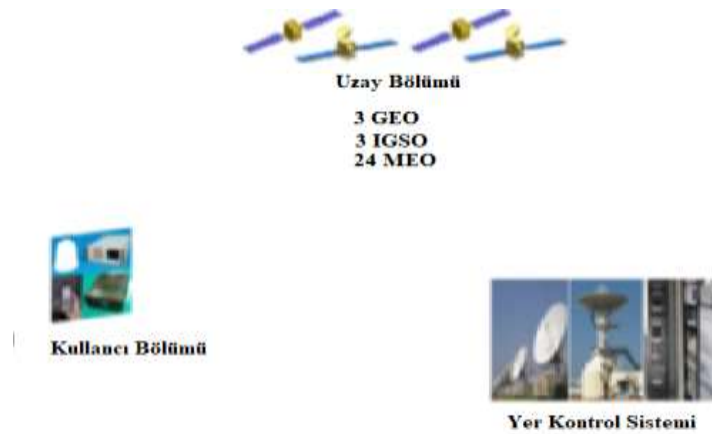
Galileo'nun zaman sistemi (Galileo time-GST) olarak adlandırılır. GST, 22 Ağustos 1999 Pazar günü Evrensel Saat (UT) 00:00'dan başlamıştır (Galileo-ICD, 2010).

#### 2.1.4. BEIDOU

COMPASS olarak da bilinen Çin BeiDou Uydu Navigasyon Sistemi, 35 uydulu bir takımyıldız olarak tasarlanmıştır (Yang vd, 2011; BeiDou-ICD, 2017). Bunların 5'i ve 3'ü sırasıyla Geostationary Earth Orbit (GEO) uyduları ve Inclined Geosynchronous Satellite Orbit (IGSO) uyduları ve diğer 27'si Orta Dünya yörüngesi (Medium Earth orbit-MEO) uydularıdır. Sinyaller, CDMA tekniğine dayanıp diğer GNSS sistemlere benzer şekilde, iki seviye konum belirleme hizmeti olmaktadır: açık ve kısıtlı (askeri). açık hizmeti küresel olarak genel kullanıcılara sunulmaktadır (BeiDou-ICD, 2012).

İlk BeiDou navigasyon sistemi (BDS-1) 2003 tarihinde kurulup başlangıçta iki sabit yörünge uydusundan (GEO) ve ardından 2003'te yedek için ek bir GEO uydusundan oluşturulmuştur. 2012 yılında, BeiDou bölgesel navigasyon uydu sistemi (BDS-2), 14 uydudan oluşan bir takımyıldızla kurulup 5 GEO uydusu, 5 eğimli

jeosenkron yörünge (IGSO) uydusu ve 4 orta Dünya yörüngesi (MEO) uydusudan oluşmuştur. BDS-2'nin hizmet alanı Asya-Pasifik bölgesinin %94,6'sını kapsamaktadır. BDS-2'nin küresel olmasa da, Asya-Pasifik bölgesindeki konumlama performansı GPS sistemi ile karşılaştırılabilir. BDS-2'nin sürekli ve istikrarlı bir şekilde bölgesel hizmetinin yanı sıra, bir GNSS (BDS-3) geliştirilmeye başlatılmıştır. BDS-3, diğer GNSS sistemler gibi, uzay, yer kontrol ve kullanıcı bölümünden oluşup küresel navigasyon hizmeti vermektedir (şekil 2.2) (Yang vd., 2019).



Şekil 2.2: BDS-3'ün Bileşimi (Yang vd., 2019).

BeiDou'nun koordinat sistemi, ITRS ile uyumlu olan Çin Jeodezi Koordinat Sistemi 2000'e (CGCS 2000) göre ayarlanmıştır. Bu koordinat sistemi, sistem entegrasyonu için WGS 84, PZ-90.02 veya GTRF'e de dönüştürülebilir. BeiDou zamanı (BDT), dahili, sürekli bir navigasyon zaman ölçeğidir. Temel birim saniyedir. BDT, GPS ve Galileo'nun zaman sistemine benzeyen hafta numarası (week number-WN) ile tanımlanır. BDT'nin sıfır noktası 1 Ocak 2006 UTC 00:00'dır. BDT, entegrasyon için UTC'ye veya diğer zaman sistemlerine dönüştürülebilir. GPS ve Galileo sistemlerinde olduğu gibi Çin tarafından işletilen BeiDou sistemi CDMA tekniğinden elde edilen navigasyon sinyallerini kullanmaktadır. BeiDou sinyallerinin temel özellikleri Tablo 2.4'te gösterilmiştir.

**Tablo 2.4:** BDS Sinyallerinin Temel Özellikleri (BeiDou-ICD, 2017).

Sinyel	Frekans (Mhz)	Dalga Boyu (Cm)	Servis
<b>B1</b>	1575.42	19.20	Açık Yetkili
<b>B2</b>	1 191.79	24.80	Açık Yetkili
<b>B3</b>	1 268.52	23.60	Yetkili

### 2.1.5. GNSS Sistemlerin Mukayesesi

GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou sistemlerin arasında bir kaç farklılıklar bulunsa da temelde kıyaslanabilir sistemlerdir. Tablo 2.5'te, bu sistemlerin bazı önemli özellikleri ve sistemlerin ana farklılıkları açıklanmıştır.

**Tablo 2.5:** GNSS'nin Temel Özellikleri (Bahadur, 2018)

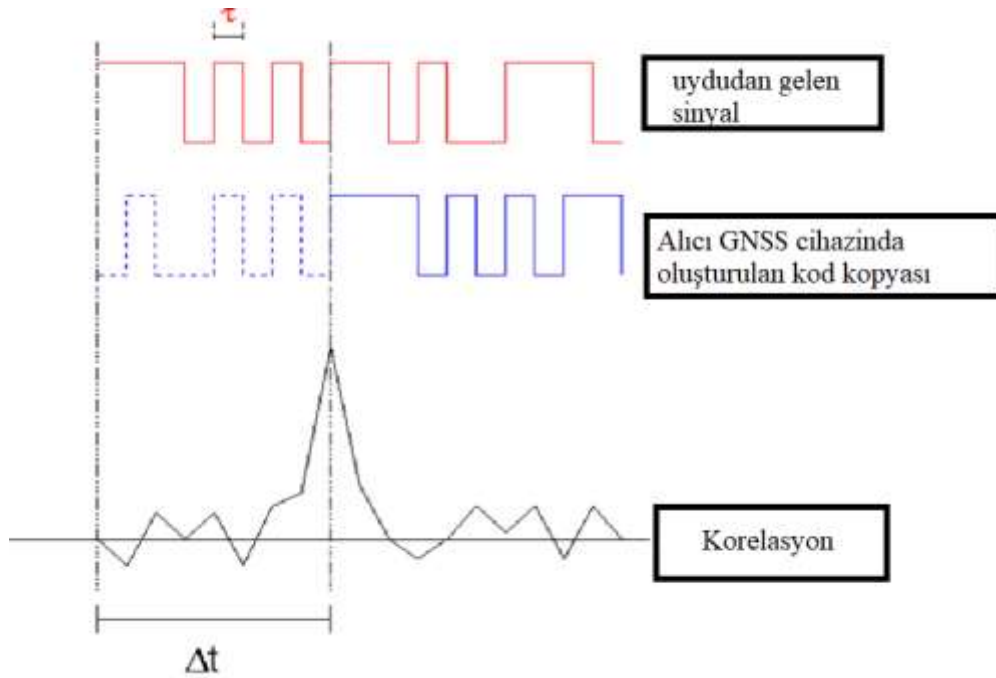
GNSS KARŞILAŞTIRILMASI	GPS	GLONASS	GALILEO	BEIDOU	
Ülke	ABD	Rusya	Avrupa	Çin	
Udu sayısı	31	24	30	35	
Yörünge sayısı	6	3	3	3	
Yörünge yarıçapı (km)	26508	25510	29601	27878	
Eğim	55°	64.8°	56°	55°	
Yörünge periyodu	11h58m	11h16m	14h04m	12h53m	
Sinyal ayırma tekniği	CDMA	FDMA	CDMA	CDMA	
Sinyal frekansı (MHz)	L <sub>1</sub> :1575.42 L <sub>2</sub> :1227.60 L <sub>5</sub> :1176.45	G <sub>1</sub> :1602 G <sub>2</sub> :1246 G <sub>3</sub> :1202	E <sub>1</sub> :1575.42 E <sub>5a</sub> :1176.45 E <sub>5b</sub> :1207.14 E <sub>6</sub> :1278.75	B <sub>1</sub> : 1 575,42 B <sub>2</sub> : 1 191,79 B <sub>3</sub> : 1 268,52	
Koordinat sistemi	WGS-84	PZ-90	GTRF	CGCS	
Zaman ölçeği	GPS Zamanı	GLONASS Zamanı	GST	BDT	
Yeryüzünden yükseklik (km)	20200	19130	23222	MEO 21528	GEO/IGSO 35786

## 2.2. GNSS Gözlemleri

Tipik olarak GNSS gözlemleri, kod (Code Pseudorange) ve taşıyıcı faz (Carrier Phase) olarak ikiye ayrılmaktadır.

### 2.2.1. Kod Gözlemleri

GNSS temel gözlemleri, sinyalin uydu anteninin faz merkezinden (yayıma zamanında/ emission time) alıcının faz merkezine (alma zamanında/ reception time) yayılması için seyahat süresi  $\Delta T$ 'dir. Işık hızıyla çarpılan bu değer bize aralarındaki görünen veya kod gözlemini (pseudorange) verir. GNSS sinyalleri, kullanıcıların seyahat süresini  $\Delta T$  hesaplamasını sağlamak için değişen kodlar içerir. Alıcı, uydudan alınan kodu (P) alıcıda oluşturulan bir kopyası ile ilişkilendirerek  $\Delta T$ 'yi belirler, böylece bu kopya maksimum korelasyon elde edilene kadar zamanda ( $\Delta T$ ) hareket ettirilir [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Combination\\_of\\_GNSS\\_Measurements](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Combination_of_GNSS_Measurements).



Şekil 2.3: Sinyal Seyahat Süresinin Belirlenmesi (Subirana vd., 2013).

Kod gözlemleri, sözde sahte mesafe olarak bilinmektedir; çünkü uydu ile alıcı arasındaki saat senkronizasyonunun olmaması ve sinyal iletimi üzerindeki atmosferik

etkiler nedeniyle geometrik aralıktan önemli ölçüde sapılmaktadır. GNSS pseudorange gözlemleri şu şekilde yazılmıştır (Leick et al. 2015):

$$P_{IF,r}^{S,j} = \rho + c * (dt_r - dt^{S,j}) + d_{trop} + HD_{P,r,IF} - HD^{P,S,j,IF} + \epsilon_{P,IF}^{S,j} \quad (2.1)$$

Üst simge s ve j uydu ile GNSS endeksini göstermekte (G: GPS, R: GLONASS, E: Galileo ve C: BeiDou), alt simge r alıcıyı belirtmektedir.  $P_{IF,r}^{S,j}$  kod gözlemlerinin IF kombinasyonlarıdır.  $\rho$ , metre cinsinden (pseudorange) sahte mesafedir, c saniyede metre cinsinden ışığın hızıdır,  $dt_r$  saniye cinsinden alıcının saat sapmasıdır,  $dt^{S,j}$  saniye cinsinden uydu saati sapmasıdır,  $d_{trop}$  metre cinsinden troposferik gecikmedir,  $HD_{P,r,IF}$  metre cinsinden IF kodu alıcı donanım gecikmesidir (Kouba and Héroux 2001),  $HD^{P,S,j,IF}$  metre cinsinden IF kodu uydu donanımı gecikmesidir,  $\epsilon_{P,IF}^{S,j}$  IF kodun ölçüm gürültüsüdür (Xiao et al. 2019).

### 2.2.2. Taşıyıcı Faz

Kod gözlemleri gibi, taşıyıcı faz da uydu ile alıcı arasındaki görünür mesafenin bir ölçüsünü elde etmek için kullanılır. Bu taşıyıcı faz gözlemi, kod gözleminden çok daha doğrudur, ancak bilinmeyen (faz başlangıç belirsizliği) bir tamsayı dalga boyu ( $\lambda_N$ ) ile belirsizdir. GNSS taşıyıcı faz gözlemleri şu şekilde yazılmaktadır (Leick vd. 2015):

$$\phi_{IF,r}^{S,j} = \rho + c * (dt_r - dt^{S,j}) + d_{trop} + \lambda_{IF}^{S,j} * N_{r,IF}^{S,j} + HD_{\phi,r,IF} - HD^{\phi,S,j,IF} + \epsilon_{\phi,IF}^{S,j} \quad (2.2)$$

$\phi_{IF,r}^{S,j}$  taşıyıcı faz gözlemlerinin IF kombinasyonlarıdır,  $\lambda_{IF}^{S,j}$  IF dalga boyudur,  $N_{r,IF}^{S,j}$  IF taşıyıcı faz başlangıç belirsizliğidir,  $\epsilon_{\phi,IF}^{S,j}$  IF fazın ölçüm gürültüsüdür. Diğer simgeler yukarıda (2.3) kod gözlemleri bölümünde yazılmıştır.

### 2.3. Hassas Nokta Konum Belirleme (PPP) Tekniği

IGS ve diğer bazı kuruluşlardan hassas yörünge ve uydu saat düzeltmelerinin ortaya çıkmasıyla, referans (base) ve gezici (rover) istasyonlarının eşzamanlı gözlem yapmalarına gerek kalmadan tek bir alıcıyla yüksek hassasiyetli konum belirleme yapılabilmektedir. Kod ve taşıyıcı faz gözlemlerini kullanan bu konumlama yöntemi, “hassas nokta konumlama” olarak bilinir. Çift frekanslı alıcılardan alınan iyonosferden bağımsız kod ve taşıyıcı faz gözlemleri kullanılarak Hassas Nokta konumlama Zumberge (1998; 1997) tarafından ortaya çıkartılmış Kouba ve Heroux (2000) tarafından geliştirilmiştir (Abdel-salam vd. 2002).

Zumberge, IGS ağının bir alt kümesini kullanarak yörünge ve saat verilerini küçük aralıklarla hesaplamak için bir yöntem bulmuştur. Daha sonra, bu hassas verileri, troposferik gecikme gibi diğer parametrelerle birlikte kullanıcı istasyonu koordinatlarını hesaplamak için post processing yazılımında kullanılmıştır. Saat ve yörünge için sırasıyla 30 ve 900 saniye aralıklarla hassas veriler kullanmıştır. Tekniğine dayalı olarak iyi sonuçlar elde edilmiştir. Kouba ve Heroux (2000), çift frekanslı alıcılardan iyonosferden bağımsız kod ve taşıyıcı faz gözlemlerini kullanma tekniğini ayrıntılı olarak yayınlayan ilk kişidir (Abdel-salam vd. 2002).

### 3. GNSS PPP ÖLÇÜLERİNE ETKİ EDEN HATA KAYNAKLARI VE HATALARI AZALTMA STRATEJİLERİ

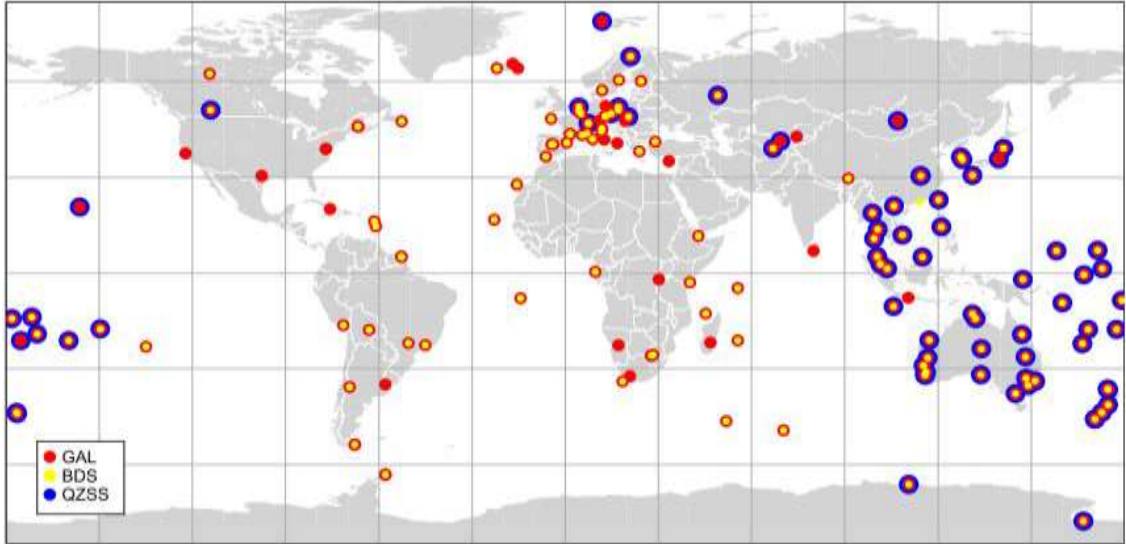
GNSS sinyalleri, bir çok hata kaynağından etkilenmektedir. Yüksek hassasiyetli konumlama elde etmek için bu hataların düzgün bir şekilde giderilmesi veya azaltılması gerekmektedir. Dolayısıyla, ~~Hassas konum belirleme~~ PPP hata kaynakları ve bu hataların giderilmesi veya azaltılması stratejileri bu bölümde detaylıca anlatılacaktır.

#### 3.1. Uydu Yörünge ve Saat Hataları

Uydu yörünge hatası, uyduların gerçek konumu ile hesaplanan veya "bilinen" konum arasındaki farktır. Ancak bu yörüngeler yerçekimi kuvvetleri ve çekicilikleri, radyasyon basıncı, Dünya atmosferinin parçacıkları ve hava sürüklemesi nedeniyle zaman zaman değişebilir. Bu faktörlerin bir sonucu olarak, uyduların belirli bir zamanda hesaplanan konumlarını içeren efemeris verileri gerçek konumla uyuşmayabilir ve bu sapma veya hata uydu yörünge hatası olarak bilinir (Lynn, 2009).

GNSS uyduları, doğru zamanlama sinyalleri üretmek için oldukça stabil atomik saatler taşır. Uyduda atomik saatler stabil olmasına rağmen, osilatörün GNSS zamanı ile senkronizasyonu sağlayamaması bir saat hatasıyla sonuçlanır. Atomik ve GPS zamanı arasındaki sapma, uydu saat hatası olarak bilinir (Lynn, 2009).

Uydu yörünge ve saat hatalarının, İyonosferden Bağımsız Doğrusal PPP Kombinasyon çözümlerindeki gecikmeleri önemlidir (Witchayangkoon, 2000). Uydu yörüngesi ve saat hataları tam olarak bilinmediği takdirde, PPP tekniği kullanılarak yüksek doğrulukta nokta konumlama elde etmenin çok zor olacağını belirtmiştir. Bunun nedeni, ilgili çözümlerin, yayın navigasyon mesajı tarafından sağlanan saat hatalarını kabaca düzelten standart konum belirleme çözümleriyle aynı "sınıfta" olmalarıdır. Bu nedenle, mümkün olan en yüksek nokta konum belirleme doğruluğunun elde edilebilmesi için PPP'de uydu yörünge ve saat hatasını mümkün olduğunca etkili bir şekilde düzeltmek gereklidir. PPP yaklaşımında, uydu yörünge ve saat hataları, IGS hassas uydu düzeltme ürünleri kullanılarak düzeltilir. IGS hassas uydu yörüngesi ve saat düzeltmeleri çeşitli biçimlerde elde edilebilir. Dört ürün, Hassas, Hızlı, Ultra-Hızlı (observed-Half) ve Ultra-Hızlı (Predicted Half) uydu yörünge ve saat düzeltmeleridir. IGS yörünge ürünleri, esasen doğrulukları, gecikme süreleri ve hesaplamalarda kullanılan izleme istasyonları ağının kapsamı bakımından farklılık gösterir (şekil 3.1).



Şekil 3.1: IGS Çoklu-GNSS İstasyonları (Montenbruck, 2017).

IGS yörüngeleri, Standard Product 3'ün kısaltması olan SP3 formatında IGS web sitesinden (IGS, 2008) ücretsiz olarak indirilebilir. SP3, uyduların konumu ve bunlara karşılık gelen standart sapmaları ile saat düzeltmelerinin ve ayrıca her uydu için yörünge doğruluk bilgisi gibi diğer bilgilerin bir ASCII temsilidir. Tüm uydular için yörünge konumları ITRF X, Y, Z koordinat sisteminde kilometre olarak verilmiştir. Şu anda SP3 verileri 15 dakikalık örnekleme aralığında sağlanmaktadır. SP3 efemeri dosyalarındaki tablo halindeki 15 dakikalık aralıklı yörünge ve saat düzeltmelerinin yanı sıra, uydu ve izleme istasyonları alıcı saat düzeltmelerini daha yüksek bir örnekleme hızında, yani 5 dakikalık veya 30 saniyelik alıcı saat düzeltmelerini içeren başka bir saat düzeltme dosyası bulunmaktadır. Bu dosya, saat düzeltmelerini kaydetmek için bir RINEX uzantısı olan CLK dosyası olarak bilinir. Uydu saati düzeltmeleri, IGS web sitesinden ücretsiz olarak indirilebilir (IGS, 2008). Tüm uydular için saat düzeltmeleri ve sigma değerleri saniye cinsinde ifade edilir (Lynn, 2009).

### 3.2. Alıcı Saat Hatası

Alıcı saat, küçük boyut, az güç tüketimi ve düşük fiyat avantajları nedeniyle genellikle kuvars kristal osilatörlerle donatılmıştır. Kuvars saatin nispeten zayıf stabilitesi nedeniyle, alıcı saatinin stabilitesi kısa bir süre içinde bozulur, bu da alıcı saat ofsetinin zaman içinde hızlı bir şekilde değişmesine neden olur. Bu nedenle, alıcı saat ofseti, geleneksel PPP yaklaşımında üç koordinat bileşeniyle birlikte genellikle bilinmeyen bir parametre olarak tahmin edilir (Cai, C., 2009).

### 3.3. Troposferik Etki

Troposfer, atmosferin alt tabakasıdır. Dünya yüzeyinden atmosfere yaklaşık 50 km kadar uzanır. İyonosferden farklı olarak, troposfer iyonize olmayan ve dağılmayan bir ortamdır. Bu nedenle, troposferik gecikme, çift frekanslı gözlemler kullanılarak ortadan kaldırılamaz. Troposferin bir başka özelliği hem kod hem de taşıyıcı faz sinyallerini aynı büyüklükte geciktirmesidir. Troposfer gecikmesini tamamen azaltmak son derece zordur. Bunun nedeni, troposferik etkinin yalnızca uydu yükseklik açısına ve alıcı yüksekliğine değil, aynı zamanda atmosferik sıcaklık, basınç ve neme de bağlı olmasıdır. Troposfer genellikle kuru (hidrostatik) ve ıslak kısım olmak üzere iki bileşene ayrılır. Islak bileşen, troposferin Dünya yüzeyinden yaklaşık 12 km'ye kadar uzanan alt bölgesidir. Bu bölge su buharının çoğunu içerdiğinden nemden oldukça etkilenir. Su buharı zamana ve konuma bağlı olarak değiştiği için nokta konum belirleme modellemeyi son derece zorlaştırır. Troposferik gecikme büyüklüğünün yaklaşık %10'u troposferin ıslak kısmından kaynaklanır. Kuru bileşen ise troposferin üst kısmıdır. Bu bileşen çoğunlukla modellemeyi kolaylaştıran kuru gazlar içerir. Troposferin kuru bileşeni, toplam troposferik gecikmenin kalan %90'ına katkıda bulunur (Lynn, S., 2009).

Troposferin kuru ve ıslak bileşenlerinin neden olduğu gecikme, genellikle zenit mesefesinde modellenir ve daha sonra uygun bir haritalama fonksiyonu ile ölçeklenir. Bu nedenle, toplam troposferik gecikme  $d_{trop}$ , kuru ve ıslak bileşenlerin neden olduğu gecikmenin birleşimi olarak bir denklemde ifade edilebilir (Shen, 2002'den aktaran Lynn, S., 2009).

$$d_{trop} = d_{dry} \cdot M_{dry} + d_{wet} \cdot M_{wet} \quad (3.1)$$

burada  $d_{dry}$  kuru bileşenden kaynaklanan zenit gecikmesidir,  $d_{wet}$  ıslak bileşenden kaynaklanan zenit gecikmesidir.  $M_{dry}$  kuru haritalama fonksiyonunu,  $M_{wet}$  ıslak haritalama fonksiyonudur. Bu araştırmada GPT2 (Lagler vd., 2013) modeli kullanılmıştır.

### 3.4. İyonosferik Etki

İyonosfer, atmosfer tabakasının Dünya yüzeyinden yaklaşık 50 ila 1000 km yükseklikteki bölgesidir. Bu katmanda, Güneş'in ultraviyole ışığı atomları ve molekülleri iyonize etmektedir. Sonuç olarak, fotoiyonizasyon işlemi sırasında nötr atmosferik parçacıklardan elektronlar ve iyonlar üretilir. İyonosfer tabakasındaki serbest elektronlar, kırılma, yansıma ve absorpsiyon dahil olmak üzere mikrodalga sinyallerinin yayılması üzerinde ciddi etkiler uygular. GNSS sinyalleri iyonosferden geçerken, sinyallerin iletim hızı değişir ve bu nedenle kullanıcı ile uydu arasındaki ölçülen mesafe iyonosferik gecikme nedeniyle bozulur. Zenit mesafesinde onlarca metreye ulaşabilen iyonosfer gecikme hatası gelir. Bu yüzden, uydu konum belirleme ve navigasyonda daha yüksek bir doğruluk elde etmek için iyonosferik etki dikkate alınmalıdır (Cai, C., 2009).

Geleneksel PPP yaklaşımı, birinci dereceden iyonosferik etkinin %99'unu gidermek için iyonosferden bağımsız kombinasyonu kullanmaktadır (Kouba, 2015). Bu yüzden, çift frekanslı GNSS kullanıcıları için, iyonosferin yayılma özelliğine göre L1 ve L2 üzerindeki ölçümlerin doğrusal kombinasyonu yoluyla iyonosfer etkisi azaltılabilir. hassas nokta konum belirleme, iyonosferik hatanın etkisini azaltmak için genellikle iyonosferden bağımsız kod ve taşıyıcı faz kombinasyonları uygulanır. Aşağıdaki iki denklem, geleneksel iyonosferden bağımsız kod ve taşıyıcı faz kombinasyonlarını temsil eder (Xiao vd., 2019).

$$P_{IF,r}^{s,j} = (f1^2 * P1^{s,j} - f2^2 * P2^{s,j}) / (f1^2 - f2^2) \quad (3.2)$$

$$\phi_{IF,r}^{s,j} = (f1^2 * \phi1^{s,j} - f2^2 * \phi2^{s,j}) / (f1^2 - f2^2) \quad (3.3)$$

Burada  $f1$  ve  $f2$  iki taşıyıcı faz Hertz frekanslarını temsil eder.  $P1$ ,  $P2$ ,  $\phi1$  ve  $\phi2$  iki frekanslarda metre ölçülen pseudorange ve taşıyıcı fazıdır.

### 3.5. Görelilik Etkisi

Uydu tabanlı konum belirleme teknikleri, sinyalin bir uydudan bir alıcıya seyahat süresinin ölçülmesine dayanır. Bir uydu saati ile bir alıcı saatin yerçekimi potansiyeli ve hareket hızı farkı göreliliğe neden olur. Ölçülen zamanı etkiler ve bu nedenle PPP'de görelilik düzeltmesi uygulanmalıdır. Uydu saatleri iki tür görelilikten etkilenebilir: özel görelilik ve genel görelilik. Özel görelilik teoriye göre, sabit bir hızla hareket eden uydu saati, göreliliğin zaman genişlemesi etkisinden dolayı yerdeki saatten daha yavaş görünür (Tao, 2008'den aktaran (Cai, C., 2009). Bu tür göreliliğin etkisi aşağıdaki parametre ile düzeltilebilir (GPS ICD, 2000):

$$\Delta t_r = -\frac{2\vec{R}\cdot\vec{V}}{c^2} \quad (3.4)$$

Burada  $2\vec{R}$  ve  $\vec{V}$  sırasıyla, bir eylemsizlik sistemindeki uydu konumu ve hızıdır;  $c$ , ışık hızıdır. IGS uydu yörünge veya saat ürünleri bu düzeltmeyi içermez. Dolayısıyla, PPP işlemi sırasında dikkate alınması gerekmektedir (Bar-Sever, 1996).

Genel göreliliğe göre, bir uydu saati, yerçekimi potansiyellerindeki farklılıktan dolayı yerdeki saate göre daha hızlı görünmektedir. Bu etkiyi gidermek için aşağıdaki düzeltme denklemleri verilmektedir (Rothacher ve Beutler, 2002'den aktaran Cai, C., 2009):

$$\Delta t_p = \frac{2GM}{c^2} \ln\left(\frac{r^s+r_r+r_r^s}{r^s+r_r-r_r^s}\right) \quad (3.5)$$

$\Delta t_p$  yerçekimi gecikme hatasıdır;  $G$  Dünya'nın yer çekimi sabiti;  $M$  Dünya'nın kütlesidir;  $r^s$  uydu ile Dünya merkezi arasındaki mesafedir;  $r_r$  alıcı ile Dünya merkezi arasındaki mesafedir;  $r_r^s$  alıcıdan uyduya olan mesafedir.

### 3.6. Katı Yeryüzü Etkisi

Dünya gerçek bir katı nesne değildir. Güneş ve Ay'ın yerçekimi kuvvetlerine yanıt vermektedir. Bu yerçekimi kuvvetleri, Dünya'nın yüzeyinde desimetre düzeyinde

bir değişime neden olur. Düşey yönünde etkisi 30 cm'ye, yatay yönde ise 5 cm'ye ulaşabilir. Katı dünyanın gelgitinin neden olduğu Katı Yeryüzü Etkisi, orta enlemde 12 cm'ye ulaşabilen kalıcı bir bileşene ve günlük/ yarı günlük eğilimlerle karakterize edilen periyodik bir bileşene sahiptir (Abdel-salam vd. 2002).

### 3.7. Okyanus Yükleme Etkisi

Ay ve Güneş'in katı dünya üzerindeki etkisine benzer şekilde, okyanuslardaki su gelgiti da yerçekimi kuvveti nedeniyle sürekli bir dağılım halindedir. Bu dağılım, kıyı alanına bir yük bindirip düşeyde 5 cm ve yatayda 2 cm'ye ulaşabilen bir konum hatasına neden olmaktadır. Günlük ve yarı günlük yer değiştirme ile karakterizedir. McCarthy (1996) tarafından verilen okyanus yükleme modeli Denklem 3.21'de gösterilmektedir. GPS istasyonu okyanus kıyılarından uzakta olduğunda bu hatanın etkisinin ihmal edilebilir olduğu varsayılır (Lynn, 2009).

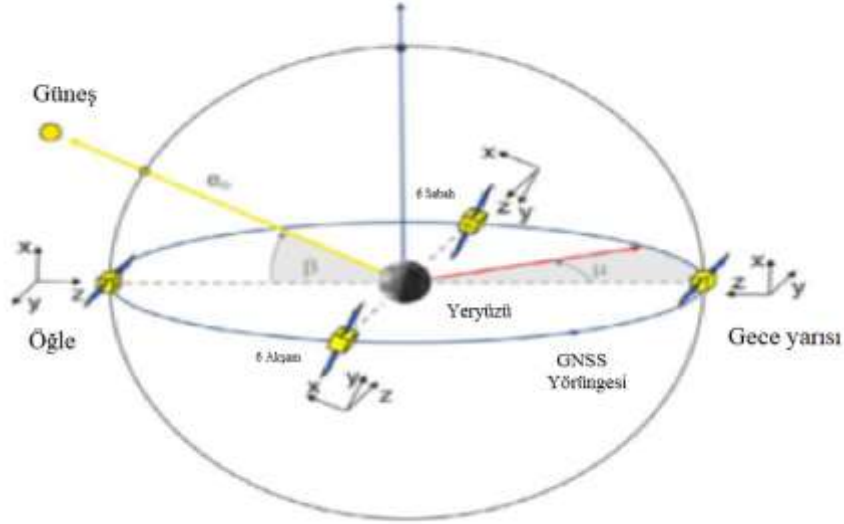
### 3.8. Anten Faz Merkezi Hatası

Anten Faz Merkezini (APC) kullanmadan önce, uyduya sabitlenmiş bir referans çerçevesi tanımlayarak ilk olarak uydu yönelimini açıklamak gerekmektedir. Eylemsizlik tutumunu belirlemek için GNSS uydularının davranışını anlamak önemlidir. GNSS uydularının navigasyon anteni Dünya'ya dik yönlü şekilde tasarlanırken, Uydu güneş panelleri Güneş'e doğru dik yönlü şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle uydular, Dünya'yı işaret eden (sapma) eksenini etrafında dönen güneş ışığını yakalamaya çalışır. Bu konseptin adı, yalpalama yönlendirme (YS) tutum modudur (Bahadur, 2018).

Sistem yönelimi, aşağıdaki gibi verilen üç birim vektörlerle tanımlanabilir (Bahadur ve Nohutcu 2018):

$$\hat{e}_x = \hat{e}_y \times \hat{e}_z \quad \hat{e}_y = \frac{\mathbf{e}_\odot \times \mathbf{r}}{\mathbf{e}_\odot \times \mathbf{r}} \quad \hat{e}_z = \frac{\mathbf{r}}{|\mathbf{r}|} \quad (3.6)$$

Burada  $e_{\odot}$ , uydudan Güneş'e yönlendirilmiş bir birim vektördür;  $r$ , ECEF'deki uydu pozisyonudur.  $\hat{e}_z$  vektörü Dünya'ya doğru yönelir,  $\hat{e}_y$  Güneş'e dik ve en düşük (nadir) yöndür ve  $\hat{e}_z$ , sağ el koordinat sistemini tamamlar (Şekil 3.4).



Şekil 3.2: Nominal savrulma tutum Modunda GNSS Uydusu Yönelimi (Montenbruck vd., 2015).3.9.

### 3.9. Faz Rüzgâr Etkisi

Navigasyon uyduları tipik olarak sağ dairesel polarize dalgalar yayar. Dalganın polarizasyonu, dalga yayıcıdan alıcıya yayıldığında elektrik alan vektörünün nasıl değiştiğini belirler. Alıcı anteni, iki dipole dik olan görüş yönü etrafında döndürülmesi, elektrik alanına göreli yönelimi gibi ölçülen faz açısı değiştirir. Benzer şekilde, verici antenin döndürülmesi, alıcı antendeki anlık elektrik alanının yönünü değiştirir. Bu etki, faz rüzgâr etkisi olarak adlandırılır. Bir navigasyon uydusunun yönü iki gereksinim tarafından belirlenir. İlk olarak, verici antenin boresight vektörü Dünya'ya doğru işaret edilmelidir. İkinci olarak, uydulara yeterli gücü sağlamak için güneş panellerinin Güneş'e yönlendirilmiş olması gerekir. İlk şartı yerine getirmek için, uydunun anten boresight vektörüne paralel olan gövdeye sabitlenmiş z eksenini her zaman Dünya'nın merkezine doğru yönlendirilir. İkinci gereklilik, güneş paneli eksenini Güneş'in yönüne dik tutmak için uyduyu z eksenini etrafında döndürerek elde edilir (Teunissen ve Montenbruck, 2017).

### 3.10. Diferansiyel Kod Hatası

Uydu ve alıcı donanım grup gecikme farklılıklarının neden olduğu sinyal yolculuk süreleri arasındaki fark, Diferansiyel Kod hatası (Differential Code Biases/DCB) olarak adlandırılır. Tek frekanslı kullanıcılar, nokta konum belirlemede ve zamanlama uygulamalarında DCB'leri dikkate almalıdır. Ayrıca çift frekanslı kullanıcılar, iyonosferden bağımsız kombinasyonda kullanılan sinyaller, hassas ürün üretiminde kullanıldığında farklı olduğunda DCB'lerin etkisini dikkate almayı gerektirir. Kod IF uydu donanımı gecikmesi, uydu saati ofsetine eklenmektedir. Saat parametreleri pseudorange ölçümlerine dayandığından alıcı saat tahmini, alıcı pseudorange donanım gecikmesinin IF kombinasyonunu emebilmektedir. Kalibre edilmemiş IF alıcısı ve uydu taşıyıcı fazı gecikir ve belirsizlik parametresine asimile edilir, sonuç olarak belirsizliğin tam sayı özelliği doğrudan hesaplanamaz. CODE, her ay GPS ve GLONASS uyduları için ortalama bir DCB seti oluşturur (Bahadur, 2018).

### 3.11. Sinyal Sıçraması (Cycle Slips) Etkisi

Taşıyıcı faz gözlemleri ile son derece hassas GNSS konum belirlemede elde edilebilir. Geleneksel PPP yaklaşımı, iyonosferden bağımsız ikili frekans kodu ve faz gözlem kombinasyonlarını kullanır. Taşıyıcı faz gözlemlerinde, tam sayı belirsizlik (faz başlangıç belirsizliği) bilinmeyen bir parametre olarak içermektedir. Taşıyıcı faz gözlemlerinde, yüksek konum belirleme doğruluğunu sağlamak için faz başlangıç belirsizlik parametresi dakik tahmin edilmelidir. Bununla birlikte taşıyıcı faz gözlemleri, sinyal sıçraması (CYCLE SLIPS) olarak adlandırılan anlık sıçramalara tabi tutulabilir. Sinyal sıçraması, GNSS alıcısındaki sinyalin takip aşamasındaki kesilmedir (Bahadur 2018).

### 3.12. Özet

Tablo 3.1.'te Hassas konum belirleme PPP hata kaynakları, bu kaynakların azaltma stratejileri veya teknikleri gösterilmiştir.

**Tablo 3.1:** PPP Hata Kaynakları, Etkileri ve Bunların Azaltma Stratejileri (Bahadur, 2018)

Hata Kaynağı	Hata Etkisi (m)	Azaltma Stratejileri
Uydu yörünge hatası	1 m	Uydu yörünge ürünü (4 tür)
Uydu saat hatası	2 ns (0.6) m	Uydu saat ürünü (4 tür)
Birinci dereceden İyonosfer	Girderilir	İyonosferden bağımsız kombinasyon
Troposfer	2-3 m	Kuru kısım Saastamoinen modeli ile düzeltilirken (diğer medeller de bulunmaktadır), ıslak kısım tahmin edilir.
Uydu saati üzerindeki Görelilik etkisi	1 m	Denklem 3.4
Sinyal yayılımı üzerindeki Görelilik etkisi	<i>Yaklaşık</i> 0.01 – 0.02 m	Denklem 3.5
Katı Yeryüzü Etkisi	<i>Yaklaşık</i> 0.3 m	IERS conventions, 2010
Okyanus etkisi	<i>Yaklaşık</i> 0.05 m	IERS conventions, 2010
Alıcı (Anten Referans Noktası)	0.1 m	(RINEX)
Alıcı anten (Faz Merkezi Ofseti)	0.01 m	IGS ATX dosyası
Faz Rüzgâr Etkisi	<i>Yaklaşık</i> 1 Cycle	Girderilir
Uydu anteni (Görüş Hattı)	<i>Yaklaşık</i> 0.01 – 0.02 m	IGS ATX dosyası
Uydu anteni (Faz Merkezi Değişimi)	<i>Yaklaşık</i> 2 m	IGS ATX dosyası

## 4. MATERYAL VE METOT

Bu bölüm IGS-MEGX ürünleri, iyonosferden bağımsız PPP modeli, statik & kinematik PPP değerlendirilmesi ve yakınsama süresi değerlendirilmesi kısımlarından oluşmaktadır.

### 4.1. Igs & MgeX Analiz Merkezlerinden Üretilen Hızlı ve Ultra Hızlı Yürünge Ve Saat Verileri

Genel olarak standart IGS ve MEGX uydu yürünge ve saat ürünleri, zamana ve ürün doğruluk hassasiyetine göre beş türe ayrılmaktadır. Bunlar düşükten yüksek doğruluğa sırasıyla yayın efemerisi, ultra hızlı (predicted half), ultra hızlı (observed half), hızlı ve hassas efemerisi (<http://www.igs.org/products>).

**Tablo 4.1:** Standart IGS ve MEGX Uydu Yürünge ve Saat Ürünleri (<http://www.igs.org/products>)

	Ürün Türü	Gecikme	
Bu GPS-, Galileo- ve (BDS-2) - merkezinden for Orbit	Yayın efemerisi	Gerçek zamanlı	çalışmada GLONASS-, BeiDou yedi analiz (AC), (Center Determination
	Ultra hızlı (predicted half)	Gerçek zamanlı	
	Ultra hızlı (observed half)	3-9 saat	
	Hızlı	17-41 saat	
	Hassas efemerisi	12-18 gün	

in Europe (CODE), European Space Agency (ESA), Natural Resources Canada (NRCAN), Jet Propulsion Laboratory (JPL), GeoForschungsZentrum (GFZ), International GNSS Service (IGS) ve Wuhan Üniversitesi (WUHAN)) (CODE, ESA, IGS, GFZ, JPL, NRCAN ve WUHAN ) tarafından üretilen ultra hızlı ve hızlı ürünler seçilmiştir.

GNSS ultra hızlı ve hızlı yürünge ile saat ürünleri genellikle GNSS istasyonlarının gözlemlerine dayalı olarak hesaplanmaktadır. Tablo 4.2, bu çalışmada kullanılan AC'lerden gelen ürünlere genel bakışı göstermektedir.

Yürünge çözümünün aksine Galileo saat çözümleri, test süresi boyunca CODE ultra hızlı ürünlerinde mevcut olmadığı için, CODE ultra hızlı Galileo PPP hariç tutulmuştur. GPS haftası 2086'dan sonra, GFZ AC'nin MGEX ultra hızlı ürünleri halka açık olmayan bir hâle gelmiştir. 2086 GPS haftasından sonra halka açık GFZ ultra hızlı

ürünleri GPS ve GLONASS uydularını içermektedir. Ultra hızlı NRCan ve GFZ MGEX ürünleri, test dönemi için bu AC'lerin yetkili kişileri tarafından teslim alınmıştır.

**Tablo 4.2:** Ultra Hızlı ve Hızlı Ürünlere Genel Bakış

Kurum	Simge		Takımyıldızlar		Yürünge/Saat		Not	
	Ultra hızlı	Hızlı	Ultra hızlı	Hızlı	Ultra hızlı	Hızlı	Ultra hızlı	Hızlı
<b>CODE</b>	COD.EPH_U	COD.EPH_M	GR	GRE	15 dk /15 dk	15 dk /30 sn	Güncelleme oranı: 6s	-
<b>ESA</b>	Esu	Esr	GR	GR	15 dk /15 dk	15 dk /5 dk	Güncelleme oranı: 6s	
<b>NRCan</b>	Emu	Emr	GR	GR	15 dk /30 sn	15 dk /30 sn	Güncelleme oranı: 1s (açık hizmetli değil)	-
<b>JPL</b>	YYYY-MM-DD.pos/tdp	YYYY-MM-DD.pos/tdp	G	G	5 dk /5 dk	5 min/ 5 dk	Güncelleme oranı: 1s	-
<b>GFZ</b>	Gbu	Gbm	GREC	GREC	15 dk /15 dk	5 dk /30 sn	Güncelleme oranı: 1s (açık hizmetli değil)	-
<b>IGS</b>	Igu	Igr	G	G	15 dk /15 dk	15 dk /5 dk	Güncelleme oranı: 6s (Resmî kombine ürünler)	Resmî kombine ürünler
<b>WUHAN</b>	Whu	Whr	GREC	GREC	15 dk /5 dk	15 dk /5 dk	Güncelleme oranı: 1s	-

## 4.2. İyonosferden Bağımsız PPP Modeli

Geleneksel PPP, birinci dereceden iyonosferik etkiyi ortadan kaldırmak için taşıyıcı faz ve kod gözlemlerinin iyonosferden bağımsız (IF) kombinasyonunu kullanmaktadır. IF denklemleri, taşıyıcı faz ve kod gözlemleri için aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Leick vd., 2015):

$$P_{IF,r}^{S,j} = \rho + c * (dt_r - dt^{S,j}) + d_{trop} + HD_{P,r,IF} - HD_{P,IF}^{S,j} + \epsilon_{P,IF}^{S,j} \quad (4.1)$$

$$\phi_{IF,r}^{S,j} = \rho + c * (dt_r - dt^{S,j}) + d_{trop} + \lambda_{IF}^{S,j} * N_{r,IF}^{S,j} + HD_{\phi,r,IF} - HD_{\phi,IF}^{S,j} + \epsilon_{\phi,IF}^{S,j} \quad (4.2)$$

Yukarıdaki denklemlerde kullanılan tüm simgeler, 2. bölümde GNSS gözlemleri kısmında detaylıca açıklanmıştır. IGS analiz konvansiyona göre pseudorange iyonosferden bağımsız kod uydu donanım gecikmesi ( $HD_{P,r,IF}$ ), uydu offset  $dt^{s,j}$  saatinin içine asimile edilir. Pseudorange ölçümlerinin saat parametrelerine referans sağlaması nedeniyle gerçek alıcı saat tahmini, alıcı pseudorange donanım gecikmesinin  $HD_{P,r,IF}$  iyonosferden bağımsız kombinasyonunu absorbe eder.

Kalibre edilmemiş iyonosferden bağımsız alıcı ve uydu taşıyıcı faz gecikmeleri ( $HD_{\emptyset,r,IF}$  and  $HD_{\emptyset,IF}^{s,j}$ ), tahmin edilen faz başlangıç belirsizlik parametresine asimile edilir; sonuç olarak faz başlangıç belirsizliğin tam sayı özelliği kaybolur (Xiao vd., 2019). İyonosferden bağımsız kod ve taşıyıcı faz gözlemleri parametreleri şu şekilde yazılabilir (Xiao vd., 2019):

$$P_{IF,r}^{s,j} = (f1^2 * P1^{s,j} - f2^2 * P2^{s,j}) / (f1^2 - f2^2) \quad (4.3)$$

$$\emptyset_{IF,r}^{s,j} = (f1^2 * \emptyset1^{s,j} - f2^2 * \emptyset2^{s,j}) / (f1^2 - f2^2) \quad (4.4)$$

Burada  $f1$  ve  $f2$  iki taşıyıcı faz Hertz frekanslarını temsil eder.  $P1$ ,  $P2$ ,  $\emptyset1$  ve  $\emptyset2$  iki frekanslarda metre ölçülen pseudorange ve taşıyıcı fazıdır. İyonosferden bağımsız dalga boyu ve iyonosferden bağımsız faz başlangıç belirsizlik parametreleri şu şekilde yazılabilir (Xiao vd., 2019):

$$\lambda_{IF}^{s,j} = \frac{f1^2}{f1^2-f2^2} * \lambda_1 - \frac{f2^2}{f1^2-f2^2} * \lambda_2 \quad (4.5)$$

$$N_{IF}^{s,j} = \frac{f1^2 * N1^{s,j}}{f1^2-f2^2} - \frac{f2^2 * N2^{s,j}}{f1^2-f2^2} \quad (4.6)$$

$N1^{s,j}$  ve  $N2^{s,j}$  gözlemlenen her bir uduya göre iki frekansta faz başlangıç tam sayı belirsizlikleridir. Denklem 4.6'da görüldüğü üzere, iyonosferden bağımsız faz başlangıç belirsizliği sadece bir float (gerçek değer bilinmeyen) olarak tahmin edilebilir. İyonosferden bağımsız faz başlangıç belirsizliği, genellikle iyonosferden bağımsız faz başlangıç belirsizliğinin nedeniyle PPP belirsizliğini düzeltmek için wide-lane and narrow-lane belirsizliği olarak ayrıştırılır (Xiao vd., 2019). Statik PPP'de, bilinmeyen parametre vektörü şu şekilde ifade edilebilir:

$$X = [\bar{x}, dt_r, Z_{wet}, Grad_{ns}, Grad_{ew}, N_{r,IF}^{s,j}] \quad (4.7)$$

Burada  $\bar{x}$  priori konuma göre alıcı konum artışlarının vektörüdür,  $Z_{wet}$  troposferik zenit ıslak gecikmesidir,  $Grad_{ns}$  ve  $Grad_{ew}$  kuzey-güney ve doğu-batı troposferik eğimi gösterir.  $N_{r,IF}^{s,j}$  faz başlangıç belirsizliğidir.

### 4.3. Statik ve Kinematik PPP Değerlendirilmesi

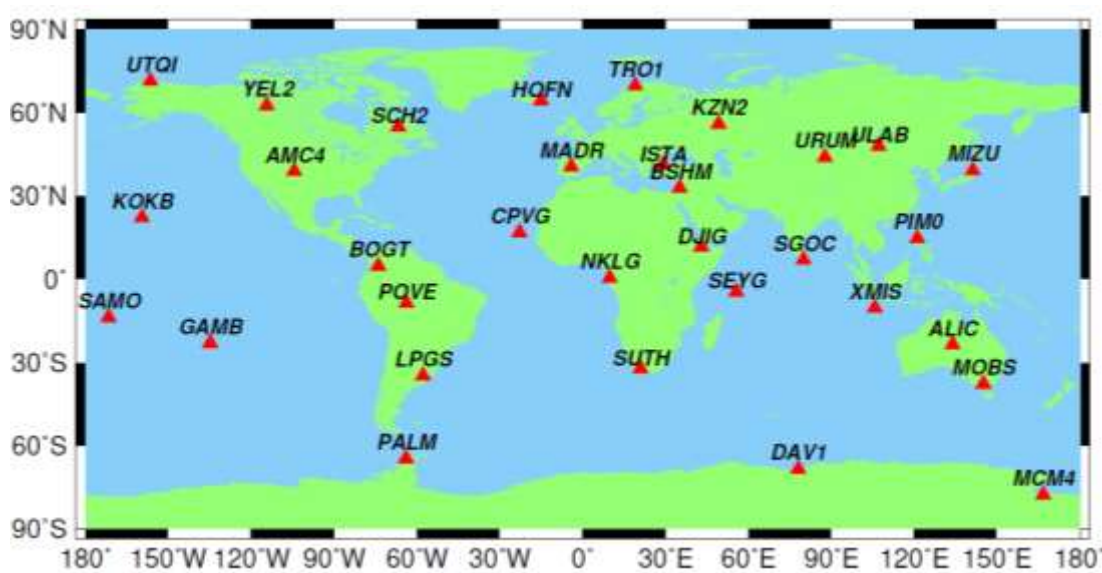
Daha önce bahsedildiği gibi bu çalışmada GPS-, GLONASS-, Galileo- ve BeiDou (BDS-2) - yedi analiz merkezinden (AC), (CODE, ESA, IGS, GFZ, JPL, NRCan ve WUHAN ) üretilen ultra hızlı ve hızlı ürünler (Tablo 4.2) ve 32 Multi-GNSS Experiment (MGEX) istasyonundan gelen veriler (Tablo 4.3), (Şekil 4.1) kullanılarak statik ve kinematik tek sistemli PPP performansı değerlendirilmesi yapılması için 2020'de iki aylık (60 gün) bir dönem (Ocak-Şubat) seçilmiştir.

İstasyonlar seçilirken, her istasyonun GPS-GLONASS-Galileo-BeiDou (BDS-2) verilerini kayıt edebilmesine dikkat edilmiştir. BeiDou-3 ultra hızlı ve hızlı ürünleri (AC'leri) çoğu için mevcut olmadığından, deney için yalnızca BDS-2 verileri kullanılmıştır. Her RINEX dosyası için frekans ve epok kullanılabilirlikleri analiz edilmiştir. Frekans uygunluğu, IF-PPP değerlendirmesini yürütmek için iki frekansta kod ve faz verilerinin mevcut olduğu tüm epok'ların sayısını ifade etmektedir.

**Tablo 4.3:** 32 Multi-GNSS Experiment (MGEX) İstasyonları

Sa.	İstasyon	Ülke	Enlem	Boylam	Yükseklik (Height)
1	ALIC00AUS	AUSTRALIA	-23.670	133.886	603.400
2	AMC4400USA	USA	38.803	-104.525	1911.394
3	BOGT00COL	COLOMBIA	4.640	-74.081	2576.778
4	BSHMISR	PALASTAIN	32.779	35.020	225.100
5	CPVG00CPV	CABO VERDE	16.732	-22.935	94.089
6	DAV100ATA	ANTARCTICA	-68.577	77.973	44.500
7	GAMB00PYF	FRENCH POLYNESIA	-23.130	-134.965	80.660
8	GJIG00DJI	DJBOUTI	11.526	42.847	711.409
9	HOFN00ISL	ICELAND	64.267	-15.198	82.300
10	ISTA00TUR	TURKEY	41.104	29.019	147.200
11	KOKB00USA	USA	22.126	-159.665	1167.522
12	KZN200RUS	RUSSIAN FEDERATION	55.791	49.119	94.600
13	LPGS00ARG	ARGENTINA	-34.907	-57.932	29.900
14	MADR00ESP	SPAIN	40.429	-4.250	829.500
15	MCM400ATA	ANTARCTICA	-77.838	166.669	98.022
16	MIZU00JPN	JAPAN	39.135	141.133	117.000
17	MOBS00AUS	AUSTRALIA	-37.829	144.975	40.600
18	NKLG00GAB	GABON	0.354	9.672	31.496
19	PALM00ATA	ANTARCTICA	-64.775	-64.051	31.239
20	PIMO00PHL	PHILIPPINES	14.636	121.078	95.532
21	POVE00BRA	BRAZIL	-8.709	-63.896	119.600
22	SAMO00WSM	SAMOA	-13.849	-171.738	76.900
23	SCH2200CAN	CANADA	54.832	-66.833	498.200

24	SEYG00SYC	SEYCHELIES	-4.679	55.531	-37.085
25	SGOC00LKA	SRI LANKA	6.892	79.874	-78.500
26	SUTH00ZAF	SOUTH AFRICA	-32.380	20.810	1799.766
27	TRO100NOR	NORWAY	69.663	18.940	138.000
28	ULAB00MNG	MONGOLIA	47.865	107.052	1575.700
29	URUM00CHN	CHINA	43.808	87.601	858.6900
30	UTQI00USA	USA	71.323	-156.615	12.100
31	XMIS00AUS	AUSTRALIA	-10.450	105.688	261.600
32	YEL200CAN	CANADA	62.481	-114.481	181.008



Şekil 4.1: Çalışmada Seçilen 32 MGEX İstasyonunun Coğrafi Dağılımı

%95'ten daha az epok ve frekans kullanılabilirliği olan RINEX dosyaları, PPP işleminden kaldırılmıştır. Her bir PPP işlemi, NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) tarafından geliştirilen GipsyX araştırma yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Ürünler arasındaki tutarsızlıkların giderilmesi için PPP değerlendirmelerinden önce, her ultra hızlı ve hızlı ürünün kendi içinde aynı uyduları görmesi sağlanmıştır. Başka bir deyişle ultra hızlı ve hızlı ürünler kendi içinde ayrı ayrı hizalanmıştır. Hassas yörünge belirleme (POD) sırasında yakınsama süresi ve yüksek artıklar gibi bazı sorunlar nedeniyle, bazı AC'ler için bazı uydular POD'a dâhil edilmemiştir; ancak bu

hariç tutulan uydular, diğer AC'ler için POD'a dâhil edilebilmiştir. Bu nedenle ultra hızlı ve hızlı ürünler arasındaki uydu ve saat tutarsızlıkları, tamamen AC'lerden gelen işleme stratejilerinin PPP üzerindeki etkisini yansıtmak için kaldırılmıştır.

Değerlendirmelerden önce ultra hızlı ve hızlı ürünler arasında uydu ve saat kullanılabilirliği hesaplanmıştır. Tablo 4.3 ve 4.4, 1 Ocak - 29 Şubat 2020 arasındaki iki ay için sırasıyla 7 AC'nin ultra hızlı ve hızlı yörünge ve saat ürünlerindeki kullanılabilirlik yüzdelerini göstermektedir. Burada yörünge kullanılabilirlik yüzdesi, ürünlerdeki mevcut uydu sayısının ilgili günlerdeki mevcut tüm aktif ve sağlıklı uyduların sayısına oranını ifade etmektedir. Saatlerin kullanılabilirlik yüzdesi mevcut saat çözümlerinin mevcut uyduya oranının, ilgili ürünlerdeki mevcut tüm uyduların sayısına oranını ifade etmektedir. Ultra hızlı ürünlerin güncellenmiş kısımları arasında yörünge ve saat sıçramalarından kaynaklanacak etkiyi gidermek amacıyla AC'lerden gelen ilk 24 saat mevcut ürünler her ultra hızlı ürün için kullanılmıştır.

Gerçek zamanlı kinematik (RTK) ürünler, ultra hızlı predicted kısmına göre daha yüksek saat doğruluğuna sahip olması ve gerçek zamanlı uygulamalar için çok daha uygun olması nedeniyle ultra hızlı predicted kısmı bu çalışmanın dışında tutulmuştur (El-Mowafy vd., 2017).

**Tablo 4.3:** Ultra Hızlı Ürünlerin Uydu ve Saat Mevcudiyeti

ACs	Uydu Mevcudiyeti (%)				Saat Mevcudiyeti (%)			
	G	R	E	C	G	R	E	C
CODE	96.9%	91.7%	-	-	100%	100%	-	-
ESA	99.8%	87.6%	-	-	100%	100%	-	-
NRCan	99.8%	84.5%	-	-	100%	100%	-	-
JPL	93.3%	-	-	-	100%	100%	-	-
GFZ	99.4%	83.6%	100%	92.4%	99.9%	99.8%	-	-
IGS	99.5%	-	-	-	100%	100%	-	-
WUHAN	99.4%	87.3%	98.5%	92.9%	100%	100%	100%	100%

**Tablo 4.4:** Hızlı Ürünlerin Uydu ve Saat Mevcudiyeti

ACs	Uydu Mevcudiyeti (%)				Saat Mevcudiyeti (%)			
	G	R	E	C	G	R	E	C
CODE	100%	91.9%	100%	-	100%	100%	-	-
ESA	99.8%	87.6%	-	-	100%	100%	-	-
NRCan	99.5%	87.6%	-	-	100%	100%	-	-
JPL	93.3%	-	-	-	100%	100%	-	-
GFZ	99.7%	87.8%	100%	92.4%	100%	100%	100%	100%
IGS	96.4%	-	-	-	100%	100%	-	-
WUHAN	99.5%	87.3%	99.8%	92.4%	100%	100%	100%	100%

Tablo 4.3 ve 4.4'te yörünge ve saat kullanılabilirliği sonuçlarında görüldüğü üzere, tüm AC'lerin GPS yörünge tutarlılıkları JPL dışında birbiriyle oldukça uyumludur. GPS Block III uyduları test süresi boyunca JPL ultra hızlı ve hızlı ürünlerine dâhil edilmediğinden, JPL yörüngesinin kullanılabilirlik yüzdesi diğer AC'lere göre daha az olmaktadır.

Tablo 4.5'te, statik ve kinematik PPP için değerlendirme parametreleri gösterilmiştir. Kinematik değerlendirmede, istasyon koordinatları epoklar arasında herhangi bir korelasyon olmadan kestirilmiştir (white noise).

**Tablo 4.5:** PPP İşleme Parametreleri

<b>Dengeleme Modeli</b>	Kalman filtreleme
<b>Epok Aralığı</b>	30 sn.
<b>Filtre</b>	İleri ve Geri Yumuşatma
<b>Uydu Yükseklik Açısı</b>	7°
<b>Uydu Faz Merkezi</b>	Güncel IGS14.atx
<b>Alıcı Faz Merkezi</b>	GPS ve GLONASS için güncel IGS14.atx dosyası kullanıldı. Galileo ve BeiDou sinyalleri için GPS referans alındı.
<b>İyonosferik Etki</b>	Birinci derece iyonosfer içermeyen lineer kombinasyon ile kaldırılmıştır.
<b>Faz Belirsizliği</b>	Float
<b>Frekanslar-Arası Hata (IFB)</b>	GPS C1-P1 kod hatası, güncel DCB dosyası kullanılarak düzeltilmiştir.
<b>Troposfer</b>	GPT2 model
<b>Zenit Islak Gecikme Tahmini</b>	Raslantısal yürüyüş 0.05 mm km/sqrt(sec).
<b>Yatay Gecikme Gradyanları Tahmini</b>	Raslantısal yürüyüş 0.05 mm km/sqrt(sec).
<b>Faz Bükülmesi</b>	Düzeltilmiştir.
<b>Katı yeryüzü, okyanus yüklemesi ve kutup</b>	Düzeltilmiştir (IERS conventions, 2010)

<b>gelgitler etkisi</b>	
<b>Görelilik Düzeltmeleri</b>	Periyodik saat düzeltmeleri ve yerçekimi bükülmesi (shapiro gecikmesi) uygulanmıştır.
<b>Sinyal Sıçraması (Cycle-Slip)</b>	Melborne-Wubben kombinasyonu ile düzeltilmiştir
<b>Alıcı Saat Atlaması</b>	Düzeltilmiştir.

#### 4.4. Zaman Yakınsama Süresi Değerlendirilmesi

GPS-, GLONASS-, Galileo- ve BeiDou (BDS-2) tek sistemli statik PPP'nin yakınsama zamanı da yatay ve düşey bileşenler için her ürün kullanılarak hesaplanmıştır. Yakınsama süresi kriteri, bir sonraki art arda 10 epok boyunca konum belirleme hatasının 10 cm'den az olduğu zamana göre belirlenmiştir. Yakınsama süresi, ilk epok'tan yakınsayan epok'a kadar hesaplanmıştır. Değerlendirme süresinde, filtreleme her 3 saatte bir yeniden başlatılmıştır; dolayısıyla, her gün ve her istasyon için 3 saat gözlem uzunluğuna sahip 8 bağımsız grup elde edilmiştir. Toplamda, her GNSS sistemi ve ürünü için yakınsama süresini hesaplamak amacıyla 15360 tane 3 saatlik periyot değerlendirme yapılmıştır. Yakınsama süresi, yakınsama olmayan periyotlar için 3 saat olarak alınmış ve bütün periodlar içindeki yakınsama zamanlarının oranları her ürün ve GNSS sistemi için "Yakınsama Süresi Sonuçları" bölümünde verilmiştir.

## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde GPS-, GLONASS-, Galileo- ve BeiDou'nun statik ve kinematik tek sistemli PPP performansları, ilgili AC'lerden gelen ultra hızlı ve hızlı ürünler için karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir (Tablo 4.2). İstasyonların referans koordinatları IGS haftalık birleştirilmiş çözümünden mm duyarlılığında elde edilmiştir. IGS SINEX çözümüne göre 30 cm'den büyük bir hata uyuşumsuz ölçü olarak ele alınmıştır.

### 5.1. PPP-GPS Sonuçları

Tablo 5.1 ve 5.2, ultra hızlı ve hızlı ürünler kullanılarak statik ve kinematik PPP-GPS için Karesel Ortalama Hata (RMSE) ve Uyuşumsuz ölçü yüzdesi özetlemektedir.

**Tablo 5.1:** Ultra Hızlı Ürünler (birim: cm) Kullanılarak PPP-GPS Statik ve Kinematik PPP'den Hesaplanan RMSE'ler

Ürünler	Statik PPP				Uyuşumsuz Ölçü yüzdesi	Kinematik PPP				Uyuşumsuz Ölçü yüzdesi
	N	E	U	3D		N	E	U	3D	
CODE	3.4	8.4	10.3	13.7	4.7%	-	-	-	-	-
ESA	0.6	1.1	1.9	2.3	0.4%	5.5	6.3	9.7	12.8	8.9%
NRCan	0.3	1.2	1.5	1.9	0.0%	3.1	3.6	4.8	6.7	3.4%
JPL	0.7	1.4	2.1	2.6	0.7%	3.9	6.1	6.7	9.9	5.1%
GFZ	0.5	0.9	1.3	1.7	0.4%	3.9	6.3	6.6	9.9	5.3%
IGS	0.7	1.8	2.0	2.8	0.4%	5.4	6.4	9.8	12.9	9.1%
WUHAN	0.6	1.5	2.3	2.8	0.8%	3.7	5.1	6.3	8.9	6.4%

**Tablo 5.2:** Hızlı Ürünler (birim: cm) Kullanılarak PPP-GPS Statik ve Kinematik PPP'den Hesaplanan RMSE'ler

Ürünler	Statik PPP				Uyuşumsuz Ölçü yüzdesi	Kinematik PPP				Uyuşumsuz Ölçü yüzdesi
	N	E	U	3D		N	E	U	3D	
CODE	0.3	0.3	0.8	0.9	0.4%	2.7	3.6	4.5	6.4	3.2%
ESA	0.4	0.9	1.3	1.6	0.2%	3.9	6.4	6.5	9.9	4.8%
NRCan	0.3	0.7	0.9	1.2	0.5%	3.1	4.4	4.5	7.0	3.5%
JPL	0.4	1.0	1.6	1.9	0.4%	3.8	5.9	6.4	9.5	5.3%
GFZ	0.4	0.9	1.5	1.8	0.3%	3.0	4.4	4.5	7.0	3.7%
IGS	0.4	1.0	1.4	1.8	0.3%	3.8	6.4	6.5	9.9	5.8%
WUHAN	0.4	1.0	1.2	1.6	0.3%	3.8	6.2	6.5	9.7	5.0%

Sonuçlar, CODE dışında ultra hızlı ve hızlı ürünlerin çoğu için statik PPP değerlendirmeleri cm düzeyinde üç boyutlu doğruluk elde edilebileceğini göstermiştir. CODE ultra hızlı ürününün saat çözümleri, yayın efemerisinden türetildiği için CODE ultra hızlı ürününün konum belirleme doğruluğu en kötü sonuçları vermiştir. Kullanılan CODE ultra hızlı ürünü, kinematik PPP değerlendirmelerinde dm düzeyinde yatay / düşey doğruluklar ve yüksek sayıda uyuşumsuz ölçü vermesinden hariç tutulmuştur. AC'lerin çoğu için uyuşumsuz ölçü değerlerin sayısı birbiriyle tutarlı olmaktadır. WUHAN ve CODE AC'leri haricinde statik PPP'den sonuçlanan RMSE farklılıkları, ultra hızlı ve hızlı ürünlerin arasındaki yatay ve düşey bileşenlerin milimetre seviyelerinde değişmektedir.

Sonuçlar, GFZ / NRCan ve CODE / NRCan'ın sırasıyla ultra hızlı ve hızlı PPP-GPS statik ve doğruluğa eriştiğini göstermektedir. GFZ ultra hızlı ve hızlı PPP-GPS statik konum belirleme sonuçlarının neredeyse aynı olduğunu belirtmek gerekir. AC'ler arasındaki kinematik doğruluk farklılıkları, statik PPP'den çok daha belirgin olmaktadır. Beklendiği gibi kinematik PPP modelinin statik PPP modeline göre daha düşük duyarlılıkta sonuç üretmesi üzerine, kinematik PPP doğrulukları statik PPP'den birkaç kat daha kötü gelmiştir.

## 5.2 PPP-GLONASS Sonuçları

Tablo 5.3 ve 5.4, ultra hızlı ve hızlı ürünleri kullanılarak statik ve kinematik PPP-GLONASS için Karesel Ortalama Hata (RMSE) ve uyuşumsuz ölçü yüzdesi özetlemektedir.

**Tablo 5.3:** Ultra Hızlı Ürünler (birim: cm) Kullanılarak PPP-GLONASS Statik ve Kinematik PPP'den Hesaplanan RMSE'ler

Ürünler	Statik PPP				Uyuşumsuz Ölçü yüzdesi	Kinematik PPP				Uyuşumsuz Ölçü yüzdesi
	N	E	U	3D		N	E	U	3D	
CODE	7.0	11.1	12.2	17.9	21%	-	-	-	-	-
ESA	0.7	2.8	3.4	4.6	1.1%	6.8	10.0	14.0	18.5	15.0%
NRCan	0.4	1.7	1.4	2.2	0.0%	4.2	6.2	8.6	11.4	9.7%
GFZ	0.5	1.7	2.2	2.8	1.1%	5.0	8.7	12.0	15.6	13.0%
WUHAN	0.5	1.9	2.2	2.9	0.5%	4.9	7.8	11.0	14.3	13.0%

**Tablo 5.4:** Hızlı Ürünler (birim: cm) Kullanılarak PPP-GLONASS Statik ve Kinematik PPP'den Hesaplanan RMSE'ler

Ürünler	Statik PPP				Uyuşumsuz Ölçü yüzdesi	Kinematik PPP				Uyuşumsuz Ölçü yüzdesi
	N	E	U	3D		N	E	U	3D	
CODE	0.9	1.5	2.9	3.4	0.9%	4.1	7.1	9.2	12.3	5.9%
ESA	0.5	1.6	1.9	2.5	0.5%	4.9	7.3	10.8	13.9	10.8%
NRCan	0.4	1.3	1.6	2.1	1.1%	4.6	7.8	10.1	13.6	9.3%
GFZ	0.4	1.3	1.6	2.1	0.6%	3.6	6.5	8.6	11.4	5.7%
WUHAN	0.4	1.9	2.2	2.9	1.1%	5.1	7.9	11.3	14.7	11.6%

GPS sonuçları gibi CODE ultra hızlı ürününün saat çözümleri yayın efemerisinden türetildiği için GLONASS'ta da CODE ultra hızlı ürününün konum belirleme doğruluğu en kötü sonuçları vermiştir. NRCan ultra hızlı ürünü, statik ve kinematik konum belirleme doğruluğu ve uyumsuz ölçü sayıları için en iyi performansı göstermiştir. Bu, diğer AC ultra hızlı ürünlere kıyasla saatin (30 s) daha yüksek zamansal çözünürlüğüne bağlanabilmektedir. Ultra hızlı kullanan tek sistemli GLONASS statik PPP'nin sonuçları, CODE çözümü dışında diğer AC sonuçlarının birbiriyle tutarlı olduğunu göstermektedir. CODE'un diğer hızlı ürünler arasında en kötü düşey doğruluğa sahip olmaktadır. Sonuçlar, CODE ultra hızlı tek sistemli GLONASS kinematik PPP'nin işlemenin dm düzeyinde yatay ve düşey doğruluklar oluşturduğunu göstermektedir. Dolayısıyla kullanılan CODE ultra hızlı ürünü, kinematik PPP-GLONASS değerlendirmelerinde hariç tutulmuştur.

### 5.3. PPP-Galileo Sonuçları

Tablo 5.5 ve 5.6, ultra hızlı ve hızlı ürünleri kullanılarak statik ve kinematik PPP-Galileo için Karesel Ortalama Hata (RMSE) ve Uyuşumsuz ölçü yüzdesi özetlemektedir.

**Tablo 5.5:** Ultra Hızlı Ürünler (birim: cm) Kullanılarak PPP-Galileo Statik ve Kinematik PPP'den Hesaplanan RMSE'ler

Ürünler	Statik PPP				Uyuşumsuz Ölçü yüzdesi	Kinematik PPP				Uyuşumsuz Ölçü yüzdesi
	N	E	U	3D		N	E	U	3D	
GFZ	0.7	1.5	2.7	3.2	4.6%	5.8	8.4	10.0	14.1	16.3%
WUHAN	1.1	1.8	2.8	3.5	11.1%	-	-	-	-	-

**Tablo 5.6:** Hızlı Ürünler (birim: cm) Kullanılarak PPP-Galileo Statik ve Kinematik PPP'den Hesaplanan RMSE'ler

Ürünler	Statik PPP				Uyuşumsuz Ölçü yüzdesi	Kinematik PPP				Uyuşumsuz Ölçü yüzdesi
	N	E	U	3D		N	E	U	3D	
GFZ	0.7	1.4	2.7	3.1	0.4%	4.4	7.3	8.4	12.0	4.9%
WUHAN	0.8	1.8	3.0	3.6	0.6%	5.2	9.1	9.7	14.3	7.9%
CODE	0.5	1.0	2.3	2.6	0.3%	3.0	5.6	7.6	9.9	3.8%

PPP-Galileo statik ve kinematik PPP sonuçları ultra hızlı GFZ ürününün, konum belirleme performansı ve uyumsuz ölçü sayıları bakımından WUHAN ultra hızlı ürününden çok daha iyi olduğunu göstermektedir. WUHAN ultra hızlı uyumsuz ölçü değerleri, GFZ ultra hızlı uyumsuz ölçü değerlerine göre PPP için önemli ölçüde daha yüksek olmaktadır. CODE'un hızlı ürünü, statik ve kinematik konum belirleme doğruluğu için en iyi performansı göstermiştir. Test süresi boyunca CODE ultra hızlı ürününde Galileo için saat çözümlerinin bulunmaması nedeniyle, CODE ultra hızlı PPP-Galileo değerlendirmeleri hariç tutulmuştur. Sonuçlar WUHAN ultra hızlı ürünü tek sistemli Galileo kinematik PPP, dm düzeyinde yatay ve dikey doğruluklar elde edildiği için, WUHAN ultra hızlı ürünü için tek sistemli Galileo kinematik PPP yapılmamıştır.

#### 5.4. PPP-Beidou Sonuçları

Tablo 5.7 ve 5.8, ultra hızlı ve hızlı ürünler kullanılarak statik ve kinematik PPP-BeiDou için Karesel Ortalama Hata (RMSE) ve Uyuşumsuz ölçü yüzdesi özetlemektedir. Asya-Pasifik bölgesinde bulunan 11 istasyon, PPP-BeiDou için kullanılmıştır.

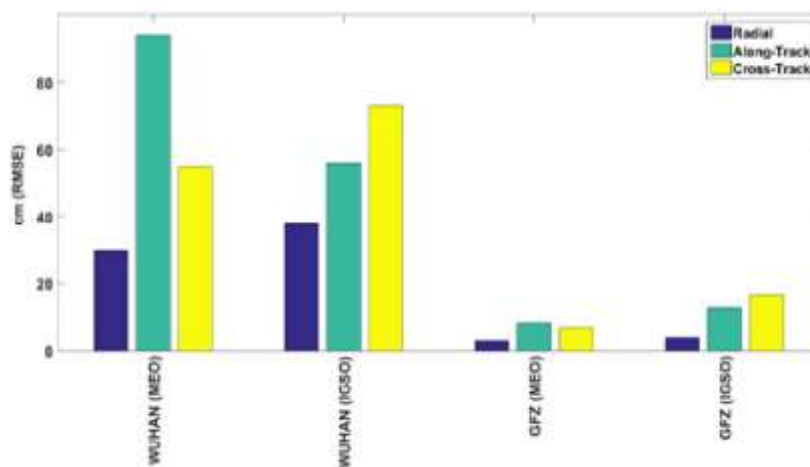
**Tablo 5.7:** Ultra Hızlı Ürünler (birim: cm) Kullanılarak PPP-BeiDou Statik ve Kinematik PPP'den Hesaplanan RMSE'ler

Ürünler	Statik PPP				Uyuşumsuz Ölçü yüzdesi	Kinematik PPP				Uyuşumsuz Ölçü yüzdesi
	N	E	U	3D		N	E	U	3D	
GFZ	1.5	3.0	5.4	6.4	4.4%	-	-	-	-	-
WUHAN	5.1	6.8	15.3	17.5	25.3%	-	-	-	-	-

**Tablo 5.8:** Hızlı Ürünler (birim: cm) Kullanılarak PPP-BeiDou Statik ve Kinematik PPP'den Hesaplanan RMSE'ler

Ürünler	Statik PPP				Uyuşumsuz Ölçü yüzdesi	Kinematik PPP				Uyuşumsuz Ölçü yüzdesi
	N	E	U	3D		N	E	U	3D	
GFZ	1.2	2.7	4.3	5.2	3.2%	-	-	-	-	-
WUHAN	1.8	3.5	6.6	7.7	4.2%	-	-	-	-	-

Sonuçlar, GFZ ultra hızlı ve hızlı ürünlerinin PPP-BeiDou için WUHAN ürünleriyle karşılaştırıldığında en iyi konum belirleme sonuçlarını ürettiğini göstermektedir. Ayrıca sonuçlar, WUHAN ultra hızlı ürünü ile yapılan PPP-BeiDou doğruluğunun önemli sayıda uyuşumsuz ölçü değer nedeniyle jeodezik çalışmaların çoğu için mümkün olmadığını göstermektedir. WUHAN ultra hızlı ürünü ile referans ürün olarak hassas efemeris CODE MGEX ürünü (Prange vd., 2017; Zhou vd., 2020) arasındaki BeiDou yörünge karşılaştırması, üç bileşen (radial, along-track and cross-track) için test süresi boyunca 15 dakikalık aralıklarla gerçekleştirilmiştir. CODE MGEX, GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou için yörünge ürünleri sağlamaktadır; ancak yörüngelerin düşük doğruluğu ile ilişkili BeiDou GEO uydularını hariç tutmaktadır (Steigenberger, 2013). Şekil 1, BeiDou orta dünya yörünge (MEO) ve eğimli jeosenkron yörüngelerinin (IGSO) radial, along-track and cross-track RMSE'lerini göstermektedir. Kullanılan GFZ ve WUHAN ultra hızlı ve hızlı ürünleri, kinematik PPP değerlendirmelerinde dm düzeyinde yatay / düşey doğruluklar ürettiğinden hariç tutulmuştur.

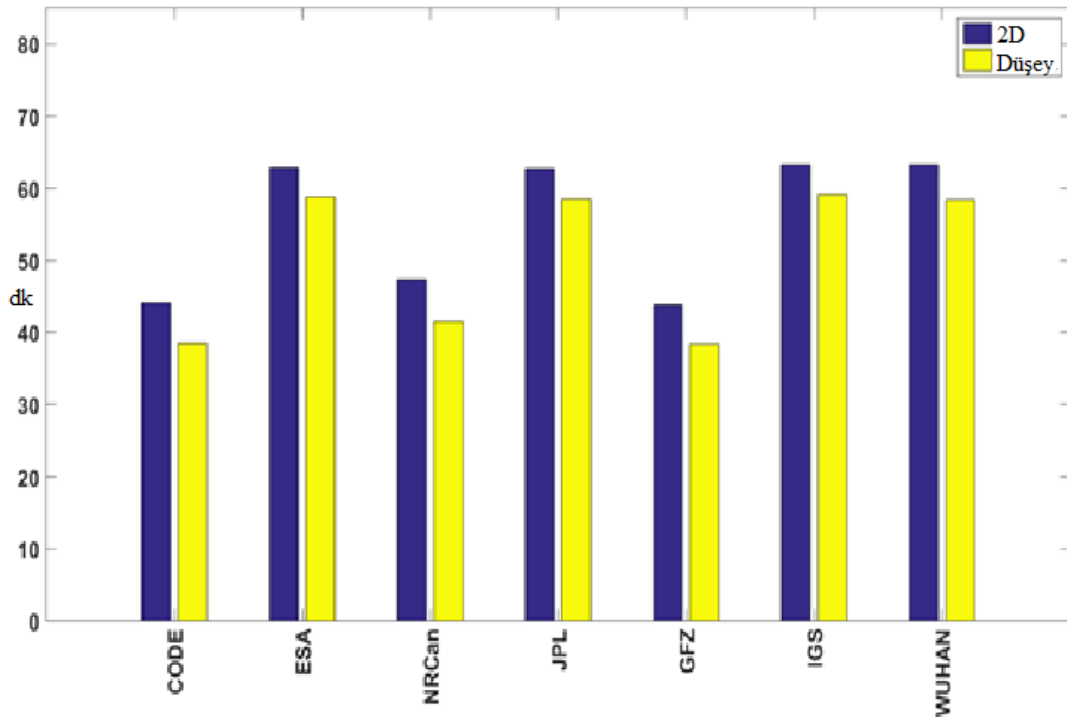
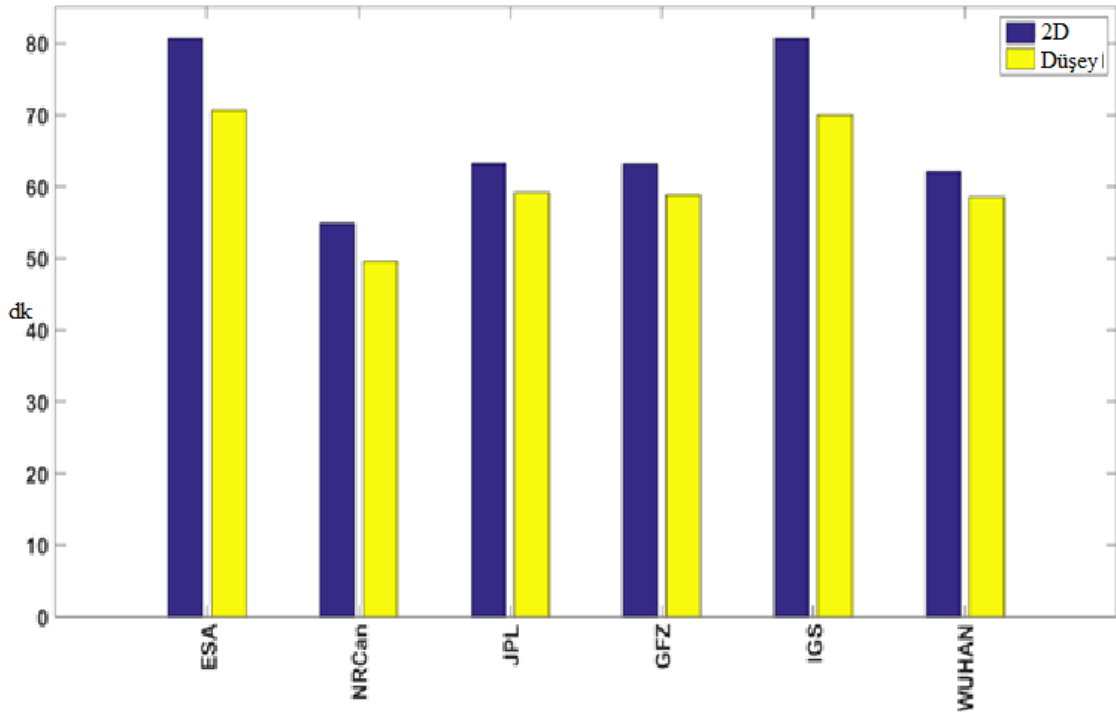


**Şekil 5.1:** GFZ / WUHAN Ultra Hızlı Ürünleri ile Referans CODE MEGX Ürün Arasındaki Yörünge Farklılıkları

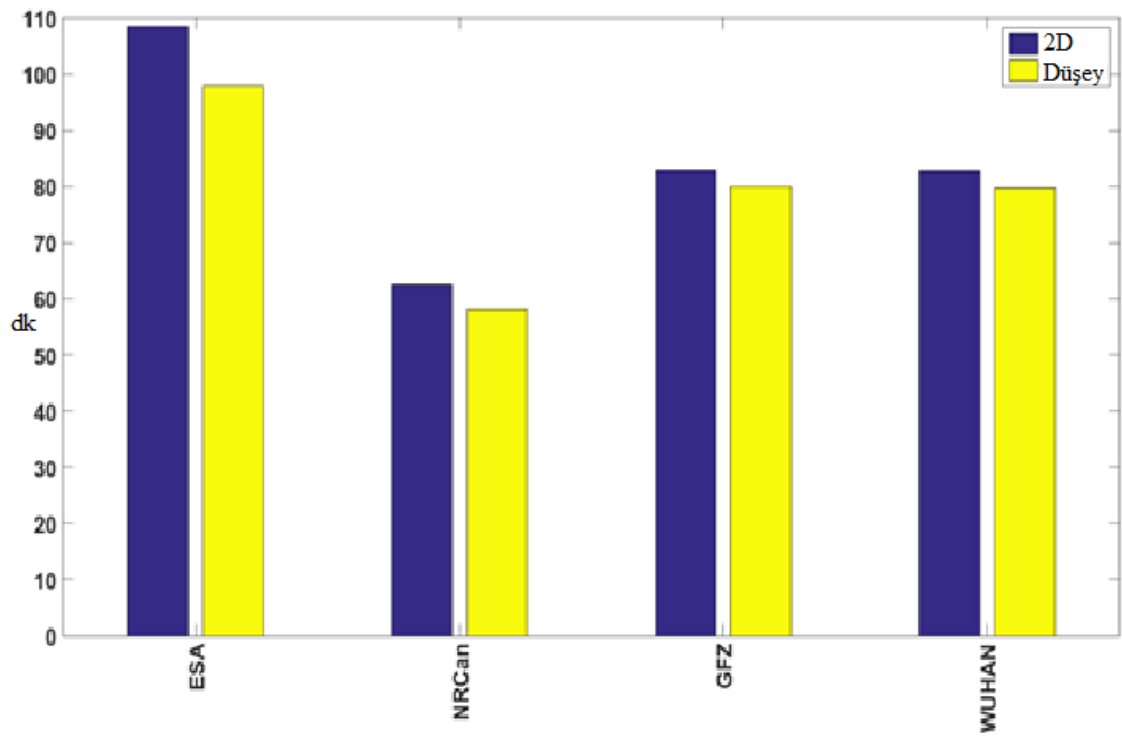
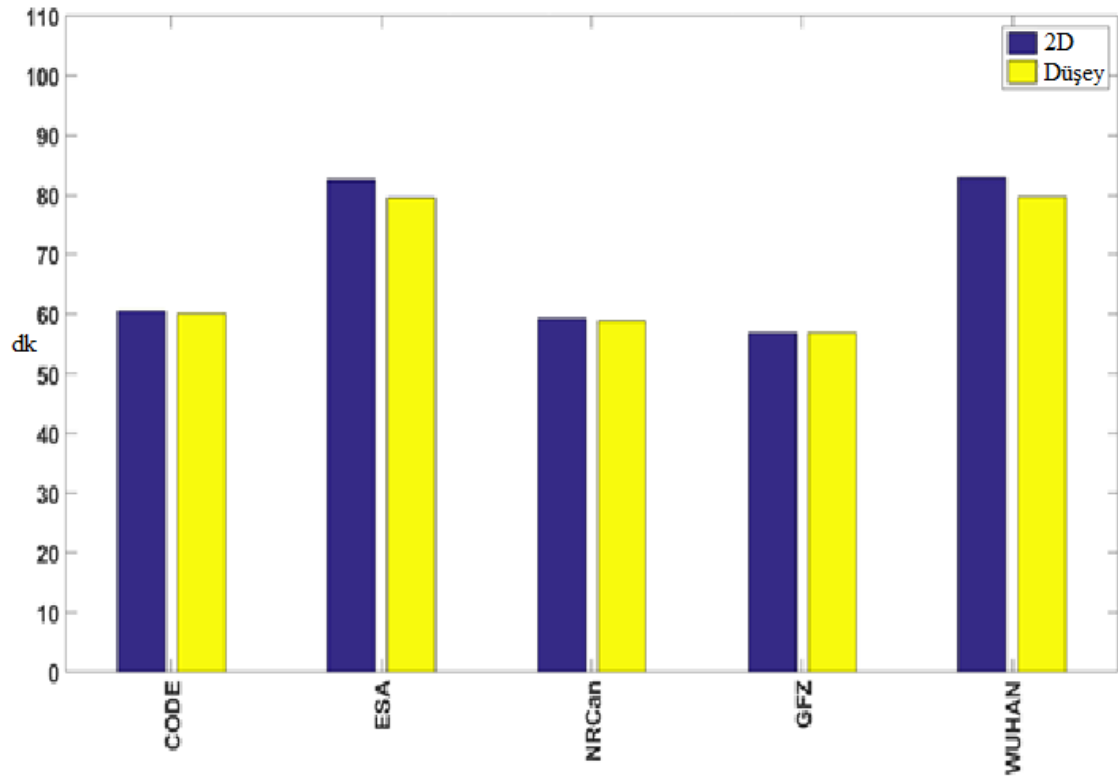
Yörünge karşılaştırma sonuçlarından görüldüğü gibi WUHAN ultra hızlı ürünü, GFZ ultra hızlı ürününe kıyasla nispeten daha düşük yörünge doğruluğuna sahiptir. Metre altı seviyesinde radial, along-track and cross-track BeiDou yörünge doğruluğu, WUHAN ultra hızlı ürününden elde edilen önemli miktardaki uyuşumsuz ölçü değerleri açıklamaktadır.

### **5.5. Zaman Yakınsama Süresi Değerlendirilmesi Sonucu**

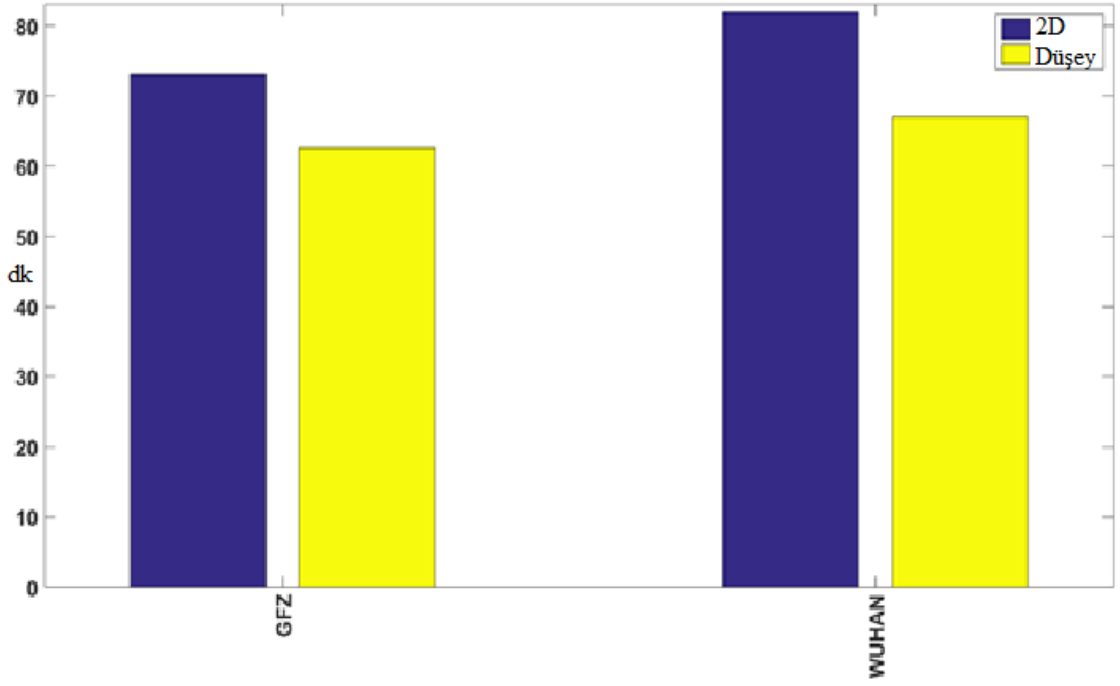
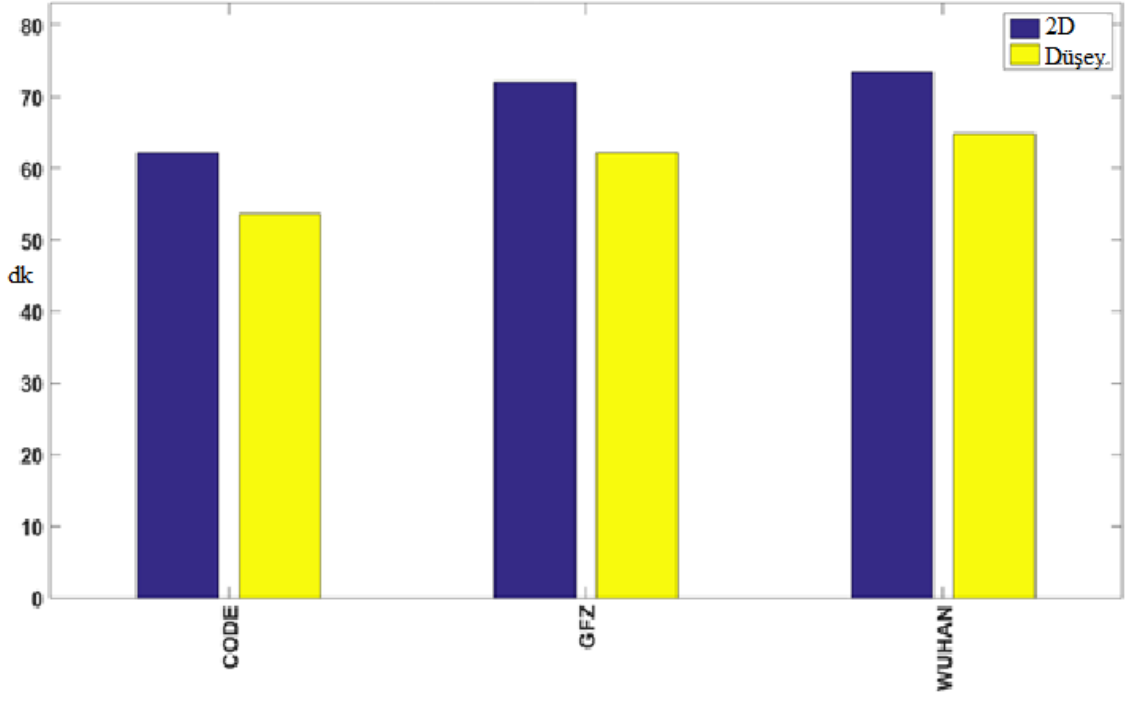
Şekil 5.2 ile 5.6, her GNSS sistemi ve ürün için statik PPP'nin ortalama yakınsama süresini (convergence time) göstermektedir. Yalnızca BeiDou için CODE ultra hızlı ürün ve WUHAN ultra hızlı ürünlerindeki düşük yörünge ve saat doğrulukları nedeniyle CODE ve WUHAN ürünleri BeiDou PPP için hariç tutulmuştur.



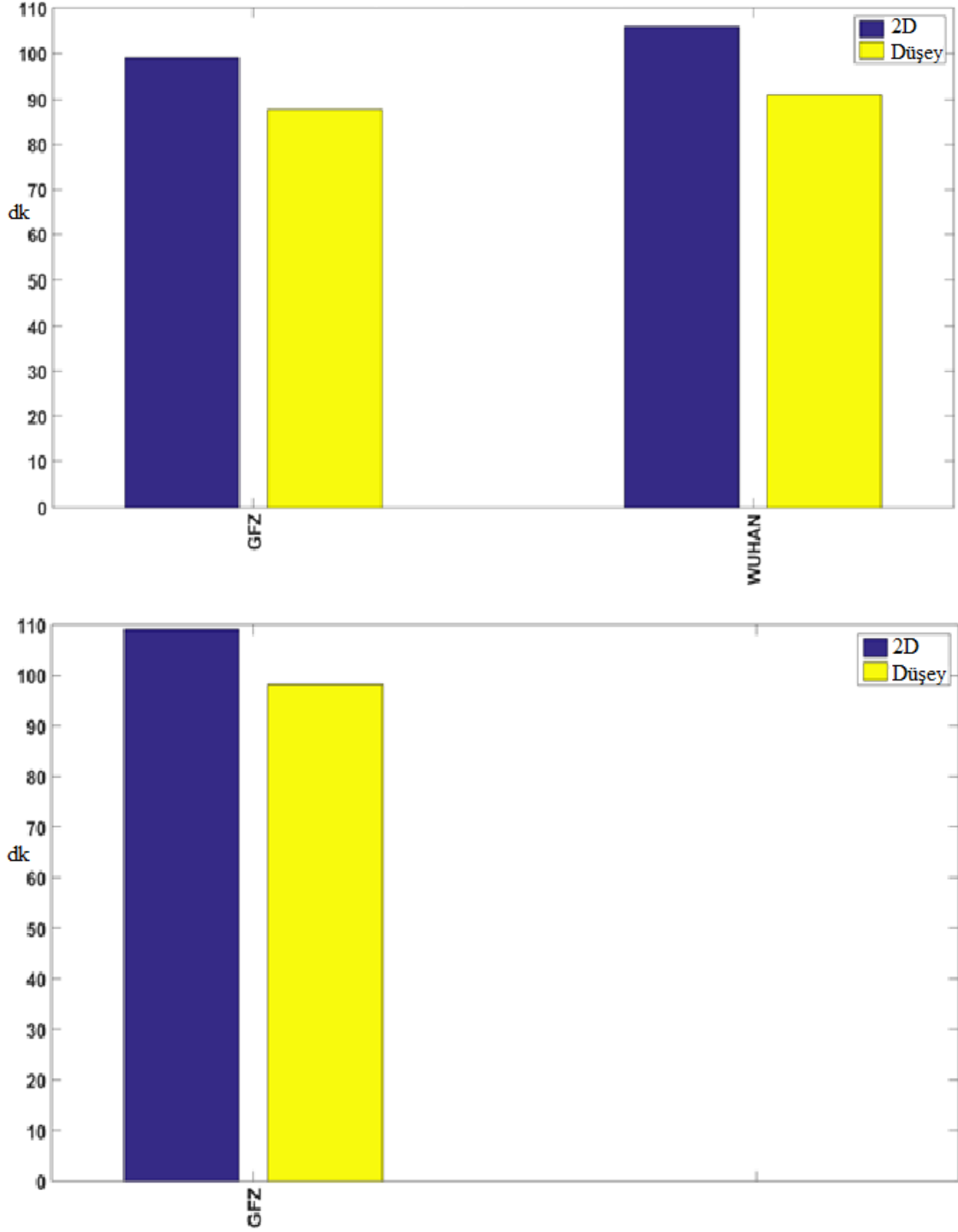
Şekil 5.2: GPS Hızlı ve Ultra Hızlı Ürünlerin Yakınsama Süresi



Şekil 5.3: GLONASS Hızlı ve Ultra Hızlı Ürünlerin Yakınsama Süresi



Şekil 5.4: Galileo Hızlı ve Ultra Hızlı Ürünlerin Yakınsama Süresi



Şekil 5.5: BeiDou Hızlı ve Ultra Hızlı Ürünlerin Yakınsama Süresi

Yakınsama süresi sonuçlarında görüldüğü gibi ürünlerin saat aralığı, günlük gözlemler kullanılarak konum belirleme doğruluğuna göre yakınsama süresini çok daha fazla etkilemektedir. İstisnai durum ise PPP-Galileo'nun ultra hızlı ürünlerinde meydana gelmiştir. Wuhan ultra hızlı ürününün GFZ ultra hızlı ürününe kıyasla daha düşük saat aralığına rağmen GFZ ultra hızlı ürününden hesaplanan yakınsama süresi,

Wuhan ultra hızlı ürününden hesaplanan yakınsama süresinden çok daha kısadır. Tablo 5.9, tüm periyotlar arasındaki yakınsamamış periyotların yüzdesini göstermektedir.

**Tablo 5.9:** Yakınsamayan Periyotların Yüzdesi

GPS	Hızlı		Ultra Hızlı	
	2D	Düşey	2D	Düşey
CODE	7%	7%	-	-
ESA	10%	12%	13%	14%
NRCan	8%	7%	9%	9%
JPL	10%	11%	10%	11%
GFZ	7%	6%	10%	11%
IGS	11%	12%	13%	13%
WUHAN	10%	11%	10%	11%
GLONASS	Hızlı		Ultra Hızlı	
	2D	Düşey	2D	Düşey
CODE	18%	18%	-	-
ESA	24%	22%	34%	29%
NRCan	17%	16%	20%	18%
GFZ	16%	15%	25%	22%
WUHAN	24%	23%	24%	23%
GALILEO	Hızlı		Ultra Hızlı	
	2D	Düşey	2D	Düşey
CODE	15%	12%	-	-
GFZ	20%	15%	20%	16%
WUHAN	20%	16%	24%	17%
BeiDou	Hızlı		Ultra Hızlı	
	2D	Düşey	2D	Düşey
GFZ	21%	19%	22%	21%
WUHAN	25%	21%	-	-

Yakınsamayan periyot sonuçları, hızlı ve ultra hızlı ürünler arasındaki yakınsamamış periyot sayılarındaki en büyük farkın GFZ (PPP-GPS) ve ESA (PPP-GLONASS) ürünlerinde gözlemlendiğini göstermektedir. Bu ürünler dışında, hızlı ve ultra hızlı ürünler arasındaki farklar oldukça küçüktür. Ayrıca sonuçlar daha yüksek zamansal saat çözünürlüğüne sahip ürünlerin, daha düşük saat çözünürlüğüne sahip ürünlere kıyasla yakınsamayan periyotların sayısını azaltabildiğini de göstermiştir.

## 5.6. Tartışma

Yedi AC'nin (CODE, ESA, NRCan, JPL, GFZ, IGS ve WUHAN) ultra hızlı ve hızlı ürünlerini kullanarak GPS-, GLONASS-, Galileo- ve BeiDou- tek sistemli statik ve kinematik PPP performansı araştırılmıştır. İki aylık (Ocak-Şubat) süreyle GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou sinyallerini izleyebilen 32 MGEX istasyon gözlemleri kullanılmıştır. Gerçek zamana yakın (near-time) uygulamaları temsil etmek için mevcut olan ilk 24 saat ultra hızlı ürünler kullanılmıştır. Her bir PPP işlemi için aynı PPP işleme parametrelerinin kullanıldığı belirtilmiştir. Bu nedenle ürünler arasındaki doğruluk farklılıkları tamamen AC'lerden uydu yörüngesi ve saat ürünlerine dayanmaktadır.

NRCan ve GFZ ultra hızlı ürünlerle PPP-GPS performansı ilk sırada yer alırken, CODE ultra hızlı ürünü yayın saati çözümü nedeniyle en kötü performansı göstermiştir. Hızlı ürünlerle PPP-GPS performansı için CODE ve NRCan ürünleri diğer AC'lere kıyasla çok daha iyi doğruluk göstermiştir. Ayrıca hızlı ürünler arasındaki üç boyutlu RMSE farklılıkları, statik PPP için milimetre düzeyinde dalgalanmıştır.

PPP-GLONASS performansı için NRCan ultra hızlı ürünü hem konum belirleme doğruluğu hem de uyuşumsuz ölçü değer sayıları açısından ilk sırada yer alırken, CODE ve ESA ile ultra hızlı ürünler son sırada yer almıştır. CODE ultra hızlı ürünü kullanan PPP-GLONASS verilerinin %21'i uyuşumsuz ölçü değerler olarak hesaplanmıştır. Bu, tek sistemli statik PPP-GLONASS için CODE ultra hızlı ürün kullanılmasının jeodezik uygulamalara uygun olmadığını göstermiştir. Hızlı ürünlerle PPP-GLONASS performansı için üç boyutlu doğruluk, CODE hızlı ürünü dışında AC'ler arasında karşılaştırılabilir. CODE hızlı ürününden elde edilen düşey doğruluk, diğer AC'lere göre çok daha düşüktür.

PPP-Galileo performansı için GFZ ultra hızlı ürünü, WUHAN ultra hızlı ürününden çok daha iyi doğruluk sonuçları göstermiştir. Ayrıca WUHAN ultra hızlı ürünü kullanan PPP-Galileo'nun uyuşumsuz ölçü sayıları, GFZ ve CODE ürünleri olanlardan önemli ölçüde daha yüksek olmaktadır. Hızlı ürünlerle PPP-Galileo performansı için CODE hızlı ürünü, en iyi konum belirleme sonuçlarını üretmiştir. Ultra hızlı ürünler kullanan PPP-Galileo'nun uyuşumsuz ölçü sayılarının, hızlı ürünler kullanan PPP-Galileo'den önemli ölçüde daha yüksek olduğu da açıklanmıştır.

PPP-BeiDou performansı için GFZ ultra hızlı ve hızlı ürünleri, WUHAN ürünleri ile karşılaştırıldığında en iyi konum belirleme sonuçlarını göstermiştir.

WUHAN ultra hızlı ürünü radial, along-track ve cross-track yörünge bileşenlerinin metre altı doğruluğu nedeniyle jeodezik çalışmaların çoğu için PPP-BeiDou uygun olmamaktadır. Ultra hızlı ve hızlı ürünler arasındaki doğruluk ve uyuşumsuz ölçü sayı farklılıkları PPP-Galileo ve BeiDou için, PPP-GPS ve GLONASS'tan çok daha belirgin olmuştur.

Beklendiği üzere kinematik PPP doğrulukları statik PPP'den birkaç kat daha kötü gelmiştir. Sonuçlar, tek sistemli kinematik PPP-GPS ultra hızlı CODE, tek sistemli kinematik PPP-GLONASS ultra hızlı CODE ve tek sistemli kinematik PPP-Galileo ultra hızlı WUHAN ürünleri, dm düzeyinde yatay / düşey doğruluklar ve yüksek sayıda uyuşumsuz ölçü nedeniyle jeodezik çalışmaların çoğu için uygun olmadığını göstermiştir. Tek sistemli kinematik PPP-BeiDou hızlı ve ultra hızlı ürünleri de jeodezik çalışmaların çoğu için uygun olmadığını göstermiştir.

Statik yakınsama süresinin sonuçları, daha yüksek zamansal saat çözünürlüğüne sahip ürünlerin genellikle yakınsama süresi açısından daha iyi bir performans ürettiğini göstermiştir. CODE, NRCAN ve GFZ hızlı ürünleri PPP-GPS ve -GLONASS yakınsama süresi için ilk sırada yer almıştır. NRCAN ultra hızlı ürünü, PPP-GPS ve -GLONASS yakınsama süresi için en iyi sonucu sağlamıştır. CODE hızlı ve GFZ ultra hızlı ürünleri, PPP-Galileo için ilk sırada yer almıştır. GFZ ve WUHAN hızlı ürünlerinin performansı, PPP-BeiDou için karşılaştırılabilir; ancak GFZ ultra hızlı ürünü, PPP-BeiDou için WUHAN ultra hızlı ürününden çok daha iyi performans göstermiştir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

AC'lerin, zaman açısından kritik uygulamalar için (deprem, tsunami, heyelanlar, obruk, hızlı deformasyon, yapı izleme vb.) oluşturduğu ultra hızlı ve hızlı ürünler arasından en iyi adayı seçmek GNSS alanının önemli bir konusu olmaktadır. Statik PPP işlemlerin sonuçları, tek sistemli GNSS takımyıldızı kullanılarak; bu çalışmada kullanılan yedi AC'nin ultra hızlı ve hızlı ürünlerinden (CODE ve WUHAN ultra hızlı ürünler hariç) cm düzeyinde üç boyutlu doğruluğun elde edilebileceğini göstermiştir. Sonuçlar, tek sistemli statik PPP-GPS doğruluk farklılıklarının, ultra hızlı ve hızlı ürünler arasında (CODE ultra hızlı ürün hariç) cm altı seviyede gezindiğini göstermiştir. Doğruluk farklılıklarının tek sistemli statik PPP-GLONASS, -Galileo ve -BeiDou için oldukça önemli olduğu bulunmuştur. Ürünler arasındaki konum belirleme performansı farklılıkları, her GNSS takımyıldızı için kinematik PPP'de çok daha belirgin bulunmuştur. Cm düzeyinde üç boyutlu doğruluk, kinematik PPP için sadece GPS hızlı ürünler kullanılarak elde edilebilmektedir. Çoğu AC ürünü için kinematik PPP sonucu dm düzeyinde üç boyutlu doğruluk elde edilebilmiştir. NRCan ultra hızlı ürünü, diğer ürünler arasında tek sistemli statik ve kinematik PPP-GPS ve -GLONASS için en iyi konum belirleme performansını üretmiştir. Bu durum, diğer AC ürünlerine kıyasla NRCan AC'nin saat çözünürlüğünün (30-s) diğer AC'lere göre daha yüksek olmasından kaynaklanabilir. Sonuçlar, düşük saat çözünürlüğünden kaynaklanan saat enterpolasyon hatalarının, statik PPP'de kinematik PPP'ye göre daha az olduğunu göstermektedir. CODE hızlı ürünü, diğer hızlı ürünler arasında tek sistemli kinematik PPP-GPS ve -Galileo konum belirleme performansı için ilk sırada yer almaktadır. Zaman açısından kritik uygulamalar için Galileo ve BeiDou takımyıldızlarını içeren çoklu-GNSS verileri gerekliyse, GFZ ultra hızlı ve hızlı ürünleri en iyi adaylar arasında gösterilebilir.

## 7. KAYNAKLAR

- Abdel-salam et al. (2002) Mohamed Abdel-tawwab Abdel-salam (Ph.D. thesis), September 2005, UCGE Report 20229.
- Bahadur, B., & Nohutcu, M. (2018). PPPH: a MATLAB-based software for multi-GNSS precise point positioning analysis. *GPS solutions*, 22(4), 1-10.
- Bar-Sever, Y.E. (1996) A new model for GPS yaw attitude: *Journal of Geodesy*, 70:11, 714-723.
- BeiDou Navigation Satellite System Signal In Space Interface Control Document Version (2.1), March, 2017, <http://www.beidou.gov.cn/attach/2016/11/07/21212.pdf>.
- Cai, C. (2009). Precise point positioning using dual-frequency GPS and GLONASS measurements. *In Masters Abstracts International* (Vol. 48, No. 03).
- Chen K, Zamora N, Babeyko AY, Li X, Ge M., (2015) Precise positioning of BDS, BDS/GPS: implications for Tsunami early warning in South China Sea: *Remote Sens* 7:15955–15968.
- Collins, P., Bisnath, S., Lahaye, F., Heroux, P., (2010) Undifferenced GPS ambiguity resolution using the decoupled clock model and ambiguity datum fixing: *Navigation*, 57(2), CA, 123-135.
- Dow JM, Neilan RE, Rizos C., (2009) The international GNSS service in a changing landscape of global navigation satellite systems: *J Geod* 83(3–4):191–198.
- El-Mowafy, A., Deo, M., & Kubo, N. (2017) Maintaining real-time precise point positioning during outages of orbit and clock corrections: *GPS solutions*, 21(3), 937-947.
- European GNSS (GALILEO) open service interface control document (Version 1.3), (February,2017),[https://www.gsceuropa.eu/sites/default/files/Galileo\\_OS\\_SIS\\_ICD\\_1.3.pdf](https://www.gsceuropa.eu/sites/default/files/Galileo_OS_SIS_ICD_1.3.pdf).
- Gautam P, Sathyaseelan R, Pappachen J, Kumar N, Biswas A, Philip G, Dabral C, Pal S., (2019) GPS measured static and kinematic offsets at near and far field of the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki earthquake: *Geod Geodyn* 10(3):213–227.
- Ge, M., Gendt, G., Rothacker, M., Shi, C., Liu, J., (2007) Resolution of GPS carrier phase ambiguities in precise point positioning (PPP) with daily observations: *Journal of Geodesy*, 82(7), 389:399.
- Geng, J., Jiang, P., & Liu, J., (2017). Integrating GPS with GLONASS for high- rate seismogeodesy: *Geophysical research letters*, 44(7), 3139-3146.

- Geng, J., Meng, X., Dodson, A. H., Ge, M., Teferle, F. N., (2010) Hızlı re-convergences to ambiguity-fixed solutions in precise point positioning: *Journal of Geodesy*, 84(12), 705-714.
- Global navigation satellite system GLONASS interface control document (Version 5.1), February,(2017),[http://facility.unavco.org/data/docs/ICD\\_GLONASS\\_5.1\\_\(2008\)\\_en.Pdf](http://facility.unavco.org/data/docs/ICD_GLONASS_5.1_(2008)_en.Pdf).
- GPS Official Web Site. February, (2017) GPS Constellation, <http://www.gps.gov> .
- Guo, F., Zhang, X. (2014) Real-time clock jump compensation for precise point positioning: *GPS Solutions*, 18, 41-50.
- Habrich, H. (1999). Geodetic Applications of the Global Navigation Satellite System (GLONASS) and of GLONASS/GPS Combinations. Ph.D. dissertation, *Astronomical Institute, University of Berne, Berne, Switzerland*.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E., (2008), (GNSS) Global Navigation Satellite Systems: *Springer, New York*.
- IGS Official Web Site, February, (2017): Products, <http://www.igs.org/products>.
- Kouba, J. (2015) A guide to using International GNSS Service (IGS) products: <http://kb.igs.org/hc/en-us/articles/201271873-A-Guide-to-Using-the-IGS-Products>
- Kouba, J., & Héroux, P., (2011) Precise point positioning using IGS orbit and clock products: *GPS solutions*, 5(2), 12-28.
- Labib B, Yan J, Barriot J, Zhang F, Feng P., (2019) Monitoring Zenithal Total Delays over the three different climatic zones from IGS GPS final products: a comparison between the use of the VMF1 and GMF mapping functions: *Geod Geodyn* 10(2):93–99
- Laurichesse, D., Mercier, F., Bertias, J., Broca, P., Cerri, L., 2009 Integer ambiguity resolution on undifferenced GPS phase measurements and its applications to PPP and satellite precise orbit determination navigation: *Navigation*, 56(2), 135 149.
- Leick A, Rapoport L, Tatarnikov D (2015) GPS satellite surveying: *4th edn. Wiley, Hoboken*.
- Li X, Dick G, Lu C, Ge M, Nilsson T, Ning T, Wickert J, Schuh H., (2015) Multi-GNSS meteorology: real-time retrieving of atmospheric water vapor from BeiDou, Galileo, GLONASS, and GPS observations: *IEEE Trans Geosci Remote Sens* 53(12):6385–6393.
- Li, T., Wang, J., Laurichesse, D., 2014 Modeling and quality control for reliable precise point positioning integer ambiguity resolution with GNSS modernization: *GPS Solutions*, 18(3), 429-442.

- Li, X., Ge, M., Zhang, X., Zhang, Y., Guo, B., Wang, R., ... & Wickert, J. (2013). Real-time high-rate co-seismic displacement from ambiguity-fixed precise point positioning: Application to earthquake early warning. *Geophysical research letters*, 40(2), 295-300.
- Lou, Y., Zheng, F., Gu, S., Wang, C., Guo, H., & Feng, Y. (2016). Multi-GNSS precise point positioning with raw single-frequency and dual-frequency measurement models. *GPS Solutions*, 20(4), 849-862.
- Lu, C., Li, X., Nilsson, T., Heinkelmann, R., Ge, M., Glaser, S., Schuh, H., (2015), Realtime retrieval of precipitable water vapor from GPS and BeiDou observations: *Journal of Geodesy*, 89, 843-856.
- Lu, F and Li, J., (2011). Precise point positioning study to use different igs precise ephemeris: In Computer Science and Automation Engineering (CSAE), 2011 *IEEE International Conference*, 3, 592-595.
- Lynn, S. (2009). An investigation into the accuracy of single frequency precise point positioning (PPP) (Doctoral dissertation, RMIT University).
- Martín, A., Anquela, A. B., Capilla, R and Berné, J. L., (2011). PPP technique analysis based on time convergence, repeatability, IGS products, different software processing, and GPS+ GLONASS constellation: *Journal of Surveying Engineering*, 137(3), 99-108.
- Montenbruck O, Steigenberger P, Prange L, Deng Z, Zhao Q, Perosanz F, Romero I, Noll C, Stürze A, Weber G, Schmid R, Macleod K, Schaer S., (2017) The multi-GNSS experiment (MGEX) of the international GNSS service (IGS)-achievements, prospects and challenges: *Advances in Space Research* 59:1671–1697.
- Montenbruck, O., Hauschild, A. (2013) Code biases in multi-GNSS point positioning: *In: ION ITM 2013*, pp, 616-628.
- Montenbruck, O., Schmid, R., Mercier, F., Steinberger, P., Noll, C., Fatkulin, R., Kogure, S., Ganeshan, A.S. (2015) GNSS satellite geometry and attitude models: *Advances in Space Research*, 56, 1015-1029.
- NAVSTAR GPS Space Segment/Navigation User Segment Interface, 2015, [http://www.gps.gov/technical/icwg/IRN-IS-200H-001+002+003\\_rollup.pdf](http://www.gps.gov/technical/icwg/IRN-IS-200H-001+002+003_rollup.pdf).
- Ogutcu, S., (2020). Performance Assessment of IGS Combined/JPL Individual Hızlı and Ultra-Hızlı Products: Consideration of Precise Point Positioning Technique. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 5(1), 1-14.
- Park, J. K and Jung, K. Y., (2014). Accuracy Analysis of Influences by Satellite Ephemeris: *Contemporary Engineering Sciences*, 7(24), 1.

- Prange L, Orliac E, Dach R, Arnold D, Beutler G, Schaer S, Jäggi A. (2017) CODE's five system orbit and clock solution—the challenges of multi-GNSS data analysis: *J Geod* 91(4):345–360. <https://doi.org/10.1007/s00190-016-0968-8>.
- Shi, C., Lou, Y. D., Zhang, H. P., Zhao, Q., Geng, J., Wang, R., ... & Liu, J., (2010). Seismic deformation of the Mw 8.0 Wenchuan earthquake from high-rate GPS observations: *Advances in Space Research*, 46(2), 228-235.
- Shi, J., Gao, Y. 2014 A comparison of three PPP integer ambiguity resolution methods: *GPS Solutions*, 18, 519:528.
- Shi, J., Yuan, X., Cai, Y., Wang, G., ( 2017), GPS real-time precise point positioning for aerial triangulation: *GPS Solutions*, 21, 405-414.
- Steigenberger, P., Hugentobler, U., Hauschild, A., & Montenbruck, O. (2013) Orbit and clock analysis of Compass GEO and IGSO satellites: *Journal of Geodesy*, 87(6), 515-525.
- Subirana, J. S., Zornoza, J. M. J., Hernandez-Pajares, M., (2013) GNSS Data Processing, Vol. I: Fundamentals and Algorithms, *ESA, Leiden*.
- Xiao, G., Li, P., Sui, L., Heck, B., & Schuh, H. (2019) Estimating and assessing Galileo satellite fractional cycle bias for PPP ambiguity resolution: *GPS Solutions*, 23(1), 3.
- Yang, Y., Gao, W., Guo, S., Mao, Y., & Yang, Y. (2019). Introduction to BeiDou-3 navigation satellite system. *NAVIGATION, Journal of the Institute of Navigation*, 66(1), 7-18.
- Yigit, C. O and Gurlek, E., (2017). Experimental testing of high-rate GNSS precise point positioning (PPP) method for detecting dynamic vertical displacement response of engineering structures: *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 893-904.
- Yigit, C. O., El-Mowafy, A., Bezcioglu, M., & Dindar, A. A., (2020). Investigating the effects of ultra-hızlı, hızlı vs. final precise orbit and clock products on high-rate GNSS-PPP for capturing dynamic displacements: *Structural Engineering and Mechanics*, 73(4), 427-436.
- Yuan, X., Fu, J., Sun, H., Toth, C., (2009), The application of GPS precise point positioning technology in aerial triangulation: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64, 541-550.
- Witchayangkoon, B. (2000). Elements of GPS precise point positioning. *the University of Maine*.
- Zhou, F., Cao, X., Ge, Y., & Li, W. (2020) Assessment of the positioning performance and tropospheric delay retrieval with precise point positioning using products from different analysis centers: *GPS Solutions*, 24(1), 12.

Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M., Webb, F. H., (1997) Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks: *Journal of geophysical research: solid earth*, 102(B3), 5005-5017.