



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN NİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



PPP YÖNTEMİNDE AR YAKLAŞIMININ
KONUM DOĞRULUĞUNA ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI

Ömer Faruk ATİZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Ömer Faruk ATIZ

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PPP YÖNTEMİNDE AR YAKLAŞIMININ KONUM DOĞRULUĞUNA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Ömer Faruk ATİZ

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. İbrahim Kalaycı

2021, 84 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI

Prof. Dr. Tamer BAYBURA

Doç. Dr. Salih Sermet ÖĞÜTCÜ

GNSS ile konum belirleme uzun yıllardan beri jeodezi ve diğer yer bilimleri gibi pek çok alanda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Yer kabuğu hareketleri, deformasyon izleme, ulusal/uluslararası datumların belirlenmesi gibi pek çok alanda bağıl konum belirleme yöntemi kullanılmaktaydı. IGS' in hassas yörünge ve saat bilgilerinin kullanıcıların hizmetine sunmasıyla hassas nokta konum belirleme yöntemine ilişkin çalışmalar hız kazanmıştır. Tek bir GNSS alıcısı ile arazi işinin halledilmesi ile kullanıcılar açısından daha ekonomik olması yöntemin avantajları arasındadır. Son yıllarda ise PPP'de tamsayı belirsizliği çözümüne (AR) ilişkin çalışmalar yapılması, gelecek yıllarda yöntemin dezavantajı sayılan yakınsama süresini iyileştirme anlamında olumlu sonuçlar vereceğini göstermektedir. Bu tez çalışmasında PPP'de tamsayı belirsizlik çözümüne izin veren GNSS veri değerlendirme yazılımları incelenmiştir. PPP'de AR yaklaşımının konum doğruluğuna etkisini incelemek için CSRS-PPP web tabanlı yazılımı ile uygulama yapılmıştır. Uygulamada farklı enlem bölgelerine dağılmış 47 tane IGS istasyonuna ait bir aylık veri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre AR yaklaşımının özellikle doğu bileşenindeki konum doğruluğunu iyileştirdiği görülmüştür. Ayrıca AR yaklaşımının troposfer kestiriminde de iyileştirme sağladığı sonucu elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: GNSS, IGS, PPP, PPP-AR

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF POSITIONING ACCURACY OF AR APPROACH ON PPP METHOD

Ömer Faruk ATIZ

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

Advisor: Prof. Dr. İbrahim KALAYCI

2021, 84 Pages

Jury

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI

Prof. Dr. Tamer BAYBURA

Assoc. Prof. Dr. Salih Sermet ÖĞÜTCÜ

GNSS has been widely used for many years in geodesy and other earth sciences. Relative positioning method was used in many areas such as earth crust movements, deformation monitoring, determination of regional or international datums. The Precise Point Positioning (PPP) method has become available with the access of IGS's precise orbit and clock products. The PPP method is more economical than relative, because single GNSS receiver is enough for the field work. The recent studies on integer ambiguity resolution (AR) of PPP showed that AR improved the convergence time and accuracy. Firstly, PPP with AR GNSS data processing software were examined. The online CSRS-PPP was chosen to investigate the positioning performance of AR approach on PPP method. One monthly data belong to 47 IGS stations distributed in different latitude regions was used. According to the results, it was seen that AR approach improved position accuracy especially in the east component. In addition, it was concluded that AR approach improved the troposphere estimation.

Keywords: GNSS, IGS, PPP, PPP-AR

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda ve akademik hayatımda yol gösteren saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. İbrahim KALAYCI' ya teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli Doç. Dr. Salih ALÇAY ve Doç. Dr. Sermet ÖĞÜTCÜ hocalarıma teşekkürü borç bilirim. Eğitim-öğretim hayatımda her zaman yanımda olan sevgili aileme bu süreçte bana olan desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Ömer Faruk ATİZ
KONYA-2021



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. UYDULARLA KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ	5
3.1. Mutlak Konum Belirleme	5
3.2. Bağlı Konum Belirleme	6
3.2.1. Statik Yöntem	7
3.2.1. Real Time Kinematik Yöntemi.....	8
4. HASSAS NOKTA KONUM BELİRLEME (PPP) YÖNTEMİ.....	10
4.1. PPP Hata Kaynakları	10
4.1.1. Uydu Yörünge ve Saat Hatası.....	10
4.1.2. Alıcı Saat Hatası	11
4.1.3. Troposfer.....	12
4.1.4. İyonosfer	13
4.1.5. Anten Faz Merkezi.....	13
4.1.6. Faz Dönüklük Hatası (Phase Wind-Up)	14
4.1.7. Katı Yeryuvarı Gelgiti (Solid Earth Tides).....	15
4.1.8. Okyanus Yükleme (Ocean Loading).....	15
4.1.9. Kutup Gelgiti (Polar Tide).....	15
4.1.10. Diferansiyel Alıcı ve Uydu Yanlılıkları (DCB).....	16
4.1.11. Faz Kesikliği	16
4.1.12. Başlangıç Tamsayı Belirsizliği	16
4.2. PPP Fonksiyonel Modeli	17
4.2.1. Geleneksel PPP Modeli	18
4.2.1.1. Gözlem Eşitlikleri	18
4.2.1.2. Dengeleme	19
4.2.2. PPP-AR Yöntemi.....	22
4.2.2.1. PPP-AR DSC Modeli.....	22
4.3. Gerçek Zamanlı PPP (RT-PPP)	24
5. PPP YAZILIMLARI	25

5.1. RT-PPP Yazılımları	25
5.1.1. BNC	25
5.1.2. RTKLIB	25
5.1.3. PPP-WIZARD	26
5.1.4. PANDA.....	27
5.1.4. G-NUT	28
5.2. Post Process PPP Yazılımları	28
5.2.1. GipsyX/RTGx.....	29
5.2.2. Bernese.....	29
5.2.3. PRIDE-PPPAR	30
5.2.4. MG-APP	30
5.3. Online PPP Servisleri.....	31
5.3.1. CSRS-PPP.....	32
5.3.2. APPS	33
5.3.3. GAPS	34
6. UYGULAMA	35
6.1. Konum Belirleme Performansının Değerlendirilmesi	38
6.2. Troposfer Kestirimi Doğruluğu	45
7. SONUÇ	46
8. KAYNAKLAR	47
EKLER	52

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$P_{IF,r}^S$: İyonosferden bağımsız kod gözlemi
$\emptyset_{IF,r}^S$: İyonosferden bağımsız faz gözlemi
f_1, f_2	: Taşıyıcı dalga fazının frekansı (Hertz)
P_1, P_2	: Kod ölçüleri (m)
\emptyset_1, \emptyset_2	: Faz ölçüleri (m)
$\emptyset_{n,ij}^{kl}$: Faz ölçüsü için ikili fark gözlemi
$P_{n,ij}^{kl}$: Kod ölçüsü için ikili fark gözlemi
ρ_{ij}^{kl}	: Uydu-alıcı arasındaki mesafe
T_{ij}^{kl}	: İkili fark gözlemi için troposferik gecikme
I_{ij}^{kl}	: İkili fark gözlemi için iyonosferik gecikme
$N_{n,ij}^{kl}$: İkili fark gözlemi için tamsayı belirsizliği
$\epsilon_{\emptyset,n,ij}^{kl}$: Faz ölçüsünün gürültüsü
$\epsilon_{P,n,ij}^{kl}$: Kod ölçüsünün gürültüsü
c	: Boşluktaki ışık hızı
dt_r	: Alıcı saat hatası
dt^S	: Uydu saat hatası
λ_{IF}	: İyonosferden bağımsız kombinasyonun dalga boyu
N_{IF}^S	: İyonosferden bağımsız tamsayı başlangıç faz belirsizliği
$UHD_{IF,r}$: Alıcı için donanım faz gecikmesi
$UHD_{IF,s}$: Uydu için donanım faz gecikmesi
$HD_{P,r,IF}$: Alıcı için donanım kod gecikmesi
$HD_{P,s,IF}$: Uydu için donanım kod gecikmesi
X_s, Y_s, Z_s	: Uyduya ait ECEF koordinatları
X^r, Y^r, Z^r	: Alıcıya ait ECEF koordinatları
Z_{wet}	: Troposferik gecikmenin ıslak bileşeni
C_y^{-1}	: Gözlemlere ilişkin kovaryans matrisi
$C_{X^0}^{-1}$: Bilinmeyen parametrelere ilişkin kovaryans matrisi
A	: Katsayılar matrisi
E	: Yükseklik engel açısı
σ_P^2	: Kod ölçüsünün öncül varyansı
σ_{\emptyset}^2	: Faz ölçüsünü öncül varyansı
C_n	: Spektral yoğunluk matrisi
$L_{\emptyset,P}$: İyonosferden bağımsız kombinasyonun ölçü vektörü
δ	: Parametre güncellemesi
V	: Soncul varyans değeri
Z_{dry}	: Troposferik gecikmenin kuru bileşeni
M_{dry}	: Kuru bileşen için haritalama fonksiyonu
M_{wet}	: Islak bileşen için haritalama fonksiyonu
d_{trop}	: IF kombinasyon için troposferik gecikme
$b_{P,IF}^r$: Alıcı için IF kod bias
$b_{P,IF}^S$: Uydu için IF kod bias
$b_{\emptyset,IF}^r$: Alıcı için IF faz bias

$b_{\emptyset,IF}^S$: Uydu için IF faz bias
λ_{WL}	: Geniş aralık gözleminin dalga boyu
λ_{NL}	: Dar aralık gözleminin dalga boyu
MW	: Melbourne-Wübbena kombinasyonu
b_{MW}^r	: Alıcı için MW bias
b_{MW}^S	: Uydu için MW bias
\bar{x}	: Alıcı konum vektörü
b_*^r	: Gözleme bağlı alıcı kod/faz bias
b_*^S	: Gözleme bağlı uydu kod/faz bias
\widetilde{N}_{WL}	: Geniş aralık tamsayı belirsizliği
\widetilde{N}_{IF}	: Dar aralık tamsayı belirsizliği
N_1	: f1 frekansındaki tamsayı belirsizliği
$dt_{P,IF}^r$: Alıcı için kod gözlemine ait ayrılmış saat hatası
$dt_{P,IF}^S$: Uydu için kod gözlemine ait ayrılmış saat hatası
$dt_{\emptyset,IF}^r$: Alıcı için faz gözlemine ait ayrılmış saat hatası
$dt_{\emptyset,IF}^S$: Uydu için faz gözlemine ait ayrılmış saat hatası

Kısaltmalar

AIUB	: Astronomical Institute of the University of Bern
API	: Application Programming Interface
APPS	: Automatic Precise Positioning Service
BKG	: Federal Agency for Cartography and Geodesy
BNC	: BKG NTRIP Client
BPE	: Bernese Processing Engine
CDMA	: Code Division Multiple Access
CNES	: Fransa Ulusal Uzay Araştırmaları Merkezi
CODE	: Centre Of Orbit Determination
CSRS-PPP	: The Canadian Spatial Reference System-PPP
DCB	: Differential Code Bias
DGNSS	: Differential GNSS
DORIS	: Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite
DSC	: Decoupled Satellite Clock
ECEF	: Earth Centered Earth Fixed
EKF	: Extended Kalman Filter
ESA	: European Space Agency
FCB	: Fractional Cycle Bias
FDMA	: Frequency Division Multiple Access
FKP	: Flachen Korrektur Parameter
FOC	: Full Operational Capability
GAPS	: The GPS Analysis and Positioning Software
GEO	: Geostationary Orbit
GLONASS	: GLObalnaya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GMF	: Global Mapping Function
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GOP	: Geodetic Observatory Pecný
GPS	: Global Positioning System
IGS	: International GNSS Service
IGSO	: Inclined Geosynchronous Orbits
IGS-RTS	: IGS-Real Time Service
IRC	: Integer Recovery Clock
ITRF	: International Terrestrial Reference Frame
JPL	: Jet Propulsion Laboratory
LAMBDA	: Least-squares Ambiguity Decorrelation Adjustment
LEO	: Low Earth Orbit
MAC	: Master Auxliary Concept
MEO	: Medium Earth Orbit
NAD83	: North American Datun 1983
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NMF	: Niell Mapping Function
NRCan	: Natural Resources Canada
NTRIP	: Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
OTF	: On-The-Fly
PCV	: Phase Center Variations
PPP	: Precise Point Positioning
PPP-AR	: PPP with Ambiguity Resolution

PPP-WIZARD	: PPP With Integer and Zero Difference Ambiguity Resolution Demonstrator
QZSS	: Quasi-Zenith Satellite System
RINEX	: Receiver Independent Exchange Format
RTCM	: Radio Technical Commission for Maritime Services
RTK	: Real Time Kinematic
RTKLIB	: Real Time Kinematic Library
RT-PPP	: Real-Time PPP
SBAS	: Satellite Based Augmentation Systems
SINEX	: Solution INdependent EXchange Format
SLR	: Satellite Laser Ranging
SPP	: Standart Point Positioning
SRIF	: Square Root Information Filter
SSR	: State Space Representation
SSR	: State Space Representation
STEC	: Eğik Toplam Elektron İçeriği
TEC	: Total Electron Content
TUG	: Graz University of Technology
UPD	: Uncalibrated Phase Delay
VLBI	: Very Long Baseline Interferometry
VMF	: Vienna Mapping Function
VRS	: Virtual Reference Station
WGS84	: World Geodetic Datum 1984
WHU	: Wuhan University
WID	: Weighted Integer Decision
ZTD	: Toplam Zenit Gecikme

1. GİRİŞ

GNSS (Global Navigation Satellite System) ile konum belirleme uzun yıllardan beri jeodezi ve yer bilimleri gibi pek çok mühendislik ve bilimsel çalışmalarda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Mühendislik uygulamaları için hassas konum belirleme faz ölçüleri kullanılarak gerçek zamanlı veya büroda sonradan değerlendirme (post-process) ile yapılabilmektedir. GNSS ile konum belirleme başlıca mutlak ve bağıl konum belirleme yöntemleri olarak iki başlıkta incelenmektedir. Bağıl konum belirleme yöntemlerinde koordinatları iyi bilinen bir noktaya kurulan referans alıcıdan elde edilen düzeltme bilgisi yardımıyla gezici alıcıların konumu hesaplanmaktadır. Mutlak konum belirlemenin özel bir durumu olan PPP (Hassas Nokta Konum Belirleme) yönteminde ise herhangi bir referans alıcıya ihtiyaç duyulmaksızın hassas yörünge ve saat bilgileri yardımıyla ve belirli bir yaklaşım süresinden sonra duyarlı konum bilgisi elde etmek mümkündür.

Bağıl yöntemde referans ve gezici alıcı arasında kurulan ikili farklar yardımıyla uydu-alıcı saat hataları, atmosferik etkiler gibi pek çok hata kaynağı giderilmekte ya da etkisi en aza indirilmektedir (Correa-Muños ve Cerón-Calderón 2018). PPP yönteminde referans alıcı bulunmadığından pek çok hata kaynağı, hassas yörünge ve saat bilgilerinin yanı sıra matematiksel modeller yardımıyla iteratif çözüm şeklinde giderilmektedir. Gözlem süresi uzun statik oturumlarda her iki yöntemde de milimetre mertebesinde konum doğruluğu elde edilebilmektedir. Geleneksel PPP yöntemi çoğunlukla tam sayı belirsizliği çözümü içermezken, son yıllarda yeni tam sayı belirsizlik çözümünü içeren PPP-AR (PPP with Ambiguity Resolution) algoritmalarına geçiş için bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. PPP'de tam sayı belirsizliğinin çözümü yapılabilmesi için hem alıcı hem de uydulardan kaynaklanan donanım gecikmesinin -UHD (Uncalibrated Hardware Delay)- giderilmesi gerekmektedir (Ogutcu, 2020). Bunun için çeşitli IGS (International GNSS Service) analiz merkezleri faz bias (phase bias) bilgilerini hesaplayıp yayınlamaktadır. AR (Ambiguity Resolution) çözümü için gerekli olan faz bias bilgisini yayınlayan analiz merkezleri:

- CODE (Center for Orbit Determination in Europe),
- NRCan (Natural Resources Canada),
- ESA (European Space Agency),
- CNES (Centre National d'Études Spatiales),
- TUG (Graz University of Technology),

- WHU (Wuhan University),

şeklinde sıralanabilir (Banville ve ark., 2020). Analiz merkezleri faz bias bilgilerini üretirken farklı stratejiler izlemekte ve dolayısıyla bunların kullanımı yazılıma bağımlı hale gelmektedir. Ayrıca yayınlanan AR ürünleri yalnızca uyumlu hassas efemeris ve saat bilgisi ile kullanılabilir. Bu nedenle herhangi bir yazılım kullanılarak PPP-AR performansı incelenirken kullanılan ürünlerin de değişkenlik gösterdiği göz ardı edilmemelidir.

Son yıllarda PPP-AR yöntemine olan ilgi analiz merkezlerinin AR çözümü için gerekli ürünleri geliştirmesi, PPP-AR yazılımlarının geliştirilmesi ile PPP yaklaşımının gelecekte daha yaygın şekilde kullanılacağı umulmaktadır. Bu tez çalışmasında ise farklı yazılımlar incelenmiş ve CSRS-PPP yazılımı seçilerek farklı enlem bölgelerindeki IGS istasyonları ile PPP ve PPP-AR yöntemlerinin konum doğruluğu, standart sapma, karesel ortalama gibi istatistikî değerleri de ortaya koyarak kapsamlı bir incelenmiştir. Konum doğruluğuna etki eden bir başka etmen olan troposferik gecikme kestirimi de bu çalışma kapsamında göz önüne alınmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Hu, ve ark., 2014'te yapılan çalışmada PPP-AR yöntemi kullanılarak bir madencilik sahasında deformasyon izleme çalışması yapılmıştır. Buna göre PPP-AR' nin yaklaşım süresinde ve konum doğruluğunda etkin bir iyileşme sağladığı görülmüştür.

Yigit, ve ark., 2014'te yapılan çalışmada farklı gözlem sürelerinde GPS, GLONASS ve GPS+GLONASS uydu kombinasyonu kullanılarak PPP yönteminin performans analizi yapılmıştır. Kısa gözlem sürelerinde GPS+GLONASS kombinasyonun üstünlüğü görülmüştür.

Tegedor, ve ark., 2015'de Norveç açıklarında hareket eden bir gemide RTK ve PPP-AR yöntemleri kullanılarak konum bilgisi elde edilmiştir. PPP-AR için gerekli olan faz bias bilgisi iki farklı istasyondan elde edilmiş ve AR çözümünün PPP'de ortalama %10 iyileşme sağladığı bulunmuştur.

Bahadır, ve Nohutcu, 2018'de yaptıkları çalışmada Türkiye ve çevresi için Multi-GNSS kombinasyonlarının PPP'ye etkisini incelemiştir. GPS+GLONASS+GALILEO+BEIDOU kombinasyonun en iyi sonucu verdiğini bulmuşlardır. Ayrıca dört uydu sisteminin de kullanılması durumunda yaklaşım süresinde de iyileşme olduğu bulunmuştur.

Goudarzi ve Banville 2018 yılında Kanada'da yaptığı çalışmada yüzey deformasyonlarının incelenmesinde statik bağıl yöntem ile PPP-AR yöntemlerini karşılaştırmıştır. PPP-AR'nin konum ve hız doğruluğu bakımından kullanılabilir olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca veri işleme süresinin de daha kısa olduğu gösterilmiştir.

Li, ve ark., 2018'de yapılan çalışmada PPP-AR için gerekli olan faz bias bilgisinin elde edilmesine ilişkin bir model geliştirilmiş ve AR çözümünün konum doğruluğuna etkisi incelenmiştir. AR çözümünün konum doğruluğunu arttırdığı ortaya koyulmuştur.

Alçay, ve ark., 2019'da simülasyon aparatı kullanılarak PPP ve bağıl yöntem ile deformasyon izleme performansı incelenmiştir. 24 saatlik gözlem süresinde PPP yöntemiyle yatayda 8.1 mm, düşeyde 19.2 mm kayıklığın tespit edilebildiği bulunmuştur. Ayrıca gözlem süresi kısaldıkça tespit edilebilen deformasyon büyüklüğünün de azaldığı görülmüştür.

Bezicioğlu ve ark., 2019, Antarktika'da yapılan kinematik bir uygulamada, PPP-AR çözümünün, PPP-float çözümünden daha hızlı yaklaşım süresinde ve daha doğru sonuç verdiği görülmüştür.

Katsigianni, ve ark., 2019'da yapılan çalışmada GPS ve GALILEO uydularının kombinasyonu kullanılarak kinematik PPP-AR yönteminin performansı incelenmiştir. Galileo uydularının GPS-PPP-AR' ye konum doğruluğu bakımından iyileştirme sağladığı görülmüştür.

Li, ve ark., 2020'de GPS, GALIEO ve BEIDOU uydularına ait üçlü frekans PPP-AR çözümü gerçekleştirmişlerdir. Çift frekans kullanılması durumuna göre üçlü frekansta yaklaşım süresinde yaklaşık %15 iyileşme sağladığı ortaya konmuştur. Ayrıca kinematik konum belirlemede üç boyutlu konum doğruluğunun ortalama 2.2 cm değerinde olduğu belirtilmiştir.

Ogutcu 2020'de yapılan çalışmaya göre farklı uydu geometrileri dikkate alınarak bağıl ve PPP yöntemlerinde AR çözümünün katkısını araştırmıştır. Doğu koordinat bileşeninde AR'nin iyileşme sağladığını ortaya koymuştur.

3. UYDULARLA KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Uydularla konum belirleme temel olarak uydu-alıcı uzaklığının belirlenerek uzaydan geriden kestirme probleminin çözülmesi işlemidir. Sinyal uydudan alıcıya ulaşana kadar atmosferik gecikme, sinyal yansımaları vb. pek çok etkiye maruz kalmaktadır (Kahveci ve Yıldız 2012). Bu etkiler sonucunda da uydu-alıcı uzaklığının hesaplanma doğruluğu azalmakta ve dolayısıyla konum doğruluğu düşmektedir. Temel GNSS ölçüleri olarak sayılan kod ve faz ölçüleri kullanılarak konum belirleme probleminin çözümü için farklı yöntemler geliştirilmiştir (Şekil 3.1.).

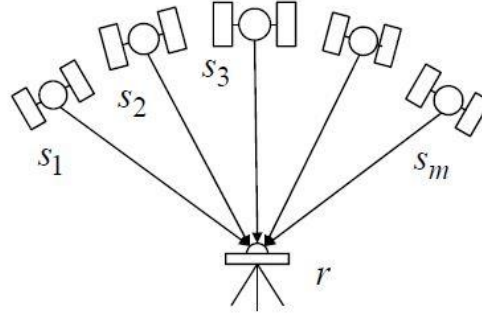


Şekil 3.1. Uydularla konum belirleme yöntemleri

Mutlak konum belirlemede kullanıcı tek bir GNSS alıcısıyla ölçü yaparken, bağlı konum belirleme yönteminde biri referans alıcı olmak üzere iki alıcıya ihtiyaç vardır.

3.1. Mutlak Konum Belirleme

SPP (Standart Point Positioning) ve PPP (Precise Point Positioning) olarak iki başlıkta incelenebilir. SPP, kod ölçüleri ve yayın efemerisi kullanılarak herhangi bir ilave düzeltme bilgisi alınmaksızın en az 4 uydu ile yapılan 3 boyutlu kaba bir konum belirleme yöntemidir (Şekil 3.2). SPP için tek frekanslı bir alıcı yeterlidir. GNSS hata kaynaklarından dolayı sağladığı doğruluk değişmekle birlikte çoğunlukla birkaç metre mertebesindedir. Bu konum doğruluğu jeodezik çalışmalar için oldukça yetersiz olup navigasyon amaçlı kullanıma sahiptir. Günümüzde akıllı telefonlar, insansız hava araçları, deniz araçları, araç takip sistemleri gibi pek çok alanda kullanılmaktadır (Kahveci, 2017).



Şekil 3.2. SPP Konum Belirleme (Takasu, 2013)

Ancak Ağ-RTK (Real-Time Kinematic) yönteminde, sanal referans istasyonu (VRS) düzeltmelerinin hesaplanması için gerekli olan ilk gezici alıcı koordinatları bu şekilde hesaplanmaktadır. Ağ düzeltmeleri yardımıyla hassas konum belirleme yapılacağından sanal referans istasyonunun konumunun hassas bir şekilde belirlenmesine gerek yoktur.

PPP, faz ölçülerinin de kullanıldığı mutlak konum belirlemenin özel bir durumu olup hassas yörünge ve saat bilgileri yardımıyla ve belirli bir yaklaşım süresinden sonra duyarlı konum bilgisi verebilmektedir (Zumberge ve ark., 1997; Abou-Galala ve ark., 2018). Uzun bir yaklaşım süresi gerektirmesi en büyük dezavantajı olarak sayılabilir. PPP'ye ilişkin detaylı bilgi 4.Bölümde verilmiştir.

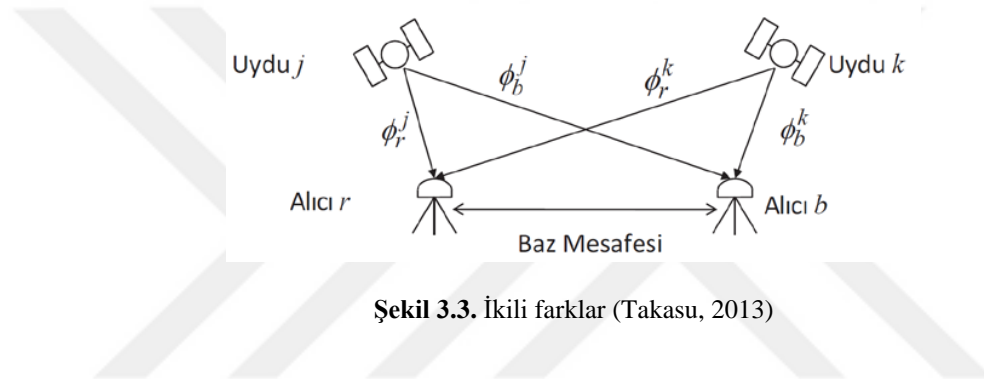
3.2. Bağıl Konum Belirleme

Bağıl yöntemlerin mutlak yöntemden en önemli farkı koordinatları bilinen bir referans alıcıyla eş zamanlı gözlem yapma zorunluluğudur. DGNSS (Differential GNSS) yönteminde üç boyutlu konum belirleme için kod ölçüleri kullanılarak en az 4 uyduya gözlem yapılması gerekmektedir. Kod ölçülerini alabilen en az tek frekanslı iki alıcıya ihtiyaç vardır. Referans alıcı koordinatları iyi bilinen bir noktada sürekli gözlem yaparak düzeltme miktarını hesaplar. Düzeltme çeşitli iletişim araçları ile yayınlanır ve gezici alıcılar konumlarını bu düzeltmeyi kullanarak hesaplar. Sağladığı konum doğruluğu metre mertebesindedir. Havacılıkla DGNSS yöntemi ile uçaklara navigasyon hizmeti sağlanır. Referans alıcıdan uzaklaştıkça atmosferik şartların oldukça değişmesi sebebiyle konum doğruluğu düşer. Klasik DGNSS için baz mesafesi en fazla 200-250 km'dir (Kahveci, 2017).

3.2.1. Statik Yöntem

Statik ölçü yönteminde faz ölçülerini yapabilen çift frekanslı en az iki alıcıya ihtiyaç vardır. Konum belirleme büroda sonradan değerlendirme şeklindedir. Statik oturumların süresi baz mesafesi, istenilen doğruluk gibi etmenlere göre seçilir. Günümüzde çoğunlukla datum belirleme, deformasyon izleme gibi milimetre düzeyinde konum belirleme ihtiyacı olan bilimsel amaçlı çalışmalarda kullanılmaktadır. Bağıl konum belirlemenin pratik kullanımı ise gerçek zamanlı kinematik yöntem olan Klasik veya Ağ-RTK (Real Time Kinematik) şeklindedir.

Bağıl yöntemde (Statik veya RTK) ikili farklar alınarak pek çok hata kaynağı giderilmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. İkili farklar (Takasu, 2013)

İyonosferin birinci dereceden etkisini giderebilmek için hem bağıl hem de PPP yöntemlerinde genellikle gözlem eşitliği olarak kod ve faz gözlemlerinin iyonosferden-bağımsız kombinasyonu kullanılır (Takasu, 2013). İyonosferden-bağımsız kod ve faz gözlemleri sırasıyla 3.1 ve 3.2'deki gibi yazılabilir (Ogutcu, 2020).

$$P_{IF,r}^s = (f1^2 * P1^s - f2^2 * P2^s) / (f1^2 - f2^2) \quad (3.1)$$

$$\phi_{IF,r}^s = (f1^2 * \phi1^s - f2^2 * \phi2^s) / (f1^2 - f2^2) \quad (3.2)$$

Burada f1 ve f2 Hertz biriminde taşıyıcı dalga fazın frekansını, P1, P2, \phi1 ve \phi2 metre biriminde kod ve taşıyıcı faz ölçülerini göstermektedir.

Bağıl konum belirleme için ikili farklar alınmış fonksiyonel model aşağıdaki gibi yazılabilir (Ogutcu, 2020).

$$\phi_{1,ij}^{kl} = \rho_{ij}^{kl} - T_{ij}^{kl} + I_{ij}^{kl} - \lambda_1 * N_{1,ij}^{kl} + \epsilon_{\phi,1,ij}^{kl} \quad (3.3)$$

$$\phi_{2,ij}^{kl} = \rho_{ij}^{kl} - T_{ij}^{kl} + \left(\frac{f1^2}{f2^2} \right) * I_{ij}^{kl} - \lambda_2 * N_{2,ij}^{kl} + \epsilon_{\phi,2,ij}^{kl} \quad (3.4)$$

$$P_{1,ij}^{kl} = \rho_{ij}^{kl} - T_{ij}^{kl} - I_{ij}^{kl} + \epsilon_{P,1,ij}^{kl} \quad (3.5)$$

$$P_{2,ij}^{kl} = \rho_{ij}^{kl} - T_{ij}^{kl} - \left(\frac{f_1^2}{f_2^2} \right) * I_{ij}^{kl} + \epsilon_{P,2,ij}^{kl} \quad (3.6)$$

Yukarıda verilen eşitliklerdeki

i ve j indisleri alıcıları,

k ve l indisleri ise uyduları,

$\phi_{n,ij}^{kl}$ ve $P_{n,ij}^{kl}$ sırasıyla n frekans olmak üzere faz ve kod için ikili fark gözlemlerini,

ρ_{ij}^{kl} uydu-alıcı arası mesafeyi,

T_{ij}^{kl} troposferik gecikmeyi,

I_{ij}^{kl} iyonosferik gecikmeyi,

$N_{n,ij}^{kl}$ tamsayı belirsizliğini,

$\epsilon_{\phi,n,ij}^{kl}$ ve $\epsilon_{P,n,ij}^{kl}$ sırasıyla faz ve kod için ölçü gürültüsünü göstermektedir. Buna göre bilinmeyen parametreler 3 boyutlu koordinatlar, iyonosferik gecikme ve tam sayı belirsizliğidir. Uydu-alıcı saat hataları ikili farklar alınarak giderilmiş haldedir.

3.2.1. Real Time Kinematik Yöntemi

RTK yönteminde referans alıcı konumu iyi bilinen bir noktada yaptığı taşıyıcı dalga faz gözlemlerini kullanarak düzeltmeyi hesaplar ve radyo modem veya internet aracılığıyla yayımlar. Gezici alıcı ise bu düzeltme bilgisi yardımıyla konumunu hassas bir şekilde hesaplayabilir. RTK yönteminin konum doğruluğu cm mertebesindedir. Faz belirsizliğinin çözümü için başlangıçta en az 5 uydu, sonrasında ise 4 uydu gereklidir. Baz mesafesi en fazla 15-20 km'dir (Kahveci, 2017). Ağ-RTK yönteminde ise bir bölgeyi kapsayan referans alıcılar sürekli olarak gözlem yapar ve kontrol merkezine iletir. Gezici alıcılar kontrol merkezine internet aracılığıyla bağlanarak çeşitli yöntemlerle (VRS/FKP/MAC) düzeltme miktarını hesaplar ve konumunu belirler. RTK ve statik yöntemlerde faz ölçüleri kullanıldığından DGNSS' ten farklı olarak başlangıç faz belirsizliğinin çözülmesi gerekmektedir.

RTK yönteminin statik bağıl konum belirlemeden en büyük farkı başlangıç faz belirsizliğinin anında çözülmesi gerekmektedir. Bu işlem OTF (on-the-fly ambiguity resolution) olarak adlandırılır. Tam sayı belirsizliğinin çözülmesi için başlangıçta gereken süre initialization adlandırılır ve bunun için en az 5 uyduya gözlem yapılmalıdır sonrasında ise en az 4 uydu izlenmelidir.

RTK yönteminin doğruluğu;

- Referans alıcının koordinatlarının doğruluğuna,
- Çevresel etkenlere (sinyal yansıması),
- Baz mesafesine,
- Gezici alıcının hareketliliğine,
- Yazılımlarda kullanılan algoritmalara bağlıdır (Aydın ve ark., 2004).



4. HASSAS NOKTA KONUM BELİRLEME (PPP) YÖNTEMİ

Mutlak konum belirlemenin özel bir durumu olarak ortaya çıkan PPP hassas yörünge ve saat bilgileri kullanılarak belirli bir yaklaşım süresinden sonra (örn. 30 dk) cm mertebesinde konum doğruluğu sağlayan bir yöntemdir (Zumberge ve ark., 1997; Abou-Galala ve ark., 2018). PPP yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi, yapı sağlığının izlenmesi, yer yakın uyduların konumunun belirlenmesi gibi pek çok bilimsel çalışmada kullanılmaktadır (Kouba, 2003; Yigit, 2016). Özellikle 24 saatlik gözlem dosyaları kullanılan sabit istasyonların zaman serilerinin çıkarılması gibi bilimsel çalışmalarda yaklaşım süresinin önemi ortadan kalktığından sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir.

Ancak Geleneksel PPP yöntemi tam sayı belirsizliği çözümünü içermezken, son yıllarda yeni tam sayı belirsizlik çözümünü içeren PPP-AR' ye ilişkin çalışmalar yapılmaktadır (Li, ve ark., 2020; Katsigianni, ve ark., 2019; Li, ve ark., 2018; Goudarzi ve Banville, 2018; Tegeador, ve ark., 2015; Hu, ve ark., 2014). Geleneksel PPP algoritmasında genellikle tam sayı belirsizliği çözümü yapılmadığından kısa gözlem sürelerinde bağıl yöntem daha iyi sonuç vermektedir (Ogutcu, 2020). PPP'de tam sayı belirsizlik çözümünün önündeki engel bağıl yöntemde ikili farklarla giderilen, alıcı ve uydulardan kaynaklanan donanım faz/kod gecikmesidir (uncalibrated hardware delay-UHD). Bu hatanın giderilmesi için ise hassas yörünge ve saat bilgilerinin yanında yine analiz merkezleri tarafından üretilen ek düzeltme bilgisine ihtiyaç vardır. Donanım gecikmelerinin ihmal edilmesi durumunda bilinmeyen olarak kalır ve belirsizlik tam sayı değere çözülmez. Bu durumda çözüm PPP-float olarak adlandırılır.

Son yıllarda PPP'de gerçek zamanlı hassas yörünge ve saat bilgilerinin yayınlanmaya başlamasıyla RT-PPP (Real Time PPP) uygulamaları da yapılmaya başlanmıştır.

Bu bölümde PPP yöntemine etki eden hata kaynakları kısaca incelenecek daha sonra PPP fonksiyonel modeli anlatılacaktır.

4.1. PPP Hata Kaynakları

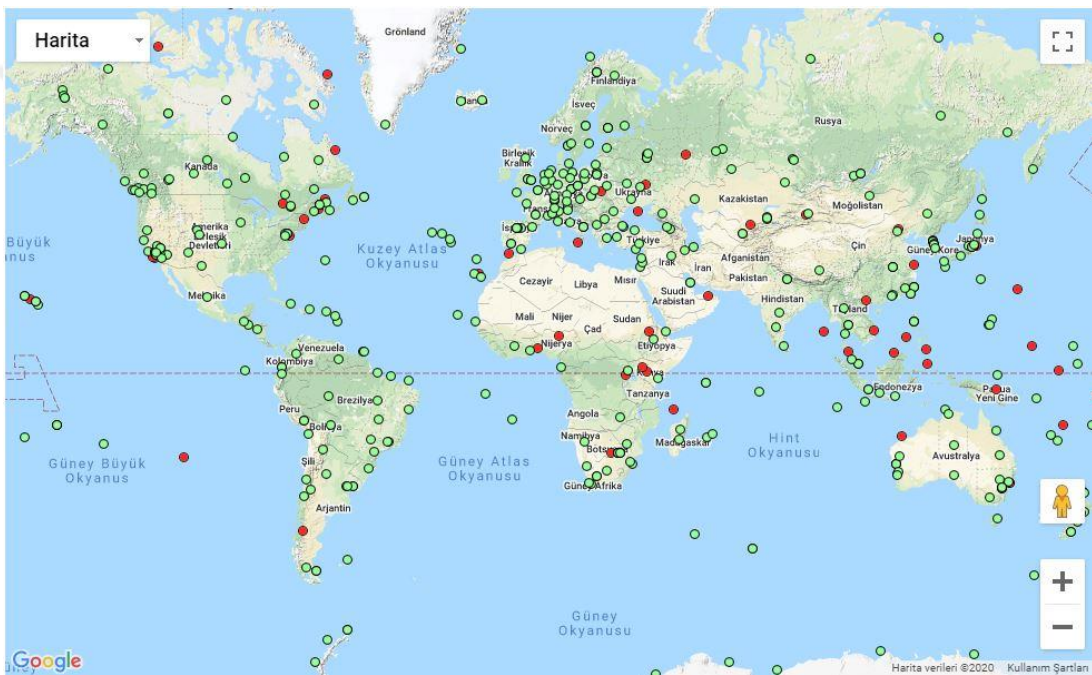
PPP yönteminde duyarlı konum belirleme mutlak yöntem ile yapıldığından genel GNSS hata kaynaklarının yanı sıra diğer hata kaynakları da göz önüne alınmalıdır.

4.1.1. Uydu Yörünge ve Saat Hatası

Bütün GNSS uyduları navigasyon mesajının bir parçası olarak yayın efemerisi ve saat bilgisini yayınlarlar. Yayın efemerisi GNSS kontrol bölümü istasyonları tarafından

toplanan kod gözlemlerine dayalı olarak WGS84 (World Geodetic System 1984) koordinat sisteminde hesaplanır (Kahveci 2017). Doğruluğu metre mertebesinde olup hassas nokta konumlama için yetersizdir.

IGS analiz merkezi hassas efemeris ve saat bilgisini internet üzerinden yayınlamaktadır (Kahveci, 2017). Bu bilgiler yeryüzüne dağılmış istasyonların faz gözlemlerine dayalı olarak hesaplanır (Şekil 4.1). Bu işlem IGS analiz merkezi tarafından ölçü anından sonra gerçekleştiğinden Final hassas efemeris ve saat bilgisine ölçü gününden 14 gün sonra erişilebilmektedir. Final ürünler için yörünge doğruluğu 2.5 cm, saat doğruluğu 75 ps olup PPP için yeterlidir (URL-1, 2020).



Şekil 4.1. IGS İstasyonları (URL-2, 2020)

4.1.2. Alıcı Saat Hatası

GNSS ile konum belirlemenin temel ilkesi zaman ölçümüdür. GNSS uyduları yüksek duyarlılıklı atomik saatler ile donatılmışken alıcılar daha ekonomik olan kuvars saatlerle donatılmıştır. Alıcı saatlerindeki bu eksiklik alıcı saat hatasına neden olmaktadır. Bağıl konum belirlemede ikili farklarla etkisi ortadan kaldırılmaktadır.

PPP’de ise tespit edilip giderilmezse konum doğruluğunu olumsuz etkilemektedir (Bahadır ve Nohutcu, 2019). Alıcı saat hatası belirli bir aralığın üzerine çıktığında, alıcı saatinde genellikle 1 milisaniye büyüklüğünde olan bir iç düzeltme meydana gelir. Bu düzeltme RINEX (Receiver Independent Exchange Format) dosyasında doğrudan 1

milisaniye kayıklık olarak veya kod ve faz ölçülerine yansımış olarak görülmektedir (Guo ve Zhang, 2014).

4.1.3. Troposfer

Atmosferin yeryüzünden yaklaşık ilk 60 km'lik katmanı troposfer olarak adlandırılır. Hava olaylarının gerçekleştiği troposfer katmanı GNSS sinyallerinde gecikmeye neden olur. Bu gecikme sıcaklık, basınç, nem ve alıcının yeryüzündeki konumuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Subirana ve ark., 2013). Troposferik gecikme GNSS sinyallerini frekanstan bağımsız olarak etkilemektedir. Yani kod ve faz ölçüsü troposferden aynı büyüklükte etkilenmektedir (Subirana ve ark., 2013). Frekanstan bağımsız bir hata kaynağı olması nedeniyle kombinasyonlarla giderilmesi mümkün değildir.

Troposferik gecikme kuru bileşen ve ıslak bileşen olarak iki grupta incelenmektedir. Kuru veya hidrostatik olarak adlandırılan birinci bileşen, toplam troposferik gecikmenin %90'ını oluşturmaktadır. Islak bileşen ise troposferin daha alt kısmında bulunan çoğunlukla su buharını içermektedir. Hidrostatik gecikme kolayca modellenenirken ıslak bileşen yapısındaki düzensizlikler nedeniyle modellenememektedir.

Troposferik gecikme sinyal yayılım yoluna bağlı olduğundan genellikle zenit yönünde ve yükseklik engel açısına göre formüle edilmektedir (Hofmann-Wellenhof ve ark., 2008).

$$T = Z_{dry}M_{dry}(E) + Z_{wet}M_{wet}(E) \quad (4.1)$$

Burada E yükseklik engel açısı, Z_{dry} kuru bileşene ilişkin zenit gecikme, Z_{wet} ıslak bileşene ilişkin zenit gecikme, M_{dry} ve M_{wet} ise sırasıyla kuru ve ıslak bileşen için haritalama fonksiyonunu ifade etmektedir.

Haritalama fonksiyonları zenit gecikmeyi uydu yükseklik açısına göre ölçeklendirmek için kullanılmaktadır. Niell Mapping Function (NMF), Vienna Mapping Function (VMF) ve Global Mapping Function (GMF) en çok kullanılan haritalama fonksiyonlarıdır. Global Mapping Function, VMF'in mevsimsel ortalamalarının küresel harmonik açılımı kullanmaktadır (Niell, 1996; Böhm ve ark., 2006).

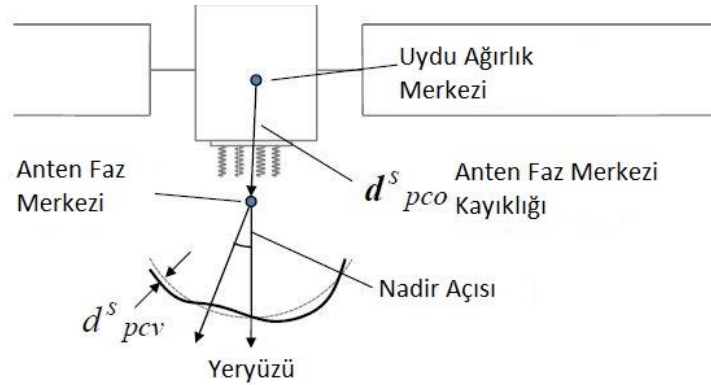
4.1.4. İyonosfer

Atmosferin yeryüzünden ilk 60 km'lik troposfer katmanından sonra yaklaşık 1000 km'ye kadar olan katmanı iyonosfer olarak adlandırılır. İyonosfer katmanında bulunan serbest elektronlar GNSS sinyalleri üzerinde bozucu etkiler göstermektedir. İyonosferdeki toplam elektron yoğunluğu (TEC: Total Electron Content) sinyal yayılımını etkilemektedir. Ayrıca jeomanyetik ve solar fırtınalar da konum doğruluğunu etkilemektedir. Elektron yoğunluğundaki düzensizlikler nedeniyle iyonosferin GNSS sinyalleri üzerindeki etkisini modellemek zordur (Seeber, 2008).

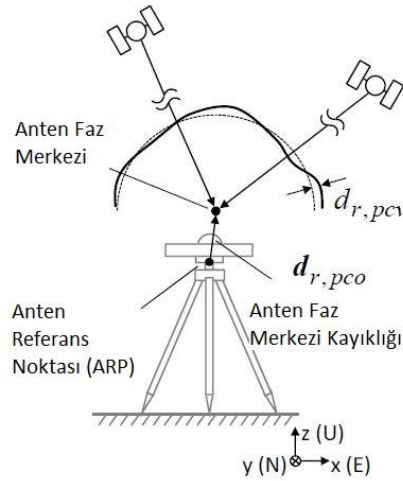
GNSS sinyalleri iyonosfer katmanından geçerken faz ölçüleri hızlanırken kod ölçüleri gecikmeye uğrar. İyonosferin birinci dereceden etkisi GNSS sinyallerinin iyonosferden bağımsız kombinasyonu ile %99 civarında giderilebilmektedir. Geleneksel PPP yönteminde de iyonosferden bağımsız kombinasyon kullanılmaktadır (Hofmann-Wellenhof ve ark., 2008).

4.1.5. Anten Faz Merkezi

Uydu ve alıcılarda GNSS ölçüleri anten faz merkezi adı verilen noktada yapılır. Ancak anten faz merkezi antenin geometrik merkezi anlamına gelmemektedir. Dolayısıyla bu kayıklık anten faz merkezi hatası olarak adlandırılmaktadır. Uydu ve alıcı anten faz merkezleri Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te verilmiştir. Anten faz merkezi GNSS sinyalinin geliş açısına ve frekansına bağlı olarak değişmektedir (Subirana ve ark., 2013).



Şekil 4.2. Uydu Anten Faz Merkezi (Takasu, 2013)



Şekil 4.3. Alıcı Anten Faz Merkezi (Takasu, 2013)

IGS tarafından yayınlanan hassas efemeris bilgisi uydu ağırlık merkezine göre hesaplanmaktadır. Ancak navigasyon mesajı uydu anten faz merkezine göre belirlenmektedir. Dolayısıyla bu kayıklığın düzeltilmesi gerekmektedir.

Alıcıda ise GNSS sinyalleri farklı doğrultulardan geldiğinden dolayı anten faz merkezi kayıklığı durumu daha karmaşıktır. L1 ve L2 sinyalleri için farklı anten faz merkezi düzeltmesi uygulanması gerekmektedir. Alıcı anten faz merkezi kayıklığı düzeltilmediği takdirde genellikle yükseklikte 10 cm'ye varan hata meydana gelmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2012). Bağıl konum belirlemede farklı anten modelleri kullanılması durumunda dikkate alınması gereken bir hata kaynağıdır. Ancak PPP yönteminde mutlaka giderilmesi gereken önemli bir hata kaynağıdır. Bu hatanın giderilmesi için hesaplamalar anten tipine uygun olan PCV (Phase Center Variations) dosyası kullanılarak yapılmalıdır. Ya da IGS tarafından farklı anten modellerine ait PCV bilgilerini içeren “igs14.atx” dosyası kullanılmaktadır.

4.1.6. Faz Dönüklük Hatası (Phase Wind-Up)

GNSS uyduları sağa polarizasyonlu sinyal yayınladığından dolayı faz gözlemleri uydu ve alıcı antenlerinin birbirlerine karşılıklı yönlendirilmesine bağlıdır. Antenlerin karşılıklı yönlendirilmesi taşıyıcı fazın 1 dalga boyu kaymasına neden olmaktadır. Bu kayıklığa ise Faz Dönüklük (Phase Wind-Up) Hatası adı verilmektedir (Wu ve ark., 1993). Bu hata genel olarak GNSS uydularının güneş panellerini güneşe doğru yöneltmesi hareketi sonucunda meydana gelmektedir.

Bağıl konum belirlemede genellikle ihmal edilen Faz Dönüklük hatası, hassas nokta konumlamada modellenerek düzeltilmektedir.

4.1.7. Katı Yeryuvarı Gelgiti (Solid Earth Tides)

Yeryuvarı uzayda sürekli olarak Güneş'in Ay'ın ve diğer gezegenlerin kütle çekimine maruz kalmaktadır. Bu çekim etkileri ve sonucunda oluşan gelgit yeryüzündeki GNSS ölçü noktalarını periyodik olarak hareket ettirmektedir. Bu durum katı yeryuvarı gelgiti olarak adlandırılmaktadır. Noktalarda yer değiştirme etkisi yatayda 5 cm, düşeyde ise 30 cm'ye ulaşabilmektedir (Kouba, 2015). Milimetre mertebesinde konum doğruluğu isteniyorsa göz önüne alınması gereken bir hata kaynağıdır.

Yer değiştirme miktarı gelgit sıklığına ve coğrafi konuma bağlı olarak küresel harmonik açınımla ifade edilmektedir. Love Number ve Shida Number adı verilen (n,m) katsayıları küresel harmoniğin derecesini ve sırasını temsil etmektedir (Wahr, 1981). Genel olarak yer değiştirme kalıcı ve periyodik olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir. Periyodik bileşen statik konum belirlemede gün boyunca ortalama alınarak ihmal edilebilirken, kalıcı bileşenin etkisi kalmaktadır. Kalıcı bileşenin yer değiştirme etkisi orta enlem bölgelerinde 12 cm'ye kadar ulaşabilmektedir. Ancak ITRF (International Terrestrial Reference Frame) sistemiyle uyumluluk açısından hem periyodik hem de kalıcı bileşenin dikkate alınması gerekmektedir (Kouba, 2015).

4.1.8. Okyanus Yüklemesi (Ocean Loading)

Okyanus gelgitlerine bağlı olarak okyanus kütlelerinde meydana gelen geçici değişimlerin yer kabuğuna baskısı sonucu oluşan deformasyon okyanus yüklemesi olarak adlandırılmaktadır. Katı yeryuvarı gelgitine göre etkisi yerel ve daha küçüktür.

Okyanus yüklemesinin etkisi 24 saatin üzerinde ve kıyı kenarından uzak olan statik GNSS ölçülerinde ihmal edilebilirken, kinematik konum belirleme ve sahil kesimlerine yakın bölgelerde göz önüne alınması gereken bir hata kaynağıdır (Kouba, 2015).

4.1.9. Kutup Gelgiti (Polar Tide)

Güneş'in, Ay'ın ve diğer gezegenlerin dışında yeryuvarının kendi eksenini etrafındaki dönüşündeki değişimler de yer kabuğunda periyodik deformasyonlara yol açmaktadır. Katı yeryuvarı gelgiti ve okyanus yüklemesinin aksine kutup gelgiti 24 saatlik süre içerisinde ortalama alınabilecek düzenli bir değişim göstermemektedir. Kutup

gelgiti düşeyde 25 mm, yatayda ise 7 mm civarında yer değiştirmeye neden olabilmektedir (Kouba, 2015). Dolayısıyla milimetre mertebesinde konum belirlemeyi amaçlayan uygulamalarda kutup gelgiti etkisinin giderilmesi gerekmektedir.

4.1.10. Diferansiyel Alıcı ve Uydu Yanlılıkları (DCB)

Uydu ve alıcılardaki donanım gecikmelerinin neden olduğu sinyalin iletim süresindeki kayıklığa Diferansiyel Alıcı ve Uydu Yanlılıkları (DCB: Differential Code Bias) adı verilir. Başka bir deyişle kod ve faz ölçüleri teoride olduğu gibi uydudan aynı anda çıkmamaktadır. Bu durum ise DCB olarak adlandırılan hataya sebep olmaktadır. Tek frekanslı alıcılarda mutlaka giderilmesi gerekmektedir. Çift frekanslı alıcılarda ise iyonosferden bağımsız kombinasyonda kullanılan frekansların hassas yörünge ve saat ürünlerinin hesaplanmasında kullanılan frekanslardan farklı olması durumunda göz önüne alınması gerekmektedir (Montenbruck ve Hauschild, 2013).

DCB hatası genel olarak uyduya özgü ve alıcıya özgü olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Alıcıya ait kısmın etkisi genellikle alıcı saat hatası üzerine bindiğinden ihmal edilmektedir. Uyduya ait kısmın ise “.DCB” dosyası kullanılarak düzeltilmesi gerekmektedir. “.DCB” düzeltmeleri CODE (Centre of Orbit Determination) ve IGS analiz merkezleri tarafından hesaplanmakta ve kullanıcılara internet üzerinden sunulmaktadır.

4.1.11. Faz Kesikliği

Bilindiği üzere GNSS ile duyarlı konum belirleme faz gözlemlerine dayalı olarak yapılabilmektedir. Alıcı faz gözlemi yaparken meydana gelebilecek sinyal kesilmesi faz ölçüsünde kesikliğe neden olmaktadır. Faz kesikliği olarak adlandırılan bu hatanın tespit edilip çözülmediği durumda PPP’de yaklaşım süresi ve konum doğruluğunu olumsuz etkilemektedir.

Çift frekanslı alıcılarda kullanılan kombinasyonlarla faz kesikliğini tespit etmek ve düzeltmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan Melbourne-Wübbena ve Geometriden Bağımsız kombinasyon birlikte kullanılarak faz kesikliği başarılı bir şekilde tespit edilip onarılabilmektedir (Melbourne, 1985; Wübbena, 1985).

4.1.12. Başlangıç Tamsayı Belirsizliği

Geleneksel PPP yönteminde uydu ve alıcılar arasında oluşan faz bias nedeniyle tamsayı belirsizliği çözümü yapılamamaktadır. Gerçek değerli tamsayı parametresiyle

çözüm yapıldığında ise konum doğruluğu ve yakınsama süresinde olumsuz etkiler görülebilmektedir. PPP’de tamsayı belirsizliği ancak hassas uydu yörünge ve saat bilgilerinin yanı sıra, sabit GNSS istasyonlarından oluşan bir ağdan yararlanılarak faz bias bilgisinin önceden kestirilmesiyle (network solution) mümkün olmaktadır. Farklı IGS analiz merkezleri bu işlemleri yapmakta ve PPP tamsayı belirsizliği çözümü için gerekli ürünleri düzenli olarak yayınlamaktadır.

4.2. PPP Fonksiyonel Modeli

İyonosferden bağımsız kombinasyon olarak PPP gözlem eşitliği (3.1) ve (3.2)’de verilen kod/faz gözlemleri kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir (Ogutcu 2020).

$$P_{IF,r}^S = \rho + c * (dt_r - dt^S) + d_{trop} + HD_{P,r,IF} - HD^{P,S,IF} + \epsilon_{P,IF} \quad (4.2)$$

$$\phi_{IF,r}^S = \rho + c * (dt_r - dt^S) + d_{trop} + \lambda_{IF} * (N_{IF}^S + UHD_{IF,r} - UHD^{IF,S}) + \epsilon_{\phi,IF} \quad (4.3)$$

Burada:

- $P_{IF,r}^S$ ve $\phi_{IF,r}^S$ kod ve faz gözlemlerinin iyonosferden bağımsız kombinasyonu,
- ρ uydu-alıcı arasındaki geometrik mesafeyi,
- c boşluktaki ışık hızını,
- dt_r alıcı saat hatasını,
- dt^S uydu saat hatasını,
- d_{trop} troposferik gecikmeyi,
- λ_{IF} dalga boyunu,
- N_{IF}^S iyonosferden bağımsız tamsayı başlangıç faz belirsizliğini,
- $UHD_{IF,r}$ ve $UHD^{IF,S}$ alıcı ve uydu için donanım faz gecikmesini,
- $HD_{P,r,IF}$ ve $HD^{P,S,IF}$ uydu ve alıcı için donanım kod gecikmesini,
- $\epsilon_{P,IF}$ ve $\epsilon_{\phi,IF}$ ise kod ve faz için ölçü gürültülerini ifade etmektedir.

Yukarıda verilen λ_{IF} , N_{IF} ve UHD açık olarak şöyle yazılabilir.

$$\lambda_{IF} = \frac{f1^2}{f1^2 - f2^2} * \lambda_1 - \frac{f2^2}{f1^2 - f2^2} * \lambda_2 \quad (4.4)$$

$$N_{IF} = \frac{f1^2 * N_1}{f1^2 - f2^2} - \frac{f2^2 * N_2}{f1^2 - f2^2} \quad (4.5)$$

$$HD_{P,r,IF} = (f1^2 * HD_{r,1} - f2^2 * HD_{r,2}) / (f1^2 - f2^2) \quad (4.6)$$

$$HD^{P,S,IF} = (f1^2 * HD^{S,1} - f2^2 * HD^{S,2}) / (f1^2 - f2^2) \quad (4.7)$$

$$UHD_{IF,r} = (f1^2 * UHD_{r,1} - f2^2 * UHD_{r,2}) / (f1^2 - f2^2) \quad (4.8)$$

$$UHD^{IF,s} = (f1^2 * UHD^{s,1} - f2^2 * UHD^{s,2}) / (f1^2 - f2^2) \quad (4.9)$$

PPP'de ağdan hesaplanan UHD bilgisi olmaksızın iyonosferden bağımsız tam sayı belirsizliği yapılamamaktadır (Ogutcu, 2020). Yani PPP'de belirsizlik çözümü yapılabilmesi için UHD bilgisine ihtiyaç vardır.

4.2.1. Geleneksel PPP Modeli

Geleneksel PPP modeli olarak anılan Kouba ve Héroux'un 2001 yılında ortaya koyduğu matematiksel modeldir. Buna göre önceki bölümde verilen 4.2 ve 4.3 eşitlikleri Geleneksel PPP modeli için yeniden düzenlenirse aşağıdaki gibi olur.

$$P_{IF,r}^s = \rho + c * (dt_r - dt^s) + d_{trop} + \epsilon_{P,IF} \quad (4.10)$$

$$\phi_{IF,r}^s = \rho + c * (dt_r - dt^s) + d_{trop} + \lambda_{IF} * N_{IF}^s + \epsilon_{\phi,IF} \quad (4.11)$$

4.2.1.1. Gözlem Eşitlikleri

ECEF (Earth Centered Earth Fixed) koordinat sisteminde uydu-alıcı arasındaki mesafe;

$$\rho = \sqrt{(X_s - X^r)^2 + (Y_s - Y^r)^2 + (Z_s - Z^r)^2} \quad (4.12)$$

şeklinde yazılabilir.

Burada X_s, Y_s, Z_s uyduya ait koordinatlar hassas yörünge bilgisinden elde edildiğinden bilinmeyen olarak alıcıya ait X^r, Y^r, Z^r kalmaktadır. Uydu saat hatası da yine hassas yörünge ve saat bilgisi yardımıyla giderildiğinden dt^s parametresi de bilinen olarak kalır. Troposferik gecikme ise kuru ve ıslak olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Kuru bileşen troposferik modeller ile büyük oranda giderildiğinden sadece ıslak bileşen Z_{wet} bilinmeyen olarak alınır. Bunlar dışında n uydu sayısı kadar faz belirsizlik parametresi kalmaktadır. Alıcı sinyal gürültüsü, sinyal yansımaları ve diğer modellenemeyen etkiler dikkate alınmadığında bilinmeyen ölçü vektörü 4.13 halini almaktadır.

$$x = [X^r, Y^r, Z^r, cdt_r, Z_{wet}, N_{IF,1,2,...,n}^s] \quad (4.13)$$

PPP'de sonuç iteratif çözüm yolu ile elde edildiğinden bilinmeyenlere yaklaşık değerler (a priori) verilmelidir. Bu durumda koordinat bileşenleri için RINEX dosyasındaki yaklaşık alıcı koordinatları ve troposferik gecikme için matematiksel modelden elde edilen değer kullanılırken, faz belirsizlik bileşeni ve alıcı saat hatası için sıfır değeri verilir.

4.2.1.2. Dengeleme

Kouba ve Heroux 2001' e göre dengeleme prosedürü ardışık filtreleme (sequential filter) ile verimli bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Buna göre işlem adımları sırasıyla aşağıda verilmiştir. Bilinmeyen parametreler lineer olmadığından diferansiyel alınarak lineer hale getirilir. Böylece A katsayılar matrisi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{IF}}{\partial X^r} & \frac{\partial P_{IF}}{\partial Y^r} & \frac{\partial P_{IF}}{\partial Z^r} & \frac{\partial P_{IF}}{\partial dt_r} & \frac{\partial P_{IF}}{\partial Z_{wet}} & 0 \\ \frac{\partial \phi_{IF}}{\partial X^r} & \frac{\partial \phi_{IF}}{\partial Y^r} & \frac{\partial \phi_{IF}}{\partial Z^r} & \frac{\partial \phi_{IF}}{\partial dt_r} & \frac{\partial \phi_{IF}}{\partial Z_{wet}} & \frac{\partial \phi_{IF}}{\partial N_{IF}^s}_{1,2,\dots,n} \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

Her bir epok için hesaplanan parametre güncellemesi aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$\delta = (\partial X^r, \partial Y^r, \partial Z^r, \partial Z_{wet}, \partial N_{IF}^s_{1,2,\dots,n}) \quad (4.15)$$

$$\delta = (A^T C_y^{-1} A + C_x^{-1})^{-1} (A^T C_y^{-1} L) \quad (4.16)$$

Burada C_y^{-1} gözlemlere ilişkin kovaryans matrisi, C_x^{-1} bilinmeyen parametrelere ilişkin kovaryans matrisini, L ise gözlem eşitliğini ifade etmektedir. Eşitliğin ($A^T C_y^{-1} L$) kısmı sabit olup sadece bilinmeyen parametrelerin kovaryans matrisi her epokta yeniden hesaplanarak güncellenmektedir.

GNSS hesaplarında ölçü ağırlıklandırma genellikle yükseklik açısına bağlı olarak yapılmaktadır. Bu durumda yükseklik açısına bağlı bir fonksiyon aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$k = \begin{cases} \sin^2 E, & E < 30 \\ \sin E, & E > 30 \end{cases} \quad (4.17)$$

$$\sigma_p^2 = \frac{\sigma_{p,0}^2}{k}, \quad \sigma_\phi^2 = \frac{\sigma_{\phi,0}^2}{k}$$

Buradaki σ_p^2 ve σ_ϕ^2 sırasıyla kod ve faz ölçülerin öncül varyanslarını ifade etmektedir. Buna göre C_y ve C_x (4.18) ve (4.19)'deki gibi yazılabilir.

$$\frac{\partial P_{IF}}{\partial dt_r} = \frac{\partial \phi_{IF}}{\partial dt_r} = c = 1 \quad (4.25)$$

$$\frac{\partial P_{IF}}{\partial Z_{wet}} = \frac{\partial \phi_{IF}}{\partial Z_{wet}} = M_{wet}(E) \quad (4.26)$$

$$\frac{\partial \phi_{IF}}{\partial N_{IF}^s}_{1,2,\dots,n} = 1 \quad (4.27)$$

$$A = \begin{bmatrix} \frac{-X_s - X^r}{\rho_0^1} & \frac{-Y_s - Y^r}{\rho_0^1} & \frac{-Z_s - Z^r}{\rho_0^1} & 1 & M_{wet} & 1 & 0 & \dots \\ \frac{-X_s - X^r}{\rho_0^1} & \frac{-Y_s - Y^r}{\rho_0^1} & \frac{-Z_s - Z^r}{\rho_0^1} & 1 & M_{wet} & 0 & 0 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{-X_s - X^r}{\rho_0^n} & \frac{-Y_s - Y^r}{\rho_0^n} & \frac{-Z_s - Z^r}{\rho_0^n} & 1 & M_{wet} & 0 & \dots & 1 \\ \frac{-X_s - X^r}{\rho_0^n} & \frac{-Y_s - Y^r}{\rho_0^n} & \frac{-Z_s - Z^r}{\rho_0^n} & 1 & M_{wet} & 0 & 0 & \dots \end{bmatrix} \quad (4.28)$$

İyonosferden bağımsız ölçü vektörü ise aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$L_{\phi,P} = \begin{bmatrix} L_{\phi,S_1} \\ L_{P,S_1} \\ L_{\phi,S_2} \\ L_{P,S_2} \\ \vdots \\ L_{\phi,S_n} \\ L_{P,S_n} \end{bmatrix} \quad (4.29)$$

Yukarıda verilen eşitliklere göre Geleneksel PPP'nin dengeleme iş akışı aşağıda verilmiştir. Öncelikle (4.13)'de verilen ölçü vektörü için başlangıç yaklaşık değerleri verilir. Daha sonra iteratif çözüme geçilir.

$$\delta_0 = (A_0^T C_y^{-1} A_0 + C_{x_0}^{-1})^{-1} (A_0^T C_y^{-1} L) \quad (4.30)$$

$$x(1) = a \text{ priori} + \delta_0 \quad (4.31)$$

$$C_x(1) = (A_0^T C_y^{-1} A_0 + C_{x_0}^{-1})^{-1} + C_n \quad (4.35)$$

$$\delta_1 = (A_1^T C_y^{-1} A_1 + C_{x_1}^{-1})^{-1} (A_1^T C_y^{-1} L) \quad (4.33)$$

$$x(2) = x(1) + \delta_1 \quad (4.34)$$

$$C_x(2) = (A_1^T C_y^{-1} A_1 + C_{x_1}^{-1})^{-1} + C_n \quad (4.35)$$

İteratif çözümden sonra soncul varyans değeri $V = (Ax - L)$ olmak üzere $\frac{V^T P V}{n-u}$ eşitliği ile hesaplanabilir.

4.2.2. PPP-AR Yöntemi

Geleneksel PPP yönteminde GNSS donanımından kaynaklanan hatalardan dolayı tam sayı belirsizliği çözümü yapılmamaktadır. Bölüm 4.1.12’de belirtildiği üzere bahsedilen faz bias bilgileri farklı IGS analiz merkezleri düzenli olarak hesaplamakta ve internet üzerinden yayınlamaktadır. Farklı analiz merkezleri bu ürünlerin hesaplanmasında çeşitli yaklaşımlar kullanmaktadır. Örneğin iyonosferden bağımsız (IF: iono-free) kombinasyon ile PPP-AR için; IRC (Integer Recovery Clock) modeli (Laurichesse ve ark., 2009), DSC (Decoupled Satellite Clock) modeli (Collins ve ark., 2010), UPD (Uncalibrated Phase Delay) modeli (Ge ve ark., 2008) gibi farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Kullanıcı tarafında da PPP-AR ürünlerinin elde edilmesinde kullanılan aynı yaklaşım kullanılarak çözüm elde edilmektedir. Dolayısıyla PPP-AR yöntemini destekleyen yazılımlar da bu yaklaşımlardan birine göre hazırlanmaktadır. Örneğin Kanada’nın CSRS-PPP online servisi DSC modelini kullanarak PPP-AR çözümü yapmakta ve buna uygun AR ürünlerini kullanmaktadır. Aşağıdaki bölümde DSC modeli kısaca anlatılacaktır.

4.2.2.1. PPP-AR DSC Modeli

Bir uydu alıcı çifti için DSC modeli için iyonosferden bağımsız (IF) kod ve faz gözlemleri aşağıdaki gibi yazılabilir (Leick ve ark., 2015):

$$P_{IF} = \rho + c * (dt^r - dt^s) + d_{trop} + b_{P,IF}^r - b_{P,IF}^s + \epsilon_{P,IF} \quad (4.36)$$

$$\phi_{IF} = \rho + c * (dt^r - dt^s) + d_{trop} - \lambda_{IF} * N_{IF} + b_{\phi,IF}^r - b_{\phi,IF}^s + \epsilon_{\phi,IF} \quad (4.37)$$

Burada $b_{P,IF}^r$ ve $b_{P,IF}^s$ sırasıyla alıcı ve uydu için IF kod bias (code bias), $b_{\phi,IF}^r$ ve $b_{\phi,IF}^s$ alıcı ve uydu için IF faz bias, N_{IF} ise gerçek değerli tamsayı belirsizlik terimini ifade etmektedir. PPP hata kaynakları bölümünde anlatılan uydu yörünge hatası, faz dönüklük hatası, gelgit etkileri gibi modellenebilen/giderilebilen veya etkisi en aza indirilebilen

hatalar Eşitlik 4.36 ve 4.37’de gösterilmemiştir. Geleneksel PPP yönteminde N_{IF} teriminin gerçek değeri kullanılmakta, PPP-AR yönteminde ise uydu/alıcı kod ve faz bias kalibre edildiğinde ancak tamsayı değeri hesaplanabilmektedir. Collins ve ark., 2010 ‘da ortaya koyulan DSC modelinde IF kombinasyonun yanında Melbourne-Wübbena (MW) adı verilen başka bir lineer kombinasyon da kullanılmaktadır (Melbourne, 1985; Wübbena, 1985). MW kombinasyonu geniş aralık (wide-lane: WL) faz ve dar aralık (narrow-lane: NL) kod gözlemlerinin farkı şeklinde ifade edilmektedir. Geniş aralık ve dar aralık gözlemlerinin dalga boyları aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$\lambda_{WL} = \frac{c}{f_1 - f_2} ; \lambda_{NL} = \frac{c}{f_1 + f_2} \quad (4.38)$$

Buradaki f_1 ve f_2 frekansları çift frekansı temsil etmektedir. Buna göre MW gözlemi ise

$$MW = -\lambda_{WL} * N_{WL} + b_{MW}^r - b_{MW}^s + \epsilon_{MW} \quad (4.39)$$

şeklinde yazılabilir (Shi ve Gao, 2014). Buradaki N_{WL} geniş aralığa ait belirsizlik terimi, b_{MW}^r ve b_{MW}^s ise sırasıyla alıcı ve uydu için MW bias, ϵ_{MW} ise kalan modellenmeyen hatadır. DSC modeli yukarıda anlatılan 4.36, 4.37, ve 4.39 eşitliklerinden oluşmaktadır. Buna göre bilinmeyen parametreler Eşitlik 4.40’deki gibi gösterilebilir.

$$X = [\bar{x}, d_{trop}, dt^r, dt^s, b_*^r, b_*^s, \widetilde{N}_{WL}, \widetilde{N}_{IF}] \quad (4.40)$$

Burada \bar{x} alıcı konum vektörünü, b_*^r ve b_*^s gözleme bağlı alıcı ve uydu kod/faz bias, \widetilde{N}_{WL} ve \widetilde{N}_{IF} ise her bir uydu için WL ve IF tamsayı belirsizliklerini göstermektedir. Eşitlik 4.40’deki bilinmeyen parametre sayısı, bilinen sayısından daha fazla olup burada bir datum defekti oluşur. DSC modelindeki datum defekti, parametrelerin düzenlenmesi ve iki yeni datumun tanımlanmasıyla çözülür (Shi, 2012). Öncelikle Eşitlik 4.37’deki IF ambiguity terimi aşağıdaki gibi ikiye ayrıştırılır.

$$N_{IF} = 17N_1 + 60N_{WL} \quad (4.41)$$

Buradaki N_1 , f_1 frekansındaki tamsayı belirsizliğini ifade etmektedir. Daha sonra ayrılmış saatler (decoupled clocks), uydu/alıcı saat hatası ile ilgili kod/faz bias karşılığının toplamı şeklinde elde edilir. Sonuç olarak DSC modelinin son hali aşağıdaki gibi olur (Shi, 2012).

$$\begin{aligned} P_{IF} &= \rho + c * (dt_{P,IF}^r - dt_{P,IF}^s) + d_{trop} + \epsilon_{P,IF} \\ \phi_{IF} &= \rho + c * (dt_{\phi,IF}^r - dt_{\phi,IF}^s) + d_{trop} - \lambda_{IF} * (17N_1 + 60N_{WL}) + \epsilon_{\phi,IF} \\ MW &= (b_{MW}^r - b_{MW}^s) - \lambda_{WL} * N_{WL} + \epsilon_{MW} \end{aligned} \quad (4.42)$$

Buradaki $dt_{P,IF}^r$ ve $dt_{P,IF}^s$ kod gözlemine ait alıcı ve uydu ayrılmış saat hatalarını, $dt_{\phi,IF}^r$ ve $dt_{\phi,IF}^s$ ise faz gözlemine ait karşılıklarını ifade etmektedir.

İkinci adımda ise belirsizlik ve saat datumu adı verilen iki yeni datum tanımlanır. Bunlardan saat datumu ağıdaki herhangi bir alıcının referans seçilmesi ve bunun kod/faz

hatalarının sıfır kabul edilmesi şeklinde tanımlanabilir. Belirsizlik datumu ise bir referans uydu seçilerek bunun N_1 ve N_{WL} belirsizliklerine rastgele tamsayı değerler atanması şeklinde tanımlanabilir (Shi ve Gao, 2014). Böylelikle datum defekt sorunu ortadan kalkmış olur. DSC modelinde datum defektinin ortadan kaldırılmasını ilişkin daha detaylı bilgi Shi, 2012 kaynağında verilmiştir.

4.3. Gerçek Zamanlı PPP (RT-PPP)

Son yıllarda IGS-RTS' nin (IGS-Real Time Service) gerçek zamanlı hassas yörünge ve saat bilgilerini yayınlamasıyla birlikte RT-PPP uygulamalarının yapılması da olanaklı hale gelmiştir (URL-3, 2020). IGS gerçek zamanlı ürünleri kullanıcılara ücretsiz bir şekilde üyelikle internet üzerinden NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) protokolü ile sunulmaktadır. Gerçek zamanlı ürünler yayın efemerisi ve saat düzeltmesinden oluşmaktadır. Bu ürünler RTCM-SSR (Radio Technical Commission for Maritime Services- State Space Representation) formatında yayınlanmaktadır.

IGS-RTS yörünge ve saat düzeltme bilgilerinin yanında yeryüzüne dağıtılmış GNSS istasyonlarının GNSS veri akışlarını da içermektedir. RT-PPP uygulamaları için BKG (Federal Agency for Cartography and Geodesy) Ntrip Client ve pek çok yazılım geliştirilmiştir (Alçay, 2019).

Böylece herhangi bir IGS-RTS istasyonunun gerçek zamanlı konumu, yörünge ve saat düzeltme bilgileri yardımıyla gerçek zamanlı olarak belirlenebilmektedir.

5. PPP YAZILIMLARI

Hassas nokta konum belirleme uygulamaları için büroda sonradan değerlendirme ve gerçek zamanlı (RT-PPP) olmak üzere pek çok yazılım üretilmiştir. Ayrıca bazı kuruluşlar web servisi şeklinde PPP hizmeti sunmaktadır.

5.1. RT-PPP Yazılımları

Son yıllarda IGS-RTS' nin gerçek zamanlı yörünge ve saat düzeltmesi bilgilerini yayınlamaya başlamasıyla pek çok RT-PPP yazılımı geliştirilmiştir (Alçay, 2019). Bu yazılımlardan başlıcaları;

- BNC-BKG NTRIP Client (URL-4, 2020),
- RTKLIB-Real Time Kinematic Library (URL-5, 2020),
- PPP-WIZARD-PPP With Integer and Zero Difference Ambiguity Resolution Demonstrator (URL-6, 2020),
- PANDA-Positioning And Navigation Data Analyst (Liu ve Ge., 2003),
- G-NUT (URL-7, 2020),
- P3 (URL-8, 2020),

yazılımlarıdır. Bu yazılımlara ilişkin genel bilgiler aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

5.1.1. BNC

BKG tarafından geliştirilen BNC yazılımı IGS gerçek zamanlı yörünge ve saat düzeltmesi akışlarını işleyerek RT-PPP hesaplamalarını yapabilmektedir. BNC yazılımı GPS, GLONASS, GALILEO ve BEIDOU uydu sistemlerine ait gözlemleri desteklemektedir. Kod veya kod+faz gözlemlerini kullanarak iyonosferden bağımsız lineer kombinasyon ile hesaplamaları gerçekleştirmektedir (Weber, ve ark. 2016).

BNC yazılımında önceki bölümde verilen PPP hata kaynaklarından katı yeryuvarı geligiti, faz dönüklük ve anten faz merkezi hataları düzeltilmekte, okyanus yüklemesi ve kutup gelgiti hataları ihmal etmektedir.

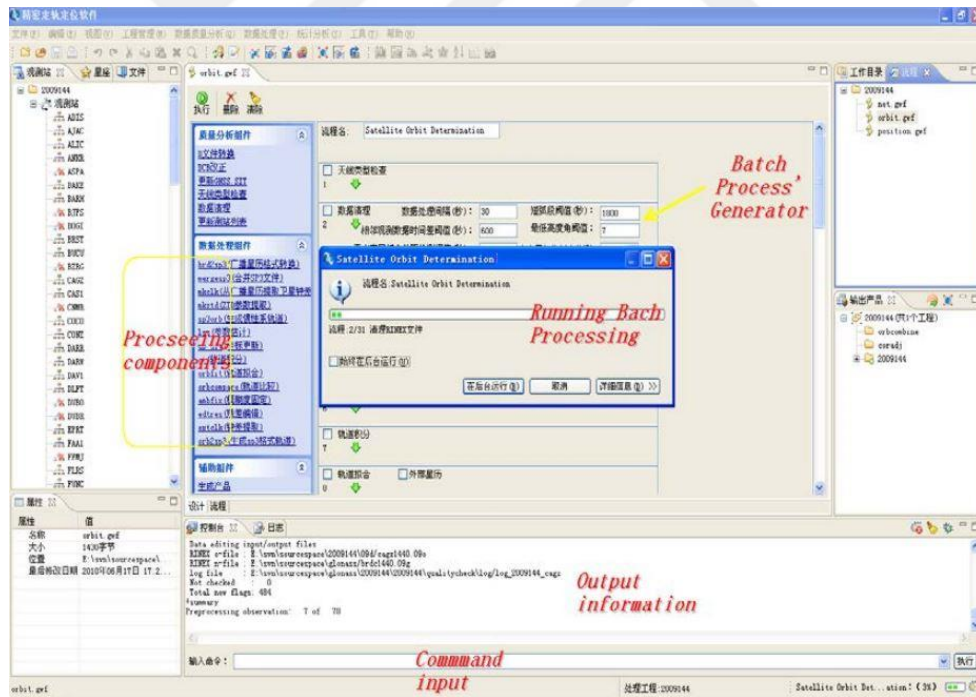
5.1.2. RTKLIB

RTKLIB, Tokyo Üniversitesi tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu bir GNSS yazılım paketidir (Takasu, 2013). Yazılımın RTKNAVI modülü gerçek zamanlı konum belirleme uygulamaları için geliştirilmiştir. SPP, DGNSS, RTK gibi farklı konum belirleme yöntemlerinin yanı sıra PPP seçeneğini de desteklemektedir. RTKLIB yazılımı

PPP-WIZARD, CNES tarafından geliştirilmiştir. Yazılım GPS, GLONASS, GALILEO ve BEIDOU uydularına ait kod, faz ve doppler gözlemlerini kullanabilmektedir. Diğer iki yazılımdan farklı olarak PPP-AR konum belirleme seçeneğine sahiptir (Laurichesse ve Privat, 2015). PPP-AR özelliği CNES analiz merkezinin yayınlamış olduğu SSRA00CNE0 ve SSRC00CNE0 düzeltme akışları yardımıyla yapılmaktadır. Ayrıca yazılım grafik arayüze sahip olmayıp yalnızca Linux işletim sistemlerinde komut satırında çalışabilmektedir.

5.1.4. PANDA

Wuhan Üniversitesi GNSS Araştırma Merkezi tarafından 2003 yılında yayınlanan PANDA (Positioning And Navigation Data Analyst) yazılımı RT-PPP ve alçak yörüngeli uyduların gerçek zamanlı hassas konumlarının belirlenmesi gibi pek çok bilimsel çalışmada kullanılmaktadır (Shi, ve ark., 2008). Yazılım grafik arayüze sahip olup ekran görüntü Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. PANDA Yazılımı (Shi, ve ark., 2012)

GNSS’ in yanı sıra SLR (Satellite Laser Ranging), VLBI (Very Long Baseline Interferometry), DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite) verilerini de işleyebilmektedir. 2007 yılından beri gerçek zamanlı veri işleme özelliğine sahiptir. PANDA yazılımı:

- GPS, GLONASS, GALILEO ve BEIDOU uyduları için hassas yörünge belirleme,
- CHAMP, GRACE, COSMIC, JASON gibi LEO (Low Earth Orbit) uyduları için hassas yörünge belirleme,
- İyonosferin modellenmesi,
- Geniş ağ dengeleme,
- Hassas nokta konum belirleme,

gibi pek çok bilimsel amaçlı çalışmada kullanılabilir (Shi, ve ark., 2012). Kabuk deformasyonu çalışmalarında oldukça başarılı sonuçlar verebilmektedir. PANDA yazılımı aynı zamanda post process veri işlemeye olanak tanımaktadır (Liu ve Ge, 2003).

PANDA 2008 yılında yaptığı bir güncelleme ile tam sayı belirsizlik çözümüne imkan vermeye başlamıştır. Shi, ve ark., 2008'de bir saatlik statik ölçü için 3 boyutta 2 cm, iki saatlik kinematik ölçü için ise 3 boyutta yaklaşık 3 cm ve daha iyi doğruluk sağladığı belirtilmektedir.

5.1.4. G-NUT

Geodetic Observatory Pecny (GOP) tarafından geliştirilen G-Nut yazılım kütüphanesi, kinematik konum belirleme, sabit istasyonların uzun süreli konum bilgisinin izlenmesi, zenit troposferik gecikme tahmini gibi işleri gerçekleştirebilmektedir. Açık kaynak kodlu bir yazılım olup post-process ve real-time uygulamalar yapılmasına olanak sağlamaktadır (Vaclavovic ve ark., 2013).

5.2. Post Process PPP Yazılımları

Büroda sonradan değerlendirme yazılımı olarak pek çok akademik, ücretli veya ücretsiz yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılımlardan bazıları online web servisi şeklinde olup ücretsiz bir şekilde kullanıcılara sunulmaktadır. Başlıca PPP yazılımlarından bazıları;

- GipsyX/RTGx (URL-9, 2020),
- Bernese (URL-10, 2020),
- PRIDE-PPPAR (URL-11, 2020),
- MG-APP (Xiao ve ark., 2020),
- RTKLIB,
- PANDA,

şeklinde sıralanabilir.

5.2.1. GipsyX/RTGx

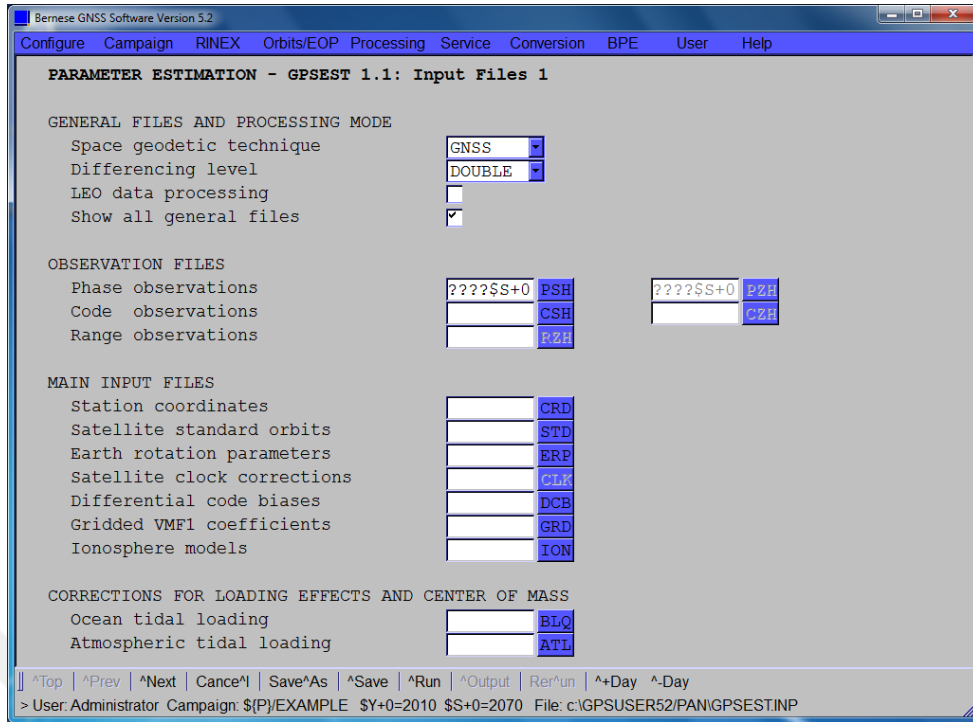
GipsyX/RTGx, NASA (National Aeronautics and Space Administration)'ya bağı JPL (Jet Propulsion Laboratory) tarafından geliştirilen jeodezik tekniklerden GNSS, SLR ve DORIS kullanarak konum belirleme ve navigasyon hesaplarını yapabilen akademik bir yazılımdır. GipsyX yazılımını konum, hız, uydu yörünge ve saat bilgileri, yer dönme ve iyonosferik-troposferik gecikmelerin kestirimini yapabilmektedir. GIPSY-OASIS yazılımının devamı niteliğinde ortaya konan GipsyX, doğruluk, duyarlılık ve kullanışlılık açısından daha gelişmiş bir yazılımdır (Bertiger ve ark., 2020). RTGx yazılımını ise LEO uydularının yörüngelerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Yazılım Linux ve Mac OS işletim sistemlerinde çalışmakta olup grafik ara yüze sahip değildir.

GipsyX yazılımını hassas nokta konum belirleme ve bağı konum belirleme uygulamalarını gerçekleştirebilmektedir. GipsyX/RTGx yazılımını C++ ve Python yazılım dillerinde geliştirilmiştir. JPL'in GPS uydularına ilişkin geliştirdiği yüksek doğruluklu fiziksel modellerini kullanmaktadır. GPS, GLONASS, BeiDou ve Galileo uydu sistemlerine ait verileri işleyebilmektedir. Güçlü bir tamsayı belirsizlik çözümü yapmaktadır.

GipsyX yazılımını GPS uyduları için PPP-AR yöntemini statik uygulamalar için yatayda 2 mm, düşeyde 6,5 mm tekrarlanabilirlik ile yapabilmektedir (Bertiger ve ark., 2020).

5.2.2. Bernese

Bernese yazılımını AIUB (Astronomical Institute of the University of Bern) tarafından geliştirilmiş yüksek hassasiyetli, bilimsel bir GNSS veri değerlendirme yazılımıdır. Bernese 5.2 versiyonu GPS, GLONASS ve GALILEO uydularına ait gözlemleri değerlendirebilmektedir. Yazılım ağı dengelemesi ve hassas nokta konum belirleme yapabilmektedir (Dach, 2015). Grafik ara yüzü bulunan Bernese, Windows, Unix/Linux, Mac işletim sistemlerinde çalışabilmektedir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Bernese 5.2 Yazılımı

Bernese yazılımı BPE (Bernese Processing Engine) ile kullanıcılara otomatik process yapma kolaylığı sağlamaktadır.

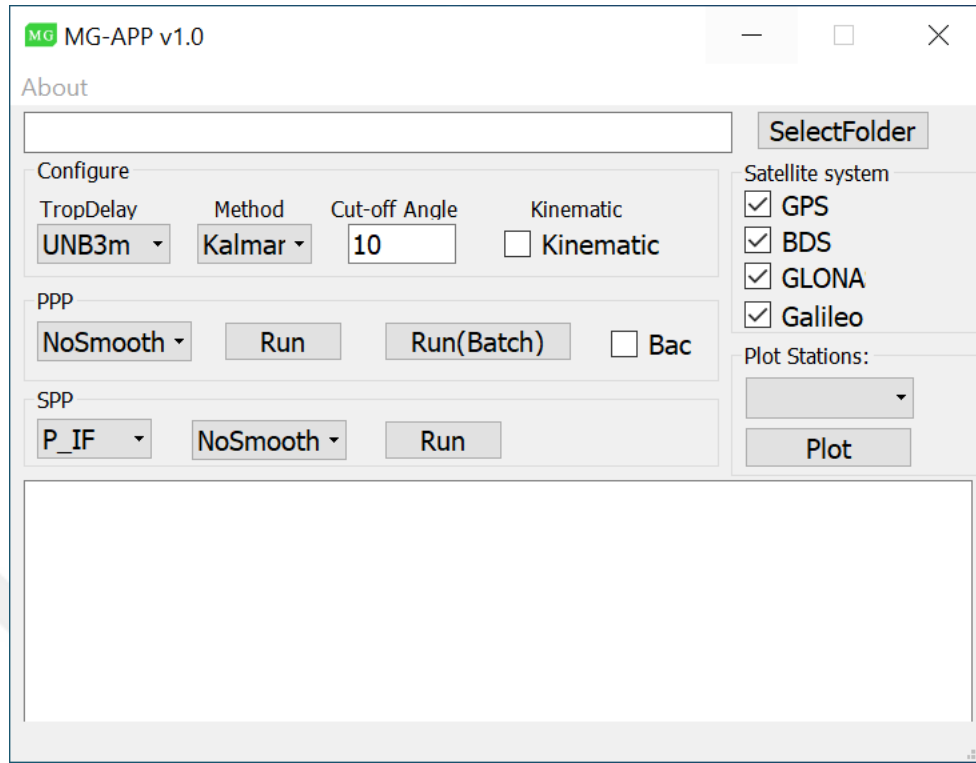
5.2.3. PRIDE-PPPAR

PRIDE-PPPAR yazılımı Wuhan Üniversitesi GNSS Araştırma Merkezi tarafından geliştirilmiş açık kaynak kodlu ve ücretsiz bir akademik yazılımdır. Yüksek duyarlık gerektiren yer bilimleri, levha hareketi ve troposfer izleme gibi çalışmalarda kullanılmak üzere geliştirilmiştir. PRIDE-PPPAR v.1.3 versiyonunda sadece GPS uyduları desteklenmektedir. Multi-GNSS versiyonu halen geliştirilmektedir (Geng ve ark., 2019). Yazılım grafik arayüze sahip olmayıp Linux işletim sistemlerinde komut satırından çalıştırılmaktadır.

Tam sayı belirsizlik çözümü için bootstrapping ve LAMBDA (Least-squares Ambiguity Decorrelation Adjustment) yöntemleri kullanılabilir.

5.2.4. MG-APP

MG-APP (Multi GNSS Automatic Precise Point Positioning) yazılımı, multi-GNSS hassas nokta konum belirleme uygulamalarını gerçekleştirmek için geliştirilmiş olan açık kaynak kodlu ücretsiz bir yazılımdır. MG-APP yazılımı Windows, Linux ve UNIX işletim sistemlerinde çalışabilmektedir ve grafik arayüze sahiptir.



Şekil 5.4. MG-APP Yazılımı

GPS, GLONASS, BeiDou ve GALILEO uydularına ait gözlemleri, Kalman filtrelemesi veya SRIF (Square Root Information Filter) filtrelemesi kullanarak işleyebilmektedir. Uydu-alıcı anten düzeltmeleri, faz dönüklük, katı yeryuvarı ve kutup gelgitleri, okyanus yüklemesi gibi düzeltmeleri uygulamaktadır (Xiao ve ark., 2020).

5.3. Online PPP Servisleri

PPP yazılımlarının kullanımını kolaylaştırmak amacıyla çeşitli online PPP servisleri bulunmaktadır. Online PPP servisleri çoğunlukla bir eposta adresi ile üyelik gerektirmektedir. Kullanımları ise oldukça basit olup GNSS veri işleme alanında uzmanlık sahibi olmayan kişiler de rahatlıkla kullanabilmektedir. Çeşitli kurum veya kuruluşlar tarafından işletilen bazı online PPP servisleri;

- CSRS-PPP (URL-12)
- APPS (URL-13)
- GAPS (URL-14)

şeklinde sıralanabilir.

5.3.1. CSRS-PPP

NRCan (Natural Resources Canada) tarafından 2003 yılında yayınlanan web tabanlı bir PPP servisedir. Günümüzde pek çok çalışmada sıklıkla kullanılmaktadır. Kullanıcının RINEX formatındaki gözlem dosyasını sisteme yüklemesi yeterlidir (Şekil 5.5). CSRS-PPP, ITRF ve NAD83 (North American Datum 1983) referans sistemlerinde sonuç verebilmektedir. Servis üyelik ile ücretsiz bir şekilde hizmet sunmaktadır. GPS ve GPS/GLONASS çözümü yapmaktadır. Ölçü anından 90 dakika sonra çözüm yapmaya imkan vermektedir (Bezcioglu ve ark., 2019).

The screenshot displays the CSRS-PPP web interface. At the top, there is a search bar with the text 'Help for CSRS PPP (Updated 2020-04-07)' and two buttons: 'Profile' and 'Sign out'. Below this is a section for 'Email for results (required)' with a text input field containing 'farukatiz96@gmail.com'. The 'Processing mode' section has two radio buttons: 'Static' (selected) and 'Kinematic'. Below this are two tabs: 'NAD83' (selected) and 'ITRF'. A list of bullet points is visible: 'The epoch will be the same as the GPS data.' and 'A UTM zone will be calculated from the longitude.' The 'Vertical datum' section has a dropdown menu set to 'CGVD2013'. A section titled 'Contribute to passive control maintenance? (What is this?)' contains a checkbox for 'Authorize the Canadian Geodetic Survey (CGS) to archive and publish CSRS-PPP submission and solution'. Below this is a text input field for 'Official marker station name'. A 'More options' link is present. The 'RINEX observation file(s), 300 MB max (.zip, .gzip, .gz, .Z, .tar, .??O)' section includes a note: 'Note: You may submit multiple RINEX files in a single .zip or .tar archive'. There is a file selection button labeled 'Dosya Seç' and a status indicator 'Dosya seçilmedi'. A 'Submit to PPP' button is at the bottom. At the very bottom, there is a footer with the text: 'Use of Canadian Geodetic Survey products and data is subject to the [Open Government Licence - Canada](#) [Geodetic Reference Systems Information](#)'.

Şekil 5.5. CSRS-PPP Servisi

CSRS-PPP servisi faz kesikliği filtrelemesi, okyanus yüklemesi, alıcı ve uydu anten faz merkezi hatalarının giderilmesi, referans datum dönüşümü gibi düzeltmeleri de içermektedir (Mireault, ve ark., 2008; El-Mowafy, 2011). 1 Ocak 2018 tarihinden önceki GNSS verileri için IGS son duyarlı (Ultra-rapid, Rapid veya Final) efemeris ve saat bilgisini kullanmaktadır (URL-12, 2020).

CSRS-PPP 16 Ağustos 2018 tarihinde bir güncelleme ile SPARK yazılımına geçiş yapmıştır. SPARK yazılımı PPP-AR' ye olanak sağlamaktadır. Resmi olarak

kullanıcıların hizmetine 2020 yılı Eylül ayında açılmıştır. CSRS-PPP versiyon 3 adı verilen bu güncelleme ile DSC modeline dayalı bir PPP-AR algoritması kullanmaktadır (Banville ve ark., 2021).

5.3.2. APPS

APPS (Automatic Precise Positioning Service), NASA JPL tarafından geliştirilen GipsyX/RTGx tabanlı bir web PPP servisi. Statik ve kinematik PPP modlarını destekleyen servis kullandığı Python-API (Application Programming Interface) sayesinde web ara yüzüne girmeden de veri gönderilebilmesine imkân sağlamaktadır. GNSS uydu yörünge ve saat bilgileri için Final, Rapid, ve Ultra ürünlerin yanı sıra Real-Time ürünleri de kullanılabilir. Böylelikle GNSS gözlemlerinin PPP çözümleri oldukça hızlı bir şekilde yapılabilmektedir (URL-13).

The screenshot shows the APPS web interface. The top navigation bar includes links for JPL HOME, EARTH, SOLAR SYSTEM, STARS & GALAXIES, and TECHNOLOGY. The main header features a banner with the text 'The Automatic Precise Positioning Service of the Global Differential GPS System' and an image of a satellite and a person on a phone. Below the banner is a sidebar menu with the following items: Home, Unique Features, About GDGPS, How to use APPS, Account, Under The Hood, Documentation, Submissions, Upload, Logout, and Help. The main content area is titled 'Upload Rinex File(s)' and contains a warning message: 'Please Compress Your Files APPS supports bzip2, gzip, zip, and lzma. You may use archives (tar & zip) to bundle supporting data files (i.e. attitude files, pressure files) with observation files instead of uploading them separately. When submitting archives, only one observation file per archive should be submitted.' Below the warning is a form with the following fields: Job Name (text input), Email Notify (dropdown menu, set to 'Account Default'), Access (dropdown menu, set to 'Private'), Use Case (dropdown menu), Processing Mode (dropdown menu, set to 'Static'), GNSS Orbit & Clock State (dropdown menu, set to 'Best Available'), Troposphere Model (dropdown menu, set to 'GMF'), Ocean Loading (checkbox, checked), Model Tides (checkbox, checked), Elevation Dependnt Weight (dropdown menu, set to 'SqrtSin'), Elevation Angle Cutoff (text input, set to '7.5'), and Solution Period (text input, set to '300').

Şekil 5.6. APPS Servisinin Ara yüzü (URL-13)

Ayrıca troposfer modeli ve yükseklik engel açısı gibi bazı GNSS veri değerlendirme parametrelerini kullanıcının belirlemesi mümkündür.

5.3.3. GAPS

GAPS (The GPS Analysis and Positioning Software), New Brunswick Üniversitesi Jeodezi ve Geomatik Bölümü tarafından geliştirilen bir online PPP servisedir. GPS, GALILEO ve BEIDOU uydularına ait gözlemleri desteklemektedir. Basic modunda kullanıcı sadece yükseklik engel açısı ve öncül koordinatları seçebiliyorken Advanced modunda daha detaylı PPP parametreleri belirlenebilmektedir.

GAPS Basic User Submission

Select Input Observation File: * Dosya seçilmedi

Select System

GPS On Off

Galileo On Off

BeiDou On Off

Select Processing Parameters

X (m) / Latitude (dd.mmsssss)

Y (m) / Longitude (dd.mmssss)

Z (m) / Height (m)

Positioning Static Kinematic

Elevation Cutoff Angle (deg)

E-mail *

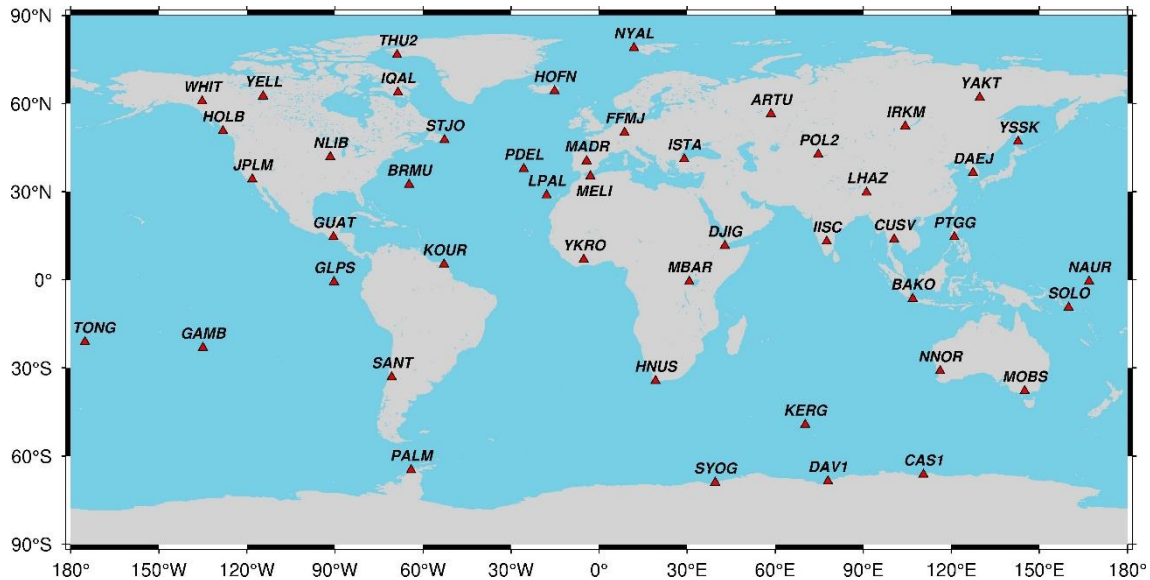
Şekil 5.7. GAPS Servisinin Basic Modu (URL-14)

Advanced modda GPS, GALILEO ve BEIDOU uydu sistemleri için farklı analiz merkezleri tarafından üretilen hassas uydu yörünge ve saat bilgileri kullanılabilir. Ayrıca PPP stokastik ve fonksiyonel modellerine ilişkin pek çok parametre kullanıcı tarafından değiştirilebilir.

6. UYGULAMA

Çalışmanın ilk aşaması 5. Bölümde verilen yazılımlardan en uygun olanı seçilmesidir. Genel olarak incelendiğinde GipsyX, Bernese, PRIDE-PPPAR gibi akademik GNSS veri değerlendirme yazılımları GPS-PPP’de tamsayı belirsizlik çözümü yapabilmektedir. Akademik yazılımlar, ticari veya ücretsiz/online yazılımlara göre daha çok değerlendirme parametresinin seçilmesine olanak sağlamasına rağmen, kullanımı çoğunluklu tecrübe ve profesyonellik gerektirmektedir. Bu çalışmada geniş bir veri seti kullanılarak AR yaklaşımının PPP’de konum doğruluğuna etkisi araştırılacağından veri değerlendirme sürecini kolaylaştırmak amacıyla CSRS-PPP online yazılımı seçilmiştir.

Farklı enlem bölgelerindeki 47 tane GPS ve GLONASS uydularını izleyebilen IGS istasyonununun 2019 yılı DOY 305-335 günlerine ait gözlemleri kullanılmıştır. IGS istasyonlarına ait GNSS gözlemleri IGS web sitesinden ücretsiz bir şekilde indirilmiştir. Veriler tez çalışması kapsamında geliştirilen bir bash script sayesinde hızlı bir şekilde indirilmiştir. GNSS gözlem dosyaları elde edildikten sonra doluluk oranları frekans ve epok sayısını dikkate alarak tespit edilmiştir. Buna göre doluluk oranı %90’dan daha düşük olan RINEX dosyaları değerlendirmeye dahil edilmemiştir. Çalışmada kullanılan IGS istasyonlarının konumları Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Çalışmada kullanılan IGS istasyonları

PPP’de AR yaklaşımının katkısının incelenbilmesi amacıyla veri değerlendirme biri PPP ve diğeri PPP-AR olmak üzere iki temel aşamada gerçekleştirilmiştir. Veri

değerlendirme GPS+GLONASS ve sadece GPS uydu sistemleri kullanılarak yapılmıştır. CSRS-PPP yazılımı veri değerlendirmede kullanılacak uydu sistemlerinin seçilmesine izin vermediğinden GLONASS uydularına ait gözlemler RINEX dosyalarından çıkarılarak sadece GPS uydularına ait gözlemler bulunan RINEX dosyaları oluşturulmuştur. CSRS-PPP yazılımı ile GNSS verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan parametreler Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. GNSS veri değerlendirme parametreleri

Parametre	PPP	PPP-AR
Uydu sistemi	GPS/GPS+GLO	GPS/GPS+GLO
Yazılım sürümü	2.31.0	3.45.0
Veri işleme modu	Statik	Statik
Filtreleme	İleri	İleri
Epok Aralığı	30 s	30 s
Yük. engel açısı	7.5°	7.5°
Gözlemler	Faz ve kod	Faz ve kod
Frekanslar	GPS: C1W, C2W, L1W, L2W GLO: C1P, C2P, L1P, L2P	GPS: C1W, C2W, L1W, L2W GLO: C1P, C2P, L1P, L2P
Hassas efemeris	IGS Final	NRCan Final
Uydu faz bias	-	NRCan
Faz belirsizlikleri	Float	DSC modeli ile çözüldü.
Belirsizlik doğrulama	-	WID (Weighted Integer Decision) (Banville ve ark., 2021)
İyonosfer	1.mertebeden etki IF kombinasyon ile giderildi.	1.mertebeden etki IF kombinasyon ile giderildi.
Kestirilen parametreler	Koordinatlar, Toplam Zenit Gecikme (ZTD), Alıcı saati, Tamsayı belirsizlikleri, Eğik Toplam Elektron İçeriği (STEC)	Koordinatlar, Toplam Zenit Gecikme (ZTD), Alıcı saati, Tamsayı belirsizlikleri, Eğik Toplam Elektron İçeriği (STEC)
Alıcı saat hatası	Beyaz gürültü olarak kestirildi.	Beyaz gürültü olarak kestirildi.
Öncül troposfer	VMF1 (Vienna Mapping Function 1) grid dosyası	VMF1 (Vienna Mapping Function 1) grid dosyası
Zenit troposferik gecikme	Rastgele yürüyüş 5.0e-5 m/sqrt(sec)	Rastgele yürüyüş 5.0e-5 m/sqrt(sec)
Eğik Toplam Elektron İçeriği	Beyaz gürültü 0.1 m/sqrt(sec)	Beyaz gürültü 0.1 m/sqrt(sec)
Referans çerçevesi	ITRF2014	ITRF2014
Yer dönme parametreleri	IGS .erp dosyası	NRCan .erp dosyası
Anten faz merkezi	Düzeltildi.	Düzeltildi.
Gelgit etkileri	Düzeltildi.	Düzeltildi.

IGS analiz merkezleri istasyon koordinat ve hızlarını günlük olarak hesaplamaktadır. Günlük hesaplanan bu çözümler haftalık olarak değerlendirilmekte ve kombine edilerek SINEX (Solution INdependent EXchange Format) formatında yayınlanmaktadır. Örnek olarak 2019 yılı 2079. GPS haftasına ait IGS haftalık çözümü dosyasının başlık bölümüne ait ekran görüntüsü Şekil 6.2’de verilmiştir.

```

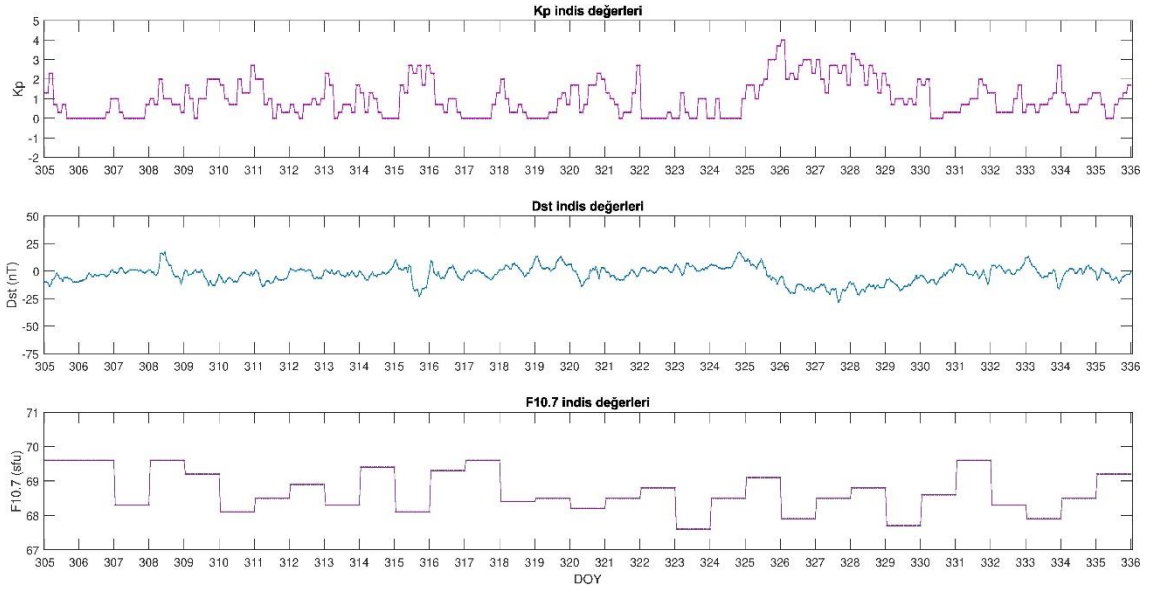
%=SNX 2.02 IGN 19:331:67924 IGN 19:313:75600 19:321:43200 C 1658 2 S E
*-----*
+FILE/REFERENCE
DESCRIPTION      Weekly combination of IGS daily combined solutions
OUTPUT           Weekly combined solution for week 2079
CONTACT          igs-rf@ign.fr
SOFTWARE         CATREF
HARDWARE         Linux
INPUT            Daily combined solutions for week 2079
-FILE/REFERENCE
*-----*
+INPUT/ACKNOWLEDGEMENTS
*AGY             FULL DESCRIPTION
COD Centre for Orbit Determination in Europe, Bern, Switzerland
ESA European Space Agency, Darmstadt, Germany
GFZ Geoforschungszentrum, Potsdam, Germany
GRG Groupe de Recherche en Geodesie Spatiale, Toulouse, France
JPL Jet Propulsion Labs, Pasadena, California, U.S.A.
MIT Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass., U.S.A.
NGS National Geodetic Survey, Silver Springs, Maryland, U.S.A.
NRC Natural Resources Canada, Ottawa, Ontario, Canada
SIO Scripps Institute of Oceanography, San Diego, California, U.S.A.
-INPUT/ACKNOWLEDGEMENTS
*-----*

```

Şekil 6.2. 2019 yılı 2079. GPS haftasına ait IGS haftalık çözümü dosyası

Ayrıca haftalık IGS kombine çözümleri ITRF sistemine katkıda bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında da IGS haftalık kombine çözümleri kesin değer kabul edilerek CSRS-PPP servisinden elde edilen PPP ve PPP-AR çözümlerinin doğruluk analizleri yapılmıştır.

PPP Hata Kaynakları bölümünde anlatıldığı üzere GNSS sinyalleri iyonosfer tabakasından geçerken serbest elektronlardan dolayı bozulmaya uğramaktadır. İyonosferdeki toplam elektron yoğunluğunu ifade eden TEC değerindeki büyük değişimler iyonosferde bozulma olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca uzay iklim koşullarına indis değerleri de iyonosferdeki anomaliler hakkında bilgi vermektedir. İyonosfer kaynaklı bir fırtına gerçekleştiğinde indisler sınır değerlerini aşmaktadır (Alcay ve Gungor 2020). Dolayısıyla GNSS gözlemlerinin kapsadığı tarihlerde herhangi bir iyonosferik anomali olup olmadığı incelenmelidir. Bu amaçla çalışmaya ait gözlemlerin olduğu tarihlerdeki Kp, Dst ve F10.7 indis değerleri NASA-OMNIWeb üzerinden elde edilmiştir (URL-15). Kp, Dst ve F10.7 indis değerlerinin zamana göre değişimi Şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.3. GNSS gözlemleri boyunca Kp, Dst ve F10.7 indis değerleri

Kp indis değeri 5'ten büyük olduğunda jeomanyetik fırtınaya işaret etmektedir. Dst değeri ise -30 nT' den büyük Dst değerleri iyonosferin sakin olduğunu göstermektedir. F10.7 indis değeri ise 150 sfu' yu geçtiğinde yüksek solar aktivite anlamına gelmektedir (Alcay ve Gungor 2020). Buna göre Şekil 6.3 incelendiğinde Kp, Dst ve F10.7 indis değerlerinin üçünün de sınır değerlerini aşmadığı görülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada iyonosferin genel olarak sakin olduğu, yapılan GNSS gözlemlerinin herhangi bir iyonosfer kaynaklı bozulmaya uğramadığı söylenebilir.

6.1. Konum Belirleme Performansının Değerlendirilmesi

CSRS-PPP ile yapılan veri değerlendirmesinden sonra ilk olarak PPP-AR sonuçlarındaki tamsayı belirsizliği çözüm oranları incelenmiştir. Buna göre GPS ve GPS+GLO uydu kombinasyonları için tam sayı belirsizliklerinin en az sırasıyla %84,40 ve %79,75' i çözülmüştür. Ayrıca ortalama tamsayı belirsizlik çözüm oranları incelendiğinde GPS ve GPS+GLO uydu kombinasyonların için sırasıyla %97,62 ve %97,68 değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre PPP-AR yönteminin başarıyla uygulandığı söylenebilir.

GNSS veri değerlendirmesinden elde edilen kartezyen koordinatlar (X, Y, Z), IGS haftalık çözümleri referans alınarak toposentrik sisteme (kuzey, doğu, yukarı) dönüştürülmüştür. Bilindiği üzere yapılan ölçünün gerçek değerden farkı hata miktarını vermektedir. Dolayısıyla toposentrik koordinatlar aynı zamanda doğruluk analizi için de

kullanabilmektedir. Bundan sonraki analizler toposentrik koordinatlar kullanılarak yapılmıştır. Her bir istasyona ait sonuçlara ilişkin karesel ortalama hata (KOH) ve standart sapma (STD) değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$KOH = \sqrt{\frac{\sum(x)^2}{n}} \quad (6.1)$$

$$STD = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (6.2)$$

Burada x ilgili toposentrik koordinat bileşenini, n toplam ölçü sayısını ve \bar{x} ölçülerin ortalama değerini ifade etmektedir. İstasyon bazında hesaplanan karesel ortalama hata, standart sapma, mutlak maksimum ve ortalama değerleri tez çalışmasının sonunda EK olarak verilmiştir. Sonuçlar hakkında genel bilgi vermesi amacıyla Çizelge 6.2. ve Çizelge 6.3'te PPP ve PPP-AR çözümlerine ait sadece GPS ve GPS+GLO uydu konfigürasyonları ile elde edilen KOH değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.2. GPS uydu konfigürasyonuna ait KOH değerleri

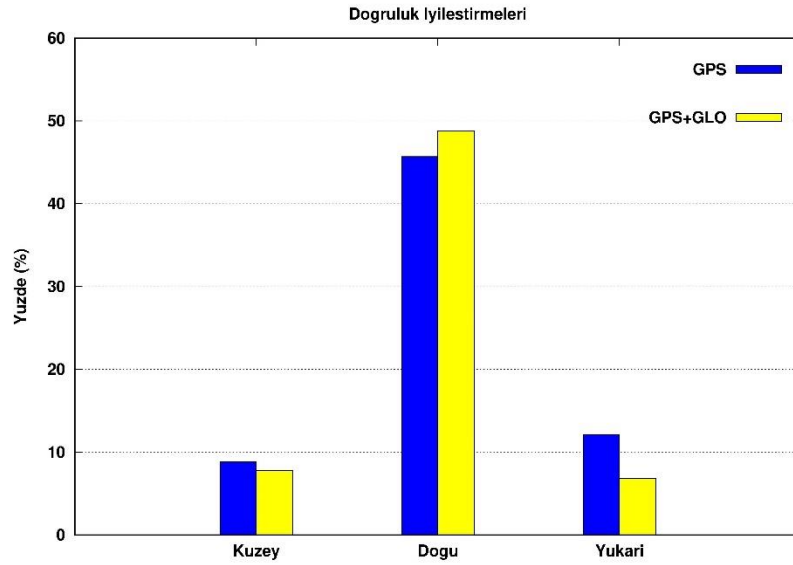
	PPP	PPP-AR
Kuzey (mm)	1.84	1.68
Doğu (mm)	2.61	1.41
Yukarı (mm)	5.21	4.58

Çizelge 6.3. GPS+GLO uydu konfigürasyonuna ait KOH değerleri

	PPP	PPP-AR
Kuzey (mm)	1.81	1.67
Doğu (mm)	2.69	1.38
Yukarı (mm)	4.92	4.59

Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'ten görüldüğü üzere yatay bileşenlerde yaklaşık 2-3 milimetre düşey bileşende ise yaklaşık 5 milimetre doğruluk elde edilmiştir. Bertiger ve ark., 2020' ye göre GipsyX yazılımı 24 saatlik statik PPP çözümlerinde kuzey, doğu ve yukarı bileşenler için sırasıyla 1.90 mm, 1.98 mm ve 6.47 mm doğruluk sağlamaktadır. Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlara göre CSRS-PPP servisi ile GipsyX yazılımdan bir miktar daha iyi çözümler elde edilebildiği görülmektedir.

Ayrıca AR yaklaşımı PPP sonuçlarını anlamlı bir şekilde iyileştirmiştir. İyileştirme miktarlarının daha iyi anlaşılabilmesi için AR yaklaşımının iyileştirme miktarları yüzde olarak hesaplanmış ve Şekil 6.4'de verilmiştir.



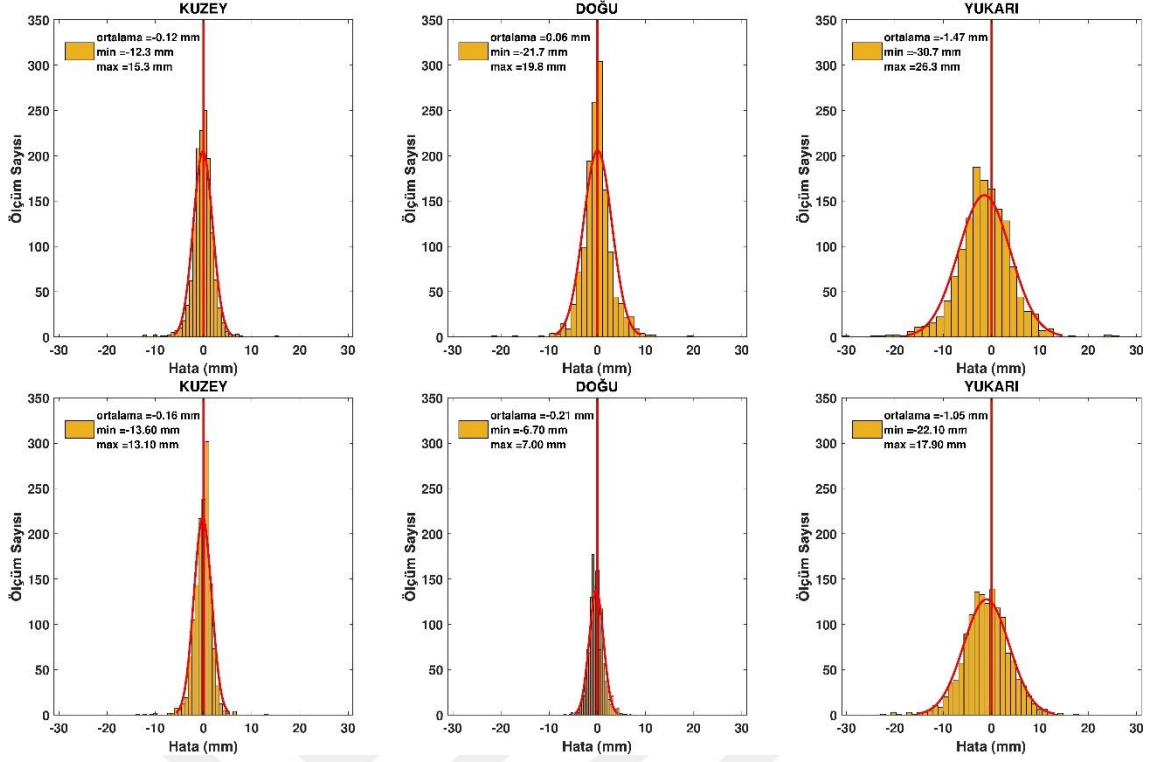
Şekil 6.4. AR yaklaşımının iyileştirme yüzdeleri

Şekil 6.4'de görüldüğü üzere özellikle doğu bileşeninde PPP-AR çözümü sonuçları GPS ve GPS+GLO için sırasıyla %45,7 ve %48,8 oranlarında iyileştirmiştir. Kuzey ve yukarı bileşenlerde ise yaklaşık %10,0 civarında bir iyileştirme görülmüştür. Doğruluk analizinin yanı sıra ölçülerin tekrarlanabilirliğini analiz edebilmek için STD değerleri incelenmiştir. Çizelge 6.4'te tüm istasyonlara ait PPP ve PPP-AR çözümleri için GPS ve GPS+GLO uydu konfigürasyonlarına ilişkin STD verilmiştir.

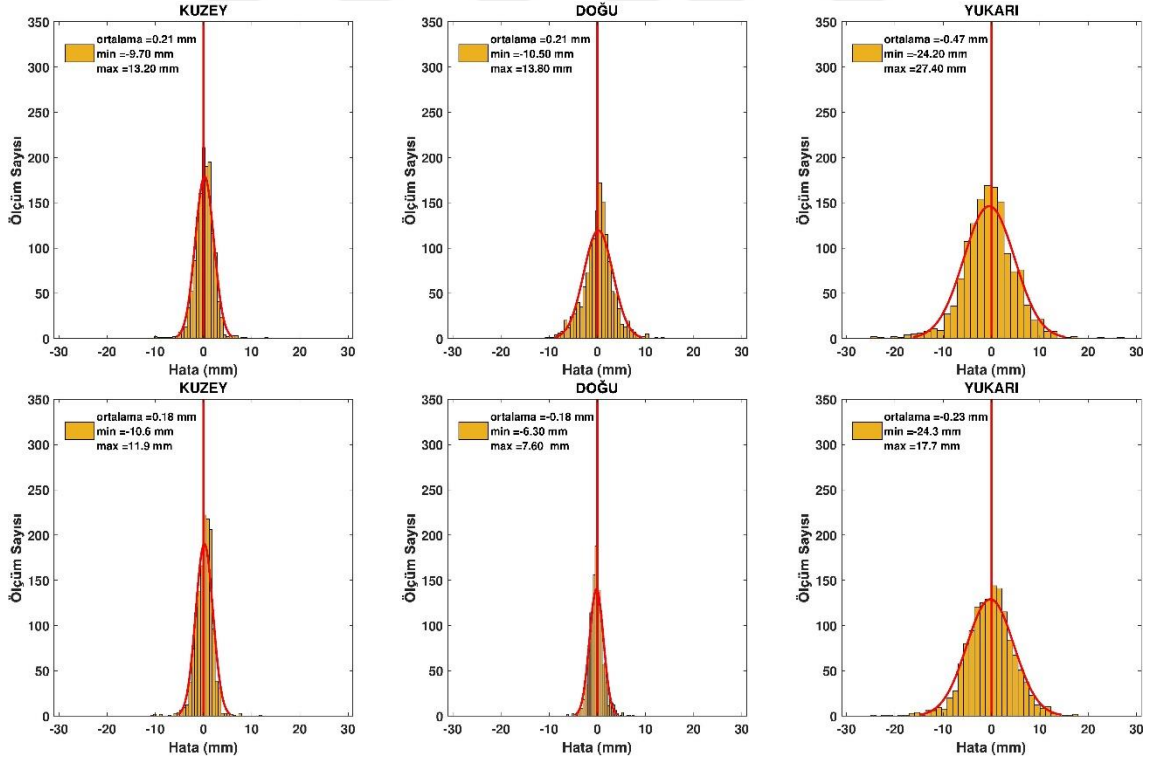
Çizelge 6.4. PPP ve PPP-AR sonuçlarına ait standart sapma sonuçları

Parametre	Bileşen	GPS		GPS+GLO	
		PPP	PPP-AR	PPP	PPP-AR
STD	Kuzey (mm)	1.62	1.54	1.56	1.50
	Doğu (mm)	2.12	1.21	2.02	1.20
	Yukarı (mm)	4.30	3.89	4.23	3.99

Çizelge 6.4.'e göre yatay bileşenler için standart sapma değerleri 1.21/2.12 mm arasında değişmektedir. Yukarı bileşene ait standart sapma değerleri ise 3.89/4.30 mm arasındadır. Sonuçların daha iyi anlaşılabilmesi için bütün istasyonlara ait kuzey, doğu ve yukarı bileşenler kullanılarak hata dağılım grafikleri Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'te verilmiştir.



Şekil 6.5. GPS hata dağılımı (üstte PPP, altta PPP-AR)

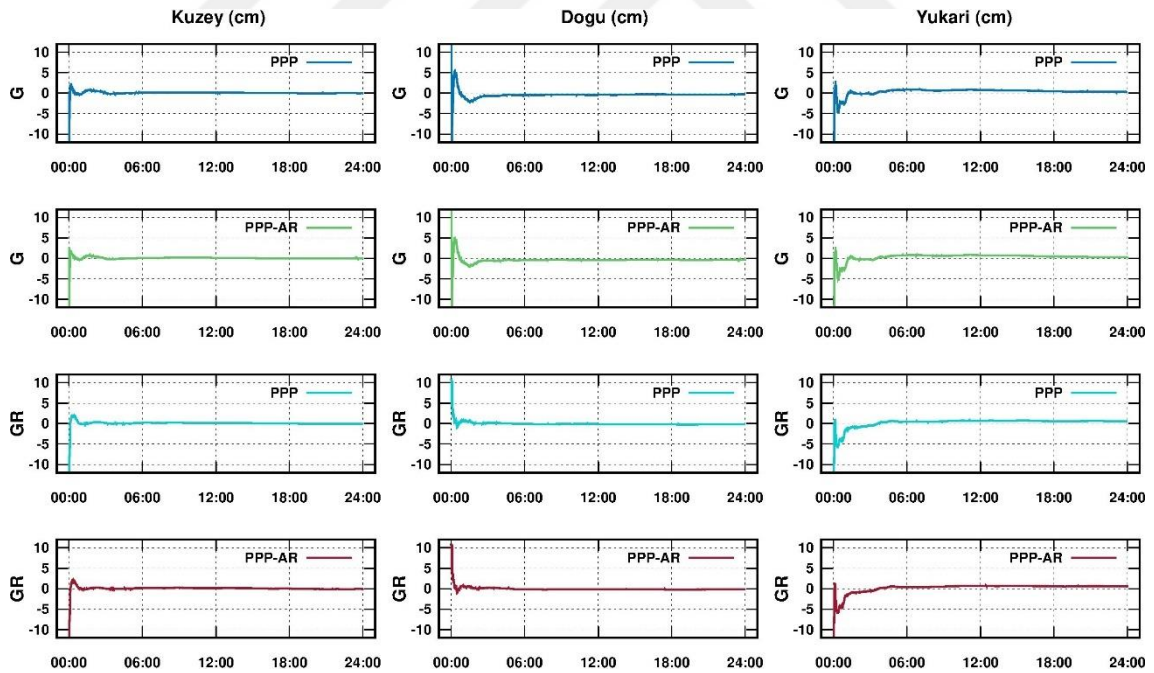


Şekil 6.6. GPS+GLO hata dağılımı (üstte PPP, altta PPP-AR)

Şekil 6.5 ve Şekil 6.6 incelendiğinde sonuçların Gauss çan eğrisine oldukça yakın bir dağılımda olduğu görülmektedir. Dolayısıyla hem PPP hem de PPP-AR çözümlerinde

herhangi bir kaba hata görülmediği söylenebilir. Yatay bileşenler yaklaşık $-10.0/+10.0$ mm aralığında, yukarı bileşen ise $-20.0/+20.0$ mm aralığındadır. Ortalama değerler analiz edildiğinde, GPS ve GPS+GLO uydu konfigürasyonlarının yatay bileşenleri 0.22 mm'den daha iyi olduğu görülmektedir. Yukarı bileşenlere ait ortalama değerler incelendiğinde ise GPS PPP sonuçlarının -1.47 mm olduğu anlaşılmaktadır. GPS PPP-AR çözümleri GPS PPP sonuçlarını 0.42 mm iyileştirerek -1.05 mm mertebesine düşürmüştür. GPS+GLO uydu kombinasyonunda ise PPP-AR yöntemi ortalama sonuçları 0.24 mm iyileştirerek -0.23 mm mertebesine düşürmüştür. Ayrıca PPP-AR sonuçlarının doğu bileşeninin hata dağılım aralığını önemli oranda kısalttığı da açıkça görülmektedir.

PPP yöntemiyle konum belirleme performansına ilişkin bir diğer konu ise yakınsama süresidir. Bu çalışmada yapılan statik konum belirleme işlemi ileriye doğru (FWD: Forward) filtreleme ile hesaplandığından yakınsama süreleri elde edilebilmiştir. Şekil 6.7' de ARTU istasyonu 305. güne ait koordinat zaman serisi örnek olarak verilmiştir.



Şekil 6.7. ARTU DOY-305 koordinat zaman serisi

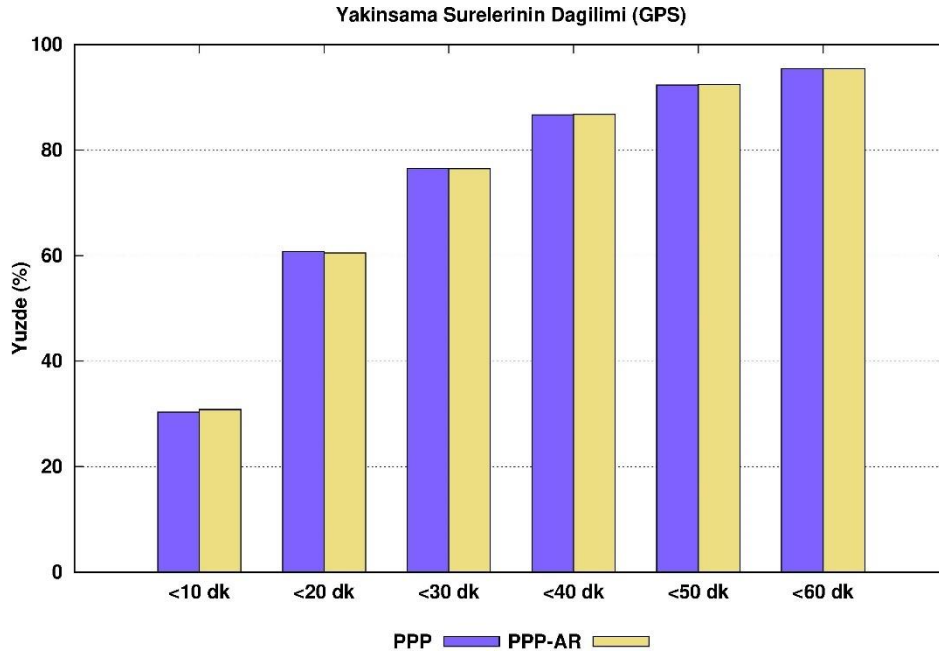
Şekil 6.7'te görüldüğü üzere hem GPS hem de GPS+GLO çözümlerinin birkaç epokta yakınsadığı görülmektedir. Buna göre üç boyutta (kuzey, doğu ve yukarı) 10 santimetre eşik değeri seçilerek her bir istasyon ve gün için yakınsama süreleri hesaplanmıştır. Yakınsama süreleri tespit edilirken, koordinat bileşenleri eşik değerine ulaştıktan sonra

en az 30 dk (60 epok) boyunca sınır değerini aşmadığı doğrulanmıştır. Buna göre her bir PPP modu için elde edilen ortalama yakınsama süreleri izelge 6.5'te verilmiştir.

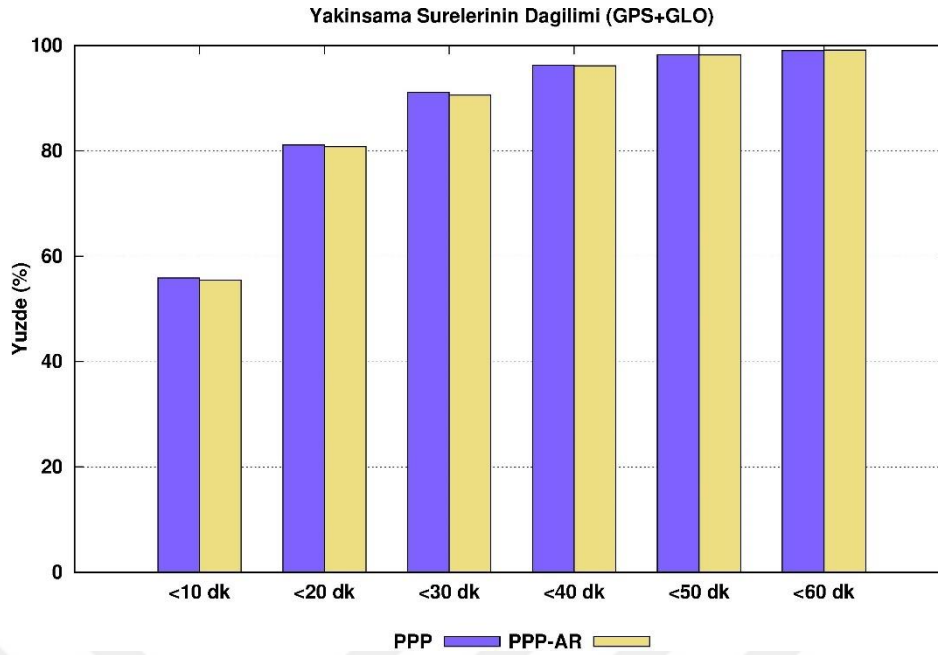
Çizelge 6.5. Ortalama yakınsama süreleri

	PPP	PPP-AR
GPS	21.4 dk	21.4 dk
GPS+GLO	13.1 dk	13.12 dk

Çizelge 6.5'e göre GPS PPP çözümlerinin 21.5 dakikadan önce 10 cm'ye ulaştığı görülmektedir. Ancak GPS+GLO uydu kombinasyonu kullanılması durumunda sadece GPS' e göre ortalama yakınsama süresinin yaklaşık 8 dk azaldığı anlaşılmaktadır. Ancak AR yaklaşımının statik konum belirlemede yakınsama süresini iyileştirmesi beklenirken burada anlamlı bir ilişki görülmemiştir. Banville ve ark., 2021'de yapılan uygulamada aynı PPP-AR yaklaşımının kısa ölçü sürelerinde (5, 15, 30, 45 dk) anlamlı sonuçlar verdiği ortaya koyulmuştur. Ortalama yakınsama süreleri genel bir bilgi sağlamaktadır ancak daha detaylı irdeleyebilmek için dağılımları incelenmiştir. GPS ve GPS+GLO uydu kombinasyonları için yakınsama sürelerinin dağılımları sırasıyla Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'te verilmiştir.



Şekil 6.8. GPS için yakınsama sürelerinin dağılımı



Şekil 6.9. GPS+GLO için yakınsama sürelerinin dağılımı

Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’ te görüldüğü üzere 10 dakikadan daha önce yakınsayan çözümlerin sayısı GPS için yaklaşık %30 iken GPS+GLO için yaklaşık %55 civarındadır. Diğer aralıklarda bulunan çözümler için de benzer şekilde GPS+GLO daha iyi sonuçlar vermektedir. PPP ve PPP-AR çözümleri için her iki GNSS konfigürasyonunda da anlamlı bir sonuç görülmemiştir. Ayrıca yakınsama süresi 60 dakikanın üzerinde olan çözümlerin sayısı GPS ve GPS+GLO için sırasıyla %5 ve %1 civarındadır. Bu çözümler aykırı değerleri içermekte ve ortalama süre hesabını bozabilmektedir. Dolayısıyla yakınsama süresi 1 saatin üzerinde olan çözümler hesaplamadan çıkarılarak ortalama yakınsama süresi yeniden hesaplanmıştır (Çizelge 6.6).

Çizelge 6.6. Ortalama yakınsama süreleri (aykırı değerler çıkarılmış)

	PPP	PPP-AR
GPS	18.5 dk	18.4 dk
GPS+GLO	12.5 dk	12.6 dk

Aykırı değerler çıkarıldığında PPP-AR yakınsama süreleri GPS ve GPS+GLO için sırasıyla 18 dk ve 13 dk civarındadır.

6.2. Troposfer Kestirimi Doğruluğu

Konum doğruluğunu etkileyen bir diğer parametre ise troposfer kestirimidir. CSRS-PPP servisi zenit yönündeki toplam troposferik gecikme (ZTD: zenith total delay) miktarını hesaplamaktadır. IGS final troposfer sonuçları kesin değer olarak kabul edilirse CSRS-PPP servisinden elde edilen sonuçların doğruluğu IGS final değerden farkları alınarak hesaplanabilmektedir. Ancak IGS final troposfer sonuçları her 5 dakikada bir olacak şekilde yayınlanmaktadır. Bu çalışmada 30 saniye epok aralığında troposfer değeri kestirildiğinden sadece IGS final çözümlerinde karşılığı bulunan sonuçlar irdelenebilmiştir. Böylece PPP ve PPP-AR metotları ile elde edilen troposfer kestirim değerleri karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Bu amaçla ΔZTD değerleri hesaplanmış ve bunlara ilişkin bazı istatistiksel parametreler Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7. ΔZTD değerlerine ait bazı istatistiksel sonuçlar

Parametre	GPS		GPS+GLO	
	PPP	PPP-AR	PPP	PPP-AR
Karesel ortalama hata (mm)	7.32	5.84	7.11	5.95
Standart sapma (mm)	6.52	6.24	5.00	5.09
Mutlak Maksimum (mm)	58.83	32.01	51.86	32.39
Ortalama (mm)	-0.04	-0.10	0.41	0.22

Çizelge 6.7.’e göre PPP yöntemiyle yaklaşık 7 milimetre doğruluk elde edilebilirken, PPP-AR yöntemiyle yaklaşık 6 milimetre doğruluk elde edilmiştir. Mutlak maksimum değerleri incelendiğinde ise AR yaklaşımının anlamlı bir katkı sağladığı görülmüştür. Ayrıca troposferik gecikme tahmini açısından GPS ve GPS+GLO konfigürasyonları arasında en önemli fark standart sapma değerinde görülmüştür.

7. SONUÇ

Son yıllarda bilimsel ve akademik çalışmalarda sıklıkla kullanılan hassas nokta konum belirleme yöntemine ilişkin detaylar incelenmiştir. Bağıl konum belirlemede dikkate alınan hata kaynaklarının yanı sıra PPP’de göz önüne alınması gereken hata kaynakları incelenmiş ve bunların nasıl giderildiğine ilişkin detaylar kısaca verilmiştir. PPP yöntemine ilişkin matematiksel modeller incelenmiş ve Geleneksel PPP modeli ve PPP-AR (DSC modeli) detaylıca incelenmiştir. Hassas nokta konum belirlemeye ilişkin gerçek zamanlı, post process, web tabanlı pek çok yazılım geliştirilmiştir. Bu çalışmanın yapıldığı tarih itibariyle en yaygın kullanılan yazılımlar incelenmiştir. PPP yazılımlarına ilişkin yapılan araştırmalar sonucunda AR yaklaşımının konum doğruluğuna etkisini incelemek için web tabanlı CSRS-PPP yazılımı seçilmiştir.

CSRS-PPP yazılımı kullanılarak PPP coğrafi olarak yeryüzüne dağılmış 47 tane IGS istasyonuna ait 1 aylık veriler PPP ve PPP-AR modlarında işlenmiştir. Elde edilen sonuçlar konum doğruluğu ve tekrarlanabilirlik açısından irdelenmiştir. GPS PPP-AR sonuçlarına göre kuzey ve doğu bileşenleri için 1.7/1.4 mm ve yukarı bileşen için 4.6 mm karesel ortalama hata değeri bulunmuştur. Doğruluk analizlerinin yanı sıra PPP de önemli bir diğer konu olan yakınsama süreleri incelenmiştir. Buna göre GPS+GLO uydu kombinasyonun sadece GPS’e göre daha hızlı yakınsadığı görülmüştür. Banville ve ark., 2021’de yaptıkları çalışmada aynı AR yaklaşımını kullanarak yalnızca kısa gözlem sürelerinde yakınsama süresinin iyileştiğini ortaya koymuşlardır. Bu tez çalışmasında AR yaklaşımının performansı 24 saatlik gözlemler kullanılarak incelendiğinden yakınsama süresi üzerinde anlamlı bir etkisi görülmemiştir. PPP-AR yönteminin konum belirleme performansının yanı sıra troposfer kesitimi doğruluğu da IGS Final troposfer ürünleri ile karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre IGS Final troposfer ürünleri ile PPP-AR yaklaşımı ile hesaplanan toplam zenit yönündeki troposferik gecikme farklarının 6.0 milimetreden az olduğu bulunmuştur. Buna göre AR yaklaşımını içeren yeni CSRS-PPP yazılımının troposfer araştırmalarına da olumlu katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında CSRS-PPP yazılımı ile elde edilen konum doğrulukları, NASA JPL’in geliştirmiş olduğu GipsyX yazılımı (Bertiger ve ark., 2020) ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda 24 saatlik statik PPP için CSRS-PPP yazılımında elde edilen sonuçların yatay ve düşey bileşenlerde GipsyX yazılımından bir miktar daha iyi olduğu bulunmuştur.

8. KAYNAKLAR

- Abou-Galala, M., Rabah, M., Kaloop, M., and Zidan, Z. M., 2018. Assessment of the accuracy and convergence period of Precise Point Positioning. *Alexandria engineering journal*, 57(3), 1721-1726.
- Alcay S., Gungor M. (2020). Investigation of ionospheric TEC anomalies caused by space weather conditions. *Astrophysics and Space Science*, 365(9), 1-15.
- Alcay S., Ogutcu S., Kalayci I., Yigit C.O. 2019. Displacement monitoring performance of relative positioning and Precise Point Positioning (PPP) methods using simulation apparatus, *Advances in Space Research*, 63, 5, 1697–1707.
- Alçay, S. 2019 Gerçek zamanlı hassas nokta konumlama (RT-PPP) yönteminin konum belirleme performansının doğruluk ve hassasiyet bakımından incelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (1), 121-133.
- Aydın, Ö., Ata, E., ve Pırtı, A. 2004. RTK GPS sisteminin poligon ölçmelerinde kullanımı, *Sigma*, 1.
- Bahadur, B., ve Nohutcu, M. 2018. Türkiye ve Yakın Çevresi İçin Çoklu-GNSS Kombinasyonlarının PPP Performansına Etkisi. *Harita Dergisi*, 84(160), 1-11.
- Bahadur, B., ve Nohutcu, M. 2019. GNSS alıcılarındaki saat sıçramalarının hassas nokta konumlama (PPP) performansına etkisinin araştırılması. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 6(2), 87-95.
- Banville S., Geng J., Loyer S., Schaer S., Springer T., Strasser S. 2020. On the interoperability of IGS products for precise point positioning with ambiguity resolution. *Journal of Geodesy*, 94(1), 10.
- Banville S., Hassen E., Lamothe P., Farinaccio J., Donahue B., Mireault Y., Goudarzi M. A., Collins P., Ghoddousi-Fard R., Kamali O. 2021. Enabling ambiguity resolution in CSRS-PPP. *Navigation*, 68(2), 433– 451.
- Bertiger, W., Bar-Sever, Y., Dorsey, A., Haines, B., Harvey, N., Hemberger, D. and Murphy, D. 2020. GipsyX/RTGx, A New Tool Set for Space Geodetic Operations and Research.
- Bezcioglu, M., Yiğit, C. Ö., ve Bodur, M. N., 2019. Kinematik PPP-AR ve Geleneksel PPP Yöntemlerin Performanslarının Değerlendirilmesi: Antarktika Yarımadası Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(1), 162-169.
- Böhm, J., Niell, A., Tregoning, P., and Schuh, H. 2006. Global Mapping Function (GMF): A new empirical mapping function based on numerical weather model data. *Geophysical research letters*, 33(7).
- Collins P., Bisnath S., Lahaye F., Héroux, P. 2010. Undifferenced GPS ambiguity resolution using the decoupled clock model and ambiguity datum fixing. *Navigation*, 57(2), 123-135.

- Correa-Muños, N. A., and Cerón-Calderón, L. A. 2018. Precision and accuracy of the static GNSS method for surveying networks used in Civil Engineering. *Ingeniería e Investigación*, 38(1), 52-59.
- Dach, R., Lutz, S., Walser, P., and Fridez, P. 2015. Bernese GNSS Software version 5.2. User manual, Astronomical Institute. Bern: University of Bern, Bern Open Publishing.
- El-Mowafy, A. 2011. Analysis of web-based GNSS post-processing services for static and kinematic positioning using short data spans. *Survey Review*, 43, 535-549.
- Ge M., Gendt G., Rothacher M. A., Shi C., Liu J. 2008. Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in precise point positioning (PPP) with daily observations. *Journal of Geodesy*, 82(7), 389-399.
- Geng, J., Chen, X., Pan, Y., Mao, S., Li, C., Zhou, J., and Zhang, K. 2019. PRIDE PPP-AR: an open-source software for GPS PPP ambiguity resolution. *GPS Solutions*, 23(4), 91.
- Goudarzi, M. A., and Banville, S. 2018. Application of PPP with ambiguity resolution in earth surface deformation studies: a case study in eastern Canada. *Survey Review*, 50(363), 531-544.
- Guo, F., and Zhang, X. 2014. Real-time clock jump compensation for precise point positioning. *GPS solutions*, 18(1), 41-50.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Wasle, E. 2007. GNSS—global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more. Springer Science & Business Media.
- Hu, H., Gao, J., and Yao, Y. 2014. Land deformation monitoring in mining area with PPP-AR. *International journal of mining science and technology*, 24(2), 207-212.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F. 2012. GPS/GNSS uydularla konum belirleme sistemleri teori ve uygulama. Nobel Akademik Yayıncılık, 222s, 5.
- Kahveci, M. 2017. Kinematik GNSS ve RTK Cors Ağları, 2. Basım, Nobel Yayıncılık, Ankara.
- Katsigianni, G., Loyer, S., and Perosanz, F. 2019. PPP and PPP-AR Kinematic Post-Processed Performance of GPS-Only, Galileo-Only and Multi-GNSS. *Remote Sensing*, 11(21), 2477.
- Kouba, J. 2003. Measuring seismic waves induced by large earthquakes with GPS, *Studia Geophysica et Geodaetica*, 47 (4), 741–755.
- Kouba, J. 2015. A guide to using International GNSS Service (IGS) products.

- Kouba, J., and Héroux, P. 2001. Precise point positioning using IGS orbit and clock products. *GPS solutions*, 5(2), 12-28.
- Laurichesse D., Mercier F., Berthias J. P., Broca P., Cerri L. 2009. Integer ambiguity resolution on undifferenced GPS phase measurements and its application to PPP and satellite precise orbit determination. *Navigation*, 56(2), 135-149.
- Laurichesse, D. and Privat, A. 2015. An opensource PPP client implementation for the CNES PPP-WIZARD demonstrator, Proceedings of the ION GNSS+ 2015, September, Tampa, Florida.
- Leick A., Rapoport L., Tatarnikov D. 2015. *GPS Satellite Surveying*. John Wiley & Sons.
- Li, P., Jiang, X., Zhang, X., Ge, M., and Schuh, H. 2020. GPS+ Galileo+ BeiDou precise point positioning with triple-frequency ambiguity resolution. *GPS Solutions*, 24.
- Li, X., Li, X., Yuan, Y., Zhang, K., Zhang, X., and Wickert, J. 2018. Multi-GNSS phase delay estimation and PPP ambiguity resolution: GPS, BDS, GLONASS, Galileo. *Journal of geodesy*, 92(6), 579-608.
- Liu, J. and Ge, M. 2003. PANDA software and its preliminary result of positioning and orbit determination. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*, 8(2), 603.
- Melbourne, W.G. 1985. The case for ranging in GPS-based geodetic systems, Proceedings of the first international symposium on precise positioning with the GPS, 15-19 April, Rockville.
- Mireault, Y., Tétreault, P., Lahaye, F., Héroux, P., Kouba, J. 2008. Online Precise Point Positioning: A New, Timely Service from Natural Resources Canada. *GPS World*, 19(9), 59-64.
- Montenbruck, O., Hauschild, A. 2013. Code biases in multi-GNSS point positioning, ION ITM 2013, 616-628.
- Niell, A. E. 1996. Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 101(B2), 3227-3246.
- Ogutcu, S. 2020. Performance analysis of ambiguity resolution on PPP and relative positioning techniques: consideration of satellite geometry. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 5(2), 73-93.
- Seeber, G. 2008. *Satellite geodesy: foundations, methods, and applications*. Walter de gruyter.
- Shi C., Zhao Q., Li M., Lou Y., Zhang H., Tang W., Hu Z., Dai X., Guo J., Ge M., Liu J. 2012. WHU's Developments for the GPS Ultra-Rapid Products and the COMPASS Precise Products. International GNSS Workshop July 23-27, 2012. University of Warmia and Mazury (UWM) Olsztyn, Poland.

- Shi J., Gao Y. 2014. A comparison of three PPP integer ambiguity resolution methods. *GPS Solutions*, 18(4), 519-528.
- Shi, C., Zhao, Q., Geng, J., Lou, Y., Ge, M., and Liu, J. 2008. Recent development of PANDA software in GNSS data processing. In *International Conference on Earth Observation Data Processing and Analysis (ICEODPA) International Society for Optics and Photonics*, 7285, 72851.
- Subirana J. S., Zornoza J. J., Hernández-Pajares M. 2013. *GNSS Data Processing. Volume 1: Fundamentals and Algorithms*. ESA Communications, ESTEC, PO Box, 299, 2200.
- Takasu, T., 2013. RTKLIB ver. 2.4. 2 Manual. RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning, 29-49.
- Tegedor, J., Liu, X., Ørpen, O., Treffers, N., Goode, M., and Øvstedal, O. 2015. Comparison between multi-constellation ambiguity-fixed PPP and RTK for maritime precise navigation. *Journal of Applied Geodesy*, 9(2), 73-80.
- Vaclavovic, P., Dousa, J., and Gyori, G. 2013. G-Nut software library-state of development and first results. *Acta Geodyn Geomater*, 10 (4), 431-436.
- Wahr, J. M. 1981. The forced nutations of an elliptical, rotating, elastic and oceanless Earth. *Geophysical Journal International*, 64(3), 705-727.
- Weber, G., L. Mervart, A., Stürze, A., Rülke and D. Stöcker. 2016. BKG Ntrip Client, Version 2.12. *Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie*, Vol. 49, Frankfurt am Main.
- Wu, J., Wu, S., Hajj, G., Bertiguer, W. and Lichten, S. 1993. Effects of Antenna Orientation on GPS Carrier Phase Measurements. *Manuscripta Geodaetica* 18, pp. 91-98.
- Wübbena, G. 1985. Software developments for geodetic positioning with GPS using TI-4100 code and carrier measurements, *Proceedings of the first international symposium on precise positioning with the GPS*, 15-19 April, Rockville.
- Xiao, G., Liu, G., Ou, J., Liu, G., Wang, S., and Guo, A. 2020. MG-APP: an open-source software for multi-GNSS precise point positioning and application analysis. *GPS Solutions*, 24, 1-13.
- Yigit C.O, Gikas V., Alcay S., Ceylan A. 2014. Performance evaluation of short to long term GPS, GLONASS and GPS/GLONASS post-processed PPP, *Survey Review*, 46(3), 155-166.
- Yigit, C.O. 2016. Experimental assessment of post-processed kinematic Precise Point Positioning method for structural health monitoring. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(1), 360-383.

Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M., and 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.

URL-1: <http://www.igs.org/products> [Ziyaret Tarihi: 7 Temmuz 2020].

URL-2: <http://www.igs.org/network> [Ziyaret Tarihi: 7 Temmuz 2020].

URL-3: <http://www.igs.org/rtls> [Ziyaret Tarihi: 7 Temmuz 2020].

URL-4: <https://igs.bkg.bund.de/ntrip/download> [Ziyaret Tarihi: 7 Temmuz 2020].

URL-5: <http://www.rtklib.com/> [Ziyaret Tarihi: 23 Temmuz 2020].

URL-6: <http://www.ppp-wizard.net/> [Ziyaret Tarihi: 23 Temmuz 2020].

URL-7: <https://www.pecny.cz/gop/index.php/gnss/sw> [Ziyaret Tarihi: 23 Temmuz 2020].

URL-8: <http://people.ucalgary.ca/~ygao/p3.htm> [Ziyaret Tarihi: 23 Temmuz 2020].

URL-9: <https://gipsy-oasis.jpl.nasa.gov/index.php?page=software> [Ziyaret Tarihi: 24 Temmuz 2020].

URL-10: <http://www.bernese.unibe.ch/> [Ziyaret Tarihi: 24 Temmuz 2020].

URL-11: <http://pride.whu.edu.cn/> [Ziyaret Tarihi: 24 Temmuz 2020].

URL-12: <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php> [Ziyaret Tarihi: 24 Temmuz 2020].

URL-13: <https://pppx.gdgps.net> [Ziyaret Tarihi: 1 Ekim 2021].

URL-14: <http://gaps.gge.unb.ca/index.html> [Ziyaret Tarihi: 1 Ekim 2021].

URL-15: <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html> [Ziyaret Tarihi: 1 Ekim 2021].

EKLER**EK-1** Koordinat Karesel Ortalama Hatalar (GPS PPP)

İstasyon	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)
artu	1.00	2.01	6.26
bako	4.05	7.21	11.23
brmu	1.53	1.63	5.18
cas1	1.88	0.66	2.65
cusv	1.04	3.60	5.80
daej	1.31	1.68	4.80
dav1	1.54	0.97	3.11
djig	1.78	2.58	4.65
ffmj	1.41	1.13	4.80
gamb	1.84	4.54	4.76
glps	1.26	1.84	2.22
guat	1.51	2.02	5.30
hnus	1.69	2.55	3.23
hofn	1.15	1.37	4.39
holb	1.51	2.10	3.21
iisc	1.71	4.82	10.18
iqal	0.98	1.28	3.50
irkm	1.78	2.58	4.50
ista	1.50	1.19	4.08
jplm	1.15	1.67	3.01
kerf	2.94	5.50	4.24
kour	1.99	2.44	4.24
lhaz	1.84	2.49	7.58
lpal	2.03	1.58	7.55
madr	3.75	2.83	9.75
mbar	1.84	2.61	3.60
meli	2.53	3.06	8.13
mobs	1.96	1.78	4.73
naur	1.69	3.56	6.13
nlib	1.64	1.94	5.18
nnor	1.89	1.83	4.88
nyal	1.26	1.05	4.35
palm	1.49	1.71	2.80
pdel	5.68	3.08	7.96
pol2	2.27	2.31	5.49
ptgg	1.68	3.84	5.94
sant	1.45	3.15	6.19
solo	2.25	4.30	7.84
stjo	1.30	5.58	4.74
syog	2.16	0.83	3.06
thu2	1.25	1.05	4.00
tong	1.59	3.23	5.86
whit	2.84	2.26	5.86
yakt	1.60	5.15	4.06
yell	0.94	2.29	4.90
ykro	1.52	4.05	4.31
yssk	1.66	1.58	4.53

EK-2 Koordinat Karesel Ortalama Hatalar (GPS PPP-AR)

İstasyon	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)
artu	0.96	1.19	6.30
bako	3.38	2.92	8.53
brmu	1.28	2.13	4.51
cas1	1.67	0.64	2.75
cusv	1.21	1.44	3.91
daej	1.21	1.11	4.46
dav1	1.22	1.01	2.65
djig	1.75	1.23	5.47
ffmj	1.23	1.07	6.65
gamb	1.53	2.43	4.72
glps	1.24	1.20	1.74
guat	1.32	1.35	4.95
hnus	1.45	1.31	3.42
hofn	1.04	1.07	4.25
holb	1.47	1.14	3.04
iisc	1.59	1.37	7.85
iqal	1.01	1.39	3.79
irkm	1.67	0.93	4.91
ista	1.43	0.86	3.94
jplm	1.21	1.29	2.23
kerq	2.47	1.82	5.19
kour	1.87	1.49	3.58
lhaz	1.62	1.15	4.92
lpal	1.86	0.74	6.19
madr	2.37	1.47	3.38
mbar	1.74	1.36	4.49
meli	2.36	2.23	6.30
mobs	2.59	0.91	2.79
naur	1.98	2.34	4.10
nlib	1.17	1.51	3.94
nnor	1.47	0.55	3.14
nyal	1.29	0.86	4.72
palm	1.57	1.11	2.86
pdel	5.87	1.96	7.26
pol2	2.15	1.81	4.71
ptgg	1.42	1.50	5.97
sant	1.38	1.13	6.87
solo	1.76	2.52	5.39
stjo	1.15	1.96	5.20
syog	1.44	1.04	2.87
thu2	0.64	1.10	4.35
tong	1.59	1.77	5.77
whit	2.91	1.94	5.57
yakt	1.48	0.94	3.04
yell	1.09	1.45	4.57
ykro	1.46	1.37	3.24
yssk	1.49	1.41	4.58

EK-3 Koordinat Karesel Ortalama Hatalar (GPS+GLO PPP)

İstasyon	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)
artu	1.18	1.41	6.02
bako	3.80	6.34	10.61
brmu	1.66	1.35	4.52
cas1	1.08	1.55	4.25
cusv	0.93	3.00	3.81
daej	1.41	1.69	4.96
dav1	1.79	1.61	3.69
djig	1.74	2.17	4.97
ffmj	1.30	0.93	4.32
gamb	1.78	3.89	6.52
glps	1.38	1.47	2.08
guat	1.42	1.85	4.71
hnus	2.08	2.09	3.61
hofn	1.54	1.72	2.98
holb	1.45	5.07	2.44
iisc	1.89	3.55	7.21
iqal	1.34	1.49	3.58
irkm	1.55	3.89	3.91
ista	1.33	2.00	3.81
jplm	1.71	1.33	2.51
kerq	1.96	5.89	4.39
kour	1.87	2.89	4.45
lhaz	1.61	2.43	3.02
lpal	2.09	1.41	8.43
madr	3.30	3.39	6.62
mbar	1.52	2.31	3.36
meli	2.46	2.79	8.30
mobs	1.19	1.90	3.94
naur	1.88	3.45	5.95
nlib	1.54	1.58	4.57
nnor	2.08	2.82	2.95
nyal	1.28	1.05	5.10
palm	1.60	2.59	2.45
pdel	5.19	2.32	8.69
pol2	2.22	2.67	3.91
ptgg	1.40	4.07	6.26
sant	1.44	5.08	7.72
solo	2.06	4.38	8.69
stjo	1.74	5.53	4.22
syog	2.74	1.29	4.16
thu2	0.81	1.01	4.75
tong	1.30	2.94	6.78
whit	2.70	2.29	5.41
yakt	2.58	4.45	3.19
yell	1.11	2.03	4.79
ykro	1.35	3.95	4.65
yssk	1.52	1.35	4.15

EK-4 Koordinat Karesel Ortalama Hatalar (GPS+GLO PPP-AR)

İstasyon	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)
artu	0.93	1.21	5.82
bako	3.36	3.10	9.96
brmu	1.47	1.80	4.02
cas1	1.16	0.58	3.55
cusv	0.99	1.29	3.18
daej	1.24	1.17	4.48
dav1	1.48	1.05	3.42
djig	1.71	1.15	5.45
ffmj	1.25	0.92	5.02
gamb	1.64	2.41	6.38
glps	1.22	1.20	2.36
guat	1.28	1.26	4.30
hnus	1.73	1.25	3.43
hofn	1.67	1.03	2.83
holb	1.35	0.91	2.49
iisc	1.73	1.47	4.69
iqal	1.53	1.23	3.11
irkm	1.53	1.11	4.08
ista	1.24	0.87	3.71
jplm	1.28	1.14	2.66
kerq	1.94	1.02	4.77
kour	1.72	1.74	3.98
lhaz	1.55	1.12	2.46
lpal	1.97	0.74	7.16
madr	2.47	1.70	3.47
mbar	1.55	1.40	3.62
meli	2.23	2.34	6.39
mobs	1.40	0.84	3.11
naur	2.05	2.32	4.46
nlib	1.25	1.19	4.06
nnor	1.69	0.68	3.07
nyal	0.97	0.84	5.73
palm	1.51	1.21	2.48
pdel	5.28	1.83	8.18
pol2	2.12	1.90	3.68
ptgg	1.29	1.76	6.19
sant	1.33	1.45	8.08
solo	1.62	2.14	7.27
stjo	1.57	2.01	4.56
syog	1.89	0.89	4.84
thu2	0.83	0.92	4.45
tong	1.52	1.46	6.68
whit	2.75	1.84	5.30
yakt	2.12	1.03	3.52
yell	1.19	1.48	4.65
ykro	1.36	1.38	4.10
yssk	1.35	1.28	4.33

EK-5 Koordinat Standart Sapmalar (GPS PPP)

İstasyon	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)
artu	0.98	1.19	6.15
bako	4.10	7.33	9.57
brmu	1.27	1.65	4.84
cas1	0.86	0.66	2.62
cusv	1.02	2.80	5.67
daej	1.29	1.58	3.83
dav1	0.84	0.90	3.15
djig	1.81	2.57	4.14
ffmj	0.92	1.10	4.38
gamb	1.87	3.56	4.37
glps	1.27	1.73	1.99
guat	1.53	1.90	5.24
hnus	1.26	1.86	3.28
hofn	0.92	1.32	2.88
holb	1.46	1.62	3.23
iisc	1.59	4.77	4.09
iqal	0.99	1.30	3.38
irkm	1.78	1.87	4.09
ista	1.51	1.21	4.09
jplm	1.14	1.38	2.61
kerq	2.13	2.18	4.06
kour	1.77	2.42	4.30
lhaz	1.70	1.42	2.45
lpal	2.04	1.46	4.01
madr	2.58	2.26	3.33
mbar	1.59	2.63	3.09
meli	2.24	3.08	7.27
mobs	1.35	1.42	3.37
naur	1.63	3.05	5.20
nlib	1.14	1.55	4.88
nnor	1.31	1.37	3.05
nyal	1.08	0.93	3.31
palm	1.45	1.64	2.82
pdel	5.67	2.97	6.79
pol2	2.30	2.32	4.60
ptgg	1.69	3.75	5.89
sant	1.47	1.24	2.66
solo	2.11	3.68	7.95
stjo	0.99	1.99	4.51
syog	0.90	0.85	2.91
thu2	0.76	0.93	4.05
tong	1.47	2.80	5.75
whit	2.75	2.30	5.49
yakt	1.63	3.60	2.92
yell	0.93	1.25	4.93
ykro	1.54	2.53	4.24
yssk	1.61	1.60	4.47

EK-6 Koordinat Standart Sapmalar (GPS PPP-AR)

İstasyon	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)
artu	0.88	1.21	6.07
bako	3.40	2.94	6.95
brmu	1.17	1.02	4.39
cas1	0.71	0.63	2.74
cusv	1.16	1.36	3.49
daej	1.22	0.98	3.26
dav1	0.72	1.01	2.70
djig	1.77	1.24	4.63
ffmj	0.76	0.71	4.42
gamb	1.56	2.38	3.78
glps	1.20	0.87	1.76
guat	1.34	0.81	4.81
hnus	1.19	1.07	3.20
hofn	0.77	0.99	2.77
holb	1.48	0.86	3.05
iisc	1.59	1.25	4.22
iqal	0.91	0.96	3.14
irkm	1.68	0.79	4.53
ista	1.42	0.87	3.86
jplm	1.20	1.01	2.23
kerq	2.02	1.14	3.95
kour	1.57	1.47	3.63
lhaz	1.65	1.16	2.24
lpal	1.88	0.64	4.07
madr	2.26	1.48	3.35
mbar	1.60	1.29	2.55
meli	2.33	2.20	6.36
mobs	1.57	0.77	2.84
naur	1.85	1.36	4.07
nlib	1.15	0.80	3.97
nnor	1.40	0.54	3.14
nyal	0.97	0.87	3.14
palm	1.42	0.89	2.57
pdel	5.71	1.98	6.32
pol2	2.17	1.78	4.17
ptgg	1.44	1.17	6.07
sant	1.29	0.77	2.52
solo	1.72	1.95	5.45
stjo	0.96	1.67	4.51
syog	0.81	1.06	2.80
thu2	0.66	0.79	3.76
tong	1.61	1.65	4.79
whit	2.87	1.85	5.41
yakt	1.46	0.95	2.96
yell	1.00	1.11	4.45
ykro	1.45	1.10	3.23
yssk	1.43	1.22	4.59

EK-7 Koordinat Standart Sapmalar (GPS+GLO PPP)

İstasyon	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)
artu	1.03	1.38	6.00
bako	3.83	6.35	8.54
brmu	1.17	1.37	3.63
cas1	0.80	1.01	2.54
cusv	0.93	2.49	3.57
daej	1.21	1.36	3.56
dav1	0.87	1.22	3.47
djig	1.76	2.16	4.28
ffmj	1.04	0.93	4.39
gamb	1.80	3.08	5.83
glps	1.31	1.32	1.89
guat	1.30	1.68	4.58
hnus	1.15	1.93	3.31
hofn	1.11	1.43	2.88
holb	1.33	1.88	2.38
iisc	1.64	2.88	6.24
iqal	0.96	1.29	3.33
irkm	1.58	2.18	3.67
ista	1.34	1.16	3.87
jplm	1.04	1.31	2.44
kerq	1.70	2.17	4.35
kour	1.81	2.82	4.49
lhaz	1.56	1.98	2.71
lpal	2.03	1.43	4.24
madr	2.62	2.66	3.78
mbar	1.52	2.35	3.24
meli	2.13	2.82	6.17
mobs	1.20	1.21	3.49
naur	1.77	3.06	4.69
nlib	1.12	1.60	4.64
nnor	1.21	1.64	2.91
nyal	1.07	1.06	4.03
palm	1.62	1.88	2.49
pdel	5.29	2.35	6.54
pol2	2.25	2.71	3.94
ptgg	1.37	3.02	6.35
sant	1.41	1.57	2.36
solo	1.89	3.43	8.49
stjo	1.17	1.61	3.96
syog	0.98	1.05	3.77
thu2	0.83	0.77	4.43
tong	1.32	2.52	5.08
whit	2.70	2.20	5.22
yakt	1.56	2.69	3.16
yell	1.01	1.32	4.83
ykro	1.36	3.14	4.63
yssk	1.43	1.36	4.22

EK-8 Koordinat Standart Sapmalar (GPS+GLO PPP-AR)

İstasyon	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)
artu	0.94	1.23	5.92
bako	3.36	3.14	8.68
brmu	1.16	0.88	3.50
cas1	0.66	0.59	2.44
cusv	0.96	1.24	3.24
daej	1.14	1.05	3.27
dav1	0.72	1.01	3.13
djig	1.73	1.16	4.92
ffmj	1.00	0.64	4.30
gamb	1.65	2.35	5.28
glps	1.23	0.79	1.71
guat	1.21	0.77	4.18
hnus	1.07	1.07	3.48
hofn	1.01	1.02	2.87
holb	1.33	0.91	2.47
iisc	1.66	1.22	3.92
iqal	0.90	0.97	3.14
irkm	1.55	0.92	3.92
ista	1.26	0.87	3.75
jplm	1.06	0.96	2.18
kerq	1.64	1.04	4.30
kour	1.61	1.61	4.04
lhaz	1.57	1.13	2.43
lpal	1.92	0.71	4.27
madr	2.36	1.71	3.53
mbar	1.57	1.31	2.91
meli	2.12	2.29	5.81
mobs	1.32	0.73	3.14
naur	1.91	1.41	4.15
nlib	1.12	0.90	4.08
nnor	1.26	0.69	2.70
nyal	0.98	0.85	3.75
palm	1.52	0.95	2.43
pdel	5.35	1.84	6.59
pol2	2.15	1.90	3.68
ptgg	1.29	1.28	6.28
sant	1.34	0.93	2.36
solo	1.59	1.62	7.21
stjo	1.15	1.59	4.07
syog	0.89	0.92	3.52
thu2	0.70	0.77	4.47
tong	1.48	1.42	4.33
whit	2.77	1.80	5.30
yakt	1.45	1.03	2.70
yell	0.97	1.05	4.65
ykro	1.38	1.11	4.07
yssk	1.26	1.14	4.41

EK-9 Koordinat Ortalamalar (GPS PPP)

İstasyon	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)
artu	-0.26	-1.64	-1.61
bako	-0.41	-0.26	-6.13
brmu	0.88	-0.06	-2.05
cas1	-1.68	0.13	0.58
cusv	0.29	-2.32	1.67
daej	0.33	0.65	-2.97
dav1	-1.30	-0.40	-0.26
djig	-0.12	-0.50	-2.24
ffmj	1.09	-0.30	-2.13
gamb	0.11	2.89	2.06
glps	0.21	-0.71	-1.05
guat	0.10	-0.77	-1.28
hnus	-1.15	-1.77	-0.17
hofn	0.71	0.44	-3.35
holb	-0.45	1.36	0.49
iisc	0.68	1.12	-9.35
iqal	0.15	-0.01	-1.08
irkm	-0.34	1.81	-2.02
ista	-0.20	-0.08	0.67
jplm	0.22	-0.97	1.57
kerq	-2.06	5.07	1.43
kour	0.96	0.54	0.23
lhaz	0.79	2.06	-7.19
lpal	0.30	0.68	-6.44
madr	2.76	-1.74	-9.18
mbar	-0.98	-0.32	-1.92
meli	1.24	0.42	-3.86
mobs	-1.44	1.10	3.38
naur	-0.57	1.96	3.45
nlib	1.20	-1.20	-1.96
nnor	-1.39	1.24	-3.85
nyal	0.68	-0.51	-2.89
palm	-0.44	-0.58	0.35
pdel	-1.16	0.99	-4.36
pol2	-0.20	-0.39	-3.11
ptgg	-0.20	1.10	-1.27
sant	-0.15	-2.90	5.61
solo	-0.87	2.33	0.55
stjo	0.87	-5.23	-1.67
syog	-1.98	-0.12	-1.25
thu2	-1.00	0.52	-0.48
tong	-0.65	1.68	1.54
whit	-0.85	0.09	-2.29
yakt	-0.05	3.74	-2.87
yell	-0.22	-1.93	-0.72
ykro	0.12	-3.19	1.06
yssk	-0.49	0.11	-1.10

EK-10 Koordinat Ortalamalar (GPS PPP-AR)

İstasyon	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)
artu	0.43	-0.12	-2.00
bako	-0.49	-0.41	-5.10
brmu	0.57	-1.87	-1.29
cas1	-1.52	-0.15	0.57
cusv	0.42	0.53	-1.89
daej	0.15	0.55	-3.10
dav1	-0.99	0.15	-0.05
djig	-0.10	0.12	-3.02
ffmj	0.97	-0.81	-5.03
gamb	-0.01	0.66	2.93
glps	-0.37	-0.84	-0.09
guat	0.12	-1.09	-1.48
hnus	-0.86	-0.77	1.34
hofn	0.71	-0.43	-3.26
holb	-0.22	-0.76	0.50
iisc	0.30	-0.61	-6.67
iqal	0.46	-1.03	-2.20
irkm	-0.21	0.51	-2.06
ista	-0.29	0.02	1.06
jplm	-0.28	-0.82	-0.43
kerq	-1.46	1.44	3.45
kour	1.05	-0.36	-0.18
lhaz	0.14	-0.12	-4.41
lpal	0.22	-0.39	-4.72
madr	0.81	-0.18	-0.74
mbar	-0.74	-0.47	-3.73
meli	0.56	-0.56	-0.73
mobs	-2.08	0.51	0.14
naur	-0.84	1.94	1.08
nlib	0.33	-1.29	-0.49
nnor	-0.52	-0.14	0.58
nyal	0.86	-0.11	-3.57
palm	-0.71	-0.68	1.34
pdel	-1.74	-0.27	-3.79
pol2	-0.23	0.48	-2.31
ptgg	-0.15	0.96	0.12
sant	-0.53	-0.84	6.41
solo	-0.46	1.63	-0.55
stjo	0.66	-1.06	-2.70
syog	-1.22	-0.19	0.98
thu2	0.01	-0.78	-2.30
tong	-0.01	0.72	3.33
whit	-0.71	-0.66	-1.65
yakt	-0.36	-0.12	-0.88
yell	0.46	-0.95	-1.32
ykro	-0.32	-0.83	0.65
yssk	-0.50	0.74	-0.77

EK-11 Koordinat Ortalamalar (GPS+GLO PPP)

İstasyon	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)
artu	-0.60	-0.37	1.17
bako	-0.52	1.10	-6.47
brmu	1.20	-0.09	-2.78
cas1	-0.75	1.19	3.44
cusv	0.13	-1.74	1.50
daej	0.76	1.04	-3.51
dav1	-1.57	1.07	1.41
djig	-0.19	0.45	-2.64
ffmj	0.80	-0.15	-0.20
gamb	0.21	2.45	3.14
glps	0.48	-0.70	0.93
guat	0.62	-0.83	-1.40
hnus	-1.74	-0.88	-1.56
hofn	1.08	0.99	0.90
holb	-0.62	4.72	0.69
iisc	0.98	2.13	-3.80
iqal	0.95	0.78	1.45
irkm	0.02	3.25	-1.50
ista	0.19	1.64	-0.20
jplm	1.37	-0.33	-0.72
kerq	1.01	-5.49	1.00
kour	0.56	-0.83	-0.54
lhaz	0.52	1.46	-1.43
lpal	0.63	0.16	-7.33
madr	2.07	-2.15	-5.47
mbar	-0.30	-0.02	-1.07
meli	1.29	-0.29	-5.67
mobs	0.17	1.48	1.94
naur	-0.76	1.74	3.82
nlib	1.08	-0.11	0.04
nnor	-1.71	2.32	-0.71
nyal	-0.72	0.02	-3.21
palm	-0.08	-1.82	0.11
pdel	-0.02	0.22	-5.85
pol2	-0.18	0.15	-0.49
ptgg	-0.37	2.79	-0.32
sant	0.39	-4.84	7.36
solo	-0.90	2.79	2.40
stjo	1.31	-5.30	-1.61
syog	-2.57	0.81	2.05
thu2	0.00	0.66	1.92
tong	0.10	1.59	4.57
whit	0.45	0.76	-1.71
yakt	2.07	3.59	0.72
yell	0.51	-1.56	-0.67
ykro	0.15	-2.46	0.95
yssk	0.60	-0.11	0.13

EK-12 Koordinat Ortalamalar (GPS+GLO PPP-AR)

İstasyon	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)
artu	0.04	0.06	-0.06
bako	-0.57	-0.27	-5.11
brmu	0.94	-1.58	-2.07
cas1	-0.96	-0.01	2.62
cusv	0.30	0.45	-0.10
daej	0.54	0.55	-3.12
dav1	-1.30	0.35	1.50
djig	-0.16	0.05	-2.51
ffmj	0.77	-0.67	-2.69
gamb	0.23	0.69	3.73
glps	-0.11	-0.92	1.66
guat	0.46	-1.01	-1.30
hnus	-1.37	-0.68	0.19
hofn	1.35	-0.25	0.26
holb	-0.32	-0.12	0.54
iisc	0.58	-0.84	-2.68
iqal	1.25	-0.76	0.40
irkm	0.10	0.65	-1.31
ista	0.06	0.18	0.34
jplm	0.73	-0.64	-1.58
kerq	1.08	0.05	2.21
kour	0.65	-0.72	-0.25
lhaz	0.19	-0.10	-0.61
lpal	0.55	-0.24	-5.79
madr	0.85	0.27	0.03
mbar	-0.19	-0.53	-2.21
meli	0.79	-0.61	-2.85
mobs	-0.52	0.44	-0.37
naur	-0.86	1.87	1.89
nlib	0.58	-0.79	0.61
nnor	-1.14	0.06	1.55
nyal	0.11	0.00	-4.38
palm	-0.17	-0.77	0.65
pdel	-0.55	-0.27	-5.01
pol2	-0.13	0.34	-0.65
ptgg	-0.25	1.23	0.21
sant	0.20	-1.13	7.74
solo	-0.39	1.44	1.59
stjo	1.10	-1.26	-2.17
syog	-1.68	0.02	3.46
thu2	0.47	-0.53	0.75
tong	0.43	0.40	5.15
whit	0.32	-0.53	-0.97
yakt	1.57	0.15	2.32
yell	0.72	-1.06	-0.83
ykro	-0.08	-0.84	0.89
yssk	0.54	0.62	0.09

EK-13 Koordinat Mutlak Maksimum (GPS PPP)

İstasyon	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)
artu	2.20	3.40	14.10
bako	15.30	19.80	30.70
brmu	4.20	4.30	15.90
cas1	2.90	2.50	5.60
cusv	1.90	11.40	26.30
daej	2.90	4.40	9.50
dav1	3.60	2.20	12.70
djig	3.50	7.10	9.30
ffmj	2.80	2.20	10.10
gamb	4.00	8.20	9.10
glps	3.00	4.30	4.40
guat	3.00	4.80	10.80
hnus	3.50	5.40	6.00
hofn	2.90	2.90	8.10
holb	3.90	5.50	8.40
iisc	4.30	21.70	19.10
iqal	3.20	3.20	8.40
irkm	3.90	8.40	13.90
ista	2.90	2.70	7.50
jplm	2.90	3.60	8.00
kerq	6.50	8.50	12.20
kour	4.30	6.40	12.70
lhaz	3.20	4.80	12.30
lpal	4.30	3.30	20.60
madr	6.90	7.00	15.40
mbar	4.20	7.00	7.70
meli	4.50	7.50	18.30
mobs	4.60	3.40	10.60
naur	4.50	6.90	17.00
nlib	3.20	5.50	17.00
nnor	4.20	4.10	11.20
nyal	2.20	2.20	11.20
palm	3.10	4.80	8.40
pdel	12.30	7.10	23.00
pol2	7.40	8.10	23.90
ptgg	3.50	8.20	14.30
sant	3.70	5.00	11.70
solo	5.30	9.00	23.80
stjo	3.00	9.00	15.20
syog	4.30	1.70	5.60
thu2	2.20	2.40	9.70
tong	5.80	9.10	24.50
whit	6.30	4.40	10.70
yakt	5.40	11.90	7.70
yell	2.30	4.10	9.50
ykro	4.70	9.10	11.00
yssk	4.10	4.60	12.70

EK-14 Koordinat Mutlak Maksimum (GPS PPP-AR)

İstasyon	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)
artu	2.60	2.10	13.50
bako	13.10	7.00	19.50
brmu	3.20	4.00	13.20
cas1	3.00	1.20	7.10
cusv	2.30	3.30	10.30
daej	2.50	2.80	8.30
dav1	2.40	3.70	8.70
djig	3.60	4.90	13.20
ffmj	2.50	2.60	11.50
gamb	3.40	4.50	11.60
glps	2.80	2.80	3.50
guat	2.30	2.60	10.20
hnus	3.00	4.10	7.30
hofn	2.40	2.70	8.70
holb	3.90	2.40	8.80
iisc	3.70	3.20	17.60
iqal	3.30	2.80	7.50
irkm	3.30	2.10	16.30
ista	2.50	2.10	7.30
jplm	2.80	3.80	6.80
kerq	6.00	3.20	11.80
kour	4.70	3.20	6.60
lhaz	2.70	2.70	9.50
lpal	3.80	1.40	19.90
madr	5.70	3.70	9.70
mbar	4.10	3.50	8.50
meli	5.40	4.80	13.30
mobs	5.30	2.20	7.20
naur	5.20	3.70	11.00
nlib	2.40	3.60	11.60
nnor	3.30	1.30	8.20
nyal	2.40	2.40	12.30
palm	3.30	2.50	9.10
pdel	13.60	6.70	22.10
pol2	6.80	6.10	20.60
ptgg	2.70	3.90	14.70
sant	3.20	2.30	12.70
solo	4.60	5.20	12.00
stjo	2.90	5.20	17.10
syog	3.20	1.60	5.20
thu2	1.50	2.00	8.20
tong	4.90	4.10	17.90
whit	6.40	3.60	11.40
yakt	4.90	1.90	6.90
yell	2.10	3.20	11.40
ykro	3.40	3.10	6.00
yssk	2.90	3.80	11.60

EK-15 Koordinat Mutlak Maksimum (GPS+GLO PPP)

İstasyon	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)
artu	2.80	2.80	13.00
bako	13.20	13.80	20.50
brmu	3.50	3.20	15.80
cas1	2.60	3.10	8.70
cusv	2.20	8.80	10.20
daej	3.30	3.80	11.60
dav1	3.60	3.60	9.70
djig	4.00	7.00	10.40
ffmj	2.80	2.60	9.30
gamb	4.20	8.60	18.00
glps	3.00	5.40	5.70
guat	2.80	3.70	10.10
hnus	3.50	5.50	7.00
hofn	3.40	3.30	7.00
holb	3.30	7.70	5.90
iisc	6.20	7.40	22.30
iqal	3.30	3.60	9.20
irkm	3.20	10.00	9.70
ista	2.60	4.90	7.90
jplm	3.90	3.90	6.20
kerq	5.30	10.50	12.20
kour	4.90	6.30	12.30
lhaz	3.20	5.60	6.60
lpal	4.90	3.50	22.40
madr	6.70	7.50	13.50
mbar	4.20	4.30	7.60
meli	4.00	6.90	16.80
mobs	2.30	3.40	9.30
naur	4.90	7.50	12.90
nlib	3.10	3.40	9.60
nnor	4.00	6.20	6.40
nyal	3.30	2.80	12.80
palm	4.10	4.30	4.80
pdel	9.70	4.80	24.20
pol2	6.40	9.90	16.80
ptgg	3.00	10.30	13.00
sant	2.80	8.20	12.10
solo	4.30	10.30	27.40
stjo	3.60	8.60	14.90
syog	4.10	2.50	6.30
thu2	1.40	2.40	11.90
tong	3.30	7.00	16.90
whit	7.10	4.20	11.70
yakt	4.00	10.00	7.90
yell	2.50	4.10	10.10
ykro	3.10	7.00	11.20
yssk	3.20	3.30	10.70

EK-16 Koordinat Mutlak Maksimum (GPS+GLO PPP-AR)

İstasyon	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)
artu	2.20	2.30	12.00
bako	11.90	7.60	19.20
brmu	3.20	3.30	15.30
cas1	2.60	1.30	8.20
cusv	1.80	2.80	6.70
daej	2.90	2.70	9.70
dav1	2.90	4.20	7.60
djig	3.70	3.90	13.00
ffmj	2.80	2.30	10.70
gamb	3.40	5.20	17.40
glps	2.50	2.60	6.30
guat	2.40	2.30	8.90
hnus	3.20	3.60	7.80
hofn	3.50	2.50	6.10
holb	3.00	2.20	6.50
iisc	5.70	3.10	10.90
iqal	3.70	2.70	7.70
irkm	3.30	2.70	10.70
ista	2.70	2.00	6.60
jplm	3.50	3.40	5.60
kerq	4.80	2.50	11.70
kour	4.90	3.90	10.90
lhaz	3.00	2.40	5.60
lpal	4.50	1.40	21.20
madr	6.10	5.10	9.20
mbar	3.70	3.80	7.70
meli	3.70	5.10	13.00
mobs	2.80	2.00	6.60
naur	5.50	3.90	9.40
nlib	2.90	3.70	9.00
nnor	3.70	2.10	6.60
nyal	1.80	2.60	13.30
palm	3.90	2.40	5.10
pdel	10.60	6.30	24.30
pol2	6.10	6.50	15.90
ptgg	2.70	4.30	11.40
sant	2.80	3.00	12.60
solo	3.50	5.40	16.90
stjo	3.30	5.10	16.20
syog	3.10	1.40	7.50
thu2	1.80	2.10	11.60
tong	3.90	3.10	14.40
whit	7.50	3.60	11.50
yakt	3.60	2.00	8.10
yell	2.40	3.60	11.30
ykro	2.80	3.20	8.50
yssk	2.50	3.30	10.60

EK-17 İstasyonlara Ait Ortalama Yakınsama Süreleri (dakika)

	GPS PPP	GPS PPP-AR	GPS+GLO PPP	GPS+GLO PPP-AR
artu	11.6	11.9	9.0	9.0
bako	19.5	20.5	17.0	17.0
brmu	27.5	27.8	12.5	12.8
cas1	13.0	13.7	7.3	7.5
cusv	12.1	12.5	8.2	8.2
daej	19.0	18.6	9.3	9.5
dav1	16.2	16.3	7.0	7.0
djig	19.3	19.9	12.0	12.5
ffmj	15.7	15.6	12.8	13.0
gamb	17.9	17.1	12.3	12.7
glps	11.4	10.8	10.2	9.5
guat	44.1	41.8	28.2	28.1
hnus	25.5	26.4	10.1	10.9
hofn	11.8	12.7	8.1	8.3
holb	11.5	11.5	6.5	6.7
iisc	45.0	44.4	20.1	19.9
iqal	11.3	11.3	7.0	7.3
irkm	13.9	13.9	6.5	6.3
ista	27.1	27.6	14.1	14.2
jplm	21.7	22.0	9.0	8.9
kerq	17.5	17.1	12.8	12.5
kour	27.0	26.5	24.7	25.1
lhaz	29.2	29.4	17.6	17.8
lpal	16.1	18.6	12.8	13.2
madr	49.9	51.2	35.1	36.0
mbar	19.5	20.0	12.0	13.4
meli	34.7	34.8	21.8	20.9
mobs	24.4	24.6	12.1	12.5
naur	20.7	21.2	20.2	20.3
nlib	43.2	42.8	22.0	21.5
nnor	24.8	24.0	12.6	12.5
nyal	10.6	11.0	7.0	7.4
palm	7.0	7.4	5.7	5.7
pdel	25.1	23.6	12.9	13.1
pol2	14.4	12.9	4.6	4.6
ptgg	21.4	20.5	13.5	13.1
sant	24.9	23.8	16.5	15.7
solo	26.4	24.0	16.9	16.9
stjo	18.5	19.2	11.8	11.7
syog	9.5	9.3	6.2	6.0
thu2	8.4	8.9	4.5	4.6
tong	30.1	30.6	24.3	25.8
whit	6.6	7.3	4.8	4.9
yakt	32.7	32.6	19.1	19.0
yell	8.7	8.6	5.8	5.7
ykro	33.6	34.3	19.5	20.4
yssk	19.6	19.3	8.5	9.0

EK-18 Troposfer (ZTD) Karesel Ortalama Hataları (mm)

İstasyon	GPS		GPS+GLO	
	PPP	PPP-AR	PPP	PPP-AR
artu	4.10	3.47	3.93	3.41
bako	16.45	13.37	15.48	13.56
brmu	6.29	3.03	5.79	3.16
cas1	6.35	5.66	6.88	6.15
cusv	11.17	10.41	10.60	10.28
daej	5.33	4.10	5.24	4.01
dav1	5.84	5.77	6.30	6.00
djig	8.03	6.63	7.78	6.64
ffmj	4.87	4.35	4.62	4.00
gamb	12.10	11.20	11.65	11.18
glps	5.78	4.31	5.60	4.49
guat	6.22	4.17	6.27	4.51
hnus	8.87	7.53	8.62	7.65
hofn	3.68	2.80	3.60	2.85
holb	14.09	13.29	13.54	13.14
iisc	8.79	6.04	7.96	5.84
iqal	6.00	5.26	6.14	5.36
irkm	5.60	4.72	5.60	4.81
ista	6.87	5.02	6.07	5.03
jplm	5.05	3.83	4.77	3.80
kegr	8.86	8.20	8.85	8.26
kour	7.74	5.11	7.11	5.44
lhaz	6.09	4.21	5.75	4.62
lpal	4.74	3.89	4.69	3.88
madr	9.07	5.81	8.98	6.24
mbar	7.56	5.90	7.30	6.22
meli	7.18	4.26	6.39	4.32
mobs	6.97	5.27	6.63	5.29
naur	8.64	7.19	8.21	7.46
nlib	12.58	10.83	11.09	10.13
nnor	8.18	7.43	8.66	7.75
nyal	4.14	3.86	4.94	4.22
palm	7.20	6.81	7.19	6.64
pdel	7.41	4.89	6.78	4.85
pol2	6.26	5.88	6.24	5.80
ptgg	7.08	4.83	6.89	5.18
sant	8.58	6.33	8.99	6.94
solo	12.29	8.55	11.14	8.85
stjo	6.43	3.95	5.40	3.76
syog	5.40	5.51	6.03	5.99
thu2	3.74	3.48	4.31	3.99
tong	8.95	5.85	8.67	5.99
whit	3.56	2.50	3.35	2.51
yakt	6.28	4.18	7.03	4.70
yell	3.37	3.20	3.43	3.17
ykro	8.95	6.85	8.26	7.04
yssk	5.28	4.60	5.59	4.60

EK-18 Troposfer (ZTD) Standart Sapmaları (mm)

İstasyon	GPS		GPS+GLO	
	PPP	PPP-AR	PPP	PPP-AR
artu	4.10	3.46	3.92	3.41
bako	12.10	8.37	11.10	8.66
brmu	6.24	3.02	5.77	3.14
cas1	3.52	3.07	3.45	3.13
cusv	11.15	10.30	10.55	10.24
daej	5.31	4.05	5.15	4.00
dav1	3.95	3.23	3.90	3.35
djig	8.03	6.57	7.77	6.62
ffmj	4.60	3.71	4.36	3.58
gamb	12.08	11.20	11.61	11.15
glps	5.75	4.30	5.54	4.41
guat	5.97	3.66	5.75	3.85
hnus	8.79	7.45	8.56	7.62
hofn	3.67	2.78	3.57	2.84
holb	5.02	4.06	4.70	3.97
iisc	7.46	5.52	7.55	5.73
iqal	4.62	4.50	4.72	4.43
irkm	4.75	3.99	4.46	3.93
ista	6.46	4.90	5.73	4.91
jplm	5.04	3.82	4.75	3.75
kegr	8.18	7.16	8.47	7.29
kour	7.67	4.99	7.02	5.32
lhaz	5.92	4.20	5.60	4.28
lpal	4.60	3.68	4.54	3.65
madr	9.06	5.70	8.87	5.98
mbar	7.55	5.89	7.22	6.15
meli	7.04	4.09	6.17	4.07
mobs	6.97	5.26	6.63	5.29
naur	8.64	7.19	8.18	7.45
nlib	9.07	6.23	8.21	6.23
nnor	8.16	7.29	8.51	7.55
nyal	3.24	2.70	3.35	2.86
palm	5.71	5.19	5.59	5.14
pdel	6.84	3.77	6.08	3.83
pol2	6.15	5.82	6.09	5.70
ptgg	7.07	4.80	6.87	5.16
sant	7.70	6.01	7.84	6.45
solo	12.17	8.51	11.12	8.85
stjo	6.41	3.88	5.40	3.72
syog	3.67	3.69	3.84	3.66
thu2	2.59	2.35	2.66	2.42
tong	8.93	5.82	8.41	5.86
whit	3.52	2.50	3.28	2.51
yakt	4.98	3.49	5.32	3.74
yell	3.34	3.20	3.38	3.15
ykro	8.25	6.10	7.49	6.26
yssk	4.31	3.78	4.31	3.71

EK-19 Troposfer (ZTD) Mutlak Maksimum Değerleri (mm)

İstasyon	GPS		GPS+GLO	
	PPP	PPP-AR	PPP	PPP-AR
artu	25.4	12.8	24.2	12.4
bako	82.7	60	72.4	61.9
brmu	67.3	13.5	67.3	29.7
cas1	41.3	13.7	26.8	14.8
cusv	109.5	114.4	111.4	113.9
daej	34	17.6	35.1	18
dav1	39.1	21.8	34.9	22.5
djig	74	41.5	45.7	41.7
ffmj	27.7	18	30	15.9
gamb	95.4	111.1	94.6	106.1
glps	52.2	16.7	52.1	16.8
guat	57.4	19.5	57.2	17.3
hnus	52.5	24.1	45.4	29
hofn	35.5	12.4	29.8	12.1
holb	38.8	27.5	37.3	26.9
iisc	55.2	23.2	60.2	23.6
iqal	40.7	41.6	40.2	40.5
irkm	33.5	19.5	33.2	18.1
ista	53.6	48.7	45.5	48.3
jplm	36.6	20.3	31	19.1
kerq	41.5	30.8	36.5	30.3
kour	151.7	34.3	64.2	32.4
lhaz	40.7	14	45.3	14.8
lpal	35	15.2	35.1	16.4
madr	54.1	35.5	74.7	36.8
mbar	38.8	37.6	39.7	38
meli	67.3	27.4	67.3	25
mobs	66.4	19	66.2	22.5
naur	45.9	21.5	48.4	24.6
nlib	90.7	31.4	93.9	30.6
nnor	49.6	23.2	43	24.8
nyal	48.8	11.1	48	11.4
palm	34.7	28.7	31.5	28.3
pdel	82.4	17.9	45	19.1
pol2	101.6	99.6	99.9	102
ptgg	46	36.5	48.6	37.2
sant	80.7	17.2	63.2	18.3
solo	77.1	32.9	66.5	39
stjo	67.3	19.9	54.1	17.1
syog	17.6	15.7	20.3	15.4
thu2	23.4	10.5	17.8	12.3
tong	107.4	23.8	69.3	23.7
whit	31.8	14.1	29.1	13.3
yakt	37.9	17.5	38	19.1
yell	20.8	13.7	20.1	11.7
ykro	95.9	56.7	83.2	49.8
yssk	31.2	19.2	26.8	18.3

EK-20 Troposfer (ZTD) Ortalama Değerleri (mm)

İstasyon	GPS		GPS+GLO	
	PPP	PPP-AR	PPP	PPP-AR
artu	-0.02	-0.22	0.33	0.13
bako	-11.15	-10.42	-10.80	-10.44
brmu	-0.77	-0.26	-0.51	-0.37
cas1	5.29	4.76	5.96	5.29
cusv	-0.57	-1.52	-1.12	-0.94
daej	0.54	-0.64	0.98	-0.24
dav1	4.30	4.79	4.95	4.98
djig	-0.12	-0.94	0.28	-0.52
ffmj	-1.58	-2.26	-1.54	-1.78
gamb	0.79	0.10	0.96	0.73
glps	0.58	0.30	0.79	0.84
guat	-1.73	-2.00	-2.49	-2.35
hnus	-1.16	-1.10	-1.00	-0.69
hofn	-0.15	-0.30	0.48	0.30
holb	-13.17	-12.66	-12.70	-12.52
iisc	-4.65	-2.45	-2.53	-1.13
iqal	3.83	2.73	3.93	3.03
irkm	2.97	2.52	3.38	2.78
ista	-2.32	-1.05	-2.02	-1.08
jplm	0.27	-0.38	-0.41	-0.64
kegr	3.40	3.99	2.54	3.89
kour	-1.11	-1.14	-1.08	-1.17
lhaz	-1.44	0.22	1.29	1.74
lpal	-1.12	-1.26	-1.21	-1.31
madr	0.59	1.10	1.41	1.78
mbar	0.31	0.26	1.07	0.96
meli	-1.46	-1.20	-1.68	-1.45
mobs	-0.07	0.32	0.22	0.18
naur	0.05	0.24	0.67	0.21
nlib	-8.72	-8.86	-7.45	-7.99
nnor	0.58	1.40	1.61	1.78
nyal	2.57	2.75	3.62	3.10
palm	4.40	4.42	4.52	4.20
pdel	-2.84	-3.12	-3.01	-2.97
pol2	1.14	0.83	1.36	1.10
ptgg	0.37	0.53	0.49	0.49
sant	3.79	2.00	4.40	2.57
solo	-1.76	-0.86	0.69	0.26
stjo	-0.45	-0.77	-0.33	-0.52
syog	3.97	4.10	4.65	4.74
thu2	2.70	2.57	3.39	3.17
tong	0.52	0.60	2.08	1.24
whit	0.49	-0.11	0.70	-0.03
yakt	3.82	2.29	4.59	2.84
yell	0.45	0.17	0.63	0.36
ykro	3.49	3.13	3.48	3.22
yssk	3.05	2.63	3.55	2.71