



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**STATİK GNSS, AĞ-RTK, PPP, PPP-RTK VE
SBAS YÖNTEMLERİNİN VE BUNLARDAN
ELDE EDİLEN KOORDİNAT
DOĞRULUKLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

İbrahim Cihan DEMİREL

YÜKSEK LİSANS

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

İbrahim Cihan DEMİREL tarafından hazırlanan “STATİK GNSS, AĞ-RTK, PPP, PPP-RTK VE SBAS YÖNTEMLERİNİN VE BUNLARDAN ELDE EDİLEN KOORDİNAT DOĞRULUKLARININ KARŞILAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması .../.../... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Danışman

Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Prof. Dr. Reha Metin ALKAN
(İstanbul Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Prof. Dr. Serkan DOĞANALP
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

İmza

İbrahim Cihan DEMİREL

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

STATİK GNSS, AĞ-RTK, PPP, PPP-RTK VE SBAS YÖNTEMLERİNİN VE BUNLARDAN ELDE EDİLEN KOORDİNAT DOĞRULUKLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

İbrahim Cihan DEMİREL

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ

2025, 127 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ
Prof. Dr. Reha Metin ALKAN
Prof. Dr. Serkan DOĞANALP**

Uydularla konum belirlemede (GNSS: Global Navigation Satellite Systems) çok fazla yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; statik göreceli konum belirleme, tek nokta konum belirleme (SPP:Single Point Positioning), tek nokta hassas konum belirleme (PPP:Precise Point Positioning), diferansiyel GPS/GNSS (DGPS/DGNSS), SBAS (Satellite Based Augmentation Systems), Statik GNSS, standart RTK (Real Time Kinematic) ve Ağı-RTK (CORS: Continuously Operating Reference Stations) çözümleri olarak özetlenebilir. Bu yöntemler kullanılarak elde edilen doğruluklar farklı veri yapılarına, alıcı modellerine, veri toplama sıklığına, matematiksel modellemelere vb. dayanmakta olup her bir çözüm yönteminin amacı (jeodezik, jeodinamik, kadastro, meteoroloji, gerçek zamanlı navigasyon vb.) ve hedef kitlesi farklı olabilmektedir.

Statik GNSS ölçüm yöntemi, yüksek doğruluk istendiğinde, uzun bazlar söz konusu olduğunda, atmosferik etkilerin dikkate alınması durumunda, uydu geometrisi diğer ölçü yöntemlerine imkân vermediğinde, sistematik etkilerin dikkate alınması durumunda (iyonosfer, troposfer) en iyi yöntemdir.

Ağı-RTK (CORS) ile ölçü noktasında genel olarak birkaç dakikada, hatta saniyeler içinde santimetre doğruluğunda harita ve konum bilgisi elde edebilmek mümkündür.

PPP-RTK ile Ağı-RTK erişimi sağlanamayan, uzun süreli statik ölçü imkânı olmayan ölçme çalışmalarında, internet/GSM erişiminin olmadığı durumlarda GEO uyduları üzerinden kullanılan servise göre değişmekle birlikte birkaç dakika ile birkaç 10 dakika arasında değişen yakınsama süresi sonunda cm-dm aralığında konum ve yükseklik doğruluğuna erişmek mümkündür.

SBAS, (WAAS, EGNOS ve MSAS vd.) havacılık sektöründe bir kalite kontrol ve izleme sistemi olarak kullanılmaktadır. GPS alıcılarında hesaplanan konumların doğruluk ve güvenilirliğini artırıcı (augmentation) düzeltme bilgileri (yörünge, saat ve atmosferik) Yer-sabit (GEO: Geostationary) uyduları ile kullanıcılara gönderilir. Burada öne çıkan düşünce, uydu navigasyon sistemlerinin; her yerde ve her zaman ulaşılabilen, doğru, güvenilir ve kullanımı kolay olması, uçakların güvenli bir şekilde uçuşması ve gemilerin özellikle dar boğaz ve kanallarda güvenli yol almalarını sağlamaktır.

SBAS, Ağı-RTK, PPP, PPP-RTK ve Statik Ölçüler, jeodezik ölçümler için farklı üstünlükler ve zayıflıklar sunar. Hangi yöntemin tercih edileceği, kullanıcının ihtiyaçlarına, uygulama alanına ve doğruluk gereksinimlerine bağlıdır.

Bu tez çalışmasında Ankara ili bölgesinde bulunan 10 adet Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA) noktası çalışma noktası olarak seçilmiştir. Statik ve PPP yöntemleri için her bir noktada 3'er saatlik gözlem yapılmıştır. PPP- RTK yöntemi için faz belirsizliklerinin çözümlendiği (fix) çözüm elde

edilene kadar ölçüm gerçekleştirilmiş ve bu süreler kayıt edilerek her bir noktanın yakınsama süresi belirlenmiştir. Ağ-RTK yöntemi için Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) sunucularına bağlanarak 60 epok (her saniyede 1 ölçüm) ölçüm yapılmıştır. SBAS yöntemi için İSTA IGS istasyonu GPS ve GPS+SBAS verileri ile analiz edilerek SBAS'ın konumsal doğruluğu değerlendirilmiştir.

TUTGA noktalarına ait koordinat ve hız değerleri Harita Genel Müdürlüğü (HGM)'den temin edilmiş ve uygulanan yöntemlerin konum doğruluklarının belirlenebilmesi için bilinen koordinatlar olarak kabul edilmiştir. Arazi çalışması sonucunda Statik, PPP, PPP-RTK ve Ağ RTK (CORS) yöntemleri ile elde edilen koordinatlar HGM'den elde edilen ve bilinen olarak kabul edilen koordinatlar ile karşılaştırılmış, koordinat farkları ile Karesel Ortalama Hata (KOH) değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca SBAS yönteminin değerlendirilmesi amacıyla İSTA IGS istasyonunun verileri kullanılmıştır.

HGM'den alınan hassas koordinatlar ile arazi çalışması sonucunda elde edilen koordinatların karşılaştırılması neticesinde Statik yöntemde X, Y, Z, konumlarında sırası ile 2.5, 2.3, 2.8 cm'lik KOH değerleri hesaplanmıştır. PPP yöntemi ile X, Y, Z, konumlarında sırası ile 3.3, 3.0, 3.9 cm'lik KOH değerleri hesaplanmıştır. PPP-RTK yöntemi ile X, Y, Z, konumlarında sırası ile 6.8, 3.2, 25.0 cm'lik KOH değerleri hesaplanmış ve faz belirsizliklerinin çözümlendiği (fix) süreler her bir nokta için kaydedilerek ortalama 3.9 dakika yakınsama süresi hesaplanmıştır. Ağ-RTK (CORS) yöntemi ile X, Y, Z, koordinat bileşenlerinde sırası ile 5.9, 3.4, 3.8 cm'lik KOH değerleri hesaplanmıştır. SBAS verisinin konum iyileştirmesinin hesaplanması için GPS verileri ile ilk olarak SPP çözümü yapılmış, daha sonra ise GPS ve SBAS verileri birlikte çözülerek SBAS'ın GPS'e yatayda 2.34 metre düşeyde ise 2.13 metre iyileştirme getirdiği hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: GNSS, Statik Ölçüm, Ağ-RTK, SBAS, PPP-RTK, PPP

ABSTRACT

MS THESIS

COMPARISON OF STATIC GNSS, NETWORK-RTK, PPP, PPP-RTK AND SBAS METHODS AND THEIR COORDINATE ACCURACY OBTAINED FROM THEM

İbrahim Cihan DEMİREL

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geomatics**

Advisor: Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ

2025, 127 Pages

Jury

**Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ
Prof. Dr. Reha Metin ALKAN
Prof. Dr. Serkan DOĞANALP**

There are many methods used in determining position with satellites (GNSS: Global Navigation Satellite Systems). These can be summarized as static relative positioning, single point positioning (SPP), single point precise positioning (PPP), differential GPS/GNSS (DGPS/DGNSS), SBAS (Satellite Based Augmentation Systems), Static GNSS, standard RTK (Real Time Kinematic) and Network-RTK (CORS: Continuously Operating Reference Stations) solutions. The accuracies obtained using these methods depend on different data structures, receiver models, data collection frequency, mathematical modeling, etc., and the purpose (geodetic, geodynamic, cadastral, meteorology, real-time navigation, etc.) and users of each solution method may be different.

Static GNSS measurement method is the best option when high accuracy is required, when long bases are in question, when atmospheric effects are taken into account, when satellite geometry does not allow other measurement methods, when systematic effects are taken into account (ionosphere, troposphere).

With Network-RTK (CORS), it is generally possible to obtain map and position information with centimeter accuracy at the measurement point in a few minutes or even seconds.

With PPP-RTK, in measurement studies where Network-RTK access is not available, where there is no long-term static measurement opportunity, and in cases where there is no internet/GSM access, it is possible to reach position and height accuracy in the cm-dm range after a convergence period ranging from a few minutes to a few 10 minutes depending on the service used via GEO satellites.

SBAS (WAAS, EGNOS and MSAS etc.) is used as a quality control and monitoring system in the aviation sector. The correction information (orbit, clock and atmospheric) that increases the accuracy and reliability of the positions calculated in GPS receivers is sent to users via Geostationary (GEO) satellites. The idea here is to ensure that satellite navigation systems are accessible everywhere and at all times, accurate, reliable and easy to use, and to ensure that aircraft fly safely and ships navigate safely, especially in narrow straits and channels.

SBAS, Network-RTK, PPP, PPP-RTK and Static Measurements offer different advantages and weaknesses for geodetic measurements. Which method is preferred depends on the user's needs, application area and accuracy requirements.

In this thesis study, 10 Turkish National Fundamental GNSS Network (TUTGA) points located in the Ankara province region were selected as the study area. 3-hour observations were conducted at each point for static and PPP methods. For the PPP-RTK method, measurements were performed until a

solution was obtained where the phase uncertainties were resolved (fixed) and these periods were recorded to determine the convergence time of each point. For the Network-RTK method, 60 epochs (1 measurement per second) were measured by connecting to the General Directorate of Land Registry and Cadastre (TKGM) servers. For the SBAS method, the positional accuracy of SBAS was evaluated by evaluating the ISTA IGS station with GPS and GPS+SBAS data.

The coordinate and velocity values of the TUTGA points were obtained from the General Directorate of Mapping (HGM) and were accepted as known coordinates in order to determine the position accuracies of the applied methods. As a result of the field study, the coordinates obtained with the Static, PPP, PPP-RTK and Network RTK (CORS) methods were compared with the coordinates obtained from HGM, accepted as known, and the coordinate differences and Root Mean Square Error (RMS) values were calculated. In addition, the data of the ISTA IGS station was used to evaluate the SBAS method.

As a result of comparing the precise coordinates obtained from HGM and the coordinates obtained as a result of the field study, RMS values of 2.5, 2.3, 2.8 cm were calculated for X, Y, Z positions with the static method. RMS values of 3.3, 3.0, 3.9 cm were calculated for X, Y, Z positions with the PPP method. RMS values of 6.8, 3.2, 25.0 cm were calculated for X, Y, Z positions with the PPP-RTK method and the convergence times for which the phase ambiguities were resolved (fixed) were recorded for each point and an average convergence time of 3.9 minutes was calculated. RMS values of 5.9, 3.4, 3.8 cm were calculated for X, Y, Z coordinate components with the Network-RTK (CORS) method, respectively. In order to calculate the position improvement of SBAS data, first SPP solution was made with GPS data, then GPS and SBAS data were solved together and it was calculated that SBAS improved GPS by 2.34 meters horizontally and 2.13 meters vertically.

Keywords: Ağ-Rtk (CORS), GNSS, SBAS, PPP-RTK, PPP, Static

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum tez çalışmasında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerinden daima istifade etmiş olduğum danışmanım saygıdeğer kıymetli hocam Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ'ye teşekkürü borç bilirim.

Mensubu olmaktan onur duyduğum Harita Genel Müdürlüğüne, tez kapsamında teknik ve donanımsal destek sunan Harita Genel Müdürlüğü Jeodezi Dairesi Başkanı Sayın Müh. Alb. Erdiç SEZEN, Jeodezi Şube Müdürü Sayın Müh. Bnb. Selçuk PEKER'e ve tez kapsamında bilgi ve tecrübesinden daima yararlandığım emekli Jeodezi Şube Müdürü Sayın Müh. Alb. Ayhan CİNGÖZ' e teşekkürlerimi arz ederim.

Tez çalışmasında kullanılan TERSUS Oscar TAP Ultimate GNSS alıcısı ile ölçüm yapma imkânı sağlayan Atay Mühendislik firmasının sahibi Sayın Hürcan ATAY'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Beni büyüten bu yaşıma kadar her zorlukta ve mutlulukta daima desteğini hissettiğim kıymetli annem Fatma DEMİREL'e ve kıymetli babam Adnan DEMİREL'e teşekkürlerimi sunarım.

İbrahim Cihan DEMİREL
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
3.1. GNSS TANIMI VE GNSS İLE KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ	15
3.1.1. GNSS Tanımı.....	15
3.1.2. GNSS ile Konum Belirleme Yöntemleri	16
3.1.2.1. Mutlak Konum Belirleme	19
3.1.2.2. Göreli Konum Belirleme	20
3.2. STATİK GNSS GÖZLEMLERİ	23
3.2.1. Statik Ölçü Yöntemi	23
3.2.1.1. Hızlı Statik Ölçü Yöntemi	24
3.2.2. Statik Ölçü Yönteminde Kullanılan Donanımlar.....	24
3.2.3. Statik Ölçüm Süreci	26
3.3. AĞ-RTK VE TUSAGA-AKTİF	27
3.3.1.TUSAGA-Aktif	28
3.4. PPP YÖNTEMİ	34
3.4.1 PPP Hata Kaynakları	34
3.4.1.1 İyonosfer Hatası	34
3.4.1.2 Troposfer Hatası	35
3.4.1.3 Uydu Yörünge Hatası	35
3.4.1.4 Uydu Faz Merkezi Kayıklığı ve Faz Dönmesi Hataları	35
3.4.1.5 Uydu ve Alıcı Saati Hataları	36
3.4.1.6 Sinyal Yansıma (Multipath) Hatası	36
3.4.1.7. Yer Deformasyonu Kaynaklı Hatalar	36
3.4.1.8. Diferansiyel Kod Sapmaları (DCB).....	37
3.5. PPP-RTK YÖNTEMİ	38
3.6. SBAS YÖNTEMİ	43
3.6.1. WAAS Sistemi.....	45
3.6.2. EGNOS Sistemi	46
3.6.3. GAGAN Sistemi	48
3.6.4. MSAS Sistemi.....	50
3.6.5. SDCM Sistemi	51
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	53

4.1. Statik Yöntem ile Toplanan Gözlem Verilerinin GAMIT-GLOBK Yazılımı ile Analizi.....	55
4.1.1. Kampanya Oluşturulması	56
4.1.1.1. RINEX Klasörü ve Tables Klasörünün Oluşturulması.....	56
4.1.1.2. Tables Klasörü ve Tables Klasörünün Altında Oluşan diğer Önemli Dosyalar	56
4.1.2. Güncellenmesi Gereken Dosyalar	62
4.1.3. Günlük GAMIT çözüm dosyalarının oluşturulması	65
4.1.3.1. Günlük GAMIT çözümünün kalite kontrolü	66
4.1.4. Günlük GLRED çözüm dosyalarının oluşturulması:.....	67
4.2. Bernese Yazılımı kullanılarak Gözlem verilerinin PPP yöntemi ile Çözümü.....	72
4.2.1. Proje Açılması (Kampanya Yaratılması)	74
4.2.2. Analiz için Gerekli Dosyaların Temini ve Konacağı Dizinler	75
4.2.3. Analiz Adımları	77
4.2.3.1. IERS Yer Dönme Parametrelerinin Bernese formatına dönüştürülmesi	78
4.2.3.2. Tablo şeklinde düzenlenmiş yörünge dosyalarının oluşturulması.....	78
4.2.3.3. Standart yörünge dosyalarının oluşturulması	78
4.2.3.4. Gözlemlerin Bernese formatına dönüştürülmesi	78
4.2.3.5. Alıcı Saatlerinin Senkronizasyonu.....	79
4.2.3.6. Veri kalitesinin kontrolü ve düzeltme değerlerinin kaydedilmesi	79
4.2.3.7. Düzeltmelerin hesaplanması ve kötü ölçülerin işaretlenmesi.....	80
4.2.3.8. Kaba Hatalardan Temizlenmiş Ölçüler ile Parametre Çözümü.....	80
4.2.3.9. PPP Sonuç Dosyalarının Üretilmesi	80
4.2.3.10. Özet Analiz Sonuç Raporu	81
4.2.4. Bernese ile Otomatik Analizin Görsel Aşaması	81
4.3. Tersus Oscar TAP Alıcısı Kullanılarak PPP-RTK Yöntemi ile TUTGA Noktalarının Ölçümü	89
4.4. TUSAGA-Aktif Sistemi ile TUTGA Noktalarının Ölçümü.....	91
4.5. GLAB Programı ile SBAS Tarafından Uygulanan İyileştirmenin Hesaplanması	93
4.5.1. Mode Arayüzü	94
4.5.2. Şablonlar	96
4.5.3. Yapılandırma, Tercihler ve Yardım.....	96
4.5.4. gLAB ile Analiz Adımları	98
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	105
5.1 Sonuçlar	105
5.2 Öneriler	110
KAYNAKLAR	112

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

BKZS	: Bölgesel Konumlama ve Zamanlama Sistemi
CORS	: Continuously Operating Reference Stations
ESA	: European Space Agency
GAGAN	: GPS Aided Geo Augmented Navigation Systems
GBAS	: Ground Based Augmentation Systems
GLONAS	: Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GEO	: Geostationary Earth Orbit
GNSS	: Global Navigation Satellite Systems
GPS	: Global Positioning System
HGM	: Harita Genel Müdürlüğü
IGP	: Ionospheric Grid Point
IGS	: International Global Navigation Satellite Systems Service
IRNSS	: Indian Regional Navigational Satellite System
ITRF	: International Terrestrial Reference Frame
KOH	: Karesel Ortalama Hata
MIT	: Massachusetts Institute of Technology
MSAS	: MTSAT Satellite-based Augmentation System
PRN	: Pseudo Random Noise
QZSS	: Quasi-Zenith Satellite System
RINEX	: The Receiver Independent Exchange Format
RTCM	: Radio Technical Commission for Aeronautics
RTK	: Real Time Kinematic
SA	: Selective Availability
SBAS	: Satellite Based Augmentation Systems
SISRE	: Signal-in-Space Ranging Error
TKGM	: Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü
TUREF	: Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi
TUSAGA-Aktif	: Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif (Gerçek Zamanlı)
WAAS	: Wide Area Augmentation Systems
WGS84	: World Geodetic System-1984

1. GİRİŞ

Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS), 20. yüzyılın ortalarında başlayan uzay yarışının bir sonucu olarak ortaya çıkmış, zamanla modern toplumların birçok kritik görevleri için vazgeçilmez bir teknoloji haline gelmiştir. Bu sistemler, zaman ve konum bilgisi sağlayarak ulaşım, telekomünikasyon, finans ve askeri alanlarda küresel çapta kullanılmaktadır.

1957'de Sovyetler Birliği'nin Sputnik 1 uydusunun uzaya fırlatılması, GNSS teknolojisinin gelişimine önemli bir katkı yapmıştır. Sputnik'in yaydığı radyo sinyallerindeki Doppler kayması, bir nesnenin konumunu belirlemede kullanılabilecek yeni bir yöntem keşfetmiştir (Parkinson ve Spilker, 1996). Bu prensibe dayanan ilk sistem, ABD donanması tarafından geliştirilen TRANSIT'tir ve 1964'te operasyonel olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, TRANSIT sınırlı kapsama alanı ve düşük güncelleme hızı nedeniyle yalnızca belirli askeri uygulamalar için uygun olabilmıştır.

1973 yılında ABD Savunma Bakanlığı, farklı navigasyon projelerini birleştirerek NAVSTAR GPS programını başlattı. GPS'in amacı, tüm hava koşullarında, yüksek hassasiyetli, sürekli erişilebilir bir konum ve zaman belirleme sistemi sağlamaktır. Bu kapsamda ilk GPS uydusu 1978'de fırlatıldı ve 1995 yılında 24 uydu ile operasyonel hale geldi (Kaplan ve Hegarty, 2006). Başlangıçta yalnızca askeri kullanıma yönelik geliştirilen GPS, 1983 yılında Kore Hava Yolları uçağının vurulması sonrası sivil kullanıma açıldı. 2000 yılında "Seçimli Doğruluk Erişimi (Selective Availability)" özelliğinin kaldırılmasıyla sivil kullanımda doğruluk büyük ölçüde artmıştır.

Rusya tarafından GLONASS uydu projesi 1976 yılında başlanmış fakat ilk uydu 1982 yılında fırlatılmıştır. 1990'lı yıllarda Sovyetler Birliği'nin çöküşü sonrası sistem zayıflasa da 2000'li yıllarda modernizasyon projeleriyle tekrar güçlü bir hale gelmiştir.

Galileo uydu projesi Avrupa Birliği tarafından 2003'te başlatılmıştır. Tam bağımsız, sivil kontrollü bir GNSS sistemi olarak 2020'de hizmete girmiştir (European GNSS Agency, 2021).

Çin tarafından BeiDou Navigation Satellite System (BDS) uydu projesinin ilk aşaması olan BeiDou-1 2000 yılında hizmete girmiş olup günümüzde BeiDou-3 ile küresel kapsama sağlamaktadır.

Birleşik Krallık, Avrupa Birliği'nden ayrıldıktan sonra Galileo sisteminin güvenli ve şifreli servislerine erişimini kaybetmiştir. Bu gelişme, ülkenin konumlama ve zamanlama altyapılarında dışa bağımlılığını sorgulamasına neden olmuştur. Bu

doğrultuda başlatılan UK GNSS projesiyle, kendi uydu tabanlı navigasyon sistemini kurma hedefi ortaya çıkmıştır. Ancak yüksek maliyetler ve teknik zorluklar nedeniyle proje daha sonra iptal edilmiştir. Bunun yerine, Birleşik Krallık daha esnek ve uygun maliyetli alternatiflere yönelmiş, özellikle OneWeb adlı düşük yörüngeli uydu ağı üzerinden konum ve zamanlama hizmetleri sağlama fikrine odaklanmıştır. Günümüzde Birleşik Krallık, küresel GNSS sistemlerinden (özellikle GPS ve Galileo) yararlanmaya devam etmekte; aynı zamanda bu sistemlere olan bağımlılığı azaltmak amacıyla yedekleme ve destekleyici teknolojiler geliştirmeye çalışmaktadır.

Güney Kore tarafından geliştirilen Korean Positioning System (KPS), ülkenin bölgesel düzeyde bağımsız bir uydu konumlandırma altyapısına sahip olmasını amaçlayan stratejik bir projedir. Bu sistem, özellikle Kore Yarımadası ve çevresinde faaliyet gösteren uygulamalara yönelik yüksek hassasiyetli, kesintisiz ve güvenli konum bilgisi sağlamayı hedeflemektedir. Projenin temelleri 2010'lu yılların ortalarında atılmış olup, 2021 yılında Güney Kore ile ABD arasında yapılan resmi iş birliği anlaşması ile uluslararası boyutta önemli bir adım atılmıştır. Uyduların 2027'den itibaren uzaya fırlatılması ve sistemin 2035 yılında tam operasyonel hale gelmesi beklenmektedir.

Bölgesel Konumlama ve Zamanlama Sistemi (BKZS), Türkiye'nin yerli ve milli imkânlarla geliştirmeyi hedeflediği, bölgesel kapsamlı bir uydu konumlama ve zamanlama sistemidir. Bu sistem, Türkiye'nin GNSS (Global Navigation Satellite Systems) sistemlerine olan dışa bağımlılığını azaltmak, ulusal güvenliği ve altyapı bağımsızlığını sağlamak amacıyla tasarlanmaktadır. Henüz erken aşamalarında olan bu proje, gelecek yıllarda Türkiye'nin uzay ve savunma alanlarındaki bağımsızlığını güçlendirecek önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Tüm bu gelişmiş sistemlere ek olarak Hindistan'ın IRNSS/NAVIC ve Japonya'nın QZSS sistemleri gibi bölgesel GNSS çözümleri de geliştirilmiştir.

GNSS uydularının sayısı arttıkça kullanıcılara sunulan sinyal ve hizmet sayısı da artmıştır. Buna paralel olarak, GNSS sinyali ve veri işleme kavramları sürekli olarak gelişmiştir. Bu, hem yeni performans seviyelerine (doğruluk ve zamanlama açısından) hem de çok çeşitli yeni uygulama alanlarına olanak sağlamıştır. Günümüzde uydular ile konum belirleme kod ve faz ölçülerine dayanan farklı yöntemler ile sırasıyla metre ile milimetre hassasiyetine ulaşmış durumdadır. Bu yöntemler tezin ilerleyen bölümlerinde detaylı olarak anlatılacaktır.

GNSS teknolojisinin sivil kullanıma açılması, dünya genelinde pek çok sektörde devrim niteliğinde değişikliklere yol açmıştır. Ancak, GNSS sinyalleri atmosferik

sapmalar, yörünge hataları ve saat hataları gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir (Kaplan ve Hegarty, 2006). Özellikle hava taşımacılığı gibi yüksek hassasiyet ve güvenlik gerektiren uygulamalar için bu hata kaynakları kabul edilemez düzeyde olabilmektedir. Bu bağlamda, GNSS performansını artırmak amacıyla çeşitli destekleme sistemleri geliştirilmiştir. Bunlardan biri de Uydu Bazlı Destekleme Sistemi (SBAS) olmuştur.

1980'lerin sonlarında, ABD Federal Havacılık İdaresi (FAA), GNSS sistemlerinin hassasiyet ve bütünlük problemlerine çözüm arayışına girmiştir. 1994 yılında WAAS (Wide Area Augmentation System) projesi resmen başlatılmış ve temel GPS sinyalinin doğruluk seviyesinin metre altı düzeylere çekilmesi hedeflenmiştir (Enge ve diğ., 1996).

Başlangıçta havacılık uygulamaları için geliştirilen SBAS kavramı, zamanla diğer sektörlere de yayılmış ve küresel ölçekte farklı SBAS sistemleri oluşturulmuştur. Günümüzde yaygın olarak kullanılan SBAS uyduları WAAS (ABD), EGNOS (Avrupa Birliği), MSAS (Japonya), GAGAN (Hindistan), SDCM (Rusya), BDSBAS (Çin) sistemleridir.

SBAS sistemleri, çok sayıda yer tabanlı referans istasyonu vasıtasıyla GNSS sinyallerini izler. Bu veriler bir ağ merkezi tarafından toplanır, analiz edilir ve hata düzeltmeleri (yörünge hataları, uydu saat hataları, iyonosferik düzeltme) üretilir. Düzeltme verileri daha sonra yer sabit uydular üzerinden kullanıcılara iletilir. SBAS sistemleri, GNSS teknolojilerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırarak, kritik navigasyon uygulamalarında güvenliği sağlamada önemli bir rol oynamıştır.

Tüm bu uydu sistemlerine küresel navigasyon uydu sistemleri (GNSS) adı verilmektedir. GNSS'in kullanım alanları çok geniş olmakla beraber genel olarak;

- Karayolu, denizyolu, havayolu ve demiryolu taşımacılığında navigasyon, rota optimizasyonu, trafik yönetimi ve filo takibi gibi işlevlerde,
- Yüksek doğruluk gerektiren haritacılık ve jeodezi çalışmalarında temel veri toplama aracı olarak, kadastro çalışmaları, mühendislik projeleri, altyapı planlaması ve doğal kaynak yönetimi gibi alanlarda,
- Tarım sektöründe traktörlerin ve tarım makinelerinin otonom yönlendirilmesi, hassas ekim, ilaçlama ve hasat işlemlerinin yapılması gibi uygulamalarda,

- Doğal afetler, kazalar veya diğer acil durumlarda hızlı müdahale ve etkin kaynak yönetimi için kritik bilgiler sunmakta, arama kurtarma çalışmalarında kayıp kişilerin yerleri hızlı bir şekilde tespit etmekte,

- Yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi, deniz seviyesi değişimlerinin ölçülmesi ve atmosferik analizler, deprem araştırmaları ve iklim değişikliği gözlenmekte,

- Savunma ve güvenlik alanlarında askeri birliklerin hareketlerinin koordinasyonu, hedef belirleme, hassas mühimmat yönlendirme ve keşif uygulamalarında,

Akıllı telefonlar, akıllı saatler, araç içi navigasyon sistemleri ve spor takibi cihazları gibi tüketici elektroniği ürünlerinde GNSS teknolojisi yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında Ankara ili sınırları içerisinde yer alan 10 adet TUTGA sabit GNSS referans noktasında farklı GNSS ölçme ve değerlendirme yöntemleri uygulanarak, post-process ve gerçek zamanlı nokta konum doğrulukları yapılan statik ölçmelerle belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda noktalarda statik ve gerçek zamanlı kinematik GNSS gözlemleri yapılmış, noktaların koordinatları statik GNSS değerlendirme (post-process), PPP-RTK (gerçek zamanlı) ve Ağ-RTK (CORS) yöntemleri ile belirlenerek, Harita Genel Müdürlüğünden temin edilen noktaların bilinen olarak kabul edilen koordinatlarıyla karşılaştırılmıştır. Böylelikle; Statik, PPP, PPP-RTK ve Ağ RTK (CORS) yöntemlerinin doğrulukları ile ilgili değerlendirme yapılmıştır. Ayrıca SBAS konum iyileştirmesinin hesaplanması için GPS verileri ile ilk olarak SPP çözümü yapılmış, daha sonra ise GPS ve SBAS verileri birlikte çözülerek SBAS'ın GPS'e ne ölçüde bir iyileştirme getirdiği hesaplanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yalçın ve diğ., (2008), uydu geometrisinin uygunluğunun ölçütü olan DOP (Dilution of Precision) değerinin düşük olmasının, GPS ile belirlenen konum doğruluğunu artırdığını belirtmişlerdir .

Kahveci (2010), son 20 yıl içerisinde uydu gözlemlerini değerlendirme stratejilerinde önemli gelişmeler olmuştur. Tüm bunların amacı; gelişmiş modeller ve daha iyi yaklaşımlar kullanarak sürekliliği olan yüksek doğruluklu konum/baz uzunluğu zaman serilerini belirlemektir. Hesaplamalar sonucunda yüksek doğruluk ve süreklilik isteniyorsa, ölçü ve değerlendirmelerde IGS/IERS model ve standartlarının uygulanması gerektiği vurgulanmıştır.

Kahveci ve diğ., (2011), tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek doğruluk, güvenilirlik ve tutarlılık gerektiren projelerde, ölçüm sonrasında yapılan büroda hesaplamaların (post-process) hala önemli bir işlem olduğu vurgulanmıştır. Ancak, GPS/GNSS “post-process” kullanıcılarının sayısının hızla azaldığı ve RTK/CORS kullanıcılarının sayısının arttığı gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, GNSS "post-process" yönteminin, ülke genelinde jeodezik ağların kurulup sürdürülmesinin dışında, önümüzdeki dönemde yalnızca belirli alanlarda (jeofizik ve jeodinamik çalışmalar gibi) kullanılacağı ifade edilmiştir.

Bülbül ve diğ., (2015), çalışmalarında GPS/GNSS ölçüm yöntemlerinden Hızlı Statik, GZK ve Ağ GZK tekniklerini, klasik ölçüm yöntemlerinden ise Total Station ile kutupsal yöntemleri kullanarak detay noktalarının konumlarını belirlemişlerdir. Hızlı statik yöntem ile CORS-TR'nin karşılaştırılması sonucunda x ve y yönündeki koordinat farklarının -3.7 cm ile +4.5 cm arasında değiştiği ve koordinatların KOH değerinin ± 1.26 cm ile ± 1.59 cm arasında olduğu bulunmuştur. Hızlı statik yöntem ile GZK tekniği karşılaştırıldığında, x ve y yönündeki koordinat farkları -1.60 cm ile +3.20 cm arasında ve KOH değerleri ise ± 0.93 cm ile ± 1.53 cm arasında değişmiştir. Ayrıca, Hızlı statik yöntem ile Total Station verileri arasındaki karşılaştırmada, x ve y yönündeki koordinat farklarının -1.78 cm ile +2.60 cm arasında ve KOH değerlerinin ± 0.70 cm ile ± 0.88 cm arasında değiştiği hesaplanmıştır.

Kahveci (2017), Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları kitabında, son yıllarda konum belirleme ve uydu sistemlerindeki güncel gelişmeler, Uydu bazlı sistemler (SBAS), Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK), Gerçek Zamanlı Sabit GNSS (CORS) Ağları konuları detaylıca açıklanmıştır.

Kahveci ve Yıldız (2018), tarafından kaleme alınan "GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri" kitabında, GNSS sistemlerinin çalışma prensiplerini, GNSS alıcı ve anten yapıları, koordinat zaman sistemlerini, ölçüm ve hesaplamalarda karşılaşılan hata kaynaklarını, konum belirleme yöntemlerini, kullanılan doğruluk ölçütlerini ve Türkiye'deki uzay jeodezisi faaliyetlerini kapsamlı bir şekilde ele almaktadır.

Mutlu ve Kahveci (2019), statik GNSS ölçümleri ve hesaplamalarında uydu geometrisinin sürekli olarak değiştiğini ve her durumda çok sayıda uydu gözlemi yapılabildiğini belirtmektedirler. Bu bağlamda, ölçü noktasının etrafındaki doğal veya yapay engellerin, uydu sinyallerini engelleyen bir etkisi olup olmadığını değerlendirmek için, bu engellerin 5 dereceden daha az bir açıyla kaldığı ve ölçü noktasından belirli bir mesafede yer aldığı sürece bu engellerin önemli olmadığı sonucuna varılmaktadır. Ancak, ölçü noktasına yakın bölgelerde bulunan yüksek gerilim hatları ve manyetik alanlar, çok farklı hata kaynakları oluşturabileceği için bu durum, ayrıca ele alınmalı ve özel bir değerlendirme gerektirmektedir. Sonuç olarak, gerçek zamanlı kinematik GNSS kullanılarak yapılan konum belirleme işlemlerinde birkaç epokluk ölçümlerin istatistiksel olarak riskli olduğu ve ölçüm süresi uzadıkça elde edilen sonuçların daha tutarlı ve güvenilir hale geldiği ortaya konulmaktadır. Bu nedenle, birkaç epokluk kinematik GNSS ölçümleri ile yapılan jeodezik ve kadastro amaçlı konum belirlemelere dair mevcut mevzuatın, bu çalışmanın bulguları göz önünde bulundurularak güncellenmesinin faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Kahveci ve Kırtıl (2022), tarafından yapılan çalışmada, GNSS ile konum belirlemede nokta doğruluğunu etkileyen pek çok faktörün bulunduğu vurgulanmaktadır. GNSS ölçümleri ve hesaplamalarını etkileyen hata kaynakları arasında; uydu geometrisi, atmosferik etkiler, sinyal yansıması, faz belirsizliği, sinyal kayıpları gibi unsurlar yer almaktadır. Bunun dışında, kullanılan konum belirleme yönteminin de doğruluk üzerinde büyük etkisi vardır. Özellikle yüksek doğruluk gerektiren çalışmalar (jeodezik ve jeofizik amaçlarla konum belirleme, yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi, deformasyon analizleri, yağışa dönüşebilir su buharı hesaplamaları, jeoit ve datum belirleme vb.) için bu yöntemler büyük önem taşır. Bu tür hesaplamalar için, yüksek doğrulukta koordinat hesaplaması yapmak adına göreceli konum belirleme yöntemi ve faz ölçümleri tercih edilmektedir. Bu tür hesaplamalarda, özellikle nokta elipsoit yüksekliğinin doğru hesaplanabilmesi için troposferik etkinin mutlaka düzeltilmesi gerektiği belirtilmektedir. Eğer hedeflenen doğruluk birkaç cm düzeyindeyse, kullanılan modelin önemi azalır; ancak mm doğruluğu gerektiren

çalışmalarda (örneğin, deprem tahminleri gibi) düşük sinyal yükseklik açılarına ($<5^\circ$) duyarlı Niell veya VMF modellerinin kullanılması en doğru seçenek olarak önerilmektedir.

Alkan ve Öcalan (2013), Kanada Doğal Kaynaklar Bakanlığı Jeodezik Ölçüm Bölümü tarafından işletilen çevrim içi Hassas Nokta Konumlama (PPP) servisi olan CSRS-PPP'nin doğruluğunu incelenmiştir. Çalışmada, çift frekanslı jeodezik GPS alıcısı ile tek frekanslı OEM (Orijinal Ekipman Üreticisi) tipi GPS alıcısından elde edilen veriler kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. İstanbul Haliç'te dinamik bir ortamda gerçekleştirilen kinematik test sonucunda, tek frekanslı OEM verileriyle metre düzeyinde, çift frekanslı jeodezik verilerle ise desimetre hatta santimetre düzeyinde doğruluk elde edilebildiği görülmüştür. Elde edilen bulgular, PPP yönteminin geleneksel konumlama tekniklerine (DGPS, RTK gibi) güçlü bir alternatif haline geldiğini göstermektedir. PPP, referans istasyonu gerektirmemesi ve benzer doğruluk sunabilmesi sayesinde bu tekniklerin bazı sınırlamalarını ortadan kaldırmaktadır. Sonuç olarak, yüksek doğruluk, kullanım kolaylığı ve düşük saha maliyetleri gibi avantajları sayesinde PPP yönteminin denizcilik uygulamalarında etkili bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Dawidowicz ve Krzan (2014) çalışması, üç GNSS istasyonundan alınan dört günlük verilere dayanmaktadır. PPP-CSRS sonuçları, 0-5 saatlik açık gökyüzü ve düşük sinyal yansıma ile çift frekanslı GNSS verileri sağlandığında yatayda ~ 5 cm doğruluk ve düşeyde 10 cm doğruluk elde edilebileceğini göstermektedir.

Bahadur (2017), çalışmasında çoklu-GNSS kombinasyonlarının PPP performansını nasıl iyileştirebileceğini araştırmaktadır. Ayrıca, PPPH adlı bir yazılım geliştirilerek bu kombinasyonların etkisini analiz etmiştir.

Choy ve diğ., (2017), PPP prensipte, dünyanın herhangi bir yerinde, bir veya daha fazla yakın referans istasyonuna ihtiyaç duymadan, santimetre düzeyinde doğrulukta konumlandırma çözümleri sağlayabilir. PPP, küresel olarak dağıtılmış az sayıda referans istasyonu gerektirir ve bu da bu konumlandırma modunu maliyet ve operasyonel karmaşıklık açısından oldukça cazip hale getirir. PPP tekniği, özellikle yer tabanlı PPP kesin avantajlar sunsa da, uygulanabilirlik açısından onlarca dakika mertebesindeki uzun yakınsama süresiyle sınırlıdır. PPP için anlık yakınsamanın anahtarının, doğru iyonosferik gecikme düzeltmelerinin kullanılabilirliği olduğunu ifade etmiştir.

Alkan ve diğ., (2017), son yıllarda hassas nokta konumlama (PPP) yöntemi, tek bir GNSS alıcısıyla santimetre-desimetre düzeyinde doğruluk sağlaması ve referans istasyonu gerektirmemesi nedeniyle yaygınlaşmıştır. Ancak uydu sayısı ve sinyal kalitesi, özellikle dar geçitler veya dağlık bölgelerde konum doğruluğunu etkileyebilir. Bu nedenle GPS'e ek olarak GLONASS gibi diğer uydu sistemlerinin kullanılması, görünür uydu sayısını artırarak çözüm doğruluğunu iyileştirir. Bu çalışmada, Çorum'daki Obruk Baraj Gölü'nde yapılan dinamik bir testte GPS ve GPS+GLONASS verileri karşılaştırılmıştır. Veriler, Kanada merkezli CSRS-PPP çevrimiçi servisiyle işlenmiştir. Sonuçlar, yeterli GPS uydusu varsa her iki yöntemin benzer doğruluk sağladığını; ancak zor koşullarda GLONASS'ın katkısıyla çözümün mümkün hale geldiğini göstermektedir. Genel olarak PPP'nin denizcilik ve haritalama gibi uygulamalarda kullanılabilecek güvenilir bir yöntem olduğu ifade edilmiştir.

Erol ve diğ., (2020), zorlu denizcilik koşullarında gerçek zamanlı ve sonradan işlenen kinematik Hassas Nokta Konumlama (PPP) yöntemlerinin performansı analiz edilmiştir. Bu amaçla, Türkiye'nin Çorum ilindeki bir baraj gölünde 6 saat süren gerçek bir dinamik deney gerçekleştirilmiştir. Deney süresince her ölçüm anında Trimble CenterPoint RTX adlı ticari bir hizmet aracılığıyla gerçek zamanlı PPP (RT-PPP) koordinatları elde edilmiştir. Ardından, çoklu GNSS verileri ve MGEX'e (Multi-GNSS Experiment) ait hassas ürünler kullanılarak sonradan işleme PPP (PM-PPP) koordinatları hesaplanmıştır. Elde edilen RT-PPP ve PM-PPP sonuçları, yatayda santimetre, düşeyde ise desimetre düzeyinde konum doğruluğu ile bağlı çözümlerle tutarlı bulunmuştur. Çalışma, zorlu ortamlarda dahi dinamik uygulamalarda yüksek doğruluk sağlayabilen PPP yönteminin, hem gerçek zamanlı hem de sonradan işleme modlarında etkili bir konumlama aracı olduğunu göstermiştir.

Alkan ve diğ., (2020), bu çalışmada dinamik bir ortamda Tek-Bazlı RTK, Ağ RTK ve Trimble CenterPoint RTX RT-PPP yöntemlerinin konumlama doğruluğu karşılaştırılmıştır. Çorum'daki Obruk Baraj Gölü'nde yapılan testte, her yöntemle elde edilen gerçek zamanlı veriler, sonradan işlenen referans çözümlerle kıyaslanmıştır. Doğruluklar Tek-Bazlı RTK'da ± 6 cm, Ağ RTK'da ± 3 cm ve RT-PPP'de ± 7 cm olarak bulunmuştur. Ağ RTK en yüksek doğruluğu sağlasa da, hücresel bağlantı sorunları nedeniyle sürekli kullanılmamıştır. Tek-Bazlı RTK da sinyal engelleri nedeniyle sınırlı kalmıştır. Buna karşın, uydu tabanlı düzeltmelerle çalışan RT-PPP, kesintisiz ve güvenilir konumlama sağlamıştır. Sonuç olarak, RTX destekli RT-PPP, zorlu arazi ve

deniz ortamlarında geleneksel RTK yöntemlerine göre daha tutarlı bir çözüm sunduğu tespit edilmiştir.

Psychas ve Verhagen (2020)'na göre, tamsayı belirsizliği çözünürlüğü etkinleştirilmiş hassas nokta konumlandırma (PPP-RTK) ile yüksek hassasiyetli konum çözümlerine ulaşmak için gereken uzun yakınsama süresi, iyonosferik gecikmelerin varlığından kaynaklanmaktadır. Kesin gerçek zamanlı iyonosferik bilgi mevcut olduğunda ve düzgün bir şekilde uygulandığında, temel modeli güçlendirebilir ve santimetre düzeyinde doğruluk elde etmek için gereken süreyi önemli ölçüde azaltabilir. Bu çalışmalarında, orta iyonosferik bozulmanın olduğu bir gün boyunca çok ölçekli bölgesel ağlardan iyonosferik düzeltmeler kullanarak gerçek zamanlı PPP-RTK kullanıcı performansı sunularak analiz edilmiştir. Bu katkının amacı, ağ boyutundan tahmin edilen iyonosferik düzeltmeler aracılığı ve belirsizlikle (float) çözülmüş kullanıcı konumu üzerindeki etkisini ölçmektir. Bu amaçla, çok ölçekli ağlardan gelen iyonosferik düzeltmelerin kullanıcı yakınsama sürelerini iyileştirip iyileştiremeyeceğini ve ne ölçüde iyileştirebileceğini değerlendirmek için ABD'deki dört istasyon eşit dağılımlı CORS ağından gelen GPS çift frekanslı verileri, değişen istasyon aralıklarıyla işlenmiştir. Çok sayıda örneğe dayalı deneysel sonuçlar, 68 km aralıklı bir ağdan gelen düzeltmelere dayalı iyonosfer ağırlıklı kısmen belirsizlik sabitli kinematik PPP-RTK çözümlerinde 10 cm'nin altındaki yatay doğruluğun neredeyse anında elde edilebileceğini göstermiştir. Çözümlerin çoğunun (%90) 6,0 dakikadan daha az süre gerektirdiği gösterilirken (iyonosfer-float PPP çözümlerine göre 68,5 dakika olması gerekiyordu) 115, 174 ve 237 km aralıklı daha seyrek ağlarda, yatay konumlandırma hatalarının %50'sinin sırasıyla 1.5, 4.0 ve 7.0 dakika sonra bir desimetreden daha az olduğu, %90'ının ise 10.5, 16.5 ve 20.0 dakika gerektirdiği belirlenmiştir. Ayrıca, kullanıcının yakınsama sürelerinin ağ yoğunluğu ile doğrusal bir ilişki içinde olduğunu ve hem tam hem de kısmi belirsizlik çözümü için yoğunluk arttıkça kısaldığı sayısal olarak gösterilmiştir.

Du ve diğ., (2022)'ne göre, başlangıç faz belirsizliği çözünürlüğü (AR), yakınsama süresini hızlandırmaya ve hassas nokta konumlandırma (PPP) için konumlandırma doğruluğunu artırmaya yardımcı olan temel bir teknolojidir ve PPP-AR'nin performansı belirsizlik çözünürlüğü ürünlerinin kalitesine dayanır. Gerçek zamanlı PPP-AR, kullanıcıların artık gerçek zamanlı gözlemlenebilir sinyal sapması (OSB) ürünleri elde edebilmesi ile gerçeğe dönüşmüştür. 2021 yılı 121 ile 151'inci günleri arasındaki toplam 31 gün için 90 istasyondan gözlem verileri toplanmış ve OSB

ürünleri, deneyleri değerlendirmek için kullanılarak PPP-AR'nin performansına ilişkin olarak, GPS+Galileo çözümü, konumlandırma doğruluğunun (RMS) doğu (E), kuzey (N) ve yukarı (U) bileşenleri için sırasıyla; 1.06, 1.27 ve 2.85 cm olduğu ve ortalama yakınsama süresinin 9,6 dakikaya ulaştığı kinematik konumlandırma modunda en iyi performansı gösterdiği açıklanmıştır.

Li ve diğ., (2022)'ne göre, Hassas Nokta Konumlama (PPP) ve Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) kavramlarını birleştiren PPP-RTK yöntemi, sınırsız sayıda kullanıcı için santimetre hassasiyetinde konumlandırma hizmeti sağlamak üzere geliştirilmektedir. Son zamanlarda, PPP-RTK tekniği, yüksek hassasiyet, tam esneklik gibi çeşitli avantajlara sahip olduğundan, otonom araçlar ve insansız lojistik gibi yeni ortaya çıkan uygulamalar için umut verici bir araç haline gelmektedir. 2005 yılından bu yana PPP-RTK performans analizinde birçok çaba sarf edildi. Son yıllarda, çoklu GNSS'in ve yaygın olarak mevcut gerçek zamanlı hizmetin hızla gelişmesiyle, çoklu sistem ve çoklu frekanslı PPP-RTK, düşük maliyetli PPP-RTK ve gerçek zamanlı araç navigasyon uygulamalarında önemli aşamalar kaydetti. Şu anda, santimetre hassasiyetinde konumlandırma hizmeti sağlama kapasitesine sahip PPP-RTK tekniği, gerçek zamanlı konumlandırma ve navigasyon hizmeti için güvenilir bir araç olarak kabul ediliyor, hükümet ve ticari sistemlerde uygulanıyor. Bununla birlikte, daha iyi bir performans için PPP-RTK'da hala bazı potansiyel zorluklar bulunmaktadır. Bu zorluklar; Aktif iyonosfer senaryolarında doğru iyonosferik düzeltmelerin nasıl elde edileceği, karmaşık arazi koşullarına ve aşırı hava olaylarına nasıl uyum sağlanacağı, yüksek zamansal ve mekânsal çözünürlüğe sahip yüksek doğruluklu bir troposferik model nasıl geliştirileceği, kentsel ortamlarda PPP-RTK işlemede sinyal kesikliği ve çoklu yolun etkisinin nasıl azaltılacağı konuları açıklanmıştır.

RTCA (2006)'ya göre Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO), sivil havacılık kullanıcıları için Küresel Konumlandırma Sistemi'nin (GPS) konumlandırma performansını artırmak amacıyla, 1990'lardan itibaren GPS'i doğruluk, bütünlük, süreklilik ve kullanılabilirlik açısından artırmak için tamamlayıcı sistemler üzerinde çalışmalara başladı. Bu çabalar, referans istasyonlarından oluşan bir ağ temelinde navigasyon uyduları için bireysel hata kaynaklarını izole etmeyi ve ardından düzeltmeleri ve bütünlük mesajlarını hizmet alanı üzerinde yer sabit uydular tarafından yayınlamayı amaçlayan uydu tabanlı artırma sistemi (SBAS) konseptinin ortaya çıkmasına neden oldu.

RTCA (2006)'ya göre SBAS sistemleri, Havacılık için Radyo Teknik Komisyonu (RTCA) ortak havacılık standardı MOPS 229D'ye (Küresel Konumlandırma Sistemi/Geniş Alan Artırma Sistemi Hava Ekipmanı sürüm D için Minimum Operasyonel Performans Standartları) uygun olarak geliştirilmiştir. SBAS düzeltmeleri uydu yörünge düzeltmesi, uydu saat düzeltmesi ve iyonosferik düzeltmeyi içerir. Uydu yörüngesi ve saat düzeltmeleri uzun vadeli ve hızlı düzeltme verilerinden oluşur. Uzun vadeli düzeltmeler uydu yörüngesi hatalarını ve uydu saat hatalarının yavaş değişen kısmını düzeltmeyi amaçlarken, hızlı düzeltmeler GPS saat hatalarının hızla değişen kısmını telafi etmek için tasarlanmıştır. İyonosferik düzeltmeler, grid yapısında düşey iyonosferik gecikme biçiminde sağlanır. Kullanıcılar, yakındaki önceden tanımlanmış iyonosferik grid noktalarındaki (IGP'ler) düşey gecikmeleri kullanarak kestirim yoluyla gözlenen uydunun iyonosferik delme noktasındaki (IPP) düşey gecikmeyi hesaplayabilir. Belirli SBAS düzeltme türleri için sabit bir güncelleme oranı olmadığına dikkat edilmelidir. Genellikle, hızlı düzeltmeler yüksek bir oranda güncellenirken, uzun vadeli uydu düzeltmeleri ve iyonosferik düzeltmeler nispeten düşük bir oranda güncellenmektedir.

Rovira-Garcia ve diğ., (2016), WAAS ve EGNOS'un iyonosferik düzeltme doğruluğunu değerlendirmiş; bu iki SBAS sisteminden gelen iyonosferik düzeltmelerin toplam eğik iyonosferik gecikmenin yaklaşık %85'ini ortadan kaldıracıcağını ifade etmişlerdir.

Kahveci (2017), GNSS sistemlerinin çeşitli sınırlamaları (uydu saati hataları, atmosferik etkiler, alıcı kaynaklı hatalar vb.) nedeniyle bu sistemlerin ek yardımcı sistemlerle desteklenmesi gerektiğini vurgulamıştır. Özellikle havacılık alanında, sistemin bütünlüğü, doğruluğu ve sürekliliği sağlanarak kapsama alanı genişletilmiştir. Bu tür uydu tabanlı ek destek sistemleri, SBAS (Uydu Tabanlı Doğruluk Artırma Sistemi) olarak adlandırılmakta olup, erişilebilir, doğru ve güvenilir olmaları nedeniyle kullanım açısından büyük avantajlar sunmaktadır.

Nie ve diğ., (2019), 1 Ocak - 30 Haziran 2018 tarihleri arasındaki dönemde, şu anda mevcut olan beş SBAS sisteminden alınan uydu yörüngesi, saat ve iyonosferik düzeltmeler değerlendirilmiş ve analiz edilmiştir. Aynı zamanda, GPS yayın yörüngesi, saat ve iyonosferik düzeltme de karşılaştırma amacıyla değerlendirilmiştir. Beş SBAS sistemi arasında, EGNOS'un SISRE ve iyonosferik düzeltme doğruluğu sırasıyla 0.645 ve 0.491 m olup, değerlendirilen diğer SBAS'lardan daha iyi performans göstermektedir. SDCM düzeltmelerinin doğruluğu, SISRE için 0.650 m ve iyonosferik

düzeltilmeler için 0.523 m olan EGNOS düzeltmelerinin doğruluğuna çok benzerdir. WAAS sistemi, 0.505 m'lik karşılaştırılabilir doğrulukta iyonosferik düzeltmeler sağlar, ancak SISRE 1 m'ye yakındır. Ancak, MSAS ve GAGAN düzeltmelerinin doğrulukları, 1.931 ve 1.325 m'lik SISRE ve 0.795 ve 0.858 m'lik iyonosferik düzeltme doğruluğuna sahip diğer sistemlerden önemli ölçüde daha kötüdür. Değerlendirme döneminde GPS yayın yörüngeleri ve saatlerinin SISRE'si 0.695 m'dir ve WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN ve SDCM hizmet alanlarındaki GPS yayın iyonosferik düzeltmelerinin doğrulukları sırasıyla 1.482, 1.556, 1.626, 1.333 ve 1.896 m'dir. SBAS düzeltmelerinin GPS yayın yörüngelerine ve saatlerine uygulanmasının faydalarının SISRE açısından marjinalleştirildiği bulunmuştur. Ancak, SBAS iyonosferik düzeltmelerinin doğruluğu, tek frekans kullanıcıları için yararlı olabilecek GPS yayın iyonosferik düzeltmelerinden hala çok daha iyidir.

Yüksek doğrulukta konum belirleme, günümüz teknolojik uygulamalarında kritik bir gereklilik haline gelmiştir. Mühendislik, ulaşım, tarım ve savunma gibi pek çok alanda konumlama sistemlerinin performansı, uygulamaların başarısını doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda, GNSS (Global Navigation Satellite Systems) tabanlı konumlama teknikleri, farklı doğruluk, altyapı ihtiyacı ve maliyet parametreleri ile ön plana çıkmaktadır. Statik ölçüm yöntemleri, PPP (Precise Point Positioning), PPP-RTK (PPP-Real Time Kinematic), SBAS (Satellite-Based Augmentation System) ve Ağ-RTK (Network-RTK) gibi çeşitli yöntemler literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ancak mevcut araştırmalar çoğunlukla bu yöntemlerin bireysel performanslarını ayrı ayrı incelemekte, aynı ortam koşullarında karşılaştırmalı analizler sınırlı kalmaktadır. Bu durum, özellikle farklı GNSS tekniklerinin avantaj ve dezavantajlarının net bir şekilde ortaya konmasını engellemekte, uygulayıcıların doğru yöntem seçiminde rehberlik ihtiyacını artırmaktadır. Ayrıca, PPP ve PPP-RTK gibi nispeten yeni yöntemlerin, geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında hangi koşullarda üstünlük sağladığına dair kapsamlı çalışmalar henüz yetersizdir.

Bunun yanı sıra, GNSS performansının coğrafi koşullara, bölgesel atmosferik koşullara bağlı olarak değişkenlik göstermesi, bölgesel ölçekli analizlerin önemini artırmaktadır. Türkiye gibi topoğrafik ve jeodinamik açıdan hareketli coğrafyalarda, mevcut GNSS yöntemlerinin performansına ilişkin karşılaştırmalı çalışmalar literatürde sınırlı sayıda bulunmaktadır. Bu bağlamda, bölgesel ölçekte yapılacak doğruluk analizleri, hem ulusal GNSS altyapılarının geliştirilmesine hem de uygulama alanlarında daha etkin çözümlerin belirlenmesine katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmanın temel amacı, statik yöntem, PPP, PPP-RTK, SBAS ve Ağ-RTK tekniklerinin doğruluk ve performans kriterleri açısından karşılaştırmalı analizini yaparak, farklı uygulama senaryolarında en uygun yöntemin belirlenmesine bilimsel katkı sağlamaktır. Böylece, GNSS tabanlı konumlama teknolojilerinin hem akademik hem de pratik alanlardaki uygulamalarında karar vericilere sağlam bir referans oluşturulması hedeflenmektedir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, konumlama yöntemlerinin karşılaştırmalı analizlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla, Ankara ili içerisinde yer alan Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) bünyesindeki 10 referans noktası üzerinde uygulama gerçekleştirilmiştir. TUTGA noktalarına ait hassas koordinatlar ve hız bilgileri Harita Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. TUTGA noktalarında gerçekleştirilen ölçümler için GPS (L1C/A, L2C, L2P, L5), GLONASS (L1C/A, L2C/A), BeiDou (B1, B2, B3), Galileo (E1, E5A, E5B), QZSS (L1C/A, L1C, L2C, L5), SBAS (EGNOS, WAAS, MSAS, GAGAN, L1C/A) uydu sistemlerini ve frekanslarını destekleyen Oscar TAP Ultimate GNSS Alıcısı kullanılmıştır.

Pilye türü TUTGA noktalarında, bronz yüzeye su terazisi yerleştirilmiş ve dört yönde yapılan ölçümlerle pilye yüzeyinin yüksekliği belirlenmiştir. Elde edilen ölçümler aritmetik ortalamaya tabi tutularak nihai yükseklik değeri elde edilmiştir. Elde edilen yükseklik değeri “Tribrah” yüksekliğinden çıkartılarak düşey alet yüksekliği hesaplanmıştır. TUTGA noktası kayada bronz olan tesislerde ise üç ayak sehpa (Tripod) noktaya düzgün şekilde yerleştirilmiş ve rüzgârdan etkilenmeyecek şekilde kurulmuştur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Cihaz Kurulumuna ait Görseller

Statik ve PPP yöntemlerinin analizi amacıyla, Oscar TAP Ultimate GNSS alıcısı tüm uydu sinyallerini alacak şekilde ayarlanmış ve her bir TUTGA noktasında 3'er saatlik gözlem gerçekleştirilmiştir. Gözlem sonunda elde edilen RINEX verileri analiz aşamasında kullanılmıştır. Ağ-RTK (CORS) yönteminin analizi amacıyla Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) sunucularına bağlanılarak RTCM data formatında ve VRS ağ model desteği ile 60 epok (her saniyede bir olmak üzere) fix çözüm gerçekleştirilmiştir. PPP-RTK yönteminin analizi amacıyla, Oscar TAP Ultimate GNSS alıcısı (üyelik bilgisi gerekmektedir) ile uydu yörünge ve saat kaynaklı düzeltme bilgilerini doğrudan L-bandından yayın yapan uydular kullanılarak fix çözüm elde edilene kadar beklenmiş ve beklenen bu süre kayıt edilerek yakınsama süreleri hesaplanmıştır. SBAS konum iyileştirmesinin hesaplanması için İSTA IGS istasyonu 24 saatlik GPS gözlem verisi ile ilk olarak SPP çözümü yapılmış, daha sonra ise GPS ve SBAS gözlem verileri birlikte çözülerek SBAS'ın GPS'e ne ölçüde bir iyileştirme getirdiği hesaplanmıştır.

3.1. GNSS TANIMI VE GNSS İLE KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ

3.1.1. GNSS Tanımı

1978'de Amerika Birleşik Devletleri, ilk GPS (Global Positioning System) uydusunu uzaya gönderdiğinde, üç boyutlu ve gerçek zamanlı konum belirleme imkânı doğmuştur. GPS, ABD Savunma Bakanlığı tarafından geliştirilmiş ve GPS alıcısına sahip herhangi bir kişinin, uydu sinyalleri aracılığıyla; açık gökyüzü gözlem imkânı olan her yerde, her zaman, hemen her türlü hava koşulunda, ortak bir koordinat sistemi içinde, yüksek hassasiyetle, ekonomik olarak, anında ve sürekli olarak konum, hız ve zaman belirlemesine imkan tanıyan bir sistem olarak tanımlanır. Zamanla bu alanda yoğun çalışmalar yapılmış ve günümüzde gerçek zamanlı, santimetre seviyesinde üç boyutlu konum belirleme yaygın bir uygulama halini almıştır. Bu gelişmelerle birlikte, alandaki çalışmalar sürmüş ve yeni sinyaller ile farklı ülkelerin uydu sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin, 1982'de ilk uydusunu yörüngesine yerleştiren Rus GLONASS uydu sistemi buna örnektir. GLONASS sisteminin faaliyete girmesiyle birlikte, "Global Uydu Navigasyon Sistemleri (GNSS)" terimi kullanılmaya başlanmıştır (Kahveci ve Yıldız, 2018). Günümüzde ABD, Rusya, Avrupa Birliği (AB) tarafından Galileo, Çin Beidou/Compass, Japonya QZSS (Quasi-Zenith Satellite

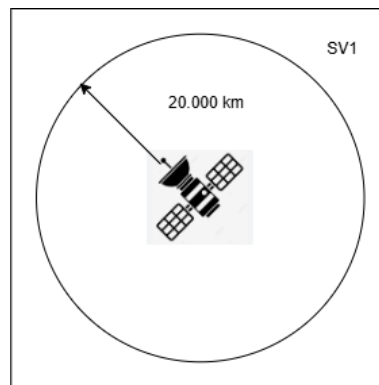
System) ve Hindistan IRNSS (Indian Regional Navigational Satellite System) gibi uydu sistemleri geliştirilmiştir (Teunissen ve Montenbruck, 2017).

GPS ve GLONASS gibi sistemlerin doğasında bulunan bazı sınırlamalar (uydu saat hataları, atmosferik etkiler, alıcı hataları vb.) bu sistemlerin başka sistemlerle desteklenmesi gerektiğini ortaya koymuştur. GNSS sistemlerinin doğruluğunu arttırmak, güvenilirliğini sağlamak ve kullanılabilirliğini yükseltmek için, Avrupa Yer Sabit Navigasyon Kaplama Servisi (EGNOS), ABD'nin WAAS (Wide Area Augmentation Systems), Japonya'nın MSAS (MTSAT), Rusya'nın SDCM (System of Differential Correction and Monitoring), Çin'in SNAS ve Hindistan'ın GAGAN (GPS Aided Geo Augmented Navigation System) gibi destekleyici sistemleri geliştirilmiştir.

Sonuç olarak, WAAS, EGNOS, SDCM, MSAS, SNAS ve GAGAN gibi gerçek zamanlı doğruluğu artıran uydu bazlı sistemler (SBAS), GPS, GLONASS, Beidou/Compass, QZSS, IRNSS gibi konum belirleme sistemleriyle birlikte GNSS olarak adlandırılmaktadır.

3.1.2. GNSS ile Konum Belirleme Yöntemleri

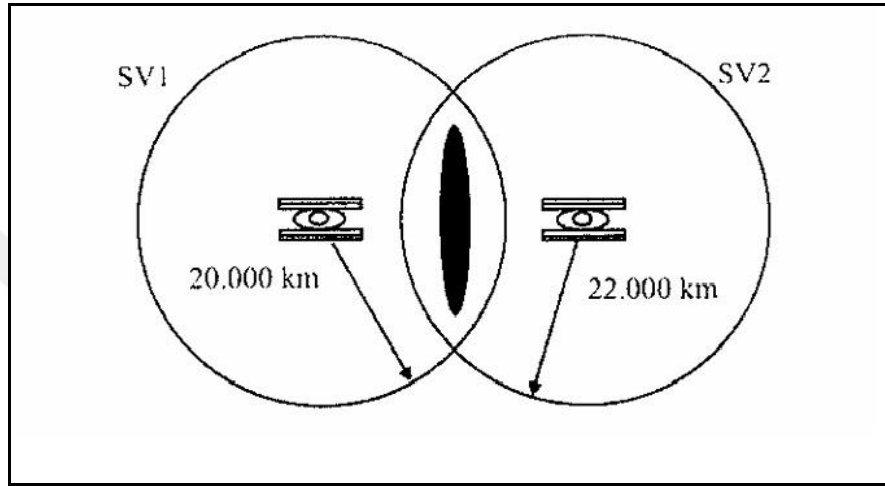
Trilaterasyon, GNSS ile konum belirleme işleminin temel prensibidir (Kaplan ve Hegarty, 2006). Bu yöntem en az üç uydu ile alıcı arasındaki mesafeyi ölçerek alıcının kesin konumunu hesaplamayı içerir. Her uydu, kendi konumunu ve sinyalin iletilme zamanını içeren bir sinyal yayınlar (Misra ve Enge, 2011). Alıcı, sinyallerin seyahat etme süresine dayanarak her bir uyduya olan mesafeyi belirler. Bu mesafeler tarafından tanımlanan küreleri kesiştirerek, alıcı tam konumunu belirler (Şekiller 3. 2-4).



Şekil 3.2. Tek Bir Uydudan Tek bir Alıcıya Uzaklık (Kahveci ve Yıldız, 2018)

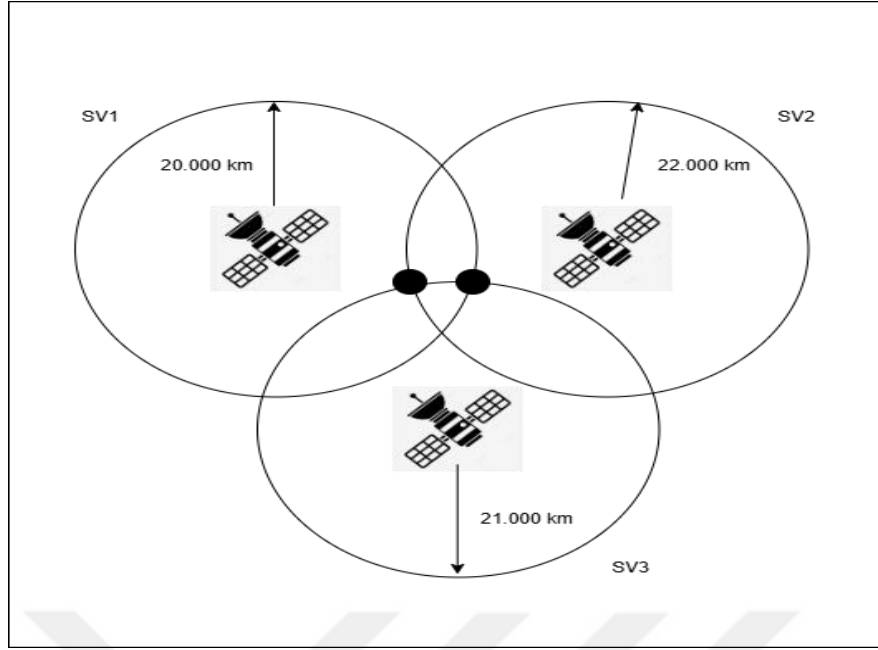
Eğer uydu ve alıcı arasındaki mesafe yaklaşık 20.000 km olarak kabul edilirse, bu durumda, uydudan 20.000 km uzaklıkta olan bir nokta ile merkezi uydu arasında,

yarıçapı 20.000 km olan hayali bir küre oluşturulmuş olur (Şekil 3.2). Ancak, bu durumda kürenin hangi noktasında olduğumuza dair net bir bilgi yoktur. Sadece bildiğimiz şey, uyduya olan mesafemizin 20.000 km'den ya daha yakın ya da daha uzak olduğudur. Konum belirsizliğini azaltmak için ikinci bir uyduya ait uzaklık ölçümü yapılabilir. Eğer ikinci uyduya olan mesafe 22.000 km olarak kabul edilirse, bulunduğumuz konum, birinci uyduya 20.000 km ve ikinci uyduya 22.000 km mesafede olan iki kürenin kesişim alanı olan siyah bölgede yer alacaktır (Şekil 3.3).



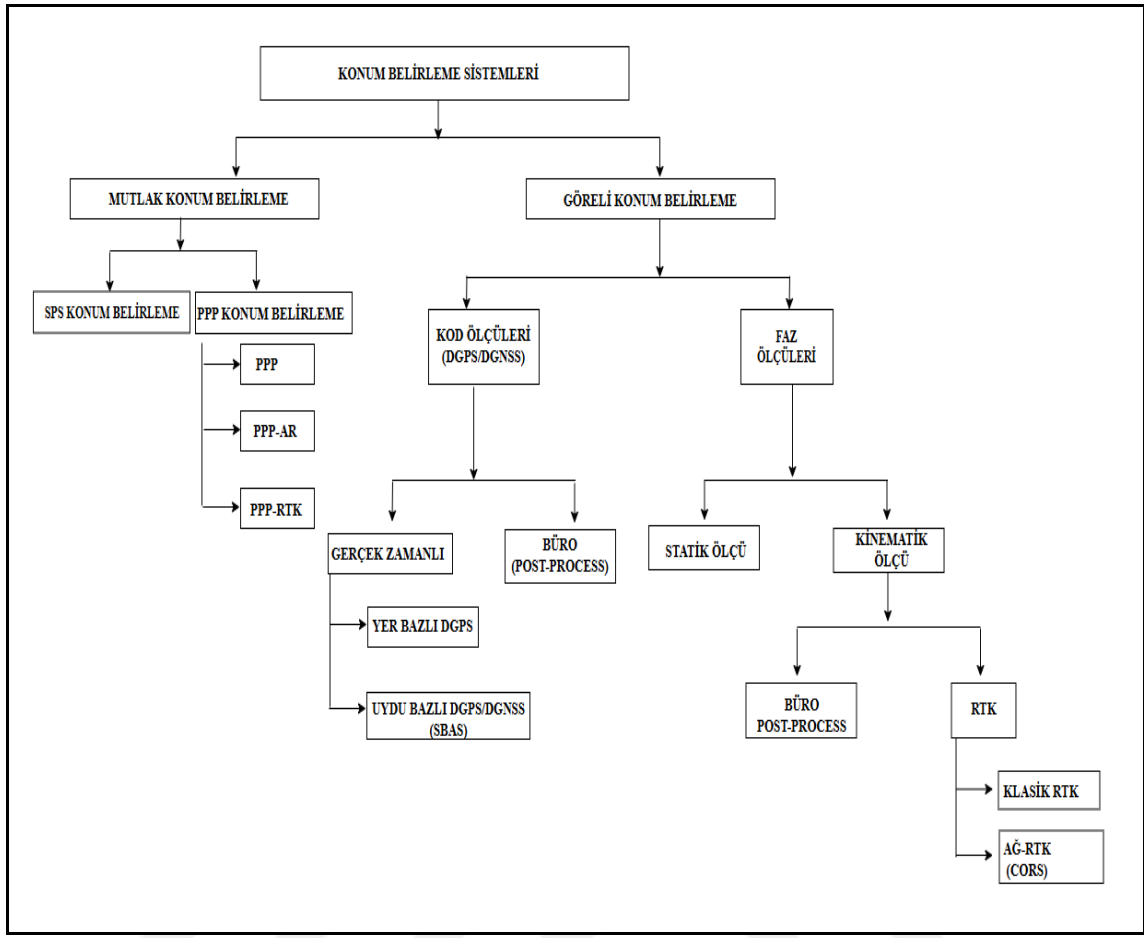
Şekil 3.3. İki Uydu İki Alıcı Uzaklığı (Kahveci ve Yıldız, 2018)

Bu nedenle, üçüncü bir uydu daha eklememiz gerekmektedir. Bu uydunun uzaklığının da 21000 km olduğunu varsayarsak, bu üç uyduya ait kürelerin kesim noktası uzayda iki nokta olarak tanımlanmaktadır. Bu iki nokta üç uydunun kesiştiği noktalar (Şekil 3.4). Konumumuz bu iki noktadan birisindedir. Bu noktalardan bir tanesi dünyadan farklı konumda, diğeri ise bulunduğumuz konumdur. Böylece bulunduğumuz yer diğer konumdur. En uygun yöntem dördüncü bir uyduya gözlem yapmaktır. GNSS ölçülerinde temel olarak zaman ölçüldüğü için dördüncü uydu, alıcı saat hatasının giderilmesi için kullanılmaktadır.



Şekil 3.4. Üç Uydu Üç Alıcı Uzaklığı (Kahveci ve Yıldız, 2018)

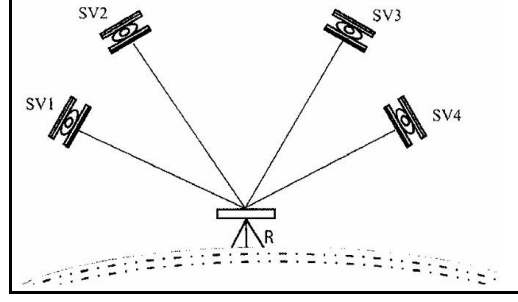
GNSS ile yapılan ölçümlerde, hedeflenen hassasiyet ve amaç doğrultusunda farklı ölçüm yöntemleri kullanılır. Elde edilen koordinatlar, kullanılan alıcı tipi, gözlem süresi, uyduların konumları ve sayısı ile ölçüm yöntemine bağlı olarak değişkenlik gösterir (Kahveci ve Yıldız, 2018). GNSS konum belirleme teknikleri arasında, iki ana yöntem öne çıkar: Mutlak Konum Belirleme ve Görelî Konum Belirleme. Bu konum belirleme yöntemleri, Şekil 3.5'te gösterildiği gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 3.5. Konum Belirleme Yöntemleri (Kahveci ve Yıldız, 2018)

3.1.2.1. Mutlak Konum Belirleme

Mutlak konum belirleme, bir nesnenin konumunun, evrensel olarak kabul edilen bir referans çerçevesine göre doğru bir şekilde tespit edilmesini ifade eder (Hoffmann-Wellenhof ve diğ., 2001). Bu yöntemde, alıcı cihazıyla dört veya daha fazla uyduyu kullanarak kod gözlemleri yapılır ve bu şekilde noktanın koordinatları belirlenir (Şekil 3.6). Yöntem, konumu bilinen uydular ile alıcı arasındaki mesafeyi hesaplamaya dayanır. Alıcının konumu, kullanılan kod bilgileri (P Kod, C/A kodu) ve uydu geometrisine bağlı olarak anlık ve mutlak olarak değişir. Eğer alıcı sabit durumda ise, bu işlem statik konum belirleme olarak tanımlanır; hareketli durumdaysa, kinematik konum belirleme olarak adlandırılır (Van Sickle, 2008).

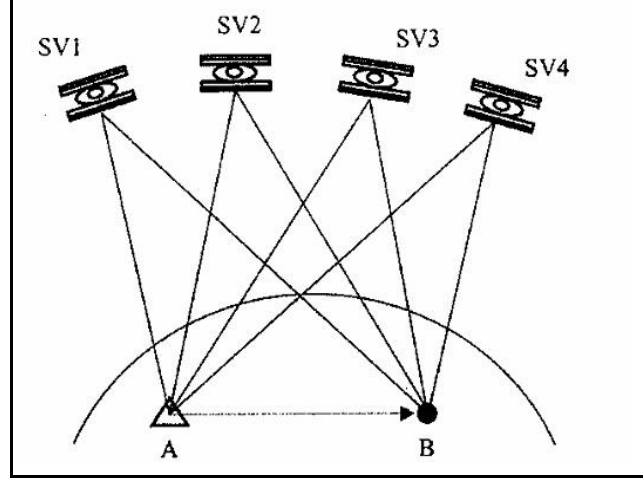


Şekil 3.6. Mutlak Konum Belirleme (Kahveci ve Yıldız, 2018)

GNSS teknolojisi, farklı kullanıcı düzeylerine hitap eden iki ayrı konum ve zaman belirleme hizmeti sunar. Bunlar, sivil kullanıcıların erişimine açık olan Standart Konum Belirleme Hizmeti (Standard Positioning Service - SPS) ile yalnızca yetkili kullanıcıların erişebildiği Hassas Konum Belirleme Hizmeti (Precise Positioning Service - PPS) olarak sınıflandırılır (Hoffmann-Wellenhof ve diğ., 2008; Kahveci ve Yıldız, 2018). SPS, GPS sistemine bağlı tüm kullanıcılar tarafından erişilebilen ve C/A kodunu kullanan L1, L2 ve L5 frekansları üzerinden konum ve zaman bilgisi sağlayan bir hizmettir. Ancak bu hizmette iyonosfer ve troposfer etkileri, alıcı kaynaklı hatalar ve sinyal yansımaları gibi çeşitli hata kaynakları dikkate alınmamaktadır (Hofmann-Wellenhof ve diğ., 2008). Günümüzde SPS üzerinden elde edilen konum doğruluğu genellikle 1 ile 10 metre arasında değişmektedir.

3.1.2.2. Görelî Konum Belirleme

Görelî konum belirleme, konumu bilinen bir noktadan hareketle diğer bir ya da birden fazla noktanın koordinatlarının hesaplanmasına dayanan bir yöntemdir (Kahveci ve Yıldız, 2018). Bu yöntemde, ilgili iki nokta arasındaki baz uzunluğu belirlenir (Şekil 3.7). Baz uzunluğunun ölçüm doğruluğu, elde edilen konum doğruluğunu doğrudan etkiler. Yani referans noktası sabit ve doğru koordinatlara sahip olarak kabul edilir (Xu ve Xu, 2016). Taşıyıcı faz belirsizliklerinin doğru biçimde, tam sayı olarak modellenmesi sayesinde konum hassasiyeti önemli ölçüde artar (Souza ve diğ., 2009; Odijk, 2017).



Şekil 3.7. Görel Konum Belirleme (Kahveci ve Yıldız, 2018)

Şekil-3.7’de A noktası koordinatları bilinen bir referans noktasını, B ise koordinatları hesaplanacak olan diğer noktayı belirtmektedir. Görel konum belirleme, kod (pseudorange) ya da faz gözlemleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Gerçek zamanlı konumlandırma amacıyla çeşitli GNSS teknikleri geliştirilmiştir. Bu teknikler arasında en yaygın ve bilinen yöntemlerden biri Diferansiyel GNSS (DGNSS) tekniğidir. DGNSS yönteminde, konumu bilinen bir referans istasyonuna bağlı olarak hareketli bir alıcının (örneğin; ölçüm yapan kişi, araç, uçak ya da gemi) konumu, kod gözlemleri yardımıyla metre düzeyinde bir doğrulukla belirlenebilir (Kahveci, 2014). Faz gözlemleriyle yapılan görel konumlandırma yöntemleri ise genellikle iki ana gruba ayrılır: Statik ölçümler ve Kinematik ölçümler.

Kinematik RTK (Gerçek Zamanlı Kinematik) konum belirleme tekniği, GNSS uydularından elde edilen faz gözlemleri ve bir referans istasyonundan gezen (rover) alıcıya iletilen düzeltme verileri kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yöntem, hesaplamaların çoğunun gezen alıcıda yapıldığı bir konumlandırma tekniğidir. Klasik RTK sistemlerinde, doğruluk genellikle sabit bir referans istasyonunun verilerine dayanır. Ancak, bu sistemde atmosferik etkiler ve sistematik hatalar, konum doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilir. Bu sınırlamaların aşılması için, birden fazla referans istasyonu kurarak sabit GNSS ağı uygulaması geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, tek bir referans istasyonuna bağlı kalmaksızın, çeşitli istasyonlardan elde edilen verilerle daha doğru bir atmosferik modelleme yapılmasını sağlar. Bu sayede, iyonosfer ve troposfer gibi hata kaynakları minimum seviyeye indirilerek daha yüksek doğruluk elde edilir. Günümüzde, bu tür sabit GNSS ağları, özellikle kadaströ ölçümleri, makine kontrol sistemleri, araç izleme ve hassas tarım gibi uygulamalarda kritik öneme sahiptir. Bu

ağlar, "Gerçek Zamanlı GNSS (RTK CORS) Ağı" olarak adlandırılır. Bu ağların etkinliğini etkileyen birçok faktör bulunur, bunlar arasında sabit istasyonlar arasındaki mesafe, istasyonlarla kontrol merkezi arasındaki veri iletim süresi, gezen alıcıların özellikleri ve iletişim yönteminin kapsama alanı gibi unsurlar sayılabilir. Bu faktörlerin her biri, sistemin doğruluğu ve güvenilirliği üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir.

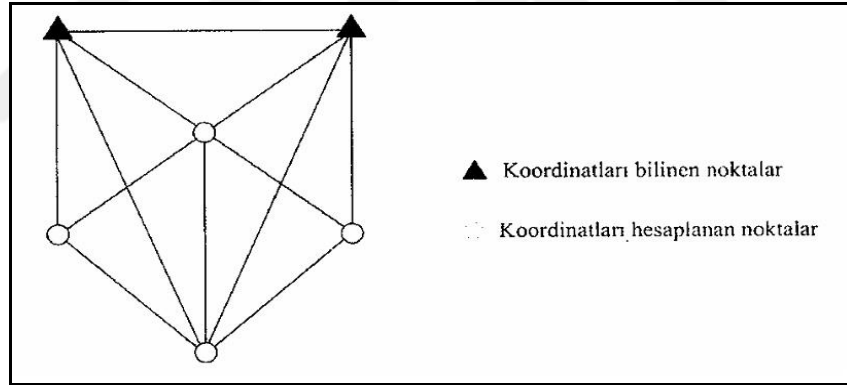


3.2. STATİK GNSS GÖZLEMLERİ

Statik GNSS yöntemi, GNSS alıcılarının, belirli bir konumda hareketsiz bir şekilde uzun bir süre boyunca (1-24 saat) veri (Code pseudorange, Carrier Phase) topladığı bir süreçtir. Bu ölçüm süresi boyunca alıcılar, uydu sinyallerini toplar ve bu veriler ofiste bilgisayarlarda GNSS değerlendirme yazılımları kullanılarak hesaplanmakta ve yüksek doğruluklu nokta koordinatları elde edilmektedir.

3.2.1. Statik Ölçü Yöntemi

Yüksek doğruluk sağlanması gereken, uzun mesafelerin söz konusu olduğu, atmosferik etkilerin hesaba katılması gereken, uydu geometrisinin diğer ölçüm tekniklerine olanak tanımadığı ve sistematik hataların (iyonosfer, troposfer vb.) dikkate alınması gerektiği durumlarda, statik ölçüm yöntemi en verimli seçenektir (Kahveci ve Yıldız 2018).

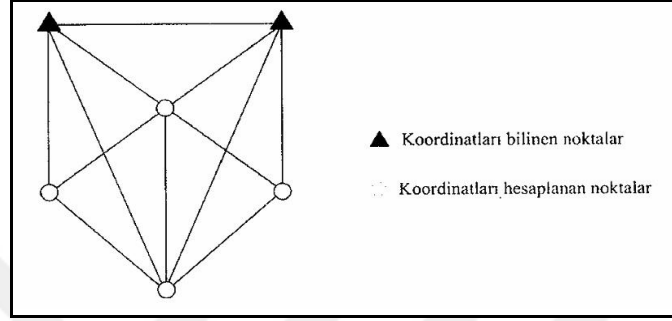


Şekil 3.8. Statik Ölçü Yöntemi (Kahveci ve Yıldız, 2018)

Statik ölçü yöntemi ile; yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi, plaka hareketlerinin belirlenmesi, uluslararası referans çerçevesinin (datum) geliştirilmesi, depremlere yönelik fay hareketliliğinin incelenmesi, volkanik aktivitelerin takip edilmesi, deformasyon ölçüleri gibi yüksek doğruluk gerektiren durumlarda ölçü süresi en az birkaç saat olmak üzere 1-24 saat arası ölçüm yapılabilmektedir. Statik yöntem ile toplanan ölçüler GNSS değerlendirme yazılımları ile hesaplanmaktadır. Statik yöntemde $5\text{mm} + 1\text{ppm}$ civarında doğruluk elde edilmektedir.

3.2.1.1. Hızlı Statik Ölçü Yöntemi

Hızlı statik ölçüm yöntemi, kısa süreli ölçümlerle yüksek hassasiyetli sonuçlar elde edilmesi nedeniyle ekonomik açıdan büyük bir avantaj sağlar. Bu yöntemde, bir alıcı referans noktada sabitlenip sürekli gözlem yaparken, diğer alıcılar kısa süreli olarak çeşitli noktalara yerleştirilip eşzamanlı gözlemler yapılır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Statik Ölçü Yöntemi (Kahveci ve Yıldız, 2018)

Hızlı statik yöntemi uygulamasında konumu belirlenecek noktalar arasında gezinirken alıcının açık olması gerekmemektedir. Bu yöntemde ölçü süresi noktalar arasındaki mesafeye ve uydu geometrisine bağlıdır. Gözlem yapılan uydu sayısı arttıkça nokta üzerindeki bekleme süresi azalmaktadır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Uydu Sayısı ve Ölçü Süresi İlişkisi (Kahveci ve Yıldız, 2018)

Uydu Sayısı	Ölçü Süresi (dk)
4	>20
5	10-20
6 ve daha fazla	5-10

Hızlı statik ölçüm yöntemi, kısa bir zaman diliminde birçok noktanın doğru ve ekonomik bir şekilde ölçülmesi gereken durumlar için en ideal yöntemdir.

3.2.2. Statik Ölçü Yönteminde Kullanılan Donanımlar

Statik GNSS ölçümünde kullanılan bazı ana donanımlar mevcuttur. Bunlarla ilgili özet bilgiler aşağıda verilmiştir.

GNSS Alıcıları: Statik ölçümünde alıcılar yüksek hassasiyetli olmalı ve uzun süreli ölçüm yapabilme kapasitesine sahip alıcılar olmalıdır. Farklı faz ve kod datalarını

alabilen bir mimaride olmalıdır. Yaygın kullanılan bazı GNSS cihazlarına ait görseller Şekil 3.10’da sunulmuştur.



Şekil 3.10. Topcon, Leica, Trimble Cihazlarına Yönelik Görseller (URL 1-3).

Alet sehpası (Tripod) veya Sabitleme Donanımları: Alıcılar ölçüm esnasında rüzgâr yada canlı vb. herhangi bir dış faktörden etkilenmemesi için sabit bir konumda gözlem yapmalıdır. Bu yüzden tripod ya da özel sabitleme sistemleri kullanılmaktadır. Aşağıda dünya genelinde yaygın olarak kullanılan sabitleme donanımlarına yönelik resimler Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de sunulmaktadır.



Şekil 3.11. Unavcoya ait bir Tech 200 Kurulumu (URL-4)



Şekil 3.12. Arazi Çalışmasına Ait Eğik Tripod ve Düşey Tribrach Kurulumu

3.2.3. Statik Ölçüm Süreci

Statik ölçümünün yapılması gereken yerler bazen bir kaya, bazen toprak üzerinde bir yer bazen de kaya üzerine tesis edilmiş bir nokta olabilir. Bu gibi çeşitli arazi özelliklerine göre alıcıların sabitleneceği donanımların (Tripod, Tribrach, Tech 2000) uygun şekilde inşa edilmesi gerekmektedir. Donanımların sabitlenmesindeki amaç, rüzgâr ve hareketli canlı varlıkların alıcıya çarparak veya hareket ettirerek ölçüm noktasının kaydırılmamasıdır.

Donanım sabitlendikten sonra GNSS ölçüm süreci birkaç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar;

Alicının Hedefe Kurulması: GNSS alıcısı bu aşamada hedef noktaya yerleştirilir. Sabit bir noktaya yerleştirildiği için hareket etmemesi gerekir. Anten yüksekliği, nokta adı, ölçüm tarihi, eğik ölçüm (Tripod) veya yatay ölçüm (Pilye, Tech2000) gibi ilgili parametreler cihaza girilerek ölçüm başlatılır.

Veri Toplama: Alıcılar, uydulardan gelen sinyalleri alır ve konum belirleme için gerekli olan verileri toplar. Bu veriler, uydu numaraları, alıcıların uydulara olan mesafeleri ve zaman bilgilerini içerir. Bu aşamada alıcının veri topladığını cihaz üzerindeki veri kayıt ışığından anlamak mümkündür.

Veri değerlendirme: Toplama işleminden sonra, genellikle bilimsel yazımlar (GAMIT-GLOBK, Bernese vb.) kullanılarak büroda hesaplama (post-processing) yöntemleriyle değerlendirilir. Bu işleme sırasında, çeşitli hatalar (atmosferik etkiler, sinyal yansıma etkisi vb.) düzeltilerek hassas konumlar hesaplanmaktadır.

3.3. AĞ-RTK VE TUSAGA-AKTİF

Klasik diferansiyel GNSS, koordinatları kesin olarak bilinen en az bir referans istasyonu ile bu istasyonla aynı uydu sinyallerine erişebilecek mesafelerdeki hareketli (gezen) alıcılardan oluşur. Bu alıcılarda elde edilen veriler (faz ve kod ölçümleri), analiz edilmek ve birleştirilmek üzere büroya gönderilir. Sonrasında, gezen alıcıların kesin koordinatları hesaplanır. Ayrıca, bu işlem, referans istasyonundan alınan veriler veya hesaplanan düzeltmelerin çeşitli iletişim araçlarıyla (GPRS, uydu, internet, cep telefonu vb.) gezen alıcılara iletilmesiyle de gerçekleştirilebilir. Gerçek zamanlı olarak yapılan bu işleme gerçek zamanlı kinematik (RTK – Real Time Kinematic) ölçüm yöntemi denir. Ancak, bu yöntemde elde edilen doğruluğu, sabit istasyona olan uzaklık arttıkça artan sistematik hatalar sınırlamaktadır (Kahveci, 2011). Bu sınırlamaları aşabilmek için birden fazla sabit istasyon kurulması önerilmiştir (Raquet, 1998). Bu yaklaşımın uygulanması ve elde edilen deneyimlerin sonucu olarak sabit GPS/GNSS ağı (Ağ-RTK, Net-RTK) kavramı ortaya çıkmıştır. Ağ RTK sisteminde, tek bir referans istasyonuna bağımlılık ortadan kalkmış, bunun yerine çok sayıda referans istasyonunun verilerinden faydalanılarak bölgesel atmosferik modelleme yapılması mümkün olmuştur. Bu modelleme sayesinde, GPS/GNSS ölçülerini etkileyen önemli hata kaynaklarından olan iyonosfer ve troposfer hataları, hassas konum belirleme uygulamaları için minimize edilmiştir. Bugün, sabit GPS/GNSS ağı, birçok gerçek zamanlı uygulama ve hassas büro hesaplama (post-process) yöntemi için standart olarak kullanılmaktadır. Bu tür uygulamalar arasında jeodezik ölçümler, kadaströ çalışmaları, mühendislik ölçümleri, deprem tahmin çalışmaları, meteorolojik ölçümler ve benzeri alanlar yer almaktadır.

Günümüzde, kadaströ çalışmaları, makine yönlendirme sistemleri, araç izleme ve navigasyon ile tarımsal uygulamalar gibi birçok alanda gerçek zamanlı işlem ihtiyacı, GNSS/GPS ağlarının sürekli aktif olmasını gerektirmektedir. Bu tür aktif ağlarda yalnızca veri arşivleme ve hesaplama yapılmakla kalmaz; aynı zamanda sayılan bu uygulamalarda kullanılmak üzere konum düzeltme bilgileri, çeşitli iletişim araçları aracılığıyla kullanıcılara anlık olarak iletilmektedir. Bu şekildeki aktif ağlara genel olarak “Gerçek zamanlı GNSS (RTK CORS; Real Time Kinematic Continuously Operating Reference Stations) Ağı” adı verilmektedir. Ağ-RTK tekniğinin günümüzde en fazla uygulanan şekli sabit GNSS (CORS) ağlarıdır.

3.3.1. TUSAGA-Aktif

TUSAGA-Aktif Sistemi, Harita Genel Müdürlüğü (HGM) ile Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) arasında imzalanan “TUSAGA-Aktif Sisteminin Ortak İşletilmesine İlişkin İşbirliği Protokolü” kapsamında kurulmuş ve işletilmektedir. İstanbul Kültür Üniversitesi'nin yürütücülüğünü üstlendiği, TÜBİTAK tarafından desteklenen bir kamu Ar-Ge projesi olarak geliştirilmiş olan bu sistem, TKGM ve HGM'nin ortak kullanıcı olduğu bir iş birliği modeli ile ortaya çıkmıştır.

TUSAGA-Aktif, gerçek zamanlı çalışabilen Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı'dır ve uluslararası literatürde genellikle CORS-TR (Continuously Operating Reference Stations – Türkiye) adıyla anılmaktadır. Bu sistem, ülkenin herhangi bir noktasında birkaç saniye içinde santimetre düzeyinde hassasiyetle konum ve harita verisi sağlayabilen, uydu teknolojisine dayalı bir yer istasyonları altyapısıdır.

Sistemin temel amacı, başta HGM ve TKGM olmak üzere konum ve harita verisi üreten tüm kurumların; jeodezik noktaların tesisi, kadastro ve yersel ölçmeler, TAKBİS veri dönüşümü, coğrafi ve kentsel bilgi sistemlerine yönelik saha uygulamalarında hızlı, ekonomik ve güvenilir veri üretimini sağlamaktır. TUSAGA-Aktif, bu bağlamda kullanıcılarına anlık düzeltmeli konum verisi sunarak yüksek doğruluklu ölçüm ve veri toplama süreçlerinde kritik rol oynamaktadır.

Ayrıca, sistem GNSS teknolojisinin kullanıldığı her türlü uygulamada sabit referans noktaları sağlayarak koordinat sistemine dair belirsizlikleri ortadan kaldırmakta; uygun donanımlarla birlikte çalıştığında ise DGPS düzeltmeleri üreterek hem askeri hem de sivil kullanıcılara hassas konumlama ve yön bulma imkânı sunmaktadır.

TUSAGA-Aktif altyapısı, Türkiye genelinde konuşlandırılmış sabit GNSS istasyonlarından oluşan ve yılın 365 günü, günde 24 saat kesintisiz veri toplayan bir ağ yapısına sahiptir. Bu yapı, jeodezik ve jeodinamik araştırmaların yanı sıra savunma ve kalkınma alanlarında da güçlü bir destek sunmaktadır.

Sonuç olarak, günümüzde ülkelerin jeodezik altyapıları, sürekli ve anlık veri toplayan sabit GNSS istasyonlarından (CORS) oluşmakta ve bu sistemler özellikle haritacılık olmak üzere, hem sivil hem de askeri birçok uygulama alanında yoğun biçimde kullanılmaktadır. Sabit GNSS ağlarının kurulmasıyla birlikte, bu sistemlerin farklı sektörlerdeki kullanım oranı da giderek artmaktadır. Bu gelişmeler doğrultusunda, gerçek zamanlı GNSS ve diferansiyel GNSS (DGNSS) sistemlerinin kullanımındaki

artış; ulusal haritacılık kurumlarını, yerel yönetimleri ve özel sektörü, bu sabit GNSS ağlarını kadastro, jeodezik uygulamalar, navigasyon, meteoroloji gibi pek çok alanda kullanmak üzere bu altyapıyı kurmaya yönlendirmiştir.

Bu ağlar, yüksek doğruluk sağlayan, çok yönlü (jeodezi, jeofizik, jeodinamik, ölçme, CBS, meteoroloji vb.), gerçek zamanlı çalışan ve uluslararası standartlara (Örneğin IERS, IGS, ITRF gibi) uygun olarak faaliyet gösteren sistemlerdir. Sabit GNSS ağlarının sağladığı bazı önemli avantajlar aşağıda sıralanabilir (Kahveci ve Yıldız, 2018):

- GNSS ölçümlerinde, sabit noktalarda cihaz ve personel bulundurma gereksinimi ortadan kalkmaktadır.
- Elde edilen ölçümler ve sonuçlar doğrudan ulusal koordinat sistemine (örneğin ITRF96 – 2005.00) dayanmaktadır.
- Arazi çalışmalarından önce sabit noktaları bulma ihtiyacı ortadan kaldırıldığından zaman, iş gücü ve maliyet tasarrufu sağlanmaktadır.
- Anlık olarak, istenen datum sisteminde üç boyutlu hassas konum bilgisi elde edilebilmektedir.
- Nokta koordinatları sürekli izlenebilir durumda olduğundan, deformasyon durumlarında güncellemeler yapılabilir.

Gerçek zamanlı sabit GNSS ağları; kamu kurumları, üniversiteler, özel sektör ve ticari kullanıcılar için çok amaçlı ve stratejik öneme sahip altyapılardır. Bu ağlar yalnızca yüksek hassasiyetli konum verisi sunmakla kalmaz, aynı zamanda ülkelerin ulusal uzamsal referans sistemlerinin oluşturulmasında da kritik rol oynar.

Bununla birlikte, bu tür GNSS ağlarının konum doğruluğu çeşitli etkenlerden etkilenebilir. Bunlar arasında sabit istasyonlar arasındaki mesafe, istasyonlarla kontrol merkezleri arasındaki veri iletim süresi (gecikme – latency), kullanıcıların kullandığı gezen alıcıların teknik özellikleri ve veri iletiminde kullanılan teknolojinin kapsama alanı gibi faktörler yer alır. Bu altyapının temel hedefi, kullanıcıya anlık ve doğru konum ile hız bilgisi sağlamaktır.



Şekil 3.13. TUSAGA-Aktif İstasyonları (URL-5)

Bu sistem kapsamında, Türkiye'nin çeşitli bölgelerine yayılmış şekilde (KKTC'de yer alan 4 istasyonla birlikte) toplamda 168 sabit GNSS istasyonu kurulmuştur. Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü ile Harita Genel Müdürlüğü bünyesinde kurulan analiz ve kontrol merkezlerinde, bu istasyonlardan internet üzerinden alınan GNSS verileri işlenerek, kullanıcılara Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) ve Diferansiyel GNSS (DGPS) konumlandırma için gerekli düzeltme bilgileri sağlanmaktadır. TUSAGA-Aktif projesi kapsamında istasyon konumları belirlenirken; yerleşimlerin jeolojik yapısı, enerji, iletişim (telefon ve internet) altyapısı ile güvenlik gibi faktörler dikkate alınmış, Türkiye genelinde yapılan kapsamlı arazi incelemeleri sonucunda Meteoroloji Genel Müdürlüğü istasyonları, üniversiteler, belediyeler ve diğer kamu kurumlarının uygun bina ve arazileri tercih edilmiştir (URL-5).

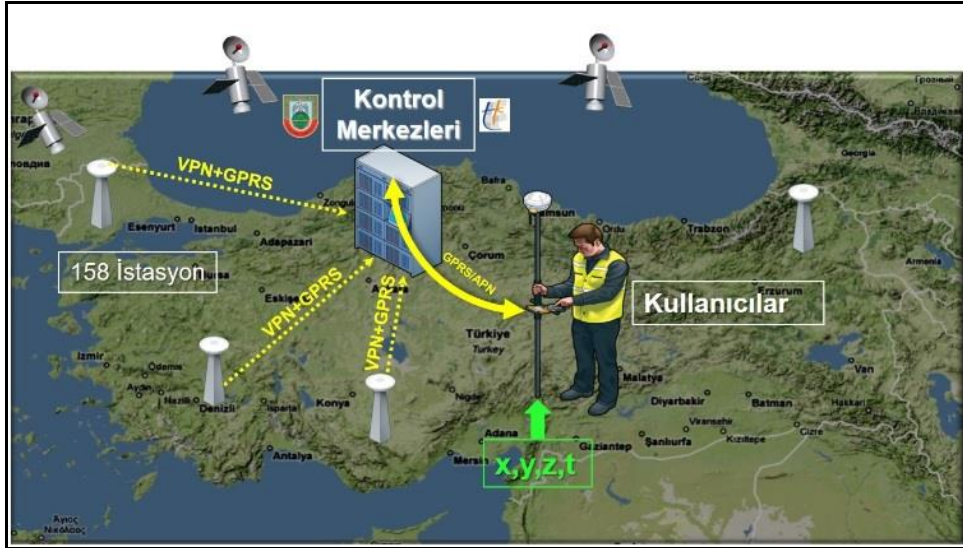
İstasyonlar ile merkez arasında sağlanan veri iletimi, Türk Telekom'un altyapısı üzerinden kurulan VPN tünelleriyle gerçekleştirilmekte, ek güvenlik ve süreklilik için yedek bağlantı olarak 3G GSM APN tüneli kullanılmaktadır. Ayrıca, ADSL bağlantısında yaşanabilecek olası kesintilerde, sistem yedek modeme geçerek GPRS üzerinden veri aktarımını sürdürmektedir. Her bir GNSS istasyonunda bir GNSS alıcısı, ADSL/GPRS destekli modem, akü ve şarj ünitesi, yıldırıma karşı koruma birimi, telefon hattı koruyucusu, sıcaklık kontrollü fan, sigorta ve standart ekipman kabini bulunmaktadır. Ayrıca, yapıların çatı, teras ya da zeminlerine yerleştirilen jeodezik GNSS antenleri bu sistemin önemli bir parçasını oluşturmaktadır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Edirne İstasyonunun Görüntüsü (URL-5)

Kontrol merkezlerinde yer alan sunucular, tüm GNSS istasyonlarından her saniyede bir toplanan ham gözlem verilerini kullanarak atmosfer koşullarına ilişkin modeller oluşturmakta ve bu doğrultuda yüksek hassasiyetli düzeltme verileri üretmektedir. Hesaplanan bu düzeltmeler, TUSAGA-Aktif sistemine entegre mobil alıcılara, GPRS edge ve ADSL bağlantıları üzerinden yılın her günü, günün her saati kesintisiz olarak iletilmektedir (Şekil 3.15). 2014 yılının sonunda kontrol merkezlerinin donanımı ve yazılım altyapısı yenilenmiş; sistem, 64 bit sunucular ve Trimble Pivot Platform yazılımı ile modernize edilmiştir.

Sistem kapsamında beş farklı düzeltme tipi yayınlanmaktadır. Bunlar arasında, VRS (Virtual Reference Station) yöntemine dayalı VRSRTCM3.1 ve VRSCMR+, MAC (Master Auxiliary Concept) tekniği ile oluşturulan RTCM3NET, FKP (Flächen-Korrektur-Parameter) esasına göre yayınlanan SAPOS (FKP_RTCM3.1) ve DGPS bulunmaktadır. Gerçek zamanlı kinematik düzeltme verileri, RTCM3.1 ve CMR veri formatları kullanılarak GPRS ağı ve NTRIP (Network Transport of RTCM via Internet Protocol) aracılığıyla gezici GNSS alıcılarına ulaştırılmaktadır. Bu sayede, tek frekansla çalışan GNSS alıcıları metre altı doğrulukta, çift frekanslı olanlar ise birkaç santimetre seviyesinde konum hassasiyeti elde edebilmektedir (URL-5).



Şekil 3.15. Veri Akış Şeması (URL-5)

Kontrol merkezinde referans istasyonları, kullanıcılar ve koordinatların değişimi sürekli izlenmektedir (Şekil 3.16). Referans istasyonlarında veriler kaydedilmekte ve kontrol merkezinde bu veriler arşivlenmektedir.



Şekil 3.16. Aktif Kullanıcı Görseli (URL-5)

2009 yılında tamamlanan TUSAGA-Aktif sistemi 2025 yılı itibarı ile 16 yıldır hizmet vermektedir. TUSAGA-Aktif sistemi günümüzde 18.000 kullanıcıya sahip ve 2025 yılı itibarıyla 168 adet istasyondan oluşmaktadır. Üniversitelerin kampüs alanları için ücretsiz kullanım hakkı veren bu sistemde 1 saniyelik veriler için kamu kurumları ve üniversitelere %75 indirim uygulanmaktadır. Ayrıca büyüklüğü 5.0 ve üzerinde olan

depremlerde bölgede bulunan 1 saniyelik istasyon verileri internet üzerinden erişime açılmaktadır. Diğer kullanımlar için ücretlendirmeler ise Çizelge 3.2’de sunulmuştur.

Çizelge 3.2 TUSAGA-Aktif Ücretlendirme (URL-11)

HİZMET TÜRÜ	VERİ TÜRÜ	ÜCRET	AÇIKLAMA
İlk Abonelik	-	435.00 TL	Bir Defaya Mahsus
RTK	Ağ-RTK	795.00 TL	Aylık
		6480.00 TL	Yıllık
	DGPS	320.00 TL	Aylık
		2375.00 TL	Yıllık
Statik Veri	RINEX 1 sn.	3.00 TL	İstasyon/Saatlik
	RINEX 30 sn.	Ücretsiz	

3.4. PPP YÖNTEMİ

Hassas Nokta Konum Belirleme (PPP), 1997 yılında Zumberge ve diğerleri tarafından tanıtılmış bir tekniktir. Bu yöntem, gözlem farkları kullanılmadan, taşıyıcı fazı ve kod ölçüleri ile çalışır (Kouba ve diğ., 2017). PPP, Uluslararası GNSS Servisi tarafından sağlanan yüksek doğruluklu taşıyıcı faz ölçümleri ve uydu yörüngeleri ile saat düzeltmelerini kullanarak, santimetre seviyesinde konum doğruluğu sağlayabilir (Cai ve diğ., 2015; Fu ve diğ., 2019; Hadas ve diğ., 2019).

Diğer yandan, belirsizlik çözümü için geliştirilen yeni algoritmalar, bu tekniğin milimetre seviyesinde doğruluk sağlamasına olanak tanımıştır (Liu ve diğ., 2019; Hadas ve diğ., 2019). PPP yönteminin referans istasyonlarına ihtiyaç duymaması, eş zamanlı gözlemler gereksinimini ortadan kaldırmakla kalmaz, aynı zamanda gezici alıcının, referans alıcısının yakınında bulunma zorunluluğunu da ortadan kaldırır. Bu durum, tek bir GNSS alıcısıyla dünyanın her yerinde tutarlı bir küresel çerçeve içinde yüksek kaliteli konumlandırma sağlamayı mümkün kılar. Hem gerçek zamanlı hem de ofis ortamında (post-process) hesaplama yapılabilmesi, zaman ve maliyet açısından önemli avantajlar sunar. Bu, DGPS ve Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) yöntemlerine göre belirgin üstünlükler sağlar (Kahveci ve Yıldız, 2018).

3.4.1 PPP Hata Kaynakları

PPP yöntemi, yalnızca tek bir alıcı verisi kullanarak yüksek doğruluklu konum verisi elde etmekle birlikte, doğru sonuçlar alabilmek için dikkat edilmesi gereken birçok hata kaynağı içerir. PPP yöntemindeki hata kaynakları, sistemin doğruluğunu etkileyebilir ve bu hataların düzeltilmesi, doğru sonuçların elde edilmesi için kritik öneme sahiptir. PPP'yi etkilen bazı önemli hatalar aşağıdaki maddelerde açıklanmıştır.

3.4.1.1 İyonosfer Hatası

İyonosfer, elektrik yüklü parçacıklardan oluşan bir atmosfer katmanıdır ve GNSS sinyalleri üzerinde faz gecikmelerine neden olabilir. İyonosfer hataları, PPP'nin doğruluğunu olumsuz etkileyen en önemli hata kaynaklarından biridir. Bu hatalar, özellikle yüksek frekanslı sinyaller için belirginleşir. İyonosfer kod ölçüleri için gecikme, faz ölçüleri için ise hızlanmaya sebep olmaktadır.

İyonosfer düzeltmeleri, tek frekanslı alıcılar için modelleme veya çok frekanslı alıcılar kullanılarak elde edilir. Ayrıca, PPP yöntemine özgü iyonosfer düzeltme algoritmaları da uygulanabilir (Fu ve diğ., 2019).

3.4.1.2 Troposfer Hatası

Troposfer dünya atmosferinin en alt tabakasıdır. İyonosferin aksine Troposfer tabakası elektrik yüklü olmadığı için GNSS sinyalleri dağıtılmaz. Bu sebeple troposfer katmanında GNSS sinyalleri frekans bağımlı değildir. Troposferin genel olarak %78 azot, %21 oksijen, argon ve diğer elementlerden oluşmaktadır. Su buharı içeriği ise hava sıcaklığına göre değişmektedir.

Troposferik gecikme, kuru ve ıslak bileşenler olarak ikiye ayrılır. Bu gecikmenin yaklaşık %90'ı kuru bileşende, %10'luk kısmı ise ıslak bileşende oluşur (Kahveci ve Yıldız, 2018).

Troposfer düzeltmeleri, atmosferik modelleme (VMF, Niell, Hopfield, Saastamoinen vb.) ve yerel ölçümlerle yapılabilir. Bu düzeltmeler, PPP'de doğruluğu artırmak için gereklidir (Nie ve diğ., 2019).

3.4.1.3 Uydu Yörünge Hatası

GNSS uyduları, gerçek zamanlı olarak yayın efemerisini iletmektedir. Bu efemeris, uydu yörüngesi ve saat bilgilerini içerir. Ancak, yayın efemerisinin sağladığı doğruluk, PPP analizinin gereksinimlerini karşılamaz. Söz konusu hatalar, yüksek doğrulukta yörünge ve saat bilgileri (örneğin IGS ürünleri) kullanılarak düzeltilir ve bu sayede PPP'deki konum hataları azaltılır (Liu ve Xu, 2019).

3.4.1.4 Uydu Faz Merkezi Kayıklığı ve Faz Dönmesi Hataları

PPP uygulamalarında uydulara ilişkin bazı fiziksel özellikler ve donanımsal farklılıklar da hata üretmektedir. Bunların başında anten faz merkezi gelir. Uydu antenlerinin faz merkezinin konumundan sapması ölçümlerde sistematik hatalara neden olabilir ve bu sapmalar IGS tarafından sağlanan düzeltme modelleriyle giderilir (Schmid ve diğ., 2007). Faz dönmesi (phase wind-up) alıcı ve uydu antenlerinin göreceli

hareketlerinden kaynaklanan faz kaymalarını ifade eder. Bu etki, özellikle taşıyıcı faz ölçümlerinde düzeltme gerektirir (Wu ve diğ., 1993).

3.4.1.5 Uydu ve Alıcı Saati Hataları

GNSS alıcıları ve uydularının saatleri arasındaki küçük farklar, PPP'nin doğruluğunu etkileyebilir. Alıcılar ve uydu saatleri arasındaki hassasiyet aynı değildir. Bu sebeple saat hataları, konum hesaplanmasında ciddi sapmalara yol açabilir.

PPP, alıcı ve uydu saat hatalarını düzelterek daha doğru sonuçlar elde edebilir. Saat hatalarının düzeltilmesi, PPP'nin en önemli adımlarından biridir (Teunissen ve Montenbruck, 2017).

3.4.1.6 Sinyal Yansıma (Multipath) Hatası

Sinyal yansıma etkisi, GNSS sinyallerinin binalar, dağlar gibi yüzeylerden yansyarak alıcıya ulaşması sonucu oluşan hatalardır. Bu yansıyan sinyaller, doğru konum ölçümleri için yanılmalara neden olabilmektedir.

Sinyal yansıma etkisi, yansıyan sinyallerin modellenmesi ve filtreleme teknikleri ile en aza indirilebilir.

3.4.1.7. Yer Deformasyonu Kaynaklı Hatalar

GNSS alıcısının konumu zaman içinde Dünya'nın fiziksel dinamiklerinden kaynaklı değişebilmektedir. Bu bağlamda:

- Katı yer gelgitleri, Ay ve Güneş'in çekim etkisiyle Dünya kabuğunda oluşan periyodik deformasyonlardır (Petit ve Luzum, 2010).
- Kutup hareketine bağlı deformasyon, Dünya'nın dönüş eksenindeki salınımının kara kütlelerini etkilemesinden kaynaklanır.
- Okyanus yüklemesi, okyanus gelgitlerinin kara üzerinde oluşturduğu basınç değişimleriyle yeryüzü şeklinin değişmesine neden olur (Scherneck, 1991).
- Earth Rotation Parameters (ERP) olarak bilinen UT1, kutup koordinatları ve Length of Day (LOD) gibi değerler uydu yörüngelerinin hassas belirlenmesinde kritik rol oynar (Teunissen ve Montenbruck, 2017).

3.4.1.8. Diferansiyel Kod Sapmaları (DCB)

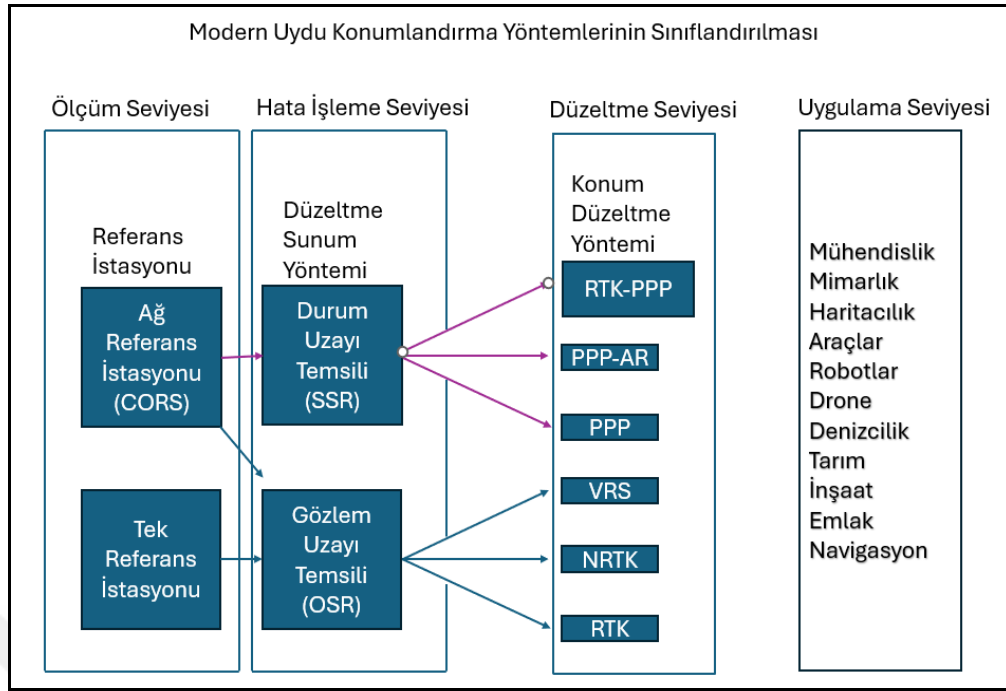
DCB, GNSS uydularından gönderilen farklı frekanstaki kod sinyallerinin, alıcı donanımı ve uydu donanımından kaynaklı olarak farklı gecikmelere uğraması sonucu ortaya çıkan sapmalardır. Bu sapmalar iyonosfer modellemeleri ve faz-kod kombinasyonlarında önemli hata kaynağıdır. IGS gibi servis sağlayıcılar bu sapmaları içeren düzeltme dosyaları yayınlayarak PPP çözüm sürecine entegre edilmesini mümkün kılar (Kouba, 2009; Montenbruck ve diğ., 2015).



3.5. PPP-RTK YÖNTEMİ

Uzun süredir yüksek doğruluk gerektiren Küresel GNSS uygulamalarında, diferansiyel ve görelî konum belirleme yöntemleri yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu yöntemler, koordinatları önceden bilinen referans istasyonları kullanarak GNSS sinyallerindeki hata kaynaklarını büyük ölçüde ortadan kaldırır ve böylece oldukça hassas konum bilgileri elde edilmesini sağlar. Ancak bu tekniklerin uygulanabilmesi için en az iki GNSS alıcısına ihtiyaç duyulması, sistemin maliyetini artırmakta ve uygulama sürecini karmaşıktırmaktadır (Bahadır ve Nohutcu, 2018). Ayrıca, bu yöntemlerle elde edilen konum doğruluğu, referans istasyonuna olan mesafeyle doğrudan ilişkilidir; istasyondan uzaklaştıkça atmosferik ve çevresel etkiler doğruluğu olumsuz etkileyebilir (Rizos ve diğ., 2012). Son yıllarda bu yöntemlere alternatif olarak Hassas Nokta Konum Belirleme (Precise Point Positioning - PPP) tekniğı öne çıkmıştır. PPP, yalnızca tek bir GNSS alıcısı ile küresel ölçekte santimetre düzeyinde doğruluk sağlayabilen bir tekniktir. Bu yöntemin en dikkat çekici yönü, dünya genelindeki istasyonlardan elde edilen hassas uydu yörüngesi ve saat verilerini kullanarak, uydu kaynaklı hataları büyük oranda minimize etmesidir. Böylece PPP, herhangi bir referans istasyona gereksinim duymadan yüksek doğrulukta konumlama imkânı sunar (Zumberge ve diğ., 1997; Kouba ve Heroux, 2001).

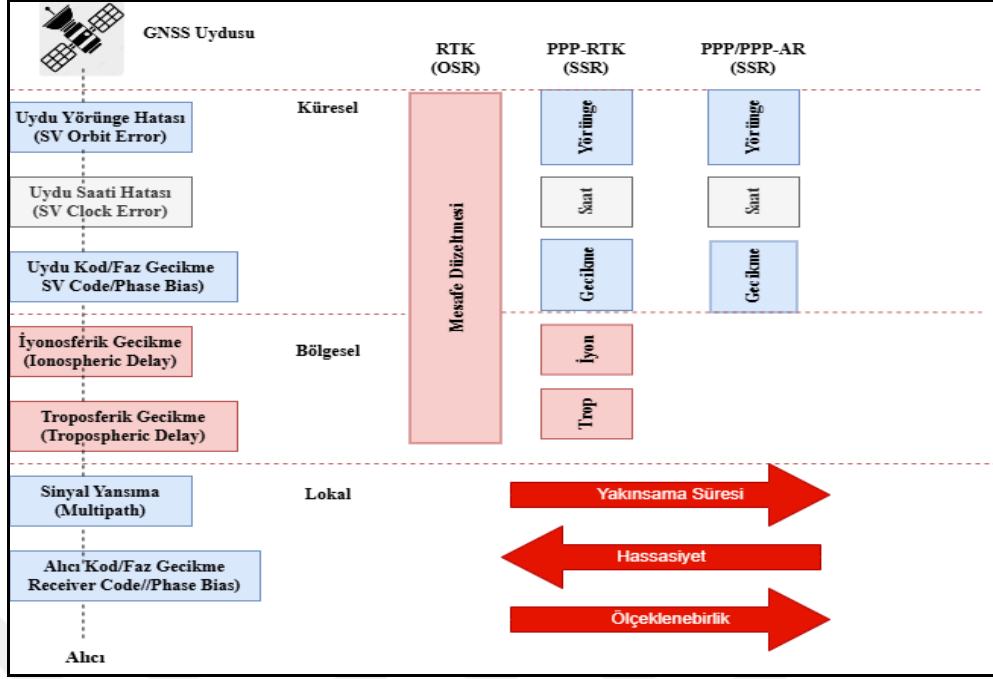
RTK uygulamalarında, tüm hata kaynakları referans istasyonları aracılığıyla izlenir. Bu istasyonlardan elde edilen düzeltmeler, her bir uydu, frekans, sinyal türü ve mesafe kombinasyonu için gezici alıcılara iletilir. Bu yaklaşım, Gözlem Uzayı Temsili (OSR - Observation Space Representation) olarak adlandırılır ve VRS, FKP ve MAC gibi RTK tekniklerinin temelini oluşturur. Öte yandan, Durum-Uzayı Temsili (SSR - State Space Representation) yaklaşımı, ağ içerisindeki gözlemlerden elde edilen verilerle gerçek zamanlı olarak hesaplanan parametrelerin matematiksel modellemesini kullanarak düzeltmeleri ifade eder. SSR yaklaşımı yalnızca OSR-RTK düzeltmelerini gezici alıcılar için optimize etmekle kalmaz, aynı zamanda bu alıcılara doğrudan durum vektörlerini de sunar. Böylece konum hatalarını etkileyen tüm bileşenler, bir durum vektörünün parametreleri şeklinde modellenerek temsil edilir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. SSR ve OSR (URL-6)

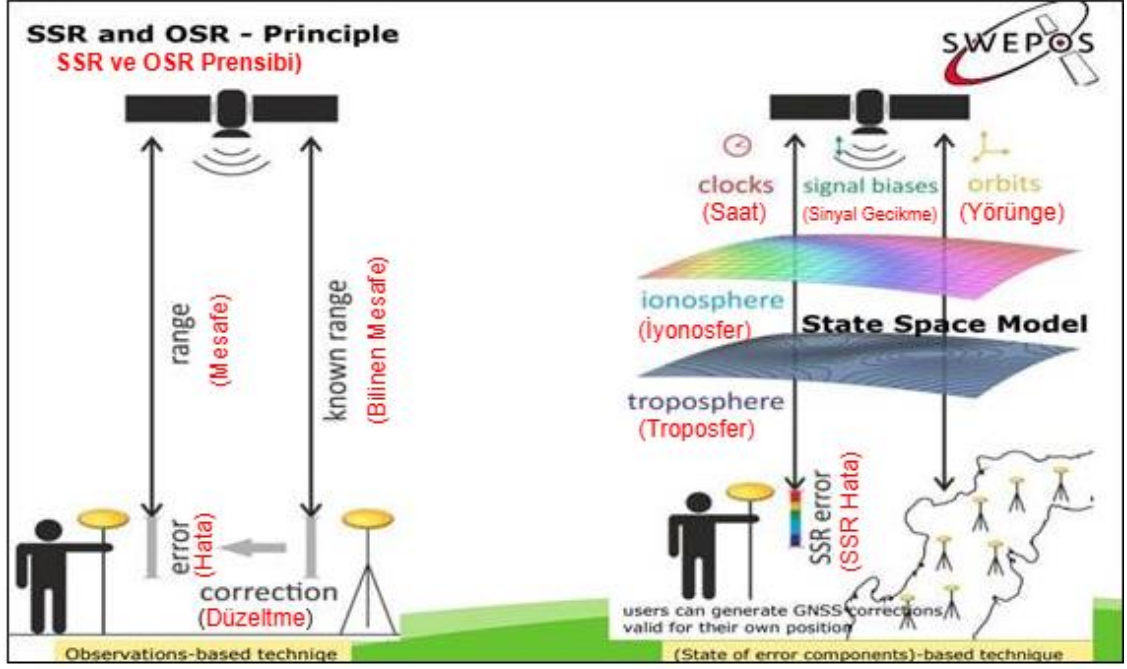
PPP-RTK tekniği bu yönüyle SSR modelini kullanmaktadır. Uluslararası GNSS Servisi 05 Ekim 2020’de düzeltme bilgilerinin gerçek zamanlı gönderilmesine olanak sağlayan IGS SSR formatı v1.0’ı yayınlamaya bu tekniğin standart hale gelmesinin önünü açmıştır. Üretilen gerçek zamanlı düzeltme verisi, ya donanım/yazılım bağımlı özel veri formatında (örneğin CMRx) yada uluslararası standart veri formatında (IGS RTCM-SSR) kullanıcılara Yer-sabit (geostationary) iletişim uyduları ile L-band üzerinden genelde ücretli olarak aktarılır. Bu aktarım için kullanılan alıcı donanımlarının L-band üzerinden sinyal alma yeteneği bulunmalıdır.

SSR düzeltmeleri 5 temel bileşene sahiptir: uydu saati senkronizasyon hataları, uydu yörünge hataları, uydu sinyali gecikme hataları (bias), iyonosferik ve troposferik gecikme hataları. Uydu sinyal gecikmeleri uydularda bulunan donanım ve yazılım kaynaklı hem kod hem de taşıyıcı faz gözlemleri içindir. Klasik bir OSR hizmetinde bu beş temel bileşenin toplamı, hizmet sağlayıcı tarafından kullanıcının konumuna göre hesaplanarak gönderilir. Bu, kullanıcının sunucu tarafından kullanılan temel modelleri bilmesine gerek olmadığı anlamına gelir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. RTK, PPP, PPP-RTK Düzeltmeleri (URL-6).

OSR ve SSR tekniklerinin her ikisi de santimetre hassasiyetinde konumlamaya olanak verir. Bununla birlikte, düzeltmelerin hesaplanmasında SSR global bir kapsama alanına rağmen daha seyrek (az sayıda) referans istasyonuna ihtiyaç duyar ve bunu OSR'ye oranla daha düşük bant genişliğine sahip yayınlarla gerçekleştirir. OSR'de genelde gezen alıcılar ile düzeltme bilgisi hesaplayan merkezdeki sunucu arasında, alıcının konumunun sürekli merkeze gönderilmesi anlamında, çift yönlü bir iletişim varken, bu durum SSR'de tek yönlü olup, gezen alıcı herhangi bir yere konum göndermez. SSR'nin bir dezavantajı; alıcının hassas konum belirleme yapabilmesi için ihtiyaç duyduğu faz belirsizliğini çözebilmek amacıyla gerekli olan dakikalar mertebesindeki yakınsama süresidir. OSR'de ise saniyeler içinde hassas konum belirlenebilmektedir. SSR'yi kullanan servislerde sunulan yakınsama süresi; alıcı tarafından gözlemlenen uydu sayısına, uydu geometrisine, uydu verilerinin sağlığına, sinyal yansıma etkisine (multipath), güneş aktivitesine, atmosferik koşullara bağlıdır (Şekil 3.19). OSR ve SSR tekniklerine ait üstünlük ve zayıflıklar Çizelge 3.3'te sunulmuştur.



Şekil 3.19. SSR ve OSR Prensibi (URL-7)

Çizelge 3.3 OSR ve SSR Tekniklerinin Karşılaştırılması (URL-8)

	OSR				SSR		
	RTK	AĞ-RTK					
	RS	FKP	MAC	VRS/PRS	Faz-PPP	Kod-PPP	PPP-RTK
Hizmet Sınıflandırması	OSR-CS2	OSR-CS2			SSR-CO2	SSR-DS1	SSR-CS2
Yayın Kabiliyeti	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
Doğruluk	cm	cm	cm	cm	< dm	~3 dm	< cm
Gerekli Zaman	< 5s	< 5s	< 5s	< 5s	~ 20 dk	< 1s	< 5s
Kapsama Alanı	Yerel	Bölgesel			Küresel	Küresel Bölgesel	Küresel Bölgesel
Tek Frekans	X	X	X	X	X	Var	X
Bant Genişliği	Orta	Orta	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük	Düşük Orta

SSR'nin RTK veya AĞ-RTK tekniklerinde kullanılan OSR'ye göre en büyük avantajı düzeltmeleri sınırsız sayıda kullanıcıya dağıtan yayın uygulamalarına yönelik temel desteğidir. Düzeltme parametreleri anlamında, OSR'de tüm hata düzeltmeleri gezici alıcılar için toplam olarak yansıtılırken, SSR'de her bir hata kaynağı için ayrı ayrı düzenlenmektedir. Gezici (Rover) bir alıcı PPP-RTK ile konum belirlediğinde bu koordinatın referans sistemi uydu yörünge ve saat düzeltmelerinin referans sisteminde

olmaktadır. IGS, 27 Kasım 2022 tarihinden itibaren (GPS haftası 2238) tüm ürünlerini ITRF2020 ile neredeyse aynı olan IGS20 referans sisteminde üretip yayınlamaktadır. Ayrıca, gezen alıcının elde ettiği koordinat ölçüm anına aittir. Farklı bir epokta koordinat gereksinimi olan bir kullanıcı, elde ettiği koordinatı, hız bilgisine sahipse, bu konumu ilgili epoka taşımalıdır.



3.6. SBAS YÖNTEMİ

GNSS alıcısı tarafından bir kullanıcı konumunun üretilmesi, her bir GNSS uydusunun uydu konumunun ve saat senkronizasyonunun her an belirlenmesini gerektirir. Bu, GNSS uyduları tarafından tüm kullanıcı alıcılara GNSS sinyallerine kodlanmış mesajlar aracılığıyla yayınlanan tahmin parametreleri aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu tür tahmin parametreleri özünde zamanla doğru orantılı olarak artan hatalara tabidir. Bununla birlikte, GNSS sinyalleri uzaydan Dünya'ya gelirken içinden geçtiği farklı atmosferik katmanlarda bazı bozucu etkilere (gecikme, hızlanma ve eğilme gibi) maruz kalır. Bu bozucu etkiler düzeltilmezse, önemli hatalara neden olabilir. Uydu Tabanlı Kapsama Sistemleri (SBAS), bu GNSS konum hatalarının düzeltilmesine yardımcı olur (URL-9).

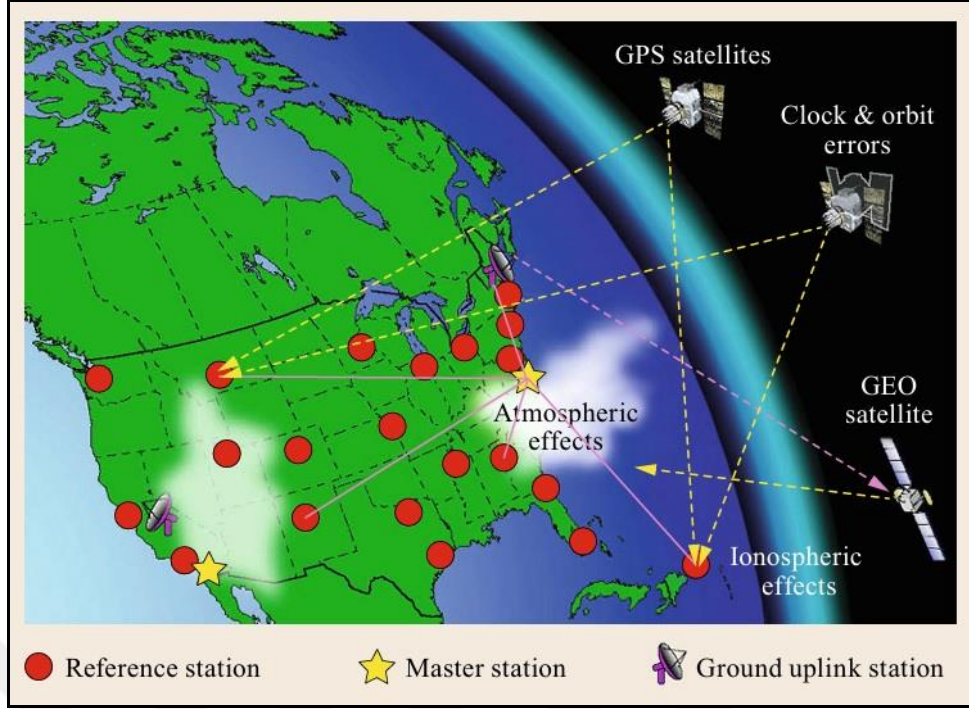
SBAS daha az sayıda uyduya ve zayıf gözlem geometrisine rağmen uçakların, gemilerin ve kara araçlarının emniyetli bir şekilde navigasyonunu sağlamakla birlikte, jeodezik amaçlı uygulamalarda da kullanılabilir. Bu sistem, navigasyon uydularının performansını izlemek amacıyla yerde kurulu bir gözlem ağına dayanır. Referans istasyonları, yaptıkları ölçümleri ve bu ölçümlere ait diferansiyel düzeltmeler ile güven aralıklarını merkezi istasyonlara gönderir. Merkez istasyonlar bu verileri analiz eder ve “uplink” adı verilen yer istasyonlarına aktarır. Uplink istasyonları ise bu bilgileri GEO uyduları aracılığıyla kullanıcılara ulaştırır (Şekil 3.20). Her SBAS sisteminde birden fazla merkez, uplink istasyonu ve GEO uydusu bulunur. Bu yapı sayesinde sistemin sürekliliği ve güvenilirliği sağlanmış olur.

SBAS temel olarak aşağıdaki üç hizmetle güçlendirilir:

Ölçüm: İlk adım, yer istasyonlarının GNSS sinyallerini alması ve bu sinyallerin zamansal ve mekânsal özelliklerini analiz etmesidir. Bu analiz, atmosferik bozulmaları ve diğer hataları belirlemek için yapılır.

Düzeltilme: Yer istasyonları, atmosferik bozulmaları ve diğer hataları düzeltmek için hesaplamalar yapar. Bu düzeltmeler daha sonra uyduya iletilir.

Kullanıcı Arayüzü: Uydu, düzeltmeleri alır ve bu düzeltmeleri GNSS sinyalleriyle birleştirir. Sonuç olarak, kullanıcılara daha doğru konum bilgileri sağlanır.



Şekil 3.20. SBAS Yöntemi Prensibi (Teunissen ve Montenbruck, 2017)

Her bir ana istasyon, kapsama alanı boyunca iyonosfer için düzeltmeler içeren bir ağ (grid) oluşturur. Bu ağ, 60° G ve 60° K enlemleri arasında 5° x 5°'lik bir ölçekte olup, kutup bölgelerinde daha seyrek yerleşim gösterir (RTCA, 2013). Tek frekanslı GPS'in iyonosfer modellemesinde, SBAS, iyonosferi, yer yüzeyinden yaklaşık 350 km yükseklikteki ince bir kabuk olarak kabul ederek düzeltmeleri hesaplar (Klobuchar ve diğ., 1996)

SBAS, havacılık sektörü dışında konum belirleme amacı ile de kullanılmaktadır. Ancak bunun için SBAS düzeltmesi alabilen cihaz, abonelik (ücretli) gerekmektedir. EGNOS'a ait gözlem dosyası ile büroda GNSS sistemine olan etkisini araştırmak mümkün olsa da ülkemizde anlık olarak yer ölçmelerinde kullanılamamaktadır. Tez kapsamında EGNOS'un Türkiye'yi kapsadığı alan içerisinde EGNOS sisteminden anlık olarak yararlanılarak konum belirleme amaçlanmış, fakat EGNOS'un Avrupa Birliği ülkeleri arasında kullanıldığı, ücreti karşılığı da olsa bu hizmetten yararlanılamayacağı tespit edilmiştir. EGNOS'a ait ülkemizde kontrol istasyonunun olmadığı ve iyonosferin bu sebepten dolayı düzgün bir şekilde modellenemeyeceği bilgisine ulaşılmıştır. Ülkemizde İstanbul bölgesi EGNOS'un kapsama alanına girmektedir. Ayrıca en doğru sonuçların İstanbul bölgesindeki istasyonlarda alınmasının sebebi de EGNOS sistemine ait yer istasyonlarına yakın olmasından kaynaklanmaktadır. Yapılan çalışmalar ve literatür taraması neticesinde SBAS'ın konum doğruluğunun en iyi ihtimalle 1.5-2

metreden daha iyi olamayacağı ve konum doğruluğunun yaklaşık 1-5 metre doğruluk mertebesinde olduğu araştırmalar neticesinde tespit edilmiştir. Bu doğruluk navigasyon ve askeri amaçlı kullanılabilir fakat hassas konumlama çalışmaları için uygun değildir. Dünya çapında kullanılan SBAS sistemlerine ait bilgiler aşağıda sunulmuştur. Tüm bu sistemler kendileri arasında uyumludur.

3.6.1. WAAS Sistemi

WAAS sistemi, GPS alıcılarının hesapladığı konumların doğruluğunu ve güvenilirliğini iyileştiren düzeltme verilerini iletmektedir. WAAS, uydu tabanlı bir DGPS (Diferansiyel GPS) sistemidir.

WAAS, Temmuz 2003'ten bu yana can güvenliği hizmetleri için tamamen çalışır durumdadır (Lawrence ve diğ., 2007). CONUS'ta yirmi adet WAAS referans istasyonu (WRS), Alaska'da yedi, Hawaii'de bir, Porto Riko'da bir, Kanada'da dört ve Meksika'da beş olmak üzere toplam 38 adetten oluşur. 3 adet ana istasyon ve 3 adet yere göre sabit uydulardan (GEO) oluşmaktadır. Ana istasyonda hesaplanan yörünge, saat ve atmosferik parametreler (iyonosfer ve troposfer) kullanıcılara GEO uyduları ile aktarılır. Alıcı üzerindeki anakartın WAAS düzeltmelerinin yayınladığı sinyalleri alacak şekilde olması gerekmektedir. Tüm SBAS sistemindeki GEO uydularının listesi Çizelge 3.4'te sunulmuştur.

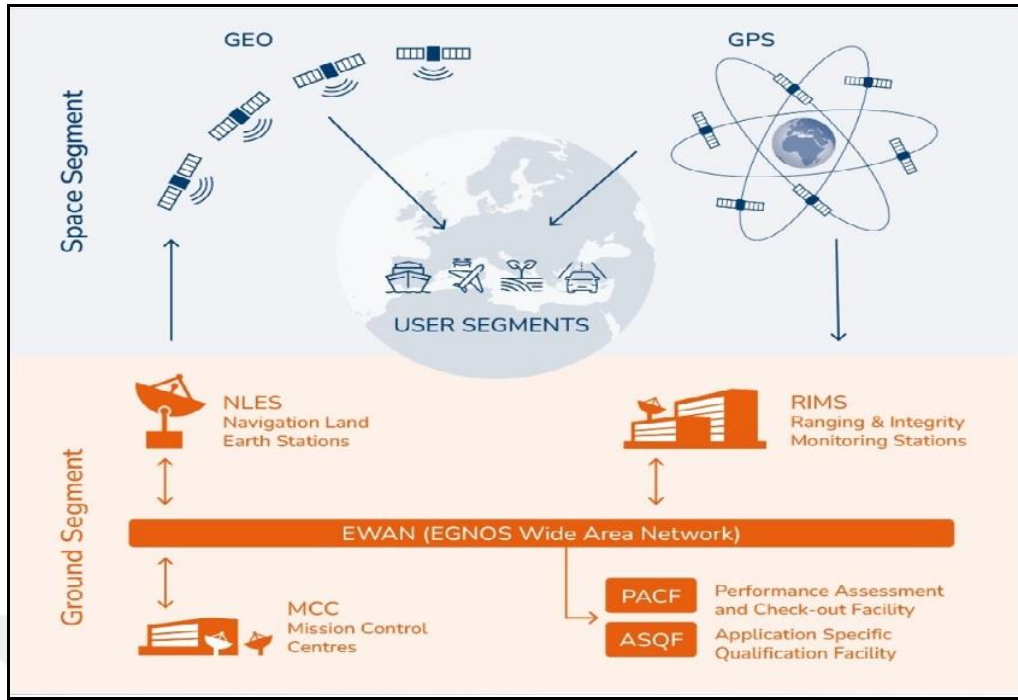
Çizelge 3.4 WAAS Uyduları (Teunissen ve diğ., 2017)

PRN	SBAS	SATALLITE	LOCATION
120	European Geostationary Overlay Service (EGNOS)	INMARSAT 3F2	15.5 W
121	EGNOS	INMARSAT 3F5	25 E
122	Unallocated		
123	EGNOS	ASTRA 5B	31.5 E
124	EGNOS	Reserved	
125	System for Differential Correction and Monitoring (SDCM)	Luch-5A	16 W
126	EGNOS	INMARSAT 4F2	25 E
127	GPS Aided GEO Augmented Navigation (GAGAN)	GSAT-8	55 E
128	GAGAN	GSAT-10	83E

129	Multi-function Satellite Augmentation System (MSAS)	MTSAT-1R (or -2)	140 E
130	Unallocated		-
131	WAAS	Satmex 9	117 W
132	Unallocated		
133	WAAS	INMARSAT 4F3	98 W
134	Unallocated		
135	WAAS	Intelsat Galaxy XV	133 W
136	EGNOS	ASTRA 4B	5 E
137	MSAS	MTSAT-2 (or -1R)	145 E
138	WAAS	ANIK-F1R	107.3 W
139	GAGAN	GSAT-15	93.5 E
140	SDCM	Luch-5B	95 E
141	SDCM	Luch-4	167 E

3.6.2. EGNOS Sistemi

EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) projesi Avrupa Birliğinin uydu navigasyon sistemleri konusundaki ilk projesi olup 1998 yılında başlamıştır. Sistem Avrupa Uzay Ajansı (ESA: European Space Agency), Avrupa Komisyonu (EC:European Commission) ve Eurocontrol'un ortak girişimidir. EGNOS altyapısı; Yaklaşık 40 adet bütünlük izleme istasyonundan (RIMS) oluşan yer ağı, 6 navigasyon kara yer istasyonu (NLES), 2 görev kontrol merkezi, Operasyon Koordinasyon Merkezi ve Hizmet Merkezi, SATCOM servis sağlayıcıları tarafından işletilen 3 sabit uydudan oluşmaktadır. Bugün EGNOS, GPS ve Galileo sistemlerinin doğruluğunu artırmak için bir dizi sabit uydu ve yer istasyonları ağı kullanmaktadır. 'EGNOS V3' adı verilen yeni ve daha güçlü bir sistem şu anda hazırlık aşamasındadır. Hem Galileo hem de GPS sinyallerini güçlendirerek daha iyi bir kullanıcı deneyimi sunması planlanmaktadır. Bölgesel navigasyon uydu sistemi olan EGNOS'un kapsama alanı Avrupa ve bazı komşu ülkelerle sınırlıdır. EGNOS Avrupa çapında konuşlandırılmış yer istasyonları, GPS'ten ve Galileo uydularından sinyaller alır ve bunlar daha sonra merkezi bir bilgisayar sistemi aracılığıyla toplanır ve işlenir. Burada diferansiyel düzeltmeler ve bütünlük mesajları hesaplanır. Bu mesajlar daha sonra üç sabit uydu seti aracılığıyla Avrupa çapındaki kullanıcılara geri yayınlanır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. EGNOS Prensibi (URL-10).

EGNOS, havacılık gibi doğruluğun ve bütünlüğün kritik olduğu uygulamalar için gereklidir. Aslında EGNOS, 2011 yılında sivil havacılıkta kullanıma yönelik sertifikasyonundan bu yana, genel olarak havalimanlarının, özel olarak da küçük ve bölgesel havalimanlarının hem güvenliğini hem de erişilebilirliğini artırarak Avrupa havacılık sektöründe önemli bir yardımcı haline gelmiştir. Sistemin Avrupa'nın her yerinde ve her zaman sunduğu doğru ve güvenli yönlendirme sayesinde pilotlar, zayıf görüş ve fırtınalar da dahil olmak üzere zorlu hava koşullarında iniş yapmak için daha iyi bir konuma sahip olmaktadır. Denizcilikte; AB'deki liman girişleri, liman yaklaşımları ve kıyı suları için EGNOS yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sektörlerin ötesinde EGNOS, yalnızca birkaçını saymak gerekirse karayolu, demiryolu, araştırma, haritalama, konum tabanlı hizmetler ve tarım dahil olmak üzere çok fazla alanda GNSS uygulamalarının kapsamını geliştirmekte ve genişletmektedir.

Sonuç olarak EGNOS, GNSS konum bilgisinin doğruluğunu artırırken aynı zamanda kullanıcının konumlandırma hataları (hem yatay hem de dikey) konusunda son derece güvenilir bir garanti almasını sağlayan önemli bir bütünlük mesajı sağlar. Ayrıca EGNOS sinyalleri kullanıcılara UTC saatine çok doğru bir senkronizasyon sağlar (URL-11). EGNOS uyduları ve kapsama alanları Çizelge 3.5'te sunulmuştur.

Çizelge 3.5. EGNOS Uyduları (Kahveci, 2017).

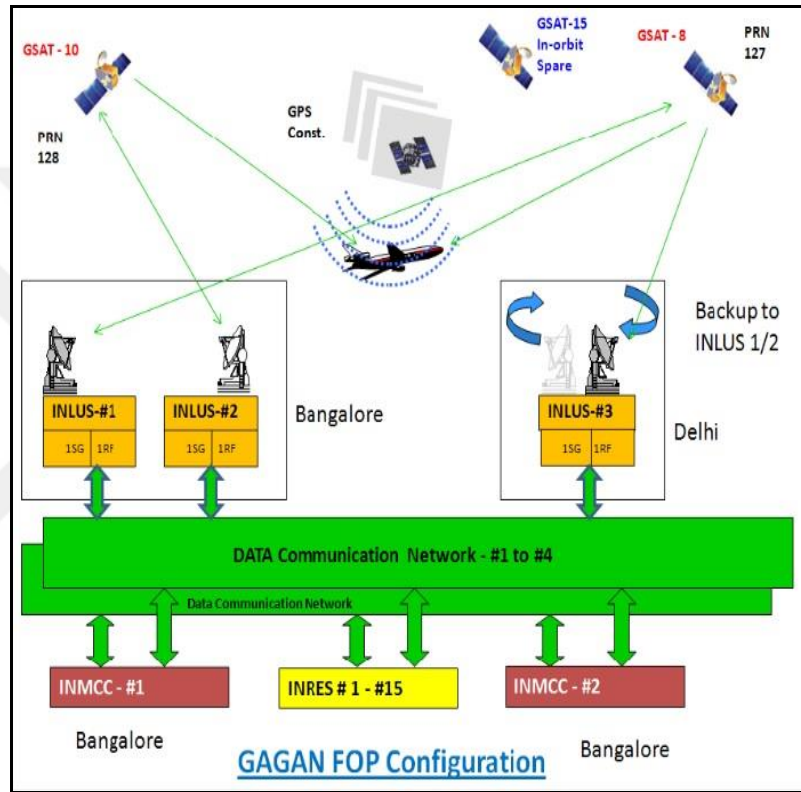
Uydu Adı	Yörünge Boylamı	PRN No	Kapsama Alanı
ASTRA SES-5	5 E	136	Afrika, Avrupa, Asya
Inmarsat 3F2 AOR-E	15.5 W	120	Atlantik Okyanusu Bölgesi
Astra 5B	31.5 E	123	Avrupa,Rusya
Inmarsat 4F2 EMEA	63.9 E	126	Avrupa, Orta Doğu ve Afrika

3.6.3. GAGAN Sistemi

Hindistan hava sahasında kesintisiz navigasyon hizmeti sunmak amacıyla Hindistan Hava Meydanları İdaresi ve Hindistan Uzay Araştırmaları Organizasyonu tarafından başlatılan ortak bir projedir. Hindistan'da 15 Hint referans istasyonu (INRES) bulunmaktadır. GEO uydularını kontrol etmek için iki Hint ana kontrol merkezi (INMCC) ve üç Hint navigasyon kara uplink istasyonu (INLUS) vardır. Jeomanyetik ekvator Hindistan'dan geçer ve bu nedenle GAGAN, ekvatorial iyonosferin tüm etkisiyle karşı karşıyadır. İyonosferik aktivitenin zirve yaptığı sırada düşey yönlendirme her zaman olanaklı değildir. Ekvator bölgesinde, gün batımından sonraki saatlerde sıklıkla kesintiler ve parıldamalar meydana gelir. Kesintiler, iyonosferik gecikmede SBAS grid ince kabuk modeli (grid thin shell model) tarafından kolayca modellenemeyecek kadar büyük gradyanlar yaratır. Neyse ki, yanal (düşey olmayan açılı) navigasyon bu sorunlara daha az duyarlıdır ve hizmet verilebilmektedir. Düşey yönlendirme, küçük iyonosferik gecikme belirsizliği ve çok iyi geometri gerektirir. Bu nedenle birçok akşam, özellikle güneş enerjisinin maksimum olduğu dönemlerde hizmet kaybı yaşanmaktadır. Ekvator iyonosferi, orta enlemde bulunan diğer SBAS'larla karşılaştırıldığında GAGAN için doğruluğun biraz daha kötü olmasına da neden olur. GAGAN ile Hindistan üzerinde 2.3 m %95 yatay ve 3.7 m %95 düşey doğruluk elde edilmektedir. GAGAN uydularına ait bilgiler Çizelge 3.6'da GAGAN prensibine ait akış ise Şekil 3.22'de sunulmuştur (Teunissen ve Montenbruck, 2017).

Çizelge 3.6. GAGAN Uyduları (Kahveci, 2017)

Uydu Adı	Yörünge Boylamı	PRN No	Sinyalleri
GSAT-8	55 E	127	L1/L5
GSAT-10	83 E	128	L1/L5
GSAT-15	93.5 E	132	L1/L5



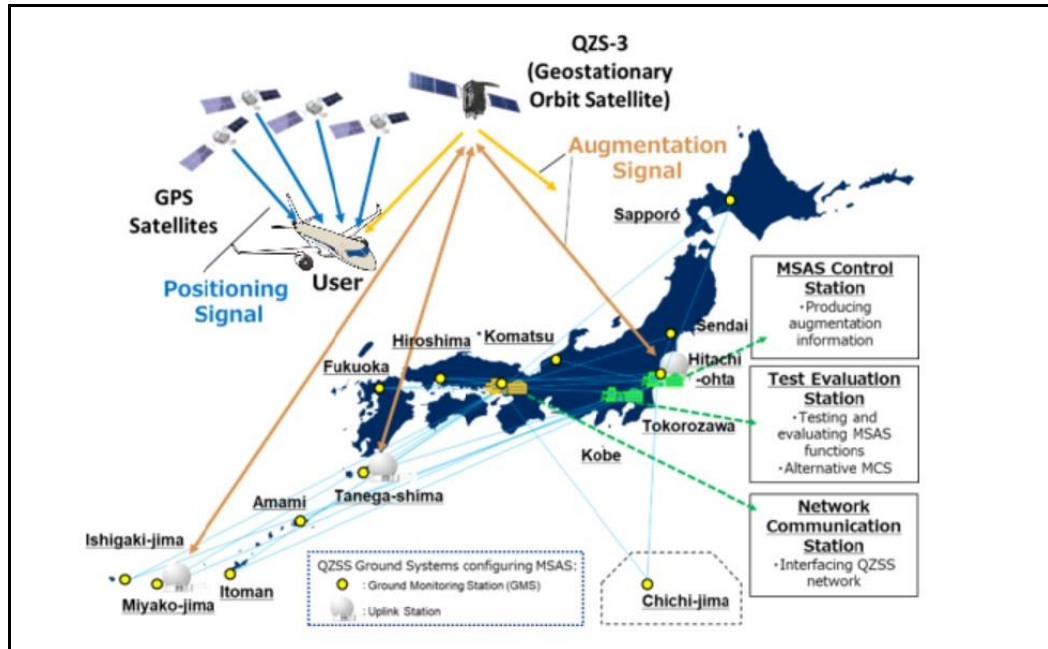
Şekil 3.22. GAGAN Prensibi (URL-12)

3.6.4. MSAS Sistemi

Japonya Sivil Havacılık Bürosu (JCAB), havacılık görevlerinin yanı sıra meteorolojik gözlem verilerinin de entegre edileceği bir uydu sistemi kurma kararı almıştır. Bu uydu sistemine MTSAT adı verilmiştir. MTSAT'ın kapsama alanı sorunlarını çözmek ve navigasyon doğruluğunu artırmak amacıyla, sistem geliştirilerek MSAS (MTSAT Satellite Based Augmentation System) ismini almıştır. MSAS kapsamında Hawaii ve Avustralyada izleme ve ölçme istasyonları, Japonya'da 4 tane yer izleme istasyonu ile 2 ana kontrol istasyonu olmak üzere toplam 8 adet referans istasyonu kurulmuştur. MSAS sistemi, WAAS ve EGNOS ile birlikte eş zamanlı çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. MSAS sistemine ait uydular Çizelge 3.7'de MSAS sisteminin işleyişine ait akış ise Şekil 3.23'de sunulmuştur.

Çizelge 3.7. MSAS Uyduları (Kahveci, 2017)

Uydu Adı	Yörünge Boylamı	PRN No	Sinyalleri
MTSAT-1R	140 E	127	L1/L5
MTSAT-2	145 E	129/137	L1



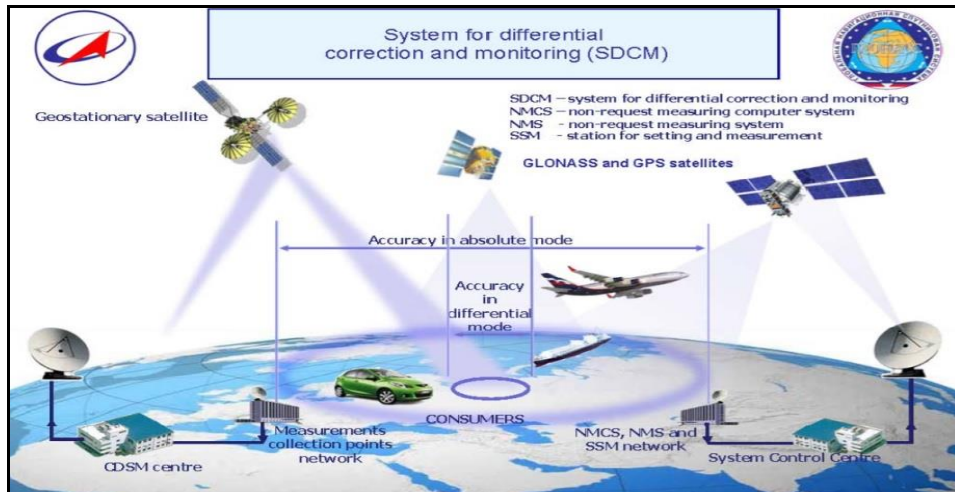
Şekil 3.23. MSAS Prensibi (URL-13)

3.6.5. SDCM Sistemi

SDCM, GPS ve GLONASS navigasyon uydularının gerçek zamanlı konum doğruluklarını artırmak, güncel ve sistem güvenilirliğine (integrity) ilişkin bilgi sağlamak amaçlarıyla JSC (Russian Space Systems) tarafından hayata geçirilmiş bir Rus diferansiyel düzeltme ve izleme sistemidir. Bu sistem kullanıcılara efemeris ve zaman bilgileri düzeltmeleri, düşeydeki iyonosferik düzeltme parametreleri, navigasyon yapılan alan boyunca sistem veri doğruluğu ve bütünlüğü bilgileri sağlamaktadır. SDCM 19'u Rusya, 4 tanesi Antartika ve Brezilya olmak üzere toplam 23 yer referans istasyonuna, uzay bölümünde ise 3 GEO uydusuna sahiptir. Sistemin kontrol merkezi ise Moskova'dadır. SDCM sistemine ait uydular Çizelge 3.8'de SDCM sisteminin işleyişine ait akış ise Şekil 3.24'te sunulmuştur.

Çizelge 3.8. SDCM Uyduları (Kahveci, 2017)

Uydu Adı	Yörünge Boylamı	PRN No	Sinyalleri
Luch 5A	167 E	140	L1
Luch 5B	95 E	125	L1
Luch 5V	16 W	141	L1



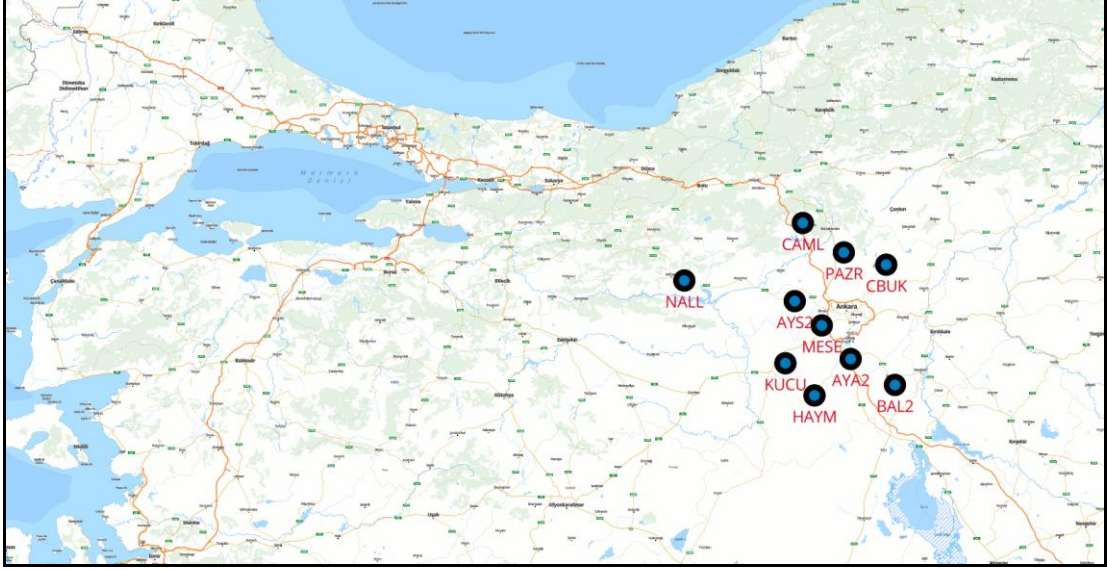
Şekil 3.24. SDCM Prensibi (URL-14)

Sonuç olarak SBAS, günümüzde konumlandırma ve navigasyon alanında önemli bir teknoloji olarak kabul edilmektedir. Yüksek hassasiyeti, güvenilirliği ve bütünlüğü sayesinde, geniş bir kullanım alanına sahiptir.



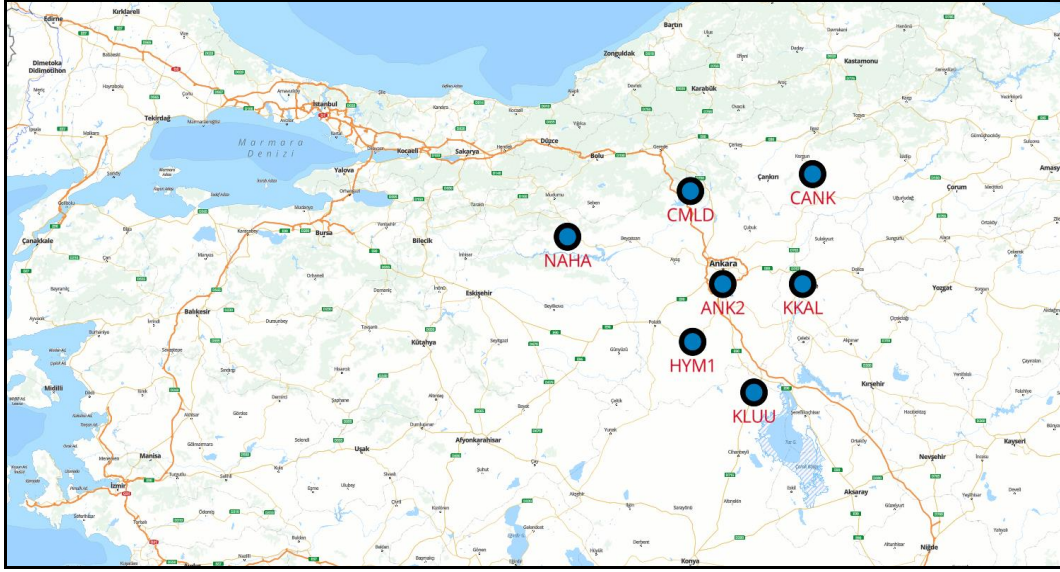
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında, Ankara ili sınırları içerisinde yer alan Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA) noktalarından CBUK (Çubuk), PAZR (Pazar), KUCU (Kuşçu), HAYM (Haymana), AYS2 (Ayaş), AYA2 (Yağlıpınar), MESE (Meşedağ), CAML (Çamlıdere), NALL (Nallıhan) ve BAL2 (Bala) uygulama noktaları olarak seçilmiştir (Şekil 4.1).

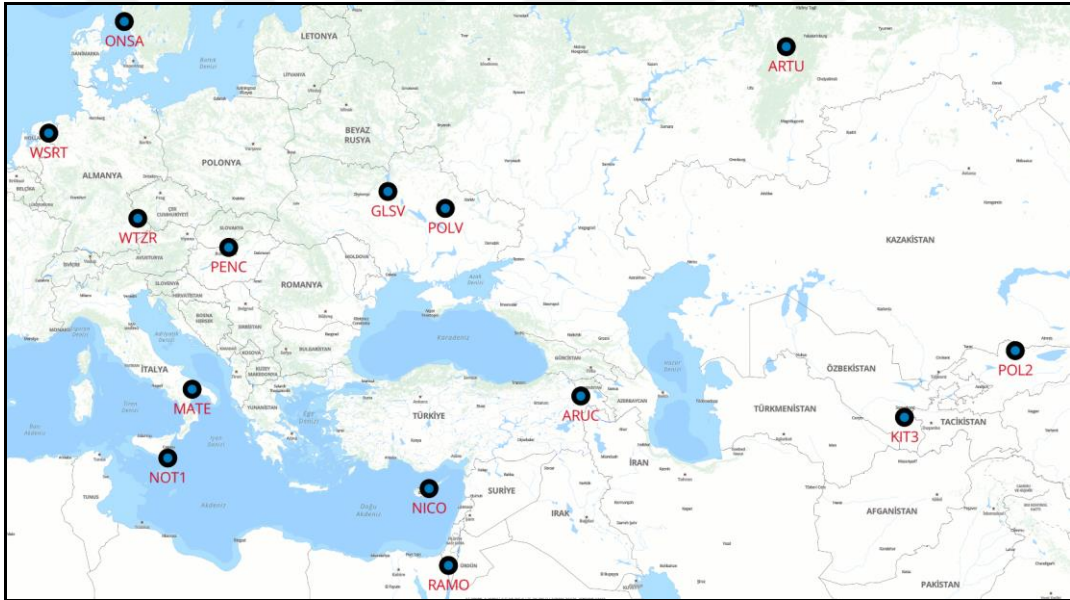


Şekil 4.1. Tez Çalışmasında Kullanılan TUTGA Noktaları

Statik ölçülerin analizi kapsamında KULU (Kulu), ANK2 (Ankara), HYM1 (Haymana), KKAL (Kırıkkale), CANK (Çankırı), CMLD (Çamlıdere), NAHA (Nallıhan), MİHA (Mihalıçcık) ve SIH1 (Sivrihisar) TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait 30 sn'lik, 2024 yılının 237, 238, 239, 240, 241 ve 242'nci günlerinin gözlem (RINEX) verileri ve ARTU, KİT3, MATE, NİCO, NOT1, ONSA, PENC, POLV, RAMO, WRST, YİBL, ARUC, GLSV, POL2, WTZR, ZECK IGS noktalarının 237, 238, 239, 240 ve 241 ve 242'nci günlerinin RINEX verileri kullanılmıştır. TUSAGA-Aktif ve IGS istasyonları Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 'te sunulmuştur.



Şekil 4. 2. Tez Çalışmasında Kullanılan TUSAGA-Aktif Noktaları



Şekil 4. 3. Tez çalışmasında Kullanılan IGS Noktaları

PPP yönteminin değerlendirilmesi amacıyla da yukarıda bahsedilen TUTGA noktalarının gözlem verileri kullanılmıştır. Gözlem verileri Bernese V5.2 yazılımında PPP yöntemi ile analiz edilmiş ve noktaların koordinatları hesaplanmıştır.

PPP-RTK yönteminin değerlendirilmesi amacıyla TUTGA noktalarında Oscar TAP GNSS alıcısı ile PPP-RTK ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her noktada cm seviyesinde doğruluk elde edebilmek için taşıyıcı dalga faz belirsizlikleri çözülünceye kadar (ambiguity-fix çözüm elde edilinceye kadar) beklenmiş ve beklenen süreler kayıt edilerek yakınsama süreleri hesaplanmıştır.

TUSAGA-Aktif (Ağ-RTK) sisteminin konum doğruluğunun değerlendirilmesi amacıyla Harita Genel Müdürlüğü ile Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü sunucularına bağlanılarak TUTGA noktalarında TUSAGA-Aktif (Ağ-RTK) yöntemi ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Her noktada en az 1 dakikalık ölçüm yapılmıştır.

SBAS yönteminin değerlendirilmesi amacıyla ise, İSTA IGS istasyonu verileri kullanılmıştır. İSTA istasyonuna ait veriler GPS ve GPS+SBAS verileri ile process edilerek SBAS'ın ne ölçüde bir iyileştirme yaptığı hesaplanmıştır.

4.1. Statik Yöntem ile Toplanan Gözlem Verilerinin GAMIT-GLOBK Yazılımı ile Analizi

GAMIT-GLOBK, GNSS taşıyıcı faz ve pseudorange verilerinden; nokta konumları, hız bilgisi ve diğer jeodezik parametrelerin (Atmosferik, Yer Dönme) hesaplanması için geliştirilmiş bir yazılım paketidir. Yeryüzüne ait kabuk deformasyonunu incelemek için GNSS ölçümlerini analiz etmek maksadıyla Ulusal Bilim Vakfı'nın desteğiyle MIT (Massachusetts Institute of Technology), Scripps Oşinografi Enstitüsü ve Harvard Üniversitesi (ABD) tarafından geliştirilmiştir.

GAMIT (GNSS at MIT), faz ve pseudorange verilerini işleyerek bir ağ çözüm vektörü ve ona bağlı gevşek kısıtlı kovaryans matrisi üreten program iken, GLOBK (Global Kalman filter), kalman filtrelemesi esasına dayanarak bu çözümleri işleyen, farklı gün ve oturumlara ait sonuçları birleştiren, referans sistemi tanımlaması yapan, koordinat zaman serilerini oluşturan, farklı tarihlere ait bu sonuçlardan nokta konum ve hız tahmini yapan yazılımdır. İki program paketi ile birlikte sunulan GAMIT-GLOBK, çoğunlukla Fortran'da, biraz C ve kullanıcıların ana programları çalıştırmak için etkileşimde bulunduğu çok sayıda scriptle yazılmış bir komut satırı yazılımıdır. Grafiksel kullanıcı arayüzüne (GUI) sahip olmayıp, Linux/UNIX ve MAC işletim sistemlerinde komut satırından çalışmaktadır (URL-15).

GAMIT kullanılarak yapılan çözümler, çoklu/GNSS birleştirilmiş bir sistem olarak değil, her bir uydu sistemi (GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU) için ayrı ayrı hesaplanır ve ardından GLOBK aşamasında birleştirilir. GLOBK modülü, yalnızca yazılım çözüm dosyalarını değil, aynı zamanda Bernese, GIPSY/OASIS II gibi diğer GPS/GNSS yazılımlarıyla ya da VLBI/SLR gözlemleriyle elde edilen çözüm dosyalarını da, belirli bir referans sisteminde tanımlanmak üzere birleştirebilir.

GLOBK modülü aracılığıyla yapılan Referans Sistemi Tanımlamasında, IGS veya seçilen referans noktalarının koordinat ve hızları sabit kabul edilmek yerine, 3 parametrelili (Öteleme), 6 parametrelili (3 Öteleme, 3 Dönüklük) veya 7 parametrelili (3 Öteleme, 3 Dönüklük, 1 ölçek) Helmert dönüşümü uygulanarak, hedeflenen bir referans sistemine (örneğin, ITRF20) datum dönüşümü yapılır.

GAMIT-GLOBK yazılımı ile, sahip olduğu yetenek ve yardımcı programlar sayesinde, sabit istasyon verilerinin otomatik günlük analizi, koordinat zaman serilerinin ele edilmesi, kaba hataların temizlenmesi ve hassas koordinat ve hız bilgisinin elde edilebilmesi işlemleri başarıyla yapılabilmektedir (URL-16,17,18). Tez kapsamında HGM'nin hazırlamış olduğu GAMIT-GLOBK kullanımı özet dökümanından da faydalanılmıştır (URL-19).

4.1.1. Kampanya Oluşturulması

Analiz için bir dizin yaratılması gerekmektedir Bunun için konsolda mkdir anka yazılarak bir dizin oluşturulur ve tables klasörü bu dizinin içinde oluşturulur.

4.1.1.1. RINEX Klasörü ve Tables Klasörünün Oluşturulması

Kampanya dizini içinde, **mkdir rinex** komutu kullanılarak bir rinex klasörü oluşturulur. Ardından, “sh_casfold -dir d -files” komutuyla, dosyalar programın formatına uygun şekilde yeniden adlandırılır. Analize dahil edilecek tüm rinex dosyaları, her bir gün için kontrol edilip bu klasöre kopyalanır. Dosya adlarının tamamı küçük harflerle yazılmalıdır, aksi takdirde program hata verecektir.

Kampanya klasörü içinde “sh_setup -yr 2024” komutu ile tables klasörü ve alt klasörleri otomatik olarak oluşturulmuştur.

4.1.1.2. Tables Klasörü ve Tables Klasörünün Altında Oluşan diğer Önemli Dosyalar

autcln.cmd: Bu dosya, veri temizleme için gerekli kontrol parametrelerini içerir. "autcln" alt programı, faz kayıklıklarını (cycle slips) düzeltir, faz gözlemlerindeki hataları (outliers) temizler ve geniş bant faz bilinmeyenlerini (ambiguities) çözer. Varsayılan değerler kullanılır ve genellikle düzenleme yapılması gerekmez.

igb14_comb.apr: Bu dosya, IGS istasyonlarına ait ITRF2014 referans sisteminde belirlenmiş koordinat ve hız bilgilerini içerir ve MIT tarafından hazırlanmış ve kaynak dizininde mevcuttur.

leap.sec: 1 Ocak 1982'den itibaren TAI-UTC farkı için eklenen saniye değerlerini içerir.

lfile.: Analizde kullanılacak noktaların yaklaşık koordinatlarını içeren dosya.

luntab.: Hesaplanan Ay efemeris bilgilerini içerir.

soltab.: Hesaplanan güneş efemeris bilgilerini içerir.

nutabl.: Yer sabit sistemine dönüşüm yapmak için kullanılan nutasyon parametrelerini içerir.

pole.: Kutup hareketi değerlerini içeren bir tabloyu içerir.

sestbl.: Analiz stratejilerinin ve kullanılacak modellerin tanımlandığı dosyadır.

session table kontrol dosyasındaki BASELINE seçeneği varsayılan olarak seçili olmalıdır. Bu, uydu yörünge parametrelerinin sabit alındığı ve nokta/istasyon koordinatlarının hesaplandığı anlamına gelir. Diğer seçenekler, uydu yörünge parametrelerinin hesaplandığı "ORBIT" ve her iki parametrenin de hesaplandığı "RELAX"tır. "RELAX" seçeneği, örneğin, bölgesel çözümlerimizin SOPAC ve/veya MIT çözümleriyle birleştirileceği durumlarda kullanılabilir.

sestbl. dosyasındaki bir seçenek aktif hale getirilmek isteniyorsa, ilk sütunun boş olmaması gerekir. Eğer ilk sütun boşsa, o satır bir yorum satırı olarak kabul edilir. Ayrıca, satırlarda bulunan noktalı virgül (;) işaretinden sonra yazılan kısımlar da yorum olarak değerlendirilir.

BASELINE seçeneği aktif olduğunda, hemen altındaki uydu yörüngesi kısıtlamaları (Satellite Constraint = Y) dikkate alınmaz. Çünkü uydu yörüngeleri dengelemeye dahil edilmeden olduğu gibi (fix) kullanılacaktır.

En doğru troposferik parametreler ve indirgeme modeli için Vienna Mapping Function (VMF1) grid dosyalarının kullanılması gerekir. Bu durumda, sestbl. dosyasındaki satırlar; Use map.grid = Y, WMap = VMF1, DMap = VMF1 olmalıdır.

Ölçümlerin Ağırlıklandırılması: GNSS ölçüleri ağırlıklandırılırken, her bir istasyonun artık değerleri (residuals), uydulardan gelen sinyallerin yükseklik açısına bağlı olarak hesaplanır. Bu modelde kullanılan katsayılar (a ve b), autcln tarafından tahmin edilir. Sonuç olarak, sestbl. dosyasındaki ilgili satırlar; Choice of Observable = LC_AUTCLN, AUTCLN reweight = Y, Station Error = ELEVATION 10 5, Type of Analysis = 1-ITER bu şekilde olmalıdır.

Öncül Atmosferik Bilgi Kaynağı Seçimi: Atmosferik gecikmeleri hesaplayabilmek için gözlem zamanına ait basınç, sıcaklık ve bağıl nem verilerinin alındığı kaynaklar hiyerarşik olarak sıralanır. A-priori değerler için ilk olarak Rinex Meteoroloji dosyası (.m) kullanılır; eğer mevcut değilse VMF1 grid dosyası (map.grid) kullanılır, ve eğer o da yoksa ~/gg/tables/gpt.grid dosyası (gpt3_1.grd) tercih edilir. Bağıl nem için varsayılan değer %50 olarak kabul edilir. Sonuç olarak, basınç ve sıcaklık verileri ya gpt ya da VMF1 grid dosyalarından alınır ve bu nedenle met.list ve met.grid seçenekleri kullanılmaz.

Atmosferik Gecikme: Atmosferik gecikme için aşağıdaki ayarlar uygulanmıştır:

- Zenith Delay Estimation = Y: Zenith doğrultusundaki gecikme hesaplanacaktır.
- Interval zen = 1: Günlük olarak 24 adet hesaplanacaktır (2 olursa 13 adet hesaplanır).
- Zenith Constraints = 0.50: 0.5 metre öncül koşul (constraint) verilebilir.
- Zenith Variation = 0.02 100: Gecikmedeki değişim, tau: 0.02 m./√(hr), 100 saatlik süreyle hesaplanır.
- Zenith Constraints = 0.50: Zenith gecikmesinin a priori sınırı (default 0.5 metre).
- Atmospheric gradients = Y: Gradyanlar da hesaplanacaktır.
- Number gradients = 2: Günlük 1 adet gradyan (Doğu-Batı ve Kuzey-Güney).
- Gradient Constraints = 0.03: Gradyan için 0.03 metre koşul.

sittbl.: Bu dosya, her noktanın analiz öncesindeki koordinat hassasiyetlerini, yani nokta koordinatlarının bilinen doğruluğunu belirten kontrol dosyasıdır. Aşağıdaki örnekte, IGB14 istasyonlarının koordinatlarına 5 santimetre öncül kısıt (a-priori constraint) verildiği belirtilmiştir. Bu, analize dahil edilecek diğer tüm noktaların 1 metre doğrulukla kabul edildiği anlamına gelir. Bu dosyada, iyi bilinen koordinatlara sahip 1-2 IGS istasyonunun bulunması, yeterli bir ambiguity (başlangıç faz bilinmeyi) çözümü için yeterlidir. Standart kurulum dizinindeki tables klasöründeki "sittbl."

dosyasında neredeyse tüm IGS noktaları mevcuttur. Uygulamada kullanılan sittbl. dosyasının örneği Şekil 4.4'te sunulmuştur.

```

SITE          FIX  --COORD.CONSTR.--
<< default for regional sites >>
ALL           NNN  1.  1.  1.
<< Selected for CORS analysis >>
ANKR          NNN  0.050 0.050 0.050
ARTU          NNN  0.050 0.050 0.050
ARUC          NNN  0.050 0.050 0.050
BAHR          NNN  0.050 0.050 0.050
BOR1          NNN  0.050 0.050 0.050
BUCU          NNN  0.050 0.050 0.050
CRAO          NNN  0.050 0.050 0.050
DRAG          NNN  0.050 0.050 0.050
DYNG          NNN  0.050 0.050 0.050
GLSV          NNN  0.050 0.050 0.050
GOPE          NNN  0.050 0.050 0.050
GRAZ          NNN  0.050 0.050 0.050
ISBA          NNN  0.050 0.050 0.050
ISTA          NNN  0.050 0.050 0.050
JOZE          NNN  0.050 0.050 0.050
KIT3          NNN  0.050 0.050 0.050
MATE          NNN  0.050 0.050 0.050
MDVJ          NNN  0.050 0.050 0.050
MIKL          NNN  0.050 0.050 0.050
NICO          NNN  0.050 0.050 0.050
NOT1          NNN  0.050 0.050 0.050
NSSP          NNN  0.050 0.050 0.050
ONSA          NNN  0.050 0.050 0.050
PENC          NNN  0.050 0.050 0.050
POLV          NNN  0.050 0.050 0.050
POL2          NNN  0.050 0.050 0.050
POTS          NNN  0.050 0.050 0.050
RAMO          NNN  0.050 0.050 0.050
SOFI          NNN  0.050 0.050 0.050
TEHN          NNN  0.050 0.050 0.050
TRAB          NNN  0.050 0.050 0.050
TUBI          NNN  0.050 0.050 0.050
URAL          NNN  0.050 0.050 0.050
VILL          NNN  0.050 0.050 0.050
YEBE          NNN  0.050 0.050 0.050
WSRT          NNN  0.050 0.050 0.050
WTZR          NNN  0.050 0.050 0.050
YIBL          NNN  0.050 0.050 0.050
ZECK          NNN  0.050 0.050 0.050
ZIMM          NNN  0.050 0.050 0.050
ZWEN          NNN  0.050 0.050 0.050

```

Şekil 4. 4. sittble Dosyası.

utl.: Zaman bilgilerini tablo formatında içeren dosyadır.

process.defaults: Analizle ilgili olarak başlangıç, bitiş, saklanacak veya silinecek sonuç dosyaları ile disk kullanımı gibi parametreleri kontrol eden dosyadır.

station.info: Bu dosya, alıcı ve anten markası ve modeli, anten yükseklikleri, ölçümün başlama ve bitiş zamanları gibi önemli bilgileri içerir. Bu dosyada dikkatli bir şekilde düzenleme yapılması gerekmektedir. Uygulamada kullanılan TUTGA, TUSAGA-Aktif ve İGS noktalarına ait station info bilgileri aşağıda belirtilen şekillerde sunulmuştur (Şekil 4.5-4.7).

```
# Station.info written by MSTINF user tah on 2023-02-27 14:47
# Reference file : station.info.20230227.old
# Merged station.info file : upd.txt
#
#
#SITE Station Name Session Start Session Stop Ant Ht HtCod Ant N Ant E Receiver Type Vers SwVer Receiver SN Antenna Type Dome Antenna SN
ARTU Artı 2018 249 09 30 00 9999 999 00 00 00 0.0796 DHPAB 0.0000 0.0000 JAVAD TRE_G3TH DELTA 3.6.9 Nov,28,2016 3.60 02668 ASH700936D_M DOME CR13077
ARUC Aruch-Yerevan 2023 059 01 42 00 9999 999 00 00 00 0.0792 DHPAB 0.0000 0.0000 SEPT POLARX5 5.5.0 5.50 3013438 ASH701945C_M SCIS CRS20003504
GLSV Kiev/Golosiiv 2020 128 17 40 00 9999 999 00 00 00 0.0000 DHPAB 0.0000 0.0000 TRIMBLE NETR9 5.45 5.45 5821R50277 TRM115000.00 NONE 1551038935
KIT3 Kitab, Uzbekista 2023 125 07 51 00 9999 999 00 00 00 0.1206 DHPAB 0.0000 0.0000 SEPT ASTERX4 4.10.0 4.10 3047011 SEPCHKE_B3E6 NONE 5478
MATE Matera 2020 108 13 15 00 9999 999 00 00 00 0.1010 DHPAB 0.0000 0.0000 LEICA GR30 4.35/7.504 4.35 1765404 LETAR20 NONE 19203002
NICO Nicosia-Athalass 2022 045 14 40 00 9999 999 00 00 00 0.0650 DHPAB 0.0000 0.0000 LEICA GR50 4.61/7.811 4.61 1830231 LETAR25_R4 LEIT 725285
NOT1 Noto-Radioastron 2018 207 07 00 00 9999 999 00 00 00 0.0000 DHPAB 0.0000 0.0000 LEICA GR30 4.20/7.300 4.20 1765437 LETAR20 NONE 19203022
ONSALA ONSALA 2022 342 10 00 00 9999 999 00 00 00 0.9950 DHPAB 0.0000 0.0000 SEPT POLARX5TR 5.5.0 5.50 3046506 AOAD/M_B OSOD 020
PENC FOMI Satellite G 2021 242 12 02 00 9999 999 00 00 00 0.0300 DHPAB 0.0000 0.0000 LEICA GRX1200GGPPO 9.20/3.822 9.20 352998 LEIAT504GG LEIS 200219
POLV Poltava 2021 334 14 36 00 9999 999 00 00 00 0.0700 DHPAB 0.0000 0.0000 LEICA GR50 4.31/7.403 4.31 1871306 LETAR20 LEIM 23014041
POL2 Poligan IVTAN 2 2021 202 17 16 00 9999 999 00 00 00 0.0780 DHPAB 0.0000 0.0000 JAVAD TRE_3 DELTA 4.1.01 4.10 02563 TPSCR_G3 NONE 383-1030
WSRT Westerbork Synth 2023 107 15 24 00 9999 999 00 00 00 0.3888 DHPAB 0.0000 0.0000 SEPT POLARX5 5.5.0 5.50 3024778 AOAD/M_T DUTD 273
WTZR Wettzell / Germa 2021 138 12 30 00 9999 999 00 00 00 0.0710 DHPAB 0.0000 0.0000 LEICA GR50 4.50/7.710 4.50 1831551 LETAR25_R3 LEIT 10020031
YIBL Yibal Oman 2022 207 00 00 00 9999 999 00 00 00 0.0400 DHPAB 0.0000 0.0000 TRIMBLE NETR9 4.62 4.62 5323K43643 ASH701945C_M NONE 4812CR62001
```

Şekil 4. 5. IGS Noktalarına Ait station.info Dosyası

```
#####ANKARA TUTGA ###
CBUK Cbuk 2024 237 0 0 0 2024 237 23 59 59 0.0665 DHARP 0.0000 0.0000 TERSUS OSCAR GNSS 4.48 4.48 4737K07034 TRSOSCAREU2 NONE 99999999
PAZR Pazar 2024 237 0 0 0 2024 237 23 59 59 0.0628 DHARP 0.0000 0.0000 TERSUS OSCAR GNSS 4.48 4.48 4737K07034 TRSOSCAREU2 NONE 99999999
KUCU Kucu 2024 238 0 0 0 2024 238 23 59 59 0.0630 DHARP 0.0000 0.0000 TERSUS OSCAR GNSS 4.48 4.48 4737K07034 TRSOSCAREU2 NONE 99999999
HAYM Haymana 2024 238 0 0 0 2024 238 23 59 59 0.0650 DHARP 0.0000 0.0000 TERSUS OSCAR GNSS 4.48 4.48 4737K07034 TRSOSCAREU2 NONE 99999999
AYS2 Ayas 2024 239 0 0 0 2024 239 23 59 59 1.3086 DHARP 0.0000 0.0000 TERSUS OSCAR GNSS 4.48 4.48 4737K07034 TRSOSCAREU2 NONE 99999999
AYAZ Yaglipinar 2024 239 0 0 0 2024 239 23 59 59 1.1924 DHARP 0.0000 0.0000 TERSUS OSCAR GNSS 4.48 4.48 4737K07034 TRSOSCAREU2 NONE 99999999
MESE Mesdag 2024 240 0 0 0 2024 240 23 59 59 0.0870 DHARP 0.0000 0.0000 TERSUS OSCAR GNSS 4.48 4.48 4737K07034 TRSOSCAREU2 NONE 99999999
CML Camlidere 2024 241 0 0 0 2024 241 23 59 59 0.0602 DHARP 0.0000 0.0000 TERSUS OSCAR GNSS 4.48 4.48 4737K07034 TRSOSCAREU2 NONE 99999999
NALL Nallihan 2024 241 0 0 0 2024 241 23 59 59 0.0630 DHARP 0.0000 0.0000 TERSUS OSCAR GNSS 4.48 4.48 4737K07034 TRSOSCAREU2 NONE 99999999
BAL2 Bala 2024 242 0 0 0 2024 242 23 59 59 1.2643 DHARP 0.0000 0.0000 TERSUS OSCAR GNSS 4.48 4.48 4737K07034 TRSOSCAREU2 NONE 99999999
```

Şekil 4. 6. TUTGA Noktalarına Ait station.info Dosyası

```
#TUSAGA-Aktif istasyonlari #
ANK2 ANKARA 2019 179 0 0 0 9999 999 00 00 00 0.0420 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE NETR9 5.22 5.22 5751R52038 TRM115900.00 NONE 1551101061
CANIK Cankiri 2008 100 0 0 0 9999 999 0 0 0 0.0870 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE NETR5 4.48 4.48 4737K07036 TRMS5971.00 NONE 30573047
CHLD Camlidere 2008 100 0 0 0 9999 999 0 0 0 0.0870 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE NETR5 4.48 4.48 4730K06598 TRMS5971.00 NONE 30508404
HYMI Haymana-1 2020 276 0 0 0 9999 999 0 0 0 0.0870 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE NETR5 4.48 4.48 4737K07107 TRMS5971.00 NONE 30568269
KXAL Kirikkale 2008 100 0 0 0 9999 999 0 0 0 0.0870 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE NETR5 4.48 4.48 4737K07036 TRMS5971.00 NONE 30765366
KULU Kulu 2015 246 0 0 0 9999 999 0 0 0 0.0870 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE NETR5 4.45 4.45 5023K06404 TRMS5971.00 NONE 30568120
NAHA Nallihan 2008 100 0 0 0 9999 999 0 0 0 0.0870 DHARP 0.0000 0.0000 TRIMBLE NETR5 4.48 4.48 4734K06810 TRMS5971.00 NONE 30607652
```

Şekil 4. 7. TUSAGA-Aktif Noktalarına Ait station.info Dosyası

sites.defaults: Bu dosya, hangi verilerin analizde kullanılacağı ve hangi IGS istasyonlarının internet üzerinden indirileceği gibi parametrelerin kontrolünü sağlar. xstinfo seçeneği kullanılarak, tüm istasyonların RINEX gözlem dosyalarındaki bilgilerin kullanılarak station.info satırlarının otomatik olarak düzeltilmesi engellenir. Bu dosyada yer alan tüm bilgilerin, manuel olarak ve dikkatlice hazırlanması daha sağlıklı olacaktır. Bu nedenle, "all_sites anka xstinfo" komutu ile tüm istasyonların otomatik düzeltme işleminden kaçınılması sağlanır (Burada "anka" örnek olarak kullanılan kampanya kısaltmasıdır). Uygulamada kullanılan TUTGA, TUSAGA-Aktif ve IGS noktalarına ait sites.defaults dosyasının içeriği Şekil 4.8'de gösterilmektedir.

```

# Format: site expt keyword1 keyword2 ....
#
# where the first token is the 4- or 8-character site name (GAMIT uses only
# 4 characters, GLOBK allows only 4 unless there are earthquakes or renames),
# the second token is the 4-character experiment name, and the remaining
# tokens, read free-format, indicate how the site is to be used in the processing.
# All sites for which there are RINEX files in the local directory will be used
# automatically and do not need to be listed.
#
# ftprnx = sites to ftp from rinex data archives.
# ftpraw = sites to ftp from raw data archives.
# localrx = site names used to search for rinex files on your local system.
#           (required in conjunction with rxrind path variable set in process.defaults).
# xstinfo = sites to exclude from automatic station.info updating.
# xsite   = sites to exclude from processing, all days or specified days
#
# Replace 'expt' with your experiment name and edit the following to list sites needed from external archive
all_sites anka xstinfo
all_sites glon xstinfo

# anka sites

ank2_gps anka localrx
hym1_gps anka localrx
kkal_gps anka localrx
kluu_gps anka localrx
cank_gps anka localrx
cmld_gps anka localrx
naha_gps anka localrx
cbuk_gps anka localrx
pazr_gps anka localrx
kucu_gps anka localrx
haym_gps anka localrx
ays2_gps anka localrx
aya2_gps anka localrx
mese_gps anka localrx
caml_gps anka localrx
bal2_gps anka localrx
nall_gps anka localrx

#Kullanılan IGS ler:

artu_gps anka ftprnx
kit3_gps anka ftprnx
mate_gps anka ftprnx
nico_gps anka ftprnx
not1_gps anka ftprnx
onsa_gps anka ftprnx
penc_gps anka ftprnx
polv_gps anka ftprnx
ramo_gps anka ftprnx
wrt_gps anka ftprnx
yibl_gps anka ftprnx

#Eklenen IGS ler:
aruc_gps anka ftprnx
glsv_gps anka ftprnx
pol2_gps anka ftprnx
wtzr_gps anka ftprnx

```

Şekil 4. 8. IGS, TUTGA ve TUSAGA-Aktif Noktalarına Ait sites.defaults Dosyası

Referans istasyonları koordinatları için, MIT tarafından ITRF, IGS, EPN ve NGS çözümlerinin ITRF2014 referans çerçevesine göre birleştirildiği güncel igb14_comb.apr ve igb14_comb.eq dosyaları kullanılabilir.

Ayrıca, IGS istasyonlarının alıcı ve anten bilgilerini içeren en güncel station.info dosyası temin edilerek, kendi nokta ve istasyonlarımıza ait veriler eklenir. İndirilen güncel grid dosyaları için ise tables klasöründe belirtilen yıl bazında bağlantılar tanımlanır.

lfile: lfile dosyasında, analiz öncesinde her bir nokta/istasyon için birkaç metre doğruluğunda olsa da yaklaşık koordinatlar yer almalıdır. Bu yaklaşık koordinatları elde etmek için kullanılabilecek yöntemlerden biri sh_rx2apr komutudur. Ancak bu işlem için, brdc (yayın efemerisi) dosyasının yanı sıra, daha doğru bir koordinat elde edebilmek için, referans alınacak ve koordinatları bilinen bir istasyonun RINEX formatında mevcut olması gerekir. İlgili komutlar aşağıda belirtilmiştir.

- sh_get_nav -yr 2024 -doy 237 (brdc2370 dosyası indirilir.)
- sh_rx2apr -site ank22370.24o -nav brdc2370.24n
- sh_rx2apr -site ank22370.24o -nav brdc2370.24n -ref ank22370.24o -apr ~/gg/tables/igb14_comb.apr (hassas hesaplama için)

GPS/GNSS dengelemesi gibi doğrusal olmayan analizlerde, işlem başlangıcında girilen yaklaşık koordinat değerlerinin hassasiyeti göz ardı edilmemelidir. Bu tür durumlar için genellikle 1:1000 oranı referans alınır; yani yaklaşık 10 metrelik bir öncül koordinat hatası, nihai çözümde 10 mm'lik bir sapmaya neden olabilir. Eğer bir istasyonun lfile. dosyasına girilen başlangıç koordinatı ile sh_gamit işlemi sonucunda hesaplanan koordinat arasında 30 cm'den fazla fark varsa, yazılım bu değeri otomatik olarak güncelleyerek lfile. dosyasını düzeltir

4.1.2.Güncellenmesi Gereken Dosyalar

Yer Dönme Parametreleri: Yer dönme parametrelerine ait dosyanın (bulletin_b) güncel kalmasını sağlamak için komut satırında aşağıdaki işlemler gerçekleştirilir:

- sh_update_eop -series usno
- cp finals.data usno.finals.data
- sh_bull_b konya@gmail.com (e-posta adresi örnek olarak verilmiştir)

Bu işlemler sonucunda, usno.finals.data dosyası kullanılarak “ut1.bull_b”, “pole.bull_b” ve “pmu.bull_b” adlı dosyalar oluşturulur.

Differential Code Biases (dcb.dat): Eğer program düzenli olarak her ay güncelleniyorsa (örneğin en güncel incremental_updates dosyası indirildiyse), dcb.dat dosyası da otomatik olarak programın kurulu olduğu dizindeki tables klasöründe güncel biçimde bulunacaktır. Bu dosya, GPS uyduları için kod gözlemlerinde (özellikle P1C1) meydana gelen sistematik hataları (yani diferansiyel kod yanlışlıklarını) nanosaniye cinsinden içerir. GAMIT yazılımı bu dosyayı analiz sırasında kendiliğinden tanır ve işler; kullanıcı tarafından ek bir müdahaleye gerek duyulmaz. Dosyanın güncellenmesi için komut satırında aşağıdaki komutlar çalıştırılır:

- ftp -i everest.mit.edu (Bağlantı adresi)
- Kullanıcı: anonymous

- Şifre: Herhangi bir kelime yazılabilir. Örneğin: Konya
- bin/pub/tables/
- mget dcb.dat enter ile dcb.dat dosyası tables klasörüne indirilir.

Komutların akışına ilişkin bilgiler Şekil 4.9’da sunulmuştur.

```
jeoserver3:/mnt/sdd1/Ayhan> ftp -i everest.mit.edu
Connected to everest.mit.edu.
220 (vsFTPd 3.0.2)
Name (everest.mit.edu:tusaga): anonymous
331 Please specify the password.
Password:
230 Login successful.
Remote system type is UNIX.
Using binary mode to transfer files.
ftp> bin
200 Switching to Binary mode.
ftp> cd pub
250 Directory successfully changed.
ftp> ls
200 PORT command successful. Consider using PASV.
150 Here comes the directory listing.
drwxrwxr-x  2 1501      1500      12288 Mar 22 15:03 GRIDS
drwxrwxr-x  37 1201      1500      4096 Jan 06 11:54 MIT_GLL
drwxrwxr-x  2 1201      1500     397312 Dec 02 2022 MIT_SP3
drwxr-xr-x  2 1201      1500     32768 Dec 02 2022 MIT_SRP
drwxrwxr-x  2 1201      1500     77824 Nov 06 2014 MIT_Weekly
drwxrwxr-x  2 1201      1500      71 Feb 25 2010 PBO_ACC
drwxrwxr-x  2 1201      1500      28 Apr 01 2015 SIO_GLL
drwxrwxr-x  4 1201      1500      48 May 02 2012 TimeSeries
drwxrwxrwx  2 1213      1500      44 May 29 2009 ag
drwxr-xr-x  2 1213      0      8192 Nov 29 2023 tables
drwxrwxr-x  2 1213      1500     4096 Nov 10 2008 topo
drwxrwxrwx 10 1213      1500      149 Apr 22 2015 users
226 Directory send OK.
ftp> cd tables
250 Directory successfully changed.
ftp> ls *dcb.dat*
200 PORT command successful. Consider using PASV.
150 Here comes the directory listing.
-rw-rw-r--  1 1213      1500     744246 Nov 08 2023 dcb.dat
226 Directory send OK.
ftp>
```

Şekil 4. 9. dcb.dat Dosyasının İndirilmesi

Güncel Grid Dosyalarının İndirilmesi: En güncel atmosferik yükleme ve troposferik düzeltme grid dosyaları, belirli bir internet adresinden temin edilir. Bu dosyalar, "GRIDS" isimli bir klasör oluşturularak bu dizin içerisine yerleştirilebilir. İlgili güncellemelerin yapılması için komut satırında aşağıdaki komutlar kullanılır.

- cd /progs/GRIDS (GRIDS klasörüne girilir.)
- ftp -i everest.mit.edu (bağlantı Adresi)
- User: anonymous, sonraki adımda herhangi bir mail yazılır. (örneğin: konya@gmail.com)
- cd /pub/GRIDS (adresteki GRIDS klasörüne erişim)
- mget vmfl grd.2024 (vmfl grd.2024 indirilir)
- mget vmfapln_t_cm.2024 (vmfapln_t_cm.2024 indirilir)
- Exit (çıkış yapılır)

- mkdir VMF1 (VMF1 adında bir klasör oluşturulur)
- mkdir ATML (ATML adında bir klasör oluşturulur.)
- mv vmf1grd.2024 VMF1 (dosya VMF1 klasörüne taşınır)
- mv vmfapInt_cm.2024 ATML (dosya ATML klasörüne taşınır)

Grid dosyalarının indirilmesine yönelik komut satırı akışına ait bilgiler Şekil 4.10'da sunulmuştur.

```

Connected to everest.mit.edu.
220 (vsFTPd 3.0.2)
Name (everest.mit.edu:tusaga): anonymous
331 Please specify the password.
Password:
230 Login successful.
Remote system type is UNIX.
Using binary mode to transfer files.
ftp> bin
200 Switching to Binary mode.
ftp> ls
200 PORT command successful. Consider using PASV.
150 Here comes the directory listing.
drwxr-xr-x  14 0      0          231 May 23  2017 pub
226 Directory send OK.
ftp> cd pub
250 Directory successfully changed.
ftp> ls
200 PORT command successful. Consider using PASV.
150 Here comes the directory listing.
drwxrwxr-x  2 1501    1500      12288 Mar 22 15:03 GRIDS
drwxrwxr-x 37 1201    1500      4096 Jan 06 11:54 MIT_GLL
drwxrwxr-x  2 1201    1500     397312 Dec 02 2022 MIT_SP3
drwxr-xr-x  2 1201    1500     32768 Dec 02 2022 MIT_SRP
drwxrwxr-x  2 1201    1500     77824 Nov 06 2014 MIT_Weekly
drwxrwxr-x  2 1201    1500       71 Feb 25 2010 PBO_ACC
drwxrwxr-x  2 1201    1500       28 Apr 01 2015 SIO_GLL
drwxrwxr-x  4 1201    1500       48 May 02 2012 TimeSeries
drwxrwxrwx  2 1213    1500       44 May 29 2009 ag
drwxr-xr-x  2 1213     0      8192 Nov 29 2023 tables
drwxrwxr-x  2 1213    1500     4096 Nov 10 2008 topo
drwxrwxrwx 10 1213    1500      149 Apr 22 2015 users
226 Directory send OK.
ftp> cd GRIDS
250 Directory successfully changed.
ftp> ls
200 PORT command successful. Consider using PASV.
150 Here comes the directory listing.

```

Şekil 4. 10. Güncel Grid Dosyalarının İndirilmesi

4.1.3. Günlük GAMIT çözüm dosyalarının oluşturulması

2024 yılının 237'inci günü için analiz: IGS'in nihai (Final) yörünge verileri, ionosfer (ion) ve Yer Dönme Parametreleri (bull_b) dosyaları ile birlikte, "sh_gamit -d 2024 237 237 -expt anka -orbit IGSF -eops bull_b -yrex -h -ion -update_1 N" komutu kullanılarak analiz süreci başlatılmıştır:

tables : Analiz için gerekli dosyaların içinde olduğu dizin. Oluşturulan tables dizinine ait görsel Şekil 4.11'de sunulmuştur.

```

lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 33 Mar 10 02:01 antmod.dat -> /home/tusaga/gg/tables/antmod.dat
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 31 Mar 10 02:01 atl.grid -> /home/tusaga/gg/tables/atl.grid
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 31 Mar 10 02:01 atl.list -> /home/tusaga/gg/tables/atl.list
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 37 Mar 10 02:01 atml.list -> /home/tusaga/gg/tables/atml.list.2024
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 33 Mar 10 02:01 autcln.cmd -> /home/tusaga/gg/tables/autcln.cmd
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 289 Mar 10 02:01 check_station.info
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 50 Mar 10 02:01 core
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 30 Mar 10 02:01 dcb.dat -> /home/tusaga/gg/tables/dcb.dat
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 32 Mar 10 02:01 eq_rename -> /home/tusaga/gg/tables/eq_rename
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 2355264 Mar 10 02:01 finals.data
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 33 Mar 10 02:01 gdetec.dat -> /home/tusaga/gg/tables/gdetec.dat
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 31 Mar 10 02:01 gpt.grid -> /home/tusaga/gg/tables/gpt.grid
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 39 Mar 10 02:01 guess_rcvant.dat -> /home/tusaga/gg/tables/guess_rcvant.dat
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 29 Mar 10 02:01 hi.dat -> /home/tusaga/gg/tables/hi.dat
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 282896 Mar 10 02:01 igb20.apr
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 72362 Mar 10 02:01 igb20.eq
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 31 Mar 10 02:01 leap.sec -> /home/tusaga/gg/tables/leap.sec
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 62639 Mar 10 02:01 lfile.
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 0 Mar 10 02:01 lfile.merged
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 56356 Mar 10 02:01 lfile.old
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 56450 Mar 10 02:01 lfile.orig
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 60465 Mar 10 02:01 lfile.tnhn
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 40 Mar 10 02:01 luntab. -> /home/tusaga/gg/tables/luntab.2024.J2000
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 30 Mar 10 02:01 map.grid -> /progs/GRIDS/vmf1/vmf1grd.2024
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 36 Mar 10 02:01 map.list -> /home/tusaga/gg/tables/map.list.2024
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 36 Mar 10 02:01 met.list -> /home/tusaga/gg/tables/met.list.2024
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 28 Mar 10 02:01 nbody -> /home/tusaga/gg/tables/nbody
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 34 Mar 10 02:01 nutabl. -> /home/tusaga/gg/tables/nutabl.2024
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 38529 Mar 10 02:01 otlcmc.dat
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 29 Mar 10 02:01 otl_FES2004.grid -> /progs/GRIDS/otl_FES2004.grid
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 29 Mar 10 02:01 otl.grid -> /progs/GRIDS/otl_FES2004.grid
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 31 Mar 10 02:01 otl.list -> /home/tusaga/gg/tables/otl.list
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 44 Mar 10 02:01 pmu.bull_b
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 1029657 Mar 10 02:01 pmu.usno
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 1028977 Mar 10 02:01 pmu.usno.no_prediction
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 1035267 Mar 10 02:01 pmu.usno.pe0.01
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 11 Mar 10 02:01 pole. -> ./pole.usno
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 154 Mar 10 02:01 pole.bull_b
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 216190 Mar 10 02:01 pole.usno
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 3804 Mar 10 02:01 process.defaults
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 33 Mar 10 02:01 rcvant.dat -> /home/tusaga/gg/tables/rcvant.dat
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 10743 Mar 10 02:01 sestbl.
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 10744 Mar 10 02:01 sestbl.orj
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 10743 Mar 10 02:01 sestbl.repro
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 18030 Mar 10 02:01 sil
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 196 Mar 10 02:01 sites
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 2956 Mar 10 02:01 sites.defaults
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 1927 Mar 10 02:01 sittbl.
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 40 Mar 10 02:01 soltab. -> /home/tusaga/gg/tables/soltab.2024.J2000
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 402802 Mar 10 02:01 station.info
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 400747 Mar 10 02:01 station.info~
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 272333 Mar 10 02:01 station.info_12102020
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 271065 Mar 10 02:01 station.info.orj
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 272537 Mar 10 02:01 station.info_tus1
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 32 Mar 10 02:01 svnav.dat -> /home/tusaga/gg/tables/svnav.dat
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 38 Mar 10 02:01 svns_exclude.dat -> /home/tusaga/gg/tables/svns_exclude.dat
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 8479 Mar 10 02:01 svt
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 2204 Mar 10 02:01 temp1.txt
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 2204 Mar 10 02:01 temp1.txt
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 32 Mar 10 02:01 tform.dat -> /home/tusaga/gg/tables/tform.dat
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 1665 Mar 10 02:01 upd_lfile
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 2498 Mar 10 02:01 upd_stinfo2
lrwxrwxrwx 1 tusaga tusaga 10 Mar 10 02:01 ut1. -> ./ut1.usno
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 154 Mar 10 02:01 ut1.bull_b
-rw-rw-r-- 1 tusaga tusaga 153600 Mar 10 02:01 ut1.usno

```

Şekil 4. 11. tables Dosyası

Orbit: Eğer analiz için yeterli bekleme süresi varsa, en doğru sonuçları elde etmek için final yörüngeleri tercih edilmelidir. Kullanılabilecek bazı seçenekler

şunlardır: igsf, igsr, igsu, codf, code, codm, emrf, esaf, gfzf, gfzm, grgm, jaxm, jplf, mitf, ngsf, siof, sior, siou, tumm, wuhm. Ancak, eğer IGS ürünleri tercih ediyorsanız, şu seçenekler mevcuttur:

- IGSF (Final): Yaklaşık olarak 2 hafta içinde yayınlanır ve 2.5 cm doğruluk sağlar.
- IGSR (Rapid): 1-2 gün içinde yayınlanır ve yaklaşık 2.5 cm doğruluk sunar.
- IGSU (Ultra Rapid): Her 6 saatte bir güncellenir ve yaklaşık 3.0 cm doğruluk sağlar; ancak, her an için yaklaşık 5.0 cm doğrulukla indirilebilir.

4.1.3.1. Günlük GAMIT çözümünün kalite kontrolü

Summary dosyasını görüntülemek için `vi sh_gamit_2024_2370.summary` komutu ile dengeleme sonunda her bir gün dizininde üretilen özet dosyaları incelenebilmektedir. Özet dosyasının içeriği Şekil 4.12’de sunulmuştur.

```
Input options -d 2024 238 -xpt anka -orbit igsf -eops usno -yext -h -lon -update_l N
Processing 2024 238 GPS week 2329 0 Using node: jeoserver3 Started at: 25_02_27_11:36:38
Processing directory: /mnt/sdd1/Ayhan/ankara/2024_238
Disk Usage: 2.4454e+06 Free 1.11826e+06 Mbyte. Used 69%
Number of stations used 23 Total xfiles 23
Sites excluded by xsite command
Postfit RMS rms, total and by satellite
RMS IT Site All 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32
RMS 18 ALL 10.0 63 91 94 94 105 115 98 102 98 86 120 82 88 95 108 109 121 78 114 116 91 85 91 81 79 111 92 111 82 97 114 101
Best and Worst two sites:
RMS 18 POL2 6.3 5 6 10 6 5 7 6 6 6 6 6 5 7 5 7 8 5 6 6 7 8 4 5 6 6 8 6 7 6 5 7 6
RMS 18 POLV 6.6 0 8 7 6 7 7 7 6 7 7 9 4 5 4 7 6 8 5 8 7 6 6 6 6 7 8 7 9 6 5 7 7
RMS 18 CANK 12.3 0 15 11 13 12 15 13 10 13 13 15 9 8 11 12 16 13 8 14 12 11 10 12 9 8 19 9 12 9 12 13 13
RMS 18 NICO 12.7 0 13 13 13 12 16 12 12 14 9 14 7 8 10 14 14 18 7 14 18 13 11 12 9 8 16 9 15 7 13 16 11
Double difference statistics
Prefit rms: 0.96225E+00 Postfit rms: 0.17803E+00
Prefit rms: 0.96168E+00 Postfit rms: 0.18330E+00
Prefit rms: 0.96225E+00 Postfit rms: 0.17792E+00
Prefit rms: 0.96168E+00 Postfit rms: 0.18315E+00
Number of double differences: 398131
Phase ambiguities (Total ML-fixed NL-fixed): 617 503 470 AUTCLN (Total Expected) 617 617
Phase ambiguities ML fixed 81.5% NL fixed 76.2%
```

Şekil 4. 12. Sh_Gamit_2024_238_Summary Dosyası.

Number of stations used satırı, çözüme dahil edilen istasyon sayısını göstermektedir. “Number of stations used: 23 Total xfiles: 23” ifadesi ise, toplam 23 istasyonun çözümde kullanıldığını ve hiçbir istasyonun çıkarılmadığını belirtir.

Genel olarak, noktaların Postfit RMS değerlerinin 3 ila 10 mm aralığında olması beklenir. Ancak kullanılan alıcı tipine bağlı olarak, en iyi performans gösteren istasyonlarda bu değer 5-8 mm civarında olurken, en düşük performanslı istasyonlarda 13-20 mm aralığına çıkabilir. Tüm istasyonlara ait RMS değerlerini görmek için komut satırında “`grep RMS autcln.post.sum`” komutu kullanılabilir. RMS değeri 0 olan istasyonlar, ya hiç veri kullanılmadığı ya da tüm verilerin silindiği anlamına gelir. Bu durum, istasyonun veri miktarının çok az olmasından veya lfile. dosyasında yer alan yaklaşık koordinat bilgilerinin hatalı olmasından kaynaklanabilir.

GAMIT-GLOBK geliştiricilerine göre, Postfit nrms değerlerinin yaklaşık olarak 0.2 seviyesinde olması ve dört çözümün de birbirine oldukça yakın sonuçlar vermesi beklenmektedir. Yaptığımız analizlerde bu değerler genellikle 0.17 ile 0.18 aralığında gerçekleşmiştir. Aşağıda, uygulamamızın double difference istatistiklerine ait prefit ve postfit değerler yer almaktadır.

- Prefit nrms: 0.84629E+00 Postfit nrms: 0.17803E+00
- Prefit nrms: 0.84412E+00 Postfit nrms: 0.18330E+00
- Prefit nrms: 0.84629E+00 Postfit nrms: 0.17792E+00
- Prefit nrms: 0.84412E+00 Postfit nrms: 0.18315E+00

Çalışmaya ait faz belirsizliği ya da faz başlangıcı belirsizliği (Phase Ambiguity) çözümleri WL (Wide Lane) için %81.5' ve NL (Narrow Lane) için ise % 76.2 olarak hesaplanmıştır.

Qfile dosyası incelenirken, her uydu için “Number of double differences for each satellite” satırı gözden geçirilmelidir. Eğer bir istasyon için tüm uydularda bu değer 0 ise, o istasyona ait veri ayrıca incelenmelidir. Bu durum genellikle, söz konusu istasyonun lfile. dosyasındaki yaklaşık koordinat bilgilerinin yeterince doğru olmaması ya da istasyona ait verilerin bozuk olmasından kaynaklanır.

4.1.4. Günlük GLRED çözüm dosyalarının oluşturulması:

sh_gamit komutu kullanılarak elde edilen günlük çözüm dosyaları (h-file) gevşek kısıtlarla (istasyonların koordinatlarına çok düşük ağırlıklarla bağlanması) üretilmiş çözümleri içermektedir. Bu aşamada, henüz kesin bir datum tanımlaması yapılmamıştır. Datum dönüşümünün sağlıklı şekilde yapılabilmesi için günlük çözümlerin oluşturulmasının ardından, analizde kullanılan IGS istasyonlarının ya da seçilen referans noktalarının koordinat ve hız bilgileri temel alınarak Helmert dönüşümü uygulanır. Bu dönüşüm; yalnızca 3 öteleme parametresiyle, 6 parametrelilik (3 öteleme + 3 dönüklük) ya da 7 parametrelilik (3 öteleme + 3 dönüklük + 1 ölçek) olacak şekilde gerçekleştirilebilir ve hedeflenen referans sistemine (örneğin ITRF14) dönüşüm sağlanır. Bu süreç, Referans Sistemi Tanımlaması (stabilization) olarak adlandırılır.

“sh_glred -d 2024 237 2024 242 -expt anka -opt H G T -yrex -globk_cmd globk.cmd -glorg_cmd glorg.cmd” komutu içerisindeki “H” argümanı, **htoglb** adlı programı çalıştırır. Bu program, gevşek kısıtlarla oluşturulmuş ve ASCII formatında

olan GAMIT çözüm dosyalarını binary formatına (*.glx) dönüştürerek glbf klasörüne kaydeder.

Yukarıda verilen “G” argümanı ile “glred” programı çalıştırılır ve gsoln/ dizininde .org uzantılı çözüm dosyaları oluşturulur.

Yukarıda belirtilen “T” argümanı, sh_plot_pos programını çalıştırarak zaman serilerinin “.pos” uzantılı dosyalar halinde oluşturulmasını sağlar. Alternatif olarak “E” argümanı tercih edilirse, “mb_” formatında zaman serileri üretilebilir. Bu yöntemde, her nokta için üç ayrı zaman serisi dosyası meydana gelir: .dat1 kuzey bileşeni, .dat2 doğu bileşeni ve .dat3 yükseklik bileşenini içerir.

Günlük .org uzantılı dosyalar (örneğin: globk_konya_22085.org) oluşturulmadan önce, gsoln dizininde şu dosyaların eksiksiz ve düzenlenmiş şekilde bulunması gerekir: globk.cmd, glorg.cmd, igb14_comb.eq, igb14_comb.apr ve stab_site. igb14_comb.eq dosyası, yazılımın kurulu olduğu dizinde (örneğin: /progs/srelease_10.71/tables) yer alır ve igb14_comb.apr dosyasıyla birlikte kullanılır. Bu dosyada, deprem etkileri ya da anten/alıcı değişiklikleri nedeniyle koordinatlarında sapma gözlemlenen IGS istasyonlarının isim değişiklikleri tanımlanmıştır.

stab_site dosyası ise referans sisteminin tanımlanmasında kullanılacak istasyon listesini içerir. Bu liste kullanıcı tarafından güncellenebilir; analizde kullanılan IGS istasyonları ya da koordinatları hassas olarak bilinen diğer sabit noktalar eklenebilir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli konu, sh_gamit aşamasında hangi IGS istasyonlarının seçilip analize dahil edildiğidir. Eğer işlem süresi açısından bir kısıtlama yoksa, daha güvenilir sonuçlar elde edebilmek adına 11 ila 12 IGS istasyonunun analizde yer alması tavsiye edilir. Ayrıca, bu dosyanın glorg.cmd içerisinde “source ./stab_site” satırı ile tanımlandığından emin olunmalıdır.

Referans sisteminin kaç istasyonla tanımlanacağı, genel olarak analiz süresiyle doğru orantılıdır. Her eklenen istasyon, özellikle sh_gamit adımındaki işlem süresini artırır. Ancak elinizdeki istasyon sayısına bağlı olarak, yaklaşık 8 ila 10 adet IGS veya koordinatları net olarak bilinen başka sabit nokta bu işlem için yeterli olabilir.

GAMIT-GLOBK ile noktalarımıza ait ITRF 2014 datumunda ve güncel epokta (Örn: 2024.64) koordinatlar hesaplanmıştır. Hesaplanan koordinatlara ait program çıktısı Şekil 4.13’te sunulmuştur.

```

jeoserver3:/mnt/sdd1/Ayhan/ankara/gsoln> grep "Unc. CBUK" *.org
glokk_anka_24237.org:Unc. CBUK_GPS 4084725.24167 2662893.99778 4099721.15571 0.00000 0.00000 0.00000 2024.646 0.0074 0.0059 0.0072
glokk_comb_24237.org:Unc. CBUK_GPS 4084725.24199 2662893.99763 4099721.15579 0.00000 0.00000 0.00000 2024.646 0.0066 0.0053 0.0063
glokk_glon_24237.org:Unc. CBUK_GPS 4084725.25794 2662893.97118 4099721.16031 0.00000 0.00000 0.00000 2024.646 0.0228 0.0232 0.0153
jeoserver3:/mnt/sdd1/Ayhan/ankara/gsoln> grep "Unc. PAZR" *.org
glokk_anka_24237.org:Unc. PAZR_GPS 4095973.07924 2635265.85655 4106071.64163 0.00000 0.00000 0.00000 2024.646 0.0395 0.0440 0.0287
glokk_comb_24237.org:Unc. PAZR_GPS 4095973.01738 2635265.77340 4106071.60898 0.00000 0.00000 0.00000 2024.646 0.0215 0.0167 0.0182
glokk_glon_24237.org:Unc. PAZR_GPS 4095972.99450 2635265.77889 4106071.61203 0.00000 0.00000 0.00000 2024.646 0.0380 0.0314 0.0302
jeoserver3:/mnt/sdd1/Ayhan/ankara/gsoln> grep "Unc. KUCU" *.org
glokk_anka_24238.org:Unc. KUCU_GPS 4159286.51152 2627499.93411 4047393.02389 0.00000 0.00000 0.00000 2024.649 0.0070 0.0054 0.0072
glokk_comb_24238.org:Unc. KUCU_GPS 4159286.51179 2627499.93386 4047393.02116 0.00000 0.00000 0.00000 2024.649 0.0065 0.0051 0.0064
glokk_glon_24238.org:Unc. KUCU_GPS 4159286.50947 2627499.92979 4047393.01378 0.00000 0.00000 0.00000 2024.649 0.0218 0.0241 0.0186
jeoserver3:/mnt/sdd1/Ayhan/ankara/gsoln> grep "Unc. HAYM" *.org
glokk_anka_24238.org:Unc. HAYM_GPS 4160552.22548 2652392.53312 4030243.16036 0.00000 0.00000 0.00000 2024.649 0.0158 0.0111 0.0135
glokk_comb_24238.org:Unc. HAYM_GPS 4160552.22636 2652392.53349 4030243.16362 0.00000 0.00000 0.00000 2024.649 0.0130 0.0091 0.0111
glokk_glon_24238.org:Unc. HAYM_GPS 4160552.21257 2652392.53507 4030243.17181 0.00000 0.00000 0.00000 2024.649 0.0273 0.0182 0.0195
jeoserver3:/mnt/sdd1/Ayhan/ankara/gsoln> grep "Unc. AYS2" *.org
glokk_anka_24239.org:Unc. AYS2_GPS 4132516.36296 2618258.71500 4080417.25129 0.00000 0.00000 0.00000 2024.652 0.0088 0.0062 0.0091
glokk_comb_24239.org:Unc. AYS2_GPS 4132516.36051 2618258.71309 4080417.24815 0.00000 0.00000 0.00000 2024.652 0.0082 0.0059 0.0086
glokk_glon_24239.org:Unc. AYS2_GPS 4132516.37477 2618258.69444 4080417.25717 0.00000 0.00000 0.00000 2024.652 0.0237 0.0497 0.0272
jeoserver3:/mnt/sdd1/Ayhan/ankara/gsoln> grep "Unc. AYA2" *.org
glokk_anka_24239.org:Unc. AYA2_GPS 4133168.06369 2664851.52482 4049662.20518 0.00000 0.00000 0.00000 2024.652 0.0093 0.0066 0.0087
glokk_comb_24239.org:Unc. AYA2_GPS 4133168.05442 2664851.51975 4049662.19802 0.00000 0.00000 0.00000 2024.652 0.0078 0.0051 0.0077
glokk_glon_24239.org:Unc. AYA2_GPS 4133168.04117 2664851.51176 4049662.18580 0.00000 0.00000 0.00000 2024.652 0.0162 0.0098 0.0162
jeoserver3:/mnt/sdd1/Ayhan/ankara/gsoln> grep "Unc. MESE" *.org
glokk_anka_24240.org:Unc. MESE_GPS 4131620.94910 2639968.65027 4067659.97653 0.00000 0.00000 0.00000 2024.654 0.0456 0.0299 0.0444
glokk_comb_24240.org:Unc. MESE_GPS 4131620.95231 2639968.65291 4067659.97551 0.00000 0.00000 0.00000 2024.654 0.0314 0.0204 0.0278
glokk_glon_24240.org:Unc. MESE_GPS 4131620.94380 2639968.70481 4067659.95213 0.00000 0.00000 0.00000 2024.654 0.0542 0.0594 0.0534
jeoserver3:/mnt/sdd1/Ayhan/ankara/gsoln> grep "Unc. CAML" *.org
glokk_anka_24241.org:Unc. CAML_GPS 4100240.04022 2604412.23611 4121559.79642 0.00000 0.00000 0.00000 2024.657 0.0208 0.0206 0.0236
glokk_comb_24241.org:Unc. CAML_GPS 4100240.04790 2604412.21944 4121559.80474 0.00000 0.00000 0.00000 2024.657 0.0157 0.0113 0.0138
glokk_glon_24241.org:Unc. CAML_GPS 4100240.09172 2604412.22481 4121559.83686 0.00000 0.00000 0.00000 2024.657 0.0256 0.0148 0.0203
jeoserver3:/mnt/sdd1/Ayhan/ankara/gsoln> grep "Unc. NALL" *.org
glokk_anka_24241.org:Unc. NALL_GPS 4164903.79832 2548239.33552 4090996.45923 0.00000 0.00000 0.00000 2024.657 0.0247 0.0159 0.0219
glokk_comb_24241.org:Unc. NALL_GPS 4164903.82008 2548239.34922 4090996.47345 0.00000 0.00000 0.00000 2024.657 0.0142 0.0095 0.0121
glokk_glon_24241.org:Unc. NALL_GPS 4164903.83301 2548239.35045 4090996.47913 0.00000 0.00000 0.00000 2024.657 0.0246 0.0240 0.0159
jeoserver3:/mnt/sdd1/Ayhan/ankara/gsoln> grep "Unc. BAL2" *.org
glokk_anka_24242.org:Unc. BAL2_GPS 4126097.71268 2697146.35229 4035884.46181 0.00000 0.00000 0.00000 2024.660 0.0135 0.0099 0.0113
glokk_comb_24242.org:Unc. BAL2_GPS 4126097.70790 2697146.34902 4035884.45573 0.00000 0.00000 0.00000 2024.660 0.0120 0.0086 0.0100
glokk_glon_24242.org:Unc. BAL2_GPS 4126097.72162 2697146.34810 4035884.45687 0.00000 0.00000 0.00000 2024.660 0.0283 0.0176 0.0212

```

Şekil 4. 13. GAMIT-Glokk ile üretilen GPS, GLONASS ve GPS+GLONASS Güncel Epok Koordinatları

Nihai koordinatlar burada; GLONASS, Combined ve GPS çözümleri olarak görülmektedir. Tez kapsamında GPS+GLONASS çözümü kullanılmıştır.

GAMIT-GLOBK yazılımı tarafından hesaplanan ITRF 2014 datumundaki ve güncel epoktaki noktalar EUREF'in sitesinde önce ITRF 96 datumu ve güncel epoğa daha sonra ise ITRF 96 datumu ve 2005.00 epoğuna yani TUREF sistemine dönüştürülmüştür (URL-20). Dönüşüm aşamasında Harita Genel Müdürlüğünden temin edilen TUTGA noktalarına ait hızlar kullanılmıştır. EUREF sitesinde uygulanan işlem adımları aşağıda sunulmuştur (Şekiller 4. 14-16).

Home / Products & Services / Services / ETRF/ITRF Coordinate Transformation Tool (ECTT)

ETRF/ITRF Coordinate Transformation Tool (ECTT)

On-line coordinate transformation between coordinates (position and velocity) expressed in any ETRFxx realisations of the [European Terrestrial Reference System \(ETRS89\)](#) and any ITRFyy realizations of the [International Terrestrial Reference System \(ITRS\)](#).
In case output coordinates are requested at a different epoch than the provided input coordinates, it is mandatory to also input station velocities.

For transformations to and from the Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF), use ITRF. GTRF is aligned to current versions of the ITRF.

Explanation and examples are available from the following [tutorial](#). However, note that with the introduction of the most recent transformation tool (August 2022), this tutorial has become slightly outdated.
If you use the ECTT tool, please cite [doi:10.24414/ROB-EUREF-ECTT](#).

Change epoch format:

INPUT

Frame:

Epoch:

AYA2	4133168.063690	2664851.524820	4049662.205180
AYS2	4132516.362960	2618258.715000	4080417.251290
CAML	4100240.040220	2604412.236110	4121559.796420
MESE	4131620.949100	2639968.650270	4067659.976530
NALL	4164903.798320	2548239.335520	4090996.459230

TRANSFORM TO

Frame:

Epoch:

Şekil 4. 14. ITRF 2014 datumu 2024.65 Epoktan ITRF 96 Datumu 2024.65 Epoğuna Dönüşüm

Change epoch format: Decimal Year: YYYY.DD

INPUT

Frame: ITRF2011 Epoch: 2024 65

AY2 4133168.063690 2664851.524820 4049662.205180
 AY52 4132516.362960 2618258.715000 4080417.251290
 CAML 4100240.040220 2604412.236110 4121559.796420
 MESE 4131620.949100 2639968.650270 4067659.976530
 NALL 4164903.798320 2548239.335520 4090996.459230

TRANSFORM TO

Frame: ITRF96 Epoch: 2024 65

Transform

RESULTS

#_Station	Frame	Epoch	X[m]	Y[m]	Z[m]	VX[m/yr]	VY[m/yr]	VZ[m/yr]
AY2	ITRF96	2024.65	4133168.0884	2664851.5429	4049662.1165			
AY52	ITRF96	2024.65	4132516.3878	2618258.7328	4080417.1628			
CAML	ITRF96	2024.65	4100240.0649	2604412.2538	4121559.7882			
MESE	ITRF96	2024.65	4131620.9739	2639968.6682	4067659.8880			
NALL	ITRF96	2024.65	4164903.8235	2548239.3530	4090996.3708			

☐ show intermediate steps

Şekil 4. 15. ITRF 96 Datumu 2024.65 Epoku Sonuç Koordinatları

Change epoch format: Decimal Year: YYYY.DD

INPUT

Frame: ITRF96 Epoch: 2024 65

AY2 4133168.0884 2664851.5429 4049662.1165 -0.00848 -0.00119 0.00638
 AY52 4132516.3878 2618258.7328 4080417.1628 -0.00576 -0.00094 0.00614
 CAML 4100240.0649 2604412.2538 4121559.7882 -0.00788 -0.00014 0.00506
 MESE 4131620.9739 2639968.6682 4067659.8880 -0.00638 -0.00088 0.00644
 NALL 4164903.8235 2548239.3530 4090996.3708 -0.00581 -0.00072 0.00689

TRANSFORM TO

Frame: ITRF96 Epoch: 2005 00

Transform

RESULTS

#_Station	Frame	Epoch	X[m]	Y[m]	Z[m]	VX[m/yr]	VY[m/yr]	VZ[m/yr]
AY2	ITRF96	2005.00	4133168.2550	2664851.5663	4049661.9911	-0.0085	-0.0012	0.0064
AY52	ITRF96	2005.00	4132516.5010	2618258.7513	4080417.0421	-0.0058	-0.0009	0.0061
CAML	ITRF96	2005.00	4100240.2197	2604412.2566	4121559.6088	-0.0079	-0.0001	0.0051
MESE	ITRF96	2005.00	4131621.0993	2639968.6855	4067659.7615	-0.0064	-0.0009	0.0064
NALL	ITRF96	2005.00	4164903.9377	2548239.3671	4090996.2354	-0.0058	-0.0007	0.0069

☐ show intermediate steps

Şekil 4. 16. ITRF 96 Datumu 2005.00 Epoku Koordinatları

Arazide 3'er saatlik ölçü yapmak sureti ile gözlenen veriler (TUTGA Noktaları) GAMIT-GLOBK yazılımı ile prosess edilmiş ve EUREF'in sitesinde TUREF koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Sonuç olarak Harita Genel Müdürlüğünden temin edilen TUTGA noktası ile GAMIT-GLOBK ile process ettiğimiz koordinatlar karşılaştırılarak koordinat farkları ve karesel ortalama hatalar hesaplanmıştır (Çizelge 4.1-Çizelge 4.2).

Çizelge 4.1. Hesaplanan Kartezyen Koordinatların HGM Koordinatlarından Olan Farkları

HGM KOORDİNATLARINDAN OLAN FARKLAR (cm)			
STATİK			
NOKTA ADI	X	Y	Z
AYA2	-1.8	-1.5	-1.9
AYS2	1.4	2.7	0.6
BAL2	2.6	4.2	4.7
CAML	-0.1	3.2	0.3
CBUK	-1.0	-1.0	-0.2
HAYM	-4.2	-1.6	-5.0
KUCU	-2.7	1.4	-1.5
MESE	-3.8	-1.9	-3.7
NALL	-2.7	1.2	0.1
PAZR	-0.7	-2.2	-3.3
EN KÜÇÜK FARK	-0.1	-1.0	0.1
EN BÜYÜK FARK	-4.2	4.2	-5.0
KOH	2.5	2.3	2.8

Çizelge 4.2. Hesaplanan Sağa, Yukarı, Yükseklik Koordinatların HGM Koordinatlarından Olan Farkları ile Hesaplanan 2D ve 3D Doğruluklar

HGM KOORDİNATINDAN OLAN FARKLAR (cm)			
STATİK			
NOKTA ADI	SAĞA	YUKARI	YÜKSEKLİK
AYA2	-0.3	0.1	-3.0
AYS2	1.5	-1.3	2.4
BAL2	2.1	0.8	6.4
CAML	2.8	-0.9	1.4
CBUK	-0.2	0.8	-1.2
HAYM	0.9	-1.0	-6.6
KUCU	2.7	-0.2	-2.1
MESE	0.4	-0.1	-5.6
NALL	2.4	1.1	-1.3
PAZR	-1.4	-1.3	-3.5
EN KÜÇÜK FARK	-0.2	0.1	1.2
EN BÜYÜK FARK	2.8	-1.3	6.6
KOH	1.7	0.9	3.7
2D	2.0		
3D	4.2		

4.2. Bernese Yazılımı kullanılarak Gözlem verilerinin PPP yöntemi ile Çözümü

Bernese GNSS yazılımı, İsviçre'nin Bern Üniversitesi Astronomi Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir. Yazılıma ait resmi web sitesine <http://www.bernese.unibe.ch/adresinden> ulaşılabilir. Sitede, başta kullanım kılavuzu ve düzenlenen kurslara ait ders notları olmak üzere birçok ayrıntılı bilgi bulunmaktadır (URL-21-22). Tez kapsamında HGM'nin hazırlamış olduğu BERNESE kullanımı özet dokümanından da faydalanılmıştır (URL-19).

GNSS istasyon verilerini kullanarak yapılan günlük ve sürekli analizler, ya da uzun süreli veri değerlendirmeleri gerektiren projelerde, otomatik işlem modülü (Bernese Processing Engine - BPE) büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu işlem için, analiz yapılacak alt programların sıralı bir şekilde tanımlandığı İşlem Kontrol Dosyası (Process Control File - PCF) kullanılır. PCF dosyası, ASCII formatında olup, bir metin editörüyle manuel olarak yazılabileceği gibi, yazılımın Menu/BPE /Edit process control file (PCF) menüsü aracılığıyla da düzenlenebilir.

Yazılımla birlikte gelen ve GPSUSER52/PCF/ dizininde bulunan bazı önemli dosyalar şunlardır:

RNX2SNX.PCF: Ağ çözümleri için kullanılır.

PPP_BAS.PCF ve PPP_DEMO.PCF: Hassas Konum Belirleme (Precise Point Positioning - PPP) işlemleri için kullanılabilir veya gerektiğinde yeniden düzenlenerek yeni bir .PCF dosyası oluşturulabilir.

Tez çalışmasında yapılan PPP analizi için Bernese yazılımının 5.2 sürümünde bulunan PPP_BAS.PCF kontrol dosyası temel alınarak düzenlemeler yapılmış ve bu dosyada yer alan alt programlar sırasıyla çalıştırılmıştır.

Bernese yazılımında kullanılan girdi dosyalarının orijinal halleri, BERN52\GPS\PAN dizininde bulunur (örneğin, GPEST.INP, SATMRK.INP gibi dosyalar). Bu dosyalar, yazılımın kurulumu sırasında otomatik olarak GPSUSER52\PAN alt klasörüne kopyalanır. Analiz süreci boyunca panellerde yapılacak parametre, strateji veya model değişiklikleri, bu alt dizindeki dosyalara kaydedilir; orijinal dosyalar ise değişmeden kalır. Panellerdeki değişiklikler ise GPSUSER52\OPT dizininde saklanır.

BPE (Bernese Processing Engine) ile işlem yapıldığında, girdi dosyalarının orijinalleri BERN52\GPS\OPT dizininde bulunurken, üzerinde yapılan değişikliklerle birlikte kaydedilen dosyalar GPSUSER52\OPT dizinine yerleştirilir.

Yazılımda ister bağıl ağ çözümü isterse PPP analizi yapılacak olsun, değerlendirmeye başlamadan önce bir kampanya oluşturulur. Oluşturulan kampanyaların isimleri $\{X\}$ \GPS\PAN\MENU_CMP.INP dosyasında tutulur. Bir kampanyada analiz yapılırken, kullanılan alt programlar ve dosyalar $\{X\}$ \GPS\GEN dizininde depolanır. Burada X, yazılımın kurulumunda seçilen ana dizini ifade eder. Analizle ilgili genel dizinler Çizelge 4.3'te sunulmuştur.

Çizelge 4.3 Analiz ile İlgili Genel Dizinler

$\{P\}$: CAMPAIGN52	Bu dizin altında tüm kampanya ve analizler yapılır.
$\{D\}$: DATAPOOL	Harici veriler ve dosyalar, indirildikten sonra burada depolanabilir. Bu dizin, birden fazla kampanya veya analiz tarafından kullanılabilir, böylece aynı dosyaların her seferinde internetten yeniden indirilmesine gerek kalmaz.
$\{S\}$: SAVEDISK	Analizlerin sonuçları ve arşivlenmesi gereken proje dosyaları, yıllık olarak bu dizinde saklanabilir.

Kampanyaya ilişkin otomatik oluşturulan dizinler Çizelge 4.4'de sunulmuştur.

Çizelge 4.4. Kampanyaya İlişkin Otomatik Oluşturulan Dizinler

$\{P\}$ \ANALİZ\ATM	Atmosferik dosyalar (ION, TRP)
$\{P\}$ \ANALİZ\BPE	BPE çıktıları için kullanılan klasör
$\{P\}$ \ANALİZ\GRD	Troposferik dosyalar (VMF1 vb. grid yapıda)
$\{P\}$ \ANALİZ\OBS	Bernese formatına dönüştürülmüş gözlem dosyaları
$\{P\}$ \ANALİZ\ORB	Yörünge dosyaları (PRE), DCB, ERP, IEP
$\{P\}$ \ANALİZ\ORX	Analize dahil edilen orijinal RINEX gözlem dosyaları
$\{P\}$ \ANALİZ\OUT	Yapılan tüm işlemlerin sonuçları, kullanılan seçenekler ve giriş dosyalarıyla birlikte çıktı (OUT) ve saat (CLK) dosyaları
$\{P\}$ \ANALİZ\RAW	Analiz için kullanılan RINEX gözlem dosyaları
$\{P\}$ \ANALİZ\SOL	Çözüm dosyaları (SNX, NQ0)
$\{P\}$ \ANALİZ\STA	İstasyonlara ait bilgi, koordinat ve hız dosyaları (STA, VEL, CRD, BLQ, ABB, , FIX PSD,)

PPP analizinde kullanılan alt programların görevleri, Çizelge 4.5'te ayrıntılı olarak listelenmiştir.

Çizelge 4.5. PPP Analizinde Kullanılan Alt Programların İşlevleri.

Program	Açıklama
POLUPD	IERS kutup hareketi (yer dönme) verilerinin Bernese formatına dönüştürülmesini sağlar.
PRETAB	Uydu yörüngelerinin çizelge (tablo) biçiminde yüksek hassasiyetle üretilmesi için kullanılır.
ORBGEN	Standart uydu yörüngesi üretimi gerçekleştirir.
RNXCLK	Saat dosyalarından uyduya ait zaman bilgilerini alır.
RNXSMT	Rinex formatındaki verileri filtreleyerek hatalardan arındırır ve düzenler.
RXOBV3	Rinex dosyalarının Bernese yazılımına uygun formata dönüştürür.
CODSPP	Alıcının saat düzeltmeleri hesaplanarak sıfır fark çözüm dosyalarına kaydedilir.
GPSEST	Post-fit kalıntılar (residuals) analiz edilerek büyük hataların tespiti yapılır.
RESRMS	Düzeltilme bilgilerini içeren .EDT uzantılı dosyayı oluşturur.
SATMRK	Ölçüm dosyalarında (.PSH, .PSO) tespit edilen ciddi hataları işaretler.
GPSEST	PPP analizinde parametrelerin çözülmesini ve normal denklem sisteminin oluşturulmasını sağlar.
ADDNEQ2	PPP analizine ait sonuçları dosya olarak kaydeder.
PPP_SUM	Yapılan analizlere ilişkin özet raporu oluşturur.

4.2.1. Proje Açılması (Kampanya Yaratılması)

Bir kampanya oluşturmak için, Menu/Campaign/Edit list of campaigns bölümüne girilir ve burada istenilen isim girilerek yeni bir kampanya tanımlanır. Eğer kullanıcı özel bir dizin belirtmemişse, kampanya varsayılan olarak yazılımın kurulumunda belirlenen $\{P\}$ klasörü altında (Örneğin D:\GPSDATA\CAMPAIGN52) oluşturulur. Kampanyayı listeye eklerken, ismin başında mutlaka $\{P\}$ ifadesi yer almalıdır. Örneğin, “KONYA” adında bir kampanya $\{P\}$ /KONYA biçiminde tanımlanmalıdır. Daha sonra alt kısımda bulunan save düğmesine tıklanarak işlem tamamlanır.

Tanımlanan kampanyayı aktif hale getirmek için Menu/Campaign/Select active campaign seçeneği kullanılır. Ayrıca, Menu/Campaign /Create new campaign panelinden run tuşuna basıldığında kampanyaya ait gerekli alt klasörler otomatik olarak oluşturulur. Bu işlem sonucunda; ATM, BPE, GRD, OBS, ORB, ORX, OUT, RAW, SOL ve STA klasörleri program tarafından hazırlanır. Ardından analiz yapılacak tarih belirlenmelidir. Bunun için: Menu/Configure/Set session/compute date adımları izlenir ve ölçümün yapılacağı yıl ile yılın ilgili günü seçilir.

4.2.2. Analiz için Gerekli Dosyaların Temini ve Konacağı Dizinler

RINEX Gözlem Dosyaları: Tüm RINEX formatındaki gözlem verileri (örneğin CAML2410.240) analiz öncesinde RAW klasörüne yerleştirilmelidir. Yazılım bu dosyaları “CAML2410” formatında, yani yılın günü ile birlikte “0” numaralı oturum olarak tanır. Eğer dosya isimlerinde oturum numarası yerine saatlik gözlemlerde olduğu gibi harf (a–z) kullanılmışsa, bu karakter “0” olarak değiştirilmelidir.

İstasyon Bilgi Dosyası: Bu dosya, var olan örnek dosyalara bakılarak hazırlanır ve STA klasörüne yerleştirilir. Örnek olarak, <http://ftp.aiub.unibe.ch/BSWUSER52/STA/> adresinden IGS.STA veya CODE.STA dosyaları indirilebilir; ardından yerel istasyonlar bu dosyalara eklenerek, farklı bir isimle kaydedilebilir. Gerekirse bu dosya, Menu /Campaign/Edit station files/Station information file seçeneği üzerinden doğrudan düzenlenebilir. Eğer kullanılan anten ve radome kombinasyonu faz merkezi dosyasında (örneğin I20.ATX) yer almıyorsa, bu durumda ilgili satıra radome olarak NONE yazılarak işlem yapılabilir.

Saat Dosyalarının İndirilmesi: CODE (Center for Orbit Determination in Europe) tarafından yayınlanan 30 saniye aralıklı uydu ve 5 dakika aralıklı alıcı saat değerlerini içeren dosya indirilir. Rinex formatında (V3.04) olan bu dosyalar (Örn: COM242390.CLK) “OUT” dizinine konur.

Uydu Yörünge Verileri: Tüm uydu sistemlerini (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS) kapsayan yörünge bilgileri, standart IGS ürünleri arasında yer almadığı için alternatif kaynaklardan edinilmelidir. Bu kapsamda, http://ftp.aiub.unibe.ch/CODE_MGEX/CODE/ veya <https://cdsis.nasa.gov/archive/gnss/products/mgex/> bağlantılarından CODE tarafından üretilen dosyalar temin edilebilir. Örneğin, 28 Ağustos 2024 tarihine ait yörünge verisi COD0MGXFIN_20242330000_01D_05M_ORB.SP3 dosyasıdır. Bu

dosya, GPS haftası ve haftanın günü dikkate alınarak yeniden adlandırılır (örneğin COM242390.PRE), uzantısı .PRE olarak değiştirilir ve ardından ORB klasörüne yerleştirilir.

Yer Dönme Parametreleri dosyası: Yörünge bilgisi olarak CODE ürünleri kullanılmışsa; aynı adresten Yer Dönme Parametreleri dosyası da (COD0MGXFIN_20242330000_01D_12H_ERP.ERP) indirilir. Aynı şekilde uncompress yapılarak, dosya ismi GPS haftası ve haftanın gününe göre isimlendirilir, uzantısı “.IEP” olarak değiştirilir ve “ORB” dizinine atılır.

DCB (Differential Code Bias) Dosyası: Analiz için gerekli olan DCB dosyası, ilgili günün verisini içeren aylık dosya <http://ftp.aiub.unibe.ch/CODE/> adresinden temin edilmelidir. Dosya indirildikten sonra sıkıştırılması yapılarak ORB klasörüne yerleştirilir. Örneğin, 2024 yılının 241. günü olan ve Ağustos ayına denk gelen tarihe ait dosya P1C12408.DCB olmalıdır. Bu dosya, GPS uydularına ait P1-C1 kodu için nanosaniye cinsinden diferansiyel yanlışlık (bias) değerlerini içerir.

İyonosfer Dosyası: GPS haftası ve haftanın gününe ilişkin global iyonosfer dosyasını <http://ftp.aiub.unibe.ch/CODE/> adresinden indirebilirsiniz. Örneğin, COD0OPSFIN_20242310000_01D_01H_GIM.ION.gz gibi bir dosya indirildikten sonra, zip açılır ve dosya ismi değiştirilerek (örneğin: COM23291.ION) ATM dizinine yerleştirilir. Global İyonosfer Haritası (GIM) olarak bilinen bu dosya, dünya genelindeki saatlik Toplam Elektron İçeriği (TEC) değerlerini içerir ve birimi TECU’dur.

Atmosferik Yükleme Etkisi İçin: GNSS gözlemlerindeki atmosferik gelgit yüklemesi etkisini dikkate almak amacıyla, Menu/Service/Coordinate tools/Extract atmospheric tidal loading coefficients paneli üzerinden koordinat dosyası (örneğin: APR24241.CRD) girdi olarak alınarak, sonuç dosyası (.ATL formatında) oluşturulur. Program, BERN52\GPS\GEN dizinindeki s1_s2_def_ce.dat dosyasını kullanarak, günlük ve yarım günlük global gelgit katsayılarıyla ilgili verileri grid dosyasından alır. Oluşturulan sonuç dosyası, verilen isimle (örneğin: PPP.ATL) STA dizinine kaydedilir.

Okyanus Yükleme Dosyası: Okyanus yüklemesi katsayıları <https://barre.oso.chalmers.se/cgi-bin/list-ev.cgi> adresinden temin edilebilir. Bu işlem için, web sitesindeki forma kampanyadaki noktaların isimleri ve koordinatları uygun formatta girilir. Ardından, .BLQ formatında bir dosya e-posta ile gönderilir. E-posta birkaç dakika içinde alınabilir. Gelen dosya (örneğin: PPP.BLQ) STA dizinine

yerleştirilir. Ayrıca, <http://www.aiub.unibe.ch/download/BSWUSER52/STA> adresinden, IGS noktalarına ait hazır katsayı dosyası FES2004.BLQ indirilebilir. Bu dosyada bulunmayan yeni noktalar için yukarıdaki formu doldurup gelen verileri mevcut dosyaya eklemek mümkündür. Web sitesinde Select ocean tide model kısmından FES2004 seçilmelidir.

Troposferik indirgeme fonksiyonu: Troposferik indirgeme fonksiyonu olarak Vienna Mapping Function Grid (VMF1) kullanılması planlandığında, http://vmf.geo.tuwien.ac.at/trop_products/GRID/2.5x2/VMF1/VMF1_OP adresinden, örnekte olduğu gibi, istenilen yıl ve gün için 5 dosya indirilip birleştirilmelidir (Notepad veya Texpad gibi programlarla). Örneğin, 28 Ağustos 2024 (Yılın günü: 241) tarihi için "VMF24239.GRD" olarak adlandırılacak dosya "GRD" dizinine kaydedilir. Tüm günü kapsayabilmesi adına 5 dosyanın birleşiminden oluşmalıdır. "VMFG_20240828.H00, VMFG_20240828.H06, VMFG_20240828.H12, VMFG_20240828.H18, VMFG_20240829.H00 dosyaları komut satırından copy VMFG_20240828.H00 + VMFG_20240828.H06 + VMFG_20240828.H12 + VMFG_20240828.H18 + VMFG_20240829.H00 VMF24241.GRD" komutu ile birleştirilebilir.

Güncellenen dosyalar: Aşağıda belirtilen dosyalar, <http://ftp.aiub.unibe.ch/BSWUSER52/GEN/> adresinden indirilip, "BERN52\GPS\GEN" dizininde yer alan dosyalarla değiştirilerek güncellenmiştir. Güncellenen dosyalar listelenmiştir.

- GPSUTC: IERS tarafından yayımlanan artık saniyeleri içerir (dosya adının sonunda nokta bulunmalıdır).
- RECEIVER: Alıcı bilgi dosyası, yeni alıcılar eklendikçe güncellenir.
- SATELLIT.I20: Yeni uyduların fırlatılmasıyla birlikte, uydu bilgi dosyası güncellenir.
- PCV.I20: Yeni antenlerin faz merkezi değerleri belirlendikçe, bu dosya da güncellenir.

SAT_YYYY.CRX: Sorunlu uydulara dair bilgilerin bulunduğu dosyadır.

4.2.3. Analiz Adımları

PPP analizinde ihtiyaç duyulan dosyalar ilgili dizinlere konduktan sonra PPP_BAS.PCF kontrol dosyası kullanılarak BPE modülü ile otomatik değerlendirme

yapılmıştır. Söz konusu analizde otomatik olarak yapılan alt işlemlerin detayları aşağıda açıklanmıştır:

4.2.3.1. IERS Yer Dönme Parametrelerinin Bernese formatına dönüştürülmesi

Yer Dönme Parametreleri, saniye cinsinden X-Pole, Y-Pole ve UT1-UTC değerlerini içerir. Uluslararası Yer Dönme Servisi (IERS) tarafından sağlanan haftalık veya üç günlük parametre dosyasını Bernese formatına dönüştürmek için, "Menu>Orbits/EOP>Handle EOP files>Convert IERS to Bernese Format" modülü (POLUPD) kullanılır. Bu işlem sonucunda, IERS parametre dosyası günlük formatta dönüştürülüp ORB dizinine otomatik olarak kaydedilir (örneğin: COM242390.ERP).

4.2.3.2. Tablo şeklinde düzenlenmiş yörünge dosyalarının oluşturulması

PRETAB modülü aracılığıyla, yörünge dosyaları ".TAB" formatında düzenlenir. Bu işlem, "Menu/Orbits/EOP/Create tabular orbits" bölümünde gerçekleştirilir ve giriş dosyaları olarak internetten indirilen hassas yörünge dosyası (.PRE) ile önceki adımda oluşturulmuş Bernese formatındaki ".ERP" dosyası kullanılır. Sonuç olarak, yörünge verilerini içeren tablo formatında bir dosya (.TAB) elde edilir (Örneğin; COM242390.TAB).

4.2.3.3. Standart yörünge dosyalarının oluşturulması

ORBGEN modülü ile standart yörünge dosyalarını oluşturmak için, önceki adımda oluşturulan ".TAB" formatındaki yörünge dosyası ve ".ERP" formatındaki Yer Dönme Parametreleri dosyası kullanılır. Bu işlem, "Menu/Orbits/EOP/Create/update standard orbits" menüsünden yapılır. Sonuç olarak, ".STD" uzantılı binary bir dosya (örneğin: COM242390.STD) ve ".OUT" uzantılı bir çıkış dosyası (örneğin: ORB242390.OUT) elde edilir.

4.2.3.4. Gözlemlerin Bernese formatına dönüştürülmesi

RINEX gözlem verisi, RNXSMT modülü kullanılarak öncelikle temizlenip düzeltilir (smoothed). Ardından, "Menu/RINEX/Import_RINEX to Bernese Format>Observation files" sekmesinden RXOBV3 modülü ile Bernese (binary)

formatına dönüştürülür ve bu veriler kampanyanın “OBS” dizinine kaydedilir. Bu dönüşüm sonrası, sıfır-fark kod ölçüleri ve başlık dosyaları olan “.CZO” ve “.CZH” dosyaları ile sıfır-fark faz ölçüleri ve başlık dosyaları olan “.PZO” ve “.PZH” dosyaları oluşturulur. Buradaki C harfi kod ölçülerini, P faz ölçülerini, Z sıfır-farkı, O ölçüleri, H ise başlıkları temsil eder.

İşlem sonucu, “OUT” dizininde yer alan “SMT2410CAML.OUT” gibi dosyalar oluşturulur. Bu dosyalar, kod ve faz ölçülerine ait epok sayıları, gözlemlenen GPS ve GLONASS uydu sayıları gibi istatistikleri içerir ve verilerin doğruluğu incelenebilir. Ayrıca, “Menu>RINEX>RINEX utilities>Create observation statistics” sekmesindeki RNXGRA modülü ile gözlem verilerinin istatistiklerine (Pseudo-Graphics) bakılabilir, örneğin; GRA242410.OUT dosyası ve özet dosyası olan GRA242410.SMC.

4.2.3.5. Alıcı Saatlerinin Senkronizasyonu

Alıcı saat düzeltmeleri, Menu/Processing/Code-based_clock_synchronization menüsünden (CODSPP) yapılır. Bu aşamada, yörünge giriş dosyaları olarak; “.CLK” uydu saat dosyası ve “.STD” standart yörünge dosyası kullanılır. Diğer gerekli dosyalar, daha önce Bernese formatına dönüştürülmüş olan kod ölçüleri ve “.ERP” uzantılı yer dönme parametreleri dosyasını içerir. İşlem tamamlandığında, oluşturulan “.OUT” uzantılı dosya (örneğin, SPP2410CAML.OUT) incelenebilir.

4.2.3.6. Veri kalitesinin kontrolü ve düzeltme değerlerinin kaydedilmesi

Sonraki analiz adımlarında kullanılacak olan GPSEST programı, özellikle kaba hataların tespiti ve veri kalitesinin değerlendirilmesi amacıyla kullanılır. Bu program, veri kalitesini gösteren temel bir gösterge olarak dengeleme süreci sonucu elde edilen düzeltme değerlerini (post-fit residuals) kaydeder. "Menu>Processing>Parameter estimation" sekmesinde yapılan bu işlemde, çıkış dosyaları olarak; düzeltme değerlerini içeren ".RES" uzantılı binary dosya (örneğin: EDF2410CAML.RES) ve ".OUT" dosyası (örneğin: EDF2410CAML.OUT) üretilir.

.OUT dosyasındaki önemli bilgi, dengeleme sonrasında elde edilen Birim Ağırlık Karesel Ortalama Hatası (A POSTERIORI SIGMA OF UNIT WEIGHT) değeridir. Bu RMS değerinin genellikle 1 ila 1.5 mm arasında olması beklenir. Eğer

RMS değeri yüksekse, bunun nedeni alıcı kalitesinin düşük olması, ölçümlerdeki sorunlar veya önceki adımlarda (CODSPP) yaşanmış bir hata olabilir.

4.2.3.7. Düzeltmelerin hesaplanması ve kötü ölçülerin işaretlenmesi

Bu aşamada, ilk olarak “Menu/Service/Residual files/Create residual statistics” (RESRMS) modülü çalıştırılır. Bu işlem sonucunda, RES2410CAML.OUT ve RES2410CAML.EDT gibi dosyalarda, artık değerlerin (residuals) istatistiksel analizleri sağlanır. Ardından, ölçümlerdeki kaba hataların otomatik olarak işaretlenmesi için Menu/Service/Bernese_observations_files/Mark/delete_observations” (SATMRK) modülü kullanılır. Bu işlem, EDT dosyası ile gerçekleştirilir ve sonuç olarak MRK2410CAML.OUT gibi dosyalar elde edilir.

4.2.3.8. Kaba Hatalardan Temizlenmiş Ölçüler ile Parametre Çözümü

Bu aşamada, PPP parametre tahmini ya da diğer bir deyişle dengeleme işlemi için GPSEST programı tekrar devreye girer. Bu işlem, kaba hatalardan arındırılmış ölçümlerle yapılır. Sonuç olarak, istasyon koordinatları (STA dizininde .CRD uzantılı dosyada), alıcı saat düzeltmeleri (OUT dizininde .CLK uzantılı dosyada), istasyon verisiyle elde edilen troposfer parametreleri (ATM dizininde .TRP ve .TRO uzantılı dosyalarda) ve normal denklemler (SOL dizininde .NQ0 uzantılı dosyada) oluşturulur.

4.2.3.9. PPP Sonuç Dosyalarının Üretilmesi

PPP sonuç dosyalarının üretildiği bu adım, “Menu/Processing/Combine normal equation systems” bölümünde bulunan ADDNEQ2 modülü aracılığıyla yapılır. Burada, istasyon koordinatları ve SOL dizininde oluşturulan SNX uzantılı dosya (Örn: PPP2410CAML.SNX) oluşturulur. SINEX (Software INdependent EXchange format), yazılım bağımsız bir değişim formatıdır ve aslen “.NQ0” uzantılı dosyanın başka yazılımlarda kullanılabilmesi amacıyla düzenlenmiştir. SINEX formatıyla ilgili daha fazla bilgi için

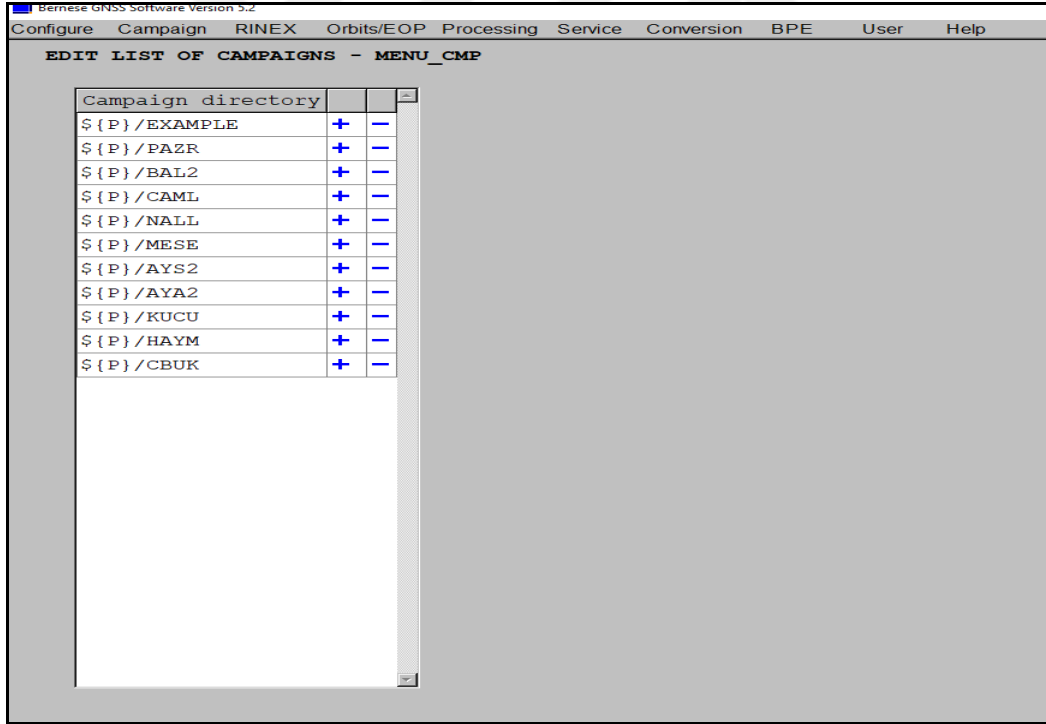
(<https://www.iers.org/IERSEN/Organization/AnalysisCoordinator/SinexFormat/sinex.html>) linke göz atılabilir.

4.2.3.10. Özet Analiz Sonuç Raporu

PPP analiz sonuçlarını kontrol etmek amacıyla process aşamalarını özet halinde veren “.PRC” uzantılı bir dosya “OUT” dizininde oluşur (Örn: PPP242410.PRC).

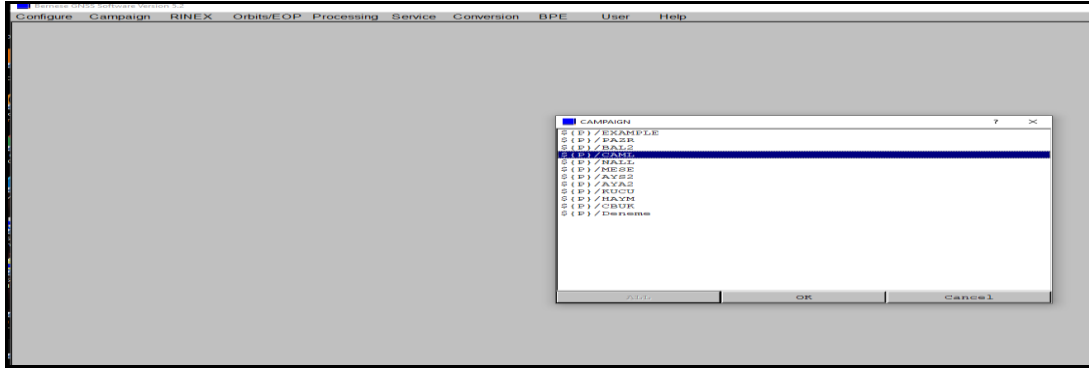
4.2.4. Bernese ile Otomatik Analizin Görsel Aşaması

İlk olarak kampanyamız için gerekli klasörler oluşturulur. Campaign > Select Active Campaign > Edit List Of Campaign bölümünde kampanya ismi yazılır. Bu kampanyaların ismine + butonu ile sırası ile TUTGA noktalarının isimleri yazılarak kaydedilmiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. TUTGA Noktalarına ait Kampanya İsimleri

Kampanya Campaign > Select Active Campaign ikonu ile seçilerek aktif hale getirilir. Gelen iki program mesajına ok denilerek devam edilir (Şekil 4.18).



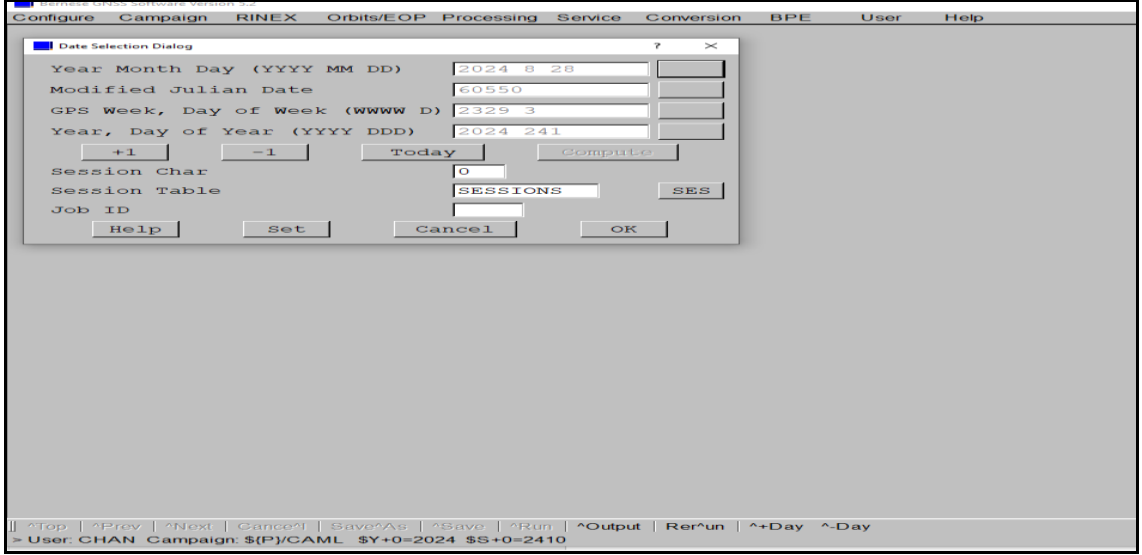
Şekil 4.18. TUTGA Noktalarına ait Kampanya Seçimi.

Aktif kampanya seçildikten sonra Menu/Campaign/Create_new_campaign ile otomatik oluşturulan klasörler run tuşu ile ilgili TUTGA klasörünün altında oluşturulur (Şekil 4.19).



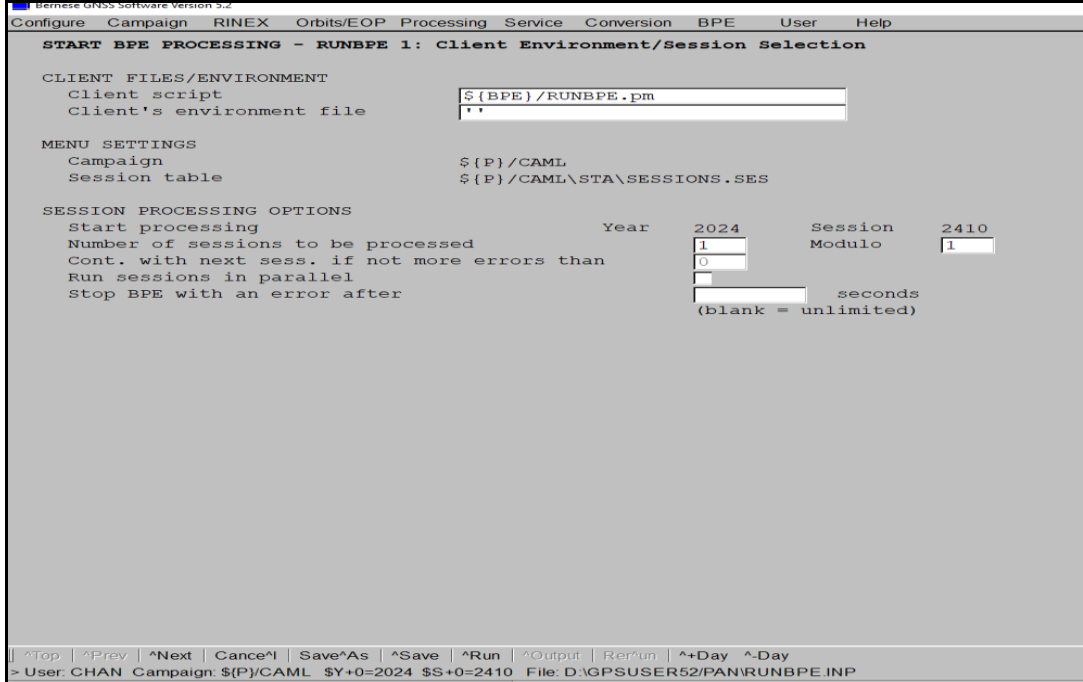
Şekil 4.19. Kampanya Seçiminden Sonra Oluşturulan Otomatik dosyalar

Menu/Configure/set session/compute date ile TUTGA Rinex verisi yılın hangi gününde ise ayarlanır. Bu işlemten sonra klasör yapısı oluşturulmuş olur. Process için gerekli dosyalar uygun klasörlere indirilir veya kopyalanır. Process için gerekli dosyalar (Rinex dosyaları, Uydu Saatleri (*.CLK), Uydu Yörüngeleri (*.sp3), Yer dönüklük Dosyaları (*.erp), DCB dosyaları, İyonosfer Dosyaları, Uydu Manevraları Dosyası (.CRX), Okyanus Yükleme Düzeltmesi vs.) daha önceki bölümlerde anlatılmıştır (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Kampanyaya Ait Yılın Günü Seçimi

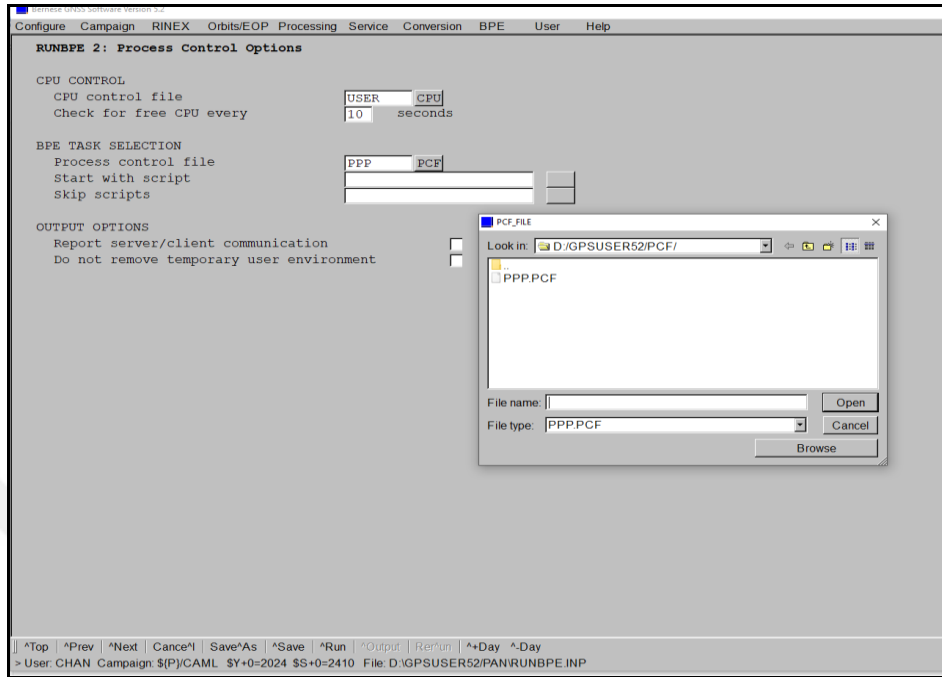
Bernese Process Engine (BPE) ile gerekli dosyaların hazırlanmasından sonra BPE/Start BPE Processing ile ilgili ekran açılır. Burada “Number of sessions to be processed” kısmına kaç gün BPE proses yapılmak isteniyorsa yazılır. TUTGA noktaları için 1 gün yazılmıştır (Şekil 4.21). “Next” ikonu ile devam edilir.



Şekil 4.21. BPE Process Başlangıç Ekranı

Gelen ekranda “Process Control File PPP.PCF” seçilir. Bu dosyada tüm noktalara ait yaklaşık koordinatlar bulunmaktadır. “CPU control file” kısmına

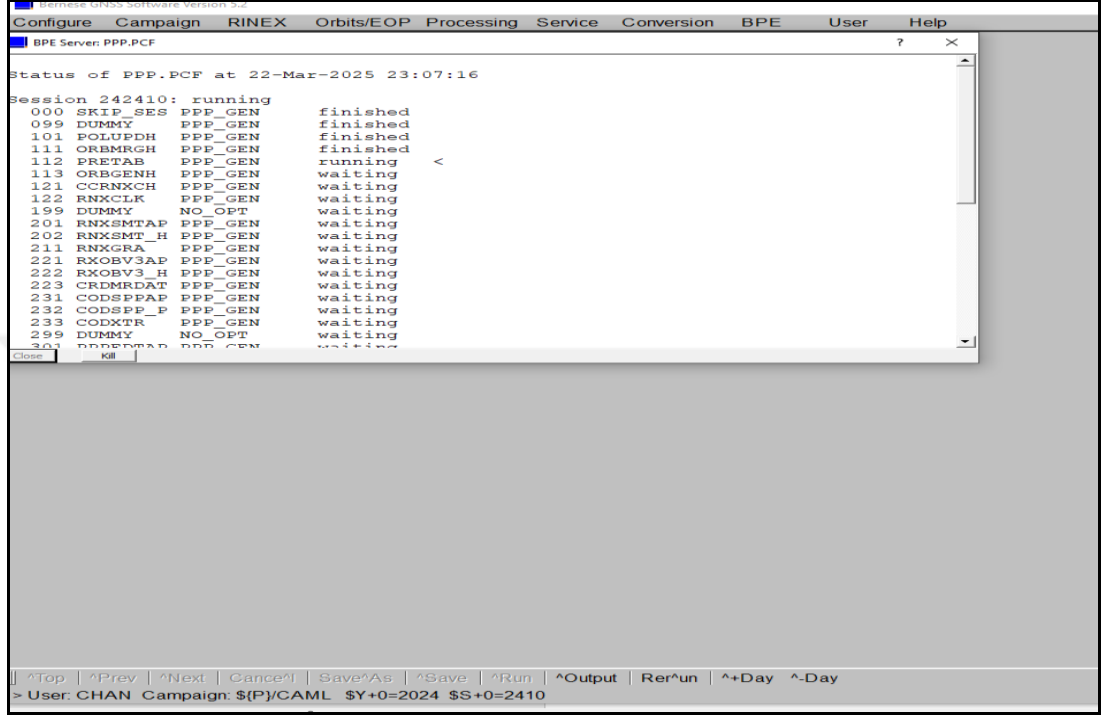
kullanılacak bilgisayarın adı yazılır. Process kontrol file kısmına yapılmak istenen işlem (PPP) yazılır (Şekil 4.22). Next ile devam edilir.



Şekil 4.22. Proses Kontrol Dosyaları Tanımı ve Bilgisayar İsmi Tanımlaması

Gelen ekranda “Task ID” kısmına PCF’i anımsatacak bir kısaltma ismi verilir. Örneğin PPP için PP kısaltması uygulanmıştır. Bu PP kısaltması ile çalıştırılacak olan her script için bir sonuç veya hata mesajında, mesaj başlangıcı PP ile başlamaktadır (Şekil 4.23).

bulunan *.LOG ve *.PRT dosyalarına bakılabilir. Hatanın düzeltilmesinin ardından BPE process yeniden başlatılır. BPE process'ın başarılı bir şekilde çalıştırılmasının ardından STA klasörünün altında, çalıştırılan her gün için bir PPP sonuç koordinat dosyası oluşmaktadır (Şekiller 4. 25-26).



Şekil 4.25. Çalıştırılan Script Listesi.

Station coordinates and velocities:									
Sol	Station name	Typ	Correction	Estimated value	RMS error	A priori value	Unit	From	To
1	CAML CAML0M001	X	0.00055	4100240.08083	0.01272	4100240.08028	meters	2024-08-28 07:40:00	2024-08-28 09:35:00
1	CAML CAML0M001	Y	0.00001	2604412.22741	0.01233	2604412.22740	meters	2024-08-28 07:40:00	2024-08-28 09:35:00
1	CAML CAML0M001	Z	0.00021	4121559.82586	0.00646	4121559.82565	meters	2024-08-28 07:40:00	2024-08-28 09:35:00
Station coordinates and velocities:									
Reference epoch: 2024-08-28 12:00:00									
Station name	Typ	A priori value	Estimated value	Correction	RMS error	3-D ellipsoid		2-D ellipse	
CAML CAML0M001	X	4100240.08028	4100240.08083	0.00055	0.01272				
	Y	2604412.22740	2604412.22741	0.00001	0.01233				
	Z	4121559.82565	4121559.82586	0.00021	0.00646				
	U	1255.60795	1255.60844	0.00049	0.01059	0.01566	70.2		
	N	40.5045527	40.5045527	-0.00015	0.00374	0.00347	0.4	0.00372	178.6
	E	32.4231128	32.4231128	-0.00028	0.01510	0.00984	8.0	0.01511	
>>> CPU/Real time for pgm "ADDNEQ2": 0:00:00.000 / 0:00:00.105									
>>> Program finished successfully									

Şekil 4.26. PPP Sonuç Koordinat Dosyası

Bernese yazılımı kullanılarak TUTGA noktalarında yapılan 3'er saatlik gözlem sonucunda oluşturulan RINEX verileri PPP çözümü ile analiz edilmiştir. Yazılım ITRF 2020 datumunda ve güncel epokta (2024.65) koordinat üretmiştir.

Bernese programı tarafından üretilen bu koordinatlar daha önce anlatıldığı gibi EUREF'in sitesinde TUTGA noktalarına ait hızlar ile birlikte TUREF (ITRF 96 datumu ve 2005.00 Epöğü) sistemine dönüştürülmüştür.

Sonuç olarak Bernese yazılımı kullanılarak PPP yöntemi ile hesaplanan koordinatlar ve HGM tarafından temin edilen TUTGA koordinatları karşılaştırılarak koordinat farkları ve karesel ortalama hataları hesaplanmıştır (Çizelge 4.6-Çizelge 4.7).

Çizelge 4.6. Hesaplanan Kartezyen Koordinatların HGM Koordinatlarından Olan Farkları

HGM KOORDİNATLARINDAN OLAN FARKLAR			
(cm)			
NOKTA ADI	PPP		
	X	Y	Z
AYA2	-4.3	-4.7	-4.6
AYS2	-1.3	0.4	-3.4
BAL2	-0.4	1.6	1.3
CAML	-3.0	2.7	-2.0
CBUK	-2.2	-0.8	-2.1
HAYM	-5.5	-2.6	-6.2
KUCU	-3.7	1.2	-3.7
MESE	-2.9	1.5	-3.9
NALL	-3.8	-0.2	-2.3
PAZR	-2.7	-6.8	-6.3
EN KÜÇÜK FARK	-0.4	-0.2	1.3
EN BÜYÜK FARK	-5.5	-6.8	-6.3
KOH	3.3	3.0	3.9

Çizelge 4.7 Hesaplanan Sağa, Yukarı, Yükseklik Koordinatların HGM Koordinatlarından Olan Farkları ile Hesaplanan 2D ve 3D Doğruluklar

HGM KOORDİNATINDAN OLAN FARKLAR (cm)			
NOKTA ADI	PPP		
	SAĞA	YUKARI	YÜKSEKLİK
AYA2	-1.6	0.4	-7.7
AYS2	1.0	-2.0	-2.8
BAL2	1.6	0.7	1.2
CAML	3.8	-0.8	-2.1
CBUK	0.5	-0.1	-3.1
HAYM	0.8	-1.0	-8.6
KUCU	3.0	-1.3	-4.3
MESE	2.8	-1.9	-3.8
NALL	1.9	0.3	-4.1
PAZR	-4.3	-0.9	-8.5
EN KÜÇÜK FARK	0.5	0.1	1.2
EN BÜYÜK FARK	-4.3	-2.0	-8.6
KOH	2.5	1.1	5.3
2D	2.7		
3D	5.9		

4.3. Tersus Oscar TAP Alıcısı Kullanılarak PPP-RTK Yöntemi ile TUTGA Noktalarının Ölçümü

PPP-RTK konum doğruluğunu test etmek amacıyla her bir TUTGA noktasında PPP-RTK özelliğine sahip Tersus Oscar TAP Ultimate GNSS alıcısı ile PPP-RTK gözlemi başlatılmış ve yaklaşık 3-5 dakika içerisinde (yakınsama süresi) fix çözüm elde edilmiştir (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Arazi Çalışmasına Ait Örnek bir PPP-RTK Ölçümü

PPP-RTK ile ITRF2020 referans sisteminde ve güncel epokta (Örn: 2024.65) koordinatlar elde edilmektedir. Daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi söz konusu koordinatlar EUREF'in sitesinde TUTGA nokta hızları ile ITRF 96 datumu ve 2005.00 epoğuna (Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi-TUREF) getirilmiştir. Her bir TUTGA noktası için PPP-RTK sisteminde fixlenme süreleri belirlenmiş ve ortalama yakınsama süreleri hesaplanmıştır.

Sonuç olarak HGM tarafından temin edilen TUTGA güncel koordinatları ile PPP-RTK sistemi ile elde edilen nokta koordinatları karşılaştırılarak koordinat farkları ve karesel ortalama hatalar hesaplanmıştır. Ayrıca her bir TUTGA noktasında taşıyıcı dalga faz belirsizliklerin tam olarak çözüldüğü (fix) çözüm için cm seviyesinde doğruluk elde edilene kadar beklenmiş ve yakınsama süreleri kayıt edilerek hesaplanmıştır (Çizelge 4.8-Çizelge 4.9).

Çizelge 4.8 Hesaplanan Kartezyen koordinatların HGM Koordinatlarından Olan Farkları

HGM KOORDİNATLARINDAN OLAN FARKLAR (cm)			
NOKTA ADI	PPP-RTK		
	X	Y	Z
AYA2	-7.3	-5.1	-8.2
AYS2	-1.7	2.0	-1.7
BAL2	-3.8	-0.8	-2.8
CAML	0.3	2.7	0.1
CBUK	1.7	2.6	3.9
HAYM	-3.3	-0.3	-5.1
KUCU	-2.6	3.8	-2.1
MESE	-3.0	0.4	-2.1
NALL	2.8	4.7	1.9
PAZR	-18.7	-4.3	-78.2
EN KÜÇÜK FARK	0.3	-0.3	0.1
EN BÜYÜK FARK	-18.7	-5.1	-78.3
KOH	6.8	3.2	25.0

Çizelge 4.9. Hesaplanan Sağa, Yukarı, Yükseklik Koordinatlarının HGM Koordinatlarından Olan Farkları ile Hesaplanan 2D ve 3D Doğruluklar

HGM KOORDİNATINDAN OLAN FARKLAR (cm)			
NOKTA ADI	PPP-RTK		
	SAĞA	YUKARI	YÜKSEKLİK
AYA2	-0.3	-0.6	-12.1
AYS2	2.6	-1.1	-1.4
BAL2	1.4	0.1	-4.6
CAML	2.1	-1.1	1.4
CBUK	1.3	1.2	4.7
HAYM	1.5	-2.1	-5.5
KUCU	4.6	-1.5	-1.4
MESE	1.9	-0.2	-3.2
NALL	2.6	-1.8	4.9
PAZR	6.4	-48.0	-64.4
EN KÜÇÜK FARK	-0.3	0.1	1.4
EN BÜYÜK FARK	6.4	-48.0	-64.4
KOH	3.0	15.2	21.0
2D	15.5		
3D	26.1		

4.4. TUSAGA-Aktif Sistemi ile TUTGA Noktalarının Ölçümü

Her bir TUTGA noktasında TUSAGA-Aktif sistemi ile koordinat alımı için öncelikle Tapu Kadastro Genel Müdürlüğüne ait server bağlantı noktası ayarları ile, ilgili IP ve kullanıcı adı ile gerekli konfigürasyonlar yapılmıştır.

RTCM 3.x, VRS formatlarında Ağ-RTK moduna geçilerek 60 epok (saniyede bir) olmak üzere TUSAGA-Aktif sisteminden düzeltme alınmış ve CORS çözümü kayıt edilmiştir. TUSAGA-Aktif sisteminden elde edilen koordinatlar ITRF96 datumunda ve 2005.0 epoğunda (Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi-TUREF) olduğundan herhangi bir datum dönüşüm işlemine tabi tutulmamıştır. Yapılan ölçüme ait araziden bir görsel Şekil 4.28’de sunulmuştur.



Şekil 4.28. Arazi Çalışmasına Ait Örnek Bir CORS Ölçümü.

Sonuç olarak her bir TUTGA noktasında TUSAGA-Aktif (Ağ-RTK) sistemi ile fix çözümler elde edilmiş ve HGM tarafından temin edilen TUTGA koordinatları ile karşılaştırılarak koordinat farkları ve karesel ortalama hatalar hesaplanmıştır (Çizelge 4.10-Çizelge 4.11).

Çizelge 4.10. Hesaplanan Kartezyen koordinatların HGM Koordinatlarından Olan Farkları

HGM KOORDİNATLARINDAN OLAN FARKLAR (cm)			
AĞ-RTK (TUSAGA-Aktif)			
NOKTA ADI	X	Y	Z
AYA2	-2.8	-3.2	-5.6
AYS2	-5.1	4.2	1.8
BAL2	0.9	-0.4	-4.7
CAML	-0.7	-2.8	0.2
CBUK	4.7	1.2	3.8
HAYM	1.4	4.8	1.4
KUCU	-13.0	-5.9	-6.9
MESE	-5.4	-0.8	-3.7
NALL	5.3	4.6	2.5
PAZR	8.1	-0.2	-0.6
EN KÜÇÜK FARK	-0.7	-0.2	0.2
EN BÜYÜK FARK	-13.0	-5.9	-6.9
KOH	5.9	3.4	3.8

Çizelge 4.11. Hesaplanan Sağa, Yukarı, Yükseklik Koordinatların HGM Koordinatlarından Olan Farkları ile Hesaplanan 2D ve 3D Doğruluklar

HGM KOORDİNATINDAN OLAN FARKLAR (cm)			
AĞ-RTK (TUSAGA-Aktif)			
NOKTA ADI	SAĞA	YUKARI	YÜKSEKLİK
AYA2	-1.2	-1.7	-6.7
AYS2	6.3	2.7	-0.5
BAL2	-0.9	-4.0	-2.6
CAML	-1.9	1.5	-1.4
CBUK	-1.6	-0.1	5.9
HAYM	3.3	-1.3	3.8
KUCU	1.9	3.7	-15.3
MESE	2.3	0.3	-6.2
NALL	1.1	-2.6	7.0
PAZR	-4.6	-4.8	4.7
EN KÜÇÜK FARK	0.9	0.1	0.5
EN BÜYÜK FARK	6.3	-4.8	-15.3
KOH	3.0	2.7	6.7
2D		4.0	
3D		7.8	

4.5. GLAB Programı ile SBAS Tarafından Uygulanan İyileştirmenin Hesaplanması

GNSS-Lab Tool paketi (gLAB), GNSS verilerini işlemek ve analiz etmek için etkileşimli çok amaçlı bir yazılımdır (Ibáñez ve diğ., 2018).

Yazılım RINEX verilerini okuyabilen, işleyebilen ve sonuçları metin dosyaları ve grafikler biçiminde gösterebilen bir arayüze sahiptir. İşleme seçenekleri, aracın ve farklı seçeneklerinin anlaşılmasını kolaylaştıran bir Grafikselle Kullanıcı Arayüzü (GUI) aracılığıyla tamamen parametrelendirilebilir formattadır. Windows, Linux ve Mac İşletim Sistemlerinde çalışabilmektedir.

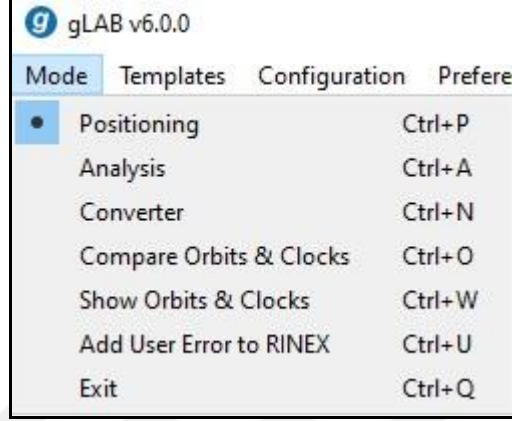
gLAB GPS, SBAS ve diferansiyel (DGNSS) verilerinin işlenmesine olanak sağlamakta ve GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou, QZSS, IRNSS uyduları ile hassas yörüngeler, yayın yörüngelerini (broadcast efemeris) destekleyen bir formattadır. gLAB'ın başlangıç ekranı Şekil 4.29' da sunulmuştur. Aşağıdaki bölümlerde gLAB'ın farklı seçenekleri hakkında bilgi verilmiştir.



Şekil 4.29. gLAB Grafik Kullanıcı Arayüzünün Başlangıç Ekranı

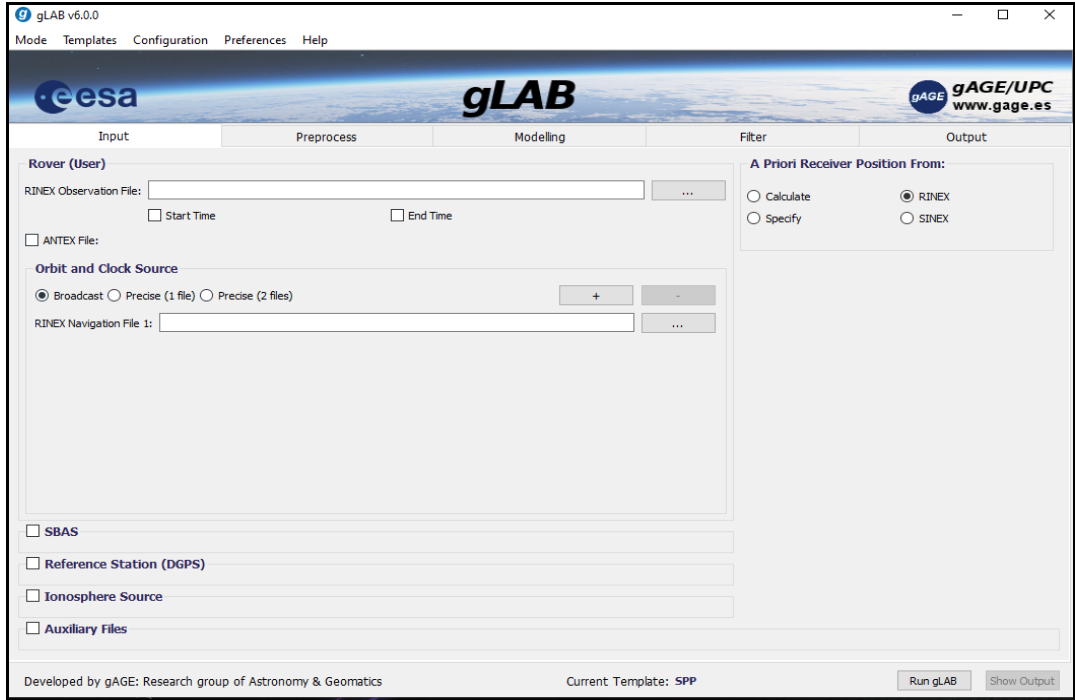
4.5.1. Mode Arayüzü

Mode ikonu gLAB'ın konum hesaplama, analiz, dönüştürme, yörünge ve saat karşılaştırma, yörünge ve saatleri gösterme, RINEX kullanıcı hatası ekleme ve çıkış modüllerinden oluşmaktadır (Şekil 4.30).



Şekil 4.30 Mode Arayüzü

Konum Hesaplama: Konum hesaplama DPC (Data Processing Core) veri analiz modülü ile arayüz, gerçekleştirilecek tüm farklı işleme seçeneklerinin seçilmesine olanak tanır. Konum hesaplama işlemi 5 farklı bölümden oluşmaktadır (Şekil 4.31).



Şekil 4.31 Konum Hesaplama Ekranı Arayüzü

- GİRİŞ modülü: Giriş verileri ile programın geri kalanı arasında bir "sürücü" olarak anlaşılabilir. Bu modül, tüm giriş okuma yeteneklerini uygular ve bunları DATAHANDLING modülünde tanımlanan yapılarda depolar.

- Ön İşlem Modülü: Bu modül, MODEL'den önce verileri işler. Sinyal kayıklıklarını (cycle slips), taşıyıcı dalga faz tutarsızlıklarını, pseudorange yumuşatmasını kontrol eder ve verileri (gerekirse) azaltır.

- Modelling Modülü: Bu modül, alıcı ölçümlerini tam olarak modellemek için tüm işlemlere sahiptir. Etkinleştirilebilen veya devre dışı bırakılabilen çeşitli model türleri uygular.

- Filtre Modülü: Bu modül, tamamen yapılandırılabilir bir Genişletilmiş Kalman Filtresi (EKF) uygular ve gerekli parametrelerin tahminlerini elde eder.

- Çıktı Modülü: Bu modül, tüm mesajların yazdırılmasından ve gerekli çıktı dosyalarının (SP3 dosyası, Stanford-ESA dosyası, vb.) yazılmasından sorumludur.

Analiz: Analiz ikonu Çizim ile arayüz, tüm farklı çizim seçeneklerinin seçilmesine olanak tanır.

Dönüştürücü: SBAS ve RTCM formatlarını RINEX, EMS ve Pegasus formatlarına dönüştürür.

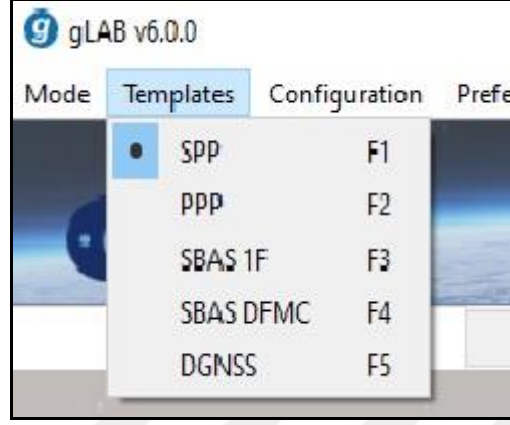
Yörüngeleri ve Saatleri Karşılaştır: Yayın, SP3 ve saat dosyaları gibi 2 farklı kaynaktan gelen yörünge ve saatleri karşılaştırma modu.

Yörüngeleri ve Saatleri Göster: Uydu koordinatlarını, hızları ve saatleri hesaplama modu aktif hale gelmektedir.

RINEX Kullanıcı Hatası Ekleme: RINEX'e Kullanıcı Hatası Ekleme ikonu ile RINEX Gözlem dosyasını, kullanıcı tarafından tanımlanan bir hata dosyasını okuma ve kullanıcı tarafından tanımlanan hatayla bir RINEX gözlem dosyası oluşturmaya olanak verir.

4.5.2 Şablonlar

Şablonlar programın tüm seçeneklerini belirli bir işlem için yapılandırır. Aşağıda ilgili yöntemler kısaca açıklanmıştır (Şekil 4.32).



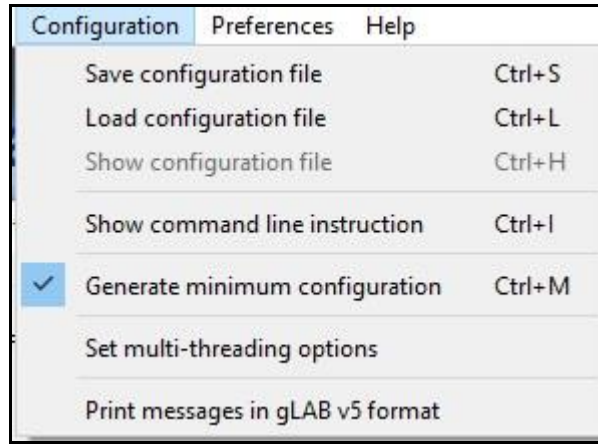
Şekil 4.32 Şablonlara ait Görseller

- SPP: Standart Konum belirleme Hizmeti (SPS) işlemi gerçekleştirmek için.
- PPP: Hassas koordinatların hesaplanması için düzenli bir Hassas Nokta Konum belirleme (PPP) işlemi gerçekleştirmek için.
- SBAS 1F: SBAS 1F işlemi gerçekleştirmek için; bir istasyona ait RINEX gözlem dosyası, aynı gün için broadcast navigasyon mesajı dosyası ve SBAS mesaj dosyası gereklidir.
- SBAS DFMC: SBAS DFMC (Dual Frequency Multiconstellation) işlemi gerçekleştirmek için; bir istasyona ait RINEX gözlem dosyası, aynı gün için broadcast navigasyon mesajı dosyası ve SBAS mesaj dosyası gereklidir
- DGNSS: Diferansiyel (DGNSS) işlemini gerçekleştirmek için, referans istasyonu RTCMx dosyası, gezici RINEX gözlem dosyası, aynı gün için broadcast navigasyon mesajı dosyası gereklidir.

4.5.3 Yapılandırma, Tercihler ve Yardım

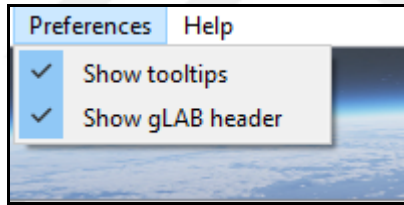
Yapılandırma menüsü ile son okunan veya kaydedilen yapılandırmayı kaydetmeye, yüklemeye ve açmaya izin verir. Varsayılan olarak, DPC veri analiz modülü varsayılanlarını değiştirmek için minimum talimat kümesini oluşturur, ancak istenirse tüm seçenekler kaydedilebilir. Ayrıca, gLAB tarafından oluşturulan ve DPC tarafından yürütülecek komut satırı talimatı görüntülenebilir. Ayrıca iş parçacığı

sayısını ayarlama ve eski sürüm 5 biçiminde yazdırma seçenekleri de vardır (Şekil 4.33.).



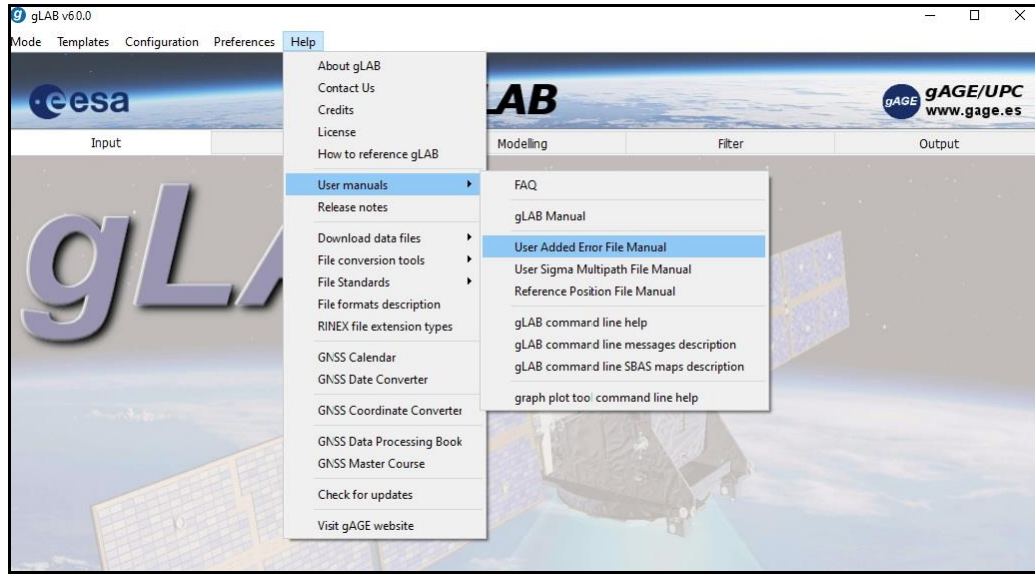
Şekil 4.33 Yapılandırma Ayarları

Tercihler menüsü açıklayıcı araç ipuçlarını seçmenize ve seçimlerini kaldırmanıza (varsayılan olarak seçilidir) ve gLAB başlığını göstermenize (varsayılan olarak seçilidir) olanak tanır (Şekil 4.34).



Şekil 4.34 Tercihler Arayüzü

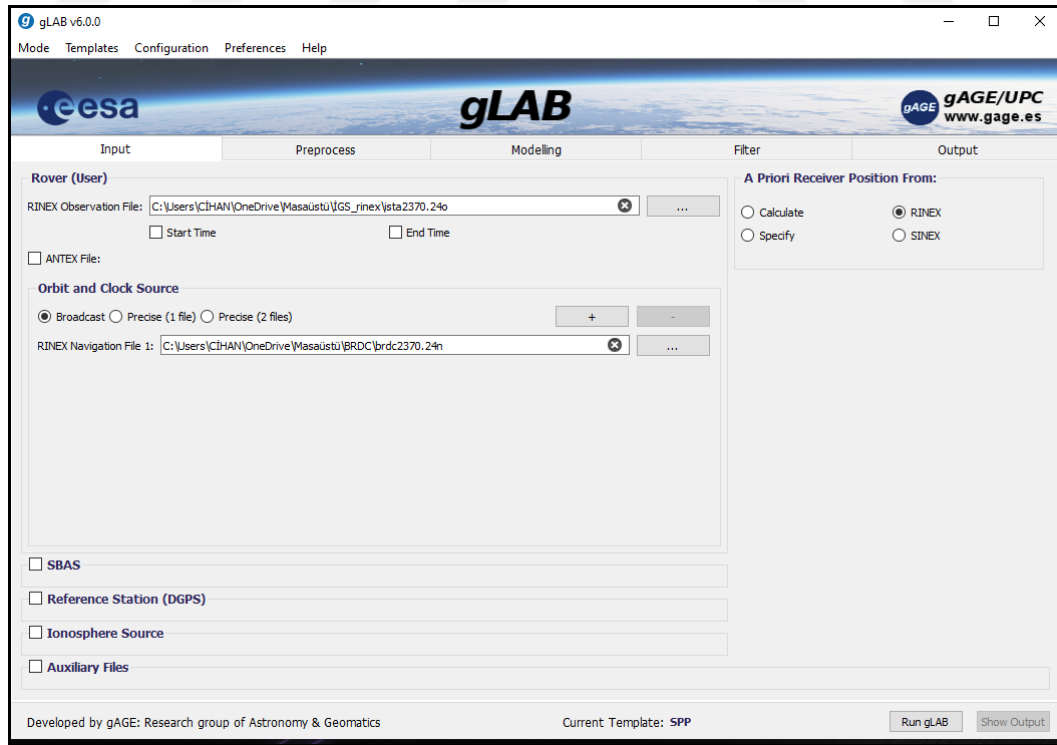
Yardım menüsü, SSS (Sıkça Sorulan Sorular), kılavuzlar, sürüm notları, krediler, tarih ve koordinat dönüştürücü ve yeni güncellemeleri kontrol etme olanağı gibi gLAB hakkında yararlı bilgiler içerir. Ayrıca, diğerlerinin yanı sıra, verileri indirmek için ftp sitelerine ve gLAB web sitesine bağlantılar içerir (Şekil 4.35).



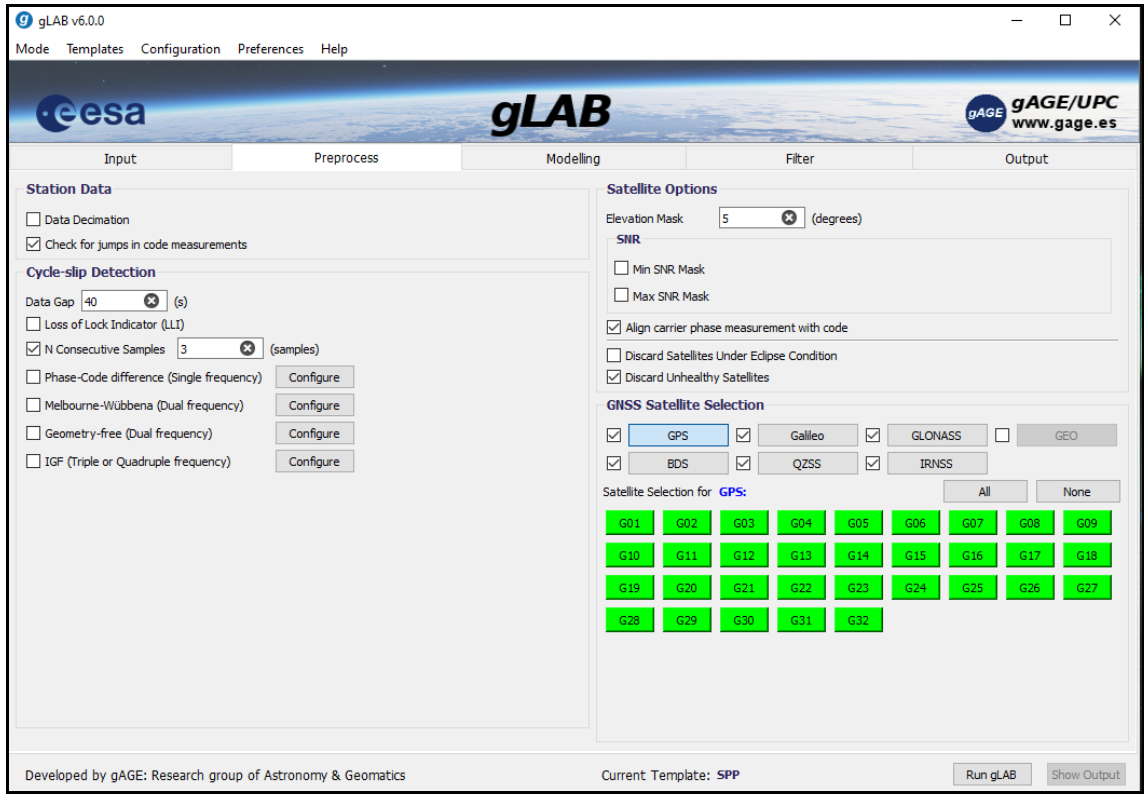
Şekil 4.35 Yardım Arayüzü.

4.5.4 gLAB ile Analiz Adımları

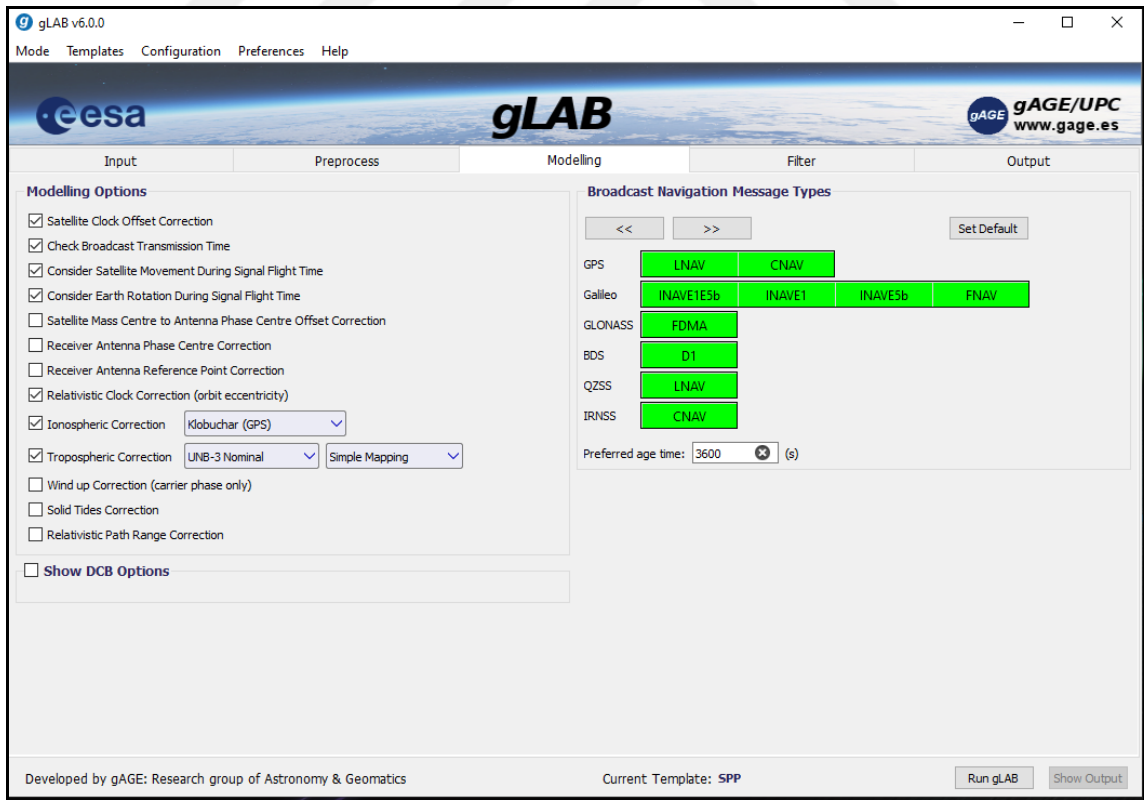
Glab programı ile ISTA IGS istasyonunun yılın 237. Gününe ait RINEX gözlem verisi, yine yılın 237nci gününe ait “broadcast ephemeris” yörünge dosyası ile SPP yöntemi ile proses edilmiş ve yapılan işlemler aşağıda sunulmuştur. (Şekiller 4. 36-41).



Şekil 4.36 RINEX ve Yayın (Broadcast) Efemeris Dosyalarının Yüklenmesi.



Şekil 4.37 “Preprocess” Arayüzü ve Ayarları



Şekil 4.38 “Modelling” Arayüzü ve Ayarları

gLAB v6.0.0

Mode Templates Configuration Preferences Help

eesa **gLAB** **gAGE/UPC** www.gage.es

Input Preprocess Modelling Filter Output

Measurements

☒ Pseudorange ☐ Pseudorange Smoothing ☐ Pseudorange + Carrier phase ☐ Graphic Combination

Measurement Configuration and Noise

☐ Set GNSS Frequencies and Measurements Order

GPS Galileo GLONASS GEO BDS QZSS IRNSS

Configuration for GPS: + -

Code Freq: Auto Meas: Auto StdDev: Fixed 1 (m)

Parameters

Coordinates: Phi 0 Q 1e8 (m²) Po 1e8 (m²) ☐ Static ☒ Kinematic ☐ Random Walk

Receiver Clock: 0 9e10 m² 9e10 m² ☐ Constant ☒ White Noise ☐ Random Walk

Inter-System Clock Bias: 0 9e10 m² 9e10 m² ☐ Constant ☒ White Noise ☐ Random Walk

☐ Show Reference Clock Configuration

☐ Show Inter-System Clock Bias Source

Available Frequencies

☒ Single-frequency ☐ Dual-frequency

Troposphere

☐ Estimate wet troposphere residual

Ionosphere

☐ Use Sigma Ionosphere

DOP Filters

☐ Max. HDOP ☐ Max. PDOP ☐ Max. GDOP

Other Options

☐ Backward Filtering

☒ Prefit Outlier Detector Threshold (m) 40

Developed by gAGE: Research group of Astronomy & Geomatics Current Template: SPP Run gLAB Show Output

Şekil 4.39 “Filter” Arayüzü ve Ayarları

gLAB v6.0.0

Mode Templates Configuration Preferences Help

eesa **gLAB** **gAGE/UPC** www.gage.es

Input Preprocess Modelling Filter Output

Output Files

Output File: C:\Users\Cihan\OneDrive\Masaüstü\IGS_rinex\gLAB.out

☐ KML File: ☐ KML0 File: ☐ SP3 File: ☐ Ref File:

Output Messages

All None

☒ Print INFO ☐ Print MEAS ☒ Print USERADDEDERROR ☐ Print MODEL ☐ Print INPUT ☐ Print SATSEL ☐ Print CS (Cycle-slip) ☐ Print PREFIT ☐ Print SFCSDATA ☐ Print EPOCHSAT ☐ Print MWCSDATA ☐ Print POSTFIT ☐ Print LICSDATA ☐ Print FILTER ☐ Print IGFCSDATA ☒ Print OUTPUT

Clock unit

☒ Metres ☐ Nanoseconds

Summary

☒ Print Summary

Percentile Value 95 (adimensional)

☒ Ignore epochs for summary until epoch 0h 0m

☐ Start time of summary

Developed by gAGE: Research group of Astronomy & Geomatics Current Template: SPP Run gLAB Show Output

Şekil 4.40 “Output” Arayüzü ve Ayarları

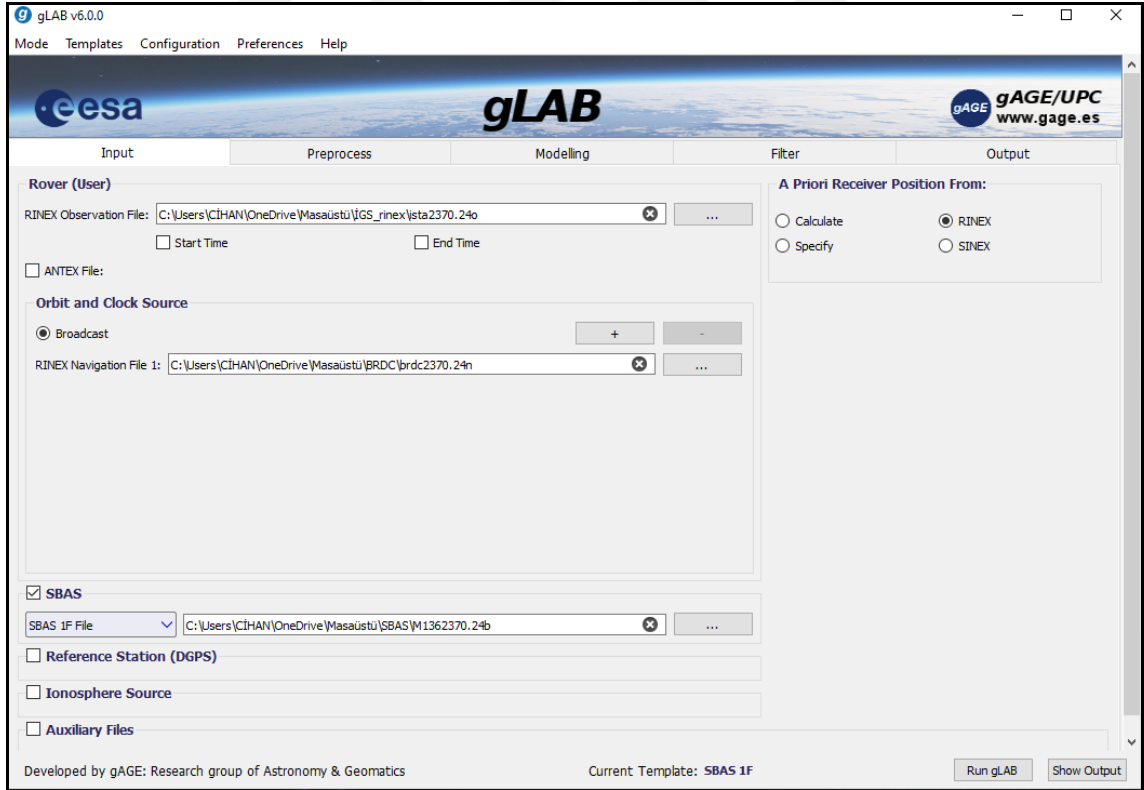
```

INFO Minimum PDOP 0.76 with 33 satellites (G 11 E 7 R 8 C 7) at epoch 24/08/2024 18:16:30.00 / 2024 237 65790.00 / 2328 584190.00
INFO Minimum GDOP 1.22 with 33 satellites (G 11 E 7 R 8 C 7) at epoch 24/08/2024 18:16:30.00 / 2024 237 65790.00 / 2328 584190.00
INFO Minimum TDOP 0.92 with 21 satellites (G 10 E 5 R 6) at epoch 24/08/2024 00:00:00.00 / 2024 237 65790.00 / 2328 518400.00
INFO Minimum HDOP 0.43 with 34 satellites (G 11 E 4 R 9 C 10) at epoch 24/08/2024 12:18:30.00 / 2024 237 44310.00 / 2328 562710.00
INFO Minimum VDOP 0.60 with 33 satellites (G 11 E 7 R 8 C 7) at epoch 24/08/2024 18:16:30.00 / 2024 237 65790.00 / 2328 584190.00
INFO Maximum PDOP 2.74 with 12 satellites (E 4 R 4 C 4) at epoch 24/08/2024 00:26:00.00 / 2024 237 1560.00 / 2328 519960.00
INFO Maximum GDOP 3.52 with 12 satellites (E 4 R 4 C 4) at epoch 24/08/2024 00:26:00.00 / 2024 237 1560.00 / 2328 519960.00
INFO Maximum TDOP 2.64 with 20 satellites (G 1 E 3 R 6 C 10) at epoch 24/08/2024 02:51:00.00 / 2024 237 1560.00 / 2328 528660.00
INFO Maximum HDOP 1.05 with 12 satellites (E 4 R 4 C 4) at epoch 24/08/2024 00:26:00.00 / 2024 237 1560.00 / 2328 519960.00
INFO Maximum VDOP 2.53 with 12 satellites (E 4 R 4 C 4) at epoch 24/08/2024 00:26:00.00 / 2024 237 1560.00 / 2328 519960.00
INFO First epoch of summary for computing positioning error percentiles: 24/08/2024 00:00:00.00 / 2024 237 0.00 / 2328 518400.00
INFO Last epoch of summary for computing positioning error percentiles: 24/08/2024 23:59:30.00 / 2024 237 86370.00 / 2328 604770.00
INFO Horizontal 95 Positioning Error Percentile: 3.93 metres
INFO Vertical 95 Positioning Error Percentile: 3.69 metres
INFO North 95 Positioning Error Percentile: 3.88 metres
INFO East 95 Positioning Error Percentile: 1.59 metres
INFO 3D 95 Positioning Error Percentile: 4.66 metres
INFO Maximum Horizontal Positioning Error: 5.15 metres with 33 satellites (G 10 E 7 R 9 C 7) at epoch 24/08/2024 14:33:00.00 / 2024 237 52380.00 / 2328 570780.00
INFO Maximum Vertical Positioning Error: 9.80 metres with 15 satellites (G 1 E 4 R 5 C 5) at epoch 24/08/2024 00:26:30.00 / 2024 237 1590.00 / 2328 519990.00
INFO Maximum North Positioning Error: 5.15 metres with 33 satellites (G 10 E 7 R 9 C 7) at epoch 24/08/2024 14:33:00.00 / 2024 237 52380.00 / 2328 570780.00
INFO Maximum East Positioning Error: 2.40 metres with 15 satellites (G 1 E 4 R 5 C 5) at epoch 24/08/2024 00:26:30.00 / 2024 237 1590.00 / 2328 519990.00
INFO Maximum 3D Positioning Error: 10.22 metres with 15 satellites (G 1 E 4 R 5 C 5) at epoch 24/08/2024 00:26:30.00 / 2024 237 1590.00 / 2328 519990.00
INFO Total Processing time: 1.453 seconds [User time: 1.328 seconds (91.398%) kernel time: 0.125 seconds (8.602%)]

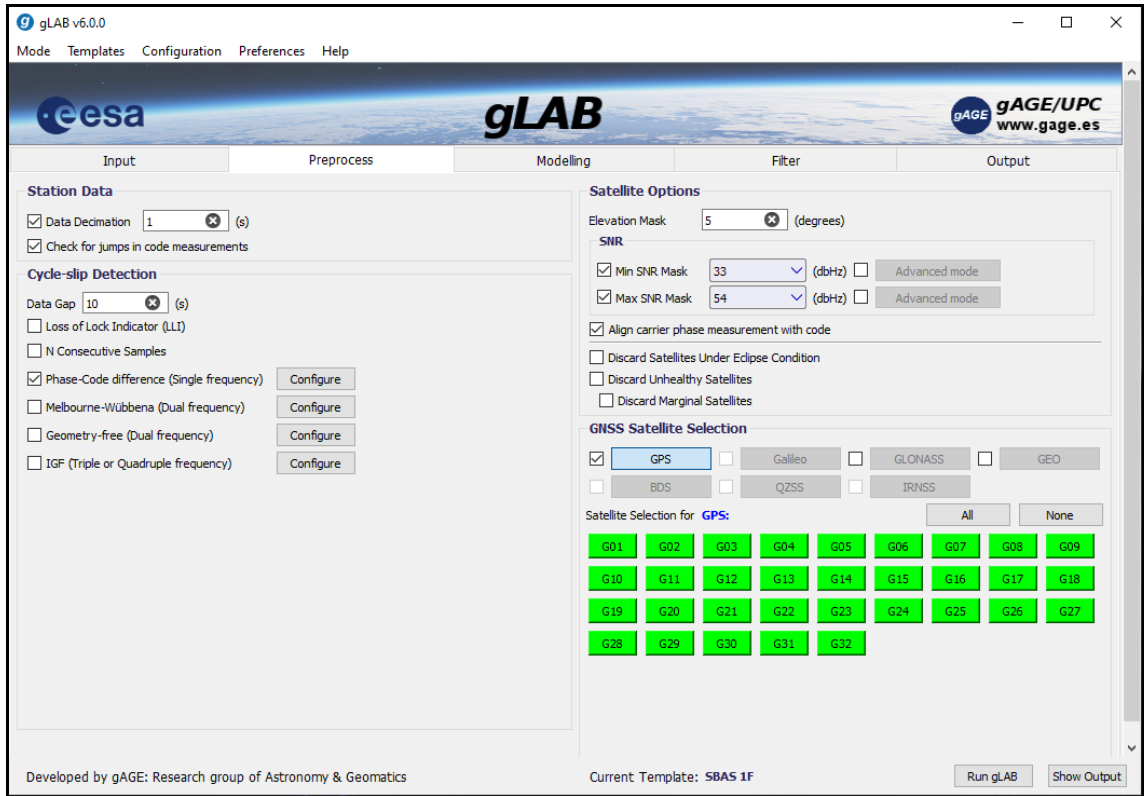
```

Şekil 4.41 Broadcast Efemeris ile gLAB'ın GNSS Konum Doğruluğu

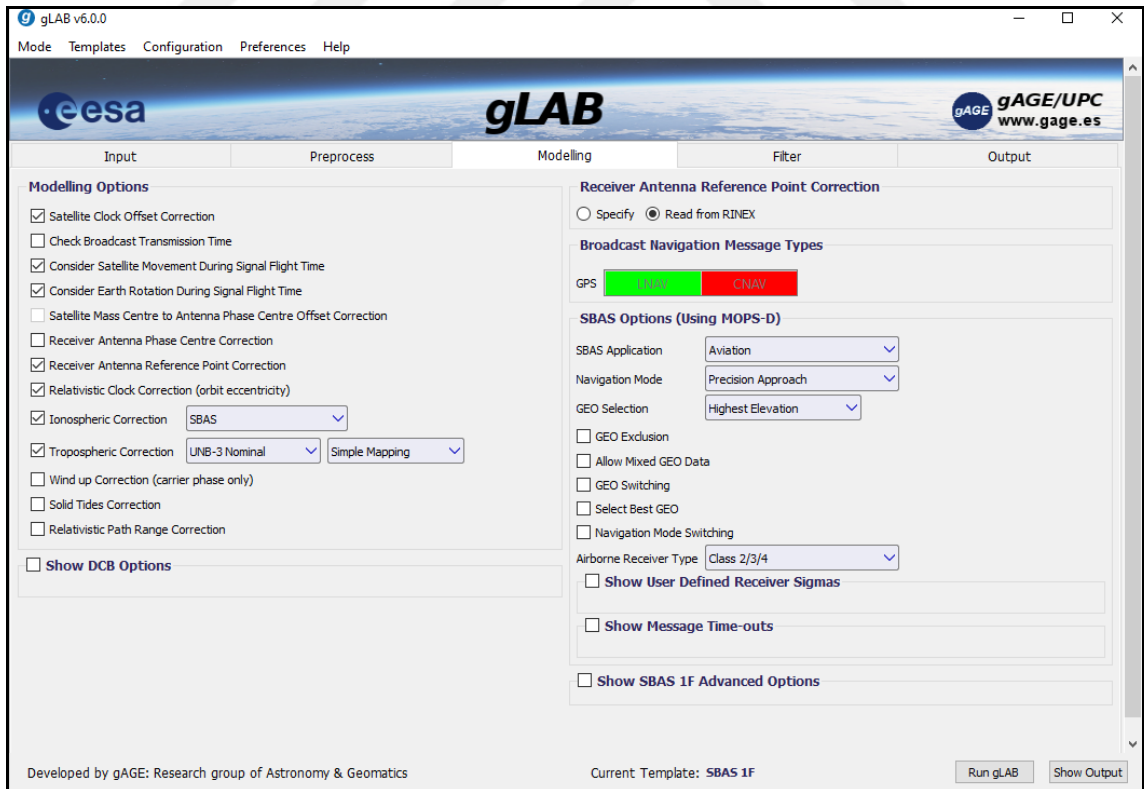
SPP prosesi tamamlandıktan sonra şablonlardan SBAS ikonu seçilir. SBAS için 136 PRN numaralı “*.b” uzantılı mesaj dosyası ftp://serenad-public.cnes.fr/SERENAD0/FROM_NTMFV2/MSG/ ftp adresinden indirilir. Yine İSTA İGS istasyonuna ait 237’inci güne ait rinex ve broadcast efemeris dosyaları gLAB yazılımına girdi yapılarak GPS+SBAS analizi gerçekleştirilir. Yapılan işlemlere ait görseller aşağıda sunulmuştur Şekiller (4. 42-47).



Şekil 4.42 SBAS Verisi, RINEX ve Broadcast Veri Girişi



Şekil 4.43 “SBAS Preprocess” Arayüzü ve Ayarları



Şekil 4.44 “SBAS Modelling” Arayüzü ve Ayarlar

gLAB v6.0.0

Mode Templates Configuration Preferences Help

Input Preprocess Modelling Filter Output

Measurements

☐ Pseudorange ☒ Pseudorange Smoothing

Smoothing

Samples: 100 (epochs) Exclude satellites before reaching steady-state at 360 (epochs)

Measurement Configuration and Noise

☐ Set GNSS Frequencies and Measurements Order

GPS Galileo GLONASS GEO BDS QZSS IRNSS

Configuration for GPS: + -

Code Freq: F1 (L1) Meas: C1C ☒ StdDev from SBAS 1F messages

Smoothing with: Auto

Parameters

Coordinates: 0 1e8 (m²) 1e8 (m²)

Receiver Clock: 0 9e10 m² 9e10 m²

Inter-System Clock Bias: 0 9e10 m² 9e10 m²

☐ Show Reference Clock Configuration

☐ Show Inter-System Clock Bias Source

Available Frequencies

☒ Single-frequency

DOP Filters

☐ Max. HDOP

☐ Max. PDOP

☐ Max. GDOP

Other Options

☒ Prefit Outlier Detector

Threshold (m): 40

☐ Step Detector

Developed by gAGE: Research group of Astronomy & Geomatics

Current Template: SBAS 1F

Run gLAB Show Output

Şekil 4.45 “SBAS Filter” Arayüzü ve Ayarları

gLAB v6.0.0

Mode Templates Configuration Preferences Help

Input Preprocess Modelling Filter Output

Output Files

Output File: C:\Users\CIHAN\OneDrive\Masaüstü\IGS_rinex\gLAB.out

☐ KML File

☐ KML0 File

☐ SP3 File

☐ Ref File

Output Messages

All None

☒ Print INFO ☐ Print MEAS

☒ Print USERADDEDERROR ☐ Print MODEL

☐ Print INPUT ☐ Print SATSEL

☐ Print CS (Cycle-slip) ☐ Print PREFIT

☐ Print SFCSDATA ☐ Print EPOCHSAT

☐ Print MWCSDATA ☐ Print POSTFIT

☐ Print LICSDATA ☐ Print FILTER

☐ Print IGFCSDATA ☒ Print OUTPUT

Clock unit

☒ Metres ☐ Nanoseconds

SBAS Messages

All None

☐ Print SBASCORR

☐ Print SBASVAR

☐ Print SBASIONO

☐ Print SBASUNSEL

☒ Print SBASOUT

☐ Print SBASUNUSED

Summary

☒ Print Summary

Alarm Limits

Horizontal: 40 (m)

Vertical: 50 (m)

Percentile Value: 95 (adimensional)

Window Size (Sliding/Fixed): 15 / 15 (samples)

☒ Ignore epochs for summary until epoch 0h 0m

☐ Start time of summary

Developed by gAGE: Research group of Astronomy & Geomatics

Current Template: SBAS 1F

Run gLAB Show Output

Şekil 4.46 “SBAS Output” Arayüzü ve Ayarları

INFO Horizontal	95	Positioning Error	Percentile:	1.59 metres
INFO Vertical	95	Positioning Error	Percentile:	1.56 metres
INFO North	95	Positioning Error	Percentile:	1.28 metres
INFO East	95	Positioning Error	Percentile:	1.23 metres
INFO 3D	95	Positioning Error	Percentile:	2.04 metres
INFO Horizontal	95	Protection Level	Percentile:	13.80 metres
INFO Vertical	95	Protection Level	Percentile:	25.24 metres
INFO Maximum Horizontal	Positioning Error:	3.34 metres with 5 satellites (G 5) at epoch 24/08/2024 13:17:00.00 / 2024 237 47820.00 / 2328 566220.00		
INFO Maximum Vertical	Positioning Error:	6.72 metres with 5 satellites (G 5) at epoch 24/08/2024 13:17:00.00 / 2024 237 47820.00 / 2328 566220.00		
INFO Maximum North	Positioning Error:	2.33 metres with 7 satellites (G 7) at epoch 24/08/2024 00:06:30.00 / 2024 237 390.00 / 2328 518790.00		
INFO Maximum East	Positioning Error:	3.31 metres with 5 satellites (G 5) at epoch 24/08/2024 13:17:00.00 / 2024 237 47820.00 / 2328 566220.00		
INFO Maximum 3D	Positioning Error:	7.50 metres with 5 satellites (G 5) at epoch 24/08/2024 13:17:00.00 / 2024 237 47820.00 / 2328 566220.00		
INFO Minimum Horizontal	Protection Level:	7.11 metres with 9 satellites (G 9) at epoch 24/08/2024 10:31:30.00 / 2024 237 37890.00 / 2328 556290.00		
INFO Minimum Vertical	Protection Level:	11.20 metres with 9 satellites (G 9) at epoch 24/08/2024 09:07:30.00 / 2024 237 32850.00 / 2328 551250.00		
INFO Maximum Horizontal	Protection Level:	118.90 metres with 4 satellites (G 4) at epoch 24/08/2024 17:05:00.00 / 2024 237 61500.00 / 2328 579900.00		
INFO Maximum Vertical	Protection Level:	244.81 metres with 4 satellites (G 4) at epoch 24/08/2024 17:05:00.00 / 2024 237 61500.00 / 2328 579900.00		
INFO Horizontal	95	Integrity Ratio	Percentile:	0.1751
INFO Vertical	95	Integrity Ratio	Percentile:	0.0928

Şekil 4.47 SBAS+GNSS Konum Doğruluğu

Sonuç olarak GNSS hesaplama (proses) ve GNSS+SBAS hesaplamaları yapılmıştır. Proses işlemi esnasında broadcast efemeris kullanılmasının sebebi SBAS'ın her yerde ve her zaman ulaşılabilen, doğru ve güvenilir bir hizmeti anlık olarak sağlamasıdır. Çünkü hassas uydu yörünge bilgileri için yaklaşık 13- 17 gün bekleme süresi gerekmektedir. Oysa SBAS devamlı bir sistemdir. Yapılan GNSS ve GNSS+SBAS analizleri sonucunda SBAS'ın GPS'e yatay konumda 2.34 metre iyileştirme yaptığı, düşey konumda ise 2.13 metre konum iyileştirmesi yaptığı hesaplanmıştır. Hesaplamalara ait sonuçlar Çizelge 4.12'de sunulmuştur.

Çizelge 4.12. GNSS ve GNSS+SBAS Çözümü ile SBAS'ın Konum İyileştirmesine Ait Sayısal Değerler

	ISTA GPS Konumsal Doğruluk (Metre)	ISTA+SBAS Konumsal Doğruluk (Metre)	İYİLEŞTİRME (Metre)
Yatay Konum Doğruluğu	3.9	1.6	2.3
Düşey Konum Doğruluğu	3.7	1.6	2.1

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında Ankara ili bölgesinde bulunan 10 adet TUTGA noktası test bölgesi olarak seçilmiştir. TUTGA noktalarına ait hız ve koordinat bilgileri Harita Genel Müdürlüğünden temin edilmiş, Statik, PPP, PPP-RTK ve TUSAGA-Aktif (Ağ-RTK) yöntemleri ile arazi çalışması sonucu elde edilen veriler analiz edilerek HGM'den temin edilen koordinatlar ile karşılaştırılmış ve koordinat farkları ile KOH değerleri belirlenmiştir (Çizelge 5.1-Çizelge 5.2). Ayrıca SBAS yönteminin değerlendirilmesi amacıyla İSTA IGS istasyonunun verileri kullanılmıştır. İSTA istasyonuna ait veriler GPS ve GPS+SBAS verilerinin birlikte analiz edilmesi ile SBAS'ın GPS'e ne ölçüde bir konum iyileştirmesi yaptığı hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1. Hesaplanan Kartezyen Koordinatların HGM Koordinatlarından Olan Farkları

NOKTA ADI	HGM KOORDİNATLARINDAN OLAN FARKLAR (cm)											
	Statik			PPP			PPP-RTK			Ağ-RTK (TUSAGA-Aktif)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
AYA2	-1.8	-1.5	-1.9	-4.3	-4.7	-4.6	-7.3	-5.1	-8.2	-2.8	-3.2	-5.6
AYS2	1.4	2.7	0.6	-1.3	0.4	-3.4	-1.7	2.0	-1.7	-5.1	4.2	1.8
BAL2	2.6	4.2	4.7	-0.4	1.6	1.3	-3.8	-0.8	-2.8	0.9	-0.4	-4.7
CAML	-0.1	3.2	0.3	-3.0	2.7	-2.0	0.3	2.7	0.1	-0.7	-2.8	0.2
CBUK	-1.0	-1.0	-0.2	-2.2	-0.8	-2.1	1.7	2.6	3.9	4.7	1.2	3.8
HAYM	-4.2	-1.6	-5.0	-5.5	-2.6	-6.2	-3.3	-0.3	-5.1	1.4	4.8	1.4
KUCU	-2.7	1.4	-1.5	-3.7	1.2	-3.7	-2.6	3.8	-2.1	-13.0	-5.9	-6.9
MESE	-3.8	-1.9	-3.7	-2.9	1.5	-3.9	-3.0	0.4	-2.1	-5.4	-0.8	-3.7
NALL	-2.7	1.2	0.1	-3.8	-0.2	-2.3	2.8	4.7	1.9	5.3	4.6	2.5
PAZR	-0.7	-2.2	-3.3	-2.7	-6.8	-6.3	-18.7	-4.3	-78.2	8.1	-0.2	-0.6
EN KÜÇÜK FARK	-0.1	-1.0	0.1	-0.4	-0.2	1.3	0.3	-0.3	0.1	-0.7	-0.2	0.2
EN BÜYÜK FARK	-4.2	4.2	-5.0	-5.5	-6.8	-6.3	-18.7	-5.1	-78.3	-13.0	-5.9	-6.9
KOH	2.5	2.3	2.8	3.3	3.0	3.9	6.8	3.2	25.0	5.9	3.4	3.8

Çizelge 5.2. Hesaplanan Sağa, Yukarı, Yükseklik Koordinatların HGM Koordinatlarından Olan Farkları ile Hesaplanan 2D ve 3D Doğruluklar

HGM KOORDİNATLARINDAN OLAN FARKLAR (cm)												
NOKTA ADI	STATİK			PPP			PPP-RTK			AĞ-RTK (TUSAGA-Aktif)		
	SAĞA	YUKARI	YÜKSEKLİK	SAĞA	YUKARI	YÜKSEKLİK	SAĞA	YUKARI	YÜKSEKLİK	SAĞA	YUKARI	YÜKSEKLİK
AYA2	-0.3	0.1	-3.0	-1.6	0.4	-7.7	-0.3	-0.6	-12.1	-1.2	-1.7	-6.7
AYS2	1.5	-1.3	2.4	1.0	-2.0	-2.8	2.6	-1.1	-1.4	6.3	2.7	-0.5
BAL2	2.1	0.8	6.4	1.6	0.7	1.2	1.4	0.1	-4.6	-0.9	-4.0	-2.6
CAML	2.8	-0.9	1.4	3.8	-0.8	-2.1	2.1	-1.1	1.4	-1.9	1.5	-1.4
CBUK	-0.2	0.8	-1.2	0.5	-0.1	-3.1	1.3	1.2	4.7	-1.6	-0.1	5.9
HAYM	0.9	-1.0	-6.6	0.8	-1.0	-8.6	1.5	-2.1	-5.5	3.3	-1.3	3.8
KUCU	2.7	-0.2	-2.1	3.0	-1.3	-4.3	4.6	-1.5	-1.4	1.9	3.7	-15.3
MESE	0.4	-0.1	-5.6	2.8	-1.9	-3.8	1.9	-0.2	-3.2	2.3	0.3	-6.2
NALL	2.4	1.1	-1.3	1.9	0.3	-4.1	2.6	-1.8	4.9	1.1	-2.6	7.0
PAZR	-1.4	-1.3	-3.5	-4.3	-0.9	-8.5	6.4	-48.0	-64.4	-4.6	-4.8	4.7
EN KÜÇÜK FARK	-0.2	0.1	1.2	0.5	0.1	1.2	-0.3	0.1	1.4	0.9	0.1	0.5
EN BÜYÜK FARK	2.8	-1.3	6.6	-4.3	-2.0	-8.6	6.4	-48.0	-64.4	6.3	-4.8	-15.3
KOH	1.7	0.9	3.7	2.5	1.1	5.3	3.0	15.2	21.0	3.0	2.7	6.7
2D	2.0			2.7			15.5			4.0		
3D	4.2			5.9			26.1			7.8		

Statik yöntem ile her bir noktada 3'er saat toplanan gözlem verileri GAMIT-GLOBK bilimsel yazılımı ile değerlendirilerek HGM'den temin edilen koordinatlar ve diğer yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda X, Y, Z kartezyen koordinatlarda sırası ile 2.5 cm, 2.3 cm, 2.8 cm karesel ortalama hata hesaplanmıştır. Sağa, yukarı, yükseklik, 2D ve 3D koordinatlarında ise sırası ile 1.7 cm, 0.9 cm, 3.7 cm, 2.0 cm ve 4.2 cm karesel ortalama hata hesaplanmıştır. Sonuçlara göre GAMIT-GLOBK ile yapılan process sonucunda Statik yöntemin diğer yöntemlerden daha hassas koordinat ürettiği belirlenmiştir.

Üçer saat toplanan gözlem verileri PPP yöntemi kullanılarak Bernese bilimsel yazılımında analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, HGM'den elde edilen TUTGA koordinatları ve diğer yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda X, Y, Z kartezyen koordinatlarda sırası ile 3.3 cm, 3.0 cm, 3.9 cm karesel ortalama hata hesaplanmıştır. Sağa, yukarı, yükseklik, 2D ve 3D koordinatlarında ise sırası ile 2.5 cm, 1.1 cm, 5.3 cm, 2.7 cm, 5.9 cm karesel ortalama hata hesaplanmıştır. Sonuçlara göre X ve Y koordinatı Statik yöntemden sonra en iyi yöntem olarak hesaplanmıştır. Z koordinatında ise Statik ve TUSAGA-Aktif (Ağ-RTK) yönteminin daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Ağ-RTK (TUSAGA-Aktif) yöntemi ile TUSAGA-Aktif ağına bağlanılarak TUTGA noktalarında 1 saniyelik aralıklarla 60 epok ölçüm yapılmıştır. Ölçümler HGM'den temin edilen koordinatlar ve diğer yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda X, Y, Z kartezyen koordinatlarda sırası ile 5.9 cm, 3.4 cm, 3.8

cm karesel ortalama hata hesaplanmıştır. Sağa, yukarı, yükseklik, 2D ve 3D koordinatlarında ise sırası ile 3.0 cm, 2.7 cm, 6.7 cm, 4.0 cm, 7.8 cm karesel ortalama hata hesaplanmıştır. Sonuçlara göre X ve Y koordinatında Statik ve PPP yöntemden sonra en iyi yöntem olarak hesaplanmıştır. Z koordinatında ise Statik yöntemden daha kötü PPP yöntemlerinden ise daha iyi sonuçlar verdiği hesaplanmıştır.

PPP-RTK yönteminde ise TUTGA noktalarında taşıyıcı dalga faz belirsizliklerinin tam olarak çözüldüğü (fix) çözüm için cm seviyesinde doğruluk elde edilene kadar beklenmiş ve bekleme süreleri kaydedilerek yakınsama süresi ortalama 3.9 dakika olarak hesaplanmıştır. Elde edilen koordinatlar HGM TUTGA koordinatları ve diğer yöntemler ile elden edilen koordinatlar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda X, Y, Z kartezyen koordinatlarda sırası ile 6.8 cm, 3.2 cm, 25.0 cm karesel ortalama hata hesaplanmıştır. Sağa, yukarı, yükseklik, 2D ve 3D koordinatlarında ise sırası ile 3.0 cm, 15.2 cm, 21.0 cm, 15.5 cm, 26.1 cm karesel ortalama hata hesaplanmıştır. Sonuçlara göre X ve Z koordinatında Statik, PPP ve TUSAGA-Aktif (Ağ-RTK) yöntemlerinin gerisinde kalmıştır. Y koordinatında ise Statik ve PPP yönteminden daha kötü, CORS yönteminden daha iyi sonuçlar verdiği hesaplanmıştır.

SBAS'ın konum iyileştirmesinin hesaplanması amacıyla gLAB programı ile 2024 yılının 237. günü için GPS SPP analizi ve GNSS+SBAS gözlem verilerinin birlikte çözüldüğü analiz yapılmıştır. Analiz işlemi esnasında broadcast efemeris kullanılmıştır. Broadcast efemeris kullanılmasının sebebi SBAS'ın her yerde ve her zaman ulaşılabilen, doğru ve güvenilir bir hizmeti anlık olarak sağlamasıdır. Çünkü final (13- 17 gün) gibi hassas uydu yörünge bilgileri için bekleme süresi gerekmektedir. Oysa SBAS devamlı bir sistemdir. GPS gözlem verileri ile yapılan SPP çözümü ve GPS+SBAS gözlem verilerinin birlikte analiz edilmesi sonucunda elde edilen koordinatlar karşılaştırılmış ve SBAS'ın GPS'e yatay konumda 2.34 metre iyileştirme yaptığı, düşey konumda ise 2.13 metre konum iyileştirmesi yaptığı hesaplanmıştır.

Statik ölçüm yöntemi, yüksek doğruluk istendiğinde, uzun bazlar söz konusu olduğunda, atmosferik etkilerin dikkate alınması durumunda, uydu geometrisi diğer ölçü yöntemlerine olanak vermediğinde, sistematik etkilerin dikkate alınması durumunda (iyonosfer, troposfer) en iyi yöntemdir.

TUSAGA-Aktif (Ağ-RTK) ile herhangi bir yer ve zamanda, birkaç saniye içinde santimetre doğruluğunda harita ve konum bilgisi elde edebilmek mümkündür. Bu yöntemden faydalanmak ve hassas koordinat üretmek için kullanıcı üyeliği, yıllık üyelik ücreti, kapsama alanı, internet olan bir bölgede olma şartı gibi hususlar göz önünde

bulundurmalıdır. Kurumlar tarafında işletme, kurulum ve idame açısından maliyetli olmasına karşın kullanıcılar açısından oldukça düşük maliyetlidir. Zaman açısından da oldukça hızlı bir yöntem olup Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHÜY) Madde-27'ye göre poligon noktası üretiminde kullanılmaktadır.

PPP yöntemi ile tek bir alıcı ile cm doğruluğunda konum elde etmek mümkündür. Düşük maliyetli, her yerde kullanılabilir olması sebebiyle jeodezi ve bilimsel ölçmeler için uygulanabilir bir yöntemdir. Ancak cm doğruluğuna ulaşmanın 15-45 dakika arasında sürmesi, hassas yörünge ve saat bilgilerine ihtiyaç duyması, gerçek zamanlı uygulamalarda sınırlı olması bu yöntemin zayıflıklarıdır.

PPP-RTK ile TUSAGA-Aktif (Ağ-RTK) erişimi sağlanamayan, uzun süreli statik ölçü olanağı olmayan görevlerde, internetin olmadığı durumlarda GEO uyduları üzerinden yaklaşık dört dakika yakınsama süresinde beş santim altında bir konum doğruluğu sağlamak mümkündür. Daha hassas koordinat üretmek için daha uzun süreli beklenme olanağı vardır. Tez sonuçlarına göre doğruluk açısından diğer yöntemlerin (SBAS hariç) gerisinde olmasına karşın üretilen doğruluk değeri cm seviyesindedir. Bu doğruluk pek çok görevler için yeterli olabilmektedir.

SBAS, (WAAS, EGNOS ve MSAS vd.) havacılık sektöründe bir kalite kontrol ve izleme sistemi olarak kullanılmaktadır. GPS alıcılarında hesaplanan konumların doğruluk ve güvenilirliğini arttırıcı (augmentation) düzeltme bilgileri (yörünge, saat ve atmosferik) yer sabit (geostationary) uydularla gönderilir. Burada öne çıkan düşünce, uydu navigasyon sistemlerinin; her yerde ve her zaman ulaşılabilen, doğru, güvenilir ve kullanımı kolay olması, uçakların güvenli bir şekilde uçuşması ve gemilerin özellikle dar boğaz ve kanallarda güvenli yol almalarını sağlamaktır.

SBAS, havacılık sektörü dışında konum belirleme amacı ile de kullanılmaktadır. Ancak bunun için SBAS düzeltmesi alabilen cihaz, abonelik (ücretli) gerekmektedir. EGNOS'un Avrupa Birliği ülkeleri arasında kullanıldığı, ücreti karşılığı da olsa bu hizmetten yararlanılamayacağı bilgisine ulaşılmıştır. Yapılan incelemeler ve literatür taraması neticesinde SBAS'ın konum doğruluğunun 2-5 metre mertebesinde olduğu öğrenilmiştir. Bu mertebedeki doğruluk hassas konumlama çalışmaları için uygun değildir. Fakat navigasyon amaçlı kullanımlar için uygundur.

Yapılan çalışmanın sonucunda: elde edeceğimiz doğruluğun, verinin ne kadar zamanda, hangi süre aralığında, hangi güvenilirlikte, hangi kapsama alanında olduğuna dair bilgiler verilmektedir. SBAS, Ağ-RTK (TUSAGA-Aktif), PPP-RTK ve Statik

ölçüler, jeodezik ölçümler için farklı avantaj ve dezavantajlar sunar. Bu ihtiyaçların belirlenerek doğru ölçüm yönteminin kullanılması en doğru tercih olacaktır. Tüm bu sistemlerin ekonomik açıdan göz önüne alındığında; kullanıcı açısından en hızlı ve ekonomik yöntemin Ağ-RTK olduğu göze çarpmaktadır. Fakat Ağ-RTK dünyanın her yerinde kapsama alanına dahil değildir. En hassas ve doğru sonuç veren yöntem ise Statik ölçüdür. Statik ölçünün dezavantajı ise uzun süreli olmasıdır. PPP yöntemde de Statik yöntemde olduğu gibi hassas koordinat elde edilebilir fakat ölçülerin uzun süreli olması dezavantajdır. PPP-RTK ise geniş kapsama alanı ile GEO uyduları üzerinden konum düzeltmesi ile öne çıkmaktadır. Fakat PPP-RTK'nin dezavantajı ise yakınsama süresidir ve daha geniş testler ile doğruluğunun araştırılması gerekmektedir. SBAS ise havacılık sektöründe bir kalite kontrol ve izleme sistemi olarak kullanılmakta ve konum doğruluğu 1.5-2 metreden daha iyi doğruluklara ulaşamamaktadır. Sonuç olarak, kullanıcıların ihtiyaçlarına uygun yöntemi seçmesi en önemli konudur.

5.2 Öneriler

Uydularla konum belirlemede farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar; Statik Göreli Konum Belirleme, Tek Nokta Konum Belirleme (SPP:Single Point Positioning), Tek Nokta Hassas Konum Belirleme (PPP:Precise Point Positioning), Diferansiyel GNSS (DGNSS), SBAS (Satelite Based Augmentation Systems), Standart RTK (Real Time Kinematic) ve Ağ-RTK (CORS: Continuously Operating Reference Stations) çözümleri olarak özetlenebilir. Bu yöntemler kullanılarak elde edilen çözümler farklı veri yapılarına, alıcı modellerine, veri toplama sıklığına, matematiksel modellemelere vb. dayanmakta olup her bir çözüm yönteminin amacı (jeodezik, jeodinamik, kadastro, meteoroloji, gerçek zamanlı navigasyon vb.) ve hedef kitlesi farklı olabilmektedir.

Tüm bu yöntemlerinin birbirlerine göre üstünlükleri ve zayıflıkları bulunmaktadır. Teknolojinin her geçen gün gelişmesi ve kullanıcıların en hızlı ve maliyetli yöntemlere başvurması olağandır. Bu kapsamda PPP-RTK'nın ilerleyen zamanlarda öneminin artacağı, Ağ-RTK gibi yöntemler ile rekabet içinde olacağı değerlendirilmektedir. PPP-RTK'nın herhangi bir konumda internet ve uydu aracılığıyla hizmet vermesi geleceğin teknolojisi olarak nitelendirmek yadsınamaz bir gerçekliktir. Bu konuda teknoloji üretmenin ekonomik ve askeri alanlarda fayda sağlayacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

SBAS ise kesintisiz, güvenilir bir navigasyon yöntemidir. Kurulum ve işletme açısından PPP-RTK'ya göre daha az maliyetli olabilmektedir. Örneğin SBAS sistemlerinde istasyon sıklığı 500-1000 km civarında iken PPP-RTK sistemlerinde 80-100 km civarlarında olmaktadır. Fakat SBAS ve PPP-RTK'nın birlikte sunulacağı bir uydu sisteminin tasarlanmasının ekonomik, bilimsel ve askeri alanda ciddi faydalar sağlayabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

EGNOS'un ülkemizde yeterince istasyon ağı olmadığı için yersel ölçmeler anlamında konum belirleme hizmeti teknik olarak yapılamamaktadır. Ortak istasyon ve işbirliği ile EGNOS kapsama alanı artırılarak Avrupa Birliği ülkeleri gibi EGNOS'un konum belirleme hizmetlerinden yararlanılabilmesi teknik olarak olanaklıdır. Bu gibi sistemler ile ortaklaşa işlerin maliyet ve karşılıklı fayda açısından önemli olduğu aşikardır.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın başarıyla sonuçlanabilmesi için ihtiyaç duyulan GNSS verileri ve TUTGA nokta koordinatları bedelsiz olarak Harita Genel Müdürlüğü tarafından sağlanmış olup, teşekkürü borç bilirim.



KAYNAKLAR

- Alkan, R. M., & Öcalan, T. (2013). Usability of the GPS precise point positioning technique in marine applications. *The Journal of Navigation*, 66(4), 579-588.
- Alkan, R. M., Saka, M. H., Ozulu, İ. M., & İlçi, V. (2017). Kinematic precise point positioning using GPS and GLONASS measurements in marine environments. *Measurement*, 109, 36-43.
- Alkan, R. M., Erol, S., İlçi, V., & Ozulu, İ. M. (2020). Comparative analysis of real-time kinematic and PPP techniques in dynamic environment. *Measurement*, 163, 107995.
- Bahadur, B. (2017). *Improving the performance of Precise Point Positioning with multi-GNSS* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Bahadur, B., & Nohutcu, M. (2018). Türkiye ve yakın çevresi için çoklu-GNSS kombinasyonlarının PPP performansına etkisi. *Harita Dergisi*, 84(160), 1-11.)
- Bülbül, S., İnal, C., & Yıldırım, Ö. (2015). Nokta Konumlarının Belirlenmesinde GZK, Ağ GZK ve Total Station Verilerinin Karşılaştırılması. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(2), 27-35.
- Cai, C., Gao, Y., Pan, L. and Zhu, J., 2015, Precise point positioning with quad constellations: GPS, BeiDou, GLONASS and Galileo, *Advances in space research*, 56 (1), 133-143.
- Choy, S., Bisnath, S., & Rizos, C. (2017). Uncovering common misconceptions in GNSS Precise Point Positioning and its future prospect. *GPS solutions*, 21, 13-22
- Ibáñez, D., Rovira-Garcia, A., Sanz, J., Juan, J. M., González-Casado, G., Jimenez-Baños, D., ... & Lapin, I. (2018, December). The GNSS laboratory tool suite (gLAB) updates: SBAS, DGNSS and global monitoring system. In 2018 9th ESA Workshop on Satellite Navigation Technologies and European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing (NAVITEC) (pp. 1-11). IEEE.
- D. Lawrence, D. Bunce, N.G. Mathur, C.E. Sigler: Wide Area Augmentation System (WAAS)– Program status, ION GNSS2007, FortWorth (ION, Virginia 2007) pp. 892–899
- Dawidowicz, K., & Krzan, G. (2014). Accuracy of single receiver static GNSS measurements under conditions of limited satellite availability. *Survey review*, 46(337), 278-287
- Du, S., Shu, B., Xie, W., Huang, G., Ge, Y., & Li, P. (2022). Evaluation of real-time precise point positioning with ambiguity resolution based on Multi-GNSS OSB products from CNES. *Remote Sensing*, 14(19), 4970.

- Enge, P., Walter, T., Pullen, S., Kee, C., Chao, Y. C., & Tsai, Y. J. (1996). Wide Area Augmentation of the Global Positioning System. *Proceedings of the IEEE*, 84(8), 1063-1088.
- Erol, S., Alkan, R. M., Ozulu, I. M., & İlçi, V. (2020). Performance analysis of real-time and post-mission kinematic precise point positioning in marine environments. *Geodesy and Geodynamics*, 11 (6), 401–410.
- European GNSS Agency (GSA). (2021). *Galileo High Accuracy Service*.
- Fu, W., Huang, G., Yang, Y., Zhang, Q., Cui, B., Ge, M. and Schuh, H., 2019, Multi GNSS combined precise point positioning using additional observations with opposite weight for real-time quality control, *Remote Sensing*, 11(3), 311.
- Hadas, T., Kazmierski, K. and Sosnica, K., 2019, Performance of Galileo-only dual frequency absolute positioning using the fully serviceable Galileo constellation, *GPS Solutions*, 23(4), 1-12.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J. (2001). *Küresel Konumlandırma Sistemi: Teori ve Uygulama*. Springer.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Wasle, E., 2008, *GNSS–Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*, Springer Science & Business Media, New York.
- J.A. Klobuchar: Ionospheric effects on GPS. In: *Global Positioning System: Theory and Applications*, Vol. 1, ed. by B.W. Parkinson, J.J. Spilker (AIAA, Washington DC 1996), pp. 485–515, Chap. 12
- Kahveci, M. (2010). GPS/GNSS Gözlemlerini Değerlendirme Yöntemlerinde Son Gelişmeler. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (102), 3-9.
- Kahveci M. (2011). *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi* 2009/1 Sayı 100)
- Kahveci, M. (2014). Uydularla konum belirleme sistemleri (GNSS)’nin hassas tarımda kullanımı ve sağladığı katkılar. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 35-48. 2014, 6(2) 35-48
- Kahveci, M. (2017). Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları. *Zerpa Yayınları*, 102
- Kahveci, M., & Kırtıl, S. (2022). GNSS ile Konum Belirlemede Farklı Troposferik Modellerin İncelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 24(71), 475-486
- Kahveci, M., & Yıldız, F. (2018). *GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri Teori–Uygulama*, 10. Basım, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti, 2018

- Kahveci, M., Karagöz, H., & Selbesoğlu, M. O. (2011). Statik ve RTK GNSS ölçüm ve hesaplamalarının karşılaştırılması. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (104), 3-13.
- Kouba, J., Héroux, P., 2001, GPS precise point positioning using IGS orbit products, *GPS Solutions* 5:2, 12-28.
- Kaplan, E. D., & Hegarty, C. J. (2006). *Understanding GPS: Principles and Applications*. Artech House.
- Kouba, J. (2009, May). A guide to using International GNSS Service (IGS) products.
- Kouba, J., Lahaye, F. and Tétreault, P., 2017, Precise point positioning. In: *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*, Springer, Cham Switzerland, 723-751.
- Li, X., Huang, J., Li, X., Shen, Z., & Han, J. (2022). *Review of PPP-RTK: achievements, challenges, and opportunities. Satellite Navigation* 3, 28
- Liu, G., Zhang, X. and Li, P., 2019, Improving the performance of Galileo uncombined precise point positioning ambiguity resolution using triple-frequency observations, *Remote Sensing*, 11(3), 341.
- Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment (RTCA, Washington DC 2013)
- Misra, Pratap, ve Per Enge. "Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance." Ganga-Jamuna Press, 2011
- Montenbruck, O., Steigenberger, P., & Hauschild, A. (2015). Broadcast versus precise ephemerides: a multi-GNSS perspective. *GPS solutions*, 19, 321-333.
- Mutlu, İ., & Kahveci, M. (2019). GNSS uydu dağılımının gerçek zamanlı kinematik gnss ve ağ-rtk ölçülerindeki önemi. *Geomatik*, 4(3), 179-189
- Nie, Z., Zhou, P., Liu, F., Wang, Z., & Gao, Y. (2019). Evaluation of orbit, clock and ionospheric corrections from five currently available SBAS L1 services: methodology and analysis. *Remote Sensing*, 11(4), 411.
- Odijk, D., 2017, Positioning model. In: *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*, Springer, Cham Switzerland, 605-638.
- Parkinson, B. W., & Spilker, J. J. (1996). *Global Positioning System: Theory and Applications*. American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Petit, G. (2010). IERS conventions (2010).
- Psychas, D. ve Verhagen, S. (2020). Çok ölçekli ağ yapılandırmalarından iyonosferik düzeltmeler kullanılarak gerçek zamanlı PPP-RTK performans analizi. *Sensörler* , 20 (11), 3012

- Raquet, J. F. (1998). Development of a method for kinematic GPS carrier-phase ambiguity resolution using multiple reference receivers (Doctoral dissertation, University of Calgary).
- Rizos, C., Janssen, V., Roberts, C., Grinter, T., 2012, Precise point positioning: is the era of differential GNSS positioning drawing to an end?, FIG Working Week 2012, Roma, İtalya.
- Rovira-Garcia, A.; Juan, J.; Sanz, J.; González-Casado, G.; Ibáñez, D. GNSS ve SBAS'ta kullanılan iyonosferik modellerin doğruluğu: Metodoloji ve analiz. *J. Geod.* 2016 , 90 , 229–240
- RTCA. *Küresel Konumlandırma Sistemi/Geniş Alan Artırma Sistemi Hava Ekipmanları için Minimum Operasyonel Performans Standartları, RTCA DO-229D* ; Havacılık Radyo Teknik Komisyonu (RTCA): Washington, DC, ABD, 2006.
- Scherneck, H. G. (1991). A parametrized solid earth tide model and ocean tide loading effects for global geodetic baseline measurements. *Geophysical Journal International*, 106(3), 677-694
- Schmid, R., Steigenberger, P., Gendt, G., Ge, M., & Rothacher, M. (2007). Generation of a consistent absolute phase-center correction model for GPS receiver and satellite antennas. *Journal of Geodesy*, 81, 781-798.
- Souza, E., Monico, J.F.G. and Pagamisse, A., 2009, GPS satellite kinematic relative positioning: analyzing and improving the functional mathematical model using wavelets, *Mathematical Problems in Engineering*, 1-19
- Teunissen, P. J. G., & Montenbruck, O. (Eds.). (2017). *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*. Springer.
- Van Sickle, J., 2008, *GPS for land surveyors*, Third Edition, Crc Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York.
- Wu, J. T., Wu, S. C., Hajj, G. A., Bertiger, W. I., & Lichten, S. M. (1993). Effects of antenna orientation on GPS carrier phase. *Manuscripta geodaetica*, 18(2), 91-98.
- Xu, G. and Xu, Y., 2016, *GPS Theory, Algorithms and Applications* (Third edition), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Yalçın, B., İnal, C., & Kalaycı, İ. (2008). GPS ölçü süresinin nokta konum doğruluğu ile ilişkisi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23(1), 19-26.
- Zumberge, J., Heflin, M., Jefferson, D., Watkins, M. and Webb, F., 1997, Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, *Journal of geophysical research: solid earth*, 102, 5005-5017.

- URL-2 <https://leica-geosystems.com/products/gnss-systems/smart-antennas>
- URL-3 <https://geospatial.trimble.com/en/products/hardware/gnss-systems>
- URL-4 <https://kb.unavco.org/article/geodetic-gps-antenna-mast-predecessor-to-the-tech-2000-201.html>
- URL-5 <https://www.harita.gov.tr/public/sunum/>
- URL-6 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/navi.452>
- URL-7 https://www.radionavigeringsnamnden.se/media/1023/04-samiehalissa_lantmaeteriet-ppp.pdf
- URL-8 https://www.geopp.de/wp-content/uploads/2020/09/SSR_Flyer_v3.pdf
- URL-9 <https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/egnos/what-sbas>
- URL-10 <https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/egnos>
- URL-11 <https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/egnos>
- URL-12 <https://www.ursc.gov.in/navigation/gagan.jsp>
- URL-13 <https://www.nec.com/en/global/solutions/cns-atm/navigation/msas.html>
- URL-14 <https://insidegnss.com/russia-will-install-glonass-monitoring-stations-in-china-china-to-reciprocate/>
- URL-15 <http://geoweb.mit.edu/gg/>
- URL-16 http://geoweb.mit.edu/gg/docs/GAMIT_Ref.pdf
- URL-17 http://geoweb.mit.edu/gg/docs/GLOBK_Ref.pdf
- URL-18 http://geoweb.mit.edu/gg/docs/Intro_GG.pdf
- URL-19 <https://www.harita.gov.tr/jcodezik-faaliyetler2>
- URL-20 https://www.epncb.oma.be/_productsservices/coord_trans/
- URL-21 <http://www.bernese.unibe.ch/>
- URL-22 www.bernese.unibe.ch/docs/DOCU52.pdf