



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**GPS L1-C1 VE Galileo E1-C1 GÖZLEMLERİ
KULLANILARAK ÜÇ BOYUTLU KONUM
BELİRLENMESİ ÜZERİNE ARAŞTIRMA**

Emre AYSO

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Emre AYSO tarafından hazırlanan “GPS L1-C1 VE Galileo E1-C1 GÖZLEMLERİ KULLANILARAK ÜÇ BOYUTLU KONUM BELİRLENMESİ ÜZERİNE ARAŞTIRMA” adlı tez çalışması 14/07/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği 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

.....

Danışman

Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ

.....

Üye

Prof. Dr. Reha Metin ALKAN

.....

Üye

Prof. Dr. Ekrem TUŞAT

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
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.

Emre AYSO

Tarih: 14.07.2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GPS L1-C1 VE Galileo E1-C1 GÖZLEMLERİ KULLANILARAK ÜÇ BOYUTLU KONUM BELİRLENMESİ ÜZERİNE ARAŞTIRMA

Emre AYSO

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

Danışman: Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ

2021, 83 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ
Prof. Dr. Reha Metin ALKAN
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT**

Son yıllarda uydu teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak özellikle navigasyon amaçlı uygulamalar için tek bir alıcı ile maliyeti düşük, yüksek doğruluklu ve gerçek zamanlı konum belirlemek olanaklı hale gelmiştir. Tek nokta konum belirleme veya mutlak konum belirleme adı verilen bu yöntemde herhangi bir sabit istasyonda toplanan GNSS verilerine ihtiyaç duyulmamakta, nokta koordinatları hem gerçek zamanlı hem de ölçü sonrası büro da (post-process) yapılan hesaplamalarla yüksek doğrulukta belirlenebilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında kod ölçüleri ile tek nokta (mutlak) konum belirleme amaçlı KTUN_HRT isimli bir yazılım hazırlanmıştır. GPS ve Galileo uydu sistemlerine ait C1 kod gözlemlerinin kullanıldığı bu yazılımda; atmosferik düzeltme modelleri (iyonosfer ve troposfer), yayın ve hassas yörünge bilgileri de kullanılarak En Küçük Kareler (EKK) yöntemi ile hesaplanan 3 boyutlu nokta konum doğrulukları araştırılmıştır. Söz konusu yazılımda ayrıca, kullanıcı dostu bir arayüz tasarlanarak kullanıcının dilediği hesaplama senaryolarını gerçekleştirebilme olanağı da sunulmuştur. Tezin sayısal uygulama kısmında 22 ve 23 Nisan 2021 tarihli 5 IGS istasyonuna ait 24 saatlik gözlem verileri kullanılarak farklı hesap senaryoları oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar online GNSS veri değerlendirme servislerinden olan “Trimble CenterPoint RTX Post-Processing Service” ve “AUSPOS” kullanılarak elde edilmiş sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Söz konusu sonuçlara göre; yayın efemerisi kullanılarak yapılmış olan Galileo ve GPS çözümleri arasında çok büyük farkların olmadığı bir başka ifadeyle $\pm 1-3$ metre doğruluk sınırları içerisinde kaldığı, hassas efemeris kullanılarak yapılmış Galileo ve GPS çözümleri karşılaştırıldığında ise özellikle 22 Nisan tarihli verilerde, Galileo+hassas efemeris çözümlerinin GPS+hassas efemeris çözümlerine göre daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca, tez çalışması kapsamında, çok frekanslı ve faz ölçüleri kullanmaları nedeniyle, doğru olduğu kabul edilen RTX ve AUSPOS ile elde edilen sonuçların KTUN_HRT GPS sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Sonuç olarak tez çalışması kapsamında hazırlanmış olan KTUN_HRT yazılımının tek nokta konum belirleme uygulamaları için güvenle kullanılabilir yazılım olduğu RTX ve AUSPOS çözümleri ile de doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: AUSPOS, Galileo, GPS, Hassas Efemerisi, KTUN_HRT, RTX, Yayın Efemerisi

ABSTRACT

MS THESIS

RESEARCH ON THREE-DIMENSIONAL POSITION DETERMINATION USING GPS L1-C1 AND Galileo E1-C1 OBSERVATIONS

Emre AYSO

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

Advisor: Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ

2021, 83 Pages

**Jury
Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ
Prof. Dr. Reha Metin ALKAN
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT**

In recent years, parallel to the developments in satellite technology, it has become possible to determine low-cost, high-accuracy and real-time positioning with a single receiver, especially for navigational purposes. No GNSS reference station data is needed in this method, which is called single point positioning or absolute positioning, and point coordinates can be determined with high accuracy in both real-time and post-processing.

Within the context of this thesis, a software named KTUN_HRT has been prepared for single point (absolute) positioning with code measurements. In this software, 3D point positioning accuracies have been investigated by Least Squares Method (LSM) using C1 code observations of GPS and Galileo satellite system, atmospheric correction models (ionosphere and troposphere), broadcast and precise ephemeris information. Also, a user-friendly interface has been designed and thus users have the opportunity to perform the computation scenarios depending on their preferences. In the numerical application part of the thesis, different computation scenarios were created using 24-hour observation data of 5 IGS stations on April, 22nd and 23rd 2021. The results obtained were compared with the results obtained using “Trimble CenterPoint RTX Post-Processing Service” and “AUSPOS”, which are online GNSS data evaluation services. According to the aforementioned results, there is not much difference between Galileo and GPS solutions made using broadcast ephemerides, in other words, it remains within $\pm 1-3$ meters accuracy limits. On the other hand, especially in the data dated April 22nd, Galileo+precise ephemeris solutions yielded more accurate results than GPS+precise ephemeris solutions. Besides, it was seen that the results obtained with RTX and AUSPOS, which are accepted as correct because they use multi-frequency and phase measurement data, are compatible with KTUN_HRT GPS results. As a result, it has been confirmed by RTX and AUSPOS solutions that the KTUN_HRT software, which was prepared within the context of this thesis study, can be used reliably for single point positioning applications.

Keywords: AUSPOS, Galileo, GPS, Precise Ephemeris, KTUN_HRT, RTX, Broadcast Ephemeris

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimine başladığım ilk andan itibaren tezin planlanmasında, yürütülmesinde ve geliştirilmesinde katkılarımı esirgemeyen, her türlü zorlukta değerli bilgi ve birikimleri ile çalışmama ışık tutan, gelecekteki mesleki hayatımda da verdiği değerli bilgilerden hiç kuşkusuz faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan kıymetli aileme, tüm süreç boyunca yanımda olan stresimi ve zorluklarımı paylaştığım sevgili arkadaşım Sümeyra Kırtıl'a teşekkür ederim.

Tezin yazılım kısmında kritik noktalardaki katkılarıyla ilerlememi sağlayan Katalonya Politeknik Üniversitesi Astronomi ve Geomatik Araştırma Grubu'ndan araştırmacı sayın Deimos Ibáñez Segura'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak çalışmam boyunca varlığını her daim yanımda hissettiğim sevgili Konya Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği ailesine teşekkürlerimi sunuyorum.

Emre AYSO
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
3.1. Global Konum Belirleme Sistemi (GPS).....	7
3.1.1 GPS'in bölümleri	8
3.1.2. GPS sinyalleri	9
3.1.3. GPS'te kullanılan koordinat ve zaman sistemleri.....	11
3.1.4. GPS uydu yörünge bilgileri	14
3.1.5. GPS ile gözlenen büyüklükler	18
3.2. Galileo Uydu Sistemi.....	18
3.2.1. Galileo sinyalleri.....	19
3.2.2. Galileo navigasyon mesajı.....	21
3.2.3. Galileo yörünge bilgileri ve koordinat sistemi.....	22
3.3. GNSS Temel Hata Kaynakları.....	24
3.3.1. Uydu yörünge bilgisi hatası	25
3.3.2. Atmosferik etkiler	25
3.3.3. Sinyal yansıma etkisi	28
3.3.4. Alıcı anteni faz merkezi hatası.....	29
3.3.5. Taşıyıcı dalga faz belirsizliği (ambiguity)	29
3.3.6. Sinyal kesiklikleri (cycle slips).....	30
3.4. GNSS ile Konum Belirleme Yöntemleri	30
3.4.1. Uydu ECI ve ECEF koordinatları hesabı.....	34
3.4.2. Kod gözlemlerine dayalı alıcı koordinatı hesabı	37
4. GPS + Galileo ÖZELLİKLİ TEK NOKTA KONUM BELİRLEME YAZILIMI (KTUN_HRT).....	42
4.1. Genel Bilgiler.....	42
4.2. Yazılım Algoritması	42
4.3. Yazılım Menüleri ve Kullanımı	44
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	59
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a	: Elipsin büyük yarı eksen
A	: Düzeltme denklemleri katsayılar matrisi
a_{f0}, a_{f1}, a_{f2}	: Uydu saat parametreleri
C_{uc}, C_{us}	: Enlem argümanı düzeltmesi
C_{rc}, C_{rs}	: Yörünge yarıçapı düzeltmesi
C_{ic}, C_{is}	: Eğim açısı düzeltmesi
e	: Dışmerkezlik (Eksentrisite)
E_k	: Dışmerkez anomali
G	: Greenwich meridyeni
I_R^{SV}	: Uydu ve alıcı arasındaki iyonosferik düzeltme
i	: Eğim açısı
i_0	: Referans epöğündeki eğim
i_k	: Düzeltilmiş eğim
M_k	: Ortalama anomali
n	: Düzeltilmiş ortalama hareket
r_k	: Düzeltilmiş jeosentrik yarıçap
t_{GPS}	: GPS zamanında uydu sinyali yayını
t_s	: Uydu saati zamanında sinyal yayını
t_{oc}	: Uydu saati referans zamanı
t_{oe}	: Efemeris referans zamanı
T_R^{SV}	: Uydu ve alıcı arasındaki troposferik düzeltme
u	: Enlem argümanı (φ_k)
U_k	: Düzeltilmiş enlem argümanı
v	: Gerçek anomali
X_k, Y_k, Z_k	: ECEF koordinat sisteminde X, Y ve Z bileşeni
X'_k, Y'_k	: ECI koordinat sisteminde X ve Y bileşeni
X_0, Y_0, Z_0	: Yaklaşık uydu koordinatları
X_R, Y_R, Z_R	: Alıcı koordinatları
X^{SV}, Y^{SV}, Z^{SV}	: Uydu koordinatları
Δn	: Ortalama hareket farkı
$\Delta\rho_R^{SV}$: Gözlenen – hesaplanan düzeltme getirilmemiş uydu-alıcı (pseudorange) vektörü
Δt_R	: Alıcı saat hatası
Δt_{re}	: Relativite düzeltmesi
Δt_s	: Düzeltme terimi
δX	: Bilinmeyenler vektörü
θ	: Yıldız zamanı
λ	: Yükselen düğüm argümanı
ω	: Perigee argümanı
Ω_k	: Yükselen düğüm noktası düzeltilmiş boylamı
Ω_o	: Yükselen düğüm noktası boylamı
$\dot{\Omega}$: Rektansiyon değişim hızı
ρ_0^{SV}	: Uydu ve alıcı arasındaki toposentrik uzunluk
ρ_R^{SV}	: Uydu-alıcı uzaklığı (pseudorange) genel eşitliği

Kısaltmalar

AIUB	: Astronomical Institute of the University of Bern
ARNS	: Aeronautical Radio Navigation
ASCII	: American Standart Code for Information Interchange
AS	: Anti-Spoofing
BIPM	: Bureau International des Poids et Mesues
C/A	: Coarse/Acquisition
CCRS	: Conventional Celestial Reference System
CDDIS	: Crustal Dynamics Data Information
CGCS2000	: China Geodetic Coordinate System 2000
CIS	: Conventional Inertial System
C-NAV	: Commercial Navigation Message
CODE	: Centre for Orbit Determination in Europe
CORS	: Continuously Operating Reference Station
CRF	: Celestial Reference Frame
CS	: Commercial Service
CTP	: Conventional Terrestrial Pole
CTRF	: Conventinal Terrestrial Reference Frame
CTRS	: Conventional Terrestrial Reference System
CTS	: Conventional Terrestrial System
DGPS	: Differential GPS
ECEF	: Earth Centered Earth Fixed
ECI	: Earth Centered Inertial
EGNOS	: European Geostationary Navigation Overlay Service
EKK	: En Küçük Kareler
EMR	: Energy Mines and Resources
ESA	: European Space Agency
F/NAV	: Freely Accesible Navigation Message
FOC	: Full Operation Capability
gAGE	: Research group of Astronomy and Geomatics
GIOVE A-B	: Galileo In-Orbit-Validation A-B
gLAB	: GNSS-Lab Tool
GMF	: Global Mapping Function
G/NAV	: Governmental Navigation Message
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
GPST	: GPS Time
GTRF	: Galileo Terrestrial Reference Frame
GUI	: Graphical User Interface
IERS	: International Earth Rotation and Reference Service
IGS	: International GNSS Service
I/NAV	: Integrity Navigation Message
IOV	: In Orbit Validation
ITU	: International Telecommunications Union
ITRF	: International Terrestrial Reference Frame
JPL	: Jet Propulsion Laboratory
LSM	: Least Square Method
L1	: Link 1
L2	: Link 2

MEO	: Medium Earth Orbit
MGEX	: Multi GNSS Experiment
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NNSS	: Navy Navigation Satellite System
OS	: Open Service
P Code	: Precision/Protected Kod
PPP	: Precise Point Positioning
PPS	: Precise Positioning Service
PRN	: Pseudo Random Noise
PRS	: Public Regulated Service
PZ 90	: Parametry Zemli-Parameters of the Earth 1990
RINEX	: Receiver Independent Exchange Format
RMS	: Root Mean Square
RNSS	: Radio Navigation Satellite Service
RTK	: Real Time Kinematic
S-A	: Selective-Availablity
SAR	: Search and Rescue Service
SBAS	: Satellite-Based Augmentation Systems
SIS	: Signal In Space
SoL	: Safety-of-Life Service
SP3	: Standart Product 3
SPP	: Single Point Positioning
SPS	: Standart Positioning Service
TAI	: International Atomic Time
TUSAGA-Aktif	: Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif
USNO	: The United States Naval Observatory
UT	: Universal Time
UTC	: Coordinated Universal Time
VMF	: Vienna Mapping Function
WGS 84	: World Geodetic System 1984

1. GİRİŞ

İnsanoğlu ilk çağlardan itibaren sürekli olarak konumunu belirleme ihtiyacı duymuş ve bunun için birçok sistem geliştirmiştir. İlkel konum belirleme yöntemleri zamanla gereksinimleri karşılayamamış, gün geçtikçe gelişen teknoloji konum belirlemede yeni ufukların açılmasına sebep olmuştur. 04 Ekim 1957 tarihinde Sovyetler Birliği tarafından Dünya'nın ilk yapay uydusu olan Sputnik-1 uzay aracının fırlatılmasıyla uydu bazlı konum belirlemede yeni bir dönem başlamıştır.

NAVSTAR/GPS (Navigation Satellite Timing and Ranging/Global Positioning System), askeri kullanıcıların global bir referans sisteminde konumlarını, hızlarını ve zamanlarını doğru bir şekilde belirleyebilmeleri için ABD Savunma Bakanlığı tarafından geliştirilen daha sonra sivil kullanıma açılan küresel bir konum belirleme sistemidir. Dünya'nın herhangi bir yerinde en az dört GPS uydusundan gözlem yapacak şekilde tasarlanan sistem, her türlü hava koşulunda, yüksek duyarlılıkta ve ekonomik olarak konum belirlenmesine olanak veren uydu tabanlı bir radyo navigasyon sistemidir (Seeber, 2003). ABD'nin GPS ile öncülük ettiği, Rusya'nın GLONASS, Avrupa Birliği'nin Galileo, Çin'in BeiDou/COMPASS, Japonya'nın QZSS ve Hindistan'a ait IRNSS/GAGAN gibi sistemlerin tümü GNSS (Global Navigation Satellite System) olarak adlandırılmaktadır (Teunissen ve Montenbruck, 2017; Kahveci ve Yıldız, 2018).

GNSS verilerinin konum belirleme amaçlı kullanılmaya başlamasıyla özellikle haritacılıktaki ölçü ve hesaplama tekniklerinde önemli değişimler yaşanmıştır. GPS'in ilk yıllarında gerçek zamanlı konum belirleme yaklaşık 300 metre doğrulukla elde edilebildiğinden, haritacılık amaçları için ölçü sonrası büroda (post-process) hesaplamalara yoğunlaşmış, santimetre ve desimetre doğruluklara uzun statik ölçü ve hesap süreleri ile ulaşılabilmiştir. Ancak, zaman içerisinde uydu ve bilgisayar teknolojisindeki köklü değişiklikler sonucu büro hesaplamaları ile ulaşılabilen doğruluklara gerçek zamanlı ölçü ve hesaplamalarla ulaşılabilme yolları geliştirilmiştir. Bu hedeflere ise Diferansiyel GPS (DGPS), Klasik Real Time Kinematik (RTK) ve Continuously Operating Reference Stations (CORS) ağları ile ulaşılmiştir (Kahveci, 2017). Ancak bu tekniklerin tamamı referans istasyon prensibine dayalı görelî konum belirleme yöntemleridir. Bu noktadan hareketle, referans istasyon prensibine dayalı olmayan ve tek bir alıcı konum belirlemeye olanak veren mutlak konum belirleme

teknğinde de gerçek zamanlı ve yüksek doğruluklu (dm altı) konum belirleme algoritmaları üzerinde yoğun araştırma çalışmaları halen devam etmektedir.

Bu şekilde ortaya çıkan yöntem Hassas Nokta Konum Belirleme (Precise Point Positioning, PPP) olarak bilinmektedir (Kahveci ve ark., 2011). Diğer bir yöntem ise 1980'lerden beri sivil navigasyon olarak yaygın biçimde kullanılan Tek Nokta Konum Belirleme (Single Point Positioning, SPP) tekniğidir. Tek frekanslı kod ölçümleri kullanılan bu teknikte doğruluk, geçmişte çeşitli hata kaynaklarından dolayı onlarca metre ile sınırlı iken günümüzde GPS modernizasyonunda kaydedilen ilerlemeler ile sivil kod ölçü kalitesinin geliştirilmesi ve yayın efemerislerinin iyileştirilmesi gibi SPP performansını iyileştirme çabalarında önemli gelişmeler halen devam etmektedir (Pan ve ark., 2016).

Bu tez çalışması kapsamında MATLAB (R2020a) platformu kullanılarak (URL-1) GPS ve Galileo uydularından alınan L1 ve E1 frekans bantlarında C1 kod gözlemlerini kullanan GPS+Galileo tabanlı üç boyutlu konum belirleme hesabı yapan bir mutlak konum belirleme (SPP) yazılımı hazırlanmıştır. Yazılım kapsamında SPP tekniği ile belirli atmosferik modeller, yayın efemerisi ve IGS hassas yörünge bilgileri de kullanılarak ne kadar daha doğru konum belirlenebileceğinin doğruluk araştırması yapılmıştır. Yine MATLAB'a ait App Designer platformunda Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (Graphical User Interface, GUI) oluşturularak kullanıcı dostu bir arayüz tasarlanmıştır. Bu arayüz de kullanıcılar istedikleri uydu türüne göre (GPS, Galileo), diledikleri uydu yörünge bilgilerine göre (yayın efemeris, hassas efemeris), tekli hesap ya da çoklu hesap yöntemlerini seçerek hesaplamalar yaptırabilmektedir. Kullanıcılar bu hesapların çıktılarını (.txt) formatında özet ya da ayrıntı çıktı olarak görebilmektedirler. Buna ilaveten zaman hesapları ve jeodezik hesaplamalar gibi panelleri de kullanabilmektedirler. Sonuç olarak bu tez çalışmasında adı KTUN_HRT olan bir GNSS (GPS+Galileo) değerlendirme yazılımı (post-process) hazırlanmış olup, programın geliştirilme doğrultusunda hazırlanması planlanan kapsamlı ve güvenilir bir PPP yazılımının temelleri atılmıştır.

Tezin sayısal uygulama kısmında 22 ve 23 Nisan 2021 tarihli 5 adet IGS istasyonundan elde edilen 24 saatlik veriler kullanılarak farklı hesap senaryolarında sonuçlar elde edilmiştir. Hazırlanan yazılımda bu 5 noktanın sırasıyla GPS+yayın efemerisi, Galileo+yayın efemerisi, GPS+hassas efemerisi, Galileo+hassas efemerisi, GPS+Galileo+yayın efemerisi ve GPS+Galileo+hassas efemerisi hesaplama senaryoları

uygulanmış, elde edilen sonuçların doğruluk analizi “CenterPoint RTX Post-Processing” ve “AUSPOS” servislerinden elde edilen sonuçlar ile yapılmıştır.

Tezin ikinci bölümünde, farklı araştırmacılar tarafından yapılan SPP uygulamaların yer aldığı kaynak araştırması bilgileri mevcuttur. Üçüncü bölümde, GPS ve Galileo uydu sistemlerine ait sinyal bilgileri, navigasyon mesajları ve yörünge bilgileri gibi teorik bilgiler bulunmaktadır. Bu bölümde ayrıca GNSS ölçülerine etkileyen hata kaynakları ve uydularla konum belirleme yöntemlerine değinilmiştir. Dördüncü bölümde, KTUN_HRT yazılımına ait genel bilgiler, yazılım algoritması ve yazılım menüleri yer almaktadır. Beşinci bölümde KTUN_HRT örnek hesaplama uygulaması ve tartışmalara yer verilmiştir. Tezin son bölümünde ise elde edilen sonuçlar yer almaktadır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency, ESA) ve Katalonya Politeknik Üniversitesi Astronomi ve Geomatik araştırma grubu (gAGE) (2009), gLAB (GNSS Lab-Tool) yazılımı ile GNSS verilerinin işlenmesi ve analiz edilmesi için çok amaçlı bir eğitim paketi hazırlamışlardır. gLAB programı ile GNSS ölçülerinin cm düzeyinde hassas modellemesini gerçekleştirirken, SPP ve PPP ölçü yöntemlerinin yanı sıra SBAS ve DGNS verilerinin de analizini yapabileceğini belirtmişlerdir.

Angrisano ve ark. (2013), ESA tarafından sağlanan NeQuick Galileo iyonosferik modelinin SPP konum doğruluğunu değerlendirmişler ve GPS için kullanılan Klobuchar modeli ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak 3 adet istasyona ait NeQuick modeli ile elde edilen SPP RMS (Root Mean Square) değerinin (2.33 m) Klobuchar modellerinden (2.19 m) biraz daha yüksek ortalama hata değerine sahip olduğu ancak yatay konumlandırma NeQuick modelinin (1.67 m), Klobuchar modelinden (1.79 m) daha iyi bir sonuç verdiği belirtmişlerdir. Ayrıca örnek sayısının az olması sebebiyle yapılan bir ön çalışmada, yalnızca Galileo pseudorange ölçüleri kullanılarak 10 metrelik SPP konum doğruluğu çözümü elde etmişlerdir.

Cai ve ark. (2014), GPS ve COMPASS uydularının birlikte kullanımını ile oluşabilecek veri kalitesini ve bunun farklı gözlem koşulları altında SPP doğruluğuna etkisi üzerine bir analiz yapmışlardır. Bunun için açık gökyüzünde, ağaçların altında, bir cam duvarın yakınında, geniş bir su alanının yakınında, yüksek gerilim hatlarının altında ve sinyal iletilen bir kulenin altında ölçümler yapmışlardır. Sinyal yansımaları ve sinyal kesikliği meydana gelme oranı ve veri kullanılabilirliği açısından, test verileriyle elde edilen sonuçlar, GPS ile karşılaştırıldığında hemen hemen tüm gözlem koşullarında COMPASS veri kalitesinin daha iyi olduğunu göstermiştir. Bunun başlıca nedeni olarak COMPASS uydularının nispeten daha yüksek, yükseklik açısından olması olarak açıklamaktadırlar. Diğer taraftan altı farklı gözlem koşulunda GPS+COMPASS SPP'nin sinyal zayıflaması olan ortamlar altında yalnızca GPS SPP çözümlerinin konumlandırma doğruluğunu önemli ölçüde iyileştirebileceğini göstermektedir.

Cai ve ark. (2014), yörünge içi doğrulama aşamasındaki (In-Orbit-Validation, IOV) dört Galileo uydusuna dayalı olarak Galileo sinyali ve konumlandırma performansı analizini gerçekleştirmişlerdir. Performans ölçütü olarak taşıyıcı-gürültü yoğunluk oranı (C/N_0), sinyal yansımaları pseudorange, Galileo yayın efemerisi, uydu saati hataları ve

SPP doğruluğunu yalnızca Galileo ve GPS+Galileo açısından değerlendirmişlerdir. Konumlandırma doğruluğu açısından, yalnızca Galileo SPP'nin yaklaşık 6 metrelik üç boyutlu konum doğruluğuna ulaşabildiğini göstermiştir. Galileo ve GPS verilerinin entegrasyonu, yalnızca GPS çözümlerine kıyasla düşey bileşenlerde konumlandırma doğruluğunu yaklaşık %10 arttırabileceğini belirtmişlerdir.

Odolinski ve ark. (2014), Avustralya'da GPS+COMPASS/BeiDou-2 konumlandırmanın tek frekanslı SPP, çok frekanslı SPP ve görelî konum belirleme sonuçlarını irdelemişlerdir. 10 derecelik yükseklik açısına bağı tek frekanslı SPP sonuçlarında, GPS ve GPS+BeiDou uydularına göre yatay ve yukarı bileşenlerde büyük sapmalar (bias) meydana geldiğini vurgulamışlardır. Bunun sebebi olarak iyonosferik gecikmeleri, kuzey ve ekvator boyunca bulunan dört adet GEO uydusunu ve belirlenen bazı istasyonlarda sadece birkaç uydu olması olarak belirtmişlerdir.

Pan ve ark. (2016), dört global navigasyon uydu sistemi (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) ile tek frekanslı nokta konumlandırmanın doğruluğunu araştırmışlardır. Uyduların eşzamanlı olarak analizini elde etmek için bir QISPP (quad-constellation integrated SPP) modeli sunmuşlardır. 47 adet MGEX (Multi-GNSS Experiment) istasyonundan iki gün boyunca toplanan veri kümelerinin yanı sıra kinematik deneysel veri kümeleriyle de değerlendirmeler yapılmıştır. Değerlendirme sonucu olarak QISPP'nin MGEX veri setlerini kullanarak konum doğruluğunu doğu, kuzey ve yukarı bileşenlerinde ortalama %16, %13 ve %12 oranında, sadece GPS ile kinematik deneysel veri kümeleri ile de %43, %31 ve %51 oranında iyileştirdiğini göstermektedir.

Kahveci ve Yıldız (2018), "GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri" isimli kitapta, uydu jeodezisinin başlangıcından günümüze kadar gelişen uydu teknolojileri ayrıntılı bir şekilde irdelenmişlerdir. Tez konusu bağlamında GPS ile konum belirlemenin detayları, bunlara ilişkin matematiksel hesaplamalar, uygulanabilecek algoritmalar üzerinde ayrıntılı şekilde durmuşlardır.

Hadas ve ark. (2019), Galileo uydularını kullanarak ilk kez çift frekanslı mutlak konum belirleme tekniklerini değerlendirmiş ve GPS'in konumlandırma doğruluğu ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen birçok sonucun yanı sıra SPP açısından sonuçlara bakıldığında Galileo pseudorange ölçülerini kullanarak yapılan statik konumlandırmanın yatay ve dikey bileşenleri için sırasıyla birkaç desimetre ve metre altında doğruluk sağladıklarını, kinematik durumda ise yatay koordinatlar için 10 metreden, dikey bileşende ise 20 metreden daha iyi doğruluk elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Ayrıca yayın efemerisine dayalı Galileo statik çözümlerinin karşılık gelen GPS sonuçlarına göre daha üstün olduğunu belirtmişlerdir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırmada oluşturulan hesaplama senaryolarını gerçekleştirmek için kullanılan materyaller, NASA CDDIS tarafından yayınlanan IGS istasyonlarına ait GPS+Galileo içerikli gözlem verileri, yine IGS istasyonlarına ait GPS ve Galileo yayın efemerisleridir. Bu verilere bir üyelik kaydı ile oluşturulan kişisel kullanıcı adı ve şifre ile girilebilmektedir. Diğer taraftan yine ücretsiz bir şekilde temin edebildiğimiz AIUB (Astronomical Institute of University of Bern) CODE (URL-2) analiz merkezi tarafından yayınlanan GPS+Galileo içerikli hassas efemeris verileridir. Bu bölümde çalışmaya ait teorik bilgiler, matematiksel ifadeler ve çalışmada uygulanan algoritmalar açıklanmıştır.

3.1. Global Konum Belirleme Sistemi (GPS)

Günümüzün modern konumlandırma sisteminin öncüsü olan Navy Navigation Satellite System (NNSS), diğer adıyla TRANSIT sistemi esas olarak gemilerin ve uçakların koordinatlarını belirlemek için ABD ordusu tarafından geliştirilmiştir. Uydunun sivil kullanıma açılmasıyla birlikte sistem hem navigasyon hem de ölçüm amaçlı yaygın olarak kullanılmıştır (Hofmann-Wellenhof ve ark., 2008). TRANSIT uyduları, yaklaşık 1100 km yükseklikte bir kutup yörüngesinde hareket ettikleri için çok daha yüksek yörüngede hareket eden GPS uydularına göre yerçekimi etkisi değişimlerinden daha fazla etkilenmiştir. Buna ek olarak 150 ve 400 MHz frekansındaki iletimleri iyonosferik gecikmelere ve bozulmalara yol açmıştır. Ayrıca bu uyduların aynı enlemden iki geçişi arasında oluşan 90 dakikalık zaman farkının enterpole edilerek çözülmek zorunda olması ve elde edilen doğrulukların oldukça düşük olması sebebiyle sistem zamanın gereksinimlerini karşılayamamıştır. Bunun sonucunda TRANSIT sistemi 1996 yılının sonunda kaldırılmıştır (Leick ve ark., 2015; Kahveci ve Yıldız, 2018).

GPS, TRANSIT sistemindeki eksiklikleri ortadan kaldırmak ve günün mevcut gereksinimlerini karşılamak amacıyla geliştirilmiştir. Kullanıcılara üç boyutlu konum, navigasyon ve zaman bilgisi sağlayan uydu tabanlı bir radyo navigasyon sistemidir. Sistem, 1973 yılından beri sürekli olarak geliştirilme aşamasındadır. Esasen sivil kullanıcılara erişimi sınırlı olan askeri bir sistem olup, daha sonra sivil kullanıcılar için Standart Konumlandırma Hizmeti (Standart Positioning Service, SPS) vermeye başlamıştır (Seeber, 2003; Langley ve ark., 2017).

3.1.1 GPS'in bölümleri

GPS temelde üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar: uyduları içeren uzay bölümü, sistemin düzgün çalışmasından sorumlu olan kontrol bölümü ve kullanıcılara konum, hız ve hassas zamanlama sağlayan, GPS alıcılarını içeren kullanıcı bölümüdür.

Uzay bölümü, kullanıcıların herhangi bir zamanda Dünya üzerinde herhangi bir noktada eşzamanlı olarak en az dört uydu görebilmesini sağlayan uydu takımlarından oluşmaktadır. Uzay bölümünün ana işlevleri, kod ve taşıyıcı faz sinyalleri üretmek, iletmek, kontrol bölümü tarafından yüklenen navigasyon mesajını saklamak ve bu mesajları yayınlamaktır. GPS uyduları, Dünya'yı çevreleyen eşit aralıklı altı yörünge düzleminde bulunmaktadır. 31 adet GPS uydusu Orta Dünya Yörüngesinde (Medium Earth Orbit, MEO), yaklaşık 20200 km yükseklikte, ekvatora göre 55 derecelik eğim ile yerleştirilmişlerdir. Yörüngelerin dış merkezliği 0.02'den daha az, 26560 km'lik büyük yarı eksen ve 11 saat 58 dakika 2 saniyelik dolanma periyodu ile yaklaşık olarak daireseldir. (Subirana ve ark., 2013)

Kontrol bölümü, uydu sistemini sürekli izlemek ve kontrol etmek, GPS sistem zamanını belirlemek, uydu efemerislerinin ve uydu saatlerinin davranışlarını belirlemek, her bir uydu için navigasyon mesajını periyodik olarak güncellemek, uydunun yörüngesini koruması için gerekli küçük manevraları komuta etmek ve sağlıklı bir uydunun yerini değiştirmek gibi görevleri vardır (Seeber, 2003). Uydu konumunu ve hızını hesaplamak için gerekli yörünge parametreleri bu bölümde hesaplanmaktadır. Daha sonra bu parametreler navigasyon mesajında yayınlanmak üzere GNSS uydularına gönderilmektedir (Karaim ve ark., 2018).

Kullanıcı bölümü GPS alıcılarından oluşmaktadır. Ana görevleri, alıcı koordinatlarını elde etmek, çok hassas bir zamanlama sağlamak için GPS sinyallerini almak, uydu alıcı uzaklığı ve diğer gözlemlenebilir verileri belirlemek ve navigasyon denklemlerini çözmektedir (Subirana ve ark., 2013). GPS sinyallerini navigasyon ya da jeodezik konumlandırma amacıyla kullanmak için uygun uydu alıcıları gereklidir. Birinci ve ikinci nesil kullanıcı ekipmanları piyasadan uzun zaman önce kaybolmasına rağmen günümüzde sık sık yeni modeller ortaya çıkaran üreticilerin sayısı da hızla artmaktadır (Seeber, 2003; Hegarty, 2017; Teunissen ve Kleusberg, 2012).

3.1.2. GPS sinyalleri

GPS sinyalleri iki radyo frekansı olan L1 ve L2 bantları üzerinden iletilmektedir. Bu sinyaller atomik saatler tarafından üretilen 10.23 MHz'lik temel bir frekanstan türetilmişlerdir. Temel frekansın 154 ve 120 tam katlarının alınmasıyla elde edilen L1 frekansı 1575.420 MHz ve L2 frekansı 1227.600 MHz'dir. Bu ikili frekanslar büyük bir hata kaynağı olan iyonosferik kırılmayı ortadan kaldırmak için gerekli olmaktadır. L1 ve L2 taşıyıcı frekansları, uydulara ait birtakım bilgilerin alıcıya ulaştırılabilmesi için iki PRN (Pseudo Random Noise) kodu ve navigasyon mesajı verileri ile modüle edilmiştir. Bu kodlar C/A (Coarse/Acquisition) ve P (Precision/Protected) kod olarak isimlendirilmektedir (Langley, 1998; Hegarty, 2017; Kahveci ve Yıldız, 2018).

3.1.2.1. Sivil (C/A) kod

Sivil kod olarak da bilinen C/A kod, sivil amaçlı kullanıcılar için tasarlanan, tüm kullanıcılara açık olan ve özellikle Standart Konum Belirleme Hizmeti (SPS) için temel oluşturan bir koddur. Başlangıçta yalnızca L1 taşıyıcı frekansı üzerinde bulunan C/A kodunun daha sonra Block IIR uyduları vasıtasıyla L2 taşıyıcı frekansı üzerinden de yayınlanmasına karar verilmiştir (Kahveci ve Yıldız, 2018). C/A kodu, 1023 bitlik uzunluktan oluşan bir dizidir. Herhangi bir bilgi tutulmadığı için basitçe bir chip olarak adlandırılan C/A kodu, her milisaniyede bir 1023 bitlik kod sonunda tekrar etmektedir (Borre ve ark., 2007). C/A kodunun SPS performansına bakıldığında GPS ile elde edilen doğruluğun büyük ölçüde çalışma moduna bağlı olduğu belirtilmektedir (McDonald, 2002). Örneğin, yalnızca uydulardan alınan sinyalleri kullanan tek (stand-alone) bir alıcı için C/A kod alıcılarının doğruluğunun ~5-10 metre olduğu, bu durumun C/A kodlu DGPS alıcılarında ise ~ 0.7-3 metre olduğu belirtilmiştir (GPS PPS PS, 2007; ESA ve GMV, 2020; GPS SPS PS, 2020).

3.1.2.2. Askeri (P/Y) kod

P kod, askeri ve yetkili sivil kullanıcılar için tasarlanan, Hassas Konum Belirleme Hizmeti (PPS: Precise Positioning Service) için temel oluşturan bir koddur. P kodu hem L1 hem de L2 taşıyıcı frekanslarına modüle edilmiştir (Hofmann-Wellenhof ve ark.,

2008). P kodu, 266 günde (38 hafta) bir tekrarlanır. Bu kodun birer haftalık kısmı her bir uyduya tahsis edilir. P kodunu elektronik karıştırma ve aldatmaya karşı korunmak için, bu kod Anti-Spoofing (A-S) özelliği kullanılarak kriptolanmıştır. Kriptolanmış P-koduna Y-kod adı verilmiştir. Bu sebeple Y-kod kullanımı yalnızca yetkili (askeri ve sivil güvenlik) kullanıcılara açık hâle gelmiştir (Kahveci ve Yıldız, 2018). P/Y kodunun PPS performansına bakıldığında ise yalnızca uydu sinyallerini kullanan tek bir alıcı için P/Y kod alıcılarının doğruluğu ~2-9 metre iken P/Y kodlu DGPS alıcılarında bu doğruluğun ~0.5-2 metre olduğu belirtilmiştir (GPS PPS PS, 2007; GPS SPS PS, 2020). (McDonald, 2002), hem C/A kod hem de P/Y kod için verilen bu resmi verilerin doğruluğunun gerçekte elde edilen doğruluklardan daha kötü olduğunu belirtmektedir. Başka bir deyişle gerçekte daha iyi doğrulukların elde edildiğini vurgulamıştır (ESA ve GMV, 2020).

3.1.2.3. GPS navigasyon mesajı

GPS navigasyon mesajı, kullanıcılara bir GPS uydusu tarafından sağlanan bilgi olarak tanımlanabilir. Navigasyon mesajı sinyalleri saniyede 50 bitlik veri akışına sahiptir. Bu sinyal verileri kullanıcının GPS ile başarılı bir şekilde gezinmesini sağlamaktadır (Van Dierendonck ve ark., 1978). Navigasyon mesajı P-kod ve C/A kod üzerine bindirilmiştir. Mesajın tamamı 1500 bit uzunluğunda ve her biri 300 bitlik 5 alt bölümden oluşmaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2018). Navigasyon mesajı esas olarak uydu yörüngesi, uydu sağlık durumu, çeşitli düzeltme verileri, durum mesajları ve diğer veri mesajları hakkında bilgi içermektedir. Ayrıca bu mesajda, GPS zamanı ve diğer GNSS zaman sistemleri (GLONASS, Galileo, QZSS vb.) arasındaki zaman sapmaları yayınlanmaktadır. Navigasyon mesajı düzenli aralıklarla güncellenmekte ve kontrol istasyonlarından uydulara yüklenmektedir. Bu güncelleme ve yükleme işlemi yapılmaz ise iletilen veri aralığı artmakta, verinin geçerliliği ve doğruluğu azalmaktadır. Kullanıcıya efemeris verileri en az iki saatte bir iletilirken, veriler navigasyon mesajına bağlı olarak üç veya dört saat geçerli olmaktadır (Hofmann-Wellenhof ve ark., 2008; Hegarty, 2017).

3.1.2.4. Almanak bilgisi

Almanak verilerinin ana amacı, bir GNSS alıcısının ölçüye ilk başladığı anda herhangi bir uyduya kitlenebilmesi için gerekli olan doğruluğu düşük yörünge bilgileridir. Almanak verilerinin yardımıyla uydu konumları 1-2 km doğrulukla belirlenebilmektedir (Subirana ve ark., 2013). Navigasyon mesajının dördüncü ve beşinci alt bölümünde iletilen bu verilerin her biri 30 saniye uzunluğunda olup 25 sayfası bulunmaktadır (Seeber, 2003). Almanak parametreleri en az 6 günde bir güncellenmektedir. Uydu hafızasında saklanan çoklu veri setleri sayesinde, kontrol istasyonu ile herhangi bir temas olmadan bile bir almanak iletimi garanti edilmektedir. Ancak bu parametrelerin doğruluğu zaman geçtikçe azalmaktadır (Hofmann-Wellenhof ve ark., 2008; Hugentobler ve Montenbruck, 2017).

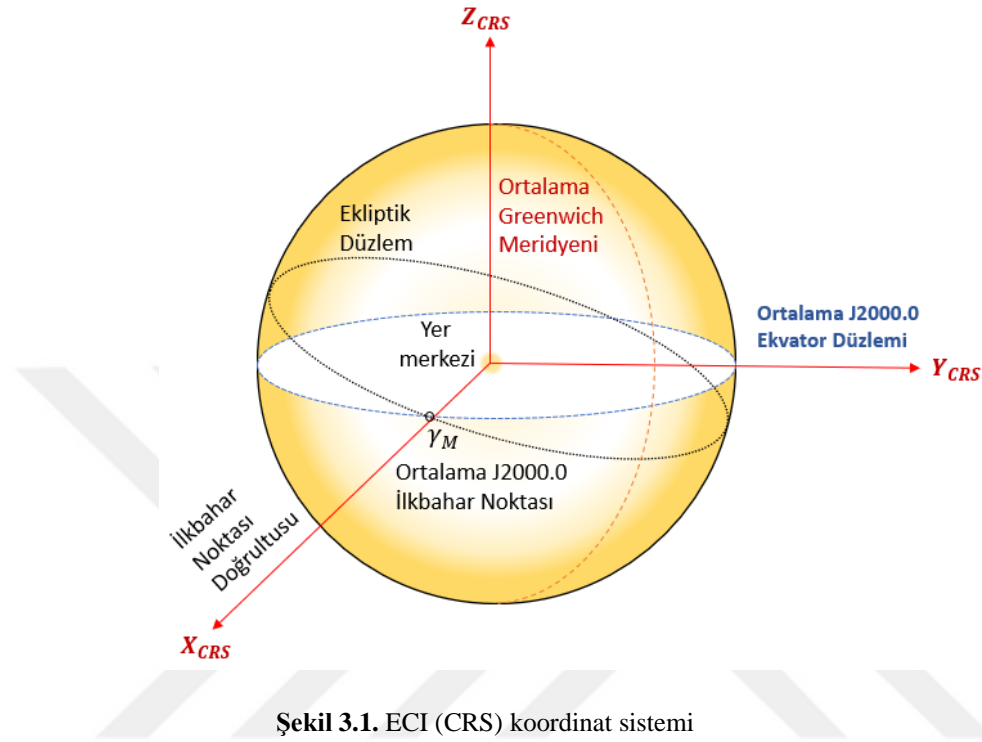
3.1.3. GPS'te kullanılan koordinat ve zaman sistemleri

Konumların sinyal iletim süresi ölçümlerinden hesaplandığı ve bir koordinat seti olarak sağlandığı GNSS'de doğru, iyi tanımlanmış koordinat ve zaman sistemlerine ihtiyaç vardır.

Uydu koordinatları ve kullanılan alıcıların iyi tanımlanmış bir referans sisteminde ifade edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, GNSS'de hassas konumlandırma yapabilmek için bu tür sistemlerin doğru bir şekilde tanımlanması ve belirlenmesi önemlidir. Uydularla konum belirlemede kullanılan iki ana referans sistemi vardır. Bunlar CIS/CCRS (Conventional Inertial System /Conventional Celestial Reference System) ve CTS/CTRS (Conventional Terrestrial System /Conventional Terrestrial Reference System) olarak adlandırılır.

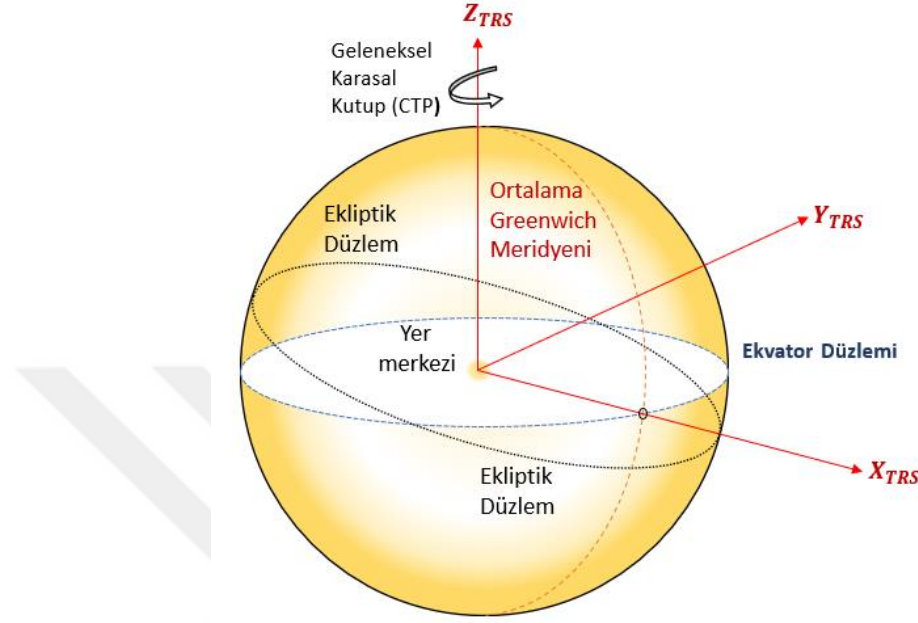
Diğer adı Yer Merkezli İnersiyal Koordinat Sistemi (Earth Centered Inertial, ECI) olarak bilinen Geleneksel Gök Referans Sistemi (CCRS), yarı inersiyel bir referans sistemidir. Bu sistemin tam bir inersiyal olmamasının sebebi Dünya'nın Güneş etrafındaki hareketinden kaynaklanan ivmeden (yıllık hareketinden) etkilenmesidir. Bu sistem esas olarak uydu hareketini tanımlamak için kullanılmaktadır. Sistemin merkezi, yerin kütle merkezi ile çakışıktır ya da başka bir deyişle jeosentriktir. X eksen, J2000.0 epogunda ortalama ilkbahar ekinoksunun yönünü gösterir. Z eksen J2000.0 epogunda ortalama ekvator tarafından tanımlanan düzleme diktir. Y eksen bir sağ el koordinat

sistemini oluşturacak şekilde seçilmiştir. Pratik uygulamada Geleneksel (Göksel) Referans Çerçevesi (Celestial Reference Frame, CRF) olarak adlandırılır ve evrenin galaksi dışı uzak nesnelere göre sabitlenmiştir.



Geleneksel Yersel Referans Sistemi (CTRS), günlük dönüşünde Dünya ile birlikte dönen bir referans sistemidir ve aynı zamanda Yer Merkezli Yer Sabit Koordinat Sistemi (Earth Centered Earth Fixed, ECEF) sistemi olarak da adlandırılmaktadır. Nokta konumlarının ifade edildiği ve jeofiziksel etkilerden (levha hareketi, gelgitler vb.) dolayı küçük geçici değişimlere sahip fiziksel Dünya'nın matematiksel bir modelini içermektedir. ECEF koordinat sisteminin merkezi yerin kütle merkezi ile çakışıktır. Z ekseni, Geleneksel Yersel Kutup (Conventional Terrestrial Pole, CTP) tarafından tanımlanmakta olup, yerin dönme ekseninin yönü ile aynıdır. X ekseni, ekvator düzleminin ortalama Greenwich meridyeni ile kesişimi olarak tanımlanır. Y ekseni, diğer iki eksene dik olup sağ el koordinat sistemini oluşturacak şekilde seçilmiştir. Bu sistemin uygulamadaki adı Geleneksel (Yersel) Referans Çerçevesi (CTRF) olarak adlandırılmakta ve bu sistem Dünya üzerinde referans noktası olarak görev yapan bir dizi noktanın koordinatları aracılığıyla belirlenmektedir. CTRF'nin bir örneği IERS (International Earth Rotation and Reference Service) tarafından tanıtılan ve her yıl güncellenen (ITRF96, ITRF98 vb.) ITRF (International Terrestrial Reference Frame)'dir.

Diğer karasal referans sistemleri, GPS için uygulanan WGS-84 (World Geodetic System 84), GLONASS için PZ-90 (Parametry Zemli – Parameters of the Earth 1990), Galileo için GTRF (Galileo Terrestrial Reference Frame) ve BeiDou için CGCS2000 (China Geodetic Coordinate System 2000)'dir (Subirana ve ark., 2013).



Şekil 3.2. ECEF (TRS) koordinat sistemi

Gündelik hayat, gece ile gündüzün ve yılın mevsimlerinin değişimini takip etmektedir. Bu nedenle ilk zaman kavramı Güneş'in hareketine dayanmaktaydı. Bununla birlikte, bilim ve teknoloji geliştikçe daha hassas, tek tip ve iyi tanımlanmış zaman ölçeklerine ihtiyaç duyulmuştur.

Çizelge 3.1. Farklı zaman sistemleri (Hoffman-Wellenhof ve ark., 2008)

Periyodik Süreç	Temsili Zaman Sistemleri
Dünyanın Dönüşü	Evrensel Zaman (UT0, UT1, UTC2) Greenwich Yıldız Zamanı (θ)
Atomik Osilatörler	Uluslararası Atomik Zaman (TAI) Eşgüdümlü Evrensel Zaman (UTC) GNSS Referans Zamanı

Evrensel (Universal) ve Yıldız (Sidereal) zamanları, Dünya'nın günlük dönüşü ile ilgilidir. Evrensel zaman başka bir deyişle Güneş zamanı, Güneş'i referans olarak kullanmaktadır. Yıldız zamanı, yerin dönüşünün bir ölçüsüdür ve ilkbahar ekinoksunun

saat açısı olarak kullanılmaktadır. Eğer bu ölçü Greenwich meridyeninden başlarsa Greenwich Yıldız zamanı olarak adlandırılır (Xu, 2007; Xu ve Xu, 2016). Bu durum, bir yılda zamanların 24 saat farklı olmasına ve dolayısıyla Yıldız gününün Güneş gününden 3 dakika 56,4 saniye daha kısa olmasına yol açmıştır.

Dünya'nın dönüşü homojen olmayıp, gelgit sürtünmesi, mevsimsel değişiklikler, kütle hareketleri, depremler gibi farklı etkiler Dünya kütle dağılımını etkileyerek dönüşünde dalgalanmalara neden olmaktadır. UT0, Dünya'nın anlık dönüşüne dayanan bir zaman ölçeğidir. UT1, gözlemlenen periyodik değişimlerden başka bir deyişle kutup gezinmesinden dolayı getirilen düzeltmedir. UT2, diğer ek düzensizliklerin düzeltilmesiyle elde edilir. UT (UT0, UT1, UT2) tamamen tek tip bir zaman ölçeği değildir. Bu nedenle atomik bir zaman olan TAI (International Atomic Time), daha düzgün bir zaman ölçeği elde etmek için tanıtılmıştır. Atomik saatlerin ortaya çıkmasından önce ise zamanı ölçmek için Dünya'nın günlük dönüşü kullanılmaktaydı (Bock, 1998). TAI ve UT zamanla sapmalara uğramaktadır ve ikisi arasında bir uyumsuzluk oluşmaktadır. Bu uyumsuzluğu ortadan kaldırmak için Paris'te bulunan ve BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) tarafından oluşturulan UTC (Coordinated Universal Time) tanımı yapılmıştır. Değerlendirmelere bağlı olarak UTC'ye IERS tarafından belirlenen 1 saniyelik düzeltmeler eklenmektedir. Bu 1 saniyelik düzeltmelere artık saniye adı verilmektedir.

GPS zamanı (GPST), ana kontrol istasyonu ve uydulardaki bir dizi atomik saatlere dayalı olarak GPS kontrol bölümü tarafından tanımlanan sürekli bir zaman ölçeğidir ve bu zaman ölçeği artık saniye düzeltmesi yapmamaktadır. GPS sistemi zamanı 5-6 Ocak 1980 gece yarısı saat 0.0 UTC'de başlamaktadır. Bu epokta TAI-UTC farkı 19 saniye olup dolayısıyla $GPS-UTC = n-19$ sn olmaktadır. Diğer taraftan ABD USNO (US Naval Observatory) kendi özel UTC sistemini oluşturmuştur. GPS sistem zamanı ile UTC(USNO) 1 mikrosaniye mertebesinde senkronize edilmiştir (Subirana ve ark., 2013).

3.1.4. GPS uydu yörünge bilgileri

Uyduların yörünge ve saat bilgisi, doğru bir konumlandırma için esastır. GNSS uydu koordinatlarındaki veya uydu saatindeki herhangi bir hata, konumlandırma doğruluğunu önemli derecede etkilemektedir. Gerçek zamanlı konum belirleme uygulamalarında yörünge parametreleri ve saatlerle ilgili bilgiler navigasyon mesajı

aracılığıyla yayın (broadcast) efemerisi olarak yayınlanır. GPS verilerinin ölçü sonrası değerlendirilmesi (post-process) işleminde ise daha çok hassas efemeris ve hassas saat verileri kullanılmaktadır. (Subirana ve ark., 2013; Kahveci ve Yıldız, 2018)

(Beutler ve ark., 1998), pratikte yayın efemerislerinin, hassas efemerislerden çok daha önemli olduğunu vurgulamıştır. Bunun sebebini yayın efemerislerinin gerçek zamanlı olarak yayınlanması olarak açıklamışlardır. Ayrıca yayın efemerislerinin kestirim (predicted) yoluyla edildiği ve bu sürenin 12 ile 36 saat arasında olduğu bilinmektedir. Bu gerçeğin dışında yörünge tespiti için sadece beş izleme istasyonun kullanıldığını düşünüldüğünde, IGS'in yüksek hassasiyetli efemerislerine göre yayın efemerislerinin şaşırtıcı ve dikkate değer bir kalitede olduğu vurgulamışlardır (Van Dierendonck ve ark., 1978; Rothacher, 1992; Hofmann-Wellenhof ve ark., 2008).

3.1.4.1. Yayın efemerisi

Yayın efemerisi, uydu mesajının bir parçası olup, yörünge bilgileri ve uydu saatiyle ilgili bilgileri içermektedir. Kullanıcının yeryüzünde konumunu belirleyebilmesi için uydu konumlarına ve uydu sistemi zamanına gerçek zamanlı erişimi olması gerekmektedir (Kim ve Kim, 2015). Bu, veri sinyalinin içerdiği yörünge bilgisi yani navigasyon mesajı ile mümkün olmaktadır. Navigasyon mesajı kontrol bölümü tarafından belirlenmekte ve GPS uyduları aracılığıyla kullanıcılara yayınlanmaktadır (Hofmann-Wellenhof ve ark., 2008). Yayın efemerisleri iki adımda oluşturulmaktadır. İlk adımda, yörünge tespiti için oldukça gelişmiş bir yazılım kullanılıp daha sonra çevrimdışı (off-line) olarak gözlem istasyonlarından birkaç günlük gözlemlere dayalı bir referans sistemi oluşturulmaktadır. İkinci adımda online olarak, gözlem istasyonlarındaki mevcut gözlemler ile referans efemeris arasındaki tutarsızlıklar belirlenmekte ve bu referans efemeris düzeltmelerini belirlemek için doğrusal bir Kalman filtrelemesi uygulanmaktadır. Bu amaçla, tüm gözlem istasyonlarındaki görünür tüm uyduların kod ve faz gözlemleri yapılmaktadır. Bu verilere iyonosferik ve troposferik gecikmeler, yer dönmesi ve relativite düzeltmesi gibi düzeltmeler getirilmektedir. Bu düzeltme getirilmiş ölçümler, Kalman filtrelemesi işlemine girer ve uydu konumu, uydu hızı, saat parametresi vb. parametreler hesaplanmaktadır. Kalman filtreleme işleminde belirlenen uydu konumları daha sonra ek bozucu (perturbation) parametreleri ile birlikte Kepler elemanları şeklinde temsil edilmektedir (Parkinson ve ark., 1996; Seeber, 2003).

Çizelge 3.2. uydu yörüngesini ve uydu saatini tanımlayan tüm parametreleri özetlemektedir.

Çizelge 3.2. GPS-Galileo yayın efemerisi ve uydu saati parametreleri (GPS SPS PS, 1995; Galileo OS SIS ICD, 2021)

Parametreler	Açıklamalar
t_{oe}	Efemeris referans zamanı
\sqrt{a}	Büyük yarı eksenin karekökü
e	Eksentrisite
M_0	Referans epoğundaki ortalama anomali
ω	Perigee argümanı
i_0	Referans epoğundaki eğim
Ω_0	Yükselen düğüm noktası boylamı
Δn	Ortalama hareket farkı
i	Eğim açısı
Ω	Rektesansiyon değişim hızı
C_{uc}, C_{us}	Enlem argümanı düzeltmesi
C_{rc}, C_{rs}	Yörünge yarıçapı düzeltmesi
C_{ic}, C_{is}	Eğim açısı düzeltmesi
a_{f0}	Uydu saat sapması
a_{f1}	Uydu saat kayması
a_{f2}	Uydu saat kayma hızı

Yayın efemerisleri, Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) bünyesinde olan Goddard Uzay Uçuş Merkezi'nde bulunan CDDIS (Crustal Dynamics Data Information System) web sitesinden elde edilmektedir. CDDIS web sitesi 1992'den günümüze kadar yayın efemerisi kayıtlarını tutmaktadır. Veriler, sıkıştırılmış (zip) dosyalar olarak RINEX formatında saklanmaktadır (Warren ve Raquet, 2002).

3.1.4.2. IGS hassas efemerisi

Uluslararası GNSS Hizmeti (International GNSS Service, IGS), 80'den fazla ülkede 200'den fazla kuruluşun katılımcı olduğu gönüllü bir sivil toplum örgütüdür (Dow

ve ark., 2009). Kalıcı ve sürekli olarak çalışan 300'den fazla GNSS istasyonundan oluşan IGS küresel izleme ağı, hassas yörünge ve saat çözümleri gibi ürünlerini IGS veri merkezlerine sunarak zengin bir veri seti sağlamaktadır.

Bu merkezler IGS verilerini ve ürünlerini tüm kullanıcılar için ücretsiz olarak yayınlamaktadır (Beutler ve ark., 1995; Kouba, 2009; Kim ve Kim, 2015). Yayımlanan ürünler ASCII (American Standart Code for Information Interchange) dosyaları olup bunlar SP3 (Standart Product 3) formatındadır (Spofford ve Remondi, 1999). Hassas yörüngeler 15 dakikalık aralıklarla, hassas saat dosyaları ise 5 dakika ve 30 saniye aralıklarla yayımlanmaktadır (Griffiths ve Ray, 2009). Çizelge 3.3, mevcut farklı ürünleri, bunların doğruluğunu ve elde etme süresini göstermektedir.

Çizelge 3.3. IGS yörünge doğrulukları (IGS, 2021)

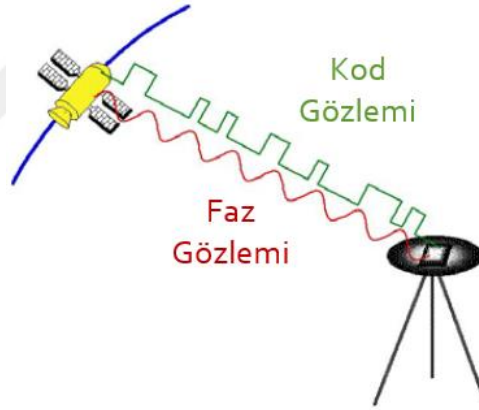
Yörünge	Doğruluk	Elde Etme Süresi
Yayın Efemerisi (Broadcast)	~100 cm	Gerçek zamanlı (günlük)
IGS Ultra Hızlı (hesaplanmış)	~5 cm	Gerçek zamanlı (15 dk aralıklı)
IGS Ultra Hızlı (gözlenmiş)	~3 cm	3-9 saat sonra (15 dk aralıklı)
IGS Hızlı	~2,5 cm	17-41 saat sonra (15 dk aralıklı)
IGS Sonuç	~2,5 cm	12-18 gün sonra (15 dk aralıklı)

Bazı veri merkezleri ayrıca, CDDIS sitesinden elde edilenler gibi 5 saniye aralıklı GPS uydu saatleri sağlamaktadırlar. Burada yörüngelerin ve yörünge saatlerinin tutarlı olmasına dikkat etmek gerekmektedir, başka bir deyişle bu veriler aynı merkezden gelmelidir. Bu yüzden CODE (Centre for Orbit Determination in Europe) saatleri, örneğin JPL veya EMR ürünleriyle değil, CODE yörüngeleri ile kullanılmalıdır (Subirana ve ark., 2013).

Hassas uydu yörüngeleri 15 dakikalık aralıklarla yayımlandığı için bu aralıkta kalan epoklara ait uydu koordinatlarının hesaplanabilmesi için enterpolasyon yapılması gerekmektedir. GPS uydu yörüngelerinin enterpolasyonu için farklı enterpolasyon türleri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları, Trigonometrik polinom enterpolasyonu, Lagrange, Chebyshev, Tshebyshev polinom enterpolasyonudur (Neta ve ark., 1996; Schenewerk, 2003; Feng ve Zheng, 2005; Horemuž ve Andersson, 2006; Johnston ve ark., 2017).

3.1.5. GPS ile gözlenen büyüklükler

Kavram olarak uydu gözlemleri, uydudan alınan sinyaller ve alıcı tarafından üretilen sinyaller arasındaki karşılaştırmaya dayalı olarak ölçülen zaman veya faz farklarından çıkarılan uzunluklardır. Bu uzunluklar uydu ve alıcı saat hataları ile yüklü olduğu için bunlara ham uydu-alıcı uzaklığı (pseudorange) adı verilmektedir (Hofmann-Wellenhof ve ark., 2008). GPS ile konumu, hızı ve zamanı belirleyebilmemize olanak veren iki temel büyüklük bulunmaktadır. Bunlar kod ve taşıyıcı faz gözlemleridir (Langley, 1998). Navigasyon amaçlı anlık (real-time) uygulamalarda kullanılan kod ölçüleri kullanılırken, yüksek doğruluk isteyen uygulamalarda ve bilimsel amaçlı çalışmalarda ise faz ölçüleri kullanılmaktadır. Özellikle jeodezik amaçlı GPS ölçülerinde doğrudan faz ölçülerini kullanmak yerine bunlardan yararlanarak elde edilen lineer kombinasyonlar ve fark gözlemleri kullanılmaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2018)



Şekil 3.3. Kod ve faz gözlemleri (Subirana ve Zornoza, 2017)

3.2. Galileo Uydu Sistemi

Galileo; Avrupa Komisyonu, Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency, ESA) ve Avrupa endüstrisinin iş birliği ile inşa edilmiş bir Avrupa uydu navigasyon sistemidir. Sistem sivil yetkililer tarafından kontrol edilmektedir ve diğer uydu sistemleriyle çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Galileo, farklı doğruluk ve

kullanılabilirlik düzeylerinde gerçek zamanlı konumlandırma ve zamanlama hizmetleri sağlamaktadır (Seeber, 2003; Xu ve Xu, 2016).

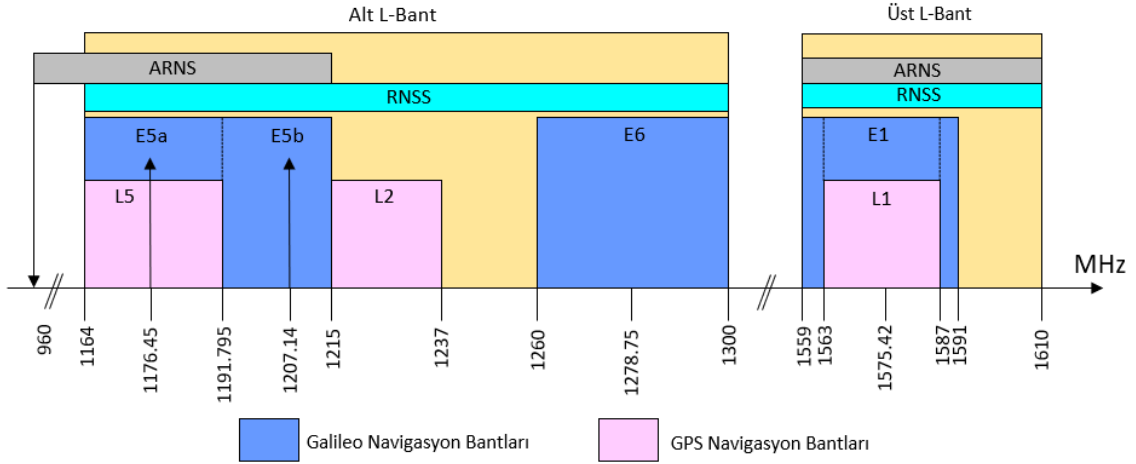
Galileo projesi birkaç aşamadan oluşmaktadır. 1999'dan 2001'e kadar olan süreç projenin tanımlanma aşamasıdır. 2002'den 2005'e kadar geliştirme aşaması, görev gereksinimlerinin birleştirilmesi ve sonuçlandırılması, 2-4 adet uydu geliştirilmesi, yer istasyonları ve altyapı tesislerinin oluşturulması ve sistemin uzayda denenmesi aşamasıdır (Seeber, 2003; Kahveci ve Yıldız, 2018). 2005 ve 2008 yılları arasında görevleri birkaç amaca hizmet edecek olan iki deneysel uydu olan GIOVE-A ve GIOVE-B (Galileo In-Orbit Validation) uyduları fırlatılmıştır. Bu uydular, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) ile Galileo frekans bağlantısının güvenliğini sağlamak ve sürdürmek, Galileo uydularında kullanılacak teknolojilerin doğruluğunu araştırmak, MEO yörüngesinin çevresini izlemek ve Galileo sinyalleri üretmek gibi görevleri vardı (Subirana ve ark., 2013). 2006'dan 2013'e kadar uzaya uydu gönderme aşaması, geriye kalan 26-28 uydunun tamamlanması ve yörüngelerinin oturtulması, yer istasyonları ve alt yapı istasyonların tamamlanması aşamasıdır. 2014'den günümüze kadar ise sistemin işletimi ve kullanıma açılması aşamasıdır (Betz, 2015).

2021 Mart itibarıyla 22 adet Galileo uydusu aktif olarak çalışmakta olup hizmet vermeye devam etmektedir. Diğer taraftan 4 adet Galileo uydusu (E20, E18, E14, E22) hizmet vermemektedir. E18 ve E14 uyduları test aşamasında olduğu için zamanla açılıp kapatılabilmektedir. Proje tamamlandığında ise 6'sı yedek olmak üzere toplam 30 adet uydudan oluşacaktır (Hadas ve ark., 2019; ESA, 2021).

3.2.1. Galileo sinyalleri

Galileo navigasyon sinyalleri E5a, E5b, E6 ve E1 bantları olmak üzere dört frekans bandında iletilmektedir. Şekil 3.4' de görüldüğü üzere sinyallerinin iletimi için geniş bir bant aralığı sağlanmaktadır.

Galileo frekans bantları, Radyo Navigasyon Uydu Servisi (Radio Navigation Satellite Service, RNSS) için tahsis edilen spektrumda seçilmiştir. Diğer taraftan E5a, E5b ve E1 bantları, sivil havacılık kullanıcıları tarafından kullanılan ve güvenlik açısından kritik, özel uygulamalara izin veren Havacılık Radyo Navigasyon Servisi (Aeronautical Radio Navigation Services, ARNS) için tahsis edilen spektrumda yer almaktadır (Ávila Rodríguez, 2011; Galileo OS SIS ICD, 2021).



Şekil 3.4. Galileo frekans planı (Galileo OS SIS ICD, 2021)

Galileo sinyallerine karşılık gelen taşıyıcı frekans ve alıcı referans bant genişlikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 3.4. Galileo sinyalleri için karşılık gelen taşıyıcı frekanslar ve alıcı referans bant genişlikleri (Galileo OS SIS ICD, 2021)

Sinyal	Taşıyıcı Frekans (MHz)	Alıcı Referans Bant Genişlikleri
E1	1575.420	24.552
E6	1278.750	40.920
E5	1191.795	51.150
E5a	1176.450	20.460
E5b	1207.140	20.460

Her Galileo uydusu tam işletim kapasitesinde (Full Operation Capability, FOC) E1, E6, E5a ve E5b frekans bantlarında 10 navigasyon sinyali iletecektir. Bu sinyaller aşağıdaki gibi çeşitli kullanıcı ihtiyaçlarına göre Galileo ve EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) tarafından sunulacak farklı hizmetleri desteklemek üzere tasarlanmıştır (Falcone ve ark., 2006; Eissfeller ve ark., 2007; Subirana ve ark., 2013; Betz, 2015; Hernandez ve ark., 2015; Falcone ve ark., 2017; Kahveci ve Yıldız, 2018; Ávila Rodríguez ve ark., 2021).

Sınırsız Ulaşım Hizmeti (Open Service, OS), Dünya üzerindeki tüm kullanıcılar için ücretsizdir. İçerisinde üç tane ayrı sinyal frekansı bulunmaktadır. Tek frekanslı alıcılar, GPS C/A koduyla benzer performans sağlamaktadır. Bu hizmet genel olarak, kentsel alanlar gibi zorlu ortamlarda doğruluğu arttıracak Galileo ve GPS sinyallerinin

bir kombinasyonu olarak kullanılmaktadır. E1, E5a, E5b sinyali bu hizmeti desteklemektedir.

Kamu Hizmeti (Public Regulated Service, PRS), kamu tarafından düzenlenen ve devlet kontrolü altında olan bu hizmet, kontrollü erişime sahip yüksek bir hizmet sürekliliği isteyen güvenlik yetkilileri (polis, asker vb.) için tasarlanmıştır. E1 ve E6 sinyali bu hizmeti desteklemektedir.

Ticari Kullanım Hizmeti (Commercial Service, CS), OS hizmetine göre daha profesyonel olup, ücretlidir. Yüksek doğrulukta konum ve hız belirleme çalışmaları ile yüksek doğruluklu navigasyon kullanım alanlarından bazılarıdır. E1, E6 ve E5b sinyali bu hizmeti desteklemektedir.

Arama Kurtarma Hizmeti (Search and Rescue Service, SAR), insani amaçlı çalışmalar yürüten Uluslararası Cospas-Sarsat sistemine katkıda bulunmaktadır. Kurtarma koordinasyon merkezine bir tehlike sinyali ileterek, kullanıcıların durumları hakkı bilgi edinmektedir.

Güvenlik ve Acil Durum Hizmeti (Safety-of-life Service, SoL), gerçek zamanlı navigasyon sisteminin doğruluğunda sorun oluştuğunda, yine gerçek zamanlı olarak ikaz sisteminin olmaması durumunda, hayati tehlikelerle karşılaşılması olasılığı olan ve yoğunlukla ulaşım sektöründe kullanılacak olan bir hizmettir. E1 ve E5b sinyalleri bu hizmeti desteklemektedir.

3.2.2. Galileo navigasyon mesajı

Galileo uyduları, dört farklı navigasyon mesajında beş farklı veri türü yayınlamaktadır. Bunlar Açık Erişim Navigasyon Mesajı (Freely Accessible Navigation Message, F/NAV), Tamamlayıcı Navigasyon Mesajı (Integrity Navigation Message, I/NAV), Ticari Navigasyon Mesajı (Commerical Navigation Message, C/NAV), Kurumsal Navigasyon Mesajı (Governmental Navigation Message)'dır. Çizelge (3.5.), Galileo navigasyon mesajı türlerini, ilgili Galileo servislerini ve sinyal kanallarını içermektedir (Hofmann-Wellenhof ve ark., 2008, Subirana ve ark., 2013).

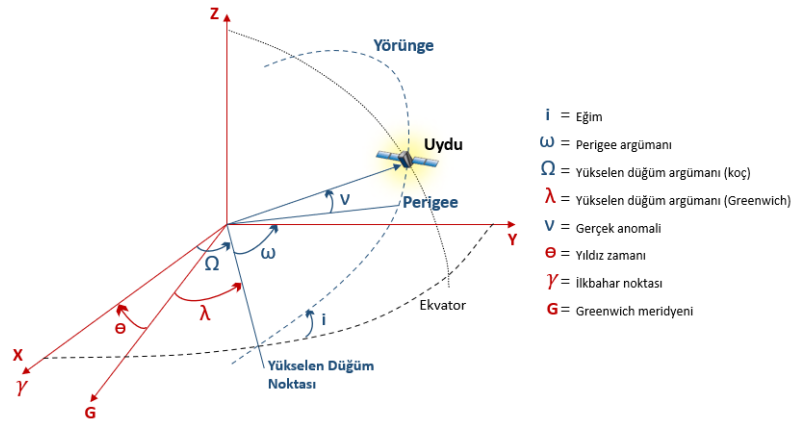
Çizelge 3.5. Galileo mesaj türlerinin içeriği (Hoffman-Wellenhof ve ark., 2008)

Mesaj Türü Galileo Servisleri	F/NAV OS	I/NAV OS/CS/SoL		C/NAV CS	G/NAV PRS
Kanallar	E5a-I	E1B	E5B-I	E6B	E1A, E6A
Navigasyon/Konumlama	x	x	x		x
Bütünlük		x	x		x
Tamamlayıcı				x	
Kamu Hizmeti					x
Arama Kurtarma		x			

Tamamlayıcı (Supplementary) Hizmet, yüksek hassasiyetli konumlandırma hizmetine yönelik farklı ticari hizmetleri ve hava durumu uyarıları, trafik bilgileri vb. veri türlerini desteklemek için sağlanacak bilgileri içerir. Diğer hizmetler bölüm 3.2.1.'de açıklandığı gibidir (Subirana ve ark., 2013).

3.2.3. Galileo yörünge bilgileri ve koordinat sistemi

Galileo uyduları Dünya'dan 23222 km uzaklıkta, Orta Dünya Yörüngesinde (MEO) ve üç ekliptik yörünge düzleminde olup ekvatorla 56 derecelik bir eğim yapacak şekilde konumlandırılmışlardır. Dünya yörüngesindeki bir Galileo uydusunun hareketini, doğrultusunu ve konumunu tanımlamak için geleneksel yörünge elemanları olan altı adet Kepler parametresi (a , e , i , Ω , ω , v) kullanılmaktadır. Kepler elemanlı eliptik bir yörünge geometrik özellikleri Şekil 3.5.'deki gibidir.



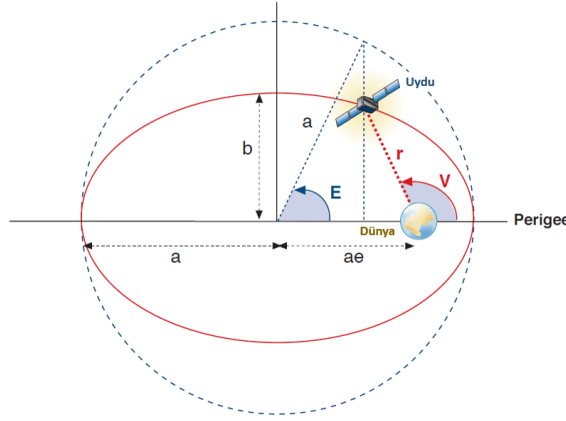
Şekil 3.5. GNSS uydusu yörünge elemanları (Subirana ve ark., 2013)

Kepler yörünge elemanlarından üç tanesi (a , e , v) yörüngeyi tanımlayan üç tanesi (i , Ω , ω) yörüngeyi tanımlayan üç tanesi ECEF koordinat sisteminde yönlendirilmesini sağlamaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2018).

Çizelge 3.6. Kepler parametreleri ve açıklamaları (ESA, 2021)

Parametreler	Açıklamaları
a	Yörüngeyi tanımlayan elipsin büyük yarı eksenidir.
e	Yörünge elipsinin dış merkezliği (eksantrisitesi) dir. Dış merkezlik, bir yörüngeyi tanımlayan elipsin dış merkezlikten nasıl saptığının bir ölçüsüdür. Tamamen dairesel bir yörünge, sıfır dış merkezliğe sahiptir. Dış merkezliğin artması daha fazla eliptik bir yörüngeyi göstermektedir.
i	Yörünge düzlemi ile ekvator arasındaki açıdır. Başka bir deyişle yörünge düzleminin eğimidir.
Ω	Ekvator düzlemi ile yörünge düzleminin kesiştiği yükselen düğüm noktasının, ilkbahar noktası ile arasındaki açıdır.
ω	Perigee argümanı, yörünge düzlemi boyunca ölçülen yükselen düğüm noktası ve perigee arasındaki açıdır. Perigee, uydunun Dünya'nın kütle merkezine en yakın olduğu noktadır. En uzak olduğu konum ise apogee'dir. Her ikisi de elipsin büyük yarı eksenine yönelmiştir.
v	Gerçek anomalî, perigee yönü ile uydunun yönü arasındaki jeosentrik açıdır. Dairesel bir yörüngede ($e=0$) Perigee Argümanı ve Gerçek Anomalî tanımsız olmakta, ancak uydunun konumu Enlem Argümanı ile ifade edilebilmektedir.

Bunların dışında enlem argümanı (u) ise perigee argümanının ve gerçek anomalînin toplamı olarak gösterilmekte ya da başka bir deyişle belirli bir epokta ekvatorla uydunun ölçülen açısı olarak belirtilmektedir (ESA, 2021).



Şekil 3.6. Eliptik yörünge gösterimi (Subirana ve ark., 2013)

Gerçek anomali (v) ve ortalama anomali (M), dışmerkez anomali (E) ve Kepler denklemi ile ilişkilidir. Gerçek anomali, merkez eşitliği adı verilen denklemin seriye açılmasıyla Ortalama Anomaliden çözülebilmektedir. Bu eşitlik denklem (3.1) de ifade edilmektedir. Dairesel yörüngeler için yani dışmerkez anomalisi sıfıra eşit olan yörüngeler için hem ortalama hem de gerçek anomalileri değerleri aynıdır.

$$v = M + e2 \sin(M) + e^2 \frac{5}{4} \sin(2M) - e^3 \left(\frac{1}{4} \sin(M) - \frac{13}{12} \sin(3M) \right) + \dots \quad (3.1)$$

Galileo uyduları Walker 24/3/1 adı verilen takımyıldızında 6 adet yedek uydu dahil olmak üzere toplam 30 uyduya ev sahipliği yapacak kapasitededir. Burada ifade edilen 24/3/1 kavramları sırasıyla toplam uydu sayısını, eşit aralıklı yörünge düzlemi sayısını, bitişik düzlemlerdeki uydular arasındaki göreceli boşlukları ifade etmektedir (Avila-Rodriguez ve ark., 2021; ESA, 2021).

3.3. GNSS Temel Hata Kaynakları

GNSS sistemleri hem sivil hem de askeri olmak üzere çok sayıda uygulamada kullanılmaktadır. Saymakla bitiremeyeceğimiz kullanım alanı olmasına rağmen diğer tüm sistemlerde olduğu gibi GNSS sistemlerinin de zayıf tarafları vardır. Diğer bir ifadeyle GNSS sinyallerinin gücü çok düşük olduğu için sinyaller hata kaynakları ile yüklüdür. Bu nedenle yüksek doğruluklu bir konumun belirlenmesi için bu hata kaynaklarının giderilmesi ya da çok iyi modellenmesi gerekmektedir. (Kahveci, 1997; Karaim ve ark., 2018)

3.3.1. Uydu yörünge bilgisi hatası

Yerçekimsel ve yerçekimsel olmayan kuvvetler GPS uydularının hareketlerini bozarak, yörüngelerin elipsten sapsmasına neden olmaktadır (George and Collins, 2004). Bu nedenle bu uyduların yayınlamış olduğu navigasyon mesajlarının doğruluğu düşük olacaktır. Bu bozulmalar, uzun vadeli, periyodik ve anomali bileşenleri ile belirlenip, gözlemlenen verilerin analizi yoluyla sürekli olarak belirlenebilmektedir (Lihua ve Wang, 2013). Bu hatanın büyüklüğü, uydulara kontrol bölümü tarafından yapılan son yükleme zamanından uzaklaştıkça artmaktadır. Kullanıcı açısından durum incelendiğinde, birkaç kilometrelik baz uzunluklarında efemeris hatasının etkisi oldukça küçük olmasına karşın, baz uzunluklarının birkaç yüz kilometre olduğu durumlarda hata miktarı önemli derecede artmaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2018).

Doğal nedenlerden kaynaklanan bu hata türü diğer taraftan navigasyon mesajları içerisinde de kasıtlı olarak artırılabilir. Seçimli Doğruluk Erişimi (Selective Availability, SA) adı verilen bu bozucu etkinin kullanımına 1-2 Mayıs 2000 tarihinde ABD tarafından son verilmiştir (Georgiadou ve Doucet, 1990; Yunck, 1996; Neilan ve ark., 2000; Xu, 2007).

3.3.2. Atmosferik etkiler

GNSS uyduları, Dünya üzerinde bulunan ya da diğer uydularda bulunan alıcılara elektromanyetik dalgalar halinde sinyaller yaymaktadır. Bu elektromanyetik dalgalar iyonosfer ve troposferden geçerek sinyallerin gecikmesine, sönümlenmesine ve kırılmasına neden olmaktadır (Hobiger ve Jakowski, 2017).

Troposfer, yeryüzünden yaklaşık 40 km'ye kadar uzanan Dünya atmosferinin alt kısmıdır. Burada sinyal yayılımı esas olarak su buharı içeriğine ve sıcaklığa bağlıdır (Seeber, 2003). Troposferik gecikme, iyonize olmamış atmosferin radyo frekanslarında yayınlanan elektromanyetik dalgalara olan etkisi şeklinde tanımlanmaktadır. Troposferik gecikme frekanstan bağımsızdır. Dolayısıyla iyonosferik gecikmeden farklı olarak L1 ve L2 sinyallerindeki ölçümler birleştirilerek bu etki kaldırılamaz. Bu gecikme uydu yüksekliğine bağlı olarak 2.5 metre ile 25 metre değerlerine ulaşılabilir (Misra ve Enge, 2012; Karaim ve ark., 2018). Bu gecikme etkisini gidermek amacıyla günümüzde özellikle uygulamaya yönelik ticari amaçlı değerlendirme yazılımlarında en çok

Saastamonien ve Hopfield troposferik etki hesabı modelleri kullanılmaktadır. Bilimsel amaçlı ve yüksek doğruluk istenen çalışmalarda ise daha geliştirilmiş fonksiyonlar kullanılmaktadır. Özellikle düşük yükseklik açılarında (<5 derece) en çok kullanılan indirgeme fonksiyonları; Niell (Isobaric Mapping Funciton), VMF (Vienna Mapping Function) ve GMF (Global Mapping Funciton) olarak sayılabilir (Hopfield, 1969; Saastamonien, 1972; Niell, 1996; Schüler, 2001; Misra ve Enge, 2012; Kahveci ve Yıldız, 2018; Karaim ve ark., 2018).

Saastamoinen modeline ait matematiksel genel eşitlik (3.2) gibidir.

$$\Delta S_{trop}^Z = 0.002277 \cdot \frac{1}{\cos Z} \left[P + \left(\frac{1255}{273.15+T} + 0.05 \right) \cdot e - B \cdot \frac{1}{\tan^2 Z} \right] + \delta L \quad (3.2)$$

ΔS_{trop}^Z	: Uydu-alıcı uzaklığına getirilecek olan düzeltme (m)
Z	: Uydu zenit uzaklığı
P	: Atmosferik basınç (mbar)
T	: Mutlak sıcaklık (°C)
e	: Su buharı basıncı (mbar)
B	: Noktanın yüksekliğinden dolayı tablodan alınacak katsayı
δL	: Uydu zenit açısına ve nokta yüksekliğine bağlı olarak tablodan alınacak olan düzeltme değeri (metre)

Hopfield modeline ait matematiksel eşitlik (3.3) gibidir.

$$\Delta S_{trop}^Z = \Delta S_w^Z + \Delta S_d^Z \quad (3.3)$$

$$\Delta S_w^Z = N_w \cdot 10^3 \sum_{i=1}^9 \left(\frac{\alpha_{i,w}}{Z} R_w^i \right) \quad (3.4)$$

$$\Delta S_d^Z = N_d \cdot 10^3 \sum_{i=1}^9 \left(\frac{\alpha_{i,d}}{Z} R_d^i \right) \quad (3.5)$$

$$N_w = 0.373 \times \frac{e}{T D^2} \quad (3.6)$$

$$N_d = 0.776 \times 10^{-4} \times \frac{P}{T} \quad (3.7)$$

ΔS_{trop}^Z : Uydu-alıcı uzaklığına getirilecek olan düzeltme (m)

e : Su buharı basıncı (mbar)

P	: Atmosferik basınç (mbar)
T	: Mutlak sıcaklık (°C)
TD	: $273.15+T$

İyonosfer, Dünya atmosferinin yaklaşık 70 ila 1000 km arasındaki üst kısmıdır. Sinyal yayılımı esas olarak serbest yüklü parçacıklardan etkilenmektedir (Seeber, 2003). İyonosfer, dağıtıcı bir ortam görevi görmektedir. Başka bir deyişle iyonosferik gecikme frekansa bağlıdır. Bu gecikme, bazı durumlarda 100 metre değerine ulaşabilmekte ki bu da GNSS'in konum doğruluğundaki önemli hata kaynaklarından birini temsil etmektedir. Çift frekanslı alıcılarda, (ionospheric-free) sinyal kombinasyonları kullanılarak iyonosferik gecikmenin %99.99'u giderilebilmektedir (Juan ve ark., 2012). Tek frekanslı alıcılarda ise iyonosferik gecikmeyi gidermek için GPS Klobuchar ve Galileo NeQuick modelleri uygulanmaktadır. Bu modellerde uydu navigasyon mesajları aracılığıyla iletilen iyonosferik parametreler kullanılmaktadır (Juan ve ark., 2012). Uydu mesajlarının bir bölümü olarak yayınlanan iyonosferik model katsayıları kullanılarak iyonosferik etkinin yaklaşık %50 si giderilebilmektedir. En doğru teorik model bile bu hatanın ancak %80 'ini düzeltebilmektedir (Klobuchar, 1987; Nava ve ark., 2008; Kahveci ve Yıldız, 2018; Karaim ve ark., 2018).

İyonosferik düzeltme formülleri, ilki uzunluk biriminde diğeri ise zaman biriminde olmak üzere iki farklı biçimde aşağıdaki gibi gösterilebilmektedir.

$$\Delta\rho(L_i) = \frac{A_1 \cdot TEC}{f^2(L_i)} \quad (3.8)$$

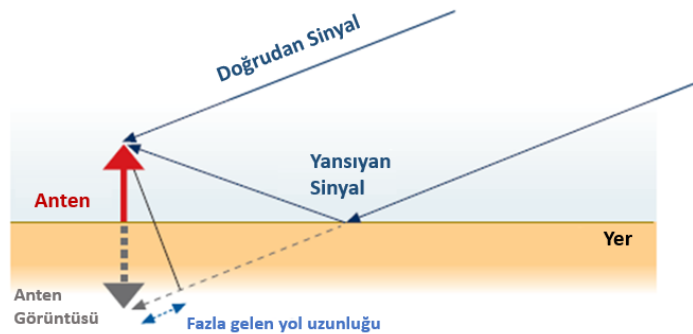
$$\Delta t(L_i) = \frac{\Delta\rho_R^S(L_i)}{c} = \frac{40.3}{c \cdot f^2(L_i)} \cdot TEC \quad (3.9)$$

$\Delta\rho_R^S(L_i)$: Uzunluk biriminde iyonosferik etki
$\Delta t(L_i)$: Zaman biriminde iyonosferik etki
c	: Işık hızı
TEC	: Toplam elektron miktarı
A_1	: 40.3
L_i	: L1 ve L2 frekansları

3.3.3. Sinyal yansıma etkisi

Uydudan yayınlanan bir sinyal, alıcıya birden fazla yoldan ulaşabilmektedir. Sinyal yansıması (multipath), esas olarak alıcının yakınındaki yansıtıcı yüzeylerden kaynaklanmaktadır. Alıcı anteninin etrafındaki fiziksel çevre, çoklu sinyal yolu ortamını belirler ve bu nedenle kara, deniz, hava ve uzaydaki kullanıcılar için önemli farklara neden olmaktadır (Borre ve ark., 2007; Hofmann-Wellenhof ve ark., 2008; Braasch, 2017). Bu hata kaynağından kaçınmanın bir yolu alıcıyı en ideal ortama konumlandırmaktır. Ancak GNSS alıcısının hareketli bir platform üzerinde olduğu durumlarda bu yol her zaman pratik değildir. Bu etkinin azaltılabilmesi için başka bir yol ise bu durumlar için tasarlanan ileri teknolojik alıcı ve antenleridir. (Kunysz, 2000; Hofmann-Wellenhof ve ark., 2008; Karaim ve ark., 2018)

Bu hata, her frekans için farklılık göstermektedir. Faz ölçümlerinin yanı sıra kod ölçümlerini de etkilemektedir. Kod ölçümlerinde, dalga boyunun 1.5 katı teorik bir değere ulaşabilmektedir. Örneğin, GPS C1 kodundaki sinyal yansıma etkisinin 450 metreye kadar ulaşabileceği anlamına gelmektedir. Ancak genellikle 2 ya da 3 metreden azdır. Taşıyıcı faz durumunda ise teorik olarak maksimum değeri dalga boyunun dörtte biri kadardır. Bu, GPS L1 veya L2 sinyalleri için yaklaşık 5 cm anlamına gelir. Genellikle 1 cm'den az olmaktadır (Subirana ve ark., 2013).



Şekil 3.7. Doğrudan sinyal ile yansıyan sinyal arasındaki optik yol farkı (Subirana ve ark., 2013)

3.3.4. Alıcı anteni faz merkezi hatası

Şimdiye kadar bahsedilen uydu ile alıcı arasındaki mesafe, daha kesin bir formülasyon kullanıldığında uydu ve alıcı antenlerinin elektriksel faz merkezleri arasındaki mesafe olarak adlandırılabilir (Hauschild, 2017).

Anten faz merkezinin konumu, antenin geometrik merkezi olmak zorunda değildir. Aslında sabit olmayıp, gelen radyo sinyalinin yönüne bağlıdır. Bir antenin faz merkezi yalnızca açığa (yükseklik ve azimut) bağlı olmayıp, aynı zamanda sinyal frekansına da bağlıdır (Rothacher, 1992; Subirana ve ark., 2013). Bu hata türü özdeş antenlerin kullanılması ve bazı kalibrasyon tekniklerinin uygulanması gibi yöntemlerle giderilebilmektedir (Schmitz ve ark., 2002; Schmid ve ark., 2016).

Anten faz merkezi değişimleri antenin yapısına bağlı olarak birkaç mm ile 1-2 cm arasında değişmektedir. Bu nedenle, özellikle yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda, yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi, jeodezik uygulamalar gibi çalışmalarda anten faz merkezi değişimlerinin dikkate alınması GPS ölçülerinin doğruluğu açısından önem arz etmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2018).

3.3.5. Taşıyıcı dalga faz belirsizliği (ambiguity)

Bir alıcı ölçüye başladığı anda uydudan kaydedilen ilk sinyalin tam dalga boyu sayısı belli değildir. Başka bir deyişle uydu-alıcı arasındaki taşıyıcı dalga fazının kaç tane tam dalga içerdiği bilinmemektedir. Bu bilinmeyene taşıyıcı dalga faz belirsizliği ya da kısaca faz belirsizliği (ambiguity) adı verilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2018). Faz belirsizliği çözümü üç ana adımı içermektedir. İlk adım, potansiyel tam sayı belirsizlik kombinasyonlarının üretilmesidir. İkinci adım, doğru tamsayı belirsizlik kombinasyonunun tanımlanmasıdır. Üçüncü adım ise belirsizliklerin doğrulanması olmalıdır (Hofmann-Wellenhof ve ark., 2008).

Taşıyıcı faz ölçümleri, kod (pseudorange) ölçülerine göre daha hassaslardır. Eğer faz belirsizlikleri çözümlerse, birkaç milimetre düzeyinde doğruluk elde edilebilmektedir (Subirana ve ark., 2013; Teunissen, 2017).

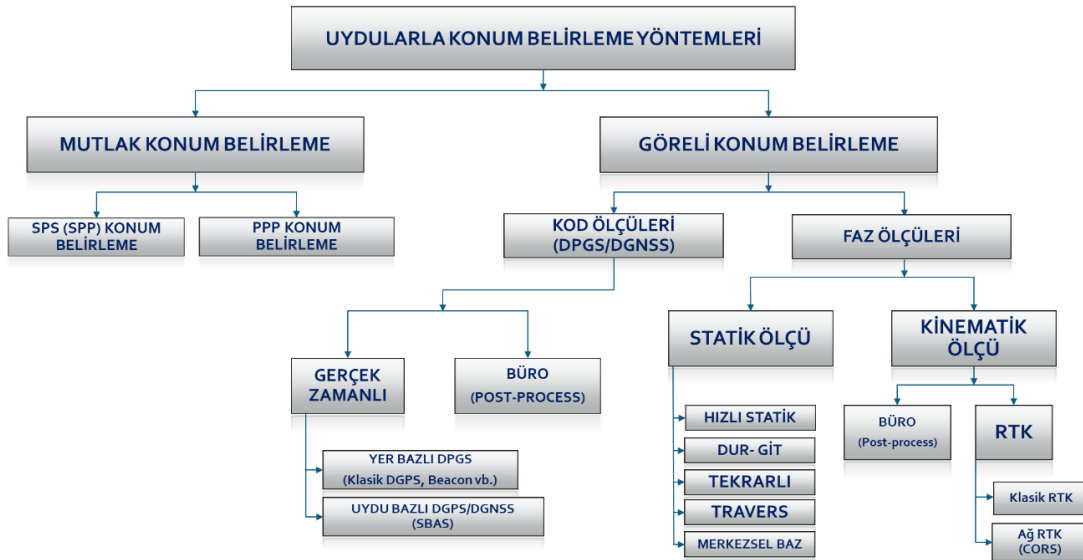
3.3.6. Sinyal kesiklikleri (cycle slips)

GPS gözlemi esnasında alınan sinyallerde meydana gelen sinyal kesikliklerine faz kesiklikleri (cycle slips) ya da faz kayıklıkları (loss of lock) adı verilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2018). Ölçüm esnasında çevrede bulunan engeller, sinyal yansımaları, kötü iyonosferik şartlardan dolayı oluşan sinyal gürültüsü, düşük uydu yükseklik açısı, sinyal parazitinden kaynaklanan zayıf sinyaller vb. durumlar sinyal kesikliğine neden olabilmektedir. Faz kesiklikleri, tek bir dizi faz ölçümünden tanımlanamaz ve düzeltilemez. Temel olarak diğer faz ölçümleri ile karşılaştırılır, birleştirilir ve oluşan farklılıkların davranışı analiz edilir (Seeber, 2003). Ancak bu durumun tek istisnası üçlü farklardır. Üçlü farklar oluşturulduğunda faz kesiklikleri yalnızca ilgili epogu kapsamaktadır. Faz kesikliğinin meydana geldiği epoktan itibaren sonraki tüm epoklarda belirlenen faz kayıklıkları ölçülere düzeltme olarak getirilmelidir (Van Sickle, 2008; Kahveci ve Yıldız, 2018).

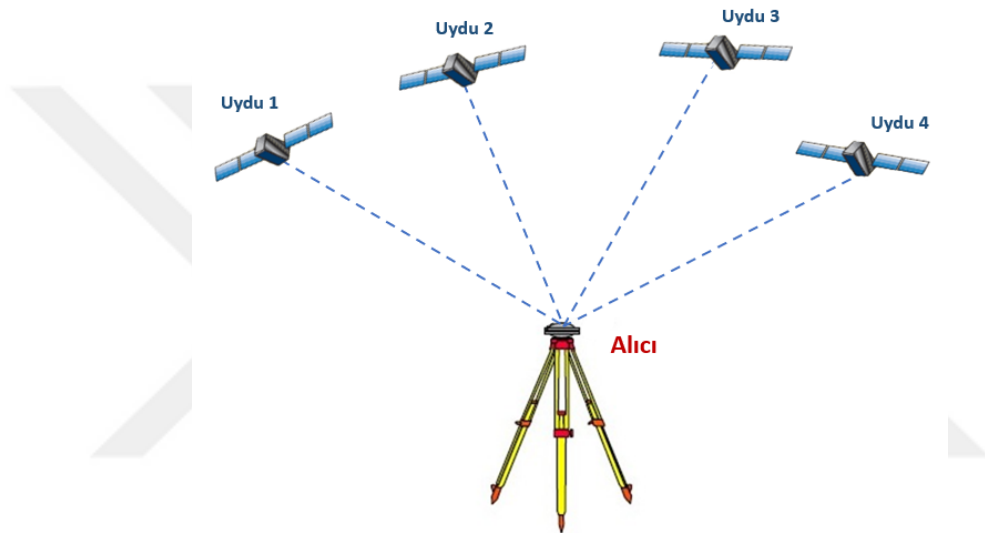
3.4. GNSS ile Konum Belirleme Yöntemleri

GNSS ile konum belirleme yöntemleri iki ana başlıkta toplanabilir. Bunlardan ilki mutlak konum belirleme (absolute/point positioning/navigation solution) diğeri ise görelî (relative positioning) konum belirleme yöntemidir.

Şekil 3.8. Uydularla konum belirleme yöntemleri (Kahveci, 2018)



Mutlak konum belirleme, yeryüzündeki tek bir alıcı ile elde edilen gözlemler kullanılarak başka bir deyişle uydu alıcı uzaklıklarını kullanarak, alıcı anteni koordinatının ve alıcı saat hatasının hesaplanması esasına dayanmaktadır. Navigasyon çözümü ve tek nokta konum belirleme olarak da adlandırılan bu yöntemde, konum belirleyebilmek için en az 4 uyduya ihtiyaç vardır (Van Sickle, 2008; Kahveci ve Yıldız, 2018). Elde edilen konum doğruluğu, navigasyon mesajı tarafından sağlanan verilerin doğruluğuna, gözlem anındaki uydu geometrisine, mevcut iyonosferik ve troposferik gecikmelerin doğruluğuna, ölçüm hatalarına bağlıdır (Leick ve ark., 2015).



Şekil 3.9. Mutlak konum belirleme

Mutlak konum belirleme Şekil 3.8.'den de görüleceği üzere SPS(SPP) ve PPP konum belirleme olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu konum belirleme türü kapsamında GPS tarafından iki farklı kullanıcı seviyesinde, 7/24 konumlandırma ve zamanlama hizmetleri sağlanmaktadır. Bunlar sivil kullanıcılar için erişime açılmış olan Standart Konum Belirleme Hizmeti (Standart Positioning Service, SPS) ve yetkili kullanıcılar için erişime açılmış Duyarlı Konum Belirleme Hizmeti (Precise Positioning Service, PPS)'dir (Hofmann-Wellenhof ve ark., 2008; Kahveci ve Yıldız, 2018; ESA ve GMV, 2020).

SPS, tüm GPS kullanıcıları tarafından kullanılabilen L1, L2 ve L5 frekanslarında C/A kodunu kullanan konumlandırma ve zamanlama hizmeti veren bir servistir. İyonosfer, troposfer, alıcı hatası, sinyal yansıma etkisi gibi etkiler göz ardı edilmiştir (Hofmann-Wellenhof ve ark., 2008). SPS kullanıcı ve SIS (Signal in Space) doğruluğu Çizelge 3.7'de verilmektedir (ESA ve GMV, 2020). Söz konusu çizelge incelendiğinde

kullanıcı performansı değerlerinin çok büyük olduğu görülmektedir. Bu değerler (GPS PPS PS, 2020)'de verilen resmi rakamlar olup, ABD devletinin olası sorumluluktan kaçınmak için abartılı değerler verdiği düşünülmektedir. Gerçekte ise bu değerler 1-10 metre arasında değişmekte olup, bu tez çalışması kapsamında yapılmış olan sayısal uygulamalarda da bu konu kanıtlanmıştır.

Çizelge 3.7. Tek frekanslı C/A koduna dayalı SPS hizmeti için performans standartları (ESA ve GMV, 2020; GPS SPS PS, 2020)

GPS Performans Standartları		SPS Kullanıcı Performansı	SPS SIS Performansı
Global Doğruluk	Yatay (%95)	< 100 m	< 8 m
	Düşey (%95)	< 156 m	< 13 m

PPS, L1 ve L2 frekanslarında, şifrelenmiş P(Y) kodunu kullanan oldukça hassas konumlandırma, hız ve zamanlama sistemidir. Seçimli doğruluk erişimi (selective-availability) ve aldatmaya karşı koruma (anti-spoofing) özellikleri uygulanarak askeri olmayan kullanıcılara sistemin tam doğruluğu kapatılmıştır. Kullanımı yalnızca ABD silahlı kuvvetleri, ABD federal kurumları, bazı müttefik silahlı kuvvetleri ve hükümetlerle sınırlı olan sivil kullanımı için ancak ABD Savunma Bakanlığı onayı gereken bir hizmettir (Kaplan ve Hegarty, 2005; Hofmann-Wellenhof ve ark., 2008; Leick ve ark., 2015). PPS kullanıcı ve SIS (Signal in Space) doğruluğu Çizelge 3.8' da verilmektedir (ESA ve GMV, 2020).

Çizelge 3.8. Çift frekanslı P/Y koduna dayalı PPS hizmeti için performans standartları (GPS PPS PS, 2007; ESA ve GMV, 2020)

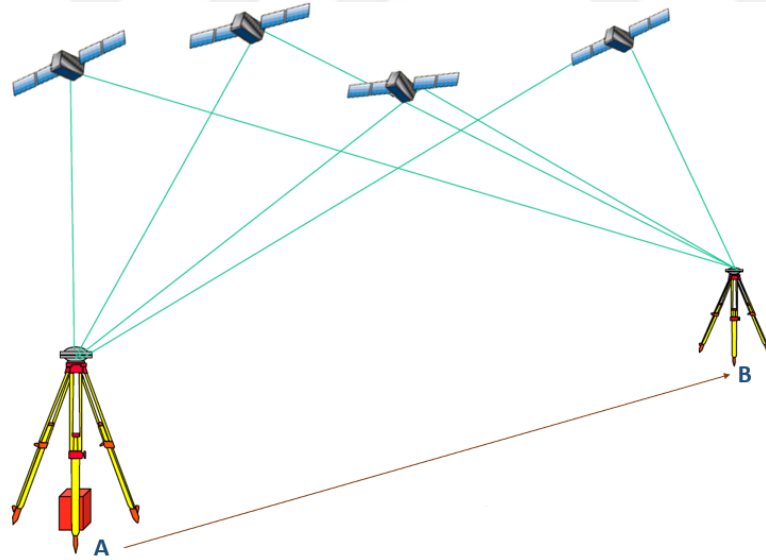
GPS Performans Standartları		PPS Kullanıcı Performansı	PPS SIS Performansı
Global Doğruluk	Yatay (%95)	< 36 m	< 13 m
	Düşey (%95)	< 77 m	< 22 m

Hassas Nokta Konum Belirleme (Precise Point Positioning, PPP), 1997 yılında (Zumberge ve ark., 1997) tarafından tanıtılmış, farklılaştırılmamış (undifferenced) taşıyıcı fazı ve kod gözlemlerini kullanan bir yöntemdir (Kouba ve ark., 2017). Bilindiği üzere uydu saatlerindeki hatalar ve uydu yörünge bilgilerinin belirli bir seviyedeki doğruluğu GNSS çalışmalarına önemli hatalar katmaktadır. Navigasyon mesajından elde edilen veriler, bu hataları azaltmak için yeterli olmamaktadır (Van Sickle, 2008). Hassas GNSS yörünge bilgileri ve saat verilerinin geniş çapta erişilebilir hale gelmesiyle bu

teknik ile birkaç santimetrelik doğruluğa ulaşılmıştır (Cai ve ark., 2015; Fu ve ark., 2019; Hadas ve ark., 2019). Diğer taraftan belirsizlik (ambiguity) çözümü için geliştirilen yeni algoritmalar, tekniğin birkaç milimetrelik doğruluğa ulaşmasına izin vermiştir (Liu ve ark., 2019; Hadas ve ark., 2019).

Bu yöntemin herhangi bir referans istasyonuna ihtiyaç duymaması, hem gerçek zamanlı hem de büroda (post-process) hesaplama yapılabilmesi, zaman ve maliyet yönünden tasarruf sağlaması, DGPS ve Gerçek Zamanlı Kinematik (Real Time Kinematik, RTK) yöntemlerine göre üstün taraflarıdır (Kahveci ve Yıldız, 2018).

Görelî konum belirlemenin amacı ise koordinatları belli olan bir noktaya göre koordinatı bilinmeyen noktanın koordinatlarını belirlemektir (Kahveci ve Yıldız, 2018). Bu yöntemin kilit noktası referans istasyonunun koordinatlarını sabit tutmaktır. Başka bir deyişle referans noktasının koordinatları gerçek değerler olarak kabul edilmektedir (Xu ve Xu, 2016). Böylece taşıyıcı faz belirsizliklerinin tam sayı değerine kadar tahmin edilebilmesiyle konum doğruluğu büyük ölçüde iyileşmektedir (Souza ve ark., 2009; Odijk, 2017). Görelî konum belirleme ile iki nokta arasındaki baz vektörü belirlenmektedir.



Şekil 3.10. Görelî konum belirleme (Knippers, 2010)

Şekilde A noktası koordinatları bilinen referans noktası olup, B noktası koordinatı bilinmeyen nokta başka bir deyişle hesaplamak istediğimiz noktadır. Bu noktanın matematiksel gösterimi aşağıdaki gibi yapılabilir.

$$X_B = X_A + b_{AB} \quad (3.10)$$

$$b_{AB} = \begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Görelî konum belirleme, kod ya da faz gözlemleri ile gerçekleştirilebilmektedir. Ancak faz gözlemlerine dayalı çözümlerin doğruluğu çok daha yüksek olduğu için faz gözlemleri daha çok dikkate alınmaktadır.

Ayrıca hem referans hem de koordinatı bilinmeyen noktada eşzamanlı gözlemler yapılması gerekmektedir (Hofmann-Wellenhof ve ark., 2008). Faz gözlemleri kullanılarak yapılan görelî konum belirleme yöntemleri aşağıdaki gibidir.

- Statik Ölçü Yöntemi
- Hızlı (rapid/fast) Statik Ölçü Yöntemi
- Tekrarlı (reoccupation/pseudostatic) Ölçü Yöntemi
- Dur-Git (stop and go) Ölçü Yöntemi
- Kinematik Ölçü Yöntemi

Günümüzde yüksek doğruluk isteyen bilimsel amaçlı çalışmalarda statik yöntem kullanılmaktadır. Kinematik Ölçü yöntemi dışında kalan diğer yöntemler ise özel uygulamalar dışında artık kullanılmamaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2018).

3.4.1. Uydu ECI ve ECEF koordinatları hesabı

GPS sistemi zamanı sürekli bir zaman ölçeği olup, izleme istasyonlarındaki ve uydulardaki atomik saatlerin ağırlıklı ortalaması olarak tanımlanmaktadır. UTC zaman ölçeğindeki artık saniyeler ve GPS saatlerindeki sapmalar, GPS sistem zamanı ile UTC'nin aynı olmadığı anlamına gelmektedir. Oluşan bu fark, kontrol bölümü tarafından sürekli olarak izlenmekte ve kullanıcılara navigasyon mesajında yayınlanmaktadır.

Uydu osilatörlerindeki sürekli ve düzensiz frekans hataları nedeniyle, uydu saati okumaları GPS sistem saatinden farklı olmaktadır. Uydu saatlerinin (rubidyum veya sezyum osilatörü) davranışı, kontrol bölümü tarafından izlenmekte ve ikinci derece polinom şeklinde tahmin edilmektedir (Seeber, 2003).

Çizelge 3.2.'de verilen polinom katsayıları (a_{f0} , a_{f1} , a_{f2}) navigasyon mesajı aracılığıyla iletilmektedir. Uydu saati, GPS sistem saatine aşağıda verilen eşitlik ile senkronize edilmektedir.

$$t_{GPS} = t_s - \Delta t_s \quad (3.12)$$

t_{GPS} : GPS zamanında uydu sinyali yayımı (sn)

t_s : Uydu saati zamanında sinyal yayımı (sn)

Δt_s : Düzeltme terimi (sn)

$$\Delta t_s = a_{f0} + a_{f1}(t_s - t_{oc}) + a_{f2}(t_s - t_{oc})^2 + \Delta t_{re} \quad (3.13)$$

$$\Delta t_{re} = F.e.\sqrt{A}.\sin(E) \quad (3.14)$$

a_{f0}, a_{f1}, a_{f2} : Polinom katsayıları (sn, sn/sn, sn/sn²)

t_{oc} : Uydu saati referans zamanı (sn)

Δt_{re} : Relativite düzeltmesi (sn)

F : Sabit bileşen ($-4.442807633.10^{-10} \frac{sn}{m^{1/2}}$)

Burada e, \sqrt{A} , E yörünge elemanlarını ifade etmektedir

Saatlerin senkronizasyonu yapıldıktan sonra Çizelge 3.2'de verilen parametreler yardımıyla ve Çizelge 3.9'da verilen sıra dahilinde uydu yörünge ve ECEF koordinatları hesaplanabilmektedir.

Çizelge 3.9. Uydu yörünge ve ECEF Koordinat Hesabı (Kahveci ve Yıldız, 2018)

Açıklama	Sabitler	
Yer çekimi sabiti (GPS)	$GM = 3.98600415 * 10^{14} \frac{m^3}{sn^2}$	
Yer çekimi sabiti (Galileo)	$GM = 3.986004418 * 10^{14} \frac{m^3}{sn^2}$	
Yerin açısal dönme hızı	$\Omega_e = 7.2921151467 * 10^{-5} rad/sn$	
Işık hızı	$c = 299792458 m/sn$	
Açıklama	Denklemler	Eşitlik
Elips büyük yarı eksenini hesaplanır.	$a = (\sqrt{a})^2$	(3.15)
Düzeltilmiş ortalama hareket hesaplanır.	$n = n_0 + \Delta n$ $n_0 = \sqrt{\frac{kM}{A^3}}$	(3.16)
t_{oe} referans epöğuna göre zaman hesaplanır.	$t_k = t_{GPS} - t_{oe}$	(3.17)
Ortalama anomali hesaplanır.	$M_k = M_0 + n * t_k$	(3.18)
Dışmerkez Anomali (iteratif çözüm ile) hesaplanır	$E_k = M_k + e * \sin E_k$	(3.19)
Gerçek anomali hesaplanır.	$\sin v_k = \frac{\sqrt{1-e^2} * \sin E_k}{1-e * \cos E_k}$ $\cos v_k = \frac{\cos E_k - e}{1-e * \cos E_k}$ $v_k = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{1-e^2} * \sin E_k}{\cos E_k - e} \right)$	(3.20)
Enlem argümanı hesaplanır.	$\varphi_k = v_k + \omega$	(3.21)
Düzeltilmiş enlem argümanı hesaplanır.	$U_k = \varphi_k + \delta \varphi_k$ $\delta \varphi_k = C_{us} * \sin(2\varphi_k) + C_{uc} * \cos(2\varphi_k)$	(3.22)
Yaklaşık jeosentrik yarıçap hesaplanır.	$r = a * (1 - e * \cos E_k)$	(3.23)
Düzeltilmiş jeosentrik yarıçap hesaplanır.	$r_k = r + \delta r_k$ $\delta r_k = C_{rs} * \sin(2\varphi_k) + C_{rc} * \cos(2\varphi_k)$	(3.24)
Yaklaşık eğim hesaplanır.	$i = i_0 + \left(\frac{di}{dt} \right) * t_k$	(3.25)
Düzeltilmiş eğim hesaplanır.	$i_k = i + \delta i_k$ $\delta i_k = C_{is} * \sin(2\varphi_k) + C_{ic} * \cos(2\varphi_k)$	(3.26)
Yükselen düğüm noktasının düzeltilmiş boylamı hesaplanır.	$\Omega_k = \Omega_0 + (\Omega - \Omega_e) * t_k - \Omega_e * t_{oe}$	(3.27)
Yörünge düzlemindeki (ECI) uydu koordinatları hesaplanır.	$X'_k = r_k * \cos U_k$ $Y'_k = r_k * \sin U_k$	(3.28)
Ekvator düzlemindeki uydu ECEF (CTRS) koordinatları hesaplanır.	$X_k = X'_k * \cos \Omega_k - Y'_k * \cos i_k * \sin \Omega_k$ $Y_k = X'_k * \sin \Omega_k + Y'_k * \cos i_k * \cos \Omega_k$ $Z_k = Y'_k * \sin i_k$	(3.29)

3.4.2. Kod gözlemlerine dayalı alıcı koordinatı hesabı

Konum belirleme, esasında uzayda geriden kestirme probleminin çözümü olarak açıklanabilir. Başka bir deyişle uydu-alıcı uzaklıklarını kullanarak koordinatı bilenen noktalardan koordinatı bilinmeyen noktaların hesaplanması esasına dayanmaktadır. Burada uydu-alıcı uzaklıklarını temsilen pseudorange ya da radyo dalgaları, koordinatı bilinen noktaları temsilen, uydu koordinatları ve koordinatı bilinmeyen noktaları temsilen yeryüzünde aradığımız alıcı koordinatı düşünülebilir. Sonuç olarak burada amaç, en az dört uydudan ölçülen pseudorange gözlemleri ile alıcı koordinatlarını ve alıcı saat hatasını belirlemektir.

Uydudan çıkan sinyallerin hiçbir etkiye maruz kalmadan alıcıya ulaştığı kabul edilirse, sinyalin uydu-alıcı arasındaki geçen zamanın ışık hızı ile çarpılması pseudorange ya da ham uydu-alıcı uzaklığı olarak ifade edildiği bölüm (3.1.5.)’de belirtilmişti. Bu tanım (3.30) eşitliği ile gösterilmektedir.

$$\rho_R^{SV} = c * (t_R - t^{SV}) = c * \Delta t \quad (3.30)$$

Ancak bu varsayımlar gerçekte sağlanamadığından pseudorange için genel eşitlik (3.31) eşitliği şeklinde yazılabilir.

$$c * (t_R - t^{SV}) = \rho_0^{SV} + c * (\Delta t^{sv} - \Delta t_R) + I_R^{SV} + T_R^{SV} + TGD * c \quad (3.31)$$

t^{SV} : Sinyalin uydudan çıkış anındaki GPS zamanı

t_R : Sinyalin alıcıya ulaştığı andaki GPS zamanı

Δt^{sv} : Uydu saati zamanı ile GPS zamanı arasındaki fark (satellite clock offset)

Δt_R : Alıcı saati zamanı ile GPS zamanı arasındaki fark (receiver clock offset)

I_R^{SV} : İyonosferik gecikme

T_R^{SV} : Troposferik gecikme

TGD : Zamanlama grubu gecikmesi (Total/Timing Group Delay)

$$\rho_0^{SV} = \sqrt{(X^{SV} - X_R)^2 + (Y^{SV} - Y_R)^2 + (Z^{SV} - Z_R)^2} \quad (3.32)$$

ρ_0^{SV} : Uydu ile alıcı arasındaki toposentrik uzunluk

R : (X_R, Y_R, Z_R) alıcı koordinatları

S : (X^{SV}, Y^{SV}, Z^{SV}) uydu koordinatları

(3.31)'te verilen genel eşitlik denkleminde toposentrik uzunluk ρ_0^{SV} (3.32), (3.31) eşitliğinde yerine koyulduğunda elde edilen sonuç eşitlik,

$$P_R^{SV} = \sqrt{(X^{SV} - X_R)^2 + (Y^{SV} - Y_R)^2 + (Z^{SV} - Z_R)^2} + c * (\Delta t^{sv} - \Delta t_R) + I_R^{SV} + T_R^{SV} + \text{TGD} * c \quad (3.33)$$

(3.33) halini almaktadır. Uydu koordinatları bölüm (3.4.1.)'de olduğu gibi hesaplanabilmektedir. Böylece (3.33) eşitliğinde geriye 8 bilinmeyen kalmaktadır. Bu bilinmeyenler aşağıdaki gibidir.

- Alıcı anteni koordinatları (X_R, Y_R, Z_R)
- Uydu saat hatası
- Alıcı saat hatası (Δt_R)
- İyonosferik düzeltme (I_R^{SV})
- Troposferik düzeltme (T_R^{SV})
- TGD

Uydularda atomik saatlerin kullanılması ve bu saatlerin kontrol bölümü tarafından sürekli olarak kontrol edilmesiyle uydu saat hatası bilinmeyi otomatik olarak giderilmiş olmaktadır. Alıcı saatlerinin anlık hataları belirsiz olduğu için yapılan gözlemler gerçekte alıcı saat hatası bilinmeyenini de içermektedir. Yaklaşık 300 km hataya ulaşabilen bu hata türü dengeleme hesabı ile giderilebilmektedir. İyonosferik ve troposferik düzeltmeler Bölüm (3.3.2.)'de anlatıldığı gibi belirli modellerle giderilebilmektedir. Zamanlama grubu gecikmesi ise uydu koordinatlarının da hesaplanabilmesi için gerekli olan RINEX navigasyon dosyası aracılığıyla temin edilebilmektedir. Böylece (3.33) eşitliğinden geriye 4 bilinmeyen kalmaktadır. Bu 4 bilinmeyen için eş zamanlı olarak en az 4 uyduya yapılan gözlemlere Şekil (3.11.) başka bir deyişle en az 4 pseudorange ölçüsüne ihtiyaç vardır (Kahveci ve Yıldız, 2018).

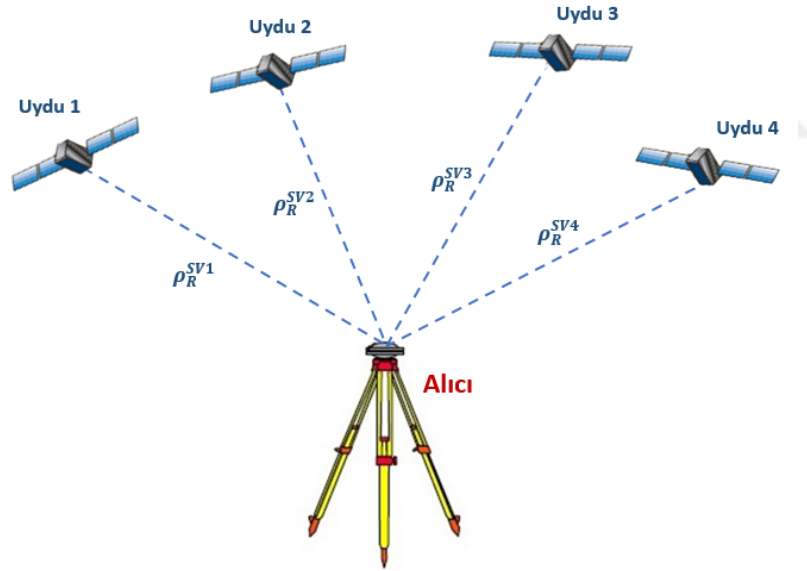
$$\rho_R^{SV1} = \sqrt{(X^{SV1} - X_R)^2 + (Y^{SV1} - Y_R)^2 + (Z^{SV1} - Z_R)^2} + c \cdot \Delta t_R \quad (3.34)$$

$$\rho_R^{SV2} = \sqrt{(X^{SV2} - X_R)^2 + (Y^{SV2} - Y_R)^2 + (Z^{SV2} - Z_R)^2} + c \cdot \Delta t_R \quad (3.35)$$

$$\rho_R^{SV3} = \sqrt{(X^{SV3} - X_R)^2 + (Y^{SV3} - Y_R)^2 + (Z^{SV3} - Z_R)^2} + c \cdot \Delta t_R \quad (3.36)$$

$$\rho_R^{SV4} = \sqrt{(X^{SV4} - X_R)^2 + (Y^{SV4} - Y_R)^2 + (Z^{SV4} - Z_R)^2} + c \cdot \Delta t_R \quad (3.37)$$

Pseudorange ölçüleri yukarıdaki gibi yazıldığında elde edilen (3.34-3.37) eşitliklerinin lineer eşitlikler olmadığı görülmektedir. Bu durum ise örneğin en küçük kareler yaklaşımı gibi kolayca çözülebilen lineer bir denklem sistemi kurmamızı engellemektedir. Bu yüzden problemin lineer bir kestirimi için farklı teknikler geliştirilmiştir. Bu tekniklerden bazıları kapalı formüller, lineerleştirerek iteratif çözüm, Kalman filtreleme vb.dir. Lineer olmayan bu eşitlikler, çok değişkenli Taylor serisi açılımının lineer kısımlarının kullanılmasıyla lineerleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.11. Eş zamanlı yapılan dört pseudorange ölçüsü

En az bir kez türevi alınabilen herhangi bir $f(x,y)$ fonksiyonu için, (a,b) noktasına lineer bir yaklaşım (3.38) eşitliği gibi ifade edilmektedir.

$$f(x,y) = f(a,b) + \frac{\partial f}{\partial x}(a,b)(x-a) + \frac{\partial f}{\partial y}(a,b)(y-b) \quad (3.38)$$

Yaklaşık nokta koordinatları ve alıcı saat sapması bilinmeyenleri çok değişkenli Taylor serisi açılımında ρ_R^{SV} ile lineerleştirildiğinde (3.39) eşitliği elde edilmektedir.

$$P_R^{SV}(X_R, Y_R, Z_R, t_R) = P_R^{SV}(X_0, Y_0, Z_0, t_0) + \frac{\partial P_R^{SV}}{\partial X}(X_R - X_0) + \frac{\partial P_R^{SV}}{\partial Y}(Y_R - Y_0) + \frac{\partial P_R^{SV}}{\partial Z}(Z_R - Z_0) + \frac{\partial P_R^{SV}}{\partial t}(t_R - t_0) \quad (3.39)$$

(3.39) eşitliği daha basit bir ifadeyle sadeleştirilerek (3.40) eşitliği elde edilebilmektedir.

$$P_R^{SV}(X_r, Y_r, Z_r, t_r) - P_R^{SV}(X_0, Y_0, Z_0, t_0) = \frac{\partial P_R^{SV}}{\partial X}(\Delta X) + \frac{\partial P_R^{SV}}{\partial Y}(\Delta Y) + \frac{\partial P_R^{SV}}{\partial Z}(\Delta Z) + \frac{\partial P_R^{SV}}{\partial t}(\Delta t) \quad (3.40)$$

(3.40) eşitliğine yine sadeleştirme işlemi yapılarak (3.41) eşitliği elde edilebilmektedir.

$$\Delta P_R^{SV} = \left[\frac{\partial P_R^{SV}}{\partial X} \quad \frac{\partial P_R^{SV}}{\partial Y} \quad \frac{\partial P_R^{SV}}{\partial Z} \quad \frac{\partial P_R^{SV}}{\partial t} \right] \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \\ \Delta t \end{bmatrix} \quad (3.41)$$

(3.41) eşitliğindeki ifadelerin kısmi türevleri aşağıdaki gibi alınabilir.

$$\frac{\partial P_R^{SV}}{\partial X} = -\frac{X^{SV} - X_0}{\rho_0^{SV}} \quad (3.42)$$

$$\frac{\partial P_R^{SV}}{\partial Y} = -\frac{Y^{SV} - Y_0}{\rho_0^{SV}} \quad (3.43)$$

$$\frac{\partial P_R^{SV}}{\partial Z} = -\frac{Z^{SV} - Z_0}{\rho_0^{SV}} \quad (3.44)$$

$$\frac{\partial P_R^{SV}}{\partial t} = c \quad (3.45)$$

Kısmi türevler cinsinden (3.41) denklemi yeniden yazılırsa (3.46) denklemi elde edilmektedir.

$$\Delta P_R^{SV} = \left[-\frac{X^{SV} - X_0}{\rho_0^{SV}} \quad -\frac{Y^{SV} - Y_0}{\rho_0^{SV}} \quad -\frac{Z^{SV} - Z_0}{\rho_0^{SV}} \quad c \right] \cdot \begin{bmatrix} \delta X \\ \delta Y \\ \delta Z \\ \delta t \end{bmatrix} \quad (3.46)$$

Kullanıcı eş zamanlı olarak 4 tane uyduya gözlem yaptığı düşünüldüğünde (3.46) da verilen eşitlik matris formunda (3.47) gibi yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} -\frac{X^{SV1}-X_0}{p_0^{SV1}} & -\frac{Y^{SV1}-Y_0}{p_0^{SV1}} & -\frac{Z^{SV1}-Z_0}{p_0^{SV1}} & C \\ -\frac{X^{SV2}-X_0}{p_0^{SV2}} & -\frac{Y^{SV2}-Y_0}{p_0^{SV2}} & -\frac{Z^{SV2}-Z_0}{p_0^{SV2}} & C \\ -\frac{X^{SV3}-X_0}{p_0^{SV3}} & -\frac{Y^{SV3}-Y_0}{p_0^{SV3}} & -\frac{Z^{SV3}-Z_0}{p_0^{SV3}} & C \\ -\frac{X^{SV4}-X_0}{p_0^{SV4}} & -\frac{Y^{SV4}-Y_0}{p_0^{SV4}} & -\frac{Z^{SV4}-Z_0}{p_0^{SV4}} & C \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta X \\ \delta Y \\ \delta Z \\ \delta t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_R^{SV1} - \rho_0^{SV1} \\ \rho_R^{SV2} - \rho_0^{SV2} \\ \rho_R^{SV3} - \rho_0^{SV3} \\ \rho_R^{SV4} - \rho_0^{SV4} \end{bmatrix} \quad (3.47)$$

Yukarıda verilen (3.47) eşitliği daha kısa bir ifadeyle $A \cdot \delta X = \Delta \rho_R^{SV}$ şeklinde yazılabilir. Burada A, kısmi türevlerin olduğu matrisi (düzeltme denklemleri katsayılar matrisi), δX , bilinmeyen vektörü (bilinmeyenlere getirilecek düzeltmeleri), $\Delta \rho_R^{SV}$ ise gözlenen pseudorange-hesaplanan pseudorange vektörüdür. Bu denklem en küçük kareler yöntemi ile çözülebilmektedir. Sonuç olarak bu denklemin çözümü (3.48) denklemi ile elde edilebilmektedir (Strang ve Borre, 1997; Borre, 2003).

$$\delta X = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot \Delta \rho_R^{SV} \quad (3.48)$$

Alıcı koordinatlarının kesin değerleri ise (3.49-3.51) eşitlikleri ile hesaplanmaktadır. Burada elde edilen $\widehat{X}_R, \widehat{Y}_R, \widehat{Z}_R$ değerleri alıcıya ait kesin değerlerdir (Kahveci ve Yıldız, 2018).

$$\widehat{X}_R = X_0 + \delta X \quad (3.49)$$

$$\widehat{Y}_R = Y_0 + \delta Y \quad (3.50)$$

$$\widehat{Z}_R = Z_0 + \delta Z \quad (3.51)$$

4. GPS + Galileo ÖZELLİKLİ TEK NOKTA KONUM BELİRLEME YAZILIMI (KTUN_HRT)

4.1. Genel Bilgiler

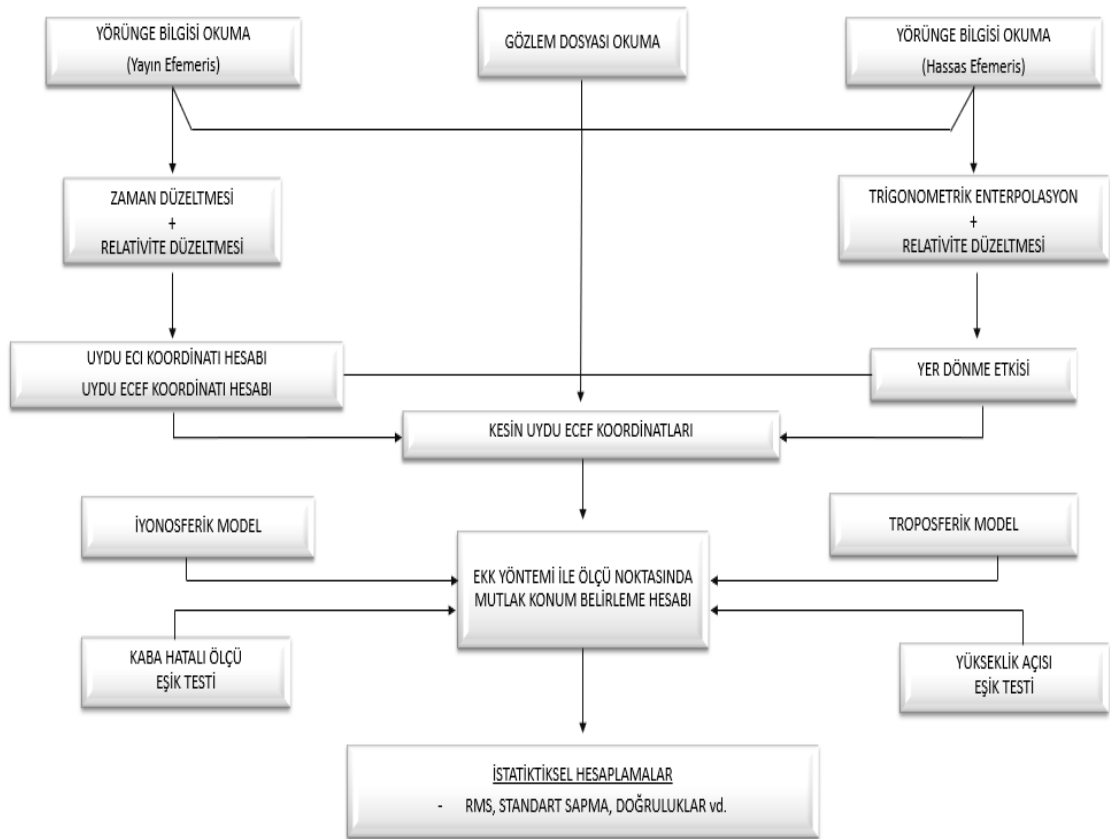
GNSS ölçülerinin değerlendirilmesinde ticari ve bilimsel amaçlı GNSS yazılımları sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak bu yazılımların etkili ve doğru bir şekilde kullanımları iyi düzeyde bilgi ve deneyim gerektirmektedir. Ayrıca bu yazılımlara sahip olmak için genellikle lisanslama ücreti istenmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2018). Diğer taraftan son yıllarda kullanımı oldukça yaygınlaşan web tabanlı çevrim içi (online) GNSS değerlendirme servisleri de geliştirilmiştir. Bu servislerin en önemli özelliklerinden birisi ücretsiz olmasıdır. Ancak bu servislerin de arka planda hangi işlemlerden geçtiği, bu işlemlere sınırlı bir şekilde müdahale edilmesi ve internet zorunluğu olması gibi sebepler sakınca olarak nitelendirilebilir.

Bu sınırlamalar göz önünde bulundurulduğunda, “MathWorks” tarafından geliştirilen “MATLAB R2020a” (URL-1) programlama dilinde 30 adet scriptten oluşan kullanıcı dostu, çevrimdışı çalışabilen KTUN_HRT isimli bir yazılım hazırlanmıştır. Kullanıcı arayüzü olarak “MATLAB R2020a” nın sunmuş olduğu “App Designer” geliştiricisi kullanılmıştır. Bu yazılımın genel amacı GPS ve Galileo uydularında yalnızca C1 kod ölçüsü kullanılarak farklı uydu yörünge verilerine göre belirli düzeltmelerin de getirilerek en son alıcı yer koordinatının hesaplanması ve bunların istatistiksel olarak yorumlanması esasına dayanmaktadır. Bunun yanında bazı temel jeodezik hesaplamalar ve zaman hesaplamaları da programa dahil edilmiştir.

4.2. Yazılım Algoritması

Bu tez çalışmasında hazırlanan KTUN_HRT yazılımına ait algoritma Şekil (4.1.)’de verilmiştir. Algoritma kapsamında öncelikle RINEX dosya okuma kısmında 2.x versiyonlu RINEX gözlem dosyalarının okunması işlemi gerçekleştirilmektedir. Diğer taraftan yörünge bilgisi okuma kısmından seçilen efemeris türüne göre (yayın efemerisi ya da hassas efemeris) dosyalarının okunması işlemi yapılmaktadır. Seçilen efemeris türü yayın efemerisi olduğunda, uydu konumlarının yüksek doğruluğu için önem arz eden zaman düzeltmesi ve relativite düzeltmesi getirilmektedir. Bu düzeltmelerin getirilmesinin ardından önce uydu yörünge koordinatlarının hesabı daha sonra da uydu

ECEF koordinatlarının hesabı, ilgili olan her bir epoktaki her bir uydu için hesaplanmaktadır. Uydu koordinatlarının kesinleşmiş son hali için öncelikle zamanı daha hassas elde etmek adına zaman iterasyonu yapıp daha sonra da hesaplamalara yer dönme etkisi getirilmektedir. Seçilen efemeris türü hassas efemeris olduğunda ise koordinatlar ve zamanlar için trigonometrik enterpolasyon işlemi yapılmakta (URL-5), relativite düzeltmesi ve yer dönme etkisi getirilerek kesin uydu ECEF koordinatları elde edilmektedir. Ardından (3.33) denkleminde yer alan düzeltilmiş uydu alıcı uzaklığının hesaplanması için gerekli olan iyonosferik ve troposferik modeller başka bir yüksek lisans tezi kapsamında hazırlanmış olup, KTUN_HRT yazılımının içine gömülmüştür. Burada iyonosferik düzeltme için Klobuchar modeli, troposferik düzeltme için ise Niell troposferik modeli kullanılmıştır. Getirilen düzeltmelerin ardından elde edilen veriler önce kaba hatalı ölçü testine daha sonra yükseklik açısı eşik testine tâbi tutulmaktadır. Bu testlerden geçen ölçülerle, en az 4 uydudan aldığımız verilerin dahil olduğu EKK yöntemiyle ölçü noktasında mutlak konum belirleme hesabı yapılmaktadır. Daha sonra yapılan hesaplamaların istatistiksel sonuçları değerlendirilmektedir.



Şekil 4.1. KTUN_HRT yazılım algoritması

4.3. Yazılım Menüleri ve Kullanımı

KTUN_HRT yazılımı 5 ana pencereden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla aşağıdaki gibi verilebilir.

- ZAMAN HESAPLARI
- KTUN FORMATI
- MUTLAK KONUM BELİRLEME (CODE PP)
- YARDIMCI HESAPLAR
- CIKTI INCELEME

“ZAMAN HESAPLARI” penceresinde dilediğimiz epöğa ait girdi verilerini (yıl, ay, gün, saat, dakika, saniye şeklinde) girerek “HESAPLA” butonu ile jülyen günü, değiştirilmiş jülyen günü, GPS haftası, GPS haftası günü ve GPS haftası saniyesi sonuçları çıktı olarak alınabilmektedir (Şekil 4.2). “TEMİZLE” butonu ile de yaptığımız işlemler temizlenebilmektedir.

Şekil 4.2. Zaman hesapları (1.pencere)

“KTUN_FORMAT” penceresi daha sonraki çalışmalarda yapılması planlanan ancak bu çalışma kapsamında henüz tamamlanmayan bir penceredir. Burada amacımız her türlü ölçü verileri, yörünge verileri ve saat verileri gibi farklı veri türlerini kendi KTUN formatımıza dönüştürerek bunları standart bir “binary” formata sokmak ve bundan sonraki çalışmalarda hesaplamaları bu standart formatı kullanarak yapmaktır.

“MUTLAK KONUM BELİRLEME (CODE PP)” penceresi esasen bu çalışmanın odak noktasıdır. Bu pencerede uydu sistemi seçimi kısmından istenilen uydu sistemine göre (GPS, Galileo ya da GPS+Galileo) seçim yapılabilmektedir. Gelecek planlı çalışmalarda bunlara GLONASS uydu sistemi verileri de dahil edilecektir. Diğer taraftan efemeris bilgisi seçimi kısmından istenilen efemeris sistemine göre (yayın efemerisi ya da hassas efemeris) seçebilme olanağı tanınmıştır. Gözlem tipi seçimi kısmında, bu tez kapsamında sadece C1 kod ölçüleri kullanıldığı için C1 butonu aktif iken L1 butonu pasif bir şekilde bırakılmıştır. Yazılımın geliştirilmesi noktasında L1 butonunun, daha sonra faz ölçülerinin de dahil edilmesi ile aktif hale getirilmesi planlanmaktadır. Dosya seçimi kısmından istenilen dosya türüne göre tek dosya ya da çoklu dosya (maksimum 5 adet) sonuç çıktısı alınabilmektedir. Yine “HESAPLA” butonu ile hesaplama işlemi gerçekleştirilmekte “TÜMÜNÜ TEMİZLE” butonu ile yapılan yükleme işlemleri temizlenmektedir.

Sorunsuz bir hesaplama yapılabilmesi için öncelikle girilen gözlem dosyası RINEX standardında yani 4 karakterli nokta adı, yılın günü yani doy numarası (doy: day of year) ve oturum numarası şeklinde olmalıdır (Örneğin: ankr1120.21o). Diğer taraftan yüklenen GPS ya da Galileo navigasyon dosyası, gözlem dosyasına ait bir navigasyon dosyası olmalıdır. Başka bir deyişle 4 karakterli nokta adları uyuşmalıdır ya da doy numarası ve oturum numarasının aynı olduğu yayın efemerisi (brdc) dosyaları olmalıdır (Örneğin: ankr1120.21n, brdc1120.21n, ankr1120.21l ya da ANKR00TUR_R_20211120000_01D_EN.rnx). İyonosferik katsayıların yüklenmesi için gerekli olan GPS navigasyon dosyası da bu standartları sağlamalıdır. Aksi halde KTUN_HRT, ilgili hata mesajlarını vererek kullanıcının doğru bir şekilde yükleme yapabilmesi için kullanıcıyı yönlendirecektir. Söz konusu menülere ilişkin ekran görüntüleri Şekiller (4.3-4.17)’de verilmiştir.

KTUN_HRT

ZAMAN HESAPLARI KTUN FORMAT MUTLAK KONUM BELIRLEME (CODE PP) YARDIMCI HESAPLAR CIKTI INCELEME

Uydu Sistemi Secimi: GPS GALILEO GPS+GALILEO

Efemeris Bilgisi Secimi: Yayin Efemeris Hassas Efemeris

Gozlem Tipi Secimi: C1 L1

Dosya Secimi: Tek Dosya Coklu Dosya
Kac tane RINEX Dosyasi Yukleyeceginizi Giriniz: 0 Max-5

GPS Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m

GPS Navigasyon Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece

TUMUNU TEMIZLE HESAPLA

Şekil 4.3. GPS-yayın efemerisi-tek dosya ekran görüntüsü

KTUN_HRT

ZAMAN HESAPLARI KTUN FORMAT MUTLAK KONUM BELIRLEME (CODE PP) YARDIMCI HESAPLAR CIKTI INCELEME

Uydu Sistemi Secimi: GPS GALILEO GPS+GALILEO

Efemeris Bilgisi Secimi: Yayin Efemeris Hassas Efemeris

Gozlem Tipi Secimi: C1 L1

Dosya Secimi: Tek Dosya Coklu Dosya
Kac tane RINEX Dosyasi Yukleyeceginizi Giriniz: 0 Max-5

GPS Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m

GPS Hassas Efemeris Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece

Iyonosfer Katsayilarini Giriniz:
(GPS Navigasyon Dosyasi)

TUMUNU TEMIZLE HESAPLA

Şekil 4.4. GPS-hassas efemerisi-tek dosya ekran görüntüsü

KTUN_HRT

ZAMAN HESAPLARI KTUN FORMAT MUTLAK KONUM BELİRLEME (CODE PP) YARDIMCI HESAPLAR ÇIKTI INCELEME

Uydü Sistemi Secimi
 GPS
 GALILEO
 GPS+GALILEO

Efemeris Bilgisi Secimi
 Yayın Efemeris
 Hassas Efemeris

Gözlem Tipi Secimi
 C1
 L1

Dosya Secimi
 Tek Dosya Çoklu Dosya
 Kac tane RINEX Dosyası Yukleyeceginizi Giriniz: 0 Max-5

GALILEO Icerikli Gözlem Dosyası Giriniz: ...

GALILEO Navigasyon Dosyası Giriniz: ...

İyonosfer Katsayılarını Giriniz: ...
 (GPS Navigasyon Dosyası)

Kaba Hatalı Olcu Esik Değeri: m

Yükseklik Acisi Esik Değeri: Derece

TUMUNU TEMİZLE HESAPLA

Şekil 4.5. GALILEO-yayın efemerisi-tek dosya ekran görüntüsü

KTUN_HRT

ZAMAN HESAPLARI KTUN FORMAT MUTLAK KONUM BELİRLEME (CODE PP) YARDIMCI HESAPLAR ÇIKTI INCELEME

Uydü Sistemi Secimi
 GPS
 GALILEO
 GPS+GALILEO

Efemeris Bilgisi Secimi
 Yayın Efemeris
 Hassas Efemeris

Gözlem Tipi Secimi
 C1
 L1

Dosya Secimi
 Tek Dosya Çoklu Dosya
 Kac tane RINEX Dosyası Yukleyeceginizi Giriniz: 0 Max-5

GALILEO Icerikli Gözlem Dosyası Giriniz: ...

GALILEO Icerikli Hassas Efemeris Dosyası Giriniz: ...

İyonosfer Katsayılarını Giriniz: ...
 (GPS Navigasyon Dosyası)

Kaba Hatalı Olcu Esik Değeri: m

Yükseklik Acisi Esik Değeri: Derece

TUMUNU TEMİZLE HESAPLA

Şekil 4.6. GALILEO-hassas efemerisi-tek dosya ekran görüntüsü

The screenshot shows the 'KTUN_HRT' software window with the 'MUTLAK KONUM BELIRLEME (CODE PP)' tab selected. The interface is divided into several sections:

- Uydu Sistemi Secimi:** Radio buttons for GPS, GALILEO, and GPS+GALILEO (selected).
- Efemeris Bilgisi Secimi:** Radio buttons for Yayin Efemeris (selected) and Hassas Efemeris.
- Gozlem Tipi Secimi:** Radio buttons for C1 (selected) and L1.
- Dosya Secimi:** Radio buttons for Tek Dosya (selected) and Coklu Dosya. Below this is a dropdown menu for 'Kac tane RINEX Dosyasi Yukleyeceginizi Giriniz:' with a value of 0 and a 'Max-5' label.

Below these sections are three input fields for file names:

- GPS+GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: []
- GPS Navigasyon Dosyasi Giriniz: []
- GALILEO Navigasyon Dosyasi Giriniz: []

To the right of these fields are three buttons with ellipses (...). Further right are two input fields for error thresholds:

- Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: [] m
- Yukseklk Acisi Esik Degeri: [] Derece

At the bottom of the window are two buttons: 'TUMUNU TEMIZLE' and 'HESAPLA'.

Şekil 4.7. GPS+GALILEO-yayın efemerisi-tek dosya ekran görüntüsü

The screenshot shows the 'KTUN_HRT' software window with the 'MUTLAK KONUM BELIRLEME (CODE PP)' tab selected. The interface is divided into several sections:

- Uydu Sistemi Secimi:** Radio buttons for GPS, GALILEO, and GPS+GALILEO (selected).
- Efemeris Bilgisi Secimi:** Radio buttons for Yayin Efemeris and Hassas Efemeris (selected).
- Gozlem Tipi Secimi:** Radio buttons for C1 (selected) and L1.
- Dosya Secimi:** Radio buttons for Tek Dosya (selected) and Coklu Dosya. Below this is a dropdown menu for 'Kac tane RINEX Dosyasi Yukleyeceginizi Giriniz:' with a value of 0 and a 'Max-5' label.

Below these sections are four input fields for file names:

- GPS+GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: []
- GPS+GALILEO Icerikli Hassas Efemeris Dosyasi Giriniz: []
- lyonosfer Katsayilarini Giriniz: []
- (GPS Navigasyon Dosyasi)

To the right of these fields are three buttons with ellipses (...). Further right are two input fields for error thresholds:

- Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: [] m
- Yukseklk Acisi Esik Degeri: [] Derece

At the bottom of the window are two buttons: 'TUMUNU TEMIZLE' and 'HESAPLA'.

Şekil 4.8. GPS+GALILEO-hassas efemerisi-tek dosya ekran görüntüsü

KTUN_HRT

ZAMAN HESAPLARI KTUN FORMAT MUTLAK KONUM BELIRLEME (CODE PP) YARDIMCI HESAPLAR CIKTI INCELEME

Uydu Sistemi Secimi: GPS GALILEO GPS+GALILEO

Efemeris Bilgisi Secimi: Yayin Efemeris Hassas Efemeris

Gozlem Tipi Secimi: C1 L1

Dosya Secimi: Tek Dosya Çoklu Dosya
Kac tane RINEX Dosyasi Yukleyeceginizi Giriniz: 5 Max-5

1. GPS Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m
1. GPS Navigasyon Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece

2. GPS Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m
2. GPS Navigasyon Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece

3. GPS Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m
3. GPS Navigasyon Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece

4. GPS Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m
4. GPS Navigasyon Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece

5. GPS Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m
5. GPS Navigasyon Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece

TUMUNU TEMIZLE HESAPLA

Şekil 4.9. GPS-yayın efemerisi-çoklu dosya (5 adet) ekran görüntüsü

KTUN_HRT

ZAMAN HESAPLARI KTUN FORMAT MUTLAK KONUM BELIRLEME (CODE PP) YARDIMCI HESAPLAR CIKTI INCELEME

Uydu Sistemi Secimi: GPS GALILEO GPS+GALILEO

Efemeris Bilgisi Secimi: Yayin Efemeris Hassas Efemeris

Gozlem Tipi Secimi: C1 L1

Dosya Secimi: Tek Dosya Çoklu Dosya
Kac tane RINEX Dosyasi Yukleyeceginizi Giriniz: 5 Max-5

1. GPS Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m
1. GPS Icerikli Hassas Efemeris Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece
1. Iyonosfer Katsayilarini Giriniz: (GPS Navigasyon Dosyasi)

2. GPS Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m
2. GPS Icerikli Hassas Efemeris Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece
2. Iyonosfer Katsayilarini Giriniz: (GPS Navigasyon Dosyasi)

3. GPS Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m
3. GPS Icerikli Hassas Efemeris Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece
3. Iyonosfer Katsayilarini Giriniz: (GPS Navigasyon Dosyasi)

4. GPS Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m
4. GPS Icerikli Hassas Efemeris Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece
4. Iyonosfer Katsayilarini Giriniz: (GPS Navigasyon Dosyasi)

5. GPS Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m
5. GPS Icerikli Hassas Efemeris Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece
5. Iyonosfer Katsayilarini Giriniz: (GPS Navigasyon Dosyasi)

TUMUNU TEMIZLE HESAPLA

Şekil 4.10. GPS-hassas efemerisi-çoklu dosya (5 adet) ekran görüntüsü

KTUN_HRT

ZAMAN HESAPLARI KTUN FORMAT MUTLAK KONUM BELIRLEME (CODE PP) YARDIMCI HESAPLAR CIKTI INCELEME

Uydu Sistemi Secimi: GPS GALILEO GPS+GALILEO

Efemeris Bilgisi Secimi: Yayin Efemeris Hassas Efemeris

Gozlem Tipi Secimi: C1 L1

Dosya Secimi: Tek Dosya Çoklu Dosya
Kac tane RINEX Dosyası Yukleyeceginizi Giriniz: 5 Max-5

1. GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m
1. GALILEO Navigasyon Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece
1. Iyonosfer Katsayilarini Giriniz: (GPS Navigasyon Dosyasi)

2. GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m
2. GALILEO Navigasyon Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece
2. Iyonosfer Duzeltmesi Icin Dosya Giriniz: (GPS Navigasyon Dosyasi)

3. GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m
3. GALILEO Navigasyon Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece
3. Iyonosfer Duzeltmesi Icin Dosya Giriniz: (GPS Navigasyon Dosyasi)

4. GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m
4. GALILEO Navigasyon Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece
4. Iyonosfer Duzeltmesi Icin Dosya Giriniz: (GPS Navigasyon Dosyasi)

5. GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m
5. GALILEO Navigasyon Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece
5. Iyonosfer Duzeltmesi Icin Dosya Giriniz: (GPS Navigasyon Dosyasi)

TUMUNU TEMIZLE HESAPLA

Şekil 4.11. GALILEO-yayin efemerisi-çoklu dosya (5 adet) ekran görüntüsü

KTUN_HRT

ZAMAN HESAPLARI KTUN FORMAT MUTLAK KONUM BELIRLEME (CODE PP) YARDIMCI HESAPLAR CIKTI INCELEME

Uydu Sistemi Secimi: GPS GALILEO GPS+GALILEO

Efemeris Bilgisi Secimi: Yayin Efemeris Hassas Efemeris

Gozlem Tipi Secimi: C1 L1

Dosya Secimi: Tek Dosya Çoklu Dosya
Kac tane RINEX Dosyası Yukleyeceginizi Giriniz: 5 Max-5

1. GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m
1. GALILEO Icerikli Hassas Efemeris Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece
1. Iyonosfer Katsayilarini Giriniz: (GPS Navigasyon Dosyasi)

2. GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m
2. GALILEO Icerikli Hassas Efemeris Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece
2. Iyonosfer Katsayilarini Giriniz: (GPS Navigasyon Dosyasi)

3. GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m
3. GALILEO Icerikli Hassas Efemeris Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece
3. Iyonosfer Duzeltmesi Icin Dosya Giriniz: (GPS Navigasyon Dosyasi)

4. GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m
4. GALILEO Icerikli Hassas Efemeris Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece
4. Iyonosfer Duzeltmesi Icin Dosya Giriniz: (GPS Navigasyon Dosyasi)

5. GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: m
5. GALILEO Icerikli Hassas Efemeris Dosyasi Giriniz: Yukseklik Acisi Esik Degeri: Derece
5. Iyonosfer Duzeltmesi Icin Dosya Giriniz: (GPS Navigasyon Dosyasi)

TUMUNU TEMIZLE HESAPLA

Şekil 4.12. GALILEO-hassas efemerisi-çoklu dosya (5 adet) ekran görüntüsü

KTUN_HRT

ZAMAN HESAPLARI KTUN FORMAT MUTLAK KONUM BELIRLEME (CODE PP) YARDIMCI HESAPLAR CIKTI INCELEME

Uydu Sistemi Secimi: GPS, GALILEO, GPS+GALILEO

Efemeris Bilgisi Secimi: Yayin Efemeris, Hassas Efemeris

Gozlem Tipi Secimi: C1, L1

Dosya Secimi: Tek Dosya, Çoklu Dosya
Kac tane RINEX Dosyasi Yukleyeceginizi Giriniz: 5 Max-5

1. GPS+GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: [] [] Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: [] m
1. GPS Navigasyon Dosyasi Giriniz: [] [] Yukseklik Acisi Esik Degeri: [] Derece
1. GALILEO Navigasyon Dosyasi Giriniz: [] []

2. GPS+GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: [] [] Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: [] m
2. GPS Navigasyon Dosyasi Giriniz: [] [] Yukseklik Acisi Esik Degeri: [] Derece
2. GALILEO Navigasyon Dosyasi Giriniz: [] []

3. GPS+GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: [] [] Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: [] m
3. GPS Navigasyon Dosyasi Giriniz: [] [] Yukseklik Acisi Esik Degeri: [] Derece
3. GALILEO Navigasyon Dosyasi Giriniz: [] []

4. GPS+GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: [] [] Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: [] m
4. GPS Navigasyon Dosyasi Giriniz: [] [] Yukseklik Acisi Esik Degeri: [] Derece
4. GALILEO Navigasyon Dosyasi Giriniz: [] []

5. GPS+GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: [] [] Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: [] m
5. GPS Navigasyon Dosyasi Giriniz: [] [] Yukseklik Acisi Esik Degeri: [] Derece
5. GALILEO Navigasyon Dosyasi Giriniz: [] []

TUMUNU TEMIZLE HESAPLA

Şekil 4.13. GPS+GALILEO-yayin efemerisi-çoklu dosya (5 adet) ekran görüntüsü

KTUN_HRT

ZAMAN HESAPLARI KTUN FORMAT MUTLAK KONUM BELIRLEME (CODE PP) YARDIMCI HESAPLAR CIKTI INCELEME

Uydu Sistemi Secimi: GPS, GALILEO, GPS+GALILEO

Efemeris Bilgisi Secimi: Yayin Efemeris, Hassas Efemeris

Gozlem Tipi Secimi: C1, L1

Dosya Secimi: Tek Dosya, Çoklu Dosya
Kac tane RINEX Dosyasi Yukleyeceginizi Giriniz: 5 Max-5

1. GPS+GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: [] [] Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: [] m
1. GPS+GALILEO Icerikli Hassas Efemeris Dosyasi Giriniz: [] [] Yukseklik Acisi Esik Degeri: [] Derece
1. Iyonosfer Katsayilarini Giriniz: [] [] (GPS Navigasyon Dosyasi)

2. GPS+GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: [] [] Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: [] m
2. GPS+GALILEO Icerikli Hassas Efemeris Dosyasi Giriniz: [] [] Yukseklik Acisi Esik Degeri: [] Derece
2. Iyonosfer Duzeltmesi Icin Dosya Giriniz: [] [] (GPS Navigasyon Dosyasi)

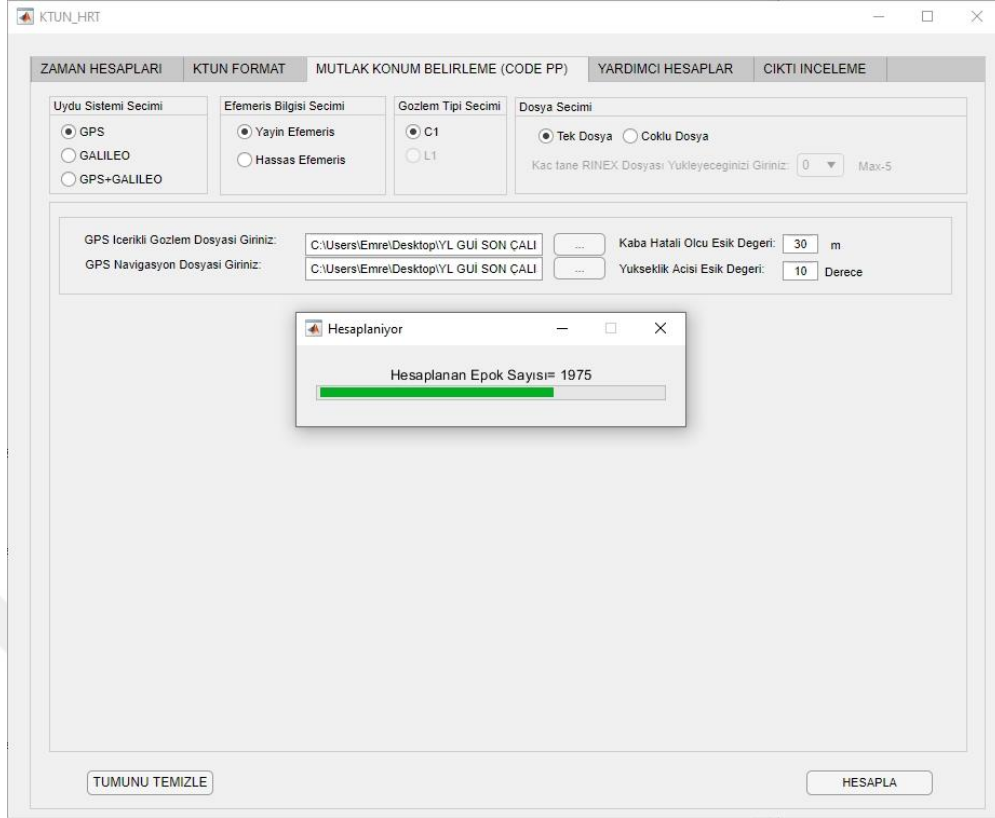
3. GPS+GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: [] [] Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: [] m
3. GPS+GALILEO Icerikli Hassas Efemeris Dosyasi Giriniz: [] [] Yukseklik Acisi Esik Degeri: [] Derece
3. Iyonosfer Duzeltmesi Icin Dosya Giriniz: [] [] (GPS Navigasyon Dosyasi)

4. GPS+GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: [] [] Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: [] m
4. GPS+GALILEO Icerikli Hassas Efemeris Dosyasi Giriniz: [] [] Yukseklik Acisi Esik Degeri: [] Derece
4. Iyonosfer Duzeltmesi Icin Dosya Giriniz: [] [] (GPS Navigasyon Dosyasi)

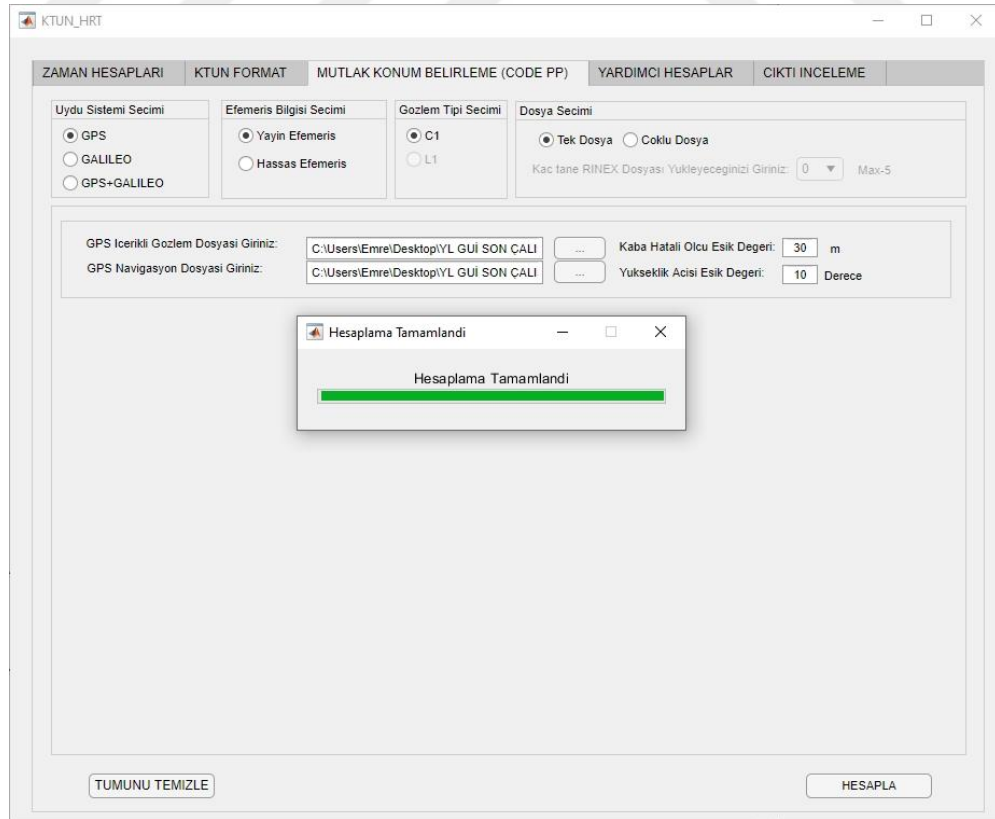
5. GPS+GALILEO Icerikli Gozlem Dosyasi Giriniz: [] [] Kaba Hatali Olcu Esik Degeri: [] m
5. GPS+GALILEO Icerikli Hassas Efemeris Dosyasi Giriniz: [] [] Yukseklik Acisi Esik Degeri: [] Derece
5. Iyonosfer Duzeltmesi Icin Dosya Giriniz: [] [] (GPS Navigasyon Dosyasi)

TUMUNU TEMIZLE HESAPLA

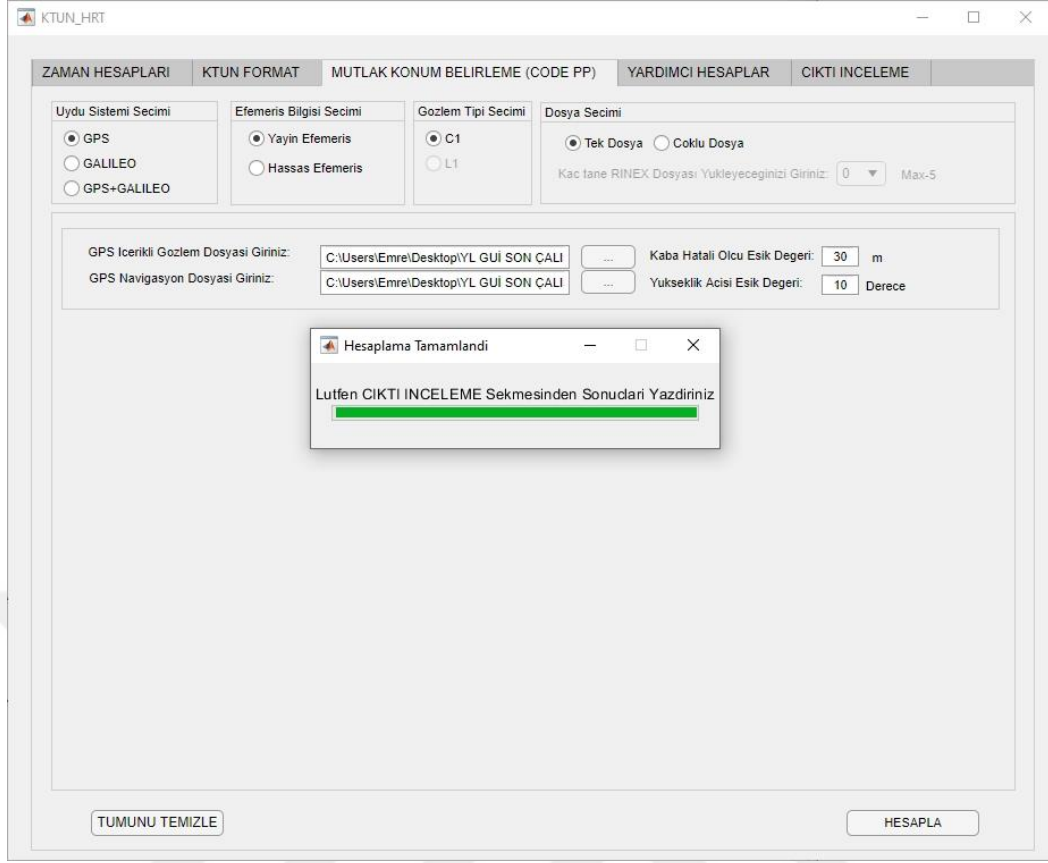
Şekil 4.14. GPS+GALILEO-hassas efemerisi-çoklu dosya (5 adet) ekran görüntüsü



Şekil 4.15. GPS-yayın efemerisi-tek dosya örnek hesaplama ekran görüntüsü



Şekil 4.16. GPS-yayın efemerisi-tek dosya bilgi mesajı ekran görüntüsü



Şekil 4.17. GPS-yayın efemerisi-tek dosya yönlendirme mesajı ekran görüntüsü

“YARDIMCI HESAPLAR” penceresinde temel jeodezik hesaplamalardan olan ECEF koordinatlarından jeodezik koordinatlara dönüşüm ve jeodezik koordinatlardan ECEF koordinatlarına dönüşüm hesaplaması, istenilen elipsoit türüne göre (WGS84 ya da GRS80) gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 4.18-4.19).

KTUN_HRT

ZAMAN HESAPLARI KTUN FORMAT MUTLAK KONUM BELIRLEME (CODE PP) YARDIMCI HESAPLAR CIKTI INCELEME

Hesap Paneli

Hesap Turu : ECEF Koordinatlarından (X,Y,Z) Jeodezik Koordinatlara Donusum (φ,λ,h) Elipsoid : WGS84

Girdi ve Cikti Paneli

X= [] metre Enlem= [] ° [] ' [] "

Y= [] metre Boylam= [] ° [] ' [] "

Z= [] metre Yukseklik= [] metre

HESAPLA

Şekil 4.18. ECEF koordinatlarından jeodezik koordinatlara dönüşüm ekran görüntüsü

KTUN_HRT

ZAMAN HESAPLARI KTUN FORMAT MUTLAK KONUM BELIRLEME (CODE PP) YARDIMCI HESAPLAR CIKTI INCELEME

Hesap Paneli

Hesap Turu : Jeodezik Koordinatlardan (φ,λ,h) ECEF Koordinatlarına Donusum (X,Y,Z) Elipsoid : GRS80

Girdi ve Cikti Paneli

Enlem= [] ° [] ' [] " X= [] metre

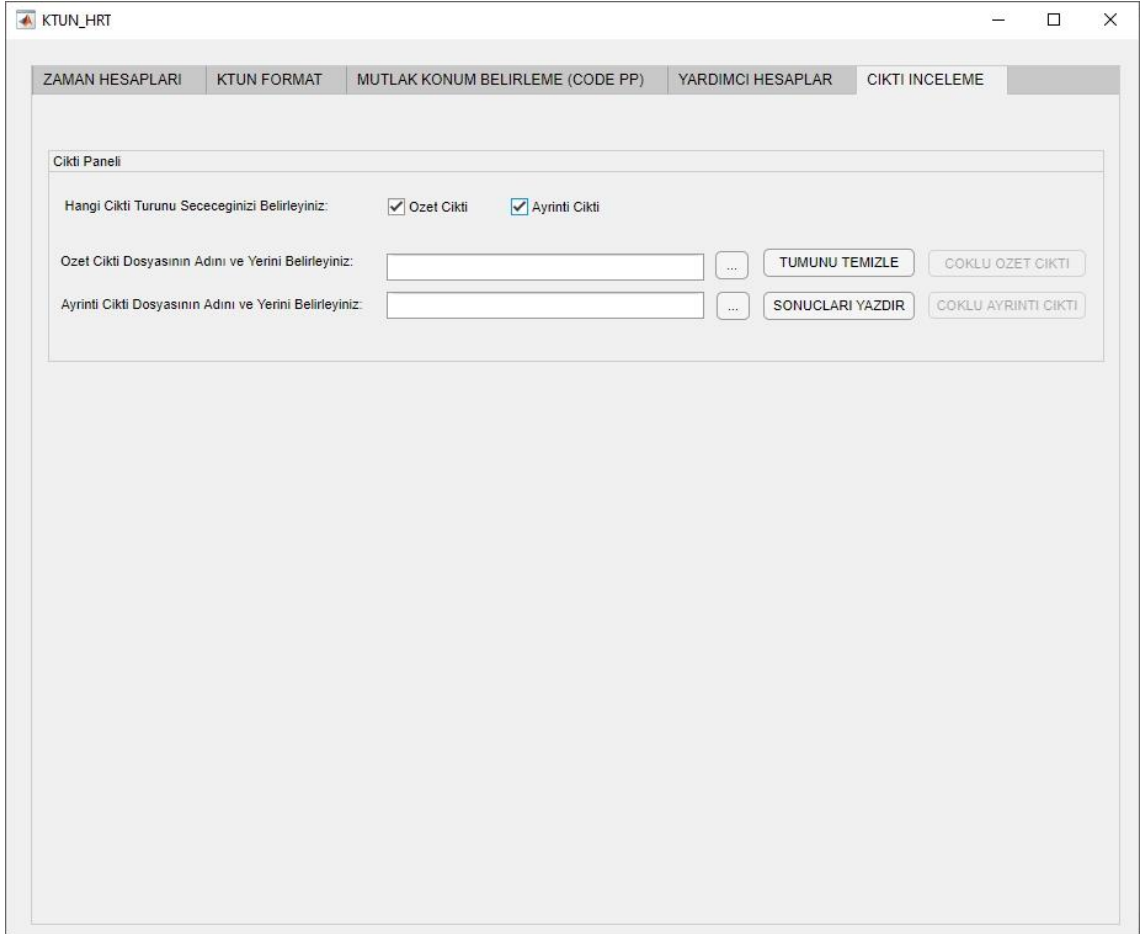
Boylam= [] ° [] ' [] " Y= [] metre

Yukseklik= [] metre Z= [] metre

HESAPLA

Şekil 4.19. Jeodezik koordinatlardan ECEF koordinatlara dönüşüm ekran görüntüsü

“CIKTI INCELEME” penceresi, 3. pencerede yapılan hesaplamaların sonuç çıktısının alınacağı penceredir. Burada kullanıcıya iki farklı çıktı türü sunulmaktadır. Bunlardan ilki özet çıktı diğeri ise ayrıntı çıktıdır (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Çıktı inceleme penceresi ekran görüntüsü

Yapılan hesaplama sonucu özet çıktı dosyası içeriği aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Şekil 4.21).

- Başlık: 1.RINEX Dosyasının Hesaplanmış Sonuç Koordinatları (Yayın Efemerisi ya da Hassas Efemeris)
- Seçilen Uydu Tipi (GPS, Galileo, GPS+Galileo)
- Gözlem Dosyası Adı
- Navigasyon Dosyası Adı ya da Yörünge Dosyası Adı
- İyonosferik Düzeltme İçin Yüklenen Navigasyon Dosyası Adı
- Hesaplama Parametreleri
- Datum

- Tarih
- X, Y, Z Kartezyen Koordinatları ve Standart Sapmaları
- Hesaplanan Kartezyen Koordinatlar ve Yaklaşık Koordinatlar Farkı
- Enlem, Boylam, Elipsoidal Yükseklik
- Hesaplanan Coğrafi Koordinatlar ve Yaklaşık Coğrafi Koordinatlar Farkı
- Toplam RMS (Dengeleme Sonrası Karesel Ortalama Hata)
- Referans Uydu Saat Kayıklığı
- Hesaplanan Toplam Epok Sayısı
- Atılan Toplam Epok Sayısı
- Toplam Gözlem Sayısı (GPS, Galileo, GPS+Galileo)
- Toplam Atılan Gözlem Sayısı (GPS, Galileo, GPS+Galileo)
- Atılan Gözlem Oranı

```

gps_yayin_tek_ozet - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
1 . RINEX Dosyasının Hesaplanmış Sonuç Koordinatları (Yayın Efemerisi)
-----
Secilen Uydu Tipi: Sadece GPS
Gozlem Dosyası Adi: ankr1120.21o
GPS Navigasyon Dosyası Adi: brdc1120.21n

Hesaplama Parametreleri: L1 C1

Datum: WGS84

Tarih(Yıl Ay Gun): 2021 4 22

x= 4121947.482326 metre ± 2.7 metre
y= 2652187.211638 metre ± 2.1 metre
z= 4069023.451620 metre ± 2.9 metre

Hesaplanan Kartezyen Koordinatlar(XH)-Yaklasik Kartezyen Koordinatlar(XY)=

dX(XH-XY) = 13.222326 metre
dY(XH-XY) = -2.600362 metre
dZ(XH-XY) = -11.459380 metre

Enlem (Derece Dakika Saniye) = 39 53 14.5547
Boylam (Derece Dakika Saniye) = 32 45 30.4908
Elipsoidal Yukseklik = 974.872

Hesaplanan Coğrafi Koordinatlar-Yaklasik Coğrafi Koordinatlar=

dEnlem = -0.000135 sn
dBoylam = -0.000109 sn
dYukseklik = 0.103671 metre

Toplam RMS (Dengeleme Sonrasi Karesel Ortalama Hata)= ± 2.07 metre

Referans Uydu Saat Kayikligi= 0.000000062582792 saniye

Hesaplanan Toplam EPOK Sayisi = 2879

Atılan Toplam Epok Sayisi= 1

Toplam GPS Gozlem Sayisi = 26196

Toplam Atılan GPS Gozlem Sayisi = 2403

Atılan Gozlem Orani = % 9.17
-----
< St 1, Stn 1 100% Windows (CRLF) UTF-8

```

Şekil 4.21. GPS yayın efemerisi özet çıktı dosyasının içeriği

Ayrıntılı çıktı dosyası içeriğinde özet çıktı dosyası içeriğine ek olarak, seçilen uydu tipine göre 24 saatlik ölçüm süresince hangi uyduların toplam kaç epokta atıldığı ve hangi epoklardan çıkarıldığı sonuçları yer almaktadır. Örnek verecek olursak 1 numaralı GPS uydusu toplam 32 epoktan atılmıştır ve bu uydunun atıldığı epoklar sırasıyla 1, 2, 3, 4 2862, 2863 ... şeklinde devam etmemiştir. Tüm uydular için ve tüm uydu sistemi seçimleri için bu istatistik verilmektedir. Yapılan hesaplama sonucu ayrıntılı dosya içeriği Şekil (4.22-4.23)'de verilmiştir.

```

gps_yayin_tek_ayrinti - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
1 . RINEX Dosyasinin Hesaplanmış Sonuç Koordinatları (Yayın Efemerisi)
-----
Seçilen Uydu Tipi: Sadece GPS
Gözlem Dosyası Adı: ankr1120.21o
GPS Navigasyon Dosyası Adı: brdc1120.21n

Hesaplama Parametreleri: L1 C1

Datum: WGS84

Tarih(Yıl Ay Gün): 2021 4 22

Referans Uydu Saat Kayıklığı= 0.000000062582792 saniye

x= 4121947.482326 metre ± 2.7 metre
y= 2652187.211638 metre ± 2.1 metre
z= 4069023.451620 metre ± 2.9 metre

Hesaplanan Kartezyen Koordinatlar(XH)-Yaklaşık Kartezyen Koordinatlar(XY)=

dX(XH-XY) = 13.222326 metre
dY(XH-XY) = -2.600362 metre
dZ(XH-XY) = -11.459380 metre

Enlem (Derece Dakika Saniye) = 39 53 14.5547
Boylam (Derece Dakika Saniye) = 32 45 30.4908
Elipsoidal Yükseklik = 974.872

Hesaplanan Coğrafi Koordinatlar-Yaklaşık Coğrafi Koordinatlar=

dEnlem = -0.000135 sn
dBoylam = -0.000109 sn
dYükseklik = 0.103671 metre

Toplam RMS (Dengeleme Sonrası Kareysel Ortalama Hata)= ± 2.07 metre

Kaba Hatalı Ölçü Esik Değeri= 30 metre
Yükseklik Acısı Esik Değeri= 10 Derece

Hesaplanan Toplam Epok Sayısı= 2879
Atılan Toplam Epok Sayısı= 1

Toplam GPS Gözlem Sayısı = 26196

Toplam Atılan GPS Gözlem Sayısı = 2403

Atılan Gözlem Oranı = % 9.17

```

Şekil 4.22. GPS yayın efemerisi ayrıntı çıktı dosyasının içeriği-1

```

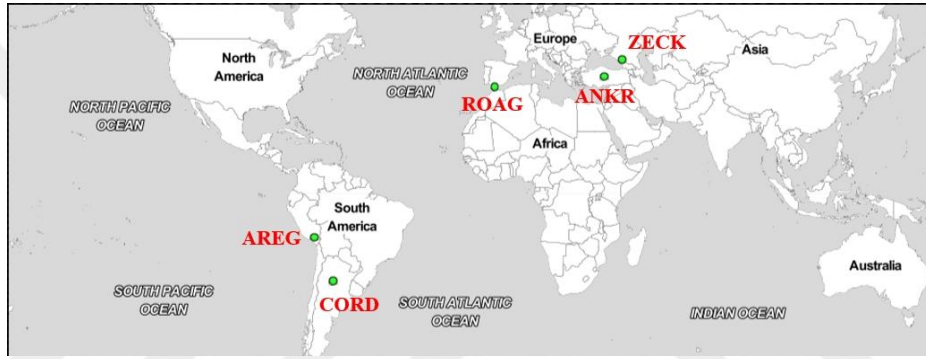
gps_yayin_tek_ayrinti - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
1 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 32
1 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 2862 2863 2864 2865 2866 2867 2868 2869 2870 2871
2 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 108
2 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 303 304 305 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 327
3 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 29
3 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 2
4 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 43
4 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362
5 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 86
5 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 729 732 734 735 737 738
6 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 76
6 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 279 280 281 282 283 284 287 289 290 291 292 293 294 295 298 300 302 303 304 307 862
7 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 53
7 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677
8 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 109
8 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 272 275 276 277 278 279
9 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 35
9 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 528 529 530 543 544 545 546 547 548 549 550 551 2542 2543 2544 2545 2546 2547 2548 2
10 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 59
10 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 2418 2419 2420 2421 2422 2423 2424 2425 2426 2427 2428 2429 2430 2431 2432 2433 2434
11 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 0
11 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 0
12 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 32
12 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 1595 1596 1597 1598 1599 1600 1601 1602 1603 1604 1605 1606 1607 1608 1609 1610 1611
13 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 187
13 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1037 1038 1039 1040 1041 1042 1046
1910 1911 1912 1913 1914 1916 1917 1918 1919 1920 1921 1922 1924 1925 1926 1927 1928 1929 1930 1931 1960 1962
14 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 76
14 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 234 235 236 237 238 239 242 243 244 245 246 247 248 249 955 956 957 958 959 960 96
15 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 90
15 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 1090 1091 1092 1093 1094 1095 1096 1097 1098 1099 1101 1102 1104 1111 1697 1698 1699
16 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 108
16 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 28
17 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 90
17 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 1095 1096 1097 1098 1099 1100 1101 1102
18 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 53
18 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 2149 2150 2151 2152 2153 2154 2155 2156 2157 2158 2159 2160 2161 2162 2163 2164 2165
19 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 110
19 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 579 580 581 582 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 12
20 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 90
20 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 746 747 748 749 750 751 752 753 754 757 758 759 760 761 762 763 764 765 768 769 77
21 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 20
21 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 2787 2790 2793 2794 2795 2797 2798 2799 2800 2801 2802 2803 2804 2805 2806
22 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 39
22 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110
23 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 165
23 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 735 736 737 738 739 74
24 Numaralı Uydu: Atilan Toplam EPOK= 0
24 Numaralı Uydu: Atilan EPOKLAR= 0
< >
St 1, Stn 1 100% Windows (CRLF) UTF-8

```

Şekil 4.23. GPS yayın efemerisi ayrıntı çıktı dosyasının içeriği-2

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında yapılan sayısal uygulamada 5 adet IGS istasyonuna ait veri setleri kullanılmıştır. Bu istasyonlar Şekil 5.1’de görüldüğü gibidir. Galileo navigasyon dosyasının ANKR, CORD, ZECK, AREG ve ROAG istasyonları için mevcut olması ve bazı diğer noktalara ait gözlem dosyaları içeriğinde Galileo uydularının olmaması nedenleriyle hesaplamalarda bu istasyonlar seçilmiştir. Bu hesaplamalarda 22 ve 23 Nisan 2021 tarihli 24 saatlik gözlem dosyası verileri, yine bu tarihte yayınlanan GPS ve Galileo navigasyon dosyası (yayın efemerisi) verileri ve çok frekanslı GNSS ölçülerine ait hassas yörünge verileri kullanılmıştır.



Şekil 5.1. Sayısal uygulama kapsamında seçilen IGS istasyonları

Bu tez kapsamında hazırlanmış olan KTUN_HRT yazılımı kullanılarak elde edilen sonuçlar “Trimble” firmasına ait “CenterPoint RTX Post-Processing” değerlendirme servisi kullanılarak elde edilen hesaplama sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu servisin seçilmesinin başlıca nedeni RTX servisinin GPS’e ek olarak Galileo çözümünü de yapması olarak açıklanabilir. Trimble RTX, herhangi bir baz istasyonuna bağlı olmadan, çift frekanslı kod ve taşıyıcı faz gözlemleri (L1 ve L2) çözümünün yapıldığı, anten faz merkezi hatalarının düzeltildiği, santimetre düzeyinde konum doğruluğu sağlayan bir GNSS teknolojisi olarak belirtilmektedir (URL-3). Yapılan bu karşılaştırmalar Trimble RTX değerlendirme servisinden elde edilen kartezyen koordinatlar ile KTUN_HRT yazılımından elde edilen kartezyen koordinatlar arasında olmuştur. Bu karşılaştırmadaki amaç, tez kapsamında hazırlanmış olan KTUN_HRT yazılımının, Trimble RTX post-processing değerlendirme yazılımına gerçekte ne kadar yaklaşabileceğini belirlemektir. Diğer bir karşılaştırma ise Geoscience Australia tarafından sağlanan, ücretsiz, çevrimiçi bir değerlendirme servisi olan AUSPOS ile

KTUN_HRT yazılımı arasında olmuştur. AUSPOS, RTX servisinde olduğu gibi çift frekanslı faz ölçülerini, hassas efemeris ürünlerini kullanan, atmosferik hatalardan ve jeodinamik etkilerden kaynaklanan düzeltmelerin getirildiği, belirsizlik çözümlerinin yapıldığı, doğruluğu oldukça yüksek olan bir değerlendirme servsidir (URL-4). AUSPOS'un RTX'e göre en önemli farkı yalnızca GPS çözümü yapması olarak sayılabilir. Bu sebeple yapılan diğer karşılaştırma AUSPOS GPS çözümleri ile KTUN_HRT GPS çözümleri arasında olmuştur.

Seçilen 5 adet IGS istasyona ait hesaplama sonuçları Çizelgeler (5.1-5.5)'de verilmiştir. Ardından RTX ve AUSPOS hesaplamalarındaki karşılaştırmalar, sadece ANKR, CORD ve ZECK istasyonlarına ait hesaplama sonuçları irdelenmiş ve bunlara ilişkin bilgiler aşağıda sunulmuştur. Yapılan tüm hesaplamalarda kaba hatalı ölçü eşik değeri olarak 30 m ve yükseklik açısı eşik değeri olarak 10 derece değerleri alınmıştır. İyonosferik hata etkisini gidermek için başka bir tez kapsamında hazırlanan Klobuchar iyonosferik modeli kullanılmıştır. GPS, Galileo ve GPS+Galileo hesaplama senaryolarının tümünde GPS navigasyon mesajı aracılığıyla iletilen iyonosferik alfa ve beta katsayıları kullanılmıştır.

Çizelge 5.1. Farklı senaryolara göre istasyon noktalarında KTUN_HRT yazılımı ile elde edilen koordinatlar, standart sapmalar ve RMS değerleri (22 Nisan 2021)

Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GALILEO YAYIN EFEMERİSİ	GPS+GAL YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ	GALILEO HASSAS EFEMERİSİ	GPS+GAL HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ANKR	ANKR	ANKR	ANKR	ANKR	ANKR
KTUN_HRT (X) ± σ (m)	4121947.482	±2.71	4121947.373	±4.66	4121948.322	±1.32
KTUN_HRT (Y) ± σ (m)	2652187.212	±2.11	2652187.073	±3.50	2652187.647	±1.00
KTUN_HRT (Z) ± σ (m)	4069023.452	±2.85	4069023.564	±3.81	4069023.542	±1.25
KTUN_HRT ± RMS	±2.07	±2.62	±1.57	±2.07	±2.62	±1.61
Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GALILEO YAYIN EFEMERİSİ	GPS+GAL YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ	GALILEO HASSAS EFEMERİSİ	GPS+GAL HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	CORD	CORD	CORD	CORD	CORD	CORD
KTUN_HRT (X) ± σ (m)	2345503.841	±1.84	2345503.854	±3.59	2345503.802	±0.87
KTUN_HRT (Y) ± σ (m)	-4910842.487	±2.89	-4910842.35	±5.45	-4910842.404	±1.40
KTUN_HRT (Z) ± σ (m)	-3316365.21	±2.31	-3316365.873	±3.60	-3316366.076	±1.03
KTUN_HRT ± RMS	±2.08	±2.62	±1.43	±1.95	±2.46	±1.37
Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GALILEO YAYIN EFEMERİSİ	GPS+GAL YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ	GALILEO HASSAS EFEMERİSİ	GPS+GAL HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ZECK	ZECK	ZECK	ZECK	ZECK	ZECK
KTUN_HRT (X) ± σ (m)	3451173.425	±2.09	3451173.385	±4.99	3451173.456	±1.04
KTUN_HRT (Y) ± σ (m)	3060334.796	±1.91	3060334.577	±4.47	3060334.628	±0.95
KTUN_HRT (Z) ± σ (m)	4391954.714	±2.52	4391955.308	±5.46	4391955.265	±1.22
KTUN_HRT ± RMS	±1.97	±2.60	±1.40	±1.89	±2.46	±1.33
Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GALILEO YAYIN EFEMERİSİ	GPS+GAL YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ	GALILEO HASSAS EFEMERİSİ	GPS+GAL HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	AREG	AREG	AREG	AREG	AREG	AREG
KTUN_HRT (X) ± σ (m)	1942816.462	±1.72	1942816.466	±2.91	1942816.472	±0.85
KTUN_HRT (Y) ± σ (m)	-5804077.15	±3.39	-5804076.956	±6.08	-5804077.106	±1.71
KTUN_HRT (Z) ± σ (m)	-1796884.283	±1.51	-1796884.13	±2.74	-1796884.228	±0.78
KTUN_HRT ± RMS	±2.02	±2.67	±1.44	±1.9	±2.52	±1.38
Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GALILEO YAYIN EFEMERİSİ	GPS+GAL YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ	GALILEO HASSAS EFEMERİSİ	GPS+GAL HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ROAG	ROAG	ROAG	ROAG	ROAG	ROAG
KTUN_HRT (X) ± σ (m)	5105577.235	±3.28	5105577.142	±5.94	5105577.236	±1.45
KTUN_HRT (Y) ± σ (m)	-555209.0642	±1.48	-555209.0021	±2.67	-555209.0187	±0.67
KTUN_HRT (Z) ± σ (m)	3769714.737	±2.66	3769714.709	±3.90	3769714.831	±1.10
KTUN_HRT ± RMS	±2.08	±2.61	±1.39	±2.08	±2.61	±1.39

Çizelge 5.2. Farklı senaryolara göre istasyon noktalarında KTUN_HRT yazılımı ile elde edilen koordinatlar, standart sapmalar ve RMS değerleri (23 Nisan 2021)

Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GALILEO YAYIN EFEMERİSİ	GPS+GAL YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ	GALILEO HASSAS EFEMERİSİ	GPS+GAL HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ANKR	ANKR	ANKR	ANKR	ANKR	ANKR
KTUN_HRT (X) ± σ (m)	4121947.719	4121947.443	4121947.415	4121947.324	4121946.658	4121947.234
KTUN_HRT (Y) ± σ (m)	2652187.155	2652186.992	2652186.432	2652187.254	2652186.586	2652186.827
KTUN_HRT (Z) ± σ (m)	4069023.776	4069023.705	4069023.000	4069023.733	4069023.495	4069023.882
KTUN_HRT ± RMS	±2.1	±2.73	±1.56	±2.1	±2.89	±1.54
Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GALILEO YAYIN EFEMERİSİ	GPS+GAL YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ	GALILEO HASSAS EFEMERİSİ	GPS+GAL HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	CORD	CORD	CORD	CORD	CORD	CORD
KTUN_HRT (X) ± σ (m)	2345503.649	±1.72	2345503.644	2345503.755	±1.72	2345503.458
KTUN_HRT (Y) ± σ (m)	-4910842.097	±2.74	-4910842.126	-4910841.567	±2.74	-4910841.752
KTUN_HRT (Z) ± σ (m)	-3316365.265	±2.08	-3316365.198	-3316365.073	±2.08	-3316365.114
KTUN_HRT ± RMS	±1.95	±2.89	±1.41	±1.95	±2.58	±1.37
Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GALILEO YAYIN EFEMERİSİ	GPS+GAL YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ	GALILEO HASSAS EFEMERİSİ	GPS+GAL HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ZECK	ZECK	ZECK	ZECK	ZECK	ZECK
KTUN_HRT (X) ± σ (m)	3451173.351	±1.99	3451173.277	3451173.024	±1.99	3451172.797
KTUN_HRT (Y) ± σ (m)	3060334.638	±1.78	3060334.589	3060334.876	±1.78	3060334.621
KTUN_HRT (Z) ± σ (m)	4391955.394	±2.43	4391955.476	4391955.518	±2.44	4391955.409
KTUN_HRT ± RMS	±1.89	±2.75	±1.35	±1.89	±2.53	±1.34
Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GALILEO YAYIN EFEMERİSİ	GPS+GAL YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ	GALILEO HASSAS EFEMERİSİ	GPS+GAL HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	AREG	AREG	AREG	AREG	AREG	AREG
KTUN_HRT (X) ± σ (m)	1942817.070	±1.57	1942817.095	1942817.037	±1.57	1942816.832
KTUN_HRT (Y) ± σ (m)	-5804076.270	±3.04	-5804076.527	-5804076.268	±3.04	-5804075.664
KTUN_HRT (Z) ± σ (m)	-1796884.518	±1.40	-1796884.516	-1796884.186	±1.40	-1796884.268
KTUN_HRT ± RMS	±1.9	±2.98	±1.4	±1.9	±2.88	±1.38
Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GALILEO YAYIN EFEMERİSİ	GPS+GAL YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ	GALILEO HASSAS EFEMERİSİ	GPS+GAL HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ROAG	ROAG	ROAG	ROAG	ROAG	ROAG
KTUN_HRT (X) ± σ (m)	5105577.419	±3.01	5105577.407	5105576.696	±3.01	5105576.810
KTUN_HRT (Y) ± σ (m)	-555209.149	±1.36	-555209.026	-555209.219	±1.36	-555209.163
KTUN_HRT (Z) ± σ (m)	3769714.741	±2.30	3769714.692	3769714.638	±2.30	3769714.689
KTUN_HRT ± RMS	±1.98	±2.56	±1.41	±1.98	±2.56	±1.41

Çizelge 5.3. Farklı senaryolara göre istasyon noktalarında RTX ve KTUN_HRT yazılımları arasındaki koordinat farkları (22 Nisan 2021)

Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GALILEO YAYIN EFEMERİSİ	GPS+GAL YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ	GALILEO HASSAS EFEMERİSİ	GPS+GAL HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ANKR	ANKR	ANKR	ANKR	ANKR	ANKR
RTX (X) - KTUN_HRT (X) m	0.9137	1.0231	0.0742	1.1738	0.1854	0.0971
RTX (Y) - KTUN_HRT (Y) m	0.6404	0.7788	0.2046	0.5676	0.4757	0.3832
RTX (Z) - KTUN_HRT (Z) m	0.4344	0.3217	0.3442	0.7196	-0.1666	0.0214
Senaryo	CORD	CORD	CORD	CORD	CORD	CORD
İstasyon	CORD	CORD	CORD	CORD	CORD	CORD
RTX (X) - KTUN_HRT (X) m	0.0204	0.0073	0.0504	-0.0319	-0.0205	-0.0549
RTX (Y) - KTUN_HRT (Y) m	-0.4919	-0.5789	-0.5116	-1.1800	-0.2782	-0.8946
RTX (Z) - KTUN_HRT (Z) m	0.9993	0.6615	0.8718	0.6765	0.6371	0.5004
Senaryo	ZECK	ZECK	ZECK	ZECK	ZECK	ZECK
İstasyon	ZECK	ZECK	ZECK	ZECK	ZECK	ZECK
RTX (X) - KTUN_HRT (X) m	0.9189	0.9593	0.8884	1.1413	0.3585	0.8538
RTX (Y) - KTUN_HRT (Y) m	0.8628	1.0825	1.0307	0.8238	0.8536	0.9002
RTX (Z) - KTUN_HRT (Z) m	1.0795	0.4855	0.5277	0.4379	0.0077	0.3099
Senaryo	AREG	AREG	AREG	AREG	AREG	AREG
İstasyon	AREG	AREG	AREG	AREG	AREG	AREG
RTX (X) - KTUN_HRT (X) m	-0.0287	-0.0332	-0.0394	0.0319	-0.1678	0.0292
RTX (Y) - KTUN_HRT (Y) m	-0.0186	-0.2131	-0.0629	-0.7348	0.2442	-0.4553
RTX (Z) - KTUN_HRT (Z) m	-0.0520	-0.2051	-0.1065	-0.5440	-0.2005	-0.4675
Senaryo	ROAG	ROAG	ROAG	ROAG	ROAG	ROAG
İstasyon	ROAG	ROAG	ROAG	ROAG	ROAG	ROAG
RTX (X) - KTUN_HRT (X) m	0.0616	0.1552	0.0606	0.4790	-0.4980	0.4775
RTX (Y) - KTUN_HRT (Y) m	0.1972	0.1351	0.1517	0.2827	-0.0420	0.1255
RTX (Z) - KTUN_HRT (Z) m	-0.6171	-0.5893	-0.7106	-0.2760	-0.7260	-0.4781

Çizelge 5.4. Farklı senaryolara göre istasyon noktalarında RTX ve KTUN_HRT yazılımları arasındaki koordinat farkları (23 Nisan 2021)

Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GALILEO YAYIN EFEMERİSİ	GPS+GAL YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ	GALILEO HASSAS EFEMERİSİ	GPS+GAL HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ANKR	ANKR	ANKR	ANKR	ANKR	ANKR
RTX (X) - KTUN_HRT (X) m	0.6774	0.9432	0.9807	1.0724	1.7383	1.1623
RTX (Y) - KTUN_HRT (Y) m	0.6983	0.8526	1.4207	0.5988	1.2673	1.0261
RTX (Z) - KTUN_HRT (Z) m	0.1103	0.1765	0.8856	0.1527	0.3911	0.0042
Senaryo	CORD	CORD	CORD	CORD	CORD	CORD
İstasyon	CORD	CORD	CORD	CORD	CORD	CORD
RTX (X) - KTUN_HRT (X) m	0.2034	0.2566	0.2077	0.0969	0.8488	0.3942
RTX (Y) - KTUN_HRT (Y) m	-0.8190	-0.7895	-0.7586	-1.3491	-0.5614	-1.1640
RTX (Z) - KTUN_HRT (Z) m	0.0611	-0.0060	0.1189	-0.1312	-0.1016	-0.0903
Senaryo	ZECK	ZECK	ZECK	ZECK	ZECK	ZECK
İstasyon	ZECK	ZECK	ZECK	ZECK	ZECK	ZECK
RTX (X) - KTUN_HRT (X) m	0.9925	1.0671	1.0298	1.3199	2.0661	1.5467
RTX (Y) - KTUN_HRT (Y) m	1.0225	1.0721	1.0316	0.7852	1.6213	1.0398
RTX (Z) - KTUN_HRT (Z) m	0.3988	0.3174	0.3472	0.2752	0.6835	0.3842
Senaryo	AREG	AREG	AREG	AREG	AREG	AREG
İstasyon	AREG	AREG	AREG	AREG	AREG	AREG
RTX (X) - KTUN_HRT (X) m	-0.6395	-0.6637	-0.6373	-0.6065	-0.3285	-0.4009
RTX (Y) - KTUN_HRT (Y) m	-0.8893	-0.6315	-0.8909	-1.3497	-0.4978	-1.4946
RTX (Z) - KTUN_HRT (Z) m	0.1836	0.1822	0.1733	-0.1481	0.0506	-0.0659
Senaryo	ROAG	ROAG	ROAG	ROAG	ROAG	ROAG
İstasyon	ROAG	ROAG	ROAG	ROAG	ROAG	ROAG
RTX (X) - KTUN_HRT (X) m	-0.1191	0.1926	-0.0662	0.6041	0.2648	0.4896
RTX (Y) - KTUN_HRT (Y) m	0.2822	0.1593	0.2457	0.3515	0.3745	0.2955
RTX (Z) - KTUN_HRT (Z) m	-0.6216	-0.5729	-0.7184	-0.5194	-0.7844	-0.5702

Çizelge 5.5. GPS senaryolarına göre istasyonlarda AUSPOS ve KTUN_HRT yazılımları ile elde edilen koordinat farkları (22 Nisan 2021-23 Nisan 2021)

Senaryo		GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon		ANKR	ANKR
AUSPOS (X) - KTUN_HRT (X) m		0.906	1.166
AUSPOS (Y) - KTUN_HRT (Y) m		0.632	0.560
AUSPOS (Z) - KTUN_HRT (Z) m		0.426	0.712

Senaryo		GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon		CORD	CORD
AUSPOS (X) - KTUN_HRT (X) m		0.019	-0.033
AUSPOS (Y) - KTUN_HRT (Y) m		-0.490	-1.178
AUSPOS (Z) - KTUN_HRT (Z) m		1.002	0.680

Senaryo		GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon		ZECK	ZECK
AUSPOS (X) - KTUN_HRT (X) m		0.915	1.137
AUSPOS (Y) - KTUN_HRT (Y) m		0.867	0.828
AUSPOS (Z) - KTUN_HRT (Z) m		1.083	0.442

Senaryo		GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon		AREG	AREG
AUSPOS (X) - KTUN_HRT (X) m		-0.022	0.039
AUSPOS (Y) - KTUN_HRT (Y) m		-0.009	-0.725
AUSPOS (Z) - KTUN_HRT (Z) m		-0.050	-0.542

Senaryo		GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon		AREG	AREG
AUSPOS (X) - KTUN_HRT (X) m		-0.633	-0.600
AUSPOS (Y) - KTUN_HRT (Y) m		-0.885	-1.346
AUSPOS (Z) - KTUN_HRT (Z) m		0.187	-0.145

Senaryo		GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon		ROAG	ROAG
AUSPOS (X) - KTUN_HRT (X) m		0.065	0.482
AUSPOS (Y) - KTUN_HRT (Y) m		0.198	0.284
AUSPOS (Z) - KTUN_HRT (Z) m		-0.616	-0.275

Senaryo		GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon		CORD	CORD
AUSPOS (X) - KTUN_HRT (X) m		0.209	0.103
AUSPOS (Y) - KTUN_HRT (Y) m		-0.826	-1.356
AUSPOS (Z) - KTUN_HRT (Z) m		0.058	-0.134

Senaryo		GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon		ZECK	ZECK
AUSPOS (X) - KTUN_HRT (X) m		0.991	1.318
AUSPOS (Y) - KTUN_HRT (Y) m		1.029	0.791
AUSPOS (Z) - KTUN_HRT (Z) m		0.404	0.280

Senaryo		GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon		AREG	AREG
AUSPOS (X) - KTUN_HRT (X) m		-0.633	-0.600
AUSPOS (Y) - KTUN_HRT (Y) m		-0.885	-1.346
AUSPOS (Z) - KTUN_HRT (Z) m		0.187	-0.145

Senaryo		GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon		ROAG	ROAG
AUSPOS (X) - KTUN_HRT (X) m		-0.119	0.604
AUSPOS (Y) - KTUN_HRT (Y) m		0.283	0.353
AUSPOS (Z) - KTUN_HRT (Z) m		-0.620	-0.517

Çizelge 5.6. Farklı senaryolara göre ANKR noktasında KTUN_HRT ile RTX ve AUSPOS yazılımları arasındaki koordinat farkları-özet tablo (22 Nisan 2021)

Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ANKR	ANKR
KTUN_HRT (X) - RTX (X) m	-0.91	-1.17
KTUN_HRT (Y) - RTX (Y) m	-0.64	-0.57
KTUN_HRT (Z) - RTX (Z) m	-0.43	-0.72

Senaryo	GALILEO YAYIN EFEMERİSİ	GALILEO HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ANKR	ANKR
KTUN_HRT (X) - RTX (X) m	-1.02	-0.19
KTUN_HRT (Y) - RTX (Y) m	-0.78	-0.48
KTUN_HRT (Z) - RTX (Z) m	-0.32	0.17

Senaryo	GPS+GAL YAYIN EFEMERİSİ	GPS+GAL HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ANKR	ANKR
KTUN_HRT (X) - RTX (X) m	-0.07	-0.10
KTUN_HRT (Y) - RTX (Y) m	-0.20	-0.38
KTUN_HRT (Z) - RTX (Z) m	-0.34	-0.02

Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ANKR	ANKR
KTUN_HRT (X) - AUSPOS (X) m	-0.91	-1.17
KTUN_HRT (Y) - AUSPOS (Y) m	-0.63	-0.56
KTUN_HRT (Z) - AUSPOS (Z) m	-0.43	-0.71

Çizelge 5.7. Farklı senaryolara göre CORD noktasında KTUN_HRT ile RTX ve AUSPOS yazılımları arasındaki koordinat farkları-özet tablo (22 Nisan 2021)

Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	CORD	CORD
KTUN_HRT (X) - RTX (X) m	-0.02	0.03
KTUN_HRT (Y) - RTX (Y) m	0.49	1.18
KTUN_HRT (Z) - RTX (Z) m	-1.00	-0.68

Senaryo	GALILEO YAYIN EFEMERİSİ	GALILEO HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	CORD	CORD
KTUN_HRT (X) - RTX (X) m	-0.01	0.02
KTUN_HRT (Y) - RTX (Y) m	0.58	0.28
KTUN_HRT (Z) - RTX (Z) m	-0.66	-0.64

Senaryo	GPS+GAL YAYIN EFEMERİSİ	GPS+GAL HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	CORD	CORD
KTUN_HRT (X) - RTX (X) m	-0.05	0.05
KTUN_HRT (Y) - RTX (Y) m	0.51	0.89
KTUN_HRT (Z) - RTX (Z) m	-0.87	-0.50

Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	CORD	CORD
KTUN_HRT (X) - AUSPOS (X) m	-0.02	0.03
KTUN_HRT (Y) - AUSPOS (Y) m	0.49	1.18
KTUN_HRT (Z) - AUSPOS (Z) m	-1.00	-0.68

Çizelge 5.8. Farklı senaryolara göre ZECK noktasında KTUN_HRT ile RTX ve AUSPOS yazılımları arasındaki koordinat farkları-özet tablo (22 Nisan 2021)

Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ZECK	ZECK
KTUN_HRT (X) - RTX (X) m	-0.92	-1.14
KTUN_HRT (Y) - RTX (Y) m	-0.86	-0.82
KTUN_HRT (Z) - RTX (Z) m	-1.08	-0.44

Senaryo	GALILEO YAYIN EFEMERİSİ	GALILEO HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ZECK	ZECK
KTUN_HRT (X) - RTX (X) m	-0.96	-0.36
KTUN_HRT (Y) - RTX (Y) m	-1.08	-0.85
KTUN_HRT (Z) - RTX (Z) m	-0.49	-0.01

Senaryo	GPS+GAL YAYIN EFEMERİSİ	GPS+GAL HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ZECK	ZECK
KTUN_HRT (X) - RTX (X) m	-0.89	-0.85
KTUN_HRT (Y) - RTX (Y) m	-1.03	-0.90
KTUN_HRT (Z) - RTX (Z) m	-0.53	-0.31

Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ZECK	ZECK
KTUN_HRT (X) - AUSPOS (X) m	-0.91	-1.14
KTUN_HRT (Y) - AUSPOS (Y) m	-0.87	-0.83
KTUN_HRT (Z) - AUSPOS (Z) m	-1.08	-0.44

Çizelge 5.9. Farklı senaryolara göre ANKR noktasında KTUN_HRT ile RTX ve AUSPOS yazılımları arasındaki koordinat farkları-özet tablo (23 Nisan 2021)

Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ANKR	ANKR
KTUN_HRT (X) - RTX (X) m	-0.68	-1.07
KTUN_HRT (Y) - RTX (Y) m	-0.70	-0.60
KTUN_HRT (Z) - RTX (Z) m	-0.11	-0.15

Senaryo	GALILEO YAYIN EFEMERİSİ	GALILEO HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ANKR	ANKR
KTUN_HRT (X) - RTX (X) m	-0.94	-1.74
KTUN_HRT (Y) - RTX (Y) m	-0.85	-1.27
KTUN_HRT (Z) - RTX (Z) m	-0.18	-0.39

Senaryo	GPS+GAL YAYIN EFEMERİSİ	GPS+GAL HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ANKR	ANKR
KTUN_HRT (X) - RTX (X) m	-0.98	-1.16
KTUN_HRT (Y) - RTX (Y) m	-1.42	-1.03
KTUN_HRT (Z) - RTX (Z) m	-0.89	-0.004

Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ANKR	ANKR
KTUN_HRT (X) - AUSPOS (X) m	-0.67	-1.07
KTUN_HRT (Y) - AUSPOS (Y) m	-0.69	-0.59
KTUN_HRT (Z) - AUSPOS (Z) m	-0.11	-0.15

Çizelge 5.10. Farklı senaryolara göre CORD noktasında KTUN_HRT ile RTX ve AUSPOS yazılımları arasındaki koordinat farkları-özet tablo (23 Nisan 2021)

Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	CORD	CORD
KTUN_HRT (X) - RTX (X) m	-0.20	-0.10
KTUN_HRT (Y) - RTX (Y) m	0.82	1.35
KTUN_HRT (Z) - RTX (Z) m	-0.06	0.13

Senaryo	GALILEO YAYIN EFEMERİSİ	GALILEO HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	CORD	CORD
KTUN_HRT (X) - RTX (X) m	-0.26	-0.85
KTUN_HRT (Y) - RTX (Y) m	0.79	0.56
KTUN_HRT (Z) - RTX (Z) m	0.01	0.10

Senaryo	GPS+GAL YAYIN EFEMERİSİ	GPS+GAL HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	CORD	CORD
KTUN_HRT (X) - RTX (X) m	-0.21	-0.39
KTUN_HRT (Y) - RTX (Y) m	0.76	1.16
KTUN_HRT (Z) - RTX (Z) m	-0.12	0.09

Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	CORD	CORD
KTUN_HRT (X) - AUSPOS (X) m	-0.21	-0.10
KTUN_HRT (Y) - AUSPOS (Y) m	0.83	1.36
KTUN_HRT (Z) - AUSPOS (Z) m	-0.06	0.13

Çizelge 5.11. Farklı senaryolara göre ZECK noktasında KTUN_HRT ile RTX ve AUSPOS yazılımları arasındaki koordinat farkları-özet tablo (23 Nisan 2021)

Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ZECK	ZECK
KTUN_HRT (X) - RTX (X) m	-0.99	-1.32
KTUN_HRT (Y) - RTX (Y) m	-1.02	-0.79
KTUN_HRT (Z) - RTX (Z) m	-0.40	-0.28

Senaryo	GALILEO YAYIN EFEMERİSİ	GALILEO HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ZECK	ZECK
KTUN_HRT (X) - RTX (X) m	-1.07	-2.07
KTUN_HRT (Y) - RTX (Y) m	-1.07	-1.62
KTUN_HRT (Z) - RTX (Z) m	-0.32	-0.68

Senaryo	GPS+GAL YAYIN EFEMERİSİ	GPS+GAL HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ZECK	ZECK
KTUN_HRT (X) - RTX (X) m	-1.03	-1.55
KTUN_HRT (Y) - RTX (Y) m	-1.03	-1.04
KTUN_HRT (Z) - RTX (Z) m	-0.35	-0.38

Senaryo	GPS YAYIN EFEMERİSİ	GPS HASSAS EFEMERİSİ
İstasyon	ZECK	ZECK
KTUN_HRT (X) - AUSPOS (X) m	-0.99	-1.32
KTUN_HRT (Y) - AUSPOS (Y) m	-1.03	-0.79
KTUN_HRT (Z) - AUSPOS (Z) m	-0.40	-0.28

ANKR istasyonuna ait 22 ve 23 Nisan 2021 verileri kullanılarak yapılmış olan hesaplamalara ilişkin bilgiler aşağıda verilmiştir:

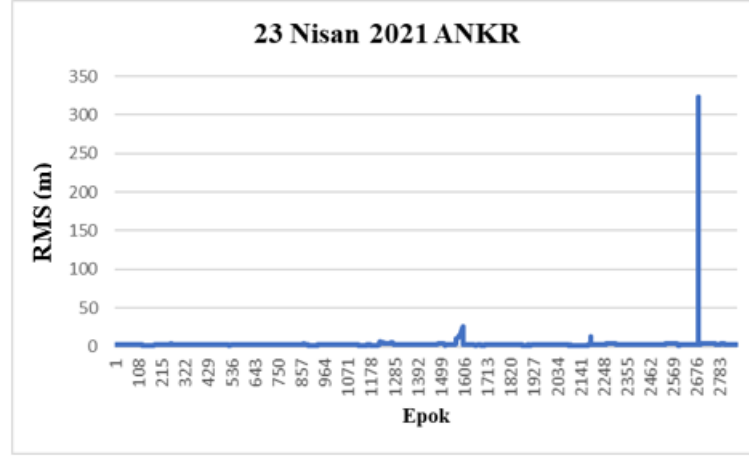
KTUN_HRT yazılımı ile elde edilen sonuçların doğruluğu hakkında fikir edinebilmek için aynı gözlemler RTX ve AUSPOS yazılımı ile de hesaplanmış olup, RTX ve AUSPOS yazılımı ile elde edilen koordinatlar doğru olarak kabul edilmiştir. Bu amaçla, öncelikle ANKR noktasına ait GPS+Galileo içerikli gözlem dosyası ve IGS hassas efemeris verileri kullanılarak RTX ve AUSPOS yazılımı ile nokta koordinatları hesaplanmıştır. Daha sonra, KTUN_HRT yazılımı ile “GPS gözlemleri+yayın efemerisi”, “Galileo gözlemleri+yayın efemerisi” ve “GPS+Galileo gözlemleri+yayın efemerisi” senaryoları ile nokta koordinatları hesaplanmıştır. Ayrıca, KTUN_HRT aynı senaryosu IGS hassas efemeris kullanılarak tekrarlanmıştır. Yapılan hesaplamalara ilişkin koordinatlar, standart sapmalar ve RMS değerleri Çizelgeler (5.1-5.2)’de, koordinat farkları ise Çizelgeler (5.3-5.5)’de verilmiştir. Söz konusu çizelgelere çok sayıda karşılaştırma ve yorum yapmak olanaklı olmakla birlikte tezin amacından uzaklaşmamak ve bütünlüğü korumak adına bu farklar özet olarak hazırlanmış ve Çizelgeler (5.6-5.11)’de verilmiştir. Dolayısıyla ANKR, CORD ve ZECK noktalarına ait yorumlar Çizelgeler (5.6-5.11)’ye dayanılarak yapılmıştır. Bu çizelgedeki farklar; GPS, Galileo, GPS+Galileo senaryoları hem yayın hem de IGS hassas efemeris kullanılarak yapılmış olan hesaplamalara dayanmakta olup, doğrulukları ise RTX ve AUSPOS’tan olan farklara göre irdelenmiştir. Bu çizelgelerle ilgili yorumlar yapılırken RTX ve AUSPOS çözümlerinin çift frekanslı faz ölçüleri ve IGS hassas efemeris kullanılarak yapıldığı unutulmamalıdır. Bu nedenle yapılan karşılaştırmalarda RTX ve AUSPOS çözümleri doğru kabul edilmiştir.

Söz konusu özet çizelgeler irdelendiğinde 22 Nisan tarihinde; GPS, Galileo, GPS+Galileo ve yayın efemerisi senaryoları ile elde edilmiş koordinatların, RTX ve AUSPOS sonuçlarına göre beklenen seviyede doğruluklar verdiği görülmektedir. Aynı şekilde; GPS, Galileo, GPS+Galileo ve IGS hassas efemerisi senaryoları ile elde edilmiş koordinatların, RTX ve AUSPOS sonuçlarına göre yoruma açık farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Diğer bir ifadeyle; hassas efemerisi kullanılarak yalnızca GPS ve GPS+Galileo çözümleri CORD ve ZECK noktaları için yaklaşık aynı seviyede doğruluklar verirken, ANKR noktasında çok daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür. ANKR noktası ile diğer iki nokta arasındaki bu farkın coğrafi bölge ve ölçü anındaki uydu geometrisi farkından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Bu çalışma ile oluşturulmuş KTUN_HRT yazılımının tek frekansta ve kod ölçüleri ile çalıştığı dikkate alınrsa yukarıda ifade edilmiş olan görünürde uyumsuzlukların aslında normal olduğu söylenebilir. Çünkü, bilindiği gibi tek frekansta kod ölçüsü kullanarak navigasyon mesajı (yayın efemerisi) ile gerçek zamanlı konum belirlemede elde edilecek doğruluklar 1-10 metre arasında değişmektedir. Ancak bu tez çalışmasında olduğu gibi uzun süreli GNSS kod gözlemlerinin yayın efemerisi ile hesaplanması sonucu elde edilecek koordinat doğrulukları 1 metre ve altında olmaktadır. Dolayısıyla özet çizelgelerde elde edilen sonuçlar bunu doğrulamaktadır. Hesaplama sonuçlarından elde edilen dikkat çekici diğer bir husus ise kullanılacak ölçü gününe, sinyal tipine, tek veya çok frekans olmasına, coğrafi bölgeye ve ölçü anındaki uydu geometrisine bağlı olarak GPS+Galileo kombinasyonunun yalnızca GPS çözümüne göre önemli bir üstünlük sağlamadığıdır. Bununla birlikte bu konu tez kapsamı dışında olup farklı bir çalışma ile ayrıntılı olarak incelenmesi gerekmektedir.

Yukarıda ifade edilmiş olan 22 Nisan tarihli hesaplamaların farklı günler içinde aynı sonuçları verip vermediğini görebilmek amacıyla ANKR, CORD ve ZECK istasyonlarına ait 23 Nisan 2021 verileri de hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarla ilgili yorumlar aşağıda verilmektedir.

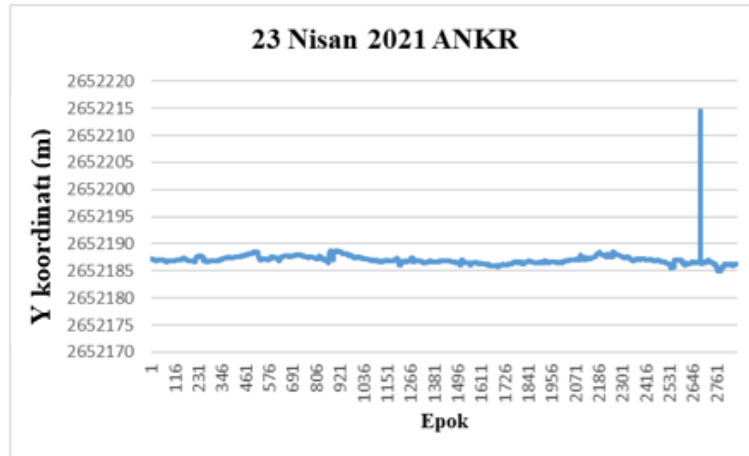
ANKR noktasına ait 23 Nisan tarihli özet çizelgeler irdelendiğinde (Çizelge 5.9); GPS, Galileo ve GPS+Galileo'nun yayın efemerisi senaryoları ile elde edilmiş koordinatların, RTX ve AUSPOS sonuçlarına göre beklenen seviyede doğruluklar verdiği görülmektedir. Elde edilen bu sonuçların 22 Nisan tarihli sonuçlar ile benzerlik gösterdiği görülmüştür. Diğer taraftan KTUN_HRT yazılımı kullanılarak GPS ve IGS hassas efemerisi senaryosu ile elde edilmiş koordinatların, RTX ve AUSPOS sonuçlarına göre beklenen seviyede doğruluk verdiği görülmüştür. Ancak KTUN_HRT yazılımı kullanılarak Galileo ve IGS hassas efemeris senaryosu ile elde edilmiş koordinatların, RTX sonuçlarına göre gerek standart sapmalarında (Çizelge 5.2) gerekse koordinat farklarında (Çizelge 5.4) artış meydana geldiği görülmektedir. Diğer bir ifadeyle; KTUN_HRT yazılımında Galileo ve IGS hassas efemeris hesabı yapılarak elde edilen koordinatlar ile RTX koordinatları arasında X, Y ve Z bileşenlerinde sırasıyla -174 cm, -127 cm ve -39 cm farklar oluşmuştur. Bu farkların sebebinin daha iyi anlaşılabilmesi açısından X, Y, Z koordinatları ve RMS değerlerinin epok bazında davranışına ait grafikler Şekil (5.2-5.5)'de oluşturulmuştur.



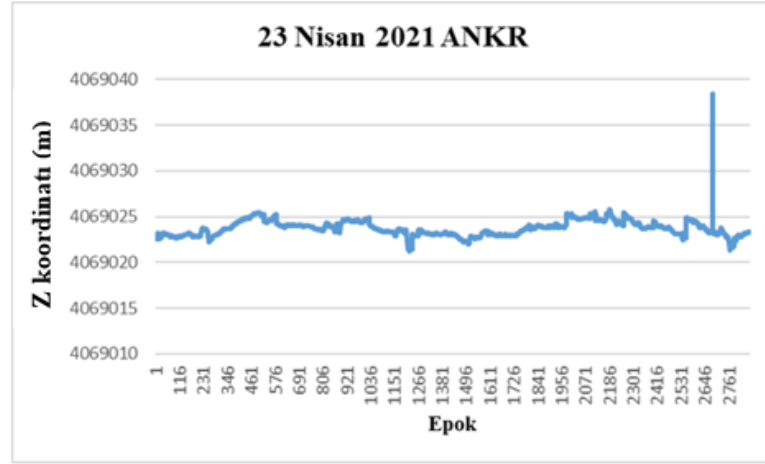
Şekil 5.2. 23 Nisan 2021 tarihli ANKR istasyonuna ait RMS değerleri (Galileo hassas efemeris)



Şekil 5.3. 23 Nisan 2021 tarihli ANKR istasyonuna ait X bileşeni koordinat değerleri (Galileo hassas efemeris)

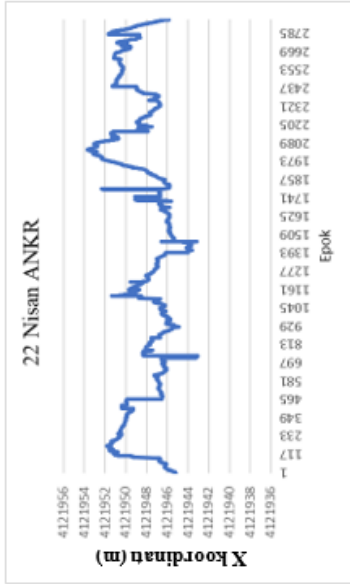


Şekil 5.4. 23 Nisan 2021 tarihli ANKR istasyonuna ait Y bileşeni koordinat değerleri (Galileo hassas efemeris)

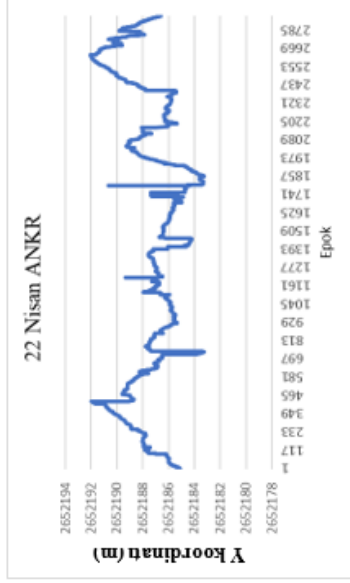


Şekil 5.5. 23 Nisan 2021 tarihli ANKR istasyonuna ait Z bileşeni koordinat değerleri (Galileo hassas efemeris)

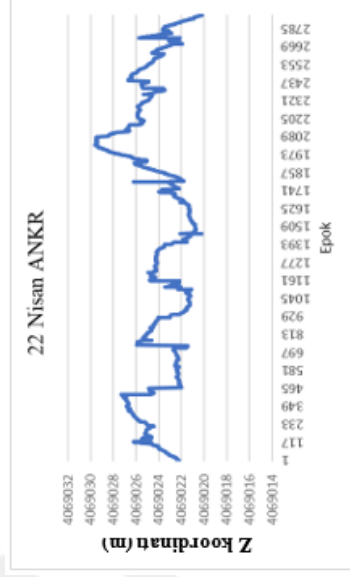
Şekil (5.2-5.5) grafiklerine bakıldığında 2684. epokta hem RMS değerlerinde hem de kartezyen koordinatlarında beklenmedik bir artış meydana geldiği görülmektedir. Bu durumun oluşmasında 2684. epokta yalnızca 4 adet Galileo uydusunun bulunması, başka bir deyişle yalnızca 4 uydu ile dengeleme işleminin yapılmasının ve bu uyduların geometrisinin bozuk olmasının sebep olduğu düşünülmektedir. Diğer taraftan 2684. epogun kaldırılmasıyla standart sapmaların düzelmesi ancak koordinat farklarının X ve Y koordinatlarında yine metre seviyelerinde kalması, 23 Nisan tarihine ait verilerin kalitesinin herhangi bir nedenle bozulduğu düşüncesinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle oluşabilecek rastlantısallığı ortadan kaldırmak amacıyla ANKR istasyonuna ait 22 ve 23 Nisan verilerine ek olarak 24 Nisan verileri de incelenmiş ve Şekil (5.9-5.11)'de sonuçlar elde edilmiştir. Diğer bir ifadeyle; KTUN_HRT yazılımında Galileo ve IGS hassas efemeris hesabı yapılarak elde edilen koordinatlar ile RTX koordinatları arasında X, Y ve Z bileşenlerinde sırasıyla -65 cm, -1 cm ve 0.3 cm farklar oluştuğu ve bu farkların da 22 Nisan tarihli hesap sonuçlarına benzer olduğu görülmüştür. Buradan hareketle; yapılan hesaplamalarda, istasyonların bir gününe ait verilerle elde edilen sonuçlarla yetinilmeyip, farklı tarihlerdeki ölçülerle birlikte değerlendirilmesinin daha sağlıklı olacağı düşünülmektedir. Diğer taraftan yukarıda ifade edilmiş olan beklenmeyen artışların olduğu epoklar için KTUN_HRT yazılımına mevcut filtreleme tekniklerine ek olarak yeni filtreleme tekniklerinin de entegre edilmesi gerektiği düşünülmektedir.



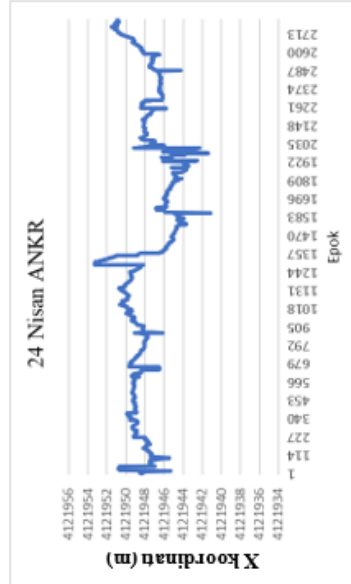
Şekil 5.6. 22 Nisan ANKR X bileşeni değerleri



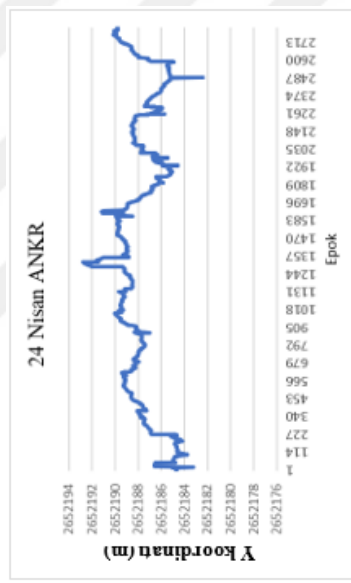
Şekil 5.7. 22 Nisan ANKR Y bileşeni değerleri



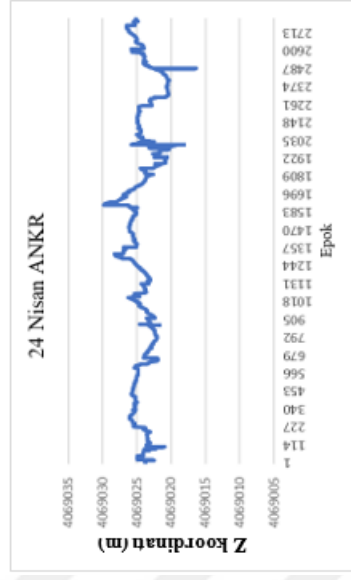
Şekil 5.8. 22 Nisan ANKR Z bileşeni değerleri



Şekil 5.9. 24 Nisan ANKR X bileşeni değerleri



Şekil 5.10. 24 Nisan ANKR Y bileşeni değerleri



Şekil 5.11. 24 Nisan ANKR Z bileşeni değerleri

CORD ve ZECK noktalarına ait 23 Nisan tarihli özet çizelgeler irdelendiğinde Çizelge (5.10 ve 5.11); KTUN_HRT yazılımı ile GPS, Galileo ve GPS+Galileo'nun yayın efemerisli hesap senaryoları ve IGS hassas efemerisli hesap senaryoları ile elde edilmiş koordinatlarının, RTX ve AUSPOS sonuçlarına göre beklenen seviyede doğruluklar verdiği ve elde edilen bu doğruluklarında da 22 Nisan tarihli sonuçlara benzerlik gösterdiği görülmüştür. Ancak, ZECK noktasında Galileo ve IGS hassas efemeris senaryosu ile elde edilmiş koordinatların, RTX sonuçlarına göre koordinat farklarında bir artış meydana geldiği görülmektedir (Çizelge 5.4.). Diğer bir ifadeyle; KTUN_HRT yazılımında Galileo ve IGS hassas efemeris hesabı yapılarak elde edilen koordinatlar ile RTX koordinatları arasında X, Y ve Z bileşenlerinde sırasıyla -2.07 m, -1.62 m ve -0.68 m farklar oluşmuştur. Bu farkların sebebinin daha iyi anlaşılabilmesi açısından aynı ANKR noktasında olduğu gibi, ZECK noktası için de 22 ve 23 Nisan tarihlerine ek olarak 24 Nisan tarihli X, Y, Z bileşeni koordinatları da incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

KTUN_HRT yazılımında 24 Nisan tarihli verilerle Galileo ve IGS hassas efemeris hesabı yapılarak elde edilen koordinatlar ile RTX koordinatları arasında X, Y ve Z bileşenlerinde sırasıyla -1.18 m, -0.57 m ve -0.17 m farklar olduğu ve buna göre 23 ve 24 Nisan tarihli sonuçların birbiriyle kısmen daha uyumlu olduğu, 22 Nisan tarihli sonuçların ise bu iki günden doğruluğu daha yüksek bir farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Buradan hareketle, 23 Nisan tarihindeki artışların oluşmasında, Galileo verileri için NeQuick iyonosfer modeli kullanılması gerekirken bunun yerine GPS verileri için kullanılan Klobuchar iyonosferik modelinin kullanılmış olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Bu çalışmada NeQuick iyonosfer modelinin kullanılamamasının nedeni, söz konusu modelin farklı bir tez çalışması kapsamında olması ve bu tezde kullanılmak için yetiştirilememiş olmasından kaynaklanmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında KTUN_HRT isimli mutlak konum belirleme yazılımı hazırlanmıştır. Başlangıçta yalnızca GPS uydularının olması planlanan yazılımda, mevcut durumda GPS uydularına ek olarak henüz tam çalışma kapasitesine (FOC) ulaşmamış olan Galileo uyduları da entegre edilmiştir. GPS ve Galileo C1 kod gözlemlerinin kullanıldığı yazılımda; GPS+yayın efemerisi, Galileo+yayın efemerisi, GPS+Galileo+yayın efemerisi ve GPS+hassas efemerisi, Galileo+hassas efemerisi, GPS+Galileo+hassas efemerisi hesap senaryoları oluşturulmuş bu senaryolara ait koordinatlar ile bunlara ilişkin standart sapmalar hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, çift frekanslı faz ölçüleri kullanan “Trimble” firmasına ait “CenterPoint RTX Post-Processing” değerlendirme servisi ve “AUSPOS” servisi ile aynı noktalara ait verilerle hesaplanmış koordinatlar ile karşılaştırılmıştır. RTX ve AUSPOS yazılımları çift frekanslı faz ölçüleri ile hesap yaptığı için, bunlardan elde edilen koordinatlar doğru olarak kabul edilmiş ve tüm karşılaştırmalar buna dayanılarak yapılmıştır. Yapılmış olan karşılaştırmalar sonucunda aşağıdaki özet yorumlar yapılabilir.

Galileo+yayın efemerisi çözümüne ait sonuçlar ile GPS+yayın efemeris çözümüne ait sonuçlar karşılaştırıldığında aralarında çok büyük farkların olmadığı görülmüştür. Bir başka ifadeyle yayın efemerisi+kod ölçüleri ile elde edilen doğruluğun $\pm 1-3$ metre doğruluk sınırları içerisinde kaldığı görülmüştür. Galileo+yayın efemerisi senaryolarında genellikle GPS uyduları için kullanılan Klobuchar iyonosferik modelinin kullanılmasının Galileo ile elde edilen doğruluğu belirli bir seviyede azalttığı düşünülmektedir. Diğer taraftan, bu konuda yapılmış ve yayınlanmış çalışmalar dikkate alındığında, genellikle Galileo uyduları için kullanılan NeQuick iyonosferik modelinin, Galileo+yayın efemerisi senaryolarında kullanılmasıyla elde edilecek doğruluğun, GPS+yayın efemerisine göre elde edilecek sonuçlardan daha doğru olacağı öngörülmektedir. Ancak NeQuick modeli başka bir yüksek lisans tez çalışması konusu olduğu için bu tez kapsamında yararlanılamamıştır. Galileo+hassas efemeris senaryosu ve GPS+hassas efemeris senaryosu karşılaştırıldığında, özellikle 22 Nisan tarihli verilerde, Galileo+hassas efemeris çözümlerinin daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür.

Diğer taraftan GPS ve Galileo uydu sayılarını da hesaba katmak elde edilecek sonuçların yorumlanması açısından oldukça önemlidir. Örneğin, gözlem veri dosyaları

incelendiğinde genellikle gözlem yapılan Galileo uydu sayısının, gözlem yapılan GPS uydu sayısına göre üçte iki oranında olduğu belirlenmiştir. Ancak bazı durumlarda bu sayı yarı yarıya düşmektedir. Ayrıca, ileriki aşamalarda KTUN_HRT yazılımına eklenecek ilave özelliklerin de (faz, faz+kod, filtreleme vb.) bu çalışma ile elde edilen mevcut doğrulukları iyileştireceği öngörülmektedir. Hesaplama sonuçlarından elde edilen dikkat çekici diğer bir husus ise kullanılacak ölçü gününe, sinyal tipine, tek veya çok frekans olmasına, coğrafi bölgeye, ölçü anındaki uydu geometrisine ve mevcut uydu sayısına da bağlı olarak GPS+Galileo kombinasyonunun yalnızca GPS çözümüne göre önemli bir üstünlük sağlamadığıdır. Bununla birlikte bu konu tez kapsamı dışında olup farklı bir çalışma ile ayrıntılı olarak incelenmesi gerekmektedir.

Ayrıca gerek RTX ve gerekse AUSPOS ile elde edilen sonuçların tez çalışması kapsamında hazırlanmış olan KTUN_HRT GPS sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Başka bir ifadeyle, KTUN_HRT GPS hesaplamaları C1 kod ölçüleri ile yapıldığı için beklenen dış doğruluklar $\pm 1-3$ metre seviyesinde olup, çift frekanslı ve faz ölçüleri ile hesap yapan RTX ve AUSPOS sonuçları bu uyumu doğrulamaktadır. Sonuç olarak tez çalışması kapsamında hazırlanmış olan KTUN_HRT yazılımının tek nokta konum belirleme uygulamaları için güvenle kullanılabilir yazılım olduğu RTX ve AUSPOS çözümleri ile de doğrulanmıştır.

KAYNAKLAR

- Angrisano, A., Gaglione, S., Gioia, C., Massaro, M. and Troisi, S., 2013, Benefit of the NeQuick Galileo Version in GNSS Single-Point Positioning, *International Journal of Navigation & Observation*, 2013, 32-36.
- Ávila Rodríguez, J.A., 2011, Galileo Signal Plan [online], European Space Agency, https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Signal_Plan [Ziyaret Tarihi: 8 Nisan 2021].
- Ávila Rodríguez, J.A., Hahn, J., Bautista, M.M. and Chatre, E., 2021, Galileo. In: Position, Navigation, and Timing Technologies in the 21st Century: Integrated Satellite Navigation, Sensor Systems, and Civil Applications, 1, *John Wiley & Sons*, Canada, 105-141.
- Beutler, G., Kouba, J. and Springer, T., 1995, Combining the orbits of the IGS Analysis Centers, *Bulletin Geodesy*, 69 (4), 200-222.
- Beutler, G., Weber, R., Hugentobler, U., Rothacher, M. and Verdun, A., 1998, GPS satellite orbits. In: GPS for Geodesy, *Springer*, Bern-Switzerland, 2, 43-109.
- Betz, J.W., 2015, Engineering satellite-based navigation and timing: global navigation satellite systems, signals, and receivers, *John Wiley & Sons*, Hoboken New Jersey, 226-250.
- Bock, Y., 1998, Reference Systems. In: GPS for Geodesy, *Springer*, California-U.S.A., 60, 1-36.
- Borre, K., Akos, D.M., Bertelsen, N., Rinder, P. and Jensen, S.H., 2007, A software-defined GPS and Galileo receiver: a single-frequency approach, *Springer Science & Business Media*, Boston, 17-30.
- Borre, K., 2003, The GPS Easy Suite-Matlab code for the GPS newcomer, *GPS Solutions*, 7, 47-51.
- Braasch, M.S., 2017, Multipath, In: Springer handbook of global navigation satellite systems, *Springer*, Cham Switzerland, 443-468.
- Cai, C., Gao, Y., Pan, L. and Dai, W., 2014, An analysis on combined GPS/COMPASS data quality and its effect on single point positioning accuracy under different observing conditions, *Advances in Space Research*, 54, 818-829.
- Cai, C., Luo, X., Liu, Z. and Xiao, Q., 2014, Galileo signal and positioning performance analysis based on four IOV satellites, *The Journal of Navigation*, 67, 810-824.
- 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.

- Dow, J.M., Neilan, R.E. and Rizos, C., 2009, The international GNSS Service in a Changing Landscape of Global Navigation Satellite Systems, *Journal of geodesy*, 83, 191-198.
- Eissfeller, B., Ameres, G., Kropp, V. and Sanroma, D., 2007, Performance of GPS, GLONASS and Galileo, *Photogrammetric Week*, Heidelberg Germany, 7, 185-199.
- ESA. and GMV., 2011, GPS Performances [online], (2020), European Space Agency, https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_Performances [Ziyaret Tarihi: 8 Nisan 2021].
- ESA., 2021, Galileo: Constellation Information [online], European Global Navigation Satellite Systems Agency, <https://www.gsc-europa.eu/system-service-status/constellation-information> [Ziyaret Tarihi: 8 Nisan 2021].
- ESA., 2021, Galileo: Orbital and Technical Parameters [online], European Global Navigation Satellite Systems Agency, <https://www.gsc-europa.eu/system-service-status/orbital-and-technical-parameters> [Ziyaret Tarihi: 8 Nisan 2021].
- European Space Agency, European Union and Galileo Joint Undertaking, 2021, European GNSS (Galileo) Open Service: Signal in Space Interface Control Document 2nd version Galileo OS SIS ICD, *ESA, EU, GJU*, 3-47.
- Falcone, M. and Erhard, P., Hein G.W., 2006, Galileo, In: Understanding GPS Principles and Applications Second edition, *Artech House*, Norwood MA, 559-594.
- Falcone, M., Hahn, J. and Burger, T., 2017, Galileo, In: Springer handbook of global navigation satellite systems, *Springer*, Cham Switzerland, 247-272.
- Feng, Y. and Zheng, Y., 2005, Efficient interpolations to GPS orbits for precise wide area applications, *GPS Solutions*, 9, 273-82.
- 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.
- Georgiadou, Y. and Doucet, K.D., 1990, The issue of selective availability, *GPS world*, 1(5), 53-56.
- Griffiths, J. and Ray, J.R., 2009, On the precision and accuracy of IGS orbits, *Journal of Geodesy*, 83(3-4), 277-287.
- Hadas, T., Kazmierski, K. and Sośnica, K., 2019, Performance of Galileo-only dual-frequency absolute positioning using the fully serviceable Galileo constellation, *GPS Solutions*, 23(4), 1-12.

- Hauschild, A., 2017, Basic observation equations, In: Springer handbook of global navigation satellite systems, *Springer*, Cham Switzerland, 561-582.
- Hegarty, C.J., 2017, The global positioning system (GPS), In: Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems, *Springer*, Cham Switzerland, 197-218.
- Hernandez, I.F., Rodriguez, I., Tobias, G., Calle, J.D., Carbonell, E., Seco-Granados, G., Simon, J. and Biasi, R., 2015, Galileo's Commercial Service: Testing GNSS High Accuracy and Authentication, *InsideGNSS*, 38-47.
- Hobiger, T. and Jakowski, N., 2017, Atmospheric signal propagation, In: Springer handbook of global navigation satellite systems, *Springer*, 165-193.
- 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.
- Hopfield, H., 1969, Two-quartic tropospheric refractivity profile for correcting satellite data, *Journal of Geophysical research*, 74(18), 4487-4499.
- Horemuz, M. and Andersson, J.V., 2006, Polynomial interpolation of GPS satellite coordinates, *GPS solutions*, 10(1), 67-72.
- Hugentobler, U. and Montenbruck, O., 2017, Satellite orbits and attitude, In: Springer handbook of global navigation satellite systems, *Springer*, Cham Switzerland, 59-90.
- IGS., 2021, International GNSS Service [online], IGS Central Bureau NASA Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology, <https://www.igs.org/> [Ziyaret Tarihi: 8 Nisan 2021].
- Johnston, G., Riddell, A. and Hausler, G., 2017, The international GNSS service, In: Springer handbook of global navigation satellite systems, *Springer*, Cham Switzerland, 967-982.
- Juan, J.M., Hernández-Pajares, M., Sanz, J., Ramos-Bosch, P., Aragon-Ange, A., Orus, R., Ochieng, W., Feng, S., Jofre, M. and Coutinho, P., 2012, Enhanced precise point positioning for GNSS users, *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 50(10), 4213-4222.
- Kahveci, M. (1997), Türkiye Koşullarında Yapılan GPS Gözlemlerinde Ortam Etkilerinin Araştırılması, Doktora, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-3.
- Kahveci, M., Karagöz, H. ve Selbesoğlu, MO., 2011, Statik ve RTK GNSS Ölçüm ve Hesaplamalarının Karşılaştırılması, *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (104), 3-13.

- Kahveci, M., 2017, Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları, 2.basım, *Nobel Yayıncılık*, Ankara.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F., 2018, Uydularla Konum Belirleme Sistemleri (GNSS): Teori ve Uygulama, 10. basım, *Nobel Yayıncılık*, Ankara.
- Kaplan, E. and Hegarty, C., 2005, Understanding GPS: principles and applications Second Edition, *Artech house*, Norwood MA.
- Karaim, M., Elsheikh, M., Noureldin, A. and Rustamov, R., 2018, GNSS Error Sources, *Multifunctional Operation and Application of GPS-IntechOpen*, 69-85.
- Kim, M. and Kim, J., 2015, A long-term analysis of the GPS broadcast orbit and clock error variations, *Procedia Engineering*, 99, 654-658.
- Knippers, R.A., 2010, Relative (or differential) positioning [online], https://unstats.un.org/unsd/geoinfo/ungegn/docs/data_icacourses/HtmlModules/Selfstudy/S06/S06_05b.html, [Ziyaret Tarihi: 8 Nisan 2021].
- Klobuchar, J.A., 1987, Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users, *IEEE Transactions on aerospace and electronic systems*, (3), 325-331.
- Kouba, J., 2009, A guide to using International GNSS Service (IGS) products, IGS Central Bureau.
- Kouba, J., Lahaye, F. and Tétreault, P., 2017, Precise point positioning. In: Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems, *Springer*, Cham Switzerland, 723-751.
- Kunysz, W., 2000, High performance GPS pinwheel antenna, *Proceedings of the 13th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation*, (ION GPS 2000), 2506-2511.
- Langley, R.B., 1998, GPS Receivers and the Observables, In: GPS for Geodesy, *Springer*, Canada, 151-185.
- Langley, R.B., Teunissen, P.J. and Montenbruck, O., 2017, Introduction to GNSS, In: Springer handbook of global navigation satellite systems, *Springer*, Cham Switzerland, 3-23.
- Leick, A., Rapoport, L. and Tatarnikov, D., 2015, GPS Satellite Surveying, *John Wiley & Sons*.
- Lihua, M. and Wang, M., 2013, Influence of ephemeris error on GPS single point positioning accuracy, *Artificial Satellites*, 48(3), 125.
- 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.

- McDonald, K.D., 2002, The modernization of GPS: Plans, New Capabilities and the Future Relationship to Galileo, *Journal of Global Positioning Systems*, 1(03), 1-17.
- Misra, P. and Enge, P., 2012, Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance, Revised Second edition, *Ganga-Jumana Press*, Lincoln, Massachusetts.
- NASA CDDIS., 2021, GNSS Data and Product Archive [online], NASA' s Archive of Space Geodesy Data (CDDIS), https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/GNSS_data_and_product_archive.html [Ziyaret Tarihi: 8 Nisan 2021].
- Nava, B., Coisson, P. and Radicella, S., 2008, A new version of the NeQuick ionosphere electron density model, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 70(15), 1856-1862.
- Neilan, R.E., Moore, A., Springer, T., Kouba, J., Ray, J. and Reigb, C., 2000, International GPS service 2000: Life without SA, *Proceedings of the 13th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 2000)*, Utah, 438-446.
- Neta, B., Danielson, D., Clynch, J. and Sagovac, C., 1996, Fast interpolation for global positioning system (GPS) satellite orbits, *Proceedings of AIAA/AAS Astrodynamics Specialist Conference*, California, 96-3658.
- Niell, A.E., 1996, Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths, *Journal of geophysical research: solid earth*, 101, 3227-3246.
- Odijk, D., 2017, Positioning model. In: Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems, *Springer*, Cham Switzerland, 605-638.
- Odolinski, R., Teunissen, P. J. and Odijk, D., 2014, First combined COMPASS/BeiDou-2 and GPS positioning results in Australia. Part I: single-receiver and relative code-only positioning, *Journal of Spatial Science*, 59(1), 3-24.
- Pan, L., Cai, C., Santerre, R. and Zhang, X., 2017, Performance evaluation of single-frequency point positioning with GPS, GLONASS, BeiDou and Galileo, *Survey Review*, 49(354), 197-205.
- Parkinson, B.W., Enge, P., Axelrad, P. and Spilker, Jr. J.J., 1996, Global positioning system: Theory and applications, Volume II, *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, Washington, DC.
- Rothacher, M., 1992, Orbits of satellite systems in space geodesy, *Geod-Geophys Arb. Schweiz*, Schweizerische Geodätische Kommission, Zürich, 46, 79-99.

- Saastamoinen, J., 1972, Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging satellites, *The use of artificial satellites for geodesy*, 15, 247-251.
- Schenewerk, M., 2003, A brief review of basic GPS orbit interpolation strategies, *GPS solutions*, 6(4), 265-267.
- Schmid, R., Dach, R., Collilieux, X., Jäggi, A., Schmitz, M. and Dilssner, F., 2016, Absolute IGS antenna phase center model igs08.atx: status and potential improvements, *Journal of Geodesy*, 90(4), 343-364.
- Schmitz, M., Wübbena, G. and Boettcher, G., 2002, Tests of phase center variations of various GPS antennas, and some results, *GPS solutions*, 6(1-2), 18-27.
- Schüler, T., 2001, On ground-based GPS tropospheric delay estimation, Doktora *Universität der Bundeswehr München*, Universitätsbibliothek, 129-241.
- Seeber, G., 2003, Satellite geodesy: foundations, methods, and applications, *Walter de gruyter*, Berlin-New York.
- 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.
- Spofford, P.R. and Remondi, B.W., 1999, The National Geodetic Survey Standart GPS Format SP3, NOAA, *National Geodetic Survey*.
- Strang, G. and Borre, K., 1997, Linear Algebra Geodesy and GPS, *Wellesley-Cambridge Press*, Cambridge.
- Subirana, J.S., Zornoza, J.J. and Hernández-Pajares, M., 2013, GNSS Data Processing Volume 1: Fundamentals and Algorithms, 299, *ESA Communications ESTEC, PO Box*.
- Teunissen, P.J. and Kleusberg, A., 2012, GPS for Geodesy, *Springer-Verlag*, Berlin Heidelberg.
- Teunissen, P.J., 2017, Carrier phase integer ambiguity resolution. In: Springer handbook of global navigation satellite systems, *Springer*, Cham Switzerland, 661-685.
- Teunissen, P. and Montenbruck, O., 2017, Springer handbook of global navigation satellite systems, *Springer*, Cham Switzerland.
- URL-1 <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>, [Ziyaret Tarihi: 2018-2021].
- URL-2 <http://ftp.aiub.unibe.ch/>, [Ziyaret Tarihi: 8 Nisan 2021].
- URL-3 <https://www.trimblertx.com/UploadForm.aspx>, [Ziyaret Tarihi: 8 Nisan 2021].

- URL-4 <https://gnss.ga.gov.au/auspos>, [Ziyaret Tarihi: 8 Nisan 2021].
- URL-5 https://www.researchgate.net/publication/339508258_Precise_GPS_Receiver_Position_MATLAB_code?channel=doi&linkId=5e566e2592851cefa1c4dfb6&showFulltext=true, [Ziyaret Tarihi: 1 Eylül 2020].
- U.S. Department of Defense, 2020, Global Positioning System Standart Positioning Service Performance Standart (5th edition) GPS SPS PS, *DoD, United States*.
- U.S. Department of Defense, 2007, Global Positioning System Precise Positioning Service Performance Standart (1st edition) GPS PPS PS, *DoD, United States*.
- Van Dierendonck, A.J., Russell, S.S., Kopitzke E.R. and Birnbaum M., 1978, The GPS Navigation Message, *Journal of The Institute of Navigation*, 25, 147-165.
- Van Sickle, J., 2008, GPS for land surveyors, Third Edition, *Crc Press Taylor & Francis Group*, Boca Raton, London, New York.
- Warren, D.L. and Raquet, J.F., 2002, Broadcast vs Precise GPS Ephemerides: A Historical Perspective, *Proceedings of the 2002 National Technical Meeting of The Institute of Navigation*, San Diego CA, 733-741.
- Xu, G., 2007, GPS Theory, Algorithms and Applications (Second edition), *Springer-Verlag*, Berlin Heidelberg.
- Xu, G. and Xu, Y., 2016, GPS Theory, Algorithms and Applications (Third edition), *Springer-Verlag*, Berlin Heidelberg.
- Yunck, P.T., 1996, Orbit Determination. In: Global positioning system: Theory and applications, Volume II, *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, Washington DC, 559-589.
- 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.