T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP YÖNTEMLERİNİN KONUM BELİRLEME PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

MAHMUT KIZILARSLAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEODEZİ ve FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2014

T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ

MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP YÖNTEMLERİNİN KONUM BELİRLEME PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

MAHMUT KIZILARSLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEODEZİ ve FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI

YRD. DOÇ. DR. CEMAL ÖZER YİĞİT

GEBZE

2014

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ	YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23.06.2014 tarih ve 2014/37 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 21/07/2014 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Mahmut KIZILARSLAN'ın tez çalışması Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) : Yrd. Doç. Dr. Cemal Özer YİĞİT

ÜYE : Doç. Dr. M. Halis SAKA

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

ONAY

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ……. tarih ve ……/…….. sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bu tez çalışmasında, Hassas Nokta Konumlama (PPP) yönteminin yüksek duyarlıklı konum bilgisi gerektiren çalışmalarda ölçü süresine bağlı konum belirleme performansının hem GPS ölçüleri hem de GPS/GLONASS ölçüleri kullanılarak araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, düşük (ekvator), orta ve yüksek (kutup) enlem olmak üzere 3 farklı enlem bölgesinde seçilen 3 IGS noktasına ilişkin 30 günlük ardışık 24 saatlik(günlük) RINEX verileri kullanılmıştır. Her bir noktaya ilişkin 24 saatlik RINEX verileri 1, 2, 3, 4, 8 ve 12 saatlik dilimlere ayrılarak yeni veri setleri elde edilmiştir. Daha sonra tüm veri setleri yalnızca GPS ve GPS/GLONASS ölçüleri, web tabanlı online CSRS-PPP yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Tüm veri setlerine ait GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP sonuçları hem doğruluk hem de tekrar edilebilirlik açısından ölçü süreleri de dikkate alınarak karşılaştırmalı bir yaklaşımla değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: GPS, GLONASS, PPP, CSRS-PPP, IGS, Konum Doğruluğu ve Tekrar edilebilirlik.

SUMMARY

In this study, it is aimed to investigate the performance of Precise Point Positioning method depending on measurement length using GPS and GPS/GLONASS data. For this purpose, 30-day consecutive 24-hour (daily) RINEX data of three points from the IGS network, where is low (equatorial), medium and high (polar) latitude regions, are used. 24-hour RINEX data for each point are divided into 1, 2, 3, 4, 8 and 12-hour segments. Then, the entire data set of both only GPS and GPS/GLONASS measurements were processed using CSRS-PPP web-based online software. Results of GPS-PPP and GPS/GLONASS-PPP in terms of both measurement accuracy and repeatability is evaluated and interpreted with a comparative approach.

Key Words: GPS, GLONASS, PPP, CSRS-PPP, IGS, Positioning Accuracy and Repeatability.

TEŞEKKÜR

Çalışmada kullanılan GNSS verileri IGS web-sitesinde temin edilmiş ve CSRS-PPP yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Bundan dolayı, IGS organizasyonuna ve Natural Resources Canada'ya verdikleri hizmetten dolayı teşekkür ederim.

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Cemal Özer YİĞİT'e, araştırmamızda çalışma ortamı sağlayan bölüm başkanımız Prof Dr. Taşkın KAVZOĞLU'na ve desteklerinden dolayı Ümraniye Belediye Başkanımız Sn. Hasan CAN'a, birim amirlerime ve bütün çalışma arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, bana her zaman destek veren Annem, Babam ve Kardeşim Muhammet'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xiii
1.GİRİŞ	1
2. GPS VE GLONASS UYDU SİSTEMLERİ	5
2.1. GPS Uydu Sistemi	5
2.2. GLONASS Uydu Sistemi	8
2.3. GPS ve GLONASS Modernizasyonları	10
2.3.1. GPS Modernizasyonu	10
2.3.2. GLONASS Modernizasyonu	12
2.4. GPS ve GLONASS'ın Karşılaştırılması	13
2.4.1. GPS ve GLONASS Arasındaki Farklılıklar	13
2.4.2. Zaman Sistemi	14
2.4.2.1. GPS Zamanı	15
2.4.2.2. GLONASS Zamanı	15
2.4.3. Koordinat Sistemi	15
2.4.3.1. GPS Koordinat Sistemi	15
2.4.3.2. GLONASS Koordinat Sistemi	16
3. PPP YÖNTEMİNDE HATA KAYNAKLARI	18
3.1. Geleneksel Hata Kaynakları	20
3.1.1. Uydu Yörünge ve Saat Hataları	20
3.1.1.1. IGS Organizasyonu	22
3.1.1.2. GPS Hassas Ürünleri	23
3.1.1.3. GLONASS Hassas Ürünler	24
3.1.2. İyonosferik Gecikme	26

3.1.3. Troposferik Gecikme 30
3.1.4. Alıcı Saat Hatası 32
3.1.5. Sinyal Yansıma (Multipath) Hatası 33
3.2. Özel Hata Kaynakları 35
3.2.1. Uydu ve Alıcı Anten Faz Merkez Kayıklıkları 35
3.2.2. Uydu Faz Dönmesi (Phase Wind Up) 37
3.2.3. Göreceli Etki 38
3.2.4. Katı Yeryuvarı Gelgiti 39
3.2.5. Okyanus Gelgit Yüklemesi 40
3.2.6. Atmosfer Yükleme 41
3.2.7. Yeryuvarı Dönme Parametreleri (Sagnac Effect) 42
4. BİRLEŞİK GPS/GLONASS PPP MODELLERİ 43
4.1. GPS-PPP Gözlem Modeli 43
4.1.1. Geleneksel GPS-PPP Modeli 43
4.2. Birleşik GPS/GLONASS-PPP Modelleri 46
4.2.1. Birleşik GPS/GLONASS-PPP Geleneksel Modeli 48
5. WEB TABANLI PPP YAZILIMLARI 53
5.1. Online Küresel GPS İşleme Servisi CSRS-PPP 53
6. UYGULAMA 56
6.1. Test Noktaları 56
6.2. Verilerin Düzenlenmesi ve Ön-hazırlık işlemleri 58
6.3. Verilerin CSRS-PPP ile proses edilmesi 60
6.4. Uygulama Sonuçları 63
6.4.1. Bir (1) Saatlik Veri Sonuçları 63
6.4.2. İki (2) Saatlik Veri Sonuçları 67
6.4.3. Üç (3) Saatlik Veri Sonuçları 70
6.4.4. Dört (4) Saatlik Veri Sonuçları 74
6.4.5. Sekiz (8) Saatlik Veri Sonuçları 78
6.4.6. Oniki (12) Saatlik Veri Sonuçları 81
6.4.7. Otuz Günlük Verilerin Ölçü Süresine Bağlı Tekraredilebilirlikleri 84
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 95

KAYNAKLAR 97
ÖZGEÇMİŞ 105

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar		Açıklamalar
BIH	:	Bureau International de l'Heure
C/A	:	Course/Acquisition, Clear Access
CODE	:	Center for Orbit Determination in Europe
CORS	:	Continuously Operating Reference Stations (Sürekli Ölçü Yapan Referans İstasyonları)
CSRS-PPP	:	The Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (Kanada Mekansal Referans Sistemi-Hassas Nokta Konumlandırma)
ECEF	:	Earth Centered Earth Fixed
ESA	:	European Space Agency (Avrupa Uzay Ajansı)
ESOC	:	European Space Operations Center (Avrupa Uzay Gözlem Merkezi)
FDMA	:	Frequency Division Multiple Access (Frekans Bölmeli Çoklu Erişim)
FOC	:	Full Operational Capability (Tam Operasyonel Kapasite)
GAPS		GPS Analysis and Positioning Software (GPS Analiz ve Konumlama Yazılımı)
GIM	:	Global Ionospheric Model (Küresel İyonosferik Model)
GLONASS	:	Russian Global Navigation Satellite System(Rusya Küresel Konum Belirleme Sistemi)
GPS	:	Global PositioningSystem(Küresel Konum Belireme Sistemi)
GS	:	Code Division Multiple Access (Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
IAC	:	Information Analytical Center (Bilgi Analitik Merkezi)
IERS	:	International Earth Rotation Service
IGS	:	International GNSS Service
IRM	:	IERS Reference Meridian
ITRF	:	International Terrestrial Reference Frame
JPL	:	Jet Propulsion Laboratory (Jet Motorları Labaratuvarı)

MCS	:	Master Control Station (Ana Kontrol İstasyonu)
NAD83	:	North American Datum 1983 (Kuzey Amerika Datumu 1983)
NASA/JPL	:	The National Aeronaticsand Space Administration Jet Propulsion Laboratory (ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
NRCAN	:	Natural Resources Canada (KanadaDoğal Kaynaklar)
PCV	:	Phase Center Variation (Faz Merkezi Varyasyonu)
PPP	:	Precise Point Positioning (Hassas Konum Belirleme)
PZ-90	:	GLONASS Koordinat Sistemi Datumu
RINEX	:	Receiver Independent Exchange Format
SA	:	Selective Availability (Seçimli Doğruluk)
SPS	:	Standard Positioning Service (Standart Konum Servisi)
TEC	:	Total Electron Content (Toplam Elektron Yoğunluğu)
UTC	:	Coordinated Universal Time (Eşgüdümlü Evrensel Zaman)
WGS-72	:	World Geodetic System 1972 (Dünya Jeodezik Sistemi 1972)
WGS-84	:	World Geodetic System 1984 (Dünya Jeodezik Sistemi 1984)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:		Sayfa
2.1:	Altı yörünge düzleminde GPS uydu takımı.	5
2.2:	GPS bölümleri.	6
2.3:	Uydularla konum belirleme şematik gösterimi.	7
2.4:	Üç yörünge düzleminde GLONASS uydu takımı.	8
2.5:	Uydu navigasyonu kısaca tarihi gelişimi.	9
2.6:	Modernize edilmiş GPS sinyal spektrumu a) L5 frekansı; b) L2 frekansı; c) L1 frekansı.	11
2.7:	Zaman içerisinde GPS modernizasyonu ile frekans sayısının artması.	11
2.8:	Projelendirilmiş mevcut GLONASS sinyalleri.	13
2.9:	GLONASS modernizasyon şeması.	13
3.1:	Uydularla konum belirleme yöntemleri.	19
3.2:	Geleneksel hatalar.	20
3.3:	a) Uydu yörünge hatası, b) saat hatası.	21
3.4:	IGS izleme ağındaki GPS/GLONASS istasyonları.	22
3.5:	Uluslararası GNSS servis organizasyonu (IGS).	23
3.6:	İyonosferik etki	27
3.7:	KLOBOUCHER iyonosfer modeli.	29
3.8:	Alıcı saat hatası.	32
3.9:	Uydudan alıcı antene sinyallerin kırılmaya uğramadan gelmesi.	33
3.10:	GNSS alıcı anteni faz merkezi ofseti.	36
3.11:	Uydu anteni panellerinin dönmesi.	37
5.1:	CSRS-PPP çalışma prensibi.	55
6.1:	Çalışmada kullanılan IGS istasyonları.	56
6.2:	a) MBAR ve b) UNBJ noktalarına ait GNSS alıcıları görüntüleri.	57
6.3:	MS DOS programında crx2rnx.exe programının çalıştırılması.	58
6.4:	Hatanaka formatından RINEX formatına dönüşüm.	59
6.5:	Topcon Link ile RINEX'den GLONASS uydularının ayrıklaştırılması.	59
6.6:	" teqc.exe programı ile RINEX verilerin istenen saatlere ayrılması işlemi.	59
6.7:	CSRS-PPP kullanıcı girişi sayfası.	60
6.8:	CSRS-PPP' ye RINEX verilerin yüklenmesi ve prosess seçenekleri.	60

6.9: “SUM” uzantılı dosyanın ıtrf sonuç koordinatları bölümü. 61
6.10: Visual Basic dilinde hazırlanmış programın ekran görüntüsü. 61
6.11: Jeosentrik ve toposentrik koordinat sistemleri. 62
6.12: MBAR noktası 1 saatlik konum hataları ve standart sapmaları. 64
6.13: TIXI noktası 1 saatlik konum hataları ve standart sapmaları. 65
6.14: UNBJ noktası 1 saatlik konum hataları ve standart sapmaları. 66
6.15: MBAR noktası 2 saatlik konum hataları ve standart sapmaları. 68
6.16: TIXI noktası 2 saatlik konum hataları ve standart sapmaları. 69
6.17: UNBJ noktası 2 saatlik konum hataları ve standart sapmaları. 70
6.18: MBAR noktası 3 saatlik konum hataları ve standart sapmaları. 71
6.19: TIXI noktası 3 saatlik konum hataları ve standart sapmaları. 72
6.20: UNBJ noktası 3 saatlik konum hataları ve standart sapmaları. 73
6.21: MBAR noktası 4 saatlik konum hataları ve standart sapmaları. 75
6.22: TIXI noktası 4 saatlik konum hataları ve standart sapmaları. 76
6.23: UNBJ noktası 4 saatlik konum hataları ve standart sapmaları. 77
6.24: MBAR noktası 8 saatlik konum hataları ve standart sapmaları. 78
6.25: TIXI noktası 8 saatlik konum hataları ve standart sapmaları. 79
6.26: UNBJ noktası 8 saatlik konum hataları ve standart sapmaları. 80
6.27: MBAR noktası 12 saatlik konum hataları ve standart sapmaları. 82
6.28: TIXI noktası 12 saatlik konum hataları ve standart sapmaları. 83
6.29: UNBJ noktası 12 saatlik konum hataları ve standart sapmaları. 84
6.30: MBAR noktasına ait bütün ölçülerin standart sapmaları. 85
6.31: TIXI noktasına ait bütün ölçülerin standart sapmaları. 86
6.32: UNBJ noktasına ait bütün ölçülerin standart sapmaları. 88
6.33: MBAR 24 saatlik a) GPS; b) GPS/GLONASS uydu geometrisi. 92
6.34: TIXI 24 saatlik a) GPS; b) GPS/GLONASS uydu geometrisi. 93
6.35: UNBJ 24 saatlik a) GPS; b)GPS/GLONASS uydu geometrisi. 93

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:		Sayfa
2.1:	GPS ve GLONASS'ın karşılaştırılması.	14
2.2:	WGS-84 elipsoidinin jeodezik sabitleri ve parametreleri.	16
2.3:	PZ-90 elipsoidinin jeodezik sabitleri ve parametreleri.	17
3.1:	GLONASS uydularının hız ve koordinat doğruluğu.	22
3.2:	GPS hassas uydu yörüngesi ve saat ürünleri.	24
3.3:	GLONASS hassas uydu yörüngesi ve saat ürünleri.	26
4.1:	Birleşik GPS/GLONASS PPP işlemi temel prosedürü	47
6.1:	Uygulamada kullanılan IGS noktalarına ilişkin temel bilgiler.	57
6.2:	IGS noktalarının yaklaşık konumları.	57
6.3:	Ölçü aralığı başlangıç ve bitiş tarihleri.	58
6.4:	Proses edilmiş RINEX gözlem dosyası zaman dilimleri.	58
6.5:	MBAR noktasına ait temel istatistik değerleri.	89
6.6:	TIXI noktasına ait temel istatistik değerleri.	90
6.7:	UNBJ noktasına ait temel istatistik değerleri.	91

1.GİRİŞ

GPS ve GLONASS sırasıyla Amerika ve Rusya tarafından işletilen uydu tabanlı küresel konumlama sistemleridir. 17 Temmuz 1995 yılında, GPS uydularının en az 24 tanesinin kullanımda ve verilerine ulaşılabilir olduğu resmi olarak bildirilmişti [El-Rabbany, 2006]. GLONASS uydu sistemi yakın zamanda 24 uydusuyla tam kapasiteye ulaştı. İki sistem arasında uydu sayısı, yörünge düzlemi ve ekvatorla olan açısı, zaman frekansı, jeodezik datum v.b. gibi birçok farklılıklar vardır. İki sistem hakkında daha fazla bilgi için [Hoffman et al., 2008]'e başvurulabilir.

GNSS ölçmelerine dayalı olarak konum bilgileri ya mutlak ya da bağıl yöntemlerle elde edilir. Bağıl yöntemde noktalar arasında eş zamanlı ölçmeler gerekirken mutlak yöntemde ise tek noktada gerçekleştirilmiş GNSS ölçmeleri yeterli olmaktadır. Bağıl konum belirleme jeodezik ve yerbilimleri uygulamalarında eskiden beri yaygın bir şekilde yüksek hasasiyetli konum bilgileri üretmek için yaygın bir şekil de kullanılmaktadır [Skolnik and Headrick, 1974].

GNSS sistemlerinde hızla devam eden modernizasyon çalışmaları sonucunda ve başta International GNSS Service (IGS) olmak üzere, Jet Propulsion Laboratory (JPL), Center for Orbit Determination in Europe (CODE) gibi kuruluşlar tarafından üretilen hassas uydu yörünge ve saat düzeltmelerinin hizmete sunulması tek bir alıcı ile yüksek duyarlıklı konum belirlemeye imkan sağlamıştır. Böylece, daha yüksek doğruluklu uydu ve saat bilgilerinin ulaşılabilir olması ve tek GNSS alıcısı ile konumların hesaplanmasına imkan veren algoritmaların geliştirilmesi PPP (Precise Point Positioning-Hassas Nokta Konumlama) olarak adlandırılan yöntemin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. PPP yöntemi mutlak konum belirleme yöntemi olup, yönteme ilişkin ilk teorik bilgiler [Zumberge et al., 1997] tarafından verilmiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalar PPP, yönteminin neredeyse bağıl konum belirleme hassasiyetine yavaş yavaş ulaştığı ve bağıl konum belirlemenin yerini almaya başladığını göstermiştir.

Son yıllarda PPP yöntemi hem konum belirleme duyarlığının artması hem de kullanım kolaylığı açısından birçok araştırmada yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. PPP [Zumberge et al., 1997], [Kouba and Heroux, 2001] yöntemi tek bir GPS/GNSS alıcısı ile toplanan ölçülerden global referans çerçevesinde yüksek

doğruluklu konum bilgilerinin hesaplanması yöntemidir. PPP cm mertebesinde konum bilgisi üreten uygun ve düşük maliyetli bit yöntemdir [Li et al., 2013a]. Çift frekanslı alıcılarla cm-dm mertebesinde doğruluklar elde edilebilmektedir [Zumberge et al., 1997], [Kouba and Héroux, 2001], [Kouba, 2003]. Ancak bu doğrulukların elde edilebilmesi için alıcı saat hatası, troposferik gecikme, uydu anten hatası, uydu faz dönmesi (wind-up) etkisi, gel-git etkileri gibi birçok diğer etkinin de dikkate alınması gerekmektedir [El-Rabbany, 2006].

PPP yönteminin yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi [Savage et al., 2004], [Hammond and Thatcher, 2005], [Calais et al., 2006], [Ohta et al., 2008], GPS sismolojisi [Kouba, 2003], [Avallone et al., 2011], deprem ön uyarı sistemi [Li et al., 2013b], GPS mareograf [Kuo et al., 2012], [Fund et al., 2013], yer-yakın uyduların hassas yörüngelerinin belirlenmesi [Bock et al., 2003], kara, hava ve denizde hareketli objelerin hassas konum bilgileri [Gao et al., 2005], [Zhang and Andersen, 2006], [Geng et al. 2010], [Alkan and Öcalan, 2013], yapı sağlığı izlemeleri [Yigit, 2014] v.b. gibi birçok bilimsel ve sivil uygulamalarda etkili bir şekilde kullanıldığı gösterilmiştir [Li and Zhang, 2013].

Dağlık bölge, ormanlık alanlar, yüksek yapıların bulunduğu şehir içleri, açık maden ocakları ve hatta açık gökyüzü olup da zayıf uydu geometrisinin olduğu bölgeler PPP ile konum belirlemenin doğruluğunu azaltabilir. PPP yönteminin doğruluğu güçlü bir şekilde görünen uydu sayısına bağlıdır. Bundan dolayı ikinci bir uydu sisteminin ilave edilmesi ve birlikte değerlendirilmesi bu tür şartlar altındaki ortamlarda PPP yönteminin konum belirleme performansını iyileştirebilir ve olası uygulamalarını arttırabilir [Cai and Gao, 2007], [Azab et al., 2011].

Günümüze kadar, Hassas Nokta Konumlama yöntemi sadece GPS uyduları ile gerçekleştiriliyordu. Son yıllarda GLONASS uydu yörüngelerinin de hassas bir şekilde IGS tarafından hesaplanması ve kullanıcıya sunulması ile artık konum belirleme sadece GPS uydularıyla değil GPS/GLONASS uydularının birlikte kullanılması ile yapılabilmektedir.

GLONASS gözlemlerinin GPS gözlemleri ile birlikte değerlendirilmesi ve konum belirleme performansının yalnızca GPS ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak değerlendirilmesi üzerine birçok çalışma diferansiyel yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir [Martin and Ladd, 1997], [Raffaela and Marco, 2000], [Stewart et al., 2000], [Bruyninx, 2007], [Wang and Wang, 2007], [Alcay et al., 2012], [Zheng et al., 2012]. Benzer şekilde, PPP yönteminde de GLONASS

ölçülerinin GPS'e ilave edilerek birlikte çözülmesi ve konum belirleme performansının test edilmesi üzerine farklı çalışmalar literatürde gerçekleştirilmiştir. Aşağıda bunlar arasından bazı çalışmalardan elde edilen sonuçlar kısaca özetlenmiştir.

[Cai and Gao, 2007], GPS ve GLONASS gözlemlerini kullanarak PPP nin performansını değerlendirmek için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın gerçekleştirildiği dönemde toplamda 12 GLONASS uydusu bulunmaktaydı. Çalışma sonuçları, sınırlı sayıda GLONASS uydularına rağmen, arzu edilen hassasiyetteki konum bilgisine yakınsama süresinin uydu geometrisindeki iyileşme seviyeleriyle ilişkili olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda sonuçlar, GPS ve GLONASS gözlemlerinin entegrasyonunun konum doğruluğunu arttırdığını göstermiştir.

[Ebner and Featherstone, 2008], GPS-PPP yöntemiyle jeodezik kontrol ağlarının kurulabilirliğini incelemişlerdir. Güneybatı Avustralya'da 550 km*440 km'lik bir alanda Bernese V5 bilimsel yazılım ile elde edilmiş diferansiyel GPS çözümü ile CSRS-PPP yazılımı ile elde edilmiş PPP çözümü karşılaştırıldı. CRSS-PPP çözümlerinin Bernese çözümlerinden önemli ölçüde farklı olmadıklarını rapor edildi. Sonuç olarak PPP temelli yaklaşımların jeodezik kontrol ağının kurulması için alternatif bir yöntem olarak kullanılabileceğini önermişlerdir.

[Piriz et al., 2009], MagicGNSS yazılımı PPP modülünü kullanarak dünya çapında kurulmuş 19 kontrol istasyonlarınında (IGS) toplanan 24 saatlik gözlem verilerini analiz etmişlerdir. Sadece-GPS ve sadece GLONASS arasındaki RMS konumlandırma farklılıkları yatay bileşende yaklaşık 5 mm ve dikey bileşende yaklaşık 12 mm olarak bulunmuştur. Buna ek olarak, 1 saat gözlem verileri işlenmiş ve GPS/GLONASS çözümünün belirgin biçimde daha doğru olduğu ve sadece-GPS çözümünden daha güçlü olduğu rapor edilmiştir.

[Azab et al., 2011], GPS ve GLONASS çift frekanslı ölçümleri birleştirmenin statik PPP çözümündeki etkilerini ve farklı PPP proses stratejilerinin duyarlığını incelenmiştir. Çalışmada, Bernese 5.0 bilimsel ve akademik yazılım paketi kullanılmıştır. Sonuçlar, birleştirilmiş GPS/GLONASS çözümünün performansının yalnızca GPS çözümünden daha üstün olduğunu göstermiştir. Ancak, günlük PPP çözümlerinde her iki yöntem arasında anlamlı bir fark bulunmadığı rapor edilmiştir.

[Cai and Gao, 2013], hem fonksiyonel hem de stokastik bileşenin dahil edildiği bir GPS/GLONASS modelini analiz etmiştir. Çalışmada, GPS/GLONASS PPP yönteminin performansı hem statik hem de kinematik olarak değerlendirilmiştir. Bu

çalışma, iyi geometri ile yeterli sayıda GPS uyduları varlığında, eklenen GLONASS verileri konumlandırma doğruluğunu önemli derecede geliştiremediğini ortaya koymuştur.

[Anquela et al., 2012], son zamanlarda statik ve kinematik ortamda (araba ve yürüme yörüngeleri) sadece-GPS ve sadece-GLONASS çözümlerine karşı, çift frekanslı GPS/GLONASS PPP çözümünün performansını test etmişlerdir. Bu çalışmanın sonuçları, eklenen GLONASS verisinin her zaman statik PPP yakınsaklığını geliştirmediğini göstermiştir. Bu çalışmadaki kinematik testin sonuçları, doğruluk açısından GPS/GLONASS çözümünün sadece-GPS çözümünden daha iyi olduğunu göstermiştir.

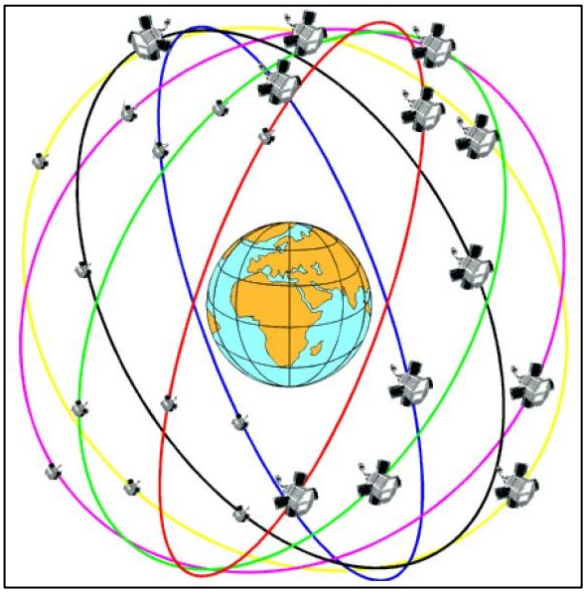
[Yigit et al., 2014], sadece GPS, Sadece GLONASS ve birleştirilmiş GPS/GLONASS ölçülerini kullanarak statik PPP yönteminin ölçü sürelerine bağlı konum belirleme performansını MagicGNSS yazılımı kullanarak 11 IGS istasyonu verisini proses ederek test etmiştir. Çalışma, özellikle 1 ve 2 saatlik ölçü sürelerinde GPS/GLONASS-PPP yönteminin yalnızca GPS-PPP ve yalnızca GLONASS-PPP yöntemlerinden daha üstün olduğunu göstermiştir. Günlük çözümler açısısından her üç yöntemin benzer sonuçlar verdiği rapor edilmiştir.

Bu çalışmada, GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP yöntemlerinin ölçü süresine bağlı statik konum belirleme doğruluğu ve duyarlılığı 3 farklı enlem bölgesinden seçilen 3 IGS noktasında test edilmiştir. 30 günlük ardışık periyotta, 24 saatlik, 12 saatlik, 8 saatlik, 4 saatlik, 3 saatlik, 2 saatlik ve 1 saatlik ölçü süreleri dikkate alınarak her iki yöntemle (GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP) CSRS-PPP web-tabanlı online yazılım kullanılarak detaylı olarak hem doğruluk hem de tekrar edilebilirlik açısından karşılaştırılmıştır.

2. GPS ve GLONASS UYDU SİSTEMLERİ

2.1. GPS Uydu Sistemi

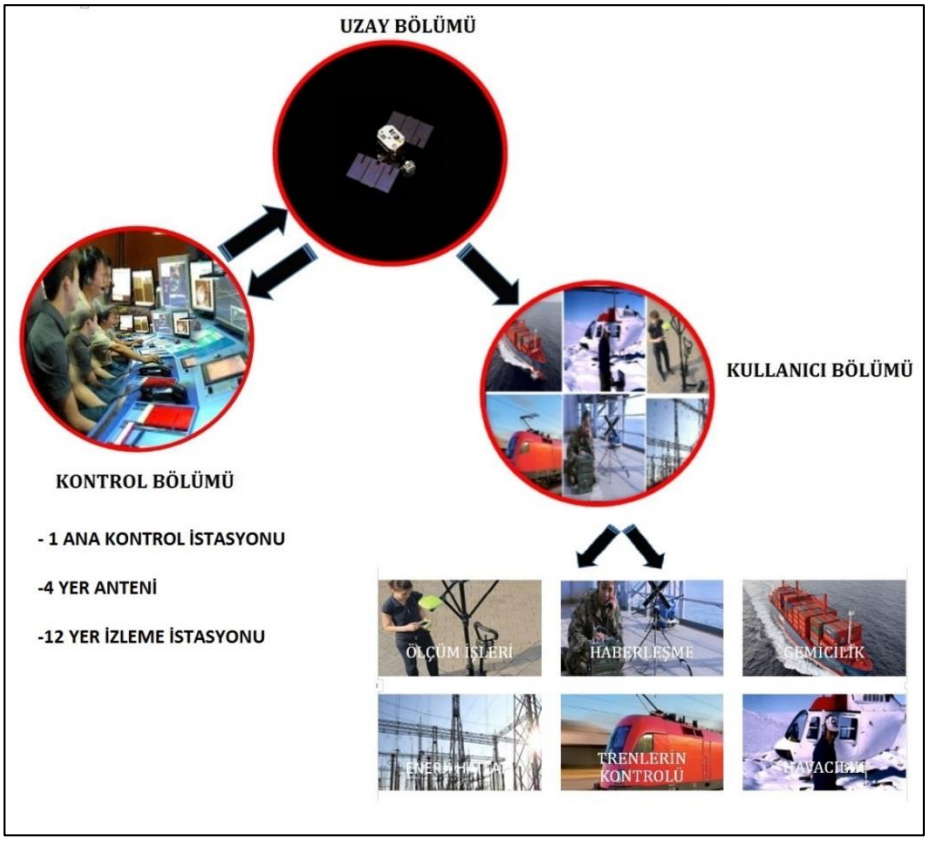
Küresel konumlanma sistemi (GPS), ABD savunma sistemi tarafından geliştirilen küresel uydu tabanlı navigasyon ve konumlama sistemidir. GPS uzay, kontrol ve kullanıcı bölümleri olmak üzere üç temel bölümden oluşmaktadır. Uydu bölümü yeryüzünden 20.200 km uzaklıktaki yörüngede 24 uydudan oluşmaktadır. Bu uydular GPS kullanıcılarına gerçek zamanlı olarak onların yerini, konumunu ve hızını belirlemek için mikrodalga sinyaller gönderir. GPS uyduları Şekil 2.1 [Maraş, 2010]'de gösterildiği gibi, her düzlemde 4 uydu ile 6 yörünge düzleminde dağılır [Web 1, 2009]. 6 düzlemsel yörünge yaklaşık olarak ekvatoral düzleme göre 55 derecelik bir eğime sahiptir. Böyle bir GPS uydu takımı için 4'den 10'a kadar GPS uyduları dünyanın her yerinde görülebilir. Yörüngede daha fazla uydu ile uyduların görünebilirliği sağlanabilecektir. Şuandaki GPS uydu takımı 32 blok II/IIA/IIR/IIR-M uydularından oluşmaktadır.



Şekil 2.1: Altı yörünge düzleminde GPS uydu takımı.

GPS uyduları başlangıçta iki L bandı frekansı: L1=1575.42 MHz ve L2=1227.60 MHz taşıyıcı sinyalleri iletmesi için tasarlanmıştır. Pseudo-rastgele gürültü (PRN) aralığı kodlarının 3 kategorisi tasarlanmıştır, bunların ilki 1 milisaniye

ve 1.023 MHZ çip oranındaki course/acqusition (C/A) kodu, ikincisi 7 günlük süre ve 10.23 MHZ çip oranında hassas (P) kod ve son olarak anti-yanıltma (A-S) modu aktif olduğunda P kodu yerine kullanılan Y kodudur. L2 üzerinde C/A kodu Blok II / IIA / IIR uyduları için geçerli değil ise C/A kodu ve P kodu L1 ve L2'nin her ikisi üzerinde, Blok IIR-M uyduları için mevcuttur. Sivil kullanıcılara sınırsız olan C/A kodu genellikle standart konumlanma servisinde kullanılır, bu 13 m (yüzde 95) yatay bileşende ve 22 m (yüzde 95) dikey bileşende doğru konumlama sağlar ayrıca 40 ns (yüzde 95) içinde doğru bir şekilde zaman transferi gerçekleştirir [Web 2, 2008]. C/A kodunun aksine P kodu kesin konumlama servisi için 10 m doğruluk konumlamasıyla sadece seçili müttefik askerleri ve ABD askeri hükümeti tarafından kullanılır. Değişen sinyallere ek olarak yörünge elementleri, saat düzeltmeleri, sistem zamanı, durum mesajı ve diğer parametreleri içeren her uydu navigasyon mesaj verilerini iletir.

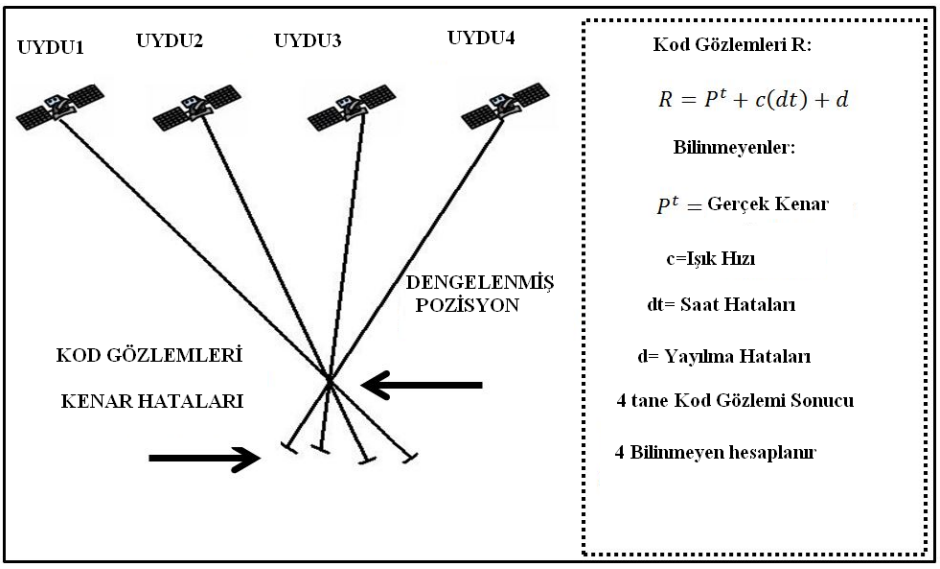


Şekil 2.2: GPS bölümleri.

GPS kontrol bölümü 12 yer izleme istasyonu, 4 yer anteni ve 1 ana kontrol istasyonundan oluşur. İzleme istasyonlarının görevi tüm görünür uyduları izlemek ve

gözlem verilerini toplamaktır. Daha sonra MCS uydu ve yörüngelere karar vermek için bu verileri işler ve navigasyon mesajlarını günceller. Güncellenen navigasyon mesajları yer antenleri vasıtasıyla her uyduya iletilir. GPS alıcılarının kullanıcı bölümü ve antenler konum, hız ve zaman bilgilerini sağlama yeteneğine sahiptirler. GPS in bölümleri Şekil 2.2'de kısaca gösterilmiştir. GPS uydu operasyonlarından, ölçme haritacılık işlerine, haberleşme, havacılık, kara ve deniz araçlarının navigasyonundan, enerji hatlarının planlanması ve yönetilmesinde, petrol arama faaliyetlerinden, hassas ve mimari inşaat işlerine, deformasyon ölçmelerinden bilimsel araştırmalara kadar çok geniş bir yelpazede kullanılmakta, insanlara ve insanlığa hizmet etmektedir.

Konum belirlemek için, sinyalin alıcıda alındığı andaki zaman ile uydudan sinyalin iletildiği zaman karşılaştırılır. Bu zaman farkına göre, alıcı ile uydu arasındaki mesafeye karar verilebilir. Uydu yörünge koordinatları navigasyon mesajlarındaki yayın efemerisi kullanarak elde edilebildiğinden dolayı kullanıcı pozisyonu uzaydan geriden kestirme yöntemi ile hesaplanabilir. Normalde üç uydu kullanıcıların dünyadaki pozisyonuna karar verebilir ama aslında alıcı saatin kaymasından dolayı en az 4 uydu gereklidir. Uydularla konum belirleme temel prensibi Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Uydularla konum belirleme şematik gösterimi.

2.2. GLONASS Uydu Sistemi

Rusya küresel uydu konumlandırma sistemi (GLONASS) sürekli olarak sinyalleri iki taşıyıcı frekansa ileten 24 uydudan oluşan uydu takımına sahiptir. Uydu sinyalleri yeryüzünde herhangi bir yerde kullanıcılar tarafından konum ve hıza karar verebilmek için kod ve taşıyıcı faz ölçümleri kullanarak alınabilir. İlk GLONASS uyduları 1982 yılında yörüngeye yerleştirilmiştir. Daha sonra GLONASS deneyleri tüm GLONASS sistemlerini test etmek için gerçekleştirildi. GLONASS'ın performansı giderek gelişti. İlk planlar 1991 yılında programlanmış olmasına rağmen 1996 yılına kadar 24 uydulu uydu takımı konuşlandırılamadı. GLONASS uydu takımı Şekil 2.4 [Mekik, 2010]'te temsili olarak gösterildiği gibi, 24 uydu içeren uzay bölüm 3 yörünge üzerinde dağıtılmıştır. Her uydu kendi slot sayısına göre tespit edilebilir. 3 yörünge düzlemleri 120 derece ayrılabilir. Uydular aynı yörünge düzleminde 45 derece ile ayrılabilir. Uydu yörüngeleri yaklaşık 64.8 derece eğim, 25.440 km yarı eksenli ve 11s 15d 44s periyodlarla daireseldir.

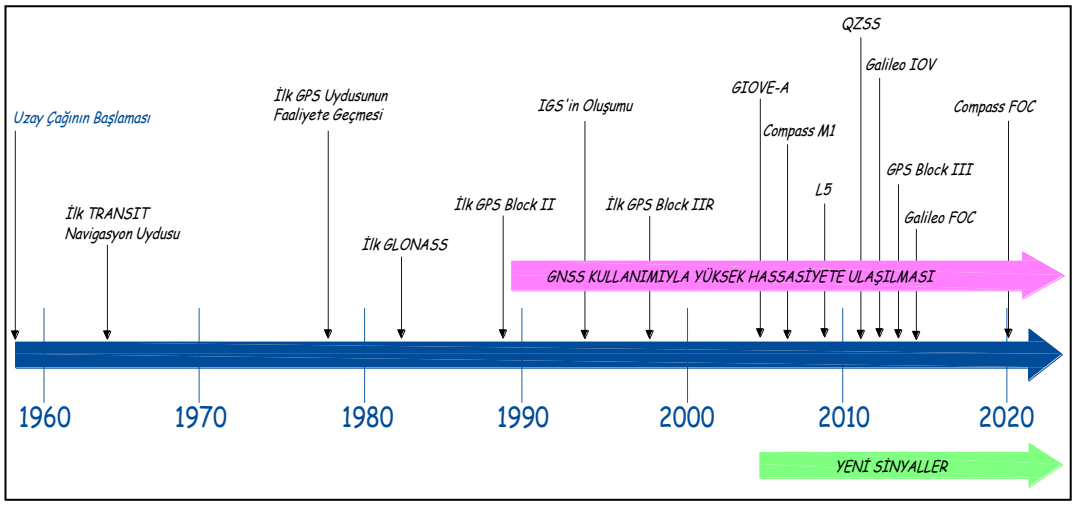


Şekil 2.4: Üç yörünge düzleminde GLONASS uydu takımı.

GLONASS yer kontrol bölümü eski Sovyetler birliğinde yer almaktadır. GPS'e benzer olarak GLONASS kendi koordinat sistemine ve zaman referansına sahiptir. GLONASS koordinat sistemi PZ-90 olarak adlandırılır ve zaman ölçeği UTC (SU) temellidir. GPS'ten farklı olarak GLONASS zaman ölçeği sürekli değildir ve periyodik artık saniyeler için ayarlanmalıdır.

Tüm uydular, ikili frekans ölçümleriyle iyonosferik gecikme hatasını iki frekans bant üzerinden anlık olarak kullanıcıya sinyal olarak yayar. GLONASS frekans bölmeli çoklu erişim (FDMA) tekniğini kullanır, her uydu partiküler frekansını her frekans bandı içerisinde tahsis eder ve bu da frekans kanal sayıları olarak karar verilir. Böylece kullanıcı alıcıları farklı tekniklere göre uyduları tanımlar. Buna karşın, tüm uydular farklı frekansa sahip değildirler. Aynı yörüngede yer alan iki uydu antipodal bölgeler aynı frekansı tam olarak birkaç saniye beklemeyle tam olarak yayar.

GLONASS uydular taşıyıcı frekansa kendi navigasyon iletilerini modüle eder. İki modülasyon benimsenmiştir: ilki coarse edinim kodu 587.6 m çip uzunluğuyla ve diğeri 58.67 m çip uzunluğuyla kesin koddur. Aynı zamanda uydular efemerisleri, almanak ve doğru zaman parametreleri gibi bilgileri iletir. Yayın efemerisleri 24 saatlik periyotlarda tahmin edilir ve yer kontrol sistemi tarafından güncellenir. Her uydu her 30 dakikada yeni bir efemeris seti iletir. Almanak yaklaşık olarak günde bir kez güncellenir [Cai, 2009]. Aynı zamanda IGS ve diğer organizasyonlarda mevcut olan kusursuz (tam) efemerisler ileri işlenmiş efemerisler olarak da adlandırılır. Son IGS GLONASS tam yörünge iki haftalık gecikmelerle 15 cm doğruluğa sahiptir. Şekil 2.5'te geçmişten günümüze uydu navigasyonu gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Uydu navigasyonu kısaca tarihi gelişimi.

2.3. GPS ve GLONASS Modernizasyonları

2.3.1. GPS Modernizasyonu

GPS orijinal tasarım amacıyla 1995 yılında bütün olarak çalışır durumdaki beceriye ulaşmıştır. 1998 yılında ABD, sivil kullanıcılar için mevcut olmayan L2 üzerindeki C/A kodu ve engelleme ve sinyal bozmaya duyarlı P kodu gibi GPS sisteminde yer alan bazı kusurlardan dolayı GPS modernizasyonunu başlattı. Aynı zamanda var olan GPS sisteminin modernizasyonu Galileo uydu navigasyon sistemiyle yarışmak maksadıyla gerçekleşmiştir. Modernizasyon programı artan sinyal gücüyle tüm kullanıcılar için çözüm yerlerinin kullanılabilirliğini ve doğruluğunu geliştirmeyi, yer uydu istasyonlarını eklemeyi, ikinci sivil sinyalleri (L2C) eklemeyi, üçüncü sivil frekansı eklemeyi (L5), yeni askeri sinyalleri (M-kodu) eklemeyi ve dördüncü sivil sinyalleri (L1C) eklemeyi içermektedir.

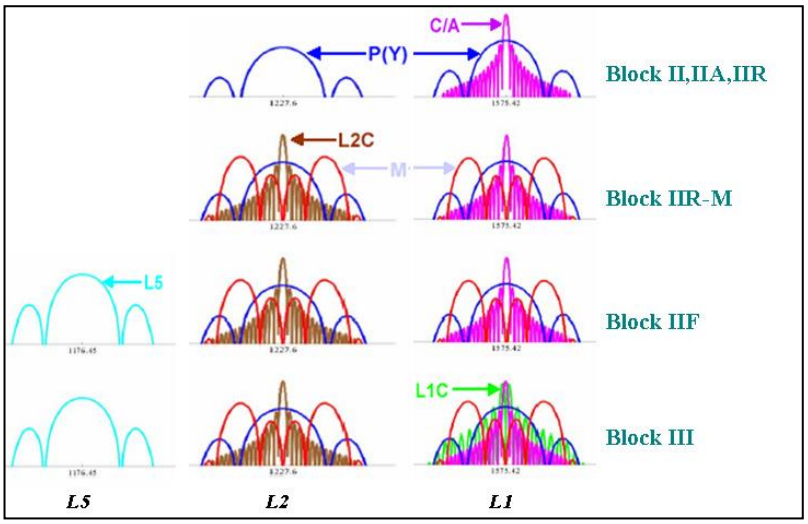
L2C, L2 frekans bandı üzerinde yeni sivil sinyal yayınıdır ve tüm blok IIR-M uydularınca ve aynı zamanda daha sonraki tasarlanan uydularca iletilir. L2C sinyallerinin amacı durumu doğrulamak ve gereksiz sinyal olarak davranmaktır. Her uydu üzerindeki iki sivil sinyalin anlık etkisi en geniş hata kaynağı olarak davranan iyonosferik gecikme hatasını uzaklaştırılmasına izin verir.

M-kodu yeni askeri sinyal kodudur ve Y kodu sinyallerinden daha iyi sinyal bozma dayanımı sağlamak için tasarlanmıştır. P(Y) kodundan farklı olarak M-kodu sinyali C/A kodu üzerinde ilk kitlemeye gerek olmadan doğrudan kitlenebilir.

L5 GPS blok IIF uydularını gerçekleştirecek olan üçüncü sivil frekans (117.45 MHz) kodudur ve daha yüksek yayın gücü, daha geniş bant genişliği, daha uzun yayılma kodları ve artan performansıyla yaşam güvenliğinin taleplerini karşılamak için geliştirilmiştir [Gakstatter, 2006]. L1C, sivil kullanım için L1 frekansta çevre izlemede arttırılmış güçlü navigasyon performansı sergileyen modernize edilmiş sivil sinyaldir ve ilk defa Blok III yerleşiminde mevcut olacaktır.

GPS modernizasyonundaki ilk adım 2 mayıs 2000 yılında yaklaşık 20 metreye hassas durum doğruluğunu geliştiren seçici kullanılabilirlik (SA)'ın uzaklaştırılması ile gerçekleştirilmiştir. İlk modernize olan GPS Blok IIR uydusu (IIR-M) ikinci sivil sinyali ile (L2C) 26 Eylül 2005 yılında yörüngeye fırlatılmıştır. Şuanda toplamda 32 GPS uyduları modernize Blok IIR-M uydularına aittir. Son iki Blok IIR-M uyduları

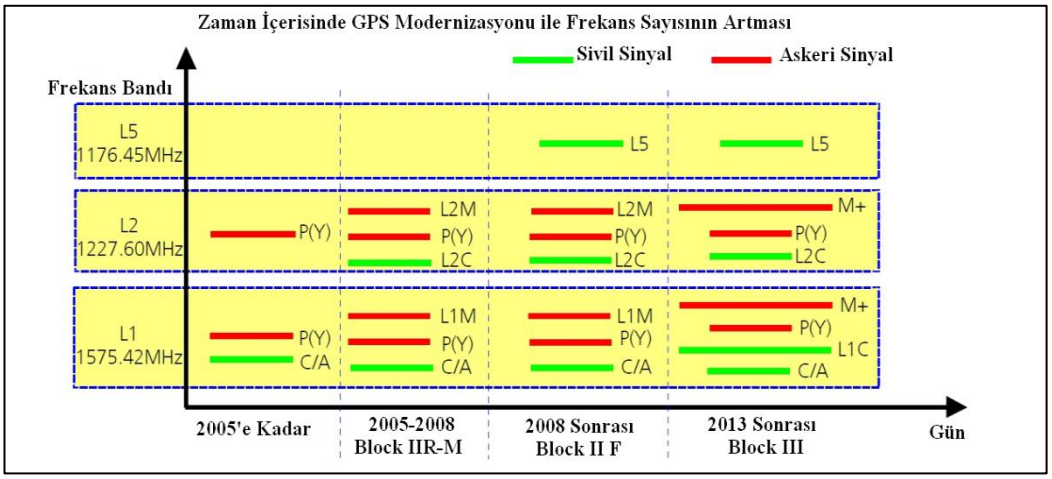
2009 ağustosunda fırlatılmıştır. L5 yetenekli ilk GPS Blok IIF uydusunun fırlatılması kasım 2009 yılında programlanmıştır. Blok II F uydularındaki daha fazlası 2010 yılında fırlatılmıştır. Yeni jenerasyon modernizasyon projesi, L1C li GPS Blok III 2013 yılında fırlatılmıştır.



a) b) c)

Şekil 2.6: Modernize edilmiş GPS sinyal spektrumu a) L5 Frekansı; b) L2 Frekansı; c) L1 Frekansı.

GPS modernizasyonu sinyal spektrumu Şekil 2.6 [Cai, 2009]'da ve frekans sayısının artması Şekil 2.7 [Web 3, 2007]'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Zaman içerisinde GPS modernizasyonu ile frekans sayısının artması.

2.3.2. GLONASS Modernizasyonu

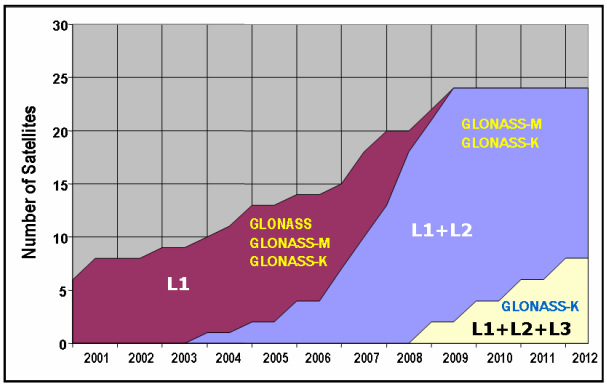
GLONASS 24 uydusuyla tam operasyonel yeteneğe (FOC) Ocak 1996 yılında ulaşmıştır. Ne yazık ki, GLONASS uydu takımı 7 uydusunu Kasım 2001 yılında yetersiz bütçeden dolayı düşürmüştür [Zinoviev, 2005]. Buna karşın Rusya hükümeti 20 Ağustos 2001 yılında GLONASS'ı tekrar inşa etmek ve modernleştirmek için federal GLONASS programını 2002-2011 dönemi için onaylamıştır [Zinoviev, 2005]. Federal GLONASS programı doğrudan yıllık düzeltmelerle federal bütçeden finanse edilmektedir. Bu programa göre, FOC ile beraber 24 uydunun tüm uydu takımı kullanılır hale gelmiştir. Buna ek olarak GLONASS 2010 yılına doğru GPS ile yarışır halde performans göstermiştir. Modernizasyon planı GLONASS-M uydularına ikinci sivil kodu eklemeyi, yeni jenerasyon GLONASS-K uydularına üçüncü sivil frekansı eklenmesini, yer kontrol kısmını güncellenmesini ve zaman senkronizasyonunu, doğruluğunun ve yörünge kararlığınının geliştirilmesini içermektedir. Aynı zamanda modernizasyon planı askeri ve sivil kullanıcılar için GLONASS; GLONASS/GPS ve GLONASS/GPS/Galileo ekipmanlarının üretimi ve tasarımını desteklemeyi içermektedir [Web 4, 2008].

GLONASS-M uydusu GLONASS uzay aracının modernize edilmiş versiyonudur ve bazı yeni özellikler katmıştır bunlar; tasarım ömrünün yedi yıla çıkması, L2 frekans bandında ikinci sivil modülasyon eklenmesi, navigasyon performansını arttırılması, navigasyon radyo sinyallerinin güncellenmesi ve navigasyon sinyallerinin kararlılığının arttırılmasıdır [Bartenev et al., 2006].

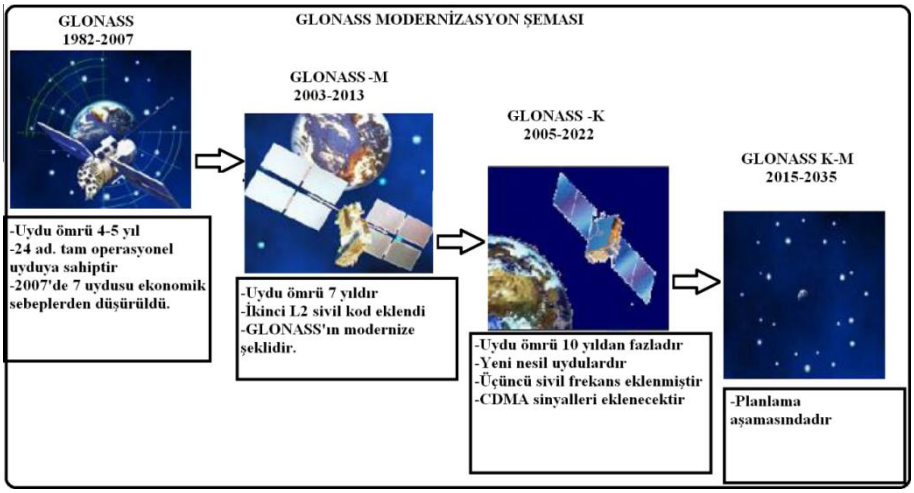
GLONASS-K uyduları yeni jenerasyon uydulardır. Üçüncül sivil sinyal frekansı ve 10-12 yıllık hizmet ömrünü içermektedir. Buna ek olarak kod bölmeli çoklu erişim (CDMA) sinyalleri GLONASS-K uydularının üzerine uygulanacaktır [Gibbons, 2008]. GLONASS-K basınçsı x ve modüler uzay otobüsü tasarımını benimseyerek GLONASS 15 uzay aracına radikal bir değişiklik sunmaktadır [Kaplan and Hegarty, 2006].

GLONASS modernizasyon yoluna girmiştir. İlk GLONASS-M uyduları 2003 yılında fırlatılmıştır [Web 5, 2013]. Şu anda toplamda 24'e ulaşan uydu takımı mevcuttur ve bunların çoğu GLONASS-M uydularıdır [Web 6, 2014]. İlk GLONASS-K uydusunun 2010 yılında fırlatılmıştır. Mevcut GLONASS

sinyallerinin sayısı Şekil 2.8 [Averin, 2006]'da ve GLONASS modernizasyon şeması Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.8: Projelendirilmiş mevcut GLONASS sinyalleri.



Şekil 2.9: GLONASS modernizasyon şeması.

2.4. GPS ve GLONASS'ın Karşılaştırılması

2.4.1. GPS ve GLONASS Arasındaki Farklılıklar

GLONASS ve GPS çok benzer uydu sistemleri olmasına rağmen her iki sistem arasında bir dizi farklar vardır. İlk olarak GPS ve GLONASS uyduları hem L1 hem de L2 frekanslarına sinyal iletirler. GPS uyduları için sinyal frekansları benzerdir fakat GLONASS uyduları için farklıdır. İkinci olarak, GLONASS PZ-90 koordinat sisteminde hesaplanırken GPS uydu koordinatları WGS-84 koordinat sisteminde hesaplanır. Üçüncü olarak, GPS uydu zamanında kesintisiz GPS zaman sistemini

temel alırken, GLONASS uydu zamanı periyodik olarak artık saniyelerde ayarlanabildiğinden kesintili GLONASS zaman sistemini temel alır. Buna ek olarak, GLONASS C/A ve P kodlarının frekansları GPS kodlarının frekanslarının yarısıdır.

GPS efemeris parametreleri Kepler yörünge elemanları olarak hesaplanırken GLONASS efemeris parametreleri Yer-Merkezli Yer-Sabit XYZ koordinatları olarak hesaplanır [Chamberlain, 1991]. GPS ve GLONASS arasındaki detaylı karşılaştırma; sinyal özellikleri, yörünge parametreleri ve referans standartları (kullandıkları referans sistemi) açısından Tablo 2.1'de özetlenmiştir [Rosbach, 2000].

Tablo 2.1: GPS ve GLONASS'ın karşılaştırılması.

		GLONASS	**GPS**
Uydu takımı	Uydu sayısı	24	24
	Yörünge düzlem sayısı	3	6
	Yarı-büyük eksen	25510 km	26580 km
	Yörünge yüksekliği	19130 km	20200 km
	Yörünge peryotu	11s 15.8 dakika	11s 58 dakika
	Eğim	64.8º	55 º
Sinyal Karakteristikleri	Ayırt edici uydular	FDMA	CDMA
	Taşıyıcı frekansları	1602+k*0.5625 MHz 1246+k*0.4375 MHz	1575.42 MHz 1227.60 MHz
	Kod frekansı (MHz)	C/A kod : 0.511 P kod: 5.11	C/A kod:1.023 P kod:10.23
	Yayın efemerisleri	Pozisyon, hız, ivme	Kepler Elemanları
Referans Standartları	Referans sistemi	PZ-90	WGS-84
	Sistem zamanı	GLONASS zamanı	GPS zamanı

2.4.2. Zaman Sistemi

GPS ve GLONASS biribirinden farklı zaman sistemlerie sahiptirler. GLONASS, UTC(SU) zaman sistemi referansını; GPS, UTC(USNO) zaman sistemi referansını kullanır. Bu nedenle, GLONASS zamanından GPS zamanına dönüşüm kolaylıkla gerçekleşmeyebilir. Her iki zaman sistemi ölçekleri arasındaki fark, birleşik GPS/GLONASS veri işlemede dikkate alınmalıdır.

2.4.2.1. GPS Zamanı

GPS sistem zamanı 6 Ocak 1980 den beri GPS ana kontrol istasyonu tarafından sağlanmaktadır. GPS sistem zamanı saniye sıçraması(leap second) içerdiği için UTC zamanından farklıdır. GPS zamanı ile UTC zamanı arasında nano-saniye sevilerinde fark mevzuttur. Bu farkın temel sebebi GPS sistem zamanı ile UTC zamanının farklı özellikteki saatlerle belirlenmesindendir [Rosbach, 2000]. Genellikle GPS zaman sistemi ABD deniz kuvvetleri gözlemevi tarafından bakımı sağlanan UTC(USNO) ile 100 nanosaniyeden daha az farka sahiptir. GPS kullanıcıları GPS navigasyon mesajında bir takım UTC parametreleriyle bu fark hakkında bilgilendirilmektedir.

2.4.2.2. GLONASS Zamanı

GLONASS ve GLONASS-M uydu saatleri sırasıyla 5.10^{-13} ve 1.10^{-13} den daha iyi günlük kararlılığa sahiptirler. Uydu zaman ölçeklerinin karşılıklı senkronizasyon doğruluğu GLONASS-M uyduları için 8 nanosaniyeden (1σ) ve GLONASS uyduları için 20 nanosaniyeden (1σ) daha kötü değildir. GLONASS zaman sistemleri günlük kararlılıkları 1-5.10^{-14} den daha kötü olmayan hidrojen saatler dizisi vasıtasıyla GLONASS Senkronize Merkezi (SC) tarafından hesaplanır. GLONASS zamanı ve UTC (SU) zamanı arasındaki fark 1 milisaniyeden daha azdır ve GLONASS ICD ile uyumlu navigasyon mesajı içerisinde yer alır.

GLONASS zaman ölçeği periyodik olarak UTC düzeltmeleriyle eş zamanlı olarak tamsayı değerindeki saniye olarak düzeltilir. Böylece, saniye sıçrama düzeltmesi yüzünden GLONASS zamanı ile UTC (SU) zamanı arasında tamsayı değerinde saniye düzeltmesi mevcut değildir. Fakat iki sistem arasında üç saatlik sabit bir fark bulunmaktadır [GLONASS ICD, 2002].

2.4.3. Koordinat Sistemi

2.4.3.1. GPS Koordinat Sistemi

GPS başlangıçta Dünya Jeodezik Sistem 1972 (WGS72) olarak bilinen koordinat sistemini benimsemişti. Daha sonra referans sistemi Dünya Jeodezik

Sistem 1984 (WGS84) olarak değiştirilmiştir. PZ-90 koordinat sistemi içindeki bir noktanın jeodezik koordinatları Tablo 2.2'de parametreleri verilen elipsoite göredir. GPS tarafından kullanılan referans sistemi aşağıdaki gibi tanımlanır [GPS ICD, 2000]:

i) Yeryüzünün kütle merkezi orijindir.
ii) Z-ekseni, IERS referans kutbuna doğrudur.
iii) X-ekseni, Z- eksenine normal ve orijin noktasından geçen düzlem ve IERS referans meridyenin kesişimidir.
iv) Y- ekseni sağ el yer merkezli yer sabit ortogonal koordinat sistemine göre tanımlıdır.

Tablo 2.2: WGS-84 elipsoidinin jeodezik sabitleri ve parametreleri.

Dünya dönme hızı	7.292115×10^{-5} radian/s
Yerçekimi sabiti	$398\ 600.4418\times10^{9}$ m^3/s^2
Işık hızı	299 792 458 m/s
Yarı-büyük eksen	6 378 137 m
Kutup basıklığı	1/298.257 223 563

2.4.3.2. GLONASS Koordinat Sistemi

PZ-90 yer merkezli dünya sabit referans çevresini tanımlayan GLONASS yayın efimerisleri aşağıdaki gibi açıklanır [GLONASS ICD, 2002].

i) Orjin yeryüzünün kütle merkezindedir.
ii) Z-ekseni, IERS tarafından önerilen konvensiyonel-yersel kutba yöneliktir.
iii) X ekseni yeryüzü ekvator düzlemi ile sıfır meridyeni (BIH)'in kesiştiği noktaya yöneliktir.
iv) Y ekseni sağ el koordinat sistemine göredir.

PZ-90 koordinat sistemi içindeki bir noktanın jeodezik koordinatları Tablo 2.3' de parametreleri verilen elipsoite göredir [GLONASS ICD, 2002]. Noktanın jeodezik enlemi, başlangıç meridyen düzlemi (sıfır) ve nokta boyunca geçen meridyen

düzlemi arasındaki açı olarak tanımlanır. Noktanın jeodezik yüksekliği elipsoit yüzeyden noktaya kadar olan mesafe olarak tanımlanır.

Tablo 2.3: PZ-90 elipsoidinin jeodezik sabitleri ve parametreleri.

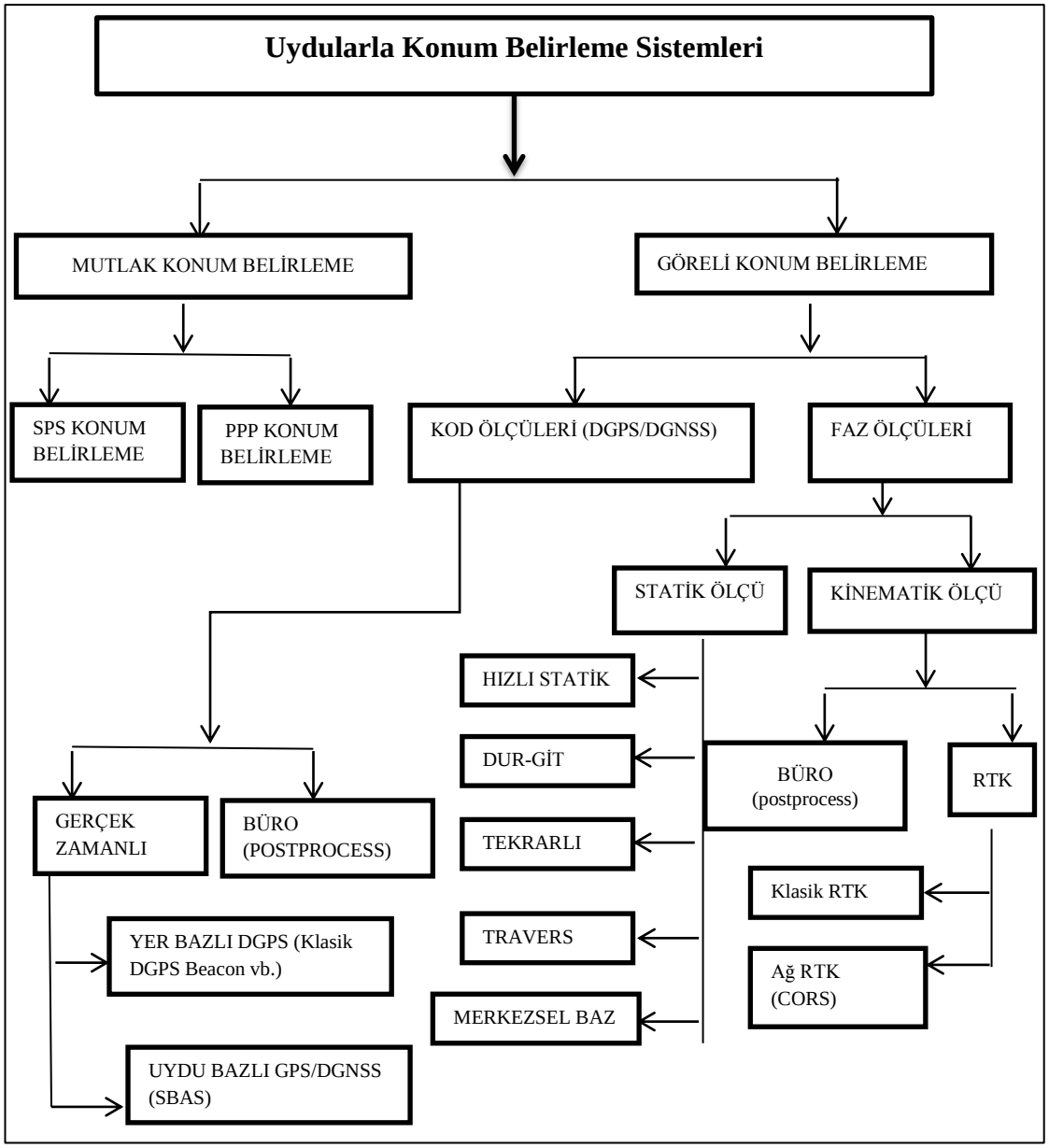
Dünya dönme hızı	7.292115×10^{-5} radian/s
Yerçekimi sabiti	$398\ 600.44\times10^{9}$ m^3/s^2
Işık hızı	299 792 458 m/s
Yarı-büyük eksen	6 378 136 m
Kutup basıklığı	1/298.257 839 303

3. PPP YÖNTEMİNDE HATA KAYNAKLARI

Uydularla konum belirleme 1980'li yıllarda jeodezik amaçlı kullanılmaya başlandığında, ölçme yöntemi olarak bir devrim olmasına rağmen konum doğruluğu açısından çok hassas değildi. Gerçek zamanlı olarak 3 boyutta elde edilen mutlak konum doğruluğu ortalama 100-150 metreler mertebesindeydi. Bunun en büyük sebebi, uydu yörüngelerinin yüksek doğrululukta hesaplanamaması, uydu ve alıcı saati modellemeleri ve SA(Selective Availability) gibi nedenlerdi.

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesine paralel olarak konum belirleme yöntemleri, gelişen GNSS sistemlerinin modernizasyonu sonucunda tek bir alıcıyla metre hassasiyetinde konum doğruluğuna erişmek mümkün hale gelmiştir. Fakat bu doğruluk yerkabuğu hareketlerinin izlenmesi, ulusal ve uluslararası referans ağlarının konumlarının belirlenmesi, mühendislik yapılarındaki deformasyonların tespiti gibi yüksek doğruluk gerektiren uygulamalar için yeterli değildir. Zaman içerisinde bu doğruluğu artırmak için yeni algoritmalar geliştirilerek, uluslararası GNSS servisi (IGS), Jet Propulsion Laboratory (JPL), Center for Orbit Determination in Europe (CODE) gibi kuruluşlar tarafından üretilen hassas uydu yörünge ve saat düzeltmelerinin kullanılmasıyla, bu çalışmalarda büyük bir yol alınmış ve Hassas Nokta Konumlama Tekniği (Precise Point Positioning-PPP) olarak literatürde yer alan önemli bir yöntem ortaya çıkmıştır. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi uydularla konum belirleme yöntemleri; hesaplamada kullanılan gözlem verisine (kod veya faz), ölçü epok sayısına ve alıcı sayısına bağlı olarak tanımlanmıştır [Kahveci vd., 2011].

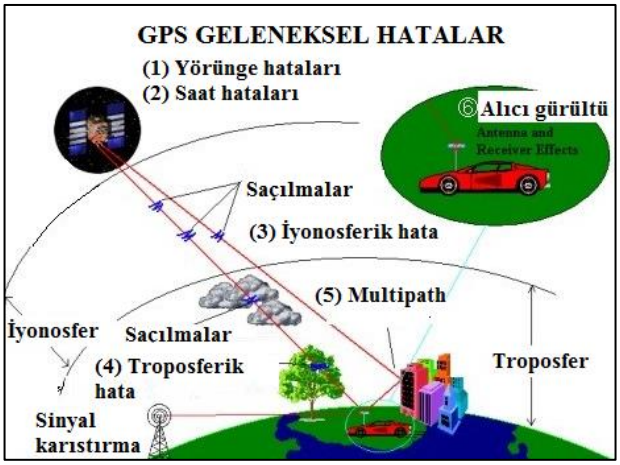
Tek nokta konum belirleme yöntemi SPS (Standart Positioning Service) tek bir alıcıdaki C/A kod kullanılarak hesaplanan ve navigasyon amaçlı bir yöntemdir. Hassas konum belirleme ise tek bir alıcıda dakikalardan, saatlere kadar süren kod ve faz verisi toplanmasına dayanan bir yöntemdir. Bu yöntem ile tek bir alıcı kullanılarak cm mertebesinde varan doğrulukta nokta konumlarının belirlenmesi mümkün hale gelmiştir. Günümüzde uygun ölçme ve değerlendirme yöntemlerinin kullanılmasıyla milimetreler mertebesinde konum belirlenebilmektedir.



Şekil 3.1: Uydularla konum belirleme yöntemleri.

PPP yöntemiyle yüksek doğruluklu konum bilgisine ulaşabilmek için en temel şey uzay bölümü, sinyal yayılma ortamı, alıcı ve çevresinden kaynaklı olası tüm hataların nasıl giderileceğidir. Diferansiyel yöntemde, milimetre seviyelerinde doğruluğun yakalanabilmesinin sebebi bazı hataların tamamen ya da kısmen iki istasyon arasında fark gözlemleri alınmak suretiyle giderilebilmesidir. Ancak, bu diferansiyel teknik sadece tek bir alıcının mevcut olduğu gözlemler nedeniyle PPP yönteminde kullanılamaz. Bu yüzden, PPP yönteminde bütün hatalar santimetre düzeyinde doğruluk elde etmek için ele alınmalıdır[Cai, 2009].

Potansiyel hata kaynakları iki gruba ayrılabilir. Birinci grup geleneksel hatalar, ikinci grup ise özel hatalardır. Geleneksel hatalar, Şekil 3.2'de gösterildiği gibi, uydu yörüngesi ve saat hataları, iyonosferik gecikme hatası, troposferik gecikme hatası, alıcı saat kayıklığı, sinyal yansıma (multipath) ve ölçüm gürültüsü gibi GPS ile konum belirlemede dikkate alınması gereken hata kaynaklarıdır. Diğerleri ise özel hata kaynaklarıdır ve özellikle PPP yönteminde azaltılması gerekir. Bunlar; uydu ve alıcı anten faz merkez kayıklıkları, uydu faz dönmesi, göreli etki, yer gelgiti, okyanus gelgit yüklemesi, atmosferik yükleme ve sagnac etkisidir. Bu hataların çoğu modelleme esnasında belirli seviyelerde azaltılabilir. İyonosferik gecikme hatası iyonosfer serbest gözlem kombinasyonları kullanılarak azaltıldığında, alıcı saati hatası ve troposperik gecikme hatası bilinmeyen parametreler olarak kestirimi yapılabilir [Cai, 2009].



Şekil 3.2: Geleneksel hatalar.

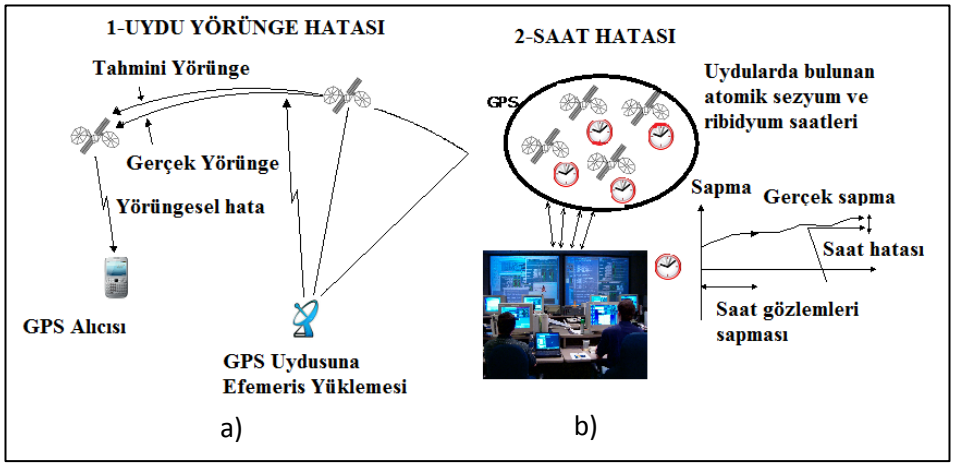
3.1. Geleneksel Hata Kaynakları

3.1.1. Uydu Yörünge ve Saat Hataları

Bir uydu yörünge hatası, Şekil 3.3'de gösterildiği gibi doğru uydu konumu ve onun hesaplama değeri arasındaki farklılık olarak tanımlanabilir. Bu farklılık genellikle üç yörüngede ifade edilir: yol boyunca, çapraz-yol ve radyal. Bu uydu yörünge hatası tek nokta konumlamada doğrudan etkilidir. Yükseklik bileşeninde konum doğruluğu ufuk çizgisinde uydu gözlemlerinin yapılamamasından dolayı kısmen zayıftır. Buna ek olarak, doğu bileşenindeki (boylam) konumlandırma

hassasiyeti uydu yörüngelerinin tasarımı ve uyduların hareketinden dolayı kuzey bileşenindekinden (enlem) biraz daha zayıftır [Rizos, 1999]. Uydu saat hatası, saat sapmaları, sürüklenme ve sürüklenme oranı ile tanımlanabilir.

Uydu yörünge ve saat sapma bilgileri yayın efemerisleri ve hassas efemerisler olarak sınıflandırılabilen uydu efemerisleri içerisinde yer alır. Kepler öğelerini içeren GPS yayın efemerisleri saat düzeltmeleri için 7 sn ve uydu konumları için yaklaşık 1.6 m doğruluk ile GPS kullanıcılarına gönderilir. Koordinatlar, hızlar ve ivmeler şeklinde verilen GLONASS yayın efemerisleri veri toplama esnasında aynı zamanda hemen kullanılabilir. GLONASS yayın efemerislerinin doğruluğu Tablo 3.1 [GLONASS ICD, 2002]'de verilmiştir. Hassas efemerisler veri toplama işlemi, aktarılması, hesaplanması ve kullanıcılara dağıtılması gibi süreçlerden dolayı gecikmelere sebep olur ve bu nedenle kullanıcılara gerçek zamanlı olarak ulaştırılamaz. GPS kesin(final) efemerisleri, koordinatları tam olarak önceden belirlenmiş ve dünya üzerinde dağılmış referans istasyonlarından toplanan veriler kullanılarak tahmin edilmektedir. Yüksek performanslı çift-frekans GPS alıcıları ile donatılan bu referans istasyonları kesintisiz gözlemleri toplar. Bu gözlemler daha sonra veri proses merkezlerine iletilir. Bu merkezlerde hassas uydu yörüngeleri ve saat ürünleri ileri algoritmalar kullanılarak hesaplanır. Son olarak hassas veri ürünleri internet veya haberleşme uyduları vasıtasıyla kullanıcılara dağıtılır.



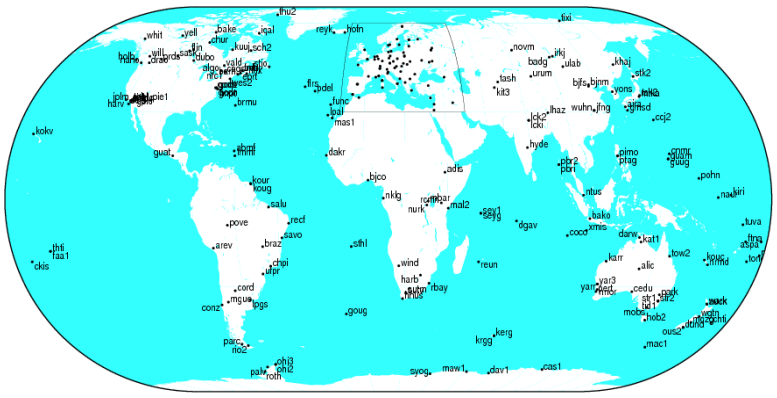
Şekil 3.3: a) Uydu yörünge hatası, b) Saat hatası.

Tablo 3.1: GLONASS Uydularının Hız ve Koordinat Doğruluğu.

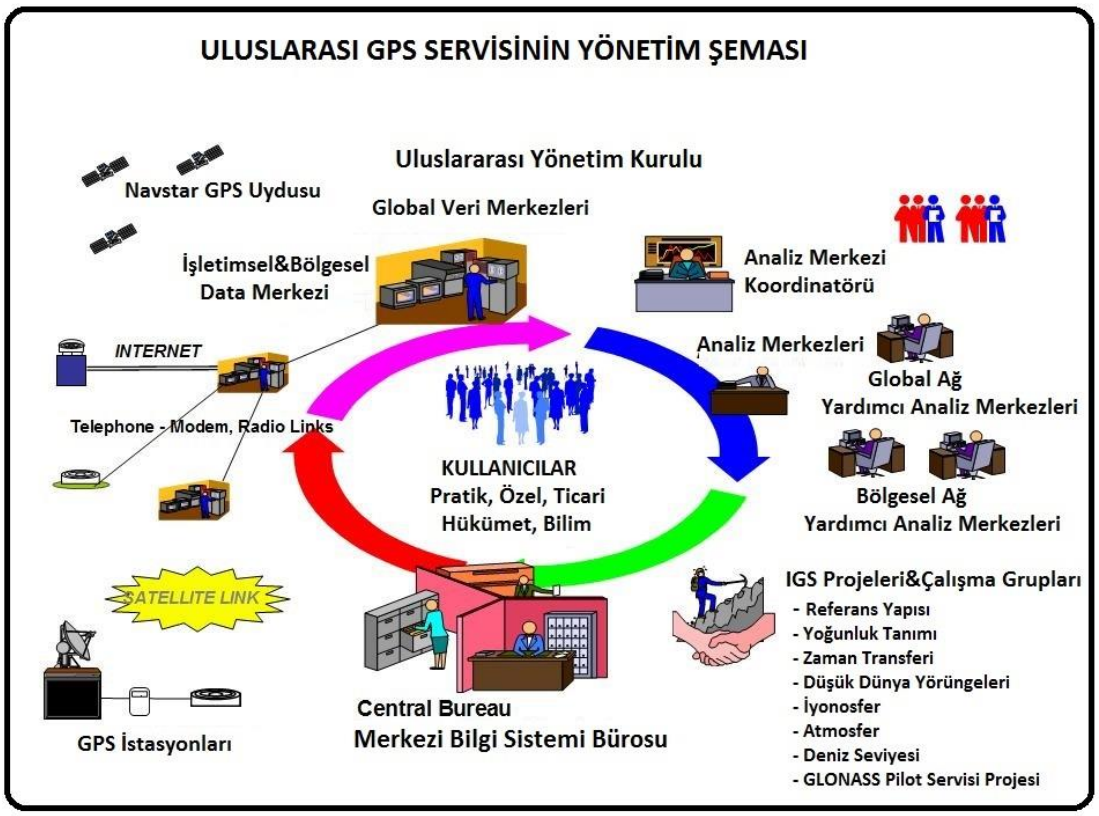
	Koordinatlar (m)		Hız (cm/s)	
	GLONASS	**GLONASS-M**	**GLONASS**	**GLONASS-M**
Yol boyunca	20	7	0.05	0.03
Çapraz yol	10	7	0.1	0.03
Radyal	5	1.5	0.3	0.2

3.1.1.1. IGS Organizasyonu

Uluslararası GNSS servisi (IGS) hassas saat ve hassas uydu yörünge ürünlerinin ana kaynağıdır. IGS jeodezik ve jeofizik çalışmalarda kullanılmak üzere 1994'ten bu yana yüksek doğruluklu uydu yörünge ve saat bilgilerini yaklaşık gerçek zamanlı ve sürekli olarak bilim dünyası ve uygulamacılarının hizmetine sunmaktadır. GPS/GNSS değerlendirmelerinde tutarlı ve homojen yüksek duyarlıklı sonuçlar elde edilmek isteniyorsa, hesaplamalarda mutlaka IGS standartları dikkate alınmalıdır [Kahveci,2010]. IGS dört tane küresel veri merkezi, altı bölgesel veri merkezi, on yedi uygulama veri merkezi, on analiz merkezi ve bir dizi bölgesel ortak analiz merkezinden oluşur. Şekil 3.4'te görüldüğü gibi, IGS 300'den fazla sürekli izleme yapan GPS istasyonları, yaklaşık 100 GPS/GLONASS uydusu ile birlikte küresel GPS izleme ağı inşa etmiştir [Web 7, 2014]. IGS organizasyon yapısı, Şekil 3.5'de gösterilmiştir [Web 8, 2014].



Şekil 3.4: IGS izleme ağındaki GPS/GLONASS istasyonları.



Şekil 3.5: Uluslararası GNSS servis organizasyonu (IGS).

3.1.1.2. GPS Hassas Ürünleri

IGS in sağladığı ürünler, hassas uydu efemerisleri, uydu ve istasyon saat bilgileri, yeryüzü dönme parametreleri, atmosferik parametreler ve IGS izleme istasyonlarının jeosentrik koordinatlarıdır. IGS, 1994'ten beri artan doğruluk ve güncelliğiyle bilimsel çalışmalar için hassas GPS uydu yörünge ve saat düzenleme ürünlerini sağlamıştır [Kouba and Héroux, 2001].

Bugün hızlı, ultra-hızlı ve final hassas ürünleri içeren IGS ürün serisi farklı doğrulukla ve gecikmeyle GNSS kullanıcıları için kullanılabilir durumdadır. Bu ürünler doğruluk ve yayınlanma zamanı açısından farklılıklar gösterir. Ultra-hızlı IGS'den, son ürün IGS'e, doğruluk artmasına rağmen yayınlama zamanına ilişkin gecikme daha uzun olmaktadır. IGS'e ek olarak, JPL ve NRCAN gibi diğer organizasyonlar aynı zamanda GPS hassas ürünlerini de kullanıcı hizmetine sunmaktadır. JPL gerçek zamanlı internet kaynaklı global diferansiyel GPS düzetmeleri ve yakın gerçek zamanlı hassas uydu yörüngesini ve saat ürünlerini de sağlamaktadır [Muellerschoen et al., 2000]. NRCAN 2004 yılından bu yana internet ve uydu vasıtasıyla GPS•C yayın düzeltmeleriyle GPS hassas ürünlerini geliştirmeye

başlamıştır [Chen, 2004]. IGS, JPL ve NRCAN tarafından üretilen hassas GPS uydu yörüngeleri ve saat ürünleri Tablo 3.2'de özet olarak gösterilmiştir [Web 9, 2014], [Chen, 2004].

Tablo 3.2: GPS hassas uydu yörüngesi ve saat ürünleri.

Yörünge/saat		**Doğruluk**	**Gecikme**	**Yükleme**	**Örnek süresi**
Yayın	yörünge	~100 cm	Gerçek zaman	-	günlük
	saat	~5ns			
Ultra-hız (tahmin yarısı)	yörünge	~5 cm	Gerçek zaman	Günde 4 kez	15 dak.
	saat	~3ns			
Ultra-hız (gözlenen yarısı)	yörünge	~3 cm	3-9 saat	Günde 4 kez	15 dak.
	saat	~0.2ns			
IGS hızlı	yörünge	~2.5 cm	17 saat	günlük	15 dak.
	saat	~0.1ns			5 dak.
IGS final	yörünge	~2.5 cm	12-18 gün	haftalık	15 dak.
	saat	~0.1ns			5 dak.
JPL yakın zaman (NRT)	yörünge	~22 cm	2-3 gün	15 dak.	5 dak.
	saat	~0.7ns			
JPL gerçek zaman (IGDG)	yörünge	~18 cm	4 saniye	1 sn.	28 sn.
	saat	~1ns			1 sn.
NRCAN gerçek-zaman (GPS-C)	yörünge	~10cm	5 saniye	2 sn.	20 sn.
	saat	~1ns			2 sn.

3.1.1.3. GLONASS Hassas Ürünler

19 Ekim 1998 ve 19 Nisan 1999 yılları arasında gerçekleştirilmiş olan Uluslararası GLONASS Deneyleri (IGEX-98) jeodezik ve jeodinamik uygulamalar için küresel bir GLONASS gözlem ve analiz kampanyasıdır. Temel amacı küresel olarak dağıtılmış çift frekanslı GPS/GLONASS alıcılarını kullanarak GLONASS veri setlerini toplamak ve hassas GLONASS uydu yörüngelerini belirlemektir. IGEX-98 13 tek frekans ve 19 çift frekans alıcıları ile donatılmış 52 uydu içeren küresel gözlem ağına sahiptir. IGEX-98 kampanyasından sonra, IGS ile karşılaştırılabilir bir altyapı kurulmuştur [Habrich, 1999]. IGEX-98 ile tüm operasyonel GLONASS uydularının hassas yörüngeleri hesaplanmıştır [Weber et al., 2005]. Uluslararası GLONASS servis pilot projesi (IGLOS) IGS operasyonu içine

GLONASS uydu sistemlerini entegre etmek için IGEX-98 projesini devam ettirmiştir. IGLOS pilot projesi çift frekanslı GPS/GLONASS alıcıları ile yaklaşık 50 izleme istasyonu içeren küresel ağa sahiptir. GLONASS verileri IGS küresel veri merkezinde sürekli olarak toplanır ve RINEX formatında arşivlenir [Weber et al., 2005]. GPS ve GLONASS gözlemleri eş zamanlı olarak işlenir ve böylece her iki sistem için oluşturulan hassas yörünge ürünleri aynı referans sistemindedir [Weber and Fragner, 2002].

Şuanda CODE, IAC, ESA/ESOC ve BKG'yı içeren dört IGS analiz merkezi rutin olarak GLONASS hassas uydu yörüngelerini sağlamaktadır [Cai, 2009].

CODE sonuçları, kesin ve tahminen hızlı GLONASS uydu ürünlerini sağlar [Weber et al., 2005]. CODE yörüngeleri ITRF 2000'nin gerçekleşmesi olan IGb00 referans çerçevesinde ifade edilir [Bruyninx, 2007]. IAC, MCC'nin (Rusya görev kontrol merkezi) bir bölümü olup rutin olarak GLONASS performansını izler. IAC, IGS izleme ağ verilerini kullanarak 2004 yılında rutin yörünge ve saat belirlenmesini başlatmıştır. 4 IGS analiz merkezlerinden biri olarak, rutin olarak GLONASS ileri görev yörüngelerini ve saat ürünlerini 2005 yılından beri sağlamaktadır. Bu ürünler 5 günlük gecikmeyle son yörünge ve saat verilerini ve 1 gün gecikmeyle hızlı yörünge ve saat verisini içerir [Oleynik et al., 2006].

ESOC, 1991 yılında kesin yörünge belirlenmesi için GNSS verilerini işlemeye ve analiz etmeye başladı. ESA/ESOC ilk olarak GPSOBS/BAHN yazılımını kesin GPS yörünge ve saat parametrelerini hesaplamak için kullanmıştır daha sonra yedi gözlem istasyonlarının koordinatlarına dayalı olarak ve kesin GPS yörüngelerini kullanarak GLONASS çözümünü ITRF 2000 referans çerçevesine dönüştürmüştür [Romero et al., 2004].

BKG, IGEX-98'in başlamasından itibaren küresel izleme istasyonlarından birleşik GPS/GLONASS gözlemlerini analiz etmeye ve işlemeye başlamıştır. ESA/ESOC'a benzer olarak, BKG ilk olarak GPS yörüngelerini, saat tahminlerini ve yeryüzü yönlendirme parametrelerini hesaplar, daha sonra Bernese yazılımından yararlanarak çift dereceden farklı faz gözlemlerini kullanarak günlük olarak kesin GLONASS yörünge ve istasyon koordinatlarını üretir [Habrich et al., 2004]. Bu, GLONASS kesin yörünge verilerini, GPS ve GLONASS arasındaki zaman farkı sisteminin spesifik tahmini alıcısını sağlar. IGS son yörüngelerinin doğruluğu geçmişten günümüze büyük gelişme göstermiştir. Sırasıyla GPS ve GLONASS için

2004 yılında 5 cm ve 30 cm, 2007 de 5 cm 15 cm ve günümüzde 2,5 cm'dir [Alçay S ve İnal C., 2010].

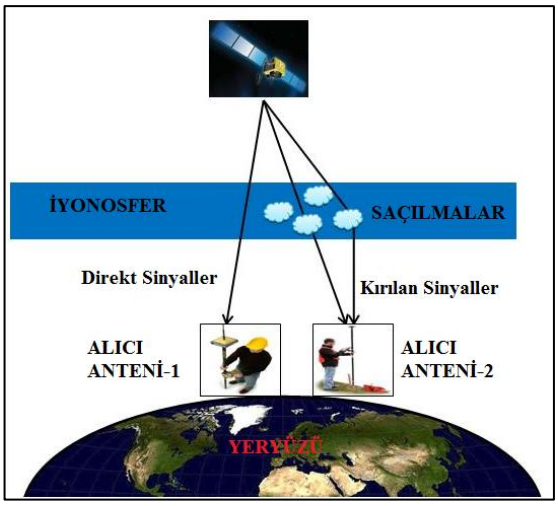
Şuanda sadece IAC ve ESA/ESOC olarak adlandırılan iki veri analiz merkezi, post-prosess GLONASS saat verilerini hesaplayıp kullanıcılara sunmaktadır. Bu iki merkezin ürünü arasında doğrudan karşılaştırılma GLONASS kod ölçümlerine uygulanan farklı referans zaman ölçekleri ve farklı frekans sapmaları nedeniyle güçlükle yapılabilir. IAC ve ESOC'un daha sonra ürettiği GLONASS saat değerleri arasındaki uyuşum 1.5 ns seviyesindedir [Oleynik et al., 2006]. Sadece iki katkı merkez ile, IGS kesin GLONASS uydu saat düzenlemelerini sağlamaz. GLONASS hassas yörünge ve saat ürünlerinin özeti Tablo 3.3'de özetlenmiştir [Web 8, 2014], [Oleynik et al.,2006], [Hesselbarth and Wanninger, 2008].

Tablo 3.3: GLONASS hassas uydu yörüngesi ve saat ürünleri.

Yörünge/saat		**Doğruluk**	**Gecikme**	**Yükleme**	**Ölçü süresi**
IGS final	yörünge	~3 cm	12-18 gün	haftalık	15 dak.
IAC hızı	yörünge	~10 cm	1 gün	---	15 dak.
	saat	---			5 dak.
IAC son	Yörünge	~15 cm	5 gün	---	15 dak.
	saat	~1.5ns			5 dak.
ESOC son	Yörünge	---	---	---	15 dak.
	saat	---			5 dak.

3.1.2. İyonosferik Gecikme

İyonosfer yeryüzünden yaklaşık 50 ile 100 km yukarda yer alan atmosferdeki tabaka bölgesidir. Bu tabakada güneşin ultraviyole ışınları atomları ve molekülleri iyonize eder. İyonosferde atomlardan kopmuş serbest elektronların sayısı, elektromanyetik dalgaların yayılmasını değiştirmeye yetecek kadar çoktur. İyonlaşma şiddeti, elektron yoğunluğu ile ifade edilmekte olup çok değişken olan bu yoğunluk cm^3'de 100000 ile birkaç milyon serbest elektron arasında değişir. İyonosfer elektronayetik dalgaların yayılmasını etkileyebilecek kadar serbest elektron yoğunluğuna sahiptir. İyonlaşma ve serbest elektron sayısı doğrudan doğruya güneş ışımasına (radyasyon yoğunluğuna) bağlıdır [Tiryakioğlu, 2005]. İyonosfer tabakasındaki serbest elektronlar kırılma, yansıma ve soğurmayı içeren mikrodalga sinyalleri yayılması üzerine ciddi etkiler uygular.



Şekil 3.6: İyonosferik etki

GPS veya GLONASS sinyalleri iyonosfer boyunca gezerken, Şekil 3.6'da görüldüğü gibi sinyal aktarımı hızlı değişir ve bundan dolayı ölçülen aralık kullanıcı ve uydu arasında iyonosferik gecikmeye sebep olur. İyonosfer tabakasının, özellikle GPS ölçülerine neden olduğu sorunlar, uydudan gönderilen sinyallerin alıcıya ulaşması sırasında meydana gelebilecek sinyal kesiklikleridir. İyonosferik etkiden dolayı faz ölçülerindeki kesikliklere (cycle slips) neden olmaktadır [Tiryakioğlu, 2005].

Uydu konumlandırma ve navigasyonda daha yüksek doğruluğu elde etmek için iyonik etkinin hesaba katılması gerekir. Kırılma indeksi iyonosferi karakterize etmek için en önemli parametrelerden biridir. İyonosfer dağılma ortamıdır ve kırılma indeksi bundan dolayı frekans fonksiyonudur. Sonuç olarak, iyonosfer tabakası GPS veya GLONASS L1 ve L2 frekansı için farklı gecikmelere yol açacaktır. Faz kırılma endeksinin birince dereceden yaklaşımı,

$$n_p = 1 - \frac{40.3.N_e}{f^2} \tag{3.1}$$

şeklinde yazılabilir. Burada, N_e toplam elektron yoğunluğu (el/m^3), f radyo dalga frekansıdır (Hz). Aynı şekilde, birinci derece grup kırılma indeksi aşağıdaki, formül ile ifade edilir.

$$n_g = 1 + \frac{40.3.N_e}{f^2} \tag{3.2}$$

Yayılma hızı aşağıda kırılma endeksinin fonksiyonu olarak ifade edilebilir.

$$v = \frac{c}{n} \tag{3.3}$$

Burada, c ışık hızıdır. İyonosferik grup gecikmesi uzunluk biriminde aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\Delta g = \int (n_g - 1) dl \tag{3.4}$$

(3.2) eşitliğinden, (3.4) eşitliği,

$$\Delta g = \frac{40.3}{f^2} \int N_e dl = \frac{40.3}{f^2} \, .TEC \tag{3.5}$$

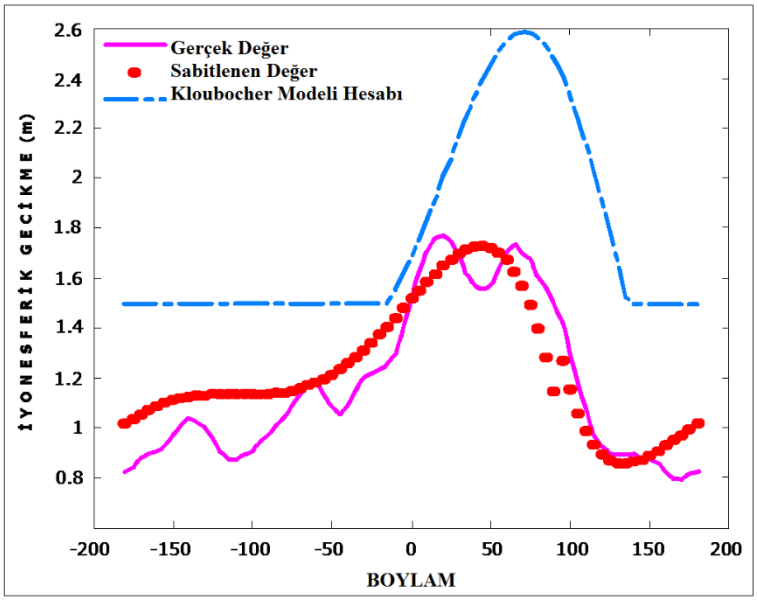
olarak yazılabilir.

TEC (toplam elektron içeriği) bir istasyon ve bir uydu arasındaki yol boyunca toplam elektron sayısıdır. Benzer biçimde, taşıyıcı faz ilerlemesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\Delta\Phi = \int (n_p - 1) dl = -\frac{40.3}{f^2} \int N_e dl = -\frac{40.3}{f^2} \, .TEC \tag{3.6}$$

Grup gecikmesi ve faz ilerleme işaretinde görülebileceği gibi, faz uzunluğu uydu-alıcı arasındaki gerçek geometrik aralıklardan daha az ölçülür oysaki kod uzunluğu gerçek geometrik aralıktan daha uzun ölçülür. Bundan dolayı taşıyıcı faz pseudorange "ileri" olarak adlandırılırken kod uzunluğu "gecikmeli" olarak adlandırılır. Tek frekans GPS kullanıcılar için, Şekil 3.7'de gösterilen Klobuchar iyonosfer modeli, ortalama iyonosfer varyasyon günlüğünün ayarlamak için sinüs eğrisini kullanılır ve genellikle iyonosferik hatayı düzeltmek için kullanılır. Klobuchar model parametreleri navigasyon mesaj yoluyla yayınlanır. Klobuchar

modelinin dezavantajı sadece toplam iyonosferik etkinin %50-60'ını oluşturur [Klobuchar, 1996]. [Chen and Gao, 2005] Klobuchar modelini IGS ve başucu iyonosferik gecikme tahmin modeli tarafından sağlanan küresel iyonosferik model (GIM) ile karşılaştırmışlardır ve zenit iyonosferik gecikme faz gözlemleri ve kod kullanılarak tahmin edilir [Schaer et al., 1998], [Beran et al., 2003]. Sonuçlar iyonosferik tahmin modeli ve GIM'in Klobuchar modelinden daha iyi performans sunduğunu ortaya çıkarmıştır.



Şekil 3.7: Kloboucher iyonosfer modeli.

Çift frekanslı GPS kullanıcıları için, iyonosferik etki, iyonosfer dağıtıcı özelliğine göre L1 ve L2 ölçümlerinin lineer kombinasyonu vasıtasıyla hafifletilebilir. Hassas nokta konumlandırmada, iyonosfer serbest gözlem kombinasyonları genellikle iyonosferik hata etkisini hafifletmek için uygulanır. Aşağıdaki iki denklem geleneksel iyonosfer serbest gözlem kombinasyonlarını yansıtmaktadır [Kouba and Héroux, 2001].

$$P_{IF} = \frac{f_{l1}^2}{(f_{L1}^2 - f_{L2}^2)} P_{L1} - \frac{f_{L2}^2}{(f_{L1}^2 - f_{L2}^2)} P_{L2} \tag{3.7}$$

$$\emptyset_{IF} = \frac{f_{L1}^2}{(f_{L1}^2 - f_{L2}^2)} \emptyset_{L1} - \frac{f_{L2}^2}{(f_{L1}^2 - f_{L2}^2)} \emptyset_{L2} \tag{3.8}$$

P_{If} ve $ø_{If}$ sırasıyla iyonosfer serbest kod ve faz gözlemleri; $ø_{L1}$ ve $ø_{L2}$ sırasıyla uzunluk biriminde L1 ve L2 de taşıyıcı faz gözlemleri; P_{L1} ve P_{L2} L1 ve L2 de sırasıyla kod gözlemleri; f_{L1} ve f_{L2} sırasıyla L1 ve L2 de taşıyıcı frekanslarıdır.

3.1.3. Troposferik Gecikme

Troposfer Dünya yüzeyinden yaklaşık 40 km yukarıdaki atmosfer tabakasıdır [Hofmann, 2001]. İyonosferden farklı olarak, dağıtıcı ortam değildir ve bu yüzden etkisi L1 ve L2 verilerinin gözlem kombinasyonları ile ortadan kaldırılamaz. Troposferik gecikme büyüklüğü uydu yükseklik açısı, alıcı (istasyon) yüksekliği, atmosferik basınç, sıcaklık ve su buhar basıncı gibi birçok faktöre bağlıdır. Troposfer kuru ve ıslak bileşenlere ayrılmıştır.

Kuru bileşene troposferin daha yüksek kısmı neden olmakta ve toplam troposfer hatasının yaklaşık % 90'ını açıklamaktadır, halbuki ıslak bileşen troposferine daha düşük kısmı neden olmakta ve toplam troposferik gecikmenin yaklaşık % 10 unu almaktadır. Ayrıca, kuru troposferik gecikme kolayca modellenebilir, ancak ıslak troposferik gecikme sıvı suyun düzensiz değişiminden, uzaydaki su buharından ve troposferdeki zamandan dolayı modellenmesi zordur [Misra and Enge, 2001]. Islak troposferik bileşen toplam troposferik hatanın yaklaşık % 10 nunu temsil etse bile, modelleme yoluyla troposferik etkinin ortadan kaldırılmasında ana zorluğa neden olur.

Başucu doğrultusu (zenit)'te toplam troposferik gecikmenin ortalaması yaklaşık 2.5 m dir [Abdel-salam, 2005]. Aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi, kuru ve ıslak troposferik gecikme genellikle zenitte modellenir ve daha sonra haritalama fonksiyonu ile uydu yüksekliğinde ölçeklendirilir.

$$\Delta d_{trop} = \Delta d_{dry} \, . M_{dry} \, + \Delta d_{wet} \, . M_{wet} \tag{3.9}$$

Δd_{dry} zenit kuru bileşen; Δd_{wet} zenit ıslak bileşen; M_{dry} (kuru haritalama) ve M_{wet} (ıslak haritalama) indirgeme fonksiyonlarıdır.

Birçok troposferik model vardır. Saastamoinen ve Hopfield modelleri en çok kullanılandır. Hopfield modeli çok sayıda meteorolojik radyasyon balon profillerinden yapılır ve uzun yıllar üzerinden farklı bölgelerde yapılır. Hopfield

modelindeki troposferik gecikme sıcaklığın sabit alçalma oranıyla ve yeryüzünde ölçülen doğrusal basınç fonksiyonu olan yükseklik integrali ile modellenir. Zenit kuru ve ıslak troposferik gecikme aşağıdaki gibi verilir [Mekik, 1997]:
Kuru zenit gecikmesi:

$$\Delta d_{dry} = 10^{-6}.k_1.\frac{P_s}{T_s}.\int_{hs}^{hd}\left[\frac{hd-h}{hd-hs}\right]^4.dh = 10^{-6}.k_1.\frac{P_s}{T_s}.\frac{h_d-h_s}{5} \tag{3.10}$$

$$h_d - h_s = 148.98(T_s - 4.12) \tag{3.11}$$

Islak zenit gecikmesi:

$$\Delta d_{wet} = 10^{-6}\left(k_3 + 273(k_2-k_1)\right).\frac{e_s}{T_s}.\int_{h_s}^{h_w}\left[\frac{h_w-h}{h_w-h_s}\right]^4.dh \tag{3.12}$$

$$h_w - h_s = 11km \tag{3.13}$$

h_d ve h_w yerküre üzerinde kuru ve ıslak troposfer yüksekliğini (m); e_sıslak buhar basıncı yüzeyi (mbar); T_s yüzey sıcaklığı (K); P_s yüzey basıncı (mbar); h_s yerküre üzerindeki yüzey yüksekliği(m); k_1, k_2 ve k_3 sabitlerdir.

Kullanımda olan birçok haritalama fonksiyonu vardır. Niell haritalama fonksiyonu onlardan biridir ve genellikle zenitten rastgele bir yükseklik açısına troposferik gecikmeyi hesaplamada kullanılır. Deneysel fonksiyondur ve ıslak ve kuru troposferik gecikmeler için farklı formlar ile zaman ve istasyon enlemlerine bağlıdır. Neill haritalama fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir [Shrestha, 2003].

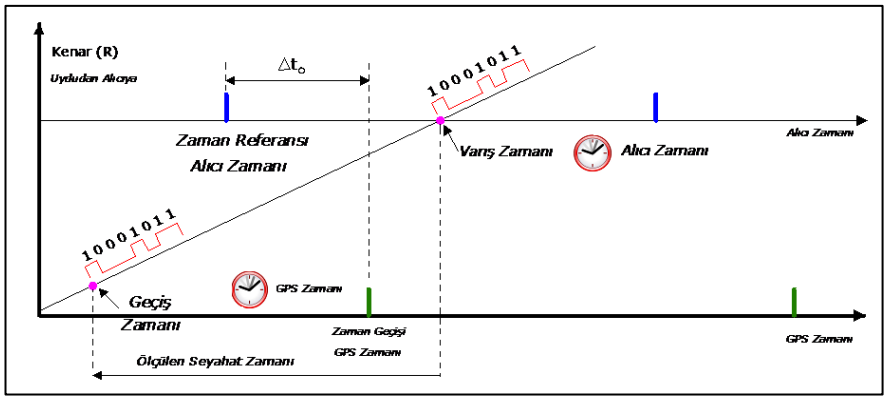
$$m_{dry}(\varepsilon) = \frac{\dfrac{1}{1+\dfrac{a_{dry}}{1+\dfrac{b_{dry}}{1+c_{dry}}}}}{\dfrac{1}{\sin\varepsilon+\dfrac{a_{dry}}{\sin\varepsilon+\dfrac{b_{dry}}{\sin\varepsilon+c_{dry}}}}} + \left[\frac{1}{\sin\varepsilon} - \frac{\dfrac{1}{1+\dfrac{a_{ht}}{1+\dfrac{b_{ht}}{1+c_{ht}}}}}{\dfrac{1}{\sin\varepsilon+\dfrac{a_{ht}}{\sin\varepsilon+\dfrac{b_{ht}}{\sin\varepsilon+c_{ht}}}}}\right] x \frac{H}{1000} \tag{3.14}$$

$$m_{wet}(\varepsilon) = \frac{\dfrac{1}{1+\dfrac{a_{wet}}{1+\dfrac{b_{wet}}{1+c_{wet}}}}}{\dfrac{1}{\sin\varepsilon+\dfrac{a_{wet}}{\sin\varepsilon+\dfrac{b_{wet}}{\sin\varepsilon+c_{wet}}}}} \tag{3.15}$$

ε uydu yükseklik açısı; H deniz seviyesinden yukarda istasyon yüksekliği; a_{dry}, b_{dry}, c_{dry} , a_{ht} , b_{ht} , c_h , a_{wet} , b_{wet} , c_{wet} istasyon enlemine bağlı katsayılardır. Hassas nokta konumlandırmada, kuru troposferik gecikme hatası troposferik model yoluyla düzeltilir, diğer taraftan ıslak bileşen üç boyutlu koordinatlar, alıcı saat hatası ve belirsizlikler bilinmeyen parametreler olarak tahmin edilir.

3.1.4. Alıcı Saat Hatası

Alıcı saati genellikle küçük boyut, az güç tüketimi ve düşük ücret gibi avantajlarından dolayı kuartz kristal osilatörler ile donatılmıştır. Kuartz saatlerin nispeten zayıf kararlıklarından dolayı alıcı saat kısa süre içerisinde sürüklenir ve zamanla alıcı saat hatasında hızlı değişmelere neden olacaktır. Alıcı saat hatası, ölçülen seyahat zamanı süresince, varış zamanı ile geçiş zamanı arasındaki farktan kaynaklanır (Şekil 3.8).

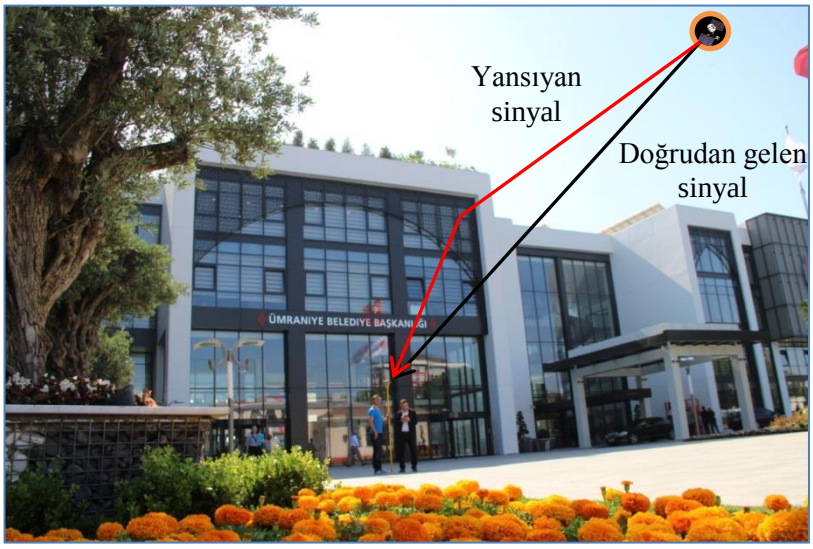


Şekil 3.8: Alıcı saat hatası.

Alıcı saat hatası, genellikle hassas nokta konumlamada üç koordinat bileşenleri ile birlikte bilinmeyen parametreler olarak tahmin edilmektedir. Alıcı saati hatasını hesaplamak için ek uydulara gözlemler yapılmalıdır. Alternatif olarak alıcı saat hatası uydular arasındaki gözlemlerin farklılaşmalarına göre uzaklaştırılabilir.

3.1.5. Sinyal Yansıma (Multipath) Hatası

Alıcı anten çevresindeki nesnelerden yansıyan sinyaller sinyal yansıma (multipath) hatasına neden olmaktadır. Bu GPS veya GLONASS uydularından alıcıya doğrudan gelen sinyalleri bozar ve böylece kod doğruluğunu ve taşıyıcı faz ölçümlerini düşürür [Weill, 2003]. Alıcı teknolojilerin hızla gelişmesine rağmen, uydudan alıcıya gelen sinyaller yüksek yapılar, dağlık, ağaçlık ve ormanlık gibi alanlarda kırılmalara uğrarlar, Şekil 3.9'da GPS alıcısına sinyallerin direkt ve kırılarak gelmesi temsili olarak gösterilmiştir. Uydulardan yayınlanan sinyallerin yeryüzünde herhangi bir noktada kurulu olan antene bir veya daha fazla yol izleyerek ve esas sinyale karışarak ulaşmasına sinyal yansıma (multipath) etkisi denir [Tiryakioğlu, 2005].



Şekil 3.9: Uydudan alıcı antene sinyallerin kırılmaya uğramadan gelmesi.

Bu kırılmalardan dolayı sinyal yansıma hatası konumlandırma ve navigasyonda hala ana hata kaynağı olarak kalır. Teorik olarak maksimum sinyal yansıma hatası yaklaşık olarak kod çip uzunluğunun yarısıdır: P (Y) kodu için 15 metre ve C/A kodu için 150 metredir. Faz gözlemde çok yollu etki dalga boyunun dörtte birini aşmaz yaklaşık olarak L1 ve L3 için 5-6 cm dir [Shen, 2002].

Sinyal yansıma ifadesi alıcıya gelen multipath sinyalinin izlediği yolu ifade etmektedir. Bu sinyal yansıyan sinyal ve direkt gelen sinyallerin birleşmesidir [Tiryakioğlu, 2005]. Buradan hareketle GPS sinyali;

$$S(t) = D(t)C(t)\Lambda \sum_{i=0}^{n} \alpha_i \cos\left(2\pi f_L + \theta_0 + \frac{2\pi d_i}{\lambda}\right) \quad (3.16)$$

olur. Burada;

- $S(t)$: Birleşen sinyal (direkt+yansıyan sinyal)
- $D(t)$: Sinyal üzerine yazılmış konum bilgisinin bölümleri
- $C(t)$: C/A kod
- Λ : Taşıyıcı sinyalin genliği
- α_i : Direk ve yansıyan sinyalin katsayıları; (pratikte direk sinyal ile bir yada birkaç yansıyan sinyaller ile uyuşmaktadır 0 ‘α’ 1)
- f_L : Taşıcı frekans (m)
- d_i : Direkt sinyale göre sinyalin geciktiği yol
- λ : Dalga boyu(m)
- θ_0 : Başlangıç fazıdır.

Direkt sinyalin indisi sıfıra eşittir (i=0). Direkt sinyalde gecikme yoksa (d=0) ve yansıma katsayısı maksimum değerine ulaşır ($\alpha_0 = 1$). Bu sinyalin üretilmesi genellikle alıcı içinde ve sayısal olarak üretildiğini ayrıca bir osilatör ile izlenip, uydudan gelen sinyalle karşılaştırılır [Tiryakioğlu, 2005].
Bu ifade navigasyon bilgisi ihmal edilirse ölçülen GPS sinyali;

$$\Psi == arc\tan\left[\frac{\sum_{i=0}^{\pi} R(\tau - \delta_i)\alpha_i \sin\left(\psi + \frac{2\pi d_i}{\lambda}\right)}{\sum_{i=0}^{\pi} R(\tau - \delta_i)\alpha_i \cos\left(\psi + \frac{2\pi d_i}{\lambda}\right)}\right] \quad (3.17)$$

olur. Burada;

- Ψ : Ölçülen sinyal,
- ψ : Yansıyan sinyal,
- R : Oto korelasyon fonksiyonu,
- τ : Alıcı içinde üretilen kodla ilgili olarak direkt sinyalin gecikmesi,
- δ : Direkt sinyalle ilgili geciken multipath etkisidir.

$$\Delta\Psi = arc\tan\left[\frac{R(\tau-\delta)\alpha\sin\gamma}{R(\tau)+R(\tau-\delta)\alpha\,\mathrm{sincos}\,\gamma}\right] \tag{3.18}$$

şeklini alır [Tiryakioğlu, 2005].

Sinyal yansıma etkisini azaltmak amacıyla öncelikle ölçüm yapılacak yerde, uygun yer seçimi ile bu etki azaltılabilir fakat bazı zaruri durumlarda bu pek mümkün değildir. Bu yüzden ikinci bir yöntem olarak farklı anten donanımları ile sinyal etkisi azaltılabilir, bunun için alıcı antende choke ring anten tipi kullanılarak bu etki azaltılır. Son olarak farklı alıcı yazılımları ile sinyal azaltma etkisi giderilebilir. Ayrıca, uydu yükseklik açısı 10°-20° arasında seçilmesi sinyal yansıma etkisini düşürecek etmenlerden biridir.

3.2. Özel Hata Kaynakları

3.2.1. Uydu ve Alıcı Anten Faz Merkez Kayıklıkları

Uydu ağırlık merkezi ile antenin faz merkezi arasındaki fark, uydu anteninin faz merkez kayıklığına neden olmakta ve uydu anteni faz merkezi hatası PPP de dikkate alınmalıdır. Hassas uydu yörünge ve saat ürünlerinin hesabında kullanılan uydulara etki eden kuvvetlerin modellendirilmeleri uydu ağırlık merkezine göre yapılmaktadır. Diğer taraftan PPP de kullanılan kod ve taşıyıcı faz gözlemleri anten faz merkezine göre yapılmaktadır. Uydu anteninin faz merkezi değerleri uydu sabit koordinat sisteminde verilmekte ve koordinat sisteminin merkezi uyduların kütle merkezidir, Z ekseni dünyanın merkezine doğru, Y ekseni güneş panelleri ekseni doğrultusunda, X ekseni de sağ el kuralını tamamlamakta ve uydu, dünya, güneş aynı düzlemde konumlanmaktadır [Kouba and Heroux, 2001].

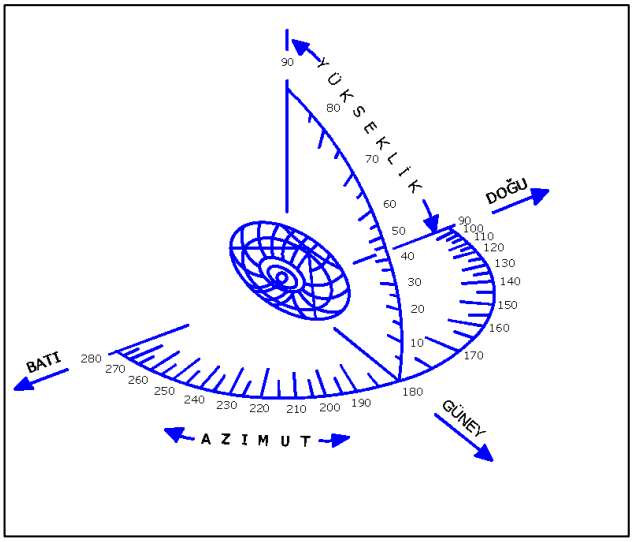
Tüm uydu tipleri uydu anten faz merkez kayıklıklarını dikkate alması gerekmez. GPS Blok IIR uyduları ve daha sonra tasarlanmış uydular iki merkez tutarlığından dolayı faz merkez kayıklık düzeltmelerini uygulamalarına gerek duymazlar. Düzeltme aşağıdaki eşitlik vasıtasıyla yapılmıştır [Leick, 2004]:

$$\mathrm{x_{phase}} = \mathrm{x_{mass}} + \left[\mathrm{e_x e_y e_z}\right]^{-1}.\left[\mathrm{x_{offset} y_{offset}\ z_{offset}}\right]^{\mathrm{T}} \tag{3.19}$$

- e_x : ECEF uydu güneş birim vektörü;
- e_z : ECEF'te yeryüzüne doğru uydu birim vektörü;
- e_y : Doğru el sistemini tamamlayan üçüncü vektör;
- x_{offset}, y_{offset}, z_{offset} : Sabit koordinat sisteminde uydudaki kayıklıklar;
- x_{phase} , x_{mass} : Anten faz merkezi ve uydu kütle merkezi uydu koordinatlarıdır.

GPS'e benzer olarak GLONASS uydu anteni faz merkez kayıklıkları PPP de dikkate alınmalıdır.

Alıcı antenin elektrikli faz merkezi fiziksel işaret merkezinden farklılaştığı için alıcı anten faz merkez kayıklıklarının PPP de dikkate alınması gerekmektedir.



Şekil 3.10: GNSS alıcı anteni faz merkezi ofseti.

Herhangi bir GNSS alıcı anteni için, Şekil 3.10'da gösterildiği gibi, antenin faz merkezi alınan uydu sinyallerinin değişen yönüyle değişiklik gösterir. Hata büyüklüğü genellikle uydu yükseklik açısına bağlıdır. Azimut faz değişim merkezi üzerinde çok küçük bir etkiye sahiptir ve genellikle antenin bulunduğu çevreden kaynaklanır. Anten kalibrasyonları iki parçaya bölünebilir [Czopek and Mader, 2002]. Birisi antenin fiziksel özelliğine bağlı olarak ortalama faz merkezi kayıklığı, diğeri yükseklik açısı veya azimutun sebep olduğu faz merkezi değişimidir. Her iki durumda anten kalibrasyonunda dikkate alınmalı ve düzeltilmelidir.

GNSS ağında değişik tip ve model antenler kullanılıyorsa ve troposferik parametrelerde hesaplanacaksa, mutlak faz merkezi değişimlerini içeren faz merkezi dosyaları mutlaka kullanılmalıdır. Hassas nokta belirleme PPP çözümlerinde, bu hatalar sonuçları direkt olarak etkilemeleri bakımından, özellikle yükseklik bileşeni için dikkate alınmaları gerekir [Mutlu, 2011].

3.2.2. Uydu Faz Dönmesi (Phase Wind Up)

Her GPS veya GLONASS uydusu tarafından L1 ve L2 üzerinde iletilen navigasyon sinyalleri dairesel olarak sağ-el şeklinde polarize olduğundan alıcı taşıyıcı faz gözlemleri uydu ve alıcı antenlerinin karşılıklı yönlenmesine bağlıdır. Uydu ve alıcı antenlerin göreceli rotasyonu gözlenen taşıyıcı fazı yaklaşık bir dalga boyu değiştirebilir. Bu etki uydu faz dönmesi olarak adlandırılır [Wu et al.,1993].



Şekil 3.11: Uydu anteni panellerinin dönmesi.

Alıcı anteni genellikle statik modda sabit bir yönde yönlendirilmiştir. Uydu anteni tutulma süresince yarım saatten daha kısa süre içinde bir devrime dönebilir. Bunun nedeni uydu anteninin güneşe yönelik solar panellerinin yeniden yönlendirilmesi için hızlı rotasyonu geçiyor olmasıdır [Kouba and Héroux, 2001]. Güneşe yönlendirilen paneller Şekil 3.11'de temsili olarak gösterilmiştir.

Uydu faz dönmesi diferansiyel konumlandırma için 100 km'lik baz uzunluklarında ihmal edilebilir. Örneğin 4000 km'lik bir baz uzunluğunda bu etkinin yaklaşık 4 cm'lik bir hataya neden olduğu belirlenmiştir [Kouba, 2009].

Her ne kadar uydu faz dönmesi etkisi diferansiyel konumlandırmada birkaç yüz kilometrelik bazlarda ihmal edilebilirken, PPP yönteminde bu etki bir dalga boyunun yarısına ulaşabileceği için oldukça önem kazanmaktadır [Kouba and Héroux, 2001]. Faz dönmesi düzeltmesi aşağıdaki eşitlikler aracılığıyla yapılabilir [Wu at al., 1993]:

$$D = x - k(k.x) + k\,x\,y \tag{3.20}$$

$$D' = \bar{x} - k(k.\bar{x}) - kx\bar{y} \tag{3.21}$$

$$\Delta\Phi = sign\big(k.(D'xD)\big)cos^{-1}(D'.D/|D'||D|) \tag{3.22}$$

- k : Alıcı birim vektörü uydusu;
- x,y,z : Yerel alıcı birim vektörler;
- $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$: Uydu ünitesi koordinat birim vektörleri;
- $\Delta\phi$: Faz dönmesi düzeltmesi;
- D,D' : Uydu ve alıcı etkili dipol vektörler.

3.2.3. Göreceli Etki

Uydu konumlandırma ilkesi bir alıcıya bir uydudan sinyalin yolculuk zaman ölçümü temelinde kurulmuştur. Görecelik, yerçekimi potansiyeli ile alıcı saati ve uydu saatinin hareket eden hız farkından kaynaklanır. Bu ölçülen zamanı etkiler ve bu nedenle göreceli düzeltme PPP yönteminde dikkate alınmalıdır. Uydu saatleri iki göreceli etkiye maruz kalırlar. Bunlar, özel görecelik ve genel görecelikdir. Özel görecelik teorisine göre, sabit bir hızda hareket eden uydu saati göreceli hareketin zaman dilatasyonu etkisinden dolayı yeryüzündeki saatten daha yavaş görünür [Tao, 2008]. Bu göreceli etki düzeltmesi aşağıdaki gibi uygulanabilir [GPS ICD, 2000]:

$$\Delta t_r = -\frac{2\overrightarrow{R}.V^{\rightarrow}}{c^2} \tag{3.23}$$

- Δt_r : Görecelik düzeltmesi;
- R : Uydu anlık konum vektörü;

- V : Uydu anlık hız vektörü;
- c : ışık hızıdır.

Genel göreceliliğe göre, uydu saati yerçekimindeki farklılıklardan dolayı yer yüzündeki saatten daha hızlı çalışıyor gibi görünür. Bu etki için düzeltme aşağıdaki denklemde verilmiştir [Rothacher and Beutler, 2002]:

$$\Delta t_p = \frac{2GM}{c^2} \ln\left(\frac{r^s + r_r + r_r^s}{r^s + r_r - r_r^s}\right) \tag{3.24}$$

Bu eşitlikteki parametreler aşağıda açıklanmıştır.

- Δt_p : Yerçekimi gecikme hatası;
- G : Yerçekimi sabiti;
- M : Dünyanın kütlesi;
- r^s : Uydu ile dünya arasındaki mesafe;
- r_r : Alıcı ile dünya arasında mesafe;
- r_r^s : Alıcıdan uyduya olan mesafedir.

3.2.4. Katı Yeryuvarı Gelgiti

Dünya sert olmadığından, gök cisimlerinin uyguladığı kuvvetlere esnek biçimde cevap verir. Dünya gelgitleri güneş ve ay tarafından uygulanan yerçekimi kuvvetinden etkilenir [Vanicek and Krakiwsky, 1982].

Güneş ve ay tarafından uygulanan yerçekimi kuvveti dünya üzerinde düşey ve yatay yönlü periyodik deformasyonlara neden olur. Bu Love ve Shida sayıları ile karakterize edilen küresel derece ve sıra küresel harmoniklerle ifade edilebilir. İstasyon enlemi, gelgit frekansı ve yıldız zamanına bağlı olan gelgit etkileri yükseklik bileşeninde yaklaşık 30 cm ve yatay bileşende ise 5 cm'ye ulaşabilir [Kouba and Héroux, 2001]. Katı yeryuvarı gelgitinin neden olduğu yer değiştirme sabit ve periyodik kısım olarak iki parçaya bölünebilir. Periyodik kısım bir gün boyunca yapılan statik ölçümle belirli oranda azaltılabilirken, sabit kısım orta enlem bölgesinde 12 santimetrelere ulaşabilir [Kouba and Héroux, 2001]. Gelgit etkisi dikkate alınmadığında, uzun bir gözlem süresinde bile, yükseklik bileşeninde

yaklaşık 12.5 cm yatay bileşenlerde 5 cm santimetrelik konum hatası ile sonuçlanır. Sabit ve periyodik yer değiştirme düzeltmeleri için eşitlik aşağıda verilmiştir [IERS, 1989]:

$$\Delta\vec{r} = \sum_{j=2}^{3} \frac{GM_j}{GM}\frac{r^4}{R_j^3}\left\{\left[3l_2(\hat{R}_j.\hat{r})\right]\hat{R}_j + \left[3\left(\frac{h_2}{2} - l_2\right)\left(\hat{R}_j.\hat{r}\right)^2 - \frac{h_2}{2}\right]\hat{r}\right\} \qquad (3.25)$$

$$+[-0.0.25m.\sin\emptyset.\cos\emptyset.\sin(\theta_s + \lambda)]\,.\hat{r}$$

- $\Delta\vec{r}$: Kartezyen koordinat sisteminde yer değiştirme bölge vektörü;
- GM : Dünyanın yerçekimsel parametreleri;
- GM_j : Ay (j=2) ve Güneşin (j = 3) yer çekimsel parametreleri;
- r : İstasyon yer merkezli durum vektörü;
- R_j : Ayın (j=2) ve Güneşin (j = 3) yer merkezli durum vektörü;
- $\hat{r}$: İstasyon yer merkezli birim durum vektörü;
- $\hat{R}_j$: Ayın (j=2) ve Güneşin (j = 3) yer merkezli birim durum vektörü;
- l_2 : Love sayısının (0.609) ikinci derece itibarı;
- h_2 : Shida (0.085) boyutsuz sayısının itibarı;
- Φ : Bölge enlemi;
- λ : Bölge boylamı;
- θ_g : Greenwich yıldız zamanıdır.

3.2.5. Okyanus Gelgit Yüklemesi

Katı yeryuvarı gelgitlerine benzer olarak, yerçekimi kuvveti altında deniz suyunun dağıtılması deniz tabanında ve kıyı bölgelerinde yer kabuğuna yük bindirmektedir. Böylelikle, deniz tabanında deformasyona ve kıyı bölgelerinde yer değiştirmelere neden olur. Okyanus yüklemesi, katı yeryuvarı gelgitlerinden daha küçük büyüklükteki günlük veya yarı günlük periyotlar halinde gösterilir. Etkileri hassasiyeti yüksek olması istenen kinematik yöntemle konum belirlemede ve 24 saatten kısa süreli statik ölçmelere dayalı konum belirlemelerde dikkate alınmalıdır. Diğer taraftan okyanus kıyılarından çok uzaklarda olan istasyonlarda etkisi ihmal edilebilir [Kouba and Héroux, 2001]. Genellikle okyanus kıyısından uzaktaki (>1000

km) istasyonların hesabında bu etki göz önüne alınmaz. Okyanus yükleme modeli aşağıda verilmiştir [IERS, 1996]:

$$\Delta c = \sum_j f_j \, A_{cj} \cos\left(w_j t + X_j + u_j - \emptyset_{cj}\right) \tag{3.26}$$

- Δc : Okyanus yüklemesinin neden olduğu yer değiştirme;
- j 11 : Gelgit dalgaları temsil eder,$(M_2, S_2, N_2, K_2, K_1, O_1, P_1, Q_1, M_F, M_M, S_{sa})$;
- f_j : Ay nodu boylamına bağlıdır (1-3 mm hassasiyette, $f_j = 1$);
- u_j : Ay nodu boylamına bağlıdır(1-3 mm hassasiyette,$u_j = 0$);
- ω_j : t=0 s. zamandaki açısal hızdır;
- x_j : t=0 s. astronomik bir argümandır;
- A_{cj} : İstasyon spesifik genlik;
- $ø_{cj}$: İstasyon spesifik fazdır.

3.2.6. Atmosfer Yükleme

Atmosfer yüklemesi atmosferik kütlenin mekânsal ve zamansal değişimlerinden kaynaklanır. Okyanus ve katı yeryuvarı gelgitleri üzerinde dolaylı bir etkiye sahiptir ve yeryüzünde deformasyona yol açar [Witchayangkoon, 2000]. Sonuç olarak, atmosfer yüklemesinin neden olduğu yer değiştirme dikey bileşende 20 mm yatay bileşende 3 mm ye ulaşabilir [Petrov and Boy, 2004]. Bu yer değiştirme yüksek enlem bölgeler ile karşılattırıldığında orta enlem bölgelerde daha büyük bir değere sahip coğrafi konumun bir fonksiyondur. [IERS, 1996]. Basitten karmaşığa doğru değişken çok sayıda atmosfer yükleme yer değiştirme modelleri mevcuttur. Bunlar arasında, basit model aşağıda verilmiştir [Rabbel and Schuh, 1986]:

$$\Delta r = -0.35p - 0.55p' \tag{3.27}$$

- Δr : Milimetre birimde atmosfer yükleme yer değiştirme;
- p : Standart değerden (101.3 KPA); bölge basınç farkı;
- p’ : İstasyondan 2000 km içinde basınç bozukluğudur.

3.2.7. Yeryuvarı Dönme Parametreleri (Sagnac Effect)

Sagnac etkisi uydundan alıcıya uydu sinyalinin geçişi zarfında dünyanın dönmesinden kaynaklanır. Dünyanın dönmesinden dolayı, yeryüzündeki alıcı 500 m/s hıza ulaşır (ekvatorda) bu sagnac etkisi olarak sonuçlanır. Bu etki çok küçük ve hesaplama karmaşıktır. [Parkinson and Ashby, 1996]'ye göre sagnac etkisi uydudan alıcıya sinyal yayılması sırasında yeryüzünün merkezinden ışık ışınına yarıçap vektörü tarafından süpürülen orantısal alandır ve aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\Delta t_s = +\frac{2\Omega_e . A_e}{c^2} \tag{3.28}$$

Ω_e dünyanın açısal dönme hızı (WGS-84); A_e uydudan alıcıya sinyal yolculuk ederken yeryüzünün merkezinden ışık ışınına yarıçap vektörü tarafından süpürülen toplam alandır.

4. BİRLEŞİK GPS/GLONASS PPP MODELLERİ

Son 2 yıla kadar PPP yöntemi, sadece GPS gözlemlerini kullanılarak gerçekleştiriliyordu. GPS tabanlı konumlandırma sistemi, doğruluk, kullanılabilirlik ve konumlandırma güvenilirliği sonuçları genellikle görünür GPS uydularının sayısına bağımlıdır ve bundan dolayı kentsel kanyonlar ve açık maden ocağı gibi ortamlarda yetersiz kalır. Hatta açık alanlarda bile yeterli GPS uyduları olmasına rağmen zayıf uydu geometrisi PPP yönteminin doğruluğu ve güvenirliğini etkileyip azaltabilir. Ölçmeler sırasında kullanılan uyduların sayısını arttırmak, yani GPS ve GLONASS uydularının entegre etmek, PPP ile belirlenen konumun güvenirliği ve doğruluğunu arttırmak için en iyi yollardan birisidir. GLONASSS uydu yörüngelerinin IGS tarafından hesaplanmasıyla ve GLONASS uydu saat bilgilerinin kullanıcıya sunulmasıyla sadece GPS değil GPS/GLONASS sistemlerinin birlikte kullanıldığı PPP modelleri geliştirilmiştir. PPP de yüksek doğrulukta konumlandırma sonuçları elde etmek amacıyla, her ikisi de GPS ve GLONASS taşıyıcı faz gözlemleri birleşik veri işlemede kullanılır. Mevcut GPS tabanlı PPP modelleri birleşik GPS/GLONASS ölçümlerinin işlemesinde kullanılamaz, bu yüzden birleşik GPS/GLONASS PPP modelleri geliştirilmiştir. Bu bölümde, GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP yöntemlerinin matematik modellerinden kısaca bahsedilmiştir.

4.1. GPS-PPP Gözlem Modeli

Fonksiyonel model, GPS ölçümleri ve bilinmeyen parametreler arasındaki matematiksel ilişkidir. Mevcut olan PPP fonksiyonel modelleri, serbest-iyonosfer gözlem kombinasyonuna dayalı olan, geleneksel model ve UofC modeli olarak kategorize edilebilir [Cai, 2009]. Bu bölümde geleneksel modele ilişkin matematiksel formülasyon aşağıda verilmiştir. GPS-PPP UofC modeli [Cai, 2009]'da detaylı olarak bulunabilir.

4.1.1. Geleneksel GPS-PPP Modeli

Geleneksel PPP modellerinde, L1 ve L2 taşıyıcı faz gözlemleri kadar L1 ve L2 den gelen kod gözlemleri arasındaki serbest-iyonosfer kombinasyonu kullanılır.

Bu serbest-iyonosfer, kod-kod ve faz-faz gözlem kombinasyonları iyonosferik hata etkisini azaltmak için PPP de kullanılan en popüler şeklidir. Bir alıcı ve uydu arasında L1 ve L2 ile ilgili kod pseudorange mesafesi ve taşıyıcı faz gözlemleri, aşağıdaki denklem ile ifade edilir:

$$P_i = \rho + cdt - cdT + d_{orb} + d_{trop} + d_{ion/P_i} + d_{mult/P_i} + \varepsilon_{P_i} \quad (4.1)$$

$$\Phi_i = \rho + cdt - cdT + d_{orb} + d_{trop} - d_{ion/\Phi_i} + \lambda_i N_i + d_{mult/_{\Phi_i}} + \varepsilon_{\Phi_i} \quad (4.2)$$

Burada,

- N_i : L_i ile ölçülen pseudorange mesafedir (m);
- Φ_i : L_i ile ölçülen taşıcı faz;
- ρ : Gerçek geometrik aralığı (m);
- c : Işık hızı (m/s);
- dt : Alıcı saat hatası (s);
- dT : Uydu saat hatası (s);
- d_{orb} : Uydu yörünge hatası (m);
- d_{trop} : Troposferik gecikme (m);
- d_{ion/L_i} : Üzerindeki iyonosferik gecikme olduğunu L_i(m);
- λ_i : Dalga boyunda olduğunu L_i(m/cycle);
- N_i : L_i (cycle) üzerinde tamsayı faz belirsizlik olduğunu;
- d_{mult/P_i} : L_i (m) üzerinde mesafe içinde sinyal yansıma (multipath) etkisi;
- $d_{mult/_{\Phi_i}}$: L_i(m) taşıyıcı faz içindeki sinyal yansıma (multipath) etksidir;
- ε : Ölçüm gürültüsüdür (m).

Uzunluk biriminde geleneksel PPP modeli iyonosfer-serbest kod ve faz gözlem kombinasyonları olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir [Shen, 2002]:

$$P_{IF} = \frac{f_1^2 . P_1 - f_2^2 . P_2}{f_1^2 - f_2^2} = \rho + c(dt - dT) + d_{orb} + d_{trop} + d_{mult/P_{IF}} + \varepsilon_{P_{IF}} \quad (4.3)$$

$$\Phi_{IF} = \frac{f_1^2 . \Phi_1 - f_2^2 . \Phi_2}{f_1^2 - f_2^2} = \rho + c(dt - dT) + d_{orb} + d_{trop} + \frac{cf_1 N_1 - cf_2 N_2}{f_1^2 - f_2^2} + d_{mult/\Phi_{IF}} + \varepsilon_{\Phi_{IF}} \quad (4.4)$$

GPS gözlemleri ile konum belirlenmeden önce, ilk olarak GPS hassas yörünge ve saat verileri, uydu ve yörünge saat hatalarını azaltmak için uygulanır. İyonosferik kırılmadan kaynaklanan sapmalar, birleşik serbest-iyonosfer L1 ve L2 kod ve faz ölçülerinin kombinasyonu yapılarak elemine edilir. Hassas uydu yörünge ve saat düzeltmeleri uygulandıktan sonra, serbest-iyonosfer kod ve faz gözlem kombinasyonları aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$P'_{IF} = \rho + c.dt + d_{trop} + \varepsilon'_{P_{IF}} \quad (4.5)$$

$$\Phi'_{IF} = \rho + c.dt + d_{trop} + N'_{IF} + \varepsilon'_{\Phi_{IF}} \quad (4.6)$$

Burada,

- P'_{IF} : Metre biriminde düzeltilmiş serbest-iyonosfer kod gözlemi;
- Φ'_{IF} : Metre biriminde düzeltilmiş serbest -iyonosfer faz gözlemi;
- N'_{IF} : Uzunluk biriminde birleştirilmiş tam sayı belirsizliği;
- ε'_{IF} : Kalıntı hataları, sinyal yansıma ve sinyal gürültüyü içeren gürültü terimidir.

Geleneksel modelde bilinmeyen parametreler, 3 koordinat bileşeni, bir alıcı saat kayıklığı, bir ıslak zenit troposferik gecikme bileşeni ve her gözlenen uydu ile ilişkili birleşik tam sayı belirsizlik parametrelerdir. Geleneksel gözlem modelinin matematiksel ifadesi açısından bazı özellikleri vardır [Shen, 2002]. İlk olarak, serbest iyonosfer kombinasyonları, toplam iyonosferik etkiden % 0,1 den az olarak hesaplanan, yüksek mertebedeki iyonosferik etkiyi uzaklaştıramaz. Buna ek olarak,

birleşik tam sayı belirsizlik terimi, serbest iyonosfer kombinasyonundan sonra, meydana çıkan tamsayı karakteristiği, yayılan tek bir değer gibi tahmin edilebilir. Son olarak, iyonosfer-bağımsız kombinasyonundan sonraki gürültü orjinal kod ve faz ölçmelerinin gürültülerinden üç kat daha fazladır.

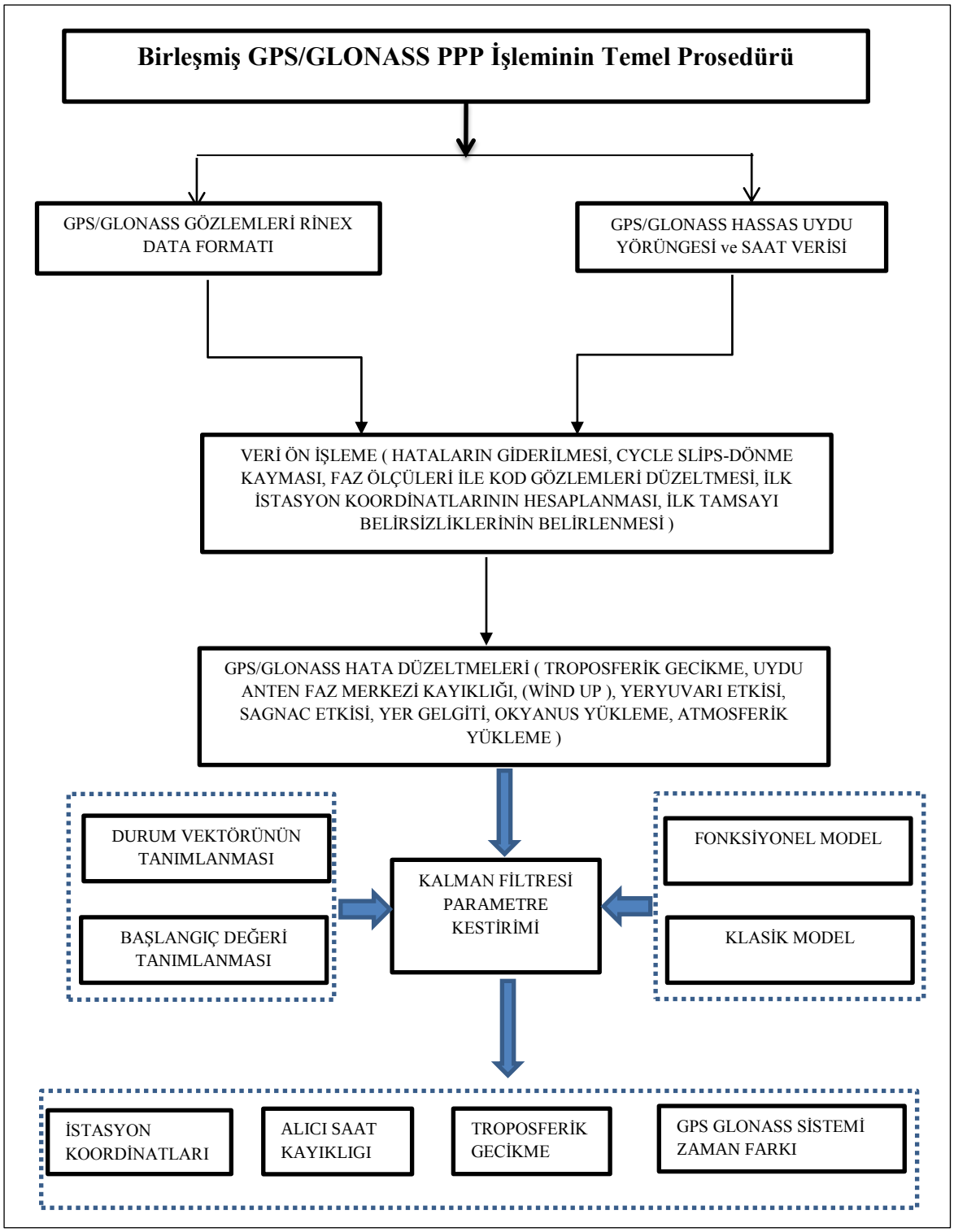
4.2. Birleşik GPS/GLONASS-PPP Modelleri

Veri işlemeden önce, ilk olarak birleşik GPS/GLONASS ölçüm verileri, hassas uydu yörüngesi ve saat düzeltmelerine ihtiyaç vardır. Tüm işleme; taşıyıcı faz gözlemlerinin faz kesikliği (cycle slip), ilk istasyonun koordinatlarının hesaplanması, ilk tamsayı bilinmeyeninin belirlenmesi gibi veri ön işleme adımı ile başlar.

Daha sonra, bazı yaygın (konvensiyonel) hatalar ve diğer kendine özgü PPP hatalarını içeren çeşitli hata düzeltmeleri yapılır. Kalman filtresi yöntemi bilinmeyen parametreleri tahmin etmek için kullanılır. Birleşmiş GPS ve GLONASS PPP'nin fonksiyonel ve stokastik modelleri, bu modülde istasyon koordinatları sonuçları, alıcı saati hatası, zenit troposferik gecikmesi, GPS-GLONASS sistemi zaman farkı tahminlerini sağlamıştır. Birleştirilmiş GPS ve GLONASS PPP veri işleme temel yöntemi Tablo 4.1'te örneklendirilmiştir.

Aşağıdaki bölümlerde birleşik GPS/GLONASS geleneksel modeline ilişkin fonksiyonel model verilmiştir. GPS/GLONASS UofC modeline ilişkin fonksiyonel modeller [Cai, 2009]'da detaylı bir şekilde bulunabilir.

Tablo 4.1: Birleşik GPS/GLONASS PPP İşlemi Temel Prosedür



4.2.1. Birleşik GPS/GLONASS-PPP Geleneksel Modeli

Bir r GLONASS uydusu için, uydu ile alıcı arasındaki P kod uzunluğu ve L1 ve L2 taşıyıcı faz gözlemleri mesafe ve taşıyıcı faz gözlemleri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$P_i^r = \rho_r + cdt^r - cdT^r + d_{orb}^r + d_{trop}^r + d_{ion/L_i}^r + d_{multi/P_i}^r + b_{i/P}^r + \varepsilon_{P_i}^r \quad (4.7)$$

$$\Phi_i^r = \rho_r + cdt^r - cdT^r + d_{orb}^r + d_{trop}^r - d_{ion/L_i}^r + \lambda_i^r N_i^r + d_{multi/\Phi_i}^r + b_{i/\Phi}^r + \varepsilon_{\Phi_i}^r \quad (4.8)$$

Burada;

- P_i : $L_i(m)$ üzerinde ölçülen kod(pseudorange);
- Φ_i : $L_i(m)$üzerinde ölçülen taşıyıcı faz;
- ρ : Gerçek geometrik aralığı (m);
- c : Işık hızı (m/s);
- dt : Alıcı saat hatası (s);
- dT : Uydu saat hatası (s);
- d_{orb} : Uydu yörünge hatası(m);
- d_{trop} : Troposferik gecikme(m);
- d_{ion/L_i} : $L_i(m)$ üzerindeki iyonosferik gecikme;
- λ_i : $L_i(m/cycle)$ üzerindeki dalga boyu;
- $N_i L_i(cycle)$: Üzerinde tamsayı belirsizlik fazı;
- d_{multi/P_i} : Ölçülen mesafe içindeki multipath etkisi;
- b_i : Üzerinde donanım gecikme sapması;
- ε : Ölçüm gürültüsüdür.

Donanım gecikme sapması terimi, aşağıdaki eşitliklerde ortalama bir terime bölünebilir ve uyduya bağımlı bir sapma terimi olarak, aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$b_i^r = b_{i.avg}^r + \delta b_i^r \tag{4.9}$$

Eşitlik 4.9'i, 4.7 ve 4.8'de yerine koyulup ve yeniden yazıldığında,

$$P_i^r = \rho_r + \left(cdt^r + b_{i.avg}^r\right) - cdT^r + d_{orb}^r + d_{trop}^r + d_{ion/L_i}^r + d_{multi/P_i}^r + \varepsilon_{P_i}^r \tag{4.10}$$

$$\Phi_i^r = \Phi_i^r = \rho_r + \left(cdt^r + b_{i.avg}^r\right) - cdT^r + d_{orb}^r + d_{trop}^r - d_{ion/Li}^r + \lambda_i^r N_i^r + d_{multi/\Phi_i}^r + \delta b_{IF\phi}^r + \varepsilon_{\Phi_i}^r \tag{4.11}$$

olur.

Benzer şekilde, bir g GPS uydusu için, uydu ile alıcı arasındaki P kod L1 ve L2 taşıyıcı faz gözlemleri mesafe ve taşıyıcı faz gözlemleri aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$P_i^g = \rho_g + \left(cdt^g + b_{i.avg}^r\right) - cdT^g + d_{orb}^g + d_{trop}^g + d_{ion/L_i}^g + d_{multi/P_i}^g + \varepsilon_{P_i}^g \tag{4.12}$$

$$\Phi_i^g = \Phi_i^r = \rho_g + \left(cdt^g + b_{i.avg}^r\right) - cdT^g + d_{orb}^g + d_{trop}^g - d_{ion/L_i}^g + \lambda_i^g N_i^g + d_{multi/\Phi_i}^g + \delta b_{IF\phi}^g + \varepsilon_{\Phi_i}^g \tag{4.13}$$

Uydu yörünge ve saat hataları, GPS ve GLONASS hassas uydu yörüngeleri ve saat ürünleri kullanıldıktan sonra ihmal edilmiştir. İyonosferik gecikme sapmaları, iyonosfer-serbest kod ve L1, L2 faz gözlemlerinin oluşturulması ile uzaklaştırılmıştır. Hassas uydu yörünge ve saat düzeltmeleri uygulandıktan sonra, iyonosfer-serbest-kod-kod ve faz-faz gözlem kombinasyonu aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$P_{IF}^{\iota g} = \frac{f_{g1}^2 . P_1^g - f_{g2}^2 . P_2^g}{f_{g1}^2 - f_{g2}^2} = \rho_g + \left(cdt^g + b_{IF.avg}^g\right) + d_{trop}^g + \varepsilon_{P_{IF}}^g \tag{4.14}$$

$$\phi_{IF}^{\prime g} = (f_{g1}^2.\phi_1^g - f_{g2}^2.\phi_2^g)/(f_{g1}^2 - f_{g2}^2)$$
$$= \rho_g + \left(cdt^g + b_{IF.avg}^g\right) + d_{trop}^g + \left(N_{IF}^g + \delta b_{IF/\phi}^g\right) + \varepsilon_{\phi_{IF}}^g \quad (4.15)$$

$$P_{IF}^{\prime r} = (f_{r1}^2.P_1^r - f_{r2}^2.P_2^r)/(f_{r1}^2 - f_{r2}^2)$$
$$= \rho_r + \left(cdt^r + b_{IF.avg}^r\right) + d_{trop}^r + \varepsilon_{P_{IF}}^r \quad (4.16)$$

$$\phi_{IF}^{\prime r} = (f_{r1}^2.\phi_1^r - f_{r2}^2.\phi_2^r)/(f_{r1}^2 - f_{r2}^2)$$
$$= \rho_r + \left(cdt^r + b_{IF.avg}^r\right) + d_{trop}^r + \left(N_{IF}^r + \delta b_{IF/\phi}^r\right) + \varepsilon_{\phi_{IF}}^r \quad (4.17)$$

- P'_{IF} : Düzeltilmiş iyonosfer serbest kod gözlem kombinasyonu (m);
- Φ'_{IF} : Düzeltilmiş iyonosfer serbest faz gözlem kombinasyonu (m);
- f_1 : L_i(Hz) frekansı;
- N_i : Birleştirilen belirsizlik terimi (m);
- $b^r_{IF.avg}$: Birleştirilmiş ortalama donanım gecikmesi sapma terimi (m);
- δb_{IF} : Birleşik uydu bağımlı donanım gecikme sapması terimi (m);
- ε_{IF} : Ölçüm gürültüsü, multipath çoklu-hem de diğer artık hataları

içerir.

Yukarıdaki denklemlerde görüldüğü gibi, $\delta b_{IF/\Phi}$ sapmaları, birleşik N_{IF} belirsizliğinden ayrı değildir ve bunlar tek bir toplam parametre olarak kestirimi yapılabilir. Buna ek olarak, ortalama gecikme sapmaları $b_{IF.avg}$ pratik işlemede, alıcı saat terimi kayıklığı (ofseti) içerisinde yok olabilir. 4.14 ve 4.15 eşitlikleri basitçe aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$P_{IF}^{\prime g} = \rho_g + cdt^{\prime g} + d_{trop}^g + \varepsilon_{P_{IF}}^g \quad (4.18)$$

$$\Phi_{IF}^{\prime g} = \rho_g + cdt^{\prime g} + d_{trop}^g + N_{IF}^{\prime g} + \varepsilon_{\Phi_{IF}}^g \quad (4.19)$$

$$P_{IF}^{\prime r} = \rho_r + cdt^{\prime r} + d_{trop}^{r} + \varepsilon_{P_{IF}}^{r} \tag{4.20}$$

$$\Phi_{IF}^{\prime r} = \rho_r + cdt^{\prime r} + d_{trop}^{r} + N_{IF}^{\prime r} + \varepsilon_{\Phi_{IF}}^{r} \tag{4.21}$$

$\mathrm{cdt}'^{\mathrm{g}}$, metre biriminde alıcı saat hatası ve birleşik ortalama donanım gecikmesi sapması toplamıdır. $\mathrm{N}_{\mathrm{IF}}^{\prime}$, birleşik tamsayı(ambiquity) ve birleşik uydu-donanım gecikmesine bağlı sapma toplamlarıdır. Bir GLONASS alıcısı saat hatası parametresinin tahmini yerine, GPS/GLONASS prosesinde, genellikle sistemler arasındaki zaman farkı bilinmeyen parametre olarak işleme alınır [Habrich,1999]. Bir alıcı saat hatası aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$dt = t - t_{sys} \tag{4.22}$$

$\mathrm{t_{sys}}$, GPS gözlemleri için GPS zamanı $\mathrm{t_{GPS}}$, GLONASS gözlemleri için GLONASS sistemi zamanı $\mathrm{t_{GLONASS}}$ 'i temsil eder. Alıcı saat hatası bir sistem zamanı ile ilişkili olduğu için, birleşik GPS/GLONASS prosesinde iki alıcı saat ofseti bilinmeyen parametre olarak hesaba katılır. Bunlardan birisi GPS zamanına göre alıcı saat ofseti diğeri ise GLONASS zamanına göre alıcı saat ofsetidir. GLONASS alıcı saat ofsetini aynı zamanda Eşitlik (4.23)'te tanımlayabiliriz.

$$\begin{aligned} \mathrm{dt^r} &= \mathrm{t} - \mathrm{t_{GLONASS}} \\ &= \mathrm{t} - \mathrm{t_{GPS}} + \mathrm{t_{GPS}} - \mathrm{t_{GLONASS}} \\ &= \mathrm{dt^g} + \mathrm{dt_{sys}} \end{aligned} \tag{4.23}$$

Eşitlik (4.23)'den görüldüğü üzere, GLONASS alıcı saat kayıklığı, GPS alıcı saat kayıklığı ve GPS ve GLONASS arasındaki zaman farkının toplamı olarak gösterilebilir. Eşitlik 4.23'e uygulandığında, Eşitlik (4.24) denklemleri yazılır:

$$
\begin{aligned}
cdt'^{r} &= cdt^{r} + b^{r}_{IF.avg} \\
&= cdt^{g} + cdt_{sys} + b^{r}_{IF.avg} \\
&= cdt^{g} + b^{g}_{IF.avg} + cdt_{sys} + b^{r}_{IF.avg} - b^{g}_{IF.avg} \\
&= cdt'^{g} + (cdt_{sys} + b^{r}_{IF.avg} - b^{g}_{IF.avg}) \\
&= cdt'^{g} + cdt'_{sys}
\end{aligned}
\tag{4.24}
$$

$\mathrm{cdt}'_{\mathrm{sys}}$, gerçek GPS/GLONASS sistem zaman farkı, $(\mathrm{b}^{\mathrm{r}}_{\mathrm{IF.avg}} - \mathrm{b}^{\mathrm{g}}_{\mathrm{IF.avg}})$ sapma teriminin toplamıdır. Eşitlik (4.24), eşitlik (4.20) ve (4.21)' de yerine konulduğunda ve Eşitlik (4.18) ve (4.19) yeniden yazıldığında aşağıdaki kod uzunluğu ve taşıyıcı faz gözlem eşitlikleri elde edilir.

$$P'^{g}_{IF} = \rho_g + cdt'^{g} + d^{g}_{trop} + \varepsilon^{g}_{P_{IF}} \tag{4.25}$$

$$\Phi'^{g}_{IF} = \rho_g + cdt'^{g} + d^{g}_{trop} + N'^{g}_{IF} + \varepsilon^{g}_{\Phi_{IF}} \tag{4.26}$$

$$P'^{r}_{IF} = \rho_r + cdt'^{g} + cdt'_{sys} + d^{r}_{trop} + \varepsilon^{r}_{P_{IF}} \tag{4.27}$$

$$\Phi'^{r}_{IF} = \rho_r + cdt'^{g} + cdt'_{sys} + d^{r}_{trop} + N'^{r}_{IF} + \varepsilon^{r}_{\Phi_{IF}} \tag{4.28}$$

4.25 ve 4.28 eşitlikleri geleneksel GPS/GLONASS fonksiyonel modelini oluşturur. Kolaylık olması için, cdt'^{g} basitçe alıcı saati hatası, cdt'_{sys} ise basitçe GPS-GLONASS sistemleri zaman farkı olarak kabul edilir. Yukardaki gözlem modelleri bilinmeyen parametreleri 3 boyutlu istasyon koordinatları, biri alıcı saat hatası, biri sistem zaman farkı, biri zenit ıslak troposferik gecikmesi ve gözlenmiş GPS/GLONASS uyduları sayısına eşit olan belirsizlik parametreleridir. Kuru troposferik gecikme hatası ilk olarak Hopfield troposferik modeli kullanılarak düzeltilir ve daha sonra ıslak zenit troposferik gecikmesi bilinmeyen olarak dikkate alınır. Niell Haritalama Fonksiyonları hidrostatik ve ıslak haritalama fonksiyonları olarak kullanılır [Cai, 2009].

5. WEB TABANLI PPP YAZILIMLARI

Günümüzde, online ve ücretsiz olarak PPP işleme servisleri, internet üzerinden kullanılabilir. Bunların çoğu üst sınıf üniversiteler/enstitüler ve dünya çapında lider araştırma merkezleridir. Bunlar, NASA'daki JPA (Jet Propulsion Administration), NRCAN'daki GSD (Jeodezik Ölçme Bölümü), UNB (New Brunswich Üniversitesi) ve GMV Aerospace and Defense (Havacılık ve Savunma) çalışma grupları gibi kurumlardır. Bu hizmetlerin kullanımı, internet üzerinden kullanıcı tarafından GNSS (RINEX) gözlemlerinin yüklenmesini öngörür. Verilerin kalitesine ve süresine bağlı olarak, kullanıcılar ücretsiz; farksız, float çözümler üretir [El- Mowafy, 2011], [Ghoddousi-Fard and Dare, 2006]. Aşağıda ana online PPP servisleri ve kullandıkları yazılımlar kısaca açıklanmıştır.

APPS (Otomatik Hassas Konumlama Servisi) JPL-NASA [Web 10, 2014], tarafından geliştirilen web tabanlı bir PPP servisidir. RINEX formatında girişleri destekleyen, statik ve kinematik GPS ölçümlerini işlemek için, 2.10 ve 2.11 GIPSY TDP tipinde dosyaları olan GIPSY-OASIS yazılımına dayanır.

GAPS, Kanadadaki New Brunswick Üniversitesi tarafından geliştirilen GPS konumlama ve analiz yazılımıdır. UNB web-sitesi [Web 11, 2014], tarafından online PPP servisi sağlar. Bu sistem ile ilgili detaylı bilgi [Leandro et al., 2008] bulunabilir.

MagicGNSS, GMV Havacılık ve Savunma tarafından GNSS veri işlemek için uygun araçları sağlayan web tabanlı bir uygulamadır. APPS ve GAPS servislerinin aksine 1 Ocak 2010'dan itibaren GLONASS gözlemlerini de işlemektedir [Piriz et al., 2009].

CSRS-PPP (KanadaMekansal Referans Sistemi-Hassas Nokta Konumlandırma), NRCAN-GSD (Kanada Doğal Kaynaklar Jeodezik Ölçüm Bölümü) tarafından geliştirilen ve yönetilen bir servistir. GSD web sayfası [Web 12, 2014], ile kullanılabilir. Bu çalışmamızda veri işleme, CSRS-PPP yazılımı ile yapılmıştır. Aşağıdaki bölümde bu servisle ilgili daha fazla detay verilmiştir.

5.1. Online Küresel GPS İşleme Servisi CSRS-PPP

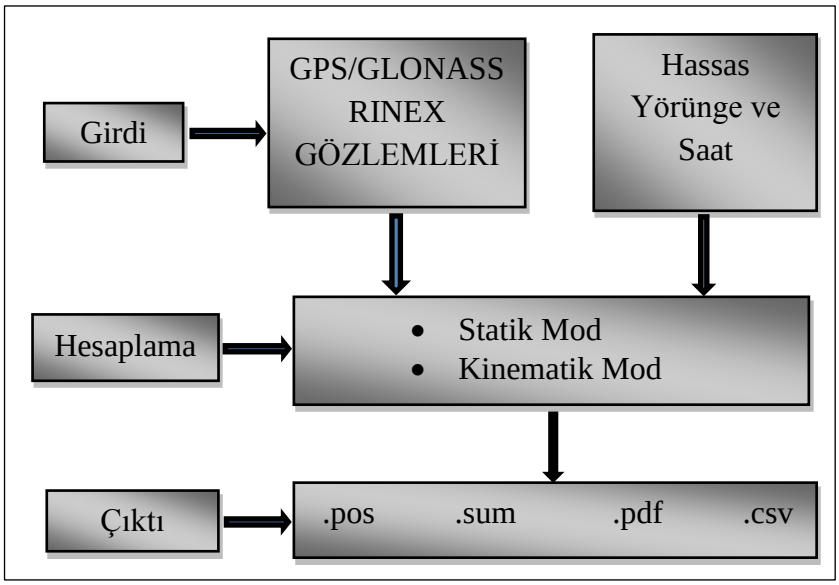
NRCAN, PPP tüm dünyadaki GPS kullanıcılarına kendi GPS ham gözlem verilerinden daha iyi konum doğruluğunu hesaplamak için olanak sağlayan ücretsiz

bir online post-processing (direk işleme) servisidir. PPP tek veya çift frekanslı alıcılardan ham GPS verilerini, statik veya kinematik modda işleyebilir. Ayrıca alıcı koordinatlarını elde etmek için hem statik hem de kinematik GNSS verilerini (GLONASS, 1650 haftasından başlayarak) işlemek için kullanılabilir.

CSRS PPP, ilk olarak 2003 yılında başlattığı IGS ürünlerine tamamen dayalı olmasına rağmen, şimdi IGS ve NRCAN (EMR) ürünlerinin karışımını kullanır. NRCAN ürünleri, IGS küresel izleme ağı verileri kullanarak hesaplanan, hızlı bir erişim sağlamak için 30 saniyelik GPS ve GLONASS uydu yörünge ve saat verilerine ihtiyaç duyar [Donahue et al., 2012]. Online olarak ham veriler gönderildikten sonra, kullanıcılar NAD83 veya ITRF referans sisteminde düzeltilmiş koordinatları e-posta yoluyla alırlar. CSRS-PPP kullanılan GPS gözlem oturumu için minimum uzunluk yoktur [El-Mowafy, 2009; 2011]. PPP de statik veya kinematik modda tahmini (kestirimi) yapılan parametreler, durum pozisyonları, istasyon saat durumları, lokal troposferik zenith gecikmeleri ve taşıyıcı faz belirsizlikleridir. En iyi konum çözümleri doğrulukları, GPS çift frekans mesafe (pseudarange) ve taşıyıcı faz gözlemleri-IGS hassas uydu yörüngesi ve saat ürünlerinden elde edilen, yatay koordinatlarda bir kaç santimetreye uzanan, RMS dikey koordinatlarda 10 santimetreden daha az olan doğruluklardır. NRCAN PPP ile tüm fiziksel olaylar için bunu kullanarak, doğru modeller elde edebilirsiniz. PPP algoritmaları, model ve teknik özellikleri hakkında daha fazla ayrıntı [Kouba and Héroux, 2001]'de bulunabilir. PPP, çıkışları (output) iki formda üretilir, hem kısa ve detaylı özet raporları ve grafiksel zaman serileri çizimleridir. CSRS-PPP özet raporu, üç bölümden oluşan bir başlıkta kaydedilir [Web 13, 2014].

- Bölüm 1, işleme sırasında kullanılan giriş, çıkış ve iç dosya adlarını belirten bir dosya özetidir.
- Bölüm 2, CSRS-PPP sitesinde merkezi tutulan, iç dosyalardan çıkarılan işleme parametreleridir. Raporda, (i) cycle slip (kayma döngüsü filtre eşikleri), (ii) uydu anten faz merkezi kayıklıkları, (iii) kullanıcı anteni faz merkezi kayıklığı, (vi) CSRS, ITRF ve NAD83 arasında dönüşüm parametreleri, referans çerçevesi, (v) okyanus yüklemesi katsayıları ve (vi) yüzey meteorolojik veriler bulunur.

- Bölüm 3, a) işleme seçenekleri b) gözlem oturumu c) koordinat tahminleri d) koordinat farkları e) alıcı saat tahminleri ve f) gözlem kalıntılarını raporlayan bir işleme oturum özetidir.

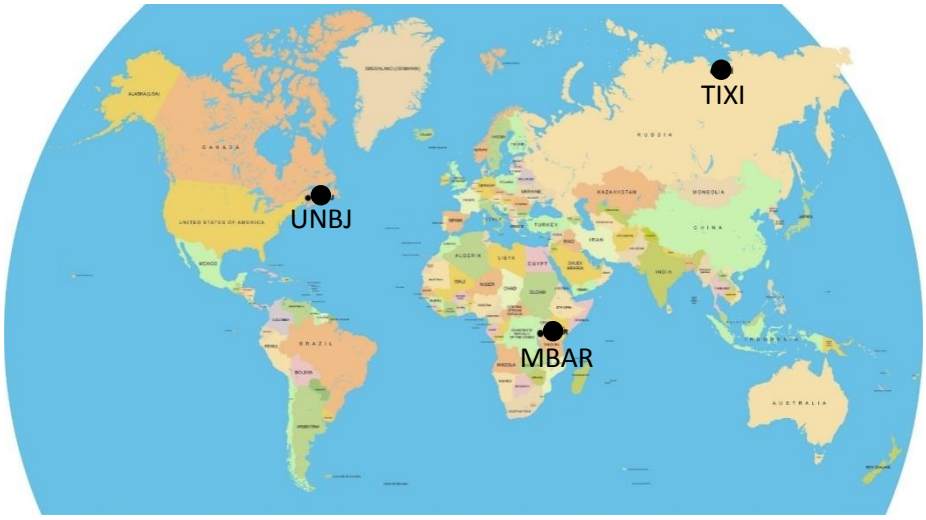


Şekil 5.1: CSRS-PPP çalışma prensibi.

6. UYGULAMA

6.1. Test Noktaları

Bu çalışmada, GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP yöntemlerinin konum duyarlıkları ve tekrar edilebilirliklerini test etmek ve karşılaştırmak amacıyla hem GPS hem de GLONASS verilerini toplayabilen GNSS alıcılarının bulunduğu IGS istasyonlarından MBAR, TIXI ve UNBJ noktaları seçilmiştir (Şekil 6.1). MBAR ve UNBJ noktalarına ait GNSS alıcı görüntüleri Şekil 6.2' de gösterilmiştir.



Şekil 6.1: Çalışmada kullanılan IGS istasyonları.

Bu noktalardan TIXI noktası yüksek enlemde ve kuzey kutbuna yakın, UNBJ noktası orta enlemde ve MBAR noktası düşük enlemde ve ekvatora yakındır. Bu noktaların yüksek, orta ve düşük enlemlerde seçilmesinin temel sebebi farklı uydu dağılımına sahip veri gruplarının incelenmesidir. Böylece, GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP yöntemlerinin farklı enlemlerdeki konum belirleme duyarlığı farklı uydu sayısı ve dağılımı kullanılarak test edilebilecektir. Uygulamada kullanılan IGS noktalarına ilişkin temel bilgiler Tablo 6.1' de görülebilir [Web 14, 2014]. Ayrıca Tablo 6.2' de noktaların yaklaşık coğrafi koordinatları da verilmiştir [Web 15, 2014].

Tablo 6.1:Uygulamada kullanılan IGS noktalarına ilişkin temel bilgiler.

IGS Noktaları	Bulunduğu Ülke/Şehir	Alıcı Tipi	Uydu Sistemi	Anten Tipi	Anıt Tipi
MBAR	Uganda/ Mbarara	JAVAD TRE_G3TH DELTA	GPS/ GLONASS	ASH70194B_M_SCIS	BETON DİREK
TIXI	Rusya/ Tixi	JPS EGGDT	GPS/ GLONASS	TPSCR3_GGD NONE	ÇELİK ÇUBUK
UNBJ	Kanada/News Brunswick	TPS LEGACY	GPS/ GLONASS	TRM5797100 NONE	ANTEN DİREĞİ

Tablo 6.2: IGS noktalarının yaklaşık konumları.

	λ°	**Φ°**	**h (m)**
MBAR	30.7379	-0.6015	1337.6533
TIXI	128.8664	71.6345	46.9847
UNBJ	293.3583	45.9502	22.7500



a) b)

Şekil 6.2: a) MBAR ve b) UNBJ noktalarına ait GNSS alıcıları görüntüleri.

Çalışmada, 04/05/2013 (95'inci GPS günü) tarihinden 05/04/2013 (124'üncü GPS günü) tarihine kadar toplam 30 günlük bir veri seti incelenmiştir (Tablo 6.3). Bu tarih aralığının seçilmesinin temel nedeni her üç istasyon içinde 30 gün boyunca RINEX verisi doluluk oranlarının yaklaşık %100 olmasıdır. Buradaki temel hedefimiz, dünya üzerinde farklı bölgelerde bulunan veri setlerinin aynı şartlar altına olması ve böylelikle farklı bölgelerdeki noktalarında duyarlıklarının istatistiksel açıdan karşılaştırılabilmesidir.

Tablo 6.3: Ölçü aralığı başlangıç ve bitiş tarihleri.

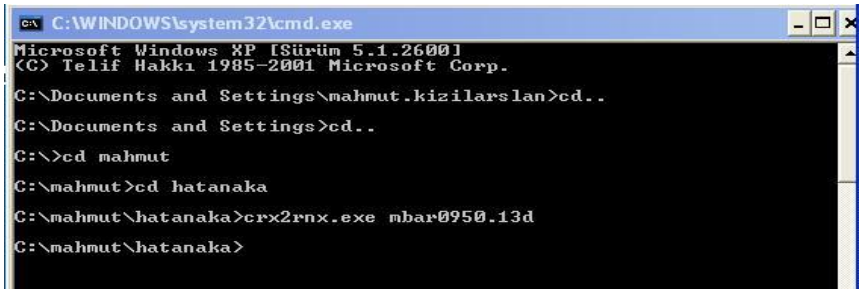
Ölçü Aralığı	Tarih	GPS Haftası	Yılın Günü
Başlangıç	04/05/2013	1734	2013-095
Bitiş	05/04/2013	1738	2013-124

6.2. Verilerin Düzenlenmesi ve Ön-hazırlık işlemleri

Çalışmada belirlenen zaman dilimine ilişkin GNSS verileri [Web 16, 2014], web sitesinden indirilmiştir. Çalışmada GPS ve GPS/GLONASS ölçülerinin PPP yöntemi ile elde edilen konum belirleme duyarlıklarına etkisini daha iyi görebilmek için 24 saatlik RINEX verileri 1, 2, 3, 4, 8, 12 saatlik zaman dilimlerine bölünmüştür. Tablo 6.4 günlük RINEX verisinin nasıl bir strateji izlenerek bölündüğünü özetlemektedir. Tablodan görüldüğü üzere, her bir nokta için, 1 er saatlik 24 oturum, 2 şer saatlik 12 oturum, 3 er saatlik 8 oturum, 4 er saatlik 6 oturum, 8 er saatlik 3 oturum 12 şer saatlik 2 oturum olmak üzere toplam 55 oturum RINEX gözlem dosyası elde edilmiş oldu. Bu işlem her üç nokta için 30 gün boyunca ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

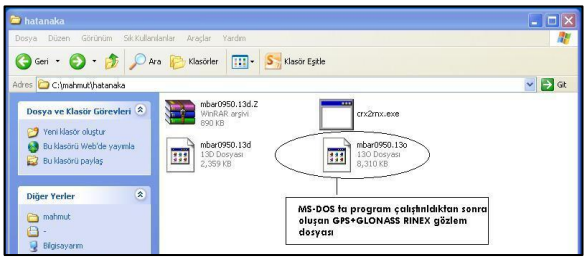
Tablo 6.4: Proses edilmiş RINEX gözlem dosyası zaman dilimleri.

Saat	RINEX Dosyası Gözlem Süresi																							
24	0-24																							
12	0-12												12-24											
8	0-8								8-16								16-24							
4	0-4				4-8				8-12				12-16				16-20				20-24			
3	0-3				3-6				6-9				9-12				12-15				15-18			
2	0-2		2-4		4-6		6-8		8-10		10-12		12-14		14-16		16-18		18-20		20-22		22-24	
1	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24



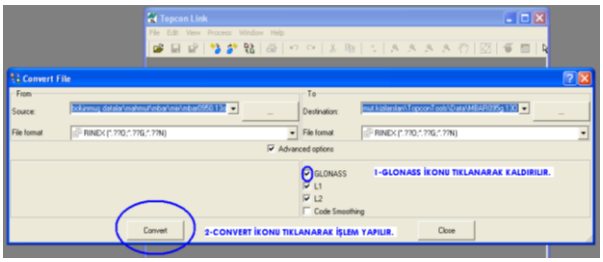
Şekil 6.3: MS DOS programında crx2rnx.exe programının çalıştırılması.

SOPAC'dan indirilen veriler hatanaka formatındadır. Bu yüzden bu veri formatı öncelikle yine SOPAC tarafından sağlanan 'crx2rnx.exe' programı yardımıyla RINEX veri formatına dönüştürülmüştür (Şekil 6.3 ve 6.4).



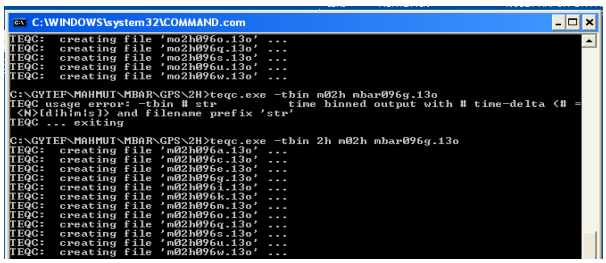
Şekil 6.4: Hatanaka formatından RINEX formatına dönüşüm.

RINEX formatına dönüştürülen veriler hem GPS hem de GLONASS ölçülerini içerdiği için sadece GPS verilerini içeren RINEX dosyaları TOPCON Link yazılımı kullanılarak ayıklanmıştır (Şekil 6.5).



Şekil 6.5: TOPCON LINK ile RINEX'den GLONASS uydularının ayrıklaştırılması.

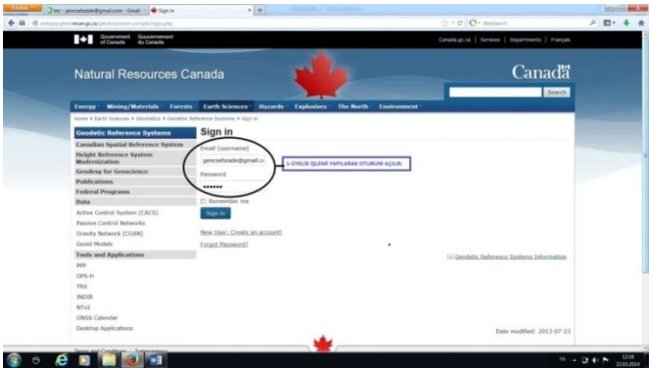
24 saatlik GPS RINEX ve GPS/GLONASS RINEX dosyalarından 1, 2, 3, 4, 8, 12 saatlik dosyalar 'teqc.exe' programı kullanılarak üretilmiştir. Bu işlem her bir noktada 30 günlük veriler için ayrı ayrı yapılmıştır. Şekil 6.6, bu işlemin gerçekleştirilmesi sırasındaki bir ekran görüntüsünü göstermektedir.



Şekil 6.6: " teqc.exe programı ile RINEX verilerin istenen saatlere ayrılması işlemi.

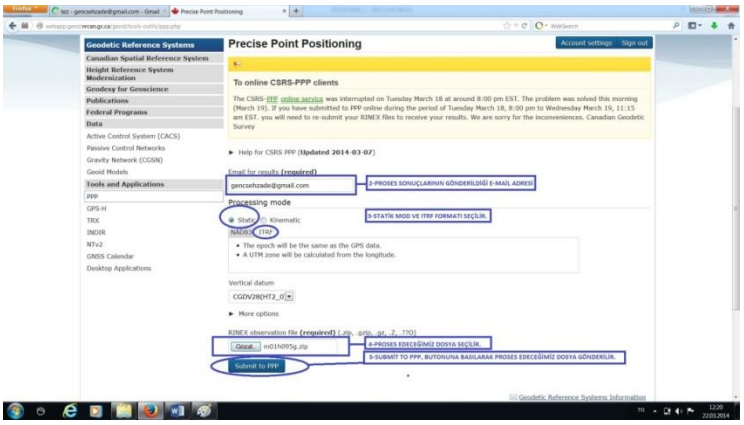
6.3. Verilerin CSRS-PPP ile proses edilmesi

Her üç noktaya ait RINEX veri setleri hazırladıktan sonra verilerin proses etme işlemine geçilmiştir. Veriler NRCAN tarafından kayıtlı kullanıcılara sunulan CSRS-PPP web-tabanlı online yazılımı kullanılarak proses edilmiştir (Şekil 6.7).



Şekil 6.7: CSRS-PPP kullanıcı girişi sayfası.

CSRS-PPP, kullanıcılarına GNSS ham gözlem verilerini, yüksek doğrulukta hesaplamaya olanak sağlayan online bir uygulamadır. Kullanıcılar, statik veya kinematik modda çalışan tek veya çift frekanslı alıcılardan alınmış olan RINEX gözlem verilerini, internet üzerinden göndererek ITRF koordinat sisteminde konum bilgilerini elde edebilirler. Şekil 6.8'de CSRS-PPP' ye RINEX verilerin yüklenmesi ve prosess seçeneklerini, Şekil 6.9'da prosess sonrası gönderilen ".sum" uzantılı dosyanın ITRF sonuç koordinatları bölümünü göstermektedir.



Şekil 6.8: CSRS-PPP' ye RINEX verilerin yüklenmesi ve prosess seçenekleri.

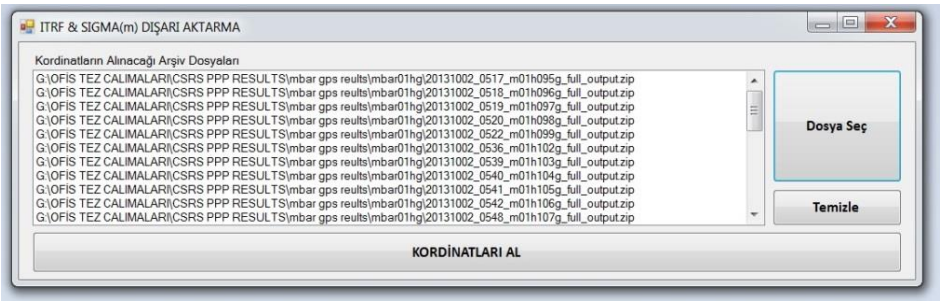
```
      Pseudorange residuals          (m)   :      0.96  GPS
      Carrier phase residuals        (cm)  :      0.82  GPS

3.3 Coordinate estimates (Epoch: 2010)
 CARTESIAN            NAD83(CSRS )      ITRF (IGS05)   95% Sigma(m)
NAD-ITR(m)
          X (m)        4303475.7268      4303474.5576      0.1125
1.1692
          Y (m)        2791013.7538      2791015.4015      0.1582
-1.6477
          Z (m)        3779432.5112      3779433.4415      0.1007
-0.9303

 SIGMA/CORRELATIONS
```

Şekil 6.9: ".sum" uzantılı dosyanın ITRF sonuç koordinatları bölümü.

Tez çalışmasında birçok prosesin yapılması, her bir prosess sonuçlarının ".sum" uzantılı dosyadan alınıp koordinat bilgilerinin günlere ve saatlere göre ayrı ayrı tasnif edilmesi, ilgili dosyalardan sonuç koordinatlar alınırken oluşabilecek hataların önüne geçilmesi, karşılaştırmanın kolay ve hızlı yapılabilmesi amacıyla 'visual-basic' dilinde bir ara program yazılmıştır (Şekil 6.10). Program CSRS-PPP tarafından gönderilen 'zip' sonuç dosyalarından ".sum" uzantılı dosyayı alıp onun içerisinden ITRF(IGS05) Kartezyen koordinat ve standart sapmalarını otomatik olarak alıp bir excell dosyası içerisine sırasıyla yazdırmaktadır. Hazırlanan bu ara program sayesinde her üç nokta için, bütün veri setlerinin sonuçları excell dosyasında özetlendi ve organize edildi.



Şekil 6.10:Visual Basic dilinde hazırlanmış programın ekran görüntüsü.

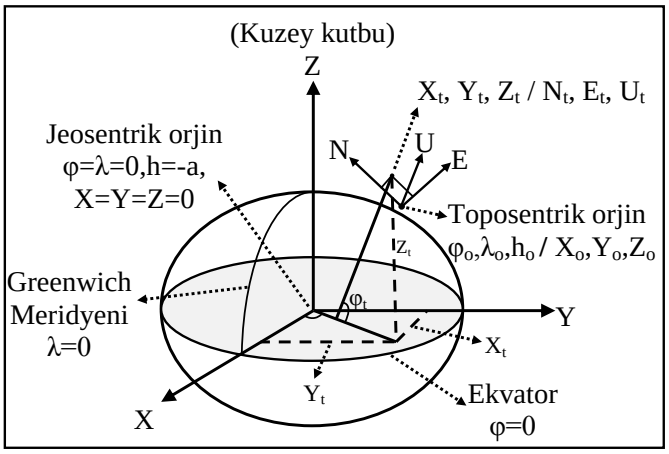
Elde edilen koordinatların doğruluğu ve tekrar edilebilirliklerinin değerlendirilmesi için GPS/GLONASS çözümünden, her üç noktaya ait 30 gün boyunca elde edilen günlük koordinatlarının aritmetik ortalaması elde edilmiş ve bu koordinatlar kesin koordinatlar olarak alınmıştır.

Hesaplanan kesin koordinatlar ve her bir ölçü süresine ait elde edilen koordinatlar kullanılarak X, Y, Z yer merkezli Kartezyen sistemden Doğu (e), Kuzey (n), Yukarı

(u) bileşenleri ile ifade edilen toposentrik kartezyen sistemine aşağıdaki bağıntılarla dönüşüm gerçekleştirilir.

$$\begin{bmatrix} e_t \\ n_t \\ u_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin(\lambda_0) & \cos(\lambda_0) & 0 \\ -\sin(\varphi_0)\cos(\lambda_0) & -\sin(\varphi_0)\sin(\lambda_0) & \cos(\varphi_0) \\ \cos(\varphi_0)\cos(\lambda_0) & \cos(\varphi_0)\sin(\lambda_0) & \sin(\varphi_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_t - X_0 \\ Y_t - Y_0 \\ Z_t - Z_0 \end{bmatrix} \tag{6.1}$$

Burada X_0, Y_0, Z_0 noktanın hesaplanan yer-merkezli(jeosentrik) kartezyen koordinatlarını, φ_0, λ_0 noktanın X_0, Y_0, Z_0 jeosentrik kartezyen koordinatları kullanılarak hesaplanan coğrafi koordinatlarını, X_t, Y_t, Z_t , t zamanındaki jeosentrik kartezyen koordinatlarını, e_t, n_t, u_t ise noktanın toposentrik kartezyen koordinatlarını göstermektedir (Şekil 6.11). Bu çalışmada, toposentrik sistemin orjini noktanın yer-merkezli kesin koordinatları seçildiği için toposentrik sisteme dönüştürülmüş koordinatlar t zamanındaki koordinat hatasına karşılık gelmektedir.



Şekil 6.11: Jeosentrik ve toposentrik koordinat sistemleri.

Her bir noktaya ait ölçü sürelerinin ayrı ayrı değerlendirilebilmeleri ve GPS ile GPS/GLONASS çözümlerinin karşılaştırılabilmesi için aşağıdaki hesaplama işlem adımları benimsenmiştir.

Örneğin bir saatlik ölçü süreleri göz önüne alınırsa; her hangi bir güne ait hataların ortalaması,

$$
\begin{aligned}
e_{ort}^{g} &= \frac{\sum_{i=1}^{k} e_i^g}{k}, i = (1, \dots, k) \ , \ g = (1, \dots, 30) \\
n_{ort}^{g} &= \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i^g}{k}, i = (1, \dots, k) \ , \ g = (1, \dots, 30) \\
u_{ort}^{g} &= \frac{\sum_{i=1}^{k} u_i^g}{k} \ \ i = (1, \dots, k) \ , \ g = (1, \dots, 30)
\end{aligned}
\tag{6.2}
$$

ve standart sapmaları,

$$
\begin{aligned}
S_{e_{ort}^{g}} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k} (e_i^g - e_{ort}^g)^2}{k-1}}, i = (1, \dots, k) \ , \ g = (1, \dots, 30) \\
S_{n_{ort}^{g}} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k} (n_i^g - n_{ort}^g)^2}{k-1}}, i = (1, \dots, k) \ , \ g = (1, \dots, 30) \\
S_{u_{ort}^{g}} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k} (u_i^g - u_{ort}^g)^2}{k-1}} \ , i = (1, \dots, k) \ , \ g = (1, \dots, 30)
\end{aligned}
\tag{6.3}
$$

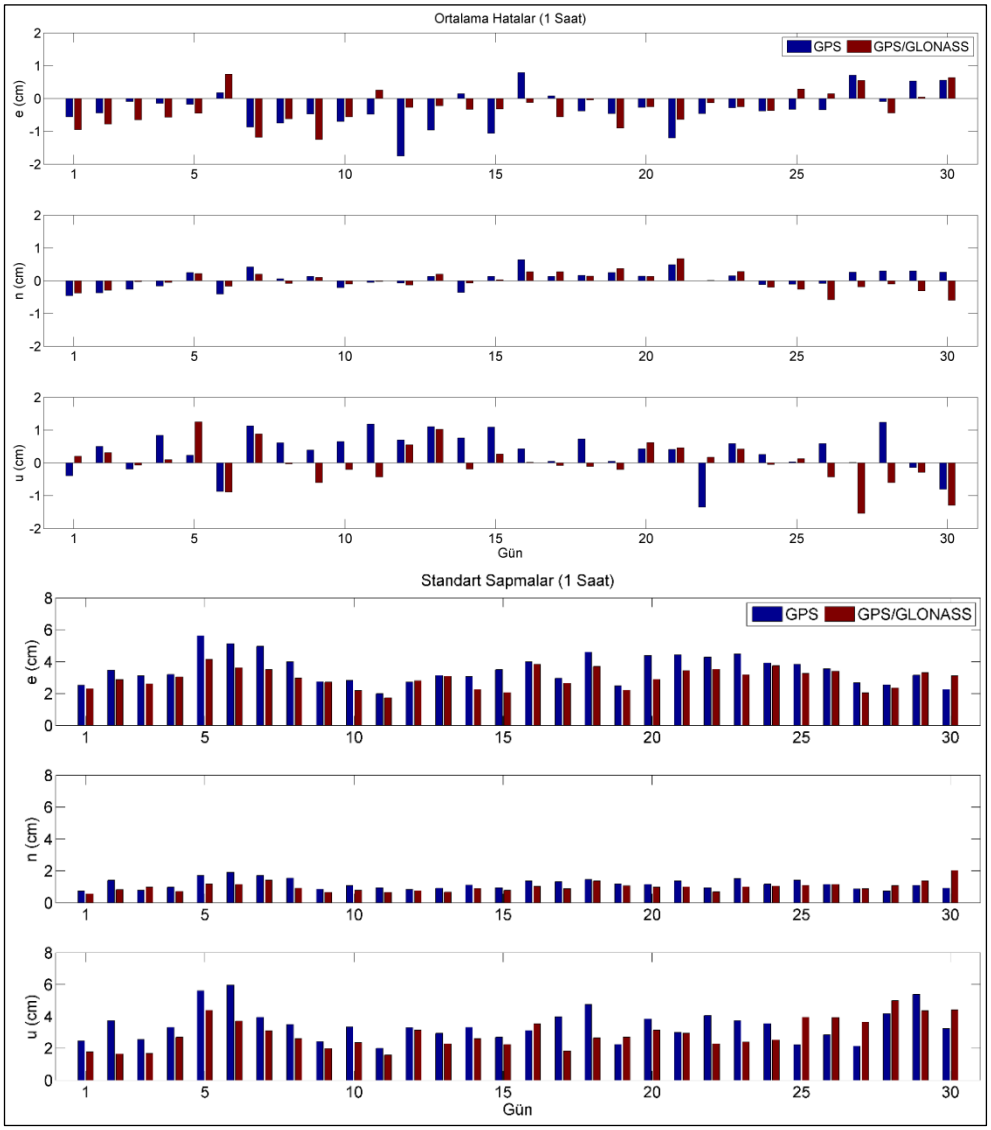
şeklinde hesaplanır. Burada, 'g' gün sayısını, 'i' ölçü süresinin 1 gün içerisindeki segment numarasını, 'k' ise ölçü süresinin 1 gün içerisindeki toplam segment sayısını göstermektedir. Örneğin 1 saatlik ölçü süresinin 'k' değeri 24 iken, 4 saatlik ölçü süresinin 'k' değeri 6 ya karşılık gelir.

6.4. Uygulama Sonuçları

6.4.1. Bir (1) Saatlik Veri Sonuçları

MBAR noktasına ait 1 saatlik verilerden elde edilen hataların ortalaması hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünde e bileşeni genellikle +1 ile -1 cm aralığında değerler almıştır. Yalnızca GPS' li çözümde 12' inci güne ait hatanın 2 cm ye yaklaştığı görülebilir. Yatay bileşen (n), incelendiğinde hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünde hataların ortalaması genellikle + 0,5 ile - 0,5 cm aralığında değerler almıştır. Yükseklik bileşeni olan (u) bileşenine ait hataların ortalama ise her iki durumda da genellikle + 1 ile – 1 cm aralığında değerler almıştır.

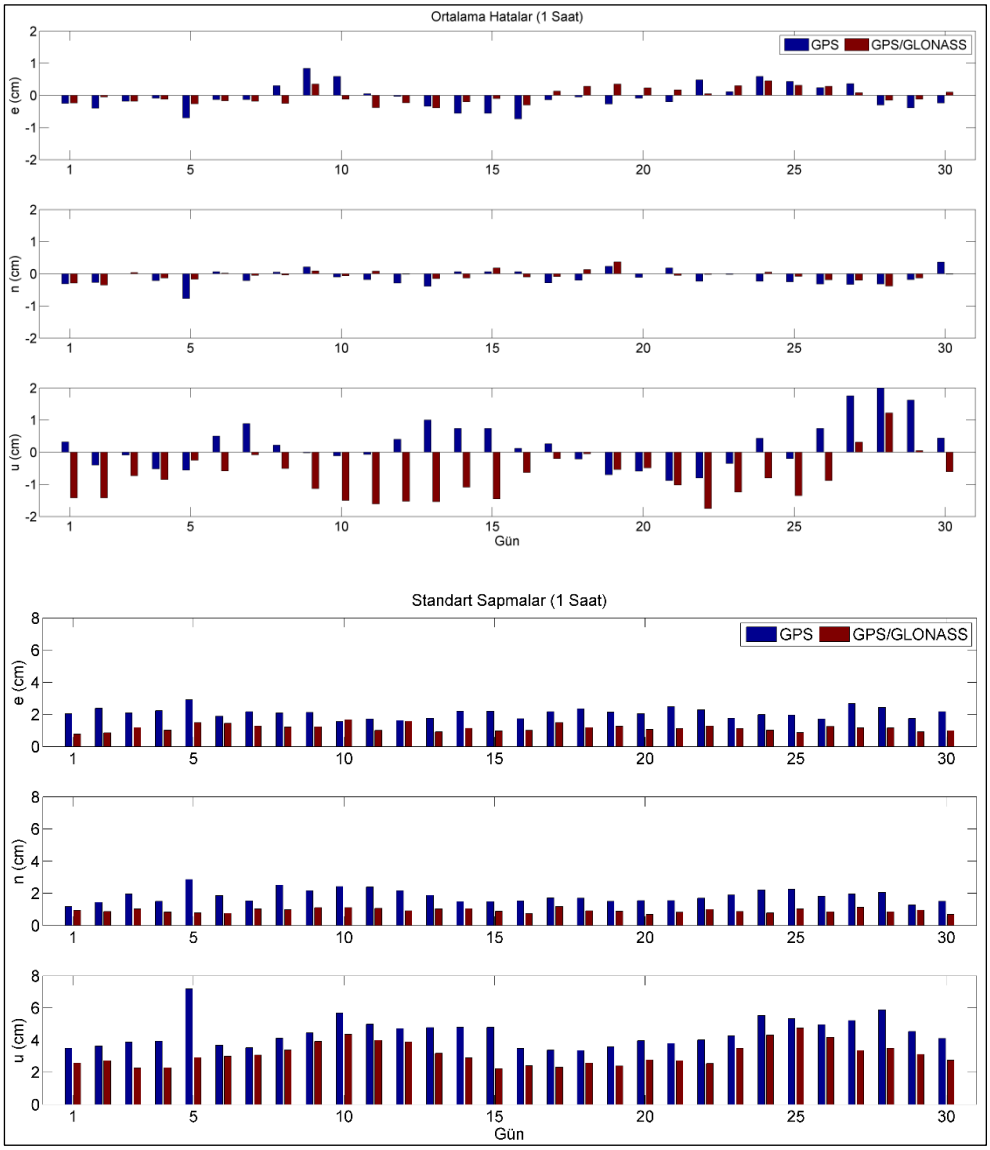
Her üç bileşenin ortalama dağılımları birbiriyle kıyaslandığında n bileşeninin e ve u bileşenlerine göre daha küçük değerler gösterdiği açıkça görülebilir.



Şekil 6.12: MBAR noktası 1 saatlik konum hataları ve standart sapmaları.

MBAR noktasına ait 1 saatlik standart sapmalar incelendiğinde e bileşenin GPS çözümünde ±2,5 cm ile ±6 cm arasında olduğu GLONASS ölçülerinin eklenmesiyle bu değerlerin biraz daha iyileştiği ve 2 cm ile 4 cm arasında olduğu görülür. Yatay bileşen olan n bileşeni incelendiğinde GPS ve GPS/GLONASS çözümünün genellikle aynı standart sapmalar verdiği ve genellikle 0,5 cm ile 1,5 cm arasında olduğu görülebilir. u bileşeni incelendiğinde, GPS çözümünde standart sapmaların e bileşenine benzer şekilde ±2,5 cm ile ±6 cm arasında değiştiği, GPS/GLONASS çözümünün de bu değerlerin ±2 cm ile ±5 cm aralığında değiştiği

görülebilir. Her üç bileşenin tekrar edilebilirlikleri kıyaslandığında n değeri için en iyi, u bileşenin de e bileşeninden çok az bir farkla daha iyi olduğu anlaşılır.

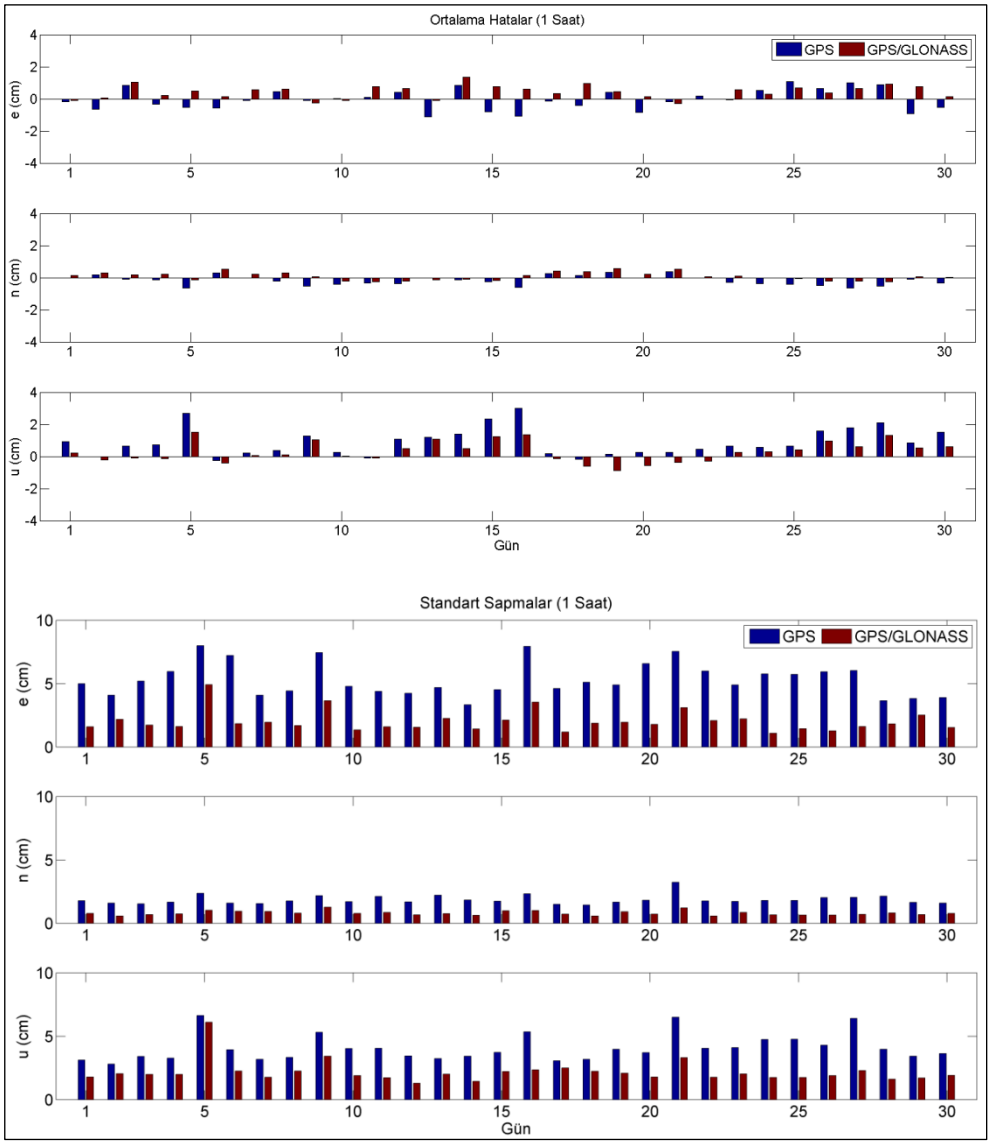


Şekil 6.13: TIXI noktası 1 saatlik konum hataları ve standart sapmaları.

TIXI noktasına ait 1 saatlik verilerden elde edilen hataların ortalaması incelendiğinde, hem GPS hemde GPS/GLONASS çözümünde e ve n yatay bileşenlerin sırasıyla +1 ile -1 cm ve + 0,5 ile - 0,5 cm aralığında dağılım gösterdiği açıkça görülebilir. u bileşeni incelendiğinde GPS çözümünde hataların ortalaması +2 ile -1 cm arasında dalgalandığı, fakat GPS/GLONASS çözümünün, 28. gün hariç, genellikle 0 ile -1,5 cm arasında dalgalandığı görülebilir.

TİXİ Noktasına ait 1 saatlik standart sapmalar incelendiğinde, e bileşenin GPS çözümüne ait standart sapmaları ortalama ±2 cm iken GPS/GLONASS çözümünde

bu yaklaşık ±1 cm civarındadır. n bileşeninde de benzer durum söz konusudur. Fakat dikkat edilirse n bileşeninin standart sapmaları her iki çözüm içinde e bileşenine göre biraz daha iyidir. u bileşenin de ise, e ve n bileşenine benzer şekilde GPS/GLONASS çözümü yalnızca GPS çözümüne göre daha küçük standart sapma değerlerine sahiptir. Şekilden de görüldüğü gibi, GPS çözümünde standart sapmalar ±4 cm ile ±6 cm arasında dalgalanırken, GPS/GLONASS çözümünde ±2 cm ile ±5 cm arasında dalgalanmaktadır.



Şekil 6.14: UNBJ noktası 1 saatlik konum hataları ve standart sapmaları.

UNBJ noktasına ait 1 saatlik verilerden elde edilen hataların ortalaması hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünde e bileşeni genellikle +1 ile -1 cm aralığında değerler almıştır. n bileşeni incelendiğin de hem GPS hem de

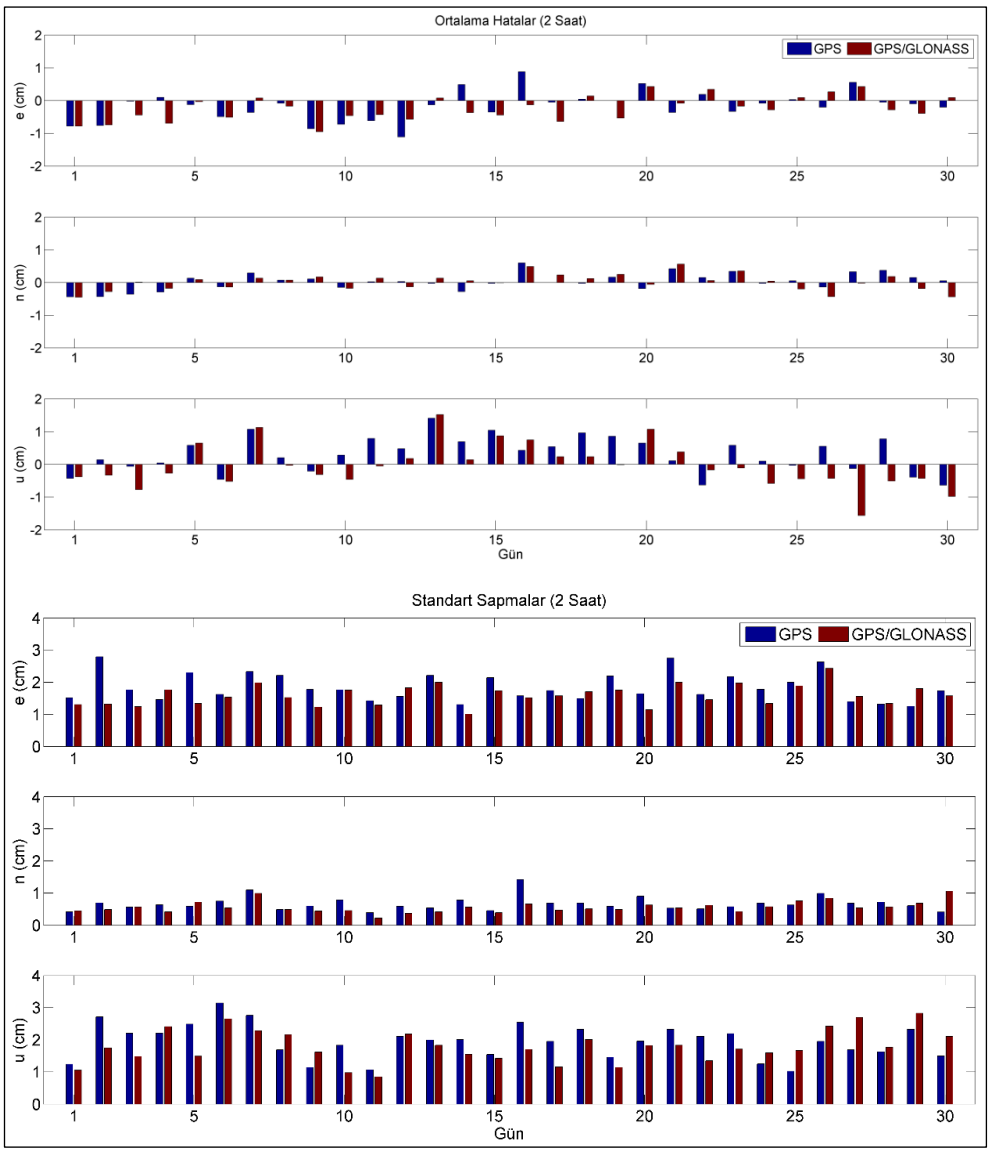
GPS/GLONASS çözümünde hataların ortalaması genellikle +0,5 ile -0,5 cm aralığında değerler almıştır. u bileşenine ait hataların ortalama ise, GPS çözümünde genellikle 0 ile + 2 cm arasında olup, GPSGLONASS çözümünde +1 cm ile -0,5 cm arasındadır.

UNBJ noktasına ait 1 saatlik standart sapmalar incelendiğinde e bileşenin GPS çözümünde ±4 cm ile ±8 cm arasında olduğu GLONASS ölçülerinin eklenmesiyle bu değerlerin iyileştiği ve ±1 cm ile ±5 cm arasında olduğu görülür. n bileşeni incelendiğinde GPS çözümünün ±1 cm ile ±2,5 cm arasında olduğu GPS/GLONASS çözümünün ±0,5 cm ile ±1 cm aralığında olduğu görülebilir. u bileşeni incelendiğinde, GPS çözümünde standart sapmaların e bileşenine benzer şekilde ±3 cm ile ±7 cm arasında değiştiği, GPS/GLONASS çözümünün de bu değerlerin 5. gün hariç ±1,5 cm ile ±3 cm aralığında değiştiği görülebilir. Her üç bileşenin tekrar edilebilirlikleri kıyaslandığında n değeri için en iyi, u bileşenin de e bileşeninden çok az bir farkla daha iyi olduğu anlaşılır ve GLONASS ölçülerinin eklenmesiyle anlamlı iyileşmelerin olduğu açıkça görülebilir.

6.4.2. İki (2) Saatlik Veri Sonuçları

MBAR noktasına ait 2 saatlik verilerden elde edilen hataların ortalaması hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünde e bileşeni genellikle +1 ile -1 cm aralığında değerler almıştır. n bileşeni ise genellikle +0,5 ile -0,5 cm aralığındadır. u bileşenine ait hataların ortalama ise, her iki çözümünde +1,5 ile -1,5 cm aralığında değerler aldığı açıkça görülebilir.

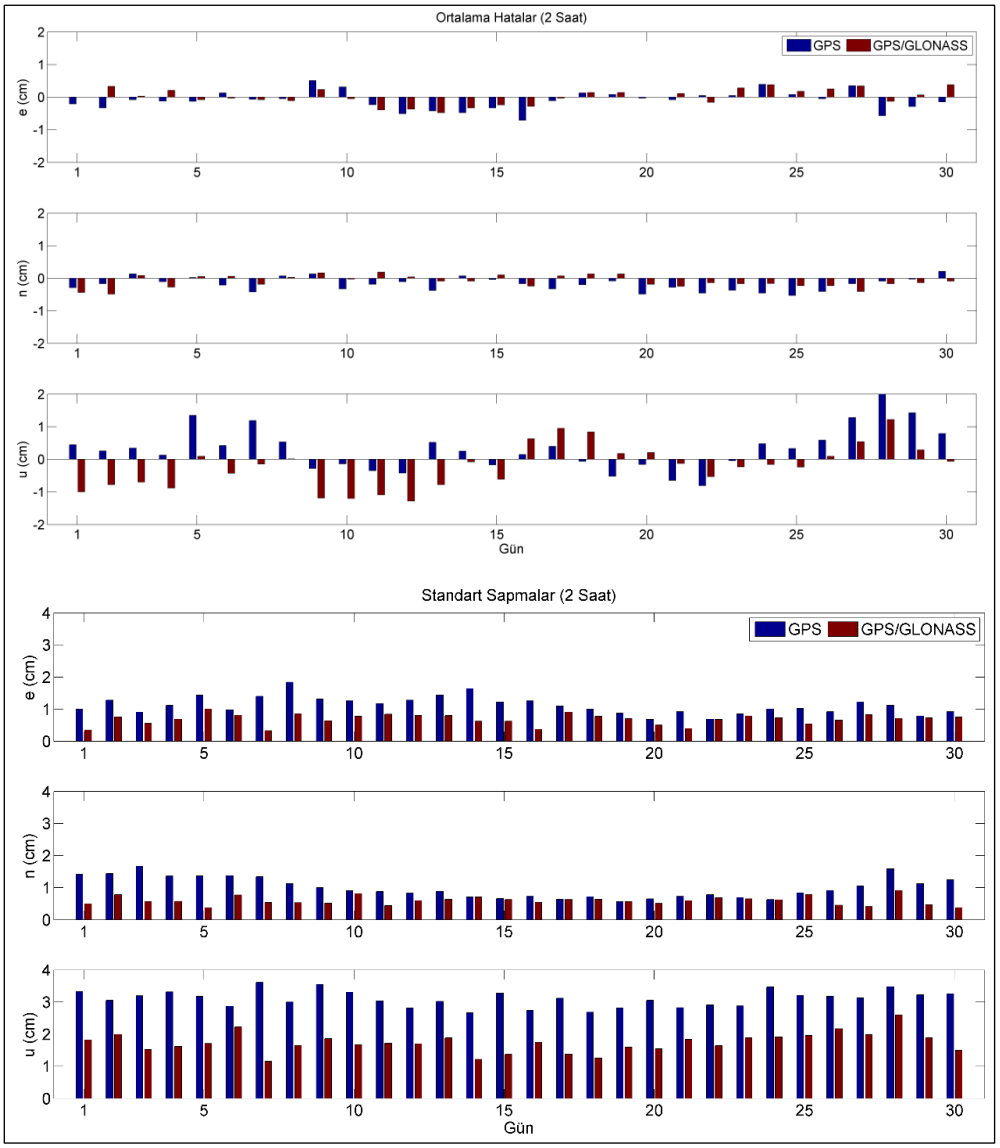
MBAR noktasına ait 2 saatlik standart sapmalar incelendiğinde e bileşenin GPS çözümünde ±1,5 cm ile ±3 cm arasında olduğu GLONASS ölçülerinin eklenmesiyle bu değerlerin biraz daha iyileştiği ve özellikle 2., 5. ve 21. günlerde bu iyileşmenin belirgin olduğu açıkça görülebilir. n bileşeni incelendiğinde GPS ve GPS/GLONASS çözümünün genellikle aynı standart sapmalar verdiği, diğer günlere nazaran 16. ve 30. günde iki çözüm arasında tekrar edilebilirliğin farklı olduğu görülebilir. u bileşeni incelendiğinde 6., 16. ve 20. günler hariç her iki çözümünde tekrar edilebilirliklerinin benzer olduğu söylenebilir.



Şekil 6.15: MBAR noktası 2 saatlik konum hataları ve standart sapmaları.

TIXI noktasına ait 2 saatlik verilerden elde edilen hataların ortalaması incelendiğinde, hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünde e ve n yatay bileşenlerin +0,5 ile -0,5 cm aralığında dağılım gösterdiği açıkça görülebilir. u bileşeni incelendiğinde her iki çözümünde +1 ile -1 cm arasında dalgalandığı ve aralarında 1,5 cm ye yakın farkların olduğu görülebilir.

TIXI noktasına ait 2 saatlik standart sapmalar incelendiğinde, her üç bileşende de GLONASS ölçülerinin dahil edilmesi tekrar edilebilirliği iyileştirdiği açıkça görülebilir. Bu durum özellikle u bileşeninde daha da hissedilir biçimdedir. Şekilden de görüldüğü üzere, u bileşeninde tekrar edilebilirlik GPS çözümünde ortalama ± 3 cm iken GPS/GLONASS çözümünde ortalama ±1,5 cm dir.

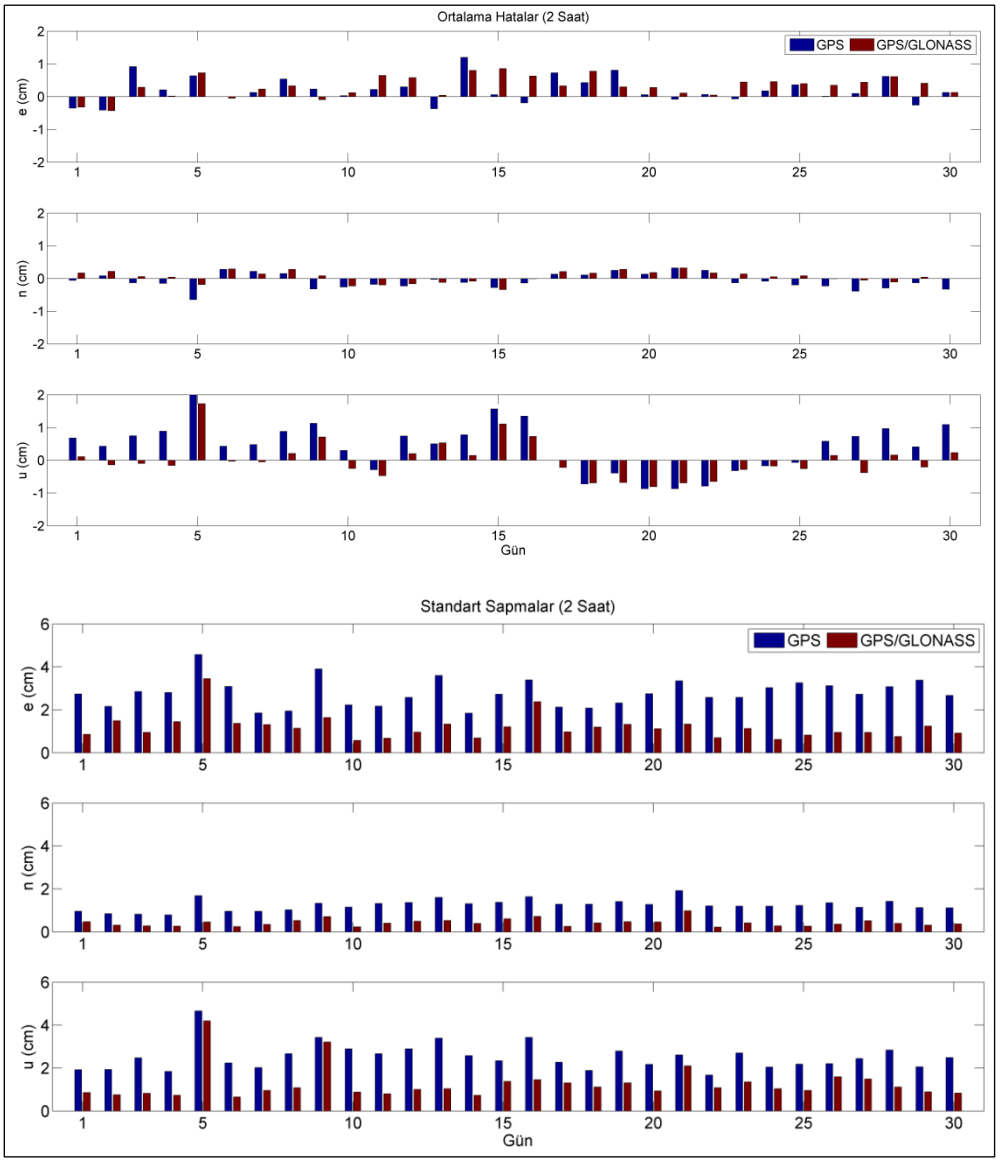


Şekil 6.16: TIXI noktası 2 saatlik konum hataları ve standart sapmaları.

UNBJ noktasına ait 2 saatlik verilerden elde edilen hataların ortalaması hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünde e bileşeni genellikle +1 ile -1 cm aralığında değerler almıştır. n bileşeni incelendiğinde hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünde hataların ortalaması genellikle +0,4 ile -0,4 cm aralığında değerler almıştır. u bileşenine ait hataların ortalama ise, 5. gün hariç, +1 ile -1 cm arasındadır.

UNBJ noktasına ait 2 saatlik standart sapmalar incelendiğinde e bileşenin GPS çözümünde ±2 cm ile ±4 cm arasında olduğu GLONASS ölçülerinin eklenmesiyle bu değerlerin iyileştiği ve ±1 cm ile ±3 cm arasında olduğu görülür. n bileşeni incelendiğinde GPS çözümünün ±1 cm ile ±2 cm arasında olduğu GPS/GLONASS çözümünün ±0,4 cm ile ±1 cm aralığında olduğu görülebilir. u bileşeni

incelendiğinde, GPS çözümünde standart sapmaların ±2 cm ile ±5 cm arasında değiştiği, GPS/GLONASS çözümünün de bu değerlerin ±1 cm ile ±4 cm aralığında değiştiği görülebilir. Her üç bileşenin tekrar edilebilirlikleri GLONASS ölçülerinin dahil edilmesiyle daha da iyileşmiştir.

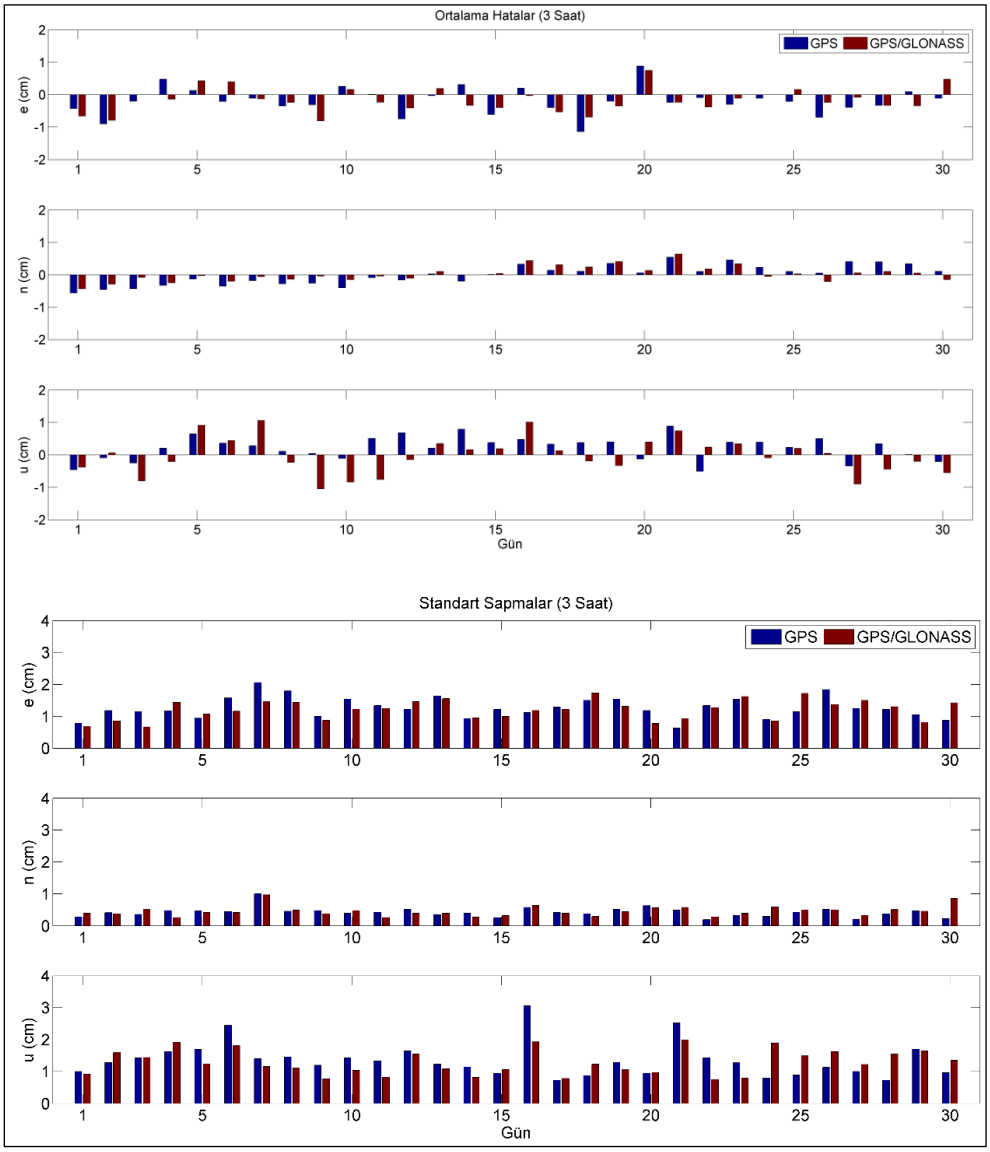


Şekil 6.17: UNBJ noktası 2 saatlik konum hataları ve standart sapmaları.

6.4.3. Üç (3) Saatlik Veri Sonuçları

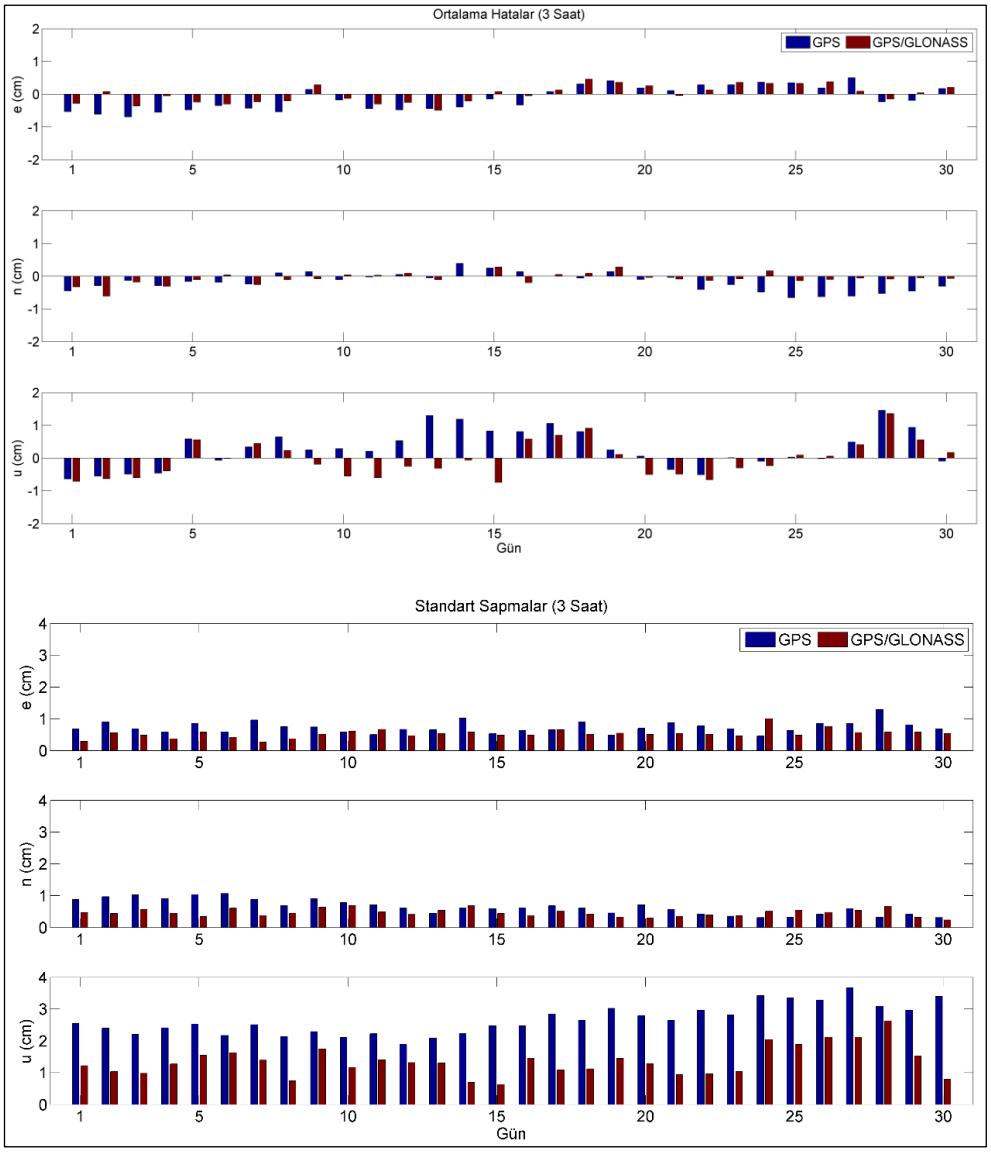
MBAR noktasına ait 3 saatlik verilerden elde edilen hataların ortalaması hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünde e bileşeni genellikle +1 ile -1 cm aralığında değerler almıştır. n bileşeni ise genellikle +0,5 ile -0,5 cm aralığındadır. u

bileşenine ait hataların ortalama ise, her iki çözümünde +1 ile -1 cm aralığında değerler aldığı açıkça görülebilir.



Şekil 6.18: MBAR noktası 3 saatlik konum hataları ve standart sapmaları.

MBAR noktasına ait 3 saatlik standart sapmalar incelendiğinde e bileşenin GPS çözümünde ±0,5 cm ile ±2 cm arasında iken GPS/GLONASS çözümünde ±0,5 cm ile ± 1,5 cm arasındadır. n bileşeni incelendiğinde, 30. gün hariç, GPS ve GPS/GLONASS çözümünün genellikle aynı standart sapmalar verdiği ve standart sapmaların ± 0,5 cm civarında değerler aldığı görülebilir. u bileşeni incelendiğinde, 6., 16., 21., 24., 25. ve 28 günler hariç her iki çözümünde tekrar edilebilirliklerinin benzer olduğu ve ±1 cm ile ±2 cm arasında olduğu görülebilir.

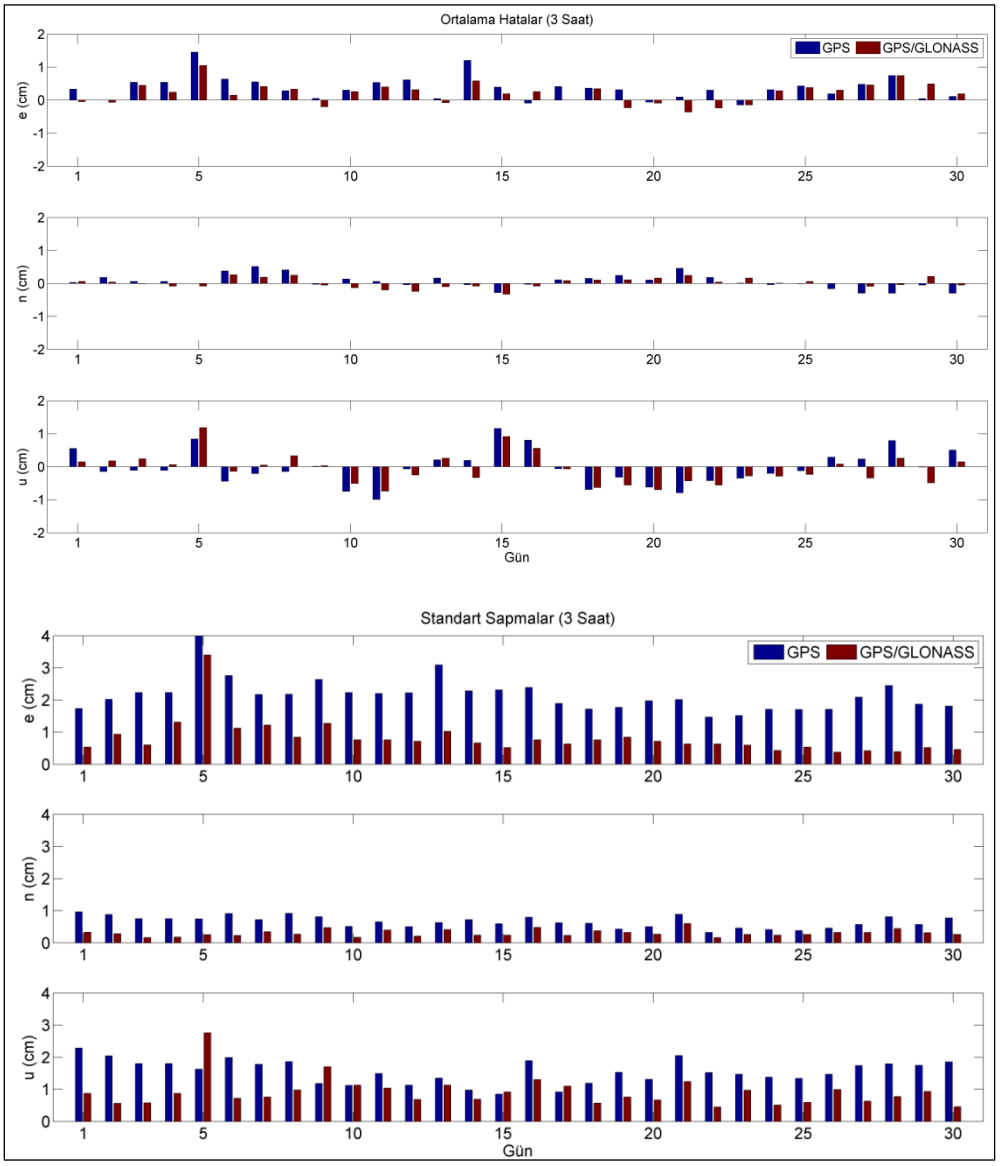


Şekil 6.19: TIXI noktası 3 saatlik konum hataları ve standart sapmaları.

TIXI noktasına ait 3 saatlik verilerden elde edilen hataların ortalaması incelendiğinde, hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünde e ve n yatay bileşenlerin +0,5 ile -0,5 cm aralığında dağılım gösterdiği görülebilir. u bileşeni incelendiğinde her iki çözümünde yaklaşık +1 ile -1 cm arasında dalgalandığı ve aralarında bazı günlerde 1,5 cm ye yakın farkların olduğu görülebilir.

TIXI noktasına ait 3 saatlik standart sapmalar incelendiğinde e ve n bileşenin hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünün tekrar edilebilirlikleri genellikle benzer olup ±0,3 cm ile ±1 cm arasında olduğu görülebilir. u bileşeninde ise GPS/GLONASS çözümünün GPS çözümünden daha iyi olduğu ve böylelikle GLONASS ölçülerinin dahil edilmesinin tekrar edilebilirliği anlamlı derecede iyileştirdiği açıkça görülebilir. Şekilden de görüldüğü üzere, u bileşeninin tekrar

edilebilirliği GPS çözümünde ortalama ±2,5 cm iken GPS/GLONASS çözümünde ortalama ±1,5 cm dir.



Şekil 6.20: UNBJ noktası 3 saatlik konum hataları ve standart sapmaları.

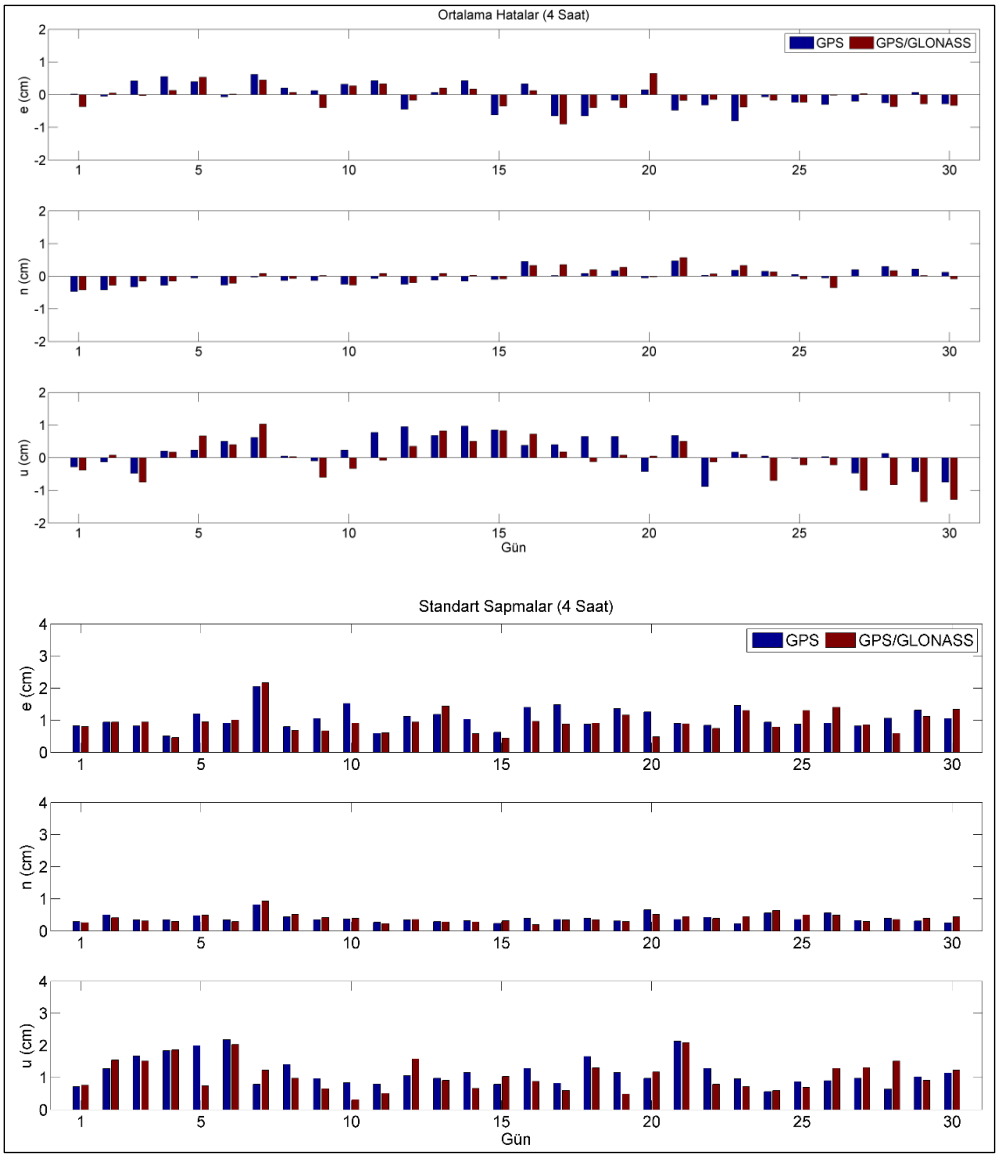
UNBJ noktasına ait 3 saatlik verilerden elde edilen hataların ortalaması e bileşeni için GPS çözümünde genellikle 0 ile 1,5 cm arasında iken GPS/GLONASS çözümünde 0 ile 1 cm arasındadır. n bileşeni incelendiğinde hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünde hataların ortalaması genellikle +0,3 ile -0,3 cm aralığında değerler almıştır. u bileşenine ait hataların ortalaması her iki çözümde de +1 ile –1 cm arasındadır ve çözümler arasında belirgin farkların olmadığı görülmektedir.

UNBJ noktasına ait 3 saatlik standart sapmalar incelendiğinde e bileşenin GPS çözümünde, 5. gün hariç, ±2 cm ile ±3 cm arasında olduğu GLONASS ölçülerinin eklenmesiyle bu değerlerin iyileştiği ve ±0,5 cm ile ±1,5 cm arasında olduğu görülür. n bileşeni incelendiğinde GPS çözümünün ±0,5 cm ile ±1 cm arasında olduğu GPS/GLONASS çözümünün ±0,2 cm ile ±0,6 cm aralığında olduğu görülebilir. u bileşeni incelendiğinde, GPS çözümünde standart sapmaların ±2 cm ile ±1 cm arasında değiştiği, GPS/GLONASS çözümünün de bu değerlerin 5. ve 9. günler haricinde daha düşük olduğu görülebilir. Her üç bileşenin tekrar edilebilirlikleri GLONASS ölçülerinin dahil edilmesiyle daha da iyileşmiştir.

6.4.4. Dört (4) Saatlik Veri Sonuçları

MBAR noktasına ait 4 saatlik verilerden elde edilen hataların ortalaması hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünde e bileşeni genellikle +1 ile -1 cm aralığında değerler almıştır. n bileşeni ise genellikle +0,5 ile -0,5 cm aralığındadır. u bileşenine ait hataların ortalama ise, her iki çözümünde +1 ile -1 cm aralığında değerler aldığı açıkça görülebilir.

MBAR noktasına ait 4 saatlik standart sapmalar incelendiğinde e bileşeninin hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümü benzer olup, ±0,5 cm ile ±2 cm arasındadır. n bileşeninin tekrar edilebilirliği daha iyi olup, GPS ve GPS/GLONASS çözümünün genellikle aynı standart sapmalar verdiği ve standart sapmaların 0,5 cm civarında değerler aldığı görülebilir. u bileşeni incelendiğinde, her iki çözümünde 5. ve 28. günler hariç, genellikle benzer olduğu ve standart sapmaların yaklaşık ±1 cm ile ±2 cm arasında dalgalandığı görülebilir. Şekilden de görüldüğü üzere, 5. gün GPS/GLONASS çözümü yalnızca GPS çözümünden daha iyi iken, 28. günde tam tersi bir durum söz konusudur.

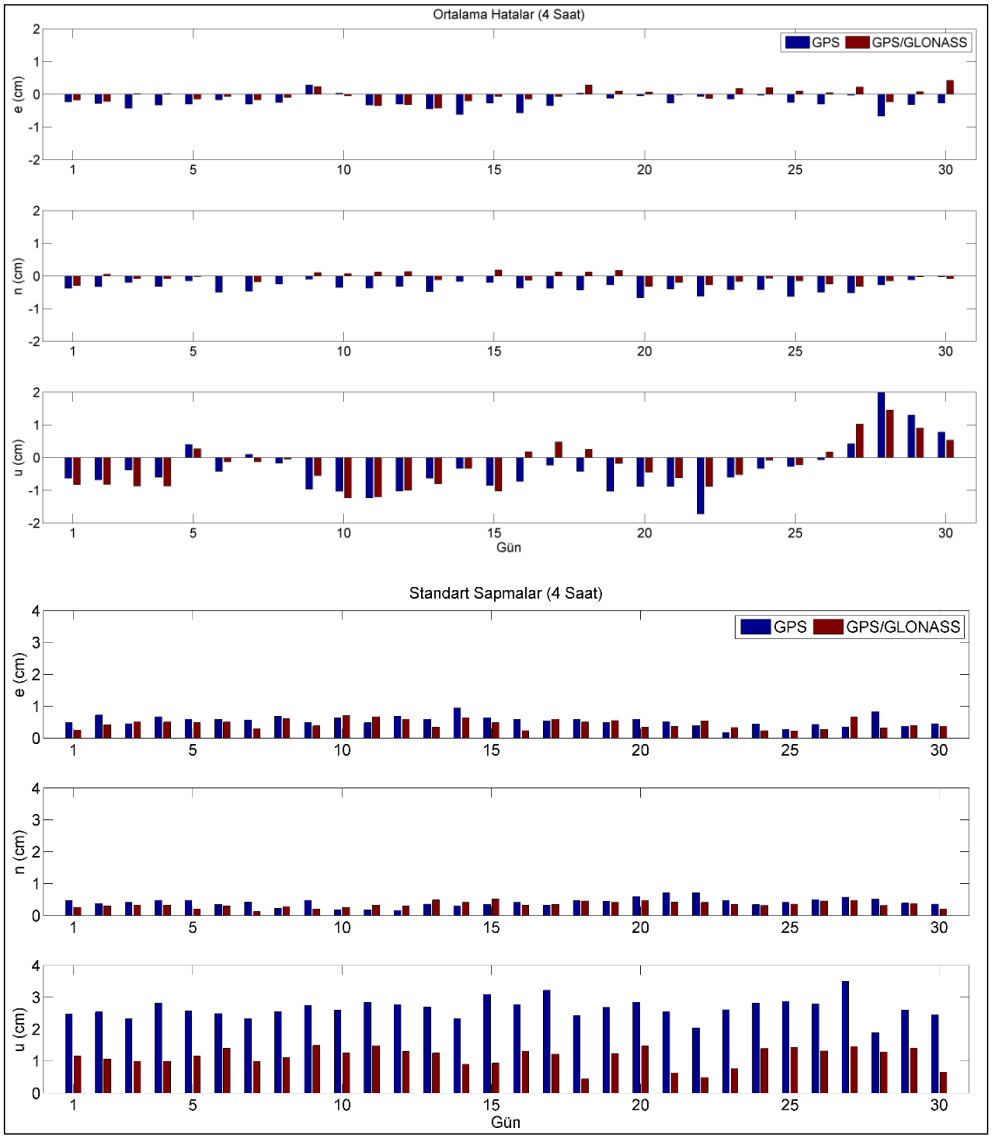


Şekil 6.21: MBAR noktası 4 saatlik konum hataları ve standart sapmaları.

TIXI noktasına ait 4 saatlik verilerden elde edilen hataların ortalaması incelendiğinde, hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünde e ve n yatay bileşenlerin +0,5 ile -0,5 cm aralığında dağılım gösterdiği görülebilir. u bileşeni incelendiğinde, 22. ve 28. günler hariç, her iki çözümde benzer olup +1 ile -1 cm aralığında fakat çoğunlukla 0 ile -1 cm arasında değerler aldığı görülebilir. Şekilden de görüldüğü gibi 19., 22. ve 28. günlerde GPS/GLONASS çözümü sıfıra daha da yakınsamıştır.

TIXI noktasına ait 4 saatlik standart sapmalar incelendiğinde e ve n bileşenlerinin hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünün tekrar edilebilirlikleri genellikle benzer olup ±0,3 cm ile ±1 cm arasındadır. u bileşeninde ise

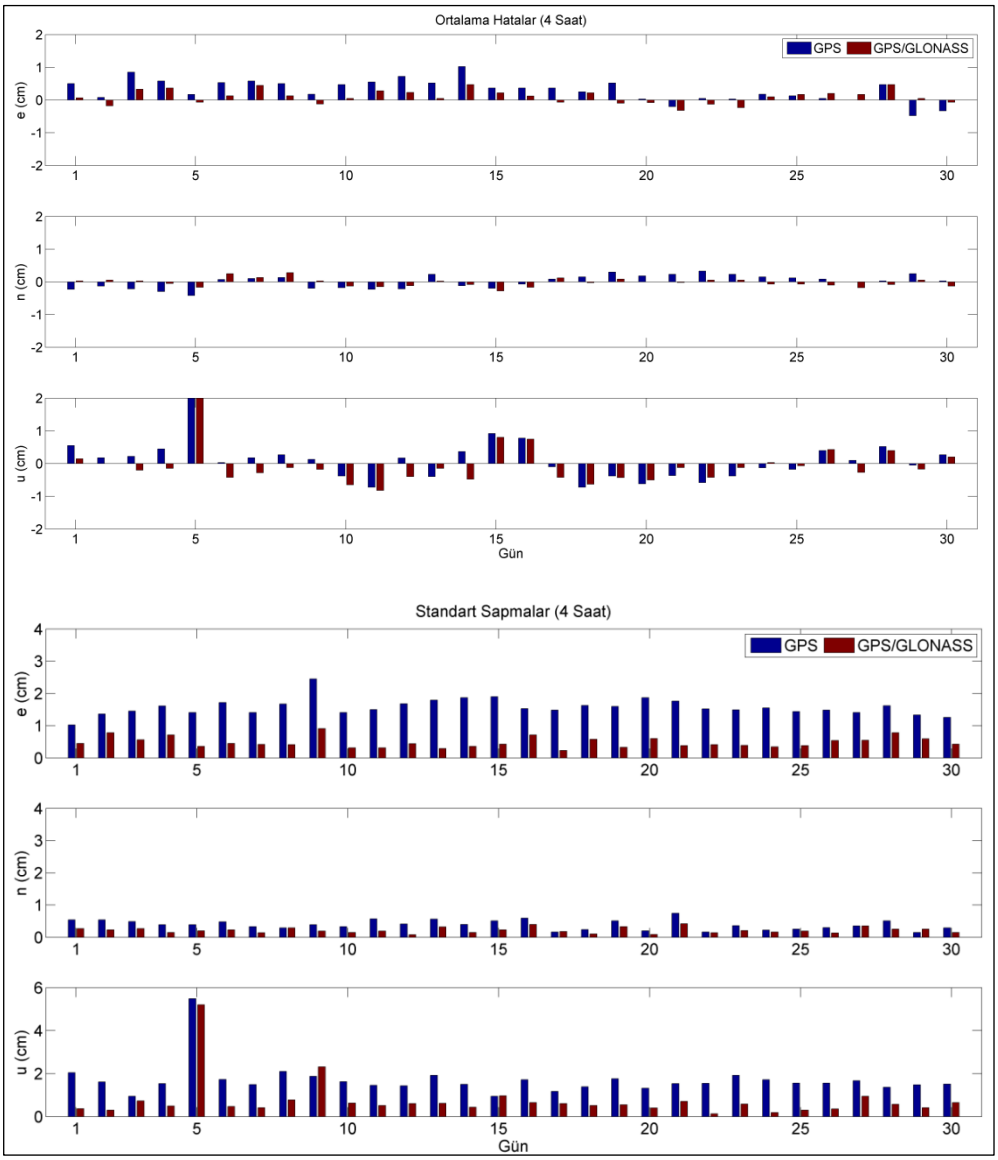
GPS/GLONASS çözümünün GPS çözümünden daha iyi olduğu ve böylelikle GLONASS ölçülerinin dahil edilmesinin tekrar edilebilirliği anlamlı derecede iyileştirdiği açıkça görülebilir. Şekilden de görüldüğü üzere, u bileşeninin tekrar edilebilirliği GPS çözümünde ortalama ±2,5 cm iken GPS/GLONASS çözümünde ortalama ±1,5 cm dir.



Şekil 6.22: TIXI noktası 4 saatlik konum hataları ve standart sapmaları.

UNBJ noktasına ait 4 saatlik verilerden elde edilen hataların ortalaması e bileşeni için GPS çözümünde genellikle 0 ile 1 cm arasında iken GPS/GLONASS çözümünde +0,5 ile -0,5 cm arasındadır. n bileşeni incelendiğinde hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünde hataların ortalaması genellikle +0,2 ile -0,2 cm

aralığında değerler almıştır. u bileşenine ait hataların ortalaması, her iki çözümde de benzer olup, 5. gün hariç, genellikle +1 ile -1 cm aralığında değerler almıştır.



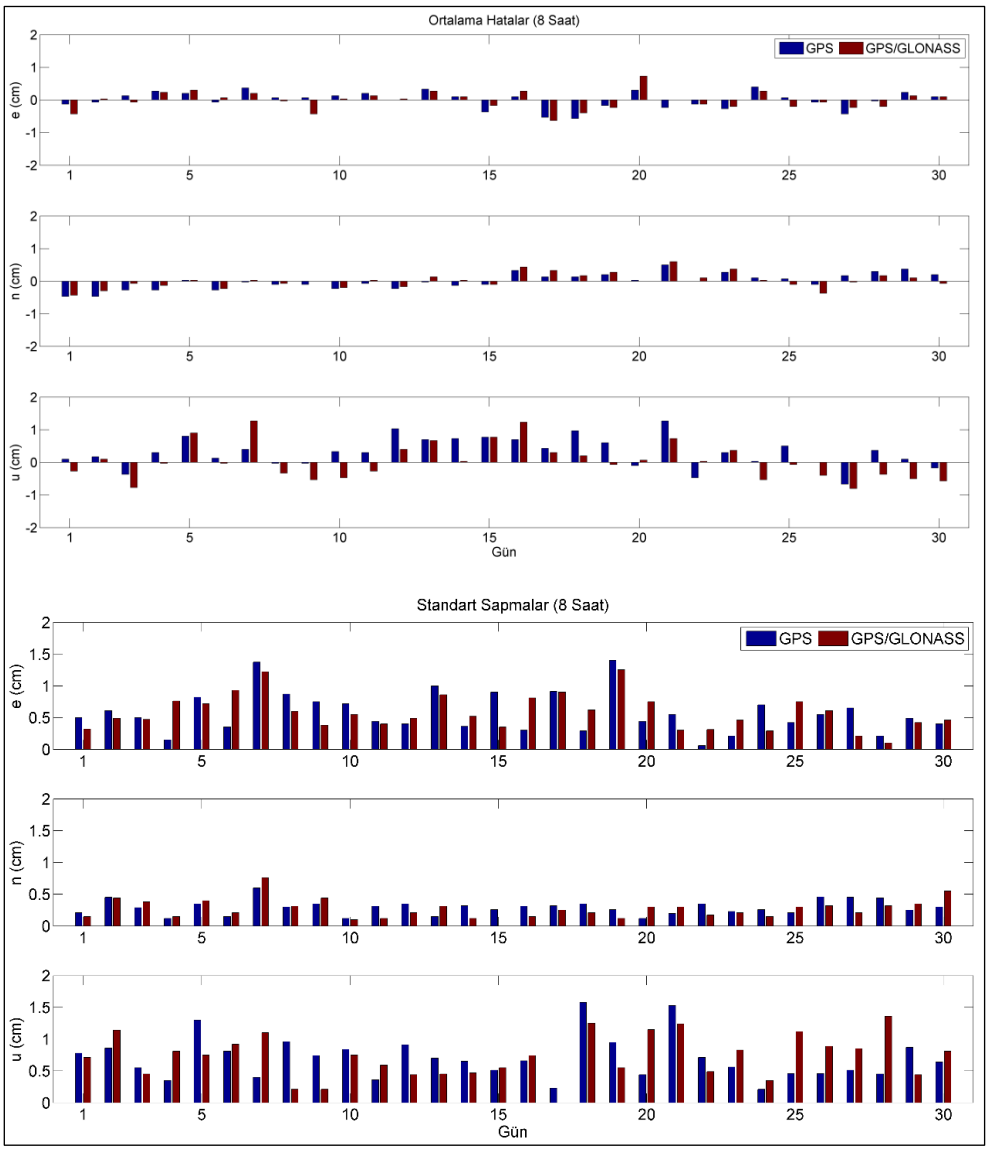
Şekil 6.23: UNBJ noktası 4 saatlik konum hataları ve standart sapmaları.

UNBJ noktasına ait 4 saatlik standart sapmalar incelendiğinde e bileşenin GPS çözümünde, ±1 cm ile ±2 cm arasında olduğu GLONASS ölçülerinin eklenmesiyle bu değerlerin iyileştiği ve ±0,3 cm ile ±1 cm arasında olduğu görülür. n bileşeni incelendiğinde çözümler arasında bir farkın olmadığı ve GPS çözümünün ±0,5 cm ile ±1 cm arasında olduğu GPS/GLONASS çözümünün ±0,2 cm ile ±0,6 cm aralığında olduğu görülebilir. u bileşeninde, GPS/GLONASS çözümünün GPS çözümüne göre

tekrar edilebilirliği daha iyidir. Bu GLONASS ölçülerinin tekrar edilebilirliği anlamlı şekilde iyileştirdiğini göstermektedir.

6.4.5. Sekiz (8) Saatlik Veri Sonuçları

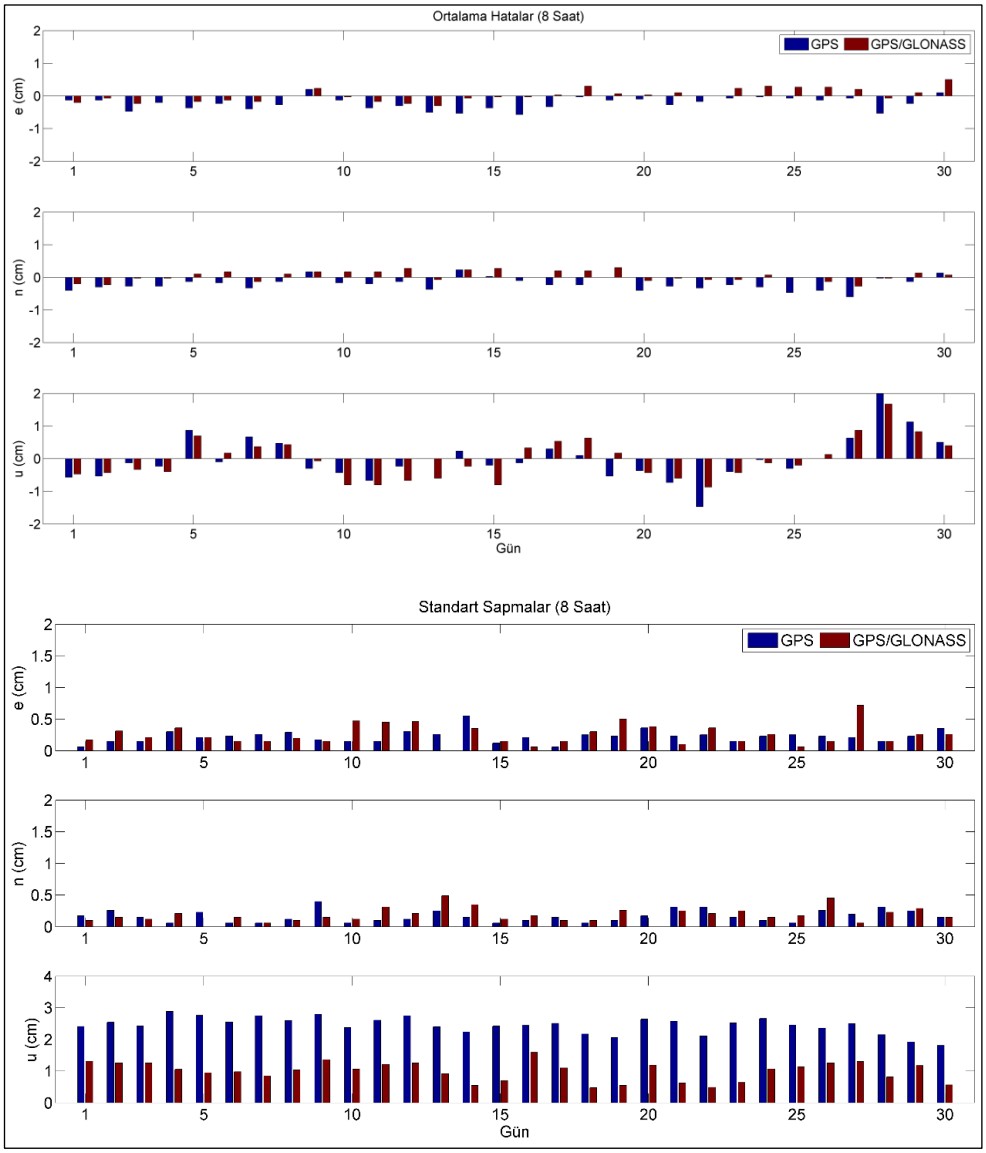
MBAR noktasına ait 8 saatlik verilerden elde edilen hataların ortalaması hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünde e ve n bileşenleri genellikle +0,5 ile –0,5 cm aralığında değerler almıştır. u bileşenine ait hataların ortalama ise, her iki çözümünde genellikle +1 ile -1 cm aralığında değerler aldığı açıkça görülebilir.



Şekil 6.24: MBAR noktası 8 saatlik konum hataları ve standart sapmaları.

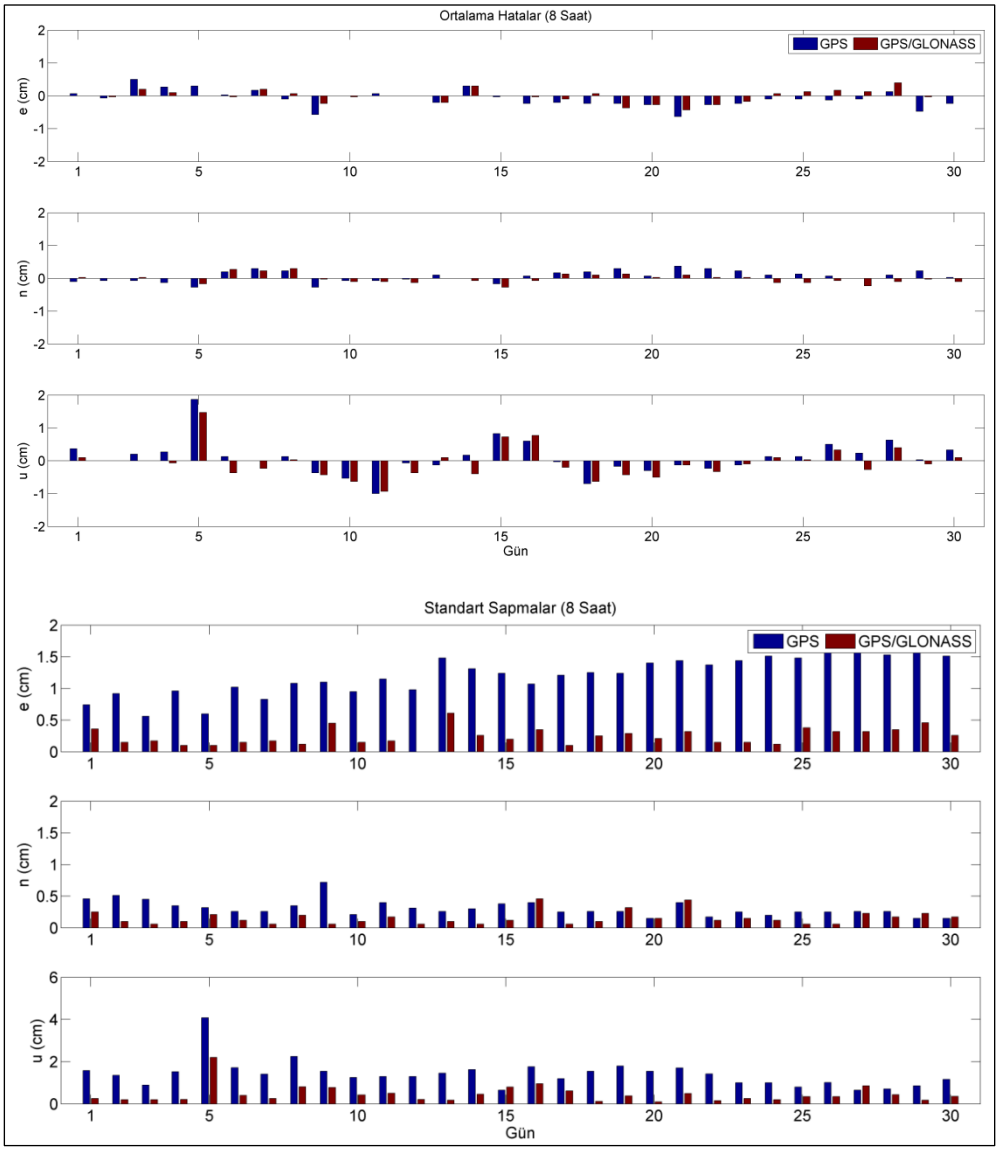
MBAR noktasına ait 8 saatlik standart sapmalar incelendiğinde her üç bileşende hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümü, bazı günler hariç, genellikle benzer sonuçlar üretmiştir. e bileşeninde standart sapma değerleri ±0,5 cm ile ±1,5 cm arasında iken n bileşeninde genlikle ±0,2 ile ±0,5 cm arasındadır. u bileşeni ise, e bileşenine benzer olup ±0,5 cm ile ±1,5 cm arasındadır.

TIXI noktasına ait 8 saatlik verilerden elde edilen hataların ortalaması incelendiğinde, hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünde e ve n yatay bileşenlerin +0,4 ile -0,4 cm aralığında dağılım gösterdiği görülebilir. u bileşeni incelendiğinde, 28. gün hariç, her iki çözümde benzer olup +1 ile -1 cm aralığında dalgalandığı görülebilir.



Şekil 6.25: TIXI noktası 8 saatlik konum hataları ve standart sapmaları.

TIXI noktasına ait 8 saatlik standart sapmalar incelendiğinde e ve n bileşenlerinin hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünün tekrar edilebilirlikleri, 10., 11. ve 28. günler hariç, genellikle benzer olup ±0,2 cm ile ±0,5 cm arasındadır. u bileşeninde ise GPS/GLONASS çözümünün GPS çözümünden daha iyi olduğu ve böylelikle GLONASS ölçülerinin dahil edilmesinin tekrar edilebilirliği anlamlı derecede iyileştirdiği açıkça görülebilir. Şekilden de görüldüğü üzere, tekrar edilebilirlik GPS çözümünde ortalama ±2,5 cm iken GPS/GLONASS çözümünde ortalama ±1 cm dir.



Şekil 6.26: UNBJ noktası 8 saatlik konum hataları ve standart sapmaları.

UNBJ noktasına ait 8 saatlik verilerden elde edilen hataların ortalaması hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünde genellikle benzer olup. e bileşeni +0,3 ile

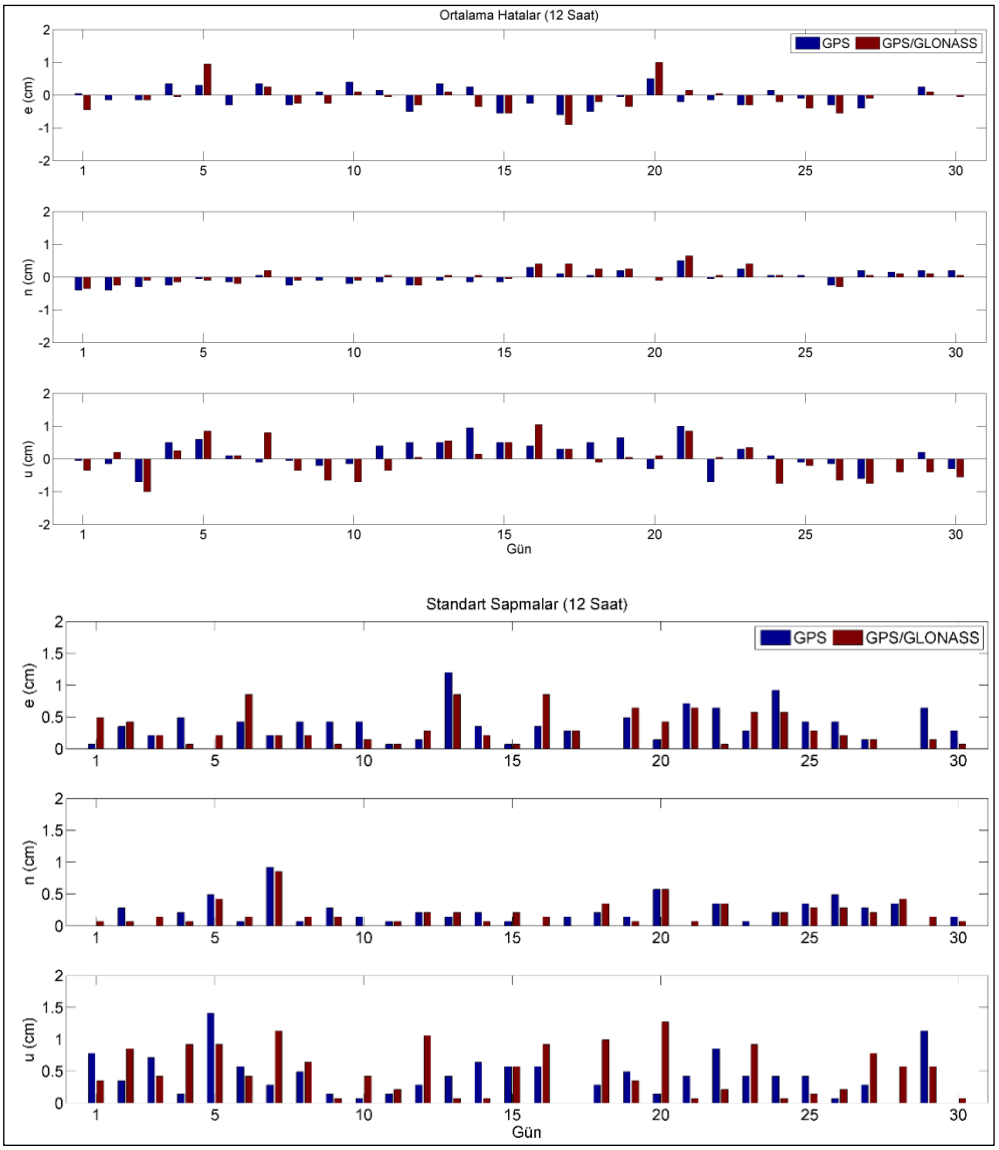
-0,3 cm arasında, n bileşeni +0,2 ile -0,2 cm arasında ve u bileşeni ise, 5. gün hariç, +1 ile -1 cm arasında değerler almıştır.

UNBJ noktasına ait 8 saatlik standart sapmalar incelendiğinde e ve u bileşenlerinde GLONASS ölçülerinin tekrar edilebilirliği iyileştirdiği ve bu iyileştirmenin e bileşenindeki katkısının anlamlı derecede hissedildiği sonuçlardan anlaşılmaktadır. Şekil 6.26'dan görüldüğü üzere, e bileşeninde GPS çözümü yaklaşık ±0,7 cm ile ±1,5 cm arasında ike GPS/GLONASS çözümünde ±0,2 ile ±0,5 cm arasındadır. n bileşeninde GPS/GLONASS çözümü ilk 15 gün boyunca GPS çözümüne göre daha iyi sonuçlanmışken diğer günlerde benzer sonuçlar çıkmıştır. u bileşeninde GPS çözümü, 5. Gün hariç, ±1 cm ile ±2 cm arasında iken GPS/GLONASS çözümünde ± 0,2 cm ile ±1cm arasında değerler almıştır. Bu noktaya ait sonuçlar, GLONASS ölçülerinin tekrar edilebilirliği anlamlı şekilde iyileştirdiğini göstermektedir.

6.4.6. Oniki (12) Saatlik Veri Sonuçları

MBAR noktasına ait 12 saatlik verilerden elde edilen hataların ortalaması hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünde e ve n bileşenleri genellikle +0,5 ile –0,5 cm aralığında değerler almıştır. u bileşenine ait hataların ortalama ise, her iki çözümünde genellikle +1 ile -1 cm aralığında değerler aldığı açıkça görülebilir.

MBAR noktasına ait 8 saatlik standart sapmalar incelendiğinde her üç bileşende hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümü, bazı günler hariç, genellikle benzer sonuçlar üretmiştir. e bileşeninde standart sapma değerleri ±0,5 cm ile ±1,5 cm arasında iken n bileşeninde genellikle ±0,2 ile ±0,5 cm arasındadır. u bileşeni ise, e bileşenine benzer olup ±0,5 cm ile ±1,5 cm arasındadır.

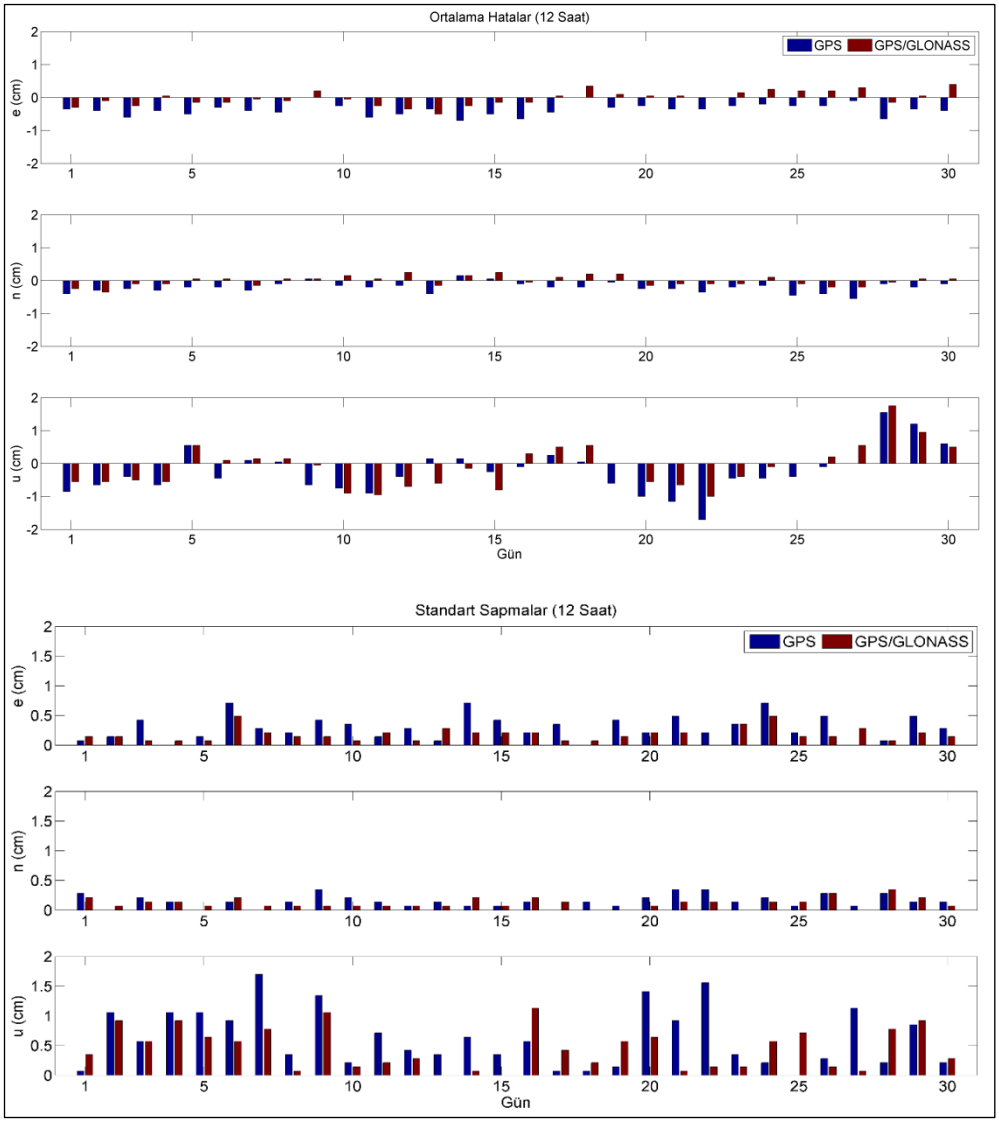


Şekil 6.27: MBAR noktası 12 saatlik konum hataları ve standart sapmaları.

TIXI noktasına ait 12 saatlik verilerden elde edilen hataların ortalaması incelendiğinde, GPS çözümü e bileşeninde 0 ile +0,5 cm arasında iken n bileşeninde genellikle 0 ile 0,3 arasındadır. GPS/GLONASS çözümü ise e bileşeni +0,4 cm ile -0,4 cm arasında değişirken, n bileşeni +0,2 cm ile -0,2 cm arasında değişmektedir. u bileşeninde hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümü benzer olup +1 cm ile -1 cm arasındadır.

TIXI noktasına ait 12 saatlik standart sapmalar incelendiğinde e bileşeni hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünün tekrar edilebilirlikleri, bazı günler hariç, genellikle benzer olup ±0,2 cm ile ±0,5 cm arasındadır. n bileşeni ise, her iki çözümde de benzer şekilde olup, ±0,1 ile ±0,3 cm arasındadır. u bileşeninde ise

GPS/GLONASS çözümünün GPS çözümünden bazı günlerde daha iyi olduğu ve bazı günlerde de GPS çözümünün daha iyi olduğu görülmektedir.

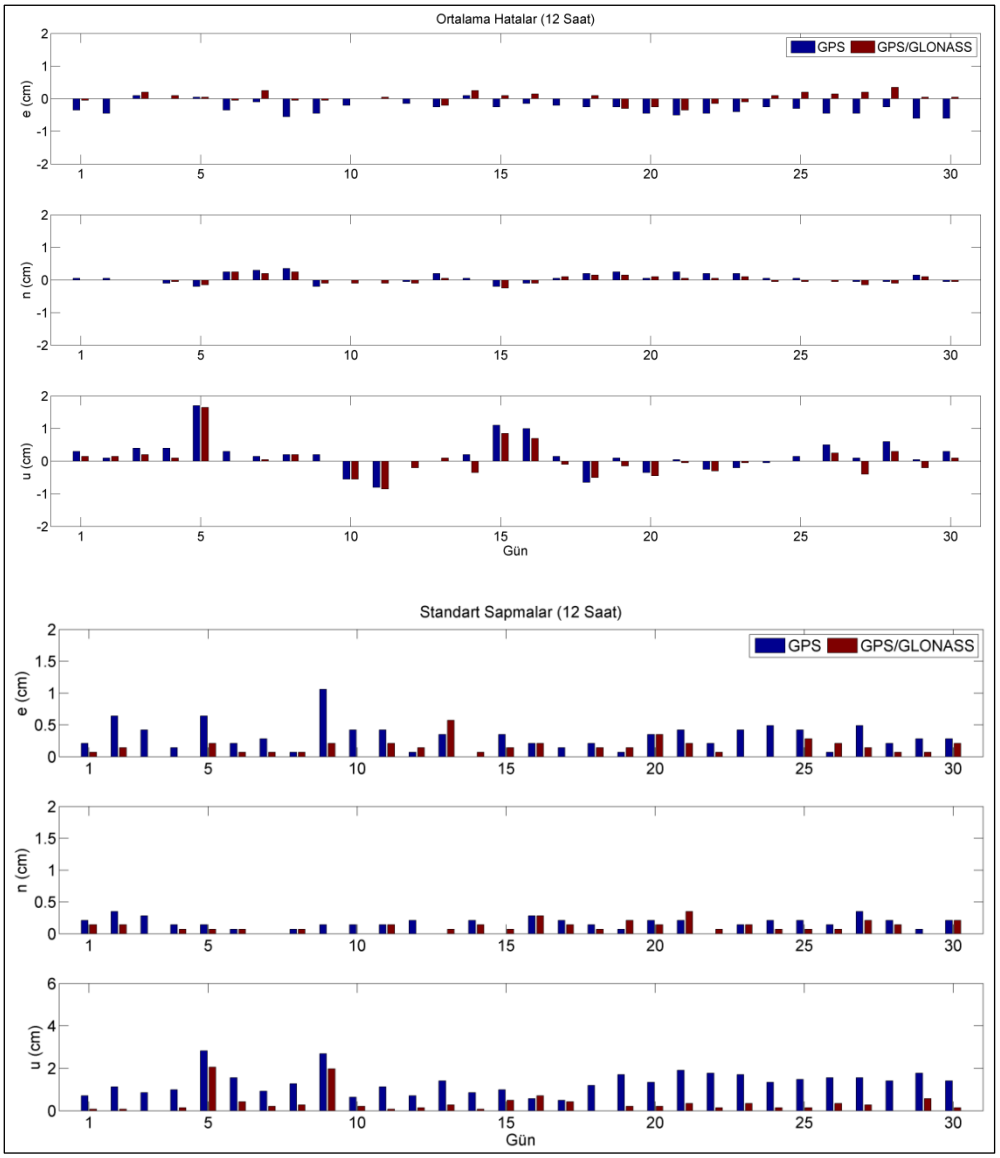


Şekil 6.28: TIXI noktası 12 saatlik konum hataları ve standart sapmaları.

UNBJ noktasına ait 12 saatlik verilerden elde edilen hataların ortalaması hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünde genellikle benzer olup. e bileşeni +0,3 ile -0,3 cm arasında, n bileşeni +0,2 ile -0,2 cm arasında ve u bileşeni ise, 5. gün hariç, +1 ile -1 cm arasında değerler almıştır.

UNBJ noktasına ait 12 saatlik standart sapmalar incelendiğinde GLONASS ölçülerinin tekrar edilebilirliği e bileşeninde bazı günlerde iyileştirirken u bileşeninde bu katkı hemen hemen her gün iyileştirmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, e bileşeninde GPS çözümü yaklaşık ±0,2 cm ile ±1 cm arasında iken GPS/GLONASS

çözümünde ±0,1 ile ±0,5 cm arasındadır. n bileşeninde her iki çözümde benzer olup genellikle ±0,4 cm altındadır. u bileşeninde GPS çözümü, 5. ve 9. gün hariç, ±1 cm ile ±2 cm arasında iken GPS/GLONASS çözümünde ±0,4 cm'nin altındadır.

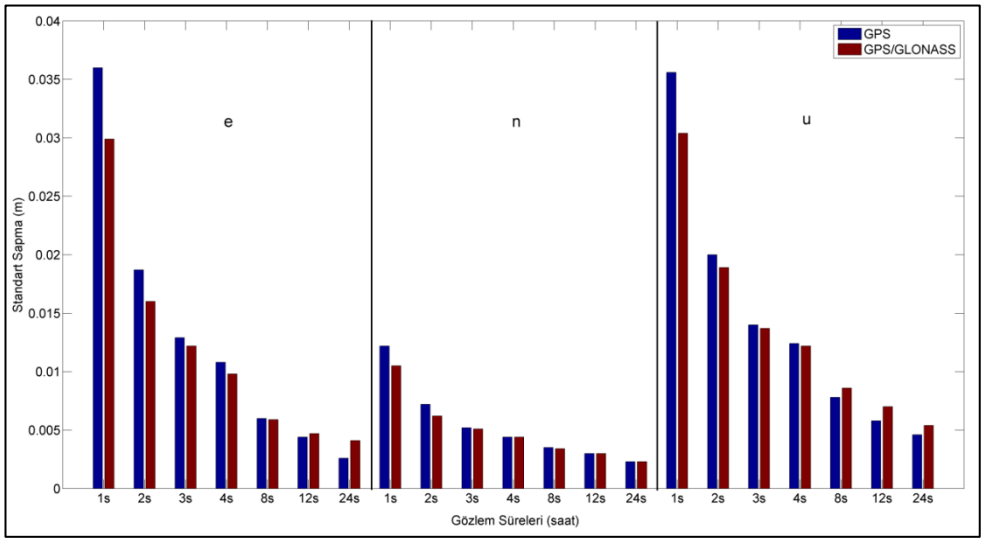


Şekil 6.29: UNBJ noktası 12 saatlik konum hataları ve standart sapmaları.

6.4.7. Otuz Günlük Verilerin Ölçü Süresine Bağlı Tekraredilebilirlikleri

Daha önceki bölümde her üç noktada 1, 2, 3, 4, 8 ve 12 saatlik verilerden elde edilen ortalama değerlerinin kesin değerden olan farkları ve bu farkların standart sapmaları her gün için ayrı ayrı hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar tek tek yorumlanmıştır. Her ne kadar hesaplanan ortalama değerlerin gerçek değerden olan farkları ortalamaya dahil edilen veri sayısından çok etkilenmese de elde edilen

standart sapma değerleri 1 saatlik veri için 24, 2 saatlik veri için 12, 3 saatlik veri için 8 iken 4 saatlik veride bu değer 6, 8 saatlikte 3 ve 12 saatlikte 2 adet veri kullanılarak hesap yapılmıştır. Bu sebepten dolayı, istatistiksel açıdan hesaplanan standart sapmaların daha gerçekçi olması için, her bir ölçü süresine ait standart sapmalar günlük değil aylık ölçüler dikkate alınarak hesaplanmış ve standart sapma hesabında kullanılan veri sayısının arttırılması hedeflenmiştir. Böylece, 1 saatlik veriler için 720, 2 saatlik veriler için 360, 3 saatlik veriler için 240, 4 saatlik veriler için 180, 8 saatlik veriler için 90, 12 saatlik veriler için 60 ve 24 saatlik veriler için 30 veri grubu kullanılarak standart sapmalar hesaplanmıştır. Bu işlem her bir nokta için ayrı ayrı yapılmış ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

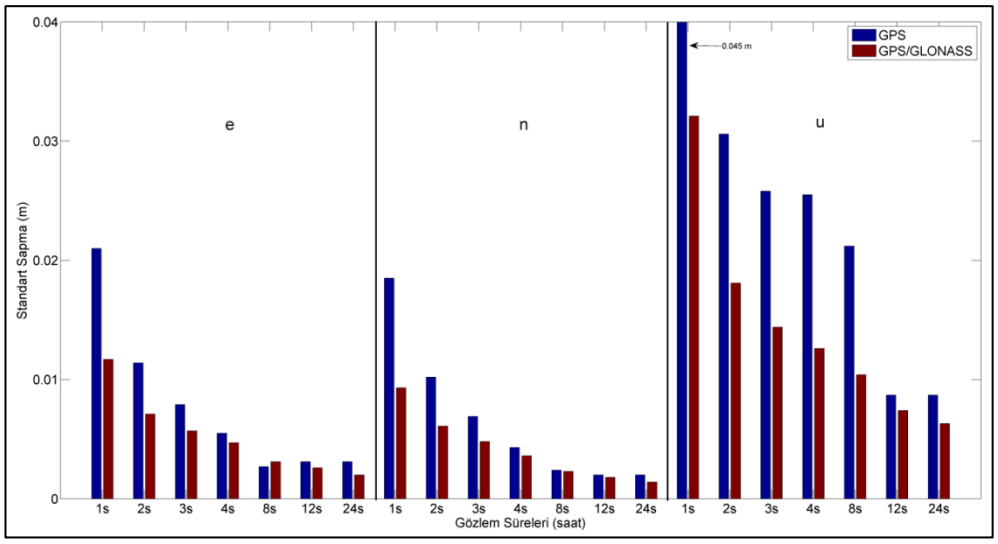


Şekil 6.30: MBAR Noktasına ait bütün ölçülerin standart sapmaları.

MBAR Noktasına ait e bileşenine ait bütün ölçülerin her bir zaman dilimi için standart sapmaları birbiriyle kıyaslandığında, GPS ölçüleri için 1 saatlik ölçülerde ±3,5 cm den başlayan standart sapma miktarı, 2 saatlik ölçülerde ±2 cm, 3 saatlik ölçülerde ±1,25 cm civarına, 4 saatlik ölçülerde ±1 cm, 8 saatlik ölçülerde ±0,5 cm civarına ve 12 saatlik ve 24 saatlik ölçülerde ±0,5 cm'nin altına indiği görülmektedir. GLONASS ölçülerinin hesaba katılması özellikle 1 saatlik ölçülerin tekrar edilebilirliğini iyileştirdiği ±3,5 cm den ±3 cm ye düşürdüğü açıkça görülebilir. 2 saatlik ölçüler de miktarı 1 saatliğe göre az da olsa bir iyileşmenin olduğu fakat diğer ölçü sürelerinde her iki yönteminde tekrar edilebilirliğinin benzer olduğu görülebilir.

n bileşenine ait bütün ölçülerin her bir zaman dilimi için standart sapmaları birbiriyle kıyaslandığında, her iki yönteminde tüm ölçü sürelerinde benzer olduğu ve ölçü süresinin artmasıyla tekrar edilebilirliğin iyileştiği görülmektedir. Ayrıca sonuçlar gösteriyor ki, n bileşeninin tekrar edilebilirliği e bileşeninkinden daha iyidir.

u bileşenine ait bütün ölçülerin her bir zaman dilimi için standart sapmaları birbiriyle kıyaslandığında, e bileşenine benzer yapıda bir durumun olduğu açıkça görülebilir. Görüldüğü gibi ölçü süresinin artması tekrar edilebilirliği gittikçe iyileştirmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi 1 saatlik ölçülerin tekrar edilebilirliği GLONASS'ın dahil edilmesiyle ±0,5 cm daha iyileşmiştir. Şekil 6.30'dan açıkça görüldüğü üzere, ölçü süresi artıkça hem GPS hem de GPS/GLONAS ölçülerinde her üç bileşende de tekrar edilebilirlik daha da iyileşmiş, GLONASS ölçülerinin eklenmesi özellikle 1 saatlik ölçü süresinde e ve u bileşeninin tekrar edilebilirliğini iyileştirmiştir.



Şekil 6.31: TIXI Noktasına ait bütün ölçülerin standart sapmaları.

TIXI Noktasına ait e bileşenine ait bütün ölçülerin her bir zaman dilimi için standart sapmaları birbiriyle kıyaslandığında, GPS ölçüleri için 1 saatlik ölçülerde ±2 cm den başlayan standart sapma miktarı, 2 saatlik ölçülerde ±1 cm, 3 saatlik ölçülerde ±0,75 cm civarına, 4 saatlik ölçülerde ±0,5 cm, 8 saatlik ölçülerde ±0,4 cm altına ve 12 saatlik ve 24 saatlik ölçülerde ±0,5 cm'nin altına indiği görülmektedir. GLONASS ölçülerinin hesaba katılmasıyla 1 saatlik ölçülerde yaklaşık ±1 cm lik iyileşme, 2 saatlik ölçülerde yaklaşık ±0,5 cm lik bir iyileşme, 3 saatlik ölçülerde ±0,3 cm lik bir iyileşme olmuştur.

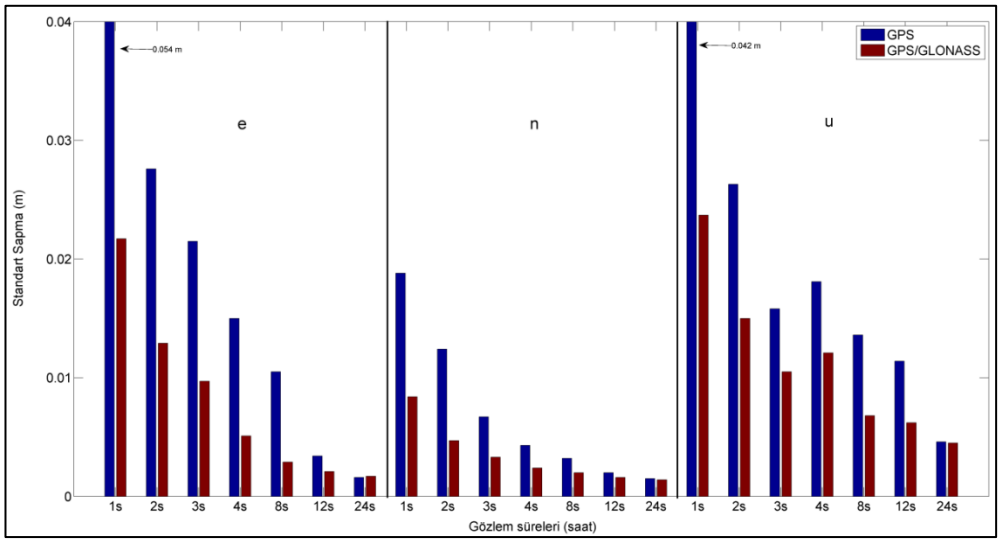
n bileşenine ait bütün ölçülerin her bir zaman dilimi için standart sapmaları birbiriyle kıyaslandığında, GPS ölçüleri için 1 saatlik ölçülerde ±1,75 cm den başlayan standart sapma miktarı, 2 saatlik ölçülerde ±1,25 cm, 3 saatlik ölçülerde ±0,50 cm civarına, 4 saatlik ölçülerden sonra ±0,5 cm'nin altına indiği görülmektedir. GLONASS ölçülerinin hesaba katılmasıyla, 1, 2 ve 3 saatlik ölçülerde, e bileşenine benzer yapıda iyileşmeler olduğu görülmektedir. Ölçü süresi uzadıkça standart sapma miktarının düştüğü 1 saatlik ölçülerde ±0,75 cm biraz üzerinde ve 2 saatlik ölçülerden itibaren ±0,50 cm' nin altına indiği görülmektedir. MBAR noktasından farklı olarak, TIXI noktasında e bileşeni ile n bileşeni arasında tekrar edilebilirlik açısından çok büyük farklar olmamış, neredeyse aynı tekrar edilebilirlik elde edilmiştir.

TIXI noktasına ait u bileşeni incelendiği zaman GPS ölçüleri için ±4,5 cm' den başlayan standart sapma miktarı ölçü süresi artıkça azalmaktadır. GLONASS ölçüleri eklenmesiyle tekrar edilebilirlik 1, 2, 3, 4 ve 8 saatlik ölçülerde yaklaşık ±1,5 cm'ye ulaşan iyileşmeler görülmektedir. 12 ve 24 saatlik ölçülerde her iki çözümde benzer sonuçlar çıkmıştır. MBAR noktasından farklı olarak, TIXI noktasında GLONASS ölçülerinin özellikle düşey bileşen u da fazlasıyla katkı sağladığı ve ölçülerin tekrar edilebilirliğini daha da iyileştirdiği açıkça görülmektedir.

TIXI noktasına ait her üç bileşeninin ölçü süresi artıkça hem GPS hem de GPS/GLONAS ölçülerinde tekrar edilebilirlikte iyileşme olduğu görülmüştür. GLONASS ölçülerinin eklenmesinin e ve n bileşenlerinin 1 ve 2 saatlik ölçü sürelerinde, u bileşeninde ise 1, 2, 3, 4 ve 8 saatlik ölçü sürelerindeki tekrar edilebilirliği iyileştirdiği sonuçlardan anlaşılmaktadır.

UNBJ Noktasında e bileşenine ait bütün ölçülerin her bir zaman dilimi için standart sapmaları birbiriyle kıyaslandığında, ölçü süresi artıkça iyileşme olduğu görülür. GPS ölçüleri için 1 saatlik ölçülerde ±5,4 cm den başlayan standart sapma miktarı, 2 saatlik ölçülerde ±2,75 cm, 3 saatlik ölçülerde ±2 cm, 4 saatlik ölçülerde ±1,5 cm, 8 saatlik ölçülerde ±1 cm, 12 saatlik ve 24 saatlik ölçülerde ±0,5 cm'nin altına indiği görülmektedir. GLONASS ölçülerinin hesaba katılmasıyla GPS ölçüleriyle kıyaslandığında belirgin bir şekilde katkı sağladığı, 1 saatlik ölçü süresinde yaklaşık ±3 cm, 2 saatlik ölçü süresinde ±1,5 cm, 3 ve 4 saatlik ölçü süresinde ±1 cm ve 8 saatlik ölçü süresinde ±0,8 cm civarlarında iyileşmeler görülebilir. 12 ve 24 saatlik ölçü sürelerinde her iki çözüm sonucu benzer çıkmıştır. Yatay bileşen e için hem GPS hem de GPS+GLONASS ölçüleri için ölçü süresinin

artmasının ve GLONASS ölçülerinin eklenmesinin tekrar edilebilirliğe olumlu katkı sağladığını söyleyebiliriz.



Şekil 6.32: UNBJ Noktasına ait bütün ölçülerin standart sapmaları.

n bileşenine ait bütün ölçülerin her bir zaman dilimi için standart sapmaları birbiriyle kıyaslandığında, TIXI noktasından farklı fakat UNBJ ye benzer şekilde e bileşeninden daha hassas yani tekrar edilebilirliği daha iyi çıkmıştır. GPS ölçüleri için tekrar edilebilirlik 1 saatlik ölçülerde ±1,7 cm, 2 saatlik ölçülerde ±1,2 cm, 3 saatlik ölçülerde ±0,5 cm, 4 saatlik ölçülerde ve diğerlerinde ±0,5 cm den daha azdır. GLONASS ölçülerinin hesaba katılmasıyla, 1 saatlik ölçü süresinde ±1,2 cm, 2 saatlik ölçü süresinde ±0,7 cm, 3 saatlik ölçü süresinde ±0,4 cm ve 4 saatlik ölçü süresinde ±0,2 cm ye ulaşan iyileşmeler görülmektedir. 8, 12 ve 24 saatlik ölçü sürelerinde neredeyse her iki çözümde benzer sonuçlar üretmiştir.

u bileşeni incelendiği zaman GPS ölçüleri için 1 saatlik ölçülerde ±4,2 cm den başlayan standart sapma miktarı, 2 saatlik ölçülerde ±2,6 cm, 3 saatlik ölçülerde ±1,6 cm, 4 saatlik ölçülerde ±1,8 cm, 8 saatlik ölçülerde ± 1,4 cm, 12 saatlik ölçülerde yaklaşık ± 1 cm ve 24 saatlik ölçülerde ± 0,5 cm nin altına indiği görülmektedir. GLONASS ölçüleri eklenmesiyle 1 saatlik ölçülerde yaklaşık ±2 cm, 2 saatlik ölçülerde ±1 cm, 3, 4, 8 ve 12 saatlik ölçülerde yaklaşık ±0,5 civarında iyileşmeler olmuştur. 24 saatlik ölçü süresinde her iki çözümde benzer sonuçlar çıkmıştır.

UNBJ noktasına ait sonuçlar, GLONASS ölçülerinin eklenmesinin e ve n bileşenlerinin 1, 2, 3, 4 ve 8 saatlik ölçü sürelerinde, u bileşeninde ise 1, 2, 3, 4, 8 ve

12 saatlik ölçü sürelerinde tekrar edilebilirliği anlamlı derecede iyileştirdiğini açıkça göstermiştir.

Tablo 6.5: MBAR noktasına ait temel istatistik değerleri.

Ölçü Süresi	Temel İstatistikler	GPS			GPS/GLONASS		
		e (m)	n (m)	u (m)	e (m)	n (m)	u (m)
1s	Maximum	0.1560	0.0490	0.2220	0.1430	0.0400	0.1710
	Minimum	-0.1620	-0.0780	-0.2000	-0.1140	-0.0790	-0.1730
	Aralık	0.3180	0.1270	0.4220	0.2570	0.1190	0.3440
	Ortalama	-0.0032	0.0005	0.0034	-0.0031	-0.0002	-0.0002
	Std. S.	0.0360	0.0122	0.0356	0.0299	0.0105	0.0304
2s	Maximum	0.0480	0.0470	0.0760	0.0410	0.0210	0.0680
	Minimum	-0.0550	-0.0220	-0.0730	-0.0480	-0.0290	-0.0930
	Aralık	0.1030	0.0690	0.1490	0.0890	0.0500	0.1610
	Ortalama	-0.0016	0.0002	0.0031	-0.0024	0.0001	-0.0004
	Std. S.	0.0187	0.0072	0.0200	0.0160	0.0062	0.0189
3s	Maximum	0.0260	0.0220	0.0580	0.0320	0.0210	0.0510
	Minimum	-0.0380	-0.0120	-0.0450	-0.0380	-0.0210	-0.0370
	Aralık	0.0640	0.0340	0.1030	0.0700	0.0420	0.0880
	Ortalama	-0.0019	0.0000	0.0021	-0.0016	0.0003	-0.0003
	Std. S.	0.0129	0.0052	0.0140	0.0122	0.0051	0.0137
4s	Maximum	0.0250	0.0160	0.0370	0.0380	0.0180	0.0400
	Minimum	-0.0320	-0.0100	-0.0320	-0.0270	-0.0100	-0.0340
	Aralık	0.0570	0.0260	0.0690	0.0650	0.0280	0.0740
	Ortalama	-0.0005	-0.0002	0.0017	-0.0007	0.0001	-0.0005
	Std. S.	0.0108	0.0044	0.0124	0.0098	0.0044	0.0122
8s	Maximum	0.0130	0.0080	0.0300	0.0160	0.0090	0.0240
	Minimum	-0.0160	-0.0090	-0.0110	-0.0150	-0.0080	-0.0180
	Aralık	0.0290	0.0170	0.0410	0.0310	0.0170	0.0420
	Ortalama	0.0000	0.0000	0.0031	-0.0002	0.0002	0.0004
	Std. S.	0.0060	0.0035	0.0078	0.0059	0.0034	0.0086
12s	Maximum	0.0120	0.0070	0.0160	0.0130	0.0080	0.0170
	Minimum	-0.0080	-0.0060	-0.0130	-0.0110	-0.0050	-0.0130
	Aralık	0.0200	0.0130	0.0290	0.0240	0.0130	0.0300
	Ortalama	-0.0005	-0.0003	0.0013	-0.0009	0.0004	-0.0003
	Std. S.	0.0044	0.0030	0.0058	0.0047	0.0030	0.0070
24s	Maximum	0.0050	0.0050	0.0120	0.0160	0.0060	0.0110
	Minimum	-0.0050	-0.0050	-0.0060	-0.0060	-0.0040	-0.0100
	Aralık	0.0100	0.0100	0.0180	0.0220	0.0100	0.0210
	Ortalama	0.0007	-0.0008	0.0020	0.0000	0.0000	-0.0001
	Std. S.	0.0026	0.0023	0.0046	0.0041	0.0023	0.0054

Tekraredilebilirlikle ilgili verilen grafiklere ilave olarak her bir noktanın tüm ölçüler dikkate alınarak hesaplanan temel istatistiksel büyüklükleri Tablo 6.5, Tablo 6.6 ve Tablo 6.7'de verilmiştir.

Tablo 6.6: TIXI noktasına ait temel istatistik değerleri.

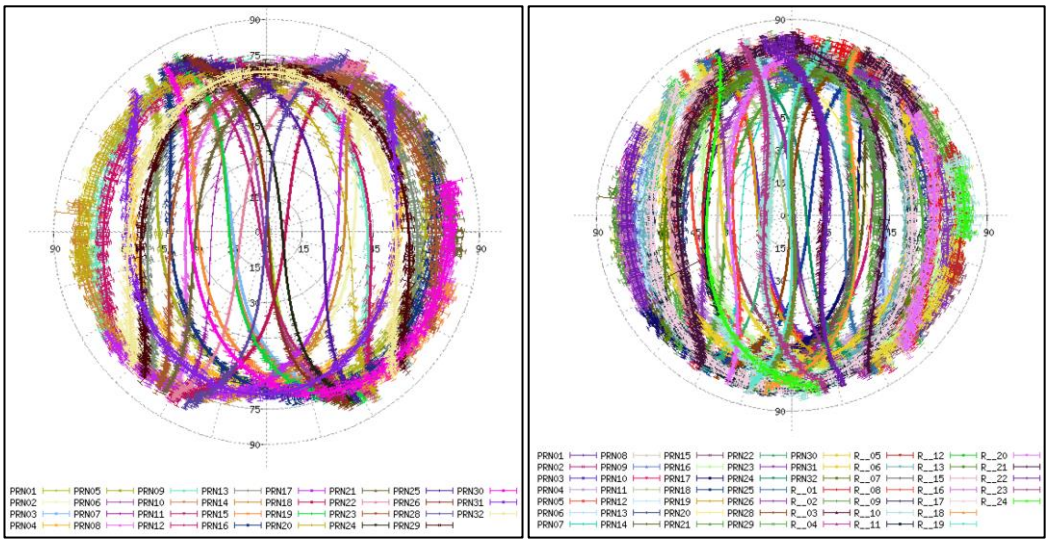
Ölçü Süresi	Temel İstatistikler	GPS			GPS/GLONASS		
		e (m)	n (m)	u (m)	e (m)	n (m)	u (m)
1s	Maximum	0.0590	0.0730	0.1390	0.0410	0.0290	0.0720
	Minimum	-0.0860	-0.1180	-0.2790	-0.0490	-0.0270	-0.1950
	Aralık	0.1450	0.1910	0.4180	0.0900	0.0560	0.2670
	Ortalama	-0.0006	-0.0013	0.0024	-0.0001	-0.0006	-0.0079
	Std. S.	0.0210	0.0185	0.0449	0.0117	0.0093	0.0321
2s	Maximum	0.0310	0.0400	0.0750	0.0200	0.0170	0.0570
	Minimum	-0.0400	-0.0220	-0.0660	-0.0250	-0.0260	-0.0590
	Aralık	0.0710	0.0620	0.1410	0.0450	0.0430	0.1160
	Ortalama	-0.0009	-0.0019	0.0031	0.0001	-0.0010	-0.0021
	Std. S.	0.0114	0.0102	0.0306	0.0071	0.0061	0.0181
3s	Maximum	0.0160	0.0210	0.0690	0.0220	0.0110	0.0590
	Minimum	-0.0280	-0.0180	-0.0530	-0.0160	-0.0140	-0.0370
	Aralık	0.0440	0.0390	0.1220	0.0380	0.0250	0.0960
	Ortalama	-0.0012	-0.0017	0.0031	0.0001	-0.0007	-0.0002
	Std. S.	0.0079	0.0069	0.0258	0.0057	0.0048	0.0144
4s	Maximum	0.0080	0.0060	0.0600	0.0100	0.0070	0.0370
	Minimum	-0.0230	-0.0180	-0.0570	-0.0140	-0.0110	-0.0330
	Aralık	0.0310	0.0240	0.1170	0.0240	0.0180	0.0700
	Ortalama	-0.0024	-0.0035	-0.0035	-0.0003	-0.0006	-0.0025
	Std. S.	0.0055	0.0043	0.0255	0.0047	0.0036	0.0126
8s	Maximum	0.0050	0.0060	0.0420	0.0080	0.0060	0.0260
	Minimum	-0.0110	-0.0080	-0.0390	-0.0060	-0.0060	-0.0210
	Aralık	0.0160	0.0140	0.0810	0.0140	0.0120	0.0470
	Ortalama	-0.0023	-0.0020	-0.0002	0.0002	0.0004	-0.0003
	Std. S.	0.0027	0.0024	0.0212	0.0031	0.0023	0.0104
12s	Maximum	0.0030	0.0030	0.0180	0.0060	0.0030	0.0230
	Minimum	-0.0120	-0.0060	-0.0280	-0.0070	-0.0040	-0.0120
	Aralık	0.0150	0.0090	0.0460	0.0130	0.0070	0.0350
	Ortalama	-0.0036	-0.0021	-0.0025	-0.0002	-0.0001	-0.0009
	Std. S.	0.0031	0.0020	0.0087	0.0026	0.0018	0.0074
24s	Maximum	0.0030	0.0030	0.0180	0.0040	0.0020	0.0190
	Minimum	-0.0120	-0.0060	-0.0280	-0.0040	-0.0030	-0.0090
	Aralık	0.0150	0.0090	0.0460	0.0080	0.0050	0.0280
	Ortalama	-0.0036	-0.0021	-0.0025	-0.0001	0.0000	0.0000
	Std. S.	0.0031	0.0020	0.0087	0.0020	0.0014	0.0063

Tablo 6.7: UNBJ noktasına ait temel istatistik değerleri.

Ölçü Süresi	Temel İstatistikler	GPS			GPS/GLONASS		
		e (m)	n (m)	u (m)	e (m)	n (m)	u (m)
1s	Maximum	0.2240	0.0740	0.2540	0.1410	0.0470	0.2720
	Minimum	-0.2460	-0.0790	-0.1570	-0.1530	-0.0240	-0.0690
	Aralık	0.4700	0.1530	0.4110	0.2940	0.0710	0.3410
	Ortalama	-0.0003	-0.0018	0.0088	0.0042	0.0008	0.0029
	Std. S.	0.0540	0.0188	0.0419	0.0217	0.0084	0.0237
2s	Maximum	0.0920	0.0320	0.1310	0.1070	0.0270	0.1410
	Minimum	-0.0820	-0.0500	-0.0640	-0.0370	-0.0140	-0.0490
	Aralık	0.1740	0.0820	0.1950	0.1440	0.0410	0.1900
	Ortalama	0.0021	-0.0008	0.0045	0.0032	0.0005	-0.0001
	Std. S.	0.0276	0.0124	0.0263	0.0129	0.0047	0.0150
3s	Maximum	0.1200	0.0190	0.0510	0.0910	0.0130	0.0780
	Minimum	-0.0400	-0.0180	-0.0450	-0.0160	-0.0090	-0.0240
	Aralık	0.1600	0.0370	0.0960	0.1070	0.0220	0.1020
	Ortalama	0.0036	0.0006	-0.0003	0.0021	0.0002	-0.0007
	Std. S.	0.0215	0.0067	0.0158	0.0097	0.0033	0.0105
4s	Maximum	0.0460	0.0130	0.1320	0.0170	0.0060	0.1260
	Minimum	-0.0240	-0.0120	-0.0260	-0.0180	-0.0080	-0.0290
	Aralık	0.0700	0.0250	0.1580	0.0350	0.0140	0.1550
	Ortalama	0.0030	0.0001	0.0010	0.0010	-0.0002	-0.0008
	Std. S.	0.0150	0.0043	0.0181	0.0051	0.0024	0.0121
8s	Maximum	0.0190	0.0080	0.0650	0.0080	0.0060	0.0400
	Minimum	-0.0170	-0.0110	-0.0230	-0.0090	-0.0060	-0.0140
	Aralık	0.0360	0.0190	0.0880	0.0170	0.0120	0.0540
	Ortalama	-0.0009	0.0007	0.0009	-0.0001	-0.0001	-0.0007
	Std. S.	0.0105	0.0032	0.0136	0.0029	0.0020	0.0068
12s	Maximum	0.0050	0.0040	0.0370	0.0040	0.0030	0.0310
	Minimum	-0.0120	-0.0030	-0.0170	-0.0060	-0.0030	-0.0140
	Aralık	0.0170	0.0070	0.0540	0.0100	0.0060	0.0450
	Ortalama	-0.0028	0.0006	0.0017	0.0003	0.0001	0.0002
	Std. S.	0.0034	0.0020	0.0114	0.0021	0.0016	0.0062
24s	Maximum	0.0010	0.0040	0.0140	0.0040	0.0030	0.0150
	Minimum	-0.0050	-0.0020	-0.0090	-0.0040	-0.0030	-0.0080
	Aralık	0.0060	0.0060	0.0230	0.0080	0.0060	0.0230
	Ortalama	-0.0025	0.0007	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
	Std. S.	0.0016	0.0015	0.0046	0.0017	0.0014	0.0045

MBAR, TIXI ve UNBJ noktalarından elde edilen sonuçlar görüldüğü üzere e ve n bileşenlerinin benzerliği ve farklılığı, GLONASS ölçülerinin dahil edilmesinin tekrar edilebilirliği ne derece etkilediği ve hangi ölçü sürelerinde katkı sağladığı açısından farklılıklar göstermiştir. Örneğin, MBAR noktasında GLONASS ölçüleri her üç bileşende 1 saatlik ölçülerin tekrar edilebilirliğini anlamlı derecede iyileştirirken, TIXI noktasında yatay bileşende 1, 2 ve 3 saatlik ölçü süresinde, u

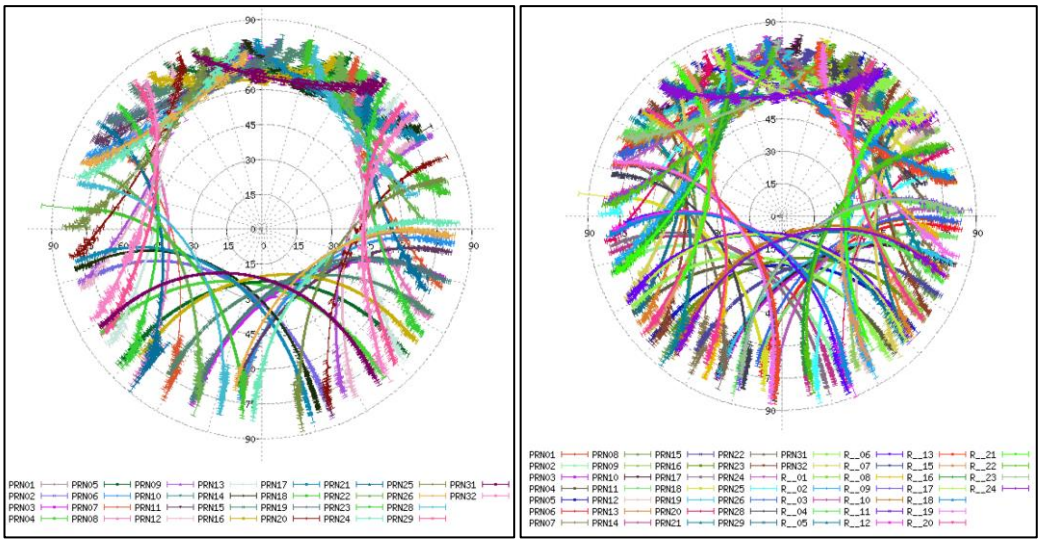
bileşeninde ise 1, 2, 3, 4 ve 8 saatlik ölçü süresinde anlamlı derecede iyileştirmelere sebep olmuştur. UNBJ noktasında ise, tekrar edilebilirlik GLONASS ölçülerinin katılması ile hem e hem de u bileşeninde anlamlı derecede ortaya çıkmıştır. Bu farklılıkların sebebi, noktaların farklı enlem bölgelerinde olmaları dolayısıyla uydu alıcı sinyal yolundaki troposferik yapının farklılık göstermesi, ekvator, orta enlem ve yüksek enlem bölgelerinde ki GPS ve GLONASS uydu sayı ve dağılımlarının farklılık göstermesi vb. gibi etkiler olabilir. Bu nedenle, her bir noktaya ait sky plot çizimleri yalnızca GPS ve GPS/GLONASS ölçüleri için verilmiş ve aşağıda yorumlanmıştır.



a) b)

Şekil 6.33: MBAR 24 saatlik a) GPS; b) GPS/GLONASS uydu geometrisi.

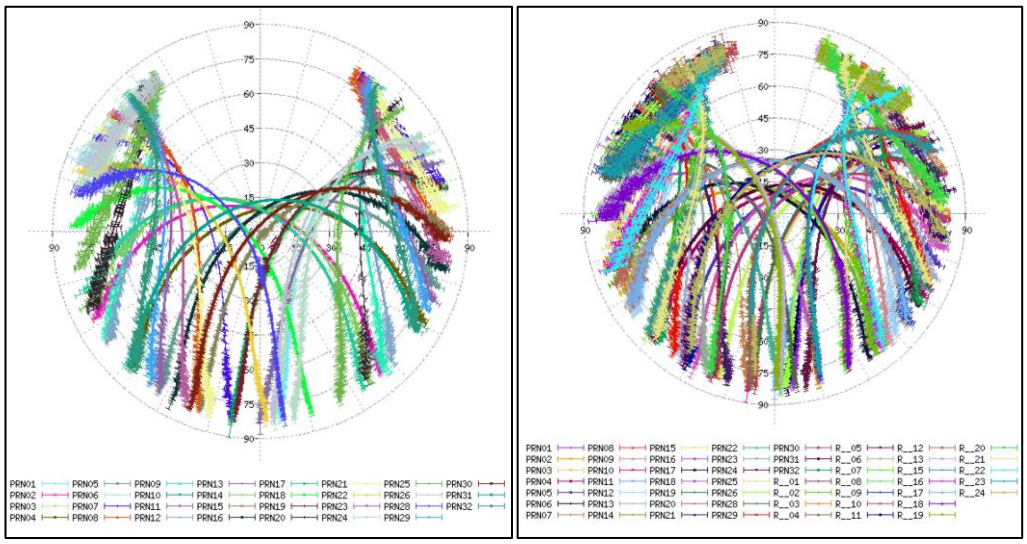
MBAR noktasında 24 saatlik GPS uydu dağılımı genel anlamda alıcının bulunduğu gökyüzünü kaplamış fakat Kuzey ve Güney uçlarda hafif açıklık olduğu bu açıklığın GLONASS uydularının dahil edilmesi ile neredeyse kapandığı görülebilir. İki uydu sistemi arasındaki bu farkın temel sebebi, GPS ve GLONASS uydu yörüngelerinin ekvatorla yaptığı açıların farklı olmasından dolayıdır. Şekilden de görüldüğü gibi GLONASS uydularının dahil edilmesi ile hemen hemen bir açık alan kalmamıştır.



a) b)

Şekil 6.34: TIXI 24 saatlik a) GPS; b) GPS/GLONASS uydu geometrisi.

TIXI noktasında ise, MBAR noktasından farklı olarak, noktanın kutba yakın olmasından dolayı özellikle kutup bölgesinde GPS uydularının yörüngesinden kaynaklı bir açıklık göze çarpmaktadır. Bu açıklık GLONASS uydularının dahil edilmesi ile daha öncede belirtilen iki sistem arasındaki yörüngelerin ekvator ile yapıldığı açının farklı olmasından dolayı daha da azalmıştır. Bu durum, GLONASS ölçülerinin dahil edilmesi ile neden TIXI noktasında anlamlı derecede tekrar edilebilirliğin iyileşdiği netleşmektedir.



a) b)

Şekil 6.35: UNBJ 24 saatlik a) GPS; b)GPS/GLONASS uydu geometrisi.

UNBJ noktasında da TIXI noktasına benzer şekilde GLONASS ölçülerinin dahil edilmesi ile kutup bölgesindeki uydu taramasını arttırmakta ve buna bağlı olarak da açıklığı biraz daha azaltmaktadır.

Yukarıda sky plot lar'dan da görüldüğü gibi GPS ve GLONASS uydu izlerinin ve geometrisinin alıcının bulunduğu enleme göre farklılık gösterdiğini ve konum doğruluk ve duyarlıklarını nasıl etkilediğini açıklamaktadır. Sonuçlarda göstermiştir ki, TIXI ve UNBJ noktalarında GLONASS ölçülerinin PPP konum belirleme duyarlığını olumlu derecede iyileştirmiştir. Bu iyileştirme özellikle ölçü süresinin kısalması ile daha da belirgin olarak kendini hissettirmiştir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ekvator, orta enlem ve yüksek enlem olmak üzere üç farklı enlem bölgesinde bulunan üç IGS istasyonunun ölçü süresine bağlı GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP statik konum belirleme performansı karşılaştırmalı bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Çalışmada hem konum doğruluğu hem de tekrar edilebilirlik incelenmiş olup aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Beklenildiği gibi ölçü süresi arttıkça tekrar edilebilirlik ve ulaşılan konum doğruluğu hem GPS hem de GPS/GLONASS çözümünde artış göstermiştir. Örneğin MBAR noktasının GPS/GLONASS çözümünde 30 günlük verilerinden hesaplanan 1, 2, 3, 4, 8, 12 ve 24 saatlik verilerin tekrar edilebilirliği sırasıyla, e bileşeni için; 3.0 cm, 1.6 cm, 1.2 cm, 0.9 cm, 0.6 cm, 0.5 cm, 0.4 cm, aynı ölçü sürelerinde n bileşeni için sırasıyla; 1.0 cm, 0.6 cm, 0.5 cm, 0.4 cm, 0.3 cm, 0.3 cm, 0.2 cm ve yine aynı ölçü sürelerinde u bileşeni için sırasıyla; 3.0 cm, 1.9 cm, 1.4 cm, 1.2 cm, 0.9 cm, 0.7 cm, 0.5 cm dir. MBAR noktasına benzer şekilde, ölçü süresine bağlı olarak tekrar edilebilirliğin artması TIXI ve UNBJ noktalarında da gözlemlenmiştir.

Çözümlerde hem GPS hem de GPS/GLONASS sonuçları göstermiştir ki, ekvator bölgesindeki MBAR ve orta enlem bölgesindeki UNBJ noktalarında, n bileşeninin tekrar edilebilirliği e bileşeninkinden genellikle daha iyi çıkmıştır. Fakat yüksek enlem noktasındaki TIXI noktasında n ve e bileşenlerinin tekrar edilebilirlikleri neredeyse benzer hassasiyette sonuçlar vermiştir. Bu durum, diğer sebepler arasından, GPS ve GLONASS uydu yörüngelerinin yörünge doğrultusu ve yörünge doğrultusuna dik bileşenlerinin farklı hassasiyette belirlenmesi ve bu yörüngelerin ekvator, orta enlem ve yüksek enlem bölgelerindeki izlerinin farklılık göstermesinden kaynaklanıyor olabilir. u yükseklik bileşeninin tekrar edilebilirliği ise, her üç noktada da, beklenildiği gibi yatay bileşenlerden daha düşük çıkmıştır.

MBAR noktası sonuçları, ölçü süresinin 2 saatten fazla olması durumunda sadece GPS ölçülerinin yeterli olduğu ve GLONASS ölçülerinin dahil edilmesinin tekrar edilebilirliği çok fazla etkilemediğini göstermiştir. Fakat ölçü süresinin 1 saat olması durumunda tekrar edilebilirlik GLONASS ölçülerinin GPS ölçülerine dahil edilmesi % 15 sevilerinde iyileştirmiştir. Bu durum, ekvator bölgesinde özellikle ölçü süresinin 2 saatten az olması durumunda GLONASS ölçülerinin de toplanması ve değerlendirmede dikkate alınmasının önemini ortaya çıkartmıştır.

UNBJ ve TIXI noktalarına ait değerlendirme sonuçları, orta ve özellikle yüksek enlem bölgelerinde GPS uydu yörüngelerinin ekvator ile yaptığı açıdan dolayı kutup bölgelerinde uydu geçişlerinin GLONASS a göre daha az olması sebebiyle, GPS ölçülerine GLONASS ölçülerinin dahil edilmesinin konumsal doğruluk ve tekrar edilebilirliği yükselttiğini göstermiştir. TIXI noktasında, yatay bileşenler de 1, 2 ve 3 saatlik ölçü sürelerinde GLONASS ın katkısı anlamlı derecede görülürken, u bileşeninde bunlara ilave olarak 4 ve 8 saatlik ölçü sürelerinde de bu olumlu katkı görülmüştür. UNBJ noktasında ise, GLONASS' ın katkısı yatay bileşenlerde 1, 2, 3, 4 ve 8 saatlik ölçü sürelerinde, u bileşeninde bunlara ilave olarak 12 saatlik ölçü süresinde de görülmüştür.

Bu çalışmanın sonuçları, orta enlem ve yüksek enlem bölgesinde ölçü süresinin 12 saatten az olması, ekvator bölgesinde ise ölçü süresinin 2 saatten az olması durumunda sadece GPS-PPP yerine GPS/GLONASS-PPP yönteminin tercih edilmesinin, daha yüksek duyarlıklı sonuçlara ulaşılması açısından, önemli olduğunu göstermiştir. Özellikle yerkabuğunda, toprak kayması, deprem, yer altı madenciliği v.b. sebeplerden kaynaklanan yatay ve düşey deformasyonların GNSS ile izlenmesi ve konumsal değişimlerin PPP yöntemi kullanılarak belirlenmesi planlanırsa, GPS-PPP yerine GPS/GLONASS-PPP modelinin tercih edilmesi hem ölçü süresinin kısalması hem de ulaşılan hassasiyetin artması açısından daha iyi olacaktır.

KAYNAKLAR

Abdel-salam M.A., (2005), "Precise Point Positioning Using Un-Differenced Code and Carrier Phase Observations", Doctor of Philosophy Thesis, University of Calgary.

Alcay S., Inal C., (2010), "Global bir ağda GPS/GLONASS, GPS ve GLONASS Sonuçlarının Karşılaştırılması", Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25(1), 30-38.

Alcay S., Inal C., Yigit C.O., Yetkin M., (2012), "Comparing GLONASS-only with GPS-only and hybrid positioning in various length of baselines", Acta Geodaetica Geophysica et Hungarica, 47(1), 1-12.

Alkan R.M., Öcalan T., (2013), "Usability of the GPS Precise Point Positioning Technique in Marine Applications", The Journal of Navigation, 66, 579–588.

Anquela A.B., Martín A., Berné J.L., Padín J., (2013), "GPS+GLONASS Static and Kinematic PPP Results", A Case Study. Journal of Surveying Engineering, 139(1), 47–58.

Avallone A., Marzario M., Cirella A., Piatanesi A., Rovelli A., Di Alessandro C., D'Anastasio E., D'Agostino N., Giuliani R., Mattone M., (2011), "Very high rate (10 Hz) GPS seismology for moderate-magnitude earthquakes: The case of the Mw 6.3 L'Aquila (central Italy) event", Journal of Geophysical Research, 116, 1-14.

Averin S.V., (2006), "GLONASS System: Present Day and Prospective Status and Performance" Report of European Navigation Conference GNSS-2006, 1-10, Manchester, UK, 7-10 May.

Azab M., El Rabbany A., Shourky M.N., Khalil R., (2011), "Precise Point Positioning using combined GPS/GLONASS measurements", FIG Working Week, 1-8, Marrakech, Morocco, 18-22 May.

Bartenev V.A., Kosenko V.E., Chebotarev V.E., (2006), "Russian GLONASS at the Stage of Active Implementation", InsideGNSS, April, 40-43.

Beran T., Kim D., Langley R.B., (2003), "High Precision Single-Frequency GPS Point Positioning", Proceedings of ION GPS 2003, 1-9, Portland, USA, 9-12 September.

Bock H., Hugentobler U., Beutler G., (2003), "Kinematic and dynamic determination of trajectories for low Earth satellites using GPS" In: Reigber C., Luhr H., Schwintzer P., Editors, "First CHAMP mission results for gravity magnetic and atmospheric studies", Springer.

Bruyninx C., (2007), "Comparing GPS-only with GPS+GLONASS Positioning in a Regional Permanent GNSS Network", GPS Solutions, 11, 97-106.

Cai C., Gao Y., (2007), "Precise Point Positioning using combined GPS and GLONASS observations", Journal of Global Positioning Systems, 1,13-22.

Cai C., (2009), "Precise Point Positioning Using Dual-Frequency GPS and GLONASS Measurement", Master Thesis, University of Calgary.

Cai, C., Gao Y. (2013), "Modelling and assessment of combined GPS/GLONASS precise point positioning", GPS Solutions, 17, 223-236.

Calais E., Han JY., Demets C., Nocquet JM., (2006), "Deformation of the North American plate interior from a decade of continuous GPS measurements", Journal of Geophysical Research, 111(B06402), 1-23.

Chamberlain S.M., (1991), "Combined GPS/GLONASS Navigation", Proceedings of Telesystems Conference, 205-210, Atlanta, GA, USA, 26-27 March.

Chen K., (2004), "Real-Time Precise Point Positioning and Its Potential Applications", Proceedings of ION GNSS-2004, 1844-1854, Long Beach, California, USA, 21-24 September.

Chen K., Gao Y., (2005), "Real-Time Precise Point Positioning Using Single Frequency Data", Proceedings of ION GNSS-2005, 1514-1523, Long Beach, California, USA, 13-16 September.

Czopek F., Mader G., (2002), "Calibrating Antenna Phase Centers", GPS World, May, 1-5.

Ebner R., Featherstone,W. E., (2008), "How well can online GPS PPP post-processing services be used to establish geodetic survey control networks?", Journal of Applied Geodesy, 2(3), 149–157.

El- Rabbany A., (2006), "Introduction to GPS: The Global Positioning System", 2nd edition, Artech House Publisher.

El-Mowafy A., (2009), "Alternative post-processing relative positioning approach based on precise point positioning", Journal of Surveying Engineering, 135(2), 56-65.

El-Mowafy A., (2011), "Analysis of Web-Based GNSS Post-Processing Services for Static and Kinematic Positioning Using Short Data Spans", Survey Review, 43(323), 535–549.

Fund F., Perosanz F., Testut L., Loyer S., (2013), "An Integer Precise Point Positioning technique for sea surface observations using a GPS buoy", Advances in Space Research, 51, 1311–1322.

Gakstatter E., (2006), "GPS Modernization-What's in It for the Surveyor?", GPS World, May, 1-3.

Gao Y., Wojciechowski A., Chen K., (2005). "Airborne kinematic positioning using precise point positioning methodology",Geomatica, 59, 275–282.

Geng J., Teferle FN., Meng X., Dodson AH., (2010), "Kinematic precise point positioning at remote marine platforms", GPS Solutions, 14, 343-350.

Ghoddousi-Fard R., Dare P., (2006), "Online GPS processing services: an initial study", GPS Solutions, 10(1), 12–20.

GLONASS ICD (2002), "Global Navigation Satellite System GLONASS Interface Control Document", Version 5.0, Moscow, Russia.

GPS ICD (2000), "Interface Control Document – Navstar GPS Space Segment /Navigation User Interfaces", ICD-GPS-200C.

Habrich H., (1999), "Geodetic Applications of the Global Navigation Satellite System (GLONASS) and GLONASS/GPS Combinations", Doctor of Philosophy Thesis, University of Berne.

Habrich, H., Neumaier P., Fisch K., (2004), "GLONASS Data Analysis for IGS", Proceedings of IGS Workshop and Symposium, 1-10, Berne, Switzerland,1-5 March.

Hammond WC., Thatcher W., (2005), "Northwest Basin and Range tectonic deformation observed with the global positioning system: 1999–2003", Journal of Geophysical Research Letters,. 110(B10405), 1-12.

Hesselbarth A., Wanninger L., (2008), "Short-term Stability of GNSS Satellite Clocks and its Effects on Precise Point Positioning", Proceedings of ION GNSS, 1855-1863, Savannah, Georgia, USA, 16-19 September.

IERS (1989)., "IERS Standards", IERS Technical Note 3,(ed.D.D.McCarthy).

IERS (1996). IERS Conventions, IERS Technical Note 21,(ed.D.D.McCarthy).

Kahveci M., (2010), " GPS/GNSS Gözlemeleri Değerlendirme Yöntemlerinde Son Gelişmeler", Jeodezi-Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 102(1), 1-9.

Kahveci M., Karagöz H., Selbesoğlu M.O., (2011), "Statik ve RTK GNSS Ölçüm ve Hesaplamalarının Karşılaştırılması", Jeodezi-Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 104(1), 3-13.

Kaplan E.D., Hegarty C.J., (2006), "Understanding GPS: Principles and Applications", 2nd Edition, Artech House.

Klobuchar J.A., (1996) "Ionospheric Effects on GPS", In: Parkinson and Spilker, Jr. (Editors.), "Global Positioning Systems: Theory and Applications Volume I", Progress in Astronautics and Aeronautics, American Institute of Aeronautics and Astronautics.

Kouba J., Héroux P., (2001), "GPS Precise Point Positioning Using IGS Orbit Products", GPS Solutions, 5(2), 12-28.

Kouba J., (2003), "Measuring seismic waves induced by large earthquakes with GPS", Stud Geophys Geod, 47, 741–755.

Kouba, J., (2009), "A Guide to using International GNSS Service (IGS) Products", Geodetic Survey Division-Natural Resources Canada, Canada.

Kuo C., Chiu K., Chiang K., Cheng K., Lin L., Tseng H., Chu F., Lan W., Lin H., (2012), "High-Frequency Sea Level Variations Observed by GPS Buoys Using Precise Point Positioning Technique" Terrestrial Atmospheric and Oceanic Science, 23, 209–218.

Leick A., (2004), "GPS Satellite Surveying", 3rd Edition, Wiley.

Lewandowski W., Danaher J., Klepczynski W.J., (1996), "Experiment Using GPS/GLONASS Common View Time Transfer Between Europe and North America", In Proceedings of ION Satellite Division GPS-96 International Technical Meeting, 271–277, Kansas City, Missouri, USA, 17-20 September.

Li P., Zhang X.,(2013), " Integrating GPS and GLONASS to accelerate convergence and initialization times of precise point positioning", GPS Solutions, Online first, doi:10.1007/s10291-013-0345-5.

Li T., Wang J., Laurichesse D., (2013a), "Modeling and quality control for reliable precise point positioning integer ambiguity resolution with GNSS modernization" GPS Soluttions, online first, doi:10.1007/s10291-013-0342-8.

Li X., Ge M, Zhang X., Zhang Y., Guo B., Wang R., Klotz J., Wickert J., (2013b), "Real-time high-rate co-seismic displacement from ambiguity-fixed precise point positioning: Application to earthquake early warning", Geophysical Research Letters ,40, 295–300.

Liao X., (2000), "Carrier Phase Based Ionosphere Recovery Over A Regional Area GPS Network", Doctor of Philosophy Thesis, University of Calgary.

Maraş S.S., (2010), " Web Tabanlı Ototmatik GPS Veri İşleme Sistemi Tasarımı", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi.

Martin W., Ladd, J., (1997) , "GPS+GLONASS Surveying", Proceeding of ION GPS-97, 851-856, Kansas City, MO, USA, 16-19 September.

Mekik C., (1997), "Tropospheric Delay Models in GPS", Presented at the International Sypm. on GIS/GPS, 156-170, Istanbul, Turkey, 15-18 September.

Mekik C., (2010), "Global Uydu Navigasyon Sistemleri ve Uydu Bazlı Alan Büyütme Sistemleri", CEBİT-Eoroasia Coğrafi Bilgi Teknolojileri Çalıştayı, 1-10. İstanbul, Türkiye, 6-8 Ekim.

Misra P.N., Abbot R. I., Gaposchkin E.M., (1996), "Transformation Between WGS-84 and PZ-90", Proceedings of the 9th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, ION GPS-96, 261-270, Kansas City, Missouri,USA, 17-20 September.

Misra, P. N., Abbot R., Gaposchkin E., (1996), "Integrated Use of GPS and GLONASS:Transformation between WGS 84 and PZ-90.", Proc. ION GPS-96, Kansas City, USA, 17-20 September.

Misra P., Enge P., (2001), "Global Positioning System: Signals, Measurements and Performance", 1st Edition, Ganga-Jumuna Press.

Muellerschoen R.J., Bertiger W.I., Lough M.F., (2000), "Results of an Internet-Based Dual-Frequency Global Differential GPS System", Proceedings of IAIN World Congress, 1-7, San Diego, California, USA, 26-28 June.

Mutlu B.,(2011), "Tek Frekanslı GPS Alıcısı ile Hassas Konum Belirleme", Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

Ohta Y., Ohzono M., Miura S., Iinuma T., Tachibana K., Takatsuka K., Miyao K., Sato T., Umino N., (2008), "Coseismic fault model of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake deduced by a dense GPS network", Earth Planets Space. 60, 1197–1201.

Oleynik, E.G., V.V. Mitrikas., S.G. Revnivykh., A.I. Serdukov., Dutov E.N., Shiriaev V.F., (2006), "High-Accurate GLONASS Orbit and Clock Determination for the Assessment of System Performance" Proceedings of ION GNSS 2006, 2065-2079, Fort Worth, Texas, USA, 26-29 September.

Parkinson B.W., Ashby N., (1996), "Introduction to Relativistic Effects on the Global Positioning System, in Global Positioning System: Theory and Applications Volume I", Progress in Astronautics and Aeronautics, The American Institute of Aeronautics and Astronautics,

Petrov L., Boy J.P., (2004), "Study of the Atmospheric Pressure Loading Signal in VLBI Observations", Journal of Geophysical Research, 109(B03405), 1-14

Piriz R., Calle D., Mozo A., Navarro P., Rodriguez D., Tobias G.G., (2009), "Orbits and clocks for GLONASS precise-point-positioning" Proceedings of ION GNSS-2009, 2415-2424, Savannah, Georgia, USA, 22-25 September.

Rabbel W., Schuh H., (1986), "The Influence of Atmospheric Loading on VLB Iexperiments", Journal of Geophysical Research, 59, 164-170.

Raffaela C., Marco G., (2000), "Dual Frequency GPS+GLONASS measurements in the static relative positioning", Bollettino di geodesia e scienze afini, 59, 391-403.

Rizos B.C., (1999), "Satellite Ephemeris Bias, Principles and Practice of GPS Surveying", The University of New South Wales, Sydney, Australia.

Rizos B.C., Janssen V., Roberts C., Grinter T., (2012), "GNSS : Precise Point Positioning PPP versus DGNSS", Geomatics World, October, 18–20.

Rosbach U., (2000), "Positioning and Navigation Using the Russian Satellite System GLONASS", Doctor of Philosophy Thesis, University of the Federal Armed Forces Munich.

Romero I., Dow J.M., Zandbergen R., Feltens J., Garcia C., Boomkamp H., Perez J., (2004), "The ESA/ESOC IGS Analysis Center Report 2002, IGS 2001-2002" Technical Report, 53-58, IGS Central Bureau, JPL-Publication, Pasadena, California, USA.

Rothacher M., Beutler G., (2002), "Advanced Aspects of Satellite Positioning", Lecture Notes for ENGO 609.90, The University of Calgary.

Savage JC., Gan W., Prescott WH., Svarc JL., (2004), "Strain accumulation across the coast ranges at the latitude of San Francisco 1994–2000", Journal of Geophysical Research, 109(B03413), 1-11.

Schaer, S., Gurtner W., Feltens J., (1998), "IONEX: The Ionosphere Map Exchange Format Version 1", Proceedings of the 1998 IGS Analysis Centers Workshop - ESOC, 1-15, Darmstadt, Germany, 9-11 February.

Shen X., (2002), "Improving Ambiguity Convergence in Carrier Phase-based Precise Point Positioning", Doctor of Philosophy Thesis, University of Calgary.

Shrestha S.M., (2003), "Investigations into the Estimation of Tropospheric Delay and Wet Refractivity Using GPS Measurements", Doctor of Philosophy Thesis, University of Calgary.

Stewart M.P., Tsakiri M., Wang J., Monico J.F., (2000), "The contribution of GLONASS measurements to regional and continental scale geodetic monitoring regimes", Earth Planets Space, 52, 877-880.

Tao W., (2008), "Near Real-time GPS PPP-inferred Water Vapor System Development and Evaluation", Doctor of Philosophy Thesis, University of Calgary.

Tiryakioğlu İ., (2005), "GPS Sinyal Yansımasının(Multipath) Nokta Konumlarına Etkisinin Araştırlması", Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi.

Wang J., Wang J., (2007), "Comparing long baseline results from GPS and GPS/GLONASS", Combined Int. Symp. & Exhibition on Geoinformation & GNSS, 1-10, Johor Bahru, Malaysia, 5-7 November.

Weber R., Fragner E., (2002), "The Quality of Precise GLONASS Ephemerides", Advances in Space Research., 30(2), 271-279.

Web 1, (2014), http://www.gpsintel.com/blog/, (Erişim Tarihi: 26/01/2014).

Web 2, (2008), ftp://tycho.usno.navy.mil/pub/gps/gpssy.txt, (Erişim Tarihi: 26/01/2009).

Web 3, (2007), http://www.ublox.com/images/stories/Resources/gps_compendiumgps-x02007.pdf p.66, (Erişim Tarihi: 30/05/2014).

Web 4, (2014), http://www.insidegnss.com/node/648, (Erişim Tarihi: 26/02/2014).

Web 5, (2013), http://www.ublox.com/images/stories/Resources/gps_compendiumgps-x02007.pdf p.70, (Erişim Tarihi: 30/05/2014).

Web 6, (2014), http://glonass-iac.ru/en/, (Erişim Tarihi: 01/04/2014).

Web 7, (2014), http://www.igs.org/network/iglos.html, (Erişim Tarihi: 05/06/2014).

Web 8, (2014), http://www.igs.org/organization/figure1.html , (Erişim Tarihi: 05/06/2014).

Web 9, (2014), http://www.igs.org/components/prods.html , (Erişim Tarihi: 05/06/2014).

Web 10, (2014), http://www.apps.gdgps.net , (Erişim Tarihi: 05/06/2014).

Web 11, (2014), http://www.gaps.gge.unb.ca/gaps_summary.txt, (Erişim Tarihi: 05/06/2014).

Web 12, (2014), http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php, (Erişim Tarihi: 05/06/2014).

Web 13, (2014), http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/toolsoutils/ppp.php?locale=en, (Erişim Tarihi: 11/03/2014).

Web 14, (2014), http://igscb.jpl.nasa.gov/network/, (Erişim Tarihi: 08/03/2014).

Web 15, (2014), http://igscb.jpl.nasa.gov/network/, (Erişim Tarihi: 10/03/2014).

Web 16, (2014), http://sopac.usd.edu/cgi-bin/dbDataBySite.cgi, (Erişim Tarihi: 08/03/2014)

Weber R., Slater J.A, Fragner E., Glotov V., Habrich H., Romero I., Schaer S., (2005), "Precise GLONASS Orbit Determination within the IGS/IGLOS Pilot Project", Advances in Space Research, 36, 369-375.

Weill Lawrence R.,(2003), "INNOVATION-Multipath Mitigation: How Good Can It Get with New Signals? The column explores a new multipath mitigation algorithm and describes its expected performance with the new GPS signals soon", GPS World, June, 106-113.

Witchayangkoon B., (2000), “Elements of GPS Precise Point Positioning” Doctor of Philosophy Thesis, University of Maine.

Wu J. T., Wu S. C., Hajj G. A., Bertiger W. I., Lichten S. M., (1993), “Effects of Antenna Orientation on GPS Carrier Phase”, Manuscripta Geodaetica, 18(2), 91-98.

Yigit C.O., (2014), “Experimental assessment of post-processed Precise Point Positioning for Structural Health Monitoring”, Geomatics, Natural Hazards and Risk, online first, DOI: 10.1080/19475705.2014.917724.

Yigit CO., Gikas V., Alcay S., Ceylan A., (2014), “Performance evaluation of short to long term GPS, GLONASS and ,GPS/GLONASS post-processed PPP”, Survey Review, 46(3), 155-166.

Zhang X., Andersen OB., (2006), “Surface ice flow velocity and tide retrieval of the Amery ice shelf using precise point positioning”, Journal of Geodesy, 80, 171–176.

Zheng Y., Nie G., Fang R., Yin Q., Yi W., Liu J., (2012), “Investigating of GLONASS performance in differential positioning”, Earth Science Informatics, 5(3-4), 189-199.

Zinoviev, A.E. (2005), “Using GLONASS in Combined GNSS Receivers: Current Status”, ION GNSS 2005, 1046-1057, Long Beach, California, USA, 13-16 September.

Zumberge J.F., Heflin M.B., Jefferson D.C., Watkins M.M., Webb F.H., (1997), “Precise Point Positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks”, Journal of Geophysical Research, 102(3), 5005-5017.

ÖZGEÇMİŞ

Mahmut Kızılarslan 1979 yılında Elazığ'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbulda tamamladı. 2004 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2008 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü (GYTE) Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans eğitimine başladı. 2007 yılından beri Ümraniye Belediyesi, Fen İşleri Müdürlüğü, Ar-ge Şefliğinde Harita Mühendisi olarak çalışmaktadır.