T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SINIRLI UYDU GÖRÜŞÜNDE YÜKSEK FREKANSLI KİNEMATİK GNSS-PPP YÖNTEMİNİN PERFORMANSI: SARSMA TABLASI DENEYLERİ

MERT BEZCİOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI

GEBZE
2018

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SINIRLI UYDU GÖRÜŞÜNDE YÜKSEK FREKANSLI KİNEMATİK GNSS-PPP YÖNTEMİNİN PERFORMANSI: SARSMA TABLASI DENEYLERİ

MERT BEZCİOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. CEMAL ÖZER YİĞİT
II. DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYE. AHMET ANIL DİNDAR

GEBZE
2018

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

PERFORMANCE OF HIGH-RATE KINEMATIC GNSS-PPP METHOD UNDER LIMITED SKY VIEW CONDITION: SHAKE TABLE EXPERIMENTS

MERT BEZCİOĞLU

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR

ASSOC. PROF. DR. CEMAL ÖZER YİĞİT

II. THESIS SUPERVISOR

ASSIST. PROF. DR. AHMET ANIL DİNDAR

GEBZE

2018

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 06.06.2018 tarih ve 2018/30 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 27.06.2018 tarihinde tez savunma sınavı yapılan MERT BEZCİOĞLU'nun tez çalışması Harita Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

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

ÜYE
(II.TEZ DANIŞMANI) : Dr.Öğr.Üye.Ahmet Anıl DİNDAR

ÜYE : Prof.Dr.Bülent AKBAŞ

ÜYE : Doç.Dr.İbrahim TİRYAKİOĞLU

ÜYE : Dr.Öğr.Üye.İsmail ÇÖLKESEN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

ÖZET

Bu tez kapsamında, sınırlı uydu görüşü durumunda GNSS-PPP yönteminin yapı sağlığı izlemeleri ve sismojeodezi uygulamalarındaki performansı değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında iki farklı test senaryosu göz önüne alınmıştır. İlk test senaryosunda, bir yatay düzlemde hareket etme kabiliyetine sahip bir sarsma tablası kullanılarak üretilen 0.2 Hz, 0.5 Hz, 1.0 Hz, 1.5 Hz, 2.0 Hz ve 2.5 Hz frekans ve 5 mm, 10 mm, 15 mm ve 20 mm genlik değerlerinde harmonik salınımlar izlenmiştir. İkinci test senaryosunda ise El-Centro depremi bir sismojeodezi uygulaması olarak ele alınarak simüle edilmiştir. Kullanılan GNSS verileri, 10 Hz'lik örnekleme aralığına sahip çift frekanslı alıcılar ile üretilmiştir. Deney sonrası veriler kinematik-PPP yöntemi ile işlenmiş ve sonuçlar hem frekans hem de zaman alanında LVDT (Linear Variable Differential Transformer) verileri referans alınarak karşılaştırılmıştır. Her iki test senaryosunda da toplanan GNSS verileri 10°, 20°, 30° ve 40°'lik uydu görüşü altında hem GPS hem de GPS/GLONASS uydu kombinasyonu göz önüne alınarak incelenmiştir. Fakat 40°'lik uydu görüşü altındaki verilerde uydu sayısının yetersizliğinden dolayı çözüm elde edilememiştir. Sonuçlar, yüksek frekanslı GNSS-PPP yönteminin LVDT ve rölatif GNSS yöntemi gibi harmonik salınımları yakalayabildiğini göstermektedir. GNSS-PPP yöntemiyle elde edilen harmonik salınımların genlikleri, LVDT ve rölatif GNSS ile karşılaştırıldığında mm mertebesinde farklılıkla elde edilmiştir. Sonuçlar, özellikle uydu görüşünün sınırlı olması durumunda GPS/GLONASS uydu kombinasyonu ile yüksek frekanslı PPP çözümünün yapı sağlığı izlemeleri ve sismojeodezi uygulamaları için yapısal ve aynı zamanda deprem kaynaklı titreşim frekanslarını ve genliklerini güvenilir bir şekilde belirleyebildiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Hassas Nokta Konumlama (PPP), Rölatif GNSS, Yüksek Frekanslı GNSS, Harmonik Salınım, Yapı Sağlığı İzlemeleri, Sismojeodezi.

SUMMARY

In this thesis, the performance of the GNSS-PPP method in the case of limited satellite views is evaluated for strutural health monitoring and seismo-geodesy applications. Two different test scenarios were considered in the scope of the study. In the first test scenario, harmonic oscillations in amplitude values of 5 mm, 10 mm, 15 mm and 20 mm with the frequencies of 0.2 Hz, 0.5 Hz, 1.0 Hz, 1.5 Hz, 2.0 Hz and 2.5 Hz were generated using a shake table, which is capable of moving in a horizontal plane. In the second test scenario, the El-Centro earthquake was simulated as a seismo-geodesy application. The used GNSS data is produced with dual frequency receivers with a 10 Hz sampling rate. The experimental data were processed by kinematic-PPP method and the results were compared with LVDT (Linear Variable Differential Transformer) data, taking as a reference, in both the frequency domain and time domain. GNSS data collected in both test scenarios were examined under consideration of both GPS and GPS/GLONASS satellite combination under 10°, 20°, 30° and 40° satellite view. However, due to the insufficient number of satellites in the data under 40 ° satellite view, the solution can not be obtained. The results show that the high frequency GNSS-PPP method can capture harmonic oscillations such as LVDT and relative GNSS method. The amplitudes of the harmonic oscillations obtained by the GNSS-PPP method are obtained in the order of mm compared to the LVDT and the relative GNSS. The results show that the high-rate PPP solution based on GPS/GLONASS satellite combination in case of limited sky view enviroment can reliably detect structural and earthquake-induced vibration frequencies and amplitudes for structural health monitoring and seismogeodesy applications.

Key Words: Precise Point Positioning (PPP), Relative GNSS, High-Rate GNSS, Harmonic Oscillation, Structural Health Monitoring (SHM), Seismogeodesy.

TEŞEKKÜR

Öncelikle, yaşamım boyunca beni karşılıksız seven, eğiten, her türlü desteği veren ve yaşamımla ilgili aldığım tüm kararları maddi ve manevi destekleyerek bügünlere gelmemde büyük payları olan çok değerli anne ve babama,

Yüksek lisans eğitimimde desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip, tezimin konusunun belirlenmesinden bitişine kadar bana inanan, her zaman yanımda olan ve çok değerli bilgi birikimleri ile bu çalışmanın yolunu açan danışmanlarım Doç. Dr. Cemal Özer YİĞİT ve Dr. Öğr. Üye. Ahmet Anıl DİNDAR'a, RINEX verilerinin farklı yükselik açıları için üretilmesinde katkı sağlayan Prof. Dr. M. Halis SAKA'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
TABLOLAR DİZİNİ	xviii
1.GİRİŞ	1
1.1. Tezin İçeriği ve Amacı	3
2. KÜRESEL NAVİGASYON UYDU SİSTEMLERİ (GNSS)	4
2.1. GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM) Küresel Konum Belirleme Sistemi	5
2.2. GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema)	6
2.3. GPS ve GLONASS Karşılaştırması	7
2.4. GALILEO ve BEIDOU Uydu Sistemleri	8
2.5. GNSS İle Konum Belirleme Yöntemleri	9
2.6. Mutlak Konum Belirleme Yöntemi	13
2.7. Bağıl Konum Belirleme Yöntemi	13
3. HASSAS NOKTA KONUMLAMA (PPP)	15
3.1. PPP Tekniğinin Tanımı ve Matematiksel Modeli	15
3.2. PPP Yönteminde Tam Sayı Belirsizliği Çözümü	21
3.3. Post-Process-PPP	21
3.4. GNSS-PPP Çözümü İçin Geliştirilen Yazılımlar	22
3.4.1. İnternet Tabanlı PPP Servisleri	22
3.4.1.1. CSRS-PPP	23
4. PPP YÖNTEMİNDE HATA KAYNAKLARI	25
4.1. Uydu Kaynaklı Hatalar	25
4.1.1. Uydu Yörünge ve Saat Hataları	25
4.1.2. Uydu Anteni Faz Merkezi Kayıklığı	26
4.1.3. Uydu Anteni Faz Dönmesi Hatası	27

4.1.4. Görelilik Etkisi 27
4.1.5. Sagnac Etkisi 28
4.2. Alıcı Kaynaklı Hatalar 28
4.2.1. Alıcı Anteni Faz Merkezi Değişimi 28
4.2.2. Multipath (Sinyal Yansıma) Hatası 29
4.2.3. Alıcı Saat Hatası 29
4.3. Jeofiziksel Hatalar 29
4.3.1. Katı Yer Gelgiti Etkisi 29
4.3.2. Okyanus Yüklemesi Etkisi 30
4.3.3. Kutup Gezinmesi 30
4.4. Atmosferik Hatalar 31
4.4.1. Troposferik Gecikme 32
4.4.2. İyonosferik Gecikme 34
4.5. Yüksek Frekanslı GNSS-PPP ve Artık Hata Kaynakları 36
5. UYGULAMA 40
5.1. Deney Tasarımı 40
5.1.1. Harmonik Salınım Testleri 41
5.1.2. Deprem Simulasyon Testi 41
5.2 GNSS Verilerinin Toplanması 43
5.3. GNSS Verilerinin İşlenmesi 44
5.3.1. Kinematik Rölatif GNSS Çözüm 44
5.3.2. Kinematik GNSS-PPP 44
5.4. Deney Sonuçları 46
5.4.1. Harmonik Salınım Deneyi Sonuçları 47
5.4.1.1. Uydu Görüşünün Açık Olması Durumu (10°) 48
5.4.1.2. Uydu Görüşünün Biraz Sınırlı Olması Durumu (20°) 58
5.4.1.3. Uydu Görüşünün Kısıtlı Olması Durumu (30°) 69
5.4.2. Deprem Simülasyon Testi Sonuçları 80
5.4.3. Emu-Ultra Rapid, Rapid ve IGS-Final Yörünge ve Uydu Saat Hataları Düzeltmelerinin Karşılaştırılması 85
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 96

KAYNAKLAR 99
ÖZGEÇMİŞ 104

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar		**Açıklamalar**
t^s	:	Uydudan iletilen GNSS sinyali zamanı
t^R	:	Alıcıda alınan GNSS sinyali zamanı
Δt	:	Uydudan iletilen GNSS sinyali zamanı ile alıcıdan iletilen GNSS sinyali zamanı arasındaki fark
c	:	Boşluktaki Işık hızı
δ^S	:	Uydu saat hatası
δ^R	:	Alıcı saat hatası
X^s, Y^s, Z^s	:	Uydu koordinatları
X^R, Y^R, Z^R	:	Alıcı koordinatları
ε	:	GNSS ölçmelerinde modellenen hatalar
Δ_{iono}	:	İyonosferik gecikmeden dolayı getirilen düzeltme
Δ_{trop}	:	Troposferik gecikmeden dolayı getirilen düzeltme
Δ_{sol}	:	Solid Earth Tide etkisinden dolayı getirilen düzeltme
Δ_{pol}	:	Kutup gelgit etkisinden dolayı getirilen düzeltme
Δ_{ocn}	:	Ocean Loading etkisinden dolayı getirilen düzeltme
Δ_{atm}	:	Atmosferik Yükleme etkisinden dolayı getirilen düzeltme
Δ_{mul}	:	Multipath hatasından dolayı getirilen düzeltme
ε_p	:	Kod gözlemleri içerisinde modellenemeyen diğer hatalardan dolayı getirilen düzeltme
Φ	:	Taşıyıcı faz
λ	:	Taşıyıcı dalgaboyu
Δ_{pcv}	:	Anten faz merkezi hatası ve kayıklığı düzeltmesi
w	:	Faz dönme düzeltmesi
ε_ϕ	:	Faz gözlemleri içerisinde modellenemeyen diğer hatalardan dolayı getirilen düzeltme
P_i	:	$L_i(m)$ üzerinde ölçülen kod(pseudorange)
Φ_i	:	$L_i(m)$üzerinde ölçülen taşıyıcı faz

ρ	:	Alıcı ile uydu arasındaki gerçek uzunluğu
dt	:	Alıcı saat hatası
dT	:	Uydu saat hatası
d_{orb}	:	Uydu yörünge hatası
d_{trop}	:	Troposferik gecikme
d_{ion/L_i}	:	Üzerindeki iyonosferik gecikme olduğu L_i
λ_i	:	Dalga boyunda olduğu L_i
N_i	:	L_i (cycle) üzerinde tamsayı faz belirsizlik olduğu
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) etksi
ε	:	Ölçüm gürültüsü
$\mathrm{f_i}$	:	$\mathrm{L_i(Hz)}$ frekansı
$\mathrm{b}^{r}_{\mathrm{IF.avg}}$	:	Birleştirilmiş ortalama donanım gecikmesi sapma terimi (m))
$\delta \mathrm{b}_{IF}$	:	Birleşik uydu bağımlı donanım gecikme sapması terimi (m)
$\mathrm{cdt'^{g}}$	:	Alıcı saat hatası ve birleşik ortalama donanım gecikmesi sapması toplamıdır
t_{GPS}	:	GPS zamanı
t_{GPS}	:	GLONASS Zamanı
GM, GM_j	:	Güneş ve Ayın yerçekimi parametreleri
$\hat{r}, \hat{R}_j$	:	İstasyon, Ay ve Güneşin yer merkezli vektörleri
r, R_j	:	İstasyon, Ay ve Güneşin yer merkezli mesafesi
l_2, h_2	:	Nominal 2. Derece Shida ve Love sayıları (0.085 ve 0.609)
φ, λ	:	Enlem ve Boylam
θ_g	:	GMST
λ_i	:	Dalga boyunda olduğu L_i
N_i	:	L_i (cycle) üzerinde tamsayı faz belirsizlik olduğu
$T_z^h(E)$	:	Kuru Bileşen
E	:	Sinyal Kesme Açısı
P	:	Basınç
T	:	Sıcaklık
$T_z^w(E)$	:	Islak Bileşen
e	:	Su Buharı Basıncı

T_z	:	Toplam Troposferik Gecikme
θ_m	:	GNSS istasyonunun manyetik enleminin tümleyini
R_E	:	Dünyanın yarıçapı
h_m	:	Dünya yüzeyinin üzerinde bulunan iyonosfer ince kabuğun yüksekliği
AB	:	Avrupa Birliği
ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
ANTEX	:	The Antenna Exchange Format
ARNS	:	Aeronautical Radio Navigation Service
BDS	:	Beidou Satellite Navigation System
BDS-1	:	BEİdOU Navigation Satellite Demınstration System
BNC	:	BKP NTRIP CLIENT
CODE	:	Center for Orbit Determination in Europe
CSRS-PPP	:	Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning
ECEF	:	Earth Centered Earth Fixed
ECI	:	Earth Centered Inertial
EMR	:	Natural Resources Canada
ESA	:	Europen Space Agency (Avrupa Uzay Ajansı)
FFT	:	Fast Fourier Transform-(Hızlı Fourier Dönüşümü)
GAPS	:	GPS Analysis and Positioning Software
GEO	:	Geostationary Earth Orbit
GFZ	:	German Research Centre for Geosciences
GLONASS	:	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLObal Navigation Satellite System)
GNSS	:	Global Navigation Satellite Systems
GPS	:	Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
GRG	:	GRGS-CNES/CLS
IGS	:	International GNSS Service (Uluslararası GNSS Servisi)
IGSO	:	Inclined Geosynchronous Orbit
ITRF	:	International Terrestrial Reference Frame
JPL	:	Jet Propulsion Laboratory (Jet Motorları Laboratuvarı)
LVDT	:	Linear Variable Differential Transformer
MEO	:	Medium Earth Orbit

MIT	:	Massachusetts Instştute of Technology
NAD83	:	North American Datum 1983 (Kuzey Amerika Datumu 1983)
NGS	:	National Oceanşc & Atmospheric Administration, National Geodetic Survey
NGS	:	National Geodetic Survey
PPP	:	Precise Point Positioning (Hassas Nokta Konumlama)
PZ-90	:	Parametri Zemli 1990
RNSS	:	Radio Navigation-Satellite Service
RTK	:	Real Time Kinematic
SIO	:	Scripps Orbit and Permanent Array Centre, Scripps Institution of Oceanography
SPP	:	Single Point Positioning
TEC	:	Total Electron Content (Toplam Elektron Yoğunluğu)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:		Sayfa
2.1:	Geometrik Uzaklık Ölçülerinin Zamanla İlişkisi.	10
2.2:	Sinüzoidal Dalgaların Şekli ve Sayısal Kod Yapısı.	12
2.3:	Mutlak Konum Belirleme Yöntemi.	13
2.4:	Bağıl Konum Belirleme Yöntemi.	14
3.1:	Online Servislerin Çalışma Prensibi.	22
3.2:	CSRS-PPP Servisinin Arayüzü.	24
4.1:	Uydu Anteni Faz Merkezi Kayıklığı.	27
4.2:	Dünyanın Atmosfer Tabakaları.	32
4.3:	İyonosfer Gecikmesinin Geometrisi.	36
5.1:	Sarsma Tablası ve GNSS Alıcısı.	40
5.2:	Deneyde Kullanılan El-Centro Deprem Kaydının Zaman Serisi.	42
5.3:	Deneyde Kullanılan El-Centro Deprem Kaydının Frekansı.	42
5.4:	Deney Anından Bir Görünüm.	44
5.5:	LVDT, Rölatif ve PPP Verilerinden Elde Edilen Yatay Deplasman Hareketleri.	47
5.6:	Durum 5 ile 8 Arasındaki LVDT, filtrelenmemiş Rölatif ve PPP-Final GPS/GLONASS Verileri.	48
5.7:	Durum 5 ile 8 Arasındaki LVDT, filtrelenmemiş Rölatif ve PPP-Final GPS/GLONASS Verileri.	48
5.8:	İlk 4 Durum İçin 10° Deplasman Zaman Serileri	49
5.9:	İlk 4 Durum İçin FFT Analzileri.	50
5.10:	5, 6, 7 ve 8. Durumlar İçin 10° Deplasman Zaman Serileri.	51
5.11:	5, 6, 7 ve 8. Durumlar İçin 10° FFT Analizleri.	51
5.12:	9, 10, 11 ve 12. Durumlar İçin 10° Deplasman Zaman Serileri	52
5.13:	9, 10, 11 ve 12. Durumlar İçin 10° FFT Analizleri.	52
5.14:	13, 14, 15 ve 16. Durumlar İçin 10° Deplasman Zaman Serileri.	53
5.15:	13, 14, 15 ve 16. Durumlar İçin 10° FFT Analizleri.	54
5.16:	17, 18, 19 ve 20. Durumlar İçin 10° Deplasman Zaman Serileri.	54
5.17:	17, 18, 19 ve 20. Durumlar İçin 10° FFT Analizleri.	55
5.18:	21, 22, 23 ve 24. Durumlar İçin 10° Deplasman Zaman Serileri.	56

5.19:	21, 22, 23 ve 24. Durumlar İçin 10° FFT Analizleri.	56
5.20:	10°'lik Uydu Görüşü Altında Yakalanan Genlik Değerleri.	57
5.21:	Rölatif ve PPP Yöntemlerinin LVDT Verilerinden Farkları (4. Durum).	58
5.22:	Durum 5 ile 8 Arasındaki LVDT ve 20°'lik filtrelenmemiş Rölatif ve PPP-Final GPS/GLONASS Verileri.	59
5.23:	İlk 4 Durum İçin 20° Deplasman Zaman Serileri.	60
5.24:	İlk 4 Durum İçin 20° FFT Analzileri.	61
5.25:	5, 6, 7 ve 8. Durumlar İçin 20° Deplasman Zaman Serileri.	61
5.26:	5, 6, 7 ve 8. Durumlar İçin 20° FFT Analizleri.	62
5.27:	9, 10, 11 ve 12. Durumlar İçin 20° Deplasman Zaman Serileri.	62
5.28:	9, 10, 11 ve 12. Durumlar İçin 20° FFT Analizleri.	63
5.29:	13, 14, 15 ve 16. Durumlar İçin 20° Deplasman Zaman Serileri.	64
5.30:	13, 14, 15 ve 16. Durumlar İçin 20° FFT Analizleri.	64
5.31:	17, 18, 19 ve 20. Durumlar İçin 20° Deplasman Zaman Serileri.	65
5.32:	17, 18, 19 ve 20. Durumlar İçin 20° FFT Analizleri.	66
5.33:	21, 22, 23 ve 24. Durumlar İçin 20° Deplasman Zaman Serileri.	66
5.34:	21, 22, 23 ve 24. Durumlar İçin 20° FFT Analizleri.	67
5.35:	20°'lik Uydu Görüşü Altında Yakalanan Genlik Değerleri.	68
5.36:	Rölatif ve PPP Yöntemlerinin LVDT Verilerinden Farkları (13. Durum).	69
5.37:	30°'lik Deneyler.	70
5.38:	İlk 4 Durum İçin 30° Deplasman Zaman Serileri.	71
5.39:	İlk 4 Durum İçin 30° FFT Analzileri.	72
5.40:	5, 6, 7 ve 8. Durumlar İçin 30° Deplasman Zaman Serileri.	72
5.41:	5, 6, 7 ve 8. Durumlar İçin 30° FFT Analizleri.	73
5.42:	9, 10, 11 ve 12. Durumlar İçin 30° Deplasman Zaman Serileri.	74
5.43:	9, 10, 11 ve 12. Durumlar İçin 30° FFT Analizleri.	74
5.44:	13, 14, 15 ve 16. Durumlar İçin 30° Deplasman Zaman Serileri.	75
5.45:	13, 14, 15 ve 16. Durumlar İçin 30° FFT Analizleri.	76
5.46:	17, 18, 19 ve 20. Durumlar İçin 30° Deplasman Zaman Serileri.	76
5.47:	17, 18, 19 ve 20. Durumlar İçin 30° FFT Analizleri.	77
5.48:	21, 22, 23 ve 24. Durumlar İçin 30° Deplasman Zaman Serileri.	78

5.49: 21, 22, 23 ve 24. Durumlar İçin 30° FFT Analizleri. 78
5.50: 30°'lik Uydu Görüşü Altında Yakalanan Genlik Değerleri. 80
5.51: Rölatif ve PPP Yöntemlerinin LVDT Verilerinden Farkları (10. Durum). 80
5.52: El-Centro Deprem Simülasyonundan Elde Edilen PPP, Rölatif GNSS ve LVDT Yöntemlerinden Elde Edilen Yer Değiştirmelerinin Karşılaştırılması (10°). 81
5.53: El-Centro Deprem Simülasyonundan Elde Edilen Zaman Serilerinin Farkları (10°). 82
5.54: El-Centro Deprem Simülasyonundan Elde Edilen PPP, Rölatif GNSS ve LVDT Yöntemlerinden Elde Edilen Yer Değiştirmelerinin Karşılaştırılması (20°). 83
5.55: El-Centro Deprem Simülasyonundan Elde Edilen Zaman Serilerinin Farkları (20°). 84
5.56: El-Centro Deprem Simülasyonundan Elde Edilen PPP, Rölatif GNSS ve LVDT Yöntemlerinden Elde Edilen Yer Değiştirmelerinin Karşılaştırılması (30°). 84
5.57: El-Centro Deprem Simülasyonundan Elde Edilen Zaman Serilerinin Farkları (30°). 85
5.58: 17, 18, 19 ve 20. Durumların Ultra-Rapid, Rapid ve Final Karşılaştırmaları. 86
5.59: 17, 18, 19 ve 20. Durumların Ultra-Rapid, Rapid ve Final Çözümlerninin FFT Karşılaştırılmaları. 87
5.60: Tüm Durumlar için Yakalanan Genlik Değerleri (Ultra-Rapid, Rapid, Final(GPS)). 88
5.61: 3. Durumda Yakalanan Genlik Değerlerinin LVDT Verilerinden Farkları (Ultra-Rapid, Rapid, Final(GPS)). 89
5.62: El-Centro Deprem Simülasyonundan Elde Edilen EMU-Ultra-Rapid, Rapid ve IGS-Final Ürünlerinden Elde Edilen Yer Değiştirmelerinin Karşılaştırılması (GPS). 90
5.63: El-Centro Deprem Simülasyonundan Elde Edilen Zaman Serilerinin Farkları (Ultra-Rapid, Rapid, Final(GPS)). 90
5.64: 5, 6, 7 ve 8. Durumların Ultra-Rapid, Rapid ve Final 91

Karşılaştırmaları.
5.65: 5, 6, 7 ve 8. Durumların Ultra-Rapid, Rapid ve Final Çözümlerninin FFT Karşılaştırılmaları. 91
5.66: Tüm Durumlar için Yakalanan Genlik Değerleri (Ultra-Rapid, Rapid, Final(GPS/GLONASS)). 93
5.67: 6. Durumda Yakalanan Genlik Değerlerinin LVDT Verilerinden Farkları (Ultra-Rapid, Rapid, Final(GPS/GLONASS)). 93
5.68: El-Centro Deprem Simülasyonundan Elde Edilen EMU-Ultra-Rapid, Rapid ve IGS-Final Ürünlerinden Elde Edilen Yer Değiştirmelerinin Karşılaştırılması (GPS/GLONASS). 94
5.69: El-Centro Deprem Simülasyonundan Elde Edilen Zaman Serilerinin Farkları (Ultra-Rapid, Rapid, Final(GPS/GLONASS)). 95

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:		Sayfa
2.1:	GNSS Sistemlerinin Temel Özellikleri.	4
2.2:	GPS Uydu Takımları.	6
2.3:	GLONASS Uydu Takımları.	7
2.4:	GPS ve GLONASS Arasındaki Farklar	8
3.1:	PPP-GNSS ve Bağıl-GNSS Yöntemlerinde Uygulanması/Hesaplanması Gereken Hatalar ve Modeller.	16
3.2:	PPP Tekniğinde Kullanılan Online Servisler.	23
4.1:	IGS Ürünleri Bilgileri.	26
4.2:	IGS'nin Sağladığı Atmosferik Parametreler.	31
4.3:	B ve δr Terimlerinin Düzeltme Değerleri.	34
4.4:	Yüksek Frekanslı GNSS-PPP'de Karşılaşılan Hata Kaynakları.	37
4.5:	Kısa Süreli Sismik Dalga Ölçümlerinde Karşılaşılan Rasgele/Sistematik Hataların Standart Sapmaları.	38
5.1:	Çalışma için Seçilen Tüm Deneylerin Salınım Frekansı ve Genliği.	41
5.2:	CSRS-PPP Taradından Kullanılan İşlem Parametreleri.	45
5.3:	10°'lik Deneyler.	57
5.4:	20°'lik Deneyler.	68
5.5:	30°'lik Deneyler.	79
5.6:	Tüm Durumlar İçin Yakalanan Genlik ve Frekans Değerleri (Ultra-Rapid, Rapid, Final(GPS)) .	88
5.7:	Tüm Durumlar İçin Yakalanan Genlik ve Frekans Değerleri (Ultra-Rapid, Rapid, Final(GPS/GLONASS)).	92

1. GİRİŞ

Rüzgar, doğal afetler ve trafik gibi yükler tarafından dolayı mühendislik yapılarında meydana gelen dinamik yer değiştirmelerin tespitinde yüksek frekanslı Global Navigation Satellite Systems (GNSS) yöntemi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Mühendislik yapılarındaki dinamik yer değiştirmelerin tespiti için 1-100 Hz aralığındaki yüksek frekanslı GNSS alıcıları çeşitli çalışmalarda kullanılmıştır. Rölatif (bağıl) GNSS yöntemi ile gerçekleştirilen ölçmeler en az iki adet GNSS alıcısı ile gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemin, deplasman hareketlerinin tespit performansı çevresel faktörlere bağlı olarak santimetre altı seviyededir.

Tek bir GNSS alıcısının konum bilgisini, başka bir referans alıcısına gerek duymaksızın yüksek doğrulukla hesaplayabilen Hassas Nokta Konumlandırma (PPP) tekniği oldukça güçlü bir yöntemdir [Zumberge et al., 1997], [Kouba and Heroux, 2001]. PPP yönteminin herhangi bir referans alıcıya ihtiyaç duymaması rölatif yöntem ile kıyaslandığında büyük bir avantaj sağlamaktadır. PPP yöntemi, hassas konum bilgisi üretmek için hassas uydu yörünge bilgisi, uydu saat hataları düzeltmeleri, katı yer yuvarı gelgitleri gibi ürünlere ihtiyaç duymaktadır. Rölatif konum belirlemenin aksine, PPP tekniği ile konum belirlemede başlangıç tam sayı faz belirsizliği bilinmeyen olarak alındığından santimetre mertebesinde konum bilgisi sağlamak için ölçü süresinin uzun olmasına ihtiyaç vardır.

GNSS Tekniği, 1979-1980 yıllarında yapılan önemli çalışmalar ile birlikte, 30 sn aralıkla konum bilgisi toplayarak, hassas konum bilgisi ve yüzey deformasyonlarının belirlenmesine olanak sağlamış ve bilim dünyasında oldukça önemli bir hale gelmiştir [MacDoran, 1979], [Counselman and Shapiro, 1979], [Bossler et al., 1980]. National Bureau of Standars'da yapılan bir çalışma ile GNSS'in hem statik hem de hareket eden nesneler üzerinde ölçüm yapabileceğini ve birkaç saniye içinde cm mertebesinde koordinat bilgisi sağladığını ispat edilmiştir [Reomondi, 1985]. 1994 yılında, sismoloji alanında kinematik GPS'in önemini vurgulamak adına "GPS-sismolojisi''terimi ortaya atılmıştır [Hirahara et al, 1994]. Sismik dalgaların toplanması ve tsunami gibi erken uyarı sistemlerinde kullanılacak GNSS alıcıları için 30 sn örneklem aralığı yetersizdir. Günümüzde geliştirilen 1-100 Hz arasında veri toplama kabiliyetine sahip GNSS donanımları ile birlikte, deprem kaynaklı yüzey hareketlerinin tespit edilmesi ve yapı sağlığı izlemelerine olanak sağlamaktadır [Kato et al., 2000], [Larson et al., 2003], [Avallone et al., 2011],

[Moschas and Stiros, 2015], [Wang et al., 2016]. 2003 yılında gerçekleştirilen bir çalışma ile, 2002 yılında meydana gelen Mw 7.9 büyüklüğündeki Denali depreminin oluşturduğu sismik dalgaların, 1 Hz frekanslı Kinematik GNSS'in başarılı bir şekilde topladığı ispat edilmiştir [Larson et al., 2003]. Bu çalışmaların açtığı yol sayesinde, günümüzde yüksek frekanslı GNSS çalışmaları birbirini takip etmiş ve bu çalışmalar yüksek frekanslı rölatif GNSS tekniğinin yatayda 1-2 mm, düşeyde ise 1 cm doğrulukla konum belirlemeye imkan sağladığı tespit edilmiştir [Ji et al., 2004], [Genrich and Bock, 2006], [Ning et al., 2009], [Wang et al., 2012].

Büyük (mega) depremlerin yaşanması durumunda bağıl yöntem için sabit nokta şartının sağlanamaması deprem kaynaklı yer sarsıntılarının bağıl yöntemle belirlenememesine sebep olmaktadır. Bu durumdan dolayı Kinematik GNSS tekniğinin erken uyarı (early warning) sistemleri için tespit edilmesi zorunlu olan mutlak deplasman hareketlerinin yakalanması konusunda başarısız olacağı açıktır. 1997 yılında yapılan bir çalışma ile, tüm sistematik hataların modellenmesi ve düzeltilmesi durumunda GNSS-PPP'nin rölatif konum belirleme ile aynı hassasiyete sahip olduğu ortaya atılmıştır [Zumberge et al., 1997]. Burada PPP hassasiyetiyle ifade edilmek istenen şey, 20-30 dakika boyunca yüksek frekansta veri toplayıp, faz başlangıç belirsizliğinin yakınsaması gerçekleştikten sonra hesaplanan GNSS istasyonu koordinatlarının tekrar edilebilirliğidir [Kouba and Heroux, 2001], [Xu et al., 2013]. 2003 yılında yapılan bir çalışma ile büyük depremlerin ürettiği sismik dalgaların, Yüksek Frekanslı PPP tekniği ile 1 sn aralıklı veri toplayarak tespit edilebildiği ifade edilmiştir [Kouba, 2003]. 2011 yılına gelindiğinde ise 10 Hz frekanslı GPS verileri Kinematik-PPP ile değerlendirilmiş ve bu quasi-collocated strong motion data ile karşılaştırıldığında, kinematik PPP'nin 1 cm'lik doğruluğa ulaştığı bildirilmiştir [Avallone et al., 2011]. 2012 yılında, yatay hareket üreten bir mekanik aletin üzerine GNSS anteni monte edilmiş, 1 Hz frekanslı GPS verileri PPP yöntemi esasınca toplanmış ve filtre edilmiş, bu deneyin sonunda kuzey bileşeninde 5.1 mm, doğu bileşeninde 7.7 mm ve yükseklik bileşeninde 11.8 mm karesel ortalama hata elde edilmiştir [Hefty and Gerhatova, 2012]. Sismik dalgaların tespit edilmesinde 50 Hz frekanslı GNSS-PPP yönteminin uygulanabilirliğini göstermek adına 2010 yılında Wuhan Üniversitesinde bir dizi deney yapılmış ve bu deney sonucunda yüksek frekanslı PPP'nin yatayda 2-4 mm, düşeyde ise cm altında doğrulukla sismik dalgaları yakaladığı belirlenmiştir [Xu et al., 2013]. 2016 ve 2017 yıllarında gerçekleştirilen iki çalışma ile Kinematik-PPP tekniğinin yatay ve düşey

yönlü dinamik hareketleri izleyebilme performansı esnek bir model çubuğu test verisiyle analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Rölatif yöntem ile karşılaştırılmış ve yüksek frekanslı kinematik PPP tekniğinin çok kısa bir sürede yatay ve düşey yönlü deplasmanları yakalayabildiğini ortaya çıkarmıştır [Yigit, 2016], [Yigit ve Gurlek, 2017].

Bu çalışmada incelenen benzer çalışmalardan farklı olarak daha önceden araştırılmamış olan uydu görüşünün sınırlı olması durumunda yüksek frekanslı kinematik GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP yöntemlerinin performansı incelenmiştir.

1.1. Tezin İçeriği ve Amacı

Bu tez çalışmasın temel amacı, yüksek frekanslı kinematik-PPP tekniğinin sınırlı uydu görüşü altında yapı sağlığı izlemeleri ve sismojeodezik uygulamalardaki performansını araştırmak, GLONASS gözlemlerinin yüksek frekanslı dinamik davranışları belirşemeye katkısını araştırmak ve PPP yönteminin rölatif yöntem yerine kullanılabilirliğinin test etmektir. Yüksek frekanslı kinematik PPP tekniğinin sınırlı uydu görüşü altındaki performansını test etmek amacıyla yatay yönde hareket etme kabiliyetine sahip bir sarsma tablası kullanılmış ve 24 farklı durum değerlendirilmesi yapılmıştır. 10 Hz frekanslı toplanan GNSS verileri EMU-Ultra Rapid, Rapid ve IGS-Final ürünleri kullanılarak Kinematik-PPP yöntemiyle GPS ve GPS/GLONASS çözümleri baz alınarak değerlendirilmiştir. Kinematik-PPP tekniğinin performansının değerlendirilmesi amacıyla sonuçlar Rölatif yöntemden elde edilen GPS ve GPS/GLONASS çözümleri ve Linear Variable Differential Transformer (LVDT) verileri ile hem frekans hem de zaman alanında karşılaştırılmıştır.

2. KÜRESEL NAVİGASYON UYDU SİSTEMLERİ (GNSS)

4 Ekim 1957 tarihinde ilk yapay uydu olan Sputnik I'in tanıtılması ile, insanoğlu uzay boşluğuna adımını attı ve bu gelişme ile birlikte yaşamlarımız ve geleceğin getireceği yeni teknolojiler sonsuza kadar değişti. İlk uydunun uzaya fırlatılmasından yaklaşık 20 yıl sonra ise radyo sinyalleri ile konum belirlemeye olanak sağlayan uzay tabanlı uydu sistemleri geliştirilecekti [Marreiros, 2012].

GNSS (Global Navigation Satellite Systems), bir GNSS alıcısının coğrafi konumunu Dünya'nın herhangi bir yerinde tespit etmek için kullanılan bir uydu sistemlerine verilen genel isimdir. Amerika Birleşik Devletleri'nin sahip olduğu Global Positioning System (GPS) ve Rusya'nın geliştirdiği Global Navigation Satellite System (GLONASS), Avrupa'nın Galileo sistemi ve Çin'in Beidou Satellite Navigation System (BDS) olmak üzere dört farklı GNSS sistemi şu anda faaliyettedir. GNSS sistemlerinin her biri, bir yer istasyonları ağı ile birlikte gökyüzünde kepler yasalarına bağımlı bir şekilde çalışan uydu takımlarını kullanır. Şu anda 70'den fazla uydu hâlihazırda çalışmaktadır ve dört sistemin tamamen faaliyete geçmesinden sonra yaklaşık 120 uydu mevcut olacaktır. Bu hem bilimsel hem de mühendislik uygulamaları açısında büyük fırsatlar getirecektir [Li, 2016]. Tablo 2.1'de bu dört farklı uydu sisteminin bazı temel özellikleri verilmiştir. Tablodan da görüleceği üzere GNSS sitemlerine sahip uydu sistemlerinin yörünge yüksekliği 20000 km'nin üzerindedir. En az uydu sayısı GPS sisteminde iken en fazla uydu sayısı GALILEO sistemindendir. Buna karşın yörünge periyodu GALILEO sisteminde en uzun iken (14,08 saat), en kısa periyot GLONASS sistemine aittir (11,26 saat).

Tablo 2.1: GNSS Sistemlerinin Temel Özellikleri.

Uydu Sistemi	GPS	GLONASS	BEIDOU	GALILEO
Ülke	ABD	Rusya	Çin	AB
Yörünge Yüksekliği (km)	20220	19130	21150	23222
Yörünge Periyodu	11.97	11.26	12.63	14.08
Uydu Sayısı	31	24	35	30

GNSS sistemlerinde konum belirmek için, sinyalin uydudan iletildiği zaman ile sinyalin alıcıda alındığı zaman farkı alınır. Bu zaman farkına göre, bir alıcı ve bir uydu arasındaki mesafe belirlenebilir. Navigasyon mesajında uyduların konum koordinatları kullanılarak uyduların pozisyon koordinatları alınabileceği için, kullanıcıların pozisyonu uzayda geriden kestirme esasına dayanarak hesaplanabilir. Nominal olarak üç uydu, kullanıcıların Dünya yüzeyindeki konumunu belirleyebilir fakat alıcı saat hatasının giderilebilmesi için en az dört uydu gereklidir [Cai, 2009].

2.1. GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM) Küresel Konum Belirleme Sistemi

GPS, ABD tarafından geliştirilen 6 farklı yörünge düzlemine yerleştirilmiş ve her biri ekvator ile 55 derece eğimli uydulara sahip olan ve tam çalışma kabiliyetine erişen ilk GNSS'dir. GPS uydu yüksekliği yaklaşık 20.200 km'dir her bir yörüngenin periyoodu 11 saat 58 dakikadır. 10 Nisan 2018 itibariyle, 1 Blok II-A, 9 Blok II-F, 11 Blok IIR ve 7 Blok IIR-M [Web 1, 2018] olmak üzere, yörüngedeki toplam uydu sayısı 31'e ulaşmıştır (Tablo 2.2) [Web 2, 2018]. PRN 11 ve 24 sayılı uyduların saatleri Sezyum iken geride kalan 27 uydunun saati ribidyumdur [Li, 2016].

Halihazırda GPS'de L1 (1575.42 MHz), L2 (1227.60 MHz), L3 (1381.05 MHz), L4 (1379.913 MHz) ve L5 (1176.45 MHz) olmak üzere beş farklı frekans vardır [Wang M., 2014]. L3 sinyali, ABD Nükleer Patlama Algılama Sistemi (USNDS) tarafından nükleer patlamaları tespit etmek, bulmak ve raporlamak için kullanılmaktadır [Web 3, 2018]. Ek iyonosferik düzeltme için L4 bandı üzerine çalışılmakta ve navigasyon amacındaki ölçümler için L1, L2 ve L5 bandları kullanılmaktadır [Wang, 2014].

1998 yılında ABD, mevcut GPS sisteminin zayıflığı ve yeni çıkan Galileo uydu navigasyon sistemi ile rekabet etmek nedeniyle sivil kullanıcılara yönelik L2'de bulunmayan C/A kodu ve parazitlere karşı duyarlı P kodu geliştirmek adına bir GPS modernizasyon planı başlatmıştır. Modernizasyon programı, yer istasyonları eklemeyi, ikinci ve üçüncü ve dördüncü bir sivil sinyali (L1C, L2C, L5) eklemeyi, artan sinyal gücü ile yeni askeri sinyalleri (M-kodu) eklemeyi, her bölgede konum çözümlerinin doğruluğunu ve kullanılabilirliğini geliştirmeyi içerir [Cai, 2009].

Tablo 2.2: GPS Uydu Takımları.

Plane	Slot	PRN	Uydu Tipi	Sisteme Giriş	Yaşam Ömrü
A	1	24	II-F	14.11.2012	64.9
	2	31	IIR-M	13.10.2006	138.0
	3	30	II-F	30.05.2014	46.4
	4	7	IIR-M	24.03.2008	120.6
B	1	16	II-R	18.02.2003	181.8
	2	25	II-F	27.08.2010	91.5
	3	28	II-R	17.08.2000	211.9
	4	12	IIR-M	13.12.2006	136.0
	5	26	II-F	20.04.2015	35.7
C	1	29	IIR-M	20.12.2007	123.3
	2	27	II-F	15.05.2013	57.7
	3	8	II-F	15.07.2015	32.0
	4	17	IIR-M	29.09.2005	149.0
	5	19	II-R	20.03.2004	168.3
D	1	2	II-R	06.11.2004	160.7
	2	1	II-F	16.07.2011	77.9
	3	21	II-R	31.03.2003	180.1
	4	6	II-F	18.05.2014	46.0
	5	11	II-R	07.10.1999	219.4
	6	18	II-A	26.10.1993	292.8
E	1	3	II-F	29.10.2014	39.9
	2	10	II-F	30.10.2015	28.0
	3	5	IIR-M	17.08.2009	103.5
	4	20	II-R	11.05.2000	214.4
	5	22	II-R	21.12.2003	171.0
F	1	32	II-F	05.02.2016	25.1
	2	15	IIR-M	17.10.2007	125.4
	3	9	II-F	02.08.2014	42.8
	4	23	II-R	23.06.2004	165.1
	5	14	II-R	10.11.2000	208.1
	6	13	II-R	23.07.1997	242.4

2.2. GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema)

GLONASS, sürekli olarak iki taşıyıcı frekansta sinyal ileten 24 uydudan oluşan bir takım dizisine sahiptir (Tablo 2.3) [Web 4, 2018]. Uydu sinyalleri, Dünya'nın yüzeyinin herhangi bir yerinde kullanıcılar tarafından, kod pseudorange ve taşıyıcı faz ölçümleri kullanılarak konumlarını ve hızlarını belirlemek için alınabilir. İlk GLONASS uyduları 1982 yılında yörüngeye fırlatıldı. Daha sonra bu sistemini test

etmek adına bir GLONASS deneyi yapıldı. GLONASS uydularının performansı da kademeli olarak iyileştirildi. Tüm sistemin aktif olarak çalışması 1991 yılına göre planlanmış olmasına rağmen, tüm uydu takımının 24 uydu ile tamamlanması Aralık 1995 yılını buldu. Bununla birlikte, ilk nesil uyduların kısa ömürleri ve 1989'dan 1999'a kadarki mali desteğin eksikliği nedeniyle, sistemin bakım ihtiyacı ortaya çıktı. GLONASS sistemi, 2001 yılında sadece 6 operasyonel uydu ile en düşük noktasına ulaştı. 2000'lerden bu yana Rusya'nın uzay bütçesini arttırması ile daha uzun ömürlü yeni nesil uydular tasarlandı ve GLONASS sistemi 2 Ekim 2011'de 24. Uydunun fırlatılmasıyla tam performansına ulaştı [Wang, 2014], [Cai, 2009].

Tablo 2.3: GLONASS Uydu Takımları.

Plane	Slot	#GC	Uydu Tipi	Sisteme Giriş	Yaşam Ömrü
1	1	730	GLONASS-M	30.01.2010	99.9
	2	747	GLONASS-M	04.07.2013	59.5
	3	744	GLONASS-M	08.12.2011	77.3
	4	742	GLONASS-M	25.10.2011	78.3
	5	734	GLONASS-M	10.01.2010	99.9
	6	733	GLONASS-M	24.01.2010	99.9
	7	745	GLONASS-M	18.12.2011	77.3
	8	743	GLONASS-M	20.09.2012	77.3
2	9	702	GLONASS-M	15.02.2016	40.3
	10	717	GLONASS-M	03.04.2007	135.6
	11	753	GLONASS-M	27.06.2016	22.4
	12	723	GLONASS-M	22.01.2008	123.6
	13	721	GLONASS-M	08.02.2008	123.6
	14	752	GLONASS-M	16.10.2017	6.6
	15	716	GLONASS-M	12.10.2007	135.6
	16	736	GLONASS-M	04.10.2010	91.3
3	17	751	GLONASS-M	28.02.2016	26.1
	18	754	GLONASS-M	14.04.2014	48.6
	19	720	GLONASS-M	25.11.2007	125.6
	20	719	GLONASS-M	27.11.2007	125.6
	21	755	GLONASS-M	03.08.2014	45.9
	22	731	GLONASS-M	28.03.2010	97.4
	23	732	GLONASS-M	28.03.2010	97.4
	24	735	GLONASS-M	28.03.2010	97.4

2.3. GPS ve GLONASS Karşılaştırması

GPS ve GLONASS çok benzer uydu navigasyon sistemleri olmasına rağmen iki sistem arasındaki bir dizi fark vardır. İlk olarak, GPS ve GLONASS uydu

sinyalleri hem L1 hem de L2 frekanslarında iletir. Kod sinyal frekansları tüm GPS uyduları için aynı iken, farklı GLONASS uyduları için farklıdır. İkinci olarak, GPS uydu koordinatları, WGS84 sisteminde hesaplanırken, GLONASS, PZ-90 koordinat sistemi verisine sahiptir. GPS ve GLONASS sistemlerinin farklarının kısa bir özeti Tablo 2.4'de verilmiştir [Roßbach, 2000].

Tablo 2.4: GPS ve GLONASS arasındaki farklar.

	GLONASS	GPS
Uydu Sayısı	24	31
Yörünge Sayısı	3	6
Yarı Büyük Eksen	25510 km	26580 km
Yörünge Yüksekliği	19130 km	20200 km
Yörünge Periyodu	11.26 Saat	11.97 Saat
Eğim	64.8°	55°
Faz Frekansları	1602+k*0.5625 MHz 1246+k*0.4375 MHz	1575.42 MHz 1227.60 MHz
Kod Frekansları (MHz)	C/A code : 0.511 P code : 5.11	C/A code:1.023 P code:10.23
Yörünge Bilgileri	Konum, Hız, İvme	Kepler Elemanları
Koordinat Sistemi	PZ-90	WGS84
Zaman Sistemi	GLONASS Time	GPS Time

2.4. GALILEO ve BEIDOU Uydu Sistemleri

Galileo, Avrupa Birliği (AB) ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından GPS'e bir alternatif oluşturmak için yürütülen ve devam eden bir projedir. Proje İtalyan astronom Galileo Galilei'nin ismini almıştır. Planlanan GALILEO uydu takımı 30 adet Middle Earth Orbit (MEO) uyduları (3 yedek dahil), 56 ° eğim ve 23.222 km irtifa olmak üzere 3 yörünge düzlemini içermektedir [Wang, 2014].

ESA, 21 Ekim 2011 ve 12 Ekim 2012'de, ilk iki uyduyu ilk orbital düzlemde ve ikinci ikisini de ikinci orbital düzlemde yerleştiren dört operasyonel uydu başlattı. 12 Mart 2013'te ESA, Galileo projesinin geliştirilmesinde önemli bir dönüm noktası açıkladı: sistemin yer altyapısı ile birlikte yörüngede bulunan dört Galileo uydularını kullanan bir yer yerinin ilk belirlenmesi Galileo'nun 2019-20'ye kadar tam olarak kullanıma açılması beklenmektedir [Wang, 2014].

Galileo navigasyon sinyalleri E1, E5a, E5b ve E6 olarak dört frekans bandında iletilir, hepsi Radyo Seyir Uydu Servisleri (RNSS) için tahsis edilen spektrumda bulunur (Galileo-ICD, 2010). E1, E5a ve E5b bantları, özel güvenlik açısından kritik uygulamalara izin veren, Havacılık Radyo Navigasyon Servisleri (ARNS) için tahsis edilen spektrumdadır.

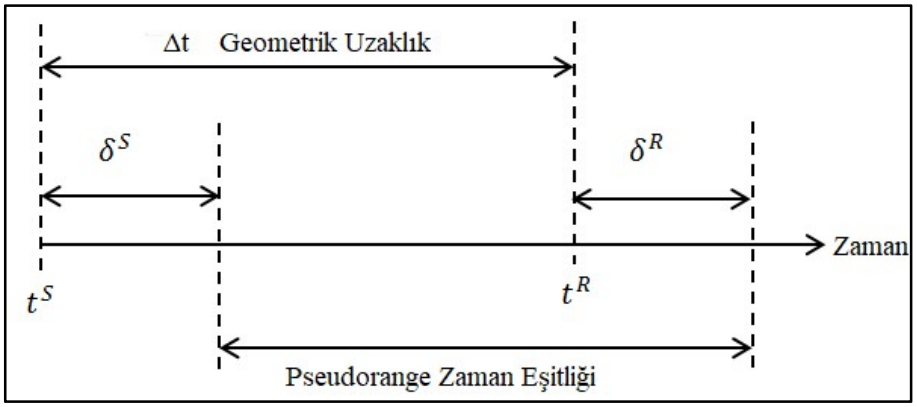
Çin, 1980'lerde bağımsız bir navigasyon uydu sistemi kurmaya karar verdi. Sistemin inşa edilmesi üç adımda gerçekleşecekti. İlk adımı BeiDou-1 veya kısaca BDS-1(BeiDou Navigation Satellite Demonstration System) olarak adlandırılan uydu sistemi olmuştur. 1994 yılında Çin, bu sistemin kurulumunu başlattı. 2000 yılında, iki adet BeiDou navigasyon uydusu deneyi başlatıldı. 2003 yılında, üçüncü BeiDou uydusu fırlatıldı ve sistemin performansını daha da arttırıldı. Böylelikle, BDS-1 resmi olarak kuruldu, bu da Çin'in ABD ve Rusya'dan sonra bağımsız bir navigasyon sistemine sahip üçüncü uydu sistemine sahip ülke konumuna getirdi. İkinci adım olan BDS-2'nin hayata geçirilmesi 2004 yılında başlamış olup, 2007 yılında MEO (Medium Earth Orbit) yörüngesine sahip ilk uydu fırlatılmıştır. 2012 yılı sonunda beş adet GEO (Geostationary Earth Orbit), beş adet uydu IGSO (Geosynchronous Orbit ve dört adet MEO uydusuna sahip olan Beidou sistemi Çin ve Asya-Pasifik bölgesinin büyük bir bölümünü kapsayan bir navigasyon servisi haline gelmiştir. Üçüncü bir adım olarak, küresel kapsama alanına sahip BDS-3 inşa edilmiştir, bu da 2020 civarında tamamlanacaktır [Teunissen et al,2017].

2.5. GNSS ile Konum Belirleme Yöntemleri

GNSS sistemleri tarafından kod ve faz gözlemleri olmak üzere iki farklı ölçüm tipi gerçekleştirilmektedir. Kod gözlemleri ile düşük doğruluklu navigasyon bilgisi elde edilirken taşıyıcı faz gözlemleri ile yüksek hassasiyetli bir konum bilgisi elde edilmektedir [Leick, 2004]. GPS sistemi, sivil kod olarak adlandırılan C/A ve hassas kod olarak adlandırılan P-Code olmak üzere iki farklı kod frekansı ile gözlem

yapılırken, L1 ve L2 olmak üzere İki temel taşıyıcı faz gözlemi gerçekleştirmeye olanak sağlar [Mirsa and Enge, 2012].

Sivil C/A kodu, 300 m dalga boyuna sahip birinci uydu taşıyıcı fazı L1 üzerine modüle edilir. Diğer taraftan P kodu ikinci uydu taşıyıcı faz L2 üzerinde modüle edilir ve 30 m dalga boyuna sahiptir [Abdallah M., 2016]. Bir uydu ve bir kullanıcı alıcısı arasındaki kod pseudorange mesafesi, uydu t^S'den iletilen GNSS sinyali ile alıcı t^R'deki alınan GNSS sinyali arasındaki zaman farkı $\Delta t'$nin kestirimi ile elde edilebilir. Bu zaman farkı, boşluktaki ışık hızı (c) ile çarpılır. Ayrıca, uydu ve alıcı saatlerinin birbirleriyle ve GPS zamanı ile senkronizasyonunda hatalar vardır. Uydu saat hatası δ^S, navigasyon mesajı katsayıları veya hassas uydu saatleri ile dengelenebilir. Alıcı saat hatası δ^R'nin kullanıcı pozisyonu hesaplaması sırasında düzeltilmesi gerekmektedir (Şeklil 2.1) [Hoffmann-Wellenhof et al, 2000], [Kaplan and Hegarty, 2006].



Şekil 2.1: Geometrik Uzaklık Ölçülerinin Zamanla İlişkisi.

Metre cinsinden ölçülen gerçek geometrik uzunluk, eşitlik 2.1'de gösterilmiştir. Bu gerçek uzunluk, eşitlik 2.2'de gösterilmiş olup uydu koordinatlarının (X^S, Y^S, Z^S) ve alıcı koordinatlarının (X^R, Y^R, Z^R) bir fonksiyonudur.

$$r = c(t^R - t^S) = c \cdot \Delta t \tag{2.1}$$

$$r = \sqrt{(X^S - X^R)^2 + (Y^S - Y^R)^2 + (X^S - X^R)^2} \tag{2.2}$$

$$\rho = c\big((t^R + t^S) - (t^S + \delta^S)\big) + \varepsilon \tag{2.3}$$

$$\rho = c\big((t^R - t^S) + c(\delta^R - \delta^S)\big) + \varepsilon \tag{2.4}$$

Gözlenen psudorange uzunluğu eşitlik 2.3 ve 2.4 de gösterilmiş olup ε ifadesi iyonosfer, toroposfer gecikmesi ve multipath hatası gibi modellenen etkileri ifade etmektedir [Kaplan ve Hegarty, 2006].

$$\rho = r + c(\delta^R - \delta^S) + \varepsilon \tag{2.5}$$

Eşitlik 2.5 ve 2.6'da görüldüğü gibi GNSS ölçümlerinde karşılaşılacak hatalar dikkate alınarak düzenlenebilir [Mirsa ve Enge, 2012], [Héroux ve Kouba, 2001].

$$\rho = r + c(\delta^R - \delta^S) + \Delta_{iono} + \Delta_{trop} + \Delta_{sol} + \Delta_{pol} + \Delta_{ocn} + \Delta_{atm} + \Delta_{mul} + \varepsilon_p \tag{2.6}$$

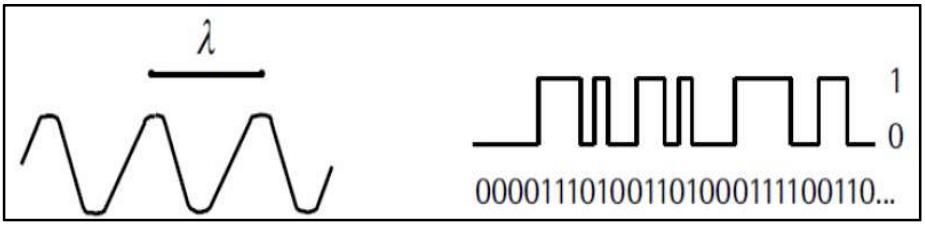
- Δ_{iono}: İyonosferik gecikmeden dolayı getirilen düzeltme
- Δ_{trop}: Troposferik gecikmeden dolayı getirilen düzeltme
- Δ_{sol} : Solid Earth Tide etkisinden dolayı getirilen düzeltme
- Δ_{pol} : Kutup gelgit etkisinden dolayı getirilen düzeltme
- Δ_{ocn} : Ocean Loading etkisinden dolayı getirilen düzeltme
- Δ_{atm}: Atmosferik Yükleme etkisinden dolayı getirilen düzeltme
- Δ_{mul}: Multipath hatasından dolayı getirilen düzeltme
- ε_p : Kod gözlemleri içerisinde modellenemeyen diğer hatalardan dolayı getirilen düzeltme

L1 ve L2 taşıyıcı faz frekansları sırasıyla 19.03 cm ve 24.42 cm olmak üzere iki adet dalga boyuna sahiptir. Bu taşıyıcı faz frekansları saf sinüzoidal dalgalar olarak şekillenmektedir. Dalgaların şekli Şekil 2.2'de görülmektedir [El-Rabbany, 2002]. Bu nedenle, GNSS uydu ve alıcıları arasındaki uzaklık tam döngülerin toplam sayısı ile alıcıdaki kısmi döngünün toplamı olarak gözlemlenmektedir. Bu döngü sayısı taşıyıcı dalga boyu λ ile çarpılır. Alıcıda alınan tüm GNSS taşıyıcı döngüleri aynıdır, yani GPS alıcısı bir döngüyü diğerinden ayırt edemez [Abdallah M., 2016]. Alıcı açılıp ölçü toplamaya başladığında, GNSS uydu ve alıcısı arasındaki tüm döngülerin toplam sayısını belirleyemez. Bir tam turun sadece çok küçük bir kısmı

alıcı tarafından çok doğru bir şekilde (≈ 0,005 tam tur veya 1 mm) ölçülebilirken, tüm döngülerin ilk sayısı bilinmemektedir [Mirsa and Enge, 2012]. Bu etkiye etki başlangıç tamsayı faz belirsizliği adı verilmektedi. Fakat GNSS alıcıları, bir sinyal kaybı veya cycle slip meydana gelmediği sürece, başlangıç faz belirsizliği zaman içinde değişmeden aynı değerde kaldığı için, faz belirsizliğini kestirme olanağına sahiptir [Wells vd, 1999]. Taşıyıcı faz gözlemi denklem 2.7'de görülmektedir.

$$\phi = r + c(\delta^R - \delta^S) - \Delta_{iono} + \Delta_{trop} + \lambda N + \Delta_{sol} + \Delta_{pol} + \Delta_{ocn} + \Delta_{atm} + \Delta_{pcv} + \Delta_{mul} + \lambda w + \varepsilon_\phi \quad (2.7)$$

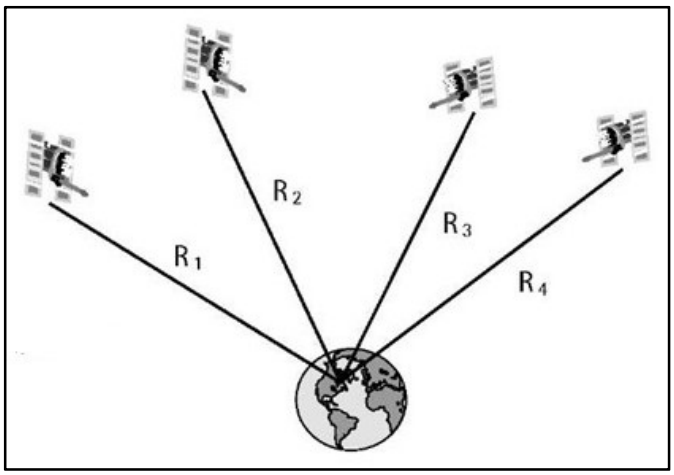
- Φ : Taşıyıcı Faz
- λ : Taşıyıcı Dalgaboyu
- Δ_{iono}: İyonosferik gecikmeden dolayı getirilen düzeltme
- Δ_{trop}: Troposferik gecikmeden dolayı getirilen düzeltme
- Δ_{sol} : Solid Earth Tide etkisinden dolayı getirilen düzeltme
- Δ_{pol} : Kutup gelgit etkisinden dolayı getirilen düzeltme
- Δ_{ocn} : Ocean Loading etkisinden dolayı getirilen düzeltme
- Δ_{atm}: Atmosferik Yükleme etkisinden dolayı getirilen düzeltme
- Δ_{pcv} : Anten faz merkezi hatası ve kayıklığı düzeltmesi
- w : Faz dönme düzeltmesi
- Δ_{mul}: Multipath hatasından dolayı getirilen düzeltme
- ε_ϕ : Faz gözlemleri içerisinde modellenemeyen diğer hatalardan dolayı getirilen düzeltme



Şekil 2.2: Sinüzoidal dalgaların şekli ve sayısal kod yapısı.
Taşıyıcı faz için sinüzoidal dalgalar (sol), kod aralığı için dijital ikili kod (sağ).

2.6. Mutlak Konum Belirleme Yöntemi

En basit konumlandırma yöntemi olan mutlak konum belirleme, tek bir alıcının ölçtüğü (tek frekanslı) pseudorange (kod) gözleminin, GNSS uydularının konumları yardımıyla ölçülmesi esasına dayanmaktadır. İyonosfer gibi büyük çapta hatalar, navigasyon mesajındaki bilgiler kullanılarak veya harici olarak kullanılan bir modelle hesaplanabilir. Bu strateji, tek nokta konumlandırma (SPP) olarak adlandırılır ve genellikle navigasyon amaçlı kullanılır. SPP, çift veya çok frekanslı kod gözlemlerine dayanarak da gerçekleştirilebilir, böylece iyonosferik gecikmeleri ortadan kaldırır. Yörünge ve saat hatalarının hassas bir şekilde modellendiği tek veya çok frekanslı kod ve faz gözlemlerine dayanan nokta konumlandırma yöntemi hassas nokta konumlandırma (PPP) olarak bilinir [Teunissen et al., 2017] ve bölüm 3'de ayrıntılı olarak incelenecektir. Şekil 2.3, dört uydudan ölçülen geometrik uzunluklar yardımıyla uzayda geriden kestirme esasına dayanan nokta konumlandırma kavramını göstermektedir [Web 5, 2018].



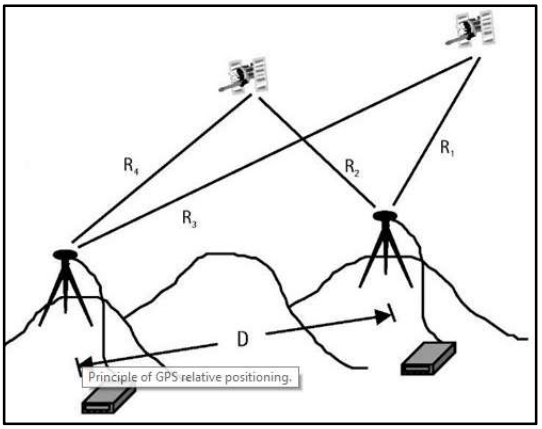
Şekil 2.3: Mutlak Konum Belirleme Yöntemi.

2.7. Bağıl Konum Belirleme Yöntemi

Birden fazla alıcının gözlemlerinin birleştirildiği, alıcılar arasında yaygın olan hataların ortadan kaldırılabileceği veya azaltılabileceği yönteme bağıl konum belirleme adı verilmektedir. Bağıl konum belirlemenin diğer bir önemli avantajı ise taşıyıcı faz belirsizliklerinin tamsayı değerlerini tahmin edebilmesi ve böylece konumlandırma doğruluğunu büyük ölçüde geliştirmesidir [Teunissen et al., 2017].

Anlık veya dakikalık cm mertebesinde sonuç veren RTK gibi yüksek hassasiyet içeren bağıl konum belirleme yöntemleride mevcuttur [Landau et al., 2007]. Uygulamada, RTK sistemi bir baz alıcı, birçok sayıda gezici alıcı ve bunlar arasında bir iletişim bağlantısı içerir. Baz alıcı, gözlemlerini radyo gibi iletişim linki üzerinden yayınlar. Gezici istasyon, baz istasyonundan mesajlar alır ve kendi gözlemleriyle birlikte baz çözümü işlemini gerçekleştirmek için bu mesajları kullanır. Çoğunlukla ortak hataları gideren baz çözümü işleminin ardından, gezici alıcı cm seviyesi konumlandırma doğruluğu yapılabilir. Ancak, çoğu gözlem hatasının mekansal korelasyonundan dolayı, baz ve alıcı istasyonları arasındaki çözüm olanağı her zaman yaklaşık 10 km ile sınırlıdır [Shi, 2012].

Bağıl yöntemde tek uyduya iki farklı GNSS alıcısından yapılan gözlem tekli, iki farklı uyduya yapılan gözlemler ikili, ve üç farklı uyduya yapılan gözlemler üçlü farklar olarak adlandırılmaktadır. Tekli farklar gözlemi kullanarak faz arasındaki farklar, ikili farklar gözlemi kullnarak uydu ve alıcı saat hatalarının her ikisi, üçlü farklar gözlemi kullanılarak ise taşıyıcı dalga faz belirsizliği giderilmektedir [Kahveci, 2012]. Bağıl konum belirleme yöntemi Şekil 2.4'de gösterilmiştir [Web 5, 2018].



Şekil 2.4: Bağıl Konum Belirleme Yöntemi.

3. HASSAS NOKTA KONUMLAMA (PPP)

3.1. PPP Tekniğinin Tanımı ve Matematiksel Modeli

PPP yönteminin temeli 1976 yılında atılmasına rağmen mühendislik ölçmelerinde kullanılmaya başlaması çift frekanslı alıcıların geliştirildiği milenyum çağıdır. 1990'lı yılların ikinci yarısında hassas yörünge ve saat bilgilerine erişilmesi ve çift frekanslı GNSS alıcılarının geliştirilmesi ile iyonosfer kaynaklı hatalar modellenmiştir [Xu et al., 2011].

PPP, çift frekanslı bir GNSS kullanıcısın, tek bir alıcıyla, kinematik yöntemde desimetre hata seviyesinde ve statik yöntemde santimetre hata seviyesinde konum belirlemesine izin veren bir yöntemdir. Rölatif konum belirleme ile karşılaştırıldığında, PPP yönteminde referans alıcıya ihtiyaç duyulmaması büyük bir avantaj olarak görülmektedir. Bu yöntem hassas konum bilgisi üretmek için hassas uydu yörünge bilgisi, uydu saat düzeltmeleri, mutlak anten faz merkezi ofseti, alıcı ve uydu anteni faz dönmesi (phase wind-up), katı yeryuvarı gelgitleri, okyanus gelgit yüklemesi gibi dışarıdan doğrudan temin edilen ürün ve düzeltmelere ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyaçlardan dolayı yapılan ölçüm sonrasında Uluslararası GNSS Servisi (IGS), Jet Propulsion Laboratory (JPL), Center for Orbit Determination in Europe (CODE) gibi online servisler tarafından yayımlanan hassas uydu yörünge ve saat bilgileri yardımı ile ölçülere düzeltme getirilmelidir [Xu et al., 2011], [Shi, 2012], [Gürlek, 2017]. Rölatif GNSS yöntemiyle konum belirleme ve PPP yöntemiyle konum belirlemenin detaylı bir karşılaştırması, Rizos et al., (2012) tarafından yapılmıştır. Tablo-3.1, PPP yöntemiyle bağıl yöntemde dikkate alınması gereken hata kaynakları ve modellemeleri karşılaştırmalı bir yaklaşımla göstermektedir. Bu açıklamaya göre, PPP yönteminde uydu kaynaklı ve alıcı kaynaklı hataların dikkate alınmasının yanı sıra jeofiziksel modellemelerinde yapılması gerektiği açık bir şekilde görülmektedir. Rölatif yöntemde ise dikate alıncak düzeltmeler PPP yöntemine kıyasla azdır. PPP yöntemi ile konum belirlemede getirilen düzeltmelerin doğruluğu ne kadar yüksek olursa, konumu belirlenen noktanın hassasiyeti o kadar yüksek olur.

Tablo 3.1: PPP-GNSS ve Bağıl-GNSS yöntemlerinde uygulanması/hesaplanması gereken hatalar ve modeller.

DÜZELTME TÜRÜ	**PPP - GNSS**	**Rölatif- GNSS**
UYDU KAYNAKLI HATALAR		
Hassas uydu saat düzeltmeleri	√	×
Uydu anteni faz merkezi offset değerleri	√	√
Uydu anteni faz merkezi kayıklıkları	√	√
Hassas uydu yörüngeleri	√	√/×
Diferansiyel grup gecikmeleri	**√ (L1 için)**	×
Görelilik terimi (Rölativite)	√	×
Uydu anteni faz dönmesi	√	×
ALICI KAYNAKLI HATALAR		
Alıcı anteni faz merkezi offset değerleri	√	√
Alıcı anteni faz merkezi kayıklıkları	√	√
Alıcı anteni faz dönmesi	√	×
JEOFİZİKSEL MODELLER		
Katı yeryuvarı gelgiti	√	×
Okyanus yüklemesi	√	×
Kutup gelgiti	√	×
Plaka tektonik hareketleri	√	×
ATMOSFERİK MODELLEME		
Troposferik gecikme	√	√
İyonosferik gecikme (L1 için)	**√ (L1 için)**	×

Aşağıda geleneksel GPS/GLONASS-PPP yönteminin matematiksel modelinden kısaca bahsedilmiştir.

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

$$P_i = \rho + c * dt - c * dT + d_{orb} + d_{trop} + d_{ion/P_i} + d_{mult/P_i} + \varepsilon_{P_i} \quad (3.1)$$

$$\Phi_i = \rho + c * dt - c * dT + d_{orb} + d_{trop} - d_{ion/\Phi_i} + \lambda_i * N_i + d_{mult_{/\Phi_i}} + \varepsilon_{\Phi_i} \quad (3.2)$$

Burada;

- P_i $L_i(m)$ üzerinde ölçülen kod(pseudorange);
- Φ_i $L_i(m)$üzerinde ölçülen taşıyıcı faz;
- ρ Geometrik mesafe (m);

- c Boşluktaki ışık 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} iyonosferik gecikme;
- λ_i dalga boyu;
- N_i Faz tamsayı belirsizliği;
- d_{multi/P_i} Kod üzerindeki multipath etkisi;
- $d_{multi/\emptyset_i}$ Faz üzerindeki multipath etkisi;
- b_i Donanım kaynaklı sapma;
- ε Ölçü gürültüsüdür.

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

$$b_i^r = b_{i.avg}^r + \delta b_i^r \tag{3.3}$$

Eşitlik 3.3, 3.2 ve 3.1'de yerine koyulup ve yeniden yazıldığında,

$$P_i^r = \rho_r + \left(cdt^r + b_{i.avg}^r\right) - cdT^r + d_{orb}^r + d_{trop}^r + d_{ion/L_i}^r + d_{multi/P_i}^r + \varepsilon_{P_i}^r \tag{3.4}$$

$$\Phi_i^r = \Phi_i^r = \rho_r + \left(cdt^r + b_{i.avg}^r\right) - cdT^r + d_{orb}^r + d_{trop}^r - d_{ion/Li}^r + \lambda_i^r N_i^r + d_{multi/\Phi_i}^r + \delta b_{IF\phi}^r + \varepsilon_{\Phi_i}^r \tag{3.5}$$

olur.

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

$$P_i^g = \rho_g + \left(cdt^g + b_{i.avg}^r\right) - cdT^g + d_{orb}^g + d_{trop}^g + d_{ion/L_i}^g + d_{multi/P_i}^g + \varepsilon_{P_i}^g \quad (3.6)$$

$$\Phi_i^g = \Phi_i^r = \rho_g + \left(cdt^g + b_{i.avg}^r\right) - cdT^g + d_{orb}^g + d_{trop}^g - d_{ion/L_i}^g + \lambda_i^g N_i^g + d_{multi/\Phi_i}^g + \delta b_{IF\phi}^g + \varepsilon_{\Phi_i}^g \quad (3.7)$$

GPS ve GLONASS hassas uydu yörüngeleri ve saat ürünleri kullanıldığı için uydu yörünge ve saat hataları ihmal edilmiştir. İyonosferik hata ise iyonosfer-bağımsız kod ve L1, L2 faz gözlemlerinin oluşturulması ile elemine edilmiştir. Hassas uydu yörünge ve saat düzeltmeleri uygulandıktan sonra, iyonosfer-bağımsız kod-kod ve faz-faz gözlem kombinasyonları aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$P_{IF}^{\iota g} = \frac{f_{g1}^2 . P_1^g - f_{g2}^2 . P_2^g}{f_{g1}^2 - f_{g2}^2} = \rho_g + \left(cdt^g + b_{IF.avg}^g\right) + d_{trop}^g + \varepsilon_{P_{IF}}^g \quad (3.8)$$

$$\phi_{IF}^{\iota g} = \rho_g + \left(cdt^g + b_{IF.avg}^g\right) + d_{trop}^g + \left(N_{IF}^g + \delta b_{IF/\phi}^g\right) + \varepsilon_{\phi_{IF}}^g \quad (3.9)$$

$$P_{IF}^{\iota r} = \rho_r + \left(cdt^r + b_{IF.avg}^r\right) + d_{trop}^r + \varepsilon_{P_{IF}}^r \quad (3.10)$$

$$\phi_{IF}^{\iota r} = \rho_r + \left(cdt^r + b_{IF.avg}^r\right) + d_{trop}^r + \left(N_{IF}^r + \delta b_{IF/\phi}^r\right) + \varepsilon_{\phi_{IF}}^r \quad (3.11)$$

- P'_{IF} Düzeltilmiş iyonosfer-bağımsız kod gözlem kombinasyonu (m);
- Φ'_{IF} Düzeltilmiş iyonosfer-bağımsız faz gözlem kombinasyonu (m);
- f_i L_i(Hz) frekansı;
- N_{IF} Birleştirilen belirsizlik terimi (m);
- $b_{IF.avg}^r$ Birleştirilmiş ortalama donanım gecikmesi sapma terimi (m);
- δb_{IF} Birleşik uydu bağımlı donanım gecikme sapması terimi (m);
- ε_{IF} Ölçü gürültüsü, multipath çok yolluluk ve diğer artık hatalarını içerir.

Yukarıdaki denklemlerde görüldüğü gibi, $\delta b^{r}_{IF/\Phi}$ sapmaları, birleşik N_{IF} belirsizliğinden ayrıştırılamaz ve bunlar tek bir toplam parametre olarak kestirilir. Buna ek olarak, bu ortalama gecikme sapmaları $b_{IF.avg}$ pratikte, alıcı saat terimi kayıklığının içerisinde yok olacaktır. 3.8 ve 3.9 eşitlikleri basitçe aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$P'^{g}_{IF} = \rho_g + cdt^{\prime g} + d^{g}_{trop} + \varepsilon^{g}_{P_{IF}} \tag{3.12}$$

$$\Phi'^{g}_{IF} = \rho_g + cdt'^{g} + d^{g}_{trop} + N'^{g}_{IF} + \varepsilon^{g}_{\Phi_{IF}} \tag{3.13}$$

$$P'^{r}_{IF} = \rho_r + cdt'^{r} + d^{r}_{trop} + \varepsilon^{r}_{P_{IF}} \tag{3.14}$$

$$\Phi'^{r}_{IF} = \rho_r + cdt'^{r} + d^{r}_{trop} + N'^{r}_{IF} + \varepsilon^{r}_{\Phi_{IF}} \tag{3.15}$$

cdt'^{g}, metre biriminde alıcı saat hatası ve birleşik ortalama donanım gecikmesi sapması toplamıdır. N'_{IF} , 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.

$$dt = t - t_{sys} \tag{3.16}$$

t_{sys} , GPS gözlemleri için GPS zamanı t_{GPS}, GLONASS gözlemleri için GLONASS sistemi zamanı $t_{GLONASS}$ '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 3.17'de tanımlayabiliriz.

$$dt^{r} = t - t_{GLONASS} = t - t_{GPS} + t_{GPS} - t_{GLONASS} = dt^{g} + dt_{sys} \tag{3.17}$$

Eşitlik 3.17'den görüldüğü üzere, GLONASS alıcı saat kayıklığı, GPS alıcı saat kayıklığı ve GPS ve GLONASS arasındaki zaman farkının toplamı olarak gösterilebilir. Eşitlik 3.17'ye uygulandığında, Eşitlik 3.18 denklemleri yazılır:

$$\begin{aligned} cdt'^{r} &= cdt^{r} + b^{r}_{IF.avg} \\ &= cdt^{g} + cdt_{sys} + b^{r}_{IF.avg} \\ &= cdt^{g} + b^{g}_{IF.avg} + cdt_{sys} + b^{r}_{IF.avg} - b^{g}_{IF.avg} \\ &= cdt'^{g} + (cdt_{sys} + b^{r}_{IF.avg} - b^{g}_{IF.avg}) \\ &= cdt'^{g} + cdt'_{sys} \end{aligned} \tag{3.18}$$

$\mathrm{cdt}'_{\mathrm{sys}}$, gerçek GPS/GLONASS sistem zaman farkı, $(\mathrm{b}^{\mathrm{r}}_{\mathrm{IF.avg}} - \mathrm{b}^{\mathrm{g}}_{\mathrm{IF.avg}})$ sapma teriminin toplamıdır. Eşitlik 3.18, eşitlik 3.14 ve 3.15'de yerine konulduğunda ve Eşitlik 3.12 ve 3.13 yeniden yazıldığında aşağıdaki kod uzunluğu ve taşıyıcı faz gözlem eşitlikleri elde edilir.

$$P'^{g}_{IF} = \rho_g + cdt'^{g} + d^{g}_{trop} + \varepsilon^{g}_{P_{IF}} \tag{3.19}$$

$$\Phi'^{g}_{IF} = \rho_g + cdt'^{g} + d^{g}_{trop} + N'^{g}_{IF} + \varepsilon^{g}_{\Phi_{IF}} \tag{3.20}$$

$$P'^{r}_{IF} = \rho_r + cdt'^{g} + cdt'_{sys} + d^{r}_{trop} + \varepsilon^{r}_{P_{IF}} \tag{3.21}$$

$$\Phi'^{r}_{IF} = \rho_r + cdt'^{g} + cdt'_{sys} + d^{r}_{trop} + N'^{r}_{IF} + \varepsilon^{r}_{\Phi_{IF}} \tag{3.22}$$

Eşitlik 3.19 ve 3.22, geleneksel GPS/GLONASS fonksiyonel modelini oluşturur. Yukardaki gözlem modellerinde bilinmeyen parametreler; 3 boyutlu istasyon koordinatları, alıcı saat hatası, sistemler arası zaman farkı, zenit ıslak troposferik gecikmesi ve gözlenmiş GPS/GLONASS uyduları sayısına eşit olan tam sayı belirsizliğidir. Kuru troposferik gecikme hatası ilk olarak Hopfield troposferik modeli kullanılarak düzeltilir ve daha sonra ıslak zenit troposferik gecikmesi bilinmeyen olarak dikkate alınır [Cai, 2009].

3.2. PPP Yönteminde Tam Sayı Belirsizliği Çözümü

GNSS alıcıları ile yapılan faz gözlemlerinden yüksek hassasiyetli konum bilgisi elde etmek adına faz belirsizliğinin mümkün olduğunca doğru bir şekilde çözülmesine ihtiyaç duyulmaktadır. GNSS alıcıları ölçü yapıldığı anlarda uydu sinyali ile alıcı sinyali arasındaki fazı ölçerler. Alıcının ölçüye başladığı an sayaç devreye girer ve ilk ölçü anı başlangıç kabul edilerek faz ölçüsündeki tam sayı dalga boyu değişimi belirlenir. Fakat bu işlem sonucunda ilk epok için uydu ile alıcı arasındaki taşıyıcı dalga fazının kaç tane tam dalga içerdiği hala bilinmemektedir. Bu bilinmeyene faz belirsizliği (ambiguity) adı verilir [Kahveci, 2012]. GNSS ölçmeleri sırasında doğrudan elde edilmeyen bu belirsizlik, matematiksel modelin içerisine bilinmeyen olarak eklenir ve bazı yöntemler ile yakınsak olarak elde edilmeye çalışılır [Tut, 2009].

Geleneksel PPP tekniğinin en önemli sorunu, taşıyıcı faz başlangıç tamsayı bilinmeyeni çözümü için gereken yakınsama süresinin uzun olmasıdır. Santimetre hassasiyetinde istenen doğruluk için yakınsama süresi minimum 20 dakika süreyle gözlem yapılması gerekmektedir. Bu durum, özellikle gerçek zamanlı mühendislik uygulamaları bakımından oldukça önemli bir sorun olarak görülmektedir [Öcalan vd., 2012].

3.3. Post-Process-PPP

Post-process PPP hizmetleri genellikle real-time PPP'den daha hassastır ve doğruluk ve hassasiyet gerektiren uygulamalar için kullanılma eğilimindedir. Orta veya kısa bazlar üzerinde (örneğin, <1000km) bağıl konumlandırma kadar kesin olmamakla birlikte, çeşitli bölgelerde jeodezik kontrolün oluşturulması için post-process PPP'nin kullanımı günümüzde oldukça yaygındır. Bu durum, özellikle jeodezik kontrol noktalarının seyrek olduğu veya bulunmadığı bölgelerde geçerlidir. Kullandığımız bazı GNSS yörünge ve saat ürünlerinin hassasiyeti nedeniyle, post-process PPP, bağıl yöntemle elde edilen konum bilgisi ile elde edilenlerle karşılaştırılabilecek seviyeye gelmiştir. Tipik olarak, post-process PPP uygulamaları için, kullanıcılar GNSS verilerini tek bir istasyon üzerinden İnternet ile ilgili servise gönderir ve e-posta ile ve dakikalar içinde, konum bilgisini elde ederler. GNSS verileri ana sunucuya alındıktan sonra servis sağlayıcısı tarafından hesaplanan veya

IGS gibi bir üçüncü bir sağlayıcıdan elde edilen GNSS yörünge ve saat düzeltmeleri kullanılarak PPP yöntemine göre işlenir. Yörüngeler ve saat düzeltmelerine ek olarak, PPP servisleri ayrıca ocean loading düzeltmeleri, troposferik gecikme parametreleri ve alıcı ve uydu anteni PCV'leri gibi ilave düzeltmeler için başka özel web servislerini de kullanabilir. Online hizmetlere ek olarak, PPP yazılımları artık bazı GNSS üreticileri tarafından da sağlanmaktadır [Teunissen et al., 2017].

3.4. GNSS-PPP Çözümü İçin Geliştirilen Yazılımlar

PPP ölçümleri sonrası kullanılan post process işlemler için faz gözlemi algoritmalarını kullanan çeşitli bilimsel ve akademik yazılımlar geliştirilmiştir. Bu yazılımlar arasında sık kullananları Bernese, GIPSY-OASIS, WaPPP, gLAB, BNC ve RTK-LIB yazılım paketleridir. Bunlar arasında BNC ve RTK-LIB hem open source olmaları, hem de real-time PPP uygulamalarında herhangi bir ücret ödenmeksizin kullanılabildiğinden, PPP kullanıcıları arasında oldukça popülerdir. [Öcalan, 2015].

3.4.1. İnternet Tabanlı PPP Servisleri

PPP yönteminin popülerleşmesiyle birlikte internet tabanlı çalışan GNSS-PPP değerlendirme yazılımları da geliştirilmeye başlamıştır. Bu yazılımlar arasında en çok kullanılan CSRS PPP, GAPS, APPS, Magic-GNSS ve Trimble Center Point RTX ile ilgili bazı bilgiler Tablo 3.2'de, değerlendirme uygulamalarının RINEX verilerinden sonuç elde etme aşamalarını temsil eden temel çalışma prensipleri ise Şekil 3.1'de gösterilmiştir [Öcalan, 2015].



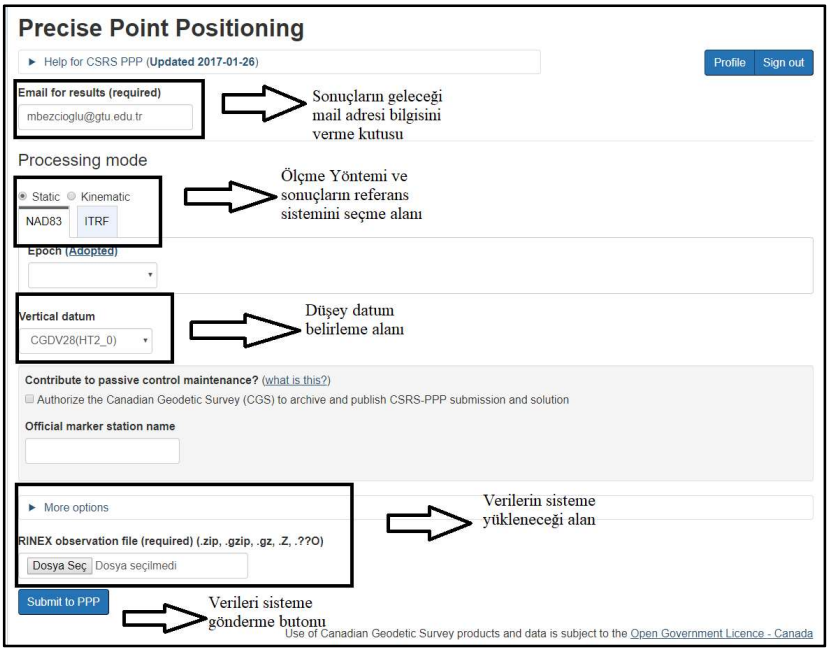
Şekil 3.1: Online servislerin çalışma prensibi.

Tablo 3.2: PPP tekniğini kullanan online servisler.

Konum Belirleme Yöntemi	Servis Adı	Ülke	Veri Türü	Ölçme Modu	Yazılım	Datum
PPP	CSRS-PPP	Kanada	GNSS	Statik/Kinematik	NRCanPPP	ITRF2008
	GAPS	Kanada	GPS	Statik/Kinematik	GAPS	ITRF2008
	APPS	ABD	GPS	Statik/Kinematik	Gipsy	ITRF2008
	Magic-GNSS	İspanya	GNSS	Statik/Kinematik	Magic PPP	ITRF2008
	Trimble Center Point RTX	ABD	GNSS	Statik	Trimble	ITRF2008

3.4.1.1. CSRS-PPP

CSRS-PPP Kanada Jeodezik Araştırma Bölümü (GSD) tarafından 2003 yılında geliştirilen web tabanlı ve yüksek frekanslı verileri dahi çözebilen bir GNSS-PPP servisidir. Bu servis, statik veya kinematik yöntemle GNSS verisi elde eden kullanıcılar için PPP çözümü sağlamaktadır. CSRS-PPP çözümleri hem tek hem de çift frekanslı alıcıların taşıyıcı faz veya kod gözlemleri yardımıyla gerçekleştirilir. PPP çözümlerini koordinatları Kuzey Amerika Datumu (NAD 1983) veya ITRF sisteminde elde etmek mümkündür. PPP sonuçları IGS hassas GNSS yörünge, saat, uydu anteni faz merkezi düzeltmeleri ve troposferik gecikme gibi modellere dayanmaktadır. CSRS-PPP sonuçları iki adet sonuç üretmektedir. Bunlar özet raporları (kısa ve kapsamlı) ve zaman serisi grafikleridir. Tüm çıktı sonuçları veriler servise gönderilirken verilen e-posta adresine gönderilmektedir. Özet raporunda oturum sonuçlarını ve çözümlerin önemli işaretlerini içeren istatistik bilgileri yer alırken detaylı özette gözlem periyodunun sonuçlarını içeren. sum dosyası ve parametre çözümlerini zamana bağlı olarak gösteren .pos uzantılı dosyalar yer almaktadır [Abd-Elazeem et al., 2011], [Guo, 2015]. CSRS-PPP servisinin ara yüzü ve kısa bir tanıtımı Şekil 3.2'de yer almaktadır.



Şekil 3.2: CSRS-PPP Servisinin Arayüzü.

4. PPP YÖNTEMİNDE HATA KAYNAKLARI

GNSS-PPP ölçmelerinde meydana gelebilecek hatalar uydu kaynaklı, alıcı kaynaklı, atmosferik ve jeofiziksel hatalar olmak üzere dört ana başlıkta incelenmektedir.

4.1. Uydu Kaynaklı Hatalar

4.1.1. Uydu Yörünge ve Saat Hataları

GNSS uyduları, her bir alıcıdan yansıyan sinyallerin iletim zamanını doğru olarak yakalamak için atomik saatler taşımaktadırlar [Leick, 2004]. Örneğin, Block II /IIA uydusu iki Sezyum ve iki Rubidyum olmak üzere dört adet saat taşımaktadır. 2010 yılında tanıtılan Block IIF uydusu ise yüksek stabilite zamanlamasına sahip iki adet Rubidyum saati ve bir adet Sezyum saati ile donatılmıştır. Son nesil Blok III uydusu ise üç adet Rubidyum saatine sahiptir [Abdallah M., 2016]. Uydu saatlerinin ölçtüğü değerler yer kontrol üniteleri tarafından kontrol edilir. Ölçümler sırasında meydana gelen saat kayıklığı (clock drift), uydu yörünge bilgileri ve farklı düzeltme verileri hakkında bilgiler navigasyon mesajı içerisinde yer alır [Hoffmann-Wellenhof et al., 2000].

Uydu yörünge ve saat hatası düzeltme bilgileri, aşağıda örnekleri verilmiş olan IGS'in (International GNSS Service) farklı analiz merkezlerinden temin edilmektedir [Web 6, 2018].

- CODE: Centre for Orbit Determination in Europe,
- ESA : European Space Agency,
- MIT : Massachusetts Institute of Technology
- GFZ : German Research Centre for Geosciences
- JPL : Jet Propulsion Laboratory
- EMR : Natural Resources Canada
- GRG : GRGS-CNES/CLS
- NGS : National Oceanic & Atmospheric Administration, National Geodetic Survey

- SIO : Scripps Orbit and Permanent Array Centre, Scripps Institution of Oceanography

IGS, bu analiz merkezlerinden topladığı verilerin ağırlıklı ortalama uydu yörüngesini ve saat hatalarının verilerini yayımlamaktadır. Tablo 4.1, bu verilerin doğruluk, gecikme süresi, güncelleme zamanı, örnekleme aralığını gösterir. Bu tabloda dört tip uydu saati ve yörünge verileri verilmiştir. Uydu verileri, gecikme süresine ve örnekleme aralığına göre farklı doğruluklara sahiptir. Final uydu yörüngesi verileri, 15 dakikalık bir örnekleme aralığı ile 2.5 cm civarında bir ortalama hataya uydu saat hataları ise 5 dakikalık örnekleme aralığın da 0.075 nano saniyelik bir ortalama hataya sahiptir [Web 7, 2018].

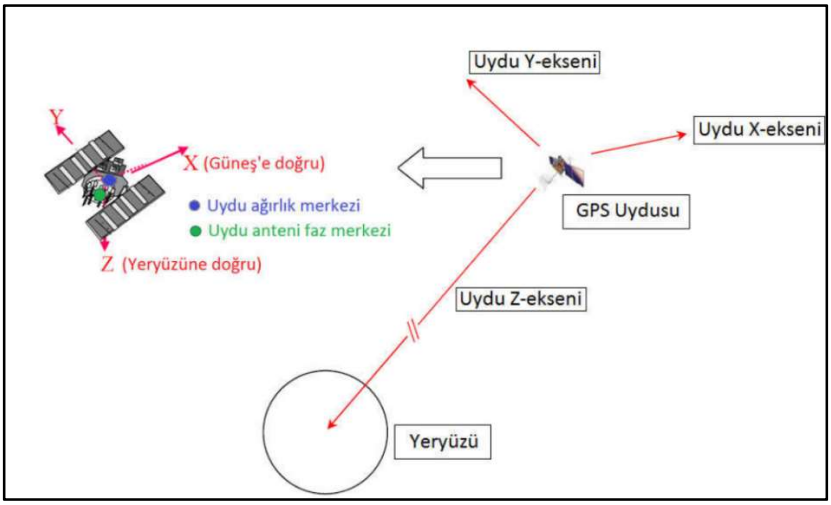
Tablo 4.1: IGS Ürünleri Bilgileri.

GNSS Uydu Verisi			Ortalama Hata	Yayımlanma Süresi	Güncellenme Zamanı	Örnekleme Aralığı
Ultra-Rapid (Predicted)	Yörünge		~5 cm	Gerçek Zamanlı	03:00, 09:00, 15:00, 21:00 UTC	15 Dakika
	Saat	KOH	~3 ns			
		STD	~1.5 ns			
Ultra-Rapid (Estimated)	Yörünge		<3 cm	3-9 Saat	03:00, 09:00, 15:00, 21:00 UTC	15 Dakika
	Saat	KOH	~0.15 ns			
		STD	~0.05 ns			
Rapid (Observed)	Yörünge		~2.5 cm	17-41 Saat	Günlük Olarak 17:00 UTC	15 Dakika
	Saat	KOH	~0.075 ns			5 Dakika
		STD	~0.025 ns			
Final (Observed)	Yörünge		~2.5 cm	12-18 Gün	Her Perşembe	15 Dakika
	Saat	KOH	~0.075 ns			5 Dakika
		STD	~0.020 ns			30 Saniye

4.1.2. Uydu Anteni Faz Merkezi Kayıklığı

Uydu anteni faz merkezi kayıklığı hatası, GNSS uydu kütlesi ile anteninin faz merkezi arasındaki fark nedeniyle meydana gelmektedir. Uydu merkezli hatalar arasında en büyük öneme sahip olan bu hata, hassas konum belirleme çalışmaları adına sıklıkla kullanılan uydu yörünge bilgilerinin elde edilmesinde büyük bir hassasiyetle modellenmektedir. Uydulara etki eden kuvvetlerin modellemeleri, IGS sonuç (final) ürünlerinde uydu ağırlık merkezi baz alınarak hesaplanmaktadır. GNSS alıcısının konumunun belirlenmesi uygulamalarında ise efemeris bilgileri ve uydu gözlemleri, uydu anteni faz merkezi baz alınarak hesaplanmaktadır. Şekil 4.1'de

gösterildiği gibi çoğu GNSS uydusu için faz merkezini z koordinatı Dünya'yı, x koordinatı yönünde ise Güneş'i göstermektedir [Héroux and Kouba, 2001], [Öcalan, 2015].



Şekil 4.1: Uydu Anteni Faz Merkezi Kayıklığı.

4.1.3. Uydu Anteni Faz Dönmesi Hatası

GNSS uyduları, sağ doğru dairesel bir şekilde polarize radyo dalgalarını GNSS alıcılarına iletmektedir. Bu nedenle, ölçülen taşıyıcı faz, uyduların ve alıcıların antenlerinin birbirlerine doğru yönlendirilmelerinin bir fonksiyonudur. Bu etki, alıcı ve uydu antenlerinin düşey eksenleri etrafında bir tam tur dönmesi durumunda taşıyıcı fazı bir dalga boyu kadar değiştirebilir. Uydu antenleri ve sahip oldukları güneş panelleri, güneşe doğru yönlendirilmektedir, böylece istasyon-uydu geometrisi değişir. Bu hataya uydu anteni faz dönmesi hatası adı verilmektedir. Bu hata, aynı uyduları gözlemleyen iki alıcı arasındaki farklar alınarak elemine edilir [Wu et al., 1993], [Héroux and Kouba, 2001].

4.1.4. Görelilik Etkisi

Görelilik etkisi, farklı hareketleri ve yerçekimi potansiyellerine sahip olan iki farklı nesne için ortaya çıkar. Örneğin, GNSS uyduları Dünya üzerinde ölçüm yapan bir GNSS alıcısına göre göre ~ 4 km/s hızda ve ~20200 km yükseklikte hareket etmektedir. Görelilik etkisi genel olarak uydu saatlerini etkilemektedir. Bu etkiyi gidermek için, uyduların atomik saatinin sabit frekansı fırlatma öncesi 10.229999955 MHz olarak ayarlanır. Sabit frekans kayması göz önüne alındığında, yeryüzünden

gözlemlenen uydu saat frekansı 10.23 MHz'e dönüşür. Bu sayede GNSS kullanıcısı bu etkiyi giderme gibi bir zorunluluğu bulunmamaktadır. Bu gibi durumlarda, cm-düzey konumlandırma doğruluğu beklendiğinde göreceli etki dikkate alınmalıdır. Küçük göreli saat düzeltmelerinin GNSS ile konum belirleme algoritmalarında hesaba katılması gerekmektedir. Bu saat düzeltmeleri GNSS uydularının yörünge dış merkezliliği nedeniyle meydana gelmektedir. Bağıl GNSS uygulamalarında dış merkezlik düzeltmeleri alıcı yazılımları tarafından hesaplanmaktadır. Fakat PPP tekniğinin kullanımında hassas saat verisi kullanıldığı için görelilik etkisi mutlaka giderilmelidir [Shi, 2012], [Öcalan, 2015].

4.1.5. Sagnac Etkisi

GNSS uydu yörüngeleri ECI koordinat sisteminde tanımlanırken, GNSS kullanıcıları ECEF koordinat sisteminde tanımlanmaktadır. Bu farklılığın bir sonucu olarak dünyanın kendi ekseni etrafında dönmesinden dolayı uydu ve alıcı saatleri için saat senkronizasyonu sorunu meydana gelmektedir. Bu soruna sagnac etkisi denilmekle beraber yüzlerce nanosaniye boyutuna kadar ulaşabilmektedir [Ashby, 2003]. Bir nanosaniye sagnac hatası 30 cm konum hatasına sebep olduğu göz önüne alınırsa, sagnac etkisi PPP uygulamaları için mutlaka giderilmelidir [Shi, 2012].

4.2. Alıcı Kaynaklı Hatalar

4.2.1. Alıcı Anteni Faz Merkezi Değişimi

Bir GNSS alıcısı anteninin faz merkezi, GNSS alıcılarının sinyali işlendiği elektriksel noktasını ifade etmektedir. Genel olarak, bu faz merkezi, antenin geometrik merkezi ile aynı değildir. Ofset, uydu sinyali azimutunun yüksekliğine bağlıdır ve L1 ve L2 gözlemleri için farklıdır [Hoffmann-Wellenhof et al., 2000]. Anten faz merkezi değişiminin neden olduğu hata değeri, anten tipine bağlıdır ve genellikle birkaç santimetre aralığındadır. Bu hata, kısa baz çözümlerinde alıcı antenleri aynı doğrultuya yönlendirilip ikili farklar alınması durumunda giderilmektedir [Abdallah M., 2016]. NGS, anten kalibrasyon parametrelerini ANTEX (the Antenna Exchange Format) formatında kullanıcılara sunar [Web 8, 2018].

4.2.2. Multipath (Sinyal Yansıma) Hatası

Multipath hatası, ölçüm anında alıcının yakınındaki yansıtıcı özelliğine sahip olan yüzeylerinden dolayı meydana gelmektedir. Bu etki, alıcının farklı yollardan sinyal aldığını anlamına gelir. Alçak uydu geometrisine sahip olan uydulardan gelen sinyaller, yükseklik açısı fazla olan uydulardan gelenlere göre daha fazla multipath hatasına sebep olmaktadır [Hoffmann-Wellenhof et al., 2000]. Ayrıca, kod ve taşıyıcı faz gözlemleri multipath hatasından etkilenmektedir. Kod gözlemlerindeki etki, taşıyıcı faz gözlemlerinden iki kat daha büyüktür [Seeber, 1993]. Bu hata, choke ring türündeki alıcı antenlerinin kullanılması ile giderilmektedir [Hoffmann-Wellenhof et al., 2000].

4.2.3. Alıcı Saat Hatası

Alıcı saat hatası, alıcı saati ile GPS zamanı arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. GNSS alıcıları, uydu saatlerinden daha az doğruluğa sahip olan ucuz quartz saatler ile donatılmıştır [El-Rabbany, 2002]. Alıcı saat hatası, PPP çözümü için en küçük kareler dengelemeseninde bilinmeyen bir parametre olarak tahmin edilmektedir [Kouba, 2009].

4.3. Jeofiziksel Hatalar

4.3.1. Katı Yer Gelgiti Etkisi

Dünya'nın yörüngesel hareketi nedeniyle, güneşin ve ayın yer çekiminin zamansal değişimi Dünya'yı etkiler. Bu etkiye Katı yer gelgiti (solid earth tide) denir. Bu gelgit etkisi, enlem değerine bağlı olarak GNSS alıcıları için periyodik bir yer değişimine neden olmakla beraber düşeyde 30 cm, yatayda ise 5 cm'ye kadar ulaşabilir [Leick, 2004], [Kouba 2009]. PPP yöntemi ile yapılan hesaplamalarda mutlaka giderilmelidir. Solid Earth Tide nedeniyle kartezyen koordinatlarda meydana gelen deplesman, eşitlik 4.1'de görüldüğü gibi ifade edilir.

$$\Delta\vec{r} = \sum_{j=2}^{3} \frac{GM_j}{GM}\frac{r^4}{R_j^3}\left\{\left[3l_2\left(\hat{R}_j \cdot \hat{r}\right)\right]\hat{R}_j + \left[3\left(\frac{h_2}{2} - l_2\right)\left(\hat{R}_j \cdot \hat{r}^2\right) - \frac{h_2}{2}\right]\hat{r}\right\} + \left[-0.025m \cdot sin\varphi \cdot cos\varphi \cdot \sin\left(\theta_g + \lambda\right)\right] \cdot \hat{r} \quad (4.1)$$

- GM, GM_j: Güneş ve Ayın yerçekimi parametreleri
- $\hat{r}, \hat{R}_j$: İstasyon, Ay ve Güneşin yer merkezli vektörleri
- r, R_j : İstasyon, Ay ve Güneşin jeosentrik (yer merkezli) mesafesi
- l_2, h_2 : Nominal 2. Derece Shida ve Love sayıları (0.085 ve 0.609)
- φ, λ : Noktanın enlem ve boylamı
- θ_g : GMST

.

4.3.2. Okyanus Yüklemesi Etkisi

Okyanus Yüklemesi (ocean tide) etkisine, okyanus gelgitlerinin yerkabuğu üzerindeki baskısı neden olmaktadır. Büyüklüğü solid earth tide etksinden daha küçüktür fakat kıyı bölgelerinde 10 cm'ye kadar etkisini gösterebilir. Dünya yüzeyinin gelgit değişimlerine verdiği tepki büyük oranda topoğrafyaya bağlıdır. Solid Earth Tide etkisinde olduğu gibi, ocean loading etkileri günlük ve yarı günlük periyodlar ile ifade edilmektedir fakat solid earth tide'ın aksine yerel olarak etkisini gösterir. Bu özellikleri göz önünde bulundurulduğunda, okyanus yüklemeleri, gün boyunca gerçekleştirilen statik konumlandırmada ve okyanus kıyısından yaklaşık 1000 km uzaklıkta yapılan gözlemlerde ihmal edilebilir. Ancak kinematik yöntemde, cm seviyesi doğruluk istenen uygulamalarda ve kıyı bölgelerinde gerçekleştirilen uygulamalarda göz ardı edilmemeli ve mutlaka giderilmelidir [Kouba, 2009], [Melachroinos et al., 2008], [Jentzsch, 1997].

4.3.3. Kutup Gezinmesi

Yerkürenin dönme eksenindeki, yani kutup hareketindeki hareketler, Dünya merkezkaç potansiyelindeki değişikliklere sebep olmasından dolayı periyodik deformasyonlara neden olur. Kutup gelgitinin neden olduğu koordinatlarının

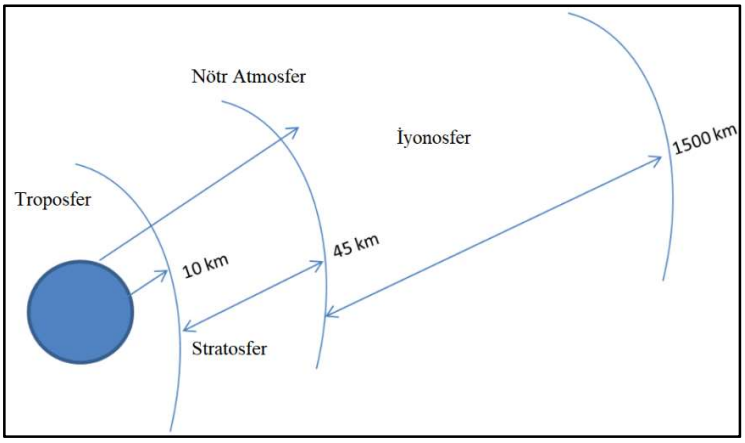
değişimi 2 cm civarında olabilir ve bu nedenle dikkate alınmalıdır. Solid earth tide ve ocean loading etkilerinden farklı olarak, kutup gelgiti etkisi 24 saatte bir sıfır olmayacaktır. Kutup gezinmesine göre yavaş yavaş değişmekte ve ağırlıklı olarak mevsimlere göre değişmektedir. Kutup hareketi düşeyde 25 mm ve yatayda 7 mm gibi bir deplasman hareketine ulaşabilmektedir [Li, 2016].

4.4. Atmosferik Hatalar

Dünya'nın atmosferi, Şekil 4.2'de görüldüğü gibi farklı katmanlardan oluşmaktadır [Shi, 2012]. GNSS sinyalleri uydulardan alıcılara ulaşana kadar dünyanın çeşitli atmosferi boyunca hareket ettiği için, sinyal etkilere maruz kalmaktadır. Bu etkiler, özellikle iyonosfer ve troposfer tabakası boyunca sinyallerin hızını ve doğrultusunu değiştirmektedir [Hoffmann-Wellenhof vd, 2000]. Bu iki tabakanın sinyal üzerine etkileri birbirlerinden farklı özellikler göstermektedir ve bu nedenle hassas konum bilgisi gereken jeodezik çalışmalarda ve PPP yönteminde bu etkilerin modellenmesi gerekmektedir [Öcalan, 2015]. IGS, GNSS kullanıcıları adına modellediği atmosferik modelleri Tablo 4.2'de ifade edildiği üzere kullanıma sunmaktadır [IGS, 2018].

Tablo 4.2: IGS'nin sağladığı atmosferik paremetreler.

Ürünler	Doğruluk	Gecikme	Güncelleme	Örnekleme Aralığı
Final Troposferik Zenit Yolu Gecikmesi	4 mm	< 4 Hafta	Günlük	5 Dakika
Final İyonosferik TEC grid	2-8 TECU	11 Gün	Haftalık	2 saat 5 derece(enlem) x 2.5 derece(boylam)
Rapid İyonosferik TEC grid	2-9 TECU	< 24 Saat	Günlük	2 saat 5 derece(enlem) x 2.5 derece(boylam)



Şekil 4.2: Dünyanın atmosfer tabakaları.

4.4.1. Troposferik Gecikme

Atmosferin en alt kısmı olan troposfer (nötr atmosfer), dünyanın yüzeyinden 50 km'ye kadar uzanır ve bu kısım GNSS sinyallerini önemli ölçüde etkiler. Bu bölüm, kuru gazlar ve su buharından oluşmaktadır. Troposfer 15 GHz altındaki radyo frekansları için ayırt edici olmayan bir ortamdır, yani kırılma indeksi sinyalin frekansına bağlı değildir [El-Rabbany, 2002]. Gecikme etkisi ile karşılaştırıldığında, sinyal bükme etkisi çok azdır [Web 9, 2018]. Bu tabakadaki yayılma hızı, boşluktan daha düşüktür, bu nedenle ölçülen aralık, uydu yükseklik açısına bağlı olarak yaklaşık 2.5- 25 m daha uzundur. L1 ve L2 gözlemlerini birleştirerek troposferik gecikme ortadan kaldırılamaz, kullanıcı bu hatayı modellemek zorundadır [Mirsa and Enge, 2001].

Troposferik gecikme kuru ve ıslak olmak üzere iki bileşenden oluşur. Kuru bileşen bu gecikmenin yaklaşık %90'ını meydana getirmektedir. Bu kısım, bir takım matematiksel modeller kullanarak yüksek bir doğruluk derecesiyle tahmin edilebilir [Hoffmann-Wellenhof et al., 2000]. Troposferik gecikmenin ıslak bileşeni, GNSS sinyalinin yolu boyunca su buharına bağlıdır. Kuru bileşenden farklı olarak, su buharı içeriği yerel hava ile çok hızlı değiştiği için ıslak bileşenin modellenmesi ve tahmin edilmesi kolay değildir [Mirsa and Enge, 2012]. Bu hata genel olarak 30 cm'den azdır [Bar-Sever et al., 1998].

Hopfield (1969), kuru troposferik gecikmeyi, toplam basınç (mbar) ve sıcaklık (Kelvin) cinsinden bir fonksiyon olarak ifade ederken, ıslak troposferik gecikmeyi, su buharı (mbar), Kelvin cinsinden sıcaklığın bir fonksiyonu olarak sunmuştur. Hopfield (1969) modeli ilgili tahmin edilen gecikme ifadeleri eşitlik 4.2 ve 4.3'de

sunulmuştur. Bu denklemler, troppsferik gecikmeyi tahmin etmek adına GNSS sinyalin kesme açısını dikkate almaktadır [Hoffmann-Wellenhof et al., 2000].

$$T_z^h(E) = \frac{10^{-6}}{5} \frac{77.64}{sin\sqrt{E^2 + 6.25}} \frac{P}{T} [40136 + 148.72(T - 273.16)] \tag{4.2}$$

$$T_z^w(E) = \frac{10^{-6}}{5} \frac{(-12.96T + 3.718 \cdot 10^5)}{sin\sqrt{E^2 + 2.25}} \frac{e}{T^2} 11000 \tag{4.3}$$

- $T_z^h(E)$: Kuru Bileşen
- E : Sinyal Kesme Açısı
- P : Basınç (mbar)
- T : Sıcaklık (Kelvin)
- $T_z^w(E)$: Islak Bileşen
- e : Su Buharı Basıncı (mbar)

Saastamoinen (1973), eşitlik 4.4'de görüleceği gibi metre cinsinden ifade edilen troposferik gecikmeyi modellemiştir. Model, basınç, sıcaklık, su buharı ve uydu kesme açısı cinsinden ifade edilen bir fonksiyondur.

$$T_z = \frac{0.002277}{\cos(z)} [P + \left(\frac{1255}{T} + 0.05\right) e - tan^2(z)] \tag{4.4}$$

- T_z: Toplam Troposferik Gecikme
- z : Zenit Açısı

Bu model, GNSS istasyonunun deniz seviyesinden yüksekliği ve uydu kesme açısı dikkate alınarak eşitlik 4.5'de görüldüğü gibi revize edilmiştir. Bu denklemde yer alan iki parametrenin değerleri Tablo 4.3'de gösterilmiştir [Hoffmann-Wellenhof et al., 2000].

$$T_z = \frac{0.002277}{\cos(z)} \left(P + \left(\frac{1255}{T} + 0.05\right) e - B\ tan^2(z) \right) + \delta R \tag{4.5}$$

Tablo 4.3: B ve δR Terimlerinin Düzeltme Değerleri.

Zenit Açısı	GNSS İstasyonunun Deniz Seviyesinden Yüksekliği (km)							
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0
	δR							
60°00′	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001
66°00′	0.006	0.006	0.005	0.005	0.004	0.003	0.003	0.002
70°00′	0.012	0.011	0.010	0.009	0.008	0.006	0.005	0.004
73°00′	0.020	0.018	0.017	0.015	0.013	0.011	0.009	0.007
75°00′	0.031	0.028	0.025	0.023	0.021	0.017	0.014	0.011
76°00′	0.039	0.035	0.032	0.029	0.026	0.021	0.017	0.014
77°00′	0.050	0.045	0.041	0.037	0.033	0.027	0.022	0.018
78°00′	0.065	0.059	0.054	0.049	0.044	0.036	0.030	0.024
78°30′	0.075	0.068	0.062	0.056	0.051	0.042	0.024	0.028
79°00′	0.087	0.079	0.072	0.065	0.059	0.049	0.040	0.033
79°30′	0.102	0.093	0.085	0.077	0.070	0.058	0.047	0.039
79°45′	0.111	0.101	0.092	0.083	0.076	0.063	0.052	0.043
80°00′	0.121	0.110	0.100	0.091	0.083	0.068	0.056	0.047
B (mb)	1.156	1.079	1.006	0.938	0.874	0.757	0.654	0.563

4.4.2. İyonosferik Gecikme

İyonosfer tabakası yeryüzünden yaklaşık 50 km ile 1100 km yükseklikte bulunan bir atmosfer katmanıdır. Bu tabaka serbest elektron ve iyonize olmuş gazlardan oluşmaktadır [Mirsa and Enge, 2012]. İyonosfer hatası eşitlik 4.6'da gösterilen şekilde tahmin edilebilmektedir.

$$\Delta_{Iono} = \pm \frac{40.3}{f^2} TEC \tag{4.6}$$

- Δ_{Iono}: Gerçek ve ölçülen geometrik mesafe arasındaki fark
- TEC : Toplam Elektron Yoğunluğu
- f : Frekans

Birinci mertebedeki iyonosfer hatası hem kod hem de faz gözlemleri için iyonosfer serbest lineer kombinasyonlar kullanarak çift frekanslı alıcılar yardımıyla büyük ölçüde giderilmektedir. Çift frekanslı veriler için kullanılan iyonosfer serbest denklemleri eşitlik 4.7 ve 4.8'de gösterilmiştir [Mirsa and Enge, 2012].

$$\rho_{IF} = \frac{f_{L1}^2}{(f_{L1}^2 - f_{L2}^2)}\rho_{L1} - \frac{f_{L2}^2}{(f_{L1}^2 - f_{L2}^2)}\rho_{L2} = 2.546\rho_{L1} - 1.546\rho_{L2} \quad (4.7)$$

$$\phi_{IF} = \frac{f_{L1}^2}{(f_{L1}^2 - f_{L2}^2)}\phi_{L1} - \frac{f_{L2}^2}{(f_{L1}^2 - f_{L2}^2)}\phi_{L2} = 2.546\phi_{L1} - 1.546\phi_{L2} \quad (4.8)$$

- f_1, f_2 : L_1 ve L_2 sinyallerinin frekansı
- ρ_{Li}, ϕ_{Li} : Gözlemlenen kod ve faz ölçüleri

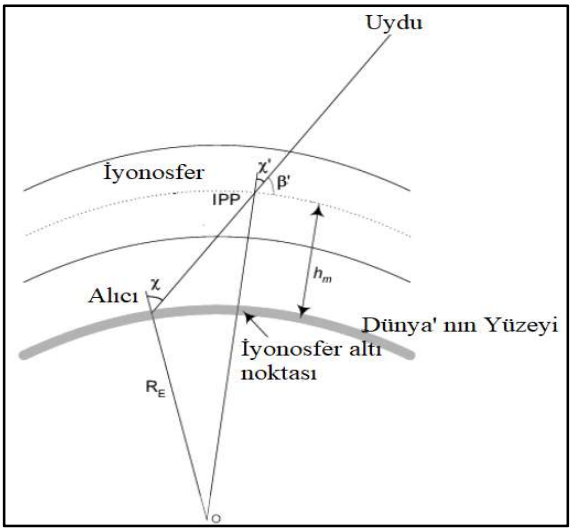
Birinci mertebeden denklemler, iyonosfer etkisini tamamen ortadan kaldırmaz, bu nedenle daha yüksek mertebeden terimler de dikkate alınmalıdır [Keder et al., 2003]. İkinci mertebeden iyonosfer grup gecikmesi denklemi eşitlik 4.9'de ifade edilmiştir. Bu eşitlikteki birtakım bilinmeyenler ve görselleri sırasıyla eşitlik 4.10 ve Şekil 4.3'de ifade edilirken, iyonosfer faz gecikmesi eşitlik 4.11'de ifade edilmiştir [Keder et al., 2003], [Bassiri and Hajj, 1993].

$$\Delta \mathrm{I}_g = 2.61 \cdot 10^{-18} \cdot \lambda_i^3 \cdot \left(\frac{R_e}{r_m}\right)^3 \cdot (sin\,\theta'_m \cdot \cos\chi \cdot \cos\beta - 2\cos\theta'_m \cdot \sin\beta) \cdot \mathrm{TEC} \quad (4.9)$$

$$\theta'_m = \theta_m - \frac{h_m}{R_E sin\beta} cos\chi \cdot cos\,\beta \quad (4.10)$$

$$\Delta \mathrm{I}_p = -\frac{1}{2}\Delta \mathrm{I}_g \quad (4.11)$$

- θ_m : GNSS istasyonunun manyetik enleminin tümleyini
- R_E : Dünyanın yarıçapı
- h_m : Dünya yüzeyinin üzerinde bulunan iyonosfer ince kabuğun yüksekliği
- r_m : $R_E + h_m$
- β : GNSS istasyonunun yükseklik açısı
- λ_i : GNSS sinyalinin dalgaboyu



Şekil 4.3: İyonosfer Gecikmesinin Geometrisi.

Şekil 4.3, iyonosfer gecikmesinin geometrisini ifade etmektedir. β' açısı, IPP (Ionospheric Pierce Point)'nin yükseklik açısını ifade ederken, χ, GNSS istasyonunun zenit açısına karşılık gelmektedir [Hoffmann-Wellenhof et al., 2000], [Abdallah M., 2016].

4.5. Yüksek Frekanslı GNSS-PPP ve Artık Hata Kaynakları

GPS gözlemleri, milimetre mertebesinde hassasiyet ile plaka hareketlerinin izlenmesi gibi jeodezik çalışmalarda oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. GPS jeodezisi çalışmalarında, GPS istasyonlarından 30 saniye aralıklarla elde edilen veriler analiz edilerek günlük, aylık ve yıllık zaman serileri oluşturulur. Bu düşük frekanslı konum bilgileri ile uzun süreli deformasyonlar belirlenebilmektedir. Fakat deprem dalgalarını, yüksek bina ve asma köprü gibi yapıların salınımlarını elde etmek için yüksek frekanslı ölçüler gerekmektedir [Ebinuma and Kato, 2012].

GNSS donanımlarının gelişmesi ile birlikte, günümüzde GNSS alıcıları 1-100 Hz arasında veri toplayarak, sismik dalgalarının toplanması, tsunami ve volkan ve yüzey hareketlerinin tespit edilmesi ve yapı sağlığı incelemelerine olanak sağlamaktadır [Kato et al., 2000; Larson et al., 2003; Avallone et al, 2011; Moschas and Stiros, 2015; Wang et al., 2016].

Büyük (mega) depremlerin yaşanması durumunda bağıl yöntem için sabit nokta şartının sağlanamaması, deprem kaynaklı yer sarsıntılarının bağıl yöntemle belirlenememesine sebep olmaktadır. Bu durumdan dolayı Kinematik Rölatif GNSS

tekniğinin early warning (erken uyarı) sistemleri için tespit edilmesi zorunlu olan mutlak deplasman hareketlerini yakalanması konusunda başarısız olacağı ön görülemez bir durum değildir [Xu et al., 2017].

Tüm artık sistematik hatalar ölçü başlangıcından itibaren başlayan ve zaman ile değişen hatalar olmak üzere iki alt başlıktan oluşmaktadır. Ölçü başlangıcından itibaren meydana gelen sistematik hatalar literatürde sıklıkla incelenmiştir fakat zaman ile değişen sistematik hatalar hakkında çok az şey bilinmektedir. Yüksek frekanslı GNSS-PPP'de karşılaşılan artık hata kaynakları Tablo 4.4'de gösterilmiştir [Shu et al., 2017].

Tablo 4.4: Yüksek Frekanslı GNSS-PPP'de Karşılaşılan Hata Kaynakları.

Artık Hatalar	**Tanım**
ε_{so}^{i}	Uydu Yörünge Hatası
ε_{st}^{i}	Uydu Saat Hatası
ε_{tr}^{i}	Artık Troposferik Gecikme
ε_{io}^{i}	Yüksek Mertebeden İyonosferik Gecikme
ε_{pc}^{i}	Artık Uydu/Alıcı Faz Merkezi ve Kayıklığı Düzeltmeleri
ε_{rl}^{i}	Artık Görelilik Etkisi Düzeltmesi
ε_{wp}^{i}	Artık Faz Dönmesi Düzeltmesi
ε_{mp}^{i}	Multipath Hatası
ε_{i}	Rastgele Gürültü

Tablo 4.4'de sıralanan sistematik hata terimleri ölçü sırasında birkaç santimetreye kadar ulaşabilmektedir [Heroux and Kouba, 2001; Misra and Enge, 2006]. Bu terimler, rastgele hatalar olarak kabul edilirlerse, koordinat düzeltmeleri cm mertebesinde bir hassasiyet ile sonuçlanmaktadır, genellikle kinematik PPP yöntemi ile gerçekleştirilen uzun süreli ölçülerde sıklıkla görülürler. Sismik dalga hareketlerini yakalamak adına Yüksek Frekanslı PPP yöntemi tercih edildiği için, hataların ölçümlere etkisini kısa süreli ölçümlerde gözlemlenmelidir. Bu durumda, artık sistematik hatalarının rasgele hatalar olarak ele alınması mantıklı değildir. Aslında, bu artık hataların yavaşça değiştiği ve kısa bir süre içinde sistematik hatalar gibi davrandığı varsayılabilir. Daha spesifik olarak açıklamak gerekirse, kısa bir süre içinde, tüm sistematik hataların yavaşça ve düzgün bir şekilde değiştiğini ve bazı terimlerin de sabit kalacağını varsaymak, pratik olarak makul ve kabul edilebilirdir. Sismik dalgaların ölçümünün kalitesiyle ilgili olarak, koordinat çözümüne ulaşmak yerine sismik dalga ölçümlerinin hata birikimlerini araştırmak daha uygundur. Diğer

bir deyişle, Yüksek Frekanslı PPP yönteminde sadece koordinat düzeltmelerinin kısa bir süre içindeki değişen farklarıyla ilgilenilmektedir. Bu sebeple Yüksek Frekanslı GNSS-PPP yönteminde incelenen artık hata kaynakları 1 ve 3 dakikalık aralıklarda incelenmiş ve sonuçlar Tablo 4.5'de gösterilmiştir [Shu et al., 2017].

Tablo 4.5: Kısa süreli sismik dalga ölçümlerinde karşılaşılan rasgele/sistematik hataların standart sapmaları.

Artık Sistematik/Rasgele Hatalar	1 Dakika			3 Dakika		
	E (Doğu) (mm)	N (Kuzey) (mm)	U (Yukarı) (mm)	E (Doğu) (mm)	N (Kuzey) (mm)	U (Yukarı) (mm)
Troposferik Gecikme	0.02	0.01	0.08	0.06	0.03	0.15
PCO/PCV	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.07
Uydu Yörünge Hatası	0.04	0.01	0.21	0.12	0.03	0.63
Uydu Saat Hatası	0.28	0.31	0.69	0.49	0.56	1.37
İyonosferik Gecikme (TEC miktarının hızlı değiştiği alanda)	6.47	7.15	14.77	6.52	7.25	15.03
İyonosferik Gecikme (TEC miktarının sabit kaldığı alanda)	1.26	1.46	2.97	1.29	1.46	2.99
Multipath Hatası	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.04
Rasgele Gürültü Hatası	1.93	2.19	4.51	1.92	2.19	4.53
Toplam Etki (TEC miktarının hızlı değiştiği alanda)	6.73	7.46	15.52	6.79	7.59	15.91
Toplam Etki (TEC miktarının genelde sabit kaldığı alanda)	2.31	2.64	5.40	2.37	2.68	5.69

Tablo 4.5 açıkça göstermektedir ki kısa süreli yüksek frekanslı PPP ölçmelerinin hassasiyeti taşıyıcı faz gözlemlerinde kullanılan L_1 ve L_2 frekanslarının gürültüsüne ve iyonosfer katmanının TEC miktarına bağlıdır. Bunların dışında kalan tüm sistematik hatalar oldukça küçük miktardadır ve kısa süreli gözlemlerde iki epok arasındaki koordinat farklarını çok az etkilemektedir. L_1 ve L_2frekanslarındaki gürültü miktarı yaklaşık 1 mm olarak düşünülürse, TEC miktarının sabit olduğu

alanlarda yapılan ölçümlerde yatayda 3mm düşeyde ise yaklaşık 6 mm'lik bir hassasiyet elde edilecektir. Ancak ekvatora yakın ya da düşük ve orta enlemde yapılan ölçümlerde TEC miktarı yoğun ve hızlı değiştiği için yatayda 6-7 mm düşeyde ise yaklaşık 1.5 cm'lik bir hata söz konusu olacaktır [Shu et al., 2017].

5. UYGULAMA

5.1. Deney Tasarımı

Bu çalışmada, yüksek frekanslı kinematik PPP yönteminin mühendislik yapılarındaki dinamik salınımı ve büyük depremlerin neden olduğu güçlü yer hareketlerini belirleme ve yakalayabilme performanslarını değerlendirmek amacıyla sinusoidal hareketlerin simülasyonunun yapılabildiği bir sarsma tablası kullanılmıştır. Bu tez çalışmasının amacı doğrultusunda bölüm 5.1.1 ve 5.1.2'de açıklanmış olan iki farklı deney tasarlanmıştır. Şekil 5.1, tez çalışması için kullanılan sarsma tablasını ve üzerine monte edilen GNSS alıcısını göstermektedir.



Şekil 5.1: Sarsma Tablası ve GNSS Alıcısı.

Deneylerde kullanılan sarsma tablasının hareketi, Şekil 5.1'de gösterildiği gibi, GNSS alıcısının üzerine sabitlenebildiği, tek eksende hareketi ± 95 mm, toplam stroke'u (deplasmanı) ± 190mm ve maksimum hızı 400 mm/sn olan siyah düz bir plaka ve bu plakaya bağlı olan bir elektrik motoru ile sağlanır. Tablanın yüksek frekans ve genlikleri üretmesi durumundaki stabilitesi, platformun her iki tarafına yerleştirilen ağırlıklar ile sağlanır. Tablanın deplasman hareketi bilgileri, hareketli platformun altına gömülü, Windows işletim sistemi tabanlı çalışan 50 Hz frekansa sahip ve mm mertebesinde hassasiyet sağlayan LVDT sistemi ile elde edilir. Sarsma tablasının hareket modelleri harmonik ve rastgele değerler olarak düzenlenebilmektedir. Harmonik hareketler, genlik, frekans ve döngü sayısı ile

tanımlanan sinüsoidal dalgalardır. Rastgele değerler ivme veya yer değiştirme işlevleri olarak tanımlanır. İvme değerleri, tepe değerlerinin stroke limitlerini aşıp aşmadığını görmek için başlangıçta yer değiştirmenin zaman serisi grafiğine dönüştürülür. Tabla, alt limitlerini aşma durumunda, deplasman-zaman değerleri, tepeden tepeye değerleri ve stroke limitleri arasındaki tutarlılığı sağlamak için optimal bir faktörle ölçeklendirilir.

5.1.1. Harmonik Salınım Testleri

Yüksek Frekanslı Kinematik GNSS-PPP ve Yüksek Frekanslı Kinematik GNSS-Rölatif konum belirleme yöntemlerinin yapı sağlığı izleme performansını değerlendirmek ve sonuçlarının LVDT verileriyle karşılaştırılması amacıyla Tablo 5.1'de özetlenen ve frekans aralığı 0.2-2.5 Hz, genlik aralığı ise 5-20 mm arasında değişen 24 farklı deney tasarlanmıştır. Bu aralıkların seçilmesinde, günümüzde incelenen yapılarda gözlemlenen frekans değerleri göz önünde bulundurulurken, 10 Hz'lik GNSS verileri ile minimum 5 mm'lik deplasman hareketlerinin yakalanabilmesi ve yapılarda gözlemlenen deplasman hareketlerinin genelde 20 mm'den fazla olmaması durumunda GNSS ile rahatlıkla yakalanabilmesi göz önünde tutulmuştur.

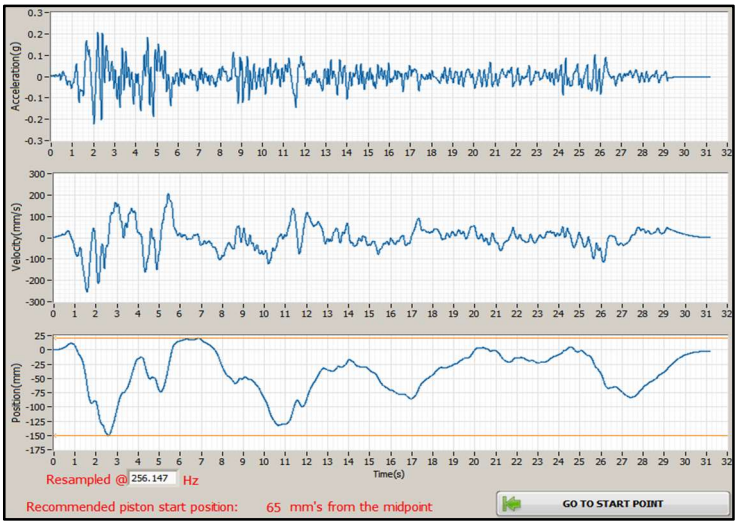
Tablo 5.1: Çalışma için seçilen tüm deneylerin salınım frekansı ve genliği.

		Salınım Genliği			
		5 mm	**10 mm**	**15 mm**	**20 mm**
Salınım Frekansı	**0.2 Hz**	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
	0.5 Hz	Durum 5	Durum 6	Durum 7	Durum 8
	1.0 Hz	Durum 9	Durum 10	Durum 11	Durum 12
	1.5 Hz	Durum 13	Durum 14	Durum 15	Durum 16
	2.0 Hz	Durum 17	Durum 18	Durum 19	Durum 20
	2.5 Hz	Durum 21	Durum 22	Durum 23	Durum 24

5.1.2. Deprem Simulasyon Testi

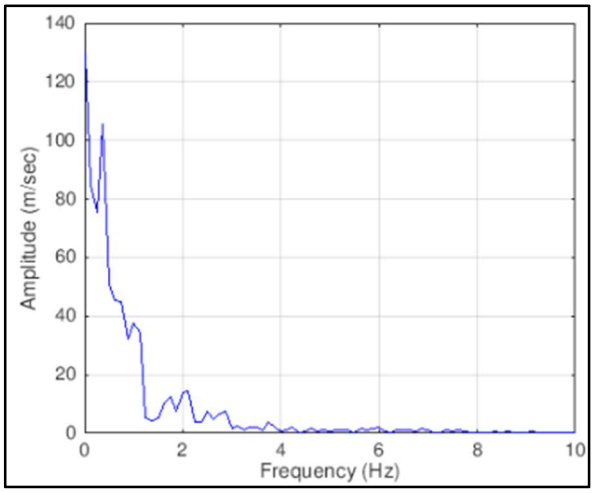
El-Centro depremi 19 Mayıs 1940'ta Güney Kaliforniya'da 05:35 UTC'de meydana gelmiştir. Deprem 6.9 Mw büyüklüğüne sahipti ve fay kırığının yakınlarında yer alan bir sismografla kaydedilen ilk büyük deprem olma özelliğini taşımaktaydı. Meydana geldiği zaman dikkate alındığında Imperial Valley'de

gerçekleşen en güçlü depremdi ve bölgedeki sulama sistemlerinde önemli derecede hasara neden oldu. Deprem merkezinin, Kaliforniya'nın Calexico kasabasının 5 mil (8.0 km) kuzeyinde yer alan Imperial Fayı'nda ortaya çıkan bir kırılma olduğu tespit edildi. Deprem sırasında, maksimum deplasmanı yaklaşık olarak 4.5 m olan 40-60 km'lik yüzey yırtığı meydana gelmiştir. Oluşan kırığın, yanal atılımlı fay özelliği gösterdiği ve düşey deplasmanının olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.2: Deneyde kullanılan El-Centro deprem kaydının zaman serisi.

Şekil 5.2'de görülen ve El-Centro depremnin ivme, hız ve konum bilgilerini içeren kayıt bu çalışmada kullanılmıştır. Kaydın frekans içeriği, Şekil 5.3'de gösterildiği gibi dar bantlıdır. Hareketler, geçişlerde düzdür ve ters döngüsel hareketler çok şiddetli değildir.



Şekil 5.3: Deneyde Kullanılan El-Centro Deprem Kaydının Frekansı.

5.2 GNSS Verilerinin Toplanması

Bu tez çalışması kapsamında iki adet çift frekanslı Topcon ™ HiPer-Pro GNSS kullanılmış ve veriler 10 Hz (0.1 sn) örnekleme aralığında 10°'lik kesme açısı ile toplanmıştır. Bir adet GNSS alıcısı sarsma tablasına monte edilmiş, diğer GNSS alıcısı ise sarsma tablasından yaklaşık 20 m uzağa kurulmuş ve rölatif çözüm için kullanılmıştır. Alıcının 20 m kadar uzağa kurulmasının nedeni, kinematik rölatif konumlamaya dayalı çözülen koordinatların doğruluğu, tesis edilen istasyonların baz uzunlukları ile alakalı olmasından dolayıdır. Baz uzunluğu mesafesi yükseldikçe, uydudan alıcıya ulaşan sinyalleri etkileyen hatalar arasında korelasyon düşeceğinden dolayı konum doğruluğu da azalacaktır. Bu nedenle, multipath hatasının dışında kalan GNSS hatalarının büyük bir kısmı elemine edilerek gezici alıcının konum bilgisi daha hassas olarak elde edilebilmektedir.

Sarsma tablası deneyleri, 17.08.2016 tarihinde İstanbul Kültür Üniversitesi kampüsünde gerçekleştirilmiş ve deney yaklaşık olarak 136 dakika sürmüştür. Çalışma kapsamında, LVDT verileri rölatif ve PPP yöntemleri ile karşılaştırılmak amacıyla referans kabul edilmiştir. Deneylere başlamadan önce sarsma tablası üzerindeki GNSS alıcısı PPP çözümünün hassasiyetini yükseltmek ve başlangıç tamsayı belirsizliği çözümünü elde etmek için 25 dakika boyunca açık ve hareketsiz bir halde bekletilmiştir. Deneyler sırasında hem GPS hem de GLONASS uydu verileri toplanmıştır. Uydu yüksekliği kesme açıları, uydu görüşünün açık ve sınırlı olması durumunda GPS-PPP ve GLONASS'ın katkısının analizini gerçekleştirmek amacıyla 10°, 20°, 30° ve 40°'lik kesme açıları seçilmiştir. Deneyin gerçekleştiği sırada gökyüzü açık ve hava oldukça sakindi. Gözlenen GPS ve GLONASS uydularının sayısının 10°'lik RINEX verisinde 12 ile 16, 20°'lik RINEX verisinde sırasıyla 9 ile 12, 30°'lik RINEX verisinde 5 ile 8 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. 40°'lik kesme açısında çözüm elde edilememiştir. Şekil 5.4, deney sırasında çekilen bir fotoğrafı göstermektedir.



Şekil 5.4: Deney Anından Bir Görünüm.

5.3. GNSS Verilerinin İşlenmesi

5.3.1. Kinematik Rölatif GNSS Çözüm

Bazı çalışmalar göstermiştir ki, deplasman hareketlerini izlemek ve insan yapımı mega yapıların doğal frekanslarını saptamak adına post-process kinematik rölatif yöntem oldukça güçlü bir yöntemdir [Çelebi, 2000], [Yigit vd., 2010], [Gürlek, 2017]. Bu verilerin ışığında, Yüksek Frekanslı GNSS-PPP yönteminin performansını test etmek amacıyla post process kinematik rölatif GNSS çözümü Leica Geo Office (LGO) 3.0 yazılımı kullanılarak sağlanmıştır. Konum bilgilerinin çözülmesinde, iyonosferik etkiyi elemine etmek amacıyla L1+L2 çözümü gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, troposferik gecikme hatasını ortadan kaldırmak için Hopfield troposferik modeli çözüme dahil edilmiştir ve hassas yörünge bilgileri kullanılmıştır.

5.3.2. Kinematik GNSS-PPP

Sarsma tablasının üzerine kurulan GNSS alıcısının verileri kinematik-PPP modu seçilerek CSRS-PPP yazılımı kullanılarak çözülmüştür. Günümüzde sıklıkla kullanılan online post-process servislerinin aksine, CSRS-PPP servisi yüksek frekanslı GNSS verilerini çözme kabiliyetine sahiptir ve bu nedenden dolayı PPP verileri CSRS-PPP ile çözülmüştür. CSRS-PPP servisi, RINEX verilerinin sunucu veri tabanına yükleme zamanına bağlı olarak üç farklı GNSS yörünge ve saat

ürünlerini (EMU, hızlı ve IGS Final) kullanmaktadır [Mireault et al., 2008]. Bu çalışma kapsamında kullanılan işlem seçenekleri Tablo 5.2'de gösterilmektedir.

Tablo 5.2: CSRS-PPP tarafından kullanılan işlem parametreleri.

Mod	Kinematik
Proses Edilen Uydular	GPS+GLONASS
GNSS Çeşidi	Kod&Faz
Gözlemlenen Frekans	L1, L2
Uydu Yörüngeleri	EMU, Rapid, Final
Uydu Ürün Girdileri	CLK-RINEX
İyonosferik Modeller	L1&L2
Troposferik Modeller	-Hidrostatik için Davis (GPT) -Islak bileşen için Hopf (GPT) -Mapping fonksiyonu GMF
Troposferik Zenit Gecikmesi (TZD)	Tahmin edilmiş.
Saat Enterpolasyonu	Evet
Parametre Yumuşatma	Evet
Referans Yüzeyi	ITRF

IGS-Final ürünleri en son gerçekleştirilen gözlemden yaklaşık 13 gün sonra üretilmekte ve paylaşılmaktadır. EMU ürünleri ise saatlik olarak üretilir ve GPS uyduları için 90, GPS+GLONASS uyduları için 120 dakika sonra kullanılabilir. Final ürünlerinin hassasiyeti diğer ürünlere göre biraz daha üstündür. İşleme sokulan yörünge ve saat ürün bilgilerinin doğruluğu PPP çözümünden elde edilen konum bilgilerinin hassasiyetine büyük ölçüde etki eder. Ayrıca yapıların frekansında herhangi bir değişim olması durumunda EMU ürünleri bu değişimin analizini olay gerçekleştikten 2 saat sonra analizini mümkün kılar. Bu çalışma kapsamında, ultra-rapid, rapid ve final hassas yörünge ürün bilgilerinin Yüksek Frekanslı PPP ile elde edilen deplasman hareketlerinin etkisini değerlendirilmek üzere sarsma tablası deneyleri tamamlandıktan 2 saat sonra, 1 gün sonra ve 13 gün sonra olmak üzere toplamda üç kez CSRS-PPP sunucusuna yüklemesi yapılmıştır. CSRS-PPP yazılımının çözümü sonucu elde ettiğimiz koordinatlar ITRF sistemindedir ve yapı sağlığı izlemelerinde doğrudan kullanılamaz [Yigit, 2016]. Bu koordinat bilgilerinin yerel Toposentrik Kartezyen koordinat sistemine dönüşümünün gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu sebepten dolayı, hem CSRS-PPP hem de LGO 3.0 yazılımından çözülen koordinat bilgileri, eşitlik 5.1 ve 5.2'de görüldüğü gibi sırasıyla yerel

toposentrik Kartezyen sisteme dönüştürülmüştür ve 2 boyutlu benzerlik dönüşümü yapılmıştır.

$$\begin{bmatrix} e_t \\ n_t \\ u_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin(\lambda_0) & \cos(\lambda_0) & 0 \\ -\sin(\varphi_0)\cos(\lambda_0) & -\sin(\varphi_0)\sin(\lambda_0) & \cos(\varphi_0) \\ \cos(\varphi_0)\cos(\lambda_0) & \cos(\varphi_0)\sin(\lambda_0) & \sin(\varphi_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_t - X_0 \\ Y_t - Y_0 \\ Z_t - Z_0 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

Eşitlik 5.1'de, X_0, Y_0, Z_0 noktanın hesaplanan 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 .

$$\begin{aligned} x^{bar} &= N^{gps}.\cos(\varepsilon) - E^{gps}.\sin(\varepsilon) \\ y^{bar} &= N^{gps}.\sin(\varepsilon) + E^{gps}.\cos(\varepsilon) \end{aligned} \quad (5.2)$$

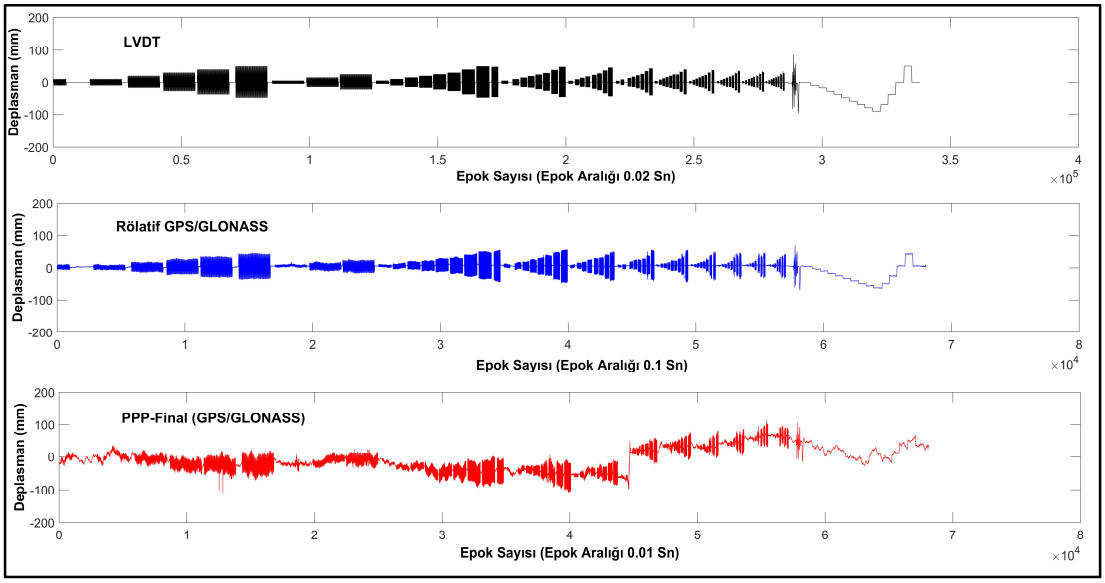
N^{gps} ve E^{gps} sırasıyla noktanın yukarı ve sağa bileşenlerini ifade ederken ε dönüklük açısını ifade etmektedir [Yigit, 2016].

5.4. Deney Sonuçları

Tezin bu bölümü, sarsma tablası ile üretilen harmonik salınım ve deprem simülasyonları verilerinin post-process kinematik rölatif ve post-process kinematik PPP yöntemlerinin değerlendirilmesi ve sonuçların LVDT verileri ile karşılaştırılmasının analiz ve yorumlarını içermektedir. Yüksek Frekanslı Kinematik-PPP yönteminin performansını yapı sağlığı izlemeleri ve sismojeodezik uygulamalardaki performansını incelemek amacıyla bölüm 5.1.1 ve 5.1.2'de detaylarıyla açıklanan deneyler gerçekleştirilmiş, harmonik salınım testlerinde tasarlanan 24 farklı durum ve deprem simülasyonu 10°, 20°, 30°'lik kesme açılarında GPS ve GPS/GLONASS verileri ile ayrı ayrı incelenmiştir. Çalışma kapsamında EMU-Ultra Rapid, IGS-Rapid ve IGS-Final yörünge bilgisi ürünlerinin yüksek frekanslı kinematik GNSS-PPP yönteminde kullanılması durumunda ortaya çıkan farkların anlamlı olup olmadığı da incelenmiştir.

Şekil 5.5, sarsma tablası deneylerinde gerçekleştirilen tüm harmonik salınım ve deprem simülasyonu deneylerini göstermektedir. Şekilde görülen siyah renk 50

Hz'lik örnekleme aralığına sahip LVDT verilerinden elde edilen deplasman hareketlerini, mavi renk 10°'lik uydu kesme açısına sahip rölatif çözümden elde edilen GPS/GLONASS deplasman hareketlerini, kırmızı renk ise 10°'lik uydu kesme açısına sahip IGS-Final uydu yörünge ve saat hatası düzeltmeleri kullanarak çözülmüş GNSS-PPP çözümünden elde edilen deplasman bilgilerini ifade etmektedir. LVDT verilerinden elde edilen zaman serisinin düşük gürültülü, düzgün ve tutarlı olduğu açıkça görülmektedir. Rölatif yöntemden elde edilen zaman serisi ise LVDT verilerine benzerlik göstermektedir. PPP yönteminden elde edilen zaman serilerinde ise bir takım düşük frekanslı dalgalanmalar göze çarpmaktadır. Bu dalgalanmaların sebebi, faz belirsizliği çözümünün tam olarak gerçekleştirilememiş olması ve beyaz gürültülerin varlığı olarak düşünülebilir. Bu çalışmanın ana hedefi yatay yöndeki yüksek frekanslı dinamik davranışların ortaya çıkarılması olduğu için GNSS-PPP çözümlerindeki faz belirsizliğinin ve diğer etkilerin ortaya çıkardığı düşük frekanslı dalgalanmaların herhangi bir önemi yoktur.

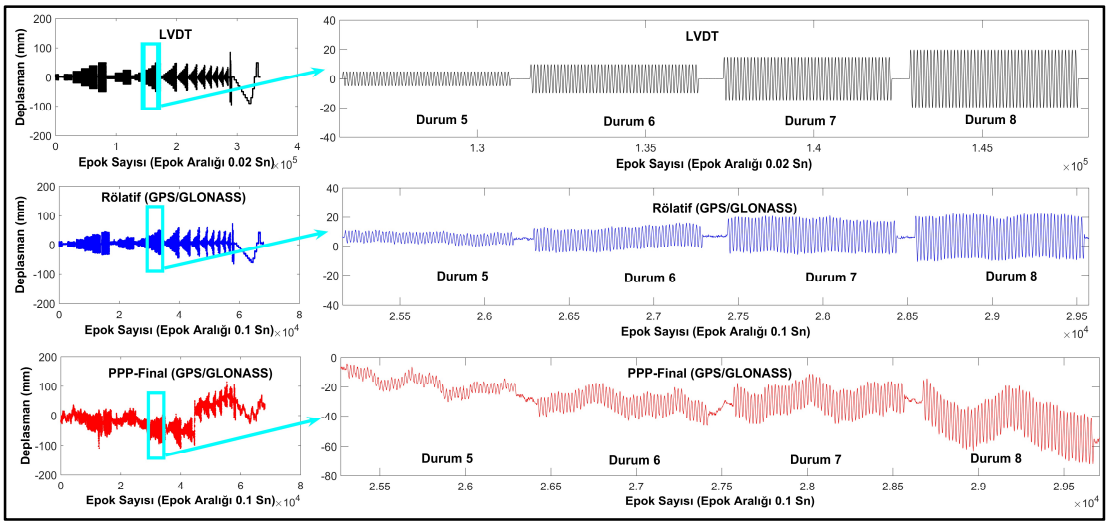


Şekil 5.5: LVDT, Rölatif ve PPP verilerinden elde edilen yatay deplasman hareketleri.

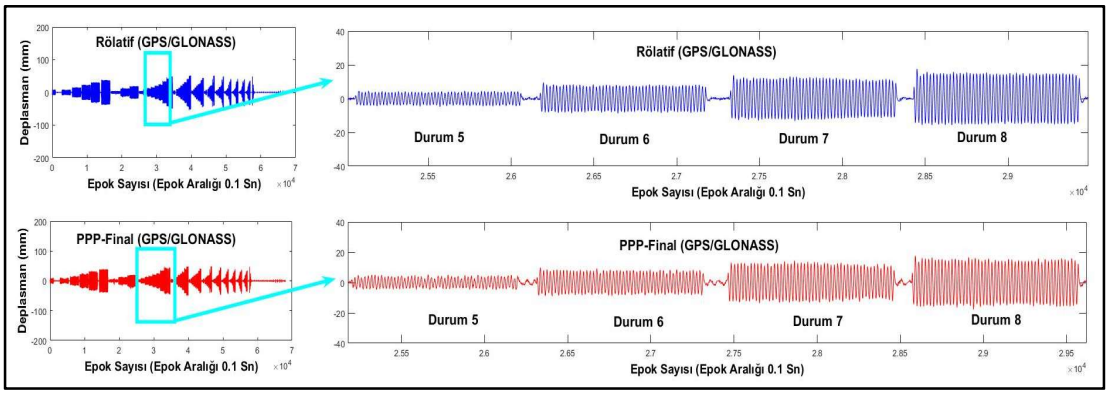
5.4.1. Harmonik Salınım Deneyi Sonuçları

Harmonik salınım testlerinden elde edilen PPP ve Rölatif çözümler, deplasman hareketlerinde gözlemlenen küçük miktardaki dalgalanmalar ve beyaz gürültü sebebiyle beşinci dereceden Butterworth yüksek geçirgenli filtre ile filtrelenmiş ve kesme frekansı 0.15 Hz seçilmiştir [Yigit, 2016]. Şekil 5.6 filtrelenmemiş verileri

içerirken, Şekil 5.7 filtrelenmiş verileri içermektedir. İki şekil incelendiğinde görülmektedir ki, hem Rölatif hem de PPP yöntemindeki dalgalanmalar filtreleme sonrası ortadan kalkmıştır.



Şekil 5.6: Durum 5 ile 8 arasındaki LVDT, filtrelenmemiş Rölatif ve PPP-Final GPS/GLONASS verileri.



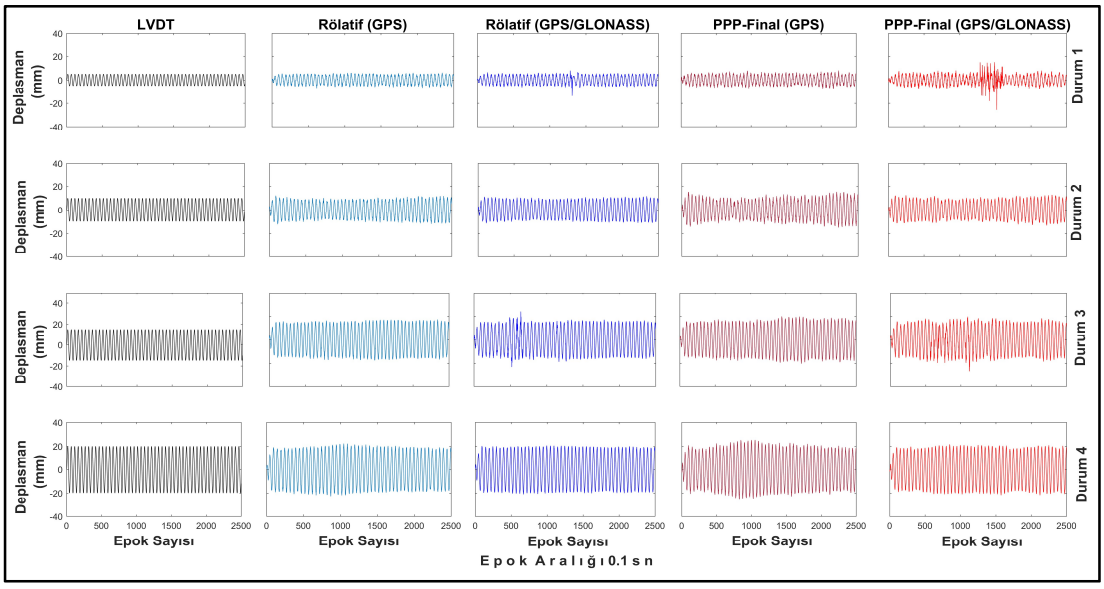
Şekil 5.7: Durum 5 ile 8 arasındaki filtrelenmiş Rölatif ve PPP-Final GPS/GLONASS verileri.

5.4.1.1. Uydu Görüşünün Açık Olması Durumu (10°)

Çalışma kapsamında incelenen tüm harmonik salınım ilk olarak 10°'lik uydu kesme açısında değerlendirilmiştir. Tezin bu bölümünde her bir durumun zaman serileri ve zaman serisinde baskın gelen sıçrama frekansı ve bunun genliğini elde etme imkanı veren Fast Fourier Transform (FFT) analizleri tek tek analiz edilecek olup, Rölatif ve PPP yöntemlerinden elde edilen deplasman hareketlerinin LVDT verilerinden farkları ise rastgele seçilen bir durumda incelenecektir. Bu bölümde aynı

zamanda GLONASS uydularının GPS uyduları ile birlikte dinamik davranışları belirlemeye anlamlı bir katkısının olup olmadığı da araştırılacaktır.

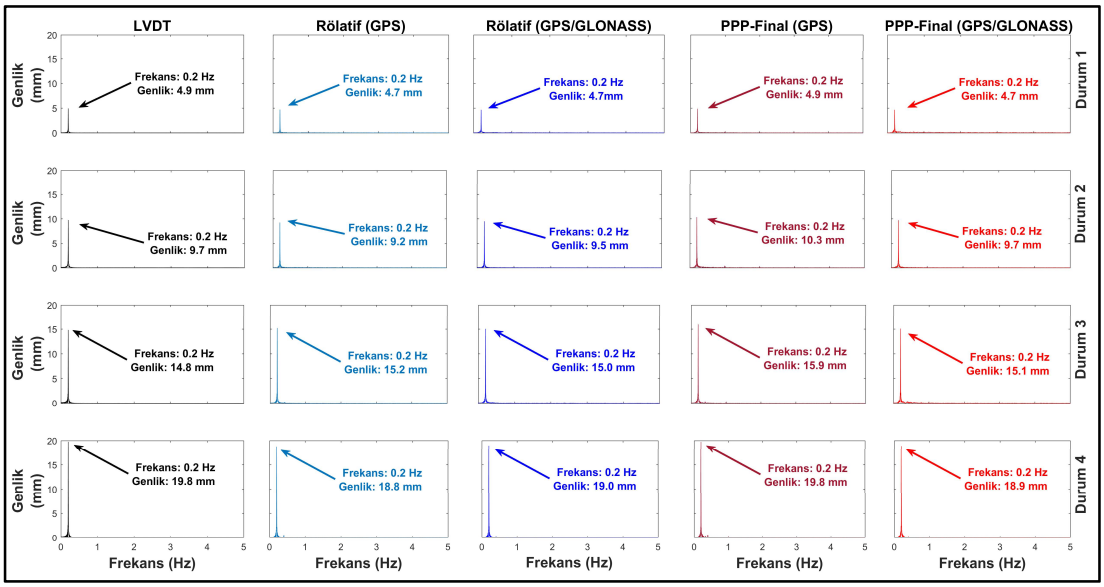
Şekil 5.8 ve Şekil 5.9 sırasıyla ilk 4 durum için incelenen LVDT, Rölatif ve PPP çözümünden elde edilen deplasman hareketlerini ve FFT (Fast Fourier Transform-Hızlı Fourier Dönüşümü) spektrumlarını içermektedir. Salınım genliği, Durum 1 için 5 mm, Durum 2 için 10 mm, Durum 3 için 15 mm ve Durum 4 için 20 mm'dir. Tüm bu durumlar için frekanslar 0.2 Hz'dir. İncelenen zaman serilerinin süresi 250 sn'dir. Şekil 5.8'de görüldüğü üzere Durum 1 ve Durum 3'de GPS/GLONASS çözümlerinde elde edilen deplasman hareketleri LVDT verilerinden farklılık göstermektedir. Bunun sebebinin ölçü anında GLONASS uydularında meydana gelen bir takım gözlem hatalarından olduğu düşünülmektedir. Hem Rölatif hem de PPP yöntemlerinin GPS çözümleri LVDT verileri ile iyi bir uyum sergilemektedir. Frekans değerinin 0.2 Hz, genlik değerinin ise 20 mm olduğu Durum 4 incelendiğinde ise hem Rölatif hem de PPP GPS/GLONASS çözümlerinin GPS çözümlerine kıyasla küçük bir miktarda olsa daha tutarlı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.8: İlk 4 durum için 10° deplasman zaman serileri.

Bu tez kapsamında, verilerin frekans alanında incelenmesi FFT yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Rölatif ve PPP çözümleri, FFT sonucu elde edilen sıçrama frekans ve genlik değerleri, LVDT frekans ve genlik değerleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 5.9 incelendiğinde tüm GPS ve GPS/GLONASS çözümlerinin düşük gürültülü olduğu ve harmonik salınımın frekans değerlerinin

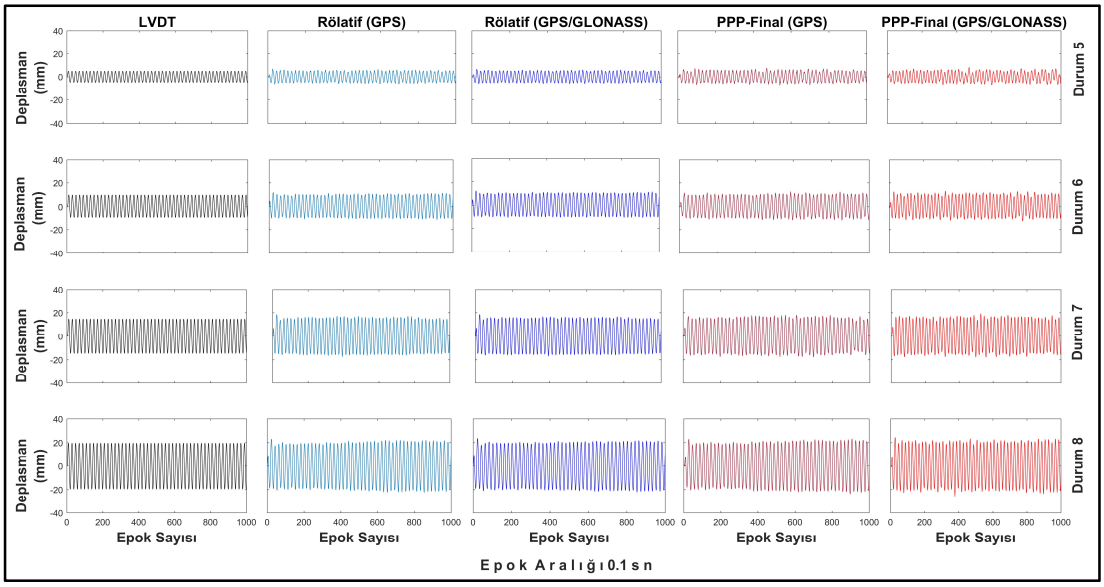
kusursuz bir şekilde yakalandığı gözlemlenmiştir. Sıçramaların genlik değerleri incelendiğinde, Durum 1 için-0.2 ila 0.0 mm, Durum 2 için -0.5 mm ila +0.5 mm, Durum 3 için +0.2 ila 1.1 mm, Durum 4 için -1.0 mm ila 0.0 mm arasındaki farklar göze çarpmaktadır. Hareketin genliğinin yükseldikçe farkların küçükte olsa arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşı, PPP yönteminin dinamik hareketleri yakalama performansı LVDT ve Rölatif verileri ile son derece benzerdir.



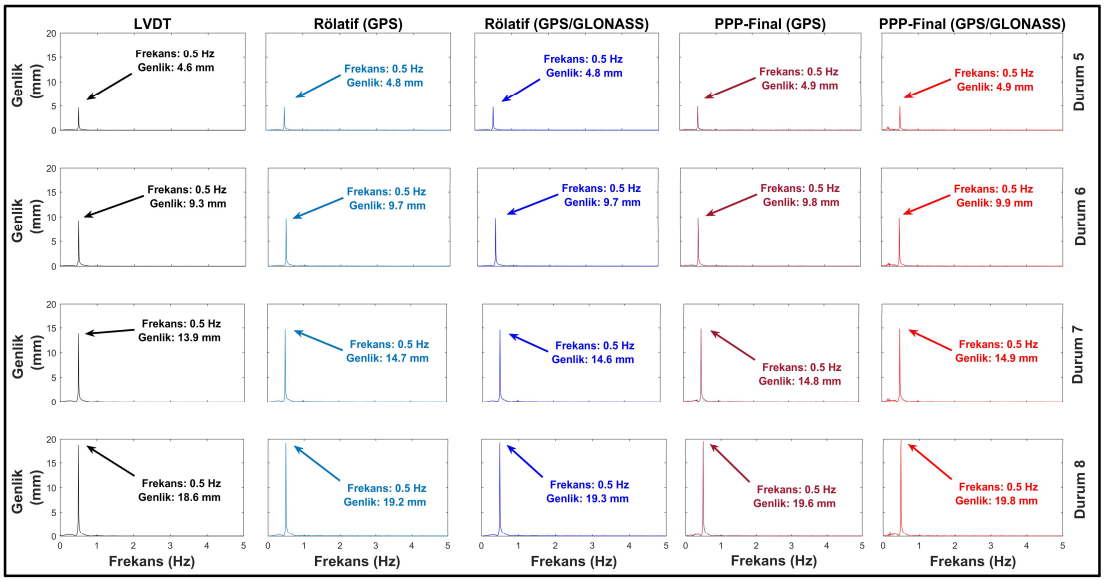
Şekil 5.9: İlk 4 durum için FFT analizleri.

Şekil 5.10, Durum 5, Durum 6, Durum 7 ve Durum 8 için elde edilen deplasman hareketlerini içermektedir. Durumların süresi 100 sn'dir. Deneylerin frekans değerleri 0.5 Hz, genlik değerleri ise sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 mm'dir. Durumlar incelendiğinde Rölatif ve PPP yönteminden elde edilen tüm GPS ve GPS/GLONASS çözümlerin LVDT verileri ile uyumlu olduğu gözlemlenmektedir.

Şekil 5.11 incelendiğinde tüm GPS ve GPS/GLONASS çözümlerinin düşük gürültülü olduğu ve frekans alanındaki tüm hareketlerin kusursuz bir şekilde yakalandığı gözlemlenmiştir. Sıçramaların genlik değerleri incelendiğinde, Durum 5 için 0.2 ve 0.3 mm, Durum 6 için 0.4 mm ila 0.6 mm, Durum 7 için 0.7 ila 1.0 mm, Durum 8 için 0.6 mm ila 1.2 mm arasındaki farklar göze çarpmaktadır. Hareketin genliğinin yükseldikçe farkların küçük miktarlarda arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşı, PPP yönteminin dinamik hareketleri yakalama performansı LVDT ve Rölatif verileri ile son derece uyumludur.

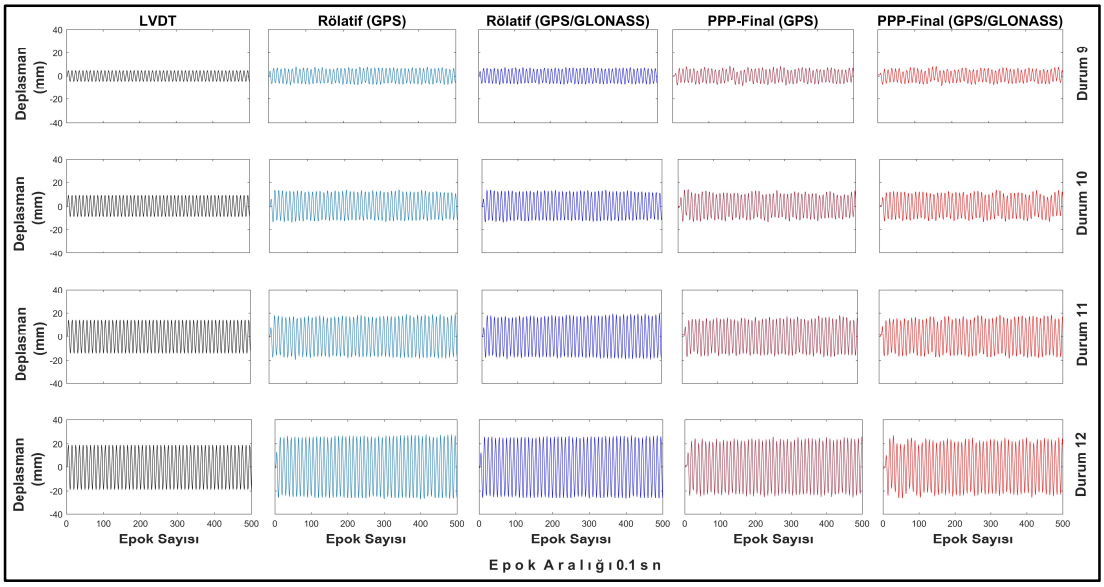


Şekil 5.10: 5, 6, 7, ve 8. durumlar için 10° deplasman zaman serileri.



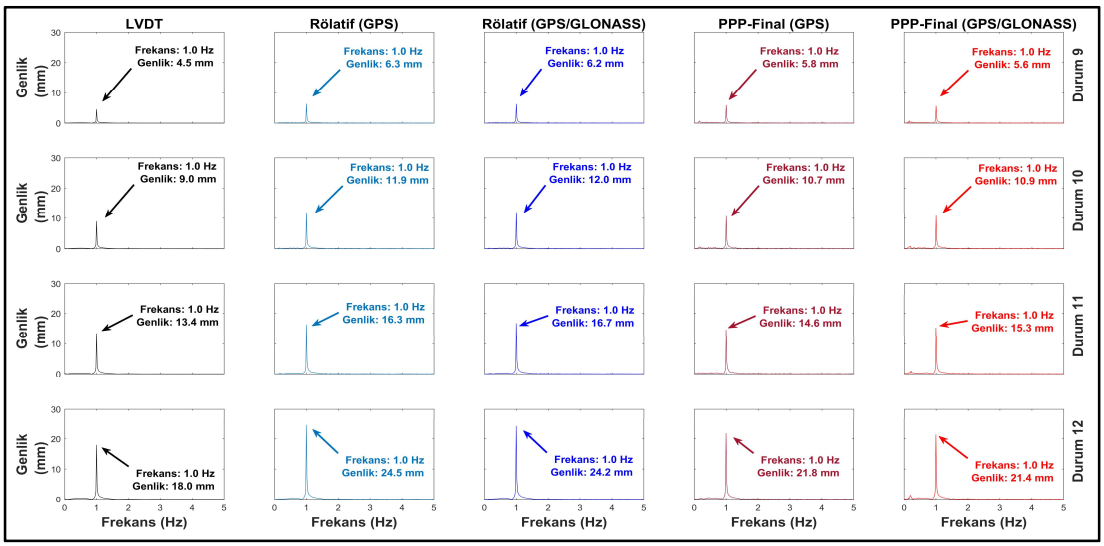
Şekil 5.11: 5, 6, 7 ve 8. durumlar için 10° FFT analizleri.

Şekil 5.12, Durum 9, Durum 10, Durum 11 ve Durum 12 için elde edilen deplasman hareketlerini içermektedir. Deneylerin süresi 50 sn'dir. Deneylerin frekans değerleri 1.0 Hz, genlik değerleri ise sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 mm'dir. 9. Durum incelendiğinde verilerin birbirleriyle uyumları göze çarpmaktadır. Durum 10, 11 ve 12'ye bakıldığında ise deplasman hareketlerindeki küçük farklar göze çarpmaktadır.



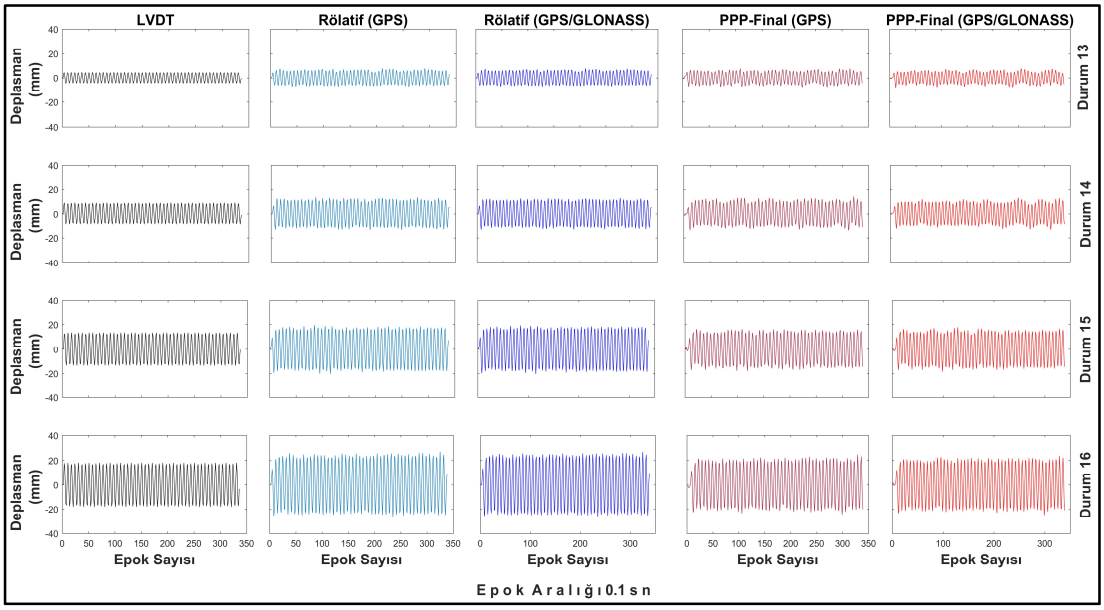
Şekil 5.12: 9, 10, 11, ve 12. durumlar için 10° deplasman zaman serileri.

Şekil 5.13 incelendiğinde tüm GPS ve GPS/GLONASS çözümlerinin düşük gürültülü olduğu ve frekans alanındaki tüm hareketlerin kusursuz bir şekilde yakalandığı gözlemlenmiştir. Sıçramaların genlik değerleri incelendiğinde, Durum 9 için 0.7 ve 1.3 mm, Durum 10 için 1.7 mm ila 3.0 mm, Durum 11 için 1.3 ila 4.3 mm, Durum 12 için 3.4 mm ila 6.5 mm arasındaki farklar bulunduğu saptanmıştır. 11. ve 12. Durumlar göz önüne alındığında PPP verilerinin Rölatif yöntemden yaklaşık olarak 3 mm daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bu farkların sabit alıcıdaki gözlem hatalarından meydana geldiği düşünülmektedir. Ayrıca, hareketin genliğinin yükselmesiyle farkların arttığı gözlemlenmiştir.



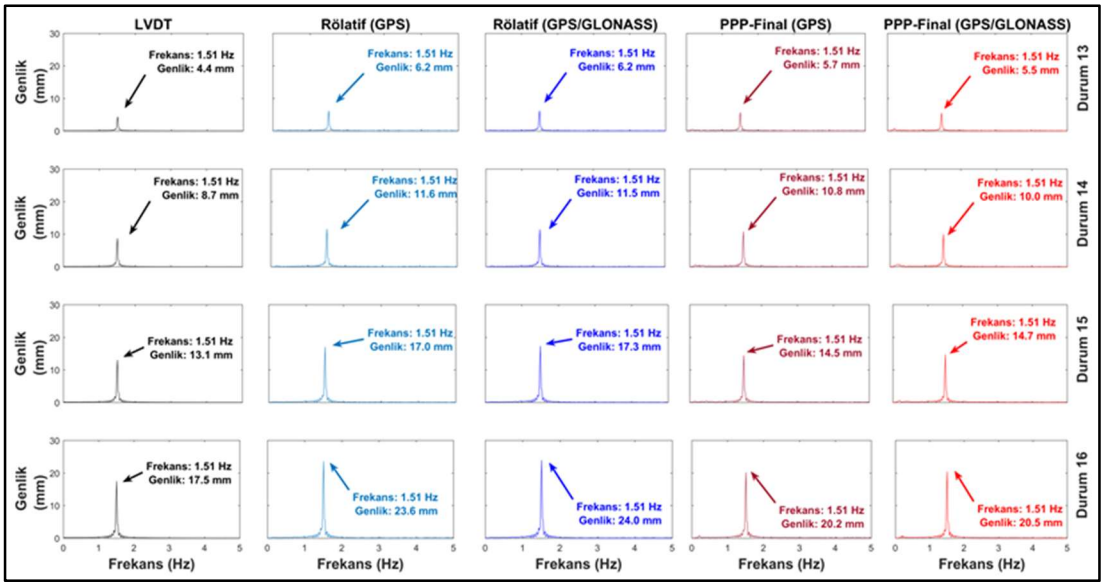
Şekil 5.13: 9, 10, 11, ve 12. durumlar için 10° FFT Analizleri.

Şekil 5.14, Durum 13, Durum 14, Durum 15 ve Durum 16 için elde edilen deplasman hareketlerini içermektedir. Deneylerin süresi yaklaşık olarak 35 sn'dir. Deneylerin frekans değerleri 1.5 Hz, genlik değerleri ise sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 mm'dir. 13. Durum incelendiğinde PPP verilerindeki küçük dalgalanmalar görülmektedir. Durum 14, 15 ve 16 incelendiğinde ise depslasman hareketlerindeki farkların önceki durumlara nazaran daha da arttığı görülmektedir.

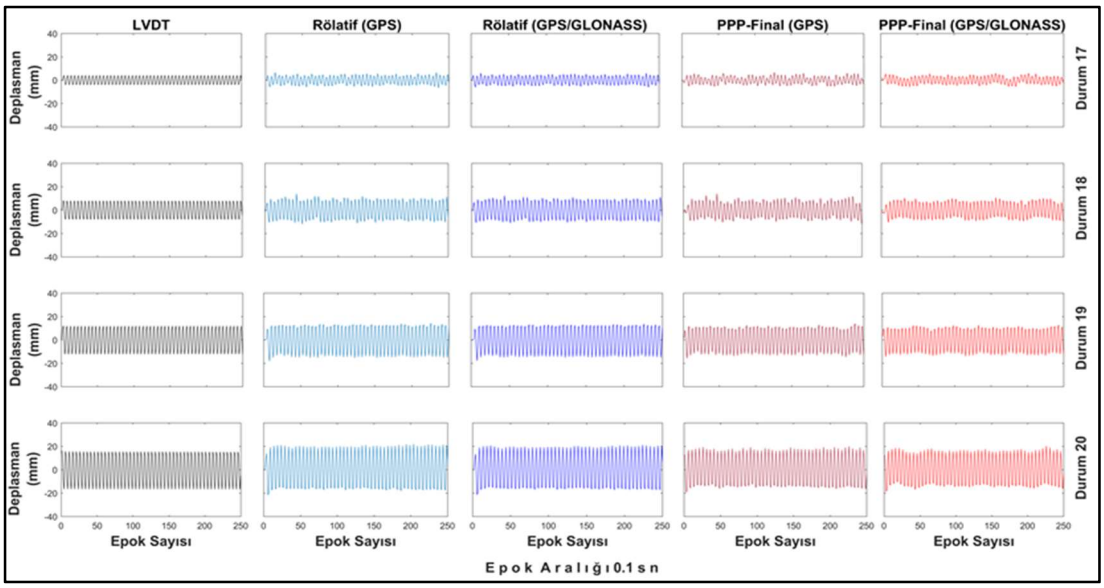


Şekil 5.14: 13, 14, 15, ve 16. durumlar için 10° deplasman zaman serileri.

Şekil 5.15 incelendiğinde tüm GPS ve GPS/GLONASS çözümlerinin düşük gürültülü olduğu ve frekans alanındaki tüm hareketlerin kusursuz bir şekilde yakalandığı gözlemlenmiştir. Sıçramaların genlik değerleri incelendiğinde, Durum 13 için 1.1 ve 1.8 mm, Durum 14 için 1.3 mm ila 2.9 mm, Durum 15 için 1.4 ila 4.2 mm, Durum 16 için 2.7 mm ila 6.5 mm arasındaki farklar bulunduğu saptanmıştır. Durumlar göz önüne alındığında hareketin genliğinin yükselmesiyle farkların arttığı gözlemlenmiştir.

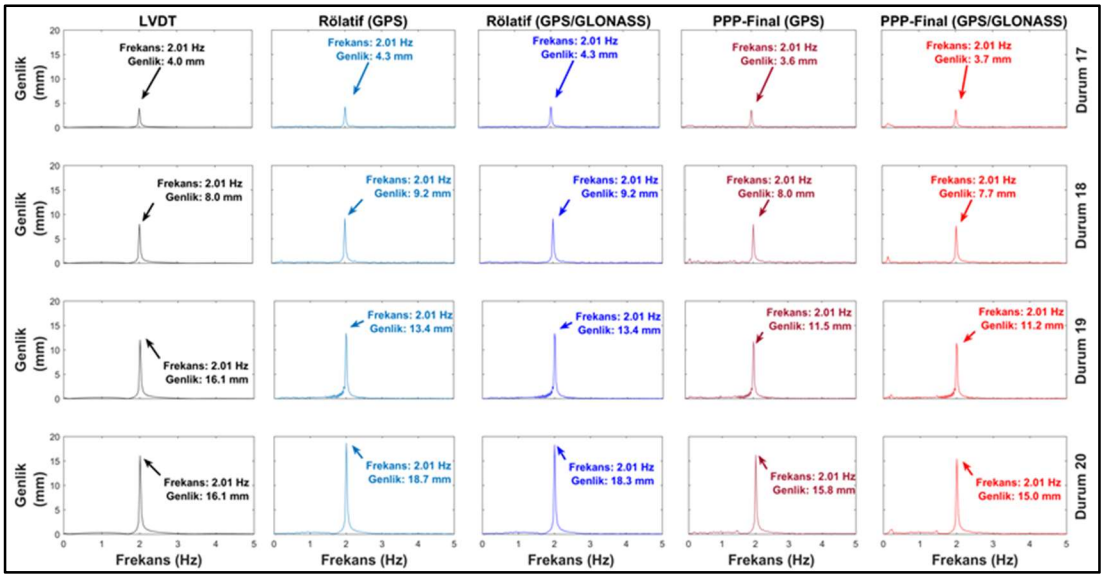


Şekil 5.15: 13, 14, 15 ve 16. durumlar için 10° FFT analizleri.



Şekil 5.16: 17, 18, 19, ve 20. durumlar için 10° deplasman zaman serileri.

Şekil 5.16, Durum 17, Durum 14, Durum 19 ve Durum 20 için elde edilen deplasman hareketlerini içermektedir. Deneylerin süresi yaklaşık olarak 25 sn'dir. Deneylerin frekans değerleri 2.0 Hz, genlik değerleri ise sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 mm'dir. Durumlar incelendiğinde, Rölatif çözümlerin LVDT verileri ile uyumlu bir hareket sergilediği, PPP çözümlerinde ise dalgalanmalar göze çarpmaktadır. Deplasman hareketlerindeki farkların önceki iki duruma kıyasla daha küçük olduğu gözlemlenmektedir.

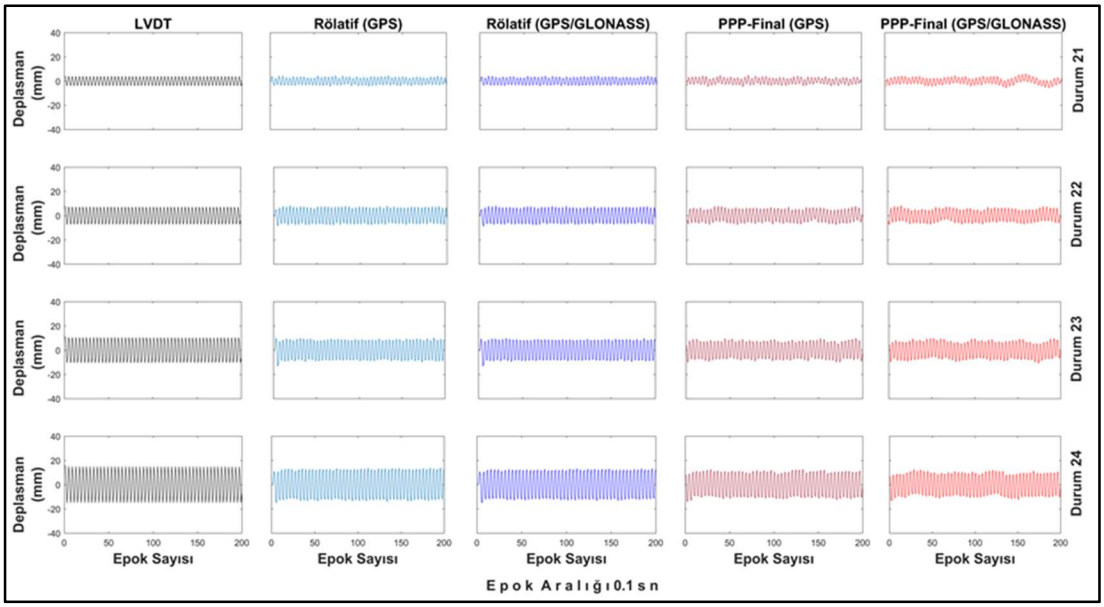


Şekil 5.17: 17, 18, 19 ve 20. durumlar için 10° FFT analizleri.

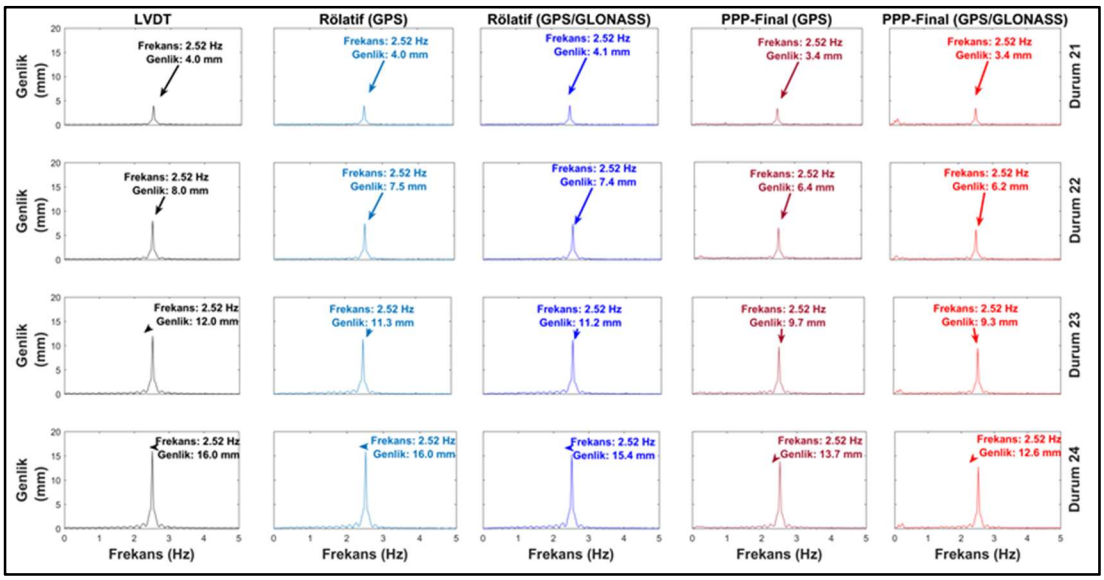
Şekil 5.17 incelendiğinde Rölatif çözümlerin tüm GPS ve GPS/GLONASS çözümleri için düşük gürültülü olduğu, PPP çözümlerinde ise küçük miktardaki gürültülerin varlığı göze çarpmaktadır. Aynı zamanda, frekans alanındaki tüm hareketlerin kusursuz bir şekilde yakalandığı gözlemlenmiştir. Sıçramaların genlik değerleri incelendiğinde, Durum 17 için -0.4 la 0.3 mm, Durum 18 için -0.3 mm ila 1.2 mm, Durum 19 için -4.9 ila -2.7 mm, Durum 20 için -1.1 mm ila 2.6 mm arasındaki farklar bulunduğu saptanmıştır.

Şekil 5.18, Durum 21 Durum 22, Durum 23 ve Durum 24 için elde edilen deplasman hareketlerini içermektedir. Deneylerin süresi 20 sn'dir. Deneylerin frekans değerleri 2.5 Hz, genlik değerleri ise sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 mm'dir. Durumlar incelendiğinde, Rölatif çözümlerin LVDT verileri ile uyumlu bir hareket sergilediği, PPP çözümlerinde ise dalgalanmalar göze çarpmaktadır.

Şekil 5.19 incelendiğinde Rölatif çözümlerin tüm GPS ve GPS/GLONASS çözümleri için düşük gürültülü olduğu, PPP çözümlerinde ise küçük miktardaki gürültülerin varlığı göze çarpmaktadır. Aynı zamanda, frekans alanındaki tüm hareketlerin kusursuz bir şekilde yakalandığı gözlemlenmiştir. Sıçramaların genlik değerleri incelendiğinde, Durum 21 için -0.6 la 0.1 mm, Durum 22 için -1.8 mm ila -0.5 mm, Durum 23 için -2.7 ila -0.7 mm, Durum 24 için -3.4 mm ila 0.0 mm arasındaki farklar bulunduğu saptanmıştır.



Şekil 5.18: 21, 22, 23, ve 24. durumlar için 10° deplasman zaman serileri.

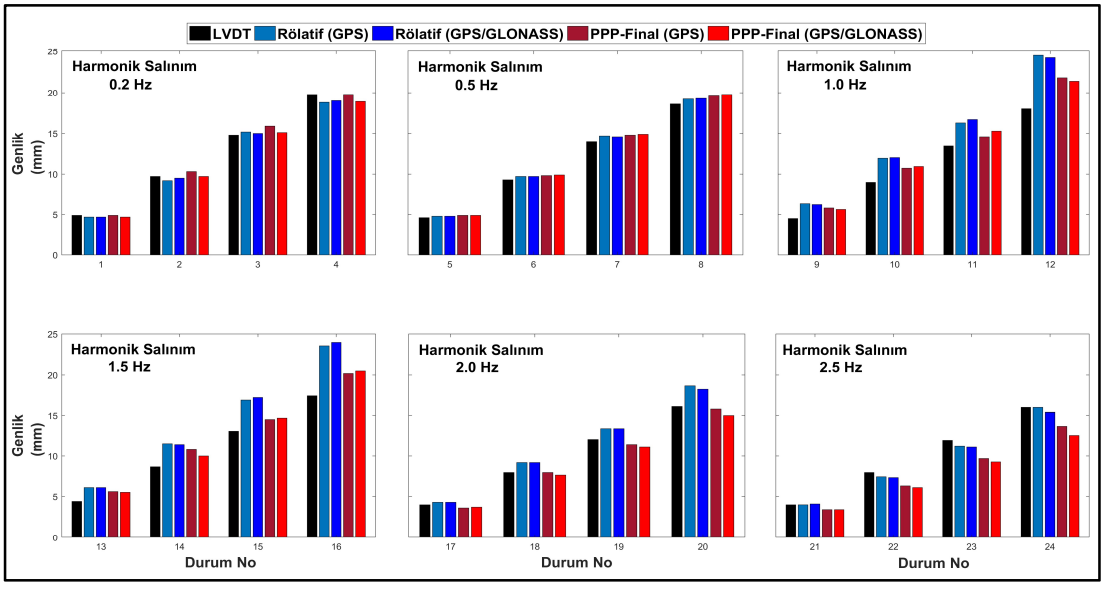


Şekil 5.19: 21, 22, 23 ve 24. durumlar için 10° FFT analizleri.

Tablo 5.3'de 10°'lik uydu görüşü altında incelenen tüm deneylerde yakalanan frekans ve genlik değerleri verilmiştir. Tablo göstermektedir ki frekans değerleri sorunsuzca elde edilmiş, genlik değerlerinde ise küçük farklar meydana gelmiştir. Bunların, GNSS alıcılarında meydana gelen gürültü sebepleriyle olduğu düşünülmektedir.

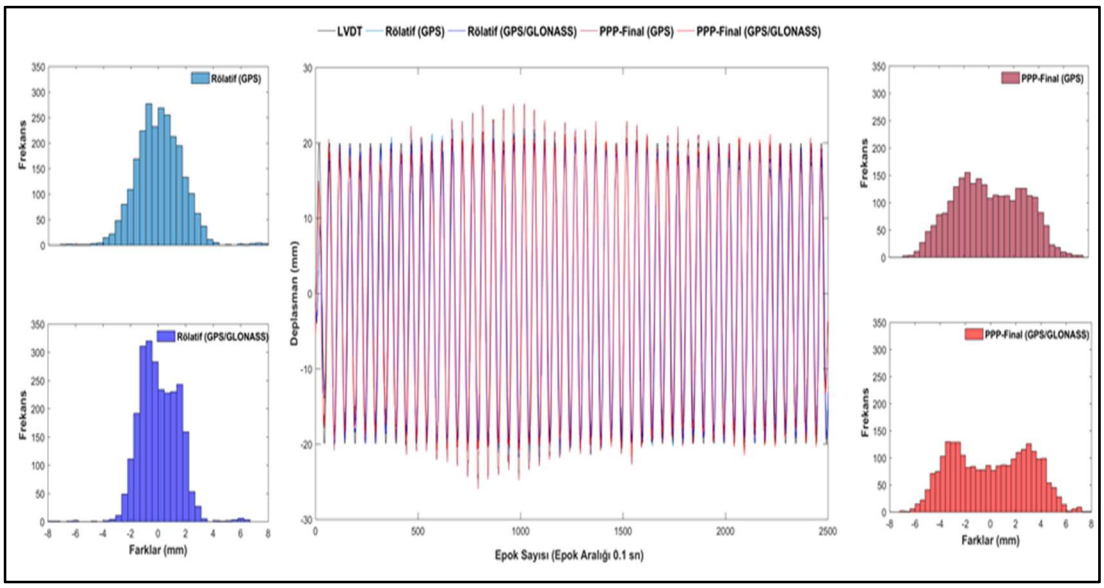
Tablo 5.3: 10°'lik deneyler.

Durum No	*Verilen Salınım Frekansı (Hz)*	*Verilen Salınım Genliği (mm)*	*LVDT*		*Rölatif (GPS)*		*Rölatif (GPS/GLONASS)*		*PPP-Final (GPS)*		*PPP-Final (GPS/GLONASS)*	
			Frekans (Hz)	*Genlik (mm)*	*Frekans (Hz)*	*Genlik (mm)*	*Frekans (Hz)*	*Genlik (mm)*	*Frekans (Hz)*	*Genlik (mm)*	*Frekans (Hz)*	*Genlik (mm)*
1	0.20	5	0.20	4.9	0.20	4.7	0.20	4.7	0.20	4.9	0.20	4.7
2	0.20	10	0.20	9.7	0.20	9.2	0.20	9.5	0.20	10.3	0.20	9.7
3	0.20	15	0.20	14.8	0.20	15.2	0.20	15.0	0.20	15.9	0.20	15.1
4	0.20	20	0.20	19.8	0.20	18.8	0.20	19.0	0.20	19.8	0.20	18.9
5	0.50	5	0.50	4.6	0.50	4.8	0.50	4.8	0.50	4.9	0.50	4.9
6	0.50	10	0.50	9.3	0.50	9.7	0.50	9.7	0.50	9.8	0.50	9.9
7	0.50	15	0.50	13.9	0.50	14.7	0.50	14.6	0.50	14.8	0.50	14.9
8	0.50	20	0.50	18.6	0.50	19.2	0.50	19.3	0.50	19.6	0.50	19.8
9	1.00	5	1.00	4.5	1.00	6.3	1.00	6.2	1.00	5.8	1.00	5.6
10	1.00	10	1.00	9.0	1.00	11.9	1.00	12.0	1.00	10.7	1.00	10.9
11	1.00	15	1.00	13.4	1.00	16.3	1.00	16.7	1.00	14.6	1.00	15.3
12	1.00	20	1.00	18.0	1.00	24.5	1.00	24.2	1.00	21.8	1.00	21.4
13	1.50	5	1.51	4.4	1.51	6.2	1.51	6.2	1.51	5.7	1.51	5.5
14	1.50	10	1.51	8.7	1.51	11.6	1.51	11.5	1.51	10.8	1.51	10.0
15	1.50	15	1.51	13.1	1.51	17.0	1.51	17.3	1.51	14.5	1.51	14.7
16	1.50	20	1.51	17.5	1.51	23.6	1.51	24.0	1.51	20.2	1.51	20.5
17	2.00	5	2.01	4.0	2.01	4.3	2.01	4.3	2.01	3.6	2.01	3.7
18	2.00	10	2.01	8.0	2.01	9.2	2.01	9.2	2.01	8.0	2.01	7.7
19	2.00	15	2.01	12.1	2.00	13.4	2.00	13.4	2.00	11.5	2.00	11.2
20	2.00	20	2.01	16.1	2.01	18.7	2.01	18.3	2.01	15.8	2.01	15.0
21	2.50	5	2.52	4.0	2.52	4.0	2.52	4.1	2.52	3.4	2.52	3.4
22	2.50	10	2.52	8.0	2.52	7.5	2.52	7.4	2.52	6.4	2.52	6.2
23	2.50	15	2.52	12.0	2.52	11.3	2.52	11.2	2.52	9.7	2.52	9.3
24	2.50	20	2.52	16.0	2.52	16.0	2.52	15.4	2.52	13.7	2.52	12.6



Şekil 5.20: 10°'lik uydu görüşü altında yakalanan genlik değerleri.

Şekil 20, 10°'lik uydu görüşü altında yakalanan genlik değerlerini kapsamaktadır. LVDT verilerinden Rölatif GPS verilerinin -1 ila 6.5 mm, Rölatif GPS/GLONASS verilerinin -0.8 ila 6.2 mm, PPP GPS verilerinin -2.3 mm ila 2.7 mm, PPP GPS/GLONASS verilerinin ise -3.4 ila 3.4 mm arasında değiştiği görülmektedir.



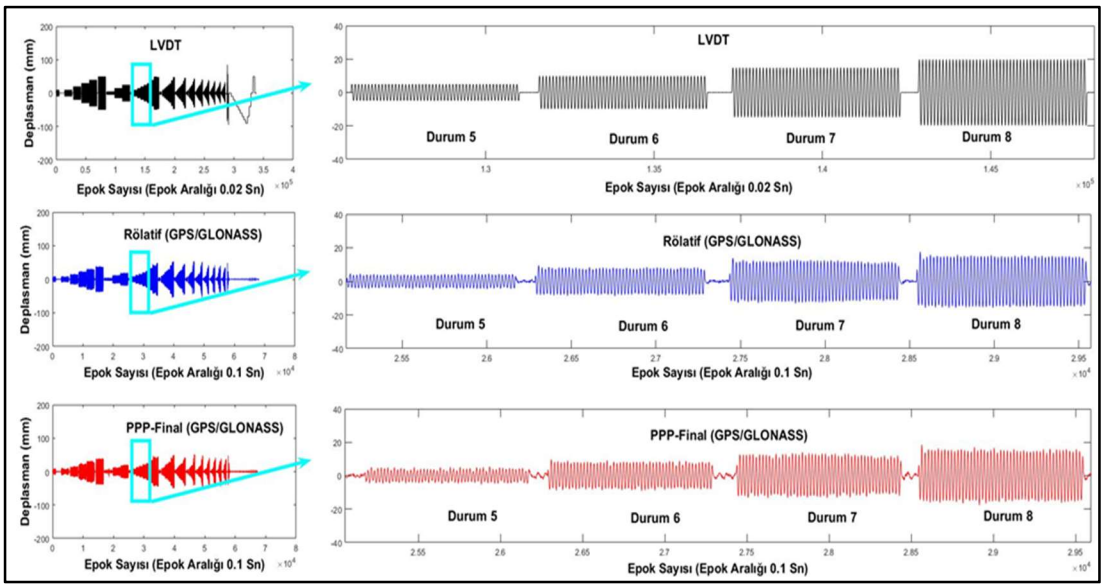
Şekil 5.21: Rölatif ve PPP yöntemlerinin LVDT verilerinden farkları (4. Durum).

Şekil 21, 10°'lik uydu görüşü altında, 4. Durum için Rölatif yöntem ve PPP yönteminden elde edilen zaman serilerinin, LVDT verilerinden elde edilen zaman serileri arasındaki farkların histogramını göstermektedir. Dört durumda da farklar genellikle -6 ile 6 mm arasında değişmekte ve normal dağılım izlemektedir. Rölatif yöntemde elde edilen farklar 0 etrafında dağılım sergilerken, PPP yönteminden elde edilen farkların eşit dağıldığı görülmektedir.

5.4.1.2. Uydu Görüşünün Biraz Sınırlı Olması Durumu (20°)

Tezin bu bölümü, uydu görüşünün biraz sınırlı olması durumunda gerçekleştirilen yapı sağlığı izleme çalışmalarında Yüksek Frekanslı GNSS-PPP yönteminin performansını ele almaktadır. Uydu kesme açısının 20° olduğu RINEX verisi, uydu kesme açısı 10° iken toplanmış RINEX dosyası kullanılarak bir MATLAB yazılımı ile yeniden elde edilmiştir. Oluşturulan bu RINEX dosyası CSRS-PPP aracılığı ile değerlendirilmiştir. Rölatif ve PPP çözümleri için IGS-Final hassas yörünge ve saat hataları düzeltmeleri kullanılmıştır. Harmonik salınım

testlerinden elde edilen 20°'lik PPP ve Rölatif çözümleri, deplasman hareketlerinde gözlemlenen küçük miktardaki dalgalanmalar sebebiyle tıpkı bölüm 5.4.1.1.'de açıklandığı gibi beşinci dereceden Butterworth yüksek geçirgenli filtre ile filtrelenmiş ve kesme frekansı 0.15 Hz seçilmiştir. Şekil 5.22 filtrelenmiş 20°'lik verileri içermektedir.

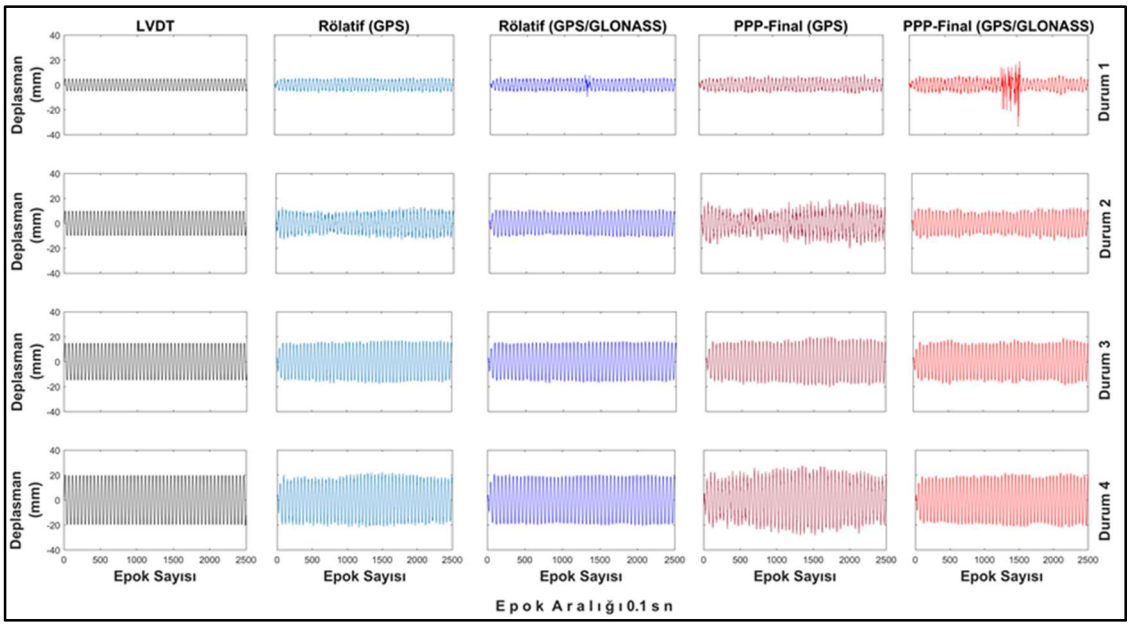


Şekil 5.22: Durum 5 ile 8 arasındaki LVDT ve 20°'lik filtrelenmiş Rölatif ve PPP-Final GPS/GLONASS verileri.

Tezin bu bölümünde, tıpkı bölüm 5.4.1.1. de olduğu gibi her bir durumun zaman serileri ve fft analizleri tek tek analiz edilecek olup, Rölatif ve PPP yöntemlerinden elde edilen deplasman hareketlerinin LVDT verilerinden farkları ise rastgele seçilen bir durumda incelenecektir. Bu bölümde aynı zamanda GLONASS uydularının GPS çözümüne anlamlı bir katkısının olup olmadığı da araştırılacaktır.

Durum 1, 2, 3 ve 4'de incelenen harmonik salınım, sarsma tablası kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 5.23 ve Şekil 5.24 sırasıyla ilk 4 durum için incelenen LVDT, Rölatif ve PPP çözümünden elde edilen deplasman hareketlerini ve FFT spektrumlarını içermektedir. Salınım genliği, Durum 1 için 5 mm, Durum 2 için 10 mm, Durum 3 için 15 mm ve Durum 4 için 20 mm'dir. Tüm bu durumlar için frekanslar 0.2 Hz'dir. İncelenen zaman serilerinin süresi 250 sn'dir. Şekil-5.23'de görüldüğü üzere Durum 1'de GPS/GLONASS çözümlerinde elde edilen deplasman hareketleri LVDT verilerinden farklılık göstermektedir. Bunun sebebinin ölçü anında GLONASS uydularında meydana gelen bir takım gözlem hatalarından olduğu

düşünülmektedir. Diğer 3 duruma bakıldığında ise Hem Rölatif hem de PPP yöntemlerinin GPS/GLONASS çözümleri, GPS çözümlerine kıyasla LVDT verileri ile daha iyi bir uyum sergilemektedir.

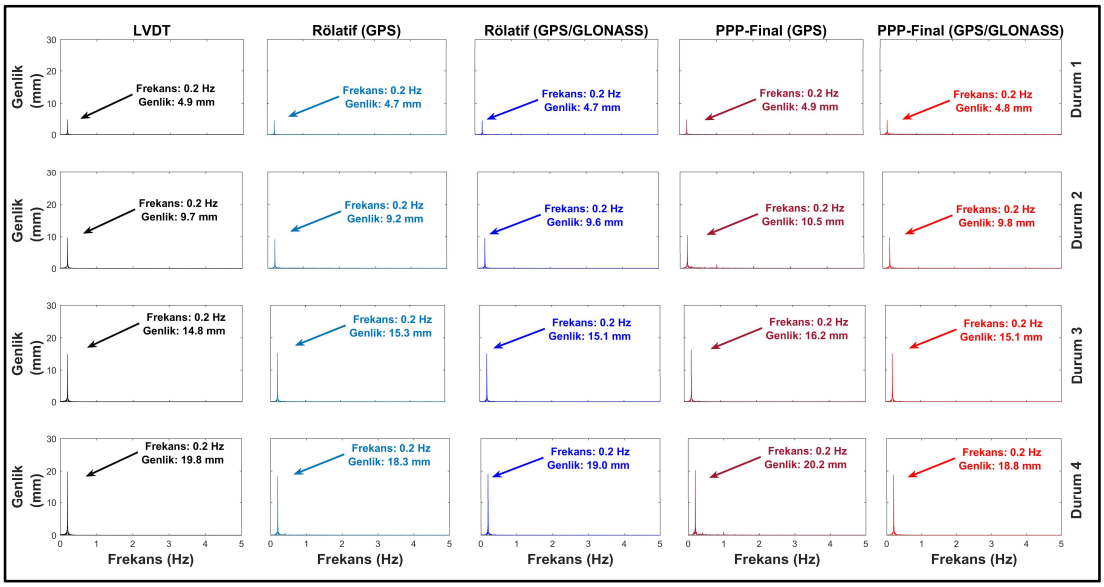


Şekil 5.23: İlk 4 durum için 20° deplasman zaman serileri.

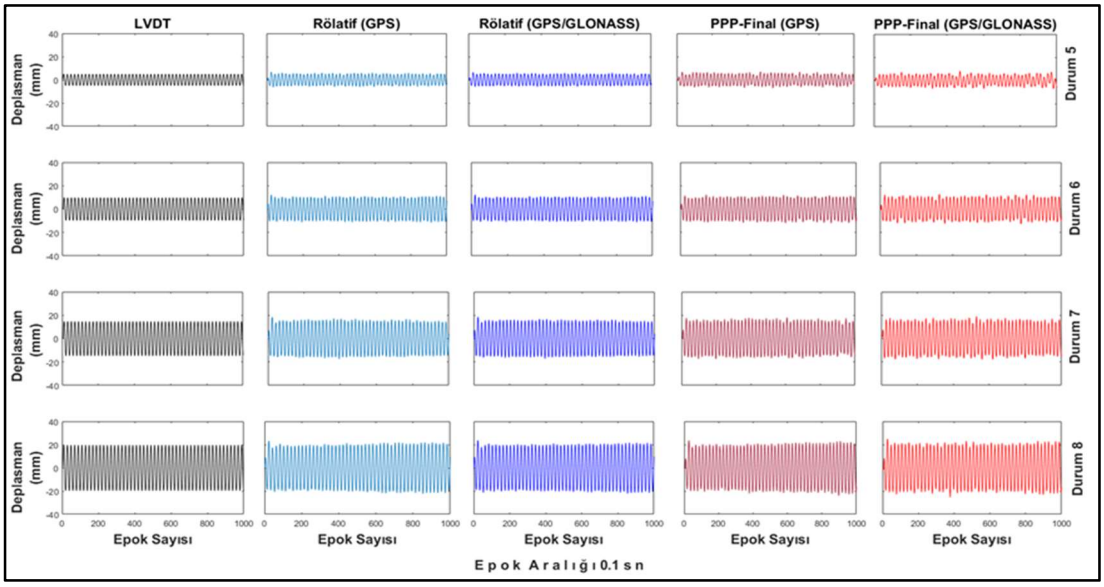
Rölatif ve PPP çözümleri sinyalinde baskın gelen Fourier frekansını gösteren sıçrama frekans ve genlik değerleri, LVDT frekans ve genlik değerleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 5.24 incelendiğinde tüm GPS ve GPS/GLONASS çözümlerinin düşük gürültülü olduğu ve salınım frekanslarının kusursuz bir şekilde yakalandığı gözlemlenmiştir. Sıçramaların genlik değerleri incelendiğinde, Durum 1 için -0.2 ila 0.0 mm, Durum 2 için -0.5 mm ila +0.8 mm, Durum 3 için 0.3 ila 1.4 mm, Durum 4 için -1.5 mm ila 0.4 mm arasındaki farklar göze çarpmaktadır. Hareketin genliğinin yükseldikçe farkların küçükte olsa arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşı, PPP yönteminin dinamik hareketleri yakalama performansı LVDT ve Rölatif verileri ile son derece benzerdir. Tüm yöntemlerde yakalanan frekanslar oldukça tutarlı olsa da, PPP yöntemi incelendiğinde GPS/GLONASS çözümlerinin GPS çözümlerine kıyasla daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Şekil 5.25, Durum 5, Durum6, Durum7 ve Durum8 için elde edilen deplasman hareketlerini içermektedir. Durumların süresi 100 sn'dir. Deneylerin frekans değerleri 0.5 Hz, genlik değerleri ise sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 mm'dir. Durumlar

incelendiğinde Rölatif ve PPP yönteminden elde edilen tüm GPS ve GPS/GLONASS çözümlerin LVDT verileri ile uyumlu olduğu gözlemlenmektedir.



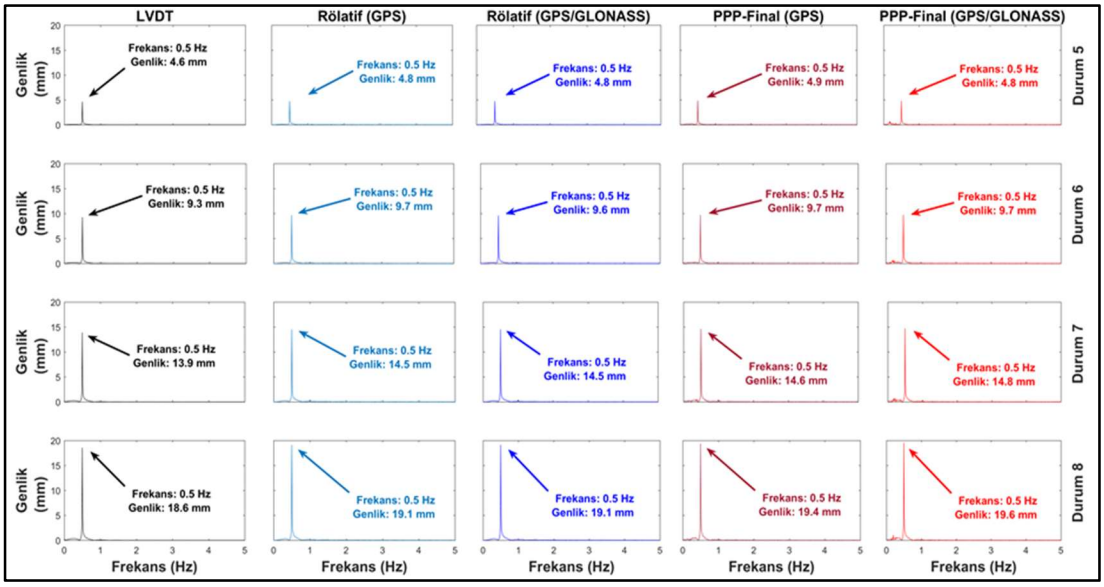
Şekil 5.24: İlk 4 durum için 20° FFT analizleri.



Şekil 5.25: 5., 6., 7., ve 8. durumlar için 20° deplasman zaman serileri.

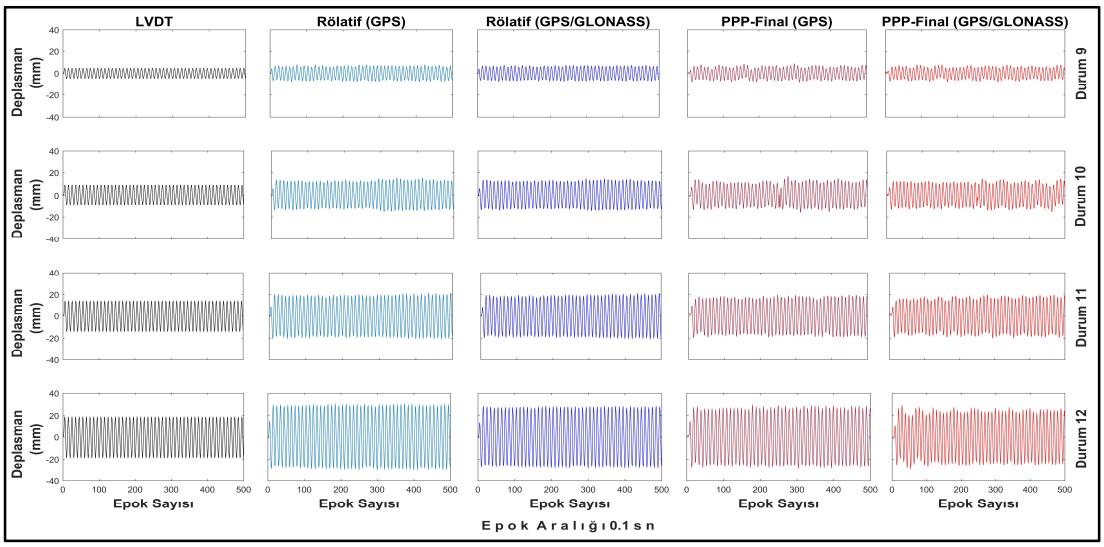
Şekil 5.26 incelendiğinde Rölatif yöntemin tüm GPS ve GPS/GLONASS çözümlerinin düşük gürültülü olduğu ve salınım frekanslarının kusursuz bir şekilde yakalandığı gözlemlenmiştir. PPP yönteminin GPS/GLONASS çözümlerinde ufak miktarlarda gürültüler tespit edilmiştir. Sıçramaların genlik değerleri incelendiğinde, Durum 5 için 0.2 ve 0.3 mm, Durum 6 için 0.3 mm ila 0.4 mm, Durum 7 için 0.6 ila 0.8 mm, Durum 8 için 0.5 mm ila 1.0 mm arasındaki farklar göze çarpmaktadır. PPP

yönteminin dinamik hareketleri yakalama performansı LVDT ve Rölatif verileri ile son derece uyumludur.



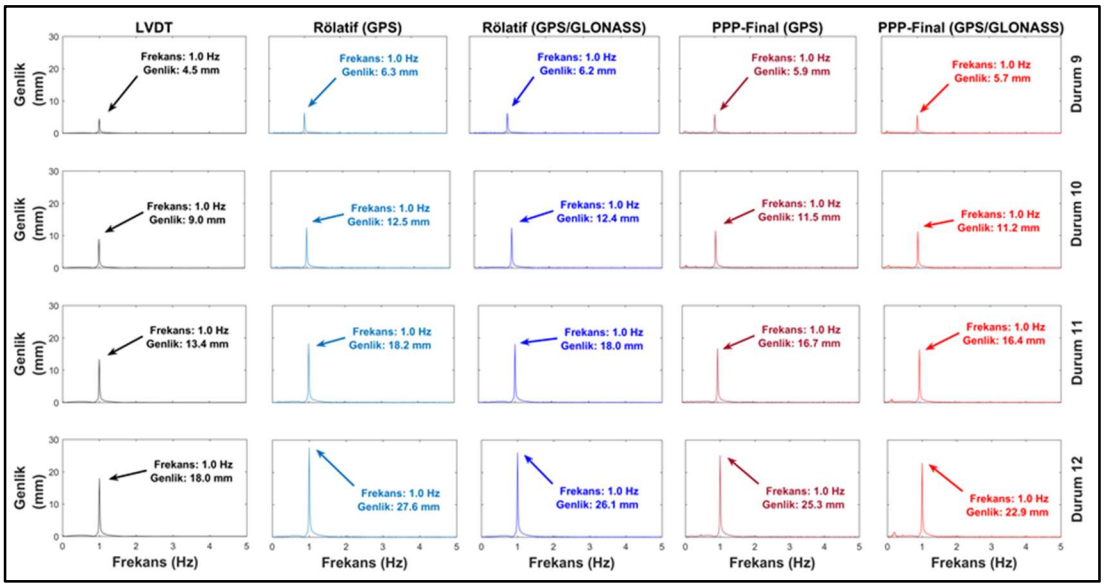
Şekil 5.26: 5, 6, 7 ve 8. durumlar için 20° FFT analizleri.

Şekil 5.27, 20°'lik uydu görüşü altında incelenen Durum 9, Durum 10, Durum 11 ve Durum 12 için elde edilen deplasman hareketlerini içermektedir. Deneylerin süresi 50 sn'dir. Deneylerin frekans değerleri 1.0 Hz, genlik değerleri ise sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 mm'dir. 9. Durum incelendiğinde verilerin birbirleriyle uyumları göze çarpmaktadır. Durum 10, 11 ve 12'ye bakıldığında ise depslasman hareketlerindeki farklar göze çarpmaktadır.



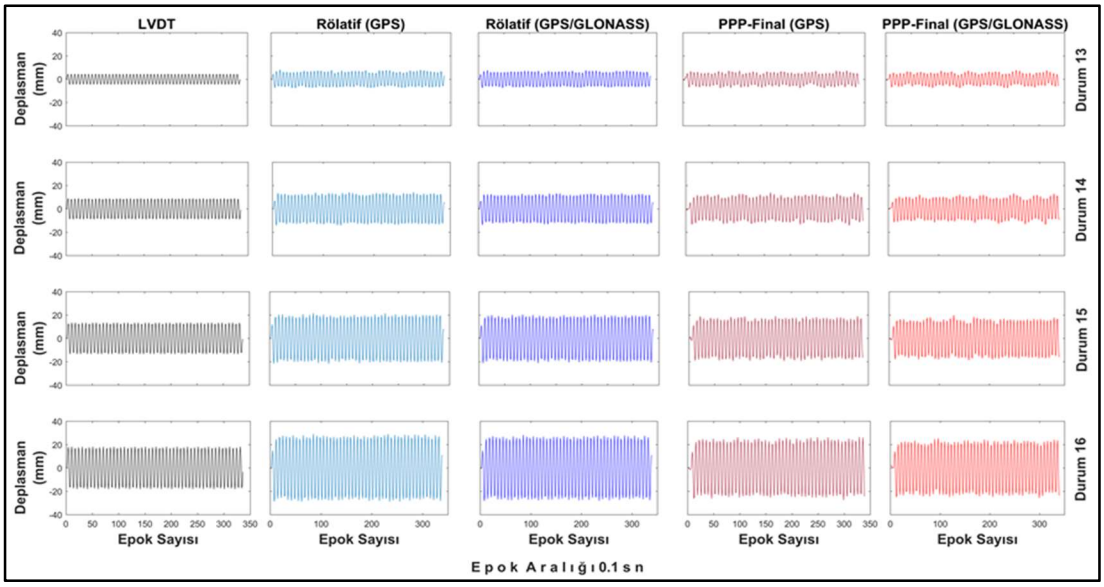
Şekil 5.27: 9., 10., 11., ve 12. durumlar için 20° deplasman zaman serileri.

Şekil 5.28 incelendiğinde tüm GPS ve GPS/GLONASS çözümlerinin düşük gürültülü olduğu ve salınım frekanslarının kusursuz bir şekilde yakalandığı gözlemlenmiştir. Sıçramaların genlik değerleri incelendiğinde tüm yöntem ve çözümler göz önüne alınarak, Durum 9 için 1.2 ve 1.8 mm, Durum 10 için 3.2 mm ila 3.5 mm, Durum 11 için 3.0 ila 4.8 mm, Durum 12 için 3.9 mm ila 9.6 mm arasındaki farklar bulunduğu saptanmıştır. 11. ve 12. Durumlar göz önüne alındığında PPP verilerinin Rölatif yöntemden yaklaşık olarak 3 mm daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bu farkların sabit alıcıdaki gözlem hatalarından meydana geldiği düşünülmektedir. Ayrıca, hareketin genliğinin yükselmesiyle farkların arttığı gözlemlenmiştir.



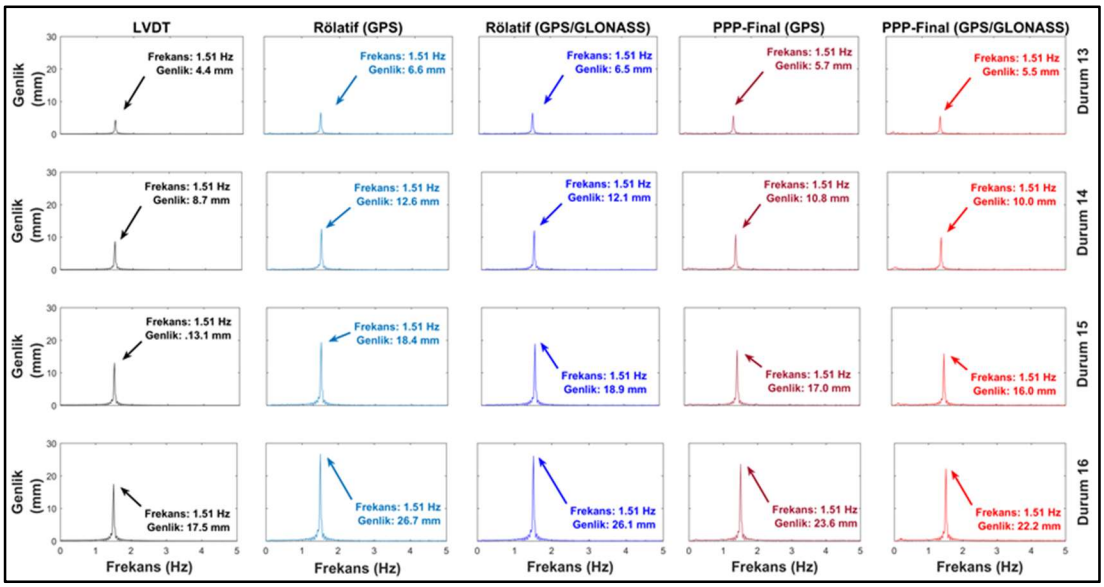
Şekil 5.28: 9, 10, 11 ve 12. durumlar için 20° FFT analizleri.

Şekil 5.29, Durum 13, Durum 14, Durum 15 ve Durum 16 için 20°'lik uydu görüşü altında elde edilen deplasman hareketlerini içermektedir. Deneylerin süresi yaklaşık olarak 35 sn'dir. Deneylerin frekans değerleri 1.5 Hz, genlik değerleri ise sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 mm'dir. 13. Durum incelendiğinde PPP verilerindeki küçük dalgalanmalar görülmektedir. Durum 14, 15 ve 16 incelendiğinde ise deplasman hareketlerindeki farkların önceki durumlara nazaran daha da arttığı görülmektedir.



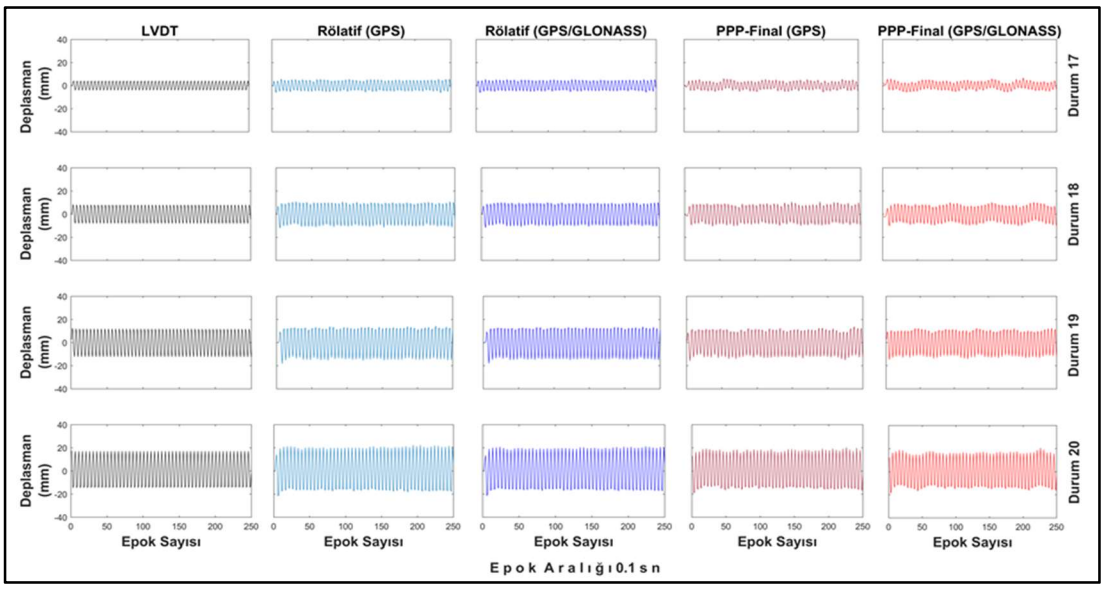
Şekil 5.29: 13., 14., 15., ve 16. durumlar için 20° deplasman zaman serileri.

Şekil 5.30 incelendiğinde tüm GPS ve GPS/GLONASS çözümlerinin düşük gürültülü olduğu ve salınım frekanslarının kusursuz bir şekilde yakalandığı gözlemlenmiştir. Sıçramaların genlik değerleri incelendiğinde, Durum 13 için 1.1 ve 2.2 mm, Durum 14 için 1.3 mm ila 3.9 mm, Durum 15 için 2.9 ila 5.8 mm, Durum 16 için 4.7 mm ila 9.2 mm arasındaki farklar bulunduğu saptanmıştır. Durumlar göz önüne alındığında hareketin genliğinin yükselmesiyle farkların arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.30: 13, 14, 15 ve 16. durumlar için 20° FFT analizleri.

Şekil 5.31, Durum 17, Durum 14, Durum 19 ve Durum 20 için elde edilen deplasman hareketlerini içermektedir. Deneylerin süresi yaklaşık olarak 25 sn'dir. Deneylerin frekans değerleri 2.0 Hz, genlik değerleri ise sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 mm'dir. Durumlar incelendiğinde, Rölatif çözümlerin LVDT verilerinden küçük farklılıklar içerdiği, PPP çözümlerinde ise dalgalanmaların oluştuğu göze çarpmaktadır. Deplasman hareketlerindeki farkların önceki iki duruma kıyasla daha küçük olduğu gözlemlenmektedir.

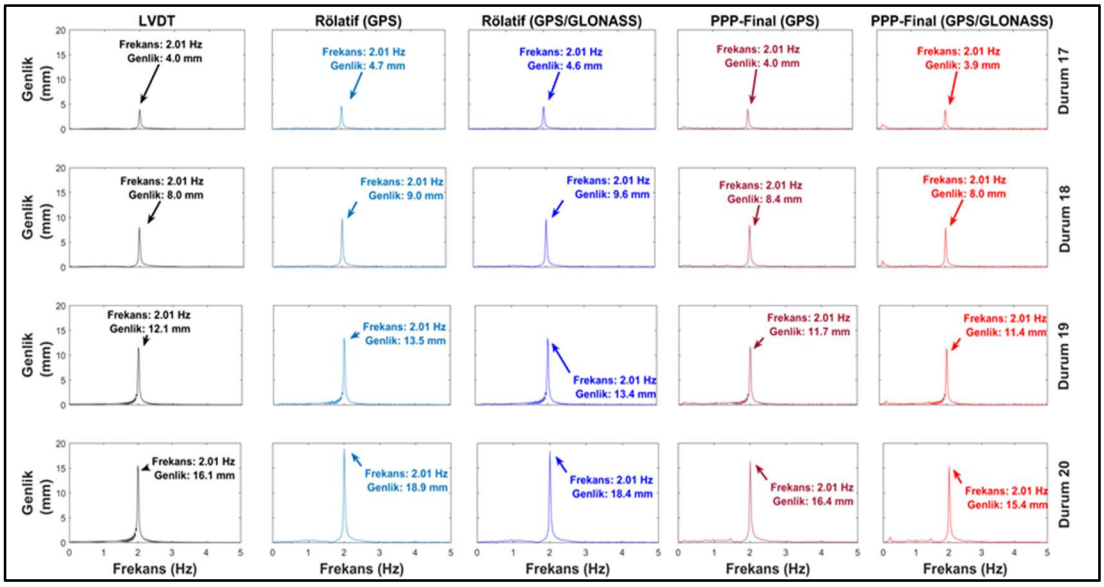


Şekil 5.31: 17, 18, 19, ve 20. durumlar için 20° deplasman zaman serileri.

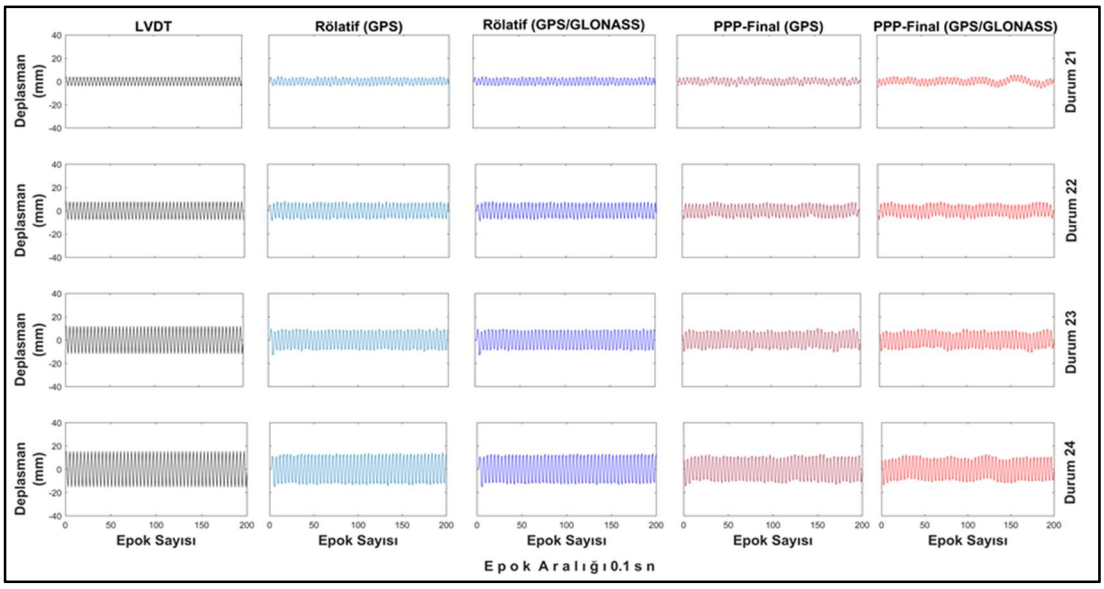
Şekil 5.32 incelendiğinde, PPP GPS/GLONASS spektrumlarında ufak gürültüler meydana geldiği, Rölatif çözümlerin tüm GPS ve GPS/GLONASS çözümleri için düşük gürültülü olduğu göze çarpmaktadır. Aynı zamanda, salınım frekanslarının kusursuz bir şekilde yakalandığı gözlemlenmiştir. Sıçramaların genlik değerleri incelendiğinde, Durum 17 için -0.1 ila 0.7 mm, Durum 18 için 0.00 mm ila 0.6 mm, Durum 19 için -0.7 ila 1.4 mm, Durum 20 için -0.7 mm ila 2.8 mm arasındaki farklar bulunduğu saptanmıştır.

Şekil 5.33, Durum 21 Durum 22, Durum 23 ve Durum 24 için elde edilen deplasman hareketlerini içermektedir. Deneylerin süresi 20 sn'dir. Deneylerin frekans değerleri 2.5 Hz, genlik değerleri ise sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 mm'dir. Durumlar incelendiğinde, Rölatif ve PPP GPS çözümlerinin LVDT verileri ile

uyumlu bir hareket sergilediği, PPP GPS/GLONASS çözümlerinde ise dalgalanmalar göze çarpmaktadır.



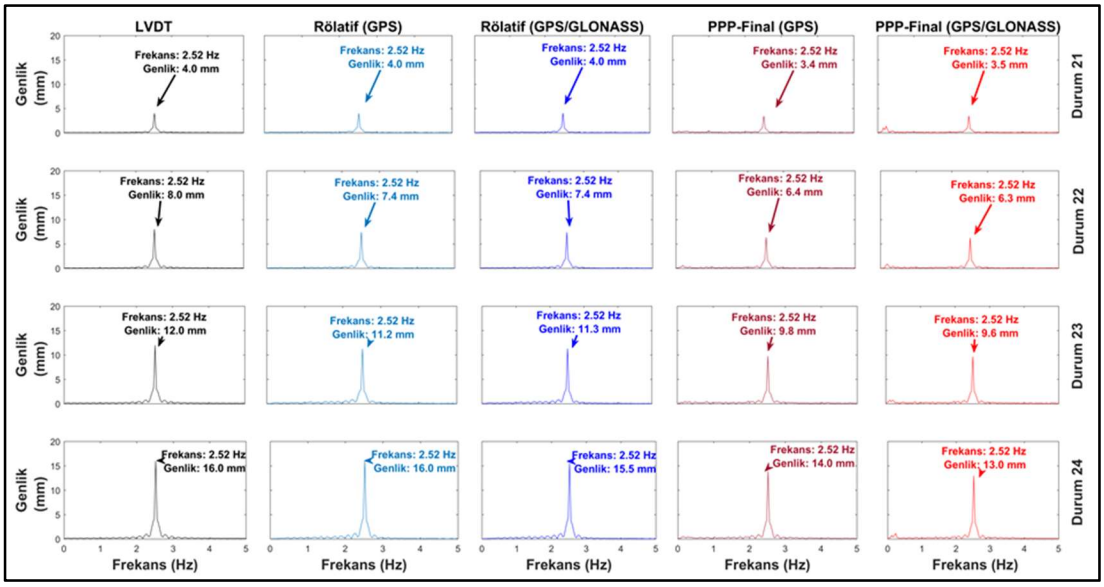
Şekil 5.32: 17, 18, 19 ve 20. durumlar için 20° FFT analizleri.



Şekil 5.33: 21, 22, 23, ve 24. durumlar için 20° deplasman zaman serileri.

Şekil 5.34 incelendiğinde Rölatif çözümlerin tüm GPS ve GPS/GLONASS çözümleri için düşük gürültülü olduğu, PPP GPS/GLONASS çözümlerinde ise küçük miktardaki sıçralamaların varlığı göze çarpmaktadır. Sıçramaların genlik değerleri incelendiğinde, Durum 21 için -0.6 ila 0.0 mm, Durum 22 için -1.7 mm ila -0.6 mm,

Durum 23 için -2.4 ila -0.8 mm, Durum 24 için -3.0 mm ila 0.0 mm arasındaki farklar bulunduğu saptanmıştır.



Şekil 5.34: 21, 22, 23 ve 24. durumlar için 20° FFT analizleri.

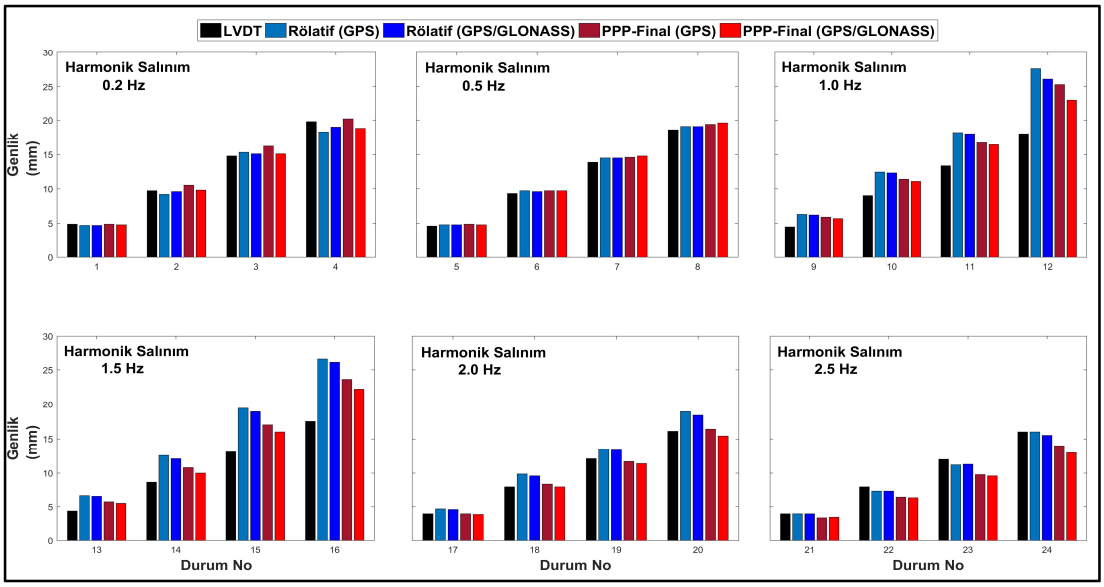
Tablo 5.4'de 20°'lik uydu görüşü altında incelenen tüm deneylerde yakalanan frekans ve genlik değerleri verilmiştir. Tablo göstermektedir ki frekans değerleri sorunsuzca elde edilmiş, genlik değerlerinde ise küçük farklar meydana gelmiştir. Bunların, GNSS alıcılarında meydana gelen gürültü sebepleriyle olduğu düşünülmektedir.

Şekil 5.35, 10°'lik uydu görüşü altında yakalanan genlik değerlerini kapsamaktadır. LVDT verilerinden Rölatif GPS verilerinin -1.5 ila 9.6 mm, Rölatif GPS/GLONASS verilerinin -0.8 ila 8.1 mm, PPP GPS verilerinin -2.0 mm ila 7.3 mm, PPP GPS/GLONASS verilerinin ise -1.0 ila 4.9 mm arasında değiştiği görülmektedir.

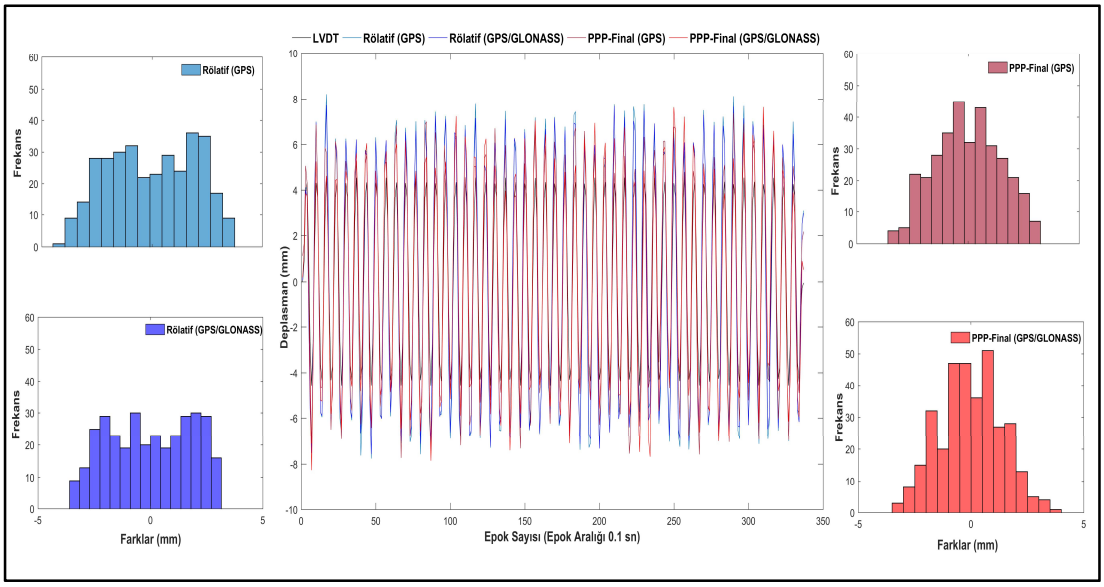
Şekil 5.36, 20°'lik uydu görüşü altında, 13. Durum için Rölatif yöntem ve PPP yönteminden elde edilen zaman serilerinin, LVDT verilerinden elde edilen zaman serileri arasındaki farkların histogramını göstermektedir. Dört durumda da farklar genellikle -5 ile 5 mm arasında değişmekte ve normal dağılım izlemektedir. PPP yönteminden elde edilen farklar 0 etrafında yoğunlaşıp normal dağılım sergilediği görülürken Rölatif Yöntemden elde edilen farkların -4mm ve +3mm seviyelerine dağıldığı görülmektedir.

Tablo 5.4: 20°'lik deneyler.

Durum No	*Verilen Salınım Frekansı (Hz)*	*Verilen Salınım Genliği (mm)*	*LVDT*		*Rölatif (GPS)*		*Rölatif (GPS/GLONASS)*		*PPP-Final (GPS)*		*PPP-Final (GPS/GLONASS)*	
			Frekans (Hz)	*Genlik (mm)*	*Frekans (Hz)*	*Genlik (mm)*	*Frekans (Hz)*	*Genlik (mm)*	*Frekans (Hz)*	*Genlik (mm)*	*Frekans (Hz)*	*Genlik (mm)*
1	0.20	5	0.20	4.9	0.20	4.7	0.20	4.7	0.20	4.9	0.20	4.8
2	0.20	10	0.20	9.7	0.20	9.2	0.20	9.6	0.20	10.5	0.20	9.8
3	0.20	15	0.20	14.8	0.20	15.3	0.20	15.1	0.20	16.2	0.20	15.1
4	0.20	20	0.20	19.8	0.20	18.3	0.20	19.0	0.20	20.2	0.20	18.8
5	0.50	5	0.50	4.6	0.50	4.8	0.50	4.8	0.50	4.9	0.50	4.8
6	0.50	10	0.50	9.3	0.50	9.7	0.50	9.6	0.50	9.7	0.50	9.7
7	0.50	15	0.50	13.9	0.50	14.5	0.50	14.5	0.50	14.6	0.50	14.8
8	0.50	20	0.50	18.6	0.50	19.1	0.50	19.1	0.50	19.4	0.50	19.6
9	1.00	5	1.00	4.5	1.00	6.3	1.00	6.2	1.00	5.9	1.00	5.7
10	1.00	10	1.00	9.0	1.00	12.5	1.00	12.4	1.00	11.5	1.00	11.2
11	1.00	15	1.00	13.4	1.00	18.2	1.00	18.0	1.00	16.7	1.00	16.4
12	1.00	20	1.00	18.0	1.00	27.6	1.00	26.1	1.00	25.3	1.00	22.9
13	1.50	5	1.51	4.4	1.51	6.6	1.51	6.5	1.51	5.7	1.51	5.5
14	1.50	10	1.51	8.7	1.51	12.6	1.51	12.1	1.51	10.8	1.51	10.0
15	1.50	15	1.51	13.1	1.51	19.4	1.51	18.9	1.51	17.0	1.51	16.0
16	1.50	20	1.51	17.5	1.51	26.7	1.51	26.1	1.51	23.6	1.51	22.2
17	2.00	5	2.01	4.0	2.01	4.7	2.01	4.6	2.01	4.0	2.01	3.9
18	2.00	10	2.01	8.0	2.01	9.9	2.01	9.6	2.01	8.4	2.01	8.0
19	2.00	15	2.01	12.1	2.00	13.5	2.00	13.4	2.00	11.7	2.00	11.4
20	2.00	20	2.01	16.1	2.01	18.9	2.01	18.4	2.01	16.4	2.01	15.4
21	2.50	5	2.52	4.0	2.52	4.0	2.52	4.0	2.52	3.4	2.52	3.5
22	2.50	10	2.52	8.0	2.52	7.4	2.52	7.4	2.52	6.4	2.52	6.3
23	2.50	15	2.52	12.0	2.52	11.2	2.52	11.3	2.52	9.8	2.52	9.6
24	2.50	20	2.52	16.0	2.52	16.0	2.52	15.5	2.52	14.0	2.52	13.0



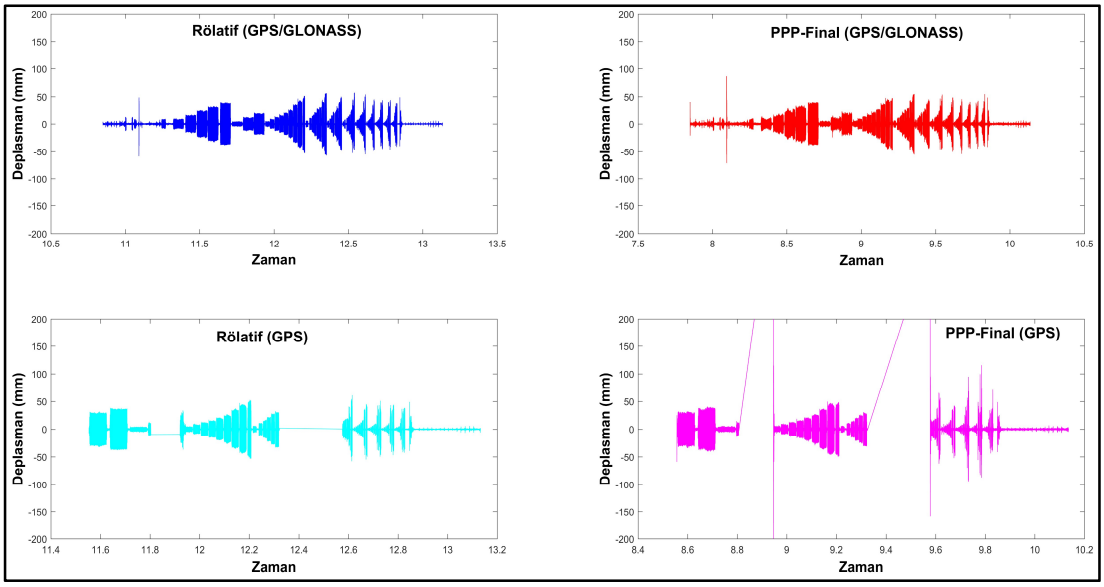
Şekil 5.35: 20°'lik uydu görüşü altında yakalanan genlik değerleri.



Şekil 5.36: Rölatif ve PPP yöntemlerinin LVDT verilerinden farkları (13. Durum).

5.4.1.3. Uydu Görüşünün Kısıtlı Olması Durumu (30°)

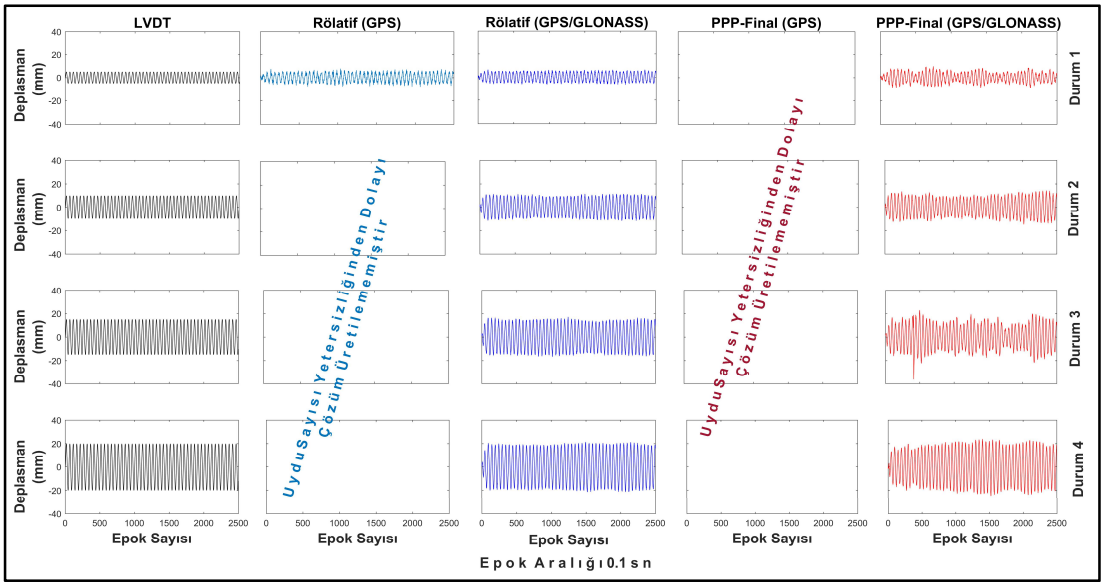
Tezin bu bölümü, uydu görüşünün kısıtlı olması durumunda gerçekleştirilen yapı sağlığı izleme çalışmalarında Yüksek Frekanslı GNSS-PPP yönteminin performansını ele almaktadır. Uydu kesme açısının 20° olduğu RINEX verisi, uydu kesem açısı 10° iken toplanmış RINEX dosyası kullanılarak bir MATLAB yazılımı ile yeniden elde edilmiştir. Oluşturulan bu RINEX dosyası CSRS-PPP aracılığı ile değerlendirilmiştir. Rölatif ve PPP çözümleri için IGS-Final hassas yörünge ve saat hataları düzeltmeleri kullanılmıştır. Harmonik salınım testlerinden elde edilen 30°'lik PPP ve Rölatif çözümleri, deplasman hareketlerinde tıpkı bölüm 5.4.1.1.'de açıklandığı gibi beşinci dereceden Butterworth yüksek geçirgenli filtre ile filtrelenmiş ve kesme açısı 0.15 Hz seçilmiştir. Şekil 5.37 filtrelenmiş ve epok alanında çizdirilen Rölatif ve PPP yöntemlerinden GPS ve GPS/GLONASS çözümlerinden elde edilen 30°'lik zaman serilerini içermektedir. Şekil 5.37 incelendiğinde görülecektir ki, tasarlanan 24 durumdan 16 tanesi için, GPS uydu sayısı yetersizliğinden dolayı Rölatif ve PPP yöntemlerinin GPS çözümü gerçekleştirilememiştir ve bazı çözümlerde büyük sıçramalar vardır. Tasarlanan tüm durumlar için Rölatif ve PPP yöntemlerinin GPS/GLONASS çözümleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölümün ilerleyen kısımlarında uydu görüşünün kısıtlı olması durumunda gerçekleştirilen tüm analizler ayrıntılarıyla açıklanacaktır.



Şekil 5.37 30°'lik deneyler.

Tezin bu bölümünde, tıpkı bölüm 5.4.1.1. ve 5.4.1.2.'de olduğu gibi her bir durumun zaman serileri ve fft analizleri tek tek analiz edilecek olup, Rölatif ve PPP yöntemlerinden elde edilen deplasman hareketlerinin LVDT verilerinden farkları ise rastgele seçilen bir durumda incelenecektir. Bu bölümde aynı zamanda GLONASS uydularının GPS çözümüne anlamlı bir katkısının olup olmadığı da araştırılacaktır.

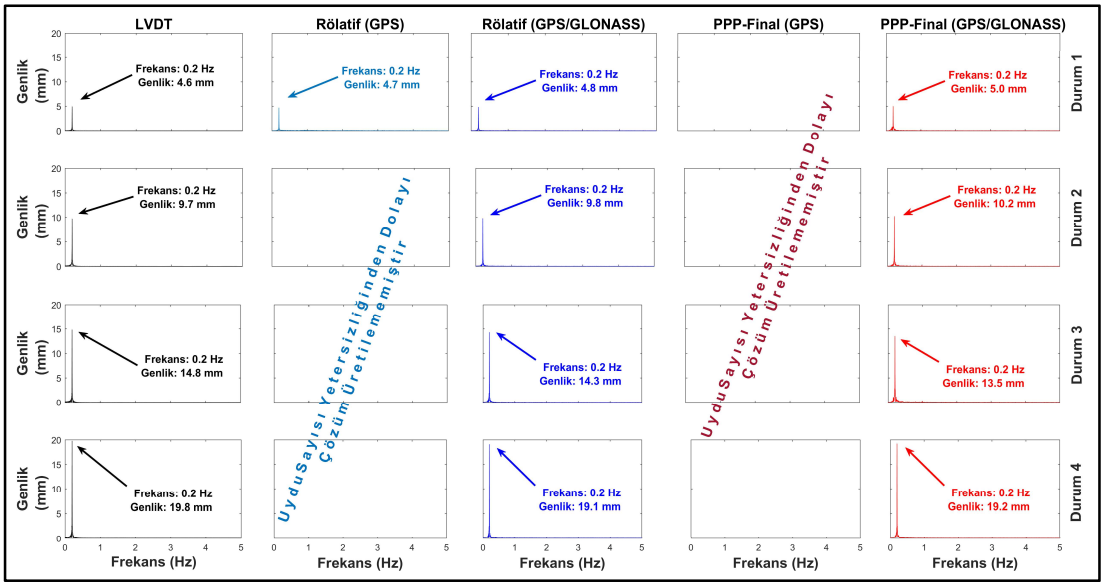
Durum 1, 2, 3 ve 4'de incelenen harmonik salınım, sarsma tablası kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 5.38 ve Şekil 5.39 sırasıyla ilk 4 durum için incelenen LVDT, Rölatif ve PPP çözümünden elde edilen deplasman hareketlerini ve FFT spektrumlarını içermektedir. Salınım genliği, Durum 1 için 5 mm, Durum 2 için 10 mm, Durum 3 için 15 mm ve Durum 4 için 20 mm'dir. Tüm bu durumlar için frekanslar 0.2 Hz'dir. İncelenen zaman serilerinin süresi 250 sn'dir. Şekil-5.38'de görüldüğü üzere Durum 1 haricinde kalan Durum 2, Durum 3 ve Durum 4'de GPS çözümleri, uydu sayısının yetersizliğinden dolayı elde edilememiştir Rölatif yöntemden elde edilen GPS/GLONASS çözümleri LVDT verileri ile uyumlu bir hareket sergilerken, PPP GPS/GLONASS verilerinde bir takım farklar söz konusudur.



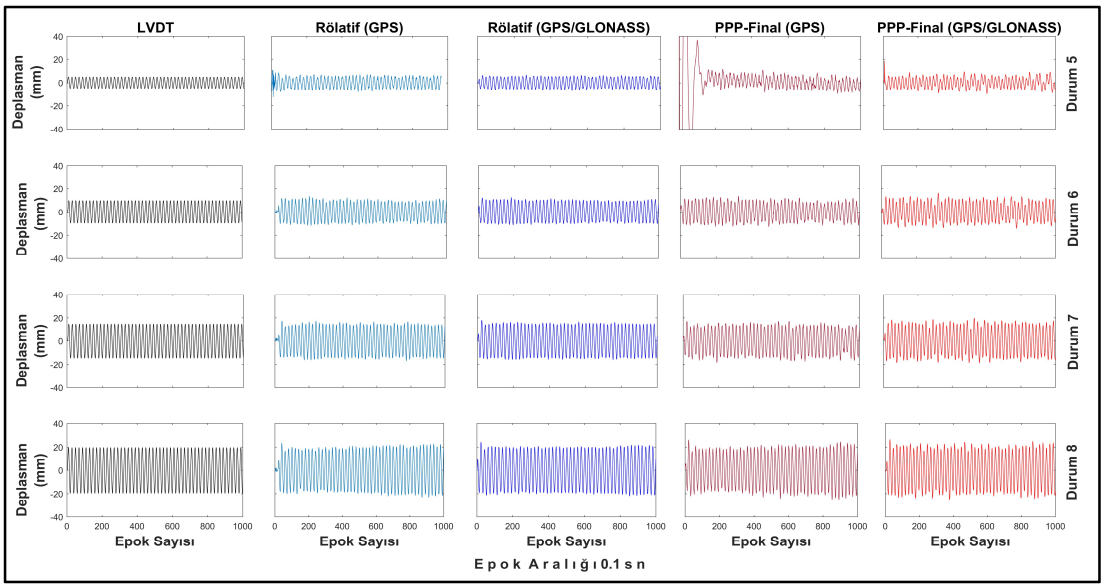
Şekil 5.38: İlk 4 durum için 30° deplasman zaman serileri.

Rölatif ve PPP çözümleri sinyalleri Fourier frekansını gösteren sıçrama frekans ve genlik değerleri, LVDT frekans ve genlik değerleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 5.39 incelendiğinde tüm GPS/GLONASS çözümlerinin düşük gürültülü olduğu ve salınım frekanslarının kusursuz bir şekilde yakalandığı gözlemlenmiştir. Sıçramaların genlik değerleri incelendiğinde, Durum 1 için 0.1 ila 0.4 mm, Durum 2 için 0.1 mm ila +0.5 mm, Durum 3 için -1.3 ila -0.5 mm, Durum 4 için -0.7 mm ila 0.6 mm arasındaki farklar göze çarpmaktadır. PPP yönteminden elde edilen GPS/GLONASS çözümlerinin dinamik hareketleri yakalama performansı, LVDT ve Rölatif verileri ile son derece benzerdir. Tüm yöntemlerde yakalanan frekanslar oldukça tutarlı olduğu gözlemlenmektedir.

Şekil 5.40, Durum 5, Durum6, Durum7 ve Durum8 için elde edilen deplasman hareketlerini içermektedir. Durumların süresi 100 sn'dir. Deneylerin frekans değerleri 0.5 Hz, genlik değerleri ise sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 mm'dir. Durum 1'de çözümü gerçekleştirilen PPP GPS çözümünün ilk 20 saniyesinde bir miktar sıçrama olduğu açıkça görülmektedir. Aynı durumun ve yöntemin GPS/GLONASS çözümlerine bakıldığında ise tutarlılık göze çarpmaktadır. GLONASS uydularının kısıtlı görüş altındaki katkısı ileride de bahsedileceği üzere son derece açıktır. Diğer durumlar göz önüne alındığında ise, tüm çözümlerin LVDT verileri ile tutarlı olduğu açıkça görülmektedir.

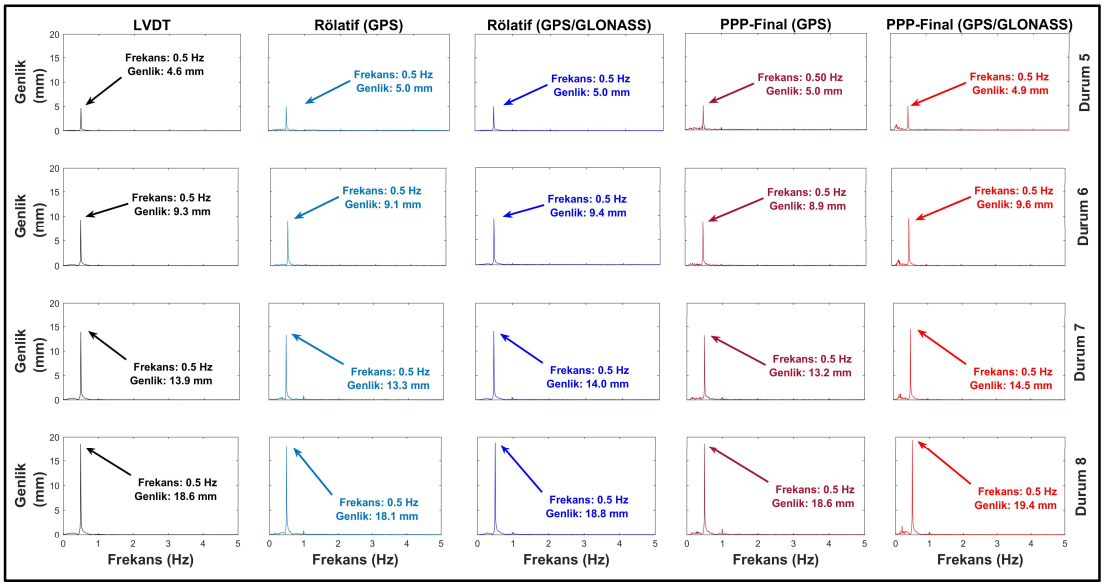


Şekil 5.39: İlk 4 durum için 30° FFT analizleri.



Şekil 5.40: 5., 6., 7., ve 8. durumlar için 30° deplasman zaman serileri.

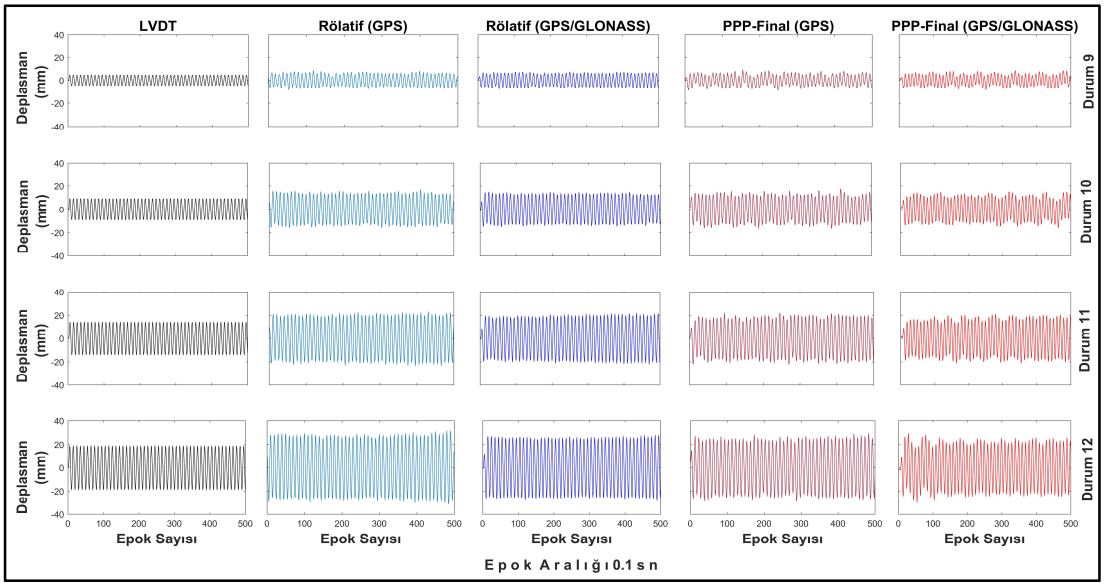
Şekil 5.41 incelendiğinde Rölatif yöntemin tüm GPS ve GPS/GLONASS çözümlerinin düşük gürültülü olduğu ve salınım frekanslarının kusursuz bir şekilde yakalandığı gözlemlenmiştir. PPP yönteminin GPS/GLONASS çözümlerinde ufak miktarlarda gürültüler tespit edilmiştir. Sıçramaların genlik değerleri incelendiğinde, Durum 5 için 0.3 ve 0.4 mm, Durum 6 için -0.4 mm ila 0.3 mm, Durum 7 için -0.7 ila 0.6 mm, Durum 8 için -0.5 mm ila 0.8 mm arasındaki farklar göze çarpmaktadır. PPP yönteminin dinamik hareketleri yakalama performansı LVDT ve Rölatif verileri ile son derece uyumlu olduğu görülmektedir.



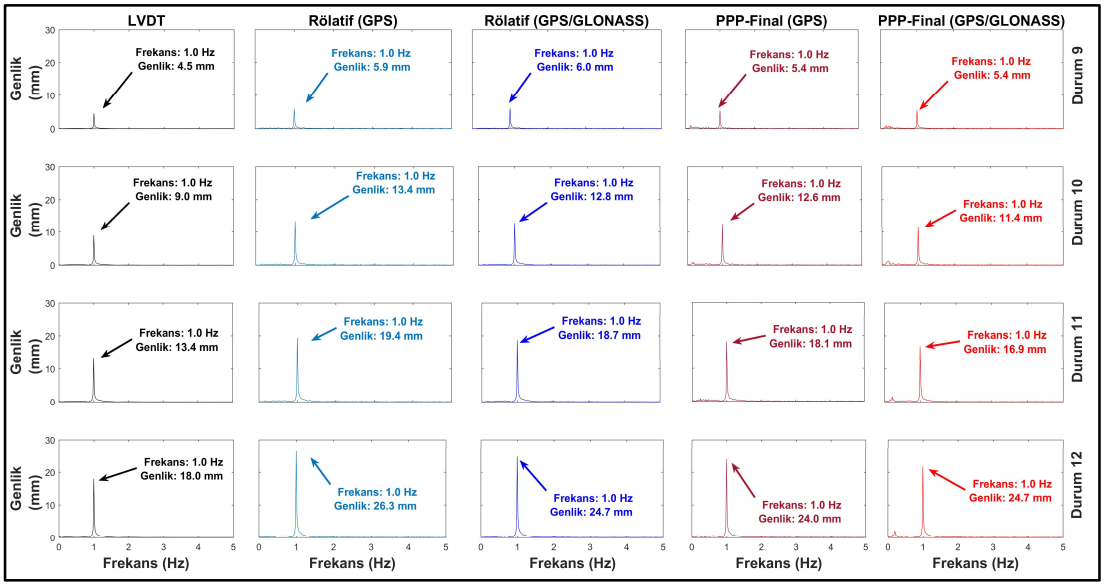
Şekil 5.41: 5, 6, 7 ve 8. durumlar için 30° FFT analizleri.

Şekil 42, 30°'lik uydu görüşü altında incelenen Durum 9, Durum 10, Durum 11 ve Durum 12 için elde edilen deplasman hareketlerini içermektedir. Deneylerin süresi 50 sn'dir. Deneylerin frekans değerleri 1.0 Hz, genlik değerleri ise sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 mm'dir. PPP yönteminden elde edilen tüm çözümlerdeki ufak dalgalanmalar göze çarpmaktadır. Hareketin genliğinin artması durumunda tüm yöntemlerin LVDT verilerinden uzaklaştığı gözlemlenmiştir. Fakat, GNSS yöntemlerinin birbirleriyle uyumu göze çarpmaktadır.

Şekil 5.43 incelendiğinde tüm Rölatif yöntemden elde edilen GPS ve GPS/GLONASS çözümlerinin düşük gürültülü olduğu ve salınım frekanslarının kusursuz bir şekilde yakalandığı gözlemlenmiştir. PPP yönteminden elde edilen tüm çözümlerde ise küçük miktarlarda gürültüler söz konusudur. Fakat tüm GNSS çözüm yöntemleri için salınım frekanslarının kusursuz bir şekilde yakalandığı gözlenmektedir. Sıçramaların genlik değerleri incelendiğinde tüm yöntem ve çözümler göz önüne alınarak, Durum 9 için 0.9 ve 1.5 mm, Durum 10 için 2.4 mm ila 4.4 mm, Durum 11 için 2.5 ila 6.0 mm, Durum 12 için 6.0 mm ila 8.3 mm arasındaki farklar bulunduğu saptanmıştır. Hareketin genliğinin yükselmesiyle farkların arttığı gözlemlenmiştir.



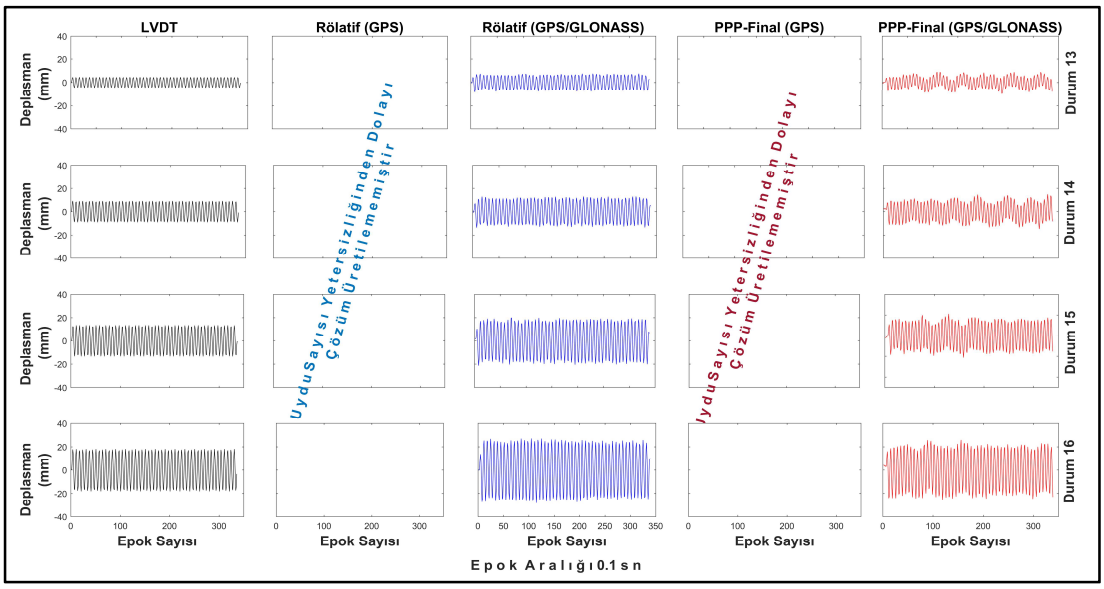
Şekil 5.42: 9., 10., 11., ve 12. durumlar için 30° deplasman zaman serileri.



Şekil 5.43: 9, 10, 11 ve 12. durumlar için 30° FFT analizleri.

Şekil 5.44, Durum 13, Durum 14, Durum 15 ve Durum 16 için 30°'lik uydu görüşü altında elde edilen deplasman hareketlerini içermektedir. Deneylerin süresi yaklaşık olarak 35 sn'dir. Deneylerin frekans değerleri 1.5 Hz, genlik değerleri ise sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 mm'dir. Söz konusu tüm durumlar için GPS uydularının yetersizliğinden dolayı tüm yöntemlerin GPS çözümleri gerçekleştirilememiştir. Rölatif yöntemden elde edilen GPS/GLONASS çözümlerinin LVDT verileri ile son

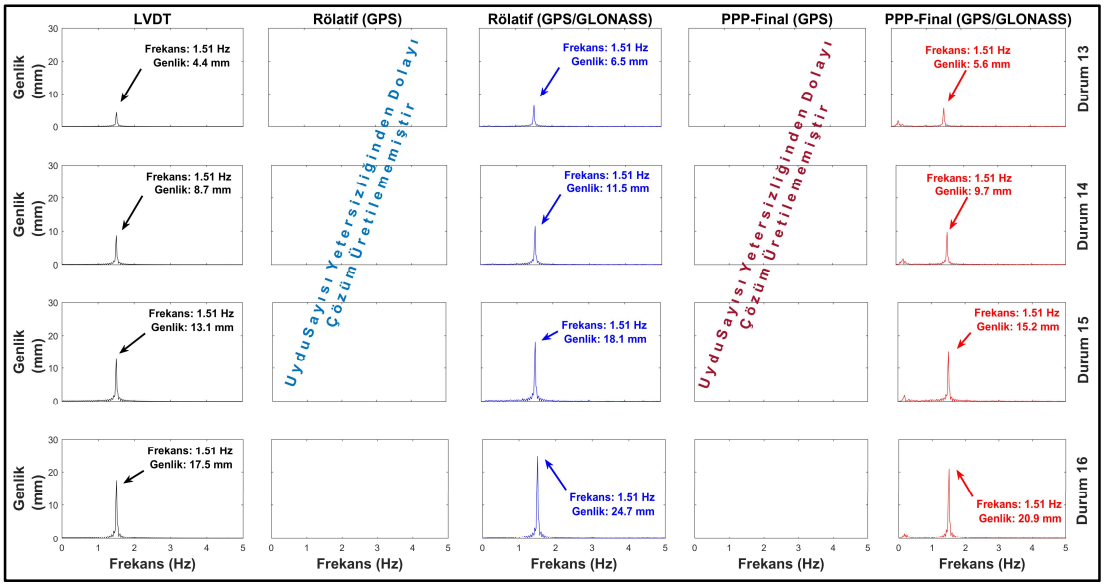
derece tutarlı olduğu görülmektedir. PPP yönteminden elde edilen GPS/GLONASS çözümlerinde ise dalgalanmaların meydana geldiği anlaşılmaktadır.



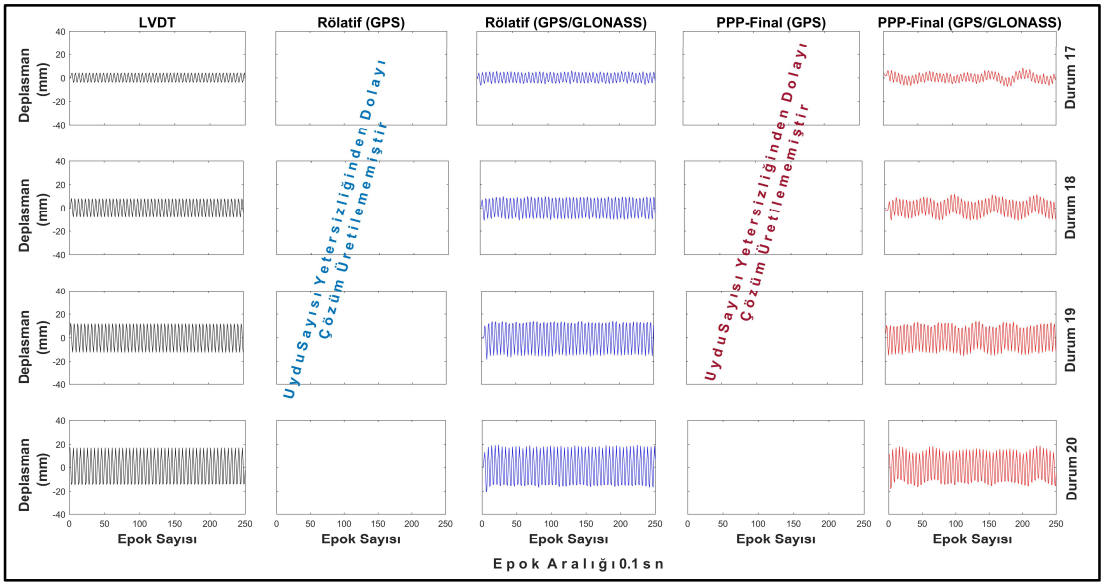
Şekil 5.44: 13., 14., 15., ve 16. durumlar için 30° deplasman zaman serileri.

Şekil 5.45 incelendiğinde tüm Rölatif çözümlerinin düşük gürültülü olduğu, PPP yönteminden elde edilen çözümlerde ise önemsiz sayılabilecek sıçramaların varlığı göze çarpmaktadır. Tüm yöntemlerden elde edilen FFT spektrumları incelendiğinde salınım frekanslarının kusursuz bir şekilde yakalandığı ve LVDT verileri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Sıçramaların genlik değerleri incelendiğinde, Durum 13 için 1.2 ve 2.1 mm, Durum 14 için 1.0 mm ila 2.8 mm, Durum 15 için 2.1 ila 5.0 mm, Durum 16 için 3.4 mm ila 7.2 mm arasındaki farklar bulunduğu saptanmıştır. Durumlar göz önüne alındığında hareketin genliğinin yükselmesiyle sıçramaların genlik değerleri farkların arttığı gözlemlenmiştir.

Şekil 5.46, Durum 17, Durum 18, Durum 19 ve Durum 20 için elde edilen deplasman hareketlerini içermektedir. Deneylerin süresi yaklaşık olarak 25 sn'dir. Deneylerin frekans değerleri 2.0 Hz, genlik değerleri ise sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 mm'dir. Söz konusu tüm durumlar için GPS uydularının yetersizliğinden dolayı tüm yöntemlerin GPS çözümleri gerçekleştirilememiştir. Rölatif yöntemden elde edilen GPS/GLONASS çözümlerinin LVDT verileri ile son derece tutarlı olduğu görülmektedir. PPP yönteminden elde edilen GPS/GLONASS çözümlerinde görülen dalgalanmaların, önceki durumlara kıyasla arttığı gözlemlenmiştir.



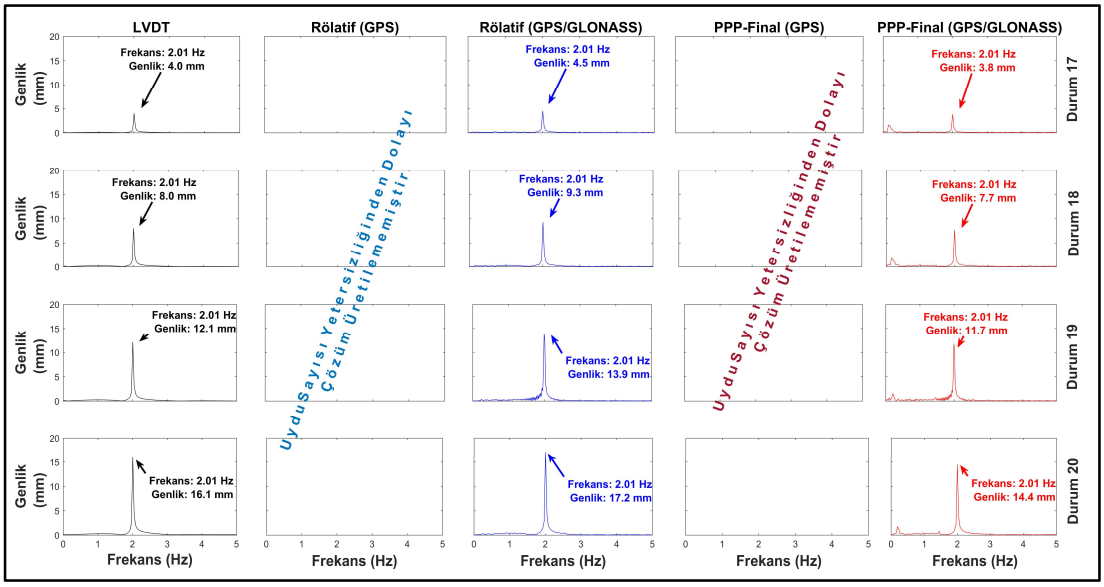
Şekil 5.45: 17 18, 19 ve 20. durumlar için 30° deplasman zaman serileri.



Şekil 5.46: 17 18, 19 ve 20. durumlar için 30° deplasman zaman serileri.

Şekil 5.47 incelendiğinde tüm Rölatif çözümlerinin düşük gürültülü olduğu, PPP yönteminden elde edilen çözümlerde ise önemsiz sayılabilecek sıçramaların varlığı göze çarpmaktadır. Tüm yöntemlerden elde edilen FFT spektrumları incelendiğinde salınım frekanslarının kusursuz bir şekilde yakalandığı ve LVDT verileri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Sıçramaların genlik değerleri incelendiğinde, Durum 17 için -0.2 ila 0.5 mm, Durum 18 için -0.3 mm ila 1.3 mm,

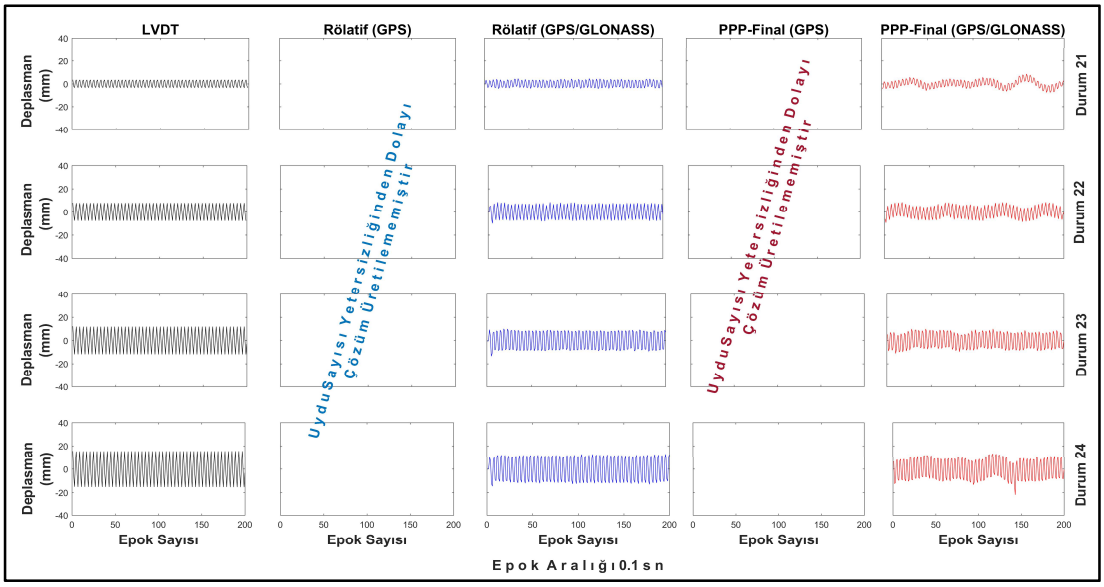
Durum 19 için -0.4 ila 1.8 mm, Durum 20 için -1.7 mm ila 1.1 mm arasındaki farklar bulunduğu saptanmıştır.



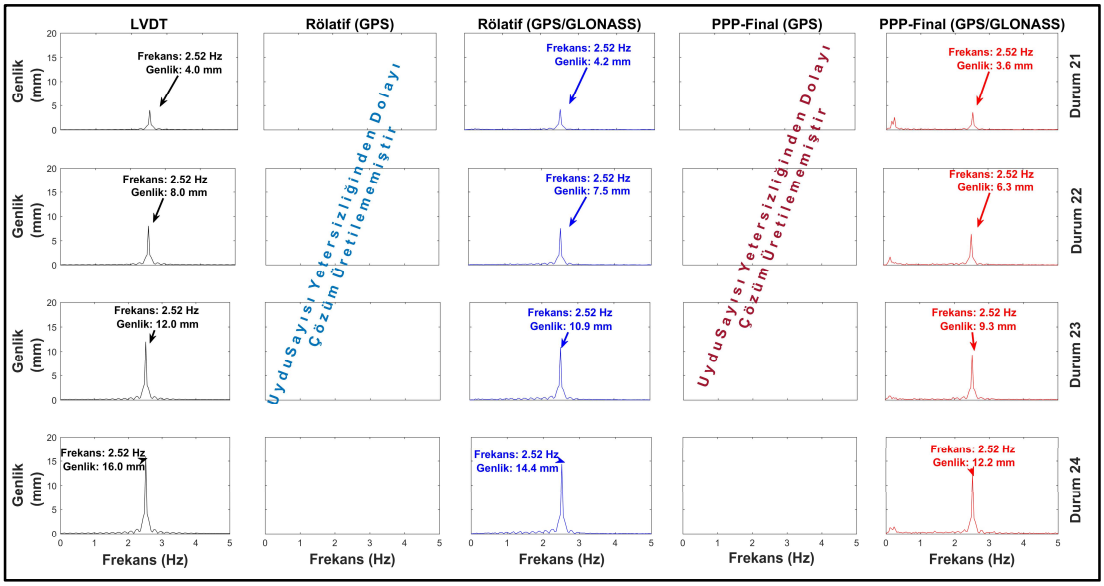
Şekil 5.47: 17 18, 19 ve 20. durumlar için 30° FFT analizleri.

Şekil 5.48, Durum 21 Durum 22, Durum 23 ve Durum 24 için elde edilen deplasman hareketlerini içermektedir. Deneylerin süresi 20 sn'dir. Deneylerin frekans değerleri 2.5 Hz, genlik değerleri ise sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 mm'dir. Söz konusu tüm durumlar için GPS uydularının yetersizliğinden dolayı tüm yöntemlerin GPS çözümleri gerçekleştirilememiştir. Rölatif yöntemden elde edilen GPS/GLONASS çözümlerinin LVDT verileri ile son derece tutarlı olduğu görülmektedir. PPP yönteminden elde edilen GPS/GLONASS çözümlerinde görülen dalgalanmaların, önceki durumlara kıyasla daha da arttığı, Durum 24'de ise bir miktar sapma meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Şekil 5.49 incelendiğinde tüm Rölatif çözümlerinin düşük gürültülü olduğu, PPP yönteminden elde edilen çözümlerde ise bir takım sıçramaların varlığı göze çarpmaktadır. Tüm yöntemlerden elde edilen FFT spektrumları incelendiğinde salınım frekanslarının kusursuz bir şekilde yakalandığı ve LVDT verileri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Sıçramaların genlik değerleri incelendiğinde, Durum 21 için -0.4 ila 0.2 mm, Durum 22 için -1.7 mm ila -0.5 mm, Durum 23 için -2.7 ila -1.1 mm, Durum 24 için -3.8 mm ila 1.6 mm arasındaki farklar bulunduğu saptanmıştır.



Şekil 5.48: 21 22, 23 ve 24. durumlar için 30° deplasman zaman serileri.



Şekil 5.49: 21, 22, 23 ve 24. durumlar için 30° FFT analizleri.

Tablo 5.5 de 30°'lik uydu görüşü altında incelenen tüm deneylerde yakalanan frekans ve genlik değerleri verilmiştir. Tablo göstermektedir ki frekans değerleri sorunsuzca elde edilmiş, genlik değerlerinde ise küçük farklar meydana gelmiştir. Tasarlanan 24 durum göz önüne alındığında, Rölatif yöntem için 15, PPP yöntemi için 16 durumda GPS çözümleri daha önce de açıklandığı gibi GPS uydularının yetersizliğinden dolayı gerçekleştirilememiştir. Bu bölüm açıkça ortaya koymaktadır

ki, GLONASS uydularının GPS çözümlerine katkısı uydu görüşünün kısıtlı olması durumunda son derece fazladır.

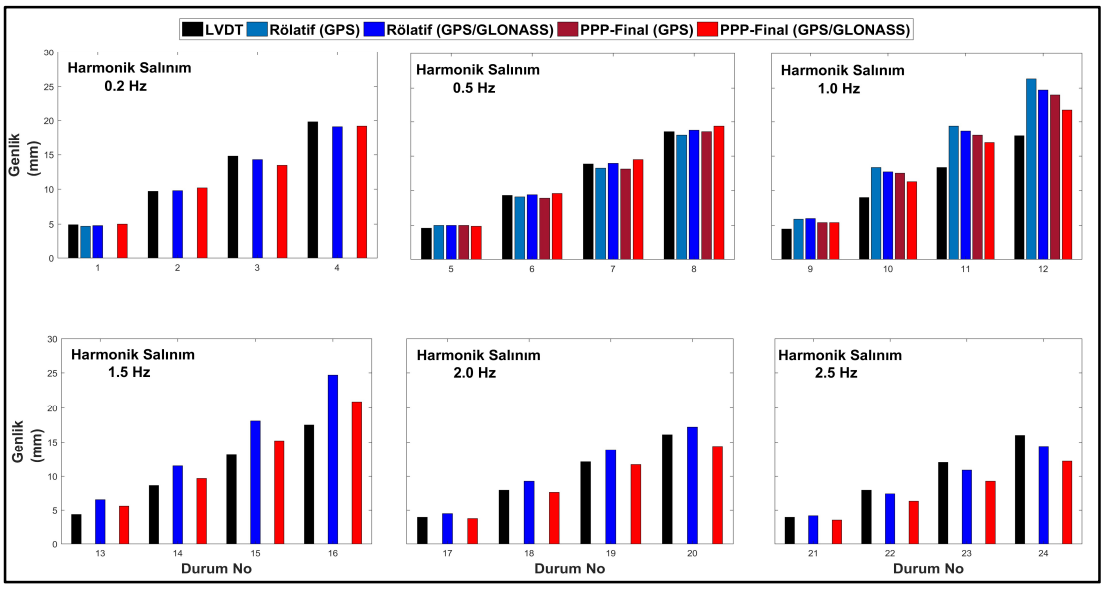
Tablo 5.5: 30°'lik deneyler.

Durum No	*Verilen Salınım Frekansı (Hz)*	*Verilen Salınım Genliği (mm)*	*LVDT*		*Rölatif (GPS)*		*Rölatif (GPS/GLONASS)*		*PPP-Final (GPS)*		*PPP-Final (GPS/GLONASS)*	
			Frekans (Hz)	*Genlik (mm)*	*Frekans (Hz)*	*Genlik (mm)*	*Frekans (Hz)*	*Genlik (mm)*	*Frekans (Hz)*	*Genlik (mm)*	*Frekans (Hz)*	*Genlik (mm)*
1	0.20	5	0.20	4.9	0.20	4.7	0.20	4.8	-	-	0.20	5.0
2	0.20	10	0.20	9.7	-	-	0.20	9.8	-	-	0.20	10.2
3	0.20	15	0.20	14.8	-	-	0.20	14.3	-	-	0.20	13.5
4	0.20	20	0.20	19.8	-	-	0.20	19.1	-	-	0.20	19.2
5	0.50	5	0.50	4.6	0.50	5.0	0.50	5.0	0.50	5.0	0.50	4.9
6	0.50	10	0.50	9.3	0.50	9.1	0.50	9.4	0.50	8.9	0.50	9.6
7	0.50	15	0.50	13.9	0.50	13.3	0.50	14.0	0.50	13.2	0.50	14.5
8	0.50	20	0.50	18.6	0.50	18.1	0.50	18.8	0.50	18.6	0.50	19.4
9	1.00	5	1.00	4.5	1.00	5.9	1.00	6.0	1.00	5.4	1.00	5.4
10	1.00	10	1.00	9.0	1.00	13.4	1.00	12.8	1.00	12.6	1.00	11.4
11	1.00	15	1.00	13.4	1.00	19.4	1.00	18.7	1.00	18.1	1.00	16.9
12	1.00	20	1.00	18.0	1.00	26.3	1.00	24.7	1.00	24.0	1.00	21.7
13	1.50	5	1.51	4.4	-	-	1.51	6.5	-	-	1.51	5.6
14	1.50	10	1.51	8.7	-	-	1.51	11.5	-	-	1.51	9.7
15	1.50	15	1.51	13.1	-	-	1.51	18.1	-	-	1.51	15.2
16	1.50	20	1.51	17.5	-	-	1.51	24.7	-	-	1.51	20.9
17	2.00	5	2.01	4.0	-	-	2.01	4.5	-	-	2.01	3.8
18	2.00	10	2.01	8.0	-	-	2.01	9.3	-	-	2.01	7.7
19	2.00	15	2.01	12.1	-	-	2.00	13.9	-	-	2.00	11.7
20	2.00	20	2.01	16.1	-	-	2.01	17.2	-	-	2.01	14.4
21	2.50	5	2.52	4.0	-	-	2.52	4.2	-	-	2.52	3.6
22	2.50	10	2.52	8.0	-	-	2.52	7.5	-	-	2.52	6.3
23	2.50	15	2.52	12.0	-	-	2.52	10.9	-	-	2.52	9.3
24	2.50	20	2.52	16.0	-	-	2.52	14.4	-	-	2.52	12.2

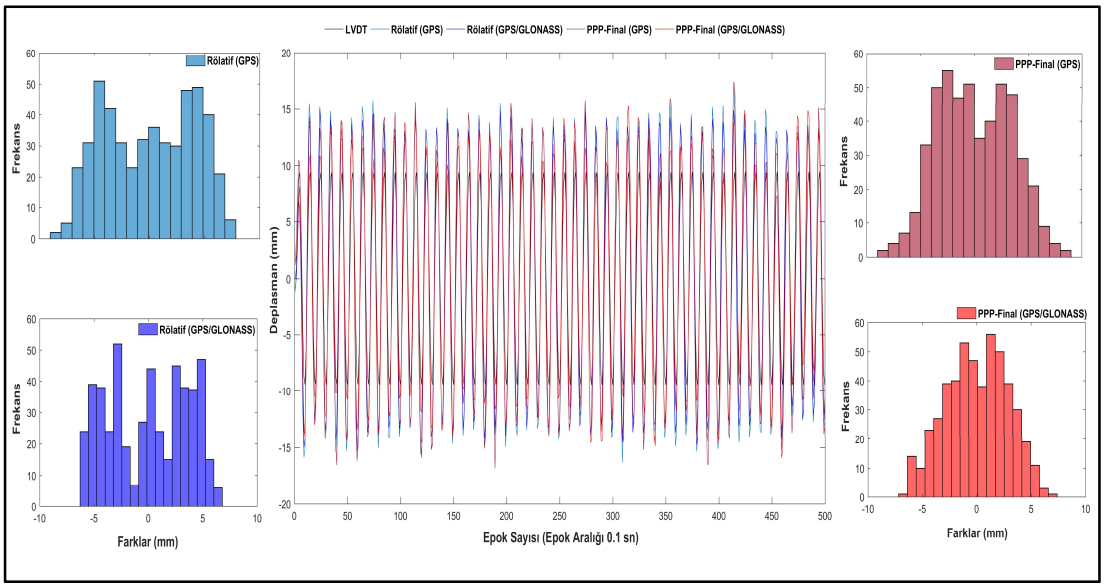
Şekil 5.50, 30°'lik uydu görüşü altında yakalanan genlik değerlerini kapsamaktadır. LVDT verilerinden Rölatif GPS verilerinin -0.6 ila 8.3 mm, Rölatif GPS/GLONASS verilerinin -1.6 ila 7.2 mm, PPP GPS verilerinin -0.7 mm ila 6.0 mm, PPP GPS/GLONASS verilerinin ise -3.8 ila 3.7 mm arasında değiştiği görülmektedir.

Şekil 5.51, 30°'lik uydu görüşü altında, 10. Durum için Rölatif yöntem ve PPP yönteminden elde edilen zaman serilerinin, LVDT verilerinden elde edilen zaman serileri arasındaki farkların histogramını göstermektedir. Dört durumda da farklar genellikle -7 ile 7 mm arasında değişmekte ve normal dağılım izlemektedir. PPP yönteminden elde edilen farklar 0 etrafında yoğunlaşıp normal dağılım sergilediği

görülürken Rölatif Yöntemden elde edilen farkların ± 4 mm seviyelerine dağıldığı görülmektedir.



Şekil 5.50: 30°'lik uydu görüşü altında yakalanan genlik değerleri.



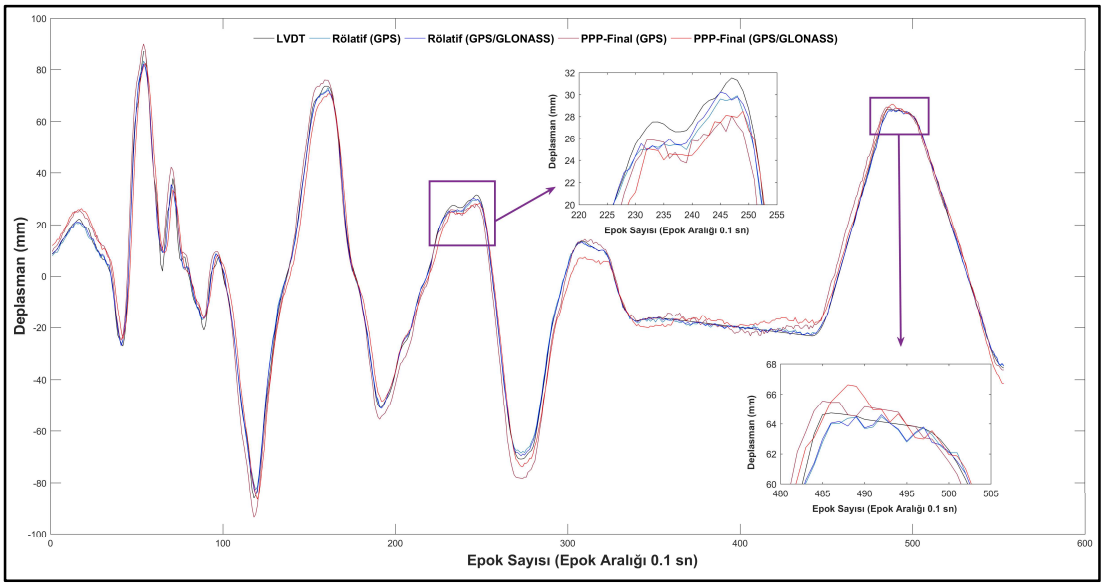
Şekil 5.51: Rölatif ve PPP yöntemlerinin LVDT verilerinden farkları (10. Durum).

5.4.2. Deprem Simülasyon Testi Sonuçları

Tezin bu bölümünde yüksek frekanslı kinematik GNSS-PPP yönteminin sınırlı uydu görüşü altında sismojeodezik uygulamalardaki performansının

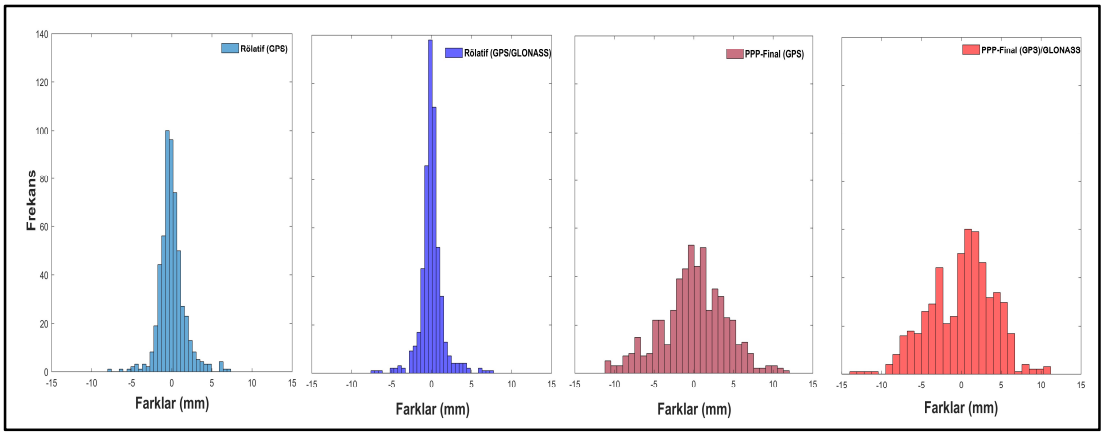
değerlendirilmesi yapılacaktır. Çalışma kapsamında detayları 5.1.2. bölümünde verilen El-Centro depreminin simülasyonu sarsma tablası üzerinde gerçekleştirilmiştir. Simülasyonun, ivme, hız ve konum bilgileri söz konusu bölümde irdelenmiştir. Çalışmada, harmonik salınım testlerine benzer bir şekilde bir GNSS alıcısı PPP çözümünü gerçekleştirmek amacıyla sarsma tablasının üzerine monte edilmiş, diğer bir GNSS alıcısı Rölatif konum bilgisi sağlamak adına deney alanından 20 m uzağa kurulmuştur. Simülasyon süresince toplanan GNSS verileri bir Matlab yazılımı yardımıyla 10°, 20° ve 30°'lik uydu görüşü olacak şekilde dizayn edilmiş ve GPS ve GPS/GLONASS çözümleri gerçekleştirilmiştir.

Şekil 5.52, El-Centro depreminin simülasyonunun zaman serisini göstermektedir. Şekil, üç yöntem arasındaki karşılaştırmaları, GPS ve GPS/GLONASS çözümleriyle beraber göstermektedir. Her iki GNSS yönteminden elde edilen çözümler 10°'lik uydu görüşü altında gerçekleştirilmiştir. PPP Yönteminden elde edilen çözümlerde IGS-Final bilgileri kullanılmıştır. PPP, Rölatif ve LVDT'den tahmin edilen yer değiştirme dalga formlarının dinamik yer hareketini yakalama açısından büyük ölçüde tutarlı olduğu görülebilir. PPP ve LVDT arasındaki yer değiştirme dalga formundaki farklılıklar, Rölatif ve LVDT arasındaki farklılıklardan biraz da olsa büyüktür.



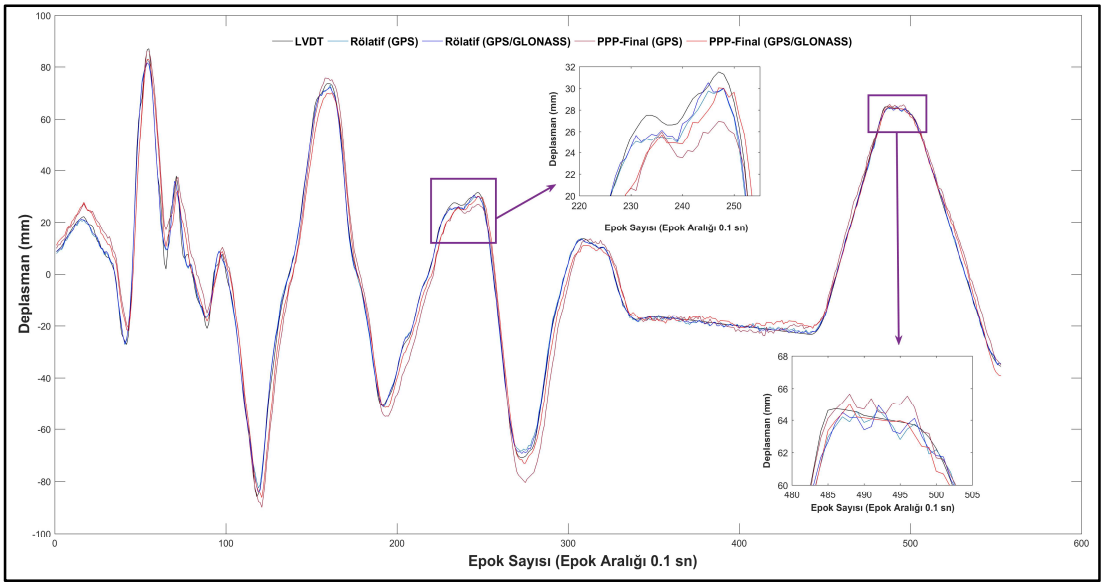
Şekil 5.52: El-Centro Deprem simülasyonundan elde edilen PPP, Rölatif GNSS ve LVDT yöntemlerinden elde edilen yer değiştirmenin karşılaştırılması (10°).

GNSS yöntemlerinin dinamik performansını daha fazla araştırmak adına, Rölatif yöntem ve LVDT'nin yanı sıra PPP ve LVDT arasındaki deplasmanlardaki farkların histogramı Şekil 5.53'de gösterilmektedir. PPP'den gelen yer değiştirme dalga formlarının LVDT'den farklı olduğu ve -10 ila 10 mm arasında değiştiği görülmektedir. Rölatif yöntem ve LVDT verilerinden elde edilen farkların ise sıfır etrafına toplandığı, gauss hata dağılımına uyduğu ve -5 ila +5 mm arasında farklılık gösterdiği görülmektedir. PPP ve LVDT arasındaki farklar, Rölatif yöntem ve LVDT arasındaki farklardan biraz daha büyüktür, bu da Rölatif yöntemin sahip olduğu gürültü seviyesinin PPP'den daha küçük olduğunu göstermektedir.



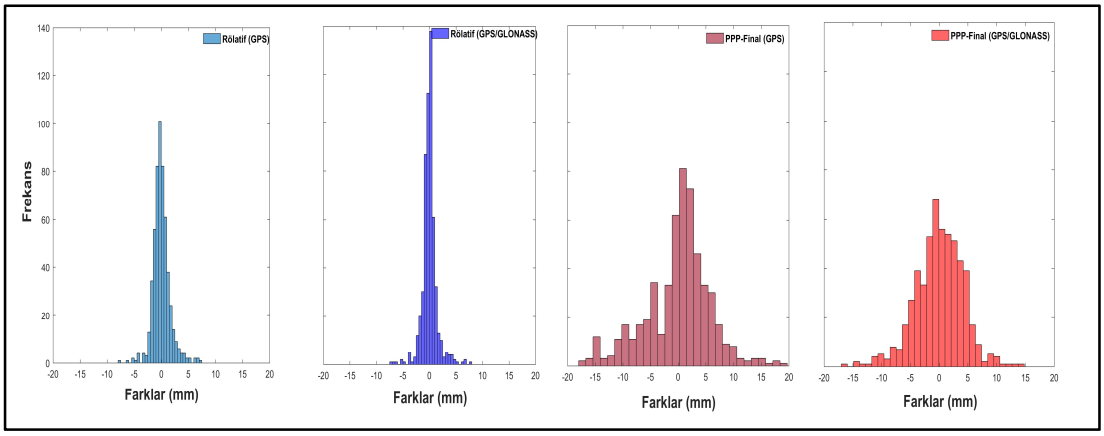
Şekil 5.53: El-Centro Depreminden Elde Edilen Zaman Serilerinin Farkları (10°).

Şekil 5.54, 20°'lik uydu görüşü altında iki farklı GNSS yönteminden elde edilen El-Centro depreminin simülasyonunun zaman serisini göstermektedir. Şekil, LVDT, Rölatif ve PPP yöntemleri arasındaki karşılaştırmaları, GPS ve GPS/GLONASS çözümleriyle beraber göstermektedir. PPP Yönteminden elde edilen çözümlerde IGS-Final bilgileri kullanılmıştır. PPP, Rölatif ve LVDT'den tahmin edilen yer değiştirme dalga formlarının dinamik yer hareketini yakalama açısından büyük ölçüde tutarlı olduğu görülebilir. PPP ve LVDT arasındaki yer değiştirme dalga formundaki farklılıklar, Rölatif ve LVDT arasındaki farklılıklardan biraz da olsa büyüktür.



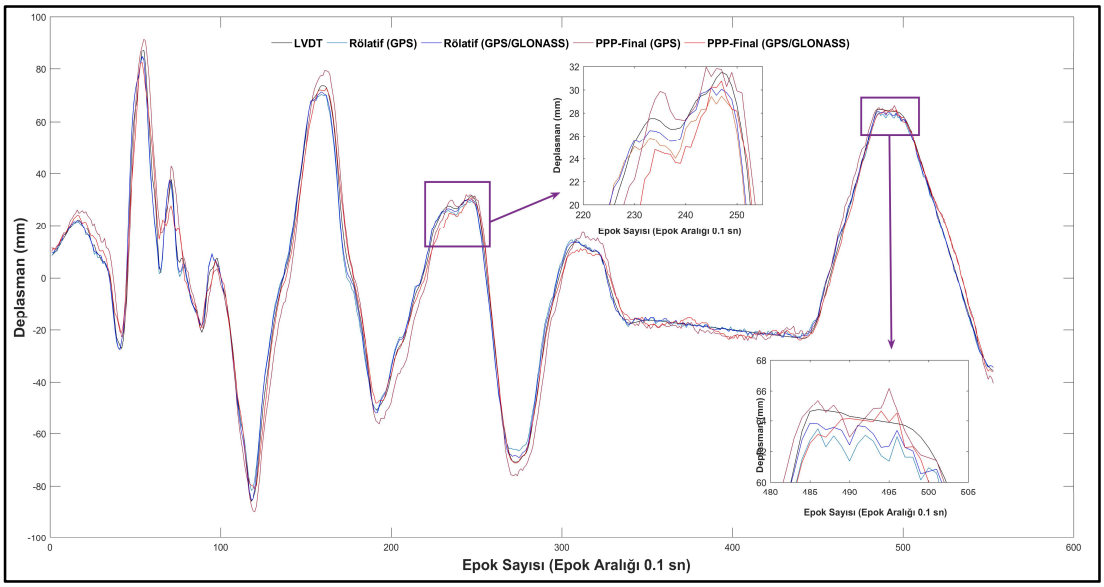
Şekil 5.54: El-Centro Deprem simülasyonundan elde edilen PPP, Rölatif GNSS ve LVDT yöntemlerinden elde edilen yer değiştirmenin karşılaştırılması (20°).

GNSS yöntemlerinin uydu görüşünün biraz kısıtlı olması durumundaki dinamik performansını irdelemek adına, Rölatif yöntem ve LVDT'nin yanı sıra PPP ve LVDT arasındaki deplasmanlardaki farkların histogramı Şekil 5.55'de gösterilmektedir. PPP'den gelen yer değiştirme dalga formlarının LVDT'den farklı olduğu ve -15 ila 15 mm arasında değiştiği görülmektedir. Rölatif yöntem ve LVDT verilerinden elde edilen farkların ise sıfır etrafına toplandığı, gauss hata dağılımına uyduğu ve -5 ila +5 mm arasında farklılık gösterdiği görülmektedir. PPP yöntemi ve LVDT verileri arasındaki farklarında gauss hata dağılımına uyduğu görülmektedir. PPP ve LVDT arasındaki farklar, Rölatif yöntem ve LVDT arasındaki farklardan biraz daha büyüktür, bu da Rölatif yöntemin sahip olduğu gürültü seviyesinin PPP'den daha küçük olduğunu göstermektedir. PPP histogramlarına bakıldığında, GPS/GLONASS çözümlerinin GPS çözümlerinden bir nebze de olsa daha iyi sonuç verdiği açıkça görülmektedir.



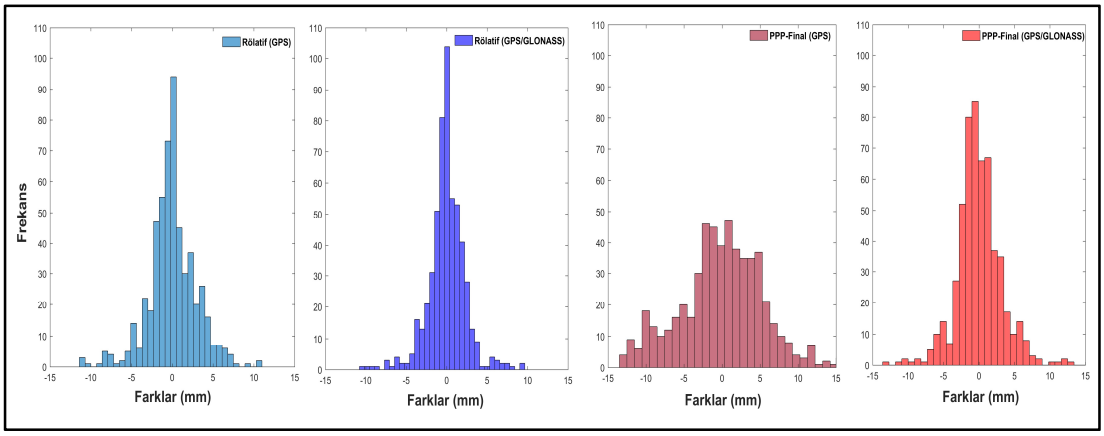
Şekil 5.55: El-Centro Depreminden Elde Edilen Zaman Serilerinin Farkları (20°).

Şekil 5.56, 30°'lik uydu görüşü altında iki farklı GNSS yönteminden elde edilen El-Centro depreminin simülasyonunun zaman serisini göstermektedir. Şekil, LVDT, Rölatif ve PPP yöntemleri arasındaki karşılaştırmaları, GPS ve GPS/GLONASS çözümleriyle beraber göstermektedir. PPP Yönteminden elde edilen çözümlerde IGS-Final bilgileri kullanılmıştır. PPP, Rölatif ve LVDT'den tahmin edilen yer değiştirme dalga formlarının dinamik yer hareketini yakalama açısından büyük ölçüde tutarlı olduğu görülebilir. PPP ve LVDT arasındaki yer değiştirme dalga formundaki farklılıklar, Rölatif ve LVDT arasındaki farklılıklardan biraz da olsa büyüktür.



Şekil 5.56: El-Centro Deprem simülasyonundan elde edilen PPP, Rölatif GNSS ve LVDT yöntemlerinden elde edilen yer değiştirmenin karşılaştırılması (30°).

GNSS yöntemlerinin uydu görüşünün sınırlı olması durumundaki dinamik performansını irdelemek adına, Rölatif yöntem ve LVDT'nin yanı sıra PPP ve LVDT arasındaki deplasmanlardaki farkların histogramı Şekil 5.57'de gösterilmektedir. PPP'den gelen yer değiştirme dalga formlarının LVDT'den farklı olduğu ve -15 ila 15 mm arasında değiştiği görülmektedir. Rölatif yöntem ve LVDT verilerinden elde edilen farkların ise sıfır etrafına toplandığı, gauss hata dağılımına uyduğu ve -10 ila +10 mm arasında farklılık gösterdiği görülmektedir. PPP yöntemi ve LVDT verileri arasındaki farklarında gauss hata dağılımına uyduğu görülmektedir. PPP ve LVDT arasındaki farklar, Rölatif yöntem ve LVDT arasındaki farklardan biraz daha büyüktür, bu da Rölatif yöntemin sahip olduğu gürültü seviyesinin PPP'den daha küçük olduğunu göstermektedir. PPP histogramlarına bakıldığında, GPS/GLONASS çözümlerinin GPS çözümlerinden daha iyi sonuç verdiği ve hataların sıfır etrafında daha fazla yoğunlaştığı açıkça görülmektedir.



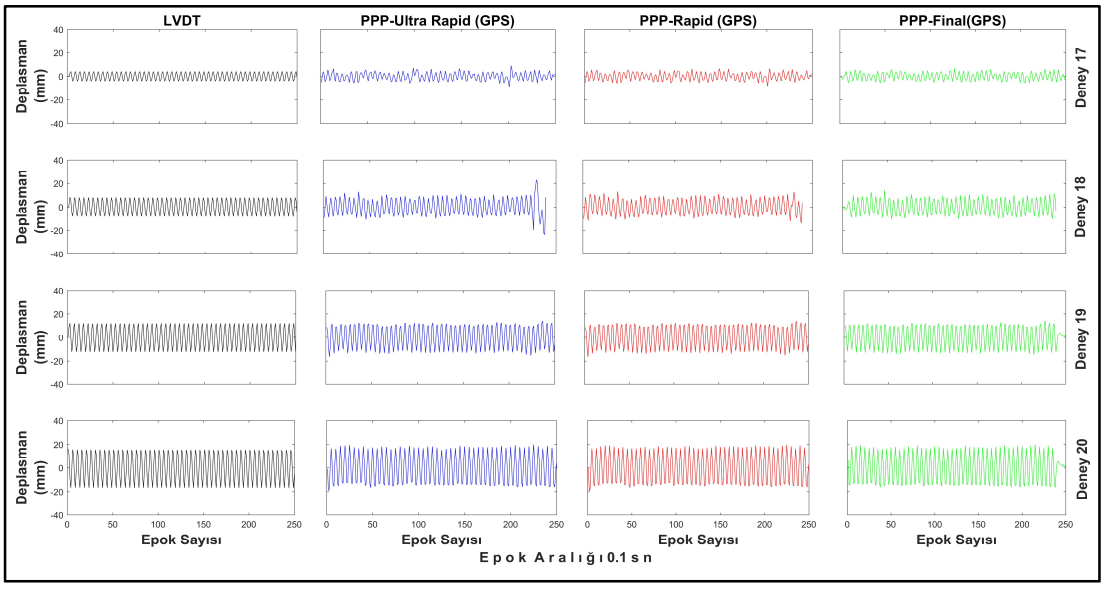
Şekil 5.57: El-Centro Depreminden Elde Edilen Zaman Serilerinin Farkları (30°).

5.4.3. Emu-Ultra Rapid, Rapid ve IGS-Final Yörünge ve Uydu Saat Hataları Düzeltmelerinin Karşılaştırılması

Tezin bu bölümünde, 10°'lik uydu görüşü altında elde edilen Emu-Ultra Rapid-, Rapid ve IGS-Final yörünge ve uydu saat hataları düzeltmelerinden elde edilen GPS ve GPS/GLONASS çözümlerinin aralarındaki farkların anlamlı olup olmadığı incelenecektir. Çözümlerin yapılması adına deneyin sonlandırılmasından sırasıyla 2 saat, 1 gün ve 13 gün sonra 10° uydu görüşüne sahip olan veriler CSRS-PPP servisine gönderilmiş, EMU-Ultra Rapid, Rapid ve IGS-Final çözümleri gerçekleştirilmiştir. Verilerin örneklem aralığı 10 Hz (0.1 sn)'dir. Çalışmanın bu

bölümünde üç farklı PPP çözümünün verileri GPS ve GPS/GLONASS olarak ayrı ayrı incelenecektir. Önceki Bölümlerden farklı olarak 24 farklı durumu tek tek açıklamak yerine rastgele seçilen 4 durumun zaman serileri ve FFT spektrumları incelenecek, 24 farklı durumun GPS ve GPS/GLONASS çözümlerinin FFT spektrumlarında yakalanan frekans ve genlik değerleri iki farklı tablo halinde verilecek ve yakalanan genlik değelerinin bar histogramları da iki farklı şekil halinde incelenecektir.

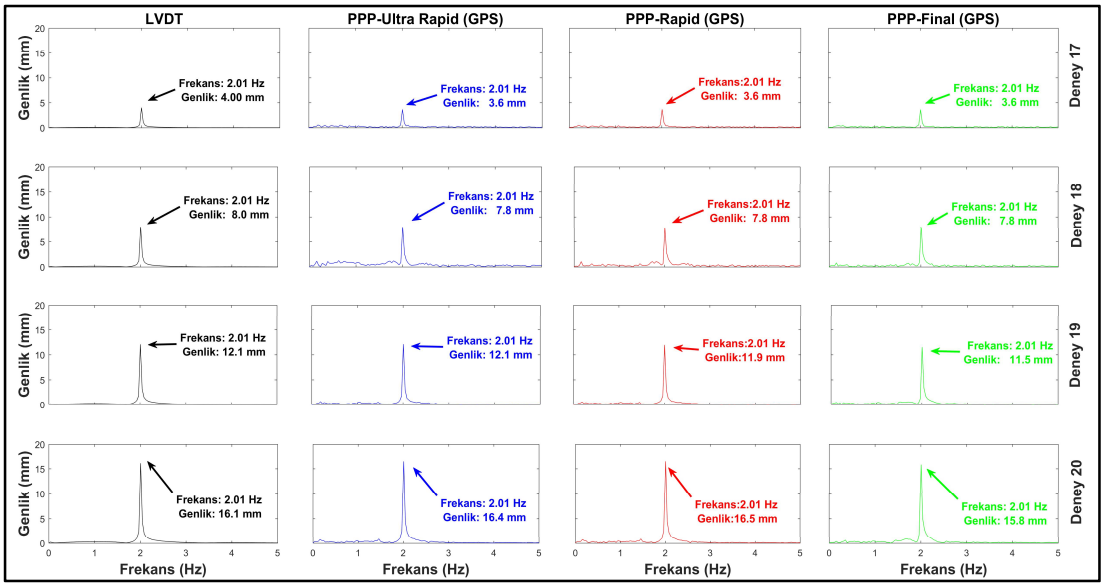
Şekil 5.58; 17, 18,19 ve 20. durumların Ultra Rapid, Rapid ve Final ürünlerinin GPS çözümlerinden elde edilen deplasman hareketlerini içermektedir. Deney süresi 25 sn olmakla beraber, mavi renk Ultra-Rapid'i, kırmızı renk Rapid'i ve yeşil renk Final çözümlerini ifade etmektedir. Durumlardaki sarsma tablasından üretilen frekans değerleri 2.0 Hz olmakla beraber genlik değerleri sırasıyla 5, 10, 15, 20 mm'dir. Şekil göstermektedir ki, 17. ve 18. Durumların zaman Ultra Rapid ve Rapid çözümlerinde bir takım bozulmalar meydana gelmiştir. Genel olarak çözümlerin tutarlı olduğu söylenebilir.



Şekil 5.58: 17, 18, 19 ve 20. Durumların Ultra Rapid, Rapid ve Final karşılaştırılmaları.

Şekil 5.59, 17, 18,19 ve 20. durumların Ultra Rapid, Rapid ve Final ürünlerinin GPS çözümlerinden elde edilen deplasman hareketlerinin FFT spektrumlarını içermektedir. Şekil incelendiğinde, tüm çözümler için yakalanan frekans ve genlik değerlerinin LVDT verileriyle tutarlı olduğu görülmektedir. 17. Ve

18. Durumlarda üç çözümde de yakalanan genlik değerlerinin birbirleriyle aynı olduğu ve LVDT verilerinden farklarının 0.4 mm olduğu görülmektedir. 17. Ve 18. Durumlar göz önünde alındığında ise, üç farklı çözümden elde edilen genlik değerlerinin -0.6 mm ile 0.4 mm arasında değiştiği gözlemlenmektedir.



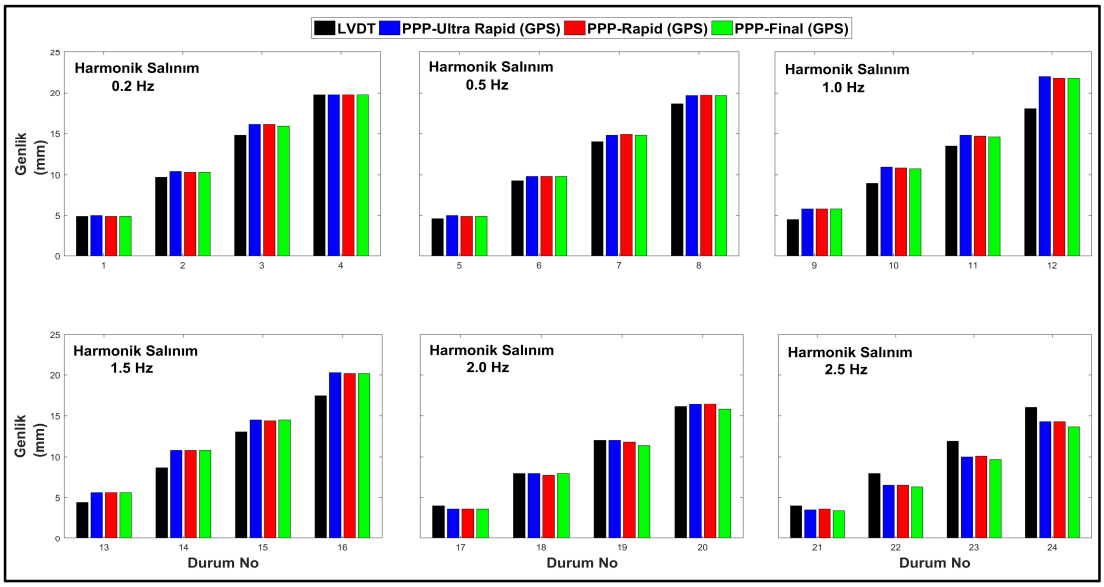
Şekil 5.59: 17, 18, 19 ve 20. Durumların Ultra Rapid, Rapid ve Final çözümlerinin FFT karşılaştırılmaları.

Tablo 5.6, 24 durumun FFT spektrumlarından elde edilen frekans ve genlik değerlerini içerirken, Şekil 5.60, 24 farklı durumdan elde edilen genlik değerlerinin bar histogramlarını içermektedir. Tablo ve şekil incelendiğinde açıkça görülmektedir ki, üç farklı yöntemden elde edilen frekans değerleri LVDT verileri ile tutarlılık içindedir. Ultra Rapid çözümlerinden elde edilen genlik değerlerinin LVDT verileriye -2 mm ile +4 mm, Rapid çözümlerinden elde edilen genlik değerlerinin LVDT verileriye 1.9 mm ile 3.8 mm, Final çözümlerinden elde edilen genlik değerlerinin LVDT verileriye -3.3 mm ile 3.8 mm arasında farklılıklar içerdiği görülmektedir. Elde edilen bulgular sonucunda üç farklı üründen elde edilen çözümler arasında anlamlı bir fark görülmemektedir.

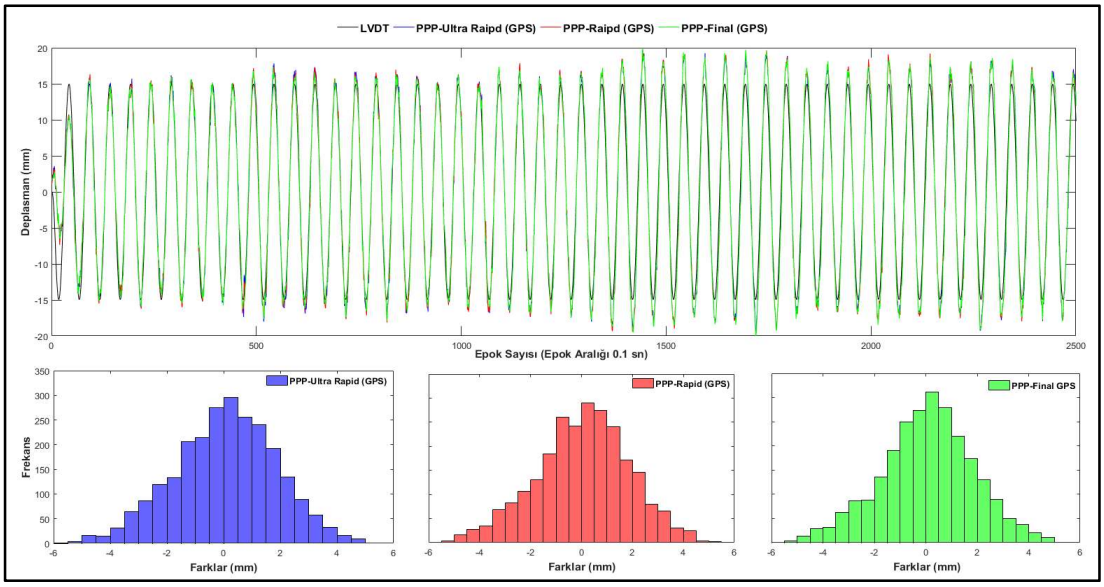
Şekil 5.61, 3. Durum için üç farklı üründen elde edilen zaman serilerinin, LVDT verilerinden elde edilen zaman serileri arasındaki farkların histogramını göstermektedir. 3 durumda da farklar genellikle -5 ile 5 mm arasında değişmekte ve normal dağılım izlemektedir. Histogram değerleri açıkça göstermektedir ki, üç farklı ürün arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır.

Tablo 5.6: Tüm Durumlar için Yakalanan Genlik ve Frekans Değerleri (Ultra-Rapid, Rapid, Final (GPS)).

Durum No	*Verilen Salınım Frekansı (Hz)*	*Verilen Salınım Genliği (mm)*	*LVDT*		*PPP- Ultra Rapid (GPS)*		*PPP-Rapid (GPS)*		*PPP-Final (GPS)*	
			Salınım Frekansı (Hz)	*Salınım Genliği (mm)*	*Salınım Frekansı (Hz)*	*Salınım Frekansı (Hz)*	*Salınım Genliği (mm)*	*Salınım Genliği (mm)*	*Salınım Frekansı (Hz)*	*Salınım Genliği (mm)*
1	0.20	5	0.20	4.9	0.20	5.0	0.20	4.9	0.20	4.9
2	0.20	10	0.20	9.7	0.20	10.4	0.20	10.3	0.20	10.3
3	0.20	15	0.20	14.8	0.20	16.1	0.20	16.1	0.20	15.9
4	0.20	20	0.20	19.8	0.20	19.8	0.20	19.8	0.20	19.8
5	0.50	5	0.50	4.6	0.50	5.0	0.50	4.9	0.50	4.9
6	0.50	10	0.50	9.3	0.50	9.8	0.50	9.8	0.50	9.8
7	0.50	15	0.50	13.9	0.50	14.8	0.50	14.9	0.50	14.8
8	0.50	20	0.50	18.6	0.50	19.6	0.50	19.7	0.50	19.6
9	1.00	5	1.00	4.5	1.00	5.8	1.00	5.8	1.00	5.8
10	1.00	10	1.00	9.0	1.00	10.9	1.00	10.8	1.00	10.7
11	1.00	15	1.00	13.4	1.00	14.8	1.00	14.7	1.00	14.6
12	1.00	20	1.00	18.0	1.00	22.0	1.00	21.8	1.00	21.8
13	1.50	5	1.51	4.4	1.51	5.7	1.51	5.7	1.51	5.7
14	1.50	10	1.51	8.7	1.51	10.8	1.51	10.8	1.51	10.8
15	1.50	15	1.51	13.1	1.51	14.5	1.51	14.4	1.51	14.5
16	1.50	20	1.51	17.5	1.51	20.3	1.51	20.2	1.51	20.2
17	2.00	5	2.01	4.0	2.01	3.6	2.01	3.6	2.01	3.6
18	2.00	10	2.01	8.0	2.01	8.0	2.01	7.8	2.01	8.0
19	2.00	15	2.01	12.1	2.01	12.1	2.01	11.9	2.01	11.5
20	2.00	20	2.01	16.1	2.01	16.4	2.01	16.5	2.01	15.8
21	2.50	5	2.52	4.0	2.52	3.5	2.52	3.6	2.52	3.4
22	2.50	10	2.52	8.0	2.52	6.6	2.52	6.6	2.52	6.4
23	2.50	15	2.52	12.0	2.52	10.0	2.52	10.1	2.52	9.7
24	2.50	20	2.52	16.0	2.52	14.3	2.52	14.3	2.52	13.7

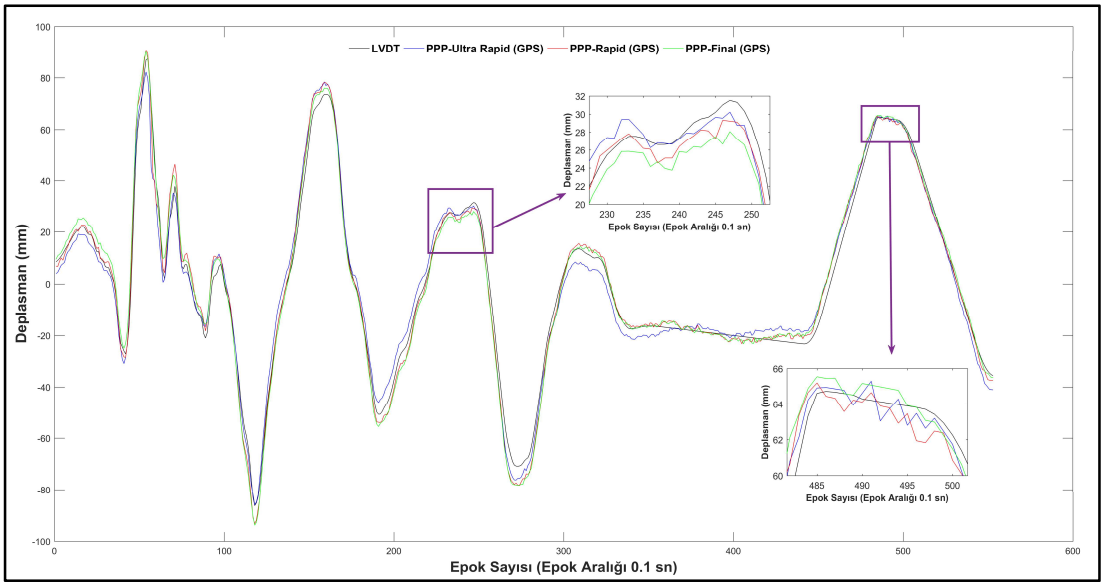


Şekil 5.60: Tüm Durumlar için Yakalanan Genlik Değerleri (Ultra-Rapid, Rapid, Final (GPS)).

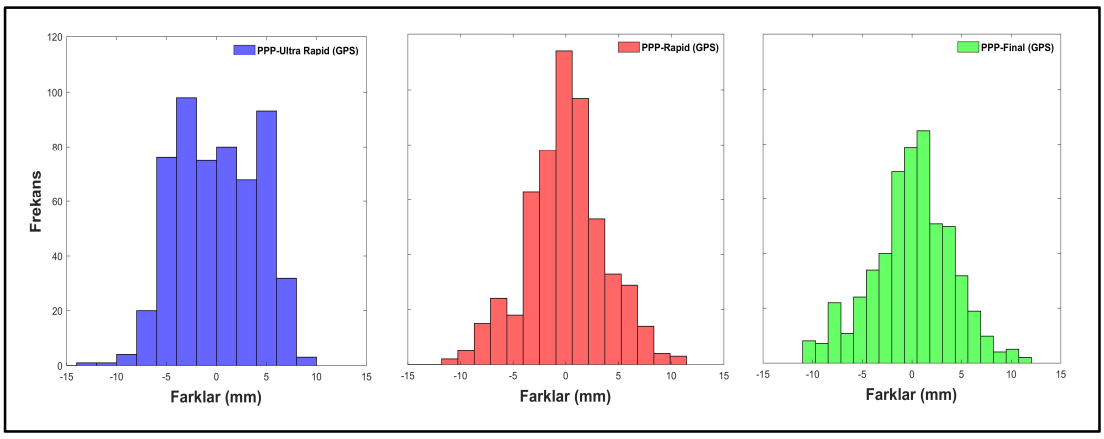


Şekil 5.61: 3. Durumda yakalanan genlik değerlerinin LVDT verilerinden farkları (Ultra-Rapid, Rapid, Final (GPS)).

IGS ve EMU ürünlerinin performansını irdelemek adına, üç farklı ürünün LVDT verileri ile arasındaki farkların histogramı Şekil 5.63'de gösterilmektedir. EMU Ultra Rapid çözümlerinden elde edilen yer değiştirme dalga formlarının LVDT'den farklı olduğu ve -10 ila +10 mm arasında değiştiği görülmektedir. Rapid ürününden elde edilen çöüzmlerin ve LVDT verilerinden elde edilen farkların ise sıfır etrafına toplandığı, gauss hata dağılımına uyduğu ve -10 ila +10 mm arasında farklılık gösterdiği görülmektedir. IGS-Final çözümlerinden elde edilen farklar ise diğer iki ürün çözümlerine benzer bir şekilde -10 mm ile +10 mm arasında dağıldığı görülmektedir. Üç farklı üründen elde edilen çözümlerin LVDT verileri arasındaki farklarında gauss hata dağılımına uyduğu görülmektedir. Histogramlara bakıldığında, ürünler arasında anlamlı bir fark görülmemektedir.

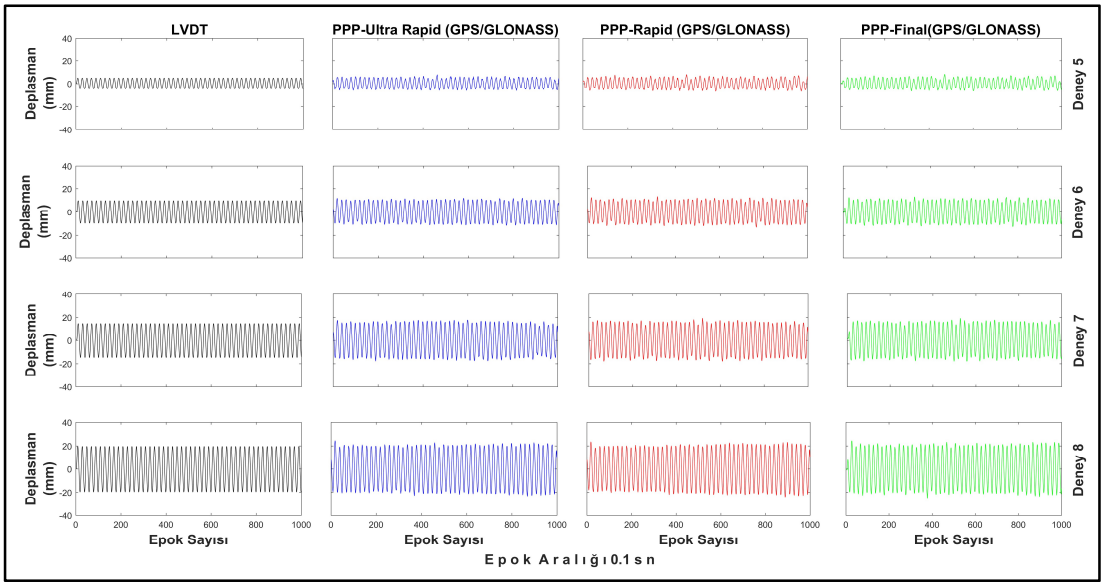


Şekil 5.62: El-Centro Deprem simülasyonundan elde edilen EMU-Ultra Rapid, Rapid ve IGS-Final ürünlerinden elde edilen yer değiştirmenin karşılaştırılması (GPS).



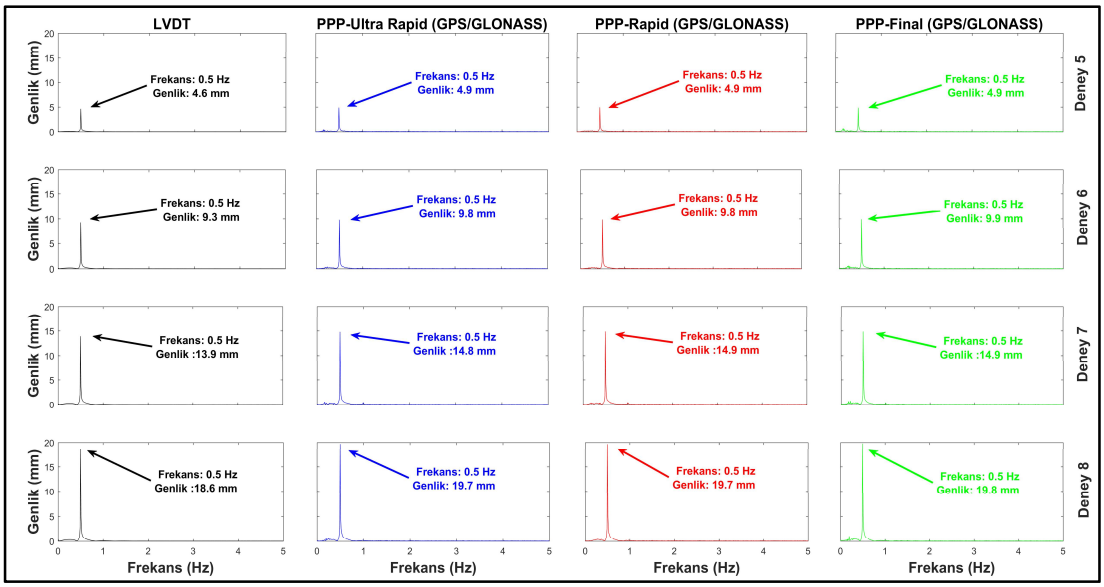
Şekil 5.63: El-Centro Depreminden Elde Edilen Zaman Serilerinin Farkları (EMU-Ultra Rapid, Rapid, Final (GPS)).

Şekil 5.64; 5, 6, 7 ve 8. durumların Ultra Rapid, Rapid ve Final ürünlerinin GPS/GLONASS çözümlerinden elde edilen deplasman hareketlerini içermektedir. Deney süresi 100 sn olmakla beraber, mavi renk Ultra-Rapid'i, kırmızı renk Rapid'i ve yeşil renk Final çözümlerini ifade etmektedir. Durumlardaki sarsma tablasından üretilen frekans değerleri 0.5 Hz olmakla beraber genlik değerleri sırasıyla 5, 10, 15, 20 mm'dir. Şekil göstermektedir ki, çözümler LVDT verileri ile oldukça tutarlıdır



Şekil 5.64: 5, 6, 7 ve 8. Durumların Ultra Rapid, Rapid ve Final karşılaştırılmaları.

Şekil 5.65, 5, 6, 7 ve 8. durumların Ultra Rapid, Rapid ve Final ürünlerinin GPS/GLONASS çözümlerinden elde edilen deplasman hareketlerinin FFT spektrumlarını içermektedir. Şekil incelendiğinde, tüm çözümler için yakalanan frekans ve genlik değerlerinin LVDT verileriyle tutarlı olduğu ve üç üründen elde edilen çözümlerin birbirleriyle uyuştuğu görülmektedir.

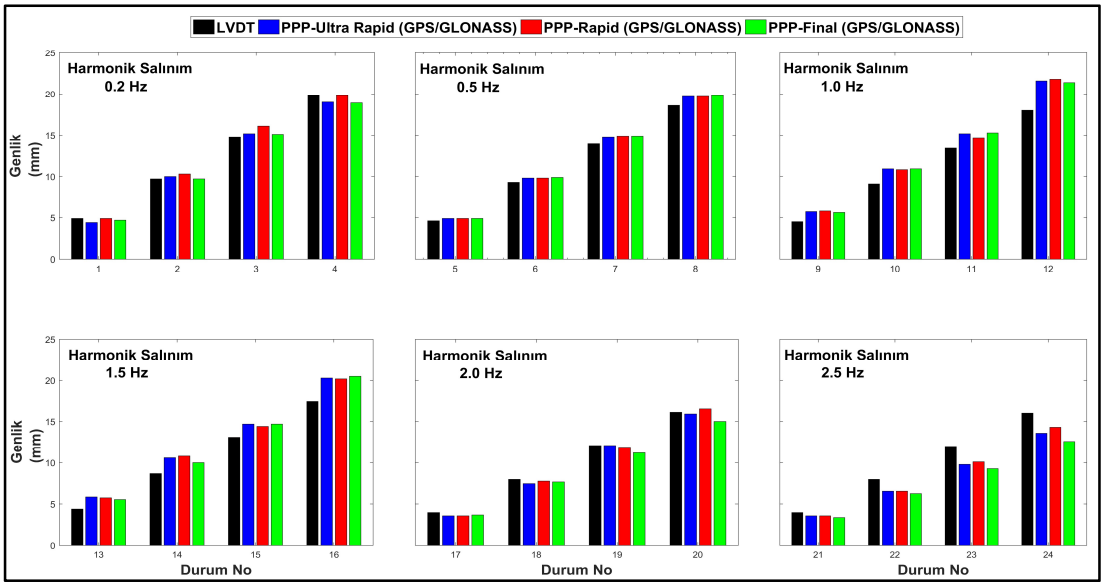


Şekil 5.65: 5, 6, 7 ve 8. Durumların Ultra Rapid, Rapid ve Final çözümlerinin FFT karşılaştırılmaları.

Tablo 5.7, 24 durumun FFT spektrumlarından elde edilen frekans ve genlik değerlerini içerirken, Şekil 5.66, 24 farklı durumdan elde edilen genlik değerlerinin bar histogramlarını içermektedir. Tablo ve şekil incelendiğinde açıkça görülmektedir ki, üç farklı yöntemden elde edilen frekans değerleri LVDT verileri ile tutarlılık içindedir. Ultra Rapid çözümlerinden elde edilen genlik değerlerinin LVDT verileriye -2.4 mm ile +3.6 mm, Rapid çözümlerinden elde edilen genlik değerlerinin LVDT verileriye -1.9 mm ile 3.8 mm, Final çözümlerinden elde edilen genlik değerlerinin LVDT verileriye -3.4 mm ile 3.4 mm arasında farklılıklar içerdiği görülmektedir. Elde edilen bulgular sonucunda üç farklı üründen elde edilen çözümler arasında anlamlı bir fark görülmemektedir.

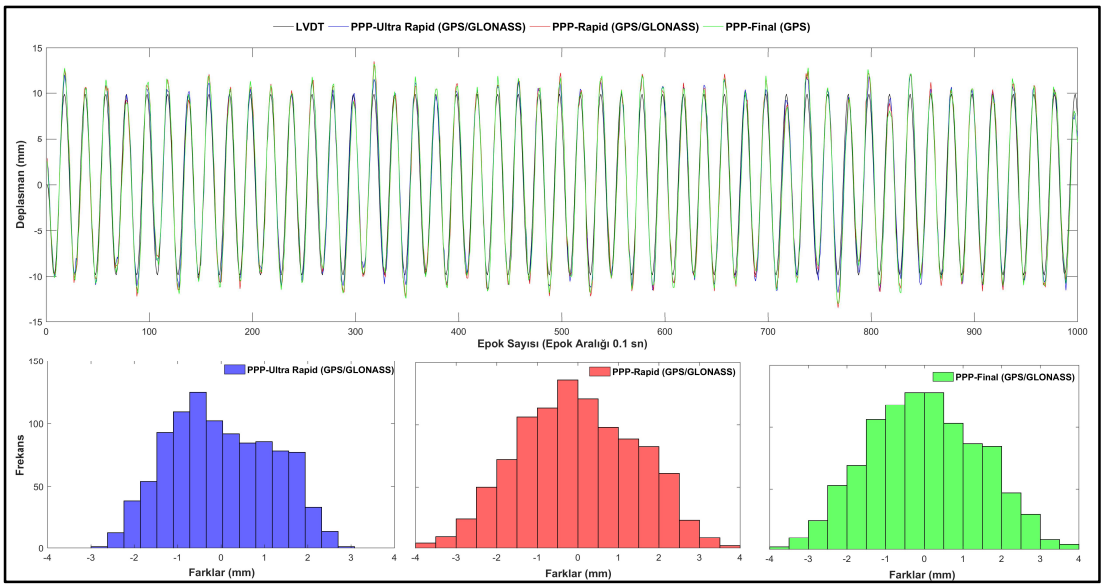
Tablo 5.7: Tüm Durumlar için Yakalanan Genlik ve Frekans Değerleri (Ultra-Rapid, Rapid, Final (GPS/GLONASS)).

Durum No	*Verilen Salınım Frekansı (Hz)*	*Verilen Salınım Genliği (mm)*	*LVDT*		*PPP- Ultra Rapid (GPS/GLONASS)*		*PPP-Rapid (GPS/GLONASS)*		*PPP-Final (GPS/GLONASS)*	
			Salınım Frekansı (Hz)	*Salınım Genliği (mm)*	*Salınım Frekansı (Hz)*	*Salınım Frekansı (Hz)*	*Salınım Genliği (mm)*	*Salınım Genliği (mm)*	*Salınım Frekansı (Hz)*	*Salınım Genliği (mm)*
1	0.20	5	0.20	4.9	0.20	4.4	0.20	4.9	0.20	4.7
2	0.20	10	0.20	9.7	0.20	10.0	0.20	10.3	0.20	9.7
3	0.20	15	0.20	14.8	0.20	15.2	0.20	16.1	0.20	15.1
4	0.20	20	0.20	19.8	0.20	19.0	0.20	19.8	0.20	18.9
5	0.50	5	0.50	4.6	0.50	4.9	0.50	4.9	0.50	4.9
6	0.50	10	0.50	9.3	0.50	9.8	0.50	9.8	0.50	9.9
7	0.50	15	0.50	13.9	0.50	14.8	0.50	14.9	0.50	14.9
8	0.50	20	0.50	18.6	0.50	19.7	0.50	19.7	0.50	19.8
9	1.00	5	1.00	4.5	1.00	5.7	1.00	5.8	1.00	5.6
10	1.00	10	1.00	9.0	1.00	10.9	1.00	10.8	1.00	10.9
11	1.00	15	1.00	13.4	1.00	15.2	1.00	14.7	1.00	15.3
12	1.00	20	1.00	18.0	1.00	21.6	1.00	21.8	1.00	21.4
13	1.50	5	1.51	4.4	1.51	5.8	1.51	5.7	1.51	5.5
14	1.50	10	1.51	8.7	1.51	10.6	1.51	10.8	1.51	10.0
15	1.50	15	1.51	13.1	1.51	14.7	1.51	14.4	1.51	14.7
16	1.50	20	1.51	17.5	1.51	20.3	1.51	20.2	1.51	20.5
17	2.00	5	2.01	4.0	2.01	3.6	2.01	3.6	2.01	3.7
18	2.00	10	2.01	8.0	2.01	7.5	2.01	7.8	2.01	7.7
19	2.00	15	2.01	12.1	2.01	12.1	2.01	11.9	2.01	11.2
20	2.00	20	2.01	16.1	2.01	15.9	2.01	16.5	2.01	15.0
21	2.50	5	2.52	4.0	2.52	3.6	2.52	3.6	2.52	3.4
22	2.50	10	2.52	8.0	2.52	6.6	2.52	6.6	2.52	6.2
23	2.50	15	2.52	12.0	2.52	9.8	2.52	10.1	2.52	9.3
24	2.50	20	2.52	16.0	2.52	13.6	2.52	14.3	2.52	12.6



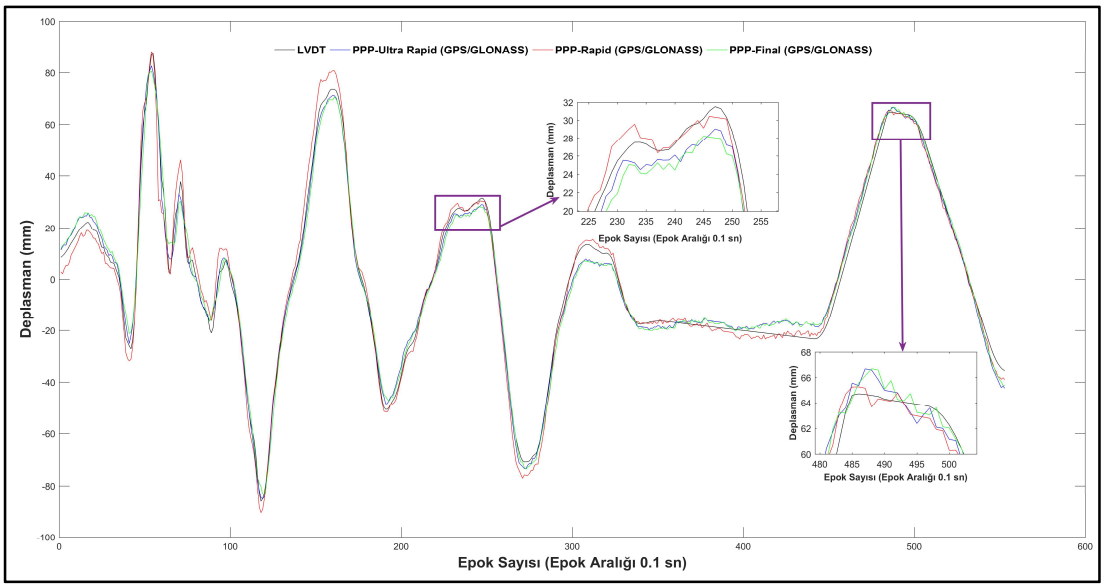
Şekil 5.66: Tüm Durumlar için Yakalanan Genlik Değerleri (Ultra-Rapid, Rapid, Final (GPS/GLONASS)).

Şekil 5.67, 6. Durum için üç farklı üründen elde edilen zaman serilerinin, LVDT verilerinden elde edilen zaman serileri arasındaki farkların histogramını göstermektedir. 3 durumda da farklar genellikle -4 ile 4 mm arasında değişmekte ve normal dağılım izlemektedir. Histogram değerleri açıkça göstermektedir ki, üç farklı ürün arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır.



Şekil 5.67: 6. Durumda yakalanan genlik değerlerinin LVDT verilerinden farkları (Ultra-Rapid, Rapid, Final (GPS/GLONASS)).

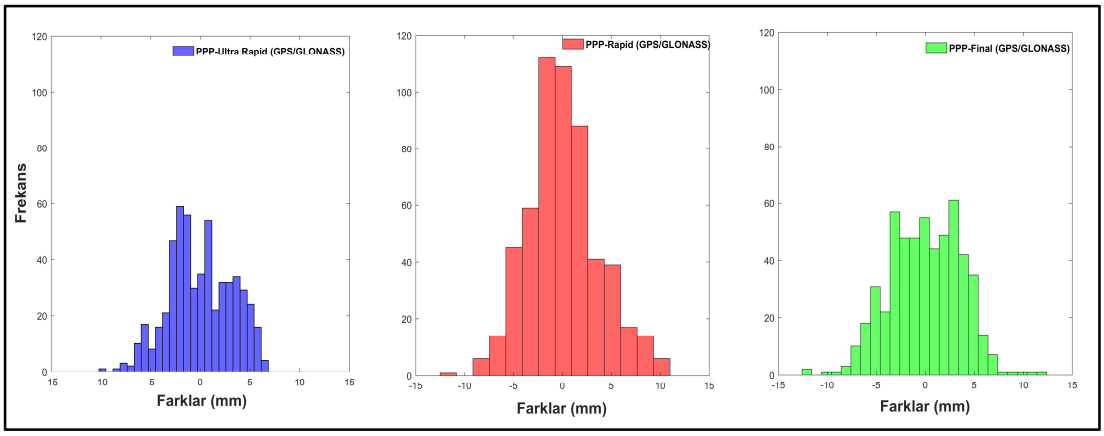
Şekil 5.68, 10°'lik uydu görüşü altında üç farklı yörünge ve saat hatası düzeltmelerinden elde edilen PPP-GPS/GLONASS çözümlerinin El-Centro depreminin zaman serisini göstermektedir. Şekil, LVDT ve Ultra Rapid, Rapid ve Final ürünlerinden elde edilen karşılaştırmaları, GPS/GLONASS çözümleriyle göstermektedir. Üç üründen tahmin edilen yer değiştirme dalga formlarının dinamik yer hareketini yakalama açısından büyük ölçüde tutarlı olduğu görülebilir. Rapid ürününden elde edilen çözümlerin, diğer yöntemlere kıyasla LVDT verilerine daha yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 5.68: El-Centro Deprem simülasyonundan elde edilen EMU-Ultra Rapid, Rapid ve IGS-Final ürünlerinden elde edilen yer değiştirmenin karşılaştırılması (GPS/GLONASS).

IGS ve EMU ürünlerinin performansını irdelemek adına, üç farklı ürünün LVDT verileri ile arasındaki farkların histogramı Şekil 5.69'da gösterilmektedir. EMU Ultra Rapid çözümlerinden elde edilen yer değiştirme dalga formlarının LVDT'den farklı olduğu ve -10 mm ila 10 mm arasında değiştiği görülmektedir. Final ürününden elde edilen çöüzmlerin ve LVDT verilerinden elde edilen farkların ise sıfır etrafına toplandığı, gauss hata dağılımına uyduğu ve -10 ila +10 mm arasında farklılık gösterdiği görülmektedir. Rapid çözümlerinden elde edilen farklar ise diğer iki ürün çözümlerine benzer bir şekilde -10 mm ile +10 mm arasında dağıldığı görülmektedir. Üç farklı üründen elde edilen çözümlerin LVDT verileri arasındaki

farklarında gauss hata dağılımına uyduğu görülmektedir. Histogramlara bakıldığında, ürünler arasında anlamlı bir fark görülmemektedir.



Şekil 5.69: El-Centro Depreminden Elde Edilen Zaman Serilerinin Farkları (EMU-Ultra Rapid, Rapid, Final (GPS/GLONASS)).

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında Yüksek Frekanslı Kinematik GNSS-PPP yönteminin uydu görüşünün kısıtlı olması durumunda yapı sağlığı izlemelerinde ve sismojeodezik uygulamalarındaki performansının bir araştırması yapılmıştır. Çalışma ile yatay yönlü dinamik salınım özelliği taşıyan mühendislik yapılarında ve deprem, tsunami gibi doğal afetler için kurulacak erken uyarı sistemlerinde Yüksek Frekanslı Kinematik GNSS-PPP yönteminin kullanılabilirliğini test etmeyi amaçlamıştır, bu nedenle yatay yönde harmonik salınımların ve insanlık tarihinde gerçekleşen depremlerin simülasyonuna olanak veren sarsma tablası kullanılarak 24 farklı harmonik salınım deneyi ve El-Centro deprem simülasyonu tasarlanmıştır. 0.2 Hz ile 2.5 Hz frekans aralığında ve 5, 10, 15 ve 20 mm genlik aralığına sahip harmonik salınımlar incelenmiş ve El-Centro depremi simüle edilmiş, PPP yöntemi Rölatif yöntem ve LVDT verileriyle karşılaştırılmıştır. EMU-Ultra Rapid, Rapid ve IGS-Final çözümleriyle elde edilen PPP çözümlerinin ve Rölatif yöntemle elde edilen deplasman hareketlerinin zaman serileri LVDT verileriyle karşılaştırıldığında bir takım dalgalanmalar içerdiği tespit edilmiştir. Bu tez kapsamında Yüksek Frekanslı Kinematik PPP yönteminin mühendislik yapılarının doğal frekans ve genliklerini yakalayabilme kapasitesi incelendiğinden bu tür dalgalanmalar pek de önemli değildir. Bu nedenden dolayı, dalgalanmaların ortadan kaldırılması amacıyla elde edilen çözümlere Butterworth yüksek geçirgen filtre uygulanarak elemine edilmiştir. Bu işlemden sonra üç farklı yöntemin karşılaştırılması amacıyla 10°, 20° ve 30°'lik uydu görüşü altında elde edilen deplasman hareketleri ve FFT spektrumları analiz edilmiştir. Yapılan incelemelerde PPP yönteminin rölatif yöntem ve LVDT verileri ile uyumlu bir hareket sergilediği görülmüştür.

10°'lik uydu görüşü altında elde edilen çözümler incelendiğinde Rölatif-GPS çözümlerinden yakalanan sıçrama frekanslarının genlik değerlerinin LVDT verilerinden elde edilen genlik değerlerinden farklarının -1 mm ile 6.5 mm arasında değiştiği, Rölatif-GPS/GLONASS çözümlerinin ise -0.8 mm ile 6.2 mm arasında değiştiği tespit edilmiştir. PPP-GPS çözümlerinden elde edilen genlik değerlerinin LVDT verilerinden elde edilen genlik değerlerinden farklarının -2.3 mm ile 2.7 mm arasında değiştiği gözlemlenirken, PPP-GPS/GLONASS çözümlerinin ise ± 3.4 mm arasında değiştiği görülmüştür.

20°'lik uydu görüşü altında elde edilen çözümler incelendiğinde Rölatif-GPS

çözümlerinden yakalanan sıçrama frekanslarının genlik değerlerinin LVDT verilerinden elde edilen genlik değerlerinden farklarının -1.5 mm ile 9.6 mm arasında değiştiği, Rölatif-GPS/GLONASS çözümlerinin ise -0.8 mm ile 8.1 mm arasında değiştiği tespit edilmiştir. PPP-GPS çözümlerinden elde edilen genlik değerlerinin LVDT verilerinden elde edilen genlik değerlerinden farklarının -2.0 mm ile 7.3 mm arasında değiştiği gözlemlenirken, PPP-GPS/GLONASS çözümlerinin ise -1.0 mm ile 4.9 mm arasında değiştiği görülmüştür.

30°'lik uydu görüşü altında elde edilen çözümler göz önüne alındığında, tasarlanan 24 farklı harmonik salınım testlerinin 16 tanesinde hem Rölatif hem de PPP yöntemlerinde GPS çözümleri yapılamamıştır. Çözümü gerçekleştirilen durumlar göz önüne alındığında, Rölatif-GPS çözümlerinden yakalanan yakalanan sıçrama frekanslarının genlik değerlerinin LVDT verilerinden elde edilen genlik değerlerinden farklarının -0.6 mm ile 8.3 mm arasında değiştiği, Rölatif-GPS/GLONASS çözümlerinin ise –1.6 mm ile 7.2 mm arasında değiştiği tespit edilmiştir. PPP-GPS çözümlerinden elde edilen genlik değerlerinin LVDT verilerinden elde edilen genlik değerlerinden farklarının -0.7 mm ile 6.0 mm arasında değiştiği gözlemlenirken, PPP-GPS/GLONASS çözümlerinin ise ± 3.8 mm arasında değiştiği görülmüştür.

Uydu görüşünün biraz sınırlı (20°) ve kısıtlı (30°) olması durumunda yapılan harmonik salınım incelemeleri göz önüne alındığında görülmüştür ki GLONASS uydularının çözümlere katkısı anlamlıdır. Uydu görüşünün biraz sınırlı olması durumunda PPP yönteminden elde edilen genlik değerlerinde ciddi bir iyileşme söz konusu iken, uydu görüşünün kısıtlı olması durumunda gerçekleştirilemeyen GPS çözümleri GLONASS uydularının katkısı ile gerçekleştirilmiştir

10°'lik uydu görüşü altında elde edilen El-Centro deprem simülasyonunun sonuçları incelendiğinde ise Rölatif-GPS ve Rölatif GPS/GLONASS çözümünden elde edilen zaman serisinin LVDT verilerinden elde zaman serisi farklarının ± 5 mm tespit edilmiştir. PPP-GPS ve PPP-GPS/GLONASS zaman serisinin LVDT verilerinden elde zaman serisi farklarının ise ± 10 mm arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

20°'lik uydu görüşü altında elde edilen El-Centro deprem simülasyonunun sonuçları incelendiğinde ise Rölatif-GPS ve Rölatif GPS/GLONASS çözümünden elde edilen zaman serisinin LVDT verilerinden elde zaman serisi farklarının ± 5 mm tespit edilmiştir. PPP-GPS çözümlerinden elde edilen zaman serisinin LVDT

verilerinden elde zaman serisi farklarının ± 15 mm arasında değiştiği tespit edilirken, PPP-GPS/GLONASS zaman serisinin LVDT verilerinden elde zaman serisi farklarının ise ± 10 mm arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

30°'lik uydu görüşü altında elde edilen El-Centro deprem simülasyonunun sonuçları incelendiğinde ise Rölatif-GPS ve Rölatif GPS/GLONASS çözümünden elde edilen zaman serisinin LVDT verilerinden elde zaman serisi farklarının ±10 mm tespit edilmiştir. PPP-GPS çözümlerinden elde edilen zaman serisinin LVDT verilerinden elde zaman serisi farklarının ± 15 mm arasında değiştiği tespit edilirken, PPP-GPS/GLONASS zaman serisinin LVDT verilerinden elde zaman serisi farklarının ise ± 10 mm arasında değiştiği gözlemlenmiştir

Uydu görüşünün biraz sınırlı (20°) ve kısıtlı (30°) olması durumunda yapılan sismojeodezik incelemeler göz önüne alındığında görülmüştür ki GLONASS uydularının çözümlere katkısı anlamlıdır. Uydu görüşünün biraz sınırlı ve kısıtlı olması durumunda PPP yönteminden elde edilen zaman serilerinin GPS/GLONASS çözümlerinin LVDT verilerinden farkları daha düşük bir şekilde ortaya çıkmıştır.

Bu tez kapsamında ayrıca, dinamik salınımların yakalanma kabiliyeti açısından EMU Ultra-Rapid, Rapid ve IGS-Final ürünleri arasında anlamlı bir fark olmadığı ortaya çıkarılmıştır. Bu analiz şunu ortaya çıkarmıştır ki herhangi bir mühendislik yapısının doğal frekansında bir değişlik olması durumunda, olayın gerçekleşmesinden 90 dakika sonra EMU-Ultra Rapid yörünge ve saat hatası düzeltme ürünleri kullanılarak PPP yöntemiyle toplanan veriler analiz edilebilir

Bu tez kapsamında yapılan çalışmaların nihai sonuçları, PPP yönteminin referans alınan LVDT verileri ve Rölatif çözümleri ile oldukça tutarlı olduğunu, yapı sağlığı izlemeleri ve sismojeodezik uygulamalarda kullanılabileceğini açıkça göstermiştir. Özellikle uydu görşünün kısıtlı olması durumunda GPS/GLONASS'lı PPP çözümünün yalnızca GPS-PPP'li çözümden daha üstün olduğu açıktır. Sonuçlar göz önüne alınarak, söz konusu çalışmaların en az GPS ve GLONASS uydu verilerini toplayabilen GNSS alıcıları ile yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Abdallah M., (2016), "Precise Point Positioning for Kinematic Applications to Improve Hydrographic Survey", Doctoral Thesis, University of Stuttgart.

Abd-Elazeem M., Farah A., Farrag A. F., (2011), "Assessment Study of Using Online (CSRS) GPS-PPP Service for Mapping Applications in Egypt", Journal of Geodetic Science, 1(3), 223-239.

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 Mw6.3 L'Aquila. (central Italy) event" Journal Of Geophysıcal Research, 116, B02305.

Bar-Sever Y., Kroger P. M., (1998), "Estimating horizontal gradients of tropospheric path delay with a single GPS receiver", Journal of Geophysıcal Research:Solid Earth, 103(3), 5019-5035.

Bassırı S., Hajj G., (1993), "Higher-order ionospheric effects on the GPS observables and means of modeling them", Manuscripta geodaetica, Springer-Verlag, 18(5), 280-289.

Bossler J.D., Goad C.C., Bender P.L., (1980), "Using the Global Positioning System (GPS) for geodetic positioning", Bulletin Géodésique. 54 (4), 553–563.

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

Counselman C.C., Shapiro I.I., (1979), "Miniature interferometer terminals for earth surveying", Bulletin Géodésique, 53(2), 139–163.

El-Rabbany A. (2002), "Introduction to GPS, the Global Positioning System", 5th Edition, Artech House.

Eralp G., (2017), "GNSS hassas nokta konumlama tekniğinin düşey yönlü yapısal titreşimlerin ölçülmesinde kullanılabilirliğinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.

Genrich J.F., Bock Y., (2006), "Instantaneous geodetic positioning with 10–50 Hz GPS measurements: noise characteristics and implications for monitoring networks", Journal Of Geophysıcal Research, 111, B03403.

Guo Q., (2015), "Precision comparison and analysis of four online free PPP services in static positioning and tropospheric delay estimation", GPS Solutions, 19, 537–544

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

Hefty J., Gerha´tova´ L., (2012), "Potential of precise point positioning using 1 Hz GPS data for detection of seismicrelated displacements", Acta Geodynamica et Geomaterialia, 9 (3), 303–313.

Hirahara K., Nakano T., Hoso Y., Matsuo S., Obana K., (1994), "An experiment for GPS strain seismometer", Japanese Symposium on GPS, Tokyo, Japan, 15–16 December, pp. 67–75.

Hoffmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J., (2000), "GPS: Theory and Practice", 4th Edition, Springer-Ver-lag/Wien New York.

Jentzsch G., (1997), Tidal Phenomena In: Wilhelm H., Zürn W., Wenzel HG. (eds) "Earth tides and ocean tidal loading", vol 66. Springer, Berlin, Heidelberg

Ji C., Larson K.M., Tan Y., Hudnut K.W., Choi K.H., (2004), "Slip history of the 2003 San Simeon earthquake constrained by combining 1-Hz GPS, strong motion, and teleseismic data" Geophysical Research Letters, 31, L17608.

Kahveci M., Yıldız F., (2012), "GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri", Güncellenmiş 5. Basım, Nobel Yayın Dağıtım.

Kaplan E., Hegarty C., (2006), "Understan-ding GPS Principles and Applications" 2nd edition, Artech House, U.S.A.

Kato T., Terada Y., Kinoshita M., Kakimoto H., Isshiki H., Matsuishi M., Yokoyama A., Tanno T., (2000), "Real-time observation of tsunami by RTK-GPS", Earth, Planets and Space, 52, 841–845.

Keder S., Hajj, G., Wılson B., Heflın M., (2003), "The effect of the second order GPS ionospheric correction on receiver positions", Geophysical Research Letters, 30(16), 1829

Kouba J., (2009), "A Guide to Using International GNSS Service (IGS) Products", 1st Edition, Geodetic Survey Division-Natural Resources Canada.

Kouba J., Heroux P., (2001), "Precise point positioning using IGS orbit and clock products", GPS Solutions, 5(2), 12-28.

Kouba, J., (2003), "Measuring seismic waves induced by large earthquakes with GPS", Studia Geophysica et Geodaetica, 47 (4), 741–755.

Landau H., Chen X., Klose S., Leandro R., Vollath U., (2007), "Trimble's RTK and DGPS solutions in comparison with precise point positioning", In: Observing our changing earth, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg: 709-718.

Larson K.M., Bodin P., Gomberg J., (2003), "Using 1-Hz GPS data to measure deformations caused by the Denali Fault earthquake", Science 300 (5624), 1421–1424.

Leick, (2004), "GPS Satellite Surveying", 3rd Edition, Wiley, New Jersy, USA

Li Y., (2016), “Real-Time Ambiguity-fixed Precise Point Positioning Using Global and Regional Reference Networks”, Doctoral Thesis, University of Calgary.

Marreiros J., P., R., (2012), “Kinematic GNSS Precise Point Positioning: Application to marine platforms”, Doctoral Thesis, University of Porto.

Melachroinos S.A., Biancale R., Llubes M., Perosanz P., Lyard F., Vergnolle M., Bouin N., Masson F., Nicolas J., Morel L., Durand S., (2008),” Ocean Tide Loading (OTL) displacements from global and locak grids: Comparisons to GPS estimates over the shelf of Brittany”, France, Journal of Geodesy, 82(6), 357-371.

Mirsa P., Enge P., (2012), “Global Positi-oning System Signals, Measurements, and Performance”, Revised 2nd edition, Ganga-Jamuna Press, USA.

Moschas F., Stiros S., 2015. “Dynamic deflections of a stiff footbridge using 100-Hz GNSS and accelerometer data”, Journal of Surveying Engineering, 141 (4), 04015003.

Ning T., Johansson J.M., Scherneck H.G., Jarlemark P.O.J., Emardson R., (2009), “High-rate GNSS techniques for the detection of large seismic displacements” Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS 2009. Cape Town, South Africa, 12–17 July, V359–V362.

Öcalan T., (2015), “GNSS ağlarında gps hassas nokta konumlama (gps-ppp) tekniği yaklaşımlı çözümler”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Öcalan T., Soycan M., (2012). “RTCM/SSR Mesajları İle Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konumlama (PPP-RTK) Tekniği”, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(2), 30-41.

Remondi B.W., (1985), “Performing centimeter-level surveys in seconds with GPS carrier phase: initial results” Navigation, 32 (4), 386–400.

Rizos C., Janssen V., Roberts C., Grinter T., (2012), “GNSS: precise point positioning PPP versus DGNSS”, Geomatics World, 18-20.

Roßbach U., (2000), “Positioning and Navigation Using the Russian Satellite System GLONASS”, Doctoral Thesis, Universität der Bundeswehr München.

Seeber G. (1993), “Satellite Geodesy, Foun-dations, Methods and Applications”, 1th Edition, Walter de Gruyter.

Shi J., (2012),“ Precise Point Positioning Integer Ambiguity Resolution with Decoupled Clocks”, Doctoral Thesis, University of Calgary.

Shu Y., Shi Y., Xu P., Niu X., Liu J., (2017), “Error Analysis of High-Rate GNSS Precise Point Positioing for Seismic Wave Measurement. Advances in Space Research”, 59(2017), 2691-2713.

Teunissen P., Montenbruck O., (2017), "Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems", First Edition, Springer, 59, 164-170.

Tut İ., (2009), "Hızlı Statik Gps Çözümlerinin Güvenirliği", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi

Wang M., (2014), "Ambiguity Resolution with Precise Point Positioning", Doctoral Thesis, University of Calgary.

Wang G., Blume F., Meertens C., Ibanez P., Schulze M., (2012), "Performance of high-rate kinematic GPS during strong shaking: observations from shake table tests and the 2010 Chile earthquake", Journal of Geodetic Science, 2 (1), 15–30.

Wang J., Meng X.L., Qin, C.B., Yi, J.H., (2016), "Vibration frequencies extraction of the forth road bridge using high sampling gps data" Shock and Vibration, 2016, 18 pages

Web 1, (2018), https://www.navcen.uscg.gov/?Do=constellationstatus, (Erişim Tarihi: 30/05/2018).

Web 2, (2018), https://www.glonass-iac.ru/en/GPS/, (Erişim Tarihi: 30/05/2018).

Web 3, (2018), https://www.globalsecurity.org/space/library/report/1999/nssrm/initiatives/usnds.htm, (Erişim Tarihi: 30/05/2018).

Web 4, (2018), https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS/, (Erişim Tarihi: 30/05/2018).

Web 5, (2018), http://what-when-how.com/gps/gps-positioning-modes-part-1/, (Erişim Tarihi: 30/05/2018).

Web 6, (2018), http://www.igs.org/about/analysis-centers, (Erişim Tarihi: 31/05/2018).

Web 7, (2018), http://www.igs.org/products, (Erişim Tarihi: 31/05/2018).

Web 8, (2018), ftp://igs.org/pub/station/general/antex14.txt, (Erişim Tarihi: 31/05/2018).

Web 9, (2018),https://www.iers.org/IERS/EN/Publications/TechnicalNotes/tn36.html, (Erişim Tarihi: 06/07/2018).

Wells D., Beck N., Delikaraoglou D., Kleusberg A., Krakiwsky E., Langley, R., Nakiboglu M., Schwarz K., Tranquilla J., Vanicek, P., (1999), "Guide to GPS Positioning", University of New Brunswick, Canadian GPS Associates, Canada.

Wu JT., Wu SC., Hajj GA., Bertiger WI., Lichten SM., (1993), "Effects of antenna orientation on GPS carrier phase", Manuscripta Geodaetica, 18(2), 91–98.

Xu C., Wang J., Gao J., Wang J., Hu H., (2011), “Precise Point Positioning and its application in mining deformation monitoring”, Transaction of Nonferrous Metals Society of China, 21, 499-505

Xu P., Shi C., Fang R., Liu J., Niu X., Zhang Q., Yanagidani T., (2013), “High-rate precise point positioning (PPP) to measure seismic wave motions: an experimental comparison of GPS PPP with inertial measurement units”,Journal of Geodesy, 87 (4), 361–372.

Yigit C. O., (2016), “Experimental assessment of post processed kinematic precise point positioning method for structural health monitoring”, Geomatics, Natural Hazards and Risk, 7, 363-380.

Yigit C.O., Eralp G., (2017), “Experimental testing of high-rate GNSS precise point positioning (PPP) method for detecting dynamic vertical displacement response of engineering structures”, Geomatics, Natural Hazards and Risk, 8(2), 893-904.

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 Geophysıcal Research, 102, 5005-5017.

ÖZGEÇMİŞ

Mert BEZCİOĞLU 1992 yılında İzmir'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmir'de tamamladı. 2011 yılında Selçuk Üniversitesi Harita Mühendisliği bölümünde başladığı lisans eğitimine Ondokuz Mayıs Üniversitesi'nde devam etti ve 2016 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Harita Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2016 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalında başladığı yüksek lisans eğitimine 2017 yılında Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalında devam etti. 2017 yılından beri aynı kurumda Ölçme Tekniği Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.