

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GNSS HASSAS NOKTA KONUMLAMA TEKNİĞİNİN YÜKSEK
FREKANSLI YAPISAL TİTREŞİMLERİN BELİRLENMESİNDEKİ
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

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

GEBZE
2018

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GNSS HASSAS NOKTA KONUMLAMA
TEKNİĞİNİN YÜKSEK FREKANSLI
YAPISAL TİTREŞİMLERİN
BELİRLENMESİNDEKİ
KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI

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

DANIŞMANI
DOÇ. DR. CEMAL ÖZER YİĞİT

GEBZE
2018

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**THE INVESTIGATION OF THE USE OF
GNSS PRECISE POINT POSITINING
TECHNIQUE IN MEASURING HIGH
FREQUENCY STRUCTURAL VIBRATIONS**

**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF GEOMATIC ENGINEERING
GEODESY AND GEOGRAPHICAL INFORMATION
TECHNOLOGIES PROGRAM**

**THESIS SUPERVISOR
ASSOC. PROF. DR. CEMAL ÖZER YİĞİT**

**GEBZE
2018**

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 27/06/2018 tarih ve 2018/33 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 13/07/2018 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Devrim SAYILIR'ın tez çalışması Harita Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

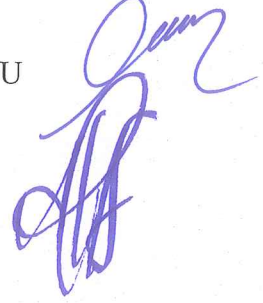
ÜYE

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



ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Osman Sami KIRTILOĞLU



ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Amı DİNDAR

ONAY

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

ÖZET

Gökdelen, seyir ya da radyo-televizyon kuleleri, yüksek endüstriyel bacalar, uzun asma köprülerin kenar ayak kuleleri v.b. yüksek mühendislik yapıları güçlü deprem ve rüzgâr kuvvetleri gibi şiddetli yükler altında mühendislik yapılarının tepkilerinin izlenmesi, yapısal durumları ve güvenilirliklerinin değerlendirilmesi için önemli bir gerekliliktir. Son yirmi yılda yüksek frekanslı gerçek zamanlı ya da post-prosess kinematik bağıl GNSS yöntemi mühendislik yapılarının dinamik davranışlarının ölçülmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Son yıllarda, Hassas Nokta Konumlandırma (PPP) yöntemindeki hızlı gelişmelere bağlı olarak, bağıl (rölatif) GNSS ile konum belirleme uygulamaları yerine tercih edilmeye başlanmıştır. Bu çalışmada, yüksek frekanslı PPP yönteminin yüksek yapıların dinamik davranışlarının ölçülmesinde kullanılabilirliği test edilmiştir. Üç farklı özelliklerdeki çelik çubuklarla bir dizi deney yapılmış ve PPP sonuçları ile bağıl konumlandırma sonuçları hem zaman hem de frekans alanında karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, yüksek yapıların yatay yöndeki dinamik hareketlerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesinde bağıl yöntem yerine PPP yönteminin kullanılabileceğini açıkça göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kinematik PPP, Bağıl Kinematik Yöntem, Dinamik Deplasman Ölçmeleri, Yapı Sağlığı İzlemeleri.

SUMMARY

The monitoring of highrise engineering structures, such as skyscraper, observation or radio-television towers, highrise industrial chimney, long span bridges' towers, etc., under severe loads, such as strong earthquake and wind forces, are an important requirement to assess their structural state and reliability. In the last two decades high-frequency real-time or post-process kinematic relative GNSS methods have been extensively used to measure the dynamic behavior of engineering structures. In recent years, Precision Point Positioning (PPP) method have begun to be preferred instead of relative positioning applications due to rapid improvements in the PPP method. In this study, the usability of high frequency PPP method was tested by measuring the dynamic behavior of high structures. A series of experiments were carried out with steel bars in three different specifications and the results of PPP and relative positioning were compared in both time and frequency domain. The results clearly show that the PPP method can be used instead of the relative method in measuring and evaluating the dynamic movements of the horizon in the horizontal direction.

Key Words: Kinematic PPP, Relative kinematic Method, Dynamic Displacement Measurement, Structural Health Monitoring.

TEŞEKKÜR

Öncelikle çeşitli nedenlerle uzayıp gitmiş olan yüksek lisans eğitimimde, benden destek ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip, aradan geçen uzun yıllar boyunca bu eğitimi bitirmeye yönelik inancıma saygı duyarak, sabırla, bilgisi ve teknik donanımı ile bu çalışmanın önünü açan değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Cemal Özer YİĞİT'e ve bu eğitime ilk başladığımda danışmanım olan ancak görevleri icabı danışmanlığımı devretmek zorunda kalan Sayın Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU'na,

Ve hayatımın her anında olduğu gibi eğitimimin bu uzun evresinde göstermiş oldukları sabır, inanç ve karşılıksız desteklerinden dolayı sevgili aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
TABLolar DİZİNİ	xxvi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM)	3
2.1.1. GPS'in Alt Bölümleri	4
2.1.1.1. Uzay Bölümü	4
2.1.1.2. Kontrol Bölümü	6
2.1.1.3. Kullanıcı Bölümü	8
2.1.2. GPS'in Çalışma Prensipleri	9
2.1.3. GPS ile Konum Belirleme Yöntemleri	10
2.1.3.1. Mutlak Konum Belirleme	10
2.1.3.2. Bağıl (Rölatif) Konum Belirleme	11
2.2. Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS)	15
3. HASSAS NOKTA KONUMLAMA (PPP)	166
3.1. PPP'de Hata Kaynakları	17
3.1.1. Uydu Kaynaklı Hatalar	18
3.1.1.1. Uydu Yörünge Hataları	18
3.1.1.2. Uydu Saat Hataları	19
3.1.1.3. Uydu Anteni Faz Merkezi Kayıklıkları	20
3.1.1.4. Uydu Anteni Faz Dönmesi (Phase Wind Up)	21
3.1.1.5. Göreceli Etki	22
3.1.1.6. Yeryuvarı Dönme Parametreleri (Sagnac Effect)	23
3.1.2. Alıcı Kaynaklı Hatalar	24

3.1.2.1. Alıcı Saat Hataları	24
3.1.2.2. Alıcı Anteni Faz Merkezi Kayıklıkları (Phase Center Variation)	24
3.1.2.3. Sinyal Yansıma Hatası (Multipath)	25
3.1.3. Jeodinamik Hareketlerden Kaynaklı Hatalar	26
3.1.3.1. Katı Yeryuvarı Gelgiti (Solid Earth Tides)	26
3.1.3.2. Okyanus Yükleme (Ocean Loading)	288
3.1.3.3. Kutup Gelgiti	28
3.1.4. Atmosferik Modelleme	30
3.1.4.1. Atmosfer Yükleme	30
3.1.4.2. İyonosfer Etkisi	30
3.1.4.3. Troposfer Etkisi	32
3.2. Geleneksel GPS-PPP Matematik Modeli	34
4. YAPI SAĞLIĞI İZLEMELERİ	37
4.1. Yapı Sağlığı İzlemenin Önemi	38
4.2. Yapı Sağlığı İzleminde Kullanılan Sensörler	39
4.2.1. GNSS Alıcısı	39
4.2.2. Eğim Sensörü	42
4.2.3. İvme Sensörü	42
4.2.4. Total Station ve Hassas Nivo	43
5. GNSS-PPP DEĞERLENDİRME YAZILIMLARI	44
5.1. İnternet Tabanlı GNSS Değerlendirme Servisleri	45
5.2. Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP)	
Web Tabanlı Yazılımı	46
6. UYGULAMA	48
6.1. Yüksek Frekanslı GPS/GNSS Deneyleri	48
6.2. GPS/GNSS Verilerinin İşlenmesi	50
6.2.1. Kinematik Bağlı GPS/GNSS Çözüm	50
6.2.2. Kinematik GPS/GNSS-PPP	50
6.3. Veri İşleme Öncesi Hazırlık	51
6.3.1. Jeosentrik ve Toposentrik Koordinat Dönüşümü	51
6.3.2. İki Boyutlu Benzerlik Dönüşümü	52
6.4. Uygulama Sonuçları ve Tartışma	53
6.4.1. Çubuk-1 Serbest Salınım (Durum-1)	53
6.4.2. Çubuk-1 Yüksek Modda Salınım (Durum-2)	54

6.4.3. Çubuk-2 Yüksek Modda Salınım (Durum-3)	55
6.4.4. Çubuk-3 Yüksek Modda Salınım (Durum-4)	56
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	69

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u> <u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
k	: Alıcı birim vektörü uydusu
x, y, z	: Yerel alıcı birim vektörler
$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$	: Uydu ünitesi koordinat birim vektörleri
$\Delta\Phi$	: Faz dönmesi düzeltmesi
D, D'	: Uydu ve alıcı etkili dipol vektörler
Δt_r	: Görecelik düzeltmesi
R	: Uydu anlık konum vektörü
V	: Uydu anlık hız vektörü
c	: Işık hızı
Δt_p	: Yerçekimi gecikme hatası
G	: Yerçekimi sabiti
M	: Dünya'nın kütlesi
r^s	: Uydu ile Dünya arasındaki mesafe
r_r	: Alıcı ile Dünya arasındaki mesafe
r_r^s	: Alıcıdan uyduya olan mesafe
Ω_e	: Dünya'nın açısal dönme hızı(WGS-84)
A_e	: Uydudan alıcıya sinyal yolculuk ederken yeryüzünün merkezinden ışık ışınına yarıçap vektörü tarafından süpürülen toplam alan
$\Delta\vec{r}$	: Kartezyen koordinat sisteminde yer değiştirme bölge vektörü
GM	: Dünya'nın yerçekimi parametreleri
GM_j	: Ay (j=2) ve Güneş'in (j=3) yer çekimi parametreleri
r	: İstasyon merkezli durum vektörü
R_j	: Ay'ın (j=2) ve Güneş'in (j=3) yer merkezli durum vektörü
$\hat{r}$	: İstasyon yer merkezli birim durum vektörü
$\hat{R}_j$	: Ay'ın (j=2) ve Güneş'in (j=3) yer merkezli birim durum vektörü
l_2	: Nominal 2. derece Love sayısı (0.609)
h_2	: Nominal 2. derece Shida sayısı (0.085)
Φ	: Nokta enlemi

λ	: Nokta boylamı
θ_g	: Greenwich yıldız zamanı
Δr	: Milimetre birimde atmosfer yükleme yer değiştirme
p	: Standart değerden (101.3 KPA); bölge basınç farkı
p'	: İstasyondan 2000 km içinde basınç bozukluğu
ρ	: Alıcı ile uydu arasındaki gerçek uzunluğu
dt	: Saat hataları
d_{trop}	: Troposferik düzeltme
N	: Faz başlangıç belirsizliği
zpd	: Zenit yolu gecikmesi (zenit path delay)
d_{kuru}^z, d_{islak}^z	: Zenit yolu gecikmesi için kuru ve ıslak bileşenler
Map	: Oransal fonksiyon/katsayı (mapping function)
N_i	: L_i ile ölçülen pseudorange mesafe
Φ_i	: L_i ile ölçülen taşıyıcı faz
ρ	: Gerçek geometrik aralığı
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/Φ_i}	: L_i (m) taşıyıcı faz içindeki sinyal yansıma (multipath) etkisi
ε	: Ölçüm gürültüsü
P'_{IF}	: Metre biriminde düzeltilmiş serbest-iyonosfer kod gözlemi
Φ'_{IF}	: Metre biriminde düzeltilmiş serbest -iyonosfer faz gözlemi
N'_{IF}	: Uzunluk biriminde birleştirilmiş tam sayı belirsizliği
ε'_{IF}	: Kalıntı hataları, sinyal yansıma ve sinyal gürültüyü içeren gürültü terimi
Hz	: Hertz
km	: Kilometre

sn	: Saniye
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
APC	: Antenna Phase Center (Anten Faz Merkezi)
ARP	: Antenna Reference Point (Anten Referans Noktası)
C/A	: Course/Acquisition, Clear Access
CDMA	: Code Division Multiple Access (Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
CODE	: Center for Orbit Determination in Europe
CORS	: Continuously Operating Reference Station
CSRS-PPP	: Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning
DGNSS	: Diferansiyel GNSS
EMU	: Ultra-Rapid Ürünler
ESA	: European Space Agency (Avrupa Uzay Ajansı)
FDMA	: Frequency Division Multiple Access (Frekans Bölmeli Çoklu Erişim)
FFT	: Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
GBAS	: Ground Based Augmentation System
GLONASS	: Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLObal Navigation Satellite System)
GNSS	: Global Navigation Satellite Systems
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
IERS	: International Earth Rotation and Reference Systems Service
IGS	: International GNSS Service (Uluslararası GNSS Servisi)
IRNSS	: Indian Regional Navigational Satellite System
ISRO	: Indian Space Research Organisation (Hindistan Uzay Araştırma Organizasyonu)
ITRF	: International Terrestrial Reference Frame
JPL	: Jet Propulsion Laboratory (Jet Motorları Laboratuvarı)
LGO	: Leica Geo Office
MTSAT	: Multi-Functional Transport Satellite
NAD83	: North American Datum 1983 (Kuzey Amerika Datumu 1983)
PCO	: Phase Center Offset (Faz Merkezi Kayıklığı)
PPP	: Precise Point Positioning (Hassas Nokta Konumlama)
PPP-RTK	: Precise Point Positioning-Real Time Kinematic

PCV	: Phase Center Variation (Faz Merkezi Varyasyonu)
QZSS	: Quasi-Zenith Satellite System
RINEX	: Receiver Independent Exchange Format
RMS	: Root Mean Square
RTK	: Real Time Kinematic
SBAS	: Satellite Based Augmentation System
SBR	: Su Buharı Radyometresi
SDOF	: Single Degree of Freedom
SHM	: Structural Health Monitoring (Yapı Sağlığı İzleme)
SPP	: Single Point Positioning
TEC	: Total Electron Content (Toplam Elektron Yoğunluğu)
WAAS	: Wide Area Augmentation System (Geniş Alan Güçlendirme Sistemi)
WGS-84	: World Geodetic System 1984 (Dünya Jeodezik Sistemi 1984)

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: GPS uyduları.	4
2.2: GPS uydu sinyalleri.	6
2.3: Kontrol bölümü.	8
2.4: Mutlak konum belirleme.	11
2.5: Bağıl konum belirleme.	12
2.6: Statik GPS ölçümü.	13
2.7: Hızlı Statik GPS ölçümü.	14
3.1: Uydu yörünge hatası.	20
3.2: Uydu anteni faz merkezi ve uydu ağırlık merkezi.	15
3.3: Sinyal yansıma hatası.	27
3.4: Yeryuvarı dönme ekseninin 1962 yılından bu yana izlediği yol, kutup gezinme hareketi.	30
6.1: Deney düzeneğinin şematik görünüşü.	50
6.2.a: Deney anında çekilmiş fotoğraf (Çubuk-1 ve 2).	50
6.2.b: Deney anında çekilmiş fotoğraf (Çubuk-3).	50
6.3: Deneyde kullanılan simülasyon çubuk modları.	50
6.4: Jeosentirik ve toposentirik sistemler.	53
6.5: GNSS ve çubuk koordinat eksenleri.	53
6.6: Durum-1 deplasman zaman serisi, FFT spektrumları ve farkların histogramı.	55
6.7: Durum-2 deplasman zaman serisi, FFT spektrumları ve farkların histogramı.	56
6.8: Durum-3 deplasman zaman serisi, FFT spektrumları ve farkların histogramı.	57
6.9: Durum-4 deplasman zaman serisi, FFT spektrumları ve farkların histogramı.	57

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Uydu blokları.	5
4.1: Hiper Pro GNSS alıcısının özellikleri.	42
5.1: İnternet tabanlı GNSS değerlendirme servisleri.	47
6.1: Çelik simülasyon çubuklarının ebatları.	49
6.2: CSRS-PPP tarafından kullanılan işlem parametreleri.	52
6.3: Bu çalışmada incelenen dört durumun deney bilgileri.	54

1. GİRİŞ

Yüksek frekanslı GPS/GNSS tekniği, rüzgar yükü veya deprem sırasında veya sonrasında etkilenen mühendislik yapılarının dinamik yer değiştirmelerini ölçmede güçlü bir araç olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle GNSS gözlemleri, yapısal dinamik deformasyonları milimetreler mertebesinde izleyebilmek için son yirmi yıldır yapı sağlığı izleme projelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde deplasman bilgileri, ultra yüksek frekanslı GPS alıcıları kullanılarak 10 ila 50 Hz, hatta 100 Hz'e kadar yüksek hızlarda ölçülebilir. En az iki GNSS alıcısından gözlemlerin kombinasyonunu gerektiren, bilinen koordinatlarla en az bir istasyona sahip olan gerçek zamanlı veya post-process bağıl kinematik konumlandırma yöntemi, deplasmanları ölçmek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yakın zamana kadar, yüksek binaların ve uzun ince yapıların dinamik yer değiştirmelerini ölçmek için bağıl yöntemin performansına ilişkin çok sayıda çalışma yapılmıştır [Çelebi, 2000; Tamura vd., 2002; Li vd., 2006; Kijewski-Correa vd., 2006], [Breuer vd., 2008; Park vd., 2008; Yigit vd., 2010; Pehlivan vd., 2013; Yi vd., 2013]. Yüksek katlı yapılar ve yapı sağlığı izlemelerinde GPS kullanımına ilişkin literatür incelemeleri mevcuttur [Yi vd., 2013; Im vd., 2013]. Tam ölçekli izleme çalışmalarına ek olarak bağıl (rölatif) yöntemin yapı sağlığı izlemeleri açısından doğruluğunu ve dinamik performansını değerlendirmek için bir dizi deneysel çalışma bulunmaktadır [Chan vd., 2006; Nickitopoulou vd., 2006; Psimoulis vd., 2008; Psimoulis ve Stiros, 2008; Wang vd., 2011].

Son yıllarda hem performans hem de kullanım kolaylığı açısından oldukça cazip olduğu için PPP yöntemine ilgi artmıştır. PPP [Zumberge vd., 1997; Kouba ve Heroux, 2001] yüksek hassasiyetli konum hesaplamak için tek bir GPS/GNSS alıcısından alınan ölçümlerin işlenmesini amaçlayan güçlü bir yöntemidir. PPP santimetre düzeyinde doğruluk elde edilmesine yönelik olup, tek alıcı sistemiyle çalışılmasına imkan sağladığı için uygulama maliyetleri açısından da son derece uygundur.

PPP'nin birçok bilimsel araştırma ve sivil uygulamalar için [Li ve Zhang, 2013] güçlü ve etkili bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır [Savage vd., 2004; Hammond ve Thatcher, 2005; Calais vd., 2006; Ohta vd., 2008]. İlk kez 2002 Denali Fay depreminin yüksek frekanslı GPS verilerini işlemek için PPP yöntemi uygulanmış ve IGS saat ve yörünge ürünlerini kullanarak yöntemin sismik dalgaların tespit edilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir [Kouba, 2003].

Bu çalışmada üç farklı özellikteki elik çubuklar kullanılarak birinci ve ikinci temel frekanslarda salınımlar üretilerek GNSS lmeleri yapılmıştır. GPS/GNSS verileri hem bağıl yöntem ve hemde PPP yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Bu deneylerden genlik ve frekans karakteristiklerine göre seçilmiş dört durum incelenmiş olup; her iki yöntemden elde edilmiş sonuçlar zaman ve frekans alanında karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan deneysel model yapısı, yüksek mühendislik yapılarının yatay yönlerdeki dinamik davranışlarını izlemek için kinematik PPP-GPS yönteminin performansını araştıran [Yiğit, 2016] çalışmasına benzerdir. Bu tez çalışmasının farkı üç farklı simülasyon çubuğu kullanılarak iki temel frekansta salınım yaptırılmış, GPS/GLONASS uyduları kullanılarak deneylerin gerçekleştirilmiş ve bu yöntemin aynı anda iki temel frekansı yakalama özelliği incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. GPS (Global Positioning System)

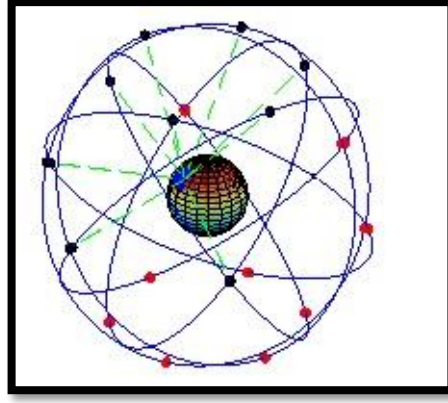
Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS), herhangi bir kullanıcının, uydu sinyallerinden faydalanarak, herhangi bir yerde ve anda küresel koordinat sisteminde, tüm hava koşullarında, herhangi bir bölgede (enlem, boylam, yükseklik); yüksek hassasiyette, ekonomik olarak, anlık ve sürekli konum, hız ve zaman belirlemesine imkan tanıyan bir radyo navigasyon sistemidir.

GPS, Amerika Birleşik Devletleri Savunma Dairesi tarafından geliştirilen uydu bazlı bir zaman ve global konum belirleme sistemidir [Uzel, 1995].

Bu sistem üzerindeki çalışmalar, Transit (Doppler) Sistemi'nin büyük başarılar elde etmesi üzerine 1973 yılında askeri amaçlarla NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging Positioning System) adıyla faaliyete geçmiştir. Geniş band sinyal modülasyonunu sağlamak için Doppler'de kullanılan 400 Mhz'lik taşıyıcı frekansı, 1575.42 MHz'e yükseltilmiştir. Uydular Doppler Sistemi'nde 8000 km yükseklikte bulunurlarken, dünya üzerinde daha geniş bir alanın izlenebilmesi için 20000 km yükseklikteki yörüngelerine yerleştirilmişlerdir. Bu sayede yakın dünya çekim alanı etkisi de biraz daha azaltılmıştır. Ayrıca uydu saatlerinin güvenilirliği $\pm 10^{-11}$ saniyeye yükseltilmiştir [Uzel, 1995].

Temmuz 1993'te tüm uyduların yörüngelerine oturtulma işlemleri tamamlanmış ve Aralık 1994'te sistem devreye girmiştir. Sistem, Bradford Parkinson, Roger L. Easton ve Ivan A. Getting'in icatları ile güçlendirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri tarafından tasarlanan bu sistemin yanında günümüzde Rus navigasyon sistemi GLONASS, GPS ile birlikte geliştirilmektedir ancak 2000'li yılların ortalarına kadar dünyayı bütünüyle kapsamadan bölgesel çalışmıştır. GPS'in yanı sıra AB tarafından geliştirilen Galileo, Çin tarafından geliştirilen Compass ve Hindistan tarafından geliştirilen IRNSS adlı konumlandırma sistemleri de vardır [Web-1, 2014]. Şekil 2.1 'de GPS uydularının Dünya yörüngesindeki konumları resmedilmektedir.



Şekil 2.1: GPS Uyduları.

2.1.1. GPS'in Alt Bölümleri

Sistem genel olarak Uzay Bölümü (uydular), Kontrol Bölümü (yer istasyonları) ve Kullanıcı Bölümü (GPS alıcısı) olmak üzere üç bölümde incelenir:

2.1.1.1. Uzay Bölümü

Uzay bölümü, en az 24 uydudan (18 aktif 6 yedek) oluşur ve sistemin merkezini oluşturur. Uydular, eğikliği 55° olan, "Yüksek Yörünge" adı verilen ve dünya yüzeyinin 20.000 km üzerindeki dairesel yörüngelerde yer alırlar. Bu seviye yükseklikte bulunan uydular oldukça geniş bir görüş alanına sahiptirler ve dünya üzerindeki bir GPS alıcısının daima iki boyutlu belirleme için en az 3, üç boyutlu belirleme için en az 4 adet uyduyu görebileceği şekilde yerleştirilmişlerdir [Web-1, 2014].

Uydular saatte 7.000 mil hızla hareket ederler ve her 12 saatte dünya çevresinde bir tur tamamlarlar. Güneş panelleri sayesinde güneş enerjisini değerlendirerek çalışırlar ve en az 10 yıl kullanılmak üzere tasarlanmışlardır. Ayrıca güneş enerjisinden mahrum kaldıkları anlar (güneş tutulması vs.) için yedek bataryaları ve yörünge düzeltmeleri için de küçük ateşleyici roketleri vardır [Web-1, 2014].

ABD Savunma Bakanlığı tarafından çeşitli tarihlerde ve üreticilerden tedarik edildikleri, ayrıca her seferinde yeni ihtiyaçlara göre dizayn edildikleri için "Uydu

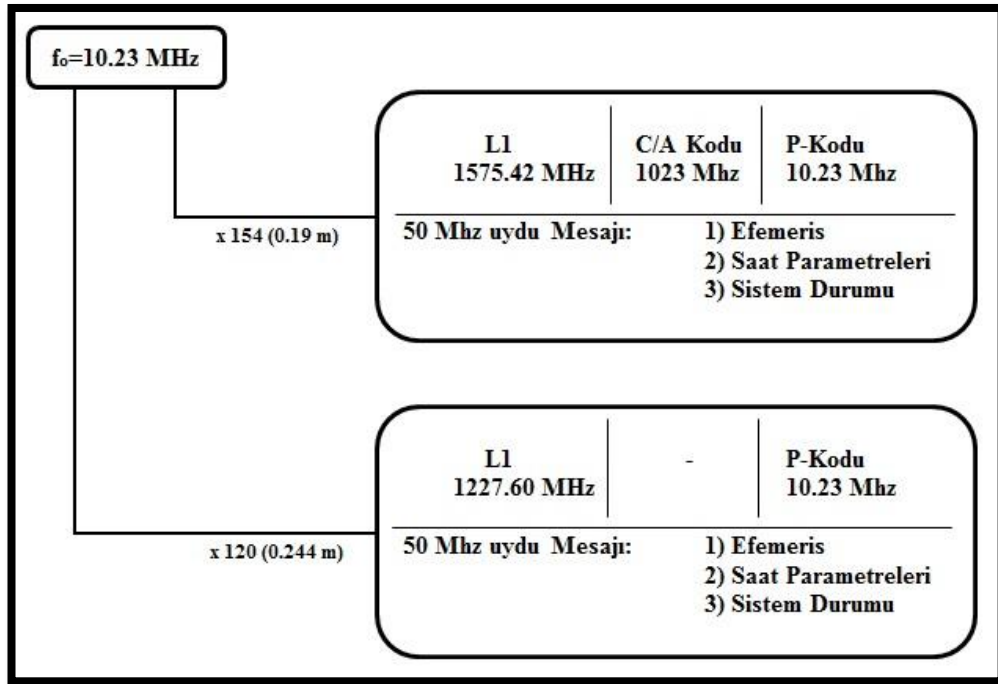
Blokları" olarak sınıflandırılan GPS uydularının sayısı, 2014 Şubat ayında fırlatılmış olan son uydu ile toplamda altmış beşe (65) ulaşmıştır [Web-2, 2014].

Tablo 2.1: Uydu Blokları.

Blok	Fırlatılma	İşletimde	Kullanıl mayan	Emekli edilme	Başarısız fırlatma	Yorum
Blok I	11	0	0	10	1	
Blok II	9	0	0	9	0	
Blok IIA	19	7	0	12	0	
Blok IIR	13	12	0	0	1	
Blok IIRM	8	7	0	1	0	
Blok IIF	5	4	1	0	0	Çalışma ları sürüyor
Total	65	30	1	32	2	

Her uydu, Ana Kontrol Merkezi'nce hesaplanan ve yer antenleri aracılığıyla kendilerine gönderilen yörüngelerine ait bilgileri alır ve düzeltilmiş zaman bilgileri ile birlikte iki temel frekans üzerinden yayımlar. Bunlar, L1= 1575.42 MHz ($\lambda= 0.190$ m dalga boyu) ve L2= 1227.60 MHz ($\lambda= 0.244$ m dalga boyu) frekanslarıdır. Birden fazla sinyalin kullanılması hem iyonosfer etkilerinden dolayı gerçekleşecek kırılmaları engellemek hem de harici sinyal bozma durumlarına karşı güvenlik olarak uygulanmaktadır. ABD Savunma bölümü alıcıları M - Kod (Military Code - 5.115 MHz.) frekansını dinlemektedirler. Uyduda bulunan atomik saat takımınca oluşturulan bu sinyallerden L1 sinyali hem P-Kod hemde C/A-Kod ile modüle edilmektedir. Her iki sinyal de sürekli olarak navigasyon verileri ile de modüle edilmektedirler. Bu veriler saniyede 50 megabitlik (yani 50 MHz) bloklar halinde olup uydunun sağlığı, saat bilgileri ve konumu hakkındaki bilgileri içermektedir [Uzel, 1995].

GPS sinyalleri, yerleşim yerlerinde bulunan binalardan yansydıkları için kırsal araziye oranla hassasiyetleri azalır. Yeraltı yapılarında ise sinyal elde edilemez. Hatalı sinyallerin elde edilebileceği ya da hiç sinyal elde edilemeyen bölgelerde kullanılmak üzere geliştirilen Diferansiyel GPS'ler tarafından bu hatalar en aza indirilerek daha hassas bir ölçüm yapılabilir. GPS uyduları tarafından gönderilen elektromanyetik dalgalar atmosferden geçerken kırınımaya uğrarlar. L1 ve L2 bantları farklı dalga boylarına sahip olduklarından ve farklı oranda kırılmaya uğradıklarından aralarındaki farklılık hesaplanarak, atmosferik bozulma engellenmiş olur ve çok daha hassas konum bilgisi hesaplanabilir. Sadece L1 bandı kullanılarak (diferansiyel GPS dahil) 98 m. hassasiyet elde edilebilirken, L1 ve L2 bantlarının ortak kullanımı ile 1 m.'nin altında hassasiyete ulaşmak mümkün olmaktadır [Uzel, 1995]. Şekil 2.2 'de GPS uydu sinyal bantları belirtilmektedir.



Şekil 2.2: GPS Uydu sinyalleri

2.1.1.2. Kontrol Bölümü

Kontrol birimi (OCS-Operational Control system), uyduların ve sistemin tümüyle çalışmasını ve takibini sağlamak için kurulan yer kontro istasyonlarından

oluşmaktadır. Amerikan Savunma Haritacılığı Kurumu (DMA-Defense Mapping Agency) tarafından geliştirilen sistem, 1985 yılında çalışmaya başlamıştır. Sistem aşağıda belirtilen kısımlardan meydana gelmektedir.

- İzleme İstasyonları (MS-Monitoring Stations)

GPS uydularını sürekli izlemek üzere dünya üzerinde farklı bölgelerde 16 adet istasyon tesis edilmiştir. Bunlardan 6 tanesi Amerikan Hava Kuvvetleri tarafından, diğer 10 tanesi ise Amerikan Ulusal Mekansal-İstihbarat Dairesi (NGA-National Geospatial-Intelligence Agency) tarafından tesis edilmişlerdir. İzleme İstasyonları 1.5 saniye aralıklarla yaptıkları pseudorange ölçülerini iyonosferik ve meteorolojik verilerle biraraya getirir ve hepsini Colorado Springs'te (ABD) bulunan Ana Kontrol İstasyonu'na gönderir.

- Ana Kontrol İstasyonu (MCS-Master Control Station)

Colorado Springs'te konuşlu bu istasyonda, ABD Hava Kuvvetleri'ne bağlı görev yapan 2. Uzay Operasyonları Filosu (2SOPS-2nd Space Operations Squadron) personelinden oluşan ekip, izleme istasyonlarından gelen verileri toplar. Akabinde uydu yörüngelerini ve uydulardaki saatlerin düzeltmelerini hesaplayarak bu verileri yer antenleri vasıtasıyla uydulara yüklerler.

- Yer Antenleri (GA-Ground Antennas)

Yer antenleri, GPS uydularıyla kontrol ve kumanda amacıyla iletişim sağlayan birimlerdir. Uydulardan gelen bilgileri toplayan ve Ana Kontrol İstasyonu'ndan gelen bilgileri her 8 saatte bir uydulara yükleyen S-Band tesisleridir.

Kwajalein Mercanadası (Doğu Avustralya), Ascension Adası (Batı Afrika açıkları-Atlantik Okyanusu), Diego Garcia Mercanadası (Doğu Afrika açıkları-Hint Okyanusu) ve Cape Canaveral Üssü (Florida-ABD) izleme istasyonlarıyla beraber konumlanmış dört adet GPS yer anten tesisi bulunmaktadır. Bunlara ilave olarak kontrol bölümüne bağlı, dünya üzerinde bulunan 8 adet uzaktan kontrol edilen Amerikan Hava Kuvvetleri Uydu Kontrol Ağı (AFSCN-Air Force Satellite Control Network) izleme istasyonları ile görüşün ve görüş esnekliğinin artırılması; telemetri (kablosuz iletişim), izleme ve kumanda olanaklarının sağlamlaştırılması sağlanmıştır [Uzel, 1995]. Şekil 2.3 'te Dünya üzerindeki kontrol noktaları yerleri belirtilmiştir [Web-3, 2014].



Şekil 2.3: Kontrol bölümü.

2.1.1.3. Kullanıcı Bölümü

Kullanıcı bölümü ise yeryüzündeki alıcılardır. Muhtelif amaçlarla GPS kullanarak konumunu belirlemek isteyen bir kişi, sistemin kullanıcı bölümüne dahil olur. Bu bölüm kullanıcılara sunulan uygulamaya ait donanım ve hesaplama tekniklerinin dahil oldukları geniş bir aralığı tanımlar. Kullanıcı Bölümü, teknolojinin gelişmesi ile beraber gerek askeri gerekse sivil kullanıcılar için büyük bir ilerleme kaydetmiştir. Genel olarak her türlü amaca hizmet eden, birbirinden farklı hassasiyetleri olan uygun donanımlı GPS alıcıları (receiver) bu bölümü oluşturur. Bir GPS alıcısı; algılayıcı (sensor), kontrol ünitesi, alıcı anteni ve güç kaynağından oluşur. Ölçü sırasında:

- Anlık faz farkı ölçüleri (data, ham ölçüleri)
- Yayın efemerisi verileri (uydu yörünge bilgileri)
- Atmosferik veriler (iyonosfer ve troposfer verileri)
- Mesaj bilgileri (anten yüksekliği ve nokta bilgileri)

elde edilir.

Kullanıcı anlık konum tespiti için 4 veya daha fazla uydudan (3 uydu konum tespiti ve bir uydu da uydu-alıcı saat farkının çözümü için) gelen sinyalleri ölçerek

hem zaman, hem kendisinin üç boyutlu konumunu ve hem de (şayet hareket halindeyse) hızını hesaplayabilir [Uzel, 1995].

2.1.2. GPS'in Çalışma Prensibi

GPS uyduları iki farklı kod ve navigasyon mesajıyla modüle edilmiş iki temel taşıyıcı sinyal göndermektedirler: $L1=1575.42$ MHz ve $L2=1227.60$ MHz. Bu sinyallerden $L1$ sinyali yaklaşık 0.19 m ve $L2$ sinyali ise 0.244 m dalga boyuna sahiptir. Bu sinyaller, uydu içindeki atom saatlerince oluşturulan $f_0=10.23$ MHz temel frekanstan üretilmektedirler. Temel frekansı 154 ile çarparak $L1$ ve 120 ile çarparak $L2$ frekansları elde edilmektedir. İki taşıyıcı frekans kullanılması, iyonosferik gecikme olarak bilinen en önemli GPS hatasının düzeltilmesine olanak sağlar. Tüm GPS uyduları aynı $L1$ ve $L2$ taşıyıcı sinyalleri üzerinden veri iletimi sağlamaktadırlar ancak her bir uyduya ait kod modülasyonu sayesinde sinyal karışıklıklarından kaynaklanan sorunlar en aza indirgenir.

Genel kullanıcılar için bulunan iki kod vardır. Bunlardan ilki türkçe "kaba veri edinimi" (coarse acquisition) olarak adlandırabileceğimiz C/A-Kod, diğeri ise "hassas veri edinimi" (precision) olarak adlandırabileceğimiz P-Kodu'dur. Bu kodlar rastgele sinyaller gibi göründükleri için genellikle PRN kodlar olarak bilinirler ancak gerçekte matematiksel algoritmalar kullanılarak oluşturulmuş kodlardır. C/A-Kodu sadece $L1$ sinyali üzerine modüle edilmiş olup, P-Kod her iki sinyal üzerine modüle edilmiştir. Bu modülasyon tipine çift-fazlı (biphase) modülasyon denilmektedir. Çünkü kod değerinin sıfırdan bire ya da birden sıfıra değişmesi durumunda taşıyıcı faz 180° değişir.

P-Kodunun frekansı temel frekansa eşittir, yani 10.23 MHz'dir. P-Kodu kendini 266 günde bir tekrar eden çok uzun aralıklı ikili dizidir (binary digit). Ayrıca C/A-Koddan 10 kat daha hızlıdır. Eğer P-Kodun kendini tekrar zamanı ve frekansını çarparsak bu bize P-Kodun 2.35×10^{14} 'lık bir veri dizini içerdiğini gösterir. P-Kod öncelikle askeri amaçlar için tasarlanmıştır. bugün ise bilinmeyen bir W-Kodu ile şifrelenerek Y-Kodu adını almıştır. Bu şifreleme yöntemi antispoofing (AS) olarakta bilinmektedir.

C/A-Kod ise her milisaniyede kendini tekrar eden 1023 ikili dizin akımıdır. Frekansı 1.023 MHz yani temel frekansın 10^6 'da biridir. Bir başka deyişle bir bit veri

transferi 1 milisaniye (ms) ya da yaklaşık olarak 300 m'dir. Her GPS uydusu kendine özgü bir C/A-Kod taşır ve bu sayede GPS alıcıları kendilerine ulaşan verinin hangi uydudan geldiğini tespit edebilirler. C/A-Kod ölçümü, P-Kod ile kıyaslandığında daha düşük hassasiyettedir ancak P-Koda göre daha az karmaşık ve tüm kullanıcılara açıktır.

GPS navigasyon mesajı, 50 kbps'den düşük oranlı çiftfaz modülasyonu olarak L1 ve L2 sinyalleriyle taşınan bir veri akışıdır. Bu mesaj toplamda 37500 bit ya da her biri 1500 bit içeren 25 çerçeveden oluşur. Bu da bir navigasyon mesajının iletilmesinin 750 saniye ya da 12.5 dk zaman almasıdır. Navigasyon mesajları diğer bilgilerin yanında GPS uydularının konumlarını, sağlık durumlarını, uydu saat düzeltmelerini, uydu almanak bilgisini ve atmosferik bilgileri içerir [Uzel, 1995].

2.1.3. GPS ile Konum Belirleme Yöntemleri

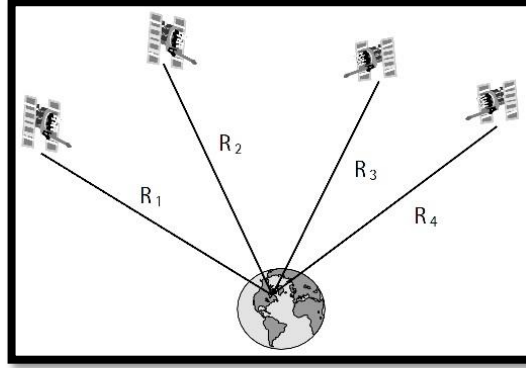
GPS ile konum belirlemek için "Mutlak konum belirleme" ve "Rölatif konum belirleme" olarak iki farklı yöntem kullanılır. Mutlak konum belirleme yönteminde, kullanıcının belirlediği herhangi bir konumda bulunan GPS alıcısının en az dört veya daha fazla uyduyu görmesiyle bilinen uydu koordinatlarından alıcının bulunduğu konumun belirlenmesi amaçlanır. Bu yöntem genellikle yüksek dereceli doğruluğun önemli olmadığı uygulamalarda (çevre düzenleme v.b.) kullanılmaktadır.

Rölatif konum belirleme yöntemi ise iki GPS uydu alıcısının aynı anda aynı uyduları takip etmesini esas alır. Eğer bu iki alıcı en az dört ortak uyduyu takip ederek ölçüm yaparlarsa ölçü doğruluğu cm.ler ile birkaç metre aralığında olabilmektedir. Taşıyıcı faz veya pseudorange ölçümleri istenen doğruluğa bağlı olarak bu yöntem içinde kullanılabilir. Rölatif konum belirleme yöntemi, ölçme işleri, harita yapımı, GIS uygulamaları ve yüksek hassasiyetli navigasyon ihtiyaçları için kullanılmaktadır [El-Rabbany A., 2002].

2.1.3.1. Mutlak Konum Belirleme

Bu yöntemde bir GPS alıcısı eş zamanlı olarak dört veya daha fazla GPS uydusunu takip ederek dünyanın merkezine bağlı olarak kendi koordinatını belirler (Şekilde görüldüğü gibi). Bugün piyasada bulunan hemen hemen tüm alıcılar bu yöntemle kendi mutlak konum koordinatlarını gösterirler. Alıcılar, alıcı tipine bağlı olarak (sivil ya da askeri) C/A-Kod veya P(Y)-Kod ile elde edilmiş olan navigasyon

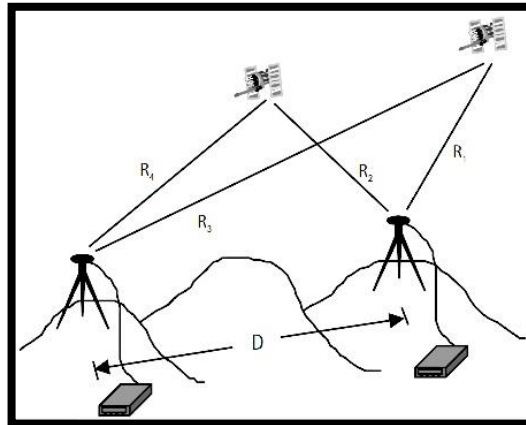
mesajı sayesinde uydu koordinatlarını alırlar. Uydu koordinatları WGS 84 koordinat sisteminde tanımlı olduklarından, alıcı koordinatları da WGS 84 sisteminde tanımlıdır [El-Rabbany A., 2002]. Şekil 2.4 'te mutlak konum belirleme yöntemi resmedilmiştir.



Şekil 2.4: Mutlak konum belirleme.

2.1.3.2. Bağlı (Rölatif) Konum Belirleme Teknikleri

Bağlı konum belirleme yöntemi, difransiyel konum belirleme yöntemi olarak adlandırılır. İki GPS alıcısı eş zamanlı olarak aynı uyduları izleyerek bağlı konum bilgilerini elde ederler (Şekil 2.5'te görüldüğü üzere). Bu iki alıcıdan koordinatları hassas olarak bilinen biri referans ya da baz olarak seçilir. Hedef alıcı ya da uzak alıcı olarak adlandırılan diğer alıcının koordinatları bilinmemektedir. Hedef alıcı, yapılacak olan GPS uygulamasına göre hareketli ya da hareketsiz olabilir [El-Rabbany A., 2002]. Şekil 2.5 'te bağlı konum belirleme yöntemi resmedilmiştir.



Şekil 2.5: Bağlı konum belirleme.

Bağıl konum belirlemede diğer yöntem gibi en az dört ortak uydu gerekmektedir. Bunun yanında dörtten fazla ortak uydu gözlemlenebiliyorsa bu durum konum doğruluğunun artmasını sağlar. Ayrıca bu yöntemde taşıyıcı faz veya pseudorange ölçümleri kullanılabilir [El-Rabbany A., 2002].

Yüksek doğruluk içeren diğer rölatif konum belirleme yöntemleri ise:

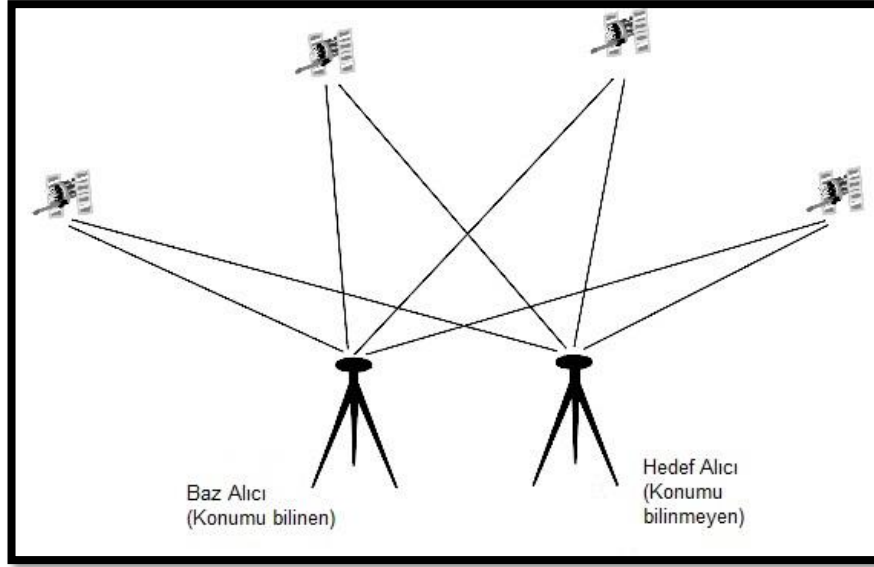
- Statik GPS Ölçüm Tekniği

Statik GPS ölçüm tekniği, taşıyıcı faz ölçümlerine dayanan bir rölatif konum belirleme tekniğidir. İki ya da daha fazla sabit alıcının eş zamanlı olarak aynı uyduları izlemesiyle çalışır (Şekilde görüldüğü üzere). Baz alıcı, poligon ya da nirengi gibi hassas olarak konumlandırılmış bilinen bir noktaya kurulur. Diğer hedef alıcı ise koordinatı istenen diğer noktaya kurulur. Baz alıcı birden fazla hedef alıcıyı destekleyebilir, yeter ki tüm alıcılar en az dört ortak uyduyu izleyebilsinler.

Bu yöntem prensipte koordinatı bilinmeyen noktanın işlem sonrası koordinatlandırılması için tüm baz ve hedef alıcıların belirli bir zaman dilimi içinde eş zamanlı olarak ölçüm değerlerini toplamalarına dayanır. Gözlem zaman aralığı, alıcıların birbirlerine olan uzaklıkları, izlenebilen uydu sayısı ve uydu geometrilerine bağlı olarak 20 dakika ile birkaç saat arasında değişebilmektedir. Ölçümler genellikle kayıt aralığı olan 15-20 saniye aralığında ya da her bir ölçüm için 15-20 saniyede bir yapılır.

Saha ölçümlerinin tamamlanmasından sonra toplanan veriler işlenmek üzere bir bilgisayara aktarılır. Bu noktadan sonra kullanıcı ihtiyacına, baz uzunluğuna ve diğer etkenlere göre farklı işlem seçenekleri uygulanır.

Taşıyıcı faz ölçümleri ile birlikte uygulanan statik GPS ölçüm tekniği en iyi doğruluk derecesini sağlayan tekniktir. Buna karşın tek ve çift frekanslı alıcılarda bu yöntemde kullanılabilir. Baz hattının 20 km. yi geçtiği durumlarda özellikle çift frekanslı alıcılar kullanılmaktadırlar [El-Rabbany A., 2002]. Şekil 2.6 'da statik GPS ölçümü resmedilmiştir.



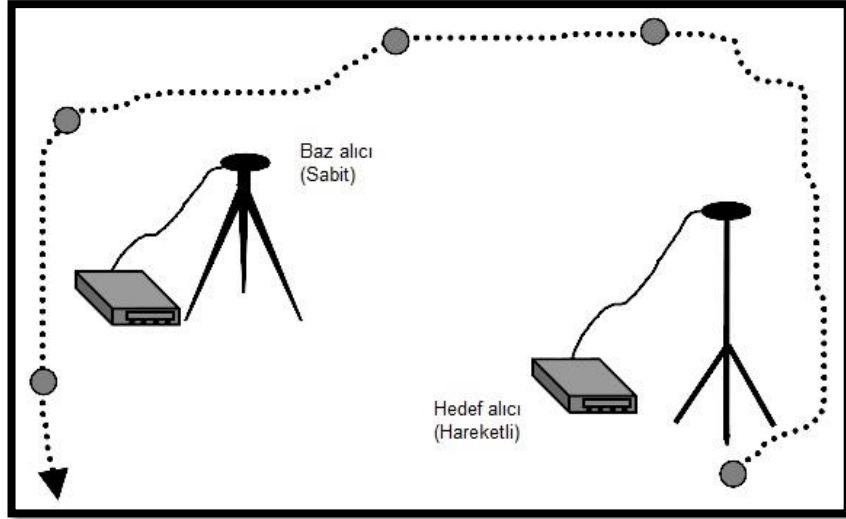
Şekil 2.6: Statik GPS ölçümü.

- Hızlı Statik GPS Ölçüm Tekniği

Bu yöntem, statik GPS ölçüm tekniğine benzeyen taşıyıcı faz bazlı bir ölçüm tekniğidir. İki ya da daha fazla sayıda alıcının aynı uyduları izlemesi usulüyle çalışır. Bu yöntemde ölçüm süresi boyunca sadece baz alıcı konumu bilinen nokta üzerinde sabit kalır. Hedef alıcı ise konumu bilinmeyen herhangi bir nokta üzerinde kısa bir zaman zarfı için sabit bekletilir sonrasında konumu bilinmeyen diğer noktalarda aynı şekilde belirli aralıklarla bekletilerek gezdirilir. Statik GPS ölçme tekniğiyle benzer olup, istenildiği kadar hedef alıcılığı destekleyebilmektedir.

Bu yöntem, konumu bilinen nokta etrafında konumu bilinmeyen birden fazla nokta bulunan durumlarda uygun bir yöntemdir. Ölçüm, konumu bilinen nokta üzerine baz alıcının yerleştirilmesiyle başlar. Baz alıcı sabit kalmak kaydıyla sürekli veri toplar. Hedef alıcı ise baz alıcısına olan mesafesine ve uydu geometrisine bağlı olarak 2 ilâ 10 dakika arasında değişen operasyon zaman aralığında konumu bilinmeyen noktalar üzerinde gezdirilerek konumlandırılır.

Arazide tüm alıcıların veri toplama işlemi tamamlandıktan sonra bilgisayara aktarılarak verileri işlemek üzere bir yazılım kullanılır [El-Rabbany A., 2002]. Şekil 2.7 'de hızlı statik GPS ölçümü resmedilmiştir.



Şekil 2.7: Hızlı Statik GPS ölçümü.

- Dur ve Git GPS Ölçme Tekniği

Bu yöntem bir üstte anlatılan yöntemle aynı olup, aradaki fark ise konumu bilinmeyen her noktada kısa bir zaman aralığı durarak kayıt yapılmasıdır. Bu yöntem çok fazla sayıda bilinmeyen nokta bulunduğu uygulanan bir yöntemdir. Tüm işlem adımları bir önceki hızlı statik GPS ölçüm tekniğiyle aynıdır. Bu yönteme dair özel bir durum söz konusu olup, aynı zamanda yöntemin "*Kinematik GPS Ölçüm Tekniği*" olarak bilinmesidir. Temelde aynı görünen bu durum, kinematik GPS ölçüm tekniğinde bilinmeyen noktalarda durulması gerekmemektedir [El-Rabbany A., 2002].

- GZK/RTK (Real Time Kinematik/Gerçek Zamanlı Kinematik) GPS Ölçüm Tekniği

Bu ölçme tekniğinde diğer taşıyıcı fazlı rölatif ölçme teknikleriyle aynı şekilde çalışır. Bu teknik aşağıda belirtilen koşullar için daha uygundur:

- Çalışılacak bölgede çok sayıda bilinmeyen nokta varsa,
- Bilinmeyen noktaların koordinatları gerçek zamanlı olarak isteniyorsa,
- Görüş mesafesi ve yayılım yolu nispeten engellenmemişse...

Bu kullanım kolaylıkları sayesinde çok sayıda kullanıcı tarafından tercih edilen bir yöntem olmasını sağlamıştır [El-Rabbany A., 2002].

- GZD (Gerçek Zamanlı diferansiyel) GPS Ölçüm Tekniği

Bu yöntem kod bazlı rölatif GPS ölçme tekniği olup, iki veya daha fazla alıcının aynı uyduları izlemesiyle çalışmaktadır. Genellikle metre hassasiyetinin

yeterli olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu yöntem, birkaç yüz kilometre baz aralıklarında ölçülen pseudorange değerlerinin her iki (baz ve hedef) alıcıda aynı değerleri göstermesi temeline dayanır.

Diğer yöntemlerde olduğu gibi burada da baz alıcı bilinen bir noktada sabit konumlandırılır. Baz alıcı dahilindeki yazılım, bilinen konumuyla birlikte navigasyon mesajıyla elde edilen uydu koordinatlarını kullanarak görüş açısı içindeki tüm uyduların menzillerini hesaplar. Yazılım daha sonra hesaplanan menzillerle ölçülmüş olan pseudorange ölçüleri arasındaki farklar sayesinde pseudorange hatalarını (veya diferansiyel GPS/DGPS düzeltmelerini) elde eder. Bu düzeltmeler RTCM olarak adlandırılan (RTCM/Radio Technical Commission for Maritime Service - Denizcilik Servisi için Radyo Teknik Komisyonu) standart bir formatta hedef alıcıya, üzerindeki bir iletişim linkiyle gönderilir. Hedef alıcı bu düzeltmeleri ölçmüş olduğu pseudorange ölçümlerine uygular. Böylece hedef alıcı koordinatlarını hesaplamak için düzeltilmiş olan pseudorange ölçümleri kullanılmış olur.

Bu yöntemle elde edilen doğruluk değerleri, baz ve hedef alıcı arasındaki mesafe, DGPS düzeltmelerinin iletim oranı ve C/A-Kod alıcıların performanslarına bağılı olarak desimetreler seviyesiyle 5 metreye kadar olan seviyeler arasında değişebilir [El-Rabbany A., 2002].

2.2. Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS)

GLONASS uydu sistemi ise Rusya tarafından geliştirilmiş küresel uydu konumlandırma sistemidir. GLONASS Sovyetler Birliği'nde 1976 yılında faaliyete geçmiş olup, aradan geçen zaman dilimi içinde uydu takımlarına yapılan roket eklemeleriyle 1995 yılında tamamlanabilmiştir. Bu sistem gerçek zamanlı uydu verileri kullanılarak yeryüzünde bulunan herhangi bir alıcının konumunu bir koordinat sistemi dahilinde belirleyebilmektedir. Sovyetler Birliği'nin dağılması ile birlikte 2001 yılına kadar sadece 7 adet uydu çalışır durumdayken; 2011 yılında toplam 24 uydudan oluşan bir ağı ile GPS gibi etkili bir küresel konumlama sistemi haline gelmiştir [Web 4, 2017].

3. HASSAS NOKTA KONUMLAMA (PPP)

PPP yöntemi, çift frekanslı alıcıların 90'lı yıllarda yaygın kullanılmaya başlanmasıyla ortaya çıkmıştır ancak 1976 yılında Anderle'nin doppler etkisinden faydalanarak uydu yörüngesini 2 metre gibi yüksek olmayan bir doğrulukla hesaplayabilmesi bu yöntemin geçmişine işaret eder ve PPP kavramının ortaya atılmasına sebep olur. PPP yöntemiyle hassas yörünge ve saat bilgilerine ulaşılabilmiş olup, 1997 yılında çift frekanslı alıcılardan yararlanılarak iyonosfer kaynaklı hatalar da modellenmiştir. 2000 yılında ise GPS uydu sinyalleri üzerindeki Selective Availability (Seçici Erişim) yok edilmiştir [Xu vd., 2011].

PPP, sadece bir GNSS (Global Navigation Satellite System/Küresel Uydu Navigasyon Uydu sistemi) alıcısı kullanılarak cm mertebesinde yüksek konum doğruluğu elde edilmesini sağlayan bir Mutlak Konum Belirleme yöntemidir. Bu metotla yapılmış olan ölçümler sonrasında internet üzerinden yayın yapan Uluslararası GNSS Servisi (IGS), Jet Propulsion Laboratory (JPL) ve Center for Orbit Determination in Europe (CODE) gibi servislerin/ajansların yayınladıkları hassas uydu yörünge ve saat bilgileri kullanılarak, gerekli düzeltmeler yapılabilmektedir.

Servislerin yayınladıkları bu bilgiler, global çapta hizmet veren sabit GPS/GNSS referans istasyonlarının oluşturduğu ağlar üzerinden sağlanmaktadır. Bu servislerin içinde PPP Yöntemi için en önemli kaynak Uluslararası GNSS Servisi, IGS'dir. Yörünge ve saat bilgilerini sağlayan yukarıda belirttiğimiz diğer servislerin dışında, Uydu Bazlı Çoğaltım Sistemi (Satellite Based Augmentation System/SBAS) ile entegre olan diğer kamusal veya ticari referans istasyon ağları da bulunmaktadır [Ebner, 2008].

Teknolojik gelişmeler ve GNSS sistemlerinin modernize edilmesi sonucunda GPS dışında GLONASS, GALİLEO, IRNSS, BEİDOU ve QZSS gibi diğer uluslararası ve bölgesel uydu sistemlerinin ortaya çıkması, PPP yöntemi ile elde edilen koordinat bilgilerinin hassasiyetini arttırmıştır. Bu gelişmelerle birlikte PPP yöntemi ilgi görmeye ve tercih edilen bir yöntem olmaya başlamıştır.

PPP yöntemiyle yapılan ölçümler, anlık ölçümler oldukları için ham verilerdir; dolayısıyla düzeltme değerlerini barındırmazlar. Hesaplamalar için çeşitli bilimsel/akademik yazılımlar (örneğin Bernese, GIPSY-OASIS, WaPPP, gLAB vs.) ve internet tabanlı online PPP servisler (CSRS-PPP, GAPS, APPS, Magic-GNSS vs.) kullanılmaktadır.

Yaynımızın 2.1.3. GPS ile Konum Belirleme Yöntemleri kısmında detaylı bir şekilde açıkladığımız uydu konum belirleme yöntemleri, hesaplamalarda kullanılan gözlem verisine (kod ya da faz), ölçü epok sayısına ve alıcı sayısına bağlı olarak tanımlanmıştır [Kahveci vd., 2011].

Bu yöntemlerin sırasıyla PPP Yöntemi ile mukayesesini yapmak istediğimizde; Mutlak Konum Belirleme Yöntemi, hassasiyet istenmeyen (metre civarı) araç navigasyon hizmetleri ve cep telefonu uygulamalarında kullanılan bir yöntem olup, düşük maliyetinden dolayı tercih edilmektedir. PPP yönteminde ise tek alıcı yanında ilaveten kod ve faz verileri kullanılarak konum belirlenmekte, dolayısıyla cmler seviyesinde doğruluklar elde edilmektedir. Bu nedenle yukarıda belirttiğimiz uygulamaların dışında hassasiyet gerektiren mühendislik hizmetlerinde öncelikle tercih edilebilmektedir.

PPP yönteminin rölatif (bağıl/diferansiyel) konum belirlemeye göre en önemli avantajı ise koordinatı bilinen bir ya da daha fazla referans istasyonuna ihtiyaç duyulmasıdır. Buna karşılık PPP yönteminde ise kod ve taşıyıcı faz gözlemlerinin ikisine birden gereksinim duyulmasıdır. Tam sayı belirsizliği çözümüne yönelik gereken yakınsama süresinin uzun olması, PPP yönteminin en önemli dezavantajlarından biridir. Dolayısıyla bu durum, PPP'nin gerçek zamanlı uygulamalarda tercih edilmesini oldukça sınırlandırmaktadır [Rizos vd., 2012].

3.1. PPP'de Hata Kaynakları

Rölatif (diferansiyel) konum belirleme yönteminde, bazı hataların tamamen ya da kısmen iki istasyon arasındaki fark gözlemleri alınarak giderilebilmesi sayesinde, milimetre hassasiyetinde doğruluk elde edilebilmektedir. Dolayısıyla referans olan istasyon veya alıcı kullanmak yerine, bunlardan yalnızca biri kullanılarak yapılacak PPP yöntemli ölçmelerde, santimetre mertebesinde doğruluk elde etmek için bütün hatalar (uydu saat, uydu yörünge, uydu anten faz merkezi kayıklığı vs.) dikkate alınmalıdır. [Cai, 2009].

Günümüzde hassas konum bilgisi gerektiren jeodezik/jeodinamik amaçlı araştırmalar ve yapı deformasyon analizi gibi çalışmalarda, rölatif konum belirleme yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde ölçümlerin hassasiyeti baz uzunluğuna ve ölçü süresine göre değişkenlik göstermektedir. Hassasiyetin baz uzunluğuna göre belirlenmesinin ana nedeni, baz uzunluğu arttıkça, oluşturulan rölatif

konumlama modelindeki (özellikle yörünge ve atmosferik etkiler gibi) fiziksel etkilere ait konumsal korelasyonun azalmasıdır. Bu hataların başında yörünge hatası, troposfer ve iyonosfer etkileri gösterilebilir [Aktuğ ve Lenk, 2010]. Bunların yanında uydu saat hatası, uydu anten faz merkezi kayıklığı, gelgit etkisi ve kutup gezinimi de sayılabilecek hatalar arasındadır.

Baz uzunlukları sırasıyla 100 km'den küçük olanlar yerel, 500 km ile 1000 km arasında olanlar bölgesel, 1000 km'den büyük olanlar ise küresel baz olarak Uluslararası GNSS Servisi (IGS) tarafından adlandırılmıştır. 100 km'den küçük yerel ağlarda, faz gözlemleri ile rölatif konum belirleme yöntemi uygulandığında, birçok hata kaynağı ve hata etkisi görmezden gelinebilmektedir [Kahveci, 2010]. Bu nedenle jeodezik, jeodinamik ve deformasyon analizi gibi uygulamalarda, bölgesel ve küresel seviyedeki ağ kurulumlarında ve PPP yöntemi seçilerek yapılan tüm uygulamalarda birçok hata kaynağı dikkate alınmalı ve modellendirilmelidir.

Hata kaynakları, uydu kaynaklı, alıcı kaynaklı ve jeodinamik hareketlerden kaynaklı hatalar şeklinde sınıflandırılabilir.

3.1.1. Uydu Kaynaklı Hatalar

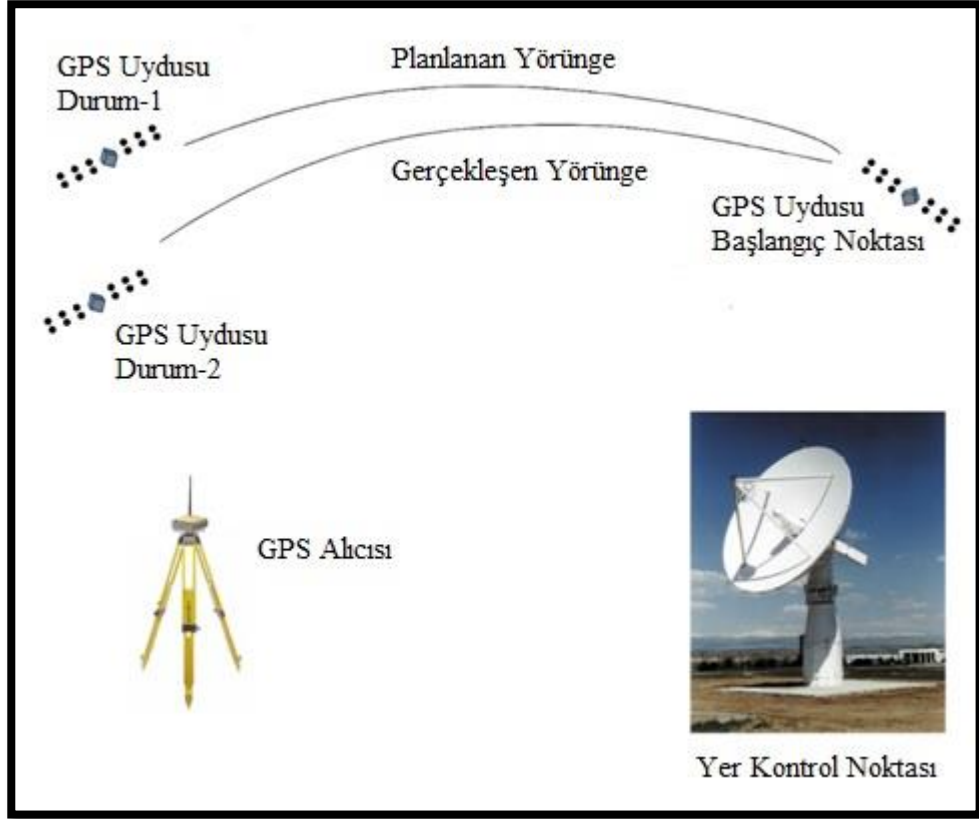
3.1.1.1. Uydu Yörünge Hataları

PPP üzerinde doğrudan etkisi bulunan uydu yörünge hatası, uydunun olması gereken teorik yörüngesiyle gerçekte bulunduğu yörünge arasındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır.. Bu farklılık genel olarak yol boyunca, çapraz yol ve radyal şeklinde üç şekilde açıklanmaktadır. [Rizos, 1999].

Uydulardan sürekli olarak yayınlanan sefer (navigasyon) sinyalleri içinde uyduların konumlarını bildiren efemeris veri setleri vardır. Bu setler almanak verisi, yayın (broadcast) efemeris ve hassas efemeristen oluşmaktadır. Bunlardan almanak verisi, uyduların konumlarını kabaca kilometre hassasiyette sağlamaktadır [Ebner, 2008]. Kepler öğelerini içeren yayın efemerisi ise uydu konumlarını belirleyebilmeleri için yaklaşık 1,6 m doğrulukla kullanıcılara gönderilmektedir. [GLONASS ICD, 2002].

PPP tekniğinde, alıcının konumunu belirlemek için alıcı ile uydu arasındaki mesafe hesaplanırken, uydu konumlarının hassas olması gerekmektedir. Uydu sefer sinyallerinde yer alan konum bilgileri (efemeris), uydunun teorik yörüngesinde doğru

hareket ettiği farz edilerek hesaplanan verilerdir. Uyduların ölçüm esnasında gerçekte nerede oldukları, yaklaşık 15 gün sonra internet üzerinden yayınlanan ve ortalama olarak 2,5 cm civarında hata payı olan hassas efemeris verileri kullanılarak hesaplanmaktadır. Şekil 3.1 'de uydu yörünge hatası resmedilmiştir.



Şekil 3.1: Uydu Yörünge Hatası.

3.1.1.2. Uydu Saat Hataları

GPS uydularında doğru zaman sinyallerini elde etmek için hassas atomik saatler kullanılmaktadır. Uyduya sabitlenmiş atom saatleri düzenli çalışmakla beraber sabit osilatörün, GPS zamanıyla senkronizasyonunu sağlayamamaktadırlar. İşte bu nedenden dolayı GPS saati ve atom saati arasındaki sapmalardan uydu saat hatası ortaya çıkar. Atomik saatler yüksek performanslı olduklarından, osilatör sürekli ayarlanamayabilir. Bu nedenle sabit atom saatleri sürüklenmeye bırakılmıştır. Bunların performansları, ana kontrol istasyonlarından yakinen izlenmektedir. Sabit atomik saatler, GPS sistem zamanının ± 1 mikrosaniye hata miktarı etrafında tutulacak şekilde ana kontrol istasyonları tarafından ayarlanır [Roulston, 2001].

Fark alınmamış (undifferenced) PPP çözümlerinde, uydu yörünge ve saat hatalarının kesin olarak bilinmesi büyük önem taşır. Şayet bu hatalar tam olarak bilinmiyorsa PPP yöntemi ile yüksek doğruluklu nokta konumlandırılması çok zordur [Witchayangkoon, 2000].

PPP yönteminde yörünge saati hatasını mümkün olan en iyi şekilde düzeltmek ve böylece olası yüksek nokta konum hassasiyetini elde etmek gerekmektedir [Choy, 2009].

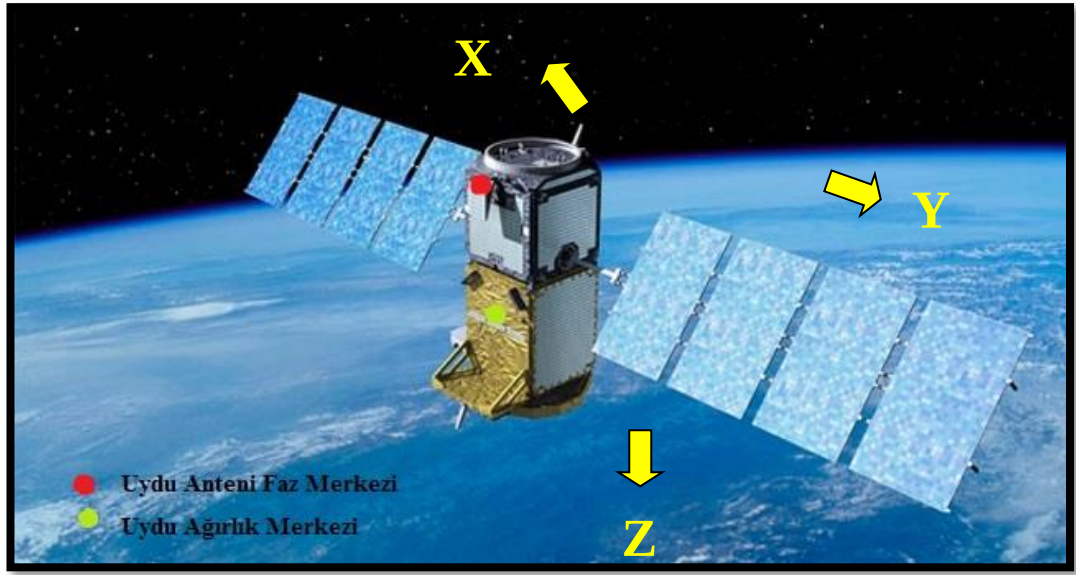
PPP yönteminde karşımıza çıkan uydu yörünge ve saat farklılıkları, final, hızlı (rapid) ve ultra hızlı (ultra rapid) şeklinde yayınlanan IGS hassas uydu düzeltme verileri yardımıyla düzeltilebilir.

3.1.1.3. Uydu Anteni Faz Merkezi Kayıklıkları

Uydu verileri uyduların verici anten bölümünden yayınlanır ancak hassas efemeris verisi içersinde bulunan uydu koordinatları, uyduların ağırlık merkezi koordinatları olarak tanımlıdır [Zhu vd., 2003].

PPP yönteminde dikkate alınması gereken uydu anteninin faz merkezi kayıklığı, uydu ağırlık merkezi ile antenin faz merkezi arasındaki fark yüzünden ortaya çıkmaktadır. Hassas olarak üretilen uydu yörünge ve saat verilerinde, uydulara etki eden kuvvetlerin modellendirilmeleri uydu ağırlık merkezi baz alınarak gerçekleştirilmektedir. Buna karşılık PPP yönteminde ise kullanılan kod ve taşıyıcı faz gözlemleri, anten faz merkezi baz alınarak yapılmaktadır.

Uydu anteninin faz merkezi değerleri, uydu sabit koordinat sisteminde belirtilmektedir. Koordinat sisteminin merkezi ise uyduların kütle merkezleridir. Z eksenini dünyanın merkezi doğrultusunda, Y eksenini uydunun güneş panelleri eksenini doğrultusunda, X eksenini ise sağ el kuralını belirtmekte olup; uydu, dünya ve güneş aynı düzlemde yer almaktadırlar [Kouba ve Heroux, 2001]. Şekil 3.2 'de Uydu Anteni Faz Merkezi Kayıklıklığı resmedilmiştir.



Şekil 3.2: Uydu Anteni Faz Merkezi Kayıklıklığı.

Hali hazırda bulunan tüm uyduların, uydu anteni faz merkezi kayıklıklarının dikkate alınması gerekmez. GPS Blok IIR uyduları ve bunlardan sonra tasarlanmış olan diğer uydu blokları, iki merkez tutarlılığından dolayı anten faz merkezi kayıklık düzeltmelerini uygulamaya gerek duymazlar [Leick, 2004].

3.1.1.4. Uydu Anteni Faz Dönmesi (Phase Wind Up)

GNSS uydularının L1 ve L2 bantları üzerinden iletilen sefer (navigasyon) bilgileri, dairesel olarak sağ-el kuralı şeklinde polarize olur. Bu yüzden alıcı taşıyıcı faz gözlemlerinde, uydu ve alıcı antenlerinin birbirlerine doğru yönelmeleri gerekmektedir. Uydu ve alıcı antenlerin göreceli rotasyonu, gözlemlenen taşıyıcı fazı yaklaşık bir dalga boyu kadar değiştirebilir. Bu değişime, uydu faz dönmesi adı verilir [Wu vd.,1993].

Uydu ya da alıcı anteninin kendi düşey eksenleri etraflarında bir tam tur dönmeleri, bir tam dalga boyu kayma meydana getirir. Alıcı anteni sabitse kendi düşey eksenini etrafında dönmeyeceği için uydu antenlerinde yer alan güneş panellerinin güneşe doğru dönmesi gerekmektedir. Güneş panelleri güneşe doğru döndürülürken uydu küçük hareketler yapar. Özellikle uyduların karanlıkta kaldıkları dönemlerde güneş panelleri yeniden konumlandırılmaktadırlar. Bu sayede yarım saatten kısa bir süre içerisinde uydu bir tam dönüş yapmış olur. Bu hareket sonucu faz dönmesi durumu ortaya çıkar [Kahveci, 2010].

Rölatif konum belirleme tekniğinin kullanıldığı yerel ağlarda (100 km'den küçük baz uzunlukları) uydu faz dönmesi etkisi dikkate alınmayabilir ancak yaklaşık 4000 km uzunluğunda bir bazda bu etkinin yaklaşık 4 cm'lik bir hataya sebep olduğu gözlemlenmiştir [Kouba, 2009].

Bu etli, PPP yönteminde ise uzunluktan bağımsız olarak bir dalga boyunun yarısı mertebelerine ulaşabileceği için büyük önem taşımaktadır [Kouba and Heroux, 2001].

Faz dönmesi düzeltilmesi aşağıdaki eşitlikler yardımıyla düzenlenebilir [Wu vd., 1993]:

$$D = x - k(k \cdot x) + kxy \quad (3.1)$$

$$D' = \bar{x} - k(k \cdot \bar{x}) - kx\bar{y} \quad (3.2)$$

$$\Delta\Phi = \text{sign}(k \cdot (D' \times D)) \cos^{-1}(D' \cdot \frac{D}{|D'| |D|}) \quad (3.3)$$

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

3.1.1.5. Göreceli Etki

PPP yönteminde önemle üzerinde durulması gereken bir diğer etki göreceli etkidir. Uydu konumlarının belirlenmelerinin esası, uydulardan alıcılara ulaşan sinyallerin aradaki mesafede yol aldıkları zamanın ölçümüdür. Bu ölçümlerde ortaya çıkan göreceliğin nedeni ise yerçekimi etkisiyle hareket eden alıcı saati ve uydu saatinin hareketlerindeki hız farkıdır. Bu fark ölçülen zamanı doğrudan etkiler. Bundan uydu saatleri, özel görecelik ve genel görecelik olmak üzere iki etki ile karşı karşıya kalırlar.

Özel görecelik teorisine göre, sabit hızla hareket eden uydu saati, göreceli hareketin zaman dilatasyonu etkisi yüzünden, yeryüzündeki gözlemlenen saatten daha

yavaş hareket ettiği görünür [Tao, 2008]. Bu göreceli etki düzeltmesi aşağıdaki şekilde düzenlenebilir [GPS ICD, 2000]:

$$\Delta t_r = -\frac{2\vec{R} \cdot \vec{V}}{c^2} \quad (3.4)$$

- Δt_r : Görecelik düzeltmesi,
- R : Uydu anlık konum vektörü,
- V : Uydu anlık hız vektörü,
- c : Işık hızı.

Genel göreceliğe göre ise uydu saatinin, aralarındaki yerçekimi farklılıklardan dolayı yeryüzündeki saatten daha hızlı hareket ettiği görünür. Bu etki için düzeltme aşağıdaki denklemde belirtildiği üzere [Rothacher ve Beutler, 2002]:

$$\Delta t_p = \frac{2GM}{c^2} \ln\left(\frac{r^s + r_r + r_r^s}{r^s + r_r - r_r^s}\right) \quad (3.5)$$

- Δt_p : Yerçekimi gecikme hatası,
- G : Yerçekimi sabiti,
- M : Dünya'nın kütlesi,
- r^s : Uydu ile Dünya arasındaki mesafe,
- r_r : Alıcı ile Dünya arasındaki mesafe,
- r_r^s : Alıcıdan uyduya olan mesafe.

3.1.1.6. Yeryuvarı Dönme Parametreleri (Sagnac Effect)

Herhangi bir uydudan yayınlanan sinyal, yeryüzündeki alıcıya ulaşınca kadar yeryuvarının kendi eksenini çevresindeki dönme hareketinden dolayı, yeryüzündeki alıcı 500 m/s hıza ulaşır. Dolayısıyla dünyanın kendi eksenini etrafındaki dönme hareketinden kaynaklanan bu hataya sagnac etkisi denir. Sagnac etkisi, yaklaşık 30 m'lik konum hatalarına ulaşabilir. Bu durumun, uyduların koordinatlarına düzeltme olarak mutlaka eklenmesi gerekmektedir [Ebner, 2008], [Ashby and Weiss, 1999].

Bir diğ er tanımlamayla sagnac etkisi, uydudan alıcıya sinyal gönderimi esnasında yeryüzünün merkezine dik gelen ışık ışınına, yarıçap vektörü tarafından süpürülen orantısal alan olarakta açıklanmaktadır [Parkinson ve Ashby, 1996].

$$\Delta t_s = + \frac{2\Omega_e \cdot A_e}{c^2} \quad (3.6)$$

Ω_e dünyanın açısal dönme hızı (WGS-84) ve A_e ise uydudan alıcıya sinyal yolculuk ederken yeryüzünün merkezine dik gelen ışık ışınına, yarıçap vektörü tarafından süpürülen toplam alandır.

3.1.2. Alıcı Kaynaklı Hatalar

3.1.2.1. Alıcı Saat Hataları

GNSS alıcı saatlerinde düşük maliyetli olmaları nedeniyle kuvars kristalinden osilatör kullanılmakta olup, bu osilatörler sıcaklık değişimlerinden kısa sürede etkilenmekte ve GNSS uydu saatlerinde kullanılan atomik saatler kadar uzun süre istikrarlı kalamamaktadırlar. Bu sebeplerden dolayı uydu ve alıcı arasındaki mesafe hesaplamalarında hatalar meydana gelmektedir. Dolayısıyla uydu zaman  l eğine göre sapmaların (drift) sık sık karşılaştırılması gerekmektedir [Martin, 2013], [Hofmann-Wellenhof vd., 2008].

Standart PPP yönteminde uydular arasındaki saat dengelemeleri giderilebilmektedir. Bu fark, alıcı konumu ile birlikte stokastik bir parametre olarak kestirilmektedir [Martin,2013], [Kouba, 2009].

Alıcı saat hatasını hesaplayabilmek için ilave uydu gözlemleri yapılabilir. Ayrıca alıcı saat hatası, uydular arasındaki gözlem farklılıklarına göre azaltılabilir.

3.1.2.2. Alıcı Anteni Faz Merkezi Kayıklıkları (Phase Center Variation)

Uydularda L1 ve L2 taşıyıcı sinyallerinin faz merkezi aynı olmasına karşılık, her yönden gelen GPS/GNSS uydu sinyallerini karşılayabilmek için alıcı anteni faz merkezi konumu, bu doğrultulara bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu doğrultu bağımlılığına alıcı anteni faz merkezi değişimleri (Phase Center Variations/PCV) adı

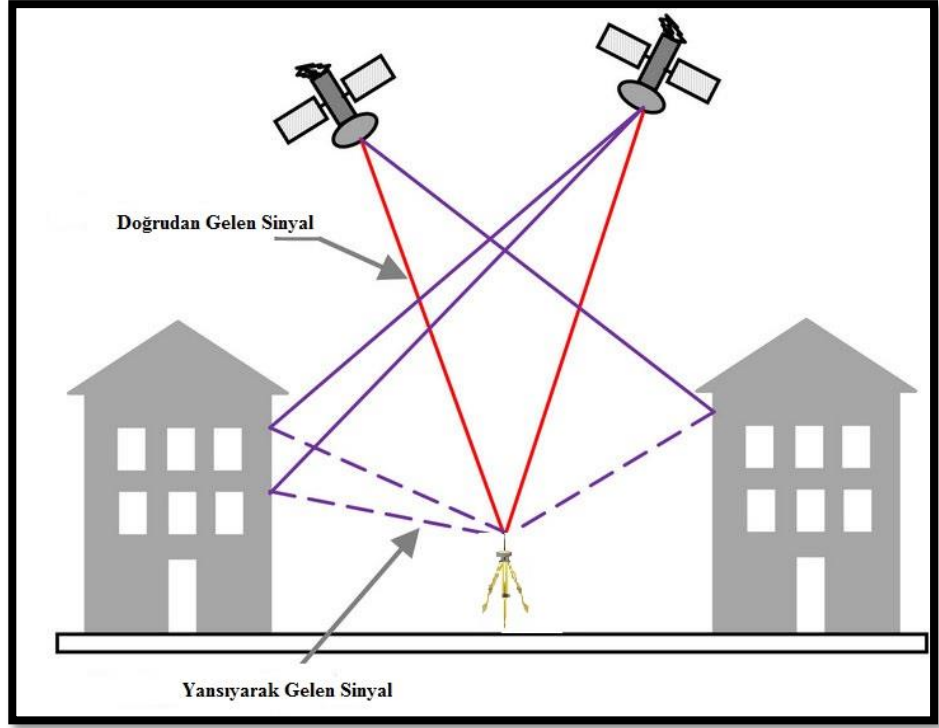
verilmektedir. Bu değişimler, alıcı anten modellerinin farklı olmasından dolayı uydu antenlerine nazaran daha karmaşıktır. Özellikle aynı ağ üzerinde farklı model antenler kullanılarak yapılan ölçümlerde, bu etki çok daha fazla önem arz eder. Bu etki dikkate alınmadığı takdirde, baz uzunluğundan bağımsız olarak genellikle istasyon yüksekliklerinde 10 cm'ye varan hatalar meydana gelmektedir. Ağda aynı tip antenler kullanılarak yapılan ölçümlerde ise bu etki kendini ölçek faktörü olarak göstermekte ve büyüklüğü de yaklaşık 0.015 ppm olarak belirtilmektedir [Kahveci, 2010], [Hugentobler vd., 2001].

GNSS ağlarında farklı model antenler kullanılacak ve troposferik parametreler de hesaplanacaksa, mutlak faz merkezi değişimlerini içeren faz merkezi dosyaları kullanılmalıdır. Bu hatalar PPP yönteminde sonuçlara direk etki ettikleri için yükseklik bileşeni açısından özellikle dikkate alınmaları gerekmektedir [Mutlu, 2011].

3.1.2.3. Sinyal Yansıma Hatası (Multipath)

Alıcı antenlerin civarlarında bulunan nesnelerden yansıyan sinyaller, sinyal yansıma (multipath) hatasına neden olmaktadır. Bu durum uydulardan alıcıya doğrudan gelen sinyallerin bozulmasına neden olur. Böylece kod doğruluğunu ve taşıyıcı faz ölçümlerinin kalitesini düşürür [Weill, 2003]. Alıcı anteni teknolojilerindeki hızlı gelişmelere rağmen, uydulardan alıcıya gelen sinyaller yüksek katlı yapılar, dar vadiler ve ormanlık araziler gibi alanlarda kırılmalara ve sapmalara maruz kalırlar. Bu şekilde daha fazla yol izleyerek ve doğrudan sinyale karışarak alıcıya ulaşan sinyallerin oluşturduğu etkiye, sinyal yansıma (multipath) etkisi adı verilir [Tiryakioğlu, 2005].

Bu kırılmalar ve yansımalar nedeniyle oluşan sinyal yansıma hatası, günümüzde halen nokta konumlandırma ve navigasyonun ana hata kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Teorik olarak maksimum sinyal yansıma hatası, kod çip uzunluğunun yaklaşık yarısıdır. P (Y) kodu için 15 metre ve C/A kodu için 150 metredir. Faz gözleminde ise çok yollu etki, dalga boyunun dörtte birini geçmez. Buna göre L1 ve L2 için yaklaşık 5-6 cm civarındadır [Shen, 2002]. Şekil 3.3 'te Sinyal Yansıma Hatası (Multipath) resmedilmiştir.



Şekil 3.3: Sinyal Yansıma Hatası (Multipath).

Bazı zorunlu haller dışında sinyal yansıma etkisini en aza indirmek için, ölçüm yapılacak yerin doğru seçilmesi, olabildiğince yansıma ve kırılmalara sebebiyet verecek engellerden uzak durulması gerekmektedir. Ancak zorunlu hallerde farklı anten donanımları kullanılarak, özellikle choke ring tipi anten kullanılarak sinyal etkisi azaltılabilir. Ayrıca çeşitli alıcı yazılımları ile bu etki giderilebilmektedir. Uydu yükseklik açısının 10° ila 20° arasında seçilmesi de bu etkinin azalmasına etki edecek faktörlerden biri olarak düşünülmelidir.

3.1.3. Jeodinamik Hareketlerden Kaynaklı Hatalar

3.1.3.1. Katı Yeryuvarı Gelgiti (Solid Earth Tides)

Güneş ve Ay sahip oldukları çekim kuvvetleriyle Dünya üzerinde düşey ve yatay her iki yönde periyodik bozulmalara neden olur. Bu bozulmalar Love ve Shida adı verilen sayılar ile tanımlanan global derece ve dizi küresel harmoniklerle izah edilebilir. Gelgit etkileri, istasyon enlemi, gelgit frekansı ve yıldız zamanına bağlıdır. Yatay bileşende 5 cm'ye, yükseklik bileşeninde ise 30 cm'ye varan değerlere ulaşabilmektedir. [Kouba ve Heroux, 2001].

Katı yeryuvarı gelgiti nedeniyle oluşan konum değişimleri, sabit bölüm ve periyodik bölüm olmak üzere ikiye ayrılabilir. Sabit bölüm ekvator bölgesinde 12 cm'ye kadar ulaşabilirken; periyodik bölümse tüm gün boyunca yapılacak statik ölçümlerle belirli oranlarda azaltılabilmektedir [Kouba ve Heroux, 2001].

Sabit bölüm ve periyodik bölümde yer değiştirme düzeltmeleri için uygulanan formül aşağıdaki gibidir [IERS, 1989]:

$$\Delta \vec{r} = \sum_{j=2}^3 \frac{GM_j}{GM} \frac{r^4}{R_j^3} \left\{ [3l_2(\hat{R}_j \cdot \hat{r})] \hat{R}_j + \left[3 \left(\frac{h_2}{2} - l_2 \right) (\hat{R}_j \cdot \hat{r})^2 - \frac{h_2}{2} \right] \hat{r} \right\} \quad (3.7)$$

$$+ [-0.025m \cdot \sin \phi \cdot \cos \phi \cdot \sin(\theta_s + \lambda)] \cdot \hat{r}$$

- $\Delta \vec{r}$: Kartezyen koordinat sisteminde yer değiştirme bölge vektörü,
- GM : Dünya'nın yerçekimi parametreleri,
- GM_j : Ay'ın (j=2) ve Güneş'in (j=3) yer çekimi parametreleri,
- r : İstasyon merkezli durum vektörü,
- R_j : Ay'ın (j=2) ve Güneş'in (j=3) yer merkezli durum vektörü,
- $\hat{r}$: İstasyon yer merkezli birim durum vektörü,
- $\hat{R}_j$: Ay'ın (j=2) ve Güneş'in (j=3) yer merkezli birim durum vektörü,
- l_2 : Nominal 2. derece Love sayısı (0.609),
- h_2 : Nominal 2. derece Shida sayısı (0.085),
- ϕ : Nokta enlemi,
- λ : Nokta boylamı,
- θ_g : Greenwich yıldız zamanıdır.

Katı yeryuvarı gelgiti etkisi PPP yönteminde göz önüne alınmadığında sistematik hatalara yol açacağından, mutlaka dikkate alınması gerekmektedir. Örneğin dikkate alınmaması halinde, tüm gün süren statik ölçüler yapılsa dahi radyal yönde 12 cm'ye ve kuzey yönde 5 cm'ye varan mutlak konumu ilgilendiren sistematik hatalar söz konusu olmaktadır.

Katı yeryuvarı etkisinin, yerel ağırlarda (100 km'den küçük baz uzunluklarında) rölatif konum belirleme yöntemi kullanılarak yapılan ölçümlerde, baz hattının iki ucunda da aynı olduğu kabul edilerek elemine edilebilmektedir [Kouba ve Heroux,

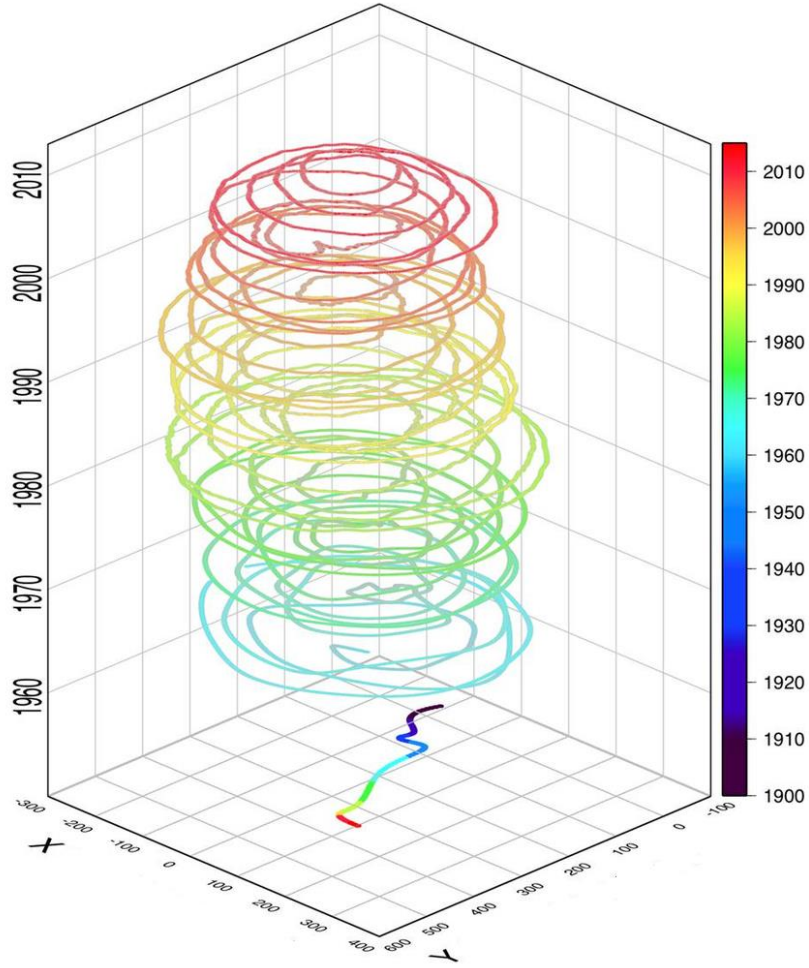
2001], [Kouba, 2009].

3.1.3.2. Okyanus Yüklemesi (Ocean Loading) Etkisi

Gelgit hareketleri sonucu okyanus suyunun büyük hacimler halinde yer değiştirmesi sonucu yerkabuğuna, okyanus tabanında ve kıyılarda yük binmektedir. Bu da gerek okyanus tabanında gerekse kıyı şeridinde yer değişimlerine ve şekilsel değişikliklerin ortaya çıkmasına sebep olur. Okyanus yükleme, katı yeryuvarı gelgitlerinin etkilerinden daha küçük değerlerdedir. Kinematik yöntemle yüksek hassasiyette konum belirleme ve bir saatten daha kısa süreli statik ölçmelere dayalı konum belirleme uygulamalarında dikkate alınmalıdır. Öte yandan okyanus kıyısından 1000 km veya daha uzakta bulunan istasyonların konumlarının hesaplanmasında ve tüm gün süren statik ölçümlerde bu etkiye yer verilmemektedir [Kouba ve Heroux, 2001].

3.1.3.3. Kutup Gelgiti (Polar Tides) Etkisi

Dünya'nın dönme eksen, Güneş ve Ay'ın çekim kuvvetlerinin yanında, yeryüzünün elastik yapısına atmosfer ve okyanusların etkileri de eklendiğinde değişime uğramaktadır. Yerkürenin merkezkaç kuvveti potansiyelindeki küçük değişimler sebebiyle yerkürenin dönme ekseninin (veya anlık kutubun), katı yeryüzüne göre hareketine kutup gezinmesi (Polar Motion) adı verilmektedir. Bu hareketin neden olduğu periyodik deformasyonların yanında, Güneş ve Ay'ın çekim kuvvetleri de istasyon koordinatlarında periyodik değişiklikler meydana getirmektedirler. [Kahveci, 2010], [Herring, 1988]. Şekil 3.4' te yeryuvarı dönme ekseninin 1962 yılından bu yana izlediği yol yani kutup gezinme hareketini görebilirsiniz [Web-5, 2018].



Şekil 3.4: Yeryuvarı dönme ekseninin 1962 yılından bu yana izlediği yol, kutup gezinme hareketi.

Kutup Gelgiti (Polar Tides) etkisinin değişimi çok yavaş olduğu için, yukarıda bahsettiğimiz katı yeryuvarı gelgiti ve okyanus yüklemesi etkilerinde olduğu gibi tüm gün süren uzun süreli ölçümlerle giderilememektedir. Bunun yerine 1900-1905 yılları arasında ölçülmüş ve hesaplanmış ortalama kutup hareketi, kutup gezinmesi gözlemleri için başlangıç sayılmaktadır. Günümüzde kutup gezinmesi hareketi yaklaşık 1-1,5 cm civarında bir büyüklüğe denk gelmektedir. Kutup gelgiti etkisinin yükseklik bileşeninde 25 mm'ye, yatay doğrultuda ise en fazla 7 mm'ye ulaşabildiği belirlenmiştir [Kahveci, 2010], [Kouba, 2009], [Kleusberg ve Teunissen, 1998], [Montenbruck ve Gill, 2000].

3.1.4. Atmosferik Modelleme

3.1.4.1. Atmosfer Yüklemesi

Atmosferik kütleinin yer ve zaman değişimlerinden nedeniyle ortaya çıkan atmosfer yüklemesi, okyanus yüklemesi ve katı yeryuvarı gelgitleri üzerinde dolaylı bir etkiye sahiptir ve bu durum sonucunda yeryüzünde çeşitli derformasyonlar oluşur [Witchayangkoon, 2000]. Bu etkinin yol açtığı yer değiştirme hareketleri, düşeyde 20 mm'ye ve yatayda 3 mm'ye kadar ulaşabilir [Petrov ve Boy, 2004]. Bu yer değiştirme miktarı, kuzey enlem bölgeleri ile kıyaslandığında orta enlem bölgelerinde daha büyük bir değerlere sahip bir coğrafi konum fonksiyonudur [IERS, 1996]. Basitten karmaşığa kadar değişkenlik gösteren pek çok sayıda atmosfer yükleme modelleri mevcuttur. Bunlardan biri olan basit model aşağıdaki denklemde sunulmaktadır [Rabbel ve Schuh, 1986]:

$$\Delta r = -0.35p - 0.55p' \quad (3.8)$$

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

3.1.4.2. İyonosfer Etkisi

İyonosfer yeryüzünden yukarıya doğru yaklaşık 60 km ile 1100 km arasında yer alan ve adı üzerinde atmosferin iyonlaşmış kısmını ifade eder. Muhtevasında güneş ışınları ile iyonize olmuş gazlar, serbest elektronlar ve pozitif yüklü iyonlar içermektedir. Bu katman sinyal yayılımına elverişli olup, bu sinyal yayılımına ortamın elektriksel özellikleri, serbest elektronlar ve pozitif yüklü iyon parçaları önemli ölçüde etkilemektedirler. İyonosferin yapısı ve içerdęi maksimum elektron miktarı, dünyanın manyetik alanı, coğrafi konum, güneş ışınımı, yerkürenin hareketleri ve zaman ile doğrudan ilgilidir. İyonosferin konumdan konuma değişiklik gösteren kırılma indisi, uydu sinyallerinin taşıyıcı frekansları için önemli bir etkendir [Web-6, 2009].

Bu kırılma indeksinin konum belirlemede uydu sinyallerine olan etkisi hesaplamalarda düzeltilmesi gereken temel hatalardan biridir. İyonosferdeki

iyonlaşma miktarı güneş ışıınımlı ile ilgilidir. Güneş ışıınımlı sayesinde elektronlar moleküllerinden ayrılarak serbest hale geçerler. Örnekleyerek açıklamak gerekirse serbest elektron miktarı en yüksek seviyeye yerel saate göre 14:00 civarında ulaşmaktadır. Bunun tam tersi yöndeysel geceleri elektronlar iyonlar ile birleştiğinden serbest elektron yoğunluğu azalmaktadır. İyonosferdeki bu elektron yoğunluğuna bağılı gecikme, gündüz ve gece arasında 1 ila 20 m arasında değışiklik gösterebilmektedir. Bu günlük değışimlerin yanı sıra iyonosferde gerçekleşen mevsimsel değışimlerde bahsettiğimiz değışikliklere ilave etkilerde bulunurlar [Arslan, 2004], [Web-6, 2009].

Söz konusu bu değışimler sonucunda ortaya çıkan serbest elektronlar, GPS/GNSS sinyalleri üzerindeki kod ölçülerini geciktirici, taşıyıcı faz ölçülerini ise hızlandırıcı bir etki göstermektedirler. Bu sinyal etkisi, uydunun alıcıya olan mesafesiyle orantılı olarak 3 ila 15 m arasında bir değışime neden olur ki; PPP yönteminde bu hatanın mutlaka modellenmesi gerekmektedir [Erkan vd., 2010].

İyonosfer aynı zamanda saçıcı bir ortamdır. Bu ortamda GPS'nin ikili sinyal özelliğinden faydalanılarak, sinyal kombinasyonu ile toplam elektron yoğunluğu (TEC) modellenebilmektedir. TEC değıerleri, bölgeye veya küresel iyonosfer yapısı hakkında bilgiler içermektedir. Bölgesel TEC haritalarının üretilebilmesi için fark alınmamış taşıyıcı faz verisine Taylor açılımı uygulanılmaktadır. Küresel iyonosfer etkilerinin modellenmesinde ise, bölgesel nitelikteki Taylor açılımı uygulanması yetersiz olduğı için küresel harmonik açılım metodunun kullanılması uygundur [Arslan, 2004], [Dach vd., 2007].

Bugün GNSS ölçmelerinde çeşitli iyonosfer matematikselde faydalınabilmektedir. Örneğın tezimizin uygulama kısmında İonosphere-Free modelinden yararlanılmıştır. İonosphere-Free modeli, faz ve kodların lineer kombinasyonu olarak karşımıza çıkar. L1 bandı ve L2 bandı dalgalarının frekans farklılığı, iyonosfer üzerindeki etkiyi de farklı kılacaktır. Aralarındaki bu farklılıkların harmanlanabilmesi için iyonosfer kökenli hataların temizlenmiş olduğı matematiksel model aşağıdaki denklem grubunda sunulmuştur:

$$P_{IF} = \frac{f_1^2 \cdot P_1 - f_2^2 \cdot P_2}{f_1^2 - f_2^2} = \rho - cdt + d_{trop} \quad (3.9)$$

$$P_{IF} = \frac{f_1^2 \cdot \Phi_1 - f_2^2 \cdot \Phi_2}{f_1^2 - f_2^2} = \rho - cdt + d_{trop} + \frac{cf_1 \cdot N_1 - cf_2 \cdot N_2}{f_1^2 - f_2^2} \quad (3.10)$$

Denklemden ρ alıcı ile uydu arasındaki gerçek uzunluk, c ışık hızı, dt saat hataları, d_{trop} ise troposferik düzeltme ve N ise faz başlangıç belirsizliği (ambiguity) olarak belirtilmektedir.

3.1.4.3. Troposfer Etkisi

Troposfer yeryüzünden başlayıp, yüzeyden yaklaşık 40 km yukarıya kadar olan atmosfer tabakasını tanımlamaktadır [Hofmann, 2001]. İyonosfer gibi dağıtıcı bir ortam değildir. Bundan dolayı troposfer etkisi L1 ve L2 bant verilerinin gözlem kombinasyonları ile ortadan kaldırılamamaktadır. Çünkü troposferik gecikme büyüklüğü, uydu yükseklik açısı, alıcı yüksekliği, atmosferik basınç, sıcaklık ve su buharı basıncı gibi birçok değişkene bağlıdır. Ayrıca L1 ve L2 frekanslarının herbiri için troposferik gecikme aynı değere sahip değildir. Bununla birlikte troposferin yükseklik bileşenine etkisi daha fazladır.

Troposfer kuru ve ıslak olmak üzere iki bileşene ayrılarak tanımlanmıştır. Troposferin yüksek kısımlarının neden olduğu ve toplam troposfer hatasının yaklaşık % 90'ını açıklayan bileşene kuru bileşen adı verilir. bu bileşen kolayca modellenmektedir. Geri kalan %10'luk kısmı açıklayan ve ıslak bileşen olarak adlandırılan bileşen ise troposferin daha düşük kısımlarından kaynaklanmaktadır. Kuru bileşenin aksine ıslak bileşenin modellenmesi ise sıvı suyun düzensizliğinden, ortamdaki su buharı yoğunluğundan ve troposfer zamanından kaynaklanan nedenlerle dolayı daha zordur [Misra ve Enge, 2001].

Islak bileşenin modellenerek giderilebilmesi için toplam troposferik gecikme ele alınır. Islak bileşenin giderilmesi için kullanılan modeller içinde en yaygın olarak kullanılanları yüzey modelleri (Hopfield ve Saastamoinen modelleri), radyosond profilleri, su buharı radyometresi (SBR) ve standart atmosfer modeli olan troposferik parametre kestirimidir. [Arslan, 2004], [Mekik, 1999], [Brunner ve Welsch, 1993], [Dodson, 1995].

Ayrıca troposferik etkinin radyo sinyal yayılımı üzerindeki etkisini formüle etmek üzere çeşitli troposferik düzeltme modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerin yanında yükseklik açısının bir fonksiyonu olan sinyal gecikmesinin tanımlandığı,

birçok farklı oransal haritacılık fonksiyonu bulunmaktadır.

Uydu ile alıcı anten arasında yol alan sinyalin yükseklik açısının 15° 'nin altında olmaması idealdir ancak bu değerin altında olduğu durumlarda troposferik gecikme çok yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bu gibi durumlarda troposferik gecikmenin modellenmesi oldukça zorlaşmaktadır. Yükseklik açısının 15° 'nin hemen altında olduğu durumlarda troposferik gecikmenin zenit açısındaki değeri 2.2 m civarında olurken, yükseklik açısının 0° 'ye yakın olduğu durumlarda ise 25 ila 85 m arasında değişen değerlere varabilmektedir. Bu örneklerde de belirtildiği gibi GPS/GNSS ölçümleri kullanılarak yapılan uygulamalarda, troposfer ve sinyal yolu eğriliğinden kaynaklanan etkilerin en aza indirilmesi için ölçümlerin 15° 'nin altına inen uydu yükseklik açı değerlerinde yapılmaması tavsiye edilmektedir [Mekik, 1999].

Niell'in 1996 yılında yapmış olduğu çalışmasında belirttiği üzere uydular zenit doğrultusunda değillerken, troposferde öngörülen sinyal yolu uzunluğu artışını belirten oransal bir fonksiyon ve bir katsayı belirlenmesi gerekmektedir. Buna göre troposferik düzeltme (d_{trop}), aşağıda belirtilen eşitlik yardımıyla hesaplanabilmektedir [Ebner, 2008], [Niell, 1996].

$$d_{trop} = zpd \chi Map = d_{kuru}^z \chi Map + d_{islak}^z \chi Map \quad (3.11)$$

- d_{trop} : Troposferik düzeltme,
- zpd : Zenit yolu gecikmesi (zenit path delay),
- d_{kuru}^z, d_{islak}^z : Zenit yolu gecikmesi için kuru ve ıslak bileşenler,
- Map : Oransal fonksiyon/katsayı (mapping function).

3.2. Geleneksel GPS-PPP Matematik Modeli

Geleneksel PPP modellerinde, L1 ve L2 taşıyıcı faz gözlemleri sonucunda L1 ve L2 bantlarından gelen kod gözlemleri arasındaki serbest-iyonosfer kombinasyonu da kullanılmaktadır. PPP yönteminde ionosferik hata etkisini en aza indirmek için serbest-iyonosfer, kod-kod ve faz-faz gözlem kombinasyonları en sık tercih edilen yöntemlerdir. Bir alıcı anteni ve uydu arasında gözlemlenen L1 ve L2 ile ilgili kod pseudorange mesafesi ve taşıyıcı faz gözlemleri aşağıda belirtilen denklem ile gösterilmektedir:

$$P_i = \rho + c * dt - c * dT + d_{orb} + d_{trop} + d_{ion/P_i} + d_{mult/P_i} + \varepsilon_{P_i} \quad (3.12)$$

$$\Phi_i = \rho + c * dt - c * dT + d_{orb} + d_{trop} - d_{ion/\Phi_i} + \lambda_i * N_i + d_{mult/\Phi_i} + \varepsilon_{\Phi_i} \quad (3.13)$$

Bu denklemde yer alan semboller ve anlamları aşağıda belirtilmiştir:

- N_i : L_i ile ölçülen pseudorange mesafe (m),
- Φ_i : L_i ile ölçülen taşıyıcı faz,
- ρ : Gerçek geometrik aralığı (m),
- c : Işık hızı (m/s),
- dt : Alıcı saat hatası (s),
- dT : Uydu saat hatası (s),
- d_{orb} : Uydu yörünge hatası (m),
- d_{trop} : Troposferik gecikme (m),
- d_{ion/L_i} : Üzerindeki ionosferik gecikme olduğu L_i (m),
- λ_i : Dalga boyunda olduğu L_i (m/cycle),
- 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/Φ_i} : L_i (m) taşıyıcı faz içindeki sinyal yansıma (multipath) etkisi,
- ε : Ölçüm gürültüsü (m).

PPP modeli uzunluk biriminde iyonosfer-serbest kod ve faz gözlem kombinasyonları olarak aşağıdaki denklemlerle ifade edilmektedir [Shen, 2002]:

$$P_{IF} = \frac{f_1^2 * P_1 - f_2^2 * P_2}{f_1^2 - f_2^2} \quad (3.14)$$

$$= \rho + c * (dt - dT) + d_{orb} + d_{trop} + d_{mult/P_{IF}} + \varepsilon_{P_{IF}}$$

$$\Phi_{IF} = \frac{f_1^2 * \Phi_1 - f_2^2 * \Phi_2}{f_1^2 - f_2^2} \quad (3.15)$$

$$= \rho + c * (dt - dT) + d_{orb} + d_{trop} + \frac{c * f_1 * N_1 - c * f_2 * N_2}{f_1^2 - f_2^2}$$

$$+ d_{mult/\Phi_{IF}} + \varepsilon_{\Phi_{IF}}$$

GPS gözlemleri ile konum belirlenmeden önce uydu ve yörünge saat hatalarını azaltmak için GPS hassas yörünge ve saat verileri uygulanmaktadır. İyonosferik kırılma indisinden kaynaklanan sapmalar, serbest-iyonosfer L1/L2 kod ve faz ölçülerinin kombinasyonları yapılarak ortadan kaldırılmaktadır. Hassas uydu yörünge ve saat düzeltmeleri yapıldıktan sonra serbest-iyonosfer kod ve faz gözlem kombinasyonları aşağıdaki formülde görüldüğü gibi yazılabilmektedir:

$$P'_{IF} = \rho + c * dt + d_{trop} + \varepsilon'_{P_{IF}} \quad (3.16)$$

$$\Phi'_{IF} = \rho + c * dt + d_{trop} + N'_{IF} + \varepsilon'_{\Phi_{IF}} \quad (3.17)$$

Burada;

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

Geleneksel matematik modelde bilinmeyen parametreler üç koordinat bileşeni, bir alıcı saat kayıklığı, bir ıslak zenit troposferik gecikme bileşeni ve gözlenen her uydu ile ilişkili birleşik tam sayı belirsizlik parametreleridir. Geleneksel gözlem modelinin matematiksel tanımı açısından bazı özellikleri bulunmaktadır [Shen, 2002]. İlk olarak serbest-iyonosfer kombinasyonları, toplam ionosferik etkinin % 0,1'den az olarak hesaplanan yüksek derecedeki ionosferik etkiyi uzaklaştırılmaz. Bununla birlikte birleşik tam sayı belirsizliği terimi ve serbest ionosfer kombinasyonundan sonra ortaya çıkan tamsayı karakteristiği, yayılan tek bir değer gibi öngörülebilir. Nihai olarak ionosfer-bağımsız kombinasyonundan sonra elde edilen gürültü (noise), orijinal kod ve faz ölçmelerinden elde edilen gürültüden üç kat daha fazladır.

4. YAPI SAĞLIĞI İZLEMELERİ

Geçtiğimiz 20. Yüzyıl ve içinde bulunduğumuz 21. Yüzyılda yaşadığımız Dünya, betonarme yapıların hızla yükseldiği devasa bir şantiye alanına dönüşmüştür. Bugün gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde inşaat sektörü lokomotif sektörlerden biri haline gelmiş ve sahip olduğu teknolojik gelişmelerle beraber mühendislik harikası yapıları bizlere kazandırmıştır. Dünyanın dört bir yanında yükselen gökdelenlerin, yüksek katlı binaların, çeşitli amaçlarla yapılmış kulelerin, asma köprüler ve karalar arası yüksek ayak ve boy uzunluğuna sahip viyadüklerin sayısı hızla artmaya devam etmektedir. Bu hızlı yapım ve değişim beraberinde yeni sorumlulukları, hesaplamaları, olası sorunlara karşı geliştirilen çözüm arayışlarını da beraberinde ortaya çıkarmaktadır. Yukarıda saydığımız tüm bu özel yapıların, bu yapılara etkiyen birincil doğa olayı olan depremlere ve bu depremlerin yarattığı yıkıcı etkilerini karşılayacak şekilde tasarlanıp, projelendirilmesi mutlak gereklidir.

İkinci olarak karşımıza çıkan doğa olayı rüzgara (fırtına, tornado gibi) ve etkilerine karşı yine bu özel yapıların tasarlanması ve bu tasarıma göre projelendirilmesi gerekmektedir. Bu yapılarda yükseldikçe kullanılan malzemelerin getireceği yükleri azaltmak için bileşimleri gereği daha hafif malzemelerin seçilmesi ve tasarlanması beraberinde bu yüksek mühendislik yapılarının yatay rüzgar yüküne karşı daha dayanıklı olmaları şartını ortaya çıkarmıştır. Bu yapıları etkileyen yatay rüzgar yükünün oluşturacağı sonuçların değerlendirilmesi, olası sorunları ortadan kaldırmak ve yapıyı daha sağlıklı hale getirecek çözümlerin üretilmesi için gereken çalışmaların başlamasına neden olmuştur [Liu, 1991].

Yapı sağlığının izlenmesi ve değerlendirilmesine yönelik önemli bileşenlerden biri, farklı tipte sensörlerle elde edilen ölçmelerin sonucunda ortaya çıkarılan yapının doğal frekanslarının belirlenmesidir. Farklı özelliklere sahip farklı tipte sensörlerle farklı yükler altında yapının vereceği tepkilerin izlenmesinin önemi; bu yöntemlerin uygulandığı tüm yapıların doğal frekanslarının ve bu etkileri sönümleme oranlarının hesaplanmasında, analitik modellerin değerlendirilmesi ve gerekli hallerde iyileştirilmesinde, projelerin kontrol ve kalibrasyonunda ve son olarak projenin kabul ve teslimlerinde ortaya çıkmaktadır [Yiğit, 2010].

4.1. Yapı Sağlığı İzlemenin Önemi

Günümüzde birçok farklı bilimsel alan arasında ortak çalışmalar yapılabilmektedir. Her bilimsel alanın kendine has ölçme ve değerlendirme sistemi kendisine yakın ve bağlantılı diğer alanlarda da kullanılabilmektedir. Bu sayede birbirlerine olan katkıları bilimler arası araştırma ve uygulamalarda son derece önemlidir. Tabiki buna karşı olarak bu yararlı katkıların yanında eksikliklerde beraberinde bulunmaktadır. Bu yüzden ki araştırma ve incelemeye tabi yapı veya sistemler her defasında kesin olarak değerlendirilememektedir. Buna rağmen ölçme ve izleme sistemlerinin birlikte kullanılması ve analiz yöntemlerinin karşılaştırılması ile tespit edilen eksiklikler mümkün olduğunca giderilmeye çalışılmaktadır. Bu gayret sonucunda incelenen yapı ya da sisteme ait daha somut, daha doğru bilgiler elde edilmektedir. Nihayetinde tüm bu çabalar, mühendislik sistemlerinin tasarımı ve geliştirilmesinde önemli rol oynamaktadırlar [Yiğit, 2010].

Yapı sağlığının izlenmesinin amacı, yapının durumunu ortaya koyan yapısal tepkileri ölçmektir. Ayrıca deprem ve rüzgar gibi yapı üzerinde en önemli etken olan doğa olaylarının beraberinde getirdiği şiddetli yüklerin oluşturdukları hasarları belirlenerek yapıların mevcut durumlarının ortaya çıkarılmasını sağlamak ve değerlendirmektir. Yapı sağlığı izlemelerinden, mekanik, uzay ve denizcilik bilimleri alanlarının yanı sıra inşaat ve yapı bilimi alanlarında da söz konusu alan mühendislerine geniş yelpazede çalışma imkanı tanıdığından önemli ölçüde yararlanılmaktadır. [Yiğit, 2010].

Yapı sağlıklarının izlenmesi, özellikle inşaat mühendisliği alanında üst yapı olarak tabir edilen yüksek ve çok katlı yapıların kontrolleri ve bu kontrollerin sürekliliği adına çok verimli ve etkili bir yöntemdir. Büyük ölçekli ve yüksek mühendislik yapıları büyük emek ve maliyetlerle ortaya çıkarlar. Tüm bu çaba ve maliyet, insan yaşamını kolaylaştırmak ve kalitesin arttırmak içindir. Ne yazık ki insan, makine ve hammadde işbirliği ile ortaya çıkarılan bu yapılar, zaman içerisinde çevresel etkiler ve yüklere maruz kalarak yıkılmaya varan derecelerde kademe kademe yıpranırlar [Yiğit, 2010].

Yapı sağlığı izlemesi dışında uygulanan detaylı geleneksel değerlendirmeler zaman kayıplarına yol açabileceği gibi bu tip gözlemlerin maliyetleri de yüksek olabilir [Yiğit, 2010].

Yüksek ve çok katlı özel mühendislik yapıları, deprem ve rüzgar gibi fiziksel yeryüzü etkieri sonucu kısa zaman içinde ani değişim gösteren dinamik yüklerle karşılaştıkları anda, belirli sınırlar içinde kalmak kaydıyla çeşitli tepkiler verirler [Yiğit, 2010].

Bu dinamik tepkilerin ölçülmesi ve incelenmesi sonucu karakterize edilen dinamik hareketlerin tespitiyle:

- Yapıların tasarım ve projelendirilmelerde temel alınan kabullerin ne derece doğru ve gerçekçi olduğunun kontrolü sağlanmış olur.
- Bu kabullerin ne kadar sağlıklı oldukları test edilebilir.
- Farklı tip ve karakterdeki dinamik yüklere maruz kalan yapının gösterdiği tepkiler ile yapının yük-tepki ilişkisi daha iyi ortaya konulur.
- Şiddetli bir deprem ya da fırtına sonrasında yapı sağlığının analizi ve bu analiz sonucu ortaya çıkan etkilere karşı ne gibi önlemler alınacağı açığa çıkartılmış olur.
- Yapılarda ortaya çıkan/çıkacak durumların uzun soluklu izlenmesi ve değerlendirilmesi gerçekleştirilir.

4.2. Yapı Sağlığı İzleminde Kullanılan Sensörler

Yapı sağlığı izlemeleri için çok çeşitli alıcı, cihaz ve sensörden yararlanılabilmektedir. Bunlar GNSS alıcısı, eğim sensörü, ivme sensörü, total station ve nivo gibi cihazlardır. Bu cihazlar hakkında açıklamalar, alt başlıklar halinde aşağıda yapılmaktadır.

4.2.1. GNSS Alıcısı

GNSS alıcısı herhangi bir yer ve anda, tüm atmosferik koşullarda, tanımlı bir küresel koordinat sisteminde, yüksek hassasiyetle, ekonomik, anında ve devamlı olarak hız, konum ve zaman bileşenlerinin tayin edilmesine imkan sağlayan bir radyo navigasyon sistemidir [Kahveci ve Yıldız 2001].

Bu alıcı sisteminin klasik jeodezik ölçme teknikleri ile karşılaştırıldığında elde edilen artıları ve eksileri aşağıda belirtildiği üzere:

- Klasik yöntemin aksine konumlandırmak üzere seçilmiş noktaların birbirlerini görme mecburiyeti ortadan kalkmış olup, noktalar üzerine tesis edilen alıcı anteninin uydu sinyali alacak şekilde gökyüzüne bakması yeterli olmuştur.
- Klasik yöntemde noktaların birbirlerini görme mecburiyetinden dolayı mümkün olan en yüksek konumlarda tesis edilmeleri gerekirken, GNSS ölçümlerinin yapılmasına olanak sağlayan istenen her yerde nokta tesisi yapılabilmektedir.
- Klasik yöntemin aksine GNSS alıcıları ile yapılan ölçümlerin yapılması genellikle hava koşullarından bağımsızdır.
- Tüm gün (gece ve gündüz, 24 saat) ölçüm yapılabilmektedir.
- GNSS alıcılarının kullanım kolaylığı ve anten yüksekliği ölçümü haricinde ölçü hatalarının bulunmaması ve hızlı ölçüm yapılabilmesi bu sistemleri daha ekonomik hale getirmiştir.
- Üç boyutlu nokta konum koordinatları elde edilebilmektedir.
- Ölçümler sonucu elde edilen jeodezik doğruluklar, klasik jeodezik yöntemlerle yapılan ölçmeler neticesinde elde edilen doğruluklara eşit ya da daha iyi seviyededirler [Kahveci ve Yıldız, 2001].

GNSS alıcıları, yüksek ve çok katlı yapıların statik ve dinamik deplasman değerlerinin doğrudan ölçülmesinde en faydalı araçlardır. Bu güne kadar sayısız ileri mühendislik yapısının deprem ve rüzgâr yüklerine verdikleri tepkiler GPS ile elde edilmiştir [Lovse vd., 1995], [Hristopoulos vd., 2007], [Çelebi ve Şanlı, 2002], [Tamura vd., 2002], [Brownjohn vd., 2004], [Li vd., 2006-a], [Park vd., 2008], [Breuer vd., 2008], [Tamura vd., 2002].

GPS alıcısı ile 2 Hz'den düşük ve 2 cm'den büyük değerlerde titreşim genliklerinin tespit edilebileceği belirtilmiştir [Chan vd., 2006-a]. GPS alıcısının hem yatay hem de düşeydeki dinamik ölçme doğruluklarını değerlendiren bir simülasyon çalışması yapılmış olup, bu çalışma nihayetinde GPS ile deplasmanların, 1 Hz ve 1 Hz'den daha düşük frekanslı titreşimlerin yatayda 5 mm, düşeyde 10 mm'den daha düşük genlikli olmaması şartıyla güvenilir bir şekilde ölçülebileceği sonucuna varılmıştır. Buna örnek olarak tezimizde Topcon™ Hiper Pro alıcısı kinematik araştırma modunda kullanılmıştır. Kullanım detayları Uygulama Bölümünde sizlere izah edilecektir.

GNSS alıcısı diğer alıcı sensörlerle karşılaştırılarak diğer sensörlere göre artı ve

eksi yönleri tespit edilmiştir. GPS ölçümleri, alıcı etrafında bulunan yansıtıcı yüzeylerden etkilenmektedir. bu yansıtıcı yüzeyler sinyal yansımaya neden olmaktadır. Bunun sonucunda sabit rüzgâr yükünün de etkisi ile yapılarda oluşan quasi-statik tepkimelerin yanlış sonuçlar ortaya çıkardıkları görülmüştür [Li, 2006]. Bu gibi durumlarda sinyal yansıma etkisi seçilecek uygun sinyal filtreleme modelleri ile mutlaka giderilmelidir. Sinyallerin bu etkiden kurtarılabilmesi için ölçümlerin gerçekleştirildiği gün ve ardından gelen günlerde aynı ölçme zamanı dilimi içerisinde fazladan bir ölçme işlemi daha yapmak gerekmektedir. İşte bu yansıma hatası yüzünden, özellikle bir arada bulunan ve dış cepheleri parlak yapı elemanlarıyla kaplanmış olan çok katlı yapı gruplarında, bu yapıların quasi-statik deplasmanlarının ortaya çıkarılmasında GPS'in etkinliği azalmaktadır. Yapıların çeşitli yükler etkisinde daha yüksek frekanslarının takibi, izlenmesi ve tam ölçekli analizlerinin yapılabilmesi için GPS alıcısının yanı sıra ivme sensörleri ve diğer sensör tipleri de kullanılarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır [Li vd., 2006-a], [Ogaja vd., 2003], [Brownjohn vd., 2004]. Tablo 4.1'de Hiper Pro GNSS alıcısına ait detaylı bilgi verilmiştir.

Tablo 4.1: Hiper Pro GNSS alıcısının özellikleri.

İzleme Özellikleri	İzleme kanalları İzlenen sinyaller	Standart: 40 L ₁ GPS (20 GPS L ₁ +L ₂) Seçim: 20 GPS L ₁ +L ₂ (GD), GPS L ₁ +GLONASS (GG), 20 GPS L ₁ +L ₂ +GLONASS (GGD) L ₁ /L ₂ C/A ve P Code & Carrier ve GLONASS
Ölçme Özellikleri	Statik, Hızlı Statik GZK	Yatay: 3 mm+0.5 ppm (x baz uzunluğu) Düşey: 5 mm+0.5 ppm (x baz uzunluğu) Yatay: 10 mm+1.0 ppm Düşey: 15 mm+1.0 ppm
Hafıza& Kayıt	Ham data kayıt Veri tipi	1 Hz'den 20 Hz L ₁ ve L ₂ , GPS ve GLONASS Kod ve taşıyıcı faz

Tablo 4.1: Hiper Pro GNSS alıcısının özellikleri (Devam).

Veri giriş/çıkış	Gerçek zamanlı veri çıktıları	RTCM SC104 sürüm 2.1, 2.2, 2.3, CMR, CMR+ NMEA 0183 sürüm 2.2
	Diğer çıktılar Çıktı oranı	TPS format 1 Hz'den 20 Hz'e kadar
GNSS Anten Özellikleri	GNSS Anteni Anten Tipi Yer Düzlemi	Birleşik Merkez-tepe UHF anteni Düz bir yer düzlemi üzerinde anten

4.2.2. Eğim Sensörü

Eğim sensörü adı üzerinde eğim ve yönü aynı anda ölçen çift eksenli, yüksek hassasiyetli bir cihazdır. Bu sensör elektro-optik bir temel esasında çalışmaktadır. Yatay sıvı yüzeyi ile eğime yüzeyi arasındaki açının ölçülebilmesini sağlar. Bu elektro-optik sistem sayesinde ölçülen açı, uygulama yönteme göre analog ya da dijital çıkış sinyaline dönüştürülebilmektedir [Leica Geosystem, 2007].

4.2.3. İvme Sensörü

Günümüz yüksek ve çok katlı mühendislik yapılarının maruz kaldıkları yükler altında gösterdikleri dinamik davranışların ölçme ve analizlerinde kendini ispatlamış geoteknik bir ölçme aracı olup; bugün birçok yapı sağlığı izlenmesi ve değerlendirilmesi uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. İvmelenme değişimleri bu cihaz ile doğrudan ölçülebilmektedir. İvme değerinden, deplasman değerine geçişte ise sabitleri belirlenmek kaydıyla çift katlı integral almayı gerektirmektedir. Yapılarda oluşan quasi-statik ve statik deplasmanlar, hız ve deplasmanlara ait integral sabitleri bilinemediğinden ivme sensörü ölçmeleri aracılığıyla ortaya çıkarılamaz [Li, 2006], [Roberts vd., 2000], [Roberts vd., 2004].

4.2.4. Total Station ve Hassas Nivo

Deformasyon ölçmelerinde ihtiyaç duyulan uzunluk ve kenar ölçmeleri, total station cihazı ile yapılmaktadır. Bu cihazların kullanım kolaylığı, ölçümlerin hassasiyeti ve güvenilirliği, ölçüm çabukluğunun sağladığı zaman tasarrufu ve maliyetleri yönlerinden tasarım, araştırma, üretim ve kalite kontrol uygulamalarında tercih edilmelerini sağlamıştır. Günümüz teknolojik gelişmeleriyle birlikte modüler hale gelen ve hatta üzerilerine GPS alıcı anteni dahi monte edilebilen total stationlar, otomatik hedef tanıma, hedef izleme, lazer tarama ve reflektörsüz ölçüm gibi son derece kullanışlı özellikleri bünyelerinde barındırmaktadırlar.

Ayrıca günümüz teknolojik gelişmeleri sayesinde nokta yükseklikleri, modern tasarımlı, ergonomik yapılı, kolay kullanımlı ve hassas otomatik dijital nivolar sayesinde yüksek hassasiyette belirlenebilmektedir. Hassas nivolar endüstriyel yapılar ve raylı sistem uygulamaları gibi ölçme toleransların düşük olduğu alanlarda tercih edildiği gibi bugün deformasyon ölçmelerinde de sıklıkla tercih edilen cihazlardandır.

5. GNSS-PPP DEĞERLENDİRME YAZILIMLARI

Günümüzde klasik GPS ölçme ve değerlendirme yöntemlerine alternatif olarak birçok internet tabanlı GNSS konumlama servisi bulunmaktadır. Bu servisler, ölçümlerinizi sonucu elde ettiğiniz GNSS verilerini Rinex gibi standart formatlara dönüştürdükten sonra web sayfası üzerinden siteye yüklediğinizde otomatik olarak bu verileri değerlendirir ve yer merkezli koordinatları kolay ve hızlı bir biçimde sizlere sunar. [Ghoddousi-Fard ve Dare, 2006], [Ebner ve Featherstone, 2008], [Tsakiri, 2008], [Subaşı ve Alkan, 2011], [Gakstatter, 2013].

Özellikle son 10 yılda internet üzerinden hizmet veren konumlama servisleri, ücretsiz olarak hizmet sağladıkları için ticari ve bilimsel yazılımlara önemli bir alternatif konumuna gelmişlerdir. Bunların önemli bir bölümü geri planda çalışan tanınan bilimsel yazılımlara (Bernese, Gamit, Pages gibi) veri kaynağı sağlamak amacıyla, diğer bir kısmıysa sadece hizmet üretme amacıyla geliştirilmiş yazılımlardır. GNSS uydularının yörünge ve saat bilgilerinde giderek artan doğruluk derecesi, konum belirlemede yeni yaklaşımların ve değerlendirme yöntemlerinin doğmasına neden olmuştur. Daha önceki bölümlerde de bahsettiğimiz gibi Uluslararası GNSS Servisi (IGS) ve benzeri organizasyonlar yüksek hassasiyette yörünge bilgileri üretmekte ve bunları kullanıcıları ile paylaşmaktadır. Bu şekilde üretilen sonuçlar, bilimsel araştırmalar ve mühendislik uygulamalarında tatmin edici doğruluk seviyelerindedir. [Zumberge vd., 1997], [Kouba ve Héroux, 2001], [Kouba, 2009].

Kullanıcıların PPP yöntemi ile konum belirleyebilmeleri için faydalanabilecekleri yazılımları, ticari amaçlı, bilimsel ve akademik amaçlı yazılımlar ve son olarak internet tabanlı GNSS servisleri olarak üç sınıfa ayırmak mümkündür. Tezimizde bu gruplardan internet tabanlı GNSS değerlendirme servisleri ve bu servislerden biri olan Kanada Uzaysal Referans Sistemi Hassas Nokta Konumlama (Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning/CSRS-PPP) web tabanlı yazılımından bahsedeceğiz.

5.1. İnternet Tabanlı GNSS Değerlendirme Servisleri

Gözlem verileri çeşitli yollardan elde edilse bile bu veriler sonucunda koordinat bilgisine ulaşabilmek için mutlaka bir yazılım gerekmektedir. Bununla beraber ticari ve akademik yazılımlar belirli lisans anlaşmaları gereği tüm kullanıcılara açık değildir. Buna karşılık, bir alıcı ve internet erişimine sahip bir işlemci dışında ek bir maliyet ya da donanım gerektirmeyen internet tabanlı GNSS değerlendirme servisleri ücretsizdir. Ayrıca ticari ve akademik yazılımların sağladıkları standart çözümler, kod gözlemlerine dayalı mutlak ve taşıyıcı faz gözlemlerinden faydalanan rölatif (bağıl) konum belirleme yöntemidir. İnternet tabanlı GNSS değerlendirme servisleri kullanılarak yapılan PPP değerlendirme yönteminde ise hem kod hem de faz gözlemleri kullanılmaktadır.

İnternet tabanlı GNSS servisleri basit kullanıcı arayüzlü, kolay kullanılabilen ve özel olarak ilave yazılım bilgisi gerektirmeyen platformlardır. Daha öncede belirttiğimiz gibi alıcılardan sağlanan veriler Rinex vb. diğer formatlara çevrilerek servislerin elektronik posta adreslerine ya da online olarak çeşitli menüler yardımıyla gönderilmektedir. Bazı servislerde anten markası, anten yüksekliği gibi önemli ayrıntılar seçenek olarak sunulmakta ve ek bilgi olarak girilebilmektedir. Yükleme veya gönderme işleminden sonra başlatılan değerlendirme sürecine ait sonuç raporu, kısa bir süre sonra kullanıcıya e-posta yoluyla ulaştırılmaktadır. Konum belirleme yöntemine bağlı olarak bu servisler, IGS veya bazı ülkelerde bulunan ve CORS kısaltma adıyla anılan Sürekli Gözlem Yapan Referans İstasyon ağlarına ait sabit istasyon noktalarını referans olarak kabul etmektedirler. Elde edilmek istenen nokta koordinatları bu referans istasyonlar vasıtasıyla hesaplanmaktadır.

Bugün farklı ülkelere ve kuruluşlara ait birçok internet tabanlı GNSS değerlendirme servisi bulunduğu gibi bunların içinde ücretsiz olarak hizmet veren ve en yaygın olarak kullanılan servisler aşağıdaki Tablo 5.1’de gösterilmektedir. Ayrıca tabloda servisler, statik ve PPP yöntemine göre sınıflandırılmışlardır.

Tablo 5.1: İnternet tabanlı GNSS değerlendirme servisleri.

SERVİS/ ÖLÇME TEKNİĞİ	Statik	Rapid Statik	PPP Statik	PPP Kinematik
AUSPOS	+	-	-	-
TRIMBLE	+	-	-	-
OPUS	+	+	-	-
SCOUT	+	-	-	-
CSRS	-	-	+	+
APPS	-	-	+	+
MAGIC	-	-	+	+
GAPS	-	-	+	-

Yukarıda gördüğünüz servisler, bilimsel yazılımlara göre sınırlı seçim kabiliyetindedirler. Koordinat üretimi için seçilen en uygun analizler, literatürde kabul görmüş değişkenler üzerinden değerlendirilerek elde edilmektedirler. Atmosferik modelleme, deformasyon analizi, duyarlı jeodezik ağ çalışmaları gibi özel amaçlı çalışmalar ve araştırmalar bu tür servisler üzerinden gerçekleştirilememektedirler [Bahadur ve Üstün, 2014].

5.2. Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP) Web Tabanlı Yazılımı

CSRS-PPP, tüm dünyadaki GPS kullanıcılarının GPS ham gözlem verilerinden daha yüksek doğrulukta konum verisi elde etmelerini sağlayan ücretsiz bir web bazlı işlem sonrası (post-process) servistir. PPP, tek veya çift frekanslı alıcılardan elde edilmiş ham GPS verilerini statik veya kinematik modda (epok-epok) işleyebilir. CSRS-PPP, 2003 yılında ilk kez piyasaya sürüldüğünde tamamen IGS bazlıyken, bugün IGS ve NRCAN ürünlerinin bir karışımı olarak kullanılmaktadır. IGS küresel izleme açısından elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan NRCAN ürünleri, 30 saniyelik GPS ve GLONASS saat ürünlerine, hızlı erişim sağlamak için gereklidir [Donahue vd., 2012]. Kullanıcılar site arayüzü aracılığıyla çevrimiçi olarak ham veriyi gönderdikten sonra isteğe bağlı olarak NAD83 veya ITRF referans sisteminde

seçtikleri düzeltilmiş koordinatları e-posta yoluyla teslim alırlar. CSRS-PPP'de kullanılan GPS gözlem oturumları için minimum uzunluk yoktur [El-Mowafy ,2011].

İstasyon konumları (statik veya kinematik modda), istasyon saat durumları, yerel troposfer zenit gecikmeleri ve taşıyıcı faz belirsizlikleri, PPP'de öngörölmüş parametrelerdir. Yatay koordinatlarda birkaç santimetreye ulaşan ve dikey koordinatlarda (RMS) en az 10 cm'ye ulaşan en iyi konum doğruluğu çözümü, IGS'nin hassas uydu yörünge ve saat verileri ile GPS çift frekanslı pseudorange ve taşıyıcı faz gözlemlerinin birlikte işlenmesiyle elde edilir. CSRS-PPP, ilgili tüm fiziksel doğa olayları için doğru modelleri kullanarak bunları gerçekleştirebilir. PPP algoritmaları, modelleri ve teknik özellikleri ile ilgili daha fazla bilgi Kouba ve Héroux (2001) yayınladıkları makalede bulunabilir.

PPP, kısa ve ayrıntılı özet raporları ve grafik olarak zaman serileri çizimleri olmak üzere iki tip çıktı verir. CSRS-PPP özet raporu üç kısımdan oluşan bir başlık kaydı içerir. Bölüm-1 işlem sırasında kullanılan giriş, çıkış ve dahili dosya isimlerini belirten dosya özetidir. Bölüm-2 dahili dosyalardan (CSRS-PPP sitesinde merkezi olarak saklanan) çıkarılan işlem parametrelerini verir. (I) çevrim kayma filtresi eşiklerini, (ii) uydu anteni faz merkez ofsetleri, (iii) kullanıcı anteni faz merkez ofsetleri, (vi) ITRF ve NAD83-CSRS arasındaki referans çerçevesi dönüşüm parametrelerini, (v) okyanus yükleme katsayılarını ve (vi) yüzey meteorolojik verileri raporlar. Bölüm-3 ise (a) işlem seçeneklerini, (b) gözlem oturumunu, (c) koordinat tahminlerini, (d) koordinat farklılıklarını, (e) alıcı saati tahminlerini ve (f) gözlem kalıntılarını bildiren işlem özetidir.

6. UYGULAMA

6.1. Yüksek Frekanslı GPS/GNSS Deneyleri

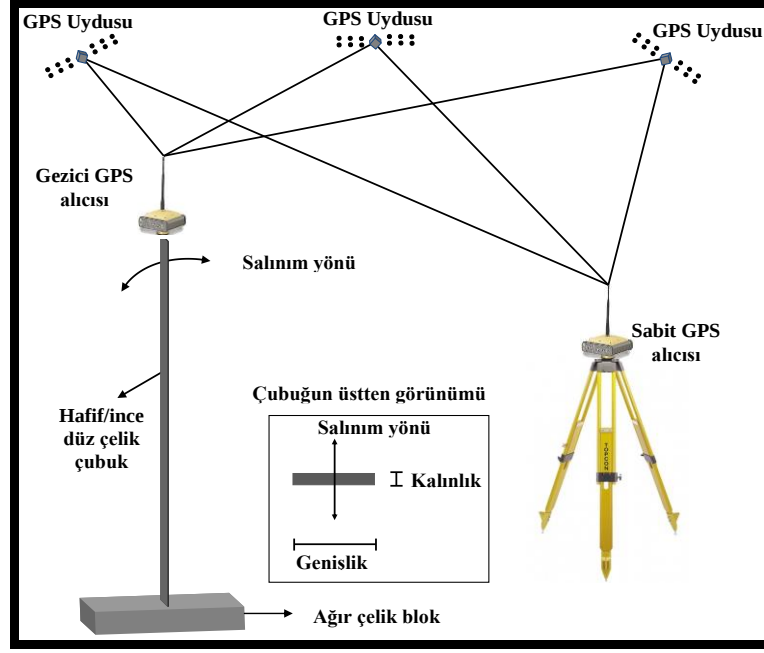
Yüksek frekanslı PPP yönteminin doğruluğunu değerlendirmek ve sonuçlarını bağıl yöntem ile karşılaştırmak için üç adet çelik simülasyon çubuğu model yapısı ve iki adet çift frekanslı jeodezik tip GNSS anteni/alıcısı kullanılarak bir dizi testler gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.1 deney düzeneğinin genel kurulumunu göstermektedir. Yüksek mühendislik yapılarını simüle etmek için ince ve esnek üç farklı ebatla çelik çubuk seçilmiştir. Bu çubukların ebatları Tablo 6.1’ de belirtilmiştir.

Tablo 6.1: Çelik simülasyon çubuklarının ebatları.

Çubuk No	Uzunluk (m)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)
1	1.58	40.0	4.0
2	1.92	45.0	4.0
3	2.05	39.5	5.5

Çubukta seçilen bu özelliğin ana nedeni sadece bir yönde salınım yapmasıdır (Şekil 6.1). Çubukların deney sırasında kaymasını önlemek için ağır beton bloklar (Çubuk-1 ve 2) veya ağır çelik levha (Çubuk-3) ile sabitlenmiştir.

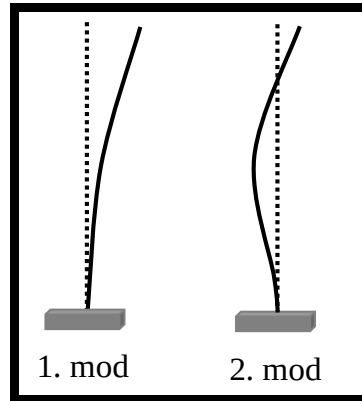
Bağıl kinematik yöntemle konum belirleme için bir adet referans GNSS alıcısı simülasyon çubuklarının bulunduğu konumdan yaklaşık 10-20 m uzağa konumlandırılmıştır. Şekil 6.2.a ve Şekil 6.2.b deney sırasında çekilen fotoğrafları göstermektedir. Bir ucu sabit diğer ucu serbest bir çubuğun ilk iki titreşim modu şekilleri Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



Şekil 6.1: Deney düzeneğinin şematik görünümü



Şekil 6.2: a) Deney anında çekilmiş fotoğraflar (Çubuk-1 ve 2); b) Deney anında çekilmiş fotoğraflar (Çubuk-3)



Şekil 6.3: Bir ucu sabit çelik simülasyon çubuğunun birinci ve ikinci modu

Bağıl yöntem koordinatları önceden bilinen en az bir veya daha fazla referans istasyonu gerektirmektedir. PPP yönteminde ise referans alıcıya ihtiyaç duyulmadan, hassas uydu, yörünge ve saat bilgisi sayesinde Uluslararası Yersel Referans Çerçevesi'nde (ITRF) koordinatlar hesaplanabilmektedir.

Çubuk-1 ve Çubuk-2 deneyleri Temmuz 2018'de Gebze Teknik Üniversitesi Kampüsü'nde, Çubuk-3 deneyi ise Mart 2010'da Selçuk Üniversitesi Kampüsü'nde [Yiğit, 2016] gerçekleştirilmiştir. Her iki çalışmada da Topcon™ Hiper Pro GNSS alıcısı kullanılmış ve 0.1 saniye aralıklı (10 Hz) uydu verileri toplanmıştır. Çubuk-1 ve 2 deneylerinde GPS/GLONASS uydu gözlemleri, Çubuk-3 deneyinde ise GPS uydu gözlemleri toplanmıştır.

Deneyler sırasında uydu yükseklik açısı 10° seçilmiş olup, deneyler normal hava koşullarında (rüzgarsız ve uydu görüşüne müsait) gerçekleştirilmiştir.

6.2. GPS/GNSS Verilerinin İşlenmesi

6.2.1. Kinematik Bağıl GPS/GNSS Çözüm

Bağıl kinematik çözümler Leica Geo Office 3.0 yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmelerde iyonosferin etkisini ortadan kaldırmak amacıyla standart bir L1+L2 çözümü benimsenmiştir. Ayrıca troposferik gecikme hatasını düzeltmek amacıyla Hopfield troposferik modeli kullanılmıştır. GNSS değerlendirmesi nihai hassas yörünge (SP3) efemeris verisi ile gerçekleştirilmiştir.

6.2.2. Kinematik GPS/GNSS-PPP

Çubukların üzerindeki GNSS alıcısı vasıtasıyla elde edilmiş GNSS verileri kinematik-PPP modu seçilerek CSRS-PPP yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. CSRS-PPP servisi yüksek frekanslı GNSS verilerini çözebildiği için tercih edilmiştir. 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 vd., 2008]. Bu çalışma kapsamında Çubuk-1 ve Çubuk-2 deneylerinde Ultra Rapid uydu yörünge ve saat bilgileri kullanılmış, Çubuk-3'te ise IGS final uydu yörünge ve saat bilgileri kullanılarak çözüm üretilmiştir. Kullanılan işlem seçenekleri Tablo 6.2'de özetlenmiştir.

Tablo 6.2: CSRS-PPP tarafından kullanılan işlem parametreleri

Mod	Kinematik
Proses Edilen Uydular	GPS+GLONASS (Çubuk-1/2), GPS (Çubuk-3)
GNSS Çeşidi	Kod&Faz
Gözlemlenen Frekans	L1, L2
Uydu Yörüngeleri	EMU (Çubuk-1/2), Final (Çubuk-3)
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

6.3. Veri İşleme Öncesi Hazırlık

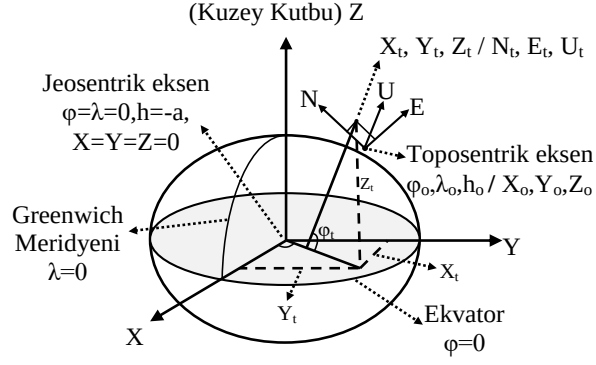
6.3.1. Jeosentrik ve Toposentrik Koordinat Dönüşümü

Yapı sağlığı izlemelerinde GNSS veri değerlendirmeleri sonucu elde edilen ITRF ve ECEF (Earth Centred Earth Fixed) kartezyen koordinat sisteminin doğrudan kullanımı uygun değildir. Bu nedenle XYZ kartezyen koordinatları, ENU (Doğu, Kuzey, Yukarı) toposentrik Kartezyen koordinat sistemine dönüştürülmelidir.

Bu dönüşüm 6.1 eşitliği kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

$$\begin{bmatrix} E_t \\ N_t \\ U_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin(\lambda_0) & \cos(\lambda_0) & 0 \\ -\sin(\varphi_0)\cos(\lambda_0) & -\sin(\varphi_0)\sin(\lambda_0) & \cos(\varphi_0) \\ \cos(\varphi_0)\cos(\lambda_0) & \cos(\varphi_0)\sin(\lambda_0) & \sin(\varphi_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_t - X_0 \\ Y_t - Y_0 \\ Z_t - Z_0 \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

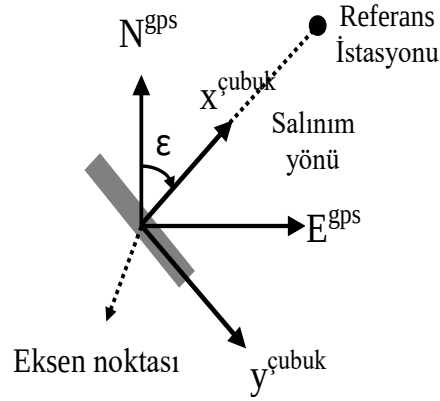
Eşitlik 6.1’de, X_0 , Y_0 , Z_0 noktanın hesaplanan jeosentrik kartezyen koordinatlarını, φ_0 , λ_0 noktanın X_0 , Y_0 , Z_0 jeosentrik kartezyen koordinatları kullanılarak hesaplanan coğrafi koordinatlarını, X_t , Y_t , Z_t , t zamanındaki jeosentrik kartezyen koordinatlarını, e_t , n_t , u_t ise noktanın toposentrik kartezyen koordinatlarını göstermektedir [Yigit, 2016].



Şekil 6.4: Jeosentirik ve toposentirik sistemler.

6.3.2. İki Boyutlu Benzerlik Dönüşümü

Toposentirik sisteminin N ve E eksenleri sırasıyla Kuzey ve Doğu yönlerine işaret ettiğinden, çubuğun yatay düzlemde GPS türetilmiş deplasmanı, salınım yönüne göre salınım yönüne bağlı olarak N ve E eksenlerinde ifade edilecektir. Toposentirik sistem Şekil 6.4'te görüldüğü gibi (sağda), GPS koordinatı ve çubuk koordinat eksen sistemleri birbirinden farklıdır. Toposentirik GPS koordinatları (N_{gps} , E_{gps}) aşağıdaki formülleri kullanarak çubuk koordinat sistemine ($x_{çubuk}$, $y_{çubuk}$) yansıtılır [Yigit, 2016].



Şekil 6.5: GNSS ve çubuk koordinat eksenleri.

$$\begin{aligned} x^{\text{çubuk}} &= N^{\text{gps}} \cdot \cos(\varepsilon) + E^{\text{gps}} \cdot \sin(\varepsilon) \\ y^{\text{çubuk}} &= -N^{\text{gps}} \cdot \sin(\varepsilon) + E^{\text{gps}} \cdot \cos(\varepsilon) \end{aligned} \quad (6.2)$$

Burada ε , toposentirik GPS ve çubuk koordinat sistemleri arasındaki dönme açısıdır. $x_{çubuk}$ eksenini referans istasyona yönlendirildiğinden (Şekil 6.5) açı çubuk referans çizgisinin ızgara yatağı olduğunu unutmayın. Böylece açı (ε), referans

istasyonun koordinatları ve önceki alt bölümde belirtildiği üzere günlük GPS ölçümünden tahmin edilen hareketsiz konumdaki çubuk kullanılarak hesaplanmıştır.

6.4. Uygulama Sonuçları ve Tartışma

Bu bölüm PPP yönteminin yapı sağlığı izlemelerinde kullanılabilirliğini ortaya koymak için gerçekleştirilen bir dizi deneyin sonuçlarını içermektedir.

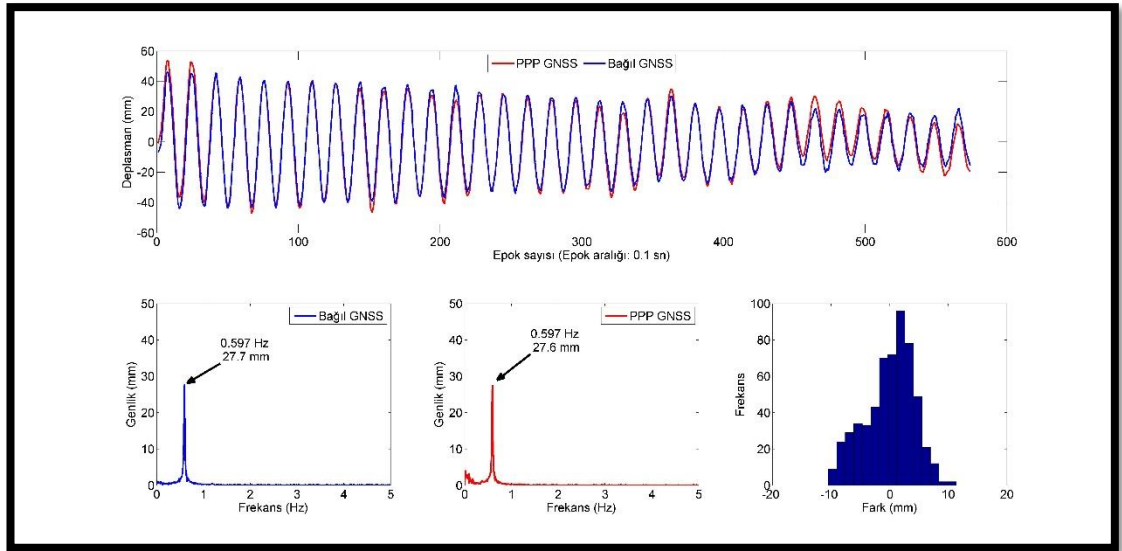
Tablo 6.3 bu deneylerin özelliklerini özetlemektedir.

Tablo 6.3: Seçilen deneyler ve bilgileri.

Durum No	Çubuk No	Süre	Mod
Durum 1	1	57.4 ^{sn}	1
Durum 2	1	43.2 ^{sn}	1+2
Durum 3	2	39.4 ^{sn}	1+2
Durum 4	3	25.0 ^{sn}	1+2

6.4.1. Çubuk-1 Serbest Salınım (Durum-1)

Durum-1'de çubuğun üst ucu (GNSS alıcısının hemen altında) denge konumundan el ile itildi ve serbestçe salınmak üzere bırakıldı. Yatay bileşende salınımın başlangıç genliği yaklaşık 45 mm'dir. Şekil 6.6, bağıl ve PPP yöntemlerinden türetilen yer değiştirmelerini, bunların FFT spektrumlarını ve iki yöntem arasındaki farkların dağılımını (histogramını) göstermektedir. Şekil 6.6'dan görülebileceği gibi her iki yöntemle de elde edilen deplasman zaman serisi benzer hareketleri sergilemektedir. Farkların histogramından görüldüğü üzere iki yöntem arasındaki farklar -10 ile +10 mm arasında ve sıfır (0) etrafında değişkenlik göstermektedir. Histogramdan görüldüğü üzere farklar Gauss hata dağılımına uymaktadırlar. FFT spektrumlarından görüldüğü üzere her iki yöntemle bulunan temel frekans 0.597 Hz olup, genlik değerleri yaklaşık 27.7 mm bulunmuş olup, her iki yöntem arasındaki fark 0.1 mm olarak tespit edilmiştir. Görüldüğü üzere her iki yöntemle temel frekans ve genlik aynı değerler ile tespit edilmiştir.

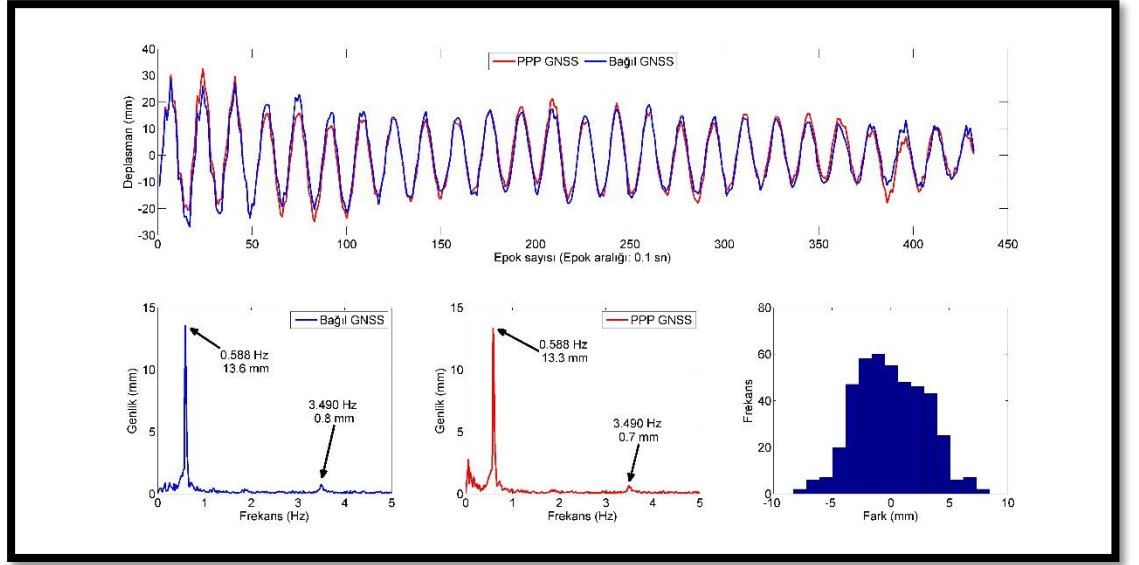


Şekil 6.6: Durum-1 deplasman zaman serisi, FFT spektrumları ve farkların histogramı.

6.4.2. Çubuk-1 Yüksek Modda Salınım (Durum-2)

Durum-2'de salınımın daha yüksek mod frekanslarını yani süper dalga dalga formunu üretmek için denge pozisyonunda çubuğun ortasından el ile çok hızlı bir şekilde vurulmuştur.

Yatay bileşende salınımın başlangıç genliği yaklaşık 30 mm'dir. Şekil 6.7, bağıl ve PPP yöntemlerinden türetilen yer değiştirmelerini, bunların FFT spektrumlarını ve iki yöntem arasındaki farkların dağılımını (histogramını) göstermektedir. Şekil 6.7'den görülebileceği gibi her iki yöntemle de elde edilen deplasman zaman serisi benzer hareketleri sergilemektedir. Farkların histogramından görüldüğü üzere iki yöntem arasındaki farklar -8 ile +8 mm arasında ve sıfır (0) etrafında değişkenlik göstermektedir. Histogramdan görüldüğü üzere farklar Gauss hata dağılımına uymaktadırlar. FFT spektrumlarından görüldüğü üzere her iki yöntemle bulunan ilk temel frekans 0.588 Hz, ikinci temel frekans 3.490 Hz'tir. Görüldüğü üzere her iki yöntemle de temel frekanslar aynı bulunmuştur. Frekansların genlik değerleri incelendiğinde ilk temel frekansın genliği 0.3 mm lik farkla, ikinci temel frekansın genliği 0.1 mm farkla tespit edilmiştir. Görüldüğü üzere bu durumda da her iki yöntemle temel frekanslar ve genlikleri benzer değerler ile tespit edilmiştir.

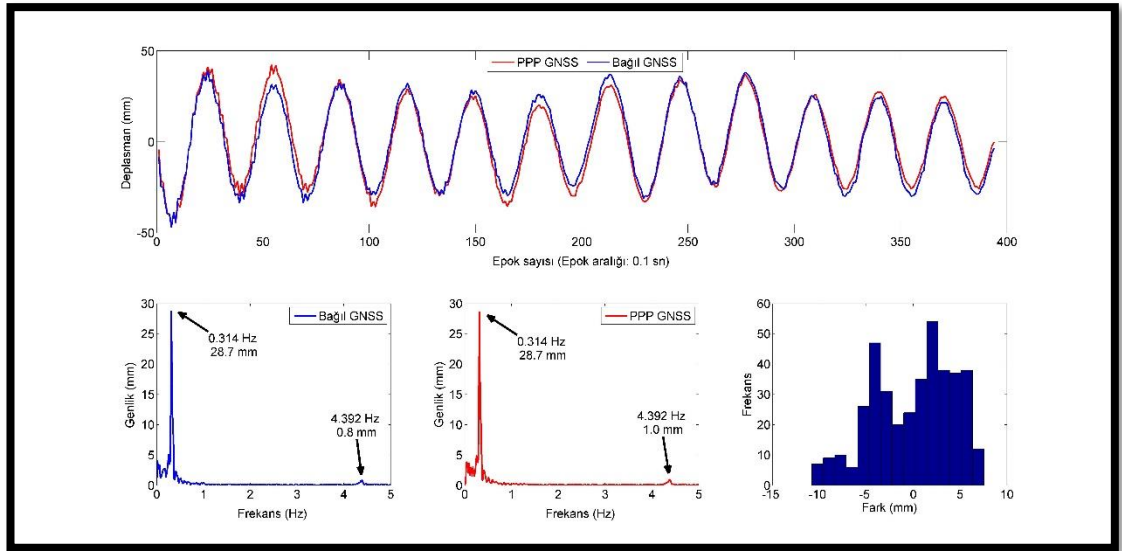


Şekil 6.7: Durum-2 deplasman zaman serisi, FFT spektrumları ve farkların histogramı.

6.4.3. Çubuk-2 Yüksek Modda Salınım (Durum-3)

Durum-3'te, Durum-2 deneyinde anlatıldığı şekilde salınım üretilmiştir.

Yatay bileşende salınımın başlangıç genliği yaklaşık 45 mm'dir. Şekil 6.8, bağlı ve PPP yöntemlerinden türetilen yer değiştirmelerini, bunların FFT spektrumlarını ve iki yöntem arasındaki farkların dağılımını (histogramını) göstermektedir. Şekil 6.8'den görülebileceği gibi her iki yöntemle de elde edilen deplasman zaman serisi benzer hareketleri sergilemektedir. Farkların histogramından görüldüğü üzere iki yöntem arasındaki farklar -10 ile +7 mm arasında ve sıfır (0) etrafında değişkenlik göstermektedir. Histogramdan görüldüğü üzere farklar Gauss hata dağılımına uymaktadırlar. FFT spektrumlarından görüldüğü üzere her iki yöntemle bulunan ilk temel frekans 0.314 Hz, ikinci temel frekans 4.392 Hz'tir. Görüldüğü üzere her iki yöntemle de temel frekanslar aynı bulunmuştur. Frekansların genlik değerleri incelendiğinde ilk temel frekansın genliği 0.0 mm lik farkla, ikinci temel frekansın genliği 0.2 mm farkla tespit edilmiştir. Görüldüğü üzere bu durumda da her iki yöntemle temel frekanslar ve genlikleri benzer değerler ile tespit edilmiştir.

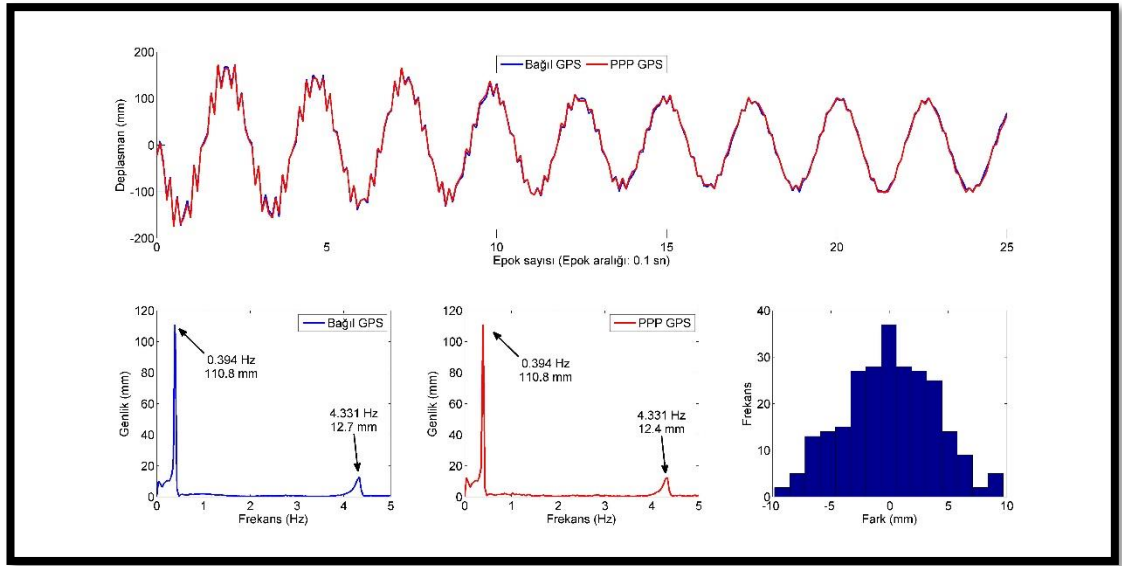


Şekil 6.8: Durum-3 deplasman zaman serisi, FFT spektrumları ve farkların histogramı.

6.4.4. Çubuk-3 Yüksek Modda Salınım (Durum-4)

Durum-4'te, Durum-2 ve Durum-3 deneylerinde anlatıldığı şekillerde salınım üretilmiştir.

Yatay bileşende salınımın başlangıç genliği yaklaşık 150 mm'dir. Şekil 6.9, bağıl ve PPP yöntemlerinden türetilen yer değiştirmelerini, bunların FFT spektrumlarını ve iki yöntem arasındaki farkların dağılımını (histogramını) göstermektedir. Şekil 6.9'dan görülebileceği gibi her iki yöntemle de elde edilen deplasman zaman serisi benzer hareketleri sergilemektedir. Farkların histogramından görüldüğü üzere iki yöntem arasındaki farklar -10 ile +10 mm arasında ve sıfır (0) etrafında değişkenlik göstermektedir. Histogramdan görüldüğü üzere farklar Gauss hata dağılımına uymaktadırlar. FFT spektrumlarından görüldüğü üzere her iki yöntemle bulunan ilk temel frekans 0.394 Hz, ikinci temel frekans 4.331 Hz'tir. Görüldüğü üzere her iki yöntemle de temel frekanslar aynı bulunmuştur. Frekansların genlik değerleri incelendiğinde ilk temel frekansın genliği 0.0 mm lik farkla, ikinci temel frekansın genliği 0.3 mm farkla tespit edilmiştir. Görüldüğü üzere bu durumda da her iki yöntemle temel frekanslar ve genlikleri benzer değerler ile tespit edilmiştir.



Şekil 6.9: Durum-4 deplasman zaman serisi, FFT spektrumları ve farkların histogramı.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel amacı, çift frekanslı tek GPS/GNSS alıcısı ile yüksek bir mühendislik yapısının yüksek frekanslı dinamik hareketlerinin izlenmesi açısından kinematik PPP yönteminin performansını değerlendirmektir. Bu amaçla, basit ve uygun maliyetli üç farklı model yapısı (esnek çelik çubuk) kullanılarak çok sayıda serbest salınım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kinematik PPP yönteminin performansını değerlendirmek üzere dört farklı durum seçilmiştir. Bu yöntemle elde edilen sonuçlar, bağıl yöntem sonuçları referans alınarak zaman ve frekans alanında karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, Yiğit (2016) da ifade edildiği üzere, kinematik PPP yöntemi, çeşitli mühendislik yapılarının dinamik yer değiştirmeleri ve salınım frekansları hakkında faydalı bilgiler sağlayabilir. Bu nedenle kinematik PPP yöntemi, kinematik bağıl yönteme alternatif olarak ve diğer sensörlere (İvme ölçer v.b.) tamamlayıcı olarak, yüksek mühendislik yapılarının yapı sağlığı izlemelerinde ve dinamik özelliklerinin tanımlanmasında kullanılabilir.

Gerçek zamanlı PPP yöntemindeki gelişmelere bağlı olarak, PPP yönteminin yakın gelecekte gerçek zamanlı yapı sağlığı ve deprem kaynaklı yer hareketlerinin izlenmesinde kullanılması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

Aktuğ B., Lenk O., (2010), “Yeni gelişmeler ışığında ağ hiyerarşisi, ölçü süreleri ve duyarlılık ölçütlerinin incelenmesi”, Harita Dergisi, 144, 40-50.

Alkan R. M., Öcalan T., (2013), “Usability of the GPS precise point positioning technique in marine applications”, J Navigation, 66, 579-588.

Arslan N., (2004), “GPS İle İyonosfer Toplam Elektron Yoğunluğu Değişimlerinin Koordinatlara Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Avallone A., Marzario M., Cirella A., Piatanesi A., Rovelli A., Di Alessandro C., D’Anastasio E., D’Agostino N., Giuliani R., Mattone M., (2011), “Very high rate (10 Hz) GPS seismology for moderate magnitude earthquakes: the case of the Mw 6.3 L’Aquila (central Italy) event. Journal of Geophysical Research Atmospheres”, 116, B02305.

Bahadır B., Üstün A., (2014), “İnternet tabanlı GNSS veri değerlendirme servisleri”, Harita Dergisi, 152, 40-50.

Breuer P., Chmielewski T., Gorski P., Konopka E., Tarczynski L., (2008), “The Stuttgart TV Tower-displacement of the top caused by the effects of sun and wind”, Eng Struct, 30, 2771-2781.

Brownjohn J., Rizos C., Tan G. H., Pan T. C., (2004), “Real-time long-term monitoring of static and dynamic displacements of an office tower, combining RTK GPS and accelerometer data”, 1st FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering, UK, 28 June-1July.

Brunner F. K., ve Welsch W. U., (1993), “Effects of the troposphere on GPS measurements”, GPS World, 4, 42-46.

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

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

Chan W. S., Xu Y. L., Ding X. L., Xiong Y. L., Dai W. J., (2006-a), “Assessment of dynamic measurement accuracy of GPS in three directions”, Journal of Surveying Engineering, 132 (3), 108-117.

Collins P., Henton J., Mireault Y., Heroux P., Schmidt M., Dragert H., Bisnath S., (2009), “Precise point positioning for realtime determination of co-seismic crustal motion”, Proceeding of the 22nd International Technical Meeting of the Satellite

Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2009), 2479-2488, Savannah (GA), 22-25 September.

Collins P., Bisnath S., Lahaye F., Heroux P., (2010), “Undifferenced GPS ambiguity resolution using the decoupled clock model and ambiguity datum fixing”, *Navigation*, 57, 123-135.

Chopra A. K., (1995), “Dynamics of Structures: Theory And Applications To Earthquake Engineering, 4th Edition, Englewood Cliffs (NJ), Prentice Hall.

Choy S. L., (2009), “An Investigation Into The Accuracy Of Single Frequency Precise Point Positioning (PPP)”, Doctoral Thesis, Engineering and Health RMIT University.

Çelebi M., (2000), “GPS in dynamic monitoring of long-period structures, *Soil Dyn Earthquake Eng.*”, 20, 477-483.

Çelebi M., Sanli A., (2002), “GPS in pioneering dynamic monitoring of long- period structures”, *Earthquake Spectra*, 18 (1), 47-61.

Dach R., Hugentobler U., Fridez P. ve Meindl M., (2007), “User Manual of Bernese GPS Software Version 5.0”, 1st Edition, Astronomical Institute, University of Bern.

Danisch L., Chrzanowski A., Bond J., Bazanowski M., (2008), “Fusion of geodetic and mems sensors for integrated monitoring and analysis of deformations”, 13th FIG Symp. on Deformation Measurement & Analysis and the 4th IAG Symp. on Geodesy for Geotechnical & Stuctural Eng., “Measuring the Changes”, paper 19, Lisbon, Portugal, 12-15 May.

Dodson A. H., (1995), “GPS for height determination”, *Survey Review*, 33, 256.

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

Ebner R., (2008), “Validation and Application of Free-online and Commercial Post-processing PPP Ackages”, Master Thesis, Graz University of Technology.

El-Diasty M., (2016), “Development of real-time PPP-based GPS/INS integration system using IGS real-time service for hydrographic surveys”, *Journal of Surveying Engineering* 142, 1-8.

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

El-Mowafy A., (2011), “Analysis of web-based gnss post-processing services for static and kinematic positioning using short data spans”, *Survey Review*, 43(323), 535-549.

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

Erdoğan H., Akpınar B., Güral E., Ata E., (2007), “Monitoring the dynamic behaviors of the Bosphorus Bridge by GPS during Eurasia Marathon, Nonlinear Proc Geophys”, 14, 513-523.

Erkan Y., Aktuğ B., Lenk O., Parmaksız E., Mert İ., Bacanlı, H., (2010), “TUSAGA-Aktif (CORS-TR) Sistemi Atmosferik Çalışmalara Ait Ön Sonuçlar”, Uluslararası Katılımlı 1. Meteoroloji Sempozyumu, Ankara, 27-28 Mayıs.

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

Ge M., Gendt G., Rothacher M., Shi C., Liu J., (2008), “Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in precise point positioning (PPP) with daily observations”, J Geod 82, 389-399.

Geng J., Teferle F. N., Meng X., Dodson A. H., (2010), “Kinematic precise point positioning at remote marine platforms”, GPS Solut. 14, 343-350.

Ghoddousi-Fard R., Dare P., (2006), “Online GPS processing services: an initial study”, GPS Solutions, 10(1), 1220.

Gikas V., Daskalakis S., (2008), “Comparative testing and analysis of rts versus GPS for structural monitoring using calibration measurements upon sinusoidal excitation”, 13th Symp. on Deformation Measurement and Analysis, Lisbon, 12-15 May.

Gikas V., Daskalakis S., (2009), “Contribution of combined RTS and TLS to dynamic monitoring of wind wnergy turbines”, 9th Int. Conference on Optical 3-D Measurement Techniques, Vienna, Austria, 1-3 July.

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

GPS ICD (2000), “Interface Control Document–Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces”, 1st Edition, ICD-GPS-200C.

Hammond WC., Thatcher W., (2005), “Northwest basin and range tectonic deformation observed with the global positioning system: 1999–2003”, Journal of Geophysical Research Letters 110, 1–12.

Herring T. A., (1988), “Precession and Nutation. The Interdisciplinary Role of Space Geodesy”, 1st Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Heroux P., Kouba J., Beck N., Lahaye F., Mireault Y., Tetreault P., Collins P., MacLeod K., Caissy M., (2006), “Space geodetic techniques and the CSRS evolution, status and possibilities, Geomatica”, 60, 137-150.

Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H. , Wasle E., (2008), “GNSS Global Navigation Satellite Systems”, 1st Edition, Springer Verlag Wien.

Hristopulos D. T., Mertikas S. P., Arhontakis I., Brownjohn J. M. W., (2007), “Using GPS for monitoring tall-building response to wind loading: filtering of abrupt changes and low-frequency noise, variography and spectral analysis of displacements”, GPS Solut 11, 85-95.

Hugentobler U., Sacher S., Fridez P., (2001), “Bernese GPS Software Version 4.2”, 1st Edition, Astronomical Institute University of Berne.

IERS (1989), “IERS Standards”, IERS Technical Note 3, Central Bureau of IERS - Observatoire de Paris, France.

IERS (1996), IERS Conventions, IERS Technical Note 21, Central Bureau of IERS - Observatoire de Paris, France.

Im SB., Hurlebaus S., Knag YJ., (2013), “Summary review of GPS technology for structural health monitoring”, J Struct Eng-ASCE. 139, 1654–1664.

Kahveci M., Yıldız F., (2009), “GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri Teori ve Uygulama”, Geliştirilmiş 4. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım.

Kahveci M., (2010), “GPS/GLONASS gözlemlerin değerlendirme yöntemlerinde son gelişmeler”, HKMO Jeodezi ve Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 102, 3-9.

Kahveci M., Karagöz H., Selbesoğlu M. O., (2011), “Statik ve RTK GNSS ölçüm ve hesaplamalarının karşılaştırılması”, Jeodezi-Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 104(1), 3-13.

Kaloop M. R., (2010), “Structural Health Monitoring Through Dynamic and Geometric Characteristics of Bridges Extracted From GPS Measurements”, Doctoral Thesis, China, Harbin Institute of Technology.

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

Kızılarıslan M., (2014), “GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PP Yöntemlerinin Konum Belirleme Performanslarının Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

Kijewski-Correa T., Kareem A., Kochly S., (2006) “Experimental Verification and Full-Scale Deployment of Global Positioning Systems to Monitor the Dynamic Response of Tall Buildings”, Journal of Structural Engineering, 132, 1242-1253.

Kleusberg A., Teunissen, P. J. G.(Eds), (1998), “GPS for Geodesy”, Volume 60, Springer-Verlag.

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”, Stud Geophys Geod, 47, 741-755.

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

Laurichesse D., Mercier F., Berthias J. P., Broca P., Cerri L., (2009), "Integer ambiguity resolution on undifferenced GPS phase measurements and its application to PPP and satellite precise orbit determination", *Navigation*, 56, 135-149.
Leica Geosystems, (2007), "Nivel 200 User Manual. AG."

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

Li X., Ge L., Ambikairajah E., Rizos C., Tamura Y., Yoshida A., (2006-a), "Full-scale structural monitoring using an integrated GPS and accelerometer system", *GPS Solut*, 10, 233-247.

Li X., (2006), "Optimal Integrated Multi-sensor System for Full-Scale Structural Monitoring Based on Advanced Signal Processing", Doctoral Thesis, The University of New South Wales.

Li X., Yoshida A., Tamura Y., Rizos C., Ge L., Imai R., (2008), "How hybrid GPS-based surveying techniques can further assist with structural design and construction", *Int. Symp. on GPS/GNSS*, 553-562, Yokohama, Japan, 25-28 November.

Li X., Ge M., Zhang X., Zhang Y., Guo B., Wang R., Klotz J., Wickert J., (2013), "Real-time high-rate co-seismic displacement from ambiguity-fixed precise point positioning: application to earthquake early warning", *Geophys Res Lett*, 40, 295-300.

Liu H., (1991), "Wind Engineering - A Handbook for Structural Engineers", 1st Edition, Prentice-Hall.

Lovse J. W., Teskey W. F., Lachapelle G., Cannon M. E., (1995), "Dynamic deformation monitoring of tall structure using GPS technology", *J Surv Eng ASCE* 121 (1), 35-40.

Martin I., (2013), "GNSS Precise Point Positioning The Enhancement with GLONASS", Doctoral Thesis, School of Civil Engineering and Geosciences.

Mekik Ç., (1999), "GPS'e atmosferin etkileri", *Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Dergisi*, 86, 14-20.

Meng X., Dodson A. H., Roberts G. W., (2007), "Detecting bridge dynamics with GPS and triaxial accelerometers", *Eng Struct*, 29, 3178-3184.

Meo M., Zumpano G., Meng X., Cosser E., Roberts G., Dodson A., (2006), "Measurements of dynamic properties of a medium span suspension bridge by using the wavelet transforms", *Mech Syst Signal Process*, 20, 1112-1133.

Mireault Y., Tetreault P., Lahaye F., Heroux P., Kouba J., (2008), "Online precise point positioning: a new, timely service from natural resources Canada", *GPS World*, 19, 53-64.

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

Moschas F., Stiros S., (2011), "Measurement of the dynamic displacements and of the modal frequencies of a short-span pedestrian bridge using GPS and an accelerometer", Eng Struct, 33, 10-17.

Montenbruck O., Gill E., (2000), Satellite Orbits, 1st Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Moschas F., Stiros S. C., (2014), "Three-dimensional dynamic deflections and natural frequencies of a stiff footbridge based on measurements of collocated sensors", Struct Control Health Monit, 21, 23-42.

Moschas F., Avallone A., Saltogianni V., Stiros S. C., (2014), "Strong motion displacement waveforms using 10-Hz precise point positioning GPS: an assessment based on free oscillation experiments", Earthquake Eng Struct Dyn, 43, 1853-1866.

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

Nakamura S., (2000), "GPS measurement of wind-induced suspension bridge girder displacements", J Struct Eng-ASCE, 126, 1413-1419.

Nikitopoulou A., Protopsalti K., Stiros S., (2006), "Monitoring dynamic and quasi-static deformations of large flexible engineering structures with GPS: accuracy, limitations, and promises", Eng Struct, 28, 1471-1482.

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

Ogaja C., Wang J., Rizos C., (2003), "Detection of wind-induced response by wavelet transformed GPS solutions", J Surv Eng ASCE, 129 (3), 99-104.

Park H. S., Sohn H. G., Kim I. S., Park J. H., (2008), "Application of gps to monitoring of wind-induced responses of high-rise buildings, The structural Design of Tall and Special Buildings, 17, 117-132.

Parkinson B. W., Ashby N., (1996), "Introduction to Relativistic Effects on the Global Positioning System, in Global Positioning System: Theory and Applications", 1st Edition, Progress Aeronautics and Astronautics.

Pehlivan H., Aydin Ö., Güral E., Bilgili E., (2013), "Determining the behaviour of high-rise structures with geodetic hybrid sensors", Geomatics Nat Hazard Risk.

Petrov L., Boy J. P., (2004), "Study of the atmospheric pressure loading signal in VLBI observations", Journal of Geophysical Research, 109(B03405), 1-14.

Psimoulis P., Stiros S., (2007), "Measurement of deflections and of oscillation frequencies of engineering structures using Robotic Theodolites (RTS)", Eng. St., 29 (12), 3312-3324.

Psimoulis P. A., Pytharouli S., Karambalis D., Stiros S. C., (2008), "Potential of global positioning system (GPS) to measure frequencies of oscillations of engineering structures", J Sound Vib, 318, 606-623.

Psimoulis P., Stiros S., (2008), "Experimental assessment of the accuracy of GPS and RTS for the determination of the parameters of oscillation of major structures", Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 23 , 389-403.

Psimoulis P. A., Stiros S. C., (2013), "Measuring deflections of a Shorth-Span railway bridge using a robotic total station", J Bridge Eng, 18, 182-185.

Rabbel W., Schuh H., (1986), "The influence of atmospheric loading on VLBI experiments", Journal of Geophysical Research, 59, 164-170.

Rizos B. C., (1999), "Satellite Ephemeris Bias, Principles and Practice of GPS Surveying", 1st Edition, The University of New South Wales.

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

Roberts G. W., Meng X., Dodson A. H., (2000), "Structural dynamic and deflection monitoring using integrated GPS and triaxial accelerometers", ION GPS 2000, Salt Lake City, UT, 19-22 September.

Roberts G. W., Meng, X., Dodson A. H., (2004), "Integrating a global positioning system and accelerometers to monitor the deflection of bridges", J Surv Eng ASCE 130 (2), 65-72.

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

Roulston A., (2001), "An Evaluation of Predicted Ephemerides for High Precision Real-Time GPS Positioning", Master Thesis, RMIT University.

Savage JC., Gan W., Prescott WH., Svarc JL., (2004), "Strain accumulation across the coast ranges at the latitude of San Francisco, 1994–2000", J Geophys Res. 109:1–11.

Schaal R., Larocca A., (2009), "Measuring dynamic oscillations of a small span cable-stayed footbridge: case study using L1 GPS receivers", J Surv Eng, 135, 33-37.

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

Subaşı K., Alkan R. M. (2011), “İnternet tabanlı GPS değerlendirme servislerinin doğruluk analizi: istanbul örneği”, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye, 18-22 Nisan.

Tamura Y., (2003), “Design issues for tall buildings from acceleration to damping”, The 11th International Conference on Wind Engineering, Lubbock, Texas, USA, June 2-5.

Tamura Y., Matsui M., Paginini L. C., Ishibashi R., Yoshida A., (2002), “Measurements of wind-induced response of buildings using RTK-GPS”, J Wind eng Ind Areodyn, 90, 1783-93.

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

Tetreault P., Kouba J., Heroux P., Legree P., (2005), “CSRS-PPP: an internet service for GPS user access to the Canadian spatial reference frame”, Geomatica, 59, 17-28.

Tiryakioğlu İ., (2005), “GPS Sinyal Yansımalarının(Multipath) Nokta Konumlarına Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi.

Tsakiri M., (2008), “GPS processing using online services”, Journal of Surveying Engineering, 134(4), 115-125.

Uzel T., Eren K., (1995) “GPS ölçmeleri”, Yayın No: 301, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Web-1, (2014), http://tr.wikipedia.org/wiki/GPS#Uzay_b.C3.B6l.C3.BCm.C3.BC (Erişim Tarihi: 07/06/2014).

Web-2, (2014), http://tr.wikipedia.org/wiki/GPS_uydular%C4%B1_listesi#Uydu_Bloklar.C4.B1 (Erişim Tarihi: 07/06/2014).

Web-3, (2014), <https://www.gps.gov/systems/gps/control/>, (Erişim Tarihi: 05/07/2014).

Web-4, (2017), <https://tr.wikipedia.org/wiki/GLONASS>, (Erişim Tarihi: 26/01/2017).

Web-5, (2018), https://www.researchgate.net/figure/Polar-motion-from-1962-Pavlis-et-al-2015b_fig3_302973781 (Erişim Tarihi: 07/05/2018).

Web-6, (2015), <http://www.ionolab.org/>, (Erişim Tarihi: 08/05/2018).

Weill Lawrence R.,(2003), “İnnovation-multipath mitigation: How good can it get with new signals? The column explores a new multipath mitigation algorithm and describes its expected performance with the new GPS signals soon”, GPS World, (6), 106-113.

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

- Wu J. T., Wu S. C., Hajj G. A., Bertiger W. I., Lichten S. M., (1993), "Effects of antenna orientation on GPS carrier phase", *Manuscripta Geodetica*, 18(2), 91-98.
- Wübbena G., Schmitz M., Andreas B., (2005), "PPP-RTK: Precise Point Positioning using State-Space Representation in RTK networks", *Proceedings of ION GNSS 18th International Technical Meeting of the Satellite Division*, Long Beach, CA, 13-16 September.
- Xu L., Guo J.J., Jiang J.J., (2002), "Time-frequency analysis of a suspension bridge based on GPS", *J Sound Vib*, 254, 105-116.
- 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", *J Geod*, 87, 361-372.
- Yi T., Li H., Gu M., (2013), "Experimental assessment of high-rate GPS receivers for deformation monitoring of bridge", *Measurement*. 46, 420-432.
- Yiğit C. Ö., (2010), "Yüksek Yapıların Farklı Sensörler ile Tam Ölçekli İzlenmesi ve Dinamik Parametrelerin İzlenmesi", *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yigit C. O., Li, X., Inal, C., Ge, L., Yetkin, M., (2010), "Preliminary evaluation of precise inclination sensor and GPS for monitoring full-scale dynamic response of a tall reinforced concrete building, *Journal of Applied Geodesy*", 4(2), 103-113
- Yigit C. O., (2016), "Experimental assessment of post processed kinematic precise point positioning method for structural health monitoring", *Geomat Nat Hazards Risk*, 7, 363-380.
- Yigit C. O., Gurlek E., (2017), "Experimental testing of high-rate GNSS precise point positioning (PPP) method for detecting dynamic vertical displacement response of engineering structures", *Geomat Nat Hazards Risk*, Online First.
- Yu J., Meng X., Shao X., Yan B., Yang L., (2014), "Identification of dynamic displacements and modal frequencies of a medium-span suspension bridge using multimode GNSS processing", *Eng Struct*, 81, 432-443.
- Zhang X., Andersen O. B., (2006), "Surface ice flow velocity and tide retrieval of the Amery ice shelf using precise point positioning", *J Geod*, 80, 171-176.
- Zhu S. Y., Massmann F. H., Yu Y., Reigber Ch., (2003), "Satellite antenna phasecenter off sets and scale errors", *Journal of Geodesy*, 76, 668-672.

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", J Geophys Res, 102, 5005-5017.

ÖZGEÇMİŞ

Devrim SAYILIR, 1976 yılı Ankara ili doğumlu olup, temel öğrenimini Karşıyaka'da tamamlamıştır. 2001 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünden mezun olmuş ve aynı yıl eski adıyla Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, bugünkü adıyla Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2001 yılından beri gerek yurtiçi gerekse yurtdışı altyapı kollektör hatları inşaatları, rafineri, doğalgaz çevrim santrali, demiryolu tamir-bakım atölyeleri gibi endüstriyel yapı inşaatları, köprü-köprülü kavşak inşaatları, karayolu ve raylı sistem ulaşım projeleri gibi çeşitli yüksek mühendislik yapılarına ait projelerde görev almış ve halen Bursa Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistemler Şube Müdürlüğü'ne ait T2 Tramvay Hattı Projesi'nde Ölçme Şefi/ Harita Mühendisi olarak çalışmaktadır.