



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GPS/IMU SİSTEMLERİNDE KONUM BELİRLEME
TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim CANKURT

DANIŞMAN

Doç. Dr. Mustafa ACAR

AKSARAY, 2016



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GPS/IMU SİSTEMELRİNDE KONUM BELİRLEME
TEKNİKLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim CANKURT

DANIŞMAN

Doç. Dr. Mustafa ACAR

AKSARAY, 2016

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ONAY BELGESİ

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 102306403 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, “İbrahim CANKURT”, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GPS/IMU Sistemlerinde Konum Belirleme Tekniklerinin Karşılaştırılması” başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Mustafa ACAR**
Aksaray Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Serdar EROL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd.Doç. Dr. Kemal YURT**
Aksaray Üniversitesi

Teslim Tarihi : 11 Ocak 2016

Savunma Tarihi: 03 Şubat 2016

ÖNSÖZ

GNSS ile ölçme yöntemlerindeki gelişmeler tek GNSS alıcısı ile yüksek doğrulukta konum bilgisi üretme yönünde ilerlemektedir. Tek GNSS alıcısı ile yüksek doğrulukta konum bilgisi üretmek amacıyla geliştirilen “Hassas Konum Belirleme (PPP) yöntemi ölçme anında kullanılan uyduların hassas yörünge ve saat bilgilerine ilişkin düzeltme yapılması temeline dayanmaktadır. Sanal referans istasyonu sistemi (VRS) ise sürekli gözlem yapan referans istasyonları yardımıyla bir sanal referans istasyonunda uydu hatalarının modellenmesine dayanmaktadır. Son yıllarda, fotogrametrik çalışmalarda, yer kontrol noktası tesis etmeksizin ve arazi çalışmaları yapılmaksızın sadece GNSS/IMU destekli hava fotoğrafı çekimi gerçekleştirerek doğrudan fotogrametrik harita üretimi amaçlanmaktadır. Tez çalışmasında, GNSS/IMU sistemlerinin bileşeni olan kinematik GNSS verilerinin değerlendirilmesinde, sabit referans noktaları, sanal referans noktaları (VRS) ve PPP yöntemlerinin karşılaştırılarak kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla, Aksaray Üniversitesi Kampüsü ve civarında gerçekleştirilmiş olan havadan görüntü alım uçuşu esnasında ölçülen kinematik GNSS verileri değerlendirilmiştir.

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu eserleri her kullanışmada alıntı yaparak yararlandığımı belirtir; bunu şerefimle doğrularım.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

İbrahim CANKURT

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim ve tez çalışmalarım da bilgi ve hoşgörüsüyle yardımlarını ve yönlendirmelerini esirgemeyerek büyük bir özveri gösteren değerli hocam Sayın Doç. Dr. Mustafa ACAR' a, Aksaray Üniversitesi'nde Yüksek Lisans eğitimi almama olanak sağlayan ve emekleri geçen tüm hocalarıma ve değerli mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Desteklerini esirgemeyen, anlayışlarıyla ve sabırlarıyla beni yalnız bırakmayan sevgili eşim Yeliz CANKURT' a ve oğullarım Ahmet Oğuz ve Mustafa Mert'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ONAY BELGESİ	iii
ÖNSÖZ.....	iv
DOĞRULUK BEYANI.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
KISALTMALARDİZİNİ	xiv
SİMGELERDİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. UYDULARLA KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM - GNSS).....	5
2.1 Galileo Uydu Sistemi	5
2.2 GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System).....	6
2.3 GPS (Global Positioning System).....	7
2.3.1 GPS hakkında genel bilgiler	7
2.3.2 GPS'te kullanılan ölçüler.....	8
2.3.2.1 Kod ölçüleri.....	8
2.3.2.2 Taşıyıcı faz ölçüleri.....	10
2.3.3 GPS ölçülerini etkileyen hata kaynakları.....	11
2.3.3.1 Uydu hataları.....	11
2.3.3.2 Atmosfer etkisi	12
2.3.3.3 Sinyal yansıma (multipath) etkisi.....	12
2.3.3.4 Seçici kullanılabilirlik (Selective Availability-SA)	12
3. GNSS İLE KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ.....	13
3.1 Mutlak Konum Belirleme Yöntemi	13
3.2 Bağıl Konum Belirleme Yöntemi	14
3.2.1 Bir kez fark alınmış (Single Difference) gözlem denklemleri.....	14
3.2.2 İki kez fark alınmış (Double Difference) gözlem denklemleri.....	14
3.2.3 Üç kez fark alınmış (Triple Difference) gözlem denklemleri.....	15
3.2.4 Real Time Kinematik (RTK) konum belirleme yöntemi.....	15
3.3 Hassas Nokta Konum Belirleme (PPP) Yöntemi.....	16
3.3.1 Genel gözlem modeli	16
3.3.2 P1-P2-CP modeli.....	16
3.3.3 Hassas nokta konumlama düzeltme modelleri.....	17
3.3.3.1 Uydu anten faz merkezi hatası	18
3.3.3.2 Phase Wind-up düzeltmesi.....	18
3.3.3.3 Karasal gel-git hatası (Solid Earth Tide).....	18
3.3.3.4 Okyanus yüklemesi	19
3.3.3.5 Yer dönme parametreleri (Earth Rotation Parameters).....	19
3.3.3.6 Relativistik etkiler (Relativistic Effects).....	19

3.4 Sanal Referans İstasyonu Sistemi (VRS).....	19
3.4.1 VRS'nin gözlem denklemleri.....	21
3.4.2 VRS'de modellenmesi gereken hata kaynakları	22
3.4.2.1 Troposferik etki	22
3.4.2.2 Yörünge hatası etkisi.....	22
3.4.2.3 İyonosferik etki	22
3.4.2.4 Tamsayı belirsizliği çözümü	23
4. İNERSİYAL (ATALETSEL) NAVİGASYON SİSTEMİ (INERTIAL NAVIGATION SYSTEM-INS)	25
4.1 İnersiye Sistemlerin Hataları	26
4.2 GNSS-INS Entegrasyonu.....	27
5. SAYISAL UYGULAMA	31
5.1 Çalışmanın Amacı.....	31
5.2 Çalışma Alanı ve Test Ağı	31
5.3 Uçuş Planlaması ve Yer Örnekleme Aralığı (Ground Sample Distance-GSD).....	32
5.3.1 Yedi (7)cm GSD İçin Uçuş Planlaması	33
5.3.2 Onbeş (15)cm GSD İçin Uçuş Planlaması	34
5.3.3 Yirmibeş (25)cm GSD İçin Uçuş Planlaması	35
5.4 Donanım.....	36
5.4.1 GNSS /IMU sistemi	36
5.5 Test Ölçüleri.....	37
5.6 Test Ölçülerinin Değerlendirilmesi.....	39
5.6.1 Sabit GNSS ölçülerinin değerlendirilmesi	40
5.6.2 GNSS/IMU verilerinin değerlendirilmesi	42
5.6.3 7 cm GSD için, GNSS/IMU verilerinin değerlendirilmesi	44
5.6.4 SBT yöntemi ile kinematik GNSS verilerinin işlenmesi	48
5.6.5 VRS yöntemi ile kinematik GNSS verilerinin değerlendirilmesi	61
5.6.6 PPP yöntemi ile kinematik GNSS verilerinin değerlendirilmesi	63
5.6.7 GNSS verinin IMU verileri ile birleştirilerek sonuçların elde edilmesi ...	69
5.7 Elde Edilen Sonuçlar ve Bulgular	72
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	100
KAYNAKLAR	104
ÖZGEÇMİŞ.....	107

ÖZET

GPS/IMU SİSTEMLERİNDE KONUM BELİRLEME TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Teknolojinin hızla gelişmesi jeodezik ölçmeler konusunda da büyük değişiklikler göstermiştir. Özellikle Global Navigation Satellite System (GNSS) teknolojisinin jeodezik çalışmalarda sıkça kullanılmaya başlanması, uydu bazlı ölçme yöntemlerini jeodezinin en önemli konularından birisi haline getirmiştir. GNSS ile konum belirleme alanında birçok yöntem geliştirilmiştir. Harita üretiminde ve mühendislik projelerinde kullanılabilecek doğrulukta konum bilgisine ulaşmak için genellikle görel konum belirleme yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemde fazla sayıda GNSS alıcısına ihtiyaç duyulmaktadır.

GNSS ile ölçme yöntemlerindeki gelişmeler tek GPS/GNSS alıcısı ile yüksek doğrulukta konum bilgisi üretme yönünde ilerlemektedir. Tek GNSS alıcısı ile yüksek doğrulukta konum bilgisi üretmek amacıyla geliştirilen “Hassas Konum Belirleme (PPP) yöntemi ölçü esnasında kullanılan uyduların hassas yörünge ve saat bilgilerine ilişkin düzeltme yapılması temeline dayanmaktadır. Sanal referans istasyonu sisteminde (VRS) ise temel çözüm; sürekli gözlem yapan referans istasyonları yardımıyla bir sanal referans istasyonunda iyonosfer, troposfer ve efemeris hatalarının modellenmesine dayanmaktadır.

Bu çalışmada, yüksek doğruluklu konum bilgisi üretmek için GPS/IMU sistemlerinin bileşeni olan kinematik GPS verilerinin değerlendirilmesinde, sabit referans noktaları, sanal referans noktaları (VRS) ve PPP yöntemlerinin karşılaştırılarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Tez kapsamında elde edilen sonuçlar, GPS/IMU sisteminin bileşeni olan kinematik GPS değerlendirmelerinde, ulusal GNSS ağlarından üretilecek VRS noktalarının, uçuş bölgesinde sabit GNSS/GPS alıcısı yerine kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca, gerçek zamanlı kinematik ağ uygulamalarında, veri iletişim sorunları yaşanan durumlarda kinematik ölçü yöntemiyle toplanacak verilerin daha sonra oluşturulacak VRS referans noktaları ile değerlendirilmesinin de mümkün olduğu düşünülmektedir. PPP tekniğinin tez çalışmasında kullanılan diğer değerlendirme tekniklerine göre daha düşük doğruluklu sonuçlar vermesi nedeniyle fazla doğruluk gerektirmeyen uygulamalarda kullanılabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler; Hassas Nokta Konumlama, Sanal Referans İstasyonu, Global Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS)

ABSTRACT

COMPARISON OF POSITION DETERMINATION TECHNIQUES IN GPS/IMU SYSTEMS.

The rapid development of technology shows major changes in the geodetic measurement research. With using commonly the Global Navigation Satellite System (GNSS) technology in geodetic studies, satellite-based measurement methods have become one of the most important issues in geodesy. Many different methods have been developed in the field of point positioning with GNSS. In order to achieve accurate position information that is usable in map production and engineering projects, usually relative positioning methods are being used. However, in this method, many GNSS receivers are needed.

Developments in surveying methods with GNSS, is progressing in the direction of producing highly accurate position information with only one GNSS/GPS receiver. Precise Point Positioning (PPP) method that is developed to produce highly accurate location information with a single GNSS receiver, is based on corrections regarding the precise orbit and time information of the satellites used during the measurement. The basic solution in Virtual Reference Station (VRS) system is based on modeling of the ionosphere, troposphere and the ephemeris errors in a virtual reference station with the help of the observation of continuously operating reference stations.

In this study, to produce high-accuracy position information, availability of VRS and PPP methods in evaluation of kinematic GPS data which is a component of GPS/IMU systems were investigated by comparing these methods.

The results obtained in the thesis shows that in evaluation kinematic GPS which is a component of GPS/IMU system, VRS points produced in national GNSS network can be used instead of fixed GNSS/GPS receivers in flight zones. Additionally, in real time kinematic network applications, in cases where the data communication problem occurs, it is thought to be possible to evaluate the data collected by kinematic measurement method by subsequently created VRS reference points. Because the PPP technique provides low accuracy results than the evaluation techniques used in the thesis studies, it is thought it can be used in applications that do not require much accuracy.

Key words: Precise Point Positioning, Virtual Reference System, Global Navigation Satellite Systems (GNSS)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Uydu ile konum belirlemede geometrik ilişkiler (Seeber, 1993).	10
Şekil 2.2: Kod ve taşıyıcı faz ölçüleri (Salgın, 2007).	11
Şekil 3.1: GNSS ile konum belirleme yöntemleri (Kahveci, 2014).	13
Şekil 3.2: Mutlak konum belirleme.	13
Şekil 3.3: Bağıl konum belirleme.	14
Şekil 3.4: Klasik RTK ölçme yöntemi.	15
Şekil 3.5: Bölgesel ağlarda sanal referans istasyonları (Arslan vd., 2002).	20
Şekil 3.6: Bölgesel GNSS ağlarında VRS taşıyıcı faz gözlemlerinin hesabı.	21
Şekil 4.1: INS içerisinde yer alan jiroskoplar ve ivme ölçerler	26
Şekil 4.2: İnertiyel ölçü donanım yapıları (Beşdok ve Özçelik, 2009).	26
Şekil 4.3: IMU sisteminin uçak üzerindeki konumlandırılması.	28
Şekil 4.4: IMU sisteminin sensörlerle entergrasyonu.	28
Şekil 4.5: IMU sisteminin sensörlerle entergrasyonu.	29
Şekil 5.1: Çalışma alanı.	32
Şekil 5.2: 7 cm GSD uçuş planlaması.	34
Şekil 5.3: 15 cm GSD uçuş planlaması.	35
Şekil 5.4: 25 cm GSD uçuş planlaması.	36
Şekil 5.5: IGI CCNS4 IMU sistemi.	37
Şekil 5.6: Test ölçüsü güzergahı.	38
Şekil 5.7: Test ölçülerinin gerçekleştirilmesi.	39
Şekil 5.8: Projeye aktarılan GNSS verileri.	40
Şekil 5.9: LeicaGeo Office yazılımıbaz çözümleri.	41
Şekil 5.10: Sonuç Koordinat Değerleri.	42
Şekil 5.11: Yeni proje oluşturulması.	44
Şekil 5.12: GNSS/IMU sistem bilgileri girişi.	45
Şekil 5.13: GPS anteninin konum ofset değerlerinin girilmesi.	46
Şekil 5.14: Kamera sensörünün konum ofset değerlerinin girilmesi.	46
Şekil 5.15: Kameranin dengeleyici platformun konum ofset değerlerinin girilmesi.	47
Şekil 5.16: Kameranin bilgilerinin girilmesi.	47
Şekil 5.17: Kinematik GNSS/IMU verilerinin projeye aktarılması.	48
Şekil 5.18: Kinematik GNSS/IMU verilerinin ön işleme yapılması.	48
Şekil 5.19: GNSS verisi format dönüşüm modülü.	49
Şekil 5.20: GNSS verisi format dönüşümü.	50
Şekil 5.21: GNSS veri dönüşüm parametreleri.	50
Şekil 5.22: RINEX verilerinin GPB formatına dönüşümü.	51
Şekil 5.23: Yeni proje oluşturulması.	52
Şekil 5.24: GNSS verisi ölçü zamanları.	52
Şekil 5.25: Referans noktalar koordinat girişi.	53
Şekil 5.26: Ön değerlendirme görüntüsü.	54
Şekil 5.27: GNSS değerlendirme parametreleri.	55
Şekil 5.28: Referans nokta parametreleri.	55
Şekil 5.29: GNSS değerlendirme işlemi ekran görüntüsü.	56
Şekil 5.30: GNSS değerlendirme sonrası ekran görüntüsü.	57

Şekil 5.31: Nokta özet bilgileri.....	57
Şekil 5.32: Referans noktalar uydu durumu.	58
Şekil 5.33: Kod ölçülerine ilişkin KOH grafiği.	58
Şekil 5.34: Noktalara ait çözüm kalitesi grafiği.	59
Şekil 5.35: Konumdoğruluk grafiği.	59
Şekil 5.36: Sonuç çıktısı oluşturulması.	60
Şekil 5.37: SBT yöntemi GNSS değerlendirmesi sonuç çıktı dosyası örneği.	61
Şekil 5.38: VRS istasyon verisi projeye aktarımı.	62
Şekil 5.39: VRS yöntemi GNSS değerlendirmesi sonuç çıktı dosyası örneği.	63
Şekil 5.40: Kinematik verilerin grafik görünümü.....	64
Şekil 5.41: Hassas uydu yörünge ve uydu saat verisi indirme modülü.	65
Şekil 5.42: PPP değerlendirme menüsü.	66
Şekil 5.43: Hassas uydu yörünge ve uydu saat bilgilerinin kontrolü.	66
Şekil 5.44: PPP GNSS değerlendirme ekran görüntüsü.	67
Şekil 5.45: PPP yöntemine ile elde edilen konum doğruluk grafiği.	68
Şekil 5.46: PPP yöntemine ile elde edilen noktalara ait çözüm kalitesi grafiği.	68
Şekil 5.47: PPP yöntemi GNSS değerlendirmesi sonuç çıktı dosyası örneği.	69
Şekil 5.48: GNSS değerlendirme sonuç dosyalarının yüklenmesi.	69
Şekil 5.49: GNSS/IMU postprocessing işlemi.	70
Şekil 5.50: GNSS/IMU yükseklik zaman grafiği.	70
Şekil 5.51: GNSS/IMU sistemi konum fark grafiği.	71
Şekil 5.52: GNSS/IMU Sonuç dosyası oluşturma.	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1: PPP ve diferansiyel GNSS konumlama teknikleri için uygulanması ya da hesaplanması gereken bias'lar ve hatalar (Öcalan ve Soycan, 2012).	17
Çizelge 5.1: Referans Noktalarına ait koordinat değerleri.	73
Çizelge 5.2: SBT yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (7 cm GSD).	74
Çizelge 5.3: VRS yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (7 cm GSD).	77
Çizelge 5.4: PPP yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (7 cm GSD).	80
Çizelge 5.5: SBT yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (15 cm GSD).	83
Çizelge 5.6: VRS yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (15 cm GSD).	84
Çizelge 5.7: PPP yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (15 cm GSD).	85
Çizelge 5.8: SBT yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (25 cm GSD).	87
Çizelge 5.9: VRS yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (25 cm GSD).	88
Çizelge 5.10: PPP yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (25 cm GSD).	89
Çizelge 5.11: 7 cm GSD için SBT-VRS yöntemleri karşılaştırması.	90
Çizelge 5.12: 7 cm GSD için SBT-VRS yöntemleri konum fark grafiği.	91
Çizelge 5.13: 7 cm GSD için SBT-VRS yöntemleri dönüklük fark grafiği.	91
Çizelge 5.14: 7 cm GSD için SBT-PPP yöntemleri karşılaştırması.	92
Çizelge 5.15: 7 cm GSD için SBT-PPP yöntemleri konum fark grafiği.	92
Çizelge 5.16: 7 cm GSD için SBT-PPP yöntemleri dönüklük fark grafiği.	93
Çizelge 5.17: 15 cm GSD için SBT-VRS yöntemleri karşılaştırması.	94
Çizelge 5.18: 15 cm GSD için SBT-PPP yöntemleri konum fark grafiği.	94
Çizelge 5.19: 15 cm GSD için SBT-VRS yöntemleri konum fark grafiği.	95
Çizelge 5.20: 15 cm GSD için SBT-PPP yöntemleri karşılaştırması.	95
Çizelge 5.21: 15 cm GSD için SBT-PPP yöntemleri konum fark grafiği.	96
Çizelge 5.22: 15 cm GSD için SBT-PPP yöntemleri dönüklük fark grafiği.	96
Çizelge 5.23: 25 cm GSD için SBT-VRS yöntemleri karşılaştırması.	97
Çizelge 5.24: 25 cm GSD için SBT-VRS yöntemleri konum fark grafiği.	97
Çizelge 5.25: 25 cm GSD için SBT-VRS yöntemleri dönüklük fark grafiği.	98
Çizelge 5.26: 25 cm GSD için SBT-PPP yöntemleri karşılaştırması.	98
Çizelge 5.27: 25 cm GSD için SBT-PPP yöntemleri konum fark grafiği.	99
Çizelge 5.28: 25 cm GSD için SBT-PPP yöntemleri dönüklük fark grafiği.	99

KISALTMALAR DİZİNİ

BÖHHBÜY	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
GPS	Global Positioning System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GSD	Ground Sample Distance
DMC	Digital Mapping Camera
IMU	İnertial Measurement Unit
INS	İnertial Navigation System
PPP	Precise Point Positioning
VRS	Virtual Reference System
YÖA	Yer Örnekleme Aralığı

SİMGELER DİZİNİ

Ω Omega

Φ Phi

κ Kappa



1. GİRİŞ

Uydularla konum belirleme, ilk yapay uydu olan SPUTNIK-1'in uzaya yerleştirilmesi ile gelişim başlamıştır. Bununla beraber teknolojiye hızlı gelişmelerin de etkisiyle mevcut da var olan bazı sistemlerin kullanılabilirlik düzeyleri etkinleştirilmiş, 1980'li yıllardan itibaren de zamanının teknolojik ürünleri olan jeodezik ve jeodinamik amaçlı uydu sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerin genel olarak başlıcaları; Global Positioning System (GPS), GALILEO, GLObal NAVigation Satellite System (GLONASS), The Precise Range and Range-Rate Equipment (PRARE), Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite (DORIS) ve TOPEX/POSEIDON isimleri ile sıralayabiliriz. Bunun yanı sıra genellikle bilimsel amaçlı kullanılan Very Long Baseline Interferometry (VLBI) ve Satellite Laser Ranging (SLR) sistemleridir.

Global Navigation Satellite System (GNSS)'in jeodezik çalışmalarda sıkça kullanılmaya başlanması ile uydu bazlı konum belirleme alanında birçok yöntem geliştirilmiştir. Harita üretiminde ve mühendislik projelerinde kullanılabilecek doğrulukta konum bilgisine ulaşmak için genellikle göreceli konum belirleme yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemde fazla sayıda (en az iki) GNSS alıcısına ihtiyaç duyulmaktadır. GNSS ile ölçme yöntemlerindeki gelişmeler, tek GNSS alıcısı ile yüksek doğrulukta konum bilgisi üretme yönünde ilerlemektedir.

Hassas GNSS verilerinde ve çift frekanslı GNSS alıcılarında meydana gelen gelişmeler Hassas Nokta Konum Belirleme (PPP: Precise Point Positioning) kavramının oluşmasına yol açmıştır. Hassas GPS verisi; hassas efemeris bilgisi, uydu saat hataları ve atmosferik düzeltmelerini içermektedir. Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service - IGS)'nin uydu yörünge ve saat hatalarını çok kısa bir sürede ve yüksek duyarlılıkla kullanıcılarına ulaştırmaya başlaması, yeni bir mutlak konumlama tekniği olan Hassas Nokta Konum Belirleme tekniğinde gelişmelere yol açmıştır. Hassas Nokta Konum Belirleme tekniğinde, herhangi bir geometri olmaksızın ölçü olarak farkı alınmamış kod ve taşıyıcı faz ölçülerinin iyonosferden bağımsız kombinasyonları kullanılmaktadır. GNSS' in doğasında olan etkili hata

kaynakları, uydu yörünge ve saat hataları için Uluslararası GNSS Servisi tarafından yayımlanan değerler hatasız alınarak kullanılmakta olup, matematiksel modelde bütün ölçüler birlikte değerlendirilebileceği gibi Kalman filtreleme yöntemi de tercih edilen yöntemlerdendir. Uydu yörünge ve saat hataları bilinen alınmak suretiyle tek bir jeodezik (çift frekanslı) GNSS alıcısı ile yapılan ölçülerin iyonosferden bağımsız kombinasyonları kullanılarak cm doğruluğunda konum doğruluğu elde edilebilmektedir (Gül, 2005).

PPP ile ilgili olarak 1990'lı yılların sonunda başlayan yoğun araştırma ve çalışmalar, CORS ağlarının etkin kullanımıyla gelişen süreçte, diferansiyel konumlamanın dezavantajlarına karşın önemli bir alternatif olmuştur. Rölatif GNSS tekniklerinde koordinatı bilinen bir ya da daha fazla referans istasyonu/istasyonlarında gözlem yapılması gerekirken, PPP tekniğinde koordinatı belirlenecek noktada tek bir alıcı ile gözlem yapılması yeterli olmaktadır (Öcalan ve Soycan, 2012). PPP ile ilgili olarak Gao ve Shen, (2002) ile Rizos vd., (2012) çalışmalarında çift frekanslı tek bir GPS/GNSS alıcısı ile kod ve taşıyıcı faz gözlemleri kullanılarak, fark almaksızın ve iyonosfer-bağımsız kombinasyonlarla, desimetre – santimetre mertebesinde nokta konum doğrulukları elde edilebildiği sonuçlarına varmışlardır.

PPP tekniğinin taşıyıcı faz başlangıç tamsayı bilinmeyişi çözümü için gereken yakınsama süresinin uzun olması, gerçek zamanlı çalışmalarda kullanımını zorlaştırmaktadır. Ancak, bu konuda yapılan çok sayıda bilimsel çalışma, problemin çözümüne yönelik önemli katkılar sağlamıştır. Geng vd., (2010,2011,2012) çalışmaları PPP tekniğinin gerçek zamanlı uygulamalarda kullanımına yönelik literatürde yer alan önemli çalışmalardır. Öcalan ve Soycan, (2012) çalışmalarında PPP-RTK tekniğinin ölçme amaçlı birçok uygulamanın yanı sıra, hassas navigasyon uygulamalarında da kullanıcılar için etkin çözüm sağlayacağı sonucuna varmışlardır.

GNSS/GPS sistemi ilk tasarlandığında, bütün dünyada, anlık (real-time) konumlama imkanı sağlayacak bir konumlama sistemi olarak düşünülmüştür. Fakat GNSS' in doğasından gelen hata kaynakları nedeniyle özel ölçme donanımı ve yazılımı kullanılmadan yüksek konum doğruluğuna ulaşmak mümkün olmamaktadır. Günümüzde statik ölçme yöntemiyle yüksek doğrulukta koordinat elde etmek mümkün olup, ayrıca Real-Time Kinematik (RTK) GNSS çözüm yönteminde de referans istasyonundaki alıcı ile gezici alıcı arasındaki mesafenin kısa (<20 km) olması durumunda yeterli doğruluk (2-2.5 cm) elde edilebilmektedir.

Kinematik GNSS uygulamalarında alıcılar arasındaki mesafe arttıkça iyonosfer, troposfer, efemeris gibi hataların modellenmesi zorlaştığından elde edilen koordinatların konum ve yükseklik doğruluğu azalmaktadır. Kinematik GNSS çözümünün bu gibi eksik yönlerini gidermeyi amaçlayan özel çözüm algoritmaları geliştirilmiş ve bunların sonucunda Sanal Referans Sistemi (Virtual Reference System-VRS) ortaya çıkmıştır.

VRS' de temel yaklaşım sürekli gözlem yapan referans istasyonları yardımıyla bir sanal referans istasyonunda iyonosfer, troposfer ve efemeris hatalarının modellenmesine dayanmaktadır. Bu işlemin en önemli adımını iyonosfer modellenmesi oluşturmaktadır. VRS' de sabit istasyonlardan elde edilip modellenen troposferik ve iyonosferik etkiler seçilen herhangi bir noktaya enterpolasyon yöntemiyle aktarılır. Böylece VRS istasyonunun farkı alınmamış faz ve kod ölçüleri iyonosferik ve troposferik etkilerden arındırılır. Bu yüksek kalitedeki veriler kullanılarak Real Time ya da Hızlı Statik (Post-processing) uygulamalarda, mesafenin uzun olması durumunda bile, oldukça iyi sonuçlar elde edilebilir. VRS' de yüksek kalitede veri elde edebilmek için atmosferin iyonosfer bölgesindeki değişimlerin iyi bir biçimde belirlenmesi gerekmektedir. İyonosferin stokastik kısmı içinde ele alınan orta ve küçük ölçekli sinyal yolu iyonosfer düzensizliklerinin doğru bir şekilde izlenmesi oldukça önemlidir (Arslan vd., 2002).

GNSS' in fotogrametrik çalışmalarda kullanılmaya başlanması ile birlikte, ihtiyaç duyulan nirengi noktası sayısı ve bunun sonucu olarak arazi çalışmaları önemli ölçüde azalmıştır. Ancak bu konudaki asıl amaç; nirengi noktası tesis edilmeden ve arazi çalışmaları yapılmadan hava görüntüsü alımını gerçekleştirerek doğrudan fotogrametrik değerlendirme işlemlerine başlayabilmektir. Havadan görüntü alımı çalışmalarında, GNSS-IMU adı verilen algılayıcı yöneltme sistemleri kullanılmaktadır. Burada amaç resim orta noktalarının koordinatları ile resim dönüklük bilgilerinin elde edilmesidir. Bu çalışmalarda kullanılan GNSS alıcılarında fotogrametrik harita üretimini karşılayabilecek doğrulukta koordinat bilgisi alabilmek için hali hazırda Hızlı kinematik (Post-processing) ölçü yöntemi kullanılmaktadır. Ancak en az sayıda nirengi noktası ve asgari düzeyde arazi çalışması hedeflenen sistemde hızlı kinematik ölçü için yerde sabit referans GNSS alıcılarının kurulacağı nirengi noktalarına ihtiyaç duyulması hem çalışmaları güçleştirirken, hem de hedeften de uzaklaştırmaktadır.

PPP ve VRS çözüm yöntemleri kullanılarak GNSS-IMU sistemlerinden havadan görüntü alımı yapılırken, yerde ilave sabit GNSS alıcısı gereksinimi olmaksızın (VRS yönteminde GNSS ağıları kullanılarak) gerekli doğrulukta koordinat ve dönüklük bilgilerinin üretilmesi, fotogrametrinin hızlı harita üretimi amacına büyük katkıda bulunacaktır.

Bu çalışmada; ilk olarak Sabit Referans Noktası kullanımı, PPP, VRS yöntemleri ile GNSS-IMU sistemleri hakkında ayrıntılı bir şekilde bilgi verilmesi amaçlanmıştır. İkinci olarak, GNSS/IMU sistemlerinin bir bileşeni olan kinematik GNSS çözümlemelerinde, resim orta noktası koordinat ve dönüklük değerlerinin belirlenmesi için, GNSS ölçmeleri ile Sabit Referans Noktası kullanımı (SBT), Sanal Referans İstasyonu Sistemi (Virtual Reference System-VRS) ve Hassas Konum Belirleme (Precise Point Positioning-PPP) yöntemleri kullanılmıştır. Kinematik GNSS değerlendirme yöntemleri ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması ve Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliğinin (BÖHKBÜY) ön gördüğü duyarlılık kriterlerine uygunluğu araştırılmıştır. Son olarak, üç farklı uçuş yüksekliğinden (700 m, 1 500 m, 2 500 m) elde edilen GNSS ölçüleri SBT, VRS ve PPP yöntemleri değerlendirilerek, bu değerlendirme yöntemlerinden elde edilen değerlerin, uçuş yüksekliği ile olan ilişkisinin de araştırılması amaçlanmıştır.

2. UYDULARLA KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM - GNSS)

Yapay uydularla konum belirleme tekniklerinin başında gelen GNSS günümüzde gerek konum belirleme gerekse Harita Mühendisliği uygulamaları için hassas konum belirleme çalışmalarında yaygın bir kullanım alanı bulmuştur.

Amerika Birleşik Devletleri tarafından işletilen GPS, Rusya Federasyonu tarafından işletilmekte olan GLObal NAVigation Satellite System (GLONASS), Avrupa Birliği ülkeleri tarafından kurulmakta olan GALILEO sistemleri, Çin Halk Cumhuriyeti tarafından yürütülen COMPASS (CNSS) konumlama sistemi, Hindistan Bölgesel Navigasyon Sistemi (The Indian Regional Navigational Satellite System- IRNSS) ile PRARE, DORIS ve TOPEX/POSEIDON uydu konum belirleme sistemlerinin başlıdalarıdır.

2.1 Galileo Uydu Sistemi

Avrupa ülkelerinin ortak projesi olarak geliştirmekte oldukları küresel konumlama sistemi olan Galileo Uydu Sistemi için, 26 Mart 2002 tarihindeki Avrupa Ulaştırma Bakanları Kurulu toplantısında 450 milyon Euro'luk bir bütçe ayrılmıştır. Galileo Uydu Sistemi, 2000 yılında tasarlanmaya başlanılmış, 2002–2005 yılları arasında ise uydu geliştirilmesi, yer istasyonları ile altyapı tesislerinin oluşturulması ve test çalışmaları yapılmıştır.

2006–2007 yıllarında sistem uydularının yörüngelerine oturtulması çalışmalarının tamamlanarak, 2008 yılında sistemin kullanıma açılması planlanmaktaydı. Ancak henüz tamamlanamayan ve yaklaşık 3.6 milyar Euro'luk bütçeye ihtiyaç duyulduğu tahmin edilen Galileo Uydu Sisteminin, 30 uydudan oluşacağı ve 2019 yılında uzaydaki yerini alacağı tahmin edilmektedir.

Galileo Uydu Sistemi: uzay, kontrol ve kullanıcı bölümleri olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Uzay bölümü Galileo Uydu Sistemi uydularından oluşmaktadır. Galileo Uydu Sisteminde, 27 asıl 3 yedek olmak üzere toplam 30 adet uydudan oluşacaktır. Uyduların yörünge yüksekliği yaklaşık olarak 23616 km.dir. Bir uydunun dünya etrafındaki dolanım süresi 14 saat olacaktır. Yörüngeler ekvatorla

56 derecelik açı yapacaktır. Dünya üzerinde herhangi bir yer ve zamanda en az 6 uydunun gözlenebilmesi sağlanacaktır. Tam faaliyete geçtiğinde $\pm 1\text{m}$ hassasiyetinde konum belirleme olanağı sağlayacaktır (Uyar ve İnal, 2004).

Kontrol bölümü sistemin kontrol merkezi olup, Avrupa'da bulunan 2 adet kontrol merkezi ile 20 adet alıcı istasyonundan oluşacaktır. Uydular ile kontrol merkezi arasındaki haberleşmeyi sağlamak için tüm dünyaya dağılmış, 15 istasyonun kurulması planlanmaktadır. Galileo Uydularından 10 farklı sinyal yayınlanması düşünülmektedir. Bunlardan 6 adet sinyalin tüm kullanıcılara açık olması, 2 adet sinyalin ticari kullanıcılara açık olması ve geri kalan 2 adet sinyalin ise kamu kurum ve kuruluşlara tahsis edilmesi düşünülmektedir. Galileo Uydu Sistemi'nde jeodezik datum olarak ITRF xx datumu, referans zamanı olarak ise UTC planlanmıştır.

Galileo Uydu Sistemi'nin tamamlanıp hayata geçmesinin ardından kara taşımacılığı, hızlı tren, deniz taşımacılığı, hava yolları, otoyollar, liman işletmeciliği, kurtarma hizmetleri, petrol arama, bankacılık gibi birçok amaç için fayda sağlayacaktır.

2.2 GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System)

Pek çok yönü ile GPS sistemine benzemekte olan ve GPS ile yaklaşık eş zamanlı olarak o zamanki adıyla SSCB'nin Sovyet Savunma Bakanlığı tarafınca 1970 li yılların başında ABD GPS sistemine karşılık olarak üretilen GLONASS sistemi, 1993 yılında resmi olarak ilan edilmiştir.

Mali imkânsızlıklar yüzünden GPS kadar sağlıklı işletilemese de GLONASS sistemi 2010 yılından itibaren tüm dünyada konum belirleme cihazlarında kullanılabilir hale gelmiştir.

GLONASS sistemi uzay, kontrol ve kullanıcı bölümleri olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Uzay bölümü GLONASS uydularından oluşmaktadır. Rusya GLONASS'ın modernizasyonu için iki aşamalı bir plan hazırlamıştır.

2003-2006 yılları arasındaki GLONASS-M planında; ilk uydu 2003 yılında fırlatılmış ve uyduların ömürlerinin 7 yıldan daha fazla olması planlanmıştır. Ağırlıkları 1415 kg. olan 11 adet PROTON uydusu fırlatılmış, L1 ve L2 üzerinde iki sivil ve iki özel sinyal bulunmaktadır (Polischuk vd., 2002).

GLONASS-K planı 2005-2011 yılları arası için yapılmış; ilk uydu 2005 yılında fırlatılmış, uydu ömürleri 10-12 yıl olması hedeflenmiştir.

GLONASS sisteminde, 21 asıl 3 yedek olmak üzere toplam 24 adet uydu bulunmaktadır. Uydu yörünge elipslerinin büyük yarı eksenini yaklaşık 25510 km olup bir uydunun dolanım süresi 11 saat 16 dakikadır. GLONASS sisteminde iki frekans bandında yayın yapılmaktadır. Bu frekans bantları L1 (2005 yılının sonuna kadar 1602–1609.31 MHz, 2005 yılından itibaren 1598.06–1605.38 MHz) ve L2 (7/9 L1) frekanslarıdır.

P kod L1 ve L2 frekansları, C/A kod ise sadece L1 frekansı üzerinden yayınlanmaktadır. GLONASS navigasyon mesajının yayınlanması 2.5 dakika sürmekte, efemeris ve saat bilgileri 30 saniyede bir tekrar edilmektedir. P kod ise 12 dakikada yayınlanmakta olup, efemeris ve saat bilgileri 10 saniyede bir tekrar edilmektedir.

Sistemin kontrol merkezi olan Kontrol bölümü, Rusya'ya dağılmış izleme istasyonlarından oluşmaktadır. Bu istasyonların amacı, uyduların verimli bir şekilde çalışmasının sağlanması, uydulardan toplanan veriler ile uydu yörüngelerini hesaplanması ve uydu saat düzeltmelerinin hesaplanmasıdır.

GLONASS Dünya'nın her yerinden en az 5 uyduya gözlem yapma olanağı veren uygun bir geometriye sahiptir. 50° N enleminden daha kuzeyde bulunan noktalar için GLONASS uyduları GPS uydularından daha iyi bir gözlenebilirlik sağlar (Işık, 1997).

Kullanıcı bölümü; GNSS alıcılarının, karada, denizde ve havada konum ve elde etmek istenilen sonuçlarına göre elinde GNSS alıcısı olan herkes kullanıcı bölümüne oluşturmaktadır.

2.3 GPS (Global Positioning System)

2.3.1 GPS hakkında genel bilgiler

ABD Savunma Dairesi (DoD) tarafından 1973 yılında başlatılan Navigation Satellites Timing And Ranging Positioning System (NAVSTAR) GPS sistemi, uydu sinyallerini kullanarak Dünya'nın her yerinde her türlü hava şartlarında WGS84 sistemi içinde anında ve yüksek doğrulukla konum, hız ve zaman belirlemeye

yarayan bir navigasyon sistemidir. Kısa zamanda daha hassas sonuçların elde edilmesi için, önceki sistemlere ek olarak bazı yenilikler eklenmiştir. Bu yenilikler; uydu saatlerinin güvenilirliği 10^{15} saniye mertebesine yükseltilmesi, uyduların dünya üzerinden daha geniş bir açı ile izlenebilmesi için 20200 km'ye yerleştirilmesi ve böylece dünyanın çekim etkisinin de azaltılması, Dopplerde kullanılan 400 MHz'lik taşıyıcı frekans 1547.42 MHz'e yükseltilmesi ile daha geniş bant sinyal modülasyonu sağlanmasıdır (Eren ve Uzel, 1995).

GPS sistemi, öncelikle yeryüzündeki bir noktanın WGS84 sistemindeki, enlem, boylam ve yükseklik değerlerini belirlemek amacıyla geliştirilmiştir (Gökalp, 1994). Sistem genel anlamda, uzunlukları kullanarak uzaydan geriden kestirme probleminin çözümünden ibarettir. Bu sistemin kolaylığı, klasik yersel ölçüm sistemlerine göre, noktalar arası mesafenin etkisi yok sayılacak kadar azdır. Noktaların birbirini görme zorunlulukları yoktur.

2.3.2 GPS'te kullanılan ölçüler

GPS'te, Kod ölçülerinden ham uzunluk (pseudorange), Bütünleşik Doppler sayılarından pseudorange farkları, Taşıyıcı faz ya da taşıyıcı faz farkları ve interferometrik ölçülerden sinyal hareket süresindeki farkları olarak 4 Temel ölçü tanımlanabilir (Seeber 1993, Salgın, 2007).

Pseudorange farkları ile interferometrik ölçülerden sinyal hareket süresindeki farkları ölçümleri uygulamalı jeodezide nadiren kullanılmaktadır. Çünkü Bütünleşik Doppler sayısı gözlemi uydu konfigürasyonunun yeterli miktarda değişimine olanak sağlamak amacıyla birkaç saat gibi oldukça uzun bir gözlem süresini ve kullanıcı bölümünde sabit oskülatörler gerektirmesi ile bununla birlikte bu yöntemin tamamen belirsizliklerin tespit edilmesinde kullanılmasıdır. Gerçek interferometrik tekniğinin ise teferruatlı aletsel donanım ve yüksek kalitede veri değerlendirme için masraf gerektirmesidir (Seeber 1993, Salgın, 2007). Dolayısıyla diğer iki tür gözlem yani kod ve taşıyıcı faz gözlemleri GPS uygulamalarında temel ölçü olarak kabul edilmektedir (Salgın, 2007).

2.3.2.1 Kod ölçüleri

Uydu ile yeryüzünde alet kurulan herhangi bir nokta arasındaki mesafenin ölçülebilmesinin amaçlandığı Kod Ölçümünde, bu mesafenin belirlenebilmesi için,

uydudan gönderilen kod fazı ile bu kodun kopyası niteliğinde alıcı içinde oluşturulan kodun fazı korelasyon tekniği ile karşılaştırılarak, sinyalin uydu ve alıcı arasındaki ulaşım süresinin belirlenmesi gerekmektedir. Ulaşım süresi ile ışığın boşluktaki yayılma hızı çarpılarak mesafe hesaplanmaktadır. Uydu ve alıcı saatlerinin birbirine uyumlu olarak çalışmaması nedeniyle oluşan saat senkronizasyon hatası ve sinyal yayılması sırasında iyonosfer ve troposfer gecikmelerini içerdiğinden kod ölçülerinden bulunan uzunluğa ham uzunluk (pseudorange) denmektedir. İyonosfer ve troposfer tabakalarının neden olduğu gecikmeler matematik modellerle çözülebilmektedir. Pseudorange ölçüleri P kodu veya C/A kodundan türetilmektedir (Yıldırım, 2002).

Herhangi bir ham uzunluk (pseudorange) için temel gözlem eşitliği şöyledir (Seeber, 1993, Salgın, 2007).

$$\begin{aligned} PR_i &= |\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_B| + cdt_u = c\tau_i \\ &= ((X_i - X_B)^2 + (Y_i - Y_B)^2 + (Z_i - Z_B)^2)^{1/2} + cdt_u \end{aligned} \quad (2.1)$$

Şekil 2.1 'de;

R_i : Uydu anteni S_i ile alıcı anteni B arasındaki geometrik mesafe

$\mathbf{X}_i$: X_i, Y_i, Z_i bileşenleri ile jeosentrik CTS sisteminde uydu konum vektörü

$\mathbf{X}_B$: X_B, Y_B, Z_B bileşenleri ile CTS sisteminde alıcı anteni B'nin konum vektörü.

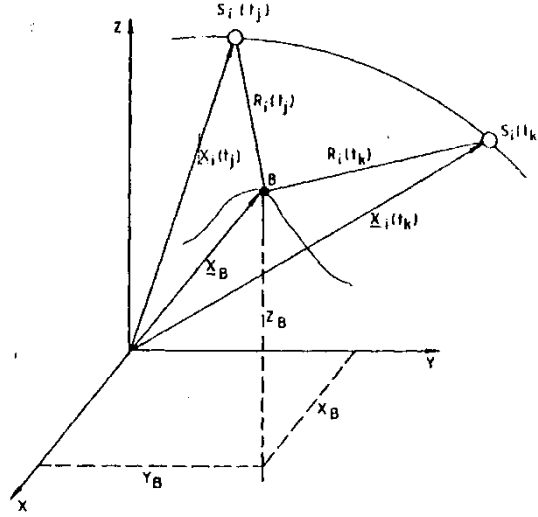
τ_i : Uydu anteni S_i ve gözlem yapan B anteni arasında belirlenen sinyal hareket süresi.

dt_u : GPS sistem zamanı ve alıcı saati arasındaki saat senkronizasyon hatası.

CTS : Conventional Terrestrial System

c : Sinyal yayılma hızı'dır.

Herhangi bir noktaya kurulan alıcı koordinatlarının tespit edilebilmesi için, X, Y ve Z yönünde olmak üzere 3 adet koordinat bilinmeyişi ve bir de saat hatası için toplam 4 bilinmeyeninin çözülmesi gerekmektedir. Şekil 2.2'de görüleceği gibi aynı anda en az 4 adet uyduya gözlem yapılarak uydu alıcı mesafelerinin saptanmasıyla 4 adet denklemden söz konusu bilinmeyenler çözülebilmektedir.



Şekil 2.1: Uydu ile konum belirlemede geometrik ilişkiler (Seeber, 1993).

2.3.2.2 Taşıyıcı faz ölçüleri

Taşıyıcı faz ölçmelerinde, uydudan gönderilen ve alıcıda kaydedilen taşıyıcı (carrier) sinyal ile alıcı içinde üretilen sinyalin fazlarının karşılaştırılması yapılmaktadır.

Uygun gözlem, ölçülen faz farkıdır (Seeber 1993, Salgın, 2007).

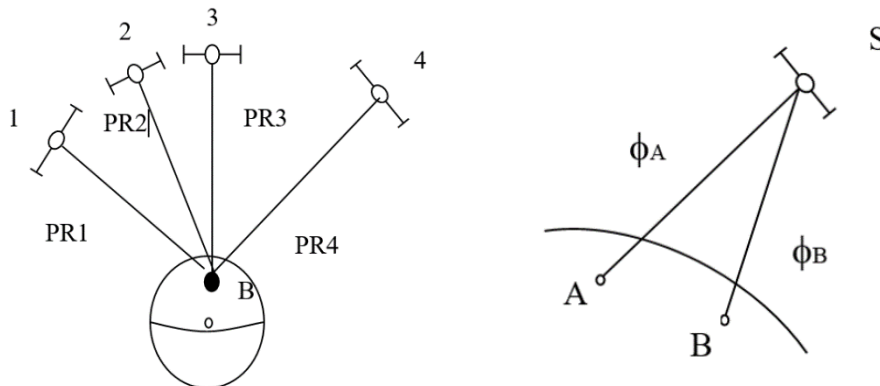
$$\Phi_B = \Phi_{CR} - \Phi_0 \quad (2.2)$$

olmak üzere taşıyıcı faz ölçümünün temel denklemi;

$$\Phi_{Bi} = \frac{2\pi}{\lambda} (|X_i - X_B| - N_{Bi}\lambda + cdt_u) \quad (2.3)$$

Burada,

λ : Taşıyıcı dalga boyu uzunluğu, N_{Bi} : R_i uzunluğu boyunca taşıyıcının tam devir sayısı ve dt_u : Saat senkronize hatasıdır.



Şekil 2.2: Kod ve taşıyıcı faz ölçüleri (Salgın, 2007).

Tam devir sayısının belirsizliği N_{Bi} 'nin saptanabilmesi bu metodun zorluğudur. Çünkü gözlem yalnızca bir dalga boyu dâhilindeki fazı belirlemektedir. A ve B gibi iki istasyonda gözlenen aynı uydu sinyaline ait faz farkı, temel ölçü olarak düşünülür. Tekli faz farkı gözlem eşitliği şöyle verilir (Seeber, 1993).

$$\Delta\Phi_{ABi} = \Phi_{Bi} - \Phi_{Ai} = \frac{2\pi}{\lambda} (|X_i - X_B| - |X_i - X_A|) - \lambda(N_{Bi} - N_{Ai}) + c(dt_{uB} - dt_{uA}) \quad (2.4)$$

Denklemlerde geçen, sinyalin uydu ve alıcı arasında tam dalga boyu sayısındaki belirsizlik olarak ifade edilen N bilinmeyen her uydu için ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Yüksek duyarlılıkta verilere ihtiyaç duyan jeodezik uygulamalarda, köprü, baraj gibi mühendislik hizmetleri ve projelerinde daha hassas olmasından dolayı taşıyıcı faz ölçüleri kullanılmaktadır.

2.3.3 GPS ölçülerini etkileyen hata kaynakları

GPS, benzer ve aynı sistemleri de göz önüne alacak olursak; günümüze kadar geliştirilmiş en yüksek doğruluklu ve konum belirleme sistemi olarak düşünülebilir. Ancak GPS sisteminin de hassasiyetini etkileyen düzenli ve düzensiz hataları barındırmaktadır. Ayrıca, PPP ve VRS tekniklerini etkileyen hata kaynakları bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak verilecektir.

2.3.3.1 Uydu hataları

Uydu efemeris ve uydu saati hataları olmak üzere uydu hatalarını iki kısımda ele alabiliriz.

Modellendirilmesi zor olan efemeris hatası, GPS navigasyon dosyası içerisinde yayınlanan uydu konum bilgilerinin doğruluğunun düşük olduğu durumlarda karşılaşılan bir hatadır. Efemeris hatasının etkisi kısa mesafeler için az olmasına karşın, baz uzunluklarının arttığı ve yüksek doğruluk gerektiren jeodezik çalışmalarda önemli etkilerde bulunmaktadır (Salgın, 2007).

GPS ile konum belirleme yönteminin temelini zaman ölçümü oluşturmaktadır. Uydu saati hatası kontrol bölümü tarafından sürekli izlenerek, yayın efemerisi saat düzeltmeleri günlük olarak navigasyon mesajının bir bölümü olarak yüklenmektedir. Uydu saat hataları çok duyarlı atomik saatler kullanılarak ya da farklı gözlemler oluşturularak giderilebilmektedir.

2.3.3.2 Atmosfer etkisi

GPS uyduları bilgilerini radyo sinyalleri olarak yayınlarlar. Bu da ayrı bir hata kaynağıdır. Çünkü dünya atmosferinde, radyo sinyalleri her zaman tahmin edildiği gibi hareket etmezler. Radyo sinyallerinin atmosfer içinde ışık hızında hareket ettiği ve bu hızın sabit olduğu kabul görse de, ışık hızı sadece vakum ortamında sabittir. Radyo sinyalleri, içinde bulundukları ortama göre yavaşlama gösterirler.

GPS sinyalleri iyonosfer’ de yüklü parçacıklar ve troposfer de su buharı tarafından geciktirilir. Tüm hesaplamalarda ışık hızı sabit kabul edildiğinden bu gecikmeler uydunun uzaklığını ölçmede hatalara yol açar.

Bazı alıcılar uydu frekanslarının atmosfer içindeki yolculuklarında oluşabilecek hataları yok etmek için bir düzeltme faktörü kullanırlar. Fakat atmosfer farklı yerlerde ve zamanlarda değişiklik göstereceği için teorik bir hata modeli oluşturulmasına imkân sağlamaz.

2.3.3.3 Sinyal yansıma (multipath) etkisi

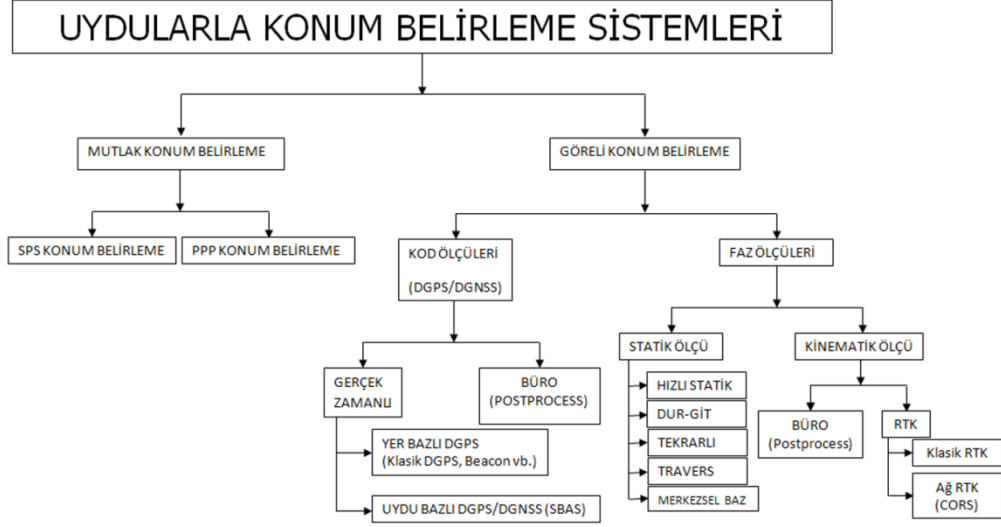
Yer yüzene ulaşan sinyaller, GNSS alıcısına ulaşmadan önce katı cisimler tarafından yansıtılır veya engellenir. Bu duruma sinyal yansıması etkisi ya da sinyal yansıma hatası denir. Antene gelen ilk sinyal, direkt GNSS alıcıya gelirse daha hızlı zamanda ulaşmış olur, sonradan yansıyarak gelen sinyal diğerinden daha geç ulaşır. Bunun sonucunda sinyaller birbirleriyle karışarak gürültülü sonuç oluşmasına neden olurlar.

2.3.3.4 Seçici kullanılabilirlik (Selective Availability-SA)

Askeri güvenlik gerekçesiyle uyduların yüksek hassasiyetli verilerinin, izin verilen kişi ve kurumlar hariç, kısıtlamalar getirilmesi amaçlı bir faaliyettir. Bu faaliyet 25 Mart 1990 ile 1 Mayıs 2000 tarihleri arasında sürdürülmüştür.

3. GNSS İLE KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ

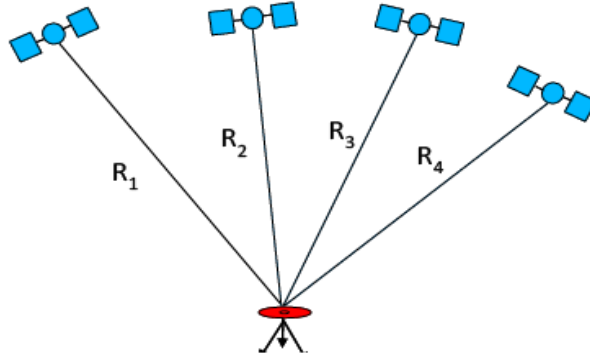
GNSS’de mutlak ve bağıl olmak üzere iki türlü konum belirleme yöntemi mevcuttur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: GNSS ile konum belirleme yöntemleri (Kahveci, 2014).

3.1 Mutlak Konum Belirleme Yöntemi

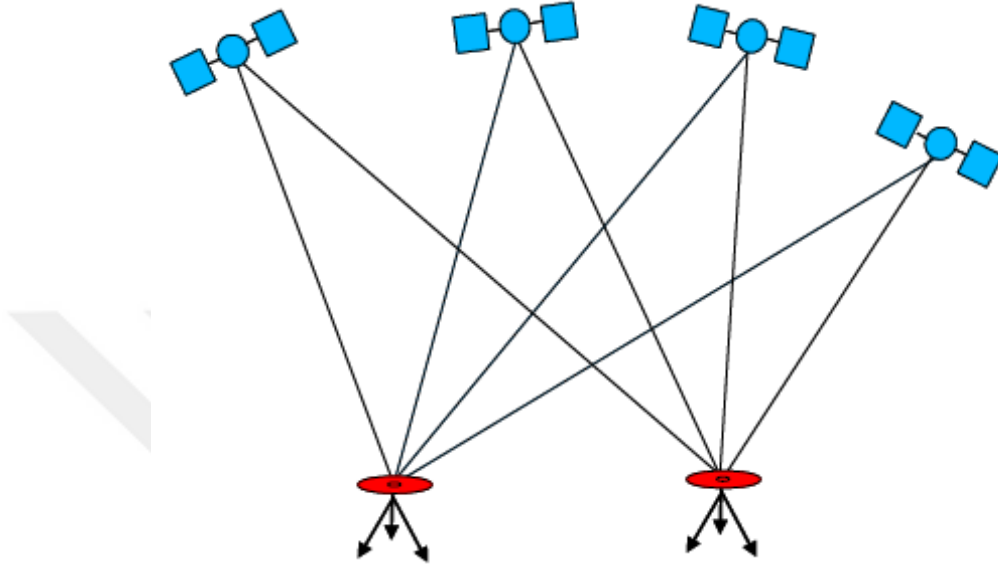
Tek bir GNSS alıcısı ile en az dört uydudan kod ölçüleri yapılarak alıcının bulunduğu yerin konumunun belirlenmesi Mutlak konum belirleme yöntemidir (Şekil 3.2). Sinyalin uydu çıkışından alıcıya ulaşmaya kadar geçen zaman ile ışık hızı çarpılarak hesaplanan bir geriden kestirme yöntemidir.



Şekil 3.2: Mutlak konum belirleme.

3.2 Bağıl Konum Belirleme Yöntemi

Diğer bir konum belirleme yöntemi olan bağıl konum belirleme de ise yeni nokta konumu, konumu bilinen bir başka noktaya göre bağıl olarak belirlenir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Bağıl konum belirleme.

Bağıl konum belirleme yönteminde iki GNSS alıcısı ile aynı uydulara eş zamanlı olarak kod veya faz ölçüleri gerçekleştirilir. Kod ölçüleri Diferansiyel GNSS (DGNSS) ölçme yöntemi ile yaygın olarak navigasyon amaçlı uygulamalarda kullanılmaktadır. Jeodezik amaçlı uygulamalarda faz ölçüleri kullanılmakta olup, ölçü süresi, uydu geometrisi ve efemeris bilgisine göre mm duyarlılıkla konum belirlemek mümkün olmaktadır.

3.2.1 Bir kez fark alınmış (Single Difference) gözlem denklemleri

Bir kez fark alınmış gözlem denklemlerini oluşturabilmek için, iki farklı alıcı noktasından aynı uyduya yapılan eş zamanlı gözlemler kullanılmaktadır (Salgın, 2007).

3.2.2 İki kez fark alınmış (Double Difference) gözlem denklemleri

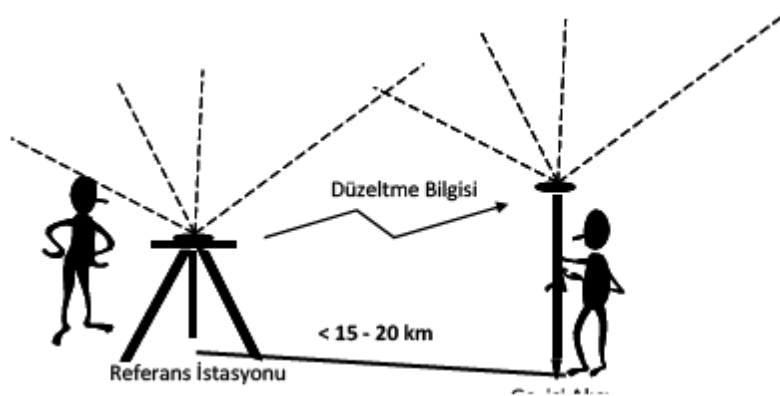
İki tekli farkın farkı olarak tanımlayabileyeceğimiz İkili farklarda, iki kez fark alınmış gözlem denklemlerini oluşturabilmek için, iki farklı alıcı noktasından iki uyduya yapılan eş zamanlı gözlemler kullanılmaktadır.

3.2.3 Üç kez fark alınmış (Triple Difference) gözlem denklemleri

Bir kez fark alma ile iki kez fark alma işlemlerinde, sadece bir epokta ele alınmaktadır. Üçlü fark kısaca, iki farklı epokta oluşturulan iki ikili fark arasındaki fark olarak tanımlanabilir. Üçlü kez fark alınmış gözlem denklemlerinin oluşturulmasındaki temel amaç taşıyıcı dalga faz başlangıcı belirsizliğinin (Ambiguity) giderilmesidir (Salgın, 2007).

3.2.4 Real Time Kinematik (RTK) konum belirleme yöntemi

GNSS ile gerçek zamanlı olarak konum belirlemede, kod ölçülerinin kullanıldığı GNSS ve faz ölçülerinin kullanıldığı hassas DGNSS yöntemi olarak da ifade edilen PDGNSS yöntemi veya yaygın ifadesi ile RTK yöntemi kullanılmaktadır. GNSS de en önemli hata kaynakları arasında yer alan atmosferik hataların modellenmesindeki gelişmelere ve teknolojiye paralel olarak RTK uygulamalarında günümüzde birkaç cm doğruluk ile konum belirlemek mümkün hale gelmiştir. RTK ölçü yöntemi, konumu bilinen bir noktada bulunan referans istasyonu ile yeni noktaların konumunu belirleyecek olan gezici alıcıdan oluşur. RTK yönteminde gezici alıcılar tarafından gerçekleştirilen faz ölçüleri ile referans istasyonlarından gönderilen düzeltme bilgileri ile gezici alıcının konumu anında arazide belirlenir (Şekil 3.4). RTK ölçme yönteminin doğruluğu referans istasyonu ile gezici alıcı arasındaki mesafeye bağlıdır. Bu mesafenin 15-20 kmyi geçmemesi istenir (Gülal, 2010).



Şekil 3.4: Klasik RTK ölçme yöntemi.

3.3 Hassas Nokta Konum Belirleme (PPP) Yöntemi

İyonosferden bağımsız kombinasyonlar ve hassas efemeris ve saat bilgisinin kullanılarak geliştirilecek kod-faz tabanlı bir çözümün DGPS ile elde edilen çözüme yakın sonuçlar vereceği Konum Belirleme Teknikleri üzerine yapılan araştırmalar sonucunda ortaya konulmuştur. Bu yöndeki çalışmalar neticesinde, nokta konumlamada en yüksek doğruluğu elde etmek için hem kod hem de faz ölçülerinin birlikte kullanılması gerektiği ortaya çıkmış; ancak bu durumda modellenemeyen hataların; troposferik gecikme, uydu-pozisyon hatası, karasal gelgit (earth tide) gibi hata kaynaklarının giderilmesi gerektiği görülmüş ve böylece PPP ile konum belirleme tekniği ortaya çıkmıştır (Heroux vd., 2001).

GNSS'deki mevcut hata kaynaklarına ek olarak PPP tekniği ile ortaya çıkan ve çözüm getirilen başlıca hatalar ileride belirtilecektir. Çift frekanslı tek bir GNSS alıcısı ve IGS (International GPS Service) servisinin sunduğu hassas saat, yörünge ürünleri kullanılmaktadır. Elde edilen doğruluk ve uygulama kolaylığı gibi etkenler Hassas Nokta Konumlama Tekniğini popüler hale getirmektedir (Gül, 2005).

3.3.1 Genel gözlem modeli

PPP ile konum belirleme tekniğinde, hem kod hem de faz ölçülerini kullanmaktadır. Genel gözlem modeli, Jet Propulsion Laboratory (JPL) ve National Resource Canada (NRCan)'de dahil olmak üzere birçok araştırma kuruluşları tarafından PPP yazılımlarında uygulanmıştır. Değişik çalışmalarda statik modda faz ve kod gözlem eşitlikleri kullanılarak, cm'nin altında konum duyarlılığı elde edilebileceği ortaya konulmuştur. Bu modelin en büyük dezavantajı taşıyıcı dalga başlangıç belirsizliği, iyonosferden bağımsız kombinasyonlar kullanıldığı için tamsayı olmamasıdır. Bu nedenle tek bir bilinmeyen olarak tahmin edilebilir. Sonuç olarak bu modelin, yüksek dereceli iyonosferik etkileri elimine edemediği anlaşılmaktadır. PPP genel modelinde birçok hata elimine edilmiş olmasına rağmen, hala cm seviyesine varan GNSS hataları mevcuttur.

3.3.2 P1-P2-CP modeli

Calgary Üniversitesi'nde geliştirilen P1-P2-CP modeli PPP yöntemi ile konumlama tekniği için kullanılan diğer bir modeldir. İyonosfer aynı frekanstaki faz ve kod gözlemlerine aynı oranda fakat ters etki yapmaktadır. Bu nedenle iyonosferin,

bağımsız kombinasyonda faz ve kod gözlemlerine toplam etkisi sıfır olmaktadır. P1-P2-CP gözlem modeli, iyonosferden bağımsız faz kombinasyonu ve L1, L2 taşıyıcı dalgalarının faz-kod kombinasyonlarından oluşmaktadır (Gül, 2005).

3.3.3 Hassas nokta konumlama düzeltme modelleri

GNSS' in doğasında var olan hata kaynaklarına ek olarak Hassas Nokta Konumlama Tekniğinde bazı hata kaynaklarının düzeltilmesi en önemli sorunlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Çizelge 3.1'de PPP ve diferansiyel GNSS konumlama teknikleri için uygulanması ya da hesaplanması gereken bias'lar ve hatalar listelenmiştir.

Çizelge 3.1: PPP ve diferansiyel GNSS konumlama teknikleri için uygulanması ya da hesaplanması gereken bias'lar ve hatalar (Öcalan ve Soycan, 2012).

Düzeltilme Türü	PPP	Diferansiyel GNSS
Uydu Kaynaklı Hatalar		
Hassas uydu saat düzeltmeleri	✓	×
Uydu anteni faz merkezi offset değerleri	✓	✓
Uydu anteni faz merkezi kayıklıkları	✓	✓
Hassas uydu yörüngeleri	✓	✓/ ×
Diferansiyel grup gecikmeleri (groupdelay)	✓ (L1 için)	×
Rölativite (görelilik) koşulu (relativityterm)	✓	×
Uydu anteni faz dönmesi (wind-up) hatası	✓	×
Alıcı Kaynaklı Hatalar		
Alıcı anteni faz merkezi offset değerleri	✓	✓
Alıcı anteni faz merkezi kayıklıkları	✓	✓
Alıcı anteni faz dönmesi (wind-up)	✓	×
Jeofiziksel Modeller		
Katı yeryüzü gelgiti (Solid Earth Tide)	✓	×
Okyanus yükleme (Ocean Loading)	✓	×
Kutup gelgiti (Polar Tides)	✓	×
Plaka tektonik hareketleri (Platetectonic motion)	✓	×
Atmosferik Modeller		
Troposferik gecikme	✓	✓
İyonosferik gecikme	✓ (L1 için)	×

Hassas NoktaKonumlama Tekniğinin bu ek hata kaynakları;

- Uydu Anten Faz Merkezi Hatası (Satelite Antenna Ofset)
- Phase Wind-Up Düzeltmesi
- Karasal Gelgit (Solid Earth Tide)
- Okyanusal Yükleme (Ocean Loading)
- Yer Dönme Parametreleri (Earth Rotation Parameters)

- Relativistik Etkiler (Relativistic Effects)

olarak ifade edilmektedir.

3.3.3.1 Uydu anten faz merkezi hatası

Uydu kaynaklı düzeltmeler GPS uydu ağırlık merkezi ve anten faz merkezi arasındaki farktan kaynaklanmaktadır. Uydu yörüngelerini modellemek için kullanılan kuvvet modelleri, uydu ağırlık merkezini baz alır. GNSS navigasyon mesajında yer alan ve uydu anten faz merkezini ifade eden yörünge bilgilerinin aksine IGS'in hassas uydu koordinatları ve saat ürünleri, uydu ağırlık merkezini dikkate almaktadır.

GNSS ile yapılan ölçüler anten faz merkezine yapıldığından uydu faz merkezi kayıklığı çok iyi bilinmelidir. Faz merkezi kayıklığı iki yönlüdür. Birçok uydu için, Z eksen yönünde ve dünyaya doğru ve X eksen yönünde ve güneşi içinde bulunduran düzlem üzerindedir (Gül, 2005).

3.3.3.2 Phase Wind-up düzeltmesi

Bu hata, hem anten ve hem de uydu konumu ile direk ilişkilidir. GNSS sinyalleri elektromanyetik dalgalar. İdeal olarak alıcıda ölçülen taşıyıcı faz açısı anlık elektrik alanı ve referans yönü arasındaki geometrik açıya eşittir. Anten konumundaki meydana gelecek bir değişiklik, referans yönünü dolayısıyla ölçülen fazı bozacaktır.

Genellikle, alıcı anteninde bir konum değişikliği meydana gelmez; bununla birlikte uydular ufak çapta dönme hareketleri yaparlar. Bu nedenle uydu-alıcı geometrisinde değişimler olur. Uydular, güneş panellerini (solar panels) güneşe döndürmek için hareket ederler. Bu sebeple faz ölçüsünün düzeltilmesi gerekmektedir (Gül, 2005).

3.3.3.3 Karasal gel-git hatası (Solid Earth Tide)

Katı dünya (Solid Earth) okyanusal gel-gitleri oluşturan gravitasyonel kuvvetlere aynı oranda karşılık vermesi sebebiyle, düşey ile yatay yönde periyodik yer değiştirmeler söz konusudur. Bu hatanın dikkate alınmaması yatayda 5 cm düşeyde 12.5 cm hataya neden olur. Dolayısıyla hassas doğruluk arandığında Uluslararası Yer Dönme Servisi (International Earth Rotation Service-IRS) tarafından yayınlanan verilere göre çözüm yapılmalıdır (Kouba ve Heroux, 2000).

3.3.3.4 Okyanus yüklemesi

Okyanus yüklemesi deniz tabanında ve ona bitişik olan karada okyanus gel-gitleri nedeniyle oluşan harekete karşılık oluşan deformasyondur (Witchayangkoon, 2000). Yer değiştirme hataları (Site displacement) içerisinde yer alır. IERS modeline göre hesaplanan okyanussal düzeltme katsayıları dünyanın gravite merkezine ilişkin deformasyonu içermesine rağmen koordinat sistemindeki ağırlık merkezi değişimini içermemektedir (Gül, 2005).

3.3.3.5 Yer dönme parametreleri (Earth Rotation Parameters)

Inersiyal ve Global (ITRF) koordinat sistemleri arasındaki dönüşüm GPS analizlerinde oldukça önemlidir. Yer dönme parametreleri;

- x_p, y_p : Kutup noktası konum bileşenleri,
- UT1-UTC : Yerel yıldız zamanıdır.

Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service) ve Uluslararası Yersel Referans Ağı (International Terrestrial Reference Frame–ITRF) yörünge ürünleri ile birbiri ile uyum gösterdiğinden, IGS’in yörünge ürünlerini bilinen ya da sabit (fix) olarak çözüm yapıldığında bu etki dikkate alınmaktadır; ancak PPP yöntemi ile konum belirlemede cm altında duyarlılık elde edilmesi için günlük değişimlerin altındaki değişimlerin (sub-daily) dikkate alınması gerekmektedir (Kouba, 2003).

3.3.3.6 Relativistik etkiler (Relativistic Effects)

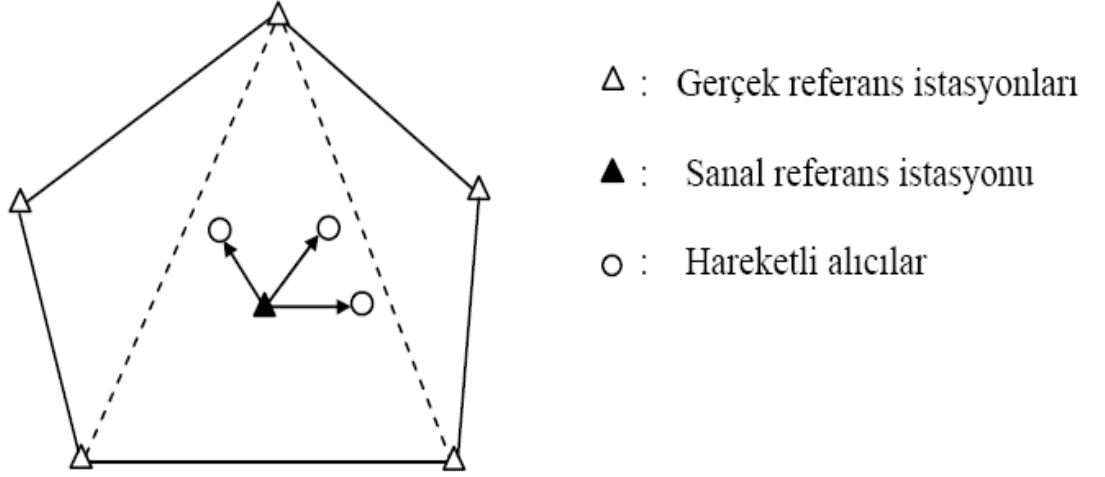
PPP yöntemi ile konum belirlemede dikkat edilmesi gereken etkilerden birisi de relativistik etkidir. GNSS yörünge eksentrisitesinden kaynaklanan bu etki periyodik olup düzeltme yapılmalıdır. Bu hata bir saat düzeltmesidir. Uydudan uyduya, ölçü epogundan ölçü epoguna değişim göstermektedir (Witchayangkoon, 2000).

3.4 Sanal Referans İstasyonu Sistemi (VRS)

Sanal referans istasyonu sistemi birçok istasyondan elde edilen faz ve kod gözlemlerini kullanarak elde edilen sanal referans istasyonu gözlemleri ile hareketli alıcının konumunu belirleme işlemidir.

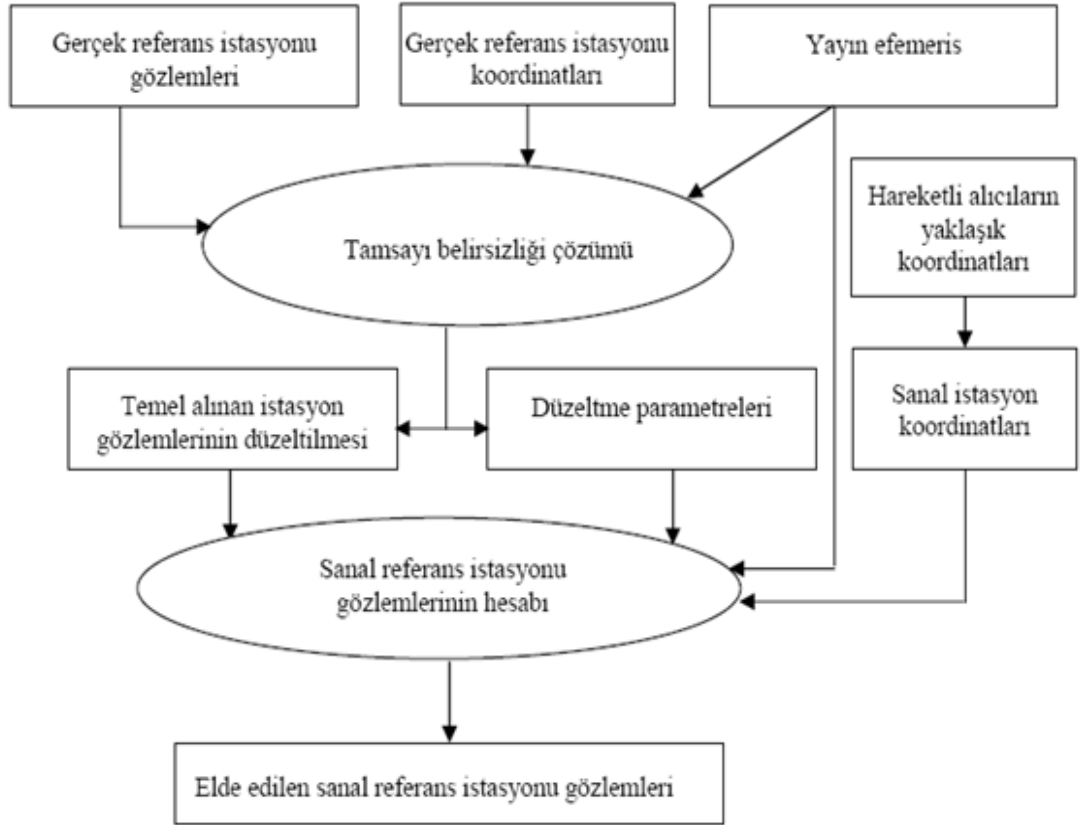
Hareketli alıcının konumu yaklaşık olarak bilinmelidir. Alıcının yaklaşık konumunu belirlemek için kod ölçüleri yeterli duyarlılığı sağlamaktadır. Sanal referans

istasyonunun hareketli alıcının yaklaşık konumunda ya da hareketli alıcının yakınında olduğu kabul edilir. VRS'de istasyonlar arasındaki mesafe 50-100 km arasında değişiklik göstermektedir (Arslan vd., 2005).



Şekil 3.5: Bölgesel ağlarda sanal referans istasyonları (Arslan vd., 2002).

Bu istasyonlar aynı zamanda hata modellerini (troposfer, iyonosfer) oluşturmak için kullanılmaktadır. Sanal referans istasyonu gözlemlerini elde edilmesi Şekil3.6'da özetlenmektedir (Wanninger, 1999).



Şekil 3.6: Bölgesel GNSS ağlarında VRS taşıyıcı faz gözlemlerinin hesabı.

VRS RTK GNSS'in bir uzantısı olarak düşünülebilir. Ancak, VRS'nin RTK GNSS'e göre aşağıda belirtilen üstünlükleri bulunmaktadır;

- Referans istasyonu üzerine alıcı koymaya gerek yoktur.
- Cep telefonu teknolojisinin kullanılmasıyla radyo dalgası iletişiminden dolayı meydana gelen iletişim eksikliği giderilmiştir.
- Çok referans istasyonu olması nedeniyle redündan artacağından, hareketli alıcının güvenilir konumlanması sağlanmış olur.

3.4.1 VRS'nin gözlem denklemleri

Orjinal kod ve faz ölçülerine yapay kod ve faz gözlemleri eklenerek Sanal referans istasyonu denklemleri oluşturulur. Çeşitli işlem adımları sonucunda sanal referans istasyonu için kod ve faz ölçüleri elde edilir.

Sanal referans istasyonu için ilk gözlem denklemi bir uydu için,

$$\check{p}_{ii}^j = \rho_{0l}^j + \Delta\rho_{0l,ion}^j + \Delta\rho_{0l,trop}^j - c\Delta t_l^j + c\Delta t_{il} + \varepsilon_{cod,il}^j \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.1)$$

şeklindedir. Burada; i , alıcı; j , uydu; l , epok; ρ_{il}^j , uydu ve alıcı arasındaki mesafe; c , ışığın hızı; Δt_l^j , uydu saat hatası; Δt_{il} , alıcı saat hatası; $\Delta \rho_{0l,trop}^j$, nötr atmosferden dolayı sinyal gecikmesi; $\Delta \rho_{0l,trop}^j$, iyonosferden dolayı sinyal gecikmesi; $\varepsilon_{cod,il}^j$ kod gözlemlerinin hatasıdır (Arslan vd., 2002).

3.4.2 VRS'de modellenmesi gereken hata kaynakları

3.4.2.1 Troposferik etki

Troposferin etkisi özellikle yükseklik farklarının çok olduğu dağlık bölgelerde görülür ve önemli bir hata kaynağıdır. Düzeltmelerin oldukça önemli olduğu VRS gibi sistemlerde troposferik etkinin de doğru bir biçimde ele alınması gerekmektedir. İyonosferde kullanılan enterpolasyon yöntemine benzer bir biçimde, ağ çözümünden elde edilen troposfer parametreleri kullanılarak sanal referans istasyonundaki troposfer gecikmesi modellenir. Diğer bir deyişle troposferik etkiler enterpole edilir (Arslan vd., 2002).

3.4.2.2 Yörünge hatası etkisi

Uygulama açısından IGS tarafından hesaplanarak yayınlanan uyduların yayın (broadcast) efemerisi, VRS RTK ölçmelerinde istenilen sonuçların elde edilmesini sağlar. Bunun yerine IGS tarafından hesaplanarak yayınlanan hassas yörünge efemerislerinin kullanılması baz çözümlerinin kalitesini 1.5-2 kat daha arttırmaktadır. Uzun bazlarda kısa zaman aralıklarındaki çözümlerde yörüngelerin hassas bir biçimde elde edilmesi gereklidir (Beutler, 2000).

3.4.2.3 İyonosferik etki

İyonosfer tabakası GNSS ölçülerinde önemli hatalara neden olur. İki nokta arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte iyonosferik etki tamsayı belirsizliği çözümünü güçleştirmektedir. Sanal referans istasyonu kavramı içinde de iyonosferik etki oldukça önemlidir. Bu etkinin doğru bir biçimde belirlenmesi gerekmektedir. İyonosferdeki elektron yoğunluğu değişimleri nedeniyle iyonosfer tabakasından dolayı meydana gelen hatalar düzenli ya da düzensiz bir biçimde oluşurlar. Özellikle ülkemizin de içinde bulunduğu orta enlem bölgelerinde belirleyici etkenler;

- Düşey elektron yoğunluğu,

- Orta ölçekli sinyal yolu iyonosfer düzensizliği (MSTID),
- Küçük ölçekli sinyal yolu iyonosfer düzensizliği (Scintillation)

biçimindedir. Orta ölçekli sinyal yolu iyonosfer düzensizliği olduğunda, çift frekans verilerinin kullanılması durumunda 10 km'den daha küçük bazlarda bile tamsayı belirsizliği çözümü güç ve karışık olmaktadır. MSTID oldukça geniş bir alanı kapsamaktadır. Bu nedenle uydu-uydu iyonosferik düzeltme yapılsa bile MSTID kalıntı hataların kalmasına neden olmaktadır.

Güneş aktivitesinin artmasıyla birlikte küçük ve orta ölçekli iyonosferik toplam elektron yoğunluğu (Total Electron Content-TEC) daha yoğun olmaktadır. Orta enlemlerde küçük ölçekli iyonosfer sinyal yolu iyonosfer düzensizliği bazen etkili olmaktadır. Fakat orta ölçekli sinyal yolu iyonosfer düzensizliği çok sık olmaktadır. Bu nedenle 50 km'ye kadar olan istasyonlar arasında MSTID'nin doğru bir biçimde modellenmesi gerekmektedir (Wanninger, 1999). İyonosferi etkileyen başka bir etkende jeomanyetik alanın davranışdır. Jeomanyetik etki TEC'in artmasına neden olur (Odijk, 2002).

Toplam elektron yoğunluğunun deterministik kısmını ifade eden iyonosfer modelinin tersine, TEC'instokastik kısmı modelin düzeltme kısmını ifade etmektedir. Düzeltmelerin büyüklüğü iyonosferde meydana gelen kısa süreli dalgalanmalara bağlıdır. TEC haritaları iyonosferin ani değişimlerinde yetersiz kalmaktadır (Schaer vd., 1999).

Görüldüğü üzere, VRS kavramı iyonosferik etkilere oldukça duyarlıdır. GNSS çözüm algoritmasına bağlı olarak elde edilen ikili farklar iyonosfer düzeltmesinin farkı alınmamış iyonosfer düzeltmesine dönüştürülmesi gerekmektedir. VRS'de elde edilecek sanal referans istasyonu için iyonosferin enterpolasyonu yapılmalıdır. Bunun nedeni, zaman içindeki MSTID değişimleri nedeniyle, iyonosferin sanal referans istasyonu üzerinde değişik yapıda olmasıdır (Arslan vd., 2002).

3.4.2.4 Tamsayı belirsizliği çözümü

VRS kavramı içinde koordinatları hassas bir biçimde bilinen istasyonlarda tamsayı belirsizliği çözümü ilk aşamadır. Tamsayı belirsizliği çözümü görüş alanına giren yeni uydular içinde çözülmelidir. Faz sıçraması meydana geldiğinde tamsayı belirsizliklerinin yeniden çözülmesi gerekmektedir (Lachapelle, 2000). Tamsayı belirsizliği çözümü herhangi bir gözlem için gerçekleştirilemezse bu gözlem işlem

dışı bırakılır. Ağda bulunan referans istasyonların koordinatları hassas bir biçimde bilindiğinden tamsayı belirsizliği çözümünü gerçekleştirmek oldukça kolay olmaktadır (Wanninger, 1999). Tamsayı belirsizliği çözümü elde edildikten sonra hata modelleri oluşturulmaktadır (Arslan vd., 2002).



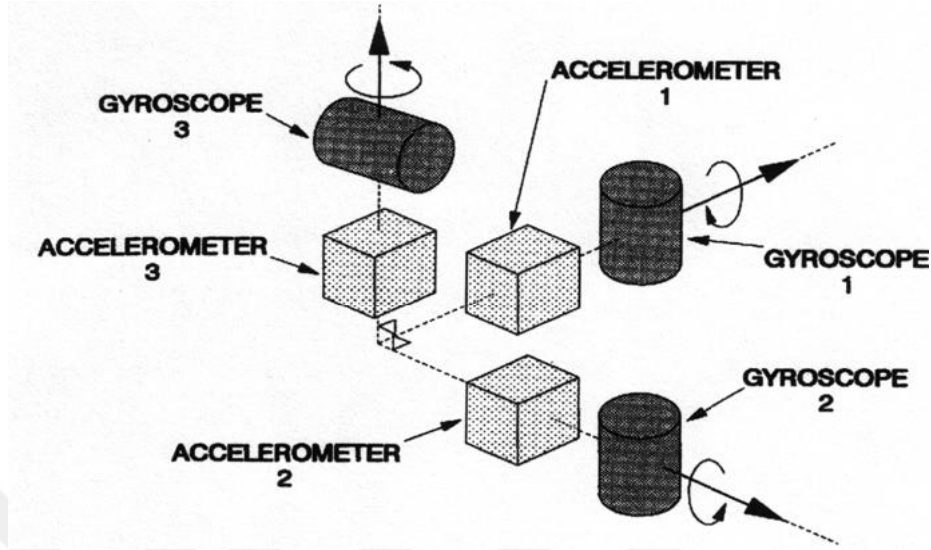
4. İNERSİYAL (ATALETSEL) NAVİGASYON SİSTEMİ (INERTIAL NAVIGATION SYSTEM-INS)

İnersiyal Navigasyon Sistemi (INS); birbirine dik üç eksenle sürekli olarak doğrusal ivme vektörünü ve açısal dönüklüğü ölçen donanımlardan oluşan bir sistemdir. Newton'un, "inersiyal koordinat sistemine göre hareket halindeki bir aracın ölçülen gücü; sistemin doğrusal ivmeleri ile yerçekimi ivmesinin bir doğrusal kombinasyonundan elde edilebilir" kuramı INS sisteminin temelini oluşturmaktadır. INS sisteminden üretilen hızların ikinci integrali alınarak konumsal bilgiler, dönüklük ölçülerinin zamana bağlı entegrasyonundan ise durum bilgileri hesaplanır.

İnersiyal ölçüm donanımları üç tane ivmeölçer ve üç tane jiroskoptan oluşmaktadır. İvmeölçerler araca ait ivmelenme ve yer çekimi kuvvetini inersiyal referans düzleminde ölçmektedir. Jiroskoplar aracın yeryüzüne göre açısal hızlanma değerlerini inersiyal referans düzleminde göre belirlemektedir. Navigasyon hesaplayıcı inersiyal verileri algılamada ve işlemede iki fonksiyon çalıştırmaktadır. İlk olarak dikey referans yerel yer çekim vektörü ve azimut referans yeryüzü hız vektörü kuzey bileşeni kullanılıp bir başlangıç dönüklük değeri oluşturularak doğrultulama yapılmaktadır. Kuzey yönüne göre bilinen bir azimuta sahip ve yerel seviyede navigasyon referans koordinat düzlemi oluşturulduktan sonra navigasyon hesaplayıcı serbest inersiyal navigasyon moduna geçmektedir. INS'nin dış kaynaklı navigasyon sinyallerine gerek duymadan mekanizmanın kendini doğrultulaması en önemli avantajlarından (Atak ve Aksu, 2004).

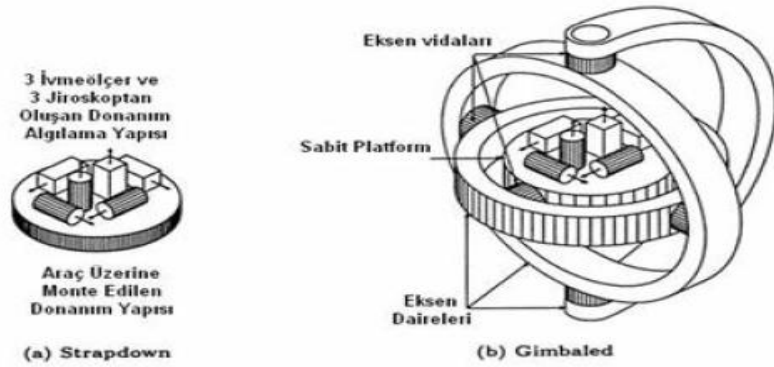
İnersiyal navigasyon sistemler Gimbal (platform) sistemler ve Strapdown (bant) sistemler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Platform sistemlerde ivme ölçüm birimi, 3 jiroskopun platformu içerisine yüksek hassasiyetle monte edilmiştir. Hareketli nesnenin dönüklükleri iç kısımdaki eksen dairesinde izole edildiğinden, sistemin hareketi boyunca istenilen yönelimlerde araç hareketleri sabitlenmektedir. Durum parametreleri istenilen bir yöneltme değerinde ve sistemin havada hareketi sırasında sabit tutulabilmektedir.

Bu sistemler mekanik olarak karmaşık ve yüksek maliyetli olmalarına rağmen sık aralıklarla çok duyarlı ölçüm yapabilecek donanımlara sahip olduklarından daha doğru sonuçlar vermektedirler (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: INS içerisinde yer alan jiroskoplar ve ivme ölçerler (Atak ve Aksu, 2004).

Strapdown (bant) inersiyel navigasyon sistemlerinde ataletsel ölçüm yapılan hareketli nesnelerin eksenleriyle ilişkili dik ivmeölçerler kullanılmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: İnersiyel ölçü donanım yapıları (Beşdok ve Özçelik, 2009).

4.1 İnersiyel Sistemlerin Hataları

INS sistemlerin tasarımı için çok yaygın stantlar bulunmamaktadır. Bu durum çok farklı sistemsel hata kaynağının bulunmasına yol açmaktadır. Genel hata kaynaklarının sınıflandırılması aşağıda verilmiştir.

- Konum ve hız başlangıç değerlerini sıfırlama hataları,

- Platform sistemlerde başlangıç doğrultulama sürelerinden kaynaklanan doğrultulama hataları,
- Strapdown (bant) sistemlerde yönelim doğrultularının navigasyon eksenlerine göre kosinüsünden kaynaklanan doğrultulama hataları,
- Algılayıcı kalibrasyon hataları.

İnersiyal navigasyonda durum algılamalarında kullanılan jiroskoplar inersiyal donanım olarak ta adlandırılmaktadır.

Jiroskoplarda başlıca hata kaynakları, sapmalar, eksen kayıklıkları, üçlü jiroskopların kümelenmesi ve ivme hassasiyeti vb. gibidir. Kullanım amaçlarına göre ivme algılayıcılar jiroskobik ivmeölçerler, sarkık ivmeölçerler vb. gibi.

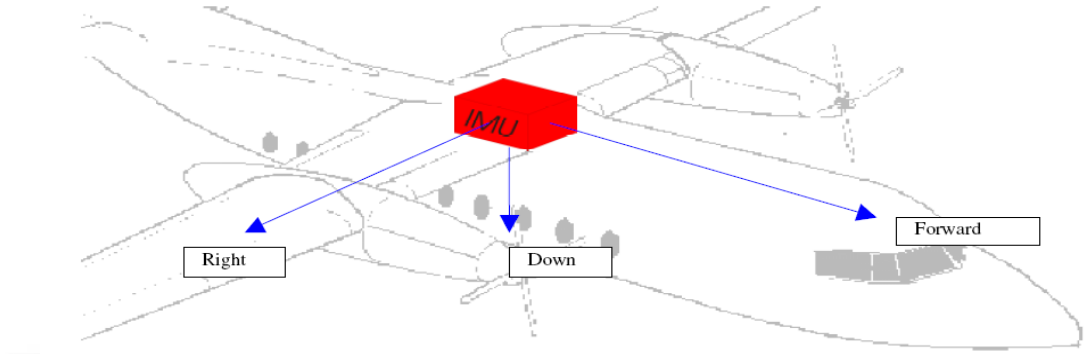
İvmeölçerler için başlıca hata kaynakları; sapmalar, parametre doğrulukları büyük orandaki dönüklüklerden dolayı savurma (merkezkaç) ivme etkileri ve açısal ivme hassasiyeti vb. gibidir (Atak ve Aksu, 2004).

4.2 GNSS-INS Entegrasyonu

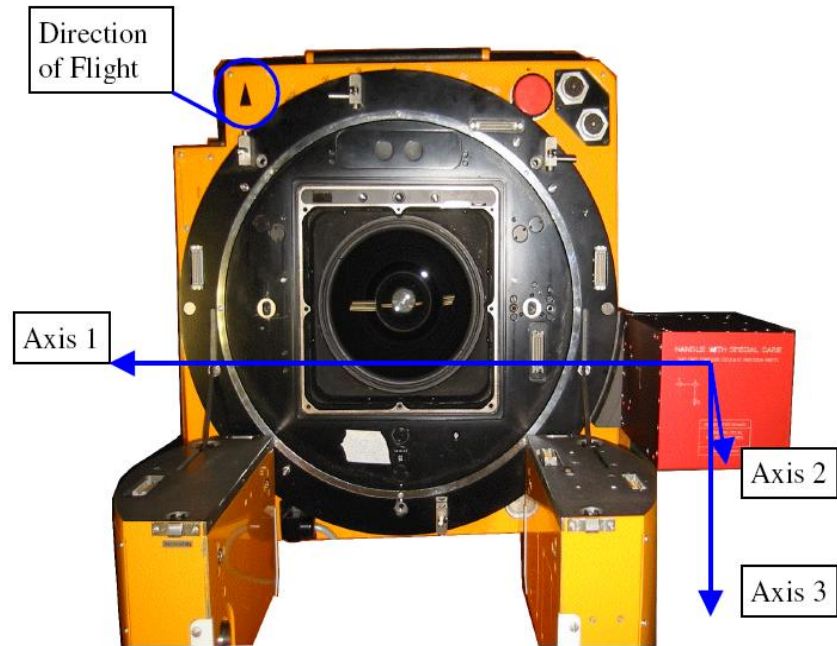
Atalet verisi kuvvetli sürüklenmeler nedeni ile yalnızca kısa süreli boyutlarda yeterli doğruluğa sahip olur, bu nedenle mutlak doğruluğa sahip bir GNSS ile kombinasyonu gereklidir. Yaygın olarak kullanılan İteratif Kalman Filtreleme yöntemi ile her iki sistemin avantajları birleştirilebilir ve böylece GNSS-INS Doğrudan Algılayıcı Yönelmesi (Direct Sensor Orientation - DSO) için kullanılabilir.

Bu sistemlerin birlikte kullanımı, tek tek kullanımları ile elde edilecek doğruluğu ve güvenilirliği önemli ölçüde geliştirmeye olanak sağlamaktadır. INS'in kısa aralıklardaki yüksek durağanlığı, GNSS gözlemlerinde görülen hataları düzeltmeye olanak sağlar. Kestirim suretiyle elde edilen INS konumu ve hızı, GNSS alıcısının taşıyıcı faz atlamalarını (cycle slip)belirtmeye ve uydu ile kopan bağlantıları bağlamaya yardımcı olur. Bağlama kapasitesi INS'in performansına bağlıdır. Diğer taraftan, GNSS'in hayli uzun süreli durağanlığı sayesinde, GNSS gözlemlerinin kullanılması ile INS'in sistematik ve zamana bağlı hatalarının giderilmesi mümkündür (Beşdok ve Özçelik, 2009).

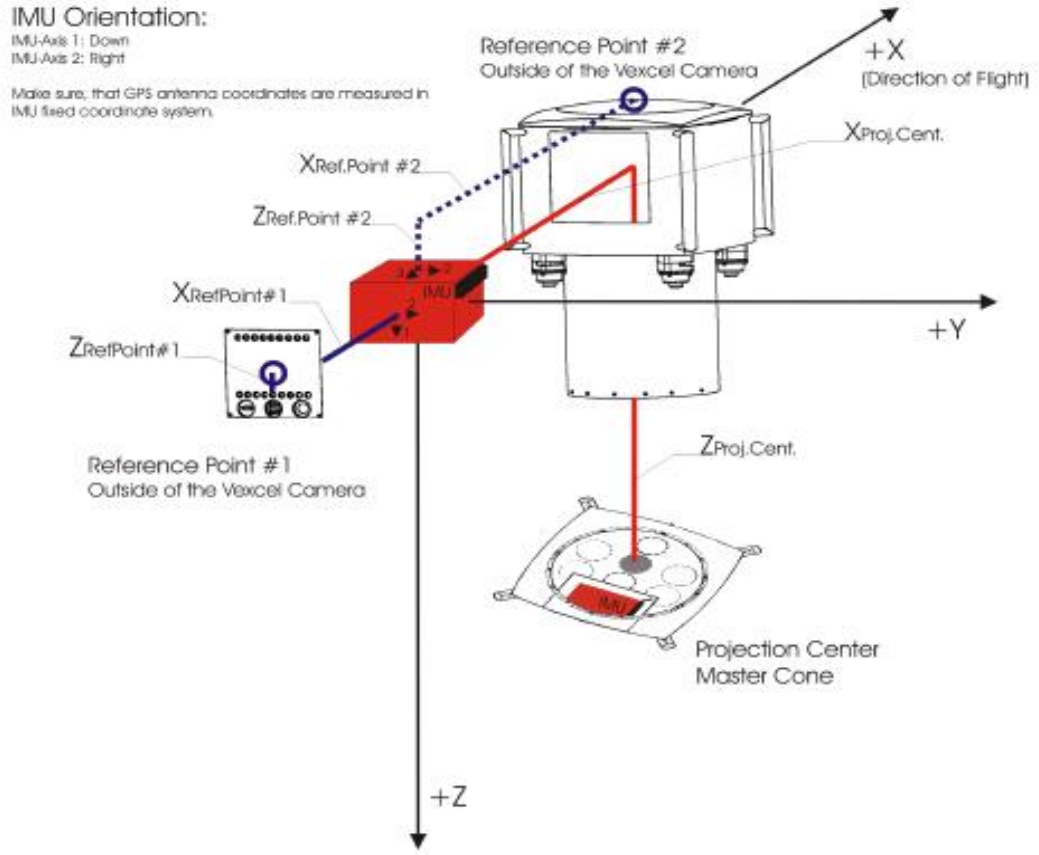
Temelde entegrasyon, donanım ve yazılım düzeyi konularının her ikisini de içerir. Donanım düzeyindeki entegrasyonda sistem bileşenleri bir “kara kutu” içerisinde birleştirilir ve bağlantıları kurulur (Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5).



Şekil 4.3: IMU sisteminin uçak üzerindeki konumlandırılması.



Şekil 4.4: IMU sisteminin sensörlerle entegrasyonu (URL-1).



Şekil 4.5: IMU sisteminin sensörlerle entegrasyonu.

GNSS ve INS donanımlarının entegrasyonu için birçok yöntem mevcuttur. Tüm yöntemler GNSS ölçümleri tabanlıdır. GNSS konum ve hız verilerinin mevcut olması durumunda her iki sistem geniş bağlı (loosecoupled) yapısı kullanılarak, Doppler ve pseudorange ölçümleri gibi ham GNSS ölçümlerinin mevcut olması durumunda ise sıkı bağlı (tightcoupled) yapısı kullanılarak entegre edilmektedir. Entegre yapıları, entegre edilmiş navigasyon sistemleri destekli uygulamaların türüne göre belirlenmektedir. “Loose Coupled” entegrasyon yönteminde, INS verilerinin hesaplanmasında işlenmiş GNSS verileri kullanılmaktadır. “Tight Coupled” yöntemindeyse ham GNSS verileri kullanılmaktadır. Entegrasyon yöntemleri için open loop ve closed loop olmak üzere iki entegrasyon döngü yapısı bulunmaktadır. Open loop yapısında, GNSS verileri kullanılarak INS hataları kestirimi gerçekleştirilmektedir. Closed loop yapısında, Kalman filtreleme yöntemiyle elde edilen hata kestirimleri kullanılarak INS hesaplayıcı mekanizmasında algılayıcı hatalarının telafi edilmesine dayanmaktadır (Beşdok ve Özçelik, 2009).

Ataletsel navigasyon sistemi (INS) için temel olan ölçümlerin ataletsel ölçüm ünitesinden (IMU) elde edilmesi ve sistemin GNSS sistemi ile entegre olarak çalışmasından dolayı sayısal hava kamerasında kullanılan donanımlar GNSS/IMU olarak adlandırılmaktadır. Bu nedenle tez kapsamında yapılacak sayısal uygulama ve değerlendirmelerde kullanılacak donanım GNSS/IMU olarak adlandırılacaktır.



5. SAYISAL UYGULAMA

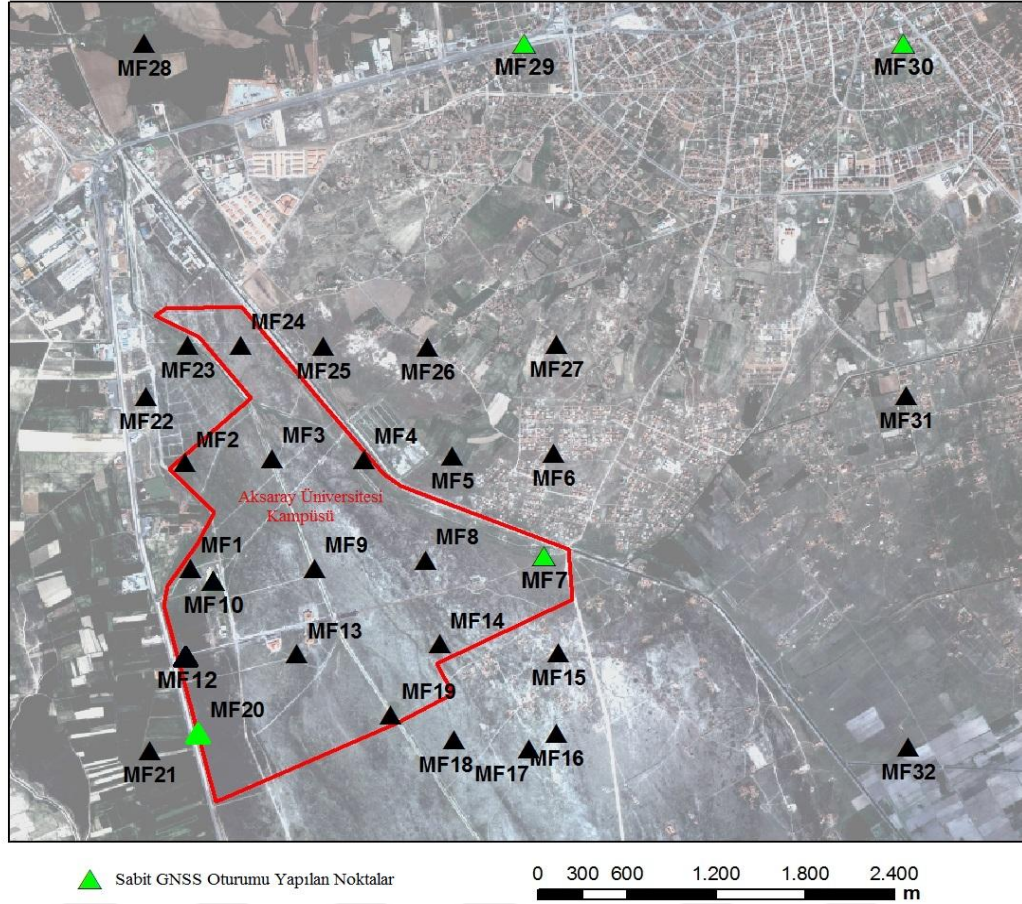
5.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada; GNSS/IMU sistemlerinin bir bileşeni olan kinematik GNSS çözümlemelerinde, Sabit Referans Noktası kullanımı (SBT), Sanal Referans İstasyonu Sistemi(Virtual Reference System-VRS) ve Hassas Konum Belirleme (Precise Point Positioning-PPP)kinematik GNSS çözüm yöntemleri ile elde edilen sonuçlardan üretilecek resim orta noktası koordinat ve dönüklük değerlerinin karşılaştırılması, uçuş yükseklikleri ile olan ilişkilerinin belirlenmesi ve BÖHHBÜY'nin ön gördüğü duyarlılık kriterleri çerçevesinde fotogrametrik çalışmalarda kullanılabilirliği amaçlanmıştır.

Bu amaçla yer yüzeyinden 700 m, 1500 m ve 2500 m uçuş yüksekliklerinden görüntü ve GNSS/IMU verisi üretilecek şekilde planlama yapılarak havadan görüntü alım uçuşları gerçekleştirilmiştir. Farklı yüksekliklerde yapılan uçuşlar sonrasında üç farklı kinematik GNSS çözümleme yöntemi ile elde edilen değerler irdelenmiştir.

5.2 Çalışma Alanı ve Test Ağı

Çalışma alanı olarak, yaklaşık $38^{\circ}21'49''\text{K}$ - $38^{\circ}19'09''\text{K}$ enlemleri ve $33^{\circ}58'29''\text{D}$ - $34^{\circ}02'00''\text{D}$ boylamları arası 26 km² lik alan olan Aksaray Üniversitesi Kampüsü ve çevresi seçilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: Çalışma alanı.

Çalışma alanı olarak bu bölgenin seçilmesinin nedenleri;

- Havadan görüntü alımı uçuşu için, uygun hava trafiğine sahip olması,
- Hava meydanlarına olan yakınlığı,
- Yer kontrol noktalarının tesis ve ölçülerinin kolaylıkla yapılabilmesi,
- Elde edilen hava görüntüleri ve verilerin farklı akademik çalışmalarda kullanılabilirliği,

olarak sıralanabilir.

5.3 Uçuş Planlaması ve Yer Örnekleme Aralığı (Ground Sample Distance-GSD)

Film bazlı hava kameraları ile yapılan görüntü alım projelerinde belirleyici olan “resim ölçeği” tanımının yerini, sayısal hava kameralarının kullanımı ile birlikte “Ground Sample Distance” (GSD) Türkçe karşılığı olarak da “Yer Örnekleme Aralığı” tanımı almıştır. GSD görüntüdeki bir pikselin arazide kapladığı alanın bir kenarını ifade etmektedir. Klasik hava kameraları ile alınan görüntülerde bir pikselin

arazide kapladığı alan, resim ölçeği ve tarama çözünürlüğü ile belirlenirken; sayısal hava kameralarında piksel boyutu sabit olduğundan sadece uçuş yüksekliği ile belirlenmektedir. Bu nedenlerle resim ölçeği yerine daha kapsamlı olan Yer Örnekleme Aralığı kavramı kullanılmaktadır.

Sayısal uygulamada analog hava fotoğraflarının ölçeği, tarama yoğunluğu gibi harita ölçeğini etkileyen faktörler göz önünde bulundurularak aşağıdaki GSD değerleri kullanılmıştır.

- 1/1000 Harita Üretim Ölçeği için 7 cm GSD (Uçuş Yük.; Zemin Yük+700m),
- 1/2000 Harita Üretim Ölçeği için 15 cm GSD (Uçuş Yük.; Zemin Yük+1500m),
- 1/5000 Harita Üretim Ölçeği için 25 cm GSD (Uçuş Yük.; Zemin Yük+2500m).

7, 15 ve 25 cm GSD çözünürlüğünde hava görüntüsü üretecek şekilde iş planlaması yapılarak, uçuş kolonları ve uçuş yükseklikleri belirlenmiştir. Ayrıca fotogrametrik çalışmalarda kullanılmak üzere 29 adet fotogrametrik nirengi noktası tesis edilerek, TUSAGA-Aktif sistemi ile koordinatlandırılmıştır.

5.3.1 Yedi (7)cm GSD İçin Uçuş Planlaması

Bu planlamada 1:5833 resim ölçeğinde, %70 boyuna, %30 enine bindirme oranında 677 m kolon genişliğinde; 4 adeti Doğu-Batı, 4 adeti Kuzey-Güney yönünde olmak üzere toplam 8 adet uçuş kolonu belirlenerek projelendirilmiş ve proje kapsamında 144 adet hava görüntüsü ile bu görüntülere ait resim orta noktası koordinat değerlerinin üretilmesi planlanmıştır.



Şekil 5.2: 7 cm GSD uçuş planlaması.

5.3.2 Onbeş (15)cm GSD İçin Uçuş Planlaması

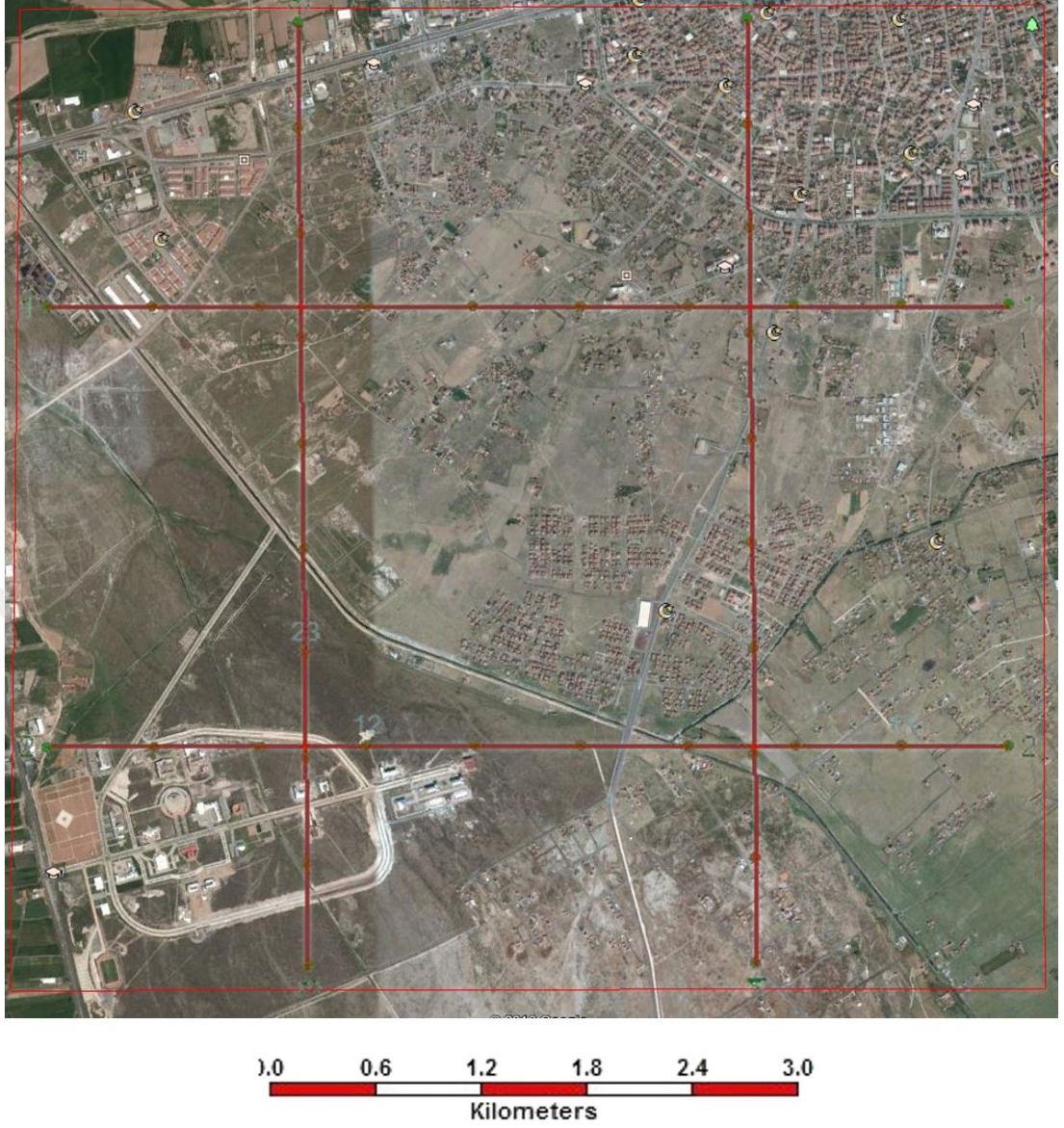
Bu planlamada 1:12500 resim ölçeğinde %70 boyuna, %30 enine bindirme oranında 1451 m kolon genişliğinde; 2 adeti Doğu-Batı, 2 adeti Kuzey-Güney yönünde olmak üzere toplam 4 adet uçuş kolonu belirlenerek projelendirilmiş ve proje kapsamında 38 adet hava görüntüsü ile bu görüntülere ait resim orta noktası koordinat değerlerinin üretilmesi planlanmıştır.



Şekil 5.3: 15 cm GSD uçuş planlaması.

5.3.3 Yirmibeş (25)cm GSD İçin Uçuş Planlaması

Bu planlamada 1:21667 resim ölçeğinde %70 boyuna, %30 enine bindirme oranında 2516 m kolon genişliğinde; 2 adeti Doğu-Batı, 2 adeti Kuzey-Güney yönünde olmak üzere toplam 4 adet uçuş kolonu belirlenerek projelendirilmiş ve proje kapsamında 40 adet hava görüntüsü ile bu görüntülere ait resim orta noktası koordinat değerlerinin üretilmesi planlanmıştır.



Şekil 5.4: 25 cm GSD uçuş planlaması.

5.4 Donanım

Kinematik GNSS ölçmeleri esnasında, sabit referans noktalarında 4 adet Topcon GR3 GNSS alıcısı kullanılmıştır. Gezici kinematik ölçmeleri, görüntü alım uçağında bulunan Novatell marka OEM V2 model GNSS alıcısı ile gerçekleştirilmiştir.

5.4.1 GNSS /IMU sistemi

GNSS/IMU ölçülerinin yapılmasında ve hava görüntülerinin alımında DMC sayısal hava kamerası ile IGI CCNS4 model (Şekil 5.5)IMU sistemi montajlı görüntü alım uçağı kullanılmıştır.

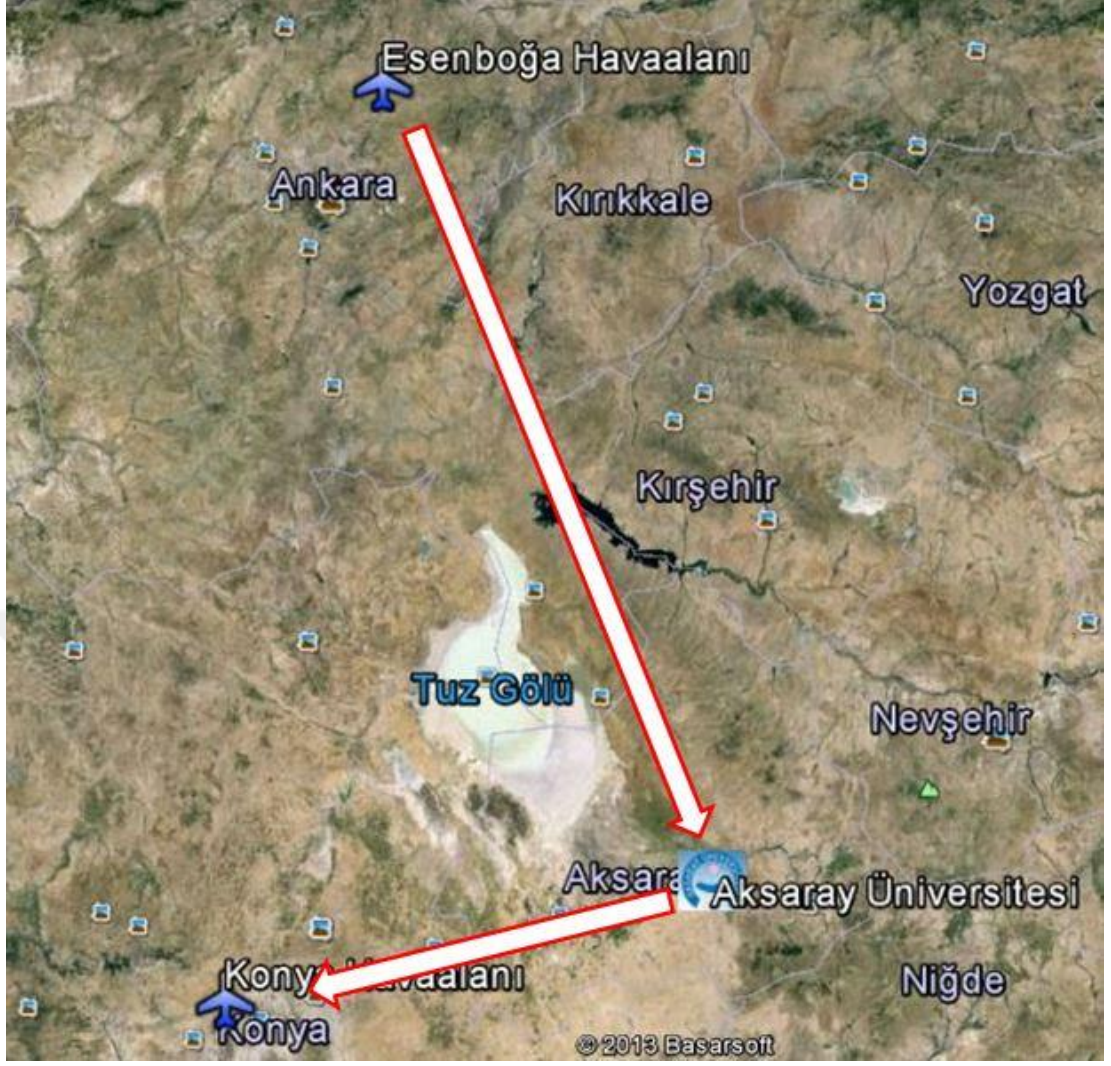


Şekil 5.5: IGI CCNS4 IMU sistemi (URL-1).

5.5 Test Ölçüleri

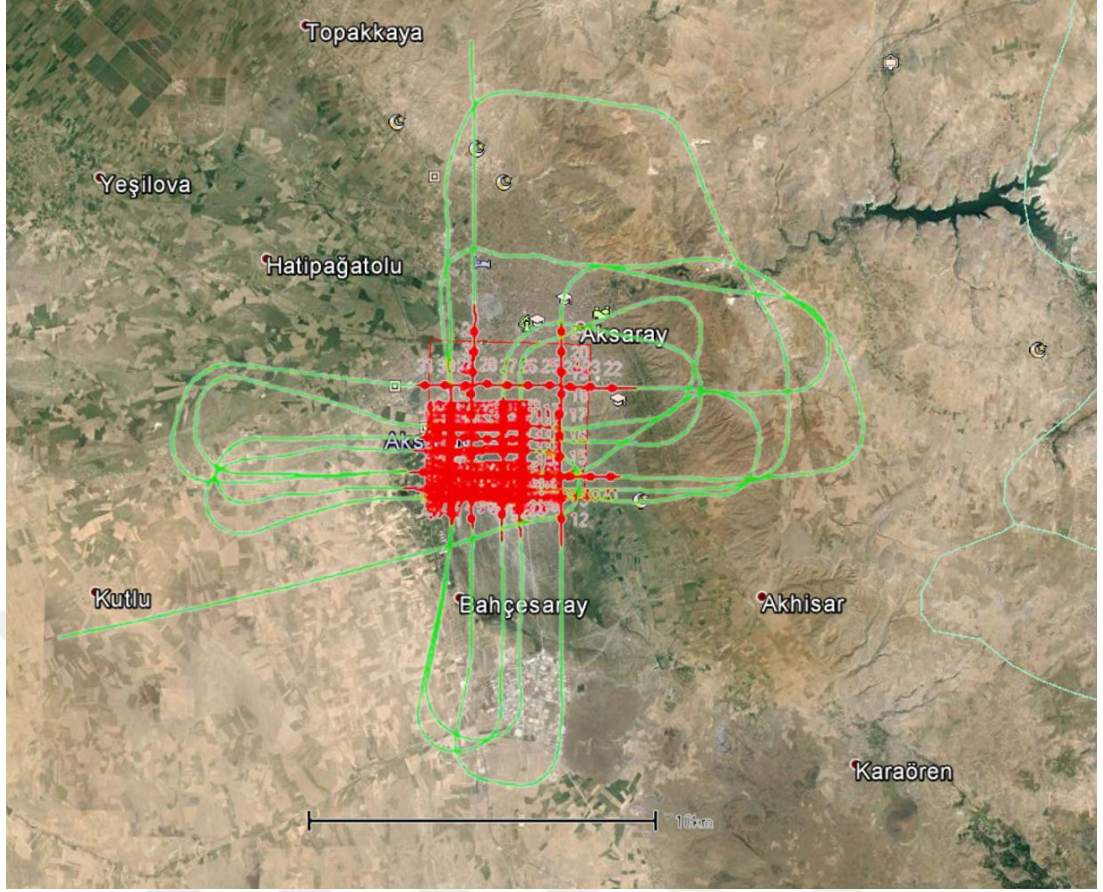
Test ölçülerinin gerçekleştirilmesi için, havadan görüntü alımına uygun olan meteorolojik koşullar ve hava trafik durumu birlikte değerlendirilmiştir. Söz konusu koşulların uygun olduğu 06.06.2011 tarihinde test ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Saat 06:31 (UTC) itibarı ile uçakta bulunan GNSS/IMU sistemi çalıştırılarak veri toplanmaya başlanmıştır. Şekil 5.1’de yer alan çalışma alanı krokisinde yeşil renklerle belirtilen, yer kontrol noktalarına kurulan sabit GNSS alıcılarının, GNSS/IMU sisteminin veri toplamaya başlamadan açılarak çalışmaya başlaması sağlanmıştır.

Test ölçülerinin gerçekleştirilmesi için Ankara Esenboğa Havaalanından hareket edilerek, Aksaray Üniversitesi Kampüsü ve çevresini içine alan çalışma alanına intikal sağlanmıştır. Çalışma alanında test ölçüleri gerçekleştirildikten sonra Saat 09:23 (UTC) itibarı ile Konya Havaalanında GNSS/IMU sistemi kapatılmıştır (Şekil 5.6). İlk olarak, yer yüzeyinden 2500m yüksekliğinde 25 cm GSD için planlanan 4 adet uçuş kolonunda test ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Kademeli olarak uçuş yüksekliği 1500m’ye düşürülmüş ve 15 cm GSD için planlanan 4 adet uçuş kolonunda test ölçüleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.6: Test ölçüsü güzergahı.

Son olarak uçuş yüksekliği 7 cm GSD için planlanan seviyeye (Yer + 700 m) düşürülerek 6 adet uçuş kolonunda test ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Test ölçülerinin gerçekleştirilmesinden önce, 7 cm GSD için 8 adet uçuş kolonunda test ölçüsü gerçekleştirilmesi planlanmasına rağmen test ölçüleri sırasında meteorolojik koşullar ile uydu duyarlılık bilgilerinin yeterli şartları sağlamaması nedeniyle ancak 6 adet uçuş kolonunda test ölçüsü gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7: Test ölçülerinin gerçekleştirilmesi.

5.6 Test Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Test ölçülerinin gerçekleştirilmesinden sonra, GNSS/IMU verilerinin depolandığı manyetik kartta yer alan veriler bilgisayar ortamına aktarılmış ve veriler kontrol edilmiştir. GNSS/IMU verilerinde herhangi bir eksiklik olmadığı görülmüştür. Sabit GNSS alıcılarında toplanan veriler, değerlendirilmek üzere bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Sabit GNSS ölçüsü yapılan yer kontrol noktalarının koordinat değerlerinin hesaplanması amacıyla, uygun dağılımlı TUSAGA-Aktif istasyonları belirlenmiştir. Bu kapsamda 06.06.2011 tarihli;

- Boğazlayan (BOGZ)
- Cihanbeyli (CIHA)
- Kayseri (KAYS)
- Kırşehir (KIRS)
- Konya (KNYA)

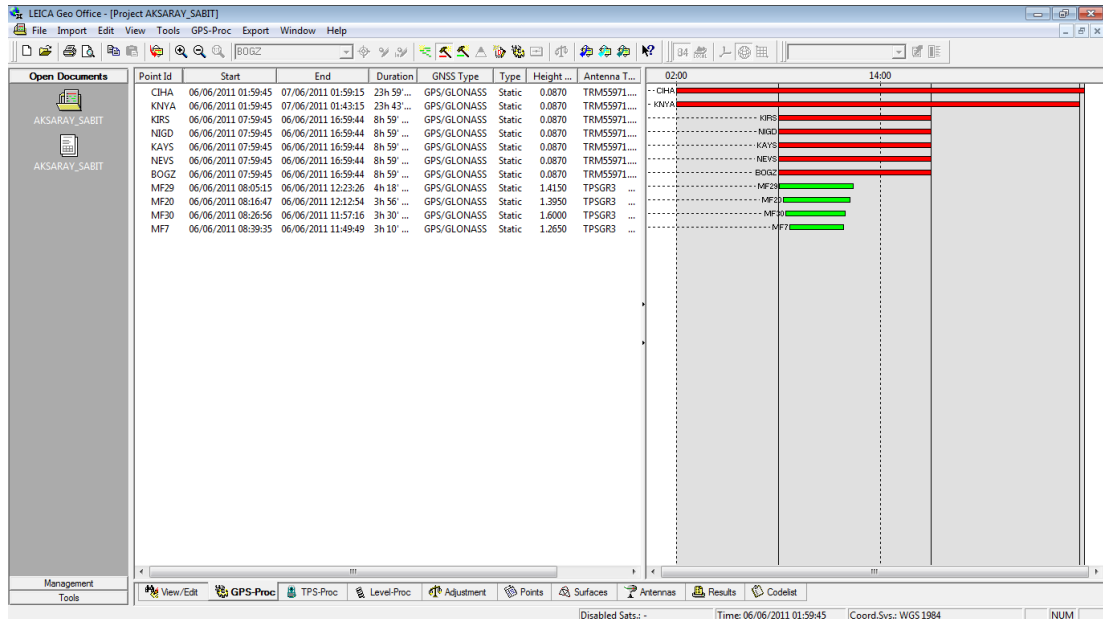
- Nevşehir(NEVS)
- Niğde (NİGD)

TUSAGA-Aktif istasyonlarının 30 sn epok aralıklı RINEX formatındaki verileri, TKGM TUSAGA-Aktif Kontrol Merkezinden temin edilmiştir. Hassas yörünge bilgileri (*.sp3) <http://igs.org/igs/scb/product> bağlantılı internet adresinde yer alan internet sitesinden temin edilmiştir.

5.6.1 Sabit GNSS ölçülerinin değerlendirilmesi

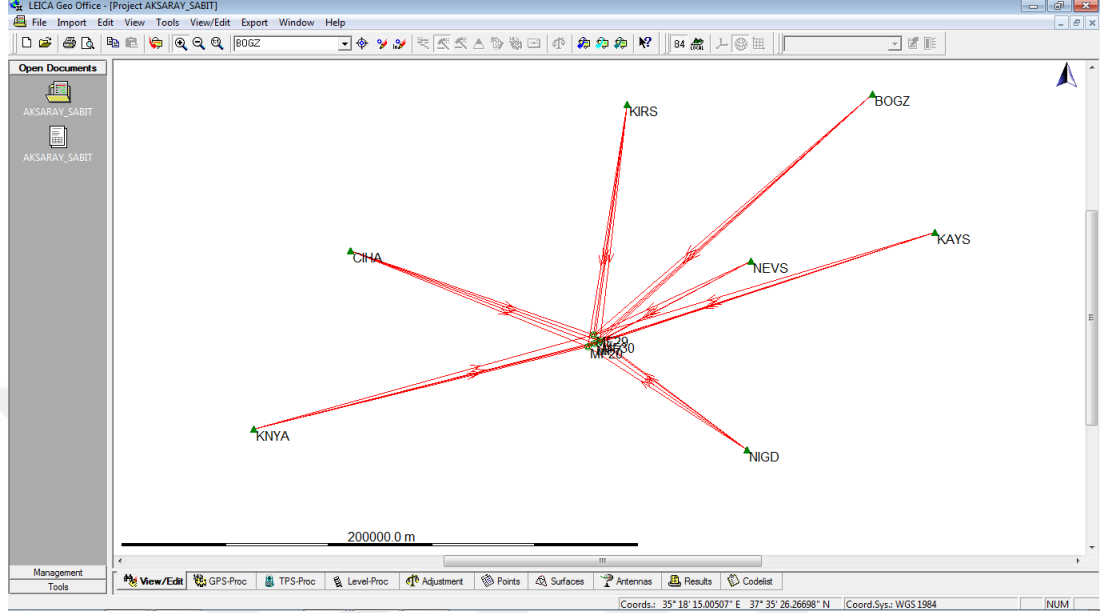
Test uçuşları esnasında Sabit GNSS ölçüsü yapılan MF7, MF20, MF29 ve MF30 numaralı yer kontrol noktalarında toplanan statik GNSS verileri bilgisayar ortamına aktarılarak gerekli olan anten tipleri ile anten yükseklik bilgisi düzenlenmeleri gerçekleştirilmiştir.

MF7, MF20, MF29 ve MF30 noktalarında gerçekleştirilen GNSS ölçülerinin değerlendirme işlemleri için Aksaray Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü adına lisansı bulunan LeicaGeo Office (LGO) yazılımı kullanılmıştır. Statik GNSS verileri ile TUSAGA-Aktif istasyonlarının verileri LGO yazılımında açılan projeye aktarılmıştır (Şekil 5.8). Ayrıca, ölçü yapılan güne ait hassas yörünge dosyası (igs16391.sp3) ile ölçüde kullanılan GNSS antenlerine ilişkin anten faz merkezi kayıtlık dosyaları yüklenmiş ve anten yükseklik değerleri de kontrol edilerek değerlendirme işlemine başlanmıştır.



Şekil 5.8: Projeye aktarılan GNSS verileri.

Değerlendirmelerde, TUSAGA-Aktif istasyonları referans noktası olarak tanımlanmış ve yer kontrol noktaları arasındaki eş zamanlı baz çözümleri yapılmıştır (Şekil 5.9). Baz çözümleri sonucu elde edilen değerlerin BÖHHBÜY’de belirtilen duyarlılık kriterlerini sağladığı görülmüştür.



Şekil 5.9: LeicaGeo Office yazılımı baz çözümleri.

TUSAGA-Aktif istasyonlarının ITRF96 datumunda ve 2005.00 referans epochundaki koordinatları değişmez alınarak dayalı dengeleme yapılmıştır. Dengeleme sonucu elde edilen baz bileşenlerine ait standart sapma değerleri irdelenmiştir. Elde edilen sonuçların BÖHHBÜY’nin fotogrametrik nirengi üretimi için öngördüğü doğruluk kriterlerini sağladığı görülerek MF7, MF20, MF29 ve MF30 numaralı yer kontrol noktalarına ait ITRF96 Datumunda ve 2005.00 referans epochunda koordinat değerleri elde edilmiştir (Şekil 5.10).

LEICA Geo Office - [Project AKSARAY_SABIT]

File Import Edit View Tools Points Export Window Help

Open Documents

AKSARAY_SABIT

AKSARAY_SABIT

Point Id	Point	Date/Time	X	Y	Z	Sd. X	Sd. Y	Sd. Z	Posn. + Hgt. Qty
✓ BGT	Control	06/06/2011 07:59:46	414131.861860	2844492.3094	395954.3025	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
✓ MEVS	Control	06/06/2011 07:59:46	4103186.1860	2844492.3094	395954.3025	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
✓ KNYA	Control	06/06/2011 07:59:46	4243584.9349	2704006.7293	3908123.9102	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
✓ KIRS	Control	06/06/2011 07:59:46	4098385.6030	2780607.9203	4007175.4097	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
✓ KAYS	Control	06/06/2011 07:59:46	4056743.6341	2896260.9898	3967817.7658	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
✓ CIHA	Control	06/06/2011 07:59:46	4187342.4795	2711236.6961	3962713.1081	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
✓ BOGZ	Control	06/06/2011 07:59:46	4042636.0894	2857592.2924	4096697.4141	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
✓ MF7	Adjusted	27/06/2011 23:04:26	4153570.1616	2802256.3033	3934986.6365	0.0099	0.0077	0.0084	0.0131
✓ MF30	Adjusted	27/06/2011 23:04:26	4151727.2740	2803903.1162	3935758.3679	0.0186	0.0159	0.0153	0.0289
✓ MF29	Adjusted	27/06/2011 23:04:26	4151844.1957	2800953.1994	3937726.3545	0.0088	0.0067	0.0073	0.0133
✓ MF20	Adjusted	27/06/2011 23:04:26	4155564.7521	2800764.7443	3933952.3411	0.0095	0.0073	0.0079	0.0143

Management Tools

View/Edit GPS-Proc TPS-Proc Level-Proc Adjustment Points Surfaces Antennas Results CodeList

Coord.Sys.: WGS 1984 NUM

Şekil 5.10: Sonuç Koordinat Değerleri.

5.6.2 GNSS/IMU verilerinin değerlendirilmesi

Resim orta noktalarının ve dönüklük değerlerinin belirlenmesi için 7cm, 15 cm, 25 cm GSD çözünürlüklerinde yeryüzünden 700 m, 1500 m ve 2500 m yükseklikten yapılan uçuşlar, SBT, VRS, PPP çözüm yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Değerlendirme stratejilerinde dokuz farklı uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu stratejiler aşağıda verilmiştir.

- 7 cm GSD için, SBT yöntemi ile GNSS/IMU verilerinin değerlendirilmesi,
- 7 cm GSD için, VRS yöntemi ile GNSS/IMU verilerinin değerlendirilmesi,
- 7 cm GSD için, PPP yöntemi ile GNSS/IMU verilerinin değerlendirilmesi,
- 15 cm GSD için, SBT yöntemi ile GNSS/IMU verilerinin değerlendirilmesi,
- 15 cm GSD için, VRS yöntemi ile GNSS/IMU verilerinin değerlendirilmesi,
- 15 cm GSD için, PPP yöntemi ile GNSS/IMU verilerinin değerlendirilmesi,
- 25 cm GSD için, SBT yöntemi ile GNSS/IMU verilerinin değerlendirilmesi,
- 25 cm GSD için, VRS yöntemi ile GNSS/IMU verilerinin değerlendirilmesi,
- 25 cm GSD için, PPP yöntemi ile GNSS/IMU verilerinin değerlendirilmesidir.

Yer örnekleme aralığı aynı olan GNSS/IMU veri değerlendirmesi çalışmaları, benzer işlem adımları uygulanarak yapıldığından, bu çalışmada 7 cm GSD için SBT, VRS

ve PPP yöntemleri ile GNSS/IMU verilerinin değerlendirilmesi ayrıntılı olarak açıklanmıştır. 15 ve 25 cm GSD için yapılan çalışmalar benzer işlem adımlarıyla değerlendirilmiş olup işlem adımları ayrıntılı olarak açıklanmadan sadece elde edilen sonuçlar verilmiştir.

GNSS/IMU verilerinin değerlendirilmesinde AEROoffice ve GrafNav yazılımları kullanılmıştır.

GNSS ve IMU sistemleri farklı ölçme bileşenlerinden oluşmasına rağmen ölçü verileri eş zamanlı olarak tek bir veri depolama ünitesinde toplanmaktadır. Bu verilerden GNSS verilerinin ayrıştırılması ve elde edilen GNSS çözümlerinin projeye entegre edilmesi için bir yazılıma ihtiyaç duyulmaktadır. Sayısal uygulamada kullanılan IMU sisteminin üreticisi olan IGI firması tarafından, yukarıda açıklanan çalışmalar için hazırlanan AEROoffice yazılımı verilerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

AEROoffice yazılımı ile yapılabilen temel işlemler aşağıda verilmiştir.

- Toplanan GNSS/IMU verilerinin ayrıştırılması, farklı formatlara dönüştürülmesi,
- GNSS/IMU verilerinin değerlendirilmesi,
- Resim dış yöneltme parametrelerinin hesaplanması,
- Koordinat dönüşümlerinin yapılması,
- Toplanan verilere ve değerlendirme sonuçlarına ilişkin kalite kontrolü ve analizlerin yapılabilmesi,
- Değişken koşullarda ileri/geri Kalman Filtreleme yöntemi ile ideal sonuçların elde edilmesi (URL-1).

AEROoffice yazılımı ile ayrıştırılarak elde edilen kinematik GNSS verilerinin değerlendirmesi için GrafNav yazılımı kullanılmıştır. GrafNav, Novatel firması tarafından geliştirilmiş, her türlü GNSS verisi için yüksek doğruluklu statik ve kinematik değerlendirme yöntemine olanak sağlayan bir yazılımdır.

GrafNav yazılımı ile yapılabilen temel işlemler aşağıda verilmiştir.

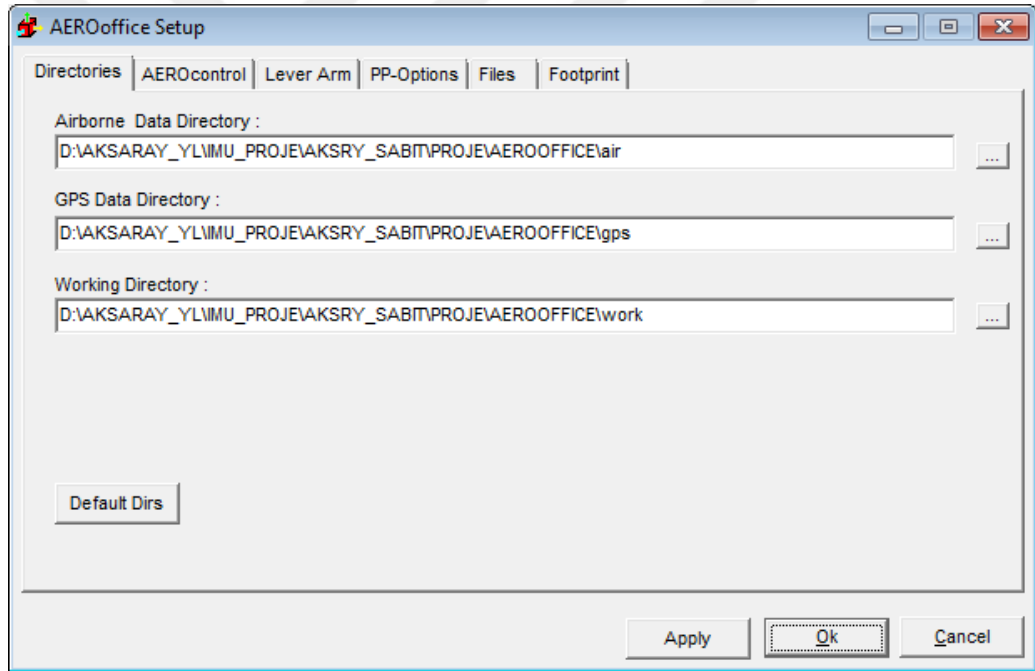
- Diferansiyel ve PPP çözüm yöntemleri ile veri değerlendirmesi,
- Statik ve kinematik GNSS değerlendirmesi,
- GNSS L1/L2/L2C ve GLONASS uydu verilerinin değerlendirilmesi,
- Çoklu yer kontrol noktası verisinin kullanılabilmesi,

- Çift yönlü (İleri-Geri) değerlendirme yapılabilmesi,
- Farklı alıcı tipleri için değerlendirme yapılabilmesidir.

GNSS/IMU verilerinin programlar arasındaki ilişkilendirilmesinde “GNSS time” bilgisi kullanılmaktadır. AEROoffice programında sayısal hava kamerasının her görüntü alımına ilişkin zaman bilgisi okunarak, GNSS çözümleri sonucu elde edilen koordinat bilgileri her görüntü için eşleştirilerek o görüntüye ait konum ve dönüklük bilgileri hesaplanır.

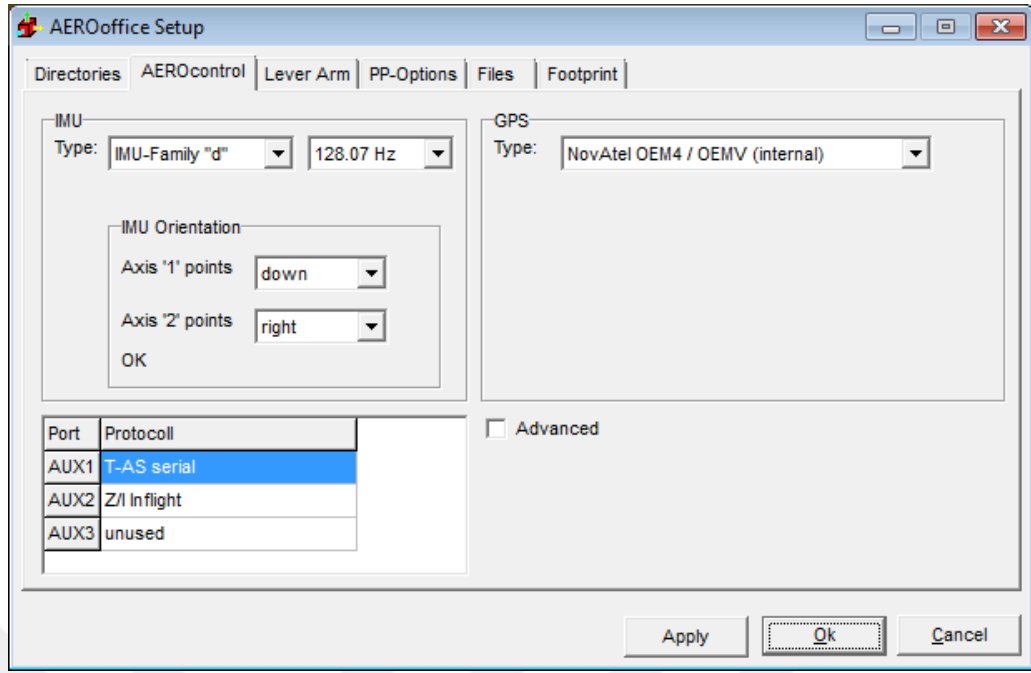
5.6.3 7 cm GSD için, GNSS/IMU verilerinin değerlendirilmesi

GNSS/IMU verilerinin ayrıştırılarak GNSS verilerinin oluşturulması işlemi için AEROoffice programında yeni bir proje açılarak proje dosyalarının oluşturulacağı klasör yolları ve proje ismi belirlenir (Şekil 5.11).



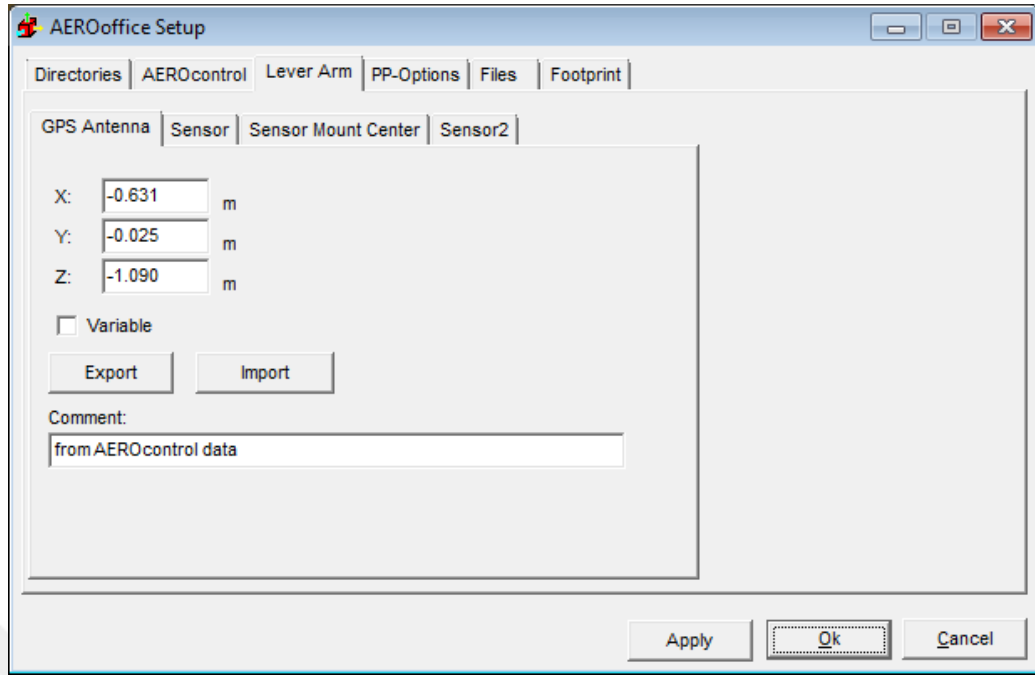
Şekil 5.11: Yeni proje oluşturulması.

Bundan sonraki işlem adımlarında kullanılan IMU ve kamera sistemine ilişkin belirlenmiş değerler projeye girilir. AEROcontrol penceresinden GNSS/IMU sisteminin model, eksen yönü ve bağlantı şekli bilgileri girilir (Şekil 5.12).

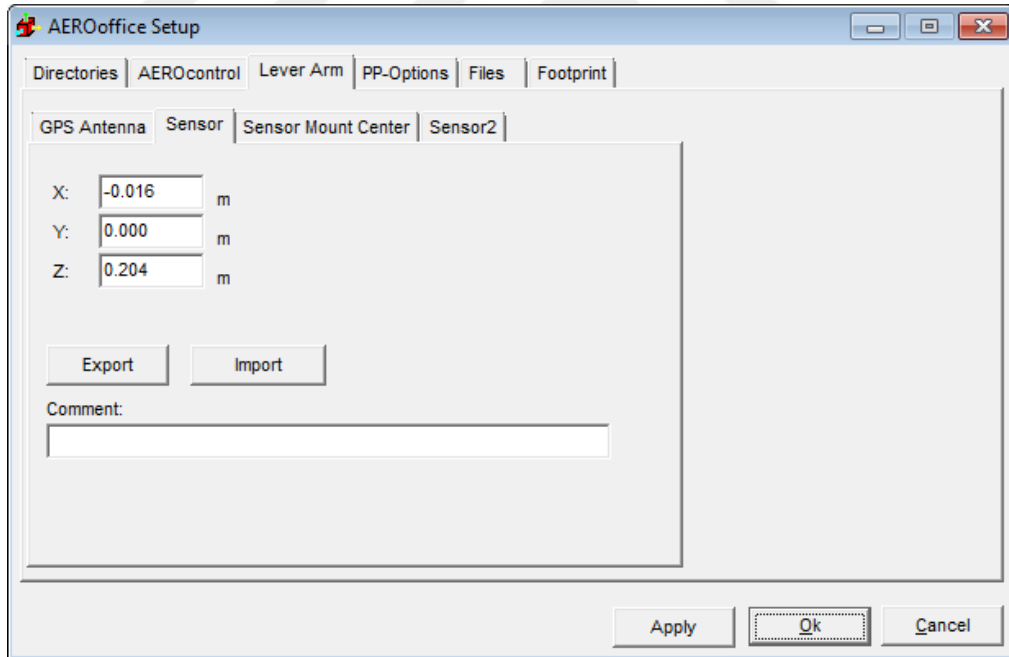


Şekil 5.12: GNSS/IMU sistem bilgileri girişi.

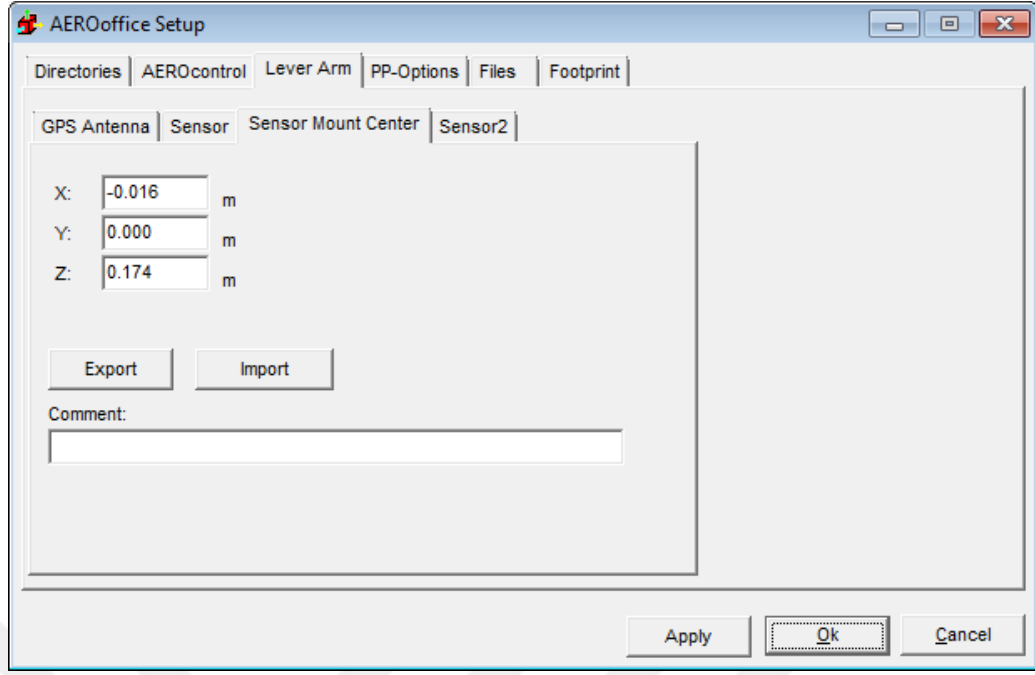
GNSS/IMU sistemin bileşenleri olan GNSS anteni ve IMU ünitesinin kamereye (resim orta noktasına) göre konumları yüksek hassiyette uçağa montaj esnasında belirlenir. Lever Arm menüsünün GPS Antenna penceresinden GPS anteninin belirlenmiş konum ofset değerleri (Şekil 5.13), Sensor penceresinden kamera sensörünün belirlenmiş konum ofset değerleri (Şekil 5.14) ve Sensor Mount Center penceresinden ise kameranın dengeleyici platformun kamera sensörüne göre belirlenmiş konum ofset değerleri girilir (Şekil 5.15).



Şekil 5.13: GPS antenin konum ofset değerlerinin girilmesi.

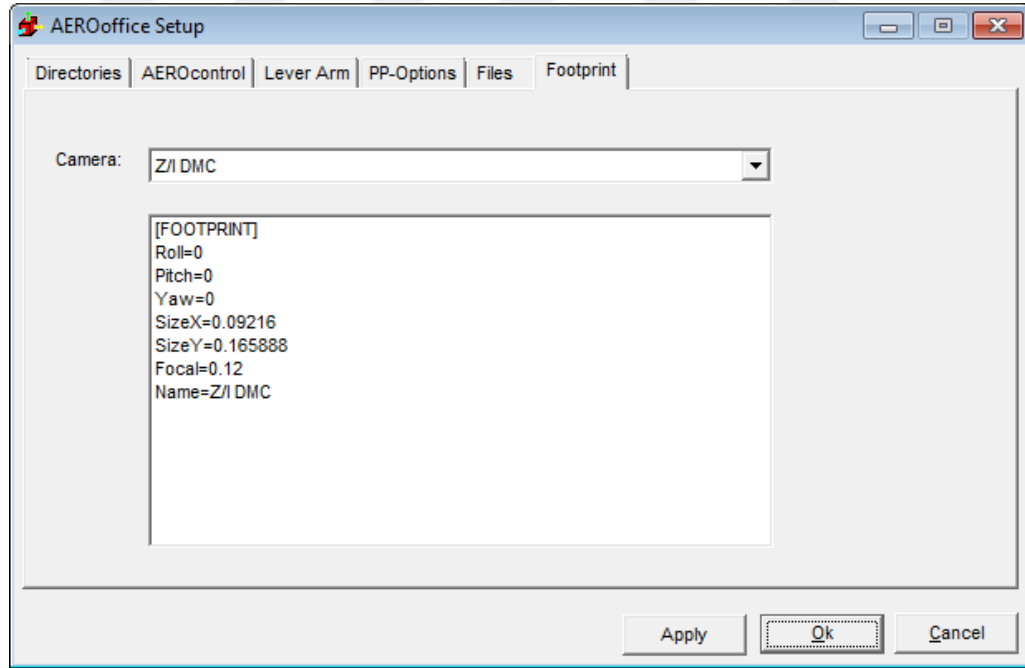


Şekil 5.14: Kamera sensörünün konum ofset değerlerinin girilmesi.



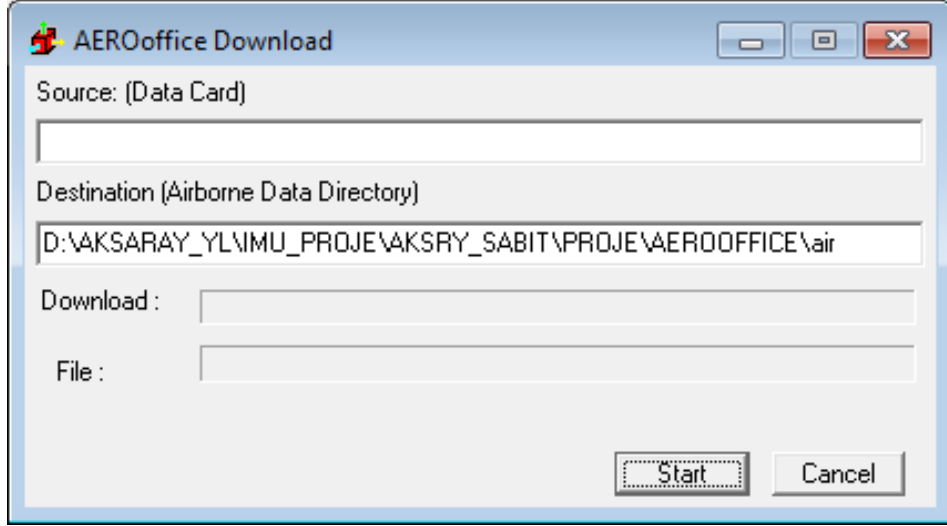
Şekil 5.15: Kameranın dengeleyici platformun konum ofset değerlerinin girilmesi.

Footprint menüsünden programda tanımlanmış ve temel kamera bilgilerini içeren listeden kullanılan sayısal hava kamerası modeli seçilir (Şekil 5.16).



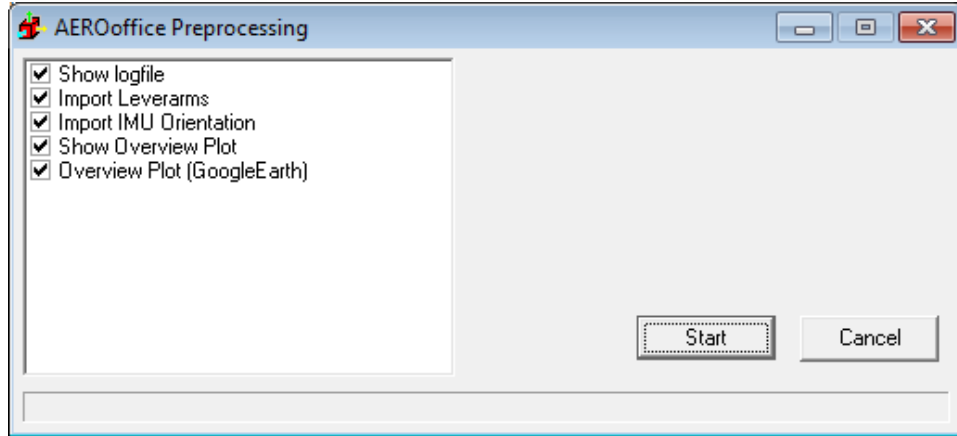
Şekil 5.16: Kameranın bilgilerinin girilmesi.

Toplanan kinematik GNSS/IMU verileri Download from AeroControl Data menüsünden projeye aktarılır (Şekil 5.17).



Şekil 5.17: Kinematik GNSS/IMU verilerinin projeye aktarılması.

Kinematik GNSS/IMU verilerinin projeye aktarılmasından sonra projede yapılacak ilk işlem “Preprocessing” menüsünden ön değerlendirme yapılmasıdır. Bu aşamada projeye aktarılan tüm kinematik verilere ait saat senkronizasyonları tamamlanır. IMU alıcı tipi ve ofset değerleri işlenerek; *.C5L uzantılı GNSS/IMU verilerinden, ayrıştırma yapılarak daha önce oluşturulan “gps” klasörünün içerisinde *.nov uzantılı kinematik GNSS verileri elde edilir (Şekil 5.18).



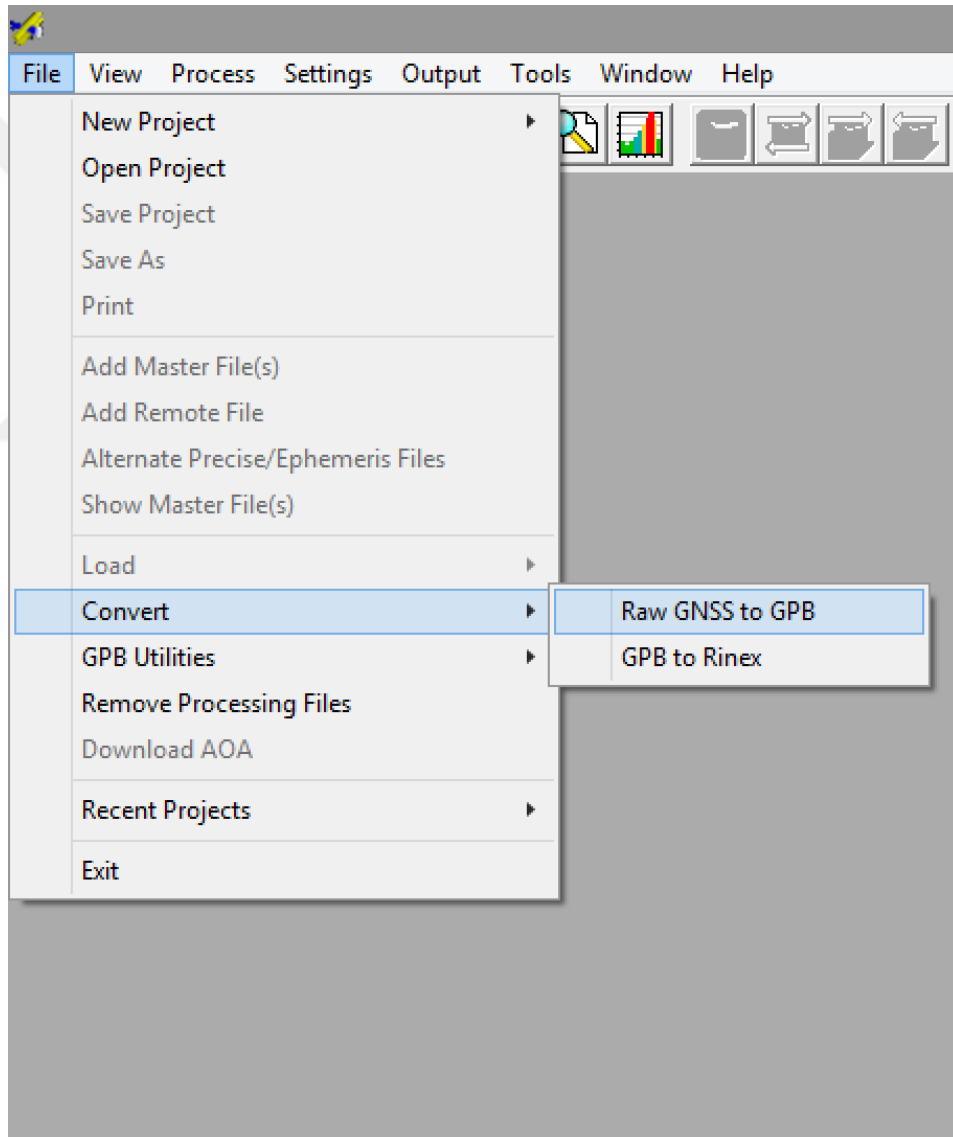
Şekil 5.18: Kinematik GNSS/IMU verilerinin ön işleme yapılması.

5.6.4 SBT yöntemi ile kinematik GNSS verilerinin işlenmesi

Sabit Referans Noktalar Kullanımı yöntemi (SBT) ile GNSS/IMU verilerinin değerlendirilmesinde, uçuş esnasında veri toplayan GNSS/IMU sistemi ile 4 adet yer kontrol noktasında eş zamanlı statik GNSS verileri toplanmıştır. Değerlendirme aşamasında toplanan statik veriler RINEX formatında değerlendirmelere dahil

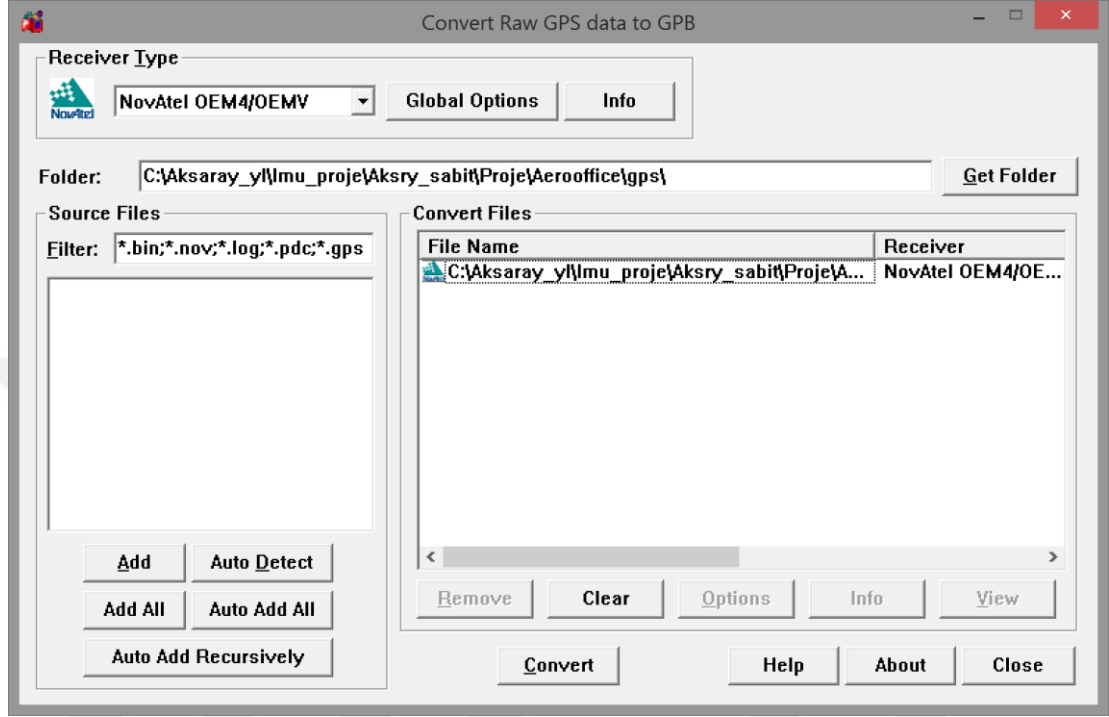
edilmiş ve bu noktalara ait koordinat bilgileri değerlendirmelerde değişmez olarak kullanılmıştır.

AeroOffice Programı kullanılarak GNSS/IMU verilerinin ön işleme sonrası elde edilen kinematik GNSS verileri *.nov formatında, Referans istasyon verileri ise RINEX formatındadır. GNSS ölçülerinin değerlendirilmesi için kullanılan GrafNav programı ise statik ve kinematik verileri *.gpb formatında okumakta olup, bu nedenle proje oluşturulmadan önce verilerin format dönüşümlerinin yapılması gerekmektedir. Bu işlem için GrafNav programının içerisinde veri dönüştürücüsü (converter) bulunmaktadır (Şekil 5.19).

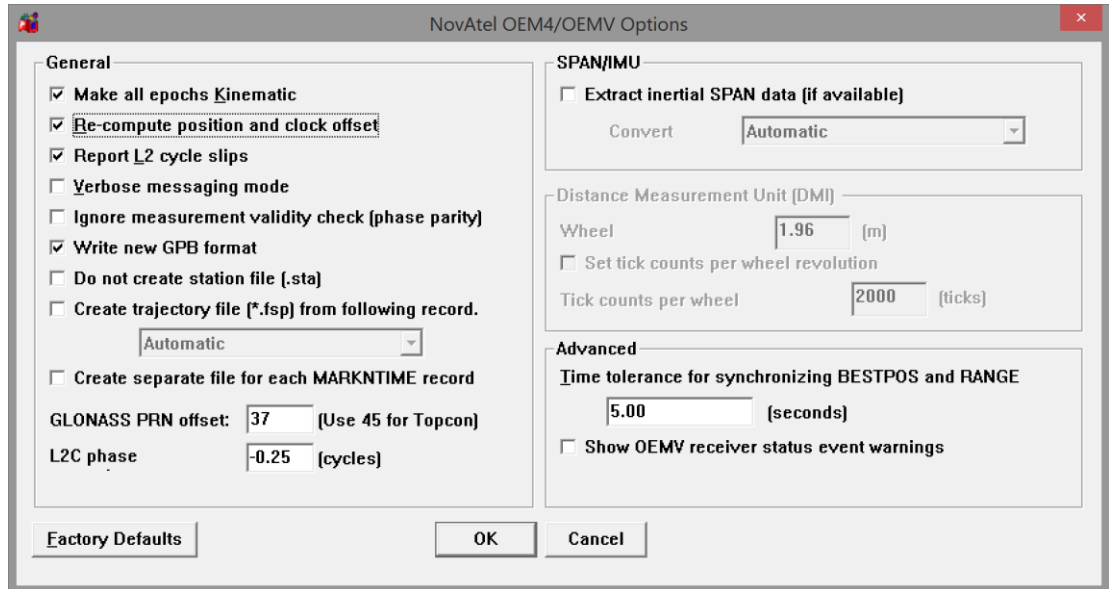


Şekil 5.19: GNSS verisi format dönüşüm modülü.

AeroOffice programında oluşturulan *.nov uzantılı kinematik GNSS verileri convert modülüne aktarılarak anten ve alıcı özellikleri tanımlanır (Şekil 5.20). Aktarılan verilerin dönüşüm parametreleri tanımlanarak saat ve konum ofset değerlerinin yeniden hesaplatılması sağlanır (Şekil 5.21).

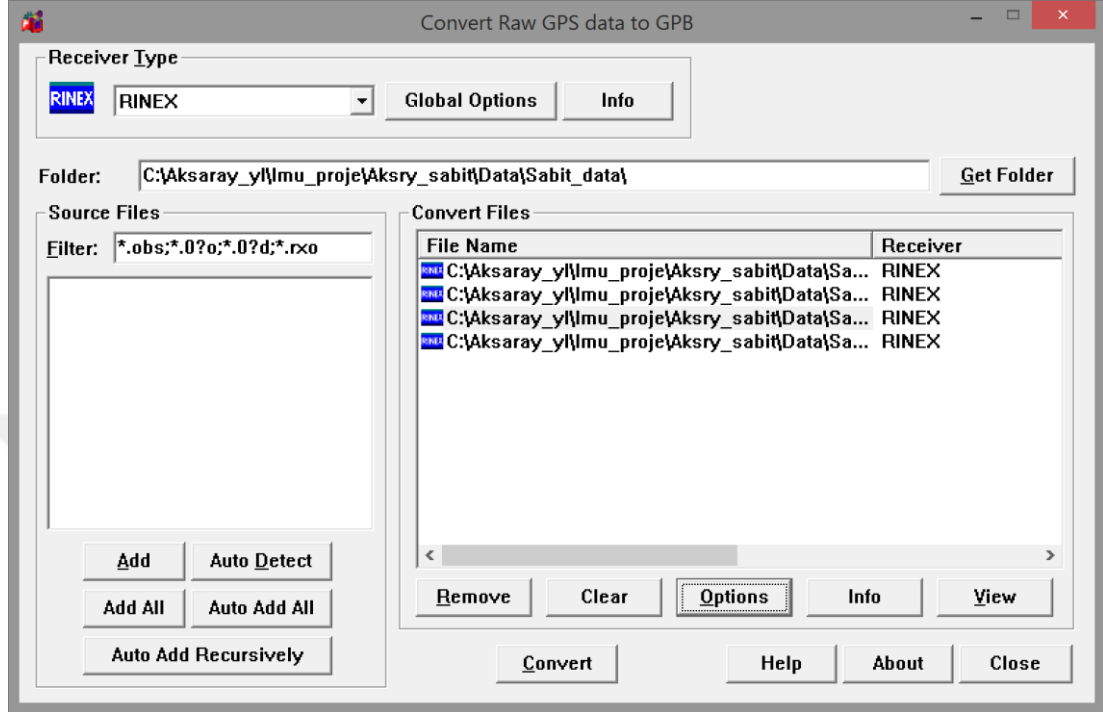


Şekil 5.20: GNSS verisi format dönüşümü.



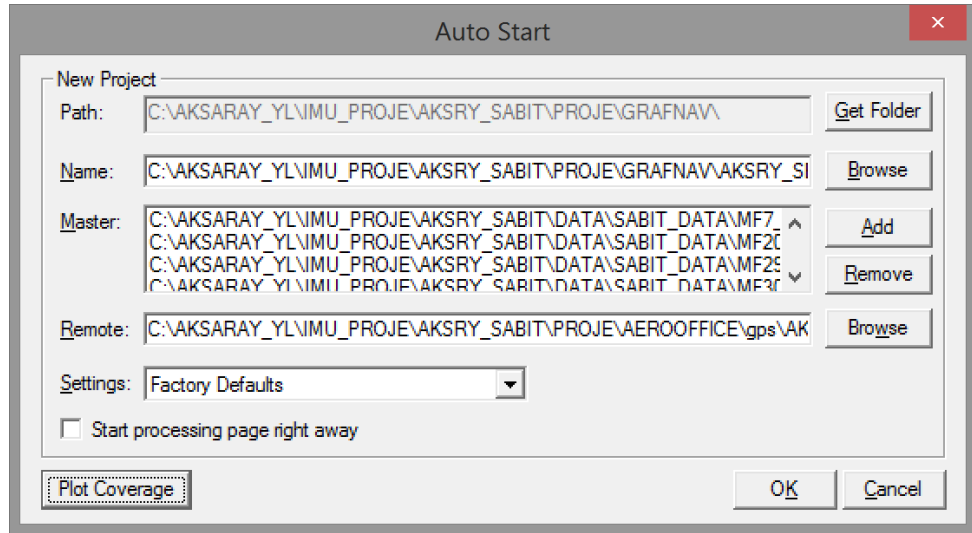
Şekil 5.21: GNSS veri dönüşüm parametreleri.

Veri dönüştürme işlemleri proje içerisinde referans olarak kullanılacak noktaların RINEX formatındaki verileri içinde yapılarak veri dönüşüm işlemleri tamamlanır (Şekil 5.22).

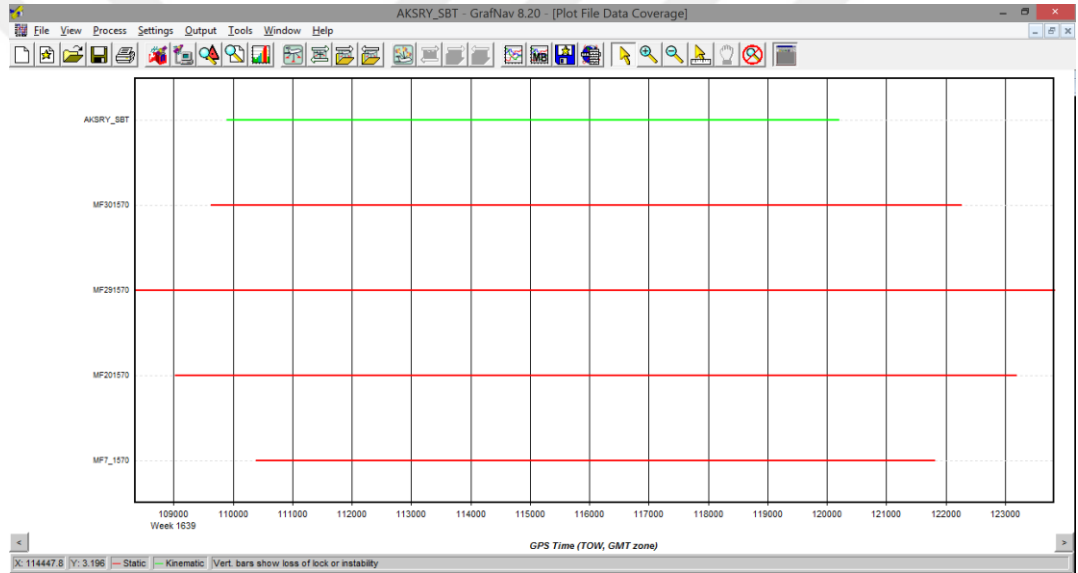


Şekil 5.22: RINEX verilerinin GPB formatına dönüşümü.

Veri dönüşümlerinin tamamlanmasından sonra programda “File - New Project - Auto Start” işlem adımları takip edilerek proje ismi, kayıt klasörü ve GNSS ölçülerinin bulunduğu dosya bilgileri girilerek yeni proje oluşturulur (Şekil 5.23). Referans noktaların ve kinematik verilerin ölçü zamanlarını kontrol etmek ve eş zamanlı olmayan verileri değerlendirme dışı bırakmak için “PlotCovarge” butonu kullanılır (Şekil 5.24).



Şekil 5.23: Yeni proje oluşturulması.



Şekil 5.24: GNSS verisi ölçü zamanları.

GNSS değerlendirme projesinde referans olarak kullanılacak noktaların, değişmez olarak alınacak koordinat değerleri, GNSS anten bilgileri ve anten yükseklik değerleri girilir (Şekil 5.25).

Auto Start

Master

Base Station

3: MF291570 Name: MF291570 ☐ Disabled

File: C:\AKSARAY_YL\IMU_PROJE\AKSRY_SABIT\DATA\SABIT_D\

Coordinates

Latitude: North 38 21 46.48975 Enter Grid Coordinates

Longitude: East 34 00 17.03520

Ellipsoidal Height: 994.762 (m) Enter MSL Hgt

Datum: WGS84 Datum Options

Select From Favorites Add To Favorites Use Average Position

Antenna Height

☐ Use simple vertical antenna height (to L1 phase centre)

Vertical antenna height: 1.649 (m)

☒ Use advanced method (requires antenna profile)

Antenna height measurement: 1.415 (m) Define

Antenna profile: TPSGR3 Info

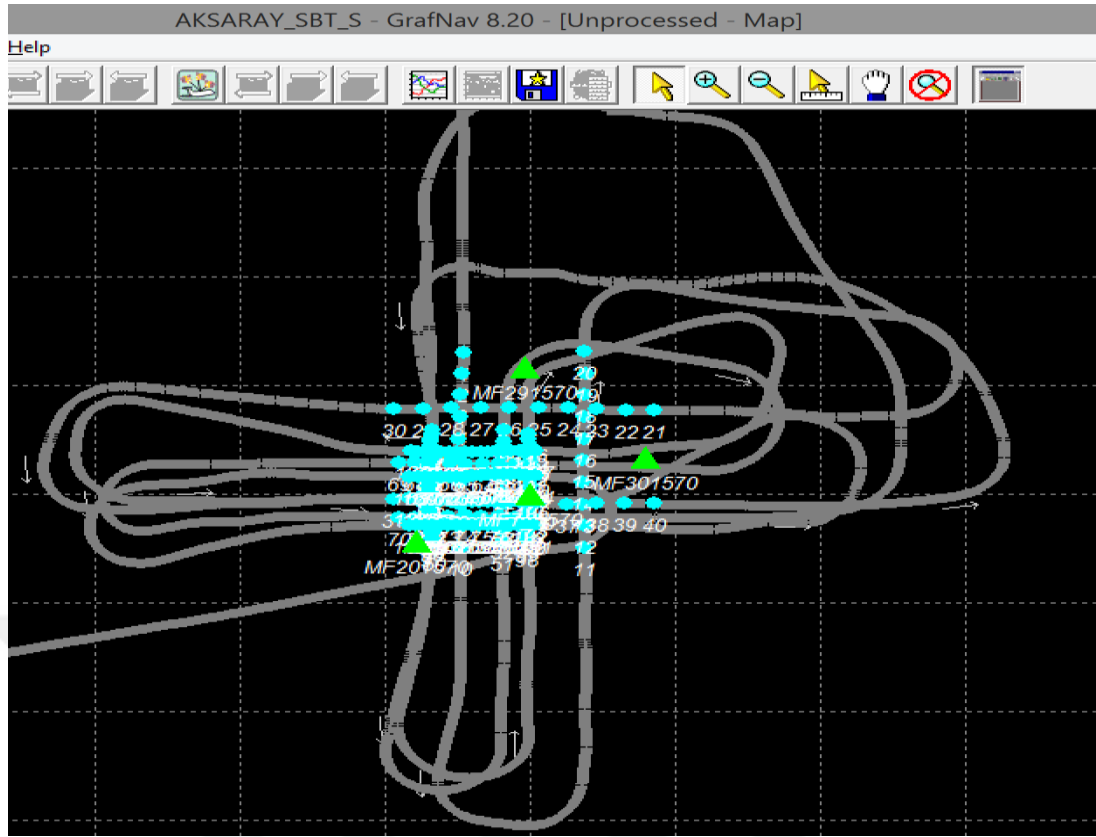
☐ Slant distance measured to ground plane

☐ Measurement directly to L1 phase centre Get from File

Tamam İptal

Şekil 5.25: Referans noktalar koordinat girişi.

Değerlendirme işlemleri öncesi proje grafik görünümünden kinematik verilerin sürekliliği, veri başlangıç ve kapanış konumları ile referans noktalarının konumları kontrol edilir (Şekil 5.26).



Şekil 5.26: Ön değerlendirme görüntüsü.

Ön kontrol aşamalarından sonra programın “Process - DifferentialProcess” menüsünden diferansiyel process parametreleri tanımlanır. Programın bu fonksiyonu kinematik process çözümlemesi için geniş alternatifleri barındırmaktadır (Şekil 5.27). Her referans noktası ya da kinematik alıcısı için ayrı ayrı parametre değiştirme imkanı bulunmaktadır (Şekil 5.28). Kullanılacak parametrelere, referans noktalarının sayısı, konumu ve kinematik verinin geometrisi gibi değişkenlere göre karar verilerek, alınan sonuçlara göre optimum parametreler tespit edilir.

Process Differential GNSS

Measurement | Ionosphere/L2 | Fixed Static | GLONASS | User Cmds

Process | General | Advanced 1 | Advanced 2 | KAR | ARTK | Engage

Process Direction

☒ Both ☐ Forward ☐ Reverse

Process Data Type

☒ Automatic ☐ Single frequency carrier phase ☐ C/A code only (DGPS)

☐ Dual Frequency carrier phase ☐ Occupation mode

Static Initialization

☒ Float solution or KAR (see KAR options, engage in static) ☐ Fixed static solution (for each static session, see general options)

Integer Ambiguity Resolution

☒ Automatic ☐ Off ☐ On ☐ Manual engage only Using ARTK

GPS+Glonass Processing

☒ Automatic ☐ GPS only ☐ GPS+GLONASS

Process Information

Desc: Run (1) User: Unknown

Process İptal Uygula

Şekil 5.27: GNSS değerlendirme parametreleri.

Process Differential GNSS

Process | General | Advanced 1 | Advanced 2 | KAR | ARTK | Engage

Measurement | Ionosphere/L2 | Fixed Static | GLONASS | User Cmds

Measurement Standard Deviations

Values are for:

Code: 4.00 (m)

Carrier phase: 0.020 (m) ☒ Adjust for iono

Doppler: 1.000 (m/s) ☒ Automatic

Level: Normal

Distance Effects (PPM error added to measurement SDs)

Distance effect amount: Very Low Horizontal PPM: 0.15

Vertical PPM: 4.00

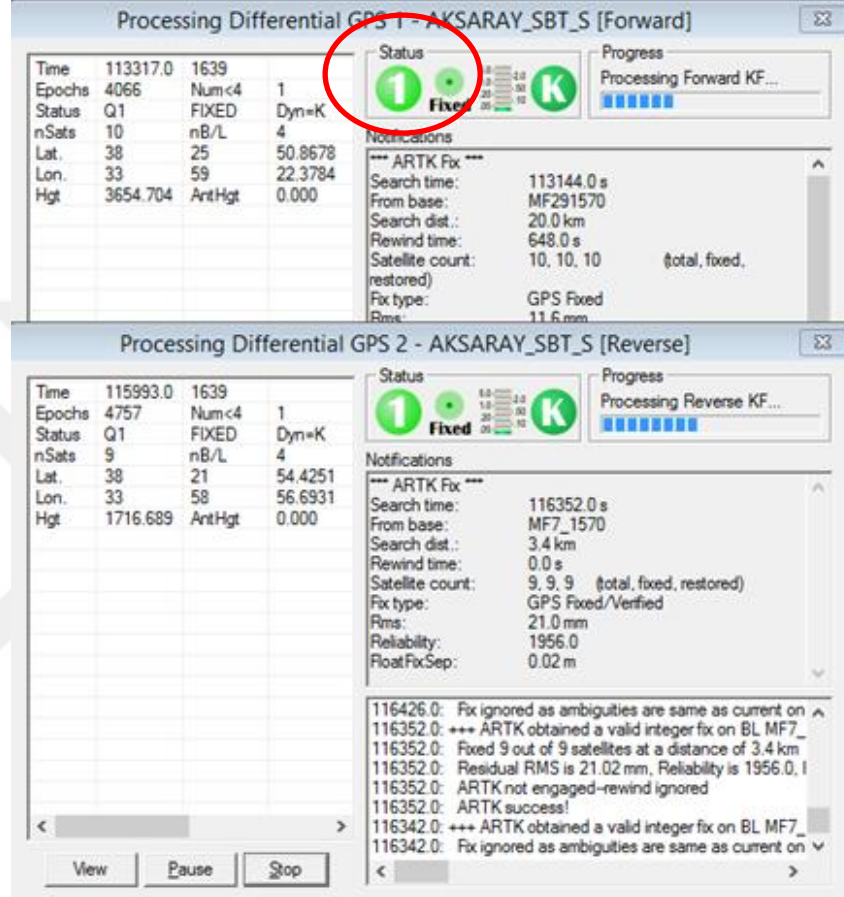
☐ Disable baselines when distance becomes greater than: 250 (km)

Process İptal Uygula

Şekil 5.28: Referans nokta parametreleri.

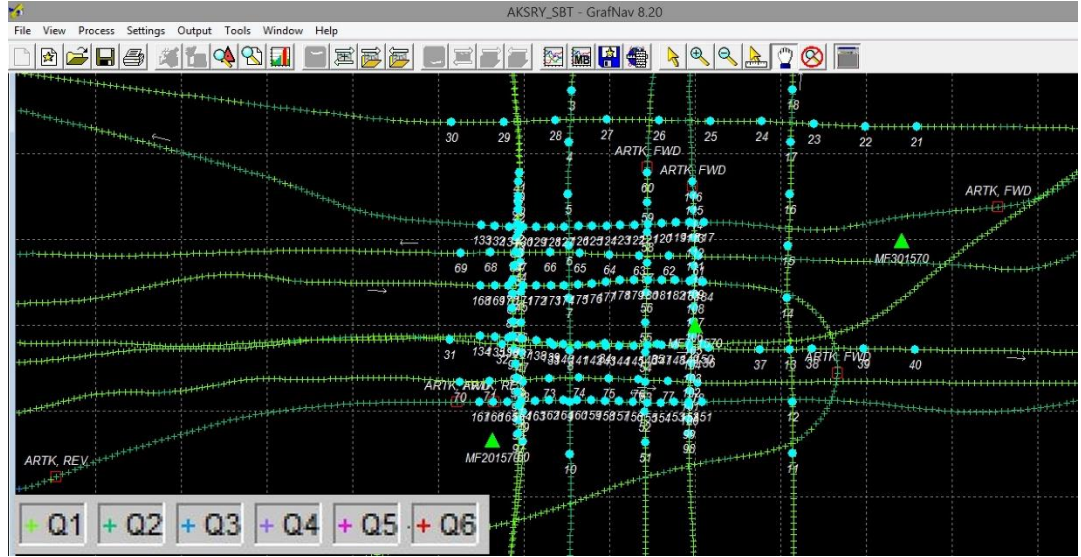
Program kinematik GNSS veri değerlendirmesini aynı anda iki farklı şekilde yapmakta ve sonuçlar değerlerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmaktadır.

Kinematik ölçülerin başlangıç zamanından bitiş zamanına kadar yapılan değerlendirme işlemi ileri, bitiş zamanından başlangıç zamanına kadar yapılan değerlendirme işlemi geri değerlendirme olarak adlandırılır. Yapılan değerlendirme işleminin kalite analizi için elde edilen sonuçlar 1 ile 5 arasında (1 En iyi) gruplandırılarak “status” tanımlaması yapılmıştır (Şekil 5.29).



Şekil 5.29: GNSS değerlendirme işlemi ekran görüntüsü.

Grafik ekranda fotoğraf çekim anında üretilen noktalar ve bu noktaların process sonrası çözüm kalitesini gösteren renklendirmeler yardımıyla ön analiz yapılabilmektedir (Şekil 5.30). Noktalara ait bilgi menüsünde ayrıntılı çözüm bilgilerine, coğrafi koordinat değerlerine ve bu koordinat değerlerine ilişkin standart sapma değerlerine ulaşılabilir (Şekil 5.31).



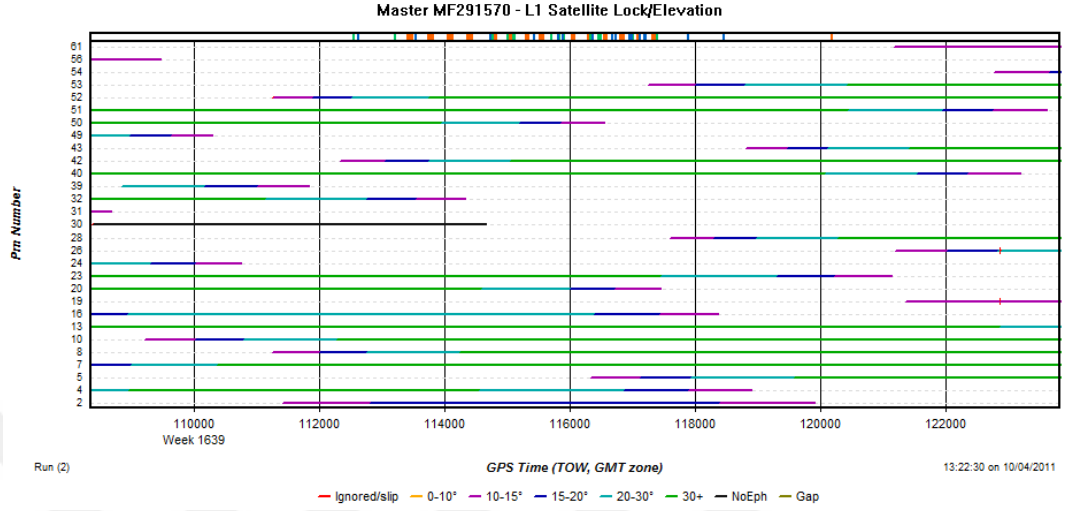
Şekil 5.30: GNSS değerlendirme sonrası ekran görüntüsü.

Camera Event Mark Info		
Name:	184	
Time:	117356.9327	08:35:56.933
Status:	ValidSolution	
Latitude:	38 20 09.41913	
Longitude:	34 00 25.73491	
Ell. Height:	1717.181 m	
GridX:	-393937610.072 (metres)	
GridY:	-18086046.340 (metres)	
GridZ:	1717.181 (metres)	
Grid:	UTM, Zone 1	
AntHgt:	0.000 m, to L1-PC (Generic)	
Quality:	2	DD_DOP: 0.950
NumSats:	9	Amb: FIXED
EstSD(e,n,h):	0.014, 0.023, 0.028 m	
Desc/Info:	CAMERA PULSE	
Remarks:		
Att: NONE		
<button>Tamam</button>		

Şekil 5.31: Nokta özet bilgileri.

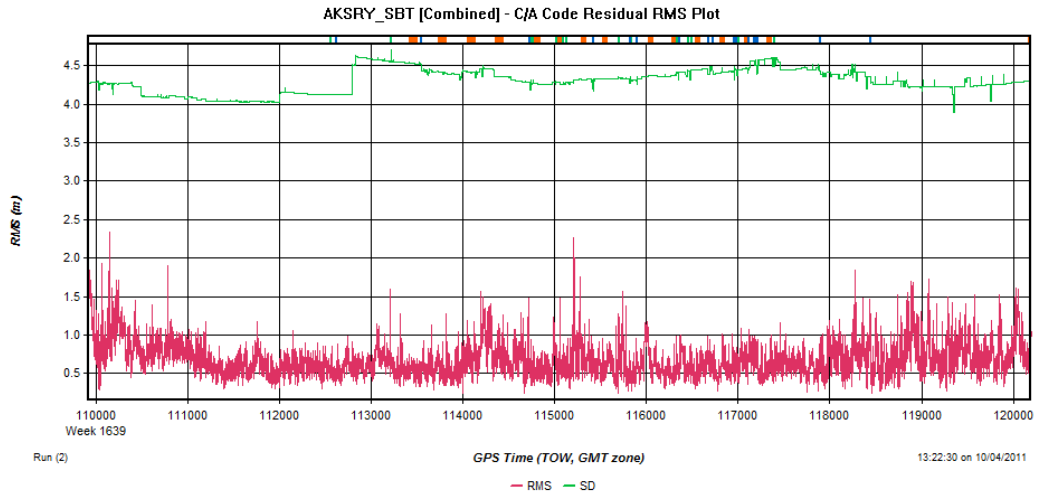
Değerlendirme sonuçlarının ve farklı çözüm parametrelerinin analiz edilebilmesi için sinyal atlaması ve uydu yükseklik açısı, kod ölçülerine ilişkin Karesel Ortalama Hata (KOH), değerlendirme kalitesi faktörü ve konum doğruluk grafikleri hazırlanabilmektedir. Referans noktalarında ve kinematik alıcıda toplanan GNSS

verilerinde, meydana gelebilecek sinyal atlaması ve uydu yükseklik açılarının analiz edildiği grafik yardımıyla çözüm sonucunu olumsuz olarak etkileyebilecek noktalar ve zaman aralıkları tespit edilebilmektedir (Şekil 5.32).



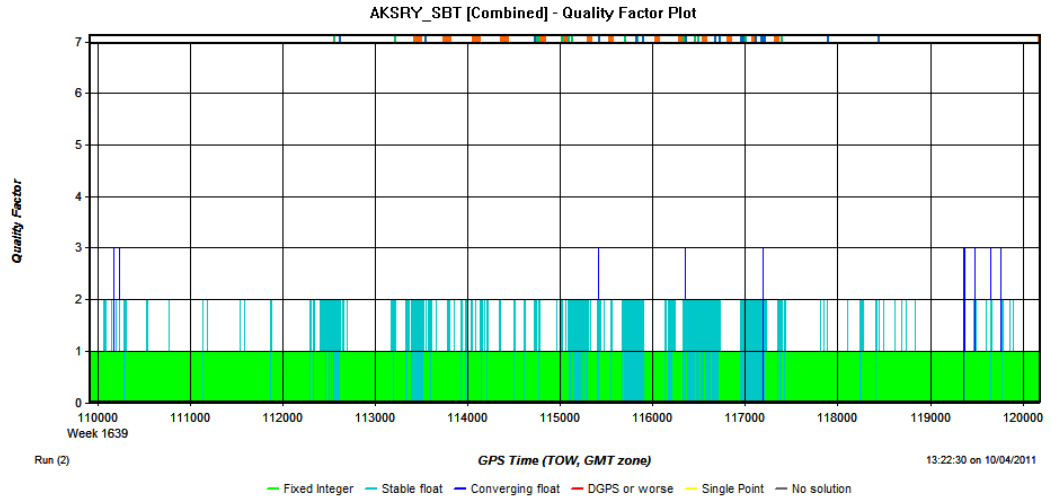
Şekil 5.32: Referans noktalar uydu durumu.

İleri ve geri değerlendirmelerden elde edilen kod ölçülerine ilişkin KOH grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 5.33).

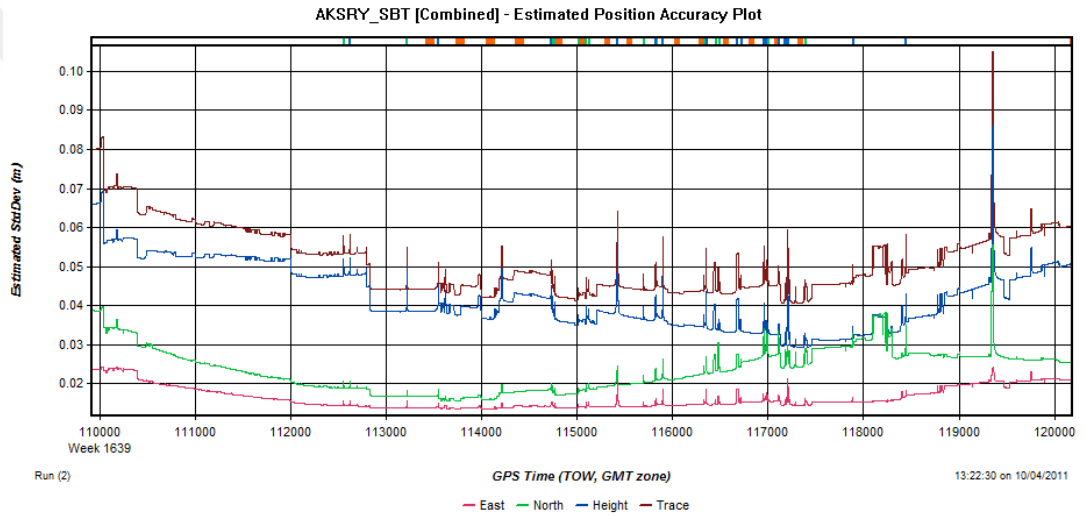


Şekil 5.33: Kod ölçülerine ilişkin KOH grafiği.

Değerlendirme sonuçlarına ilişkin kalite faktör grafiği (Şekil 5.34) ve noktalara ait konum doğruluk grafiği (Şekil 5.35) kullanılarak analizler tamamlanmıştır.

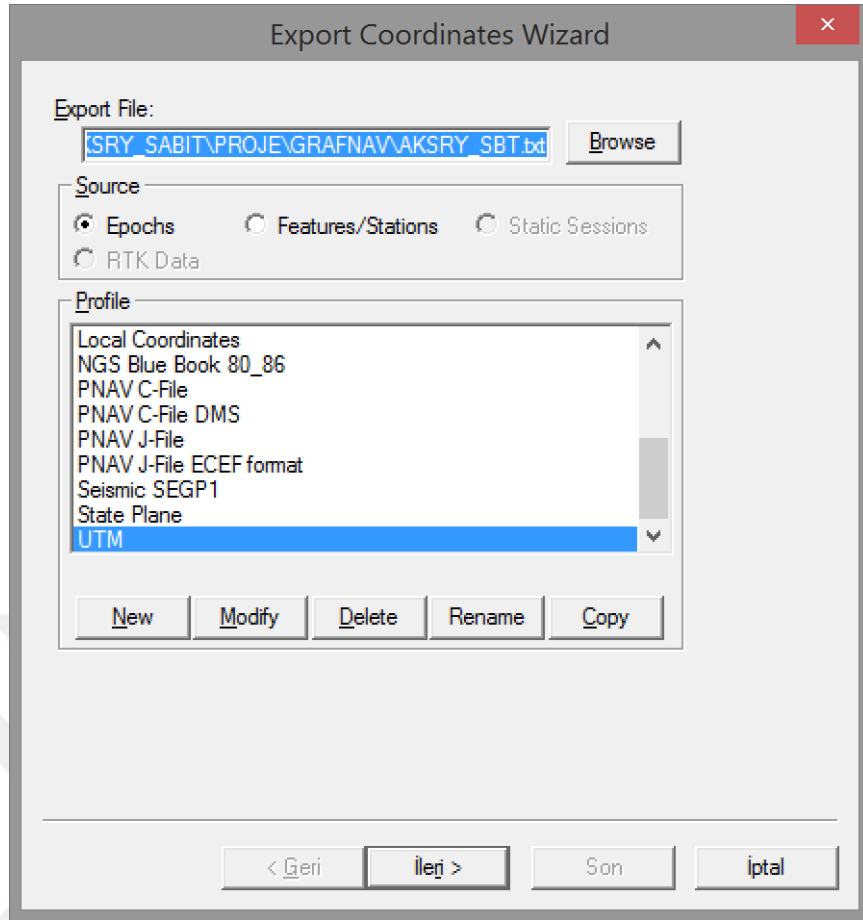


Şekil 5.34: Noktalara ait çözüm kalitesi grafiği.



Şekil 5.35: Konum doğruluk grafiği.

Değerlendirmelerin tamamlanmasından sonra elde edilen sonuçlara ilişkin çıktı dosyaları GrafNAV programında kullanılmak üzere uygun formatta oluşturulur (Şekil 5.36).



Şekil 5.36: Sonuç çıktısı oluşturulması.

Oluşturulan ASCII formatında dosyanın içerisinde nokta bilgileri bulunmazken, GPS Time, coğrafi koordinatlar, hız bileşenleri ve bu parametrelere ilişkin değerlendirme kalitesi ile standart sapma değerleri yer almaktadır. Fotoğraf çekim noktalarının koordinat ve dönüklük bilgileri çıktı dosyasında yer alan parametreler kullanılarak AeroOffice programında GPS zamanı eşleştirilmesiyle hesaplanmaktadır.

7 cm, 15 cm ve 25 cm GSD için yapılan SBT yöntemi ile GNSS ölçülerinin değerlendirme işlemi farklı uçuş yüksekliklerinde ölçmeler gerçekleştirilse bile veri alma işleminin kesintisiz devam etmesi nedeniyle tek proje içerisinde değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuç dosyası örneği aşağıda verilmektedir (Şekil 5.37).

```

Project:      AKSRY_SBT
Program:      GrafNav Version 8.20.0522
Profile:      IGI AEROCTRL
Source:       GPS Epochs(Combined)
ProcessInfo:  Run (2) by Unknown on 10/04/2011 at 13:22:30

Datum:        ITRF96, (conversion ITRF96 to ITRF96 (Same))
Master 1:     Name MF7_1570, Status ENABLED
               Antenna height 1.499 m, to L1-PC (TPSGR3, SLANT MeasDist 1.265 m to mark/ARP)
               Position 38 19 53.36726, 34 00 21.77602, 988.762 m (ITRF96, Ellipsoidal hgt)
               Position 38 19 53.36726, 34 00 21.77602, 988.762 m (ITRF96, Ellipsoidal hgt)
Master 2:     Name MF201570, Status ENABLED
               Antenna height 1.629 m, to L1-PC (TPSGR3, SLANT MeasDist 1.395 m to mark/ARP)
               Position 38 19 10.57230, 33 58 44.96053, 990.418 m (ITRF96, Ellipsoidal hgt)
               Position 38 19 10.57230, 33 58 44.96053, 990.418 m (ITRF96, Ellipsoidal hgt)
Master 3:     Name MF291570, Status DISABLED
               Antenna height 1.649 m, to L1-PC (TPSGR3, SLANT MeasDist 1.415 m to mark/ARP)
               Position 38 21 46.48975, 34 00 17.03519, 994.762 m (ITRF96, Ellipsoidal hgt)
               Position 38 21 46.48975, 34 00 17.03519, 994.762 m (ITRF96, Ellipsoidal hgt)
Master 4:     Name MF301570, Status ENABLED
               Antenna height 1.834 m, to L1-PC (TPSGR3, SLANT MeasDist 1.600 m to mark/ARP)
               Position 38 20 25.18885, 34 02 00.41111, 991.918 m (ITRF96, Ellipsoidal hgt)
               Position 38 20 25.18885, 34 02 00.41111, 991.918 m (ITRF96, Ellipsoidal hgt)
Remote:       Antenna height 0.000 m, to L1-PC (Generic)
SD/Covariance Scaling Settings:
Position: No scaling (1-sigma)
Velocity: No scaling (1-sigma)
Increase SD on kinematic float: No

GPSTime,NS,Q,Latitude,Longitude,H-Ell,VNorth,VEast,VUp,SDNorth,SDEast,SDHeight,SD-VN,SD-VE,SD-VH
(sec),,(Deg),(Deg),(m),(m/s),(m/s),(m/s),(m),(m),(m),(m/s),(m/s),(m/s)
109896.00,8,1,40.142176540,33.001371697,986.542,0.027,0.018,-0.054,0.038,0.023,0.065,0.598,0.430,0.872
109897.00,8,1,40.142176496,33.001371689,986.555,-0.014,0.002,0.062,0.038,0.023,0.065,0.598,0.430,0.872
109898.00,8,1,40.142176521,33.001371608,986.541,0.016,-0.010,-0.045,0.039,0.024,0.066,0.598,0.430,0.872

```

Şekil 5.37: SBT yöntemi GNSS değerlendirme sonuç çıktı dosyası örneği.

5.6.5 VRS yöntemi ile kinematik GNSS verilerinin değerlendirilmesi

Sanal Referans Noktalar yöntemi ile GNSS verilerinin değerlendirilmesinde, çalışma kapsamında kullanılan 4 adet referans noktasının bölüm 5.6.1’de elde edilen koordinat değerleri için TUSAGA-Aktif sisteminden statik sanal referans noktaları oluşturulmuştur. Aynı koordinat değerlerine sanal referans istasyon verisi oluşturulmasının nedeni ağ geometrisinden kaynaklanabilecek değerlendirme farklılıklarını elemine etmektir.

Sanal referans nokta oluşturma işlemi TUSAGA-Aktif sisteminin Türkiye geneline yayılmış olan istasyonların verileri kullanılarak sistemin yazılımı tarafından üretilmektedir. Sistem yazılımı anlık (real time) yayınladığı düzeltme değerleri ile istasyonların GNSS verilerini kullanarak istenilen koordinata RINEX formatında statik sanal referans verisi üretmektedir. Program, RINEX verisi içerisindeki anten bilgisini TUSAGA-Aktif sisteminde kullanılan anten modellerinden birisini seçerek anten yükseklik değeri 0 olacak şekilde üretir.

GNSS değerlendirme yazılımı GrafNav’da VRS yöntemi ile GNSS ölçülerinin değerlendirmesinde izlenecek işlem adımları SBT yöntemi ile aynıdır. Ancak, referans noktası verisi olarak üretilmiş olan VRS noktalarına ait RINEX

formatındaki veriler *.gpb formatına dönüştürülerek program içerisindeki proje dosyasına aktarılır (Şekil 5.38).

Edit Station Info

Master

Base Station

1: MF7_1570 Name: MF7_1570 ☐ Disabled

File: C:\Aksaray_yi\lmu_proje\Aksry_vrs\Data\Vrs_data\MF7_1570 (re:

Coordinates

Latitude: North 38 19 53.36726 Enter Grid Coordinates

Longitude: East 34 00 21.77602

Ellipsoidal Height: 988.762 (m) Enter MSL Hgt

Datum: ITRF96 Datum Options

Select From Favorites Add To Favorites Use Average Position

Antenna Height

☐ Use simple vertical antenna height (to L1 phase centre)

Vertical antenna height: 0.000 (m)

☒ Use advanced method (requires antenna profile)

Antenna height measurement: 0.000 (m) Define

Antenna profile: TRM55971.00 Info

☐ Slant distance measured to ground plane

☒ Measurement directly to L1 phase centre Get from File

Tamam İptal

Şekil 5.38: VRS istasyon verisi projeye aktarımı.

VRS yöntemi ile yapılacak GNSS veri değerlendirme stratejisi, SBT yöntemi ile GNSS verilerinin değerlendirilmesi ile aynıdır. Verilerin değerlendirmesinden sonra elde edilen sonuçlar gerekli analizler sonrasında GrafNAV programına uygun formatta çıktı dosyası oluşturulur.

7 cm, 15 cm ve 25 cm GSD için yapılan VRS yöntemi ile GNSS ölçülerinin değerlendirme işlemi farklı uçuş yüksekliklerinde ölçmeler gerçekleştirilse bile veri alma işleminin kesintisiz devam etmesi nedeniyle tek proje içerisinde

değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuç dosyası örneği aşağıda sunulmuştur (Şekil 5.39).

```
Project: AKSRY_VRS
Program: GrafNav Version 8.20.0522
Profile: IGI AEROCtrl
Source: GPS Epochs(Combined)
ProcessInfo: Run (1) by Unknown on 09/11/2011 at 00:37:59

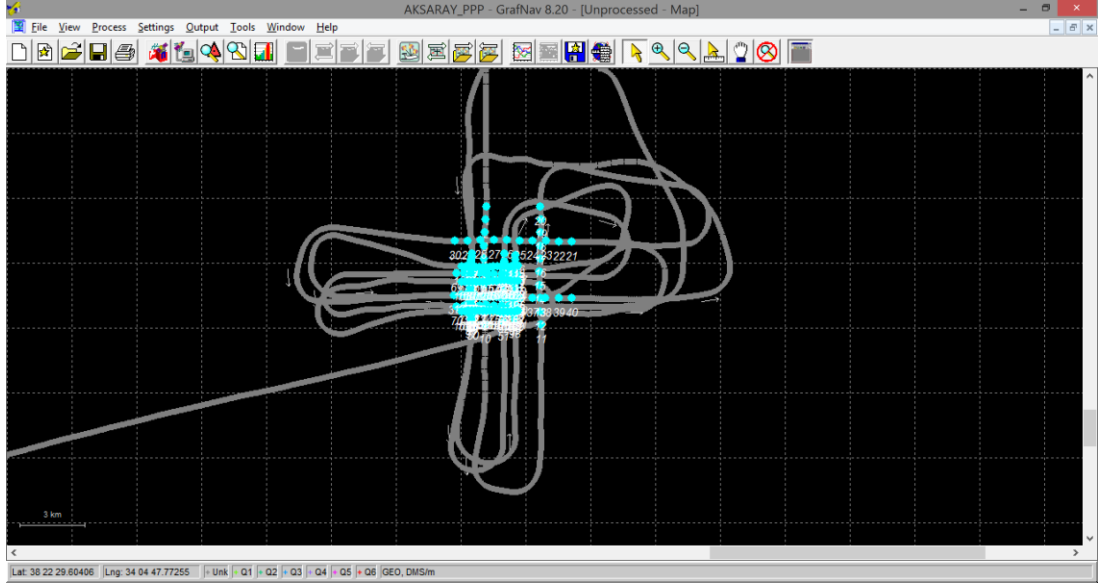
Datum: ITRF96, (conversion ITRF96 to ITRF96 (Same))
Master 1: Name MF7_1570, Status ENABLED
          Antenna height 0.000 m, to L1-PC (TRM55971.00, MeasDist 0.000 m to PC)
          Position 38 19 53.36726, 34 00 21.77602, 988.762 m (ITRF96, Ellipsoidal hgt)
          Position 38 19 53.36726, 34 00 21.77602, 988.762 m (ITRF96, Ellipsoidal hgt)
Master 2: Name MF201570, Status ENABLED
          Antenna height 0.000 m, to L1-PC (TRM55971.00, MeasDist 0.000 m to PC)
          Position 38 21 46.48975, 34 00 17.03519, 994.762 m (ITRF96, Ellipsoidal hgt)
          Position 38 21 46.48975, 34 00 17.03519, 994.762 m (ITRF96, Ellipsoidal hgt)
Master 3: Name MF291570, Status ENABLED
          Antenna height 0.000 m, to L1-PC (Generic)
          Position 38 19 10.57230, 33 58 44.96053, 990.418 m (ITRF96, Ellipsoidal hgt)
          Position 38 19 10.57230, 33 58 44.96053, 990.418 m (ITRF96, Ellipsoidal hgt)
Master 4: Name MF301570, Status ENABLED
          Antenna height 0.000 m, to L1-PC (TRM55971.00, MeasDist 0.000 m to PC)
          Position 38 20 25.18885, 34 02 00.41111, 991.918 m (ITRF96, Ellipsoidal hgt)
          Position 38 20 25.18885, 34 02 00.41111, 991.918 m (ITRF96, Ellipsoidal hgt)
Remote: Antenna height 0.000 m, to L1-PC (Generic)
SD/Covariance Scaling Settings:
  Position: No scaling (1-sigma)
  Velocity: No scaling (1-sigma)
  Increase SD on kinematic float: No

GPSTime,NS,Q,Latitude,Longitude,H-Ell,VNorth,VEast,VUp,SDNorth,SDEast,SDHeight,SD-VN,SD-VE,SD-VH
(sec),,(Deg),(Deg),(m),(m/s),(m/s),(m/s),(m),(m),(m),(m/s),(m/s),(m/s),(m/s),(m/s),(m/s)
109896.00,9,3,40.142175890,33.001371431,986.552,-0.102,0.020,0.731,0.030,0.021,0.050,0.499,0.385,0.741
109897.00,9,3,40.142175871,33.001371444,986.549,0.252,0.207,-0.713,0.030,0.021,0.051,0.499,0.385,0.741
109898.00,9,3,40.142175866,33.001371442,986.543,-0.357,-0.344,0.531,0.031,0.021,0.051,0.499,0.384,0.741
```

Şekil 5.39: VRS yöntemi GNSS değerlendirmesi sonuç çıktı dosyası örneği.

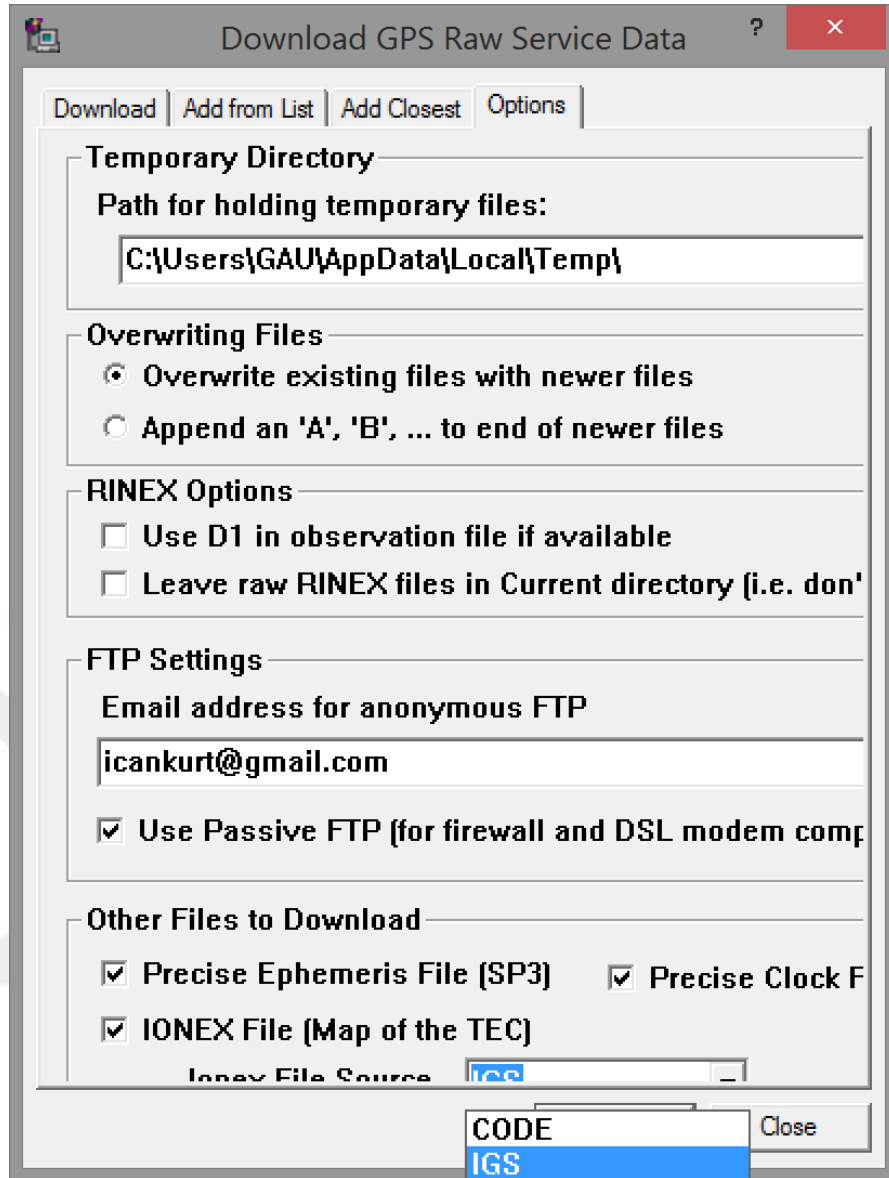
5.6.6 PPP yöntemi ile kinematik GNSS verilerinin değerlendirilmesi

Hassas konum belirleme (PPP) Yöntemi İle kinematik GNSS verilerinin değerlendirmesi yönteminde referans istasyon verisi kullanılmadığından projeye sadece kinematik GNSS verileri *.gbp formatına dönüştürülerek aktarılır. Verilerin aktarılmasından sonra bu yöntemde referans noktası kullanılmaması nedeniyle grafik ekrandan sadece kinematik verilerde eksiklik olup olmadığı kontrol edilmiştir (Şekil 5.40).



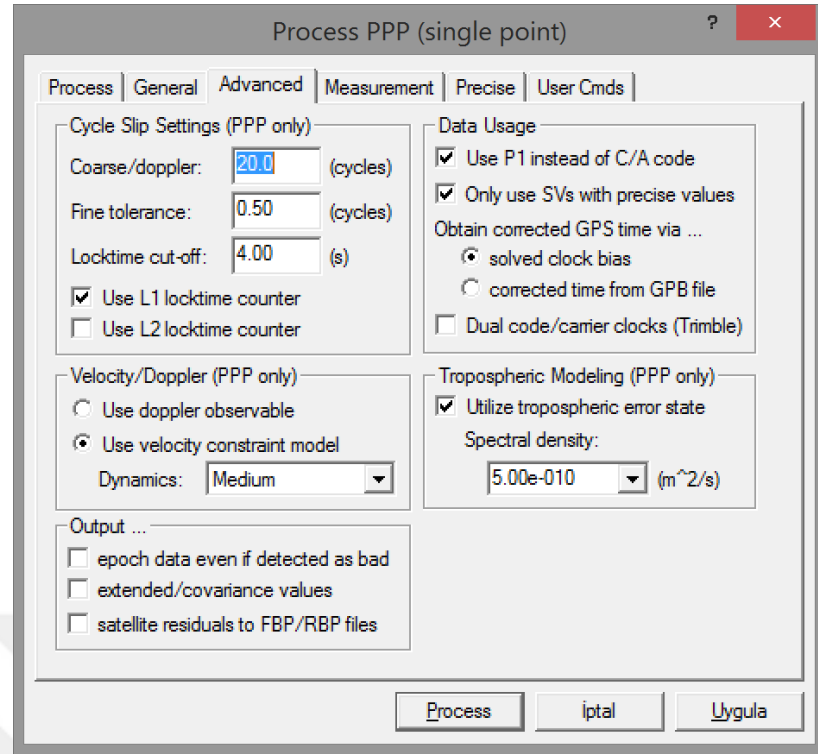
Şekil 5.40: Kinematik verilerin grafik görünümü.

PPP yöntemi ile değerlendirme yapılabilmesi için ölçü yapılan güne ait hassas uydu yörünge ve uydu saat verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Hassas uydu yörünge ve uydu saat verilerinin indirilebilmesi için GrafNav programında “Tools – Download Service Data” yoluyla ulaşılabilen bir modül bulunmaktadır (Şekil 5.41). Ölçü yapılan gün, servis sağlayıcısı ve dosya kayıt yolu bilgileri girilerek veriler indirilebilmektedir. Değerlendirme işlemlerinde kullanmak üzere Avrupa Yörünge Belirleme Merkezi (Centrefor Orbit Determination in Europe-CODE) servis sağlayıcısından “cod16391.clk, cod16391.clk_05s ve cod16391.sp3” dosyaları indirilerek projeye aktarılmıştır.

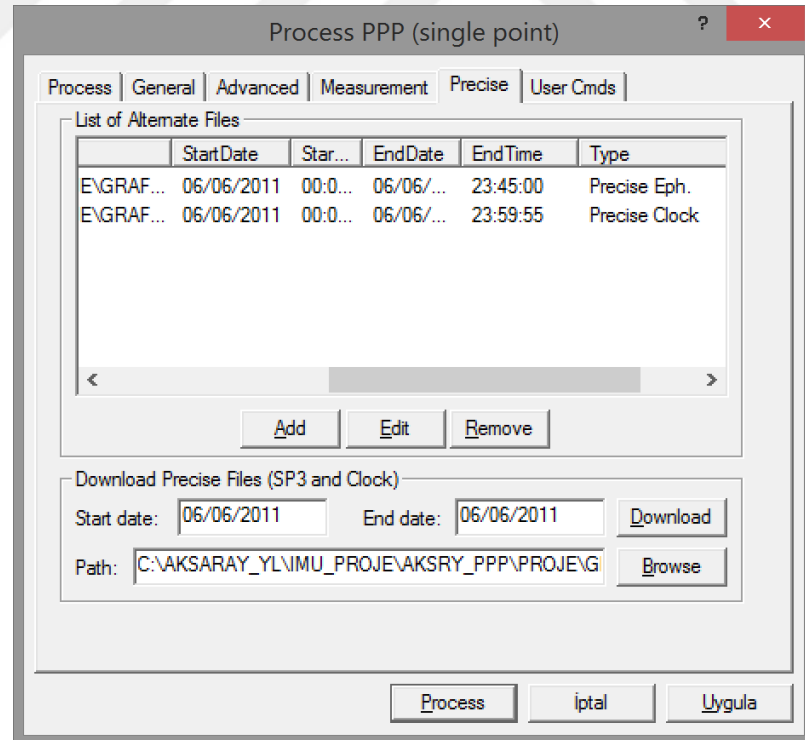


Şekil 5.41: Hassas uydu yörünge ve uydu saat verisi indirme modülü.

Kinematik GNSS verilerinin ve Hassas uydu yörünge/saat verilerinin projeye aktarılmasından sonra “Process PPP (Single Position)” menüsünden değerlendirme işlemlerine başlanmıştır. Ayrıca, menü içerisinde değerlendirme işlemlerinde kullanılacak L1, L2 frekansları ve kod ölçülerine ilişkin parametre değişiklikleri yapılabilmektedir (Şekil 5.42). Ayrıca, kullanılacak olan hassas yörünge ve uydu saat bilgileri kontrol edilebilmekte ihtiyaç duyulduğu durumda yeniden indirilebilmektedir (Şekil 5.43).



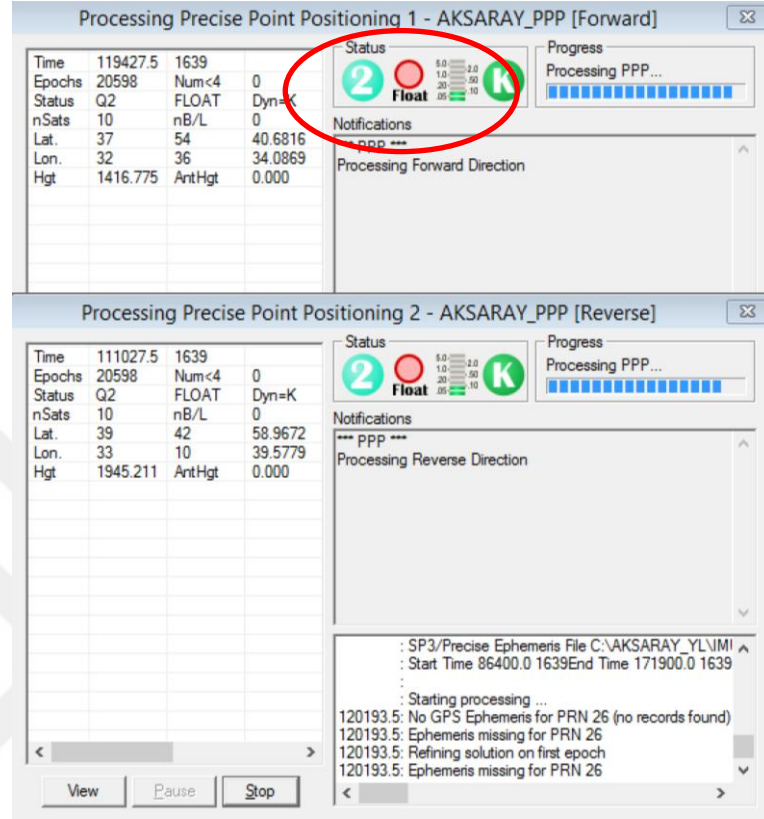
Şekil 5.42: PPP değerlendirme menüsü.



Şekil 5.43: Hassas uydu yörünge ve uydu saat bilgilerinin kontrolü.

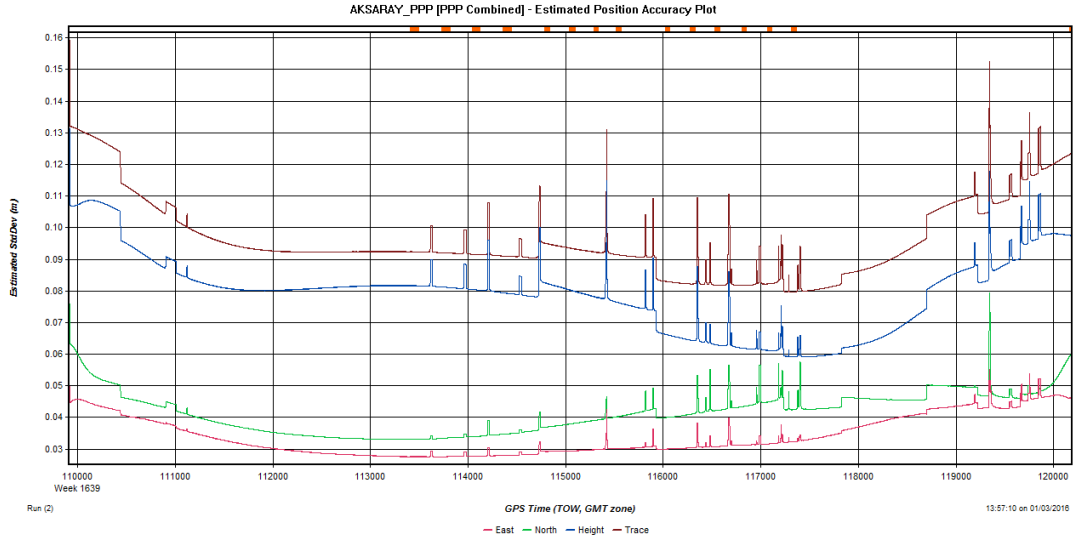
GrafNAV yazılımı ile kinematik GNSS veri değerlendirmesi aynı anda iki farklı yönde (ileri-geri) yapılmakta ve sonuçlar değerlerin aritmetik ortalaması alınarak

hesaplanmaktadır. PPP ile veri değerlendirme yönteminde sonuçlar “Float” olarak elde edilirken, SBT ve VRS yöntemleri ile değerlendirmelerde sonuçlar “Fixed” olarak elde edilmektedir (Şekil 5.44).

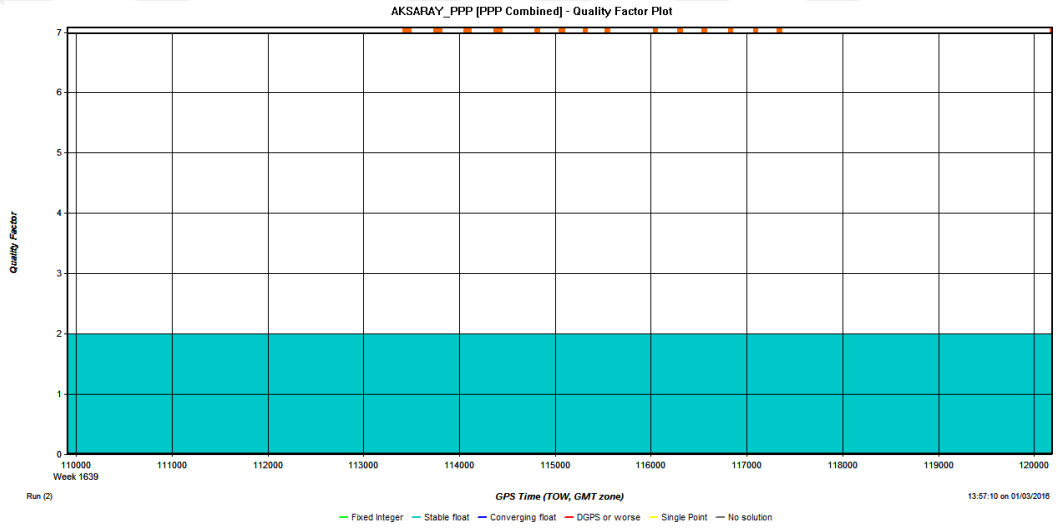


Şekil 5.44: PPP GNSS değerlendirme ekran görüntüsü.

Değerlendirme sonuçlarına ilişkin SBT yöntemi ile GNSS çözüm stratejisine benzer analizler yapılmış, değerlendirme kod ölçü parametreleri değiştirilerek değerlendirmeler yenilenmiştir. PPP yöntemine ile elde edilen nokta konum doğruluk grafiği (Şekil 5.45) ve değerlendirme kalitesi faktör grafiği (Şekil 5.46) aşağıda sunulmuştur.



Şekil 5.45: PPP yöntemine ile elde edilen konum doğruluk grafiği.



Şekil 5.46: PPP yöntemine ile elde edilen noktalara ait çözüm kalitesi grafiği.

7 cm, 15 cm ve 25 cm GSD için yapılan PPP yöntemi ile GNSS ölçülerinin değerlendirme işlemi farklı uçuş yüksekliklerinde ölçmeler gerçekleştirilse bile veri alma işleminin kesintisiz devam etmesi nedeniyle tek proje içerisinde değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuç dosyası örneği aşağıda verilmektedir (Şekil 5.47).

```

Project:      AKSARAY_PPP
Program:      GrafNav Version 8.20.0522
Profile:      IGI AEROCTRL
Source:       GPS Epochs(PPP Combined)
ProcessInfo:  Run (1) by Unknown on 09/10/2011 at 23:53:00

Datum:        ITRF96, (conversion WGS84 to ITRF96 (810))
Remote:       Antenna height 0.000 m, to L1-PC (Generic)
SD/Covariance Scaling Settings:
  Position: No scaling (1-sigma)
  Velocity: No scaling (1-sigma)
  Increase SD on kinematic float: No

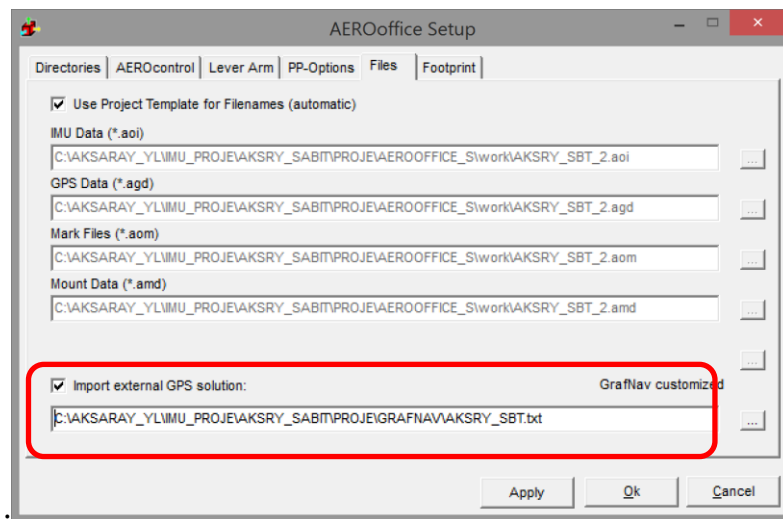
GPSTime,NS,Q,Latitude,Longitude,H-Ell,VNorth,VEast,VUp,SDNorth,SDEast,SDHeight,SD-VN,SD-VE,SD-VH
(sec),,,(Deg),(Deg),(m),(m/s),(m/s),(m/s),(m),(m),(m),(m/s),(m/s),(m/s)
109896.00,9,2,40.142176260,33.001373000,986.782,-0.003,-0.001,0.003,0.046,0.033,0.076,4.972,4.972,4.973
109896.50,9,2,40.142176256,33.001372994,986.781,-0.005,-0.001,0.009,0.068,0.052,0.103,4.973,4.973,4.974
109897.00,9,2,40.142176220,33.001372971,986.788,-0.001,0.002,-0.001,0.066,0.049,0.106,4.973,4.973,4.975
109897.50,9,2,40.142176216,33.001372992,986.789,0.001,-0.002,-0.006,0.066,0.049,0.106,4.973,4.973,4.975
109898.00,9,2,40.142176232,33.001372971,986.785,-0.001,0.000,-0.003,0.066,0.048,0.106,4.973,4.973,4.975
109898.50,9,2,40.142176225,33.001372970,986.783,0.000,0.000,-0.001,0.066,0.048,0.107,4.973,4.973,4.975
109899.00,9,2,40.142176210,33.001372969,986.783,0.005,-0.001,-0.004,0.066,0.048,0.107,4.973,4.973,4.975
109899.50,9,2,40.142176262,33.001372963,986.780,-0.004,-0.001,0.000,0.066,0.048,0.107,4.973,4.973,4.975
109900.00,9,2,40.142176230,33.001372953,986.781,0.001,0.000,-0.001,0.066,0.048,0.107,4.973,4.973,4.975
109900.50,9,2,40.142176238,33.001372950,986.781,0.003,0.000,-0.004,0.066,0.048,0.108,4.973,4.973,4.975

```

Şekil 5.47: PPP yöntemi GNSS değerlendirme sonuç çıktı dosyası örneği.

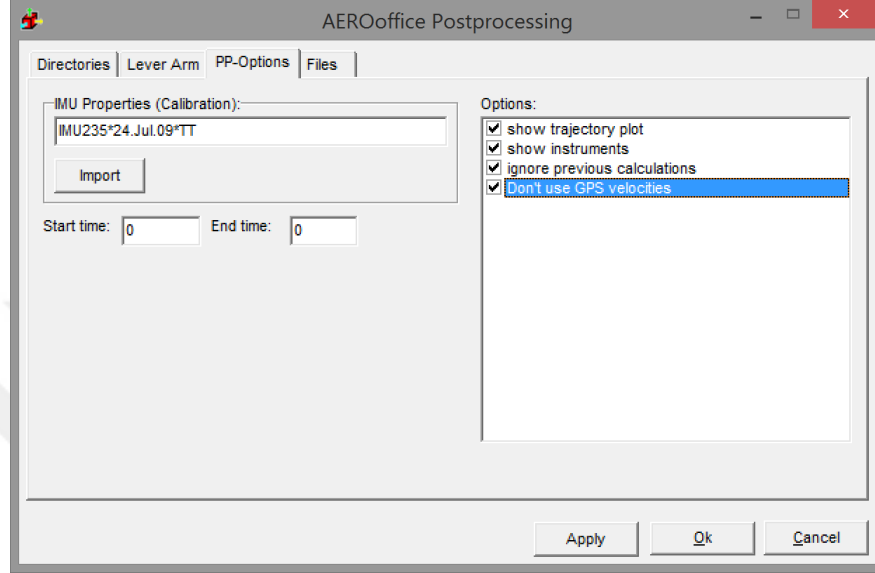
5.6.7 GNSS verilerinin IMU verileri ile birleştirilerek sonuçların elde edilmesi

Aynı veri depolama ünitesine, tek bir dosya yapısı içinde toplanan GNSS ve IMU sistem verileri GNSS değerlendirme işlemleri için ayrıştırılır. Ayrıştırılarak elde edilen kinematik GNSS verileri değerlendirildikten sonra elde edilen kinematik GNSS sonuç dosyaları daha önce oluşturulan AeroOffice programı içerisindeki proje dosyası içerisine aktarılır. Bu işlem için programda “Project-Setup” yolları kullanılarak setup menüsüne ulaşılarak SBT, VRS ve PPP GNSS yöntemleriyle değerlendirilen GNSS verileri değerlendirme sonucu elde edilen sonuç dosyaları ayrı projelerde “externalGPSsolution” kısmına tanımlanarak değerlendirilmiştir (Şekil 5.48).



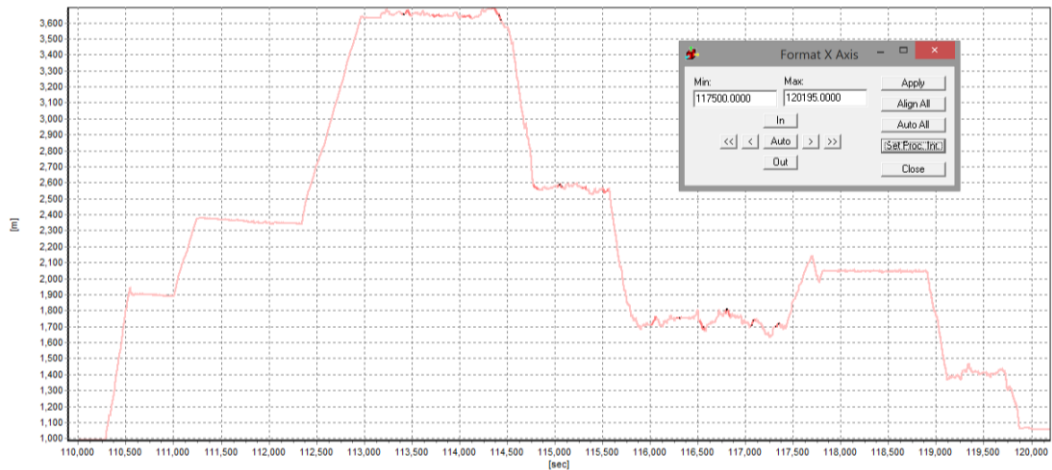
Şekil 5.48: GNSS değerlendirme sonuç dosyalarının yüklenmesi.

GNSS verilerinin tanımlanmasından sonra “Postprocessing” işlemine geçilerek GNSS ve IMU verileri kalman filtreleme yöntemi ile kombine şekilde değerlendirilir. Daha önce tanımlanan kamera, kamera sabitleme platformu, IMU ve GNSS anteninin birbirlerine göre konumlarını belirleyen ofset değerleri kontrol edilerek Postprocessing işlemi gerçekleştirilir (Şekil 5.49).



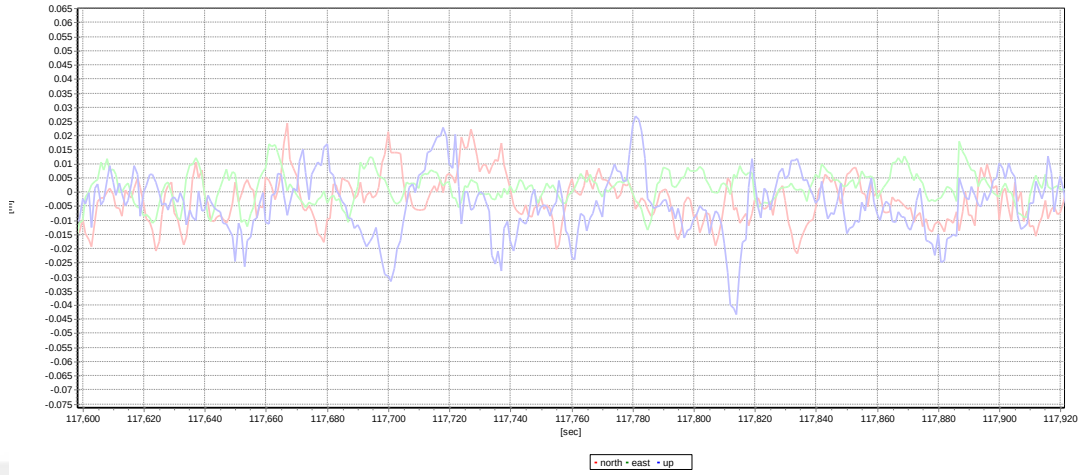
Şekil 5.49: GNSS/IMU postprocessing işlemi.

Çalışma kapsamında farklı uçuş yüksekliklerinde üretilen kinematik veriler kesintisiz toplandığından, yükseklik – zaman grafiğinden (Şekil 5.50), 7 cm GSD için ölçü zamanı tespit edilerek bu zaman aralığı için postprocessing işlemi tekrarlanır.



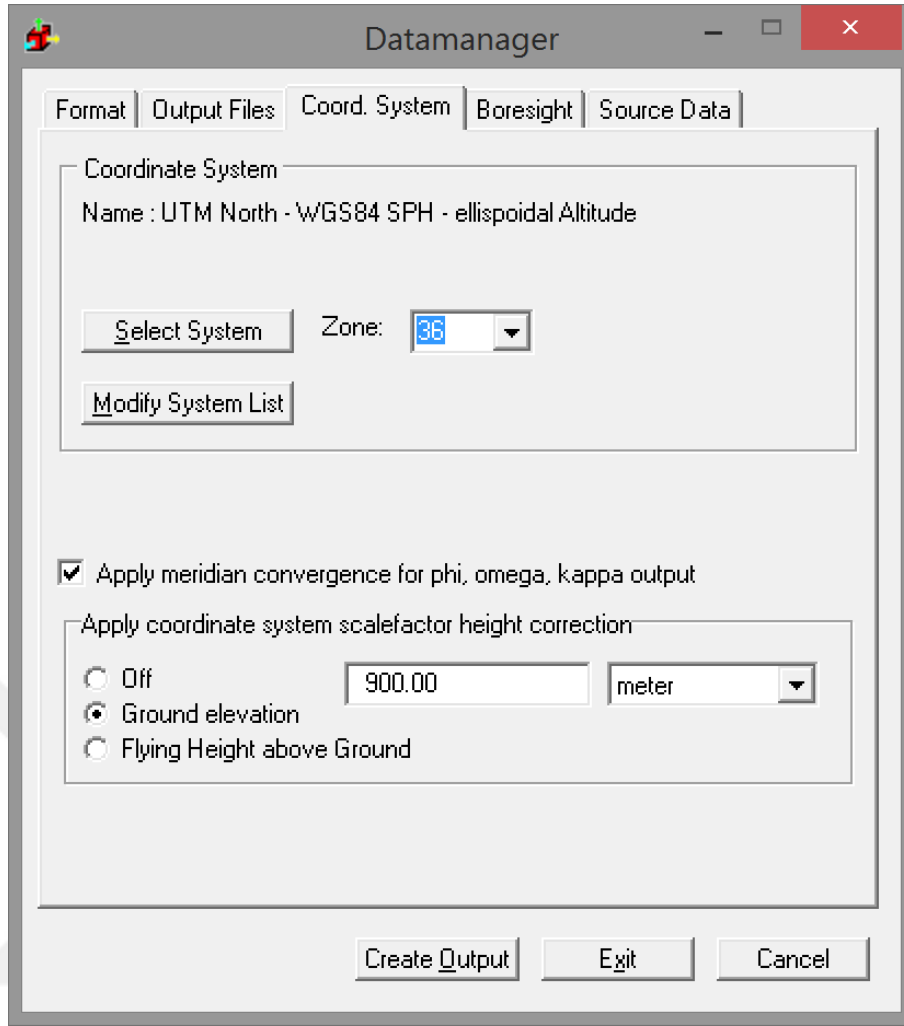
Şekil 5.50: GNSS/IMU yükseklik zaman grafiği.

Sayısal uygulamaya ait GPS/IMU Sistemi konum fark grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 5.51).



Şekil 5.51: GNSS/IMU sistemi konum fark grafiği.

Elde edilen GPS/IMU konum fark ve yükseklik grafikleri analiz edilir. Zamansal olarak uyumsuzluk gösteren ölçü aralığı çıkarılarak veriler yeniden değerlendirilir ve GNSS/IMU sonuçları fotogrametrik programlarda kullanılabilecek dosya yapısı oluşturulur (Şekil 5.52). Sonuçların fotogrametrik sistemlerde kullanılabilmesi için boresight parametrelerinin sisteme tanımlanması gereklidir. Ancak her farklı uçuş yüksekliği için farklı boresight parametresi bulunduğu ve uygulamada farklı GNSS değerlendirme yöntemlerinin farklı uçuş yüksekliklerindeki ilişkisi de değerlendirileceğinden boresight parametrelerinden kaynaklanabilecek hataların elemine edilmesi amacıyla boresight parametreleri kullanılmamıştır.



Şekil 5.52: GNSS/IMU Sonuç dosyası oluşturma.

Yapılan çalışma sonunda 7 cm GSD için SBT, VRS ve PPP yöntemleriyle resim orta noktaları ve dönüklük değerleri elde edilmiştir. Aynı değerlendirme stratejisi kullanılarak 15 cm GSD ve 25 cm GSD için de resim orta noktaları ve dönüklük değerleri elde edilmiştir.

5.7 Elde Edilen Sonuçlar ve Bulgular

Test Ağında sabit referans noktası olarak kullanılan ve TUSAGA – Aktif sisteminden statik ölçü yöntemiyle koordinatları hesaplanan noktalara ait, koordinat değerleri Çizelge 5.1’ de verilmiştir.

Çizelge 5.1: Referans Noktalarına ait koordinat değerleri.

REFERANS EPOK: 2005.00		DATUM: ITRF-96	
NOKTA NO	KARTEZYEN KOORDİNATLAR (m)		
	X	Y	Z
MF7	4153570.1616	2802256.5033	3934986.6565
MF30	4151727.2740	2803903.1162	3935758.3679
MF29	4151844.1957	2800953.1994	3937726.3545
MF20	4155564.7521	2800764.7443	3933952.3411

Test Ağında 7 cm GSD çözünürlüğünde görüntü alımı için yapılan uçuş yüksekliğinde; 8 adet uçuş kolonunda toplam 106 adet fotoğraf orta noktasına ait, SBT GNSS veri değerlendirme yöntemi ile elde edilen resim orta noktaları ve dönüklük değerleri Çizelge 5,2’de verilmiştir. Çizelge 5.2’de verilen koordinat değerleri ITRF96 Datumunda, UTM projeksiyonunda (36N,33° DOM) indirgenmiş değerler olup, metre birimindedir. Fotoğraf dönüklük bilgileri ise, projeksiyon düzleminde ve derece birimindedir.

Çizelge 5.2: SBT yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (7 cm GSD).

Fotoğraf No	y (m)	x (m)	h (m)	Sd y (m)	Sd x (m)	Sd h (m)	Omega (Deg)	Phi (Deg)	Kappa (Deg)
1	585869.021	4244701.183	1714.313	0.032	0.032	0.037	0.7270	-4.6436	-89.8176
2	585866.641	4244540.005	1715.125	0.032	0.032	0.037	0.8496	-2.6211	-90.7616
3	585863.817	4244378.245	1718.106	0.032	0.032	0.037	0.8921	-3.8452	-91.1856
4	585857.423	4244216.947	1721.472	0.032	0.032	0.037	0.7689	-4.0340	-92.2812
5	585848.167	4244055.927	1725.517	0.032	0.032	0.037	0.5653	-3.9100	-93.4376
6	585836.777	4243894.328	1729.009	0.032	0.032	0.037	0.5557	-3.4463	-94.1067
7	585824.500	4243733.374	1730.733	0.032	0.032	0.037	0.9793	-2.5425	-94.1436
8	585815.098	4243571.769	1731.574	0.032	0.032	0.037	1.1023	0.1297	-93.0949
9	585810.879	4243410.378	1734.686	0.032	0.032	0.037	0.8287	1.8165	-91.3910
10	585811.166	4243250.519	1735.824	0.032	0.032	0.037	0.3903	3.2829	-89.8480
11	585815.727	4243088.399	1735.611	0.032	0.032	0.037	-0.1044	3.8132	-88.2919
12	585823.413	4242927.674	1734.298	0.032	0.032	0.037	-0.5122	3.7387	-87.0236
13	585835.224	4242766.299	1738.310	0.032	0.032	0.037	-0.7173	4.2609	-85.6363
14	585850.754	4242605.044	1742.899	0.032	0.032	0.037	-0.7403	4.0612	-84.2764
15	585866.845	4242443.256	1747.999	0.032	0.032	0.037	-0.1130	2.4019	-84.4305
16	585880.769	4242281.701	1756.451	0.032	0.032	0.037	0.3278	0.6967	-85.3433
17	585890.253	4242120.208	1760.709	0.032	0.032	0.037	0.5494	-1.0568	-86.6563
18	585895.791	4241958.669	1757.145	0.032	0.032	0.037	0.6852	-1.8922	-87.9594
19	585897.924	4241798.279	1754.830	0.032	0.032	0.037	0.6723	-2.3910	-89.2679
20	587869.402	4241828.376	1754.664	0.034	0.034	0.037	-0.7024	1.9021	90.4021
21	587869.033	4241987.737	1754.648	0.034	0.034	0.037	-0.7595	2.0224	89.9550
22	587871.678	4242149.286	1752.519	0.034	0.034	0.037	-0.6372	2.4730	88.8173
23	587877.070	4242310.557	1751.353	0.034	0.034	0.037	-0.4653	1.9066	87.9518
24	587883.219	4242472.409	1752.542	0.034	0.034	0.037	-0.0692	1.4596	87.7126
25	587889.310	4242634.311	1752.415	0.034	0.034	0.037	0.0087	0.7866	87.8280
26	587895.267	4242795.097	1751.418	0.034	0.034	0.037	-0.0170	0.4762	87.8936
27	587901.996	4242956.417	1751.949	0.034	0.034	0.037	0.0555	0.3930	87.4892
28	587908.846	4243117.557	1751.496	0.034	0.034	0.037	0.0104	0.3142	87.5184
29	587914.900	4243278.963	1751.172	0.034	0.034	0.037	-0.1850	-0.6108	87.9779
30	587916.791	4243440.373	1753.615	0.034	0.034	0.037	-0.1537	-1.9333	89.4878
31	587916.264	4243601.877	1752.392	0.034	0.034	0.037	-0.2533	-1.6920	90.0534
32	587915.098	4243763.292	1750.571	0.034	0.034	0.037	-0.3481	-1.3814	90.3319
33	587912.055	4243924.566	1750.872	0.034	0.034	0.037	-0.1672	-1.6831	91.0515
34	587907.357	4244085.463	1749.583	0.034	0.034	0.037	-0.0611	-1.6391	91.5434
35	587902.226	4244246.331	1750.804	0.034	0.034	0.037	0.2658	-1.1388	91.6824
36	587896.229	4244407.629	1755.047	0.034	0.034	0.038	0.3379	-1.0599	91.9046
37	587890.075	4244569.727	1757.646	0.034	0.034	0.038	0.1677	-0.8728	92.1296
38	587883.470	4244731.772	1755.458	0.035	0.035	0.038	-0.4825	-1.1020	92.4270
39	588018.666	4244262.919	1718.250	0.034	0.034	0.036	5.3000	-0.4279	-179.6300
40	587857.252	4244259.218	1714.889	0.034	0.034	0.036	4.7817	-0.0615	-178.4707
41	587695.610	4244252.960	1711.066	0.034	0.034	0.036	4.4617	0.3331	-177.5724
42	587534.260	4244244.166	1706.989	0.034	0.034	0.036	4.0006	0.5677	-176.7839
43	587372.963	4244234.489	1702.085	0.034	0.034	0.036	3.0916	0.5911	-176.5386
44	587212.805	4244225.257	1696.752	0.034	0.034	0.036	1.8573	0.4686	-176.5930
45	587049.173	4244217.248	1690.792	0.034	0.034	0.036	1.0235	0.2438	-177.0152
46	586890.298	4244210.959	1685.071	0.035	0.035	0.036	0.2672	0.2151	-177.5788
47	586728.340	4244204.976	1683.118	0.035	0.035	0.036	0.2002	0.6548	-177.6765
48	586568.660	4244198.598	1686.006	0.035	0.035	0.036	0.8534	0.9141	-177.5943
49	586404.781	4244190.987	1692.047	0.034	0.034	0.036	0.4759	0.7680	-177.4463
50	586245.355	4244186.437	1700.405	0.034	0.034	0.036	-0.6916	0.3241	-178.1302
51	586082.990	4244184.581	1702.034	0.034	0.034	0.036	-1.3985	0.2827	-179.3464
52	585921.817	4244185.533	1694.764	0.034	0.034	0.036	-1.9813	0.0489	179.5871
53	585760.054	4244189.059	1686.094	0.034	0.034	0.036	-2.3647	-0.2371	178.7438

Çizelge 5.2 (devam): SBT yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (7 cm GSD).

Fotoğraf No	y (m)	x (m)	h (m)	Sd y (m)	Sd x (m)	Sd h (m)	Omega (Deg)	Phi (Deg)	Kappa (Deg)
54	585598.184	4244195.467	1679.971	0.035	0.035	0.036	-2.4817	-0.5801	177.6817
55	585437.163	4244203.555	1676.734	0.035	0.035	0.036	-2.0470	-0.3669	177.0325
56	585446.317	4242920.229	1809.014	0.037	0.037	0.036	3.0565	0.9003	-0.0673
57	585608.614	4242915.930	1803.583	0.037	0.037	0.036	3.4371	1.7318	-1.8374
58	585768.099	4242907.134	1799.265	0.037	0.037	0.036	4.2072	1.7602	-3.3998
59	585928.406	4242893.892	1798.399	0.037	0.037	0.036	4.1251	0.7762	-5.0293
60	586088.807	4242876.437	1798.974	0.037	0.037	0.036	4.5312	0.0443	-6.3624
61	586251.567	4242856.415	1797.029	0.037	0.037	0.036	0.8191	0.0756	-7.1165
62	586412.531	4242840.961	1793.796	0.037	0.037	0.036	-1.7134	0.4385	-5.3199
63	586574.517	4242831.426	1788.008	0.037	0.037	0.036	-3.2637	0.7022	-3.3104
64	586736.817	4242827.592	1780.835	0.037	0.037	0.036	-3.6934	1.0907	-1.4853
65	586897.463	4242825.608	1773.956	0.037	0.037	0.036	-2.8114	1.3761	-0.9200
66	587058.384	4242825.226	1771.117	0.037	0.037	0.036	-2.9193	1.0600	0.0230
67	587219.817	4242828.794	1768.376	0.037	0.037	0.036	-3.3130	0.8119	1.2596
68	587381.609	4242833.679	1764.643	0.037	0.037	0.036	-2.2407	0.7355	1.5103
69	587543.173	4242837.433	1761.993	0.037	0.037	0.036	-1.1143	0.6617	1.3125
70	587703.098	4242841.817	1758.711	0.037	0.037	0.036	-1.7346	0.5456	1.6950
71	587865.079	4242849.784	1755.551	0.037	0.037	0.036	-2.3446	0.3355	2.8425
72	588026.249	4242859.404	1754.080	0.037	0.037	0.036	-1.6941	0.1778	3.4984
73	588022.482	4242192.528	1711.710	0.038	0.038	0.035	0.1826	0.2093	-178.0561
74	587863.297	4242186.916	1718.973	0.038	0.038	0.035	-0.1855	0.0034	-178.1562
75	587702.203	4242182.156	1726.252	0.037	0.037	0.035	-0.6322	0.1590	-178.2727
76	587540.684	4242178.118	1730.709	0.038	0.038	0.035	-0.9387	0.6346	-178.7961
77	587380.913	4242176.151	1735.688	0.038	0.038	0.035	-1.9012	1.1525	-179.3226
78	587219.451	4242178.805	1740.022	0.038	0.038	0.035	-2.9231	1.4570	179.0018
79	587057.979	4242185.130	1742.385	0.038	0.038	0.035	-3.1608	1.6400	177.8179
80	586895.446	4242192.752	1743.483	0.038	0.038	0.036	-1.5555	1.3834	177.5341
81	586733.672	4242197.483	1742.015	0.038	0.038	0.036	0.5912	0.8072	178.4687
82	586572.459	4242197.619	1738.830	0.038	0.038	0.036	2.1426	0.3090	-179.8518
83	586409.916	4242194.020	1736.180	0.039	0.039	0.036	2.3983	-0.1622	-178.5916
84	586247.499	4242189.156	1736.447	0.039	0.039	0.036	1.9629	-0.5061	-178.0910
85	586088.635	4242182.891	1737.971	0.039	0.039	0.036	1.8427	-0.6306	-177.6098
86	585925.921	4242175.618	1741.904	0.039	0.039	0.036	1.2333	-0.5892	-177.4229
87	585764.742	4242169.047	1742.168	0.040	0.040	0.036	0.5728	-0.3369	-177.7175
88	585603.156	4242162.649	1743.869	0.040	0.040	0.036	-0.0189	-0.2520	-177.7994
89	585442.138	4242157.810	1746.117	0.040	0.040	0.036	-0.6917	-0.0954	-178.4160
90	585441.872	4243506.285	1704.516	0.035	0.035	0.032	-0.7789	0.7256	-0.7462
91	585604.623	4243505.112	1704.162	0.035	0.035	0.032	-0.3923	1.1100	-0.5344
92	585766.023	4243504.779	1703.887	0.035	0.035	0.032	-0.5828	1.4004	-0.0444
93	585926.977	4243505.929	1702.641	0.035	0.035	0.032	-0.9025	1.0273	0.4021
94	586087.964	4243507.509	1700.721	0.035	0.035	0.032	-0.6786	0.8946	0.5687
95	586249.349	4243510.390	1700.118	0.035	0.035	0.032	-1.1606	0.7929	1.1315
96	586410.223	4243516.428	1701.984	0.035	0.035	0.032	-2.1381	0.5273	2.3144
97	586571.868	4243527.161	1703.612	0.035	0.035	0.032	-3.5310	0.4941	4.0574
98	586732.050	4243543.829	1707.119	0.035	0.035	0.032	-3.9649	0.3343	6.2675
99	586893.091	4243562.563	1714.734	0.035	0.035	0.032	-3.0988	0.1413	6.6128
100	587054.732	4243579.397	1718.765	0.035	0.035	0.032	-0.3396	0.1845	5.7396
101	587216.031	4243589.043	1719.857	0.035	0.035	0.032	2.0233	0.0856	3.0847
102	587377.543	4243592.019	1719.580	0.035	0.035	0.032	3.4997	-0.0634	0.8903
103	587538.767	4243590.903	1716.666	0.035	0.035	0.032	3.4042	0.1006	-0.5372
104	587700.469	4243586.867	1713.369	0.035	0.035	0.032	3.5833	0.3260	-1.5485
105	587861.441	4243578.993	1713.904	0.035	0.035	0.033	3.6159	-0.1008	-2.9405
106	588022.750	4243569.161	1715.215	0.035	0.035	0.033	2.6034	-0.3217	-3.5281

7 cm GSD çözünürlüğünde görüntü alımı için yapılan uçuş yüksekliğinde; 8 adet uçuş kolonunda toplam 106 adet fotoğraf orta noktasına ait, VRS GNSS veri değerlendirme yöntemi ile elde edilen resim orta noktaları ve dönüklük değerleri Çizelge 5.3' de verilmiştir. Çizelge 5.3' de verilen koordinat değerleri ITRF96 Datumunda, UTM projeksiyonunda (36N 33° DOM) indirgenmiş değerler olup, metre birimindedir. Fotoğraf dönüklük bilgileri ise, projeksiyon düzleminde ve derece birimindedir.



Çizelge 5.3: VRS yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (7 cm GSD).

Fotoğraf No	y (m)	x (m)	h (m)	Sd y (m)	Sd x (m)	Sd h (m)	Omega (Deg)	Phi (Deg)	Kappa (Deg)
1	585869.011	4244701.193	1714.289	0.032	0.032	0.037	0.7272	-4.6435	-89.8179
2	585866.631	4244540.014	1715.100	0.032	0.032	0.037	0.8497	-2.6211	-90.7619
3	585863.807	4244378.253	1718.081	0.032	0.032	0.037	0.8923	-3.8452	-91.1859
4	585857.414	4244216.954	1721.448	0.032	0.032	0.037	0.7690	-4.0340	-92.2814
5	585848.158	4244055.934	1725.494	0.032	0.032	0.037	0.5654	-3.9100	-93.4379
6	585836.768	4243894.334	1728.986	0.032	0.032	0.037	0.5558	-3.4463	-94.1070
7	585824.492	4243733.379	1730.710	0.032	0.032	0.037	0.9794	-2.5425	-94.1438
8	585815.089	4243571.774	1731.552	0.032	0.032	0.037	1.1024	0.1296	-93.0952
9	585810.871	4243410.383	1734.665	0.032	0.032	0.037	0.8288	1.8164	-91.3913
10	585811.157	4243250.525	1735.803	0.032	0.032	0.037	0.3905	3.2828	-89.8483
11	585815.717	4243088.406	1735.591	0.032	0.032	0.037	-0.1042	3.8132	-88.2921
12	585823.402	4242927.681	1734.278	0.032	0.032	0.037	-0.5121	3.7387	-87.0238
13	585835.212	4242766.307	1738.290	0.032	0.032	0.037	-0.7171	4.2609	-85.6365
14	585850.740	4242605.053	1742.880	0.032	0.032	0.037	-0.7401	4.0613	-84.2766
15	585866.830	4242443.265	1747.980	0.032	0.032	0.037	-0.1128	2.4020	-84.4307
16	585880.753	4242281.712	1756.433	0.032	0.032	0.037	0.3281	0.6969	-85.3435
17	585890.235	4242120.219	1760.691	0.032	0.032	0.037	0.5497	-1.0567	-86.6566
18	585895.773	4241958.681	1757.126	0.032	0.032	0.037	0.6855	-1.8920	-87.9596
19	585897.906	4241798.292	1754.811	0.032	0.032	0.037	0.6725	-2.3909	-89.2681
20	587869.401	4241828.379	1754.654	0.032	0.032	0.036	-0.7025	1.9021	90.4019
21	587869.031	4241987.739	1754.638	0.032	0.032	0.036	-0.7596	2.0224	89.9548
22	587871.676	4242149.286	1752.511	0.032	0.032	0.036	-0.6375	2.4730	88.8171
23	587877.067	4242310.555	1751.345	0.032	0.032	0.036	-0.4656	1.9066	87.9516
24	587883.217	4242472.404	1752.535	0.032	0.032	0.036	-0.0695	1.4596	87.7124
25	587889.308	4242634.305	1752.410	0.032	0.032	0.036	0.0083	0.7866	87.8278
26	587895.264	4242795.090	1751.414	0.032	0.032	0.036	-0.0174	0.4762	87.8934
27	587901.992	4242956.410	1751.946	0.032	0.032	0.036	0.0552	0.3930	87.4890
28	587908.841	4243117.551	1751.494	0.032	0.032	0.036	0.0102	0.3142	87.5182
29	587914.895	4243278.958	1751.171	0.032	0.032	0.036	-0.1852	-0.6108	87.9777
30	587916.786	4243440.370	1753.614	0.032	0.032	0.036	-0.1538	-1.9332	89.4876
31	587916.260	4243601.877	1752.392	0.033	0.033	0.036	-0.2533	-1.6919	90.0532
32	587915.094	4243763.292	1750.571	0.033	0.033	0.036	-0.3482	-1.3814	90.3317
33	587912.052	4243924.567	1750.873	0.033	0.033	0.036	-0.1672	-1.6830	91.0513
34	587907.354	4244085.463	1749.584	0.033	0.033	0.036	-0.0612	-1.6391	91.5432
35	587902.225	4244246.330	1750.807	0.033	0.033	0.036	0.2658	-1.1387	91.6822
36	587896.229	4244407.626	1755.052	0.033	0.033	0.036	0.3379	-1.0599	91.9044
37	587890.077	4244569.721	1757.653	0.033	0.033	0.036	0.1676	-0.8728	92.1294
38	587883.475	4244731.764	1755.467	0.033	0.033	0.036	-0.4827	-1.1021	92.4268
39	588018.678	4244262.876	1718.258	0.031	0.031	0.032	5.3001	-0.4282	-179.6302
40	587857.263	4244259.177	1714.896	0.031	0.031	0.032	4.7818	-0.0617	-178.4710
41	587695.619	4244252.922	1711.072	0.031	0.031	0.032	4.4618	0.3329	-177.5727
42	587534.268	4244244.130	1706.994	0.031	0.031	0.032	4.0008	0.5676	-176.7842
43	587372.970	4244234.453	1702.091	0.031	0.031	0.032	3.0917	0.5909	-176.5389
44	587212.811	4244225.222	1696.758	0.031	0.031	0.032	1.8574	0.4685	-176.5933
45	587049.178	4244217.212	1690.797	0.031	0.031	0.032	1.0237	0.2437	-177.0155
46	586890.303	4244210.922	1685.076	0.031	0.031	0.032	0.2673	0.2150	-177.5791
47	586728.345	4244204.938	1683.124	0.031	0.031	0.032	0.2003	0.6546	-177.6769
48	586568.664	4244198.560	1686.012	0.031	0.031	0.032	0.8534	0.9139	-177.5947
49	586404.786	4244190.948	1692.054	0.031	0.031	0.032	0.4759	0.7679	-177.4466
50	586245.359	4244186.398	1700.413	0.031	0.031	0.032	-0.6916	0.3239	-178.1305
51	586082.995	4244184.542	1702.043	0.031	0.031	0.032	-1.3985	0.2826	-179.3468
52	585921.822	4244185.494	1694.774	0.031	0.031	0.032	-1.9813	0.0487	179.5867
53	585760.059	4244189.019	1686.106	0.031	0.031	0.032	-2.3647	-0.2373	178.7434

Çizelge 5.3 (devam):VRS yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (7 cm GSD).

Fotoğraf No	y (m)	x (m)	h (m)	Sd y (m)	Sd x (m)	Sd h (m)	Omega (Deg)	Phi (Deg)	Kappa (Deg)
54	585598.189	4244195.427	1679.983	0.031	0.031	0.032	-2.4818	-0.5803	177.6812
55	585437.169	4244203.515	1676.748	0.031	0.031	0.032	-2.0470	-0.3671	177.0321
56	585446.309	4242920.213	1809.017	0.031	0.031	0.032	3.0567	0.9006	-0.0669
57	585608.604	4242915.915	1803.585	0.031	0.031	0.032	3.4374	1.7321	-1.8369
58	585768.089	4242907.119	1799.267	0.031	0.031	0.032	4.2075	1.7606	-3.3993
59	585928.395	4242893.876	1798.401	0.031	0.031	0.032	4.1254	0.7766	-5.0289
60	586088.797	4242876.419	1798.977	0.031	0.031	0.032	4.5313	0.0446	-6.3620
61	586251.557	4242856.392	1797.034	0.031	0.031	0.032	0.8192	0.0759	-7.1160
62	586412.523	4242840.933	1793.802	0.031	0.031	0.032	-1.7135	0.4387	-5.3194
63	586574.510	4242831.394	1788.015	0.031	0.031	0.032	-3.2639	0.7024	-3.3099
64	586736.811	4242827.556	1780.845	0.031	0.031	0.032	-3.6936	1.0909	-1.4847
65	586897.458	4242825.568	1773.967	0.031	0.031	0.032	-2.8117	1.3763	-0.9194
66	587058.379	4242825.186	1771.130	0.031	0.031	0.032	-2.9196	1.0602	0.0236
67	587219.812	4242828.753	1768.390	0.031	0.031	0.032	-3.3134	0.8120	1.2602
68	587381.603	4242833.638	1764.659	0.031	0.031	0.032	-2.2410	0.7357	1.5109
69	587543.167	4242837.392	1762.009	0.031	0.031	0.032	-1.1146	0.6618	1.3131
70	587703.092	4242841.778	1758.728	0.031	0.031	0.032	-1.7348	0.5458	1.6955
71	587865.074	4242849.745	1755.567	0.031	0.031	0.032	-2.3449	0.3357	2.8431
72	588026.243	4242859.365	1754.095	0.031	0.031	0.032	-1.6943	0.1779	3.4990
73	588022.484	4242192.481	1711.728	0.032	0.032	0.032	0.1824	0.2090	-178.0556
74	587863.301	4242186.868	1718.994	0.032	0.032	0.032	-0.1858	0.0031	-178.1557
75	587702.208	4242182.108	1726.275	0.032	0.032	0.032	-0.6325	0.1586	-178.2722
76	587540.690	4242178.071	1730.734	0.032	0.032	0.032	-0.9390	0.6342	-178.7956
77	587380.918	4242176.106	1735.715	0.032	0.032	0.032	-1.9015	1.1521	-179.3222
78	587219.455	4242178.762	1740.050	0.032	0.032	0.032	-2.9232	1.4567	179.0023
79	587057.982	4242185.090	1742.413	0.032	0.032	0.032	-3.1609	1.6398	177.8183
80	586895.447	4242192.715	1743.511	0.032	0.032	0.032	-1.5556	1.3833	177.5346
81	586733.673	4242197.450	1742.043	0.032	0.032	0.032	0.5913	0.8071	178.4691
82	586572.459	4242197.591	1738.856	0.032	0.032	0.032	2.1428	0.3089	-179.8514
83	586409.917	4242193.996	1736.205	0.032	0.032	0.032	2.3987	-0.1623	-178.5912
84	586247.501	4242189.136	1736.472	0.032	0.032	0.032	1.9633	-0.5062	-178.0906
85	586088.638	4242182.874	1737.996	0.032	0.032	0.032	1.8431	-0.6308	-177.6094
86	585925.925	4242175.602	1741.929	0.032	0.032	0.032	1.2337	-0.5894	-177.4225
87	585764.746	4242169.032	1742.194	0.032	0.032	0.032	0.5732	-0.3371	-177.7172
88	585603.160	4242162.632	1743.895	0.032	0.032	0.032	-0.0185	-0.2522	-177.7991
89	585442.143	4242157.792	1746.144	0.032	0.032	0.032	-0.6914	-0.0956	-178.4156
90	585441.938	4243506.272	1704.480	0.033	0.033	0.031	-0.7790	0.7258	-0.7466
91	585604.688	4243505.098	1704.126	0.033	0.033	0.031	-0.3924	1.1102	-0.5348
92	585766.089	4243504.765	1703.851	0.033	0.033	0.031	-0.5830	1.4007	-0.0447
93	585927.043	4243505.914	1702.605	0.033	0.033	0.031	-0.9026	1.0275	0.4018
94	586088.030	4243507.494	1700.686	0.033	0.033	0.031	-0.6788	0.8948	0.5684
95	586249.414	4243510.375	1700.083	0.033	0.033	0.031	-1.1607	0.7931	1.1312
96	586410.289	4243516.413	1701.950	0.033	0.033	0.031	-2.1383	0.5275	2.3141
97	586571.935	4243527.146	1703.578	0.033	0.033	0.031	-3.5311	0.4943	4.0571
98	586732.117	4243543.815	1707.085	0.033	0.033	0.031	-3.9651	0.3345	6.2672
99	586893.158	4243562.550	1714.700	0.033	0.033	0.031	-3.0989	0.1415	6.6126
100	587054.799	4243579.386	1718.731	0.033	0.033	0.032	-0.3397	0.1846	5.7394
101	587216.099	4243589.034	1719.821	0.033	0.033	0.032	2.0234	0.0857	3.0845
102	587377.610	4243592.013	1719.543	0.033	0.033	0.032	3.4998	-0.0633	0.8901
103	587538.833	4243590.899	1716.627	0.033	0.033	0.032	3.4044	0.1007	-0.5373
104	587700.534	4243586.865	1713.327	0.033	0.033	0.032	3.5835	0.3262	-1.5486
105	587861.505	4243578.992	1713.861	0.033	0.033	0.032	3.6162	-0.1006	-2.9406
106	588022.813	4243569.160	1715.170	0.033	0.033	0.032	2.6036	-0.3214	-3.5283

Çalışma alanındaki test ağında 7 cm GSD çözünürlüğünde görüntü alımı için yapılan uçuş yüksekliğinde; 8 adet uçuş kolonunda toplam 106 adet fotoğraf orta noktasına ait, PPP GNSS veri değerlendirme yöntemi ile elde edilen resim orta noktaları ve dönüklük değerleri Çizelge 5.4' de verilmiştir. Çizelge 5.4' de verilen koordinat değerleri ITRF96 Datumunda, UTM projeksiyonunda (36N 33o DOM) indirgenmiş değerler olup, metre birimindedir. Fotoğraf dönüklük bilgileri ise, projeksiyon düzleminde ve derece birimindedir.



Çizelge 5.4: PPP yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (7 cm GSD).

Fotoğraf No	y (m)	x (m)	h (m)	Sd y (m)	Sd x (m)	Sd h (m)	Omega (Deg)	Phi (Deg)	Kappa (Deg)
1	585869.043	4244701.307	1714.419	0.042	0.042	0.046	0.7270	-4.6433	-89.8167
2	585866.662	4244540.129	1715.231	0.042	0.042	0.046	0.8495	-2.6208	-90.7607
3	585863.838	4244378.369	1718.211	0.042	0.042	0.046	0.8921	-3.8449	-91.1847
4	585857.444	4244217.071	1721.578	0.042	0.042	0.046	0.7689	-4.0337	-92.2802
5	585848.188	4244056.052	1725.624	0.042	0.042	0.046	0.5653	-3.9099	-93.4367
6	585836.801	4243894.453	1729.116	0.042	0.042	0.046	0.5557	-3.4463	-94.1058
7	585824.529	4243733.499	1730.839	0.042	0.042	0.046	0.9793	-2.5426	-94.1426
8	585815.131	4243571.894	1731.680	0.042	0.042	0.046	1.1023	0.1293	-93.0940
9	585810.918	4243410.502	1734.792	0.042	0.042	0.046	0.8286	1.8160	-91.3901
10	585811.209	4243250.644	1735.930	0.042	0.042	0.046	0.3902	3.2821	-89.8471
11	585815.773	4243088.524	1735.716	0.042	0.042	0.046	-0.1045	3.8125	-88.2909
12	585823.457	4242927.799	1734.401	0.042	0.042	0.046	-0.5123	3.7380	-87.0226
13	585835.265	4242766.424	1738.413	0.042	0.042	0.046	-0.7174	4.2604	-85.6354
14	585850.789	4242605.169	1743.002	0.042	0.042	0.046	-0.7404	4.0611	-84.2755
15	585866.872	4242443.380	1748.101	0.042	0.042	0.046	-0.1132	2.4021	-84.4296
16	585880.788	4242281.825	1756.553	0.042	0.042	0.046	0.3277	0.6971	-85.3423
17	585890.265	4242120.332	1760.811	0.042	0.042	0.046	0.5493	-1.0563	-86.6554
18	585895.798	4241958.793	1757.246	0.042	0.042	0.046	0.6851	-1.8916	-87.9585
19	585897.931	4241798.404	1754.931	0.042	0.042	0.046	0.6723	-2.3906	-89.2670
20	587869.418	4241828.494	1754.764	0.043	0.043	0.046	-0.7024	1.9021	90.4025
21	587869.047	4241987.855	1754.747	0.043	0.043	0.045	-0.7594	2.0224	89.9555
22	587871.691	4242149.404	1752.618	0.043	0.043	0.045	-0.6372	2.4730	88.8177
23	587877.083	4242310.675	1751.451	0.043	0.043	0.045	-0.4653	1.9067	87.9522
24	587883.232	4242472.526	1752.640	0.043	0.043	0.045	-0.0691	1.4597	87.7130
25	587889.323	4242634.429	1752.513	0.043	0.043	0.045	0.0087	0.7867	87.8284
26	587895.279	4242795.214	1751.515	0.043	0.043	0.045	-0.0170	0.4763	87.8940
27	587902.008	4242956.534	1752.045	0.043	0.043	0.045	0.0556	0.3930	87.4896
28	587908.857	4243117.674	1751.591	0.043	0.043	0.045	0.0105	0.3142	87.5188
29	587914.912	4243279.080	1751.268	0.043	0.043	0.045	-0.1849	-0.6107	87.9783
30	587916.801	4243440.490	1753.711	0.042	0.042	0.045	-0.1535	-1.9330	89.4882
31	587916.273	4243601.996	1752.489	0.043	0.043	0.045	-0.2530	-1.6917	90.0538
32	587915.105	4243763.411	1750.668	0.043	0.043	0.045	-0.3479	-1.3812	90.3323
33	587912.062	4243924.685	1750.971	0.043	0.043	0.045	-0.1670	-1.6828	91.0519
34	587907.365	4244085.581	1749.684	0.043	0.043	0.045	-0.0609	-1.6388	91.5437
35	587902.236	4244246.447	1750.908	0.043	0.043	0.045	0.2660	-1.1386	91.6827
36	587896.242	4244407.742	1755.154	0.043	0.043	0.045	0.3380	-1.0598	91.9049
37	587890.092	4244569.836	1757.757	0.043	0.043	0.045	0.1677	-0.8728	92.1299
38	587883.489	4244731.879	1755.573	0.043	0.043	0.046	-0.4826	-1.1020	92.4273
39	588018.675	4244263.015	1718.336	0.044	0.044	0.045	5.2997	-0.4277	-179.6291
40	587857.259	4244259.313	1714.974	0.043	0.043	0.045	4.7814	-0.0613	-178.4699
41	587695.616	4244253.057	1711.150	0.043	0.043	0.045	4.4615	0.3334	-177.5715
42	587534.266	4244244.264	1707.071	0.043	0.043	0.045	4.0004	0.5679	-176.7830
43	587372.970	4244234.588	1702.168	0.043	0.043	0.045	3.0915	0.5912	-176.5378
44	587212.812	4244225.358	1696.835	0.043	0.043	0.045	1.8573	0.4687	-176.5921
45	587049.180	4244217.351	1690.875	0.043	0.043	0.045	1.0236	0.2439	-177.0144
46	586890.305	4244211.063	1685.155	0.044	0.044	0.045	0.2673	0.2152	-177.5780
47	586728.347	4244205.082	1683.203	0.044	0.044	0.045	0.2004	0.6548	-177.6757
48	586568.667	4244198.705	1686.092	0.044	0.044	0.045	0.8535	0.9141	-177.5936
49	586404.789	4244191.094	1692.135	0.043	0.043	0.045	0.4759	0.7681	-177.4456
50	586245.363	4244186.545	1700.495	0.043	0.043	0.045	-0.6915	0.3241	-178.1295
51	586082.998	4244184.689	1702.126	0.043	0.043	0.045	-1.3984	0.2827	-179.3457
52	585921.824	4244185.641	1694.855	0.043	0.043	0.045	-1.9812	0.0489	179.5877
53	585760.061	4244189.166	1686.185	0.043	0.043	0.045	-2.3646	-0.2371	178.7445

Çizelge 5.4 (devam):PPP yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (7 cm GSD).

Fotoğraf No	y (m)	x (m)	h (m)	Sd y (m)	Sd x (m)	Sd h (m)	Omega (Deg)	Phi (Deg)	Kappa (Deg)
54	585598.191	4244195.574	1680.061	0.044	0.044	0.045	-2.4818	-0.5801	177.6823
55	585437.170	4244203.660	1676.823	0.044	0.044	0.045	-2.0471	-0.3668	177.0331
56	585446.311	4242920.336	1809.106	0.044	0.044	0.044	3.0565	0.9004	-0.0670
57	585608.608	4242916.036	1803.674	0.044	0.044	0.044	3.4371	1.7318	-1.8370
58	585768.095	4242907.239	1799.357	0.044	0.044	0.044	4.2072	1.7602	-3.3995
59	585928.404	4242893.996	1798.492	0.044	0.044	0.044	4.1251	0.7762	-5.0290
60	586088.806	4242876.541	1799.068	0.044	0.044	0.044	4.5312	0.0442	-6.3621
61	586251.566	4242856.518	1797.125	0.044	0.044	0.044	0.8192	0.0756	-7.1162
62	586412.530	4242841.065	1793.892	0.044	0.044	0.044	-1.7131	0.4385	-5.3196
63	586574.516	4242831.530	1788.104	0.044	0.044	0.044	-3.2634	0.7022	-3.3101
64	586736.816	4242827.696	1780.932	0.044	0.044	0.044	-3.6931	1.0907	-1.4850
65	586897.463	4242825.710	1774.053	0.044	0.044	0.044	-2.8112	1.3760	-0.9197
66	587058.386	4242825.327	1771.214	0.044	0.044	0.044	-2.9192	1.0599	0.0233
67	587219.821	4242828.893	1768.473	0.044	0.044	0.044	-3.3130	0.8118	1.2599
68	587381.613	4242833.775	1764.741	0.044	0.044	0.044	-2.2408	0.7354	1.5106
69	587543.178	4242837.526	1762.090	0.044	0.044	0.044	-1.1145	0.6615	1.3128
70	587703.103	4242841.909	1758.808	0.044	0.044	0.044	-1.7348	0.5455	1.6952
71	587865.085	4242849.874	1755.647	0.045	0.045	0.044	-2.3448	0.3354	2.8427
72	588026.254	4242859.492	1754.175	0.045	0.045	0.044	-1.6944	0.1777	3.4986
73	588022.489	4242192.597	1711.806	0.045	0.045	0.044	0.1825	0.2094	-178.0567
74	587863.304	4242186.986	1719.071	0.045	0.045	0.044	-0.1856	0.0035	-178.1568
75	587702.210	4242182.226	1726.350	0.045	0.045	0.044	-0.6322	0.1591	-178.2733
76	587540.692	4242178.189	1730.808	0.045	0.045	0.044	-0.9388	0.6346	-178.7967
77	587380.923	4242176.223	1735.788	0.045	0.045	0.044	-1.9013	1.1525	-179.3233
78	587219.463	4242178.877	1740.123	0.045	0.045	0.044	-2.9230	1.4569	179.0012
79	587057.995	4242185.204	1742.486	0.045	0.045	0.044	-3.1607	1.6399	177.8172
80	586895.463	4242192.827	1743.584	0.045	0.045	0.044	-1.5555	1.3833	177.5335
81	586733.691	4242197.559	1742.117	0.045	0.045	0.044	0.5912	0.8070	178.4680
82	586572.477	4242197.695	1738.931	0.045	0.045	0.044	2.1425	0.3089	-179.8525
83	586409.933	4242194.096	1736.281	0.045	0.045	0.044	2.3982	-0.1622	-178.5923
84	586247.513	4242189.233	1736.548	0.045	0.045	0.044	1.9628	-0.5060	-178.0916
85	586088.647	4242182.968	1738.072	0.045	0.045	0.044	1.8426	-0.6304	-177.6104
86	585925.930	4242175.695	1742.006	0.045	0.045	0.044	1.2333	-0.5890	-177.4235
87	585764.751	4242169.125	1742.271	0.045	0.045	0.044	0.5729	-0.3367	-177.7182
88	585603.164	4242162.726	1743.973	0.045	0.045	0.044	-0.0188	-0.2518	-177.8000
89	585442.148	4242157.887	1746.222	0.045	0.045	0.044	-0.6916	-0.0953	-178.4165
90	585441.946	4243506.374	1704.571	0.044	0.044	0.043	-0.7789	0.7255	-0.7461
91	585604.695	4243505.202	1704.218	0.044	0.044	0.043	-0.3922	1.1100	-0.5343
92	585766.095	4243504.871	1703.944	0.044	0.044	0.043	-0.5828	1.4004	-0.0442
93	585927.049	4243506.021	1702.699	0.044	0.044	0.043	-0.9024	1.0273	0.4023
94	586088.036	4243507.601	1700.779	0.044	0.044	0.043	-0.6786	0.8946	0.5688
95	586249.420	4243510.482	1700.177	0.044	0.044	0.043	-1.1606	0.7929	1.1317
96	586410.295	4243516.520	1702.043	0.044	0.044	0.043	-2.1380	0.5273	2.3145
97	586571.941	4243527.253	1703.671	0.044	0.044	0.043	-3.5309	0.4941	4.0575
98	586732.124	4243543.922	1707.178	0.044	0.044	0.043	-3.9648	0.3343	6.2676
99	586893.165	4243562.655	1714.794	0.044	0.044	0.043	-3.0988	0.1413	6.6130
100	587054.807	4243579.488	1718.826	0.044	0.044	0.043	-0.3396	0.1845	5.7398
101	587216.107	4243589.133	1719.919	0.044	0.044	0.043	2.0231	0.0856	3.0849
102	587377.619	4243592.107	1719.644	0.044	0.044	0.043	3.4995	-0.0634	0.8905
103	587538.843	4243590.990	1716.732	0.044	0.044	0.043	3.4040	0.1005	-0.5369
104	587700.546	4243586.955	1713.435	0.044	0.044	0.043	3.5832	0.3259	-1.5482
105	587861.519	4243579.083	1713.973	0.044	0.044	0.043	3.6159	-0.1009	-2.9402
106	588022.828	4243569.253	1715.284	0.044	0.044	0.043	2.6035	-0.3218	-3.5279

Çalışma alanında, yer yüzeyinden 1500 m yükseklikte, 15 cm GSD çözünürlüğünde görüntü alımı için yapılan uçuşta; 4 adet uçuş kolonunda üretilen 38 adet fotoğrafa ait, SBT (Çizelge 5.5), VRS (Çizelge 5.6) ve PPP (Çizelge 5.7) GNSS veri değerlendirme yöntemleri ile hesaplanan resim orta noktaları ve dönüklük değerleri aşağıda sunulmuştur. Resim orta noktası koordinat değerleri ITRF96 Datumunda, UTM projeksiyonunda (36N, 33° DOM) değerler olup, metre birimindedir. Fotoğraf dönüklük bilgileri ise, projeksiyon düzleminde ve derece birimindedir.



Çizelge 5.5: SBT yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (15 cm GSD).

Fotoğraf No	y (m)	x (m)	h (m)	Sd y (m)	Sd x (m)	Sd h (m)	Omega (Deg)	Phi (Deg)	Kappa (Deg)
1	585869.848	4244814.541	2574.146	0.029	0.029	0.038	-0.3787	-4.6838	-90.3828
2	585867.746	4244468.951	2572.502	0.029	0.029	0.038	-0.8417	-1.3679	-90.1030
3	585873.235	4244122.004	2570.019	0.029	0.029	0.038	-0.9013	1.5238	-88.4284
4	585890.043	4243777.753	2568.760	0.029	0.029	0.038	-1.1010	2.3386	-86.9491
5	585905.663	4243431.327	2569.855	0.029	0.029	0.038	-1.1104	0.2859	-87.7628
6	585914.658	4243085.890	2566.342	0.029	0.029	0.038	-0.6565	-0.0335	-88.5682
7	585925.157	4242740.583	2563.839	0.029	0.029	0.038	-0.4950	0.5382	-88.2142
8	585937.824	4242395.335	2562.101	0.029	0.029	0.038	-0.5257	0.6504	-87.9307
9	585949.064	4242049.412	2560.199	0.029	0.029	0.038	-0.4442	-0.7607	-88.6583
10	585947.325	4241704.379	2559.249	0.029	0.029	0.038	-0.4717	-2.3199	-91.1710
11	587366.904	4241716.639	2585.016	0.030	0.030	0.038	0.9730	-1.0456	91.0895
12	587358.830	4242063.310	2587.827	0.030	0.030	0.038	0.6419	-0.0727	91.1425
13	587357.975	4242409.145	2587.522	0.030	0.030	0.038	0.2070	0.6918	89.8623
14	587358.690	4242754.973	2585.369	0.030	0.030	0.038	-0.1067	0.1993	90.0092
15	587357.641	4243100.403	2581.249	0.030	0.030	0.038	-0.5252	0.4295	89.9511
16	587361.076	4243445.343	2575.384	0.030	0.030	0.038	-0.8733	1.0205	89.2536
17	587368.175	4243790.988	2570.123	0.030	0.030	0.038	-0.9683	0.2639	88.9652
18	587367.502	4244136.831	2568.497	0.030	0.030	0.038	-0.7043	-1.3419	90.5524
19	587359.982	4244481.982	2567.580	0.030	0.030	0.038	-0.3343	-0.3741	91.0187
20	587358.349	4244827.253	2566.049	0.031	0.031	0.039	-0.1847	0.8011	89.9227
21	587965.449	4243870.426	2565.275	0.031	0.031	0.040	0.8204	-0.2127	179.7452
22	587620.576	4243870.581	2565.943	0.031	0.031	0.040	0.1916	0.1730	179.9116
23	587275.390	4243872.074	2567.679	0.031	0.031	0.040	-0.5761	0.4094	179.5720
24	586929.555	4243878.949	2568.706	0.031	0.031	0.040	-1.5409	0.4472	178.4703
25	586583.120	4243892.793	2568.310	0.031	0.031	0.040	-1.5815	0.3279	177.6154
26	586237.881	4243902.665	2569.404	0.031	0.031	0.040	1.3289	0.0560	179.3038
27	585892.478	4243896.411	2572.237	0.031	0.031	0.040	1.6930	0.4179	-178.6781
28	585545.644	4243887.408	2566.924	0.031	0.031	0.040	0.7407	-0.3308	-178.4073
29	585200.827	4243880.399	2558.725	0.031	0.031	0.040	-0.6019	-0.7884	-178.9694
30	585207.970	4242392.882	2539.188	0.032	0.032	0.039	-2.0172	1.7204	-1.8042
31	585552.941	4242402.280	2539.835	0.032	0.032	0.039	-4.6051	0.4475	3.2081
32	585899.223	4242424.437	2542.650	0.032	0.032	0.039	-2.2163	0.1272	3.7632
33	586245.322	4242443.389	2544.096	0.032	0.032	0.039	-0.5911	0.0432	2.9653
34	586590.216	4242452.884	2545.870	0.032	0.032	0.039	1.5344	0.0212	0.8190
35	586934.675	4242448.420	2547.959	0.032	0.032	0.039	1.6191	-0.0382	-1.1332
36	587279.830	4242436.807	2550.694	0.032	0.032	0.039	0.2925	-0.2289	-1.7964
37	587625.579	4242425.078	2555.670	0.032	0.032	0.039	0.6293	-0.4132	-2.1226
38	587969.952	4242411.040	2561.347	0.032	0.032	0.039	-0.5469	-0.4751	-1.9564

Çizelge 5.6: VRS yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (15 cm GSD).

Fotoğraf No	y (m)	x (m)	h (m)	Sd y (m)	Sd x (m)	Sd h (m)	Omega (Deg)	Phi (Deg)	Kappa (Deg)
1	585869.849	4244814.531	2574.163	0.029	0.029	0.041	-0.3786	-4.6838	-90.3830
2	585867.746	4244468.939	2572.522	0.029	0.029	0.041	-0.8416	-1.3679	-90.1031
3	585873.235	4244121.991	2570.041	0.029	0.029	0.041	-0.9011	1.5238	-88.4286
4	585890.044	4243777.739	2568.782	0.029	0.029	0.041	-1.1009	2.3386	-86.9493
5	585905.664	4243431.314	2569.878	0.029	0.029	0.041	-1.1103	0.2859	-87.7630
6	585914.659	4243085.879	2566.367	0.029	0.029	0.041	-0.6563	-0.0335	-88.5684
7	585925.157	4242740.573	2563.865	0.029	0.029	0.041	-0.4948	0.5383	-88.2144
8	585937.823	4242395.326	2562.129	0.029	0.029	0.041	-0.5254	0.6505	-87.9310
9	585949.063	4242049.405	2560.228	0.029	0.029	0.041	-0.4439	-0.7606	-88.6585
10	585947.322	4241704.373	2559.279	0.029	0.029	0.041	-0.4714	-2.3199	-91.1713
11	587366.914	4241716.623	2585.070	0.029	0.029	0.040	0.9727	-1.0456	91.0893
12	587358.838	4242063.294	2587.880	0.029	0.029	0.040	0.6416	-0.0727	91.1423
13	587357.982	4242409.130	2587.574	0.029	0.029	0.040	0.2068	0.6917	89.8621
14	587358.698	4242754.960	2585.420	0.029	0.029	0.040	-0.1069	0.1992	90.0091
15	587357.650	4243100.390	2581.300	0.029	0.029	0.040	-0.5254	0.4295	89.9510
16	587361.084	4243445.330	2575.434	0.029	0.029	0.040	-0.8735	1.0204	89.2535
17	587368.181	4243790.975	2570.172	0.029	0.029	0.040	-0.9685	0.2639	88.9651
18	587367.509	4244136.817	2568.546	0.029	0.029	0.040	-0.7046	-1.3420	90.5523
19	587359.990	4244481.968	2567.627	0.029	0.029	0.040	-0.3346	-0.3742	91.0187
20	587358.356	4244827.241	2566.094	0.029	0.029	0.040	-0.1850	0.8010	89.9227
21	587965.459	4243870.405	2565.317	0.031	0.031	0.039	0.8204	-0.2130	179.7452
22	587620.586	4243870.561	2565.984	0.031	0.031	0.039	0.1916	0.1728	179.9115
23	587275.400	4243872.054	2567.719	0.031	0.031	0.039	-0.5761	0.4092	179.5719
24	586929.564	4243878.930	2568.745	0.031	0.031	0.039	-1.5409	0.4470	178.4701
25	586583.129	4243892.775	2568.348	0.031	0.031	0.039	-1.5814	0.3277	177.6153
26	586237.889	4243902.647	2569.442	0.031	0.031	0.039	1.3289	0.0558	179.3036
27	585892.486	4243896.394	2572.275	0.031	0.031	0.039	1.6931	0.4177	-178.6783
28	585545.651	4243887.392	2566.961	0.031	0.031	0.039	0.7408	-0.3310	-178.4075
29	585200.833	4243880.384	2558.762	0.031	0.031	0.039	-0.6018	-0.7886	-178.9695
30	585207.968	4242392.863	2539.221	0.031	0.031	0.038	-2.0173	1.7206	-1.8041
31	585552.941	4242402.260	2539.870	0.031	0.031	0.038	-4.6052	0.4476	3.2082
32	585899.223	4242424.418	2542.685	0.031	0.031	0.038	-2.2164	0.1273	3.7633
33	586245.322	4242443.372	2544.131	0.031	0.031	0.038	-0.5911	0.0434	2.9653
34	586590.213	4242452.868	2545.904	0.031	0.031	0.038	1.5344	0.0214	0.8190
35	586934.671	4242448.403	2547.993	0.031	0.031	0.038	1.6192	-0.0379	-1.1332
36	587279.826	4242436.789	2550.728	0.031	0.031	0.038	0.2925	-0.2286	-1.7964
37	587625.576	4242425.058	2555.704	0.031	0.031	0.038	0.6293	-0.4129	-2.1227
38	587969.952	4242411.018	2561.381	0.031	0.031	0.038	-0.5470	-0.4749	-1.9564

Çizelge 5.7: PPP yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (15 cm GSD).

Fotoğraf No	y (m)	x (m)	h (m)	Sd y (m)	Sd x (m)	Sd h (m)	Omega (Deg)	Phi (Deg)	Kappa (Deg)
1	585869.905	4244814.654	2574.330	0.040	0.040	0.055	-0.3788	-4.6836	-90.3829
2	585867.810	4244469.063	2572.690	0.040	0.040	0.055	-0.8418	-1.3680	-90.1031
3	585873.306	4244122.115	2570.207	0.040	0.040	0.055	-0.9014	1.5234	-88.4285
4	585890.115	4243777.861	2568.946	0.040	0.040	0.055	-1.1012	2.3383	-86.9492
5	585905.732	4243431.434	2570.039	0.040	0.040	0.055	-1.1105	0.2857	-87.7629
6	585914.726	4243085.998	2566.524	0.040	0.040	0.055	-0.6566	-0.0336	-88.5683
7	585925.225	4242740.693	2564.020	0.040	0.040	0.055	-0.4951	0.5381	-88.2143
8	585937.891	4242395.446	2562.281	0.040	0.040	0.055	-0.5257	0.6503	-87.9308
9	585949.128	4242049.524	2560.378	0.040	0.040	0.055	-0.4442	-0.7606	-88.6583
10	585947.386	4241704.492	2559.428	0.040	0.040	0.055	-0.4716	-2.3198	-91.1711
11	587366.952	4241716.739	2585.189	0.041	0.041	0.054	0.9730	-1.0456	91.0894
12	587358.878	4242063.408	2587.998	0.041	0.041	0.054	0.6419	-0.0727	91.1424
13	587358.024	4242409.241	2587.690	0.041	0.041	0.054	0.2070	0.6917	89.8622
14	587358.736	4242755.069	2585.536	0.041	0.041	0.054	-0.1067	0.1994	90.0091
15	587357.685	4243100.498	2581.416	0.041	0.041	0.054	-0.5253	0.4297	89.9510
16	587361.122	4243445.438	2575.552	0.041	0.041	0.054	-0.8733	1.0205	89.2535
17	587368.225	4243791.084	2570.292	0.041	0.041	0.054	-0.9683	0.2638	88.9652
18	587367.550	4244136.929	2568.668	0.041	0.041	0.054	-0.7043	-1.3417	90.5523
19	587360.026	4244482.082	2567.751	0.041	0.041	0.054	-0.3343	-0.3739	91.0187
20	587358.392	4244827.354	2566.216	0.041	0.041	0.054	-0.1847	0.8012	89.9227
21	587965.487	4243870.534	2565.420	0.042	0.042	0.053	0.8204	-0.2127	179.7461
22	587620.613	4243870.692	2566.083	0.042	0.042	0.053	0.1916	0.1731	179.9125
23	587275.428	4243872.185	2567.816	0.042	0.042	0.053	-0.5761	0.4094	179.5730
24	586929.594	4243879.061	2568.841	0.042	0.042	0.053	-1.5408	0.4472	178.4712
25	586583.157	4243892.904	2568.445	0.042	0.042	0.053	-1.5814	0.3280	177.6164
26	586237.915	4243902.771	2569.543	0.042	0.042	0.053	1.3287	0.0562	179.3047
27	585892.513	4243896.512	2572.380	0.042	0.042	0.053	1.6927	0.4181	-178.6772
28	585545.682	4243887.507	2567.071	0.042	0.042	0.053	0.7404	-0.3307	-178.4064
29	585200.866	4243880.500	2558.875	0.042	0.042	0.053	-0.6020	-0.7884	-178.9684
30	585208.011	4242392.993	2539.335	0.042	0.042	0.052	-2.0170	1.7202	-1.8031
31	585552.980	4242402.398	2539.981	0.042	0.042	0.052	-4.6046	0.4474	3.2091
32	585899.260	4242424.553	2542.794	0.042	0.042	0.052	-2.2162	0.1272	3.7642
33	586245.359	4242443.498	2544.239	0.042	0.042	0.052	-0.5912	0.0431	2.9663
34	586590.254	4242452.988	2546.013	0.042	0.042	0.052	1.5342	0.0212	0.8199
35	586934.713	4242448.523	2548.103	0.042	0.042	0.052	1.6190	-0.0382	-1.1323
36	587279.869	4242436.912	2550.841	0.042	0.042	0.052	0.2925	-0.2289	-1.7955
37	587625.619	4242425.185	2555.820	0.042	0.042	0.052	0.6294	-0.4132	-2.1218
38	587969.994	4242411.149	2561.499	0.042	0.042	0.052	-0.5468	-0.4752	-1.9556

Sayısala uygulamada en yüksek uçuş yüksekliğinde (2500 m) yapılan çalışma olan 25 cm GSD çözünürlüğünde görüntü alımı için yapılan uçuşta; 4 adet uçuş kolonunda üretilen 40 adet hava görüntüsüne ait, SBT (Çizelge 5.8), VRS (Çizelge 5.9) ve PPP (Çizelge 5.10) GNSS veri değerlendirme yöntemleri ile hesaplanan resim orta noktaları ve dönüklük değerleri aşağıda sunulmuştur. Resim orta noktası koordinat değerleri ITRF96 Datumunda, UTM projeksiyonunda (36N,33⁰ DOM) değerler olup, metre birimindedir. Fotoğraf dönüklük bilgileri ise, projeksiyon düzleminde ve derece birimindedir.



Çizelge 5.8: SBT yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (25 cm GSD).

Fotoğraf No	y (m)	x (m)	h (m)	Sd y (m)	Sd x (m)	Sd h (m)	Omega (Deg)	Phi (Deg)	Kappa (Deg)
1	586515.092	4246965.320	3651.903	0.029	0.029	0.040	0.1077	-3.5606	-91.8275
2	586486.697	4246366.807	3654.103	0.029	0.029	0.040	-0.2651	-0.4024	-92.7480
3	586468.977	4245766.468	3657.273	0.029	0.029	0.040	-0.5318	0.3105	-91.7586
4	586449.191	4245167.621	3661.441	0.029	0.029	0.040	-0.8441	0.2207	-91.8923
5	586442.071	4244568.997	3673.777	0.029	0.029	0.041	-1.3719	2.0312	-89.5451
6	586456.832	4243969.212	3677.171	0.029	0.029	0.041	-0.2213	0.5073	-88.7495
7	586463.659	4243370.316	3669.560	0.029	0.029	0.041	0.5607	0.9973	-88.8286
8	586482.167	4242770.679	3658.948	0.029	0.029	0.041	1.1216	-0.0744	-88.5476
9	586489.198	4242172.823	3650.307	0.029	0.029	0.041	0.8093	-0.1802	-89.4449
10	586498.240	4241573.185	3644.403	0.029	0.029	0.041	0.5244	0.6195	-88.8578
11	589079.119	4241605.030	3642.354	0.028	0.028	0.039	-0.6498	-0.3743	91.2191
12	589066.031	4242203.307	3636.403	0.028	0.028	0.039	-0.5978	-0.5439	91.3265
13	589034.296	4242801.480	3641.365	0.028	0.028	0.039	0.1885	-2.3996	94.3227
14	588994.594	4243400.070	3643.708	0.028	0.028	0.040	0.3780	0.9239	92.5060
15	589001.985	4243999.776	3648.975	0.028	0.028	0.040	0.5029	1.6647	88.3572
16	589016.217	4244599.597	3649.189	0.028	0.028	0.040	0.0281	-0.6056	89.0309
17	589017.175	4245198.816	3648.916	0.028	0.028	0.041	-0.2130	-0.5651	89.9872
18	589027.247	4245797.603	3642.042	0.029	0.029	0.041	-0.3565	0.2036	88.4498
19	589031.405	4246398.168	3641.600	0.029	0.029	0.041	-0.0185	-2.2273	90.7237
20	589001.620	4246996.819	3638.915	0.029	0.029	0.041	-0.0824	-0.4432	92.6199
21	590477.985	4245390.894	3638.382	0.028	0.028	0.039	0.7115	0.1325	-179.1366
22	589878.379	4245388.086	3636.352	0.028	0.028	0.039	-1.1602	0.0940	179.5228
23	589278.900	4245409.633	3636.858	0.028	0.028	0.039	-1.5250	0.2692	177.1757
24	588679.827	4245431.498	3640.601	0.028	0.028	0.039	1.1780	0.2379	178.6996
25	588080.232	4245429.182	3643.110	0.028	0.028	0.039	0.4100	0.1289	-179.7827
26	587481.755	4245434.512	3642.030	0.028	0.028	0.039	-0.2213	-0.2421	179.3204
27	586881.877	4245438.713	3643.284	0.028	0.028	0.039	0.9537	-0.1189	-179.8768
28	586283.592	4245422.092	3642.266	0.028	0.028	0.039	2.0343	-0.1470	-177.7184
29	585684.472	4245394.705	3637.160	0.028	0.028	0.039	0.5643	-0.3563	-177.3711
30	585085.185	4245382.013	3631.916	0.028	0.028	0.039	-1.3341	-0.3919	-179.7990
31	585094.392	4242878.146	3692.438	0.030	0.030	0.044	3.3144	0.0748	-5.1777
32	585693.549	4242832.866	3692.950	0.030	0.030	0.044	-1.7250	0.4825	-2.8832
33	586292.132	4242828.547	3685.525	0.030	0.030	0.044	-3.0462	1.0173	1.0329
34	586891.613	4242851.656	3671.225	0.030	0.030	0.044	-1.2118	1.2173	2.3076
35	587490.409	4242849.985	3661.989	0.030	0.030	0.044	3.0347	0.9738	-2.4491
36	588089.889	4242811.780	3652.405	0.030	0.030	0.044	0.2827	0.7300	-3.4931
37	588687.192	4242796.292	3653.040	0.030	0.030	0.044	-3.0943	-0.1308	0.4241
38	589288.074	4242817.833	3643.378	0.030	0.030	0.044	-1.9255	0.5438	2.6784
39	589887.655	4242827.714	3628.575	0.030	0.030	0.044	0.8227	0.9671	0.1344
40	590485.135	4242821.904	3615.999	0.030	0.030	0.044	0.6537	0.6549	-0.6943

Çizelge 5.9: VRS yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (25 cm GSD).

Fotoğraf No	y (m)	x (m)	h (m)	Sd y (m)	Sd x (m)	Sd h (m)	Omega (Deg)	Phi (Deg)	Kappa (Deg)
1	586515.091	4246965.319	3651.935	0.028	0.028	0.041	0.1079	-3.5606	-91.8275
2	586486.693	4246366.804	3654.135	0.028	0.028	0.041	-0.2649	-0.4023	-92.7480
3	586468.972	4245766.463	3657.304	0.028	0.028	0.041	-0.5316	0.3107	-91.7585
4	586449.188	4245167.616	3661.468	0.028	0.028	0.041	-0.8439	0.2208	-91.8922
5	586442.070	4244568.993	3673.801	0.028	0.028	0.041	-1.3717	2.0312	-89.5450
6	586456.831	4243969.207	3677.193	0.028	0.028	0.041	-0.2211	0.5073	-88.7494
7	586463.658	4243370.310	3669.583	0.028	0.028	0.041	0.5608	0.9974	-88.8285
8	586482.167	4242770.674	3658.974	0.028	0.028	0.041	1.1218	-0.0744	-88.5475
9	586489.199	4242172.821	3650.337	0.028	0.028	0.041	0.8095	-0.1802	-89.4448
10	586498.240	4241573.185	3644.434	0.028	0.028	0.041	0.5247	0.6196	-88.8576
11	589079.113	4241605.031	3642.421	0.028	0.028	0.041	-0.6499	-0.3744	91.2196
12	589066.024	4242203.307	3636.472	0.028	0.028	0.041	-0.5980	-0.5440	91.3270
13	589034.285	4242801.479	3641.433	0.028	0.028	0.041	0.1884	-2.3996	94.3232
14	588994.580	4243400.069	3643.772	0.029	0.029	0.041	0.3779	0.9239	92.5065
15	589001.973	4243999.774	3649.034	0.028	0.028	0.041	0.5027	1.6647	88.3577
16	589016.208	4244599.591	3649.245	0.028	0.028	0.041	0.0278	-0.6056	89.0315
17	589017.167	4245198.809	3648.969	0.028	0.028	0.041	-0.2133	-0.5652	89.9878
18	589027.241	4245797.598	3642.093	0.028	0.028	0.041	-0.3568	0.2036	88.4504
19	589031.399	4246398.166	3641.649	0.028	0.028	0.041	-0.0186	-2.2273	90.7243
20	589001.618	4246996.816	3638.963	0.028	0.028	0.041	-0.0826	-0.4433	92.6206
21	590477.971	4245390.886	3638.439	0.029	0.029	0.041	0.7116	0.1323	-179.1364
22	589878.367	4245388.080	3636.408	0.029	0.029	0.041	-1.1601	0.0937	179.5231
23	589278.890	4245409.627	3636.917	0.029	0.029	0.041	-1.5249	0.2690	177.1760
24	588679.819	4245431.493	3640.664	0.029	0.029	0.041	1.1780	0.2376	178.6998
25	588080.223	4245429.180	3643.175	0.029	0.029	0.041	0.4101	0.1286	-179.7825
26	587481.743	4245434.511	3642.094	0.029	0.029	0.041	-0.2212	-0.2423	179.3206
27	586881.864	4245438.711	3643.347	0.029	0.029	0.041	0.9538	-0.1190	-179.8766
28	586283.580	4245422.091	3642.325	0.029	0.029	0.041	2.0343	-0.1472	-177.7182
29	585684.462	4245394.709	3637.212	0.029	0.029	0.041	0.5645	-0.3565	-177.3709
30	585085.176	4245382.018	3631.961	0.029	0.029	0.041	-1.3339	-0.3921	-179.7988
31	585094.397	4242878.151	3692.477	0.029	0.029	0.043	3.3145	0.0750	-5.1774
32	585693.555	4242832.870	3692.988	0.029	0.029	0.043	-1.7250	0.4826	-2.8829
33	586292.138	4242828.551	3685.565	0.029	0.029	0.043	-3.0463	1.0174	1.0332
34	586891.618	4242851.659	3671.267	0.029	0.029	0.043	-1.2119	1.2175	2.3079
35	587490.413	4242849.988	3662.032	0.029	0.029	0.043	3.0346	0.9740	-2.4488
36	588089.892	4242811.781	3652.449	0.029	0.029	0.043	0.2827	0.7302	-3.4927
37	588687.195	4242796.291	3653.084	0.029	0.029	0.043	-3.0943	-0.1306	0.4244
38	589288.078	4242817.832	3643.422	0.029	0.029	0.043	-1.9255	0.5440	2.6788
39	589887.659	4242827.711	3628.619	0.029	0.029	0.042	0.8227	0.9673	0.1347
40	590485.139	4242821.898	3616.043	0.030	0.030	0.042	0.6536	0.6551	-0.6940

Çizelge 5.10: PPP yöntemi kinematik değerlendirme sonuçları (25 cm GSD).

Fotoğraf No	y (m)	x (m)	h (m)	Sd y (m)	Sd x (m)	Sd h (m)	Omega (Deg)	Phi (Deg)	Kappa (Deg)
1	586515.165	4246965.427	3652.157	0.038	0.038	0.055	0.1077	-3.5606	-91.8270
2	586486.774	4246366.913	3654.359	0.038	0.038	0.055	-0.2651	-0.4026	-92.7476
3	586469.057	4245766.574	3657.530	0.038	0.038	0.055	-0.5319	0.3103	-91.7581
4	586449.267	4245167.724	3661.700	0.038	0.038	0.055	-0.8442	0.2207	-91.8918
5	586442.143	4244569.100	3674.037	0.038	0.038	0.055	-1.3720	2.0312	-89.5446
6	586456.908	4243969.315	3677.428	0.038	0.038	0.055	-0.2213	0.5072	-88.7490
7	586463.738	4243370.418	3669.816	0.038	0.038	0.055	0.5606	0.9972	-88.8282
8	586482.246	4242770.779	3659.207	0.038	0.038	0.055	1.1216	-0.0744	-88.5472
9	586489.278	4242172.922	3650.570	0.038	0.038	0.055	0.8092	-0.1803	-89.4445
10	586498.322	4241573.285	3644.667	0.038	0.038	0.055	0.5244	0.6194	-88.8573
11	589079.199	4241605.126	3642.629	0.038	0.038	0.054	-0.6497	-0.3744	91.2191
12	589066.114	4242203.402	3636.678	0.038	0.038	0.054	-0.5978	-0.5440	91.3265
13	589034.373	4242801.574	3641.636	0.038	0.038	0.054	0.1885	-2.3995	94.3227
14	588994.670	4243400.164	3643.972	0.038	0.038	0.054	0.3781	0.9240	92.5059
15	589002.067	4243999.870	3649.235	0.038	0.038	0.054	0.5030	1.6647	88.3572
16	589016.294	4244599.692	3649.446	0.038	0.038	0.054	0.0282	-0.6054	89.0309
17	589017.251	4245198.908	3649.171	0.038	0.038	0.054	-0.2130	-0.5649	89.9873
18	589027.327	4245797.697	3642.296	0.038	0.038	0.054	-0.3565	0.2037	88.4498
19	589031.490	4246398.265	3641.856	0.038	0.038	0.054	-0.0183	-2.2273	90.7238
20	589001.707	4246996.914	3639.170	0.038	0.038	0.054	-0.0823	-0.4431	92.6200
21	590478.065	4245390.999	3638.594	0.038	0.038	0.054	0.7115	0.1326	-179.1358
22	589878.463	4245388.193	3636.560	0.038	0.038	0.054	-1.1602	0.0939	179.5237
23	589278.985	4245409.739	3637.068	0.038	0.038	0.054	-1.5251	0.2692	177.1766
24	588679.911	4245431.600	3640.817	0.038	0.038	0.054	1.1778	0.2379	178.7005
25	588080.315	4245429.290	3643.330	0.038	0.038	0.054	0.4101	0.1289	-179.7819
26	587481.836	4245434.624	3642.250	0.038	0.038	0.054	-0.2211	-0.2420	179.3212
27	586881.956	4245438.821	3643.504	0.038	0.038	0.054	0.9535	-0.1188	-179.8760
28	586283.672	4245422.198	3642.479	0.038	0.038	0.054	2.0341	-0.1469	-177.7176
29	585684.552	4245394.821	3637.364	0.038	0.038	0.054	0.5645	-0.3562	-177.3703
30	585085.265	4245382.131	3632.108	0.038	0.038	0.054	-1.3339	-0.3918	-179.7982
31	585094.464	4242878.252	3692.639	0.039	0.039	0.053	3.3143	0.0747	-5.1771
32	585693.622	4242832.985	3693.153	0.039	0.039	0.053	-1.7246	0.4824	-2.8827
33	586292.203	4242828.668	3685.726	0.039	0.039	0.053	-3.0460	1.0172	1.0334
34	586891.685	4242851.772	3671.424	0.039	0.039	0.053	-1.2118	1.2172	2.3081
35	587490.477	4242850.095	3662.191	0.039	0.039	0.053	3.0345	0.9738	-2.4486
36	588089.956	4242811.894	3652.611	0.039	0.039	0.053	0.2829	0.7300	-3.4926
37	588687.261	4242796.412	3653.249	0.039	0.039	0.053	-3.0939	-0.1308	0.4245
38	589288.144	4242817.946	3643.587	0.039	0.039	0.053	-1.9255	0.5437	2.6788
39	589887.727	4242827.818	3628.783	0.039	0.039	0.053	0.8226	0.9670	0.1348
40	590485.205	4242822.011	3616.205	0.039	0.039	0.053	0.6537	0.6549	-0.6940

Bağıl kinematik GNSS değerlendirmelerinde, ağ geometrisine uygun konumlandırılmış GNSS alıcıları ile yapılan statik ölçülerin referans noktası olarak kullanımı teorik olarak en uygun değerlendirme stratejisi olarak bilinmektedir. Bu nedenle yöntemler arasında yapılacak karşılaştırmalarda SBT yöntemi sonucu elde edilen değerler baz alınarak VRS ve PPP yöntemleri sonuçları karşılaştırılmıştır.

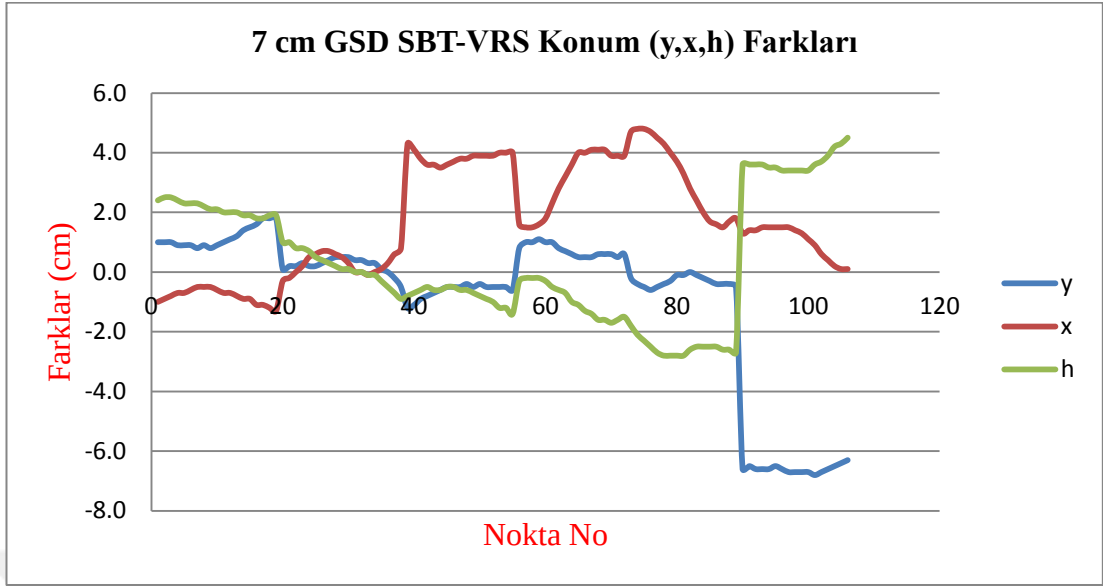
7 cm GSD için üretilen 106 adet resim orta noktasının koordinat ve dönüklük değerleri için SBT ve VRS yöntemlerinden elde edilen farklara ait istatistiki değerler Çizelge 5.11’de verilmiştir. Çizelge 5.11 incelendiğinde koordinat değerleri arasındaki farkların -6.8 cm ile 4.8 cm, resim dönüklük açıları ise -2.2" - 1.4" arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 5.11: 7 cm GSD için SBT-VRS yöntemleri karşılaştırması.

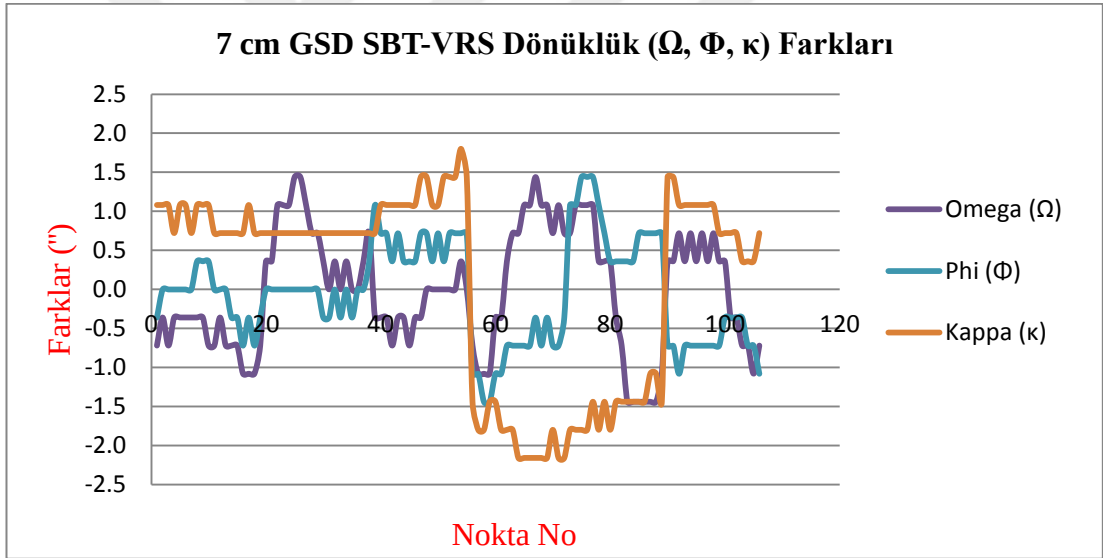
	Δy (cm)	Δx (cm)	Δh (cm)	$\Delta \Omega$ Ω (")	$\Delta \Phi$ Φ (")	$\Delta \kappa$ κ (")
Minimum	-6.8	-1.3	-2.8	-1.4	-1.4	-2.2
Maksimum	1.8	4.8	4.5	1.4	1.4	1.8

7 cm GSD için üretilen 106 adet resim orta noktasının koordinat ve dönüklük değerleri için SBT ve VRS yöntemlerinden elde edilen her bir noktaya ait fark grafikleri Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13’de verilmiştir. Çizelge 5.12’de sunulan konum fark grafiği incelendiğinde, son noktalarda konum farklarının yön değiştirdiği gözlenmekte bu durumun uçuş esnasında uçağın anlık dönüşünden kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir.

Çizelge 5.12: 7 cm GSD için SBT-VRS yöntemleri konum fark grafiği.



Çizelge 5.13: 7 cm GSD için SBT-VRS yöntemleri dönüklük fark grafiği.



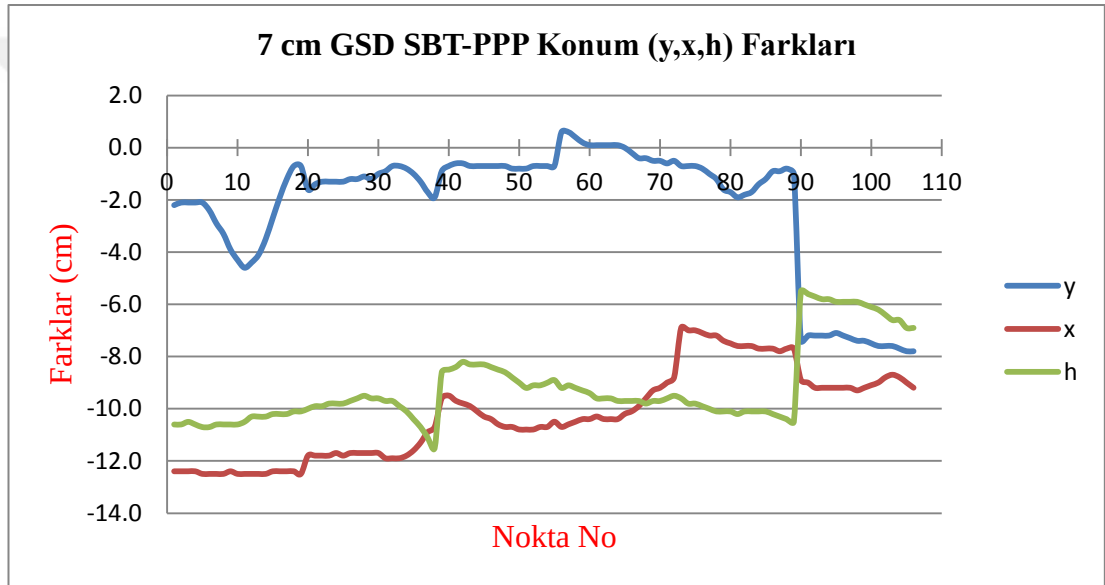
Sayısal uygulamada kullanılan diğer çözüm yöntemi olan PPP GNSS değerlendirme stratejisi ile 7 cm GSD için üretilen 106 adet resim orta noktasının koordinat ve dönüklük değerleri için SBT ve PPP yöntemlerinden elde edilen farklara ait istatistiki değerler Çizelge 5.14’de verilmiştir. Çizelge 5.14 incelendiğinde koordinat değerleri arasındaki farkların -12.5 cm ile 0.6 cm, resim dönüklük açılarında ise -3.6" - 2.9" arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 5.14: 7 cm GSD için SBT-PPP yöntemleri karşılaştırması.

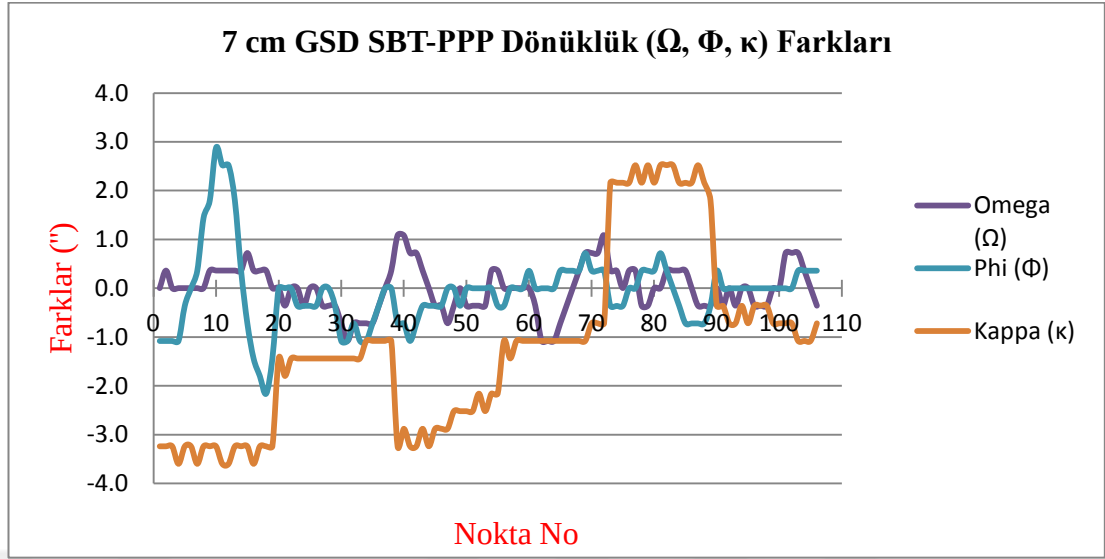
	Δy (cm)	Δx (cm)	Δh (cm)	ΔOmega Ω (")	ΔPhi Φ (")	ΔKappa κ (")
Minimum	-7.8	-12.5	-11.5	-1.1	-2.2	-3.6
Maksimum	0.6	-6.9	-5.5	1.1	2.9	2.5

7 cm GSD için üretilen 106 adet resim orta noktasının koordinat ve dönüklük değerleri için SBT ve PPP yöntemlerinden elde edilen her bir noktaya ait fark grafikleri Çizelge 5.15 ve Çizelge 5.16’de verilmiştir.

Çizelge 5.15: 7 cm GSD için SBT-PPP yöntemleri konum fark grafiği.



Çizelge 5.16: 7 cm GSD için SBT-PPP yöntemleri dönüklük fark grafiği.



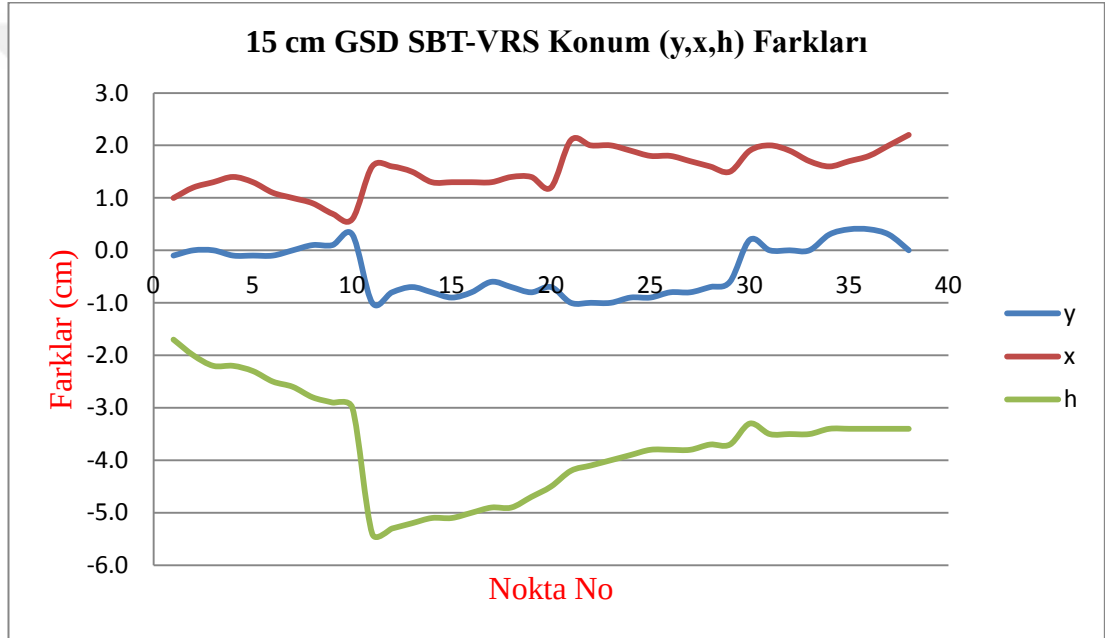
Değerlendirmeler sonucunda, 15 cm GSD için üretilen 38 adet resim orta noktasının koordinat ve dönüklük değerleri için SBT ve VRS yöntemlerinden elde edilen farklara ait istatistiki değerler Çizelge 5.17’de verilmiştir. Çizelge 5.17 incelendiğinde koordinat değerleri arasındaki farkların -5.4 cm ile 2.2 cm, resim dönüklük açıları ise -1.1" - 1.1" arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 5.17: 15 cm GSD için SBT-VRS yöntemleri karşılaştırması.

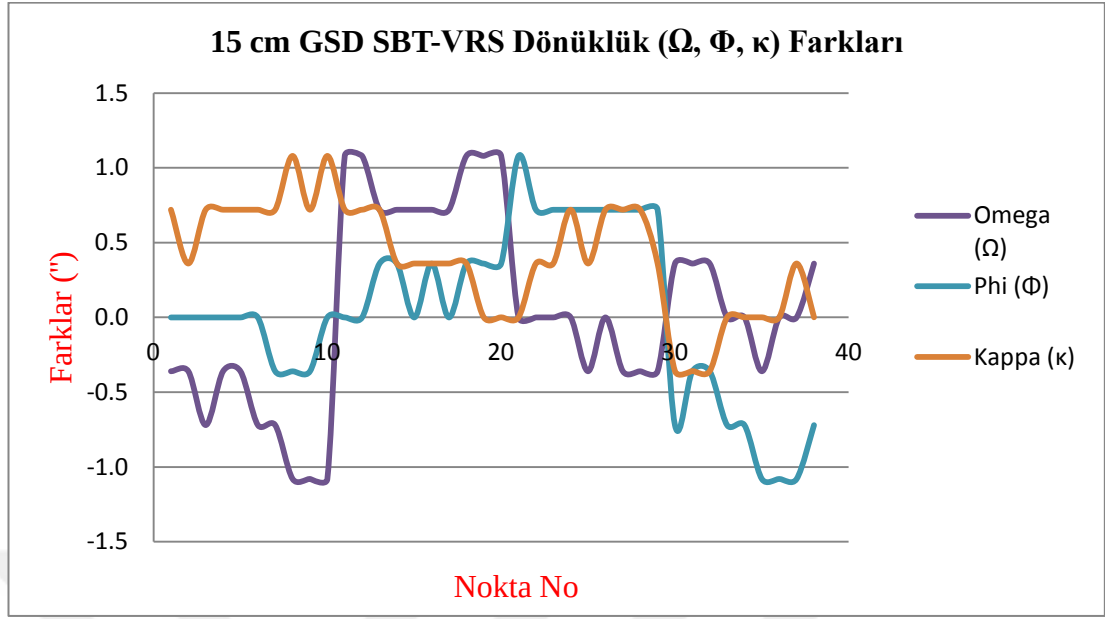
	Δy (cm)	Δx (cm)	Δh (cm)	ΔOmega Ω (")	ΔPhi Φ (")	ΔKappa κ (")
Minimum	-1.0	0.6	-5.4	-1.1	-1.1	-0.4
Maksimum	0.4	2.2	-1.7	1.1	1.1	1.1

15 cm GSD için üretilen 38 adet resim orta noktasının koordinat ve dönüklük değerleri için SBT ve VRS yöntemlerinden elde edilen her bir noktaya ait fark grafikleri Çizelge 5.18 ve Çizelge 5.19’da verilmiştir.

Çizelge 5.18. 15 cm GSD için SBT-PPP yöntemleri konum fark grafiği.



Çizelge 5.19: 15 cm GSD için SBT-VRS yöntemleri konum fark grafiği.



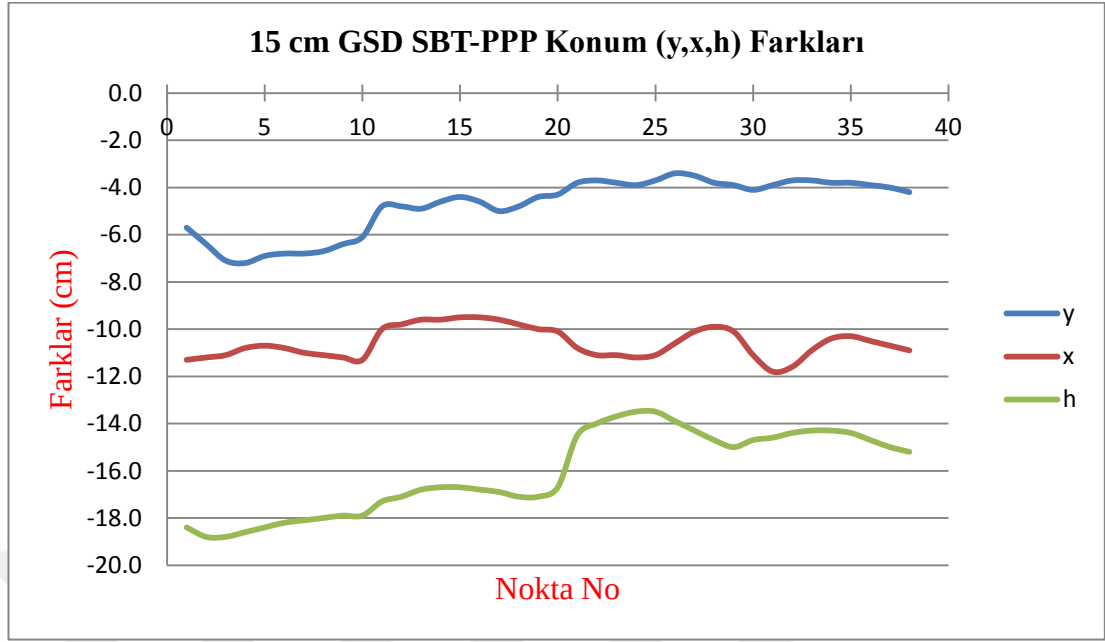
PPP GNSS değerlendirme stratejisi ile 15 cm GSD için üretilen 38 adet resim orta noktasının koordinat ve dönüklük değerleri için, SBT ve PPP yöntemlerinden elde edilen farklara ait istatistiki değerler Çizelge 5.19’de verilmiştir. Çizelge 5.19 incelendiğinde koordinat değerleri arasındaki farkların -18.8 cm ile -3.4 cm, resim dönüklük açıları ise -4.0" - 1.4" arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 5.20: 15 cm GSD için SBT-PPP yöntemleri karşılaştırması.

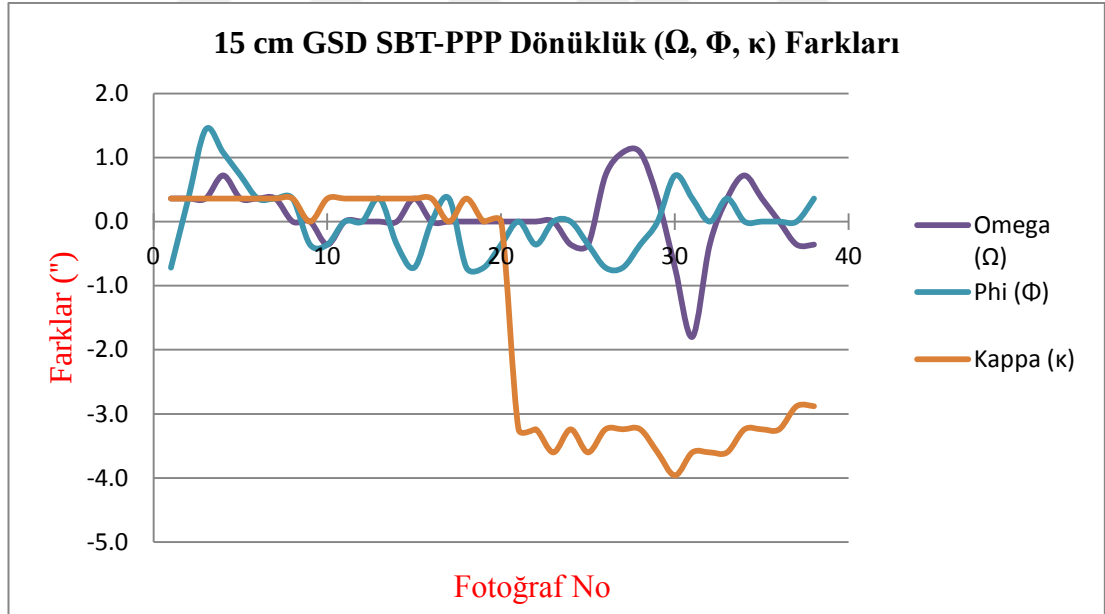
	Δy (cm)	Δx (cm)	Δh (cm)	ΔOmega Ω (")	ΔPhi Φ (")	ΔKappa κ (")
Minumum	-7.2	-11.8	-18.8	-1.8	-0.7	-4.0
Maksimum	-3.4	-9.5	-13.5	1.1	1.4	0.4

15 cm GSD için üretilen 38 adet resim orta noktasının koordinat ve dönüklük değerleri için SBT ve PPP yöntemlerinden elde edilen her bir noktaya ait fark grafikleri Çizelge 5.21 ve Çizelge 5.22’de verilmiştir.

Çizelge 5.21: 15 cm GSD için SBT-PPP yöntemleri konum fark grafiği.



Çizelge 5.22: 15 cm GSD için SBT-PPP yöntemleri dönüklük fark grafiği.



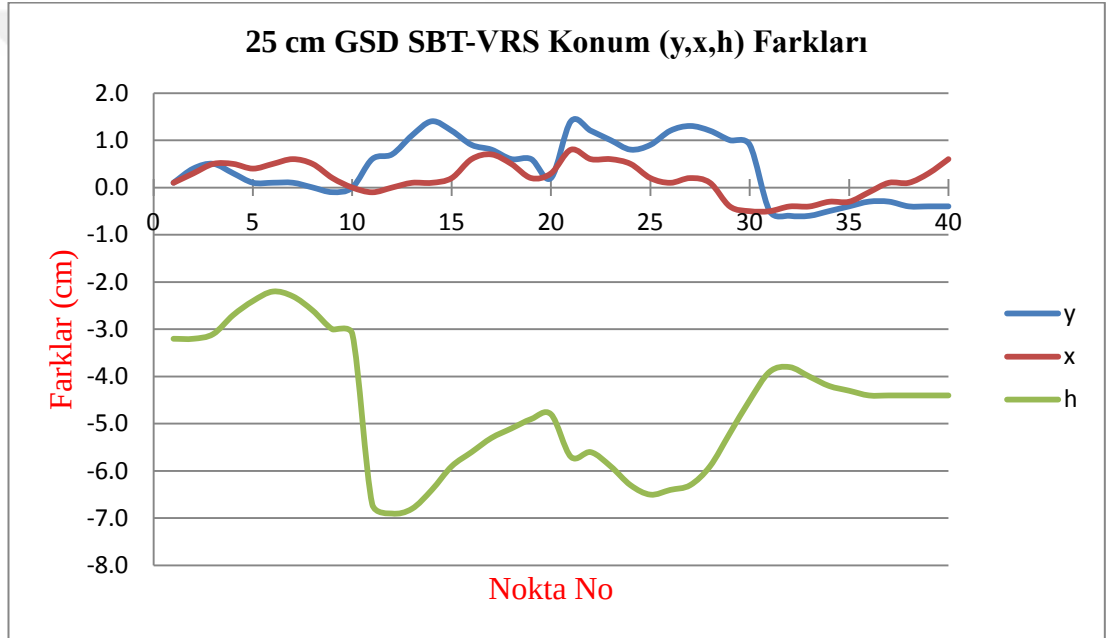
25 cm GSD için üretilen 40 adet resim orta noktasının koordinat ve dönüklük değerleri için SBT ve VRS yöntemlerinden elde edilen farklara ait istatistiki değerler Çizelge 5.23’de verilmiştir. Çizelge 5.23 incelendiğinde koordinat değerleri arasındaki farkların -6.9 cm ile 1.4 cm, resim dönüklük açılarında ise -2.5" - 1.1" arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 5.23: 25 cm GSD için SBT-VRS yöntemleri karşılaştırması.

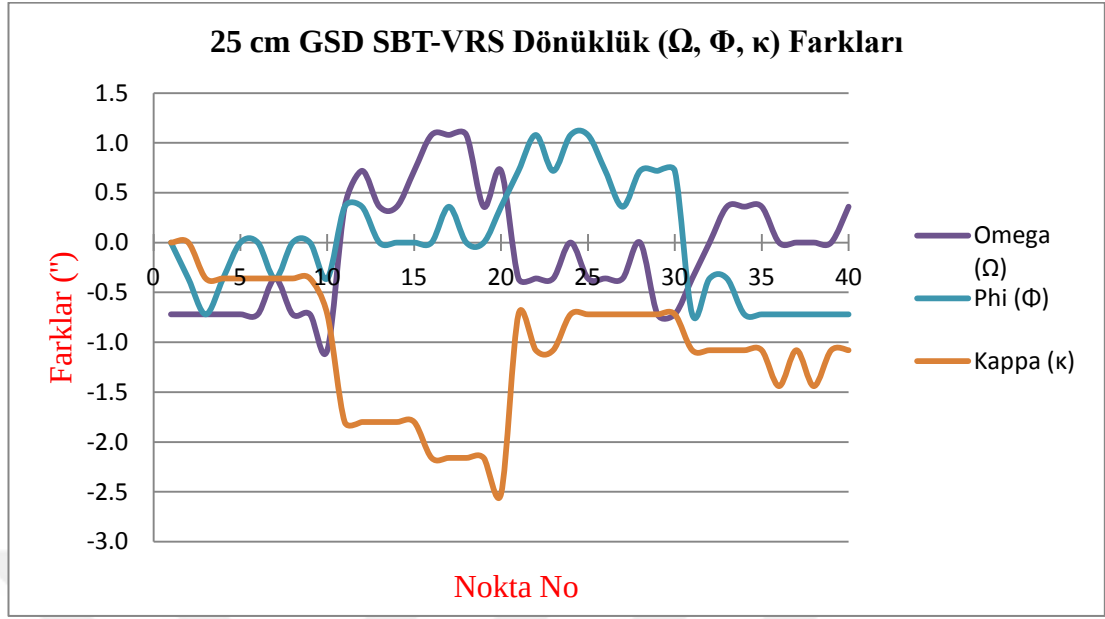
	Δy (cm)	Δx (cm)	Δh (cm)	$\Delta \Omega$ Ω (")	$\Delta \Phi$ Φ (")	$\Delta \kappa$ κ (")
Minumum	-0.6	-0.5	-6.9	-1.1	-0.7	-2.5
Maksimum	1.4	0.8	-2.2	1.1	1.1	0.0

25 cm GSD için üretilen 40 adet resim orta noktasının koordinat ve dönüklük değerleri için SBT ve VRS yöntemlerinden elde edilen her bir noktaya ait fark grafikleri Çizelge 5.24 ve Çizelge 5.25’de verilmiştir.

Çizelge 5.24: 25 cm GSD için SBT-VRS yöntemleri konum fark grafiği.



Çizelge 5.25: 25 cm GSD için SBT-VRS yöntemleri dönüklük fark grafiği.



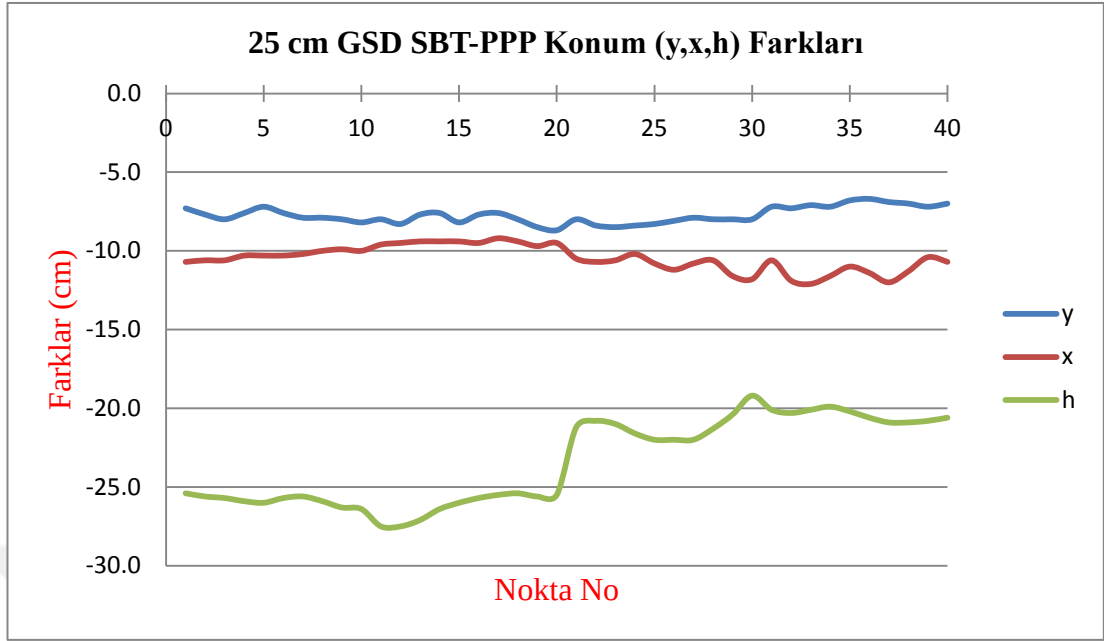
Sayısal uygulamada kullanılan diğer çözüm yöntemi olan PPP GNSS değerlendirme stratejisi ile 25 cm GSD için üretilen 40 adet resim orta noktasının koordinat ve dönüklük değerleri için SBT ve PPP yöntemlerinden elde edilen farklara ait istatistiki değerler Çizelge 5.26’da verilmiştir. Çizelge 5.26 incelendiğinde koordinat değerleri arasındaki farkların -27.5 cm ile -6.7 cm, resim dönüklük açıları ise -3.2" - 0.7" arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 5.26. 25 cm GSD için SBT-PPP yöntemleri karşılaştırması.

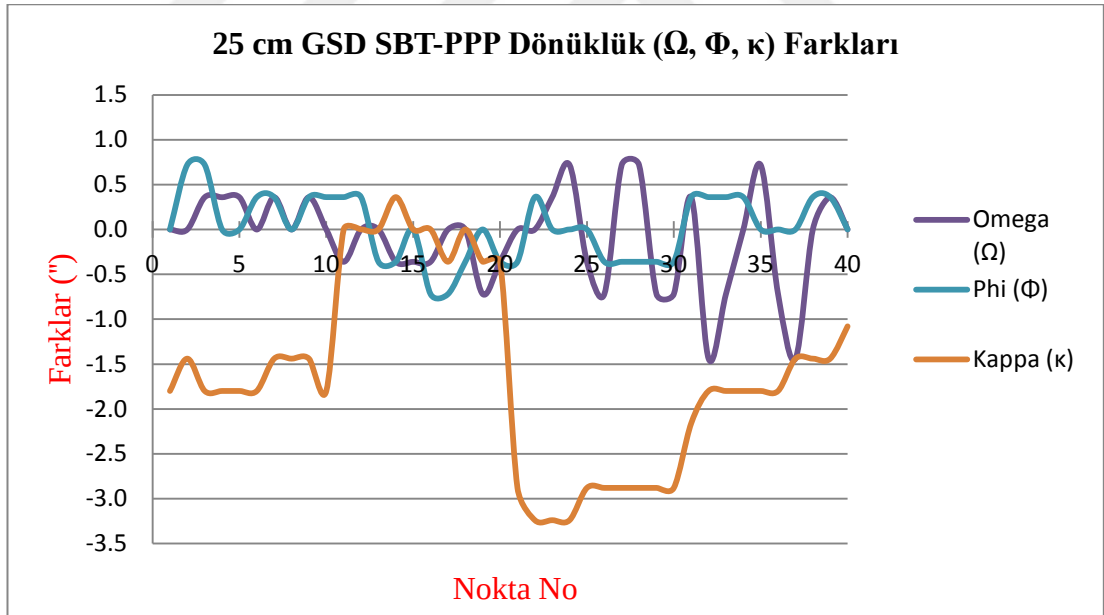
	Δy (cm)	Δx (cm)	Δh (cm)	ΔOmega Ω (")	ΔPhi Φ (")	ΔKappa κ (")
Minumum	-8.7	-12.1	-27.5	-1.4	-0.7	-3.2
Maksimum	-6.7	-9.2	-19.2	0.7	0.7	0.4

25 cm GSD için üretilen 40 adet resim orta noktasının koordinat ve dönüklük değerleri için SBT ve PPP yöntemlerinden elde edilen her bir noktaya ait fark grafikleri Çizelge 5.27 ve Çizelge 5.28’de verilmiştir.

Çizelge 5.27: 25 cm GSD için SBT-PPP yöntemleri konum fark grafiği.



Çizelge 5.28: 25 cm GSD için SBT-PPP yöntemleri dönüklük fark grafiği.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son 30 yılda uydu teknolojilerindeki gelişmeler geçmişte uygulaması zor olan ölçme ve hesaplama tekniklerine de yansımıştır. Özellikle uydu bazlı ölçme sistemlerinden GNSS, konum belirleme çalışmalarında sağlamış olduğu yüksek doğruluk, ölçme hızı ve uygulama kolaylığı nedeniyle, fotogrametrik ve jeodezik harita üretiminde, batimetrik ölçmelerde, demir yolu, baraj, otoyol, köprü, liman ve benzeri mühendislik yapılarının jeodezik uygulamalarında, yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi, meteorolojik ve atmosferik gözlemlerde, büyük hafriyatlarda zemin hareketlerinin kontrolü, deprem erken uyarı sistemlerinin oluşturulması gibi çalışmalarda kullanılmaktadır.

GNSS ile konum belirlemede istenilen doğruluğa göre farklı ölçme ve değerlendirme yöntemleri kullanılmaktadır. Statik, hızlı statik, kinematik, gerçek zamanlı kinematik, sanal referans istasyonları, internet tabanlı GNSS veri değerlendirme servisi ve hassas konum belirleme gibi yöntemler GNSS ölçme ve değerlendirme yöntemlerine örnek olarak verilebilir.

Fotogrametrik harita üretiminde GNSS/IMU sistemleri kullanılarak resim orta noktası koordinatları ve dönüklük parametreleri hesaplanmaktadır. Bu çalışmada, resim orta noktası koordinatları ve dönüklük parametreleri yer yüzeyinden 700 m, 1500 m ve 2500 m uçuş yüksekliklerinde yapılan uçuşlardan elde edilen veriler SBT, VRS ve PPP kinematik GNSS değerlendirilme yöntemleri ile hesaplanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tez çalışması kapsamında, farklı yöntemlerle değerlendirilen GNSS verilerinin sonuçları, SBT yöntemi sonucu elde edilen değerler baz alınarak VRS ve PPP yöntemlerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

700 m uçuş yüksekliği için elde edilen elen sonuçlar (Çizelge 5.11, Çizelge 5.14) incelendiğinde SBT ve VRS yöntemiyle elde edilen sonuçlar (-6.8 cm, +4.8 cm aralığında) kendi arasında uyum gösterirken, SBT ve PPP sonuçlarının (-12.5 cm, +0.6 cm aralığında) daha düşük doğruluktadır.

1500 m uçuş yüksekliği için elde edilen elen sonuçlar (Çizelge 5.17, Çizelge 5.20) incelendiğinde SBT ve VRS yöntemiyle elde edilen sonuçlar (-5.4 cm, +2.2 cm aralığında) kendi arasında yine uyum gösterirken, farkların kinematik GNSS değerlendirmeden beklenen doğruluk açısından oldukça kabul edilebilir olduğu görülmüştür. SBT ve PPP sonuçlarının (-18.8 cm, -3.4 cm aralığında) ise daha düşük doğrulukta olduğu, özellikle yükseklik konum bilgisi değerleri daha düşük doğruluktadır.

2500 m uçuş yüksekliği için elde edilen elen sonuçlar (Çizelge 5.23, Çizelge 5.26) incelendiğinde SBT ve VRS yöntemiyle elde edilen sonuçlar (-6.9 cm, +1.4 cm aralığında) kendi içinde uyum göstermektedir. SBT ve PPP sonuçları (-27.5 cm, -6.7 cm aralığında) incelendiğinde doğruluğun hem yatay hem de düşey koordinatlar daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Uçuş yüksekliği arttıkça PPP çözümlerindeki doğruluğun konum ve dönüklülerde düştüğü, özellikle yükseklik bileşeninde fark miktarlarının daha fazla arttığı görülmüştür. VRS yönteminin ise her uçuş yüksekliğinde SBT yöntemi ile elde edilen sonuçlara yakın değerler verdiği görülmüştür.

GNSS ile konum belirlemede bağıl konum belirleme sistemlerinin birden fazla alıcı ve personel gerektirmesi nedenleriyle ölçü hızını ve maliyetini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle bağıl GNSS konum belirleme yöntemlerinde tek GNSS alıcısı ile ölçü yüksek konum doğruluğunda yapılmasına imkan sağlayan ulusal ya da bölgesel GNSS ağı sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Bu sistemlerin anlık (real time-RTK) hizmet veren bir kısmında da RTK uygulamalar VRS yöntemiyle gerçekleştirilmekte olup; tek istasyon kullanılarak yapılan klasik RTK uygulamalarına göre pek çok üstünlüğü barındırmaktadır. VRS, RTK uygulamaları açısından iyonosfer, troposfer ve efemeris hataları gibi pek çok sistematik etkiyi azaltması sonucunda tamsayı belirsizliği çözüm doğruluğunu arttırmaktadır.

VRS istasyonları RTK uygulamaların yanı sıra hızlı statik ve kinematik konumlama uygulamalarında da kullanılabilmektedir. Bu gibi özellikleri göz önüne alındığında, VRS'nin ülkemizdeki RTK, statik ve kinematik konumlama uygulamalarında kullanılmasının önemli olduğu düşünülmektedir.

Hassas Nokta Konumlama Tekniği, GNSS veri işleme yöntemleri içerisinde, ürün doğruluklarının gelişimine paralel olarak, önem kazanmaya başlamıştır. Tek bir GPS

alıcısı ile yapılacak gözleme dayanan bu teknik uygulama açısından büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Tekniğin, temelinde yer alan iyonosferden bağımsız kombinasyonlar çift frekanslı GPS alıcısı gerektirmektedir. Günümüzde kullanılan jeodezik GNSS alıcılarının tamamına yakınının çift frekanslı olması ve hassas uydu parametrelerine ulaşımın kolaylığı “Hassas Nokta Konumlama Tekniğinin” uygulamalarda daha ekonomik ve hızlı çözümler sunabilmesine neden olmaktadır.

Harita üretim teknikleri içerisinde önemli bir yeri olan fotogrametri alanında ve mekana bağlı sayısal uygulamalarda çok amaçlı hava görüntülerine olan talep hızla artmaktadır. Sayısal hava görüntüsü üretiminde GPS-IMU algılayıcı yöneltme sistemlerinin entegre edilerek kullanılması, görüntülerin değerlendirilmesi için gerekli olan yer kontrol noktası ihtiyacını önemli ölçüde azaltmıştır. Ancak algılayıcı yöneltme sistemlerinde, kinematik GNSS ile konum belirleme yöntemi kullanılarak konum bilgisi ve dönüklük parametreleri elde edilebilmektedir. Bu yöntemle havadan görüntü alımı uçuşu, çalışma bölgesinde proje alanının büyüklüğüne bağlı olarak bir ya da daha fazla sayıda sabit GNSS alıcısına gereksinim duyulmaktadır.

Günümüzde, yer kontrol noktası tesis etmeksizin ve arazi çalışmaları yapılmaksızın sadece GNSS/IMU destekli hava fotoğrafı çekimi gerçekleştirerek doğrudan fotogrametrik harita üretimi amaçlanmaktadır. Ancak, uçuş yapılacak bölgede sabit GNSS alıcısı olmaksızın, GNSS/IMU sistemlerinden yüksek doğruluklu resim orta noktası koordinatı ve dönüklük parametreleri üretebilmek mümkün görünmemektedir. Bu da amaçtan uzaklaştırmaktadır.

Hava görüntüsü alımı, maliyeti yüksek ve farklı meslek disiplinlerini bir arada kullanmayı gerektiren, meteorolojik koşullardan da çok fazla etkilenmesi nedeniyle oldukça sınırlı günde yapılabilen zahmetli bir çalışmadır. Bu tür bir çalışmada sabit GNSS alıcılarından kaynaklanacak sorunlar uçuş tekrarı ile giderilebilmektedir. Uçuş tekrarı ise harita üretim çalışmalarını süreç ve maliyet yönünden olumsuz olarak etkileyecektir. Görüntü alım uçağının çalışacağı havaalanı ile çalışma bölgesi çok farklı yerler olabileceğinden sabit GNSS alıcısı kurmak için farklı ekipler gerekmesi büyük bir sorun oluşturabilmektedir.

Elde edilen sonuçlar, GNSS/IMU sisteminin bileşeni olan kinematik GNSS değerlendirmelerinde, ulusal GNSS ağlarından üretilecek VRS noktalarının, uçuş bölgesinde sabit GNSS alıcısı yerine kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca,

gerçek zamanlı kinematik ağ uygulamalarında, veri iletişim sorunları yaşanan durularda kinematik ölçü yöntemiyle toplanacak veriler daha sonra oluşturulacak VRS referans noktaları ile değerlendirilmesinin mümkün olduğu düşünülmektedir.

Hassas Konum Belirleme Tekniğinin tez çalışmasında kullanılan diğer değerlendirme tekniklerine göre daha düşük doğruluklu sonuç vermesi nedeniyle bu tür çalışmalarda fazla doğruluk gerektirmeyen uygulamalarda kullanılabileceği düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Arslan N., Aydın C., Demirel H., 2002. Sanal referans istasyonu sistemi (VRS), Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, Konya.
- Atak V.O., Aksu O., 2004. Algılayıcı Yöneltilme Sistemleri, Hrt.Gn.K.lığı, Harita Dergisi Sayı: 132, Ankara.
- Beşdok E., Özçelik A.E., 2009. Kalman filtreleme yöntemiyle otonom hava araç navigasyonunda gps/ins entegrasyonu, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Beutler G., 2000. Ionosphere Related Activities with in the IGS, Earth Science Advisory Committee (ESAC), Paris.
- Eren, K., Uzel, T., 1995. GPS Ölçmeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, Yayın No:301, İstanbul.
- Gao, Y. and Shen, X., 2002. A New Method For Carrier-Phase-Based Precise Point Positioning, Navigation: Journal of Institute of Navigation, 49(2),109-116.
- Geng, J., Meng, X., Teferle, F.N., Dodson, A.H., 2010. Performance of precise point positioning with ambiguity resolution for 1- to 4-hour observation periods, Survey Review, 42, 316 pp.155-165.
- Geng, J., Shi, C., Ge, M., Dodson, A.H., Lou, Y., Zhao, Q., Liu, J., 2012. "Improving the estimation of fractional-cycle biases for ambiguity resolution in precise point positioning, Journal of Geodesy, (2012) 86:579–589.
- Geng, J., Teferle, F.N., Meng, X., Dodson, A.H., 2011. Towards PPP-RTK: Ambiguity resolution in real-time precise point positioning, Advances in Space Research, 47, 10 pp.1664-1673.
- Gökalp, E., 1994. GPS Ölçme Süresini Kısaltma Amaçlı Yöntem Geliştirme, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Gül B., 2005. Hassas nokta konum belirleme tekniğinin (PPP) jeodezik uygulamalarda kullanılabilirliğinin araştırılması, Bitirme Tezi, Harita yüksek teknik okulu komutanlığı, Ankara.
- Gülal E., 2010. Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- Işık B.C., 1997. Küresel Astronominin Konusu Zaman ve Uydu Konumlama Sistemleri GPS-GLONASS, Harita ve Kadastro Mühendisliği dergisi, Sayı:82, Ankara.
- İnal C., Uyar K., 2004. Küresel Konum Belirleme Sisteminin Geleceği, Mülkiyet Dergisi, Sayı:54, Sy.:9-12, Ankara.
- Kahveci M., 2014. Uydularla Konum Belirleme Sistemleri (GNSS)'nin Hassas Tarımda Kullanımı ve Sağladığı Katkıları, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 6, No: 2, 2014 (35-48).
- Kouba J., Heroux P., 2000. GPS Precise Point Positioning Using IGS Orbit Products, Geodetic Survey Division, Natural Resources, Canada.
- Kouba J., Heroux P., 2001. Precise point positioning using IGS orbit and clock products. GPS solutions, 12-28.
- Kouba J., 2003. A Guide To Using International GPS Service (IGS) Products, Geodetic Survey Division, Natural Resources, Canada.
- Öcalan T., Soyman M., 2012. RTCM/SSR mesajları ile gerçek zamanlı hassas nokta konumlama (PPP-RTK) tekniği, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 4, No: 2, 2012 (30-41).
- Polischuk G.M., Kozlov V I., Hitchov V.V., 2002. The Global Navigation Satellite System Glonass, Development and Usage in the 21 st Century.
- Rizos, C., Janssen, V., Roberts, C., Grinter, T., 2012. Precise Point Positioning: Is the Era of Differential GNSS Positioning Drawing to an End?, FIG Working Week 2012, Rome, Italy, 6-10 May 2012.
- Salgın Ö., 2007. Farklı uzunluktaki bazlarda ticari GPS yazımlarının Bernese yazılımı ile karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Schaer S., Beutler G., Rothacher M., Brockmann E., Wiget A., Wild U., 1999. The Impact of the Atmosphere and Other Systematic Errors on Permanent GPS Networks, IAG Symposium on Positioning, Birmingham, UK.
- Seeber G., 1993. Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications, Berlin-New York.
- Wanninger L., 1999. The Performance of Virtual Reference Stations in Active Geodetic GPS Networks Under Solar Maksimum Conditions, Proceedings of ION-GPS 99, Nashville.
- Witchayangkoon A., 2000. Elements of Precise Point Positioning, A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, M.S. University of Maine, Bangkok.

Yıldırım, Ö. 2002. Statik GPS Gözlemleri Kullanılarak Elde Edilen Baz ve Nokta Koordinat Duyarlılıkları Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.

URL-1<<http://www.igi-systems.com>>, alındığı tarih: 06.08.2011.



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : İbrahim CANKURT

Doğum Tarihi ve Yeri: 20.07.1979 Ankara Kızılcahamam

E-posta adresi : icankurt@gmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans : 1998-2002 Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,
Jeodezi ve Fotogrametri, Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans : 2011-2016 Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1997-1998 ; Çerkeş Kadastro Müdürlüğü, Kadastro Teknisyeni

1998-2002: Meram Tapu Sicil Müdürlüğü, Memur

2002-2007: Harita Dairesi Başkanlığı-Jeodezi Birimi, Mühendis

2007- :Harita Dairesi Başkanlığı-Uçuş Birimi, Mühendis