



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

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**TEK NOKTA, AĞ YAPISI VE PPP YÖNTEMLERİYLE
GNSS ÇÖZÜMLERİNİN DOĞRUDAN
ALGILAYICI YÖNELTMESİ DOĞRULUĞUNA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah KAYI

DANIŞMAN

Doç. Dr. H. Murat YILMAZ

AKSARAY, 2013

T.C.

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ KABUL ve ONAY BELGESİ

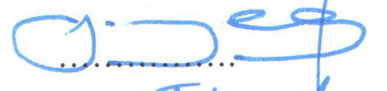
Yüksek Lisans öğrencisi **Abdullah KAYI**'ın **Tek Nokta, Ağ Yapısı ve PPP Yöntemleriyle GNSS Çözümlerinin Doğrudan Algılayıcı Yönelmesi Doğruluğuna Etkisi** başlıklı lisansüstü tez çalışması, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararı ile oluşturulan aşağıdaki jüri tarafından Harita Mühendisliği Anabilim Dalında **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak **Oy Birliği/Oy Çokluğu** ile kabul edilmiştir.

Danışman : Doç.Dr.H.Murat YILMAZ

Üye : Prof.Dr.Ferruh YILDIZ

Üye : Doç.Dr.Hakan KARABÖRK

İmza




Tezin Savunulduğu Tarih : 22.02.2013

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun 01.03.2013.. tarih ve 2013/09-02 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Doç. Dr. Selçuk REİS
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Günümüzde hızla gelişen bilgisayar ve elektronik teknolojilerinden haritacılıkta faydalanmıştır. İlk gelişmeler analog kameralardan sayısal kameralara geçiştir. Daha sonra yaşanan en büyük gelişme yer kontrol noktalarının azalmasıdır. Klasik fotogrametrik dengeleme yerine ilk önce kinematik GNSS destekli fotogrametrik dengeleme yöntemi uygulanmış ve yer kontrol noktası ihtiyacında inanılmaz bir düşüş gözlenmiştir. İşin doğası gereği yer kontrol noktası inşası projenin süresinin uzamasına neden olmaktadır. Bazen de yer kontrol noktası inşası arazi koşulları, güvenlik veya zaman kısıtları nedeniyle yapılamamaktadır. Bu dar boğaz GNSS ve IMU sistemlerinin bütünleşik olarak kullanılmasıyla elde edilen GNSS\IMU sistemi sayesinde aşılmıştır. GNSS\IMU verileri kullanılarak artık dış yöneltme parametreleri doğrudan yer kontrol noktasına gerek kalmadan belirli bir doğrulukta üretilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada öncelikle benden yardımlarını ve desteğini esirgemeyen, hep bir adım daha öteyi görmemi sağlayan Danışmanım Doç.Dr. H.Murat YILMAZ'a, Fotogrametriyi bana sevdiren, geniş bilgi birikimiyle yolumuza ışık tutan ve sürekli kendisini örnek aldığım Dr.Müh.Bnb. Altan YILMAZ'a, 6 yıldır mensubu olduğum Harita Genel Komutanlığına ve emeği geçen herkese sonsuz teşekkürü bir borç bilirim. Murat Saraç'ın anısına (1983-2010)

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa Nu.

ÖNSÖZ	i
TEŞEKKÜR	ii
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. SAYISAL HAVA KAMERALARI.....	2
3. ULTRACAMX SAYISAL HAVA KAMERASI.....	9
3.1. Sistem Bileşenleri.....	10
3.2. Sistem Özellikleri.....	10
3.3. Kamera Görüntüsü ve Görüntü Alım Aşamaları	12
3.4. Teknik Özellikleri	15
4. ALGILAYICI YÖNELTME SİSTEMLERİ.....	17
4.1. Doğrudan Algılayıcı Yönelmesi.....	18
4.2. Birleştirilmiş Algılayıcı Yönelmesi	20
5. HAVA FOTOĞRAFI YÖNELTMESİNDEKİ HATA KAYNAKLARI	21
5.1. Algılayıcı Hataları.....	23
5.1.1. Görüntü Algılayıcısı - Sayısal Hava Kamerası.....	23
5.1.2. Global Uydu Konumlama Sistemi (GNSS)	24
5.1.3. Ataletsel Yönetim Sistemi (IMU-Inertial Measurement Unit)	28
5.2. Entegrasyon Hataları.....	30
5.2.1. Sensor Yerleştirme.....	30
5.2.2. Senkronizasyon	31
5.2.3. Filtreleme Teknikleri.....	32
5.3. Kalibrasyon Hataları	32
5.3.1. Algılayıcı Hatası.....	32
5.3.2. Öteleme Vektörü	33
5.3.3. Boresight Kalibrasyonu	35
6. UYGULAMA.....	36
6.1. Araçlar.....	36
6.1.1. Sayısal Hava Kamerası	36
6.1.2. GNSS Alıcısı	36
6.1.3. Yazılımlar.....	36
6.2. Girdiler	39
6.2.1. Çalışma Bölgesi.....	39
6.2.2. Sayısal Hava Fotoğrafları.....	39
6.2.3. Denetleme Noktaları.....	39
6.2.4. Sabit Yer GPS İstasyonları (Tusaga-Aktif Sabit GNSS İstasyonları).....	40
6.3. Uygulama	41
6.3.1. Birinci GNSS Çözümü – Tek Nokta – Ankara.....	41
6.3.2. İkinci GNSS Çözümü – Tek Nokta – Kırıkkale	46
6.3.3. Üçüncü GNSS Çözümü – Tek Nokta – Yozgat	51
6.3.4. Dördüncü GNSS Çözümü – Tek Nokta – Sivas	56
6.3.5. Beşinci GNSS Çözümü – Ağ Yapılı – Afyn, Hend, Vezi, Kuru ve Nevs	61
6.3.6. Altıncı GNSS Çözümü – Ağ Yapılı – Yunk, Bolu, Kstm ve Yzgt....	66

6.3.7. Yedinci GNSS Çözümü – Ağ Yapılı – Cmlr, Kkal, Kulu, Naha ve Yunk.	71
6.3.8. Sekizinci GNSS Çözümü – Ağ Yapılı – Ag_7 ve Ankr	76
6.3.9. Dokuzuncu GNSS Çözümü – PPP	81
6.3.10. Dengeleme Çözümü	86
7. BULGULAR ve TARTIŞMA	87
8. SONUÇLAR	90
KAYNAKLAR	91
EKLER	94
ÖZGEÇMİŞ	97

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TEK NOKTA, AĞ YAPISI VE PPP YÖNTEMLERİYLE GNSS ÇÖZÜMLERİNİN DOĞRUDAN ALGILAYICI YÖNELTMESİ DOĞRULUĞUNA ETKİSİ

Abdullah KAYI

T.C.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. H. Murat YILMAZ

Doğrudan algılayıcı yöneltmesi veya doğrudan coğrafi yöneltme GNSS\IMU verileri kullanarak dış yöneltme parametrelerinin yer kontrol noktası kullanılmadan hesaplanmasıdır. Bu sistemin doğruluğu GNSS\IMU bütünleşik sistemin doğruluğuna bağlıdır. DGNSS (Differential Global Navigation Satellite System) ve IMU (Inertial Measurement Unit)'nun birlikte kullanılmasıyla oluşan bütünleşik sistem, uçuş esnasında yaklaşık dış yöneltme elemanlarını belirlemektedir. Bu yöneltme elemanlarının doğruluğu GNSS ve IMU doğruluğuna bağlıdır.

Bu çalışmada tek nokta, ağ yapısı ve ppp yöntemleriyle gnss çözümlerinin doğrudan algılayıcı yöneltmesi doğruluğuna etkisi değerlendirilmiştir. Test alanı 1296 km² dir. 30 cm çözünürlüğünde 396 adet fotoğraf kullanılmıştır. Tek nokta çözüm yatay doğruluğu (X-Y) 23-30 cm , düşey doğruluğu 40 cm, ağ yapısı çözüm yatay doğruluğu 24-27 cm , düşey doğruluğu 37 cm ve ppp çözüm yatay doğruluğu 20-28 cm , düşey doğruluğu 44 cm hesaplanmıştır..

2013, 97 sayfa

**Anahtar kelimeler; Sayısal Hava Kamerası, GNSS, IMU, Doğrudan Algılayıcı
Yöneltmesi, Doğrudan Coğrafi Yöneltme**

ABSTRACT

Master of Science Thesis

THE EFFECT OF ONE POINT, NETWORK AND PPP GNSS DATA PROCESSES ON THE DIRECT SENSOR ORIENTATION ACCURACY

Abdullah KAYI

Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. H. Murat YILMAZ

Direct sensor orientation or direct georeferencing is the solution of exterior orientation parameters using GNSS\IMU data without ground control points. Accuracy of the system is based on GNSS\IMU integrated system accuracy. The integrated system containing DGNSS and IMU calculates the approximate exterior orientation parameters during the flight. The exterior orientation accuracy is based on GNSS and IMU accuracy.

In this study, the effect of one point, network and PPP GNSS data processes without ground control point on the accuracy of the direct sensor orientation was evaluated. Test area is 1296 km². It was used 393 images with 30 cm resolution. It was calculated that one point solution horizontal accuracies are (X-Y) 23-30 cm., vertical accuracy is (Z) 40cm, network solution horizontal accuracies are (X-Y) 24-27 cm, vertical accuracy is (Z) 37 cm and ppp solution horizontal accuracies are (X-Y) 20-28 cm, vertical accuracy is (Z) 37 cm.

2013, 97 pages

Key words: Digital Aerial Camera, GNSS, IMU, Direct Sensor Orientation, Direct Georeferencing,

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa Nu.

Şekil 2.1. DMC II-CCD (Jacobsen ve Neumann, 2012)	3
Şekil 2.2. UltracamX ve UltraCam Eagle sayısal hava kameraları arasındaki fotoğrafların kapladığı alanların karşılaştırılması	5
Şekil 2.3. UltracamX ve UltraCam Eagle sayısal hava kameralarıyla İzmir bölgesinde yapılan uçuş planı krokisi	7
Şekil 3.1. UltraCamX sayısal fotogrametrik hava kamerası	9
Şekil 3.2. UltraCamX hava kamerasının konileri	11
Şekil 3.3. UltraCamX sayısal hava kamerası için pankromatik sayısal görüntünün oluşturulması (pozlanması) (Thurgood, 2004)	12
Şekil 3.4. Pankromatik konilerin görüntü alımı	13
Şekil 3.5. Bir pankromatik görüntünün tamamı.	13
Şekil 3.6. Multispektral kamera konileri pozlama süreci (Akabalı, 2010)	14
Şekil 4.1. Görüntü ve Referans Koordinat Sistemi Arasındaki İlişkinin Gösterimi	17
Şekil 4.2. Doğrudan Yönelme Modeli Konsepti (El-Sheimy, 1996a)	19
Şekil 5.1. Öteleme Vektörü Hesaplanması	34
Şekil 6.1. UltraMap Level-0 Level-2 dönüşümü arayüzü	37
Şekil 6.2. UltraMap Level-0 Level-2 dönüşümü Hızlı görünüm ürünleri	37
Şekil 6.3. Haze algoritması kullanılmadan önceki görüntü radyometrisi	38
Şekil 6.4. Haze algoritması kullanıldıktan sonra görüntü radyometrisi	38
Şekil 6.5. Çalışma Bölgesi Denetleme Noktası Dağılımı	40
Şekil 6.6. Çalışma Bölgesi Tusaga-Aktif Sabit GNSS İstasyonları Dağılımı	40
Şekil 6.7. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları	42
Şekil 6.8. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu	43
Şekil 6.9. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları	44
Şekil 6.10. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu	45
Şekil 6.11. İkinci GNSS Çözümü Uygulama Alanı (Tek Nokta Kırıkkale)	46
Şekil 6.12. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları	47
Şekil 6.13. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu	48
Şekil 6.14. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları	49
Şekil 6.15. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu	50
Şekil 6.16. Üçüncü GNSS Çözümü Uygulama Alanı (Tek Nokta Yozgat)	51
Şekil 6.17. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları	52
Şekil 6.18. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu	53
Şekil 6.19. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları	54
Şekil 6.20. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu	55
Şekil 6.21. Dördüncü GNSS Çözümü Uygulama Alanı (Tek Nokta Sivas)	56
Şekil 6.22. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları	57
Şekil 6.23. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu	58
Şekil 6.24. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları	59
Şekil 6.25. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu	60
Şekil 6.26. Beşinci GNSS Çözümü Uygulama Alanı (Ağ Yapılı Afyn,Hend,Kuru,Vezi ve Nevs)	61
Şekil 6.27. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları	62
Şekil 6.28. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu	63
Şekil 6.29. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları	64
Şekil 6.30. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu	65
Şekil 6.31. Altıncı GNSS Çözümü Uygulama Alanı (Ağ Yapılı Yunk, Bolu,Kstm ve Yzgt)	66
Şekil 6.32. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları	67

Şekil 6.33.	13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu.....	68
Şekil 6.34.	14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları.....	69
Şekil 6.35.	14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu.....	70
Şekil 6.36.	Yedinci GNSS Çözümü Uygulama Alanı (Ağ Yapılı Cml, Kkal, Kulu, Naha ve Yunk).....	71
Şekil 6.37.	13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları.....	72
Şekil 6.38.	13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu.....	73
Şekil 6.39.	14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları.....	74
Şekil 6.40.	14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu.....	75
Şekil 6.41.	Sekizinci GNSS Çözümü Uygulama Alanı (Ağ Yapılı Cml, Kkal, Kulu, Naha, Yunk ve Ankr).....	76
Şekil 6.42.	13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları.....	77
Şekil 6.43.	13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu.....	78
Şekil 6.44.	14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları.....	79
Şekil 6.45.	14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu.....	80
Şekil 6.46.	13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları (PPP)	82
Şekil 6.47.	13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu (PPP)	83
Şekil 6.48.	14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları (PPP)	84
Şekil 6.49.	14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu (PPP)	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa Nu.

Çizelge 2.1. UltraCamX ve UltraCam Eagle geniş formatlı sayısal hava kameralarının karşılaştırılması	5
Çizelge 2.2. UltraCamX ve UltraCam Eagle geniş formatlı sayısal hava kameralarının aynı uçuş yüksekliğinde kapladığı alan karşılaştırılması	7
Çizelge 2.3. UltraCamX ve UltraCam Eagle geniş formatlı sayısal hava kameralarının İzmir bölgesi hava fotoğrafı çekimi süreleri karşılaştırılması	7
Çizelge 2.4. DMC ve UltraCam Geniş formatlı sayısal hava kameraları teknik özellikleri	9
Çizelge 3.1. UltraCamX sayısal hava kamerasına iat teknik özellikler	16
Çizelge 5.1. GNSS ve IMU arasındaki genel farklılıklar	23
Çizelge 5.2. Algılama sistemlerinde dış yöneltme doğruluk gereksinimleri	25
Çizelge 5.3. Tek frekans kullanılarak tek nokta çözümündeki hata kaynakları	26
Çizelge 5.4. GNSS hata kaynakları	27
Çizelge 5.5. Çift frekanslı diferansiyel GNSS için hata kaynakları	27
Çizelge 5.6. Uçakta diferansiyel GNSS konum belirleme hata kaynakları	28
Çizelge 5.7. GNSS ile konum ve dönüklük belirleme doğrulukları	29
Çizelge 5.8. IMU karakteristikleri	29
Çizelge 5.9. IMU sistemleri doğruluk sınıflandırması	31
Çizelge 6.1. Doğrudan Coğrafi Yöneltme Dengeleme Sonuçları	63

KISALTMALAR DİZİNİ

GPS	Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
GNSS	Global Navigation Satellite System
IMU	Inertial Measuring Unit (Ataletsel Ölçüm Sistemi)
YKN	Yer Kontrol Noktası
DGPS	Differential Global Positioning System (Diferansiyel Küresel Konumlama Sistemi)
PPP	Point Precise Position (Hassas Nokta Konumlama)
CCD	Charge-Doubled Devise
RGBI	Red-Green-Blue-Infrared (Kırmızı-Yeşil-Mavi-Kızıl ötesi)
GSD	Ground Sample Distance (Yer Örneklem Aralığı)
DSO	Direct Sensor Orientation (Doğrudan Algılayıcı Yönelmesi)
SPS	Standart Positioning Service (Sandart Konumlama Servisi)
PPS	Precise Positioning Service (Hassas Konumlama Servisi)
SPP	Single Point Position (Tek nokta Konumlama)
SA	Selective Availability (Seçimli Doğruluk Erişimi)
DDFGPS	Differential Dual Frequency Global Positioning System (Çift Frekanslı Diferansiyel Küresel Konumlama Sistemi)
DMC	Digital Mapping Camera
SSD	Solid State Disk
VDOP	Vertical Dilution of Precision
HDOP	Horizontal Dilution of Precision

1. GİRİŞ

Her alanda olduğu gibi fotogrametri alanında da kaydedilen teknolojik gelişmeler daha çok doğruluğun arttırılması yönündedir. Kamera sistemleriyle birlikte gelişen GNSS ve IMU teknolojileri, doğruluğu yüksek konum ve dönüklük verisi toplamaktadır. Dolayısıyla; resimlerin yöneltmesi için gerekli olan iç ve dış yöneltme bilinmeyenlerinin tamamı uçuş sırasında doğrudan elde edilebilmekte ve yer kontrol noktasına (YKN) teorik olarak ihtiyaç kalmamaktadır.

DGNSS (Differential Global Navigation Satellite System) ve IMU (Inertial Measurement Unit)'nun birlikte kullanılmasıyla oluşan bütünleşik sistem, uçuş esnasında yaklaşık dış yöneltme elemanlarını belirlemektedir. Bu yöneltme elemanlarının konum doğruluğu GNSS doğruluğuna bağlıdır. Uçakta kaydedilen GNSS verilerinin doğruluğu sabit yer GNSS istasyonları verileriyle çözümlenerek artırılmaktadır. GNSS çözümlmeleri tek nokta, ağ yapılı çözüm ve hassas nokta konumlama (Point Precise Position-PPP) çözümlmesi olarak sınıflandırılabilir.

Bu çalışmada uçaktan gelen GNSS verisinin çözümlenmesinde kullanılan tek nokta, ağ yapılı çözüm ve hassas nokta konumlama yöntemlerinin yer kontrol noktası kullanılmadan hava fotoğraflarının yöneltmesi olarak tanımlanan doğrudan algılayıcı yöneltmesine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada ikinci bölümde, sayısal hava kameraları ve yaşanan son gelişmeler hakkında özet bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde uygulama bölümünde verisini kullandığım UltraCamX Sayısal Hava Kamerası hakkında teknik bilgi, çalışma prensibi ve sistem bileşenleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde algılayıcı yöneltme sistemleri olan birleştirilmiş algılayıcı yöneltmesi ve doğrudan algılayıcı yöneltmesi hakkında teorik bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde hava fotoğraflarının yöneltmesinde karşılaşılan hata kaynakları hakkında bilgiler verilmiştir. Altıncı bölümde uygulama anlatılmış, yedinci ve sekizinci bölümler bulgular ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. SAYISAL HAVA KAMERALARI

Sayısal kameraların genel yapısı, klasik kameralar ile benzerlik göstermektedir. Bunun en büyük nedeni, bu konu ile ilgilenen firmaların büyük bölümünün daha önce klasik kamera üreticisi olmaları ve halen kullanılan klasik kameraların yerine kullanılmalrı durumunda mümkün olan en az değişiklik ile veya doğrudan kullanılabilir olmalarına özen gösterilmesidir. Sayısal kameraların klasik kameralara olan benzerliği sadece görünümde kalmıştır. İşlevsellik ve kullanım olarak oldukça farklılıklar göstermektedir. Bu kameraların ortaya koymuş olduğu ilk avantajlar, tüm sayısal iş akışında kolaylık, film, foto-laboratuar ve fotoğraf tarama işlemlerinin son bulmasıyla masraflardaki azalmadır. (Leberl ve Gruber 2003). Klasik filmlerin arşivlenmesi ve sayısallaştırılarak tekrar kullanılabilir hale gelmesi gibi zaman ve maliyet gerektiren işlemler ortadan kalktığı gibi uygun yazılımlar ile sayısal olarak elde edilen görüntülerin arşivlenmesi ve tekrar kullanılabilmesi oldukça kolay işlemler olacaktır.

Analog kamera sistemlerinde film rulolarının arşivlenmesi ve tekrardan kullanılması başlı başına bir problemidir. Film rulolarının arşivlenmesinde; tekrardan kullanılması sebebiyle havasız, steril ortamlarda depolanması gerekmektedir. Bu şekilde odalar boyunca depolanan rulolar hem fazla yer kaplamakta hem de verinin yönetimi zorlaşmaktadır. Sayısal hava kameralarıyla bu sistem tamamen atıl durumu geçmiş ve veriler sayısal ortamda depolanmaya başlanmıştır. Veri tabanı destekli arşiv ve yedekleme sistemleri sayesinde istenen sayısal hava fotoğraflarına kısa süre içerisinde ulaşılabilir. Ancak gittikçe artan hava fotoğrafı sayısı ve boyutu sayısal fotogrametrinin dezavantajıdır. UltraCam X sayısal hava kamerasının tek bir fotoğraf boyutu 400 MB iken yeni nesil UltraCam Eagle sayısal hava kamerasında bu yaklaşık iki kat artarak 842 MB olmuştur. Geçmiş yıllara ait arşivlenmiş verilerle birlikte yıllık üretim durumu göz önüne alındığında devasa büyüklüklere sahip veri yığınlarının oluşacağı ve bu verinin yönetiminin her geçen yıl daha da fazla zorlaşacağı aşikârdır.

Bunun yanında, çoklu ışın tasarımı sayısal kameralar için yüksek çözünürlüklü pankromatik görüntü kaydederken, aynı anda renkli ve kızılötesi görüntü kaydedilmesine de imkân tanımaktadır. (Leberl ve Gruber 2003).

Üretici firmalar sayesinde (Z/I Imaging ve Microsoft) geniş formatlı sayısal hava kameraları teknolojisi bir basamak yukarı taşınmıştır. Z/I Imaging geniş boyutlu tekli CCD algılayıcısı tasarlayarak alt fotoğrafların birleştirilmesi işlem adımını ortadan

kaldırmıştır. 2011 yılından itibaren en geniş çerçeveli tekli sensör algılayıcısı olan 250 megapiksel monolitik CCD şu an dünyada tekdir (Neumann, 2011). Önceki geniş formatlı CCD algılayıcılarının maliyeti ve arıza oranları yüksektir. Bunun yanında okuma oranları yavaştır. DMC II bu yavaş okuma sorununu CCD üzerindeki 16 paralel veri portu sayesinde aşmıştır. Bazı geniş yüzeyli CCD algılayıcılarının pozlama için litografik maskeleri yeterli boyuta sahip değiller. Dolayısıyla bu CCD algılayıcıları pozlamayı adım adım yaparlar. Adım adım yapılan pozlamanın doğruluğunun geometrik performansı $0.1 \mu\text{m}$.dir (Stoldt, 2010). Bu değer göz ardı edilebilecek bir değerdir. DMC II monolitik CCD algılayıcısı tüm araştırmalarda adım adım pozlama yöntemiyle çalışmadığını göstermiştir (Şekil 2.1.). CCD içindeki piksellerin konum doğruluğunda CCD algılayıcının yassılığı önemli bir etkidir. Eğer CCD kameranın köşesine sabitlenirse kameradan kaynaklanan ısı farkı nedeniyle deformasyona uğrayacaktır. Bunun sebebi kamera yüzeyiyle CCD algılayıcısının seramik kısmı arasındaki ısı katsayısı farkıdır (Jacobsen ve Neumann, 2012).



Şekil 2.1. DMC II-CCD (Jacobsen ve Neumann, 2012)

Microsoft eski CCD algılayıcı sistemle devam etmekle birlikte UltraCam Eagle'da piksel boyutunu $5.2 \mu\text{m}$ ye düşürmüştür. Asıl yenilik pankromatik görüntü boyutunun 20.010×13.080 piksel olmasıdır (Gruber vd., 2011). UltraCam Eagle Sayısal Hava Kamerasındaki yenilikleri şu şekilde sıralayabiliriz.

CCD sensör algılayıcısı için geliştirilen elektronik bileşen sayesinde hızlı algılama yapabilmektedir. 842 Mb boyutundaki bir fotoğrafı 1,8 saniyede algılanmaktadır.

Değiştirilebilir mercek sistemi sayesinde farklı odak uzaklığına sahip (80mm ve 210mm) mercekler kullanılarak istenilen yükseklikten istenilen çözünürlükte hava fotoğrafı çekimi yapılabilmektedir. Merceklerin değişimi esnasında veya sonrasında fazladan bir kalibrasyon ihtiyacı doğmamaktadır.

Veri depolama ünitesinde yapılan değişiklikler ile SSD (Solid State Disk) disk yapısına geçilmiştir.

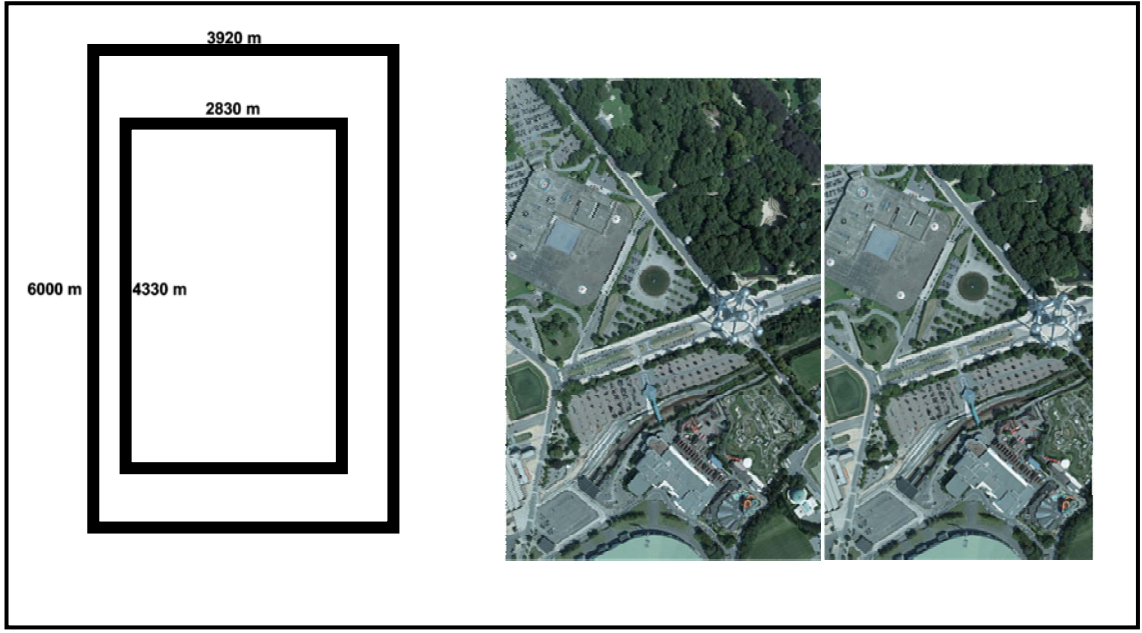
UltraNav bütünleşik navigasyon çözümü sayesinde Kamera, GPS ve IMU bileşenleri bir arada aynı platformun içinde bulunmaktadır (Gruber vd., 2012).

Microsoft firmasının ürettiği Ultracam Eagle sayısal hava kamerasının en büyük özelliği pankromatik görüntü boyutu 20.010×13.080 piksel olmasıdır. Bu ise maliyeti doğrudan etkileyen en önemli unsurdur. Görüntü boyutunu artması daha az fotoğrafla daha fazla alan kapatmak demektir.

UltracamX ve UltraCam Eagle sayısal hava kameraları arasındaki fotoğrafların kapladığı alanların karşılaştırılması Çizelge 2.1., fotoğraf boyutlarının görsel gösterimi Şekil 2.1. de verilmiştir.

Çizelge 2.1. UltraCamX ve UltraCam Eagle geniş formatlı sayısal hava kameralarının karşılaştırılması

	UltraCamX	UltraCam Eagle
Odak Uzaklığı (mm)	100.5	79.80
Yer Örnekleme Aralığı (cm)	30	30
Uçuş Yüksekliği (m)	4.167	4.615
Fotoğraf Eni (km)	2,83	3,92
Fotoğraf Boyu (km)	4,33	6,00



Şekil 2.2. UltracamX ve UltraCam Eagle sayısal hava kameraları arasındaki fotoğrafların kapladığı alanların karşılaştırılması

Aynı yer örnekleme aralığında UltraCam Eagle sayısal hava kamerası ile çekilen hava fotoğrafı UltraCamX sayısal hava kamerası ile çekilen hava fotoğraflarına göre enine ve boyuna ayrı ayrı %38 daha fazla yer kaplamaktadır. Fotoğrafların kapladığı alanlar hesaplanırsa UltraCam Eagle sayısal hava kamerasıyla çekilen fotoğrafın yaklaşık %90 oranında daha fazla alan kapladığı görülmektedir. Çizelgede dikkati çeken başka bir hususta odak uzaklıkları ve piksellerin fiziksel boyutundan kaynaklanan uçuş yüksekliklerinin farklı olmasıdır. Aynı yer örnekleme aralığında uçuş yüksekliğinin farklı olmasının avantajı şu şekilde açıklanabilir.

Bazen fotoğraf çekimi çok engebeli bölgelerde yapılmaktadır. Arazi yüzeyi 300-400 m. seviyelerinden birden 2000-2500 seviyelerine çıkabilmektedir. Bu bölgede yapılacak 8-10 cm yer örneklem aralıklı fotoğraf çekimleri sırasında arazi birden yükseldiğinden uçağın dağa çarpması an meselesidir. Vadiye paralel planlama yapılsa bile kenar kolonlarında aynı tehlike yaşanmaktadır. Yeni nesil kamera olan UltraCam Eagle ile özellikle 210 mm odak uzaklığına sahip merceği kullanarak bölgenin fotoğraf çekimini tehlikesiz olarak yapılabilir.

Akıllara gelen ikinci soru ise aynı uçuş yüksekliğinde fotoğrafların kapladığı alanlarla ilgilidir. Bu karşılaştırma Çizelge 2.2. de verilmiştir.

Çizelge 2.2. UltraCamX ve UltraCam Eagle geniş formatlı sayısal hava kameralarının aynı uçuş yüksekliğinde kapladığı alan karşılaştırılması

	UltraCamX	UltraCam Eagle
Uçuş Yüksekliği (m)	6.000	6.000
Yer Örneklem Aralığı (cm)	43	39
Fotoğraf Eni (km)	4,07	5,10
Fotoğraf Boyu (km)	6,23	7,80
Odak Uzaklığı (mm)	100.5	79.80

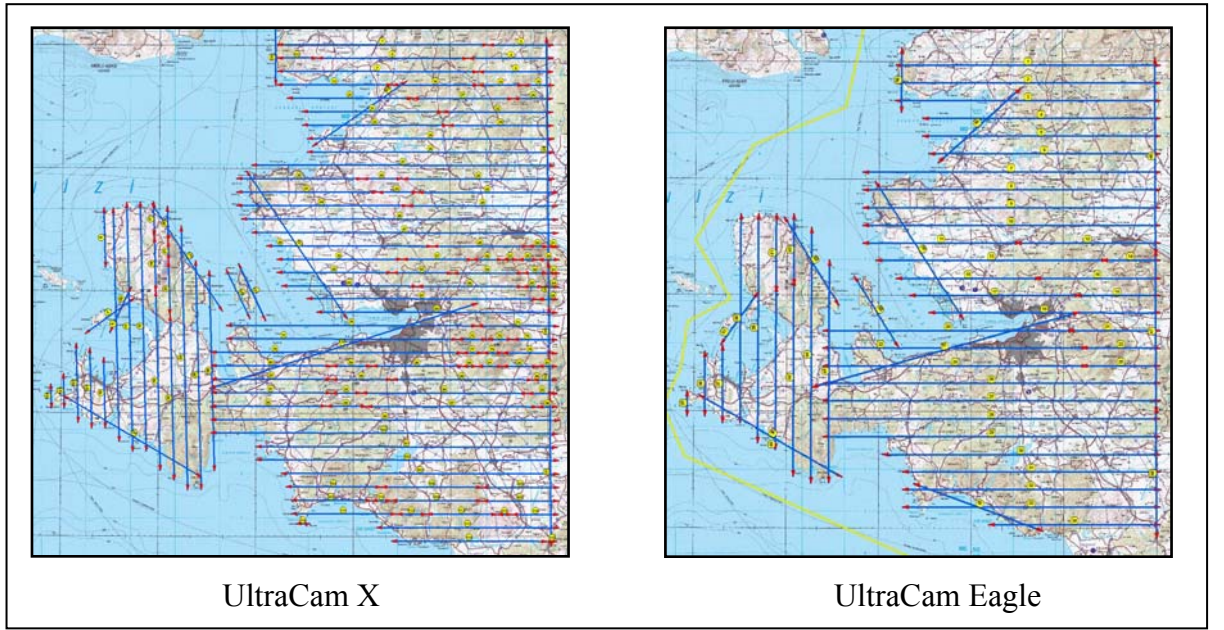
Çizelge 2.1. ve 2.2. de görüldüğü üzere UltraCam Eagle sayısal hava kamerası kapladığı alan bakımından gözle görünür bir üstünlüğe sahiptir. Fotoğrafların kapladığı alanın bu kadar önemli olmasının sebebi maliyettir. Fotoğraf çekiminde maliyeti etkileyen yegâne unsur uçuş saatidir. Bu yüzden sayısal kamera üreticileri sürekli bu süreyi en aza indirmeye çalışmaktadırlar. Uçağın havada kalış süresini etkileyen faktörler kolon ve fotoğraf sayısıdır. Özellikle kolon sayısının az olması maliyeti düşürücü etki gösterir. Çünkü uçak bir kolondan diğer kolona girerken minimum 5 dakika harcamaktadır. Pankromatik görüntü boyutunun 13.080×20.010 piksel olması fotoğrafın kapladığı alanı artırmakta bu ise projedeki fotoğraf ve kolon sayısını azaltmaktadır. İzmir bölgesinde yapılan test çalışmasında bölge ilk önce 30 cm yer örneklem aralığında UltraCam X sayısal hava kamerasıyla uçulacak şekilde planlanmış daha sonra aynı bölge UltraCam Eagle ile planlanmıştır. Kolon ve fotoğraf sayısındaki düşüş uçuş saatini de etkilemiş ve sırf uçuş saatinden % 62 oranında kazanç sağlanmıştır. Çizelge 2.3. de yapılan test çalışmasının sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. UltraCam X ve UltraCam Eagle geniş formatlı sayısal hava kameralarının İzmir bölgesi hava fotoğrafı çekimi süreleri karşılaştırılması

	UltraCam X	UltraCam Eagle
Uçuş Yüksekliği (m)	6000	6000
Yer Örneklem Aralığı (cm)	43	39
Kolon Sayısı (adet)	137	57
Fotoğraf Sayısı (adet)	3125	1713
Uçuş Süresi (saat)	21	13

Çizelgede de görüldüğü üzere fotoğraf sayısı 3125 adetten 1713 adete düşmüştür. Fotoğraf sayısının düşmesinin en önemli etkisi kolon sayısının azalmasında görülmüştür. Bölge 137 adet kolonla kapanırken Eagle ile 57 kolona düşmüştür (Şekil 2.3.).

Tüm bu bileşenler ışığında uçuş süresi % 62 azalmıştır. 8 saatlik bir azalış iki günlük uçuş saati demektir. Hava fotoğrafçılığında havanın bulutsuz ve nemsiz olması fotoğraf çekimi için çok önemlidir. Bazen günlerce hava açmayabilir veya sadece 1 saatlik bir hava fotoğrafı çekimi yapılabilir. Hal böyle iken 8 saatlik bir kazanç büyük bir orandır. Fotoğraf sayısının azalması kıymetlendirme işleminde daha az model oluşturma yani zaman ve iş gücünden tasarruf demektir.



Şekil 2.3. UltracamX ve UltraCam Eagle sayısal hava kameralarıyla İzmir bölgesinde yapılan uçuş planı krokisi

Son olarak Z/I Imaging ve Microsoft firmalarının ürettiği kameralar ve teknik özellikler Çizelge 2.4. de görülmektedir (Passini vd., 2012).

Çizelge 2.4. DMC ve UltraCam geniş formatlı sayısal hava kameraları teknik özellikleri

Kamera	Piksel Sayısı		Piksel Boyutu (µm)	F (mm)	Δt (sec)	Görüntü Boyutu (mm)		Görüş Açısı (Derece)	Mega-piksel
	x	y				x	y		
DMC	7680	13824	12.0	120	2	49.15	86.02	25.7°	106
DMCII 140	11200	12096	7.2	92	2	80.64	87.09	52.6	135
DMCII230	14144	15556	5.6	92	1.7	79.21	87.11	51.8	220
DMCII250	14656	17216	5.6	112	2.3	82.41	96.41	40.4	249
UC D	7500	11500	9.0	101.4	1	67.50	105.5	36.8	86
UC X	9420	14430	7.2	100.5	1.4	67.82	103.9	37.3	136
UC Xp	11310	17310	6.0	100	2	67.86	103.9	37.5	196
UC Eagle	13080	20010	5.2	80/210	1.8	68.02	104.1	46.1/18.4	261

3. ULTRACAMX SAYISAL HAVA KAMERASI

Tezin bu bölümünde uygulamada kullanılan UltraCamX geniş formatlı sayısal fotogrametrik hava kamerasının sistem bileşenleri, sistem özellikler ve teknik özellikleri anlatılacaktır. UltraCamX geniş formatlı sayısal fotogrametrik hava kamerası Microsoft Vexcel tarafından Avusturya Graz'da üretilmiştir. Firma sırasıyla UltraCamD, UltraCamX , UltraCamXp, UltraCam Eagle ve 2012 yılında piyasaya duyurdukları UltraCam Falcon geniş formatlı sayısal hava kameralarını üretmiştir.



Şekil 3.1. UltraCamX sayısal fotogrametrik hava kamerası

3.1. Sistem Bileşenleri

UltraCamX sayısal hava kamerası;

- Algılayıcı birimi (SX),
- Hesaplama birimi (CX),
- Kamera işletim arayüzü (IPX),
- Taşınabilir veri depolama birimi (DX),
- Veri transfer birimi (DKX)

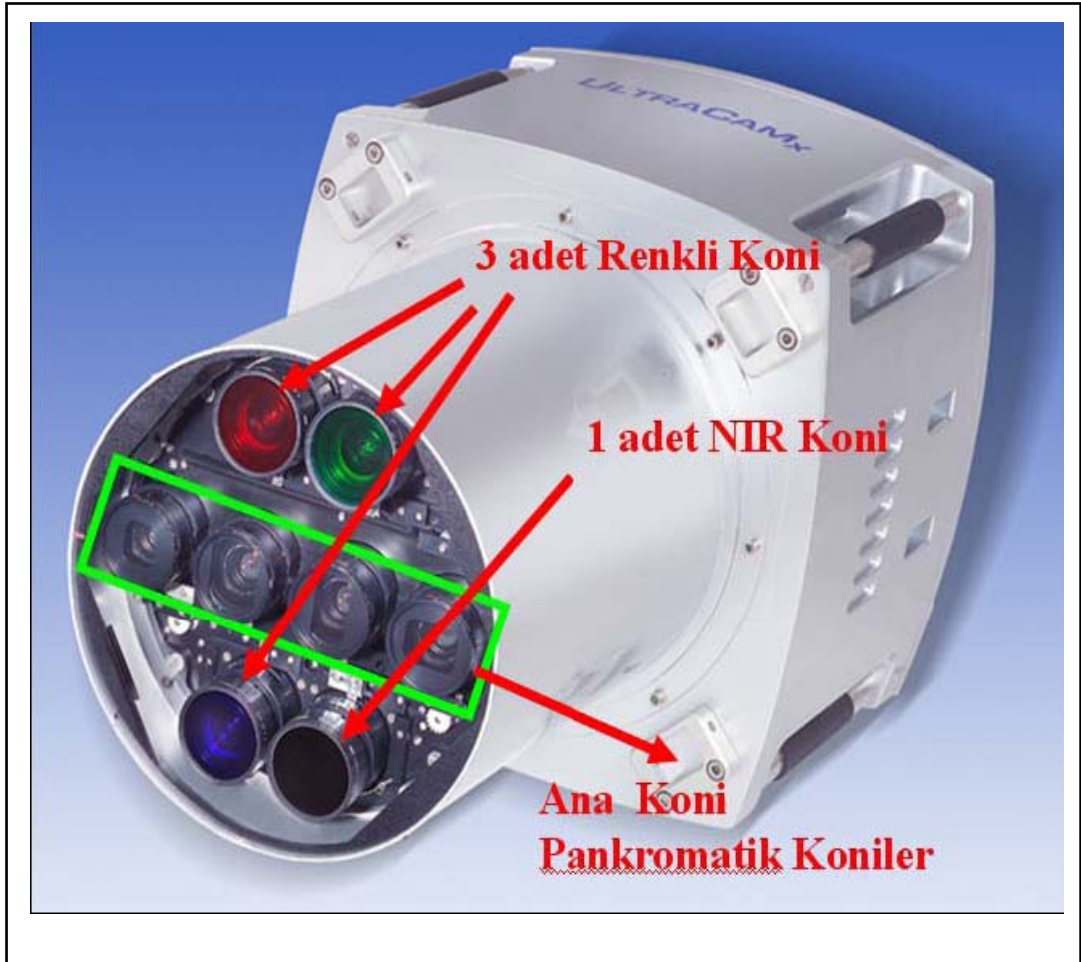
Donanım bileşenlerinden oluşur. Bunlara ek olarak, inersiyal navigasyon sistemi (Inertial Navigation System-INS) kullanılır. IMU algılayıcı birimin içerisine yerleştirilmiş ve sabitlenmiştir. IMU'nun algılayıcı birimin ana çerçevesine sabitlenmesi optik sistemle aralarındaki ilişkinin sürekli ve sağlam bir şekilde tanımlanmasını sağlar. Toplam 8 adet koniden meydana gelen algılayıcı sistemin ana bileşenidir. 8 adet koninin 4 tanesi pankromatik bant için geriye kalan diğer 4 adet koni ise kırmızı, yeşil, mavi ve kızılötesi (RGBI) bantlar içindir. Sistemde görüntüyü sayısal ortama aktarmaya yarayan 13 adet CCD algılayıcısı vardır. CCD dizininin 9 tanesi pankromatik, geriye kalan 4 tanesi ise kırmızı, yeşil, mavi ve kızılötesi bantlar içindir.

3.2. Sistem Özellikleri

Hassas fotogrametrik uygulamalar için tasarlanan geniş formatlı UltraCamX sayısal hava kamerası genel olarak metrik kamera sınıfına girmektedir. Kameranın en önemli kısmı olan pankromatik bölümü, 9 adet CCD algılayıcılar tarafından algılanan geniş pankromatik görüntüdür. Multispektral kanallar ise bağımsız olarak eklenmiş 4 CCD algılayıcıdan oluşur. Bu 13 algılayıcının her biri bir dizi görüntüleme modülünün en ön parçasıdır. Algılayıcı sayısından da anlaşılacağı üzere fotoğrafın ana bölümü pankromatik bölümüdür. Aslında fotoğrafın çözünürlüğü pankromatik görüntünün çözünürlüğüdür. Multispektral kanallar ise sadece pankromatik görüntüye renk giydirmesi yapmaktadır. Pankromatik görüntü, 4 adet mercekten farklı bir geometri ile kaydedilerek uçuşa dik yönde 14430 piksel ve uçuş yönünde 9420 pikselden oluşur. Renkli görüntü ise her bir banda karşılık bir mercek gelecek şekilde 4810 piksele 3140 piksel boyutunda kırmızı, yeşil, mavi ve kızılötesi kanallarda aynı anda kaydedilir. Uçuş esnasında görüntü alınır, ilk işleme tabi tutulur ve dağıtım için hazır hale getirilebilir. Ham görüntü UltraCamX'in bağımsız depolama modülü olan Depolama ve Hesaplama Ünitesine (DX) aktarılır. Böylece kamera, paralel sistem mimarisinin avantajlarını

kullanarak saniyede 1 çerçeveden daha yüksek bir görüntüleme hızı ile fotoğraf alımı yapabilir.

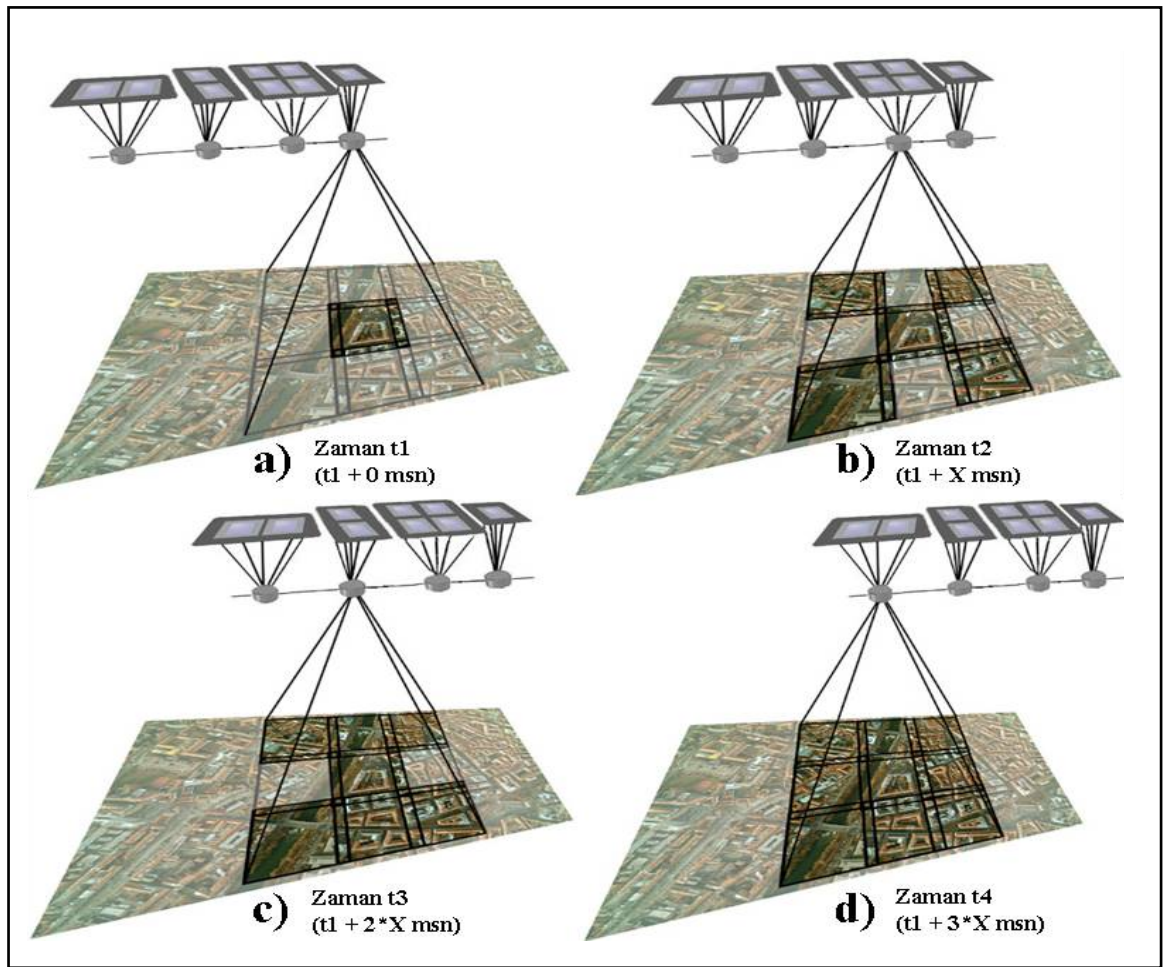
UltraCamX'in algılayıcı ünitesi 8 bağımsız kameradan (koni) oluşur (Şekil 3.2). Ana koni de denilen 4 adet koni geniş formatlı Pankromatik görüntü (11430×9420 piksel boyutu) üretir. Diğer dördü ise multispektral kanallardan sorumlu olan kırmızı, yeşil, mavi ve yakın kızılötesi kanallardır. UltraCamX kamerasının en gelişmiş özelliklerinden biri ise bir DX ile; %70 ileri ve %20 yan bindirme oranlarında, 20 cm çözünürlüğünde (20 mikronda taranmış 1:10000 ölçeğinde analog filme eşit) kesintisiz 8.5 saat uçulabilir. UltraCamX'in Hesaplama Ünitesi (CX) ham görüntünün işlemde geçirilip depolanmasından sorumludur. Toplam depolama kapasitesi 2×1.7 TB ile 3900 görüntü yedekli olarak ayrı disklerle çift olarak kaydedilir. Paralel bir yapı gösteren sistem, her bir CCD algılayıcı ünitesi için küçük boyutlu bir bilgisayarını da içeren kendisine ait "özel" depolama ünitesi ve iki adet aynı yapıda kayıt yapan korumalı diske sahiptir (Durğut, 2010).



Şekil 3.2. UltraCamX hava kamerasının konileri

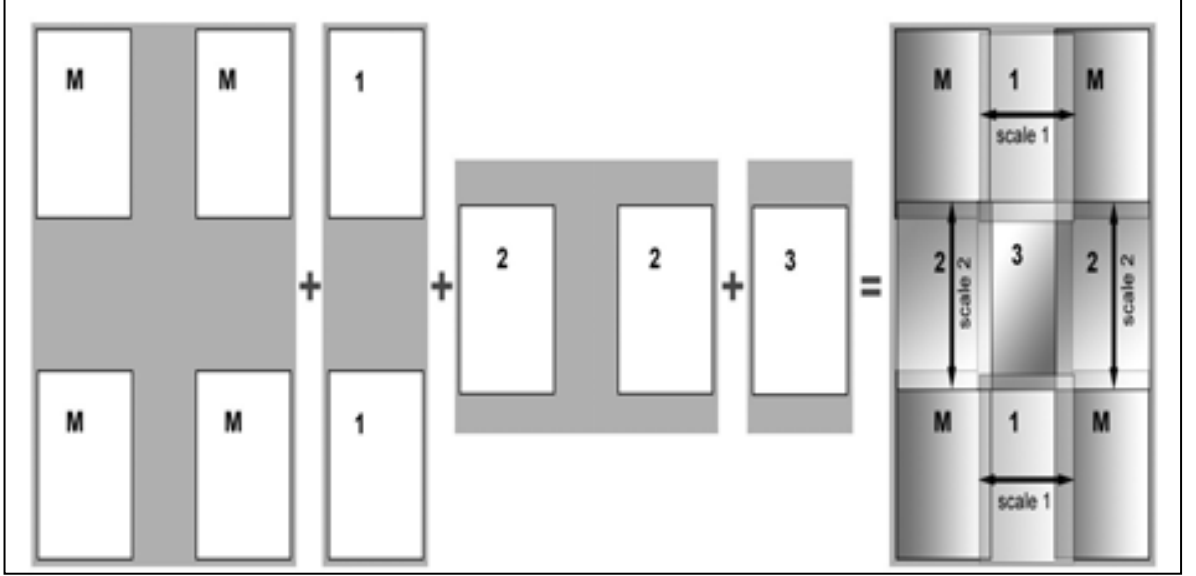
3.3. Kamera Görüntüsü ve Görüntü Alım Aşamaları

UltraCamX diğer Ultracam sayısal hava kameraları gibi sintopik görüntüme yöntemi ile hava fotoğrafı çekimi yapmaktadır. Bu yöntem sayesinde toplam 8 koni aynı konumda pozlama yapabilmektedir. Latince bir kelime olan sintotip aynı konum demektir. Uçaktaki uçuş yönetim sistemi uçağın hızının hesaplayarak her kamera konisi aynı konuma gelince pozlama komutu vermektedir. Kamera konileri yaklaşık birbirine 7 cm mesafededir. Uçağın hızı hesaplanarak kaçar saniye arayla konilerin pozlama yapacağı hesaplanmaktadır. (Leberl ve Gruber, 2003). Sintotip yöntemle gerçekleşen pozlama yöntemi Şekil 3.3. de açıklanmıştır.

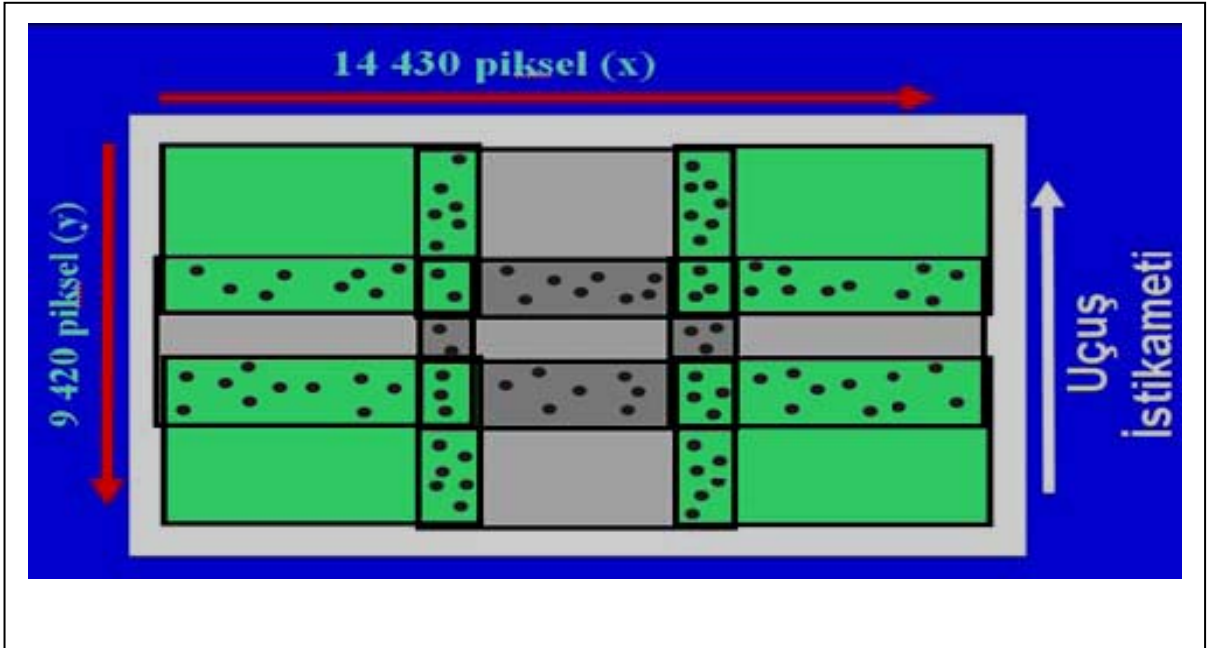


Şekil 3.3. UltraCamX sayısal hava kamerası için pankromatik sayısal görüntünün oluşturulması (pozlanması) (Thurgood, 2004)

UltraCamX sayısal hava kamerasının pankromatik konileri fotoğraf çekiminde görüntüyü farklı bir geometri ile algırlarlar. Pankromatik konilerin görüntü alımı (Şekil 3.4'deki gibi bir geometriye sahiptir ve tam bir pankromatik görüntü (Şekil 3.5) ve (Şekl 3.6)'deki gibidir.

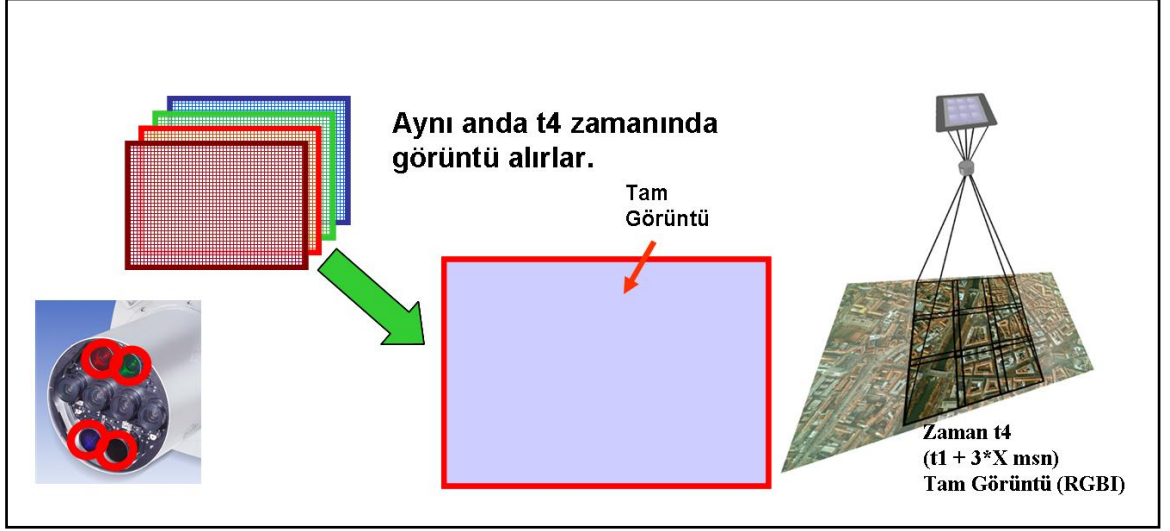


Şekil 3.4. Pankromatik konilerin görüntü alımı



Şekil 3.5. Bir pankromatik görüntünün tamamı.

Multispektral 4 kamera konisi, son pankromatik kamera konisinin pozlama zamanı ile eş zamanlı olarak bütünleşik (birleştirilmiş) pankromatik görüntü alanının tamamını kaplayacak şekilde pozlama yapar (Şekil3.6).



Şekil 3.6. Multispektral kamera konileri pozlama süreci (Akabalı, 2010)

3.4. Teknik Özellikleri

UltracamX sayısal fotogrametrik hava kamerasına ait teknik özellikler Çizelge 3.1. de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. UltraCamX sayısal hava kamerasına ait teknik özellikler (Leberl ve Gruber, 2003; Akabalı, 2010)

	UltraCamX
Görüntü Özellikleri	
Görüntü boyutları	15 µm ile taranmış 23 cm x 15 cm boyutlarındaki film bazlı hava fotoğrafına benzerdir.
Görüntü veri formatları	8, 12 ve 16 bit’lik TIFF, JPEG, Tiled TIFF
Sayısal Kamera Algılayıcı Ünitesi (SX)	
Pankromatik görüntü boyutu	14,430 x 9,420 piksel
Pankromatik fiziksel piksel boyutu	7.2 µm
Odak düzleminin fiziksel boyutu	104 mm x 68.4 mm
Pankromatik lenslerin odak uzaklığı	100 mm
Lens Açıklığı	f = 1/5.6
Düşey Görüş Açısı, cross track (along track)	55° (37°)
Renk (multi-spektral yeteneği)	4 kanal -- RGB & NIR
Renkli görüntü boyutu	4,810 x 3140 piksel
Renkli fiziksel piksel boyutu	7.2 µm
Renkli lens sistemlerinin odak uzaklığı	33 mm
Renkli lens aralığı	f = 1/4.0
Düşeyden renkli görüş alanı, cross track (along track)	55° (37°)
Resim çekiş hızı	1/500’den 1/32’ye
Görüntü sürüklenmesi önleyici sistem (FMC)	TDI kontrollü
Maksimum FMC-yeteneği	50 piksel
Yerdeki en küçük piksel (GSD) 500 m (300 m) uçuş yüksekliğine göre	3.6 cm (2.2 cm)
Saniyedeki çerçeve (pozlama) hızı (minimum görüntü intervali)	1 poz 1.35 saniyede
Analog-sayısal dönüşümü	14 bit
Renk kanalları için radyometrik çözünürlük	>12 bit

Kamera ünitesinin fiziksel doğrultuları	45 cm x 45 cm x 60 cm
Ağırlık	~ 45 kg
Tam performansta güç tüketimi	150 W
Depolama ve Hesaplama Ünitesi (DX-Data Unit, CX-Computing Unit)	
Uçuş Süresince depolama kapasitesi	Her DX için ~1.7 TB
Uçuş Süresince sıkışmamış görüntüleri depolama kapasitesi (resim sayısı)	Her DX için ~4700
Uçuş sırasında DX değişimi	< 3 dakika
Depolama ve hesaplama konfigürasyonu	14 adet Pentium-M CPU'lu CX; her DX'te 28 adet disk.
Fazlalık	Çift disk ile yedeklenmiş (ayna veri) görüntüler
Ofis ortamına veri transferi	Taşınabilir DX üniteleri; Aktarım istasyonu – docking station (isteğe bağlı taşınabilir.)
Fiziksel ebatlar	50cm x 36cm x 65cm
Ağırlık	CX+2DX: <92 kg CX: ~65 kg DX: ~15 kg
Tam performansta güç tüketimi	700 W
Operasyonel Özellikler	
%70 ileri, %20 yan bindirmeli maksimum alım periyodu, 20 cm yer çözünürlüğünde (GSD) (film ölçeği 1:10,000)	~8.5 saat her bir DX için
Alımı yapılan ham görüntü kolonlarının post-prosesi	UltraMap yazılımı, mobil işlemci (sunucu), ofis PC ağı, dizüstü bilgisayar veya CX ile
Uçaktan ofise veri transferi	Mobil depolama ünitesi (MSU), harici disk veya SCU ünitesinin taşınması ile
Kameranın Montajı	Mevcut film kameraları ile aynı (PAV-30, Z/I T-AS, GSM3000)
Uçuş planlaması	IGI'nin CCNS4, Trackair, Vega, ve benzer sistemlerle uyumludur.
Dış yöneltme desteği	DGPS/IMU sistemleri (IGI'nin Aero-Control, Applanix POS-AV) ile uyumludur.
Fotogrametrik üretim	Fotogrametrik yazılım üreten önemli firmaların yazılımları ile uyumludur. TIFF formatlı görüntü kullanabilen geleneksel yazılımların tümü kullanılabilir.
Image geometric accuracy	$\leq \pm 2 \mu\text{m}$

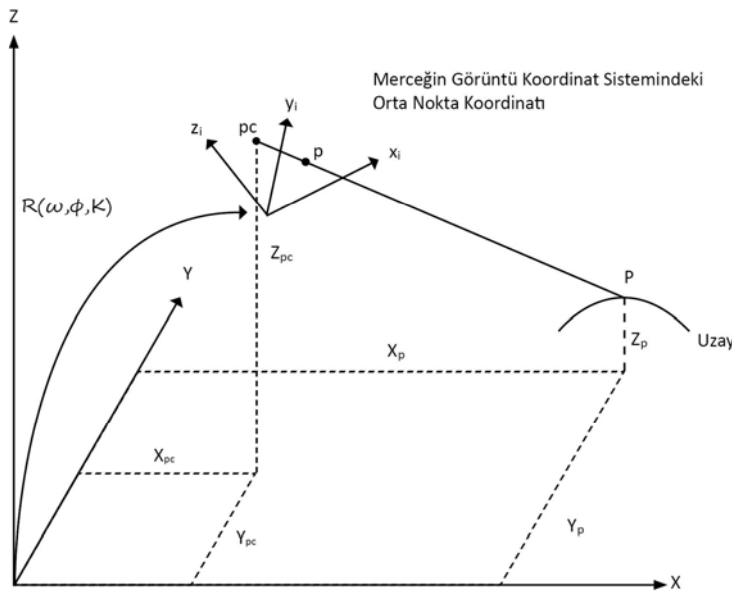
4. ALGILAYICI YÖNELTME SİSTEMLERİ

Basit olarak görüntü yöneltmesi görüntü koordinat sistemindeki r^i vektörüne karşılık gelen referans koordinat sistemindeki yer koordinat vektörü r^m arasındaki üç boyutlu koordinat dönüşümüdür. Bunu için kamera merceğinin görüntü koordinat sistemindeki orta nokta koordinatı $r_{pc}^m(t)$ ve görüntü koordinat sistemi ile referans koordinat sistemi arasındaki dönüşüm matrisi $R_i^m(t)$ dir. Görüntü koordinat sistemindeki herhangi bir noktanın üç boyutlu yer koordinat vektörü r_p^m dir. Buradan eşitlik (4.1 ve 4.2) yazılabilir (El-Sheimy ,1996b; Ip,2005).

$$r_p^m = r_{pc}^m(t) + s R_i^m(t) r_p^i ; \quad (4.1)$$

$$r^m = r_p^m ; \quad (4.2)$$

(t) pozlama zamanını, (s) ölçek faktörü, öteleme vektörü $r_{pc}^m(t)$ ve dönüklük vektörü $R_i^m(t)$ genellikle dış yöneltme parametreleri olarak adlandırılmaktadır. Şekil 4.1. kamera ve referans koordinat sistemi arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 4.1. Görüntü ve Referans Koordinat Sistemi Arasındaki İlişkinin Gösterimi

Dış yöneltme parametrelerinin hesaplanmasında iki esas yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlar Doğrudan Algılayıcı Yöneltmesi ve Birleştirilmiş Algılayıcı Yöneltmesidir.

4.1 Doğrudan Algılayıcı Yönelmesi

Diferansiyel Global Uydu Konumlama Sistemi (Differential Global Navigation Satellite System–DGNSS) kısaca gezici alıcının (GNSS) atmosfer, yörünge ve sinyale bağlı hata kaynaklarını, referans istasyonda hesaplanan düzeltme verilerinin yayınlanmasıyla giderilmesi işlemidir. DGNSS/IMU verileri kullanılarak dış yönelme parametrelerinin doğrudan tespiti işlemine Doğrudan Coğrafi Konumlandırma (Direct Georeferencing) veya Doğrudan Algılayıcı Yönelmesi (Direct Sensor Orientation-DSO) adı verilir. Bu yöntemde dış yönelme parametreleri sadece GNSS-IMU verileriyle hesaplanır. Nesne koordinatlarının yer yüzeyindeki doğrulukları konum için DGNSS, yöneltilme için IMU doğruluğuna bağlıdır. Yönelme hatası uçuş yüksekliğinin bir fonksiyonu olduğu için yer yüzeyinde konum hatasına neden olmaktadır.

Doğrudan Coğrafi Konumlandırma yönteminin en önemli kistası kullanıcı tarafından belirlenen doğruluk kriterlerini karşılamaıdır. Bazen doğruluk yerine başka kıstaslar önem arz etmektedir. Zaman bunlardan birisidir. Afet gibi zaman mefhumunun hayati öneme sahip olduğu durumlarda istenilen bölgeye ait coğrafi veriler (ortofoto, hava fotoğrafı) en kısa sürede hazırlanmalıdır. Bu gibi durumlarda bölgeye ait hava fotoğraflarının yöneltilmesi doğrudan coğrafi konumlandırmayla gerçekleştirilmektedir. Bir diğer kıstas ise kontrol noktası atılması mümkün olmayan sık ormanlık, çöl, mevsim şartlarına göre karla kaplı yüzeylerle gidilmesi mümkün olmayan bölgelerin hava fotoğraflarının yöneltilmesidir.

Şekil 4.1 de gösterilen Doğrudan Yönelme Modelinin basit eşitlikleri (4.3), (4.4) ve (4.5) aşağıda verilmiştir.

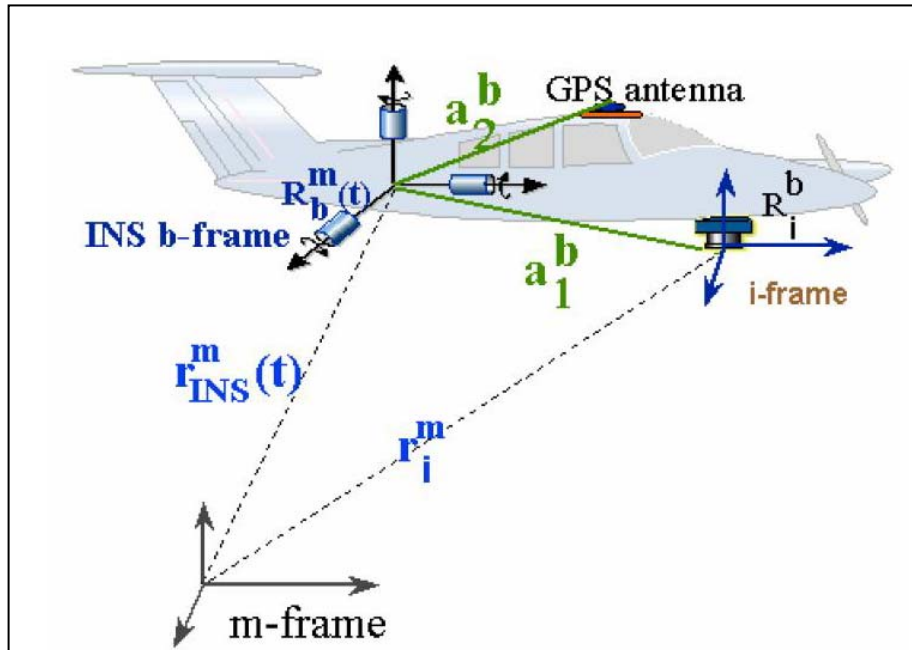
$$r_p^m = r_{INS}^m(t) + R_b^m(t)(s R_i^b r_p^i - a_1^b); \quad (4.3)$$

$$r_{INS}^m(t) = r_{GNSS}^m(t) - R_b^m(t)a_2^b; \quad (4.4)$$

$$r_p^m = r_{GNSS/INS}^m(t) + R_b^m(t)(s R_i^b r_p^i - a_1^b - a_2^b); \quad (4.5)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada IMU ile referans koordinat sistemi arasındaki dönüşüm ile GNSS ile referans koordinat sistemi arasındaki dönüşüm parametreleri şunlardır;

- r_p^m ; İlgilenilen noktanın referans koordinat sistemindeki konumu,
- $r_{GNSS}^m(t)$; GNSS anteninin referans koordinat sistemindeki konumu,
- $r_{GNSS/INS}^m(t)$; GNSS/IMU prosesi yapıldıktan sonraki GNSS anteninin referans koordinat sistemindeki konumu,
- $R_b^m(t)$; IMU platform koordinat sisteminden referans koordinat sistemine dönüşüm matrisi,
- S ; Görüntü koordinat sistemi ile referans koordinat sistemi arasındaki ölçek katsayısı,
- R_i^b ; Görüntü koordinat sistemi ile IMU platform koordinat sistemi arasındaki dönüklük matrisi,
- r_p^i ; İlgilenilen noktanın görüntü koordinat sistemindeki konumu,
- a_1^b ; Görüntü koordinat sistemi ile IMU platform koordinat sistemi arasındaki öteleme vektörü,
- a_2^b ; IMU platform koordinat sistemi ile GNSS anteni arasındaki öteleme vektörü,



Şekil 4.2. Doğrudan Yöneltilme Modeli Konsepti (El-Sheimy, 1996a)

4.2 Birleştirilmiş Algılayıcı Yönelmesi

Birleştirilmiş Algılayıcı Yönelmesi (Integrated Sensor Orientation) GNSS/IMU verileriyle elde edilen yaklaşık dış yönelme parametrelerinin klasik blok dengeleme sistemine dâhil edilmesidir. Bu yöntemde, bağlama noktaları da dâhil olmak üzere tüm işlemler en yüksek doğruluğu elde etmek için eş zamanlı olarak yapılır. Yöntem klasik fotogrametrik nirengi sistemine göre birçok üstünlüğe sahiptir. Bunlardan en önemlisi, doğrudan dış yönelme sayesinde elde edilen stabil geometrinin nirengi noktası sayısını azaltması ve bağlama noktası sayısını minimuma indirmesidir. GNSS/IMU verileri sayesinde fotoğraflar yaklaşık olarak konum ve dönüklüklere sahip olduklarından otomatik bağlama noktasının kalitesi artmaktadır.

Birleştirilmiş Algılayıcı Yönelmesi birçok kullanım alanına sahiptir. Kalibrasyon bunlardan birisidir. GNSS/IMU verilerinin datum kayıklığını veya boresight dönüklüğünü kalibre etmek için bir kalite kontrol aracı olarak kullanılmaktadır. İkinci olarak, DGNSS hatasının ihtiyaç duyulan konum doğruluğunu yeterince karşılayamadığı büyük ölçekli harita üretimi projelerinde, daha iyi bir doğruluk elde etmek için kullanılmaktadır.

Bu yöntemde, dış yönelme parametrelerinin hem bağlama noktası eşleştirme yazılımında hem de nokta toplama stratejilerinde uygun kullanımı ile işlem zamanı optimize eder. Daha fazla bağlama noktasına sahip olmak aslında fotogrametrik nirengi sonuçlarını kötüleştirmektedir. Bunun nedeni de, toplanan bağlama noktalarından daha fazla hatanın fotogrametrik nirengi işlemlerine etki etmesidir. Yani, Birleştirilmiş Algılayıcı Yönelmesini uygulamak için işlem zamanını azaltmaya yarayacak şekilde, uygun ve minimum sayıda bağlama noktası kullanılmalıdır (Atak ve Aksu, 2004).

5. HAVA FOTOĞRAFI YÖNELTMESİNDEKİ HATA KAYNAKLARI

Bir önceki bölümde detaylıca anlatılan dış yöneltme parametrelerinin hesaplanması yöntemleri birbirine göre avantaj ve dezavantajları olmasına rağmen hiçbirisi mükemmel bir yöntem değildir. Bu bölümde hatasız bir sistemin neden olmayacağı açıklanmaya çalışılacaktır. Birçok bileşeni olan havadan fotoğraf çekme işleminde en önemli bileşenler ve sebep oldukları hata kaynakları sıralanacaktır.

Yukarıda da bahsedildiği gibi havadan fotoğraf çekiminde dört önemli bileşen vardır. Bunlar;

- Fotoğraf Çekim Bileşeni
- Yöneltme Elemanları (Navigasyon)
- Uçuş Yönetim Sistemi ve
- Kontrol Ünitesidir.

Fotoğraf çekim elemanı sayısal hava kamerasıdır. Sayısal hava kameraları için IMU ve GNSS anteninin sabitlenmesi ve konumunun uçuş esnasında değişmemesi çok önemlidir. Konumun değişmemesinden kasıt dönüklük ve konum verisini toplarken kendi konumunun sabit olmasıdır. Bu husus sayesinde pozlama anındaki yaklaşık konum ve dönüklük vektörünün enterpolasyonla hesaplanmasını kolaylaştıracaktır. Farklı sensorlerin ortaklaşa çalışmasıyla belirlenen konum ve dönüklük vektörü, pozlama anının belirlenmesinde önem arz etmektedir. Bu ise açıkça sensörler arasındaki zaman senkronizasyonunun önemini belirlemektedir (1 Milisaniye 3,33 cm konumsal hataya neden olur)(Grejner-Brezezinska, 2000).

Hava fotoğraflarının yöneltmesi için ana bileşen GNSS ve IMU sistemleridir. GNSS uydulardan kod-faz varış zamanının ölçülmesi esasına dayanan ve kendi konumunu belirleyen ölçme sistemidir. IMU ise jiroskop ve ivmeölçer yardımıyla açısal hız ve kuvvet vektörünü verir (Ip, 2005). Çizelge 5.1 de GNSS ve IMU sisteminin kendi başlarına sahip oldukları avantaj ve dezavantajlarıyla birlikte bütünleşik çalışmaları sonucunda kazanımları gösterilmiştir (Schwarz vd., 1994;El-Sheimy, 1996a;Ip, 2005; Skaloud, 1999; Mostafa, 1999;Yastıklı, 2005).

Çizelge 5.1. GNSS ve IMU arasındaki genel farklılıklar ((Schwarz vd., 1994;El-Sheimy, 1996a;Ip, 2005; Skaloud,1999; Mostafa, 1999;Yastıklı, 2005)

	Avantaj	Dezavantaj
IMU	➤ Müstakil ve bağımsız çalışması. ➤ Sürekli veri toplaması. ➤ 3 konum ve 3 dönüklük bileşenlerini toplaması. ➤ Özellikle dönüklük verileri için yüksek doğruluk. ➤ Yüksek veri kayıt sıklığı (600 Hz). ➤ Konum ve hız vektörlerinde kısa zaman aralığında yüksek doğruluk.	➤ Konumsal hata ıraksaması nedeniyle sensor hataları zamana bağlı olarak büyümektedir. ➤ Yüksek doğruluk için yerel gravite alanı bilgisine ihtiyaç vardır.
DGNSS	➤ Konum ve hız verilerinde yüksek doğruluk. ➤ Zamandan bağımsız hata düzeltilmesi. ➤ Yerel gravite alanı bilgisine ihtiyacı yoktur.	➤ Sinyal kesintisi nedeniyle veri kaybı. ➤ Düşük veri örnekleme oranı (1-20 Hz). ➤ Uzun bantlarda ya da ortam gürültüsünün fazla bulunduğu ortamlarda belirsizlik çözümü zamanındaki yavaşlık.
IMU/DGNSS	➤ GNSS ve IMU sisteminin sahip olduğu bütün avantajları birleştirir. ➤ Fazla ve tamamlayıcı veriler sayesinde iki sistemin hataları ayrı ayrı ölçülebilir. ➤ GNSS sinyali kesildiğinde bile navigasyon devam eder. ➤ IMU hatalarının tahmininde GNSS verileri kullanılır. ➤ Konum, hız ve dönüklük verileri için yüksek doğruluk. ➤ Yüksek veri kayıt sıklığı. ➤ Yerel gravite alanının belirlenmesi.	➤ Sistemin önemli bir kısmı bulunmamaktadır. ➤ Hassas zaman senkronizasyonu ihtiyacı duymaktadır.

	Avantaj	Dezavantaj
IMU/DGNSS	➤ Özellikle dönüklük verileriyle konum ve hız verilerinde doğruluğunun zamandan bağımsız hale gelmesi. ➤ GNSS sisteminden kaynaklanan sinyal kesilmesi dâhil diğer hataların giderilmesi.	

Çizelge 5.1. den de anlaşılacağı üzere GNSS ve IMU birbirlerini bütünleyen sistemlerdir. GNSS sinyallerinde yaşanan esiklikler veya gereğinden az uydu görmesi nedeniyle konumlandırma yapamaması durumunda IMU verileriyle konumlandırma yapılabilmektedir. Bununla birlikte IMU sisteminin zamana bağlı olarak artan hataları ise GNSS sayesinde çözümlenmektedir. Düşük gürültülü ve yüksek yanlılığa sahip IMU ile yüksek gürültülü düşük yanlılığa sahip GNSS sistemi bütünleşik bir sistemdir. Bu bütünleşik sistem sayesinde sistem elemanlarının kendilerine has olan limitleri azalmakta veya yok olmaktadır (Ip, 2005).

Günümüzde GNSS\IMU sistemleri IGI AEROcontrol, Leica IPAS20 ve Applanix POS/AV firmalarıdır. Bu üç firmanın sistem performansını, doğruluk ve hassasiyet parametrelerini birçok bileşen etkilemektedir. Bunlar algılayıcı sensor hataları, entegrasyon hataları ve kalibrasyon hataları diye sınıflandırılmaktadır (Ip, 2005).

5.1 Algılayıcı Hataları

Havadan fotoğraf çekim sistemlerinde üç ana bileşen vardır. Bunlar GNSS, IMU ve görüntü algılayıcı sistemlerdir (Kamera, lazer tarayıcı vb.). Bu üç sistemden kaynaklanan hataları ayrı ayrı anlatılmaktadır.

5.1.1 Görüntü Algılayıcısı - Sayısal Hava Kamerası

Sayısal hava kameraları analog kameraların yerine geçtiği günden itibaren görüntünün bir film üzerine aktarılması ve görüntülerin elde edilebilmesi için filmlerin kimyasal işlemlerden geçmesi son bulmuştur. CCD algılayıcı sistemler sayesinde fotoğraflar sayısal ortama aktarılmaktadır. Hiçbir sistem hatasız üretilmeyeceği gibi sayısal hava

kameraları da hatasız üretilmemiştir. Üretim aşamasında testlerle elde edilen kalibrasyon raporları birçok hata değerlerini tespit etmektedir (asal noktanın yeri ve mercek distorsiyon). Kamera kalibrasyonu fotoğraf ölçüm doğruluğunu için çok önemli olmasına rağmen CCD algılayıcı yüzeylerinin geniş olması kalibrasyonlarını zorlaştırmaktadır (Ip, 2005). Algılayıcıların yöneltmesi için konum ve dönüklük bilgileri yanında sayısal hava kameralarından farklı olarak hız verilerine de ihtiyaç duyulmaktadır. Uçakta kullanılan algılama sistemin yöneltmesi için konum, dönüklük açıları ve hız için doğruluk gereksinimleri Çizelge 5.2 de gösterilmiştir (Schwarz, 1995;Yastıklı, 2003).

Çizelge 5.2. Algılama sistemlerinde dış yöneltme elemanları doğruluk gereksinimleri (Yastıklı, 2003).

Algılama Sistemi	Doğruluk Gereksinimi		
	Konum	Dönüklük Açısı	Hız
Sayısal Hava Kamerası	0.05 - 0.1 m	15" – 30"	-
CCD Algılayıcılar	0.25 – 1.0 m	1' - 3'	1 – 2 cm/s

5.1.2 Global Uydu Konumlama Sistemi (GNSS)

İlk olarak Amerika Savunma Bakanlığının kullandığı GNSS dünyanın neresinde olursanız olun doğrudan konum, hız ve zaman vektörlerini ölçen sistemdir. Bunu basitçe alıcı ile uydu arasındaki mesafeyi GNSS uyduları tarafından yayınlanan (L-bant) taşıyıcı frekanslar sayesinde gerçekleştirir. Bu taşıyıcı frekanslar $L1=1575.42$ Mhz ($\lambda =19.03$ cm) ve $L2=1227.60$ Mhz ($\lambda =24.42$ cm) sinyalleridir. Bu sinyaller *C / A* (coarse acquisition) ve *P* (precise) kodu olarak yayınlanır. *C / A* kodu üzerine *L1* sinyali, *P* kodu üzerine hem *L1* hem de *L2* sinyali modüle edilmiştir. Dünyadan 20.200 km uzaklıkta bulunan GNSS uyduları dünyanın her yerinde aynı anda dört veya daha fazla uydu görünecek şekilde yörüngeye oturtulmuştur (Ip, 2005;Yastıklı, 2005).

GNSS uyduları L-bandlarından başka uyduların yörünge parametrelerini (efemeris), bütün GNSS uyduları için almanak bilgileri, uydu saat hataları ve iyonosferik sinyal gecikmesi için yaklaşık düzeltme parametrelerinden oluşan navigasyon verisini de yayınlamaktadır. GNSS kullanıcılarına 2000 yılından önce iki türlü hizmet vermektedir. Bunlar SPS (Standart Konumlama Servisi) ve PPS (Hassas Konumlama Servisi) servisleridir. Bu servislerden standart konumlama servisi (SPS) sinyali düşük doğruluğa

hassas konumlama servisi (PPS) sinyali ise yüksek doğruluğa sahiptir. Bu sistemlerden Standart konumlama servisi herkesin kullanımına açık iken hassas konumlama servisinin kullanım sadece Amerika Birleşik Devletleri'nin izin verdiği kullanıcılara açıktır. SA (Selective Availability) yöntemi sayesinde izinsiz kullanıcıların bu servisten yararlanmaları engellenmektedir. Örnek olarak standart konumlama servisindeki konum doğruluğu yatayda yaklaşık 100 m düşeyde 156 m dir. Hassas konumlama servisinde elde edilen konum hassasiyeti yatayda 22 m düşeyde 27.7 m dir(Farrell ve Barth, 1999). Hassas konumlama servisindeki kısıtlama 1 Mayıs 2001 tarihi itibari ile kaldırılmıştır. Bu tarihten itibaren uluslararası GNSS servisi (International GNSS Service- IGS) uydu yörünge bilgilerini (± 15 cm) ve uydu saat hatalarını (± 1 ns) hassas bir şekilde iki hafta gecikme ile yayınlamaktadır (Jekeli, 2001;Yastıklı, 2003;İp, 2005).

Tek frekans kullanan tek nokta çözümünde (SPP-Single Point Position) alıcının konum doğruluğu metrenin altına düşmemektedir. Bunun sebebi ise uydu yörünge ve saat hataları, iyonosfer ve troposferdeki sinyal gecikme etkisi ile alıcıdan kaynaklı hatalardır. Çizelge 5.3 de hangi hata kaynağının ne kadar etki yaptığı gösterilmektedir (Olynik vd., 2002; İp, 2005).

Çizelge 5.3. Tek frekans kullanılarak tek nokta çözümündeki hata kaynakları
(Olynik vd., 2002)

Hata Kaynağı	Yaklaşık Değerler
Uydu Yörünge ve Saat Hataları	~ 2.3 m
Atmosferik (İyonosfer ve Troposfer) Hatalar	~ 2.7 m
Alıcı Hataları (çok yolluluk ve alıcı gürültüsü)	0.01 – 10m
Toplam Hata	$\sim 5\text{m} - 15$ m

GNSS hata kaynaklarıyla ve bu hataların giderilmesine ilişkin modelleme hakkında daha geniş bilgiler Parkinson ve Spilker, 1996; Grewal vd., (2001), Farrel vd., (1999)'da bulunabilir. Tek nokta çözümünden ayrı olarak SA etkisi olmadan C / A kod ölçümleri kullanılarak VDOP = 2.5, HDOP = 2 için GPS hata değerleri Çizelge 5.4'de sunulmuştur (Parkinson ve Spilker, 1996;Yastıklı, 2003).

Çizelge 5.4. GNSS hata kaynakları

GNSS Hata Kaynağı Hata (m)	Hata (m)
Uydu yörünge hatası (SA etkisiyle)	2.1
Uydu saat saati sapmaları	2.1
İyonosferdeki sinyal gecikme etkisi	4
Troposferdeki sinyal gecikme etkisi	0.7
Çok yolluluk	1.4
Alıcı hataları	0.5

Bu kısıtlamalarının üstesinden gelmek için çift frekanslı GNSS alıcısıyla Diferansiyel GNSS sistemi olan DGNSS tekniği kullanılır. DGNSS, kısaca bilinen bir noktadaki konumlama hatalarının belirlenip, aynı bölgedeki başka alıcıların konum hesaplarının düzeltilerek doğruluğun artırıldığı bir tekniktir. Ek frekans olarak kullanılan L2 bandı konum doğruluğuna doğrudan etki eden İyonosfer ve troposfer sinyal gecikme hatalarını gidermektedir. Bunun yanında iki farklı GNSS alıcısı sayesinde uydu ve alıcı saat ofset hataları ile uydu yörünge hataları giderilmektedir. DGNSS hata kaynakları Çizelge 5.5 de uçakta kullanılan DGNSS yöntemi hata kaynakları ise Çizelge 5.6 de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Çift frekanslı diferansiyel GNSS için hata kaynakları (DDFGNSS)

(Olynik vd., 2002; Ip, 2005)

Hata Kaynağı	Yaklaşık Değer
Uydu ve Alıcı Saati Sapma Hatası	-
Atmosferik Hatalar	~ 0.4 ppm
Yörünge Hataları	~ 0.5 ppm
Gürültü	~ 2 ppm
Çok Yolluluk	~ 3 ppm
Toplam Hata	~ 0.5 ppm + 0.9 ppm

Çizelge 5.6. Uçakta diferansiyel GNSS konum belirleme hata kaynakları

(Mostafa, 1999; Yastıklı, 2003)

GNSS Hata Kaynağı	Konum Belirleme Hatası	10 km Baz Uzunluğu için Konum belirleme Hatası (m)
Uydu Yörünge Hatası	1	0.01
İyonosferdeki sinyal Gecikme Hatası	1-10	0.01-0.10
Troposferdeki sinyal Gecikme Hatası	2	0.02
Çok Yolluluk	0.01	0.01
Alıcı Hataları	0.001	<0.005

DDFGNSS yönteminde toplam hatalar göz önüne alındığında 5 cm -10 cm karesel ortalama hata yakalamak için projede kullanılacak baz uzunlukları 50 km – 100 km arasında olmalıdır (Ip, 2005). Uçuş bölgesinde sabit GNSS istasyonlarının bulunması GNSS verilerinin çözümü için hayati önem arz etmektedir. Ülkemizde kurulan Tusaga-Aktif sistemi sabit GNSS istasyonlarının yayınladığı veriler kullanılarak GNSS verileri çözümlenmektedir. Yukarıdaki çizelgelerde ifade edilen doğruluklar bu çözüme bağlıdır. Ancak her zaman uçuş bölgesine yakın GNSS yer istasyonu bulunmamakta veya bulunsu bile verinin kalitesi kullanılabilirliğini etkilemektedir. Bu sayılan sebeplere rağmen özellikle doğrudan yöneltme tekniği için yer GNSS istasyonlarının proje alanına mesafesine göre GNSS çözümünü nasıl etkilediği bilinmemektedir. Sabit GNSS istasyonunun mesafesi mutlaka GNSS çözümünü etkilemektedir ama nasıl ve ne kadar etkilediği araştırılması gereken hususlardan biridir. Tezimin konusunu tam bu konu oluşturmaktadır. Bu konu ile ilgili detaylı bilgi uygulama bölümünde verilecektir. Bu konuya yardımcı olacak araştırmalardan bir tanesi farklı GNSS ölçümleri ve farklı veri işleme yöntemleri kullanılarak GNSS ile konum ve dönüklük belirleme yönteminde elde edilen doğruluklarla ilgilidir. Bu doğruluklar Çizelge 5.7 de verilmiştir (Schwarz vd.,1994;Yastıklı, 2003).

Çizelge 5.7. GNSS ile konum ve dönüklük belirleme doğrulukları

Yöntem	Alıcılar Arasındaki Mesafe	Doğruluk
Kod Ölçümleri ile Konum Belirleme (SA Etkisiyle)		100 m yatay 150 m düşey
Diferansiyel Kod Ölçümleri	10 km	0.5-3 m yatay 0.8-4 m düşey
	500 km	3-7 m yatay 4-8 m düşey
Diferansiyel Taşıyıcı Faz Ölçümleri	10 km	0.03-0.20 m yatay 0.05-0.30 m düşey
	500 km	0.15-0.30 m yatay 0.20-0.40 m düşey
Dönüklük Belirleme	1m aralıklı	0.17-0.5 derece
	5 m aralıklı	0.07-0.10 derece
	10 m aralıklı	0.03-0.05 derece

5.1.3 Ataletsel Yönetim Sistemi (IMU-Inertial Measurement Unit)

Müstakil ve bağımsız bir sistem olan IMU ivmeölçer ve jiroskoptan oluşur. Çizelge 5.8. de marketlerde kullanılan IMU sistemlerinin karakteristik özellikleri sunulmaktadır.

Çizelge 5.8. IMU karakteristikleri (El-Sheimy, 2000)

IMU Tipi	Navigasyonel	Taktiksel	Mikro Elektro Mekanik Sensor
Jiroskop (derece/saat)	0.005-0.015	1-3	100-300
İvmeölçer (μg)	50-100	100-1000	1-10

Navigasyonel IMU sistemi jiroskopun düşük sapma oranı özelliği sayesinde yüksek doğrulukta konum bilgisi toplar. Maliyeti yüksek olan navigasyonel IMU sistemi ticari uçaklarda kullanılmıştır. Bunun dışında yersel hareketli harita sistemlerinde GNSS sinyalleri kesildiği zaman yüksek doğruluğa sahip konum verisi üretmektedir

(Lithopoulos vd., 1996; Reid, 1998). Birçok doğrudan yöneltme uygulamalarında taktiksel IMU sistemleri kullanılmaktadır. Konum doğruluğu performansı Navigasyonel sistemden düşük olsa da GNSS ile bütünleşik kullanıldığı zaman, bütünleşik sistemin konum ve dönüklük doğruluğu yüksek seviyedir (Mostafa ve Hutton, 2001; Grejner-Brezinska, 2000; El-Sheimy, 1996a,b). MEMS (Mikro Elektro Mekanik Sensor) düşük maliyetli küçük çipli yeni nesil IMU sistemidir. Özellikle ölçek faktörü olmak üzere bazı sensorleri tam verimli çalışmamaktadır. Bu IMU tipi üzerinde hala çalışmalar devam etmektedir (Abdelhamid vd., 2004). Araç ve şahıs navigasyonu da dâhil birçok uygulama alanı bulunmaktadır.

IMU sensorü alet algılayıcısının karakteristik performansları dört ana kategoride sınıflandırmaktadır. Bunlar Sensor ölçek faktörü, sensor sapması, eksen kayması ve gürültüdür (Titterton ve Weston, 1997; El Sheimy, 1996a ; Ip, 2005).

Algılayıcı sapması skolastik ve deterministik olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Deterministik kısım ofset hatası içerir ve kalibrasyonla tespit edilebilir. Skolastik kısım ise rastlantısal ve sistemin özünden kaynaklanan kayıklık hataları gibi hatalar içerdiğinden skolastik proses ile modellenmesi gerekmektedir.

Ölçek faktörü sensör çıkış sinyali ile ölçülen fiziksel niceliği arasındaki bağlantıdır. Ölçek faktörü özünde deterministik olduğu için kalibrasyonla hatalar tespit edilebilir. Sensorün hatalı monte edilmesi IMU platform koordinat sisteminde eksen kaymasına neden olacaktır. Bu eksen kayması kalibrasyon veya IMU hata eşitliklerinin modellenmesiyle giderilmektedir.

Sensor gürültü hatasına ya sensordan ya da diğer elektronik teçhizatlardan kaynaklanan gürültü sebep olmaktadır. Sistemik olmayan gürültü skolastik proses ile modellenebilmektedir.

Bu hata kaynaklarının yanı sıra daha öncede üzerinde durulduğu üzere IMU sistemlerinin doğruluğu zamana bağlıdır. Yani zamanla IMU konum doğruluğunu kaybetmekte daha doğrusu konum hataları toplanarak çoğalmaktadır. Çizelge 5.9 da konum, hız ve dönüklük verisi toplayan IMU sistemlerinin zamana göre doğruluk değerleri verilmektedir (Schwarz, 1995; Schwarz vd., 1994).

Çizelge 5.9. IMU sistemleri doğruluk sınıflandırması (Yastıklı, 2003).

Zaman Aralığı	Sistem Doğruluk Sınıfı		
	Yüksek	Orta	Düşük
Konum verileri			
1 h	0.3-0.5 km	1-3 km	200-300 km
1 m	0.3-0.5 m	0.5-3 m	30-50m
1 s	0.01-0.02 m	0.03-0.10 m	0.3-0.5m
Hız verileri			
1 h	0.3-0.5 m/s	1-2 m/s	200-300 m/s
1 m	0.01-0.02 m/s	0.05-0.1 m/s	1-2 m/s
1 s	0.0005-0.001 m/s	0.001-0.003 m/s	0.002-0.0005 m/s
Dönüklük verileri			
1 h	10"30"	1"-3"	1°-3°
1 m	1"-2"	15 "-20"	0°.2-0°.3
1 s	<1"	1"-2"	0°.01-0°.03

5.2 Entegrasyon Hataları

Çoklu sensorlerin ölçümlerini birleştirmek için üç parametre gerekmektedir. Bunlar sensor yerleştirme, senkronizasyon ve filtreleme teknikleridir (Skaloud, 1999; Grejner-Brezinska, 2001; Ip, 2005).

5.2.1 Sensor Yerleştirme

Sensorler arasındaki operasyonel koşullar nedeniyle her bir sensor uçakta farklı yerlere monte edilmiştir. İlk olarak kameralar hava fotoğrafı çekiminde maksimum görüntü elde etmek için uçağın altına monte edilmektedir. İkincisi sürekli GNSS sinyali alabilmek için GNSS anteni uçağın üstünde dış yüzeye monte edilmiştir. Kalibrasyon verimliliğini artırmak için GNSS anteni doğrudan kamera merkezinin üstüne monte edilmektedir. Montaj sırasında uçağın kanadını göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Çünkü geniş yatış açısı GNSS sinyallerinin kesilmesine neden olmaktadır. Uygulamada, pilotlar genellikle 20°'den daha fazla eğik uçmamaktadırlar.

Üçüncüsü ise müstakil bir sistem olan IMU' dur. Herhangi bir özel montaja gerek olmayan IMU'nun sadece sıkıca monte edilmesi gerekmektedir. Doğrudan Coğrafi Yönelme formülünde eşitlik 2.4. de formüle edilen IMU platform koordinat sistemi ile kamera koordinat sistemi arasındaki dönüşüm matrisinin değişmemesi için ana faktör IMU'nun stabil olarak monte edilmesidir. Bu formül aslında boresight mis-alignment parametreleri de (IMU ile kamera arasındaki açısal misalignment) denilen kalibrasyon parametrelerini hesaplar. Tüm sistemin kalite kontrolünü yapan Boresight kalibrasyonu sistem kurulduğundan itibaren periyodik olarak yapılmalıdır. Sistemlerin kurulmasından sonra öteleme vektörleri denilen sensorler arasındaki konumsal ofset hatalarını da belirlemektedir. Bunlar IMU ve GNSS anteni arasındaki öteleme vektörüyle IMU ve kamera arasındaki öteleme vektörüdür. IMU eğer stabil montaj edilirse bu hatalar kolaylıkla kalibre edilebilir.

5.2.2 Senkronizasyon

Yüksek konum ve dönüklük doğruluğunu belirlemek için farklı veri akışlarında hassas senkronizasyon çok önemlidir. Bu üç sensor: GNSS, IMU ve kamera kendi zaman diliminde ve frekansında çalışırlar. Doğrudan coğrafi yöneltmesindeki esas unsur bu üç farklı bileşenin senkronizasyonunu sağlamaktır. Prensip olarak, GNSS kendi zamanından dolayı en doğru zaman referansını sağlar. GPS ölçümlerindeki zamansal gecikme sorun oluşturmamaktadır. Çünkü, GNSS uyduları ile alıcı arasındaki saat hataları giderilmektedir. IMU nadiren GNSS ile doğrudan senkronize olsa da aslında kendi entegre zamanlama modülü kullanmaktadır. IMU'daki ölçümlerin yapıldığı zaman ile kaydedildiği zaman arasındaki gecikme genellikle üretici firmalar tarafından hesaplanır. Bunlara zıt olarak kamera herhangi bir zamanlama sayacı içermemektedir. Yapılan uçuş planlamasında fotoğraf çekim noktalarının koordinatları hesaplanarak uçuş yönetim sistemine girilmektedir. Uçuş yönetim sistemi GNSS alıcısıyla senkronize olarak çalışmaktadır. Fotoğraf çekim noktaları uçuş planı sayesinde, uçağın konumu ise GPS alıcısı sayesinde ekranda görünmektedir. Uçak fotoğraf çekimi yapılacak noktaya geldiği zaman uçuş yönetim sistemi kamera algılayıcılarına pozlama sinyali göndermekte ve fotoğraf çekimi gerçekleşmektedir. Bu her bir fotoğraf için tekrarlanmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus GNSS alıcısı saniyelik veri toplamaktadır. Ancak fotoğraf çekim anı saniyeden daha hassas bir zaman diliminde gerçekleşeceğinden GNSS aradaki farkı enterpolasyon yöntemiyle hesaplamaktadır. Bir

başka husus ise uçaktaki fotoğraf çekim anını kaydeden bilgisayar ile GNSS alıcısı arasındaki zamansal senkronizasyon hatasının belirlenmesidir (Yastıklı, 2003;Ip, 2005).

5.2.3 Filtreleme Teknikleri

Filtreleme GNSS ve IMU verilerini birleştiren ve gerekli doğrulukla hata tahmini yapan GNSS\IMU entegrasyonunun kalbidir. Tekrarlanan yapısı ve tahmin kapasitesi sayesinde Kalman Filtreleme en çok tercih edilen filtreleme yöntemidir (Titterton 1997, Britting 1997 ve Scherzinger 1997). Kalman Filtrelemesinde çok az entegrasyon mekanizması vardır. Bunlardan birkaçı gevşek, sıkı ve derin bağlı mekanizmalardır. Kullanılacak mimarinin dizaynı uygulama ve çevresel operasyona bağlıdır. Örnek olarak, derin bağlı entegrasyon yapısı çok karmaşık ve çok hesaba dayalı güce bağlıdır. Aşırı yükleme veri kaybına veya muhtemel performans düşüşüne neden olabilmektedir. Sonuç olarak, uçakta GNSS sinyallerinde yaşanan blokaj ve çokyönlülük nedeniyle kaybolan veriyi cycle slip algılaması için kapalı döngü geri dönüşümüyle beraber genellikle gevşek bağlı entegrasyon kullanılır. Bununla beraber IMU Kalman Filtresi IMU ölçümlerinin hata modelini oluşturmakta ve sistemin doğruluğunu sürekli geliştiren navigatore geri besleme sağlamaktadır. Oluşturulan hata modelinin performansı Kalman Filtreleme konum vektörünün ne kadar miktarda konum verisi içerdiğine bağlıdır. Kalman Filtreleme üç eksen boyunca hız ve ivme değişikliğini içerecek şekilde en az 6 konum içermektedir. Fakat jiroskop sapması, ivme ölçer yanlışlığı ve jiroskop/ivmeölçer ölçek faktörü gibi ek parametreler içerirse daha yüksek doğruluklu tahmin yapılmakta ve sistem performansı iyileşmektedir. Bazı Kalman Filtreleme mimarisi 32 konum parametresi içermektedir fakat bu kadar fazla parametre kullanılması fazla hesap gerektirmektedir.

5.3 Kalibrasyon Hataları

Daha öncede belirtildiği gibi kalibrasyon hatalarını sensor hatası, öteleme vektörü hatası, boresight kalibrasyonu olarak sınırlandırılabilir.

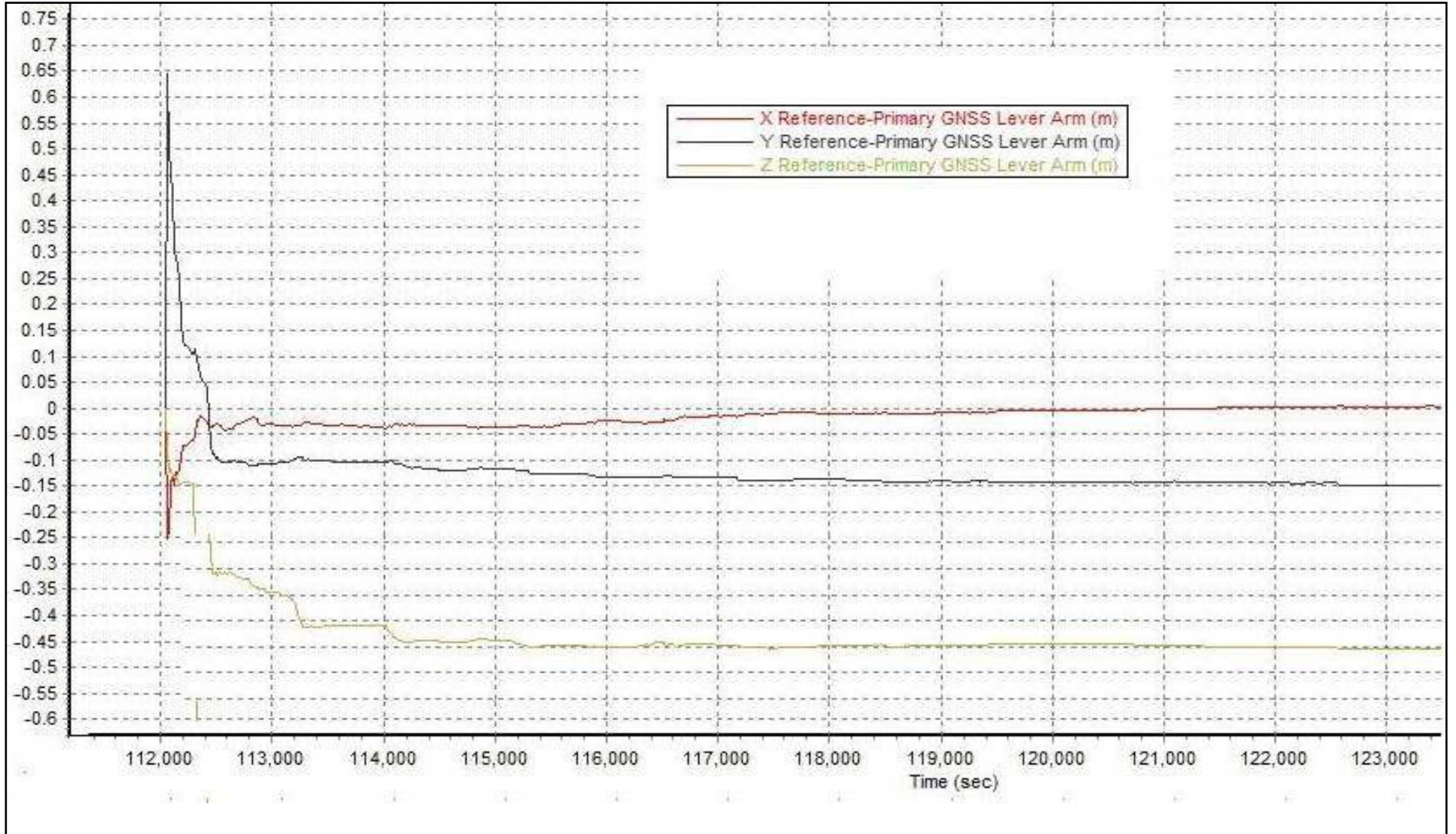
5.3.1 Algılayıcı Hatası

Algılayıcı hataları Kalman Filtreleme ile uygun deterministik modellerle kalibre edilir. IMU ve GNSS alıcısının kalitesi deterministik parametreler hakkında yüksek doğruluklu bilgi sağlar. Fakat gürültü ve rastlantısal hata gibi skolastik kısmın

modellenmesi uzun süren sabit testlere ve uygun modellere bağlıdır (Titterton ve Weston, 1997; Britting, 1997; Scherzinger, 1997 ve Ip, 2005). İç yöneltme elemanı olarak bilinen kamera odak uzaklığı ve fotoğraf koordinat sisteminde asal noktanın konumu kamera kalibrasyonu ile belirlenmektedir. Bu işlem genellikle üretici firmalar tarafından laboratuvar ortamında yapılmaktadır. Kalibrasyon sonuçları üretici firma tarafından kullanıcılara verilmektedir. Kamera kalibrasyon raporlarında kalibrasyon tarihindeki kalibre edilmiş odak uzaklığı, radyal distorsiyon ölçüm değerleri, objektifin çözünürlüğü, asal noktanın konumu, çerçeve işaretlerinin fotoğraf koordinat sistemindeki koordinatları ve radyal distorsiyon hatasına ilişkin grafikler bulunmaktadır. Kamera kalibrasyon değerleri zamana bağlı olarak değiştiği için belirli aralıklarla yenilenmesi gerekmektedir (Yastıklı, 2003).

5.3.2 Öteleme Vektörü

IMU'nun stabil-sabit şekilde monte edilmesi IMU ile kamera sensörü arasındaki öteleme vektörünün hesaplanmasını kolaylaştırmaktadır. GNSS/IMU öteleme vektörü kurulum sırasında basitçe hesaplanmaktadır. Bu hesap santimetre hassasiyetinde olabilir. Fakat GNSS anteni ile kameranın perspektif merkezi arasındaki öteleme vektörü tam olarak hesaplanmalıdır. Öteleme vektörünün hesaplanmasında iki metod kullanılmaktadır. Bunlardan ilki fotogrametrik blok dengelemesinde öteleme vektörü bilinmeyen olarak dengelemeye sokulmaktadır. Bu yöntem çok fazla tercih edilen bir yöntem değildir. Çünkü GNSS anteninin konumunu hesaplarken korelasyon değeri yüksek çıkmaktadır (Ackerman, 1992;Ip, 2005). İkinci yöntem ise öteleme vektörünü GNSS/IMU verileriyle hesaplanmasıdır. Bu yöntemde öteleme vektörü kabaca ölçülmektedir. Bu ölçüm için kullanılan aletlerden bir tanesi de total stationdur. Daha sonra GNSS/IMU verilerinin işlenmesi kısmında yaklaşık öteleme vektörü (LeverArm) sisteme girilmekte ve istem kalman filtrelemesi yardımıyla hassas öteleme vektörünü hesaplamaktadır (Şekil 5.1.). Bunu bir kez hesaplamak yeterli olmaktadır.



Şekil 5.1. Öteleme Vektörü Hesaplanması

5.3.3 Boresight Kalibrasyonu

IMU ve kamera algılayıcıları arasındaki mesafenin fiziksel ölçülmesi sistemler monte edilirken yapılmaktadır. Teoride IMU ve kamera sensörü arasında dönüklük olmaması beklenir. Fakat bu mümkün değildir. Kamera ile IMU arasındaki öteleme boresight kalibrasyonu ile belirlenir. Boresight hesabı blok dengeleme sonuçları ile GNSS/IMU entegrasyonu sonucunda elde edilen sonuçlar arasındaki farklardan ya da blok dengelemeye bilinmeyen olarak eklenerek elde edilmektedir. Bu işlem sonucunda dönüklük açısı farkları ($d\omega$, $d\phi$, $d\kappa$) ve GNSS drift parametreleri (dx , dy , dz) elde edilebilmektedir (Kiracı vd., 2010).

6. UYGULAMA

Bu bölümde tez çalışmamın uygulama bölümü anlatılacaktır. Araçlar bölümünde tez çalışmasında kullandığım yazılım, donanım ve araçsal materyaller hakkında kısa bilgi verilecek, girdi bölümünde kullandığım veriler ve özellikleri yer alacak uygulama bölümünde yapılan çalışma hakkında uygulamaya yönelik bilgiler yer alacaktır..

6.1 Araçlar

6.1.1 Sayısal Hava Kamerası

Tezimde üçüncü bölümde ayrıntılı olarak anlattığım UltraCamX sayısal hava kamerası kullanılmıştır.

6.1.2 GNSS Alıcısı

Çalışma bölgesinde 36 adet nokta Tusaga-Aktif Uyumlu RTK GNSS alıcısı kullanılarak ölçülmüştür.

6.1.3 Yazılımlar

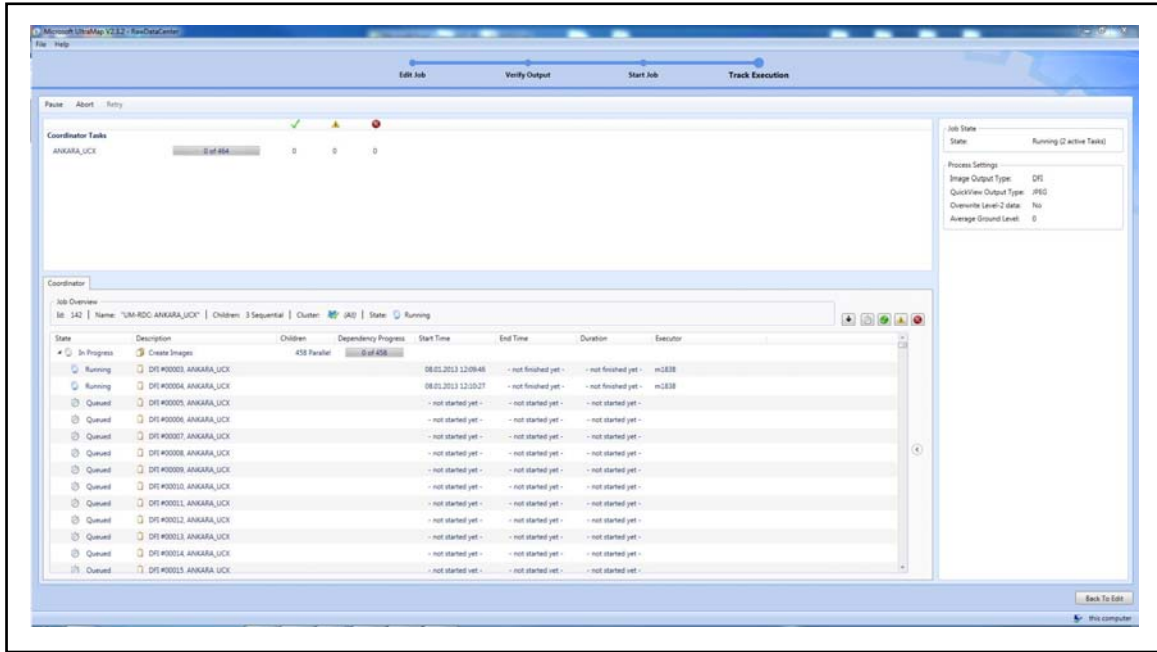
6.1.3.1 Uçuş Planlama Yazılımı - WinMp

Uçuş planlama yazılımı IGI firması tarafından geliştirilen WinMp uçuş planlaması yazılımıdır. Yapılan uçuş planları PCMCIA kart kullanılarak uçağın uçuş yönetim sistemine aktarılır.

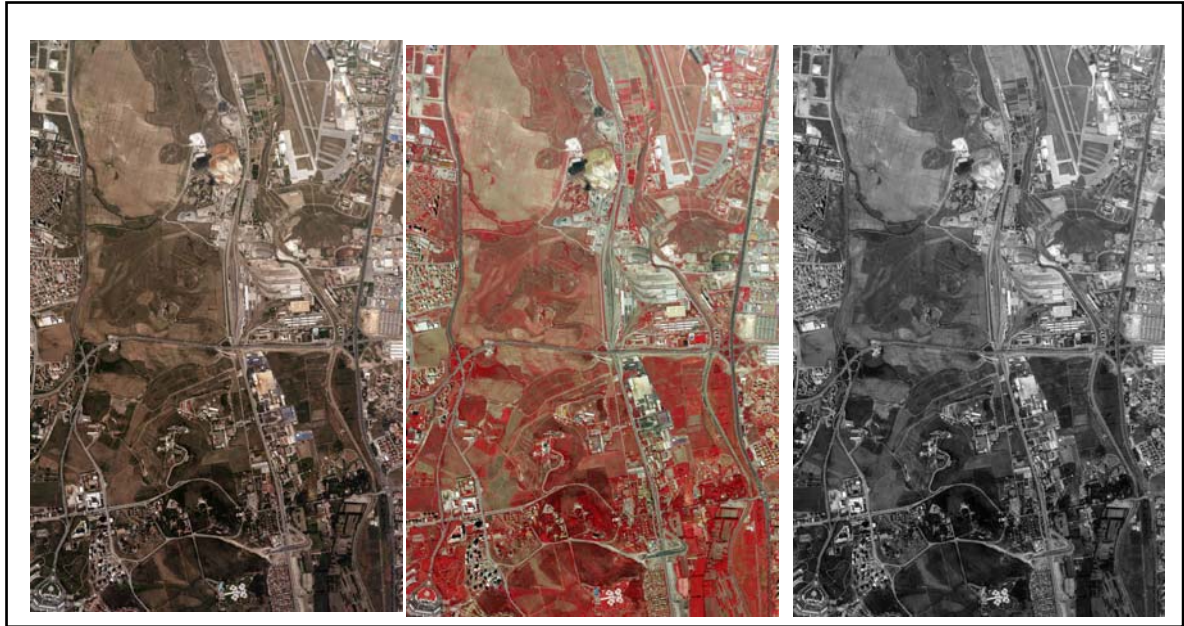
6.1.3.2 Görüntü İşleme Yazılımı - UltraMap 2.3

Sayısal hava fotoğrafları Level-0, Level-2 ve Level-3 olarak adlandırılmaktadır. Bunlardan ham veri Level-0 formatındadır. Bir hava fotoğrafına ait 13 dosya mevcuttur. Bunların 9 adeti pankromatik geri kalan 4 adeti mavi, yeşil, kırmızı ve kızılötesi merceğin aldığı bölümdür. İlk aşamada Level-0 aşamasından Level-2 aşamasına geçilir. Bu aşamaya geometrik süreç adı verilir (Şekil 6.1.). Süreç sonunda 200 Kb boyutunda pankromatik, renkli ve kızılötesi hızlı görünüm dosyaları oluşur (Şekil 6.2.). UltraMap Level-2 düzeyindeki hızlı görünüm ürünler yardımıyla kullanıcı hangi ürün istiyorsa (renkli, pankromatik, kızılötesi, renkli kızılötesi) o ürüne yönelik Level-3 dönüşümü yapmaktadır. Bu dönüşümde fotoğrafların radyometri ayarı yapıldığı için radyometrik süreç denilmektedir. Atmosferik ve merkeksel nedenlerle kaynaklanan ışığın kırılması fotoğrafların radyometrisini bozucu etki göstermektedir. Örnek olarak Haze algoritması

sayesinde fotoğrafta meydana gelen bozucu etki Şekil 6.3. ve Şekil 6.4’de gösterildiği gibi giderilmektedir.



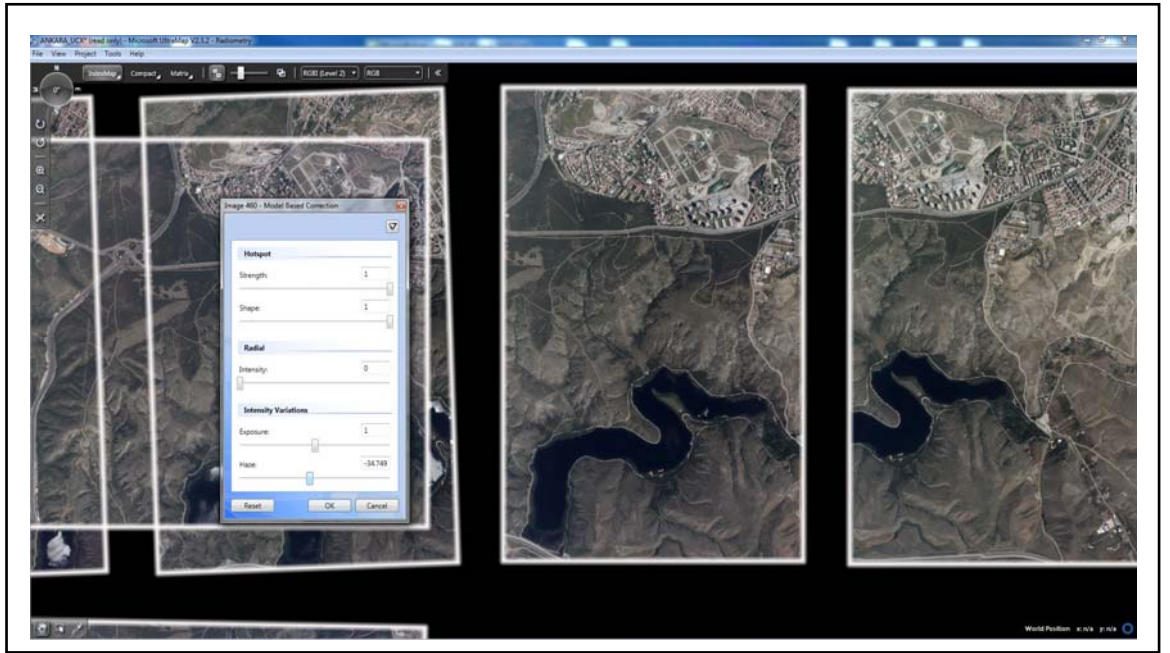
Şekil 6.1. UltraMap Level-0 Level-2 dönüşümü arayüzü



Şekil 6.2. UltraMap Level-0 Level-2 dönüşümü Hızlı görünüm ürünleri



Şekil 6.3. Haze algoritması kullanılmadan önceki görüntü radyometrisi



Şekil 6.4. Haze algoritması kullanıldıktan sonra görüntü radyometrisi

6.1.3.3 GPS/IMU Verileri İşleme Yazılımları (AEROoffice 5.1 ve GrafNav 8.1)

Uçaktan gelen GNSS\IMU verileri binary formatında ve *.C5L uzantılı bir dosyadır. GNSS\IMU verilerinin işlenmesi üç ana aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar sırasıyla ön işleme, GNSS verilerinin işlenmesi ve son işleme olarak adlandırılabilir. Ön işleme aşamasında Binary formatındaki GNSS\IMU verilerinden sadece GNSS verisi *.ASH uzantılı dosyaya aktarılmaktadır. Bu işlem AEROoffice yazılımında gerçekleştirilmektedir. İkinci adım olan GNSS verilerinin işlenmesi *.ASH uzantılı GNSS verilerinin olduğu dosyanın GrafNav yazılımıyla işlenmesi aşamasıdır. Son aşama ise tekrardan AEROoffice yazılımında işlenmesi yapılan GNSS verileriyle IMU verilerinin fotoğraf çekim anındaki değerlerinin hesaplanması işlemidir.

6.1.3.4 MATCH-AT 5.5 Dengeleme Yazılımı

Çekilen hava fotoğraflarının nokta toplanması ve dengelenmesi işlemleri bu yazılım sayesinde gerçekleştirilmektedir.

6.2 Girdiler

6.2.1 Çalışma Bölgesi

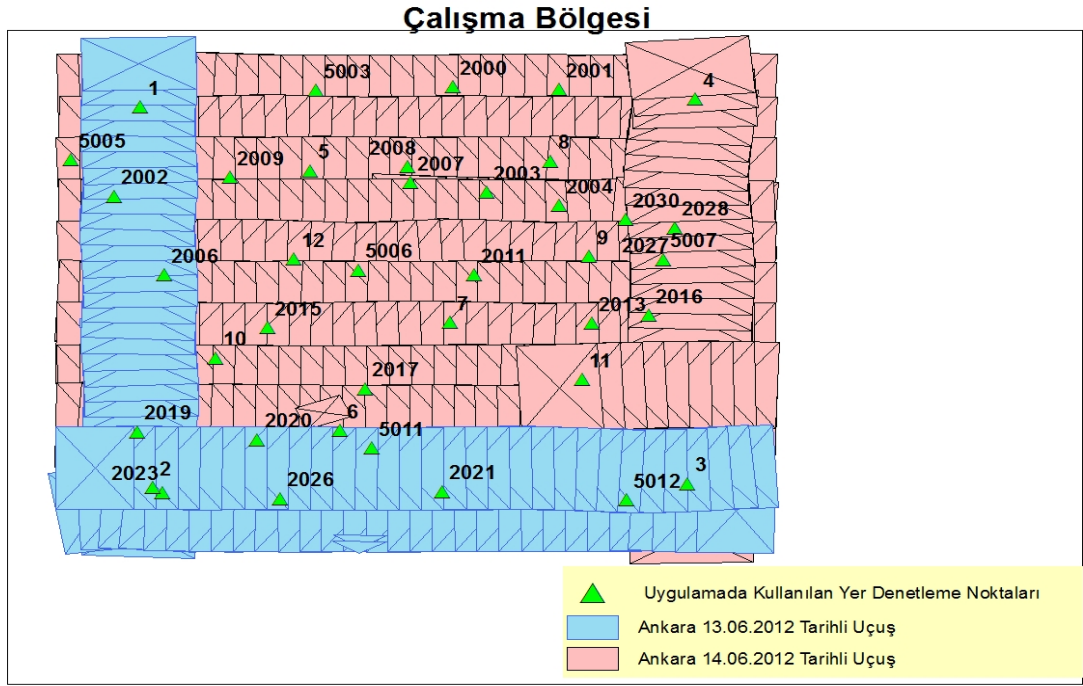
Çalışma bölgesi Ankara şehir merkezi ortada kalacak şekilde 1296 km²'lik alanda planlanmıştır.

6.2.2 Sayısal Hava Fotoğrafları

UltraCamX Sayısal Hava Kamerası kullanılarak 13 ve 14 Haziran 2012 tarihinde 30 cm yer örnekleme aralığında 393 adet hava fotoğrafı kullanılmıştır.

6.2.3 Denetleme Noktaları

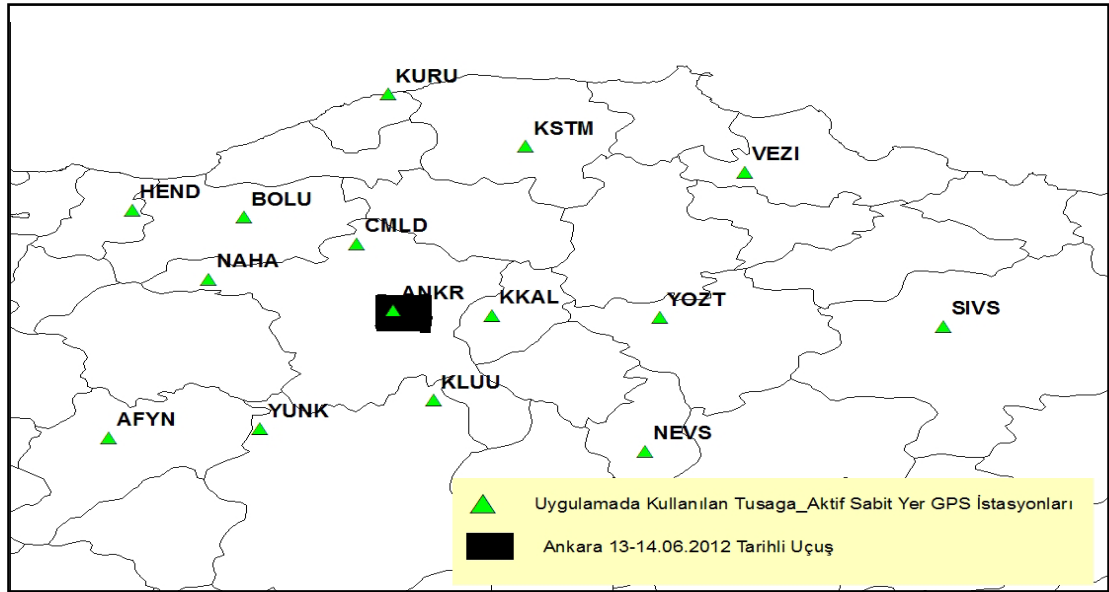
Çalışma bölgesine homojen dağılmış 36 adet denetleme noktası ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerin doğrulukları 1-2 cm arasında değişmektedir. Denetleme noktalarının dağılımı Şekil 6.5 de sunulmuştur.



Şekil 6.5. Çalışma Bölgesi Denetleme Noktası Dağılımı

6.2.4 Sabit Yer GPS İstasyonları (Tusaga-Aktif Sabit GNSS İstasyonları)

Uygulama kısmında daha detaylıca bahsedeceğim Tusaga-Aktif sabit GNSS istasyonlarının çalışma bölgesine göre konumları Şekil 6.6 da sunulmuştur.



Şekil 6.6. Çalışma Bölgesi Tusaga-Aktif Sabit GNSS İstasyonları Dağılımı

6.3 Uygulama

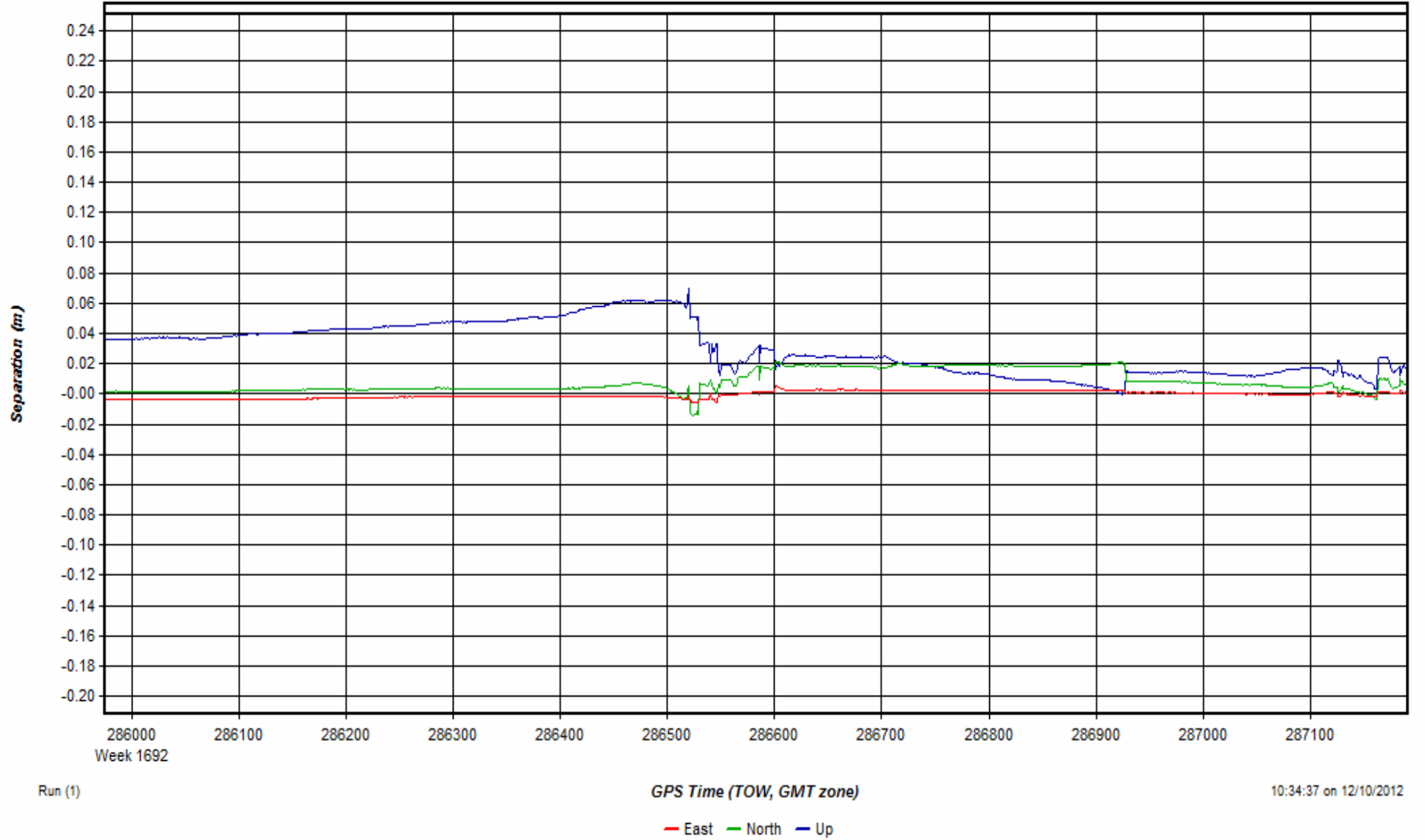
Bu kısımda tek nokta, ağ yapısı ve PPP yöntemleriyle GNSS çözümlerinin doğrudan algılayıcı yöneltmesi doğruluğuna etkisi araştırılmıştır. Dört tanesi tek nokta, dört tanesi ağ yapılı ve PPP çözümleri kullanılarak GNSS\IMU verilerinin GNSS çözümü yapılmıştır. Ağ yapılı çözümler genişten daralan bir çembere göre, tek noktalı çözümlerde aynı mantıkla yakından uzağa göre sıralanmıştır. Buradaki amaç sabit yer GNSS istasyonların uçuş yapılan bölgeye göre mesafelerinin GNSS çözümüne ve dolayısıyla doğrudan yöneltmeye etkisine bakılacaktır.

6.3.1 Birinci GNSS Çözümü – Tek Nokta – Ankara

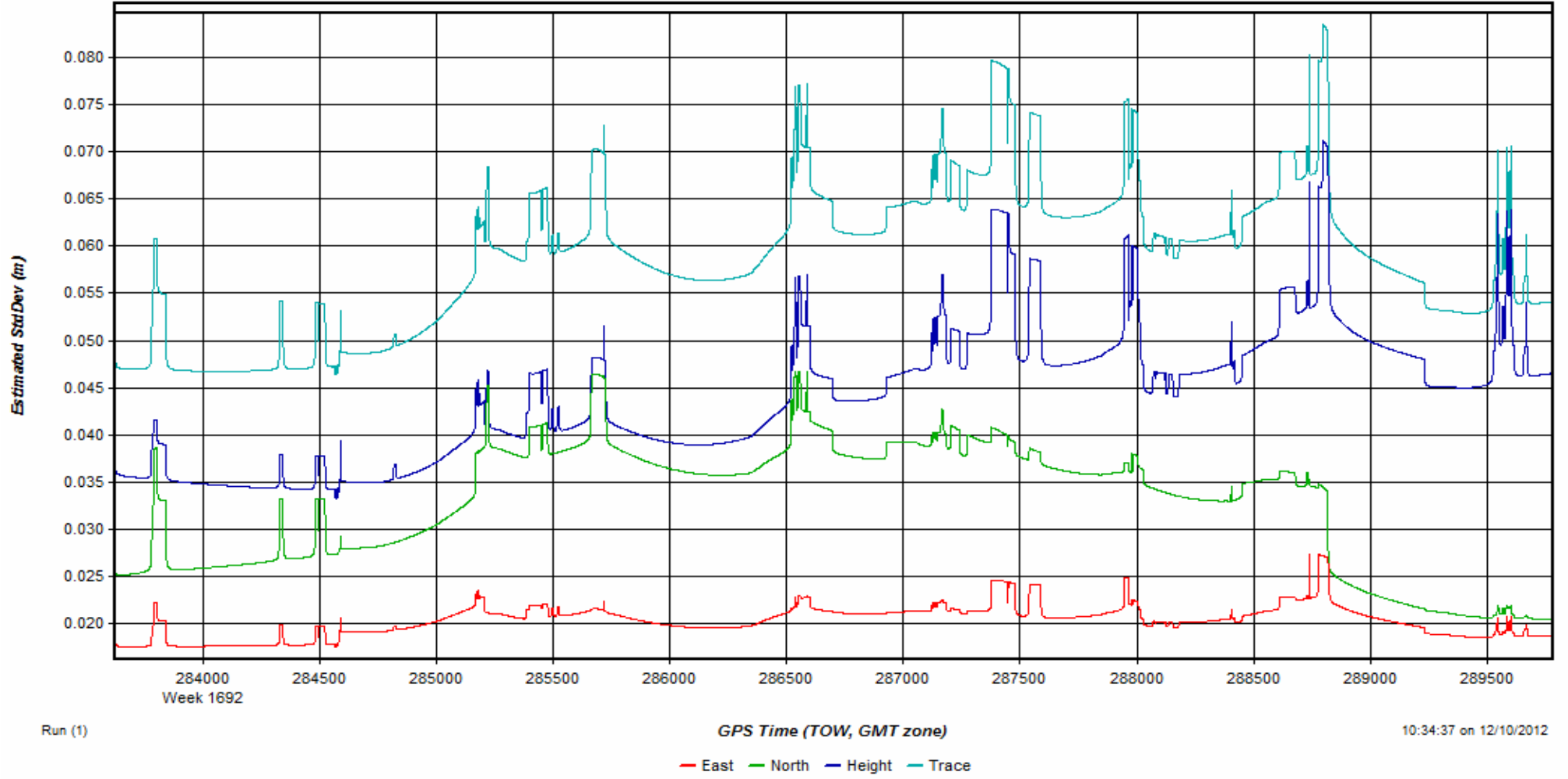
Çalışma bölgesinin merkezine yaklaşık 5 km mesafede olan Ankara istasyonuna ait 1 sn aralıklı Rinex formatındaki veriler kullanılarak GNSS verileri işlenmiştir. GNSS çözümüne ait GNSS gidiş geliş çözüm farkları ve tahmini konum doğruluğu uçuş yapılan iki gün içinde Şekil 6.7, Şekil 6.8, Şekil 6.9 ve Şekil 6.10 da sunulmuştur. Yer kontrol noktası kullanmadan GNSS\IMU verileriyle yapılan dengeleme işlemi Match_AT 5.5 versiyonunda gerçekleştirilmiştir. Öncelikle bağlama noktası toplattırılmış ve arazide ölçülen 36 adet denetleme noktasına gelen düzeltmeler hesaplanmıştır. Dengeleme sonuçlarına göre karesel ortalama hata, ortalama hata, maksimum ve minimum hatalar hesaplanmıştır (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1. Tek Nokta Ankara Sabit GNSS İstasyonu Çözümü Doğrudan Coğrafi Yöneltme Dengeleme Sonucu

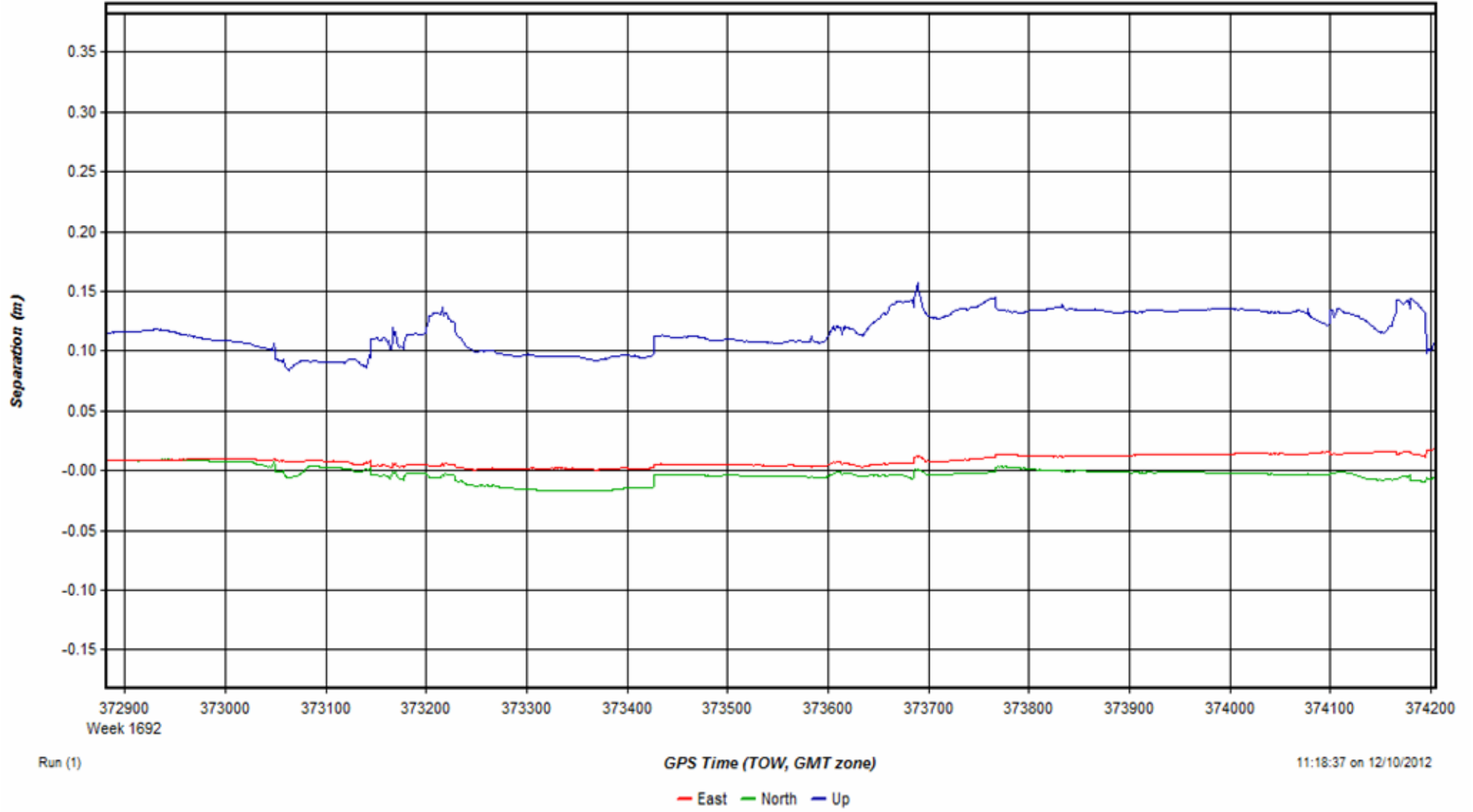
	KOH			Ortalama Hata			Maksimum Hata			Minimum Hata		
	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)
Ankr	0.206	0.352	1.109	0.156	0.284	1.056	0.443	0.212	-0.293	-0.279	-0.826	-1.687



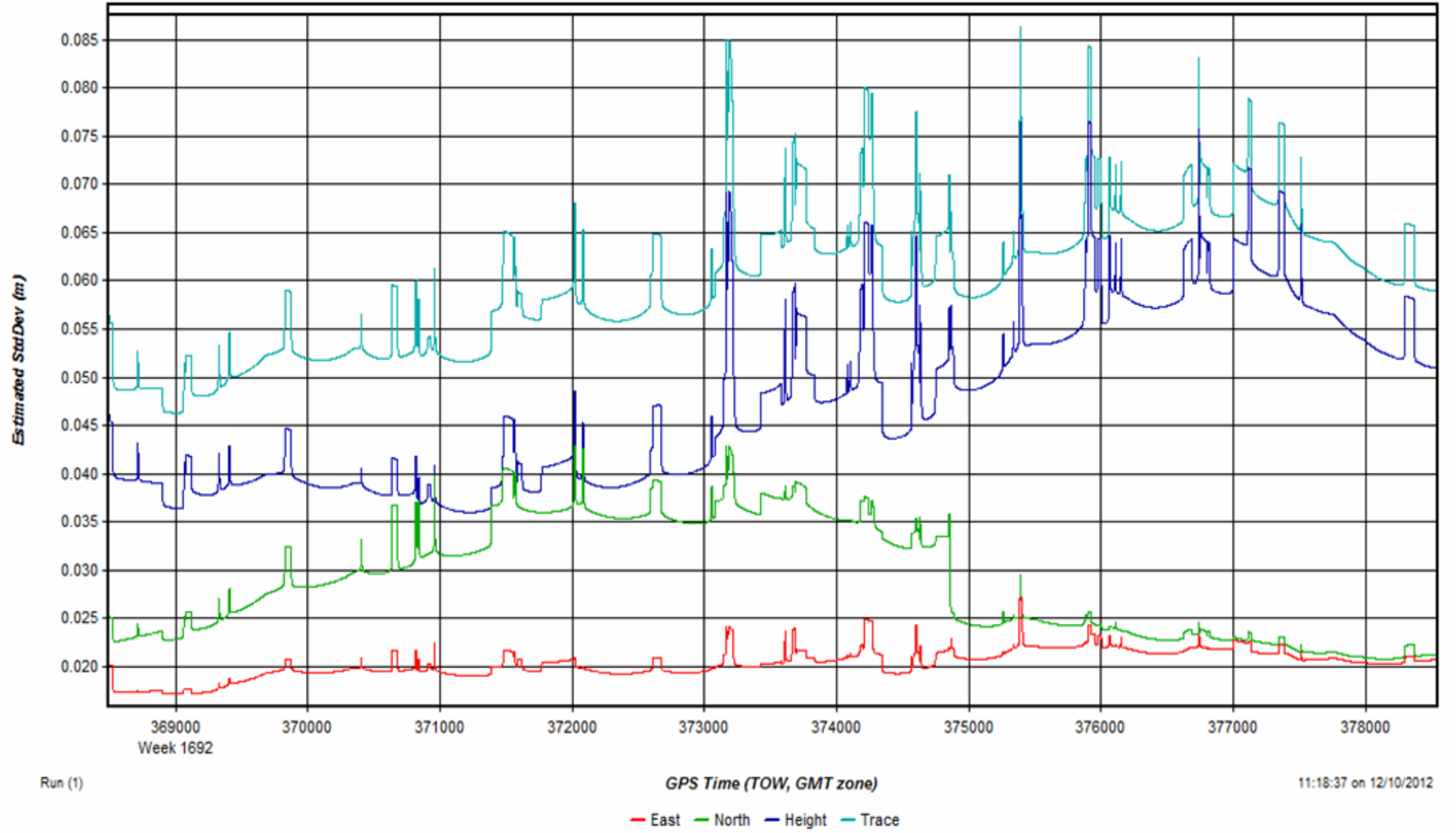
Şekil 6.7. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları



Şekil 6.8. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu



Şekil 6.9. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları



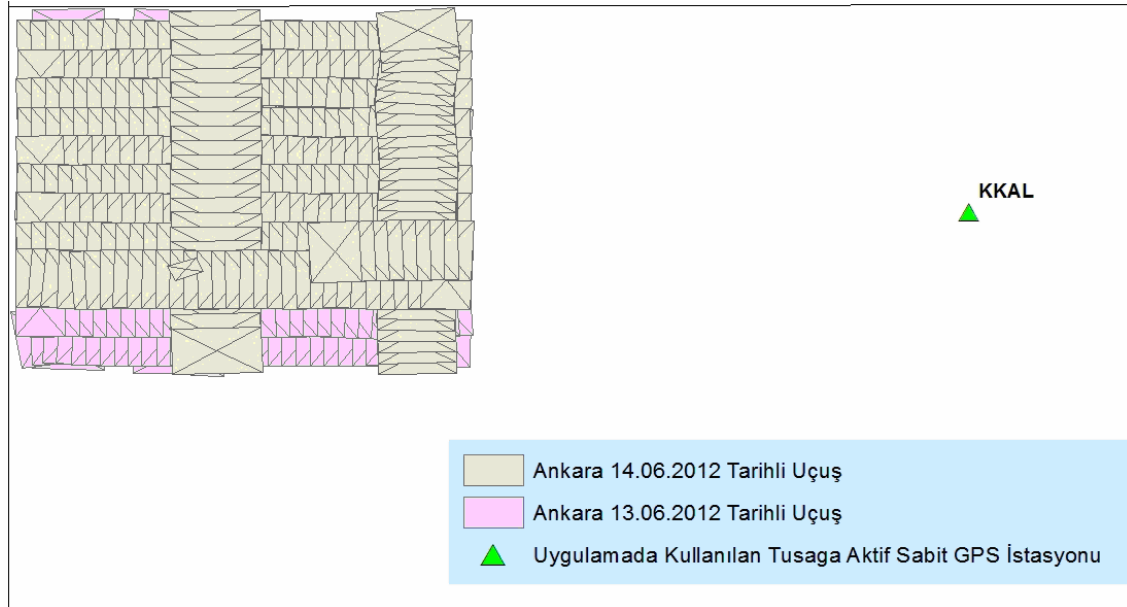
Şekil 6.10. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu

6.3.2 İkinci GNSS Çözümü – Tek Nokta – Kırıkkale

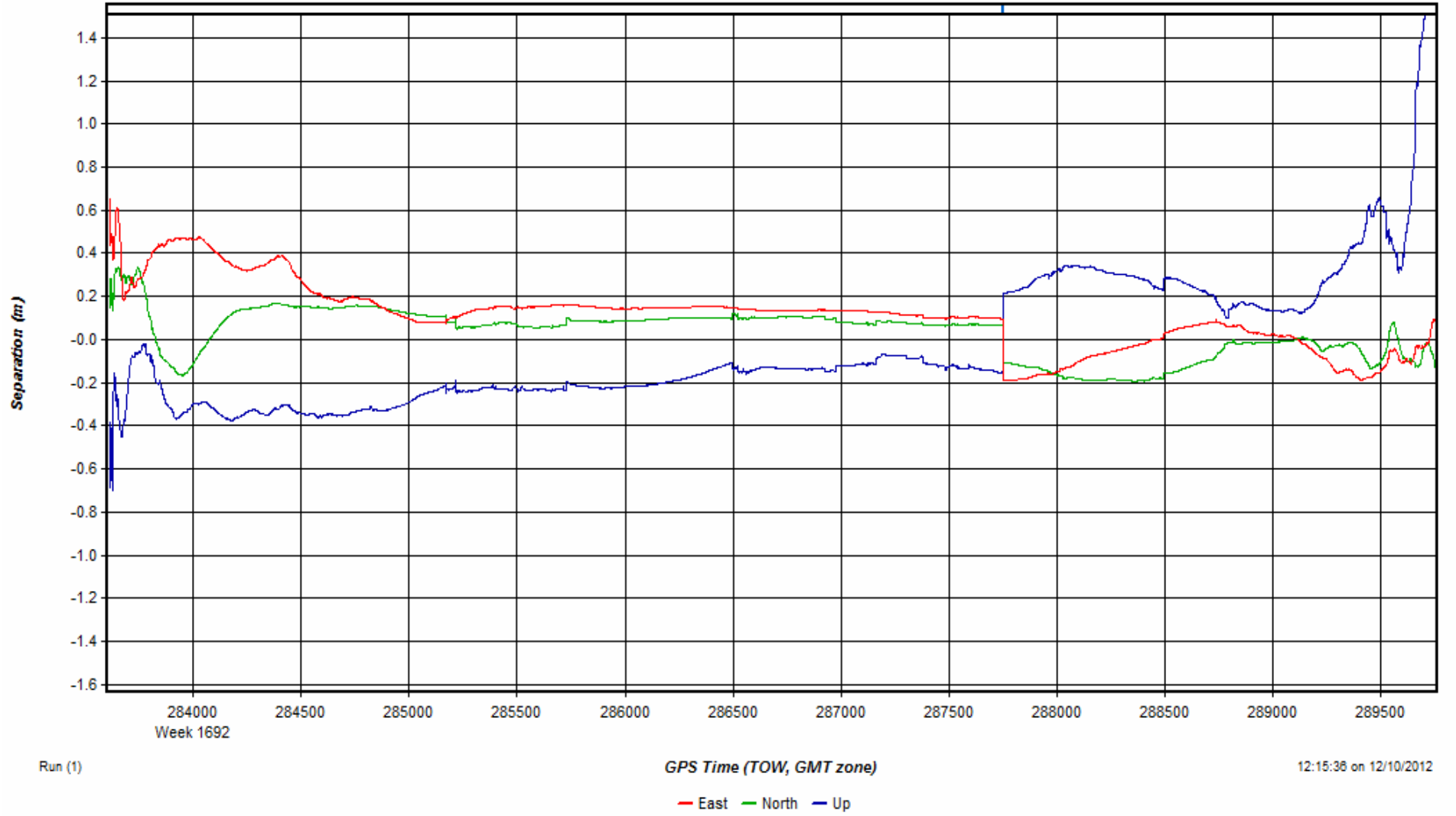
Çalışma bölgesinin merkezine yaklaşık 60 km mesafede olan Kırıkkale istasyonuna ait 1 saniye aralıklı Rinex formatındaki veriler kullanılarak GNSS verileri işlenmiştir (Şekil 6.11). GNSS çözümüne ait GNSS gidiş geliş çözüm farkları ve tahmini konum doğruluğu uçuş yapılan iki gün için ayrı ayrı Şekil 6.12, Şekil 6.13, Şekil 6.14 ve Şekil 6.15 de sunulmuştur. Yer kontrol noktası kullanmadan GNSS\IMU verileriyle yapılan dengeleme işlemi Match_AT 5.5 versiyonunda gerçekleştirilmiştir. Öncelikle bağlama noktası toplattırılmış ve arazide ölçülen 36 adet denetleme noktasına gelen düzeltmeler hesaplanmıştır. Dengeleme sonuçlarına göre karesel ortalama hata, ortalama hata, maksimum ve minimum hatalar hesaplanmıştır (Çizelge 6.2).

Çizelge 6.2. Tek Nokta Kırıkkale Sabit GNSS İstasyonu Çözümü Doğrudan Coğrafi Yöneltilme Dengeleme Sonucu

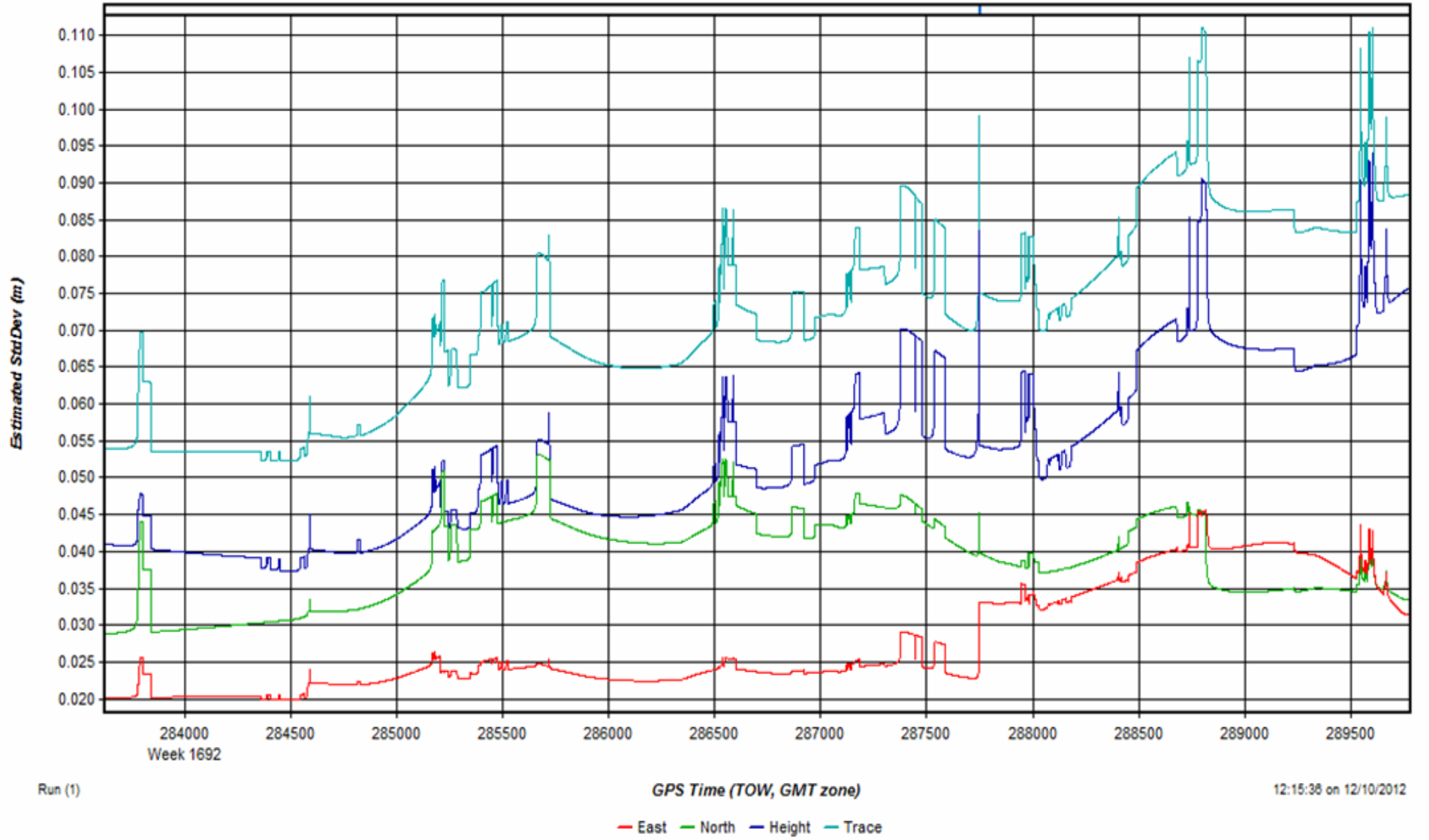
	KOH			Ortalama Hata			Maksimum Hata			Minimum Hata		
	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)
Kkal	0.259	0.300	0.405	0.217	0.257	0.323	0.598	0.585	0.902	-0.344	-0.553	-0.385



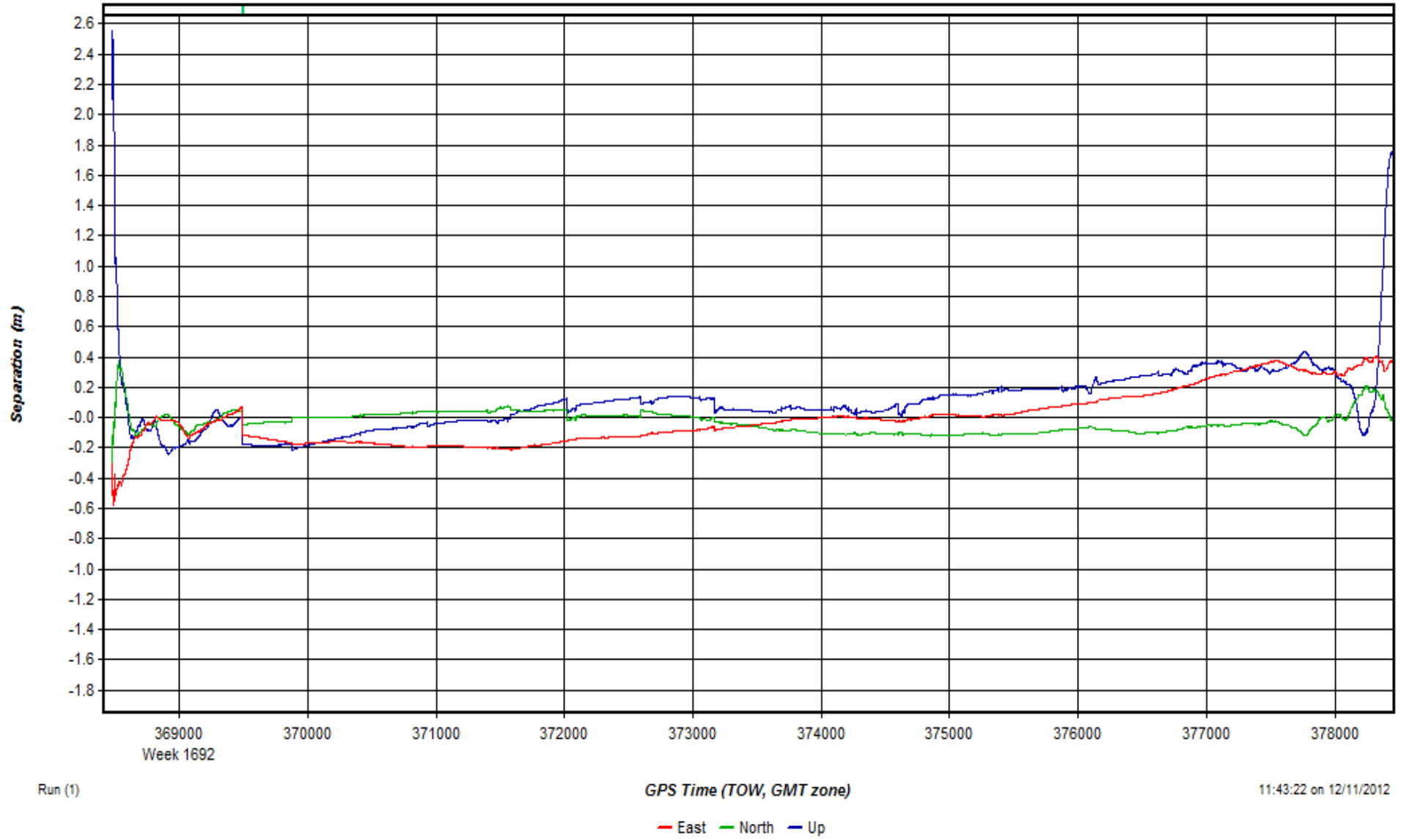
Şekil 6.11. İkinci GNSS Çözümü Uygulama Alanı (Tek Nokta Kırıkkale)



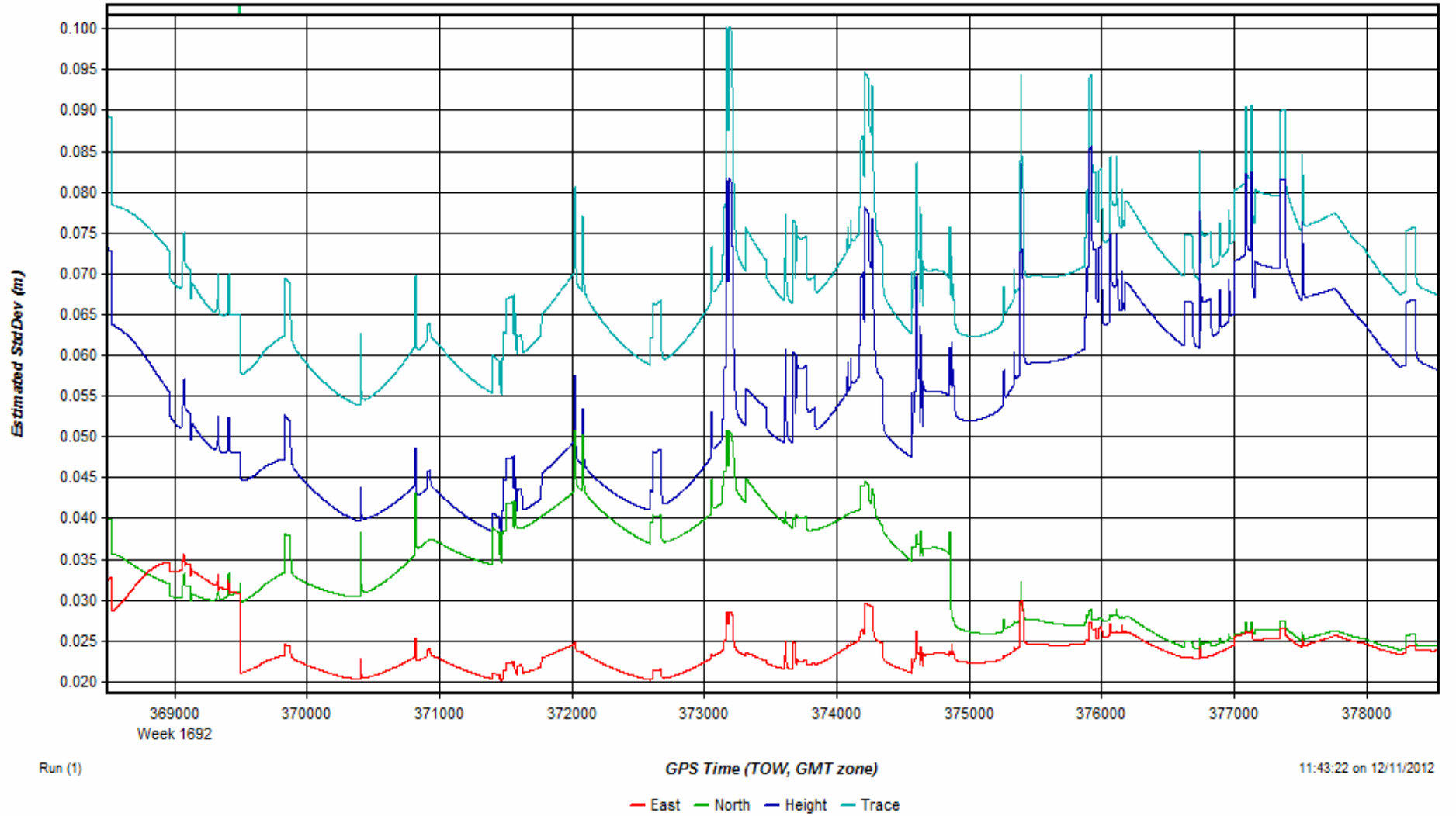
Şekil 6.12. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları



Şekil 6.13. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu



Şekil 6.14. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları



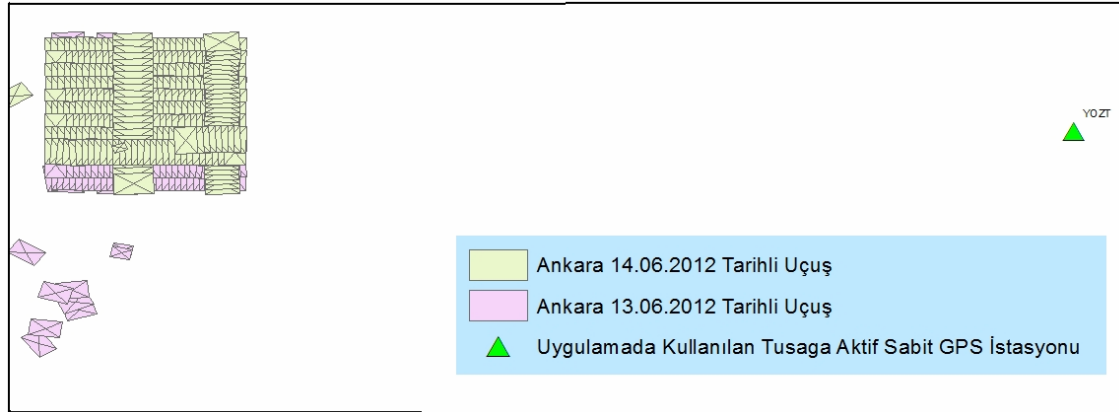
Şekil 6.15. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu

6.3.3 Üçüncü GNSS Çözümü – Tek Nokta – Yozgat

Çalışma bölgesinin merkezine yaklaşık 170 km mesafede olan Yozgat istasyonuna ait 1 saniye aralıklı Rinex formatındaki veriler kullanılarak GNSS verileri işlenmiştir (Şekil 6.16). GPS çözümüne ait GNSS çözümüne ait GNSS gidiş geliş çözüm farkları ve tahmini konum doğruluğu uçuş yapılan iki gün için ayrı ayrı Şekil 6.17, Şekil 6.18, Şekil 6.19 ve Şekil 6.20 de sunulmuştur. GNSS\IMU verileriyle yapılan dengeleme işlemi Match_AT 5.5 versiyonunda gerçekleştirilmiştir. Öncelikle bağlama noktası toplattırılmış ve arazide ölçülen 36 adet denetleme noktasına gelen düzeltmeler hesaplanmıştır. Dengeleme sonuçlarına göre karesel ortalama hata, ortalama hata, maksimum ve minimum hatalar hesaplanmıştır (Çizelge 6.3).

Çizelge 6.3. Tek Nokta Yozgat Sabit GNSS İstasyonu Çözümü Doğrudan Coğrafi Yönelime Dengeleme Sonucu

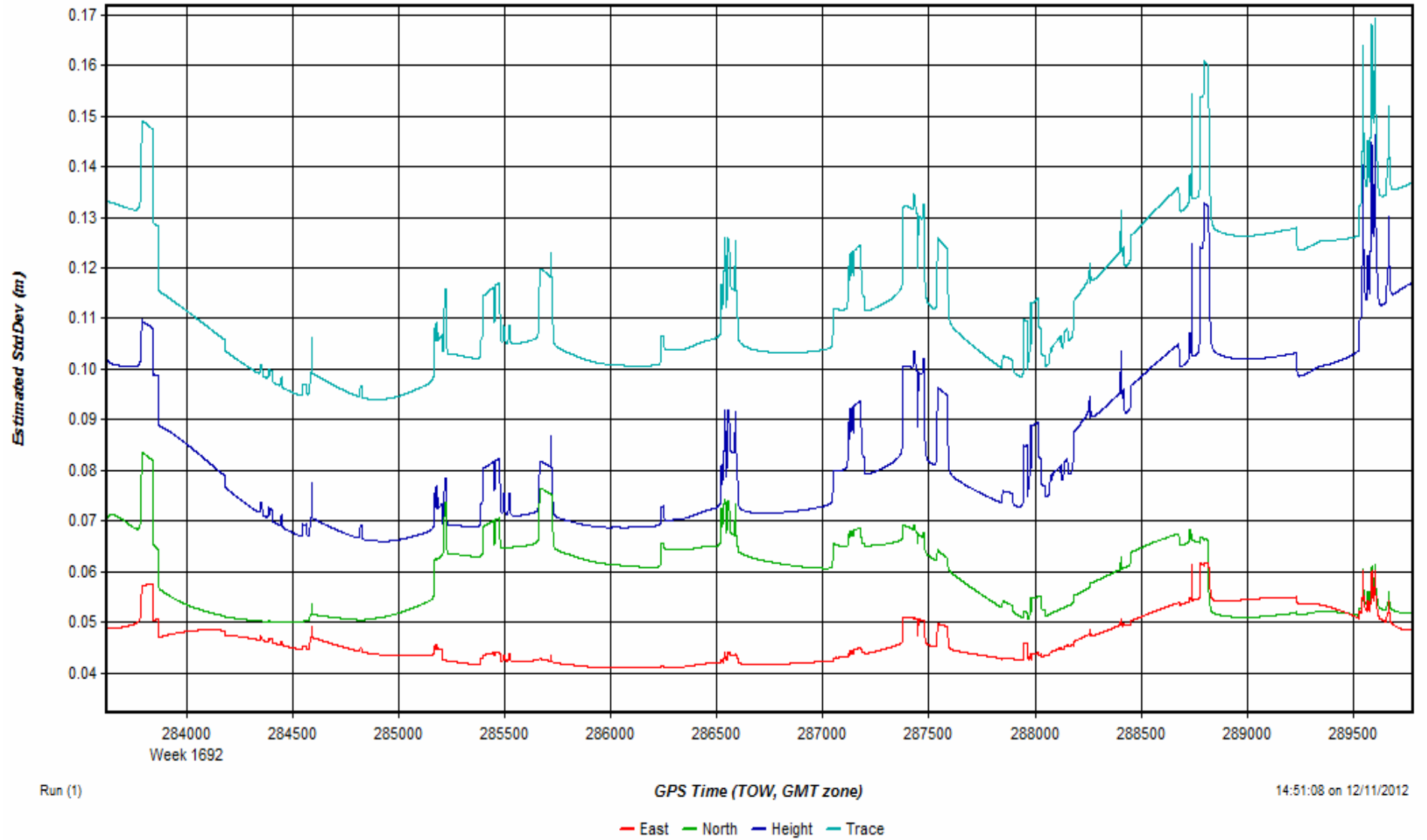
	KOH			Ortalama Hata			Maksimum Hata			Minimum Hata		
	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)
Yzgt	0.233	0.305	0.395	0.185	0.263	0.318	0.519	0.685	0.881	-0.278	-0.579	-0.416



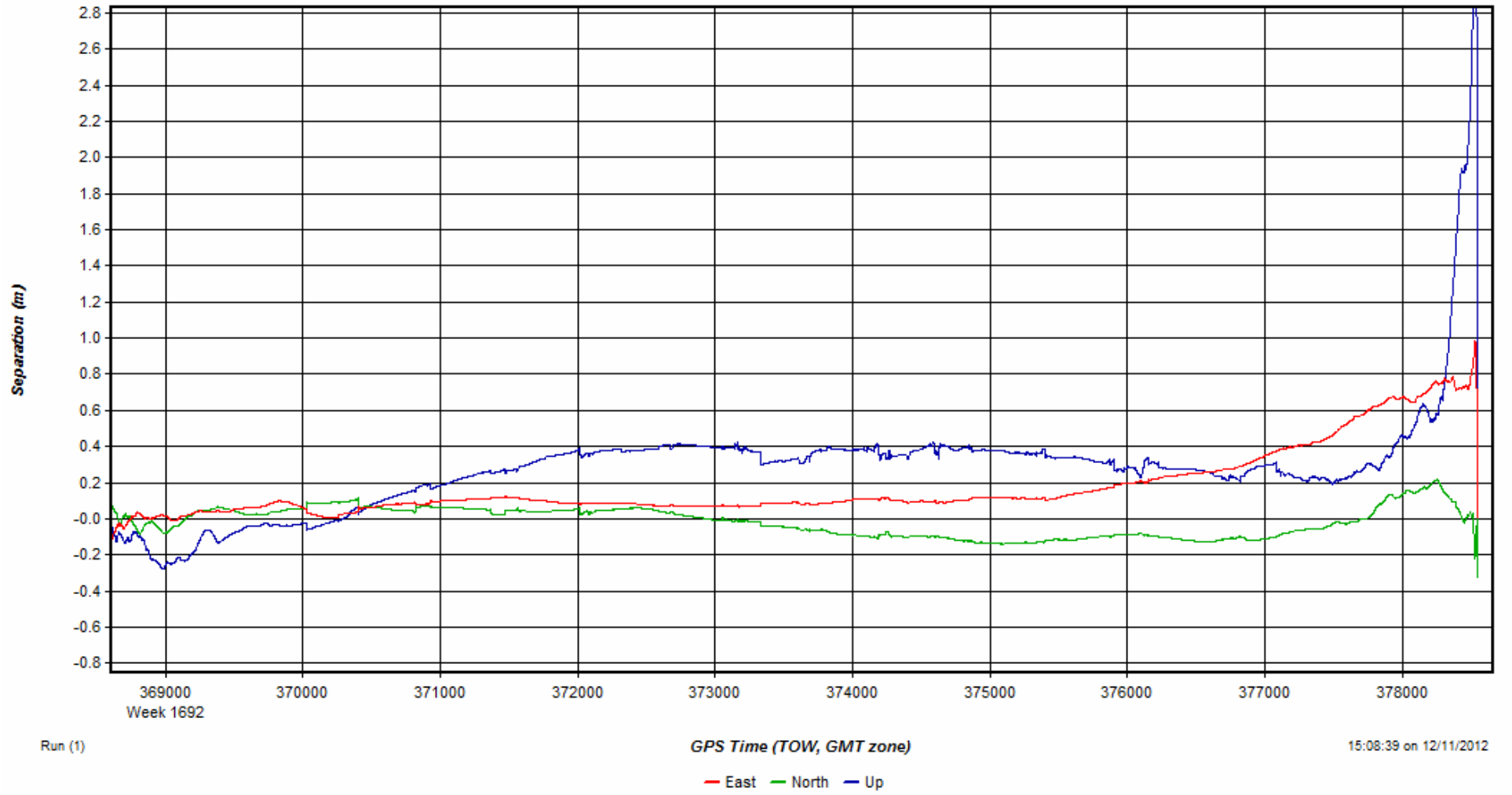
Şekil 6.16. Üçüncü GNSS Çözümü Uygulama Alanı (Tek Nokta Yozgat)



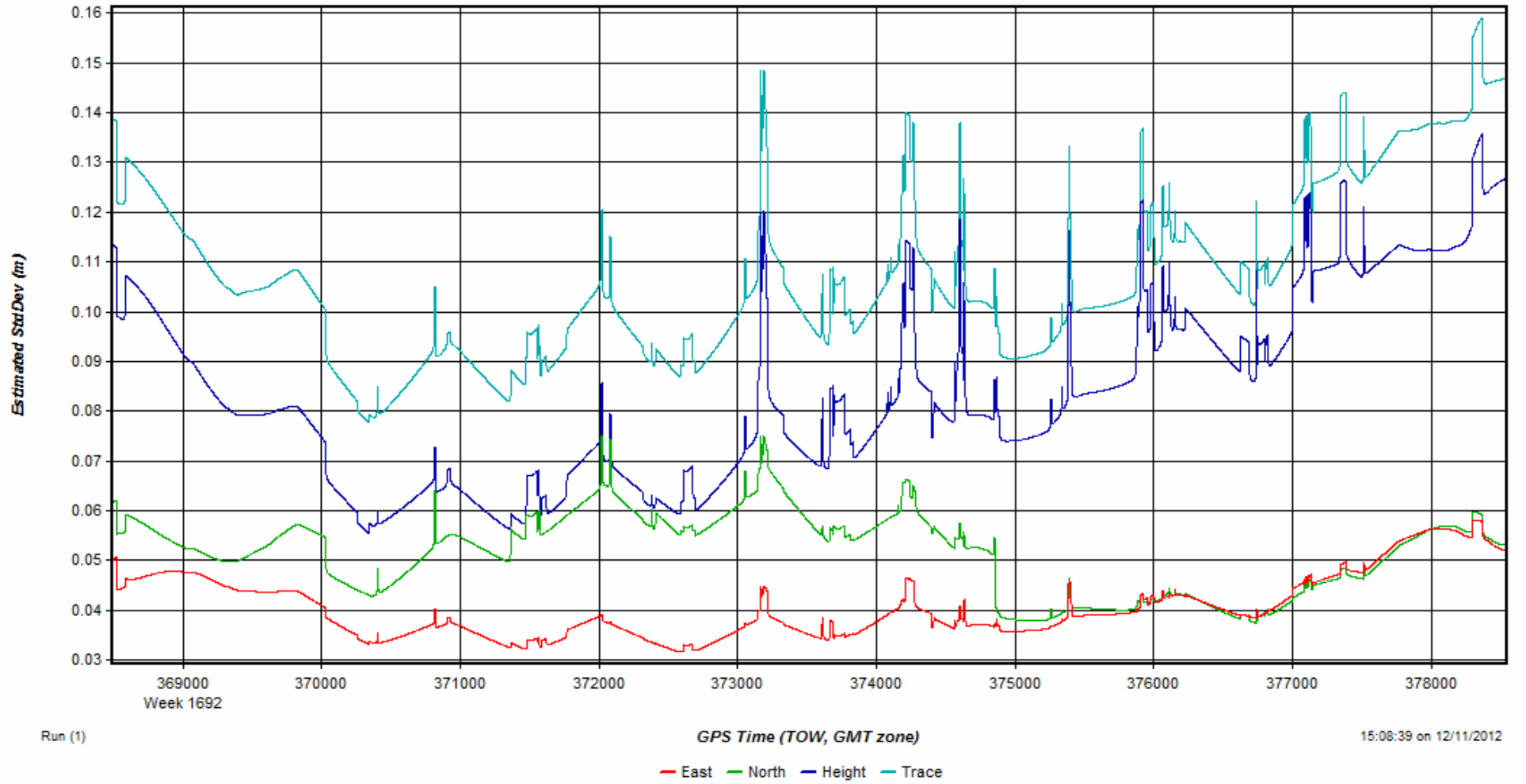
Şekil 6.17. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları



Şekil 6.18. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu



Şekil 6.19. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları



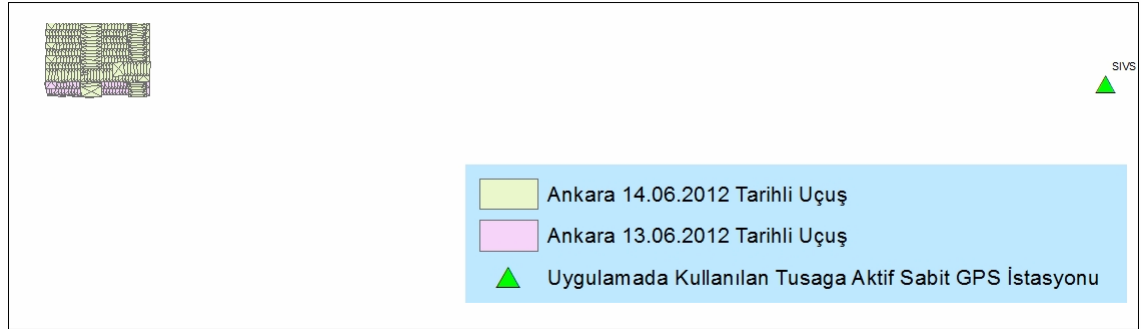
Şekil 6.20. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu

6.3.4 Dördüncü GNSS Çözümü – Tek Nokta – Sivas

Çalışma bölgesinin merkezine yaklaşık 360 km mesafede olan Sivas istasyonuna ait 1 saniye aralıklı Rinex formatındaki veriler kullanılarak GNSS verileri işlenmiştir (Şekil 6.21). GNSS çözümüne ait GNSS gidiş geliş çözüm farkları ve tahmini konum doğruluğu uçuş yapılan iki gün için ayrı ayrı Şekil 6.22, Şekil 6.23, Şekil 6.24 ve Şekil 6.25 de sunulmuştur. GNSS\IMU verileriyle yapılan dengeleme işlemi Match_AT 5.5 versiyonunda gerçekleştirilmiştir. Öncelikle bağlama noktası toplattırılmış ve arazide ölçülen 36 adet denetleme noktasına gelen düzeltmeler hesaplanmıştır. Dengeleme sonuçlarına göre karesel ortalama hata, ortalama hata, maksimum ve minimum hatalar hesaplanmıştır (Çizelge 6.4).

Çizelge 6.4. Tek Nokta Sivas Sabit GNSS İstasyonu Çözümü Doğrudan Coğrafi Yöneltilme Dengeleme Sonucu

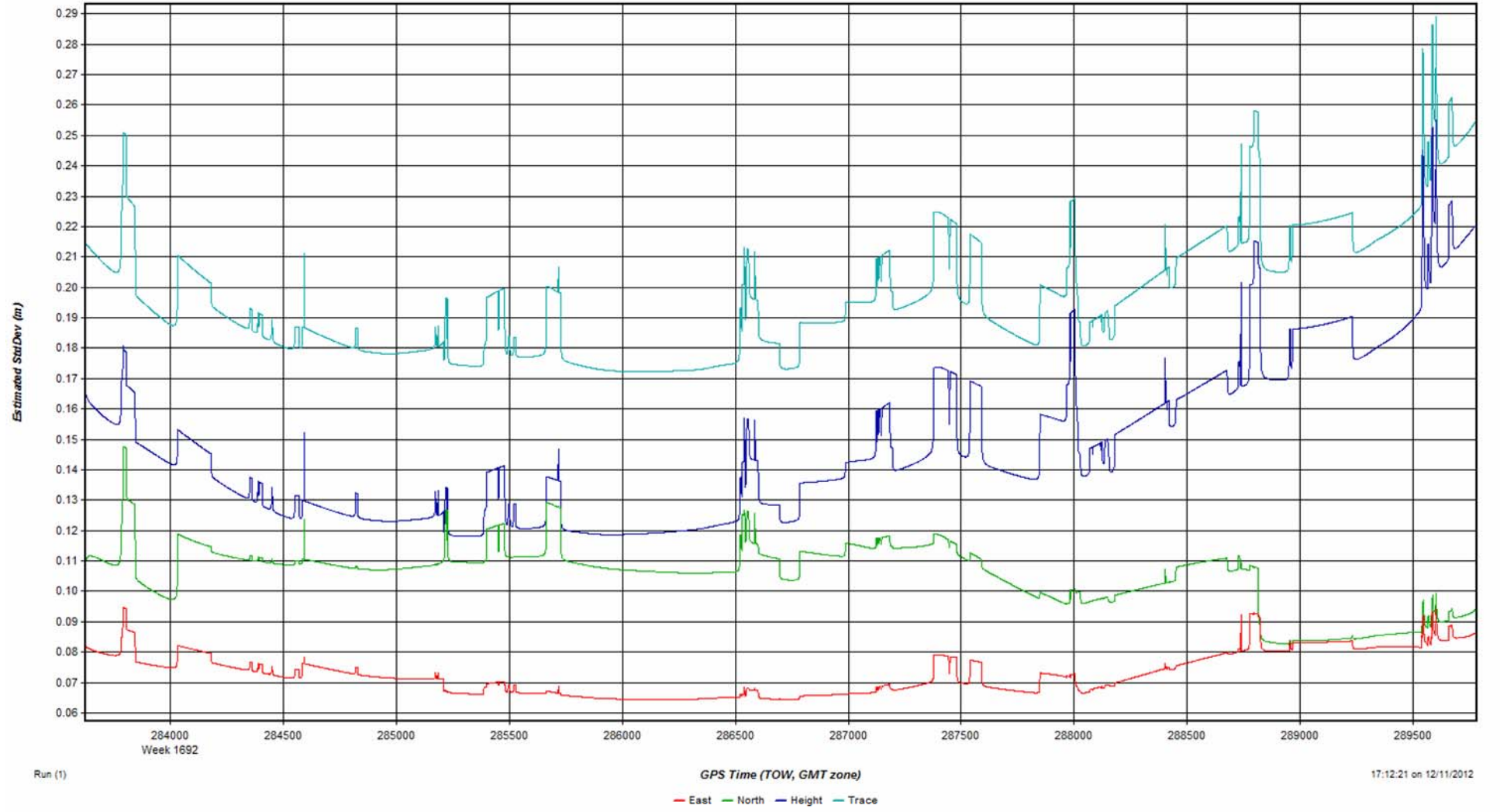
	KOH			Ortalama Hata			Maksimum Hata			Minimum Hata		
	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)
Sivs	0.436	0.349	0.587	0.369	0.285	0.485	1.225	0.911	0.857	-0.110	-0.649	-0.162



Şekil 6.21. Dördüncü GNSS Çözümü Uygulama Alanı (Tek Nokta Sivas)



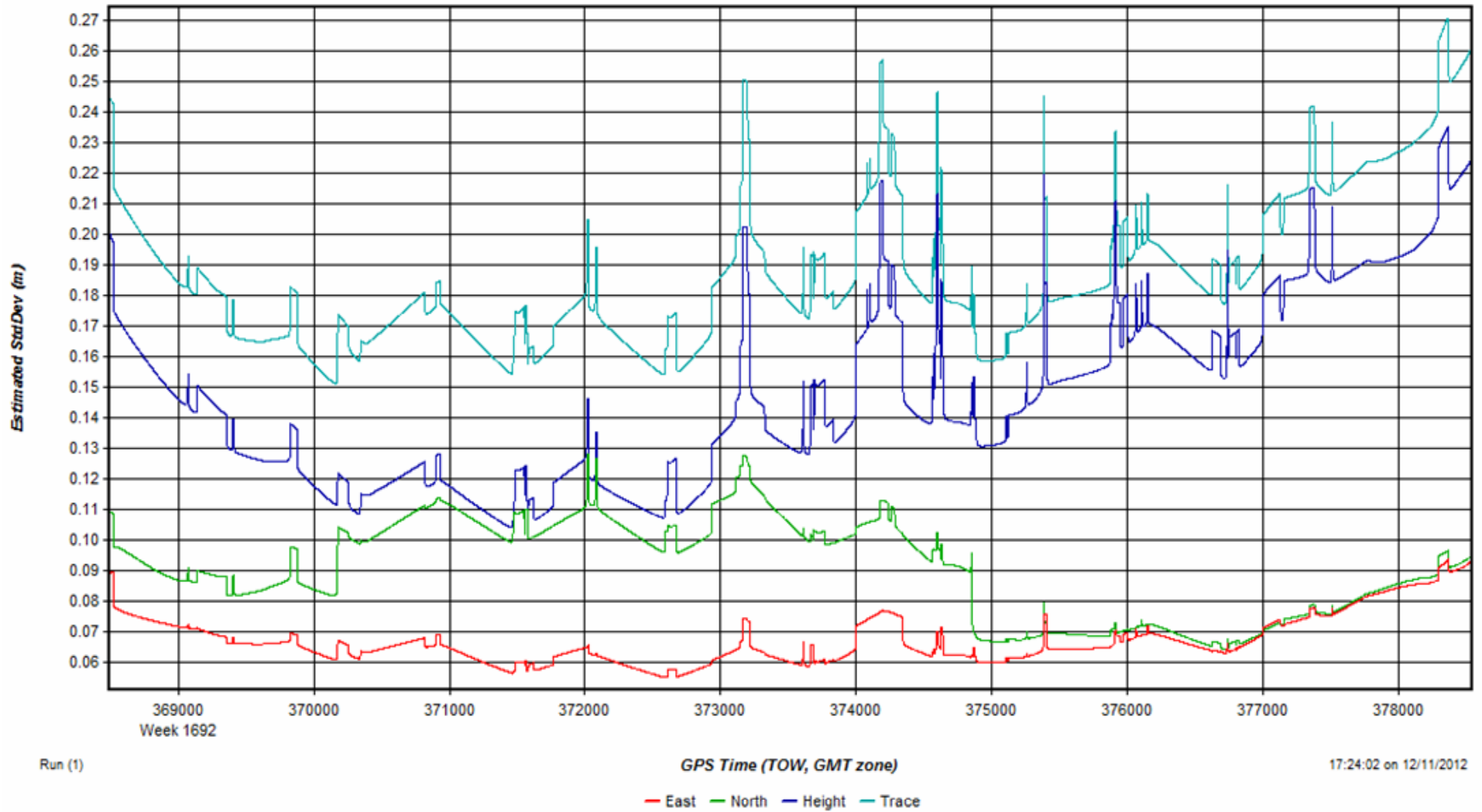
Şekil 6.22. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları



Şekil 6.23. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu



Şekil 6.24. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları



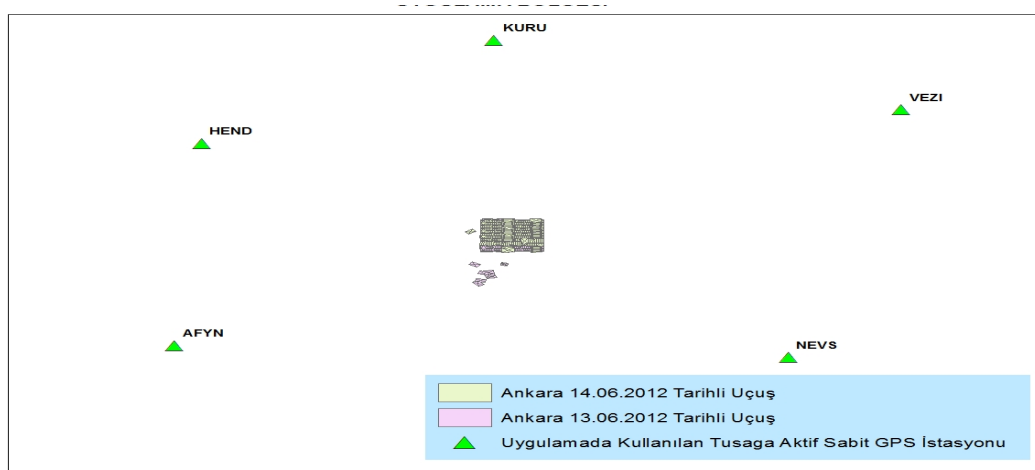
Şekil 6.25. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu

6.3.5 Beşinci GNSS Çözümü – Ağ Yapılı – Afyn, Hend, Vezi, Kuru ve Nevs

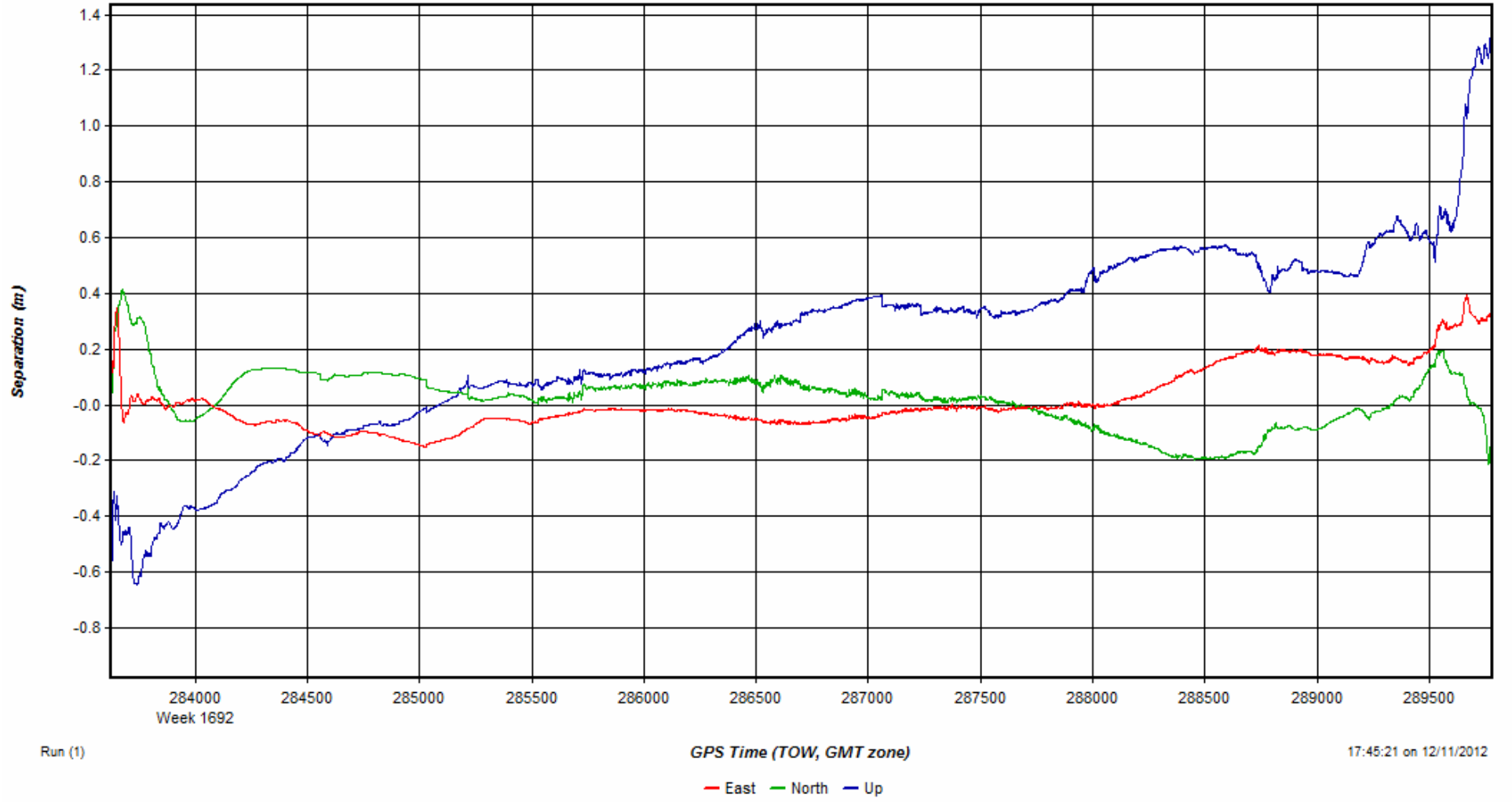
Çalışma bölgesinin merkezine yaklaşık 230 km mesafede olan Afyn, Hend, Vezi, Kuru ve Nevs istasyonlarına ait 1 saniye aralıklı Rinex formatındaki veriler kullanılarak GNSS verileri işlenmiştir (Şekil 6.26). GNSS çözümüne ait GPS gidiş geliş çözüm farkları ve tahmini konum doğruluğu uçuş yapılan iki gün için ayrı ayrı Şekil 6.27, Şekil 6.28, Şekil 6.29 ve Şekil 6.30 da sunulmuştur. GNSS\IMU verileriyle yapılan dengeleme işlemi Match_AT 5.5 versiyonunda gerçekleştirilmiştir. Öncelikle bağlama noktası toplattırılmış ve arazide ölçülen 36 adet denetleme noktasına gelen düzeltmeler hesaplanmıştır. Dengeleme sonuçlarına göre karesel ortalama hata, ortalama hata, maksimum ve minimum hatalar hesaplanmıştır (Çizelge 6.5).

Çizelge 6.5. Ağ Yapılı Ağ_1 Çözümü Doğrudan Coğrafi Yöneltilme Dengeleme Sonucu

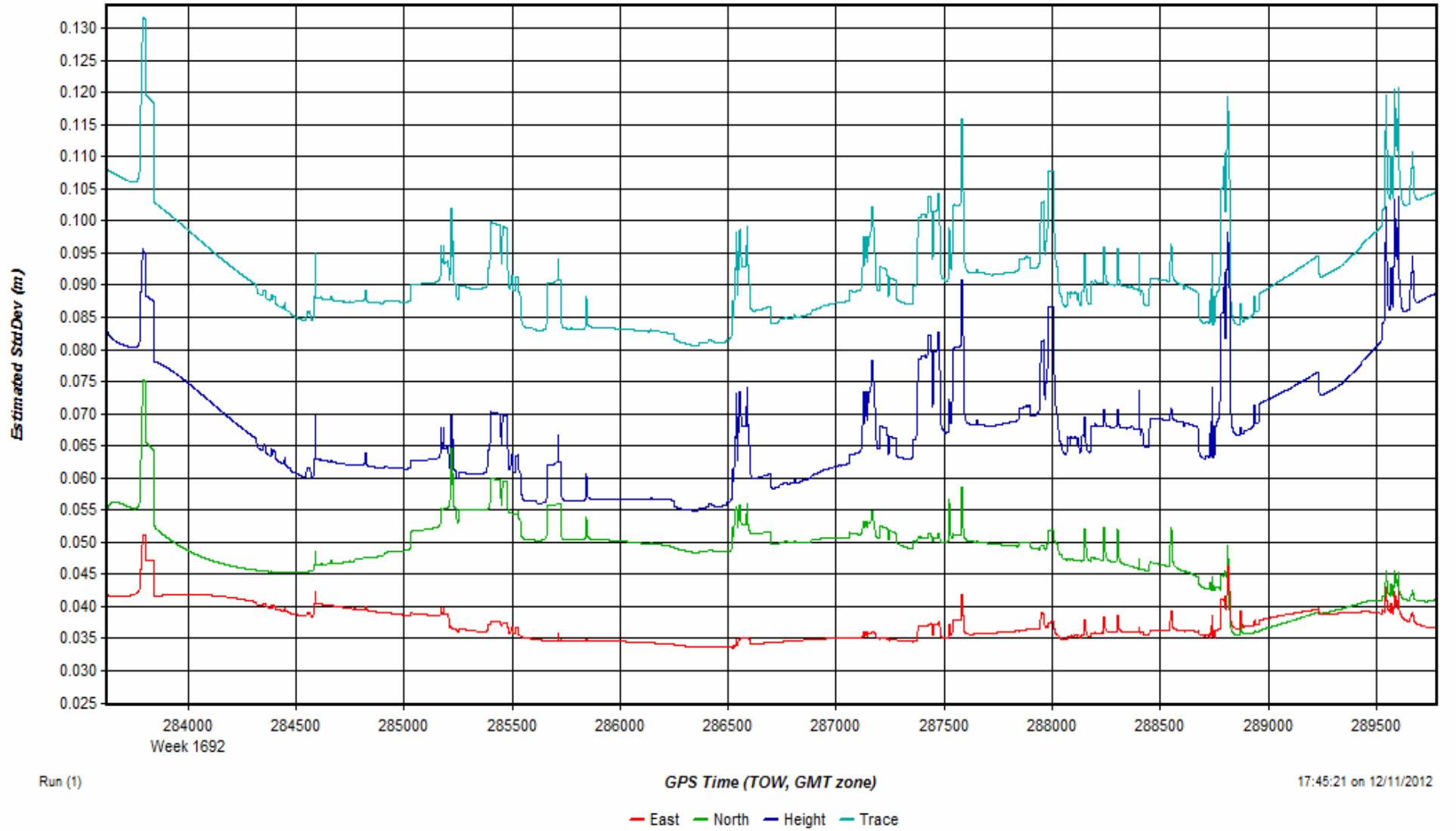
	KOH			Ortalama Hata			Maksimum Hata			Minimum Hata		
	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)
Ağ_1	0.225	0.309	0.475	0.181	0.272	0.382	0.496	0.642	1.017	-0.328	-0.559	-0.320



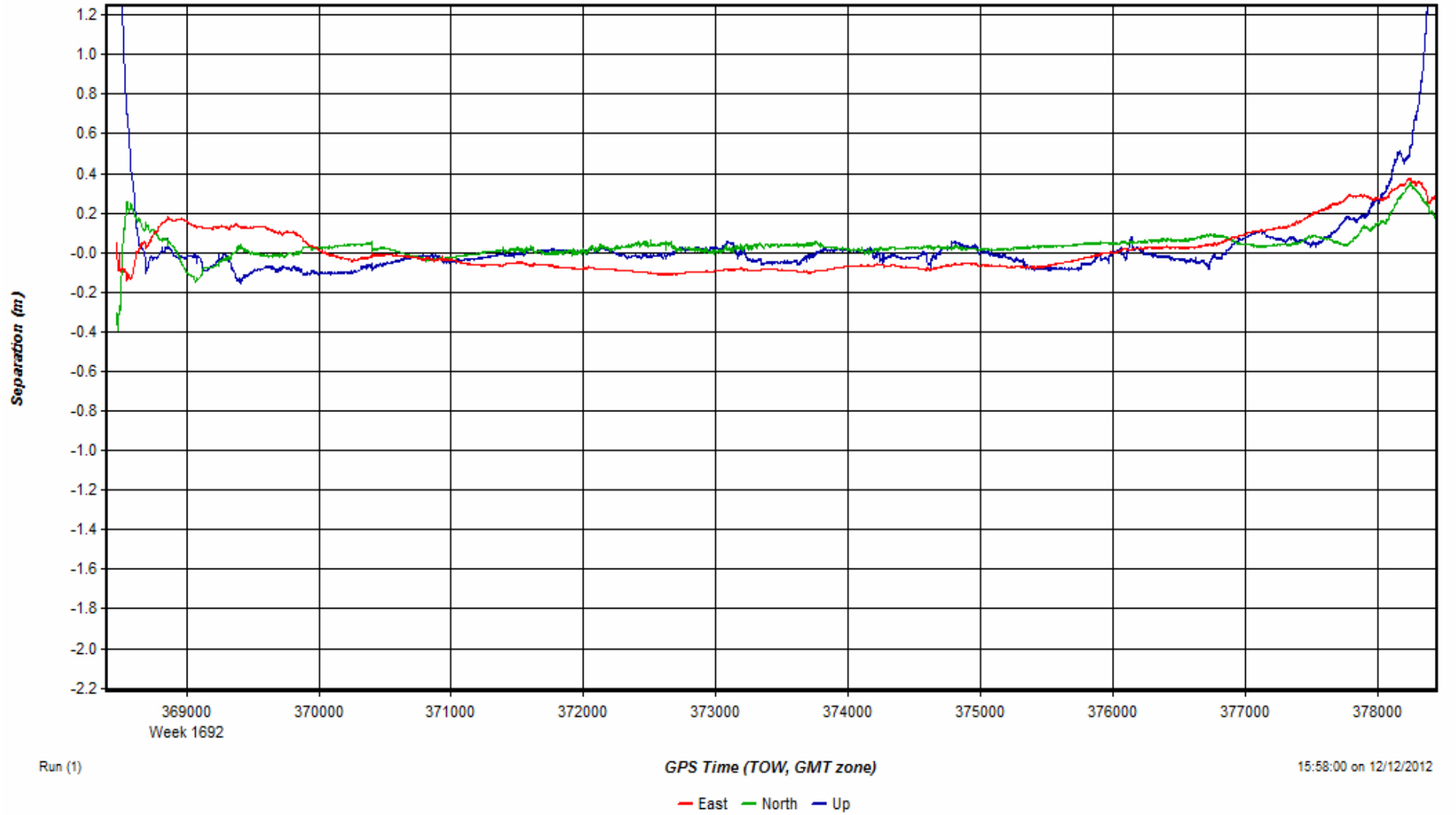
Şekil 6.26. Beşinci GNSS Çözümü Uygulama Alanı (Ağ Yapılı Afyn,Hend,Kuru,Vezi ve Nevs)



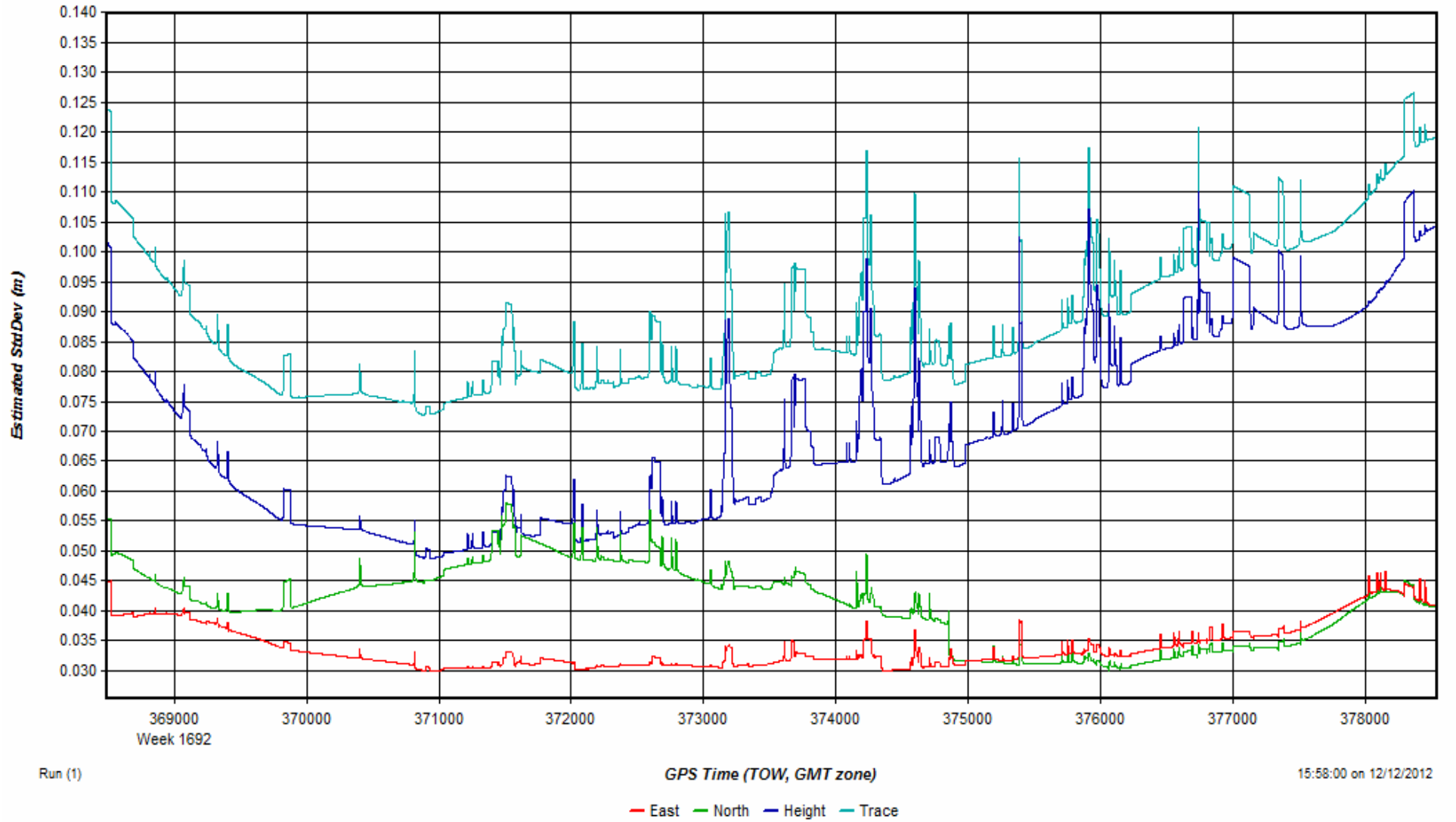
Şekil 6.27. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları



Şekil 6.28. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu



Şekil 6.29. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları



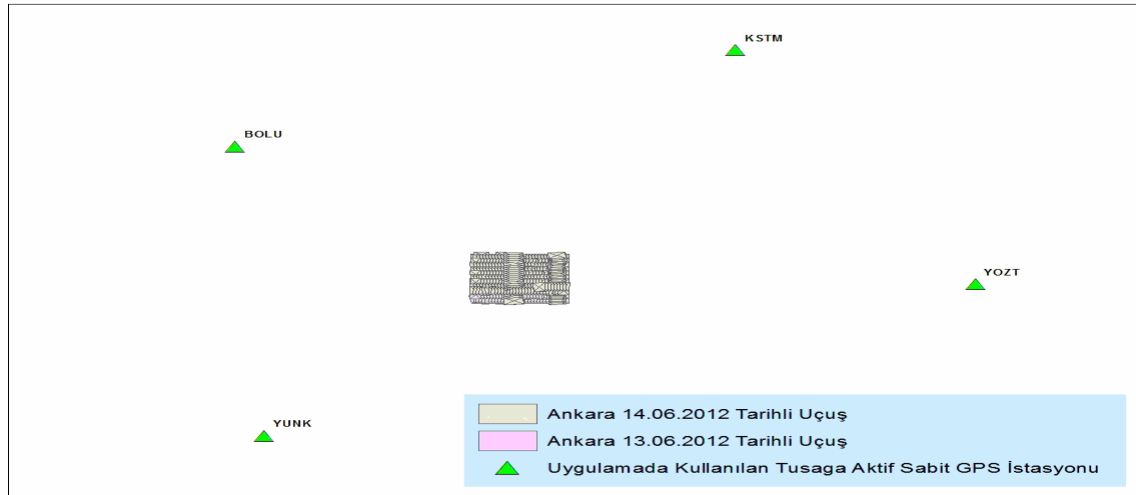
Şekil 6.30. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu

6.3.6 Altıncı GNSS Çözümü – Ağ Yapılı – Yunk, Bolu, Kstm ve Yzgt

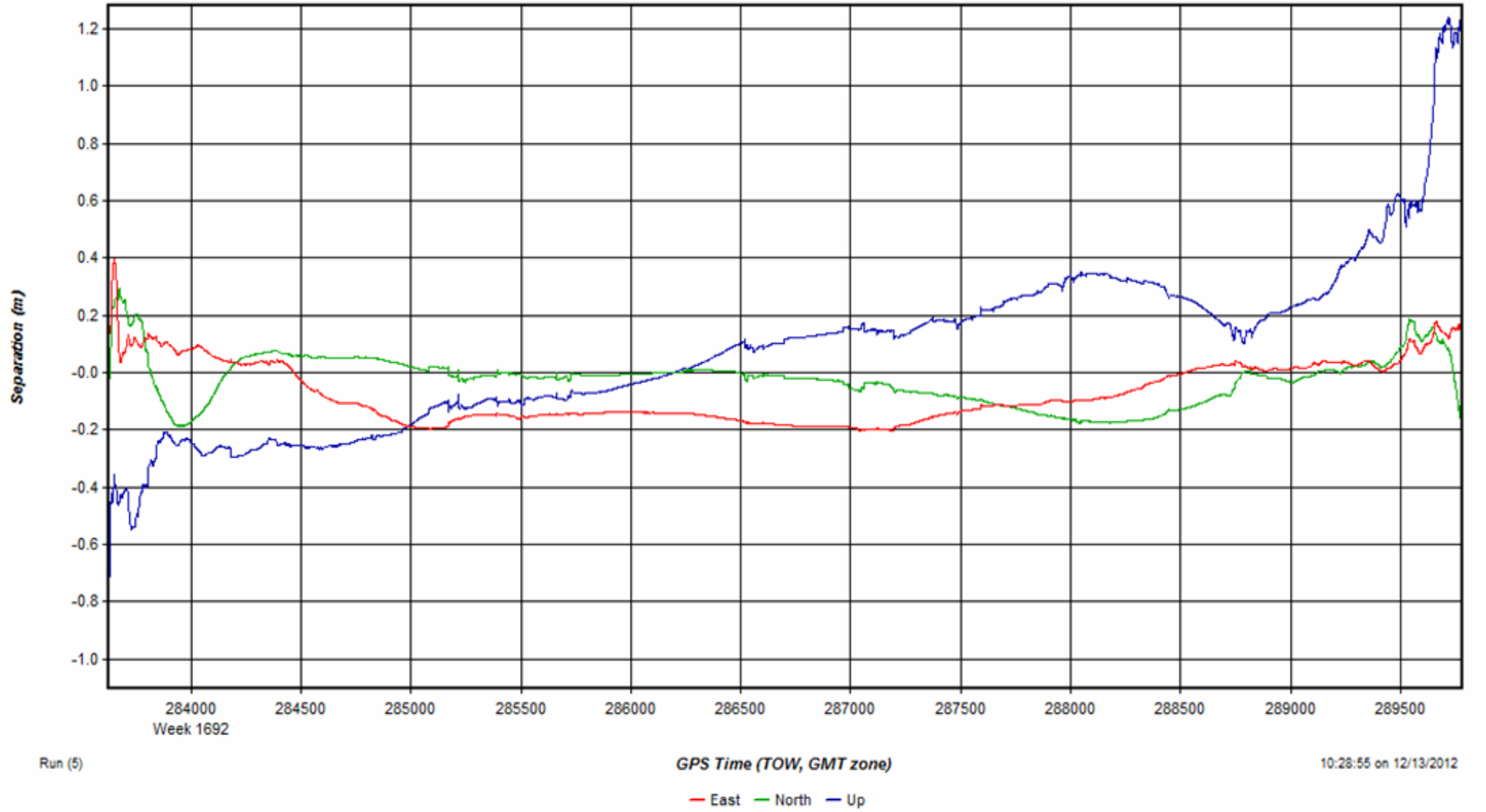
Çalışma bölgesinin merkezine yaklaşık 150 km mesafede olan Yunk, Bolu, Kstm ve Yzgt istasyonlarına ait 1 saniye aralıklı Rinex formatındaki veriler kullanılarak GPS verileri işlenmiştir (Şekil 6.31). GNSS çözümüne ait GNSS gidiş geliş çözüm farkları ve tahmini konum doğruluğu uçuş yapılan iki gün için ayrı ayrı Şekil 6.32, Şekil 6.33, Şekil 6.34 ve Şekil 6.35 de sunulmuştur. GNSS\IMU verileriyle yapılan dengeleme işlemi Match_AT 5.5 versiyonunda gerçekleştirilmiştir. Öncelikle bağlama noktası toplattırılmış ve arazide ölçülen 36 adet denetleme noktasına gelen düzeltmeler hesaplanmıştır. Dengeleme sonuçlarına göre karesel ortalama hata, ortalama hata, maksimum ve minimum hatalar hesaplanmıştır (Çizelge 6.6).

Çizelge 6.6. Ağ Yapılı Ağ_2 Çözümü Doğrudan Coğrafi Yöneltilme Dengeleme Sonucu

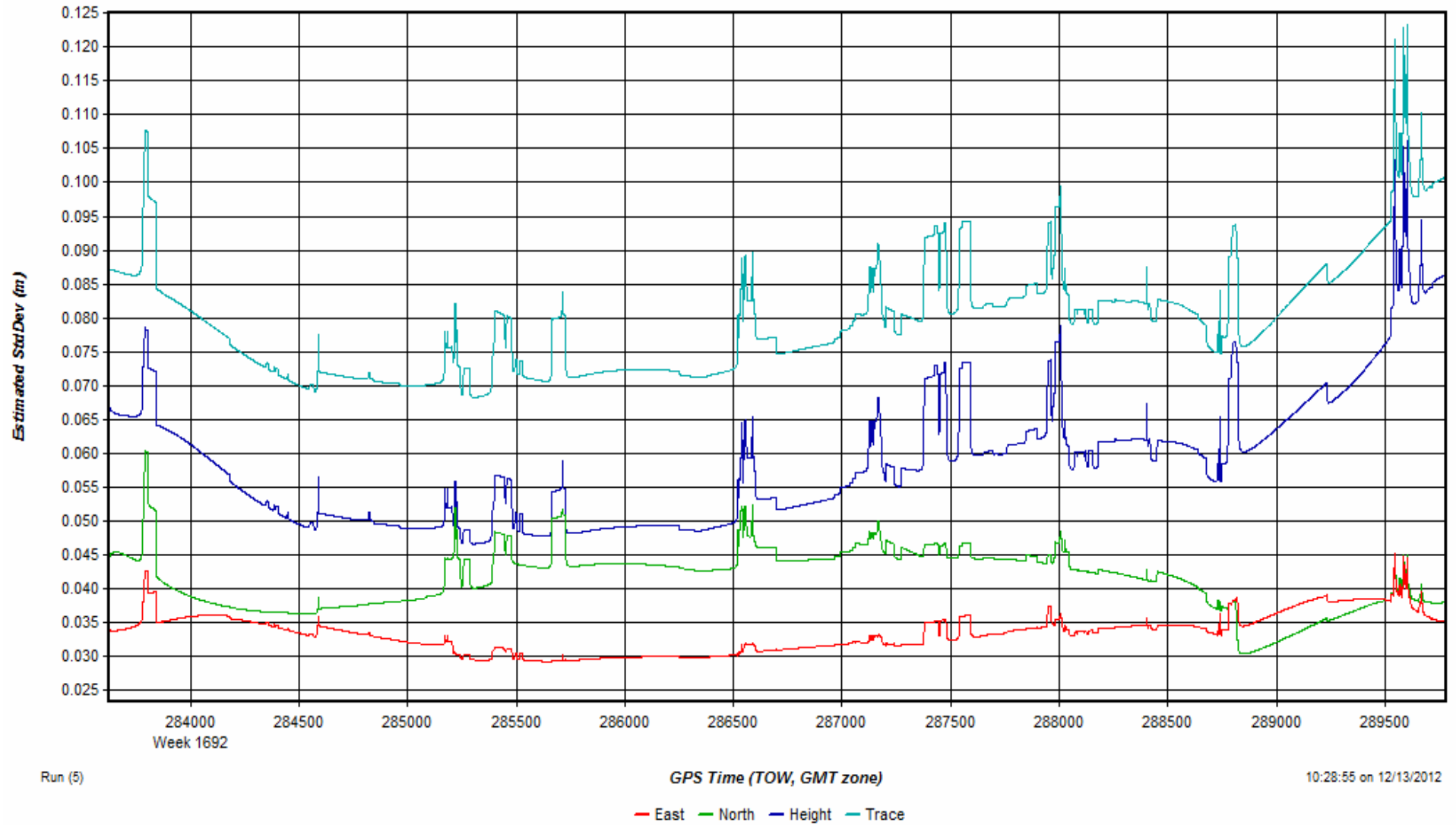
	KOH			Ortalama Hata			Maksimum Hata			Minimum Hata		
	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)
Ağ_2	0.224	0.310	0.502	0.182	0.264	0.407	0.505	0.224	0.310	-0.329	-0.580	-0.243



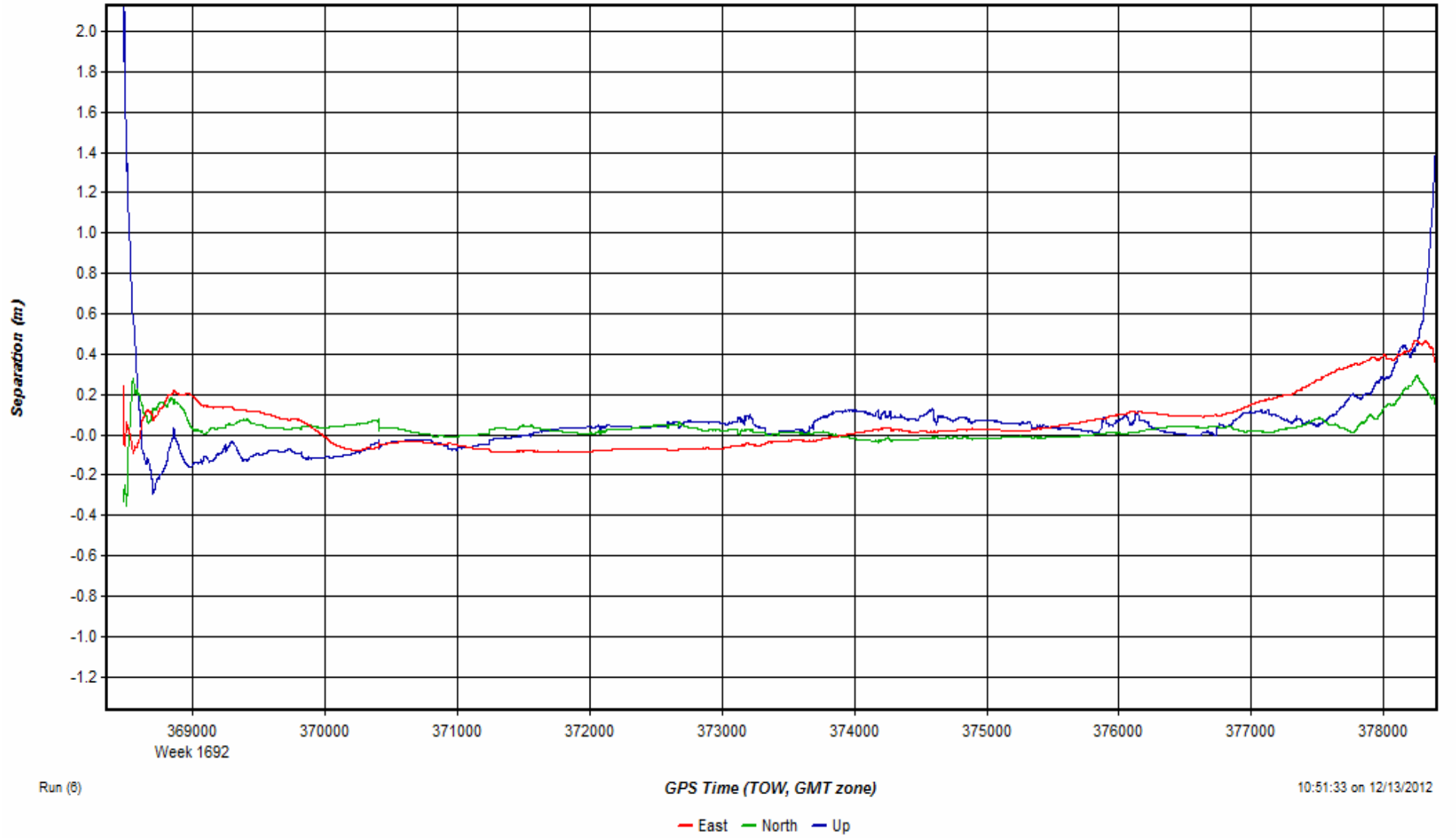
Şekil 6.31. Altıncı GNSS Çözümü Uygulama Alanı (Ağ Yapılı Yunk, Bolu, Kstm ve Yzgt)



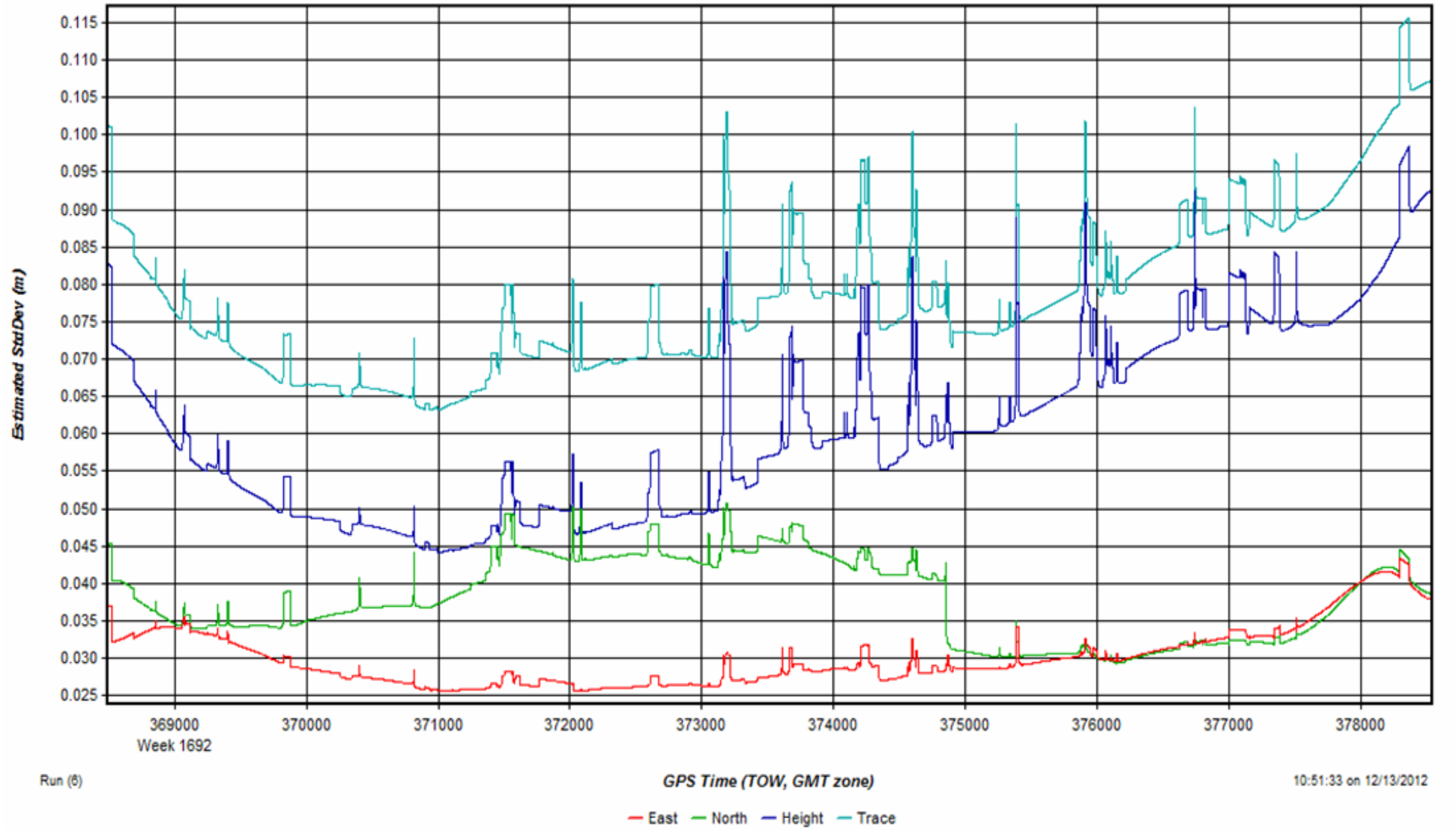
Şekil 6.32. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları



Şekil 6.33. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu



Şekil 6.34. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları



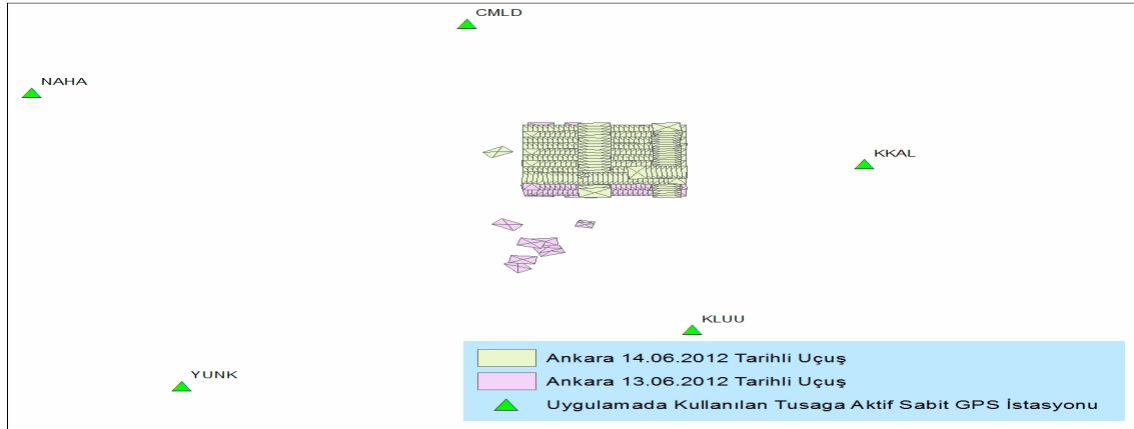
Şekil 6.35. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu

6.3.7 Yedinci GNSS Çözümü – Ağ Yapılı – Cml, Kkal, Kulu, Naha ve Yunk

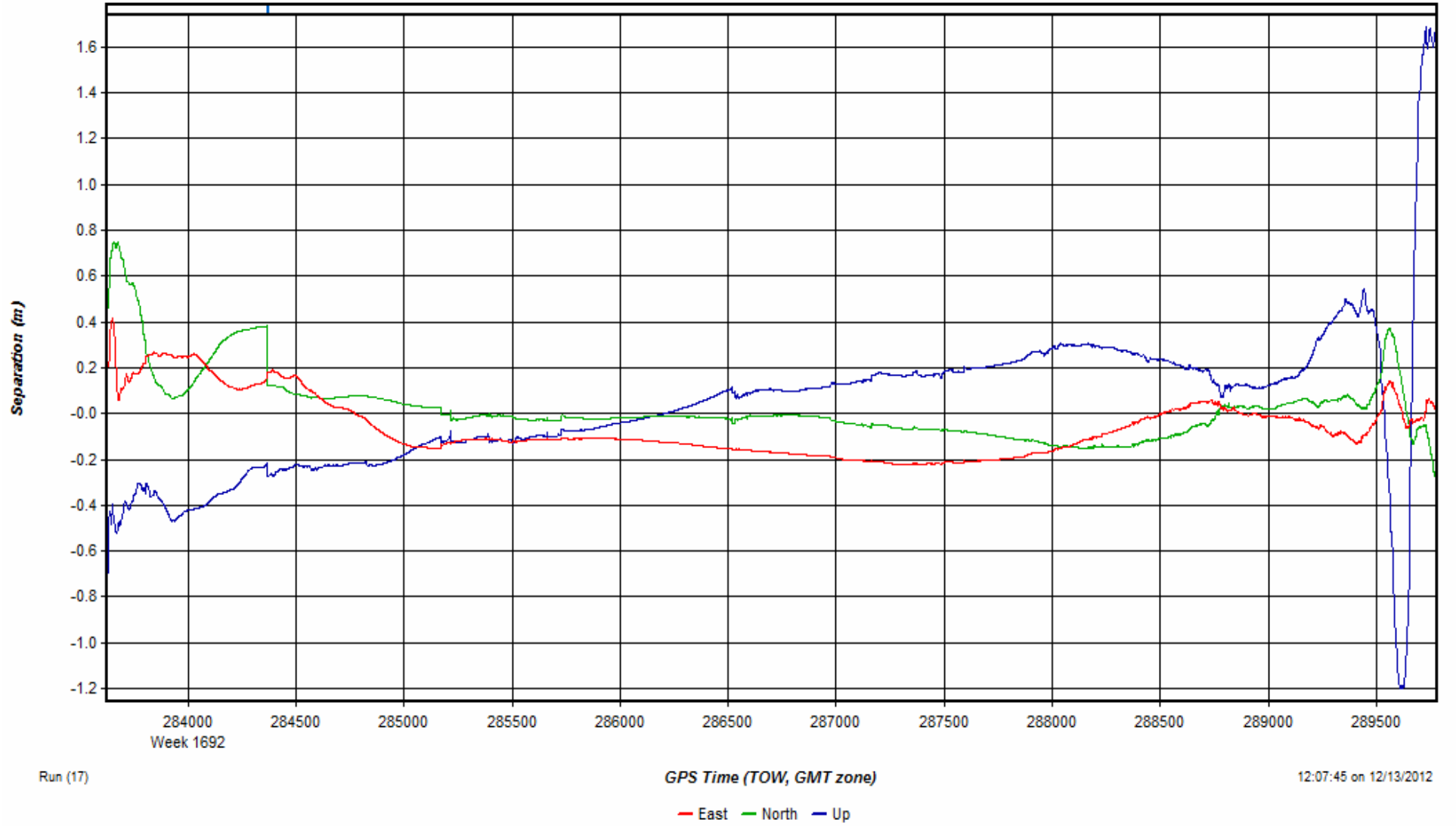
Çalışma bölgesinin merkezine yaklaşık 80 km mesafede olan Cml, Kkal, Kulu, Naha ve Yunk istasyonlarına ait 1 saniye aralıklı Rinex formatındaki veriler kullanılarak GPS verileri işlenmiştir (Şekil 6.36). GNSS çözümüne ait GNSS gidiş geliş çözüm farkları ve tahmini konum doğruluğu uçuş yapılan iki gün için ayrı ayrı Şekil 6.37, Şekil 6.38, Şekil 6.39 ve Şekil 6.40 da sunulmuştur. GNSS\IMU verileriyle yapılan dengeleme işlemi Match_AT 5.5 versiyonunda gerçekleştirilmiştir. Öncelikle bağlama noktası toplattırılmış ve arazide ölçülen 36 adet denetleme noktasına gelen düzeltmeler hesaplanmıştır. Dengeleme sonuçlarına göre karesel ortalama hata, ortalama hata, maksimum ve minimum hatalar hesaplanmıştır (Çizelge 6.7).

Çizelge 6.7. Ağ Yapılı Ağ_3 Çözümü Doğrudan Coğrafi Yöneltilme Dengeleme Sonucu

	KOH			Ortalama Hata			Maksimum Hata			Minimum Hata		
	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)
Ağ_3	0.249	0.270	0.379	0.200	0.232	0.327	0.551	0.542	0.647	-0.257	-0.534	-0.702



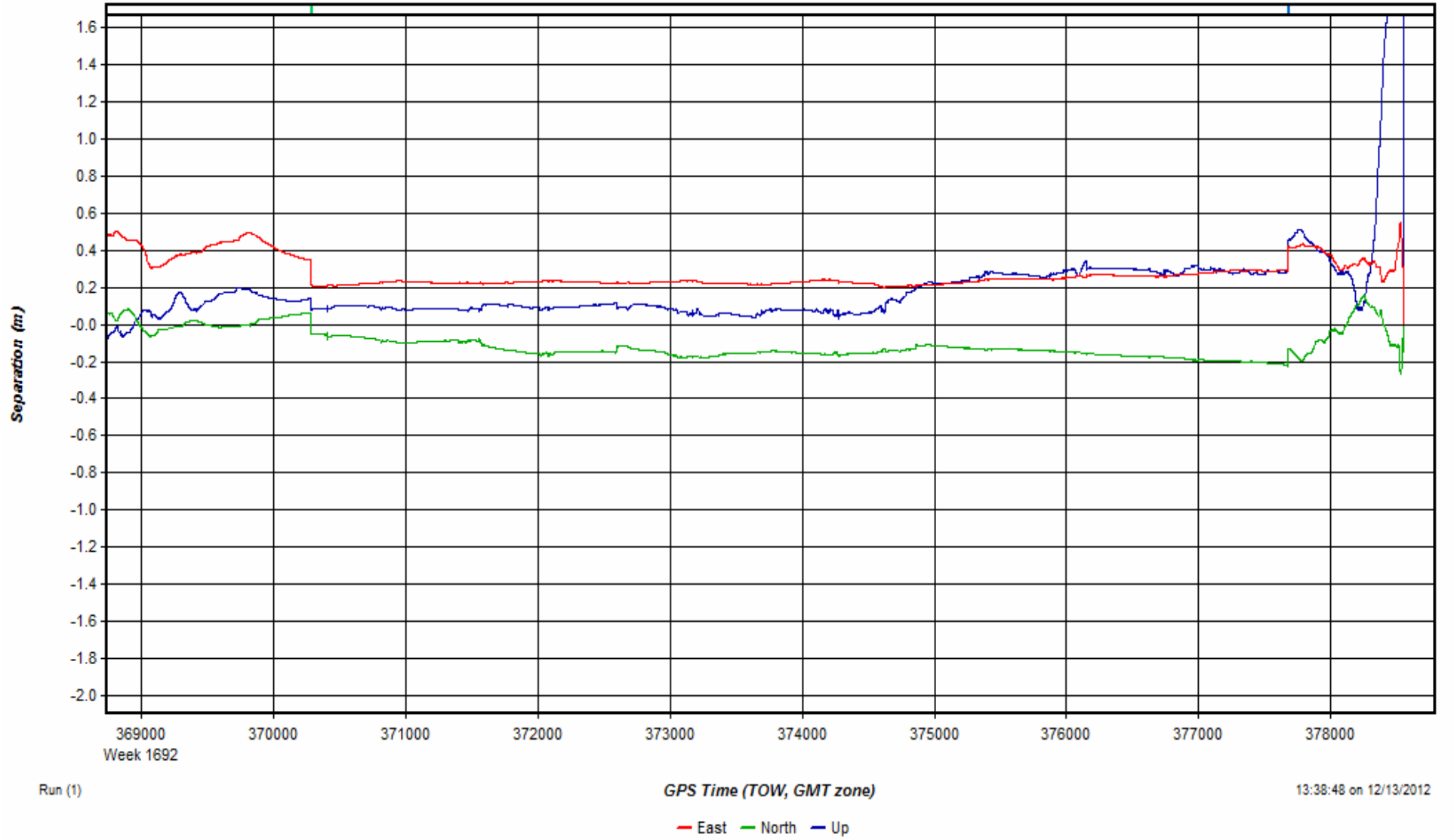
Şekil 6.36. Yedinci GNSS Çözümü Uygulama Alanı (Ağ Yapılı Cml, Kkal, Kulu, Naha ve Yunk)



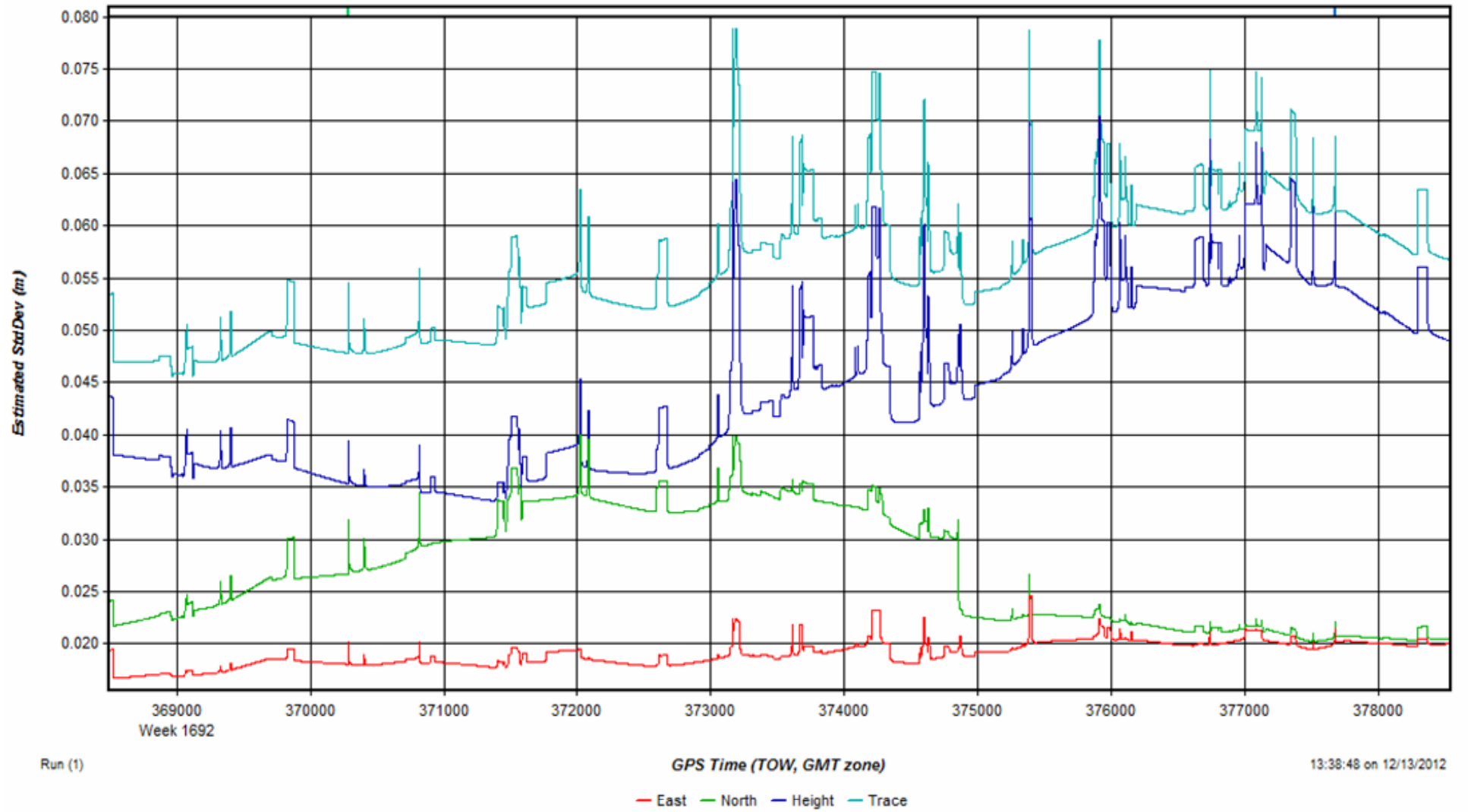
Şekil 6.37. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları



Şekil 6.38. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu



Şekil 6.39. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları



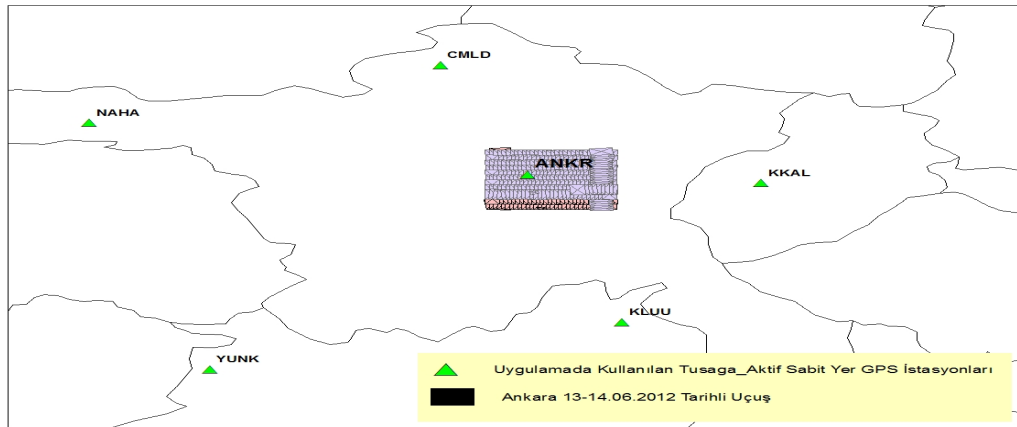
Şekil 6.40. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu

6.3.8 Sekizinci GNSS Çözümü – Ağ Yapılı – Ağ_7 ve Ankr

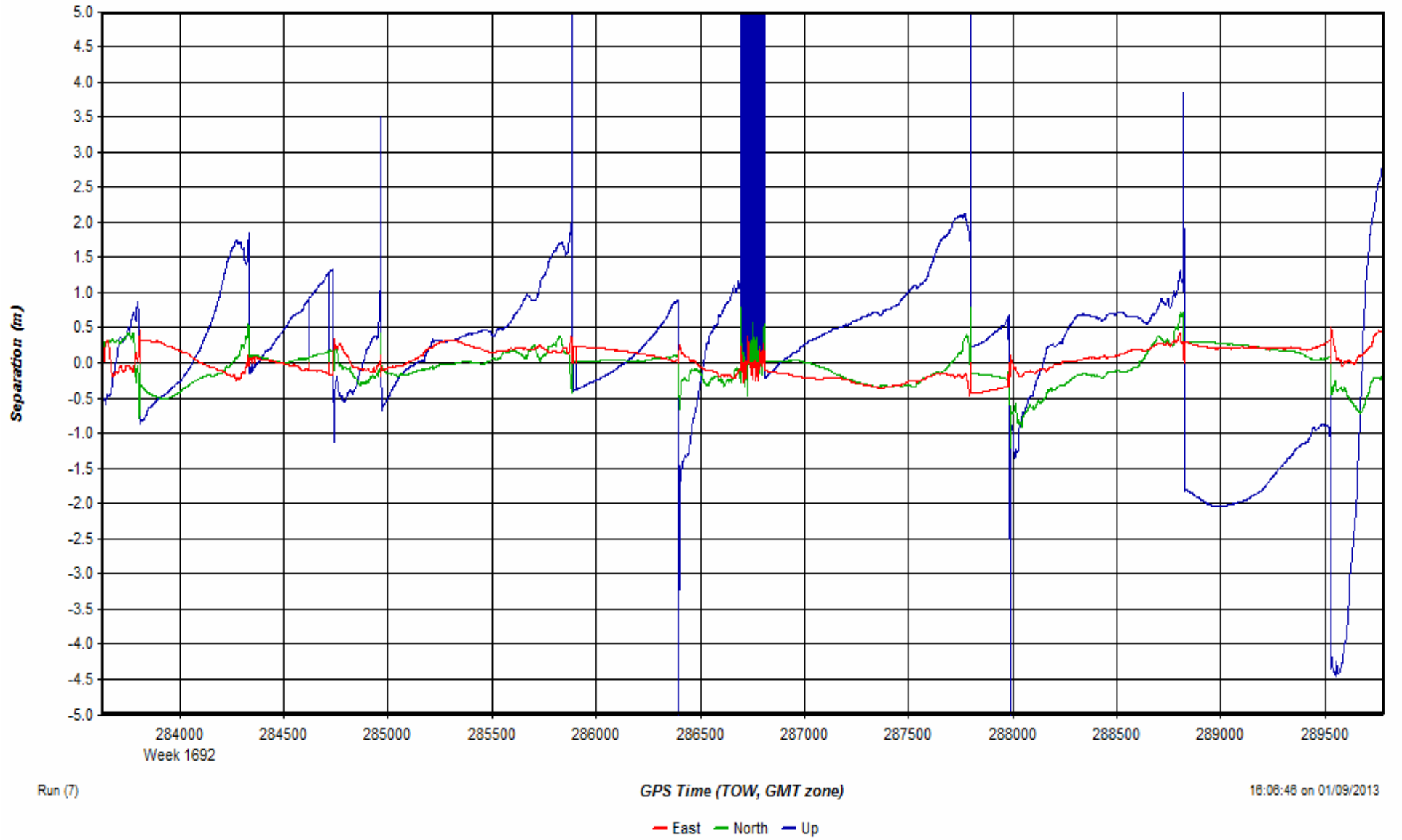
Çalışma bölgesinin merkezine yaklaşık 80 km mesafede olan CmlD, Kkal, Kulu, Naha, Yunk ve Ankr istasyonlarına ait 1 saniye aralıklı Rinex formatındaki veriler kullanılarak GPS verileri işlenmiştir (Şekil 6.41). Yedinci çözümden tek farkı ağ yapısının ortasına gelen Ankr noktasının da çözüme dâhil edilmesidir. GNSS çözümüne ait GNSS gidiş geliş çözüm farkları ve tahmini konum doğruluğu uçuş yapılan iki gün için ayrı ayrı Şekil 6.42, Şekil 6.43, Şekil 6.44 ve Şekil 6.45 de sunulmuştur. GNSS\IMU verileriyle yapılan dengeleme işlemi Match_AT 5.5 versiyonunda gerçekleştirilmiştir. Öncelikle bağlama noktası toplattırılmış ve arazide ölçülen 36 adet denetleme noktasına gelen düzeltmeler hesaplanmıştır. Dengeleme sonuçlarına göre karesel ortalama hata, ortalama hata, maksimum ve minimum hatalar hesaplanmıştır (Çizelge 6.8).

Çizelge 6.8. Ağ Yapılı Ağ_4 Çözümü Doğrudan Coğrafi Yöneltilme Dengeleme Sonucu

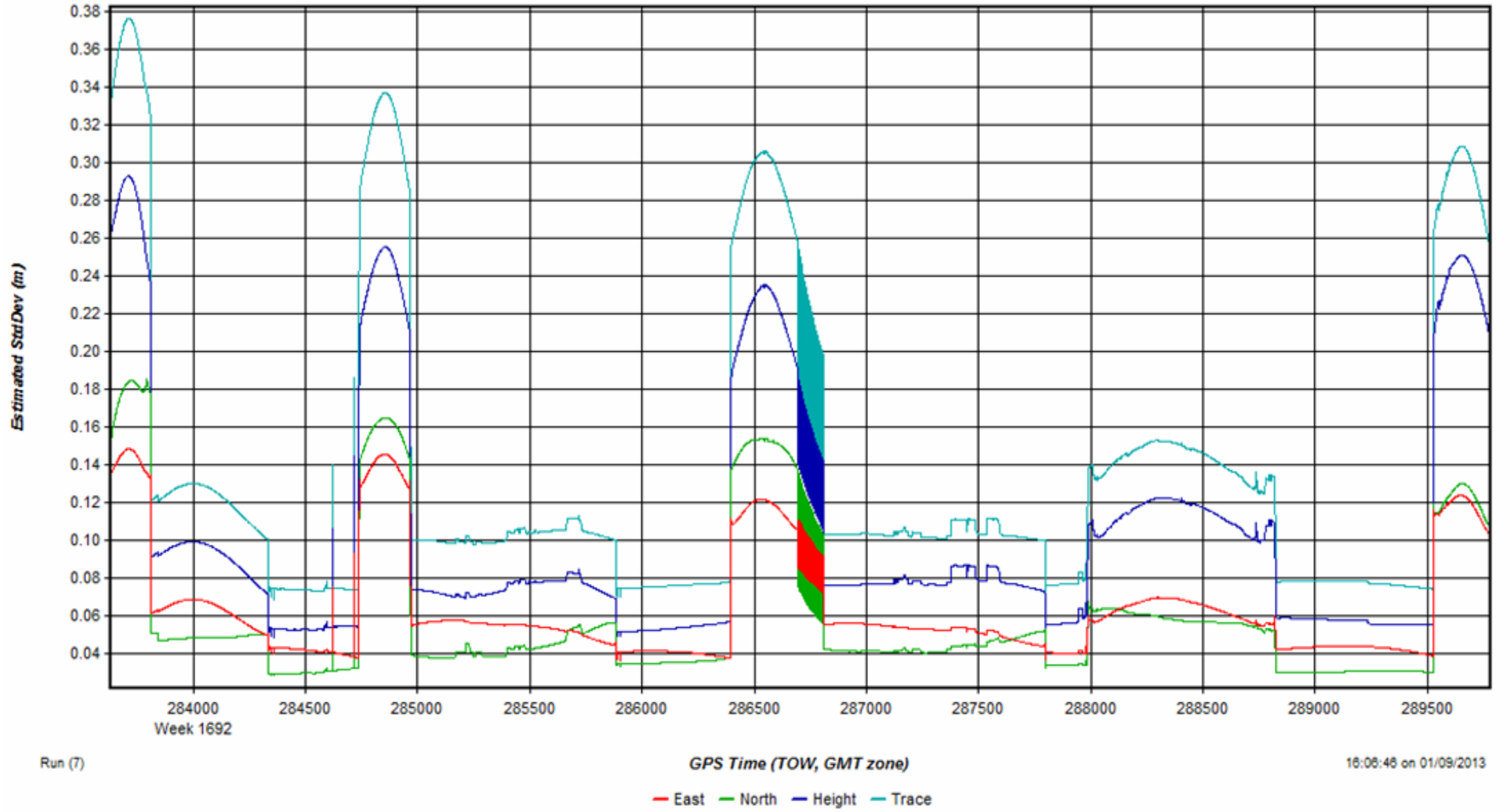
	KOH			Ortalama Hata			Maksimum Hata			Minimum Hata		
	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)
Ağ_4	0.249	0.270	0.379	0.200	0.232	0.327	0.551	0.542	0.647	-0.257	-0.534	-0.702



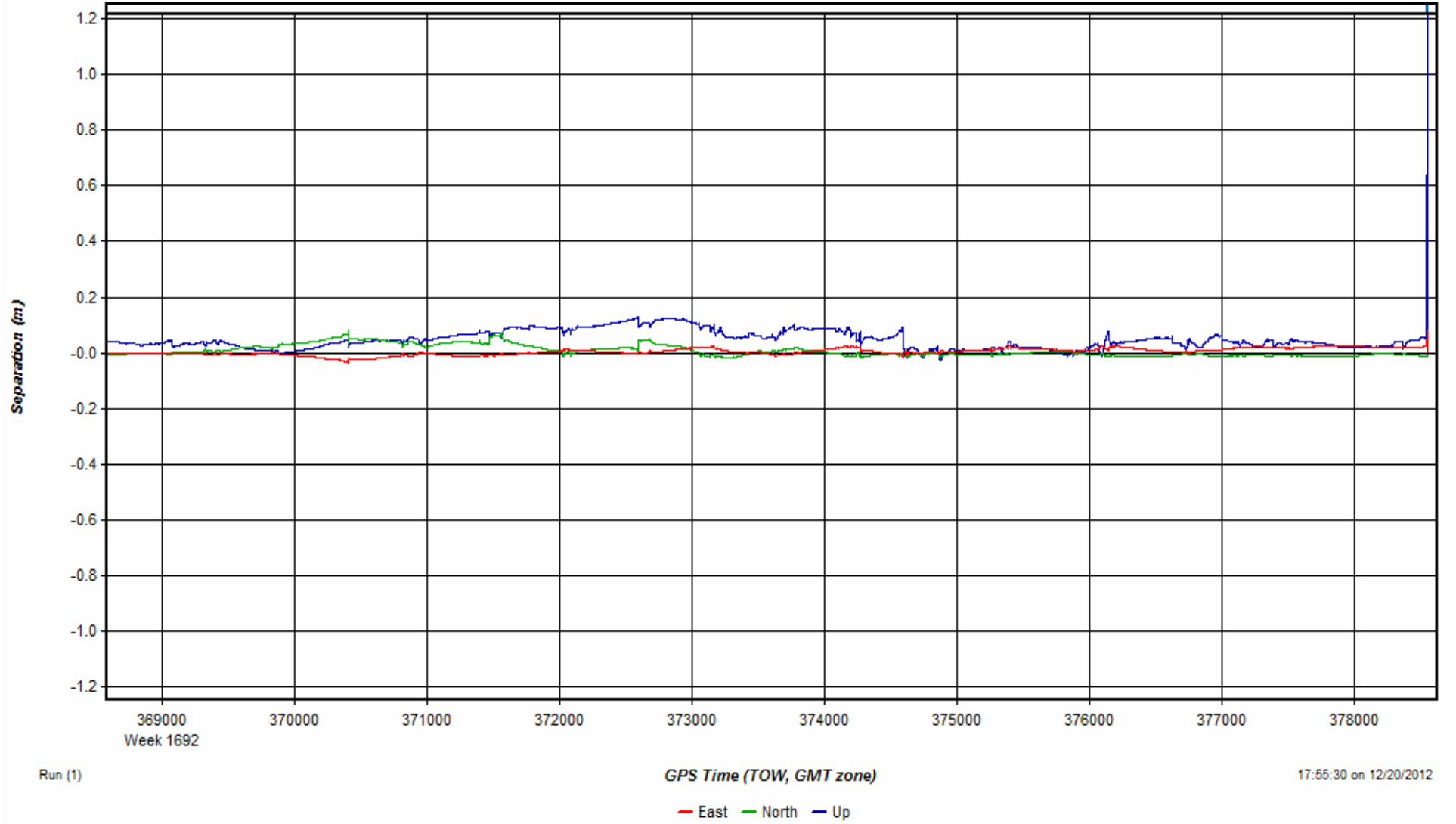
Şekil 6.41. Sekizinci GNSS Çözümü Uygulama Alanı (Ağ Yapılı CmlD, Kkal, Kulu, Naha, Yunk ve Ankr)



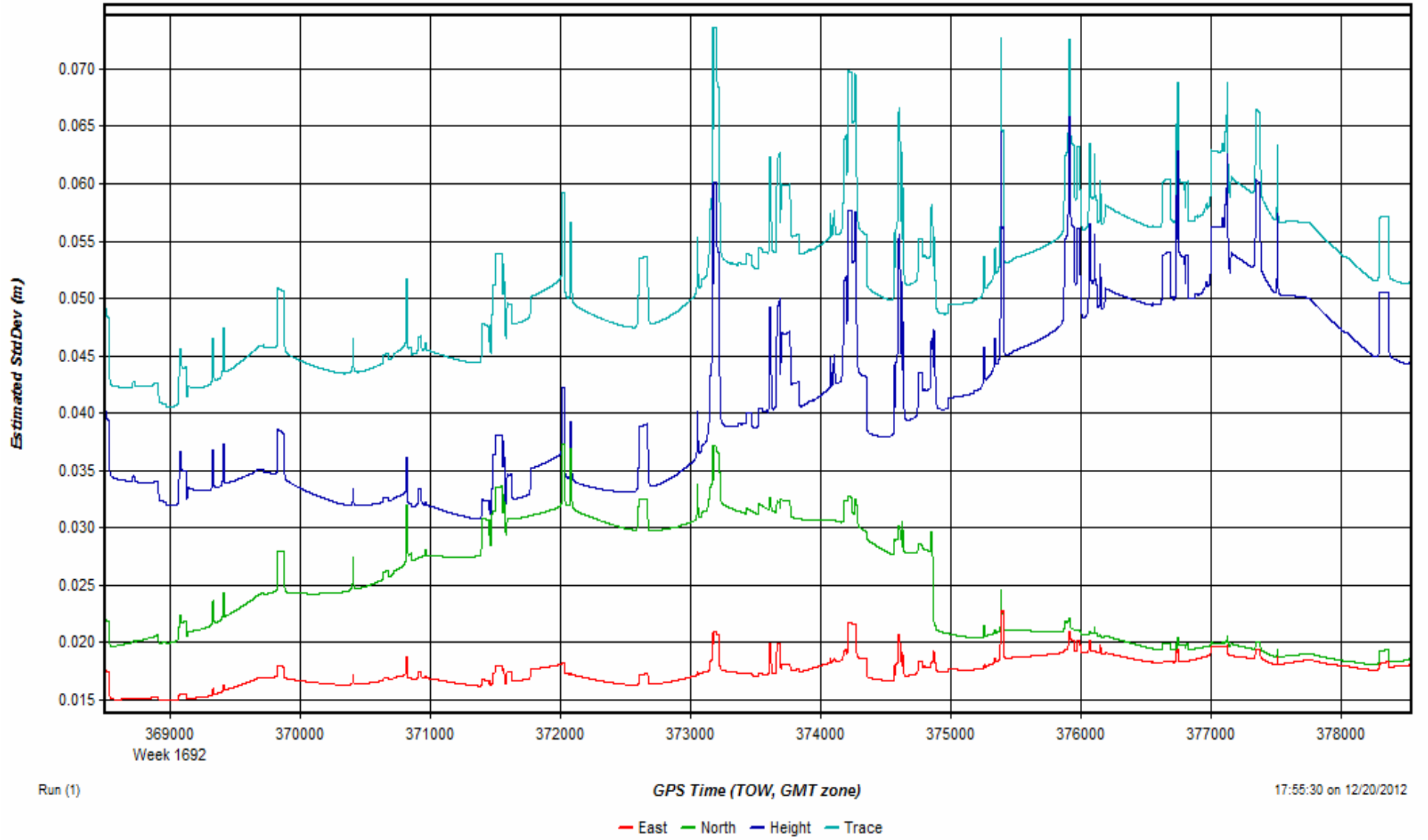
Şekil 6.42. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları



Şekil 6.43. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu



Şekil 6.44. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları



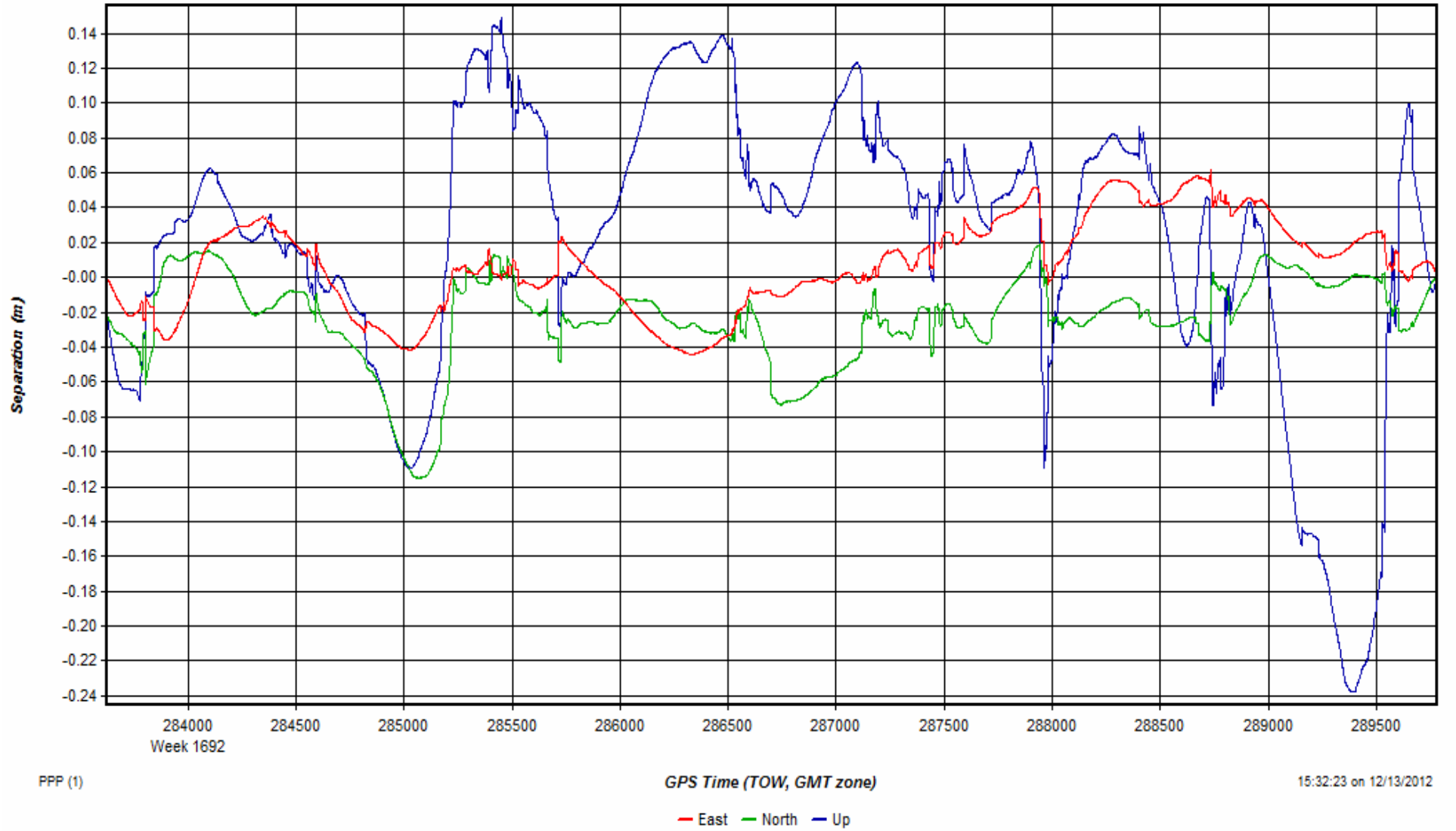
Şekil 6.45. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu

6.3.9 Dokuzuncu GNSS Çözümü – PPP

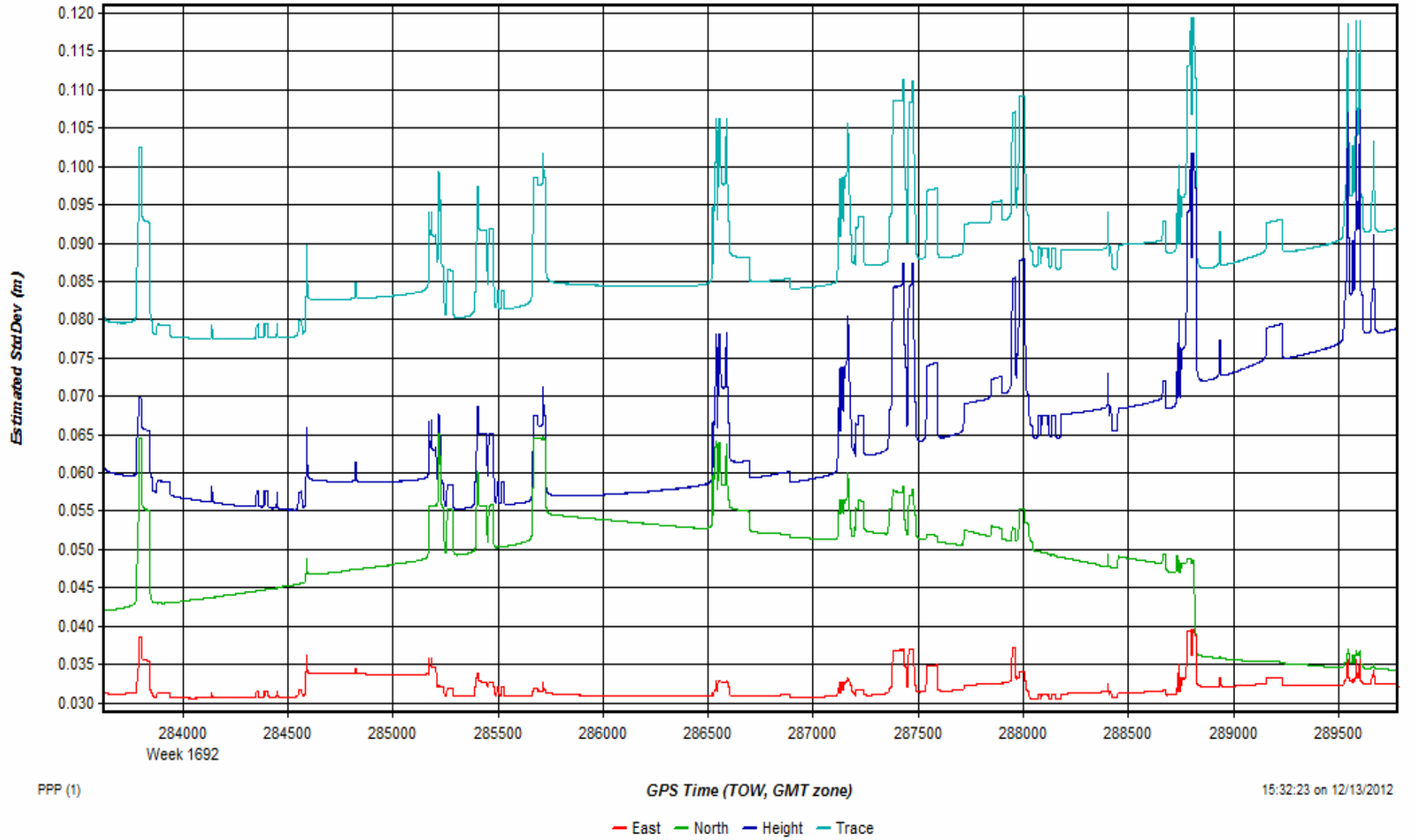
Uçaktan gelen GNSS\IMU verileri Hassas Nokta Konumlaması yöntemiyle çözümlemesi yapılmış ve GNSS çözümüne ait GNSS gidiş geliş çözüm farkları ve tahmini konum doğruluğu uçuş yapılan iki gün için ayrı ayrı Şekil 6.46, Şekil 6.47, Şekil 6.48 ve Şekil 6.49 da sunulmuştur. GNSS\IMU verileriyle yapılan dengeleme işlemi Match_AT 5.5 versiyonunda gerçekleştirilmiştir. Öncelikle bağlama noktası toplattırılmış ve arazide ölçülen 36 adet denetleme noktasına gelen düzeltmeler hesaplanmıştır. Dengeleme sonuçlarına göre karesel ortalama hata, ortalama hata, maksimum ve minimum hatalar hesaplanmıştır (Çizelge 6.9).

Çizelge 6.9. Hassas Nokta Konumlandırma (PPP) Çözümü Doğrudan Coğrafi Yöneltilme Dengeleme Sonucu

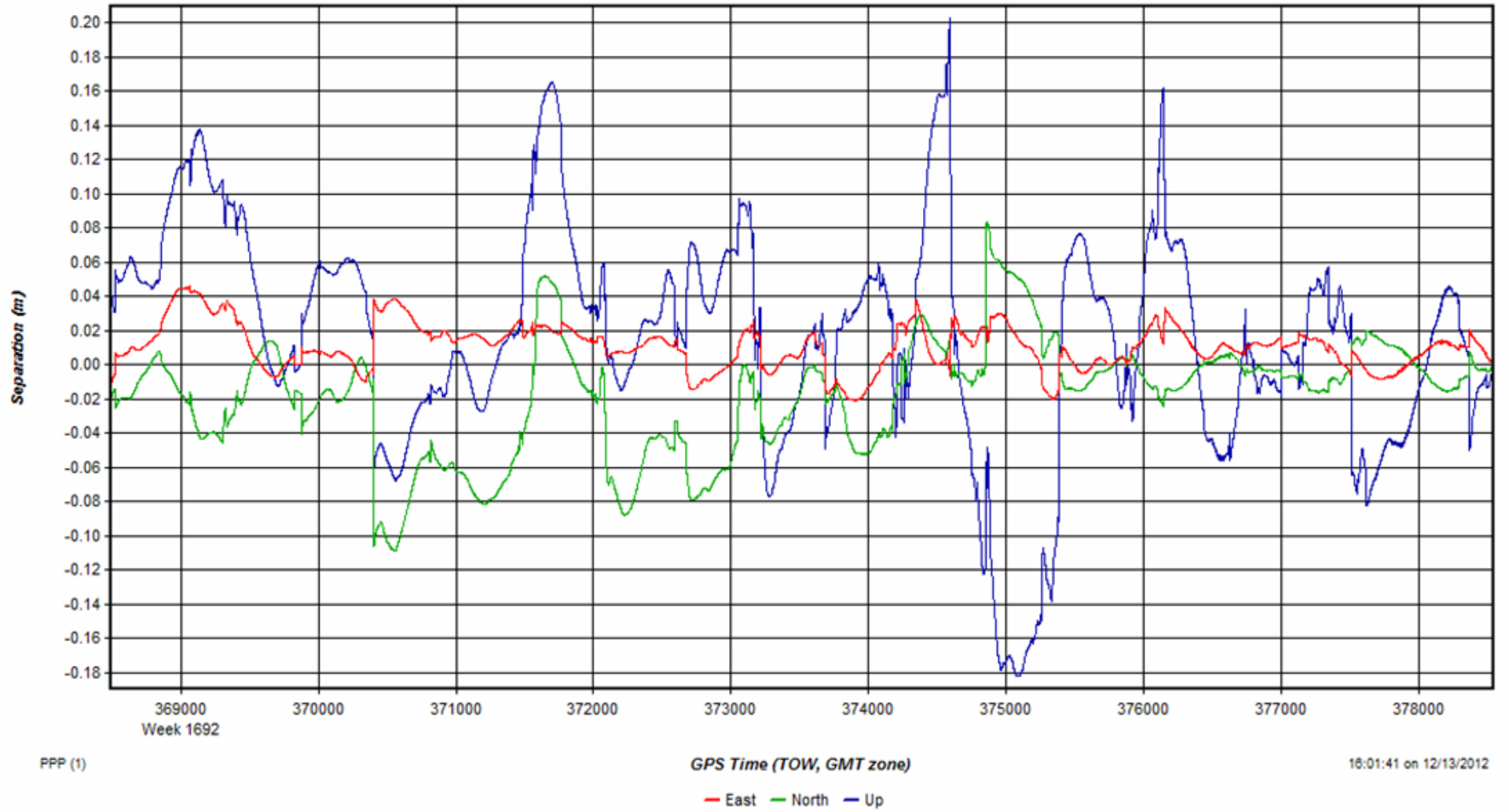
	KOH			Ortalama Hata			Maksimum Hata			Minimum Hata		
	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)
PPP	0.206	0.286	0.449	0.170	0.218	0.407	0.472	0.574	1.102	-0.301	-0.683	-0.243



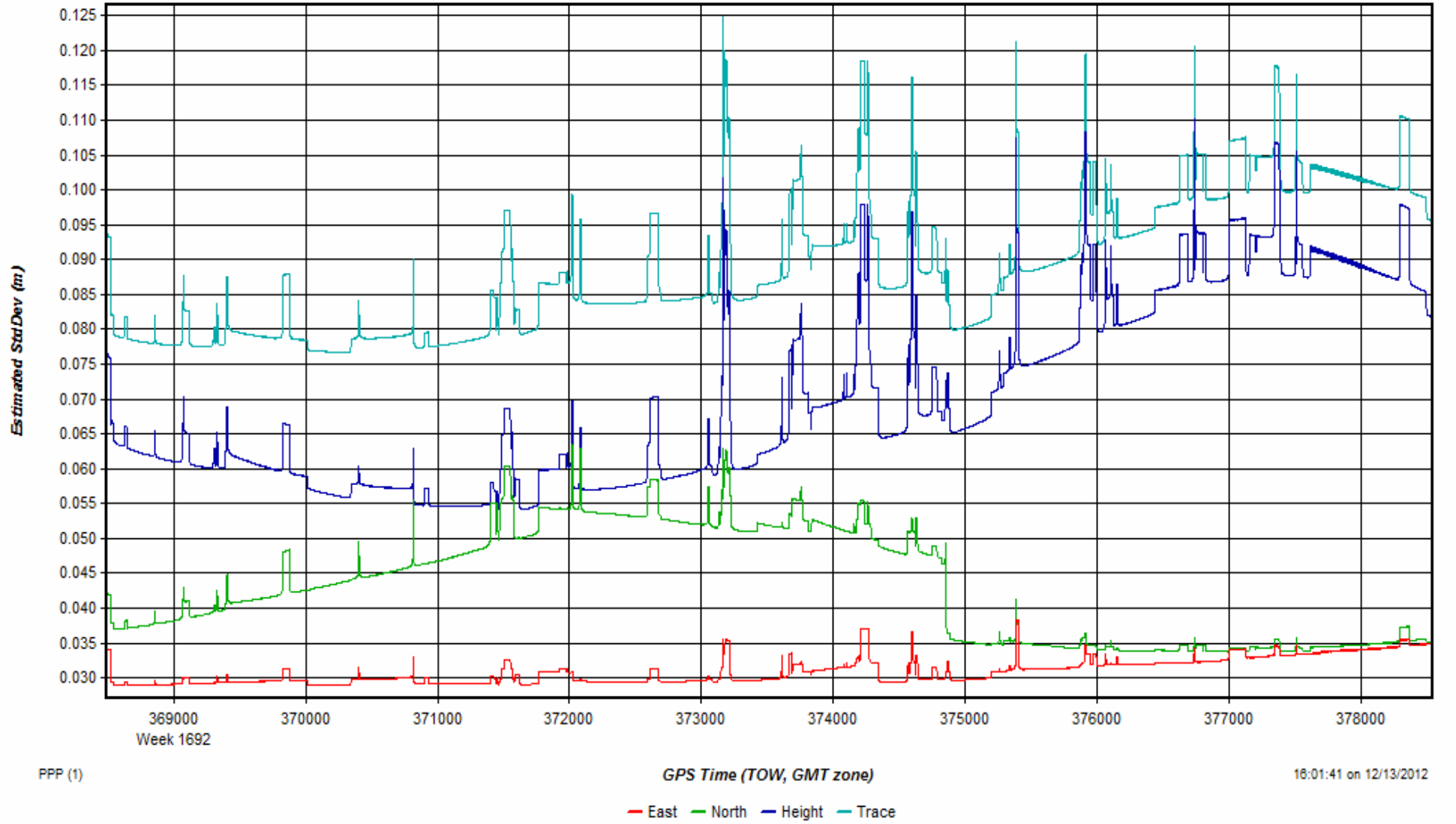
Şekil 6.46. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları (PPP)



Şekil 6.47. 13 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu (PPP)



Şekil 6.48. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Gidiş-Geliş Çözüm Farkları (PPP)



Şekil 6.49. 14 Haziran 2012 Tarihli GNSS Tahmini Konum Doğruluğu (PPP)

6.3.10 Dengeleme Çözümü

Yer kontrol noktası kullanmadan GNSS\IMU verileriyle yapılan dengeleme işlemi Match_AT 5.5 versiyonunda gerçekleştirilmiştir. Her bir GNSS çözümü için ayrı ayrı bağlama noktası toplattırılmış ve arazide ölçülen 36 adet denetleme noktasına gelen düzeltmeler hesaplanmıştır. Dengeleme sonuçlarına göre karesel ortalama hata, ortalama hata, maksimum ve minimum hatalar hesaplanmıştır (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1. Doğrudan Coğrafi Yönelme Dengeleme Sonuçları

	KOH			Ortalama Hata			Maksimum Hata			Minimum Hata		
	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)	x (m)	y (m)	z (m)
İdeal Durum (5 YKN)	0.194	0.185	0.329	0.143	0.144	0.260	0.559	0.480	0.834	-0.239	-0.419	-0.314
Ankr	0.206	0.352	1.109	0.156	0.284	1.056	0.443	0.212	-0.293	-0.279	-0.826	-1.687
Kkal	0.259	0.300	0.405	0.217	0.257	0.323	0.598	0.585	0.902	-0.344	-0.553	-0.385
Yzgt	0.233	0.305	0.395	0.185	0.263	0.318	0.519	0.685	0.881	-0.278	-0.579	-0.416
Sivs	0.436	0.349	0.587	0.369	0.285	0.485	1.225	0.911	0.857	-0.110	-0.649	-0.162
ag_1	0.225	0.309	0.475	0.181	0.272	0.382	0.496	0.642	1.017	-0.328	-0.559	-0.320
ag_2	0.224	0.310	0.502	0.182	0.264	0.407	0.505	0.740	1.102	-0.329	-0.580	-0.243
ag_3	0.249	0.270	0.379	0.200	0.232	0.327	0.551	0.542	0.647	-0.257	-0.534	-0.702
ag_4	0.214	0.306	0.369	0.174	0.231	0.316	0.412	0.424	0.603	-0.374	-0.759	-0.768
PPP	0.206	0.286	0.449	0.170	0.218	0.407	0.472	0.574	1.102	-0.301	-0.683	-0.243

7. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada; uçuş esnasında uçakta bulunan algılayıcı sistemlerin topladığı GNSS\IMU verilerinin işlenmesinde kullanılan yöntemlerin doğrudan coğrafi koordinatlandırmaya etkisi araştırılmıştır. Sırasıyla tek nokta, ağ yapısı ve (Point Precise Positioning-PPP) hassas nokta konumlandırılması teknikleri kullanılmıştır.

Tek nokta çözüm yönteminde, yakından uzağa; Ankara (5 km), Kırıkkale (60 km), Yozgat (170 km) ve Sivas (360 km) Tusaga-Aktif sabit yer GNSS istasyonları tek tek kullanılmıştır.

Ağ yapılı çözümlerde GNSS\IMU verilerinin işlenmesinde ag_1 olarak adlandırdığım yaklaşık 230 km mesafede olan Afyon, Hendek, Vezirköprü, Kurucaşile ve Nevşehir, ag_2 olarak yaklaşık 150 km mesafede olan Yunak, Bolu, Kastamonu ve Yozgat, ag_3 olarak yaklaşık 80 km mesafede olan Çamlıdere, Kırıkkale, Kulu, Nallıhan ve Yunak, ag_4 olarak da Çamlıdere, Kırıkkale, Kulu, Nallıhan, Yunak ve Ankara sabit GNSS istasyonları kullanılmıştır.

PPP çözümünde 15 gün sonra yayınlanan uydu saat ve yörünge hatalarının modellendiği hassas efemeris verisi kullanılmıştır.

Ankara, Kırıkkale, Sivas, Ağ_4 ve PPP çözümleri 5 yer kontrol noktalı (dördü blok köşelerinde biri blok ortasında) olacak şekilde Match-AT 5.5 yazılımı kullanılarak dengelenmiştir. Dengelemede 31 denetleme noktası kullanılmıştır. Denetleme noktalarına gelen karesel ortalama hatalar birbirine çok yakın ve yaklaşık yatayda 19 cm, düşeyde 33 cmdir.

Tek nokta çözüm sonuçları irdelendiğinde, Sivas ve Ankara sabit GNSS istasyonlarının kullanıldığı çözümler hariç diğer çözümlerin karesel ortalama hatalarının 5 yer kontrol noktası kullanılarak yapılan dengeleme sonuç karesel ortalama hatalarına yaklaştığı gözlenmiştir.

Sivas sabit GNSS istasyonu kullanılarak yapılan çözümün sonucu bize tek noktalı çözümlerde mesafe arttıkça çözüm hatalarının kümülatif olarak çoğaldığını ve

maksimum 200 km çaplı bir çemberin içinde kalan noktaların seçilmesi gerektiğini göstermiştir.

Ankara sabit GNSS istasyonu çalışma bölgesine yakın olmasına rağmen beklenen doğrulukları karşılayamamıştır. Bunun sebebi ise sabit GNSS istasyon verisinin uçuş saatleri arasında düzgün olmamasıdır.

Ağ yapılı çözümlerin hepsi beklenen doğruluklara ulaşmıştır. En yüksek doğruluk X ve Z yönünde ag_4, Y yönünde ag_3 çözümü sağlamıştır. Ag_4 çözümünün yüksek olması beklenmiştir fakat Ankara sabit GNSS istasyonu verisi GNSS çözümünde Y yönünde bozucu etki yaratmasında dolayı sadece X ve Z yönlerinde beklenen doğruluk yakalanmıştır.

En iyi çözümler sıralandığına X yönünde Ankara tek nokta çözümü ve ppp yer almaktadır. Y yönünde ag_3 ve Z yönünde ag_4 yer almaktadır. En kötü çözüm Sivas ve Ankara tek nokta çözümüdür. Genel olarak nokta çözümünden ziyade ağ yapılı çözümler daha yüksek doğruluk vermektedir. Mesafe 150 km ve daha fazla olan ağ çözümlerinde Z yönünde doğruluk sıkıntıları yaşanabileceği bunun yerine aynı mesafede tek nokta çözümlerinin daha uygun olacağı değerlendirilmektedir.

En uzak ağ çözümü (ag_1 230 km) doğruluğu tek nokta Yozgat (170 km) .çözümünden özellikle Z yönünde kötüdür. Bunun sebebi mesafe olacağı gibi ağın içinde bulunan noktaların uyumsuz ölçü barındırması da olabilir. Buna paralel ag_2 çözümünde (150 km) Z yönünde yaklaşık aynı mesafedeki tek nokta çözümüne göre daha düşük doğruluğa sahiptir.

Ağ yapılı çözümlemelerde dikkat edilmesi gereken husus ağın çalışma bölgesini kapsayacak şekilde olması ve uyumsuz ölçüye sahip GNSS istasyonunun ağdan çıkarılmasıdır.

Hassas nokta konumlandırılması ile yapılan çözümün sonucu incelendiğinde eğer tek noktalı çözüm yapılacaksa 200 km den daha fazla uzaklıkta bulunan sabit GNSS istasyonunu kullanmak yerine PPP çözümü kullanılması, ağ yapılı çözümlerde ise

kullanılan ağın yarıçapının 80 km den daha fazla olması durumunda PPP çözümünden elde edilen doğrulukla aynı olduğu gözlenmiştir.

Doğrudan coğrafi koordinatlandırma yöneltme doğruluğunu projede kullanılan baz uzunlukları da etkilemektedir. Alan IP' in 2005 yılında yaptığı çalışmada özellikle Tusaga-Aktif gibi sürekli ölçüm yapan GNSS aktif istasyonlarıyla (CORS-Continuously Operating Referans Stations) yapılacak GNSS çözümlerinde 5-10 cm karesel ortalama hata yakalamak için projede kullanılacak baz uzunluklarının 50 km' den az olması gerektiğini belirtmiştir.

2003 yılında fotogrametri haftasında sunulan birleştirilmiş GNSS\IMU ve sayısal havai nirengi adlı makalede Michael CRAMER taranma hassasiyeti 14 μm olan 7 adet 13.000 ölçekli hava fotoğrafı kullanarak doğrudan coğrafi koordinatlandırma yöneltme doğruluğunu araştırmıştır. Araştırma sonucunda X yönünde 0,26 m, Y yönünde 0,21 m ve Z yönünde 0,27 m karesel ortalama hatalar hesaplanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde Z yönündeki hassasiyet hariç hemen hemen aynı sonuçlar bulunmuştur.

Test bölgesi Ankara ili merkezde olacak şekilde planlandığı için arazi yapısı düz ve engebesiz olması nedeniyle özellikle doğrulukların yüksek çıktığı değerlendirilmektedir.

Uçakta kaydedilen GPS\IMU verisinin doğrudan kullanılması yerine bu verilerden yola çıkarak bağlama noktası toplanması ve dengelenmesi (her hangi bir yer kontrol noktası kullanılmadan) doğruluğun artmasında fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir.

GPS\IMU verilerini işlenmesinde TUSAGA-Aktif sabit GPS istasyonlarının verilerinin kullanılmasının uygun olduğu ancak sistemin sadece 3 aylık veriyi sakladığı düşünülürse istenilen sabit GPS istasyonu verisinin uçuş gününden itibaren 3 aylık süre içinde temin edilmesi gerekmektedir.

Ankara sabit GNSS istasyonu kullanılarak yapılan tek nokta çözümü Z yönündeki doğruluğu ile Sivas sabit GNSS istasyonu kullanılarak yapılan tek nokta çözümü dışındaki diğer çözümlerin yaklaşık aynı doğrulukta olduğu söylenebilir.

8. SONUÇLAR

Doğrudan coğrafi konumlandırma sayısal fotogrametriye 10 yıl önce girmiştir. Bu konu üzerinde birçok çalışma yapılmış ve halen yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde doğrudan coğrafi konumlandırma doğruluğu yatayda 10-20 cm düşeyde 30 cm hassasiyetindedir. Bu doğruluğu sistemden kaynaklanan hatalar etkilemektedir. Bunun dışında fotoğraf ölçeği ve buna bağlı uçuş yüksekliği, baz uzunlukları ve GNSS çözümünde kullanılan sabit GNSS istasyonlarının konum ve uzaklık ve konfigürasyonları etkilemektedir. Genel olarak GNSS çözümlerinde ağ yapılı çözümler tercih edilmektedir. Sabit GNSS istasyonlarıyla kurulacak ağın uçuş bölgesinin tamamen kaplaması gerekmekte ve ağa en fazla 80 km uzaklıktaki GNSS istasyonları seçilmelidir. Fakat bazı durumlarda ağ yapısını oluşturmak veya istenen uzaklıkta GNSS istasyonu bulmak mümkün olmamaktadır. Özellikle sınır uçuşlarında veya deniz kenarı uçuşlarında ağ yapısı kurulamamaktadır. Bu durumda tek nokta çözümü tercih edilmektedir. Bu çalışmada test bölgesine farklı uzaklıktaki tek nokta, farklı uzaklık ve konfigürasyonlardan oluşan ağ yapılı ve PPP çözümleri denenmiş ve doğrudan coğrafi konumlandırmaya etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara birbirine çok yakın çıkmıştır. Yatayda 20-30 cm, düşeyde 40-50 cm hassasiyet yakalanmıştır. Sadece GNSS verisi bozuk olan Ankara ve test bölgesine 360 km uzaklıkta bulunan Sivas çözümleri bu hassasiyeti yakalayamamıştır. Genel olarak ağ yapılı çözümler diğer çözümlere göre yüksek doğruluk sağlamaktadır. Ancak test bölgesinden 150 km ve daha fazla uzaklıkta kurulan ağ ile yapılacak çözüm yerine daha yakın mesafede bulunan tek nokta çözümlerinin kullanılmasının daha uygun olacağı değerlendirilmektedir. Tek nokta çözümünde çalışma bölgesine 200 km den daha fazla uzaklıkta bulunan sabit GNSS istasyonunu kullanmak yerine PPP çözümü kullanılmasında, ağ yapılı çözümlerde ise kullanılan ağın yarıçapının 80 km den daha fazla olması durumunda elde edilen doğrulukla PPP çözümünden elde edilen doğruluğun aynı olduğu gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Hamid, W., Osman,A., Noureldin,A. ve El-Sheimy,N., 2004. Improving the Performance of MEMS-Based Inertial Sensors by Removing Short-Term Errors Utilizing Wavelet Multi-Resolution Analysis,Proceeding of the US Institute of Navigation (ION), National Technical Meeting (NTM), ION NTM 2004,26-28 Jan.San Diego.
- Ackerman, F., 1992. Kinematic GPSControl for Photogrammetry. Photogrammetric Record.
- Akabalı, O.A., 2010. Sayısal Hava Kameralarının Topoğrafik Harita Üretim Sürecine Etkileri, Doktora Tezi,Selçuk Üniversitesi,Konya.
- Ip, A.W.L., 2005. Analysis of Integrated Sensor Orianatation for Aerial Mapping, Department of Geomatics Engineering,The University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada.
- Atak, O.V. ve Aksu,O., 2004. Algılayıcı Yönelme Sistemleri,Harita Dergisi.
- Britting, K.R., 1997. Inertial Navigation Systems Analysis, Wiley-Intersciences, Newyork.
- Cramer, M., 2003. Integrated GPS\Inertial and Digital Aerial Triangulation – Recent Test Results, Photogrametric Week, Stuttgart 2003.
- Durğut, T., 2010. UltraCamX Sayısal Fotogrametrik Hava Kamerasının Geometrik Doğruluğunun Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi,Yıldız Teknik Üniversitesi, Yıldız, İstanbul.
- El-Sheimy, N., 1996a. A Mobile Multi-Sensor System for GIS Application in Urban Centers, Internetal Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Comm.II,Working Group 1,Vol XXXI,Part B2,pp.95-100,Vienna,Austria.
- El-Sheimy, N., 1996b. The Development of VISAT-A Mobile Survey System for GIS Application, Ph.D Thesis,UCGE Report #20101, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary,Canada.
- El-Sheimy, N., 2000. Inertial Techniqyes and IMU\DGPS Integration, Department of Geomatic Engineering, The University of Calgary.
- Farrell ,J.ve Barth,M., 1999. The Global Positioning System and Inertial Navigation, McGrawHill, New York, 1-5, 141-171.

- Grejner-Brezezinsk, D.A., 2000. Direct Orientation of Airborne Imagery with GPS/IMU System: Performance Analysis, *Navigation*, 46(4): 261-270.
- Grejner-Brezezinsk, D.A., 2001a. Direct Sensor Orientation in Airborne and Land-Based Mapping Application, Report No.461, Geodetic GeoInformation Science Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University, Ohio, United States.
- Grewal, M., Weill, L. ve Andrews, A., (2001). *Global Positioning Systems, Inertial Navigation and Integration*, 103-209. 2001
- Gruber, M., Ponticelli, M. ve Wiechert, A., 2011. Ultracam, A Brand for Continuous Developments, *Photogrammetry Week*, Stuttgart.
- Gruber, M., Ponticelli, M., Ladstädter, R. ve Wiechert, A., 2012. UltraCam Eagle, Details and Insight, XXII ISPRS Congress.
- Jacobsen, K. ve Neumann, K.J., 2012. Property of The Large Format Digital Aerial Camera DMC II, XXII ISPRS Congress.
- Jekeli, C., 2001. *Inertial Navigation Systems with Geodetic Applications*, Walter de Gruyter, Berlin, 255-293
- Kiracı, A.Ç., İşcan, L., Eker, O., Yılmaz, A., Özerbil, T., Maraş, H.H., Fırat, O. ve Akabalı, O.A., 2010. Sayısal Hava Kamerası ve Fotogrametriye Kazandırdıkları, *Harita Dergisi*.
- Leberl, F. ve Gruber, M., 2003. Flying the new Large Format Digital Aerial Camera Ultracam. *Proceedings of the Photogrammetric Week 2003*, Wichmann Verlag, Stuttgart.
- Lithopoulos, E., Reid, D.B. ve Scherzinger, B., 1996. The Position and Orientation System (POS) for Survey Application, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, ISPRS Comm. III, Vol. XXXI, Part B3, pp. 467-471, Vienna, Austria, July 9-19.
- Mostafa, M.R., 1999. *Georeferencing Airborne Images from a Multiple Digital Camera System by GPS/INS*, Ph.D. Dissertation, Department of Geomatic Engineering, The University of Calgary, Canada.
- Mostafa, M.R. ve Huttun, J., 2001. Direct Positioning and Orientation System – How Do They Work? What is The Attainable Accuracy? *Proceeding, ASPRS Annual Meeting*, St Louis, Mo, USA, April 22-27.
- Neumann, K.J., 2011. The Z/I DMC II- “Imaging Revolution”, *Photogrammetry Week*, Stuttgart.

- Olynik, M., Petobello, M.G., Cannon, M.E. ve Lachapelle, 2002. Temporal Impact of Selected GPS Errors on Relative Point Positioning, GPS Solutions, 6, 1-2.
- Parkinson, B.W. ve Spilker, J.J., 1996. Global Positioning System: Theory and Applications, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 469-485.
- Passini, R., Jacobsen, K. ve Day, D., 2012. Accuracy and Radiometric Study Latest Generation Large Format Digital Frame Cameras, Civil Commercial Imagery Evaluation Workshop , JACIE.
- Scherzinger, B., 1997. A Position and Orientation Post-Processing Software Package for Inertial/GPS Integration (PosProc), Proceedings of the International Symposium on Kinematic System in Geodesy, Geomatics and Navigation (KIS 97), Banff, Canada.
- Schwarz, K.P., Chapman, M.E., Cannon, E., Gong, P. ve Cosander, D., 1994. A precise Positioning/Attitude system in Support of Airborne Remote Sensing, Proceedings, GIS/ISPRS Commission II, Ottawa, Canada, June 6-10, 191-201.
- Schwarz, K.P., 1995. Integrated Airborne Navigation System for Photogrammetry, Photogrammetric Week'95 in (D.Fritsch and D.Hobbie, editors) Wichmann, 139-153.
- Skaloud, J., 1999. Problems in Direct-Georeferencing by INS/DGPS in the Airborne Environment, Proceedings, ISPRS Workshop "Direct versus indirect methods of sensor orientation", Barcelona, 7-15.
- Titterton, D.H. ve Weston, J.L., 1997. Strapdown Inertial Navigation Technology, Peter Peregrinus Ltd., The Institution of Electrical Engineers, Stevenage, Herts, United Kingdom.
- Thurgood, J., 2004. The Vexcel UltraCam Large-Format Digital Aerial Camera System and NAIP. Aerial Photogrammetry Products Vexcel Corporation, Salt Lake City.
- Yastıklı, N., 2003. GPS/IMU Verileri Kullanılarak Hava Fotoğraflarının Doğrudan Yöneltilmesi ve Birleştirilmiş Blok Dengeleme, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yıldız, İstanbul.

EKLER

UltraCamX Sayısal Hava Kamerası Kalibrasyon Raporu

Microsoft



Camera:	UltraCam X, S/N UCX-SX-1-40013311
Manufacturer:	Vexcel Imaging GmbH, A-8010 Graz, Austria
Date of Calibration:	Oct-08-2007
Date of Report:	Nov-14-2007
Camera Revision:	1.0
Revision of Report:	1.0

Geometric Calibration



Camera:	UltraCam X, S/N UCX-SX-1-40013311
Manufacturer:	Vexcel Imaging GmbH, A-8010 Graz, Austria
Panchromatic Camera:	ck = 100.500mm
Multispectral Camera:	ck = 100.500mm
Date of Calibration:	Oct-08-2007
Date of Report:	Nov-14-2007
Camera Revision:	1.0
Revision of Report:	1.0

Panchromatic Camera

Large Format Panchromatic Output Image

Image Format	long track	67.824mm	9420pixel
	cross track	103.896mm	14430pixel
Image Extent		(-33.91, -51.95)mm	(33.91, 51.95)mm
Pixel Size		7.200μm*7.200μm	
Focal Length	ck	100.500mm	± 0.002mm
Principal Point	X_ppa	0.000 mm	± 0.002mm
(Level 2)	Y_ppa	0.144 mm	± 0.002mm
Lens Distortion	Remaining Distortion less than 0.002mm		

Multispectral Camera

Medium Format Multispectral Output Image (Upscaled to panchromatic image format)

Image Format	long track	67.824mm	3140pixel
	cross track	103.896mm	4810pixel
Image Extent		(-33.91, -51.95)mm	(33.91, 51.95)mm
Pixel Size		21.600μm*21.600μm	
Focal Length	ck	100.500mm	
Principal Point	X_ppa	0.000 mm	± 0.002mm
(Level 2)	Y_ppa	0.144 mm	± 0.002mm
Lens Distortion	Remaining Distortion less than 0.002mm		

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Abdullah KAYI

Doğum Yılı : 1984

Eğitim Bilgileri (Kurum ve Yıl)

Lisans : Harita Yüksek Teknik Okulu (2008)

Yüksek Lisans : Aksaray Üni. Fen Bilimleri Ens. Harita. Müh. ABD (2010-2013)

Doktora :

İletişim Bilgileri

Adres : Harita Genel Komutanlığı Cebeci/ANKARA

Telefon : 541 516 06 26

E-posta : abdullah.kayi@hgk.msb.gov.tr