

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GERÇEK ZAMANLI KİNEMATİK (GZK) GPS YÖNTEMİ İLE
FOTOGRAMETRİK UYGULAMALAR VE DOĞRULUK ARAŞTIRMASI**

DOKTORA TEZİ

**Ali Coşkun KİRACI
(501082605)**

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. F.Gönül TOZ

MAYIS, 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501082605 numaralı Doktora Öğrencisi Ali Coşkun KİRACI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GERÇEK ZAMANLI KİNEMATİK (GZK) GPS YÖNTEMİ İLE FOTOGRAMETRİK UYGULAMALAR VE DOĞRULUK ARAŞTIRMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. F.Gönül TOZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Sıtkı KÜLÜR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bahadır AKTUĞ
Ankara Üniversitesi

Doç.Dr. Zaide DURAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç.Dr. Aslı DOĞRU
Boğaziçi Üniversitesi

Teslim Tarihi : **10 Nisan 2018**
Savunma Tarihi : **21 Mayıs 2018**





Kızma,



ÖNSÖZ

Tez çalışmam sürecinde değerli katkılarından dolayı Prof.Dr.F.G.TOZ, Prof.D.S.KÜLÜR ve Prof.Dr.B.AKTUĞ'a, çalışmamda yardımcı olan çalışma arkadaşım Dr.Müh.M.SİMAV'a, İHA verilerini sağlayan MAS Havacılık şirketi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2018

Ali Coşkun KİRACI
(Harita Mühendisi)





İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	4
2. FOTOGRAMETRİK YÖNELTME	11
2.1 Matematiksel Model (Merkezi İzdüşüm Denklemleri).....	12
2.1.1 Tek resim yöneltmesi	15
2.1.1.1 Orto-görüntü (ortofoto)	15
2.1.1.2 Çift resim yöneltmesi	16
2.2 Hava Triangülasyonu	18
2.2.1 Işın demetleri ile blok dengeleme	19
2.2.1.1 Katsayılar matrisi (B).....	21
2.2.1.2 Kolinearite eşitliklerinin doğrusallaştırılması	21
2.3 Doğrudan Coğrafi Konumlandırma.....	23
3. KÜRESEL KONUMLAMA SİSTEMİ VE İNERSİYAL NAVİGASYON SİSTEMİ GPS ve INS.....	25
3.1 Küresel Konumlama Sistemi(GPS).....	25
3.1.1 GPS hata kaynakları.....	27
3.1.2 GPS ile konum belirleme metotları.....	29
3.1.3 Diferensiyel ve birleştirilmiş GPS	30
3.1.4 TUSAGA-Aktif (CORS-TR)	31
3.2 İnersiyal Navigasyon Sistemi (INS).....	32
3.2.1 INS hata kaynakları.....	34
3.2.2 GPS/INS entegrasyonu	35
4. HATA ARTMASI	37
4.1 Hata Artma Yasası	37
4.2 Çift Resim Yöneltmesinde Hata Artması.....	40
4.3 Tek Resim Yöneltmesinde Hata Artması	41
5. UYGULAMA ve DEĞERLENDİRME.....	43
5.1 Matlab ile Hazırlanan Arayüz	43
5.1.1 Stereo modeller için hazırlanan arayüz	43
5.1.2 Ortofoto için hazırlanan arayüz.....	48
5.2 Stereo Modeller İçin Duyarlılık Analizi Uygulaması	52

5.2.1 10 cm YÖA Testi	52
5.2.1.1 Dengelenmiş değerler ile test	52
5.2.1.2 Doğrudan elde edilen GPS/IMU değerleri ile test	58
5.2.2 20 cm YÖA Testi	62
5.2.2.1 Dengelenmiş değerler ile test	62
5.2.2.2 Doğrudan elde edilen GPS/IMU değerleri ile test	67
5.2.3 30 cm YÖA Testi	70
5.2.3.1 Dengelenmiş değerler ile test	70
5.2.3.2 Doğrudan elde edilen GPS/IMU değerleri ile test	75
5.2.4 45 cm YÖA Testi	78
5.2.4.1 Dengelenmiş değerler ile test	78
5.2.4.2 Doğrudan elde edilen GPS/IMU değerleri ile test	83
5.2.5 Kontrol noktaları ile karşılaştırma.....	86
5.2.6 İnsansız hava aracı (İHA) ile konum duyarlılığı.....	90
5.2.6.1 Dengelenmiş değerler ile test	90
5.2.6.2 Doğrudan elde edilen GPS/IMU değerleri ile test	94
5.2.6.3 YKN ile karşılaştırma.....	96
5.3 Ortofoto İçin Duyarlılık Analizi Uygulaması.....	99
5.3.1 Dengelenmiş Dış Yönelme Parametreleri ile test	99
5.3.1.1 YUKPAF Verisinden elde edilen ortofoto	100
5.3.1.2 SRTM Verisinden elde edilen ortofoto	101
5.3.2 Doğrudan Elde Edilen Dış Yönelme Parametreleri ile test.....	102
5.3.2.1 YUKPAF verisinden elde edilen ortofoto.....	103
5.3.2.2 SRTM verisinden elde edilen ortofoto	104
5.3.2.3 Değerlendirme	107
5.3.2.4 Dış yönelme parametrelerinin ortofoto üzerindeki etkisinin incelenmesi	108
5.4 İstatiksel Değerlendirme.....	109
5.4.1 Güven Aralığı.....	109
5.4.2 Uyum Testi.....	110
6. SONUÇLAR	113
KAYNAKLAR.....	117
EKLER.....	121
ÖZGEÇMİŞ.....	151

KISALTMALAR

GPS	: Global Positioning System
GZK	: Gerçek Zamanlı Kinematik
IMU	: Inertial Measurement Unit
INS	: Inertial Navigation System
RÇM	: Resim Çekme Makinası
YKN	: Yer Kontrol Noktası
YÖA	: Yer Örnekleme Aralığı





SEMBOLLER

A, B	: Katsayılar Matrisi
c, f	: Kamera Sabiti
C	: Kovaryans Matrisi
M	: Rotasyon Matrisi
x_0, y_0	: Ana Nokta Koordinatları
X_0, Y_0, Z_0	: Koordinat eksenleri arasındaki öteleme
ω, φ, κ	: Koordinat eksenleri arasındaki dönüklük açıları
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$: X, Y ve Z Koordinat bileşenlerine ait konum duyarlılıkları



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Test sonuçları.	6
Çizelge 1.2 : Doğruluk sonuçları – Trenyolu güzergahı.....	10
Çizelge 3.1 : GPS uydu yörünge ve sinyal özellikleri.	26
Çizelge 5.1 : Kamera parametreleri.	52
Çizelge 5.2 : Dış yöneltme parametreleri	52
Çizelge 5.3 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları	52
Çizelge 5.4 : Dış yöneltme parametreleri.	58
Çizelge 5.5 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları	58
Çizelge 5.6 : Dış yöneltme parametreleri	62
Çizelge 5.7 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları	62
Çizelge 5.8 : Dış yöneltme parametreleri	67
Çizelge 5.9 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları	67
Çizelge 5.10 : Dış yöneltme parametreleri	70
Çizelge 5.11 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları	70
Çizelge 5.12 : Dış yöneltme parametreleri	75
Çizelge 5.13 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları	75
Çizelge 5.14 : Dış yöneltme parametreleri	78
Çizelge 5.15 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları	78
Çizelge 5.16 : Dış yöneltme parametreleri	83
Çizelge 5.17 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları	83
Çizelge 5.18 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları (10 cm YÖA).....	86
Çizelge 5.19 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları (20 cm YÖA).....	87
Çizelge 5.20 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları (30 cm YÖA).....	88
Çizelge 5.21 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları (45 cm YÖA).....	89
Çizelge 5.22 : İHA kamera parametreleri.....	90
Çizelge 5.23 : Dış yöneltme parametreleri	90
Çizelge 5.24 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları.	91
Çizelge 5.25 : Dış yöneltme parametreleri.	94
Çizelge 5.26 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları.	94
Çizelge 5.27: Dengelenmiş yöneltme parametreleri ile elde edilen duyarlılık karşılaştırması	96
Çizelge 5.28: GPS/IMU parametreleri ile elde edilen duyarlılık karşılaştırması.....	97
Çizelge 5.29 : Dış yöneltme parametreleri.	99
Çizelge 5.30 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları.	99
Çizelge 5.31 : Dengelenmiş dış yöneltme parametreleri ile YUKPAF yükseklik verisi kullanılan ölçümler.	100
Çizelge 5.32 : Bilinen hassas değerler ve ölçülen değerler ile farkları	100
Çizelge 5.33 : Dengelenmiş dış yöneltme parametreleri ile SRTM-30 yükseklik verisi kullanılan ölçümler.....	101

Çizelge 5.34 : Bilinen hassas değerler ve ölçülen değerler ile farkları.....	102
Çizelge 5.35 : Dış yöneltme parametreleri	102
Çizelge 5.36 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları.	103
Çizelge 5.37 : Dengelenmiş dış yöneltme parametreleri ile YUKPAF yükseklik verisi kullanılan ölçümler.....	103
Çizelge 5.38 : Bilinen hassas değerler ve ölçülen değerler ile farkları.....	103
Çizelge 5.39 : Dengelenmiş dış yöneltme parametreleri ile SRTM-30 yükseklik verisi kullanılan ölçümler.	104
Çizelge 5.40 : Bilinen hassas değerler ve ölçülen değerler ile farkları.....	105
Çizelge 5.41 : Ortofoto için sonuçların karşılaştırılması	105
Çizelge 5.42 : Stereo görüntü çiftleri için yapılan testlerin normal dağılım istatistikleri ($\alpha = 0.1$).	109
Çizelge 5.43 : Ortofoto için yapılan testlerin normal dağılım istatistikleri ($\alpha = 0.1$).....	110
Çizelge 5.44 : Stereo görüntü çiftleri için elde edilen örneklere ait t testi sonuçları	111
Çizelge 5.45 : Ortofoto için elde edilen örneklere ait t testi sonuçları	111

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Görüntü ve yersel koordinat sistemi arasındaki bağıntı.....	12
Şekil 2.2 : Rölyef yer değiştirme.....	16
Şekil 2.3 : Çift görüntü yöneltmesi.....	17
Şekil 2.4 : Fotograf bilinmeyenlerine ait dizayn matris bloğu.....	21
Şekil 2.5 : Fotograf bilinmeyenlerine ait dizayn matris bloğu.....	21
Şekil 2.6 : Işın demetleriyle blok dengeleme algoritması.....	24
Şekil 3.1 : GPS ile konum belirleme metotları.....	29
Şekil.3.2 : TUSAGA İstasyonlarının dağılımı.....	32
Şekil 3.3 : İnersiyal navigasyon sistemi.....	34
Şekil 5.1 : Matlab arayüzü genel görünümü (görüntü çifti için).....	44
Şekil 5.2 : Girdi dosyasının seçilmesi.....	44
Şekil 5.3 : Görüntü çiftinin seçilmesi seçilmesi.....	45
Şekil 5.4 : Görüntü noktalarının dağılım grafikleri.....	45
Şekil 5.5 : İlgili konum bileşenine ait renk dağılım haritası.....	46
Şekil 5.6 : İlgili konum bileşenine ait renk yüzey haritası.....	46
Şekil 5.7 : Görüntü çiftine ait nokta numaralarının seçimi.....	47
Şekil 5.8 : Yöneltme parametrelerinin konum duyarlılığına etkisi.....	47
Şekil 5.9 : Ortalama konum duyarlılıkları.....	48
Şekil 5.10 : Matlab arayüzü genel görünümü (tek görüntü için).....	48
Şekil 5.11 : Girdi dosyasının ve resmin seçilmesi.....	49
Şekil 5.12 : Görüntü noktalarının dağılımı.....	49
Şekil 5.13 : İlgili konum bileşenine ait renk dağılım haritası.....	50
Şekil 5.14 : İlgili konum bileşenine ait renk yüzey haritası.....	50
Şekil 5.15 : Ortalama konum duyarlılığı.....	51
Şekil 5.16 : Çıktı dosyası.....	51
Şekil 5.17 : Stereo model alanında görüntü koordinatlarının dağılımı.....	53
Şekil 5.18 : X koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	53
Şekil 5.19 : X koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.....	54
Şekil 5.20 : Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	54
Şekil 5.21 : Y koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.....	55
Şekil 5.22 : Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	55
Şekil 5.23 : Z koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.....	56
Şekil 5.24 : Yöneltme parametrelerinin X bileşenine etkisi.....	57
Şekil 5.25 : Yöneltme parametrelerinin Y bileşenine etkisi.....	57
Şekil 5.26 : Yöneltme parametrelerinin Z bileşenine etkisi.....	57
Şekil 5.27 : X koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	59
Şekil 5.28 : X koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.....	59
Şekil 5.29 : Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	60
Şekil 5.30 : Y koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.....	60
Şekil 5.31 : Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	61

Şekil 5.32 : Z koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği	61
Şekil 5.33 : Stereo model alanında görüntü koordinatlarının dağılımı.....	63
Şekil 5.34 : X koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	63
Şekil 5.35 : X koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.....	63
Şekil 5.36 : Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	64
Şekil 5.37 : Y koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.....	64
Şekil 5.38 : Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	64
Şekil 5.39 : Z koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği	65
Şekil 5.40 : Yönelme parametrelerinin X bileşenine etkisi	65
Şekil 5.41 : Yönelme parametrelerinin Y bileşenine etkisi	66
Şekil 5.42 : Yönelme parametrelerinin Z bileşenine etkisi.....	66
Şekil 5.43 : X koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	68
Şekil 5.44 : X koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.....	68
Şekil 5.45 : Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	68
Şekil 5.46 : Y koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.....	69
Şekil 5.47 : Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	69
Şekil 5.48 : Z koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği	69
Şekil 5.49 : Stereo model alanında görüntü koordinatlarının dağılımı.....	70
Şekil 5.50 : X koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	71
Şekil 5.51 : X koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.....	71
Şekil 5.52 : Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	72
Şekil 5.53 : Y koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.....	72
Şekil 5.54 : Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	72
Şekil 5.55 : Z koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği	73
Şekil 5.56 : Yönelme parametrelerinin X bileşenine etkisi	71
Şekil 5.57 : Yönelme parametrelerinin Y bileşenine etkisi	74
Şekil 5.58 : Yönelme parametrelerinin Z bileşenine etkisi.....	74
Şekil 5.59 : X koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	76
Şekil 5.60 : X koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.....	76
Şekil 5.61 : Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	76
Şekil 5.62 : Y koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.....	77
Şekil 5.63 : Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	77
Şekil 5.64 : Z koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği	77
Şekil 5.65 : Stereo model alanında görüntü koordinatlarının dağılımı.....	78
Şekil 5.66 : X koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	79
Şekil 5.67 : X koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.....	79
Şekil 5.68 : Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	80
Şekil 5.69 : Y koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.....	80
Şekil 5.70 : Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	80
Şekil 5.71 : Z koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği	81
Şekil 5.72 : Yönelme parametrelerinin X bileşenine etkisi	81
Şekil 5.73 : Yönelme parametrelerinin Y bileşenine etkisi	82
Şekil 5.74 : Yönelme parametrelerinin Z bileşenine etkisi.....	82
Şekil 5.75 : X koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	84
Şekil 5.76 : X koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.....	84
Şekil 5.77 : Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	84
Şekil 5.78 : Y koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.....	85
Şekil 5.79 : Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	85
Şekil 5.80 : Z koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği	85

Şekil 5.81	: Duyarlılık hesabı ve dengeleme sonuçları karşılaştırması (10cm YÖA).....	87
Şekil 5.82	: Duyarlılık hesabı ve dengeleme sonuçları karşılaştırması (20cm YÖA).....	88
Şekil 5.83	: Duyarlılık hesabı ve dengeleme sonuçları karşılaştırması (30cm YÖA).	89
Şekil 5.84	: Duyarlılık hesabı ve dengeleme sonuçları karşılaştırması (45cm YÖA).....	90
Şekil 5.85	: X koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	91
Şekil 5.86	: Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	91
Şekil 5.87	: Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.	92
Şekil 5.88	: Yönelme parametrelerinin Z bileşenine etkisi	92
Şekil 5.89	: Yönelme parametrelerinin Y bileşenine etkisi.....	93
Şekil 5.90	: Yönelme parametrelerinin X bileşenine etkisi	93
Şekil 5.91	: X koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	95
Şekil 5.92	: Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.....	95
Şekil 5.93	: Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.	95
Şekil 5.94	: Dengelenmiş yönelme parametreleri ile YKN karşılaştırması.....	97
Şekil 5.95	: Doğrudan elde edilen GPS/IMU parametreleri ile YKN karşılaştırması.	98
Şekil 5.96	: Dengelenmiş dış yönelme parametreleri ve YUKPAF ile elde edilen konum duyarlıkları karşılaştırması.	106
Şekil 5.97	: Dengelenmiş dış yönelme parametreleri ve SRTM-30 ile elde edilen konum duyarlıkları karşılaştırması.....	106
Şekil 5.98	: Doğrudan GPS/IMU değerleri ve YUKPAF ile elde edilen konum duyarlıkları karşılaştırması.....	107
Şekil 5.99	: Doğrudan GPS/IMU değerleri ve SRTM-30 ile elde edilen konum duyarlıkları karşılaştırması.....	107
Şekil 5.100	: Yönelme parametrelerinin X bileşenine etkisi	108
Şekil 5.101	: Yönelme parametrelerinin Y bileşenine etkisi	109
Şekil 5.102	: Yönelme parametrelerinin Z bileşenine etkisi	109



GERÇEK ZAMANLI KİNEMATİK (GZK) GPS YÖNTEMİ İLE FOTOGRAMETRİK UYGULAMALAR VE DOĞRULUK ARAŞTIRMASI

ÖZET

GPS/IMU sistemi, uçuş sırasında gerçekleştirilen ölçümler ile dış yöneltme elemanlarını doğrudan sağlayabilmektedir. Bu sistem fotogrametrik uygulamalarda (stereo model oluşturulması, orto rektifikasyon ve diğer dış yöneltme parametrelerine ihtiyaç duyulan uygulamalarda) hava triangülasyonu ihtiyacını kısmen azaltmıştır. Bunun yanında günümüzde, zaman ve maliyet önemli olduğu için, gerçek ya da yarı-gerçek (near-real, quasi-real) zamanlı çalışmalar hız kazanmıştır. Gerek çerçeve görüntü yöneltmesinde gerekse LIDAR (Light Detection and Ranging) uygulamalarında GPS/IMU önemli rol oynamaktadır.

GPS/IMU sistemi uçuş sonrası entegre edilerek doğrudan kullanılabilen ya da uçuş sonrasında elde edilen parametreler hava triangülasyonunda başlangıç değerler olarak kullanılabilir. GPS/IMU doğrudan kullanıldığında elde edilecek konum doğruluğu düşük olmakla birlikte maliyeti oldukça azaltmaktadır. Hava triangülasyonunda kullanıldığında ise görüntü eşleme doğruluğunu ve hızını oldukça arttırmaktadır. Gerek GPS/IMU entegrasyonu gerekse GPS/IMU destekli hava triangülasyonunda GPS ile elde edilen konum doğruluğu önemli rol oynamaktadır. GPS/IMU entegrasyonunda GPS ile elde edilen global konum doğruluğu ve IMU ile elde edilen rölatif konum doğruluğu kullanılarak elde edilen ölçüm ve hesaplamalar iyileştirilmektedir. Dış yöneltme parametrelerinden izdüşüm merkezi koordinatları (X_0, Y_0, Z_0), farklı GPS işleme yöntemleri ile çözülebilmektedir. Bunlardan özellikle GZK GPS günümüzde hız ve maliyet açısından tercih edilen bir yöntemdir. Ancak fiziksel olarak sinyal iletişiminin sağlanmasındaki güçlükler halen problem olarak bulunmaktadır. Günümüzde genellikle alçak irtifa uçuşu olduğu için İHA projelerinde GZK GPS kullanılmaya başlanmıştır.

Fotogrametrik yöneltmede doğrudan GPS/IMU değerleri kullanılacaksa konum doğruluğunun bilinmesi önem taşımaktadır. Fotogrametrik projelerde konum doğruluğu genelde deneysel olarak ve YKN (Yer Kontrol Noktası) kullanılarak belirlenmektedir. Ancak YKN inşası maliyetlidir ve her proje için yeterli sayıda bulunması her zaman mümkün olmamaktadır. Bu durumda hata artma yasası ile konum duyarlılığı hesaplamak mümkündür.

Tez çalışmasında GPS ve IMU hata kaynakları hakkında özet bilgi verilmiş ve hesapsal bir uygulama ile YKN olmadan GZK GPS yöntemi ile fotogrametrik yöneltmenin konum duyarlılığı belirlenmiştir. Fotogrametrik matematik modeli incelenmiş, izdüşüm denklemlerine hata artma yasası uygulanarak konum duyarlılığı hesaplanmıştır. Bu kapsamda 10 cm, 20 cm, 30 cm, 45 cm YÖA (Yer Örnekleme Aralığı)'na sahip stereo görüntüler üzerinde ve İHA görüntüleri üzerinde hesapsal uygulama ile YKN olmadan konum hassasiyeti belirlenmiş ve dengeleme sonuçlarından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak yapılan duyarlılık analizinin kullanılabilirliği test edilmiştir. Hata artma yasası uygulanarak her bir yöneltme

parametresinin konum duyarlılığına etkisi incelenmiş ve yorumlanmıştır. Konum duyarlılığı hesabı ve analizlerin gerçekleştirilmesi için MATLAB yazılımı kullanılarak bir arayüz hazırlanmıştır. Söz konusu arayüz ile hem stereo görüntü çiftleri hem de tek görüntü yöneltmesi için konum duyarlılığı hesabı ve analizi gerçekleştirilebilmektedir.

Tez kapsamında hazırlanan arayüz ile çeşitli projeler için konum duyarlılığı hesaplanmış ve analizi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan tüm projelerdeki izdüşüm merkezi koordinatları TUSAGA Aktif istasyonlarından faydalanarak GZK GPS yöntemi ile hesaplanmıştır. Her bir proje için dengelenmiş ve GPS/IMU entegrasyonu ile doğrudan elde edilmiş dış yöneltme parametreleri ile ayrı ayrı konum duyarlılığı hesabı ve analizi yapılmıştır. Bunun yanında bir İHA projesi için de söz konusu işlemler gerçekleştirilmiştir.

YKN ile yapılan karşılaştırmada hesap yöntemi ile yapılan duyarlılık tahmini ile dengeleme sonucunda elde edilen hatalar birbirine yakın değerler olmakla birlikte, duyarlılık tahmininin daha iyimser veya daha kötümser yapıldığı noktalar mevcuttur. Hesapsal olarak yapılan işlemde izdüşüm denklemlerinde bulunan parametrelerin duyarlılıkları kullanılmış ve diğer hata kaynakları göz ardı edilmiştir. Bu yüzden hesapsal olarak elde edilen değerlerin bazı noktalarda iyimser veya kötümser olarak sonuç verdiği değerlendirilmektedir. Bunun yanında hesaba katılan parametre duyarlılıklarının da önemi olduğu bilinmektedir. Duyarlılık hesabı oldukça ayrıntılı bir konu olup parametrelere ait ölçüm duyarlılıklarının (apriori değerler) hesaplanması ayrıca araştırılması gerekmektedir. Hazırlanan yazılımda parametre duyarlılıkları ne kadar iyi bilinirse elde edilen sonuçlar o kadar gerçeğe yakın çıkması beklenmektedir. Bununla birlikte t testi yapılarak söz konusu iki örneklem ortalamaları arasında istatistiksel olarak %95 güven seviyesinde anlamlı bir farkın olmadığı tespit edilmiş ve yapılan uygulamanın kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, GZK GPS yönteminin fiziksel koşullar sağlandığı takdirde kullanılabilir olduğunu ve yapılan duyarlılık hesabı uygulamasının YKN olmayan projelerde kullanılabileceğini göstermektedir. Ölçülerin duyarlılığının hesaplanması için ayrı bir çalışma yapılabileceği ve benzer uygulamanın LIDAR verileri için de gerçekleştirilebileceği değerlendirilmektedir.

PHOTOGRAMMETRIC APPLICATIONS AND ACCURACY RESEARCH WITH REAL TIME KINEMATIC (RTK) GPS METHOD

SUMMARY

Collinearity equations forms the mathematical model of the single image orientation and/or stereo image orientation in photogrammetry. The unknowns of these equations are the interior and exterior orientation parameters. When metric cameras are used, the interior orientation parameters are generally known values. Exterior orientation parameters can be obtained by measurement and/or calculation method. The fundamental mathematics of photogrammetry is to obtain external orientation parameters. Within the historical development process, technological and mathematical measurements and calculation methods have improved both in terms of cost and accuracy. GPS (Global Positioning System) and IMU (Inertial Measurement Unit), which are used in many areas, have also contributed considerably to the photogrammetry in the measurement and calculation of exterior orientation elements.

GPS/IMU is widely used in photogrammetry and remote sensing applications. This system partially reduced the need for air-triangulation in photogrammetric applications (in applications where stereo modeling, ortho-rectification and other exterior orientation parameters are needed). In addition, real-time or near-real-time mapping has gained momentum nowadays because time and cost are important. GPS/IMU plays an important role in LIDAR (Light Detection and Ranging) applications as well as frame image orientation.

With the GPS/IMU system created by the combination of IMU and GPS, it is possible to provide exterior orientation elements directly as a result of measurements performed during flight. Thus, the exterior orientation parameters required for the orientation of the photographs can be obtained GPS/IMU integration after flight without the need for air triangulation.

Orientation of images using GPS/IMU data and obtaining the terrain coordinates is called "Direct Georeferencing". When the orientation parameters are known, theoretically it seems that the need for air triangulation and Ground Control Point to be removed but still it is necessary to determine geometrical accuracy obtained by direct georeferencing. The direct orientation accuracy obtained by the GPS/IMU integration is related with GPS and IMU accuracy. Therefore, it is important to know the positional accuracy determined by the GPS and IMU errors. The orientation parameters are determined as result of the GPS/IMU integration. However, in GPS/IMU supported air triangulation, using GPS/IMU as initial values of the exterior orientation parameters increases the accuracy of bundle block adjustment and provides more accuracy and speed for automatic determination of the tie points.

Positional accuracy plays an important role both in the GPS/IMU supported air triangulation and GPS/IMU integration. The projection center coordinates (X_0 , Y_0 , Z_0) from the external orientation parameters can be acquired from different GPS processing methods. The solution with differential GPS is obtained from kinematic differential solution of a fixed GPS station installed on the ground and GPS in the plane. Here, it is aimed to eliminate satellite trajectory and clock errors with two GPS measurements at the same time. The GPS, which is fixed on ground, automatically downloads the ephemeris file from the satellites during the measurement. In the differential solution, the stationary GPS station data belongs to the GPS receiver in the aircraft and base solution is made using the ephemeris file. Alternatively, Precise Point Positioning can be performed with using the more accurate ephemeris data that is published after a while.

RTK (Real-Time Kinematic) GPS method provides accurate coordinates by using the correction parameters published by the GPS stations observing continuously. In this thesis, I have used the fixed GPS network TUSAGA (Turkish National Fixed GPS Network). TUSAGA is an active system of homogeneously distributed network of 146 GPS stations performing continuous observations (1 sec) on a 24 hour basis. Thanks to this system, GPS error sources can be modeled based on continuous observations and correction parameters can be calculated instantaneously. The advantage of using the RTK GPS network is that it can better model the atmospheric effects that has a significant effect on GPS accuracy. This is expected to increase the accuracy of GPS observations. Despite RTK GPS is a real-time application, for this situation there is no way to apply corrections in real time because of physical and technical drawbacks, so application of correction parameters and making the analysis have to be done as post processing. All the applications mentioned as real time in my thesis are near-real, quasi-real applications.

RTK GPS method is at the forefront nowadays because real-time mapping studies are accelerating. In particular, studies related to LIDAR (Light Detection and Ranging) applications are being carried out. However, RTK GPS is not widely used in photogrammetric projects. RTK GPS studies are mostly concentrated on LIDAR applications and there is not much place both in the national and international literature.

The accuracy of GPS solution in GPS/IMU Supported Air Triangulation and Direct Georeferencing method has a direct effect on the accuracy of the result. The accuracy obtained by GPS process has to be known because of lack of point to check in projects that do not have any GCP.

GPS/IMU systems have long been used in the field of photogrammetry. However, the positional accuracy achieved by GPS/IMU is still a research topic. In the thesis, positional precision and the effect of exterior orientation parameters on positional precision is analyzed for photogrammetric applications with RTK GPS solution and IMU integration.

Positional accuracy in photogrammetric projects is generally determined empirically with GCPs. However, GCP construction is costly and it is not always possible to have sufficient number for each project. In this case, it is possible to calculate the positional precision with the error propagation law.

In my thesis study, GPS and INS error sources are summarized and positional accuracy is determined without GCPs with a calculation method. By implementing the error propagation law, the effect on the positional precision of each orientation parameter is examined and interpreted. On the other hand, the accuracy obtained with the existing exterior orientation parameters is calculated on various projects. In this context, the photogrammetric mathematical model is examined and the positional precision is calculated by applying the error propagation law to the collinearity equations. The effect of the exterior orientation parameters in the projection equations on the position precision is analyzed. An interface has been developed using MATLAB software for positional precision calculations and analysis. With this interface, positional precision and analysis can be performed for both stereo image pairs and single image orientation.

With the interface prepared, positional precision and analysis have been performed for various projects. The projected center coordinates of all projects calculated by using RTK GPS method using CORS-TR stations. For each project, positional precision calculations and analysis were performed with exterior orientation parameters obtained by both GPS/IMU integration and aerial triangulation. In addition to this, the same procedures were also carried out for an UAV project.

All test values within the scope of the thesis study are given and evaluated in the related sections. In summary, when the influence of the orientation parameters on the position precision is evaluated:

It is seen that the X and Y position components are influenced by the orientation parameters close to each other and also effected in the same direction. Accordingly, it affects the X and Y positional components of the parameters X_0 and Y_0 individually and shows a linear increase. Z_0 component has little effect on X and Y positional precision. The precision of the rotation parameters cause a positional precision of up to 3 m, which is proportional to the flight height in the range of 0° to 0.01° , and shows a linear increase. It is seen that the precision of the PPA (Principal Point of Auto-collimation) values and the point measurement also considerably affect the horizontal position precision.

When the influence of the orientation parameters on the Z position component is examined, it is seen that when the precision of X_0 , Y_0 is between 0 to 1 m the positional precision is up to 1 m and when the precision of rotation is between 0 - 0.01 the positional precision is up to 2-3 m. The Z_0 parameter affects the Z component of the position component approximately in one direction. The PPA and the point measurement precision also affect the Z position precision considerably. Precision for all the components affect the Z position component by a linear increase.

When the general results for orthophoto are examined; The positional precision in orthophoto produced by using the adjusted exterior orientation parameters is better than the position precision in the orthophotos produced by using direct GPS/IMU data. Using the YUKPAF (DTM acquired by 10 m contour data) data more accurate results are obtained compare to SRTM-30 data. These results are already known and expected results. It is natural and expected to obtain better orthophotos with more precise exterior orientation parameters and/or altitude data.

When the results of UAV project is examined separately; it is evaluated that the precision of GPS/IMU values are low, so that the block adjustment is inevitable and that the flight should be close to normal flight (orientation angles should be small). In addition, more GCPs are needed for UAV projects compared to standard aerial photogrammetry.

According to the findings obtained by comparison with the GCPs, the computational method and the empirically obtained errors are close to each other but there are some results that the positional precision estimates are made more optimistic or more pessimistic. In the computational process, the precision of the parameters which are used in the collinearity equations and other sources of errors are ignored. Therefore, it is considered that the values obtained by computation are optimistic or pessimistic at some points. It is also known that the parameter precision used in calculations are also important. Determination of apriori values of measurements used in calculations is a very detailed issue and needs to be investigated furthermore. With using the well-known parameter precision in the developed software, results are expected to reflect reality. However, it is determined that there is no statistically significant difference in %95 confidence level between the two sample averages by means of t test and it is determined that the application can be used.

The results show that RTK GPS method can be used for photogrammetric applications if physical and technical conditions are available and the software prepared for precision calculation is usable for the projects if there is no GCP. A furthermore study may be performed to calculate the apriori values of precisions of the measurements and also a similar application may be performed for LIDAR data.

1. GİRİŞ

Fotogrametride tek görüntü yöneltmesi ve/veya çift görüntü yöneltmesinin matematik modelini, merkezi izdüşüm denklemleri oluşturmaktadır. Bu denklemlerin bilinmeyenleri iç ve dış yöneltme parametreleridir. Metrik hava kameraları kullanıldığında genellikle iç yöneltme parametreleri bilinen değerlerdir. Dış yöneltme parametreleri ise ölçüm ve/veya hesap yöntemi ile elde edilebilmektedir. Fotogrametrinin matematiksel problemi ise bu dış yöneltme parametrelerinin elde edilmesidir. Tarihsel gelişim süreci içinde teknolojik ve matematiksel olarak ölçüm ve hesap yöntemleri hem maliyet hem de doğruluk açısından gelişme göstermiştir. Birçok alanda kullanılan GPS ve IMU da dış yöneltme elemanlarının ölçümü ve hesaplanmasında fotogrametriye oldukça katkı sağlamıştır.

GPS/IMU sistemlerinin fotogrametri ve uzaktan algılamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistem fotogrametrik uygulamalarda (stereo model oluşturulması, düşeye çevirme ve diğer dış yöneltme parametrelerine ihtiyaç duyulan uygulamalarda) hava triangulasyonu ihtiyacını kısmen azaltmıştır. Bunun yanında günümüzde, zaman ve maliyet önemli olduğu için, gerçek ya da yarı-gerçek (near-real, quasi-real) zamanlı çalışmalar (gerçek zamanlı haritalama) hız kazanmıştır. Gerek çerçeve görüntü yöneltmesinde gerekse LIDAR (Light Detection and Ranging) uygulamalarında GPS/IMU önemli rol oynamaktadır.

IMU (Inertial Measurement Unit) ve GPS' in birlikte kullanılmasıyla oluşturulan GPS/IMU sistemi ile uçuş sırasında gerçekleştirilen ölçümler sonucunda dış yöneltme elemanlarını doğrudan sağlayabilmektedir. Böylece fotoğrafların yöneltmesi için gerekli olan dış yöneltme parametreleri, hava triangulasyonuna ihtiyaç duyulmaksızın uçuş sonrasında yapılan GPS/IMU entegrasyonu sonucunda elde edilebilmektedir.

Doğrudan GPS/IMU verileri kullanılarak fotoğrafların/görüntülerin yöneltmesi ve arazi koordinatlarının elde edilmesi "Doğrudan Coğrafi Konumlandırma" olarak adlandırılmaktadır. Yöneltme parametrelerinin biliniyor olması, hava triangulasyonu

ve dolayısıyla Yer Kontrol Noktası (YKN) ihtiyacını teorik olarak ortadan kaldırmış olarak görünse de doğrudan coğrafi konumlandırma ile elde edilen geometrik doğruluk göz önünde bulundurularak hangi projelerde kullanılabilceğinin belirlenmesi gerekmektedir. GPS/IMU entegrasyonu ile elde edilen doğrudan yöneltme doğruluğu GPS ve IMU doğruluğu ile ilişkilidir. Bu yüzden kullanılan GPS ve IMU hatası, GPS/IMU entegrasyonu sonucunda alınan yöneltme parametreleri ile belirlenen konum doğruluğunun bilinmesi önemlidir. Bununla birlikte GPS/IMU destekli hava triangulasyonunda dış yöneltme parametrelerinin başlangıç değerleri olarak kullanılması blok dengeleme doğruluğunu arttırmakta ve bağlama noktalarının otomatik belirlenmesinde daha fazla hassasiyet ve hız sağlamaktadır.

Gerek GPS/IMU entegrasyonu gerekse GPS/IMU destekli hava triangulasyonunda GPS ile elde edilen konum doğruluğu önemli rol oynamaktadır. Dış yöneltme parametrelerinden izdüşüm merkezi koordinatları (X_0, Y_0, Z_0), farklı GPS işleme yöntemleri ile çözülebilmektedir. Bunlardan Diferensiyel GPS ile çözüm, yerde kurulan bir sabit GPS istasyonu ve uçakta bulunan GPS'in kinematik diferensiyel çözümü ile gerçekleştirilmektedir. Burada aynı anda iki GPS ölçümü ile uydu yörünge ve saat hatalarının giderilmesi amaçlanmaktadır. Yerde ölçü yapan GPS, ölçü esnasında uyduların yayınladığı efemeris dosyasını otomatik olarak indirmektedir. Diferansiyel çözümde, sabit GPS istasyonu verileri uçakta bulunan GPS alıcısına ait veriler ve efemeris dosyası kullanılarak baz çözümü yapılmaktadır. Buna alternatif olarak, bir süre sonra yayınlanan hassas efemeris verisi kullanılarak Hassas Nokta Konumlandırması (Precise Point Positioning) da yapılabilmektedir.

GZK GPS yönteminde ise sürekli gözlem yapan GPS istasyonlarının yayınladığı düzeltme parametreleri kullanılarak hassas koordinatlar elde edilebilmektedir. Bu tez çalışmasında sabit GPS istasyon ağı TUSAGA (Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı) faydalanılacaktır. TUSAGA Aktif sitemi Türkiye'ye homojen olarak dağılmış 146 adet 24 saat esasına göre sürekli gözlem yapan (1 sn'lik) bir ağıdır. Bu sistem sayesinde GPS hata kaynaklarını yaptığı sürekli gözlemlere dayanarak modellemekte ve anlık düzeltmeleri hesaplanabilmektedir. GZKGPS ağını kullanmanın avantajı, GPS doğruluğuna önemli ölçüde etkilediği bilinen atmosferik etkilerin daha iyi modellenmesidir. Bunun da doğruluğu arttırması beklenmektedir. GZK GPS gerçek zamanlı bir uygulama olmakla birlikte fiziksel olarak gerçek zamanlı uygulama olanağı bulunmadığından ve özellikle uçuş şartlarında sinyal

haberleşmesinin kısıtları bulunduğundan, uygulama ve analizler uçuş sonrası veri işleme olarak gerçekleştirilecektir. Bu tez çalışmasında gerçek zamanlı olarak bahsedilen tüm uygulamalar yarı-gerçek zamanlı (near-real, quasi-real) uygulamalardır.

Gerçek zamanlı haritalama çalışmalarının hız kazandığı günümüzde GZK GPS yöntemi ön plana çıkmaktadır. Özellikle LIDAR (Light Detection and Ranging) uygulamaları ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bununla birlikte, GZK GPS hava fotoğrafı çekimi projelerinde yaygın olarak kullanılmamaktadır. GZK GPS çalışmaları daha çok LIDAR uygulamalarında yoğunlaşmış olup, hava fotogrametrisinde gerek yurt dışı gerekse yurt içi literatürde fazla yer bulmamaktadır.

GPS/IMU Destekli Hava Triangulasyonunda ve Doğrudan Coğrafi Konumlandırma yönteminde GPS çözümünün doğruluğu, elde edilecek sonuç doğruluğuna doğrudan etki etmektedir. Yer Kontrol Noktası bulunmayan projelerde kontrol edilecek nokta bulunmadığından, GPS veri işleme ile elde edilen doğruluğun bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

GPS/IMU sistemleri uzun zamandır fotogrametri alanında kullanılmaktadır. Bununla birlikte GPS/IMU ile elde edilen konum hassasiyeti halen araştırma konusudur. Tez çalışmamda fiziksel olarak gerçekleştirilmesi hava fotogrametrisi için her zaman mümkün olmasa da GZK GPS çözümü ve IMU entegrasyonu ile gerçekleştirilecek fotogrametrik uygulamalardaki konum hassasiyeti ve dış yöneltme parametrelerinin konum duyarlılığına etkisi incelenmiştir.

Fotogrametrik projelerde konum duyarlılığı genelde ampirik olarak YKN ile belirlenmektedir. Ancak YKN inşası maliyetlidir ve her proje için yeterli sayıda bulunması her zaman mümkün olmamaktadır. Bu durumda konum duyarlılığını hata artma yasası ile hesaplamak mümkündür.

Bu tez çalışmasında GPS ve IMU hata kaynakları hakkında özet bilgi verilmiş ve bir uygulama ile YKN olmadan konum hassasiyeti hesaplanmıştır. Hata artma yasası uygulanarak her bir yöneltme parametresinin konum duyarlılığına etkisi incelenmiş ve yorumlanmıştır. Bunun yanında mevcut dış yöneltme parametreleri ile elde edilecek doğruluk örnek bir proje üzerinde hesapsal olarak belirlenmiştir. Bu

kapsamda fotogrametrinin matematik modeli incelenmiş, izdüşüm denklemlerine hata artma yasası uygulanarak konum duyarlılığı hesaplanmıştır. İzdüşüm denklemlerinde bulunan dış yöneltme parametrelerinin konum hassasiyetine etkisi analiz edilmiştir. Konum hassasiyeti hesabı ve analizlerin gerçekleştirilmesi için MATLAB yazılımı kullanılarak bir arayüz tasarlanmıştır. Söz konusu arayüz ile hem stereo fotoğraf çiftleri hem de tek görüntü yöneltmesi için konum hassasiyeti ve analizi gerçekleştirilebilmektedir.

Tez kapsamında tasarlanan arayüz ile çeşitli projeler için konum hassasiyeti ve analizi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan tüm projelerdeki izdüşüm merkezi koordinatları TUSAGA Aktif istasyonlarından faydalanarak GZK GPS yöntemi ile hesaplanmıştır. Her bir proje için dengelenmiş ve GPS/IMU entegrasyonu ile doğrudan elde edilmiş dış yöneltme parametreleri ile ayrı ayrı konum hassasiyeti hesabı ve analizi yapılmıştır. Bunun yanında bir İHA projesi için de söz konusu işlemler gerçekleştirilmiştir.

1.2 Literatür Taraması:

Birçok disiplinde fotogrametrik uygulamalar artış göstermekte, mühendislik ve diğer alanlarda, görüntü ve görüntü üzerindeki nesnelerin koordinatları farklı hassasiyet ve doğruluklarla kullanılmaktadır. Görüntülerin yöneltmesi fotogrametride kolinearite eşitlikleri ile mümkündür. Kolinearite eşitliklerinin temel bilinmeyenleri ise dış yöneltme parametreleridir. Dolayısıyla konum doğruluğu ve yöneltme parametrelerinin doğruluğu arasında lineer bir ilişki vardır. Yöneltme parametreleri, GPS/IMU varsa doğrudan GPS/IMU entegrasyonu ve GPS/IMU destekli hava triangulasyonu ile elde edilebilmektedir. Ayrıca LIDAR uygulamalarında GPS/IMU doğruluğu ve hata analizi önem arz etmektedir. Bu yüzden GPS/IMU hata kaynakları, hava triangulasyonu doğruluğu, hava triangulasyonunda maliyetin azaltılması için YKN gereksinimi ve doğrudan yöneltme doğruluğu, hataları ve analizleri birçok fotogrametrik araştırmaya konu olmuştur. Bu konulardaki araştırmalar ve iyileştirme çalışmaları ise devam etmektedir. Bu bölümde bu kapsamda yapılan çalışmalar araştırılarak kısa bilgiler verilmiştir.

GPS verisi klasik olarak sonradan veri işleme ile, konum verisi olarak fotogrametrik dengelemeye dâhil edilir. Bu uygulamanın belirgin faydaları olmakla birlikte, GPS verilerini başka yollarla dengelemeye dâhil etmek mümkündür. Ellum (2012) GPS

pesudo gözlemlerini ışın demetleriyle blok dengelemeye doğrudan dâhil etmenin yolunu araştırmıştır. Yapılan testler sonucunda GPS belirsizlik probleminin blok dengelemeye dâhil edildiği sonuçların, tek nokta istasyonu gözlemleri ile yapılan dengeleme sonuçlarına kıyasla daha doğru olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında her iki durumda da hassas yörünge ve saat bilgilerinin dâhil edilmesinin doğruluğu arttırdığı belirtilmiştir.

Burman (2002) GPS/IMU verileri ile doğrudan coğrafi konumlandırma doğruluğunu ve sonuçların kullanılabilirliğini araştırmıştır. Doğrudan konumlandırma ve blok dengeleme ile elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır. GPS/IMU verilerinin doğrudan konumlandırma için yeterli olduğunu blok dengeleme ile doğruluğun arttırıldığını ifade etmiştir.

Kruck (2001), Blok dengelemeye kesin bir GPS modelini dâhil ederek sonuçları iyileştirme çalışmasını gerçekleştirmiştir. Söz konusu rigorous GPS modeli gerçek GPS uydu geometrisini kullanmakta ve tüm GPS hatalarını dikkate almaktadır. Bunun yanında kolonların ve tüm bloğun geometrisi korunmaktadır. Geometrinin güçlendirilmesi çapraz kolonların kullanılma gerekliliğini ortadan kaldırmıştır. Bu yaklaşımın GPS konum düzeltmelerini tüm blok için bu fonksiyonel GPS modelini kullanarak hesaplayabildiği tespit edilmiştir.

Schaer ve diğ. (2008), tarafında yapılan çalışmada uçuş esnasında kaydedilen verinin kalite kontrolünü sağlayan bir araç tanıtılmıştır. Bu araç GPS/IMU verisini gerçek zamanlı olarak işlemekte ve lazer verilerini konumlandırmakta, aynı zamanda taranan verileri anlık olarak görüntülemekte ve açık alanları tespit etmektedir. Bu çalışmada LIDAR verilerinin gerçek zamanlı kalite kontrolü test edilmiştir. Yapılan testte GPS verisi nokta konumlama (point positioning) modunda elde edilmiştir. Bu yüzden gerçek zamanlı elde edilen nokta bulutunun konum doğruluğu metre seviyesinde kalmıştır. Ancak yine de bu seviyedeki doğruluk, gerçek zamanlı uçuş esnasında projenin tamlığının sağlanması açısından yeterlidir.

Cramer ve diğ. (2001), klasik ışın demetleri ile blok dengeleme, doğrudan coğrafi konumlandırma ve GPS/IMU ile blok dengeleme sonuçları ampirik olarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca doğrudan yöneltmede çeşitli blok varyasyonları denenmiş ve farklı baz istasyonları ile doğrudan yöneltme yapılarak karşılaştırılmıştır. Yapılan ampirik çalışmanın karşılaştırma sonuçları Çizelge 1.de sunulmuştur.

Çizelge 1.1 : Test sonuçları.

Yaklaşım	YKN	KN	RMS (cm)		
			x	y	z
Blok Dengeleme	9	122	4.5	6.3	12.1
Doğrudan Yönelme	0	131	8.8	11.9	17.8
GPS/IMU + Blok	1	130	13	9.5	13.3
Dengeleme (SK)	1	130	5.2	9.2	13.3

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar doğrudan coğrafi konumlandırma ile bazı fotogrametrik işlemlerde (ortofoto üretimi, esnek blok dizaynı vb.) oldukça fayda sağladığı, bazı projelerde doğrudan yöneltmenin kullanılabilceği ifade edilmiştir. Bunun yanında en güvenilir yöntemin GPS/IMU ile blok dengeleme olduğu vurgulanmıştır.

Legat ve diğ. (2013)'de havadan mobil haritalamanın prensipleri incelenmiş, gerçek zamanlı GPS/IMU verilerinin işlenmesi ve bu verilerin kalite kontrol ile ilgili sonuçları sunulmuştur. Sonradan veri işleme yapılmış veriler ile quasi gerçek zamanlı (gerçek zamanlı koşullarında fakat sonradan işlenmiş) işlenmiş veriler karşılaştırılmıştır. Gerçek zamanlı verilerin işlenmesi fiziksel olarak gerçekleştirilemediğinden bu yöntem kullanılmıştır. Kullanılan iki yöntem arasında konumsal olarak $\pm 3m$, dönüklüklerde ise 0.2° olduğu tespit edilmiştir. GPS/IMU verilerinin gerçek zamanlı işlenmesinin önemli olduğu, elde edilen sonuçların beklentileri karşıladığı ve bundan sonraki çalışmaların gerçek zamanlı kinematik uygulamalarda kullanılmasına yönelik olacağı belirtilmiştir.

Jeong ve diğ. (2016) İHA üzerine yerleştirilen metrik olmayan bir kamera ile elde edilen ortofoto doğruluğunu araştırmıştır. Bu çalışmada iç yöneltme parametrelerinin etkisi ortaya konmuştur. Kamera kalibrasyonu yapılarak elde edilen iç yöneltme parametreleri ile yapılan analizde 0.02 m konum doğruluğu, kalibrasyonsuz değerler ile yapılan analizde 1.97 m konum doğruluğu elde edilmiştir.

Gerke ve diğ. (2016) İHA ile elde edilen görüntü bloklarında doğruluk analizi yaparak GZK GPS ve çapraz kolon etkisini incelemiştir. Çalışmanın ilk motivasyonu olarak çapraz kolonların etkisi incelenmiş, kamera parametrelerinin hassas olarak belirlenmesinin önemli olduğu vurgulanmış, özellikle self kalibrasyon için çapraz kolonların kullanılmasının ve fazla sayıda YKN kullanılmasının doğruluğu arttırdığı tespit edilmiştir. İkinci motivasyon olarak ise İHA üzerine

yerleştirilmiş GZK GPS ile elde edilen sonuçlar analiz edilmiş ve GZK GPS çözümlerinin DGPS ile yapılan çözümlere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Chiang ve diğ. (2011), yersel araçlar için gerçek zamanlı GPS/IMU navigasyon sistemi geliştirilmiştir. GPS belirsizliği ve IMU nun sistematik hataları araştırılmıştır. Navigasyon sistemi dâhilinde geliştirilen GPS/IMU entegrasyonu için kullanılan algoritmanın özelliği anormal GPS ölçümlerini elemine etmesi olarak belirtilmiştir. Yapılan testler sonucu elde edilen sonuçlar kullanılan algoritmanın etkinliğini ve kullanılabilir olduğunu kanıtlamıştır.

Victor (2006), dış yöneltme parametrelerinin belirlenmesinde uçakta GPS kullanımının ve yer kontrol noktalarının ve doğruluk belirlenmesi için kullanılan kontrol noktalarının GZK-GPS ile belirlenmesinin büyük ölçekli harita yapımında uygulanması incelenmiştir. Uçakta bulunan GPS ile kinematik GPS uygulaması yapılarak blok dengeleme yapılmıştır. Blok dengelemede YKN'ları ve kontrol noktaları GZK-GPS ile ölçülmüştür. Test sonucunda elde edilen doğruluğun yeterli seviyede olduğu ve GZK-GPS in hem blok içinde dağılım için esneklik sağladığı hem de zaman ve maliyet açısından avantajlı olduğu belirtilmiştir.

Passini ve diğ. (2002), GPS destekli hava triangulasyonu konusu ayrıntılı olarak incelenmiş, YKN sayısı ve dağılımı, bağlama noktası sayısı ve dağılımı, GPS verisinin blok dengelemeye etkisi, çapraz kolonların dengelemedeki etkisi ve bunların kombinasyonları ile ampirik testler yapılarak sonuçlar incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda elde edilen sonuçlara göre:

- Kinematik GPS destekli hava triangulasyonunda blok köşelerinde YKN olması yeterlidir, blok içindeki YKN doğruluğu önemli ölçüde etkilememektedir.
- Çapraz kolonların başında ve sonunda olmak üzere her çapraz kolon için 2 adet YKN yeterlidir.
- Büyük ölçekli çalışmalar ya da mühendislik çalışmaları için GPS destekli hava triangulasyonuna ek kontroller gerekebilir. Çapraz kolonlarda 10 modelden az olmayacak şekilde YKN yeterlidir.
- Çapraz kolonlarda GPS verisine ihtiyaç yoktur.

- Kinematik GPS verisinin sistematik hataları YKN sayısının artırılmasıyla daha iyi giderilebilmektedir. Ancak çapraz kolonlardaki minimum gerekli YKN da sistematik hataları giderebilmekte ve kabul edilebilir sonuçlar elde edilebilmektedir.

- Büyük bloklarda ortadaki çapraz kolonda GPS verisi kullanılmayabilir.

- Bağlama noktaları ile ilgili olarak; kolonların son modelleri ve çapraz kolonlardaki her model arasında bir adet bağlama noktası Kinematik GPS sistematik hatalarını gidermek için yeterli olmaktadır.

- Kolonlar arasında her modelde bir adet YKN'na ihtiyaç duyulmaktadır. Aksi takdirde istenmeyen yükseklik farkları meydana gelebilir.

Mostafa (2005), GPS konumlama teknikleri incelenmiş, hata kaynakları ve sonuç doğruluğa etkileri açıklanmıştır. Diferensiyel GPS tekniği, nokta konumlama (single point positioning) ve CORS (Continuous Operating Reference Stations) ile çoklu istasyon verileri ile konumlama incelenmiş avantaj ve dezavantajları ortaya konmuştur. Referans istasyonlarının örnekleme aralığı fazla olduğunda (5 sn den fazla) 1 sn aralıklarla elde edilen konuma göre 0.03 -0.1 m arasında konum doğruluğunu etkilediği, bunun da büyük ölçekli uygulamalarda önemli olduğu belirtilmiştir. CORS istasyonları ile elde edilen sonuçların güvenilir ve kullanılabilir olduğu, bunun yanında kalite kontrol amacı ile de kullanılabileceği belirtilmiştir.

Strecha (2011) İHA görüntüleri için otomatik fotogrametrik tekniklerinin doğruluğunu incelemiştir. İHA görüntüleri için çözünürlüğün dolayısıyla uçuş yüksekliğinin doğrulukla doğrusal bir ilişkisinin olduğunu ortaya koymuştur. Uçuş sonrası elde edilen yöneltme parametrelerinin yoğun ve otomatik görüntü eşleme ile iyileştirildiğini, görüntü çözünürlüğü 5 cm ve 10 cm olan veri setleri ile yaptığı testlerde YKN olmadan 2-8 m, YKN ile 0.05-0.2 m doğruluğun elde edilebildiğini ortaya koymuştur.

Nocenio ve diğ. (2013) arkeolojik bir bölgede, İHA ve yersel fotogrametride 3 mm çözünürlüklü görüntüler ve 1:20 ölçeğinde çizimler doğrultusunda doğruluk ve blok deformasyonu ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir. İHA veya yersel olarak elde edilen görüntü kolonları ile her ne kadar ışın demetleri ile blok dengeleme sonuçlarında alınan istatistik değerler uygun gibi görünse de yüksek doğruluk elde edilememiş ve oblik görüntülerin çalışmaya dâhil edilmesi ile sonuçlar

iyileştirilebilmiştir. Elde edilen sonuçlar klasik dijital kamera ile hava fotogrametrisi sonuçları ile kıyaslandığında yeterli olmadığı belirtilmiştir.

Skaloud ve diğ. (2009) LİDAR verisinin uçuş esnasında gerçek zamanlı konumlandırılması için desimetre altı doğrulukla bir metodoloji ortaya koymuştur. Söz konusu metodolojin uçuş sonrası yapılan veri işleme sonuçları ile karşılaştırılmış ve %90 oranında kullanılabilir olduğu belirtilmiştir.

Mohamed (2001) baz istasyonu olmadan, sürekli gözlem yapan (CORS) kontrol ağıyla dış yöneltme parametrelerinin elde edilmesi konusunu incelemiştir. CORS istasyonları ile elde edilen doğruluk yatayda 0.05 – 0.23 m arasında, düşeyde ise 0.09 - 0.38 m arasında değişmektedir. Doğrudan konumlandırma olarak değerlendirildiğinde küçük ölçekli çalışmalar için yeterli olabileceği ancak büyük ölçekli çalışmalar için tek başına yeterli olmadığı, DGPS ve CORS istasyonlarının birlikte kullanılmasının doğruluğu arttırdığı belirtilmiştir.

Benassi ve diğ. (2017) GZK GPS destekli hava triangulasyonu ile İHA bloklarının yöneltme doğruluğunu test etmiştir. Yerden 80 m uçuş yüksekliğinde alınmış İHA görüntüleri ile yapılan çalışmada, YKN olmadan GZK çözümü sonucunda kontrol noktalarında yatay konum doğruluğu 2-3 cm, düşey konum doğruluğu ise 2-10 cm arasında değiştiği belirtilmiştir. Hava triangulasyonunda YKN sayısının artırılmasının doğruluğu önemli derecede etkilediği, en azından bir adet YKN kullanılmasının doğruluğu arttırdığı belirtilmiştir.

Krsak ve diğ. (2016) sayısal yükseklik modellerinde düşük maliyetli İHA fotogrametrisinin kullanımının doğruluğu üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. 35 m uçuş yüksekliği ile elde edilen 0.01 m çözünürlüklü İHA görüntüleri ile 10 adet YKN ile yapılan hava triangulasyonu sonucunda ortalama konum hatasının 0.02 m olduğu tespit edilmiştir. Yüksek çözünürlüklü görüntüler sayesinde daha ayrıntılı bir model elde edilebildiği belirtilmiş, sayısal yükseklik modeli üzerinde yapılan testlerde ise yükseklik farkının 0.05 m ile 0.8 m arasında değiştiği, ortalama hatanın 0.08 m olduğu tespit edilmiştir.

Müller ve diğ. (2014) yükseklik farkının fazla olduğu bir bölgede, yüksek çözünürlüklü farklı kamera görüntüleri (HRSCA, RC30, ADS40, ADS80) ile üretilmiş sayısal yükseklik modeli doğruluğunu araştırmışlardır. HRSC-A, RC30, ADS40 ve ADS80 kameraları ile yapılan test sonucunda sırası ile 0.97 m, 0.71 m,

0.53 m ve 0.55 m KOH elde edilmiştir. Bölgesel olarak yapılan analizlerde eğimin sayısal yükseklik modeli doğruluğuna etkisinin fazla olduğu, testleri yapılan satır tarayıcı kameraların dağlık bölgelerde yüksek doğrulukla sayısal yükseklik modeli elde edebildikleri belirtilmiştir.

Udin ve Ahmad (2014) düşük maliyetli İHA görüntüleri ile büyük ölçekli haritalama konusunda bir doğruluk araştırması yapmıştır. 40 m, 60m, 80 m ve 100 m uçuş yüksekliklerinde Y6 ile elde edilen İHA görüntüleri ile gerçekleştirilen hava triangülasyonunda sırasıyla 0.25 m, 0.26 m, 0.28 m ve 0.30 m KOH elde edilmiştir. Sonuçların küçük alanlarda yapılacak büyük ölçekli çalışmalar için kullanılabilir olduğu vurgulanmıştır.

Mian ve diğ. (2016) küçük İHA platformlarında doğrudan yöneltmenin doğruluğunu araştırarak değerlendirmişlerdir. Bir tren yolu güzergahında yapılan test sonucu Çizelge 1.2’de sunulmuştur.

Çizelge 1.2 : Doğruluk sonuçları – Tren yolu güzergahı.

	2 kolon %50 yan bindirme, hava triangülasyonu	Tek kolon, hava triangülasyonu	Tek kolon doğrudan yöneltme
KOH Yatay Doğruluk	0.092	0.079	0.116
KOH Düşey Doğruluk	0.118	0.255	0.391

Klasik hava triangülasyonu ile karşılaştırıldığında doğrudan yöneltme ve GPS/IMU destekli hava triangülasyonunun işlem süresini de oldukça azalttığı belirtilmiştir.

Uysal ve diğ. (2015), İHA fotogrametrisi ile elde edilen sayısal yükseklik modeli doğruluğunu araştırmışlardır. 60 m uçuş yüksekliği ile alınan görüntüler ile 30 adet kontrol noktası ile yapılan test sonucunda 6.62 cm yükseklik doğruluğu elde edildiğini belirtmişlerdir.

2. FOTOGRAMETRİK YÖNELTME

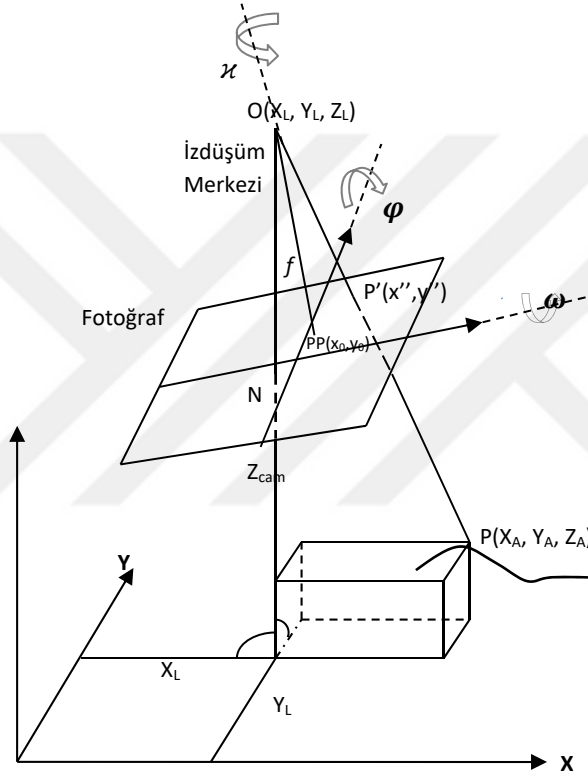
Bu bölümde fotogrametrinin matematik modeli incelenmiş, çift görüntü ve tek resim yöneltmesi için gerekli işlemler hakkında bilgi verilmiştir.

Bir görüntü objeden yansıyan ışınların tek bir izdüşüm merkezinden geçerek iki boyutlu bir düzleme kaydedilmesi ile oluşmaktadır. 3 boyutlu uzayın iki boyutlu temsilidir ve merkezi izdüşüm geometrisine sahiptir. Tek bir görüntü ile iç ve dış yöneltme parametreleri bilindiği takdirde görüntü noktası ve izdüşüm merkezinden geçen ışının doğrultusu belirlenebilir ancak üç boyutlu arazi koordinatları elde edilemez. 3 boyutlu koordinatlar, bindirmeli görüntü çiftlerinde her iki görüntüde aynı arazi noktasına ait görüntü noktası ve izdüşüm merkezinden geçen ışınların kesiştirilmesi ile elde edilir. Tek bir görüntünün yöneltmesi için ise, görüntü noktası ve izdüşüm merkezinden geçen ışının yeryüzünü kestiği noktanın bilinmesi gerekmektedir. Dolayısıyla görüntünün yeryüzünde kapladığı alanın yükseklik bilgisinin varlığına ihtiyaç göstermektedir.

Tek görüntü ya da çift resim yöneltmesinin yapılabilmesi için her bir görüntüye ait iç (kamera sabiti ve asal nokta kayıklığı) ve dış yöneltme parametrelerinin (izdüşüm merkezi koordinatları ve dönüklükler) bilinmesi gerekmektedir. Dış yöneltme parametreleri ölçüm yoluyla (GPS/IMU) doğrudan elde edilebilir ya da yer kontrol noktaları yardımıyla hesaplanabilir. GPS/IMU dış yöneltme parametrelerini bize doğrudan belirli hassasiyetlerde sağlayabilmektedir. Doğrudan elde edilen bu yöneltme parametreleri kullanılarak tek görüntü ya da çift görüntüden koordinat elde etme işlemine Doğrudan Coğrafi Konumlandırma (Direct Georeferencing) adı verilmektedir. GPS/IMU mevcut değilse veya sağladığı hassasiyet yeterli değilse YKN'ları yardımıyla uzaysal geriden kestirme yapılarak Hava Triangulasyonu işlemi ile her bir görüntüye ait dış yöneltme parametreleri belirlenmektedir. Her iki durumda da temel matematiksel model merkezi izdüşüm geometrisine dayanmaktadır.

2.1 Matematiksel Model (Merkezi İzdüşüm Denklemleri)

Şekil 2.1, çerçeve görüntü ve yersel koordinat sistemi arasındaki bağıntıyı göstermektedir. Çevre görüntü geometrisinin (frame image) temel karakteristiği izdüşüm merkezi (O), görüntü noktası P' ve buna karşılık gelen arazi noktası P nin tek bir doğru üzerinde olmasıdır. Bu doğru, görüntü koordinat sisteminde ve yersel koordinat sisteminde vektör bileşenleri olarak ifade edilebilir. Bu görüntü ve yersel koordinat sistemi arasındaki bağıntı üç dönüklük parametresi ile ifade edilebilir.



Şekil 2.1 : Görüntü ve yersel koordinat sistemi arasındaki bağıntı.

N nadir noktası,

PP ana nokta koordinatları,

P', P arazi noktasının görüntü üzerindeki konumu

x'', y'' P noktasının görüntü koordinatları

Kolinearite eşitlikleri iç ve dış yönelme parametreleri ile yazılabilir.

Kameranın iç yönelme parametreleri;

- f ve c kamera sabiti (mm)

- x_0, y_0 ana nokta koordinatları koordinatları(mm)
- k_1, k_2 distorsiyon parametreleri

Dış Yönelme parametreleri;

- X_L, Y_L, Z_L İzdüşüm merkezi koordinatları (Fotoğraf çekim anındaki)
- ω, φ, κ Görüntü Koordinat sistemi ve Yersel Koordinat sistemi arasındaki dönüklük
- M (3 x 3) dönüklük matrisi

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Dönüklük matrisi ortogonal olduğu için bir önceki formül aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M^T \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

(2.1) ve (2.2) de verilen eşitliklerde iki koordinat sisteminin orijinlerinin aynı olduğu ve aralarında ölçek farkının olmadığı varsayılmıştır. Bu faktörleri de göz önüne alırsak ve görüntü koordinatlarına ana nokta koordinatları düzeltmesini getirip, kamera sabiti z koordinatı olarak belirlersek aşağıdaki formül (2.3) elde edilir.

$$\begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -c \end{bmatrix} = kM \begin{bmatrix} X - X_L \\ Y - Y_L \\ Z - Z_L \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

M matrisi elemanları ile yazılacak olursak;

$$\begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -c \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{31} & m_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_L \\ Y - Y_L \\ Z - Z_L \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Yukarıdaki eşitlikte sağ tarafın çarpma işlemini gerçekleştirdiğimizde üç adet skalar eşitlik elde ederiz.

$$x - x_0 = k * [(X_A - X_L) * m_{11} + (Y_A - Y_L) * m_{12} - (Z_A - Z_L) * m_{13}] \quad (2.5)$$

$$y - y_0 = k * [(X_A - X_L) * m_{21} + (Y_A - Y_L) * m_{22} - (Z_A - Z_L) * m_{23}] \quad (2.6)$$

$$-c = k * [(X_A - X_L) * m_{31} + (Y_A - Y_L) * m_{32} - (Z_A - Z_L) * m_{33}] \quad (2.7)$$

(2.5) ve (2.6) denklemlerini (2.7) ile bölersek ölçek faktörü elenir ve aşağıdaki formüller elde edilir (Wolf ve Dewit, 2000).

Merkezi İzdüşüm Denklemleri:

$$x = x_0 - c * \frac{[(X_A - X_L) * m_{11} + (Y_A - Y_L) * m_{12} - (Z_A - Z_L) * m_{13}]}{[(X_A - X_L) * m_{31} + (Y_A - Y_L) * m_{32} - (Z_A - Z_L) * m_{33}]} \quad (2.8)$$

$$y = y_0 - c * \frac{[(X_A - X_L) * m_{21} + (Y_A - Y_L) * m_{22} - (Z_A - Z_L) * m_{23}]}{[(X_A - X_L) * m_{31} + (Y_A - Y_L) * m_{32} - (Z_A - Z_L) * m_{33}]} \quad (2.9)$$

$$X_A = X_L - (Z - Z_L) * \frac{[(x - x_0) * m_{11} + (Y_A - Y_L) * m_{21} - (Z_A - Z_L) * m_{31}]}{[(x - x_0) * m_{13} + (Y_A - Y_L) * m_{23} - (Z_A - Z_L) * m_{33}]} \quad (2.10)$$

$$Y_A = Y_L - (Z - Z_L) * \frac{[(x - x_0) * m_{12} + (Y_A - Y_L) * m_{22} - (Z_A - Z_L) * m_{32}]}{[(x - x_0) * m_{13} + (Y_A - Y_L) * m_{23} - (Z_A - Z_L) * m_{33}]} \quad (2.11)$$

M Rotasyon matrisi üç ekseninde ω , φ , κ açıları kadar sırasıyla döndürülürse;

$$M = M_\kappa * M_\varphi * M_\omega \quad (2.12)$$

$$M_\omega = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\omega) & \sin(\omega) \\ 0 & -\sin(\omega) & \cos(\omega) \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

$$M_\varphi = \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & 0 & -\sin(\varphi) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\varphi) & 0 & \cos(\varphi) \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

$$M_{\kappa} = \begin{bmatrix} \cos(\kappa) & \sin(\kappa) & 0 \\ -\sin(\kappa) & \cos(\kappa) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Fotogramtride resim yöneltmesi iç ve dış yöneltme olarak iki kavramla ifade edilebilir. Bu parametreler hem izdüşüm merkezi ve görüntü düzlemi arasındaki bağıntıyı (iç yöneltme) hem de izdüşüm merkezi ve arazi arasındaki bağıntıyı (dış yöneltme) oluşturan parametrelerdir. Yukarıda açıklanan ve merkezi izdüşüm denklemlerinde bulunan yöneltme parametreleri hem tek resim yöneltmesinde hem de çift resim yöneltmesinde bilinmesi gereken parametrelerdir.

2.1.1 Tek resim yöneltmesi

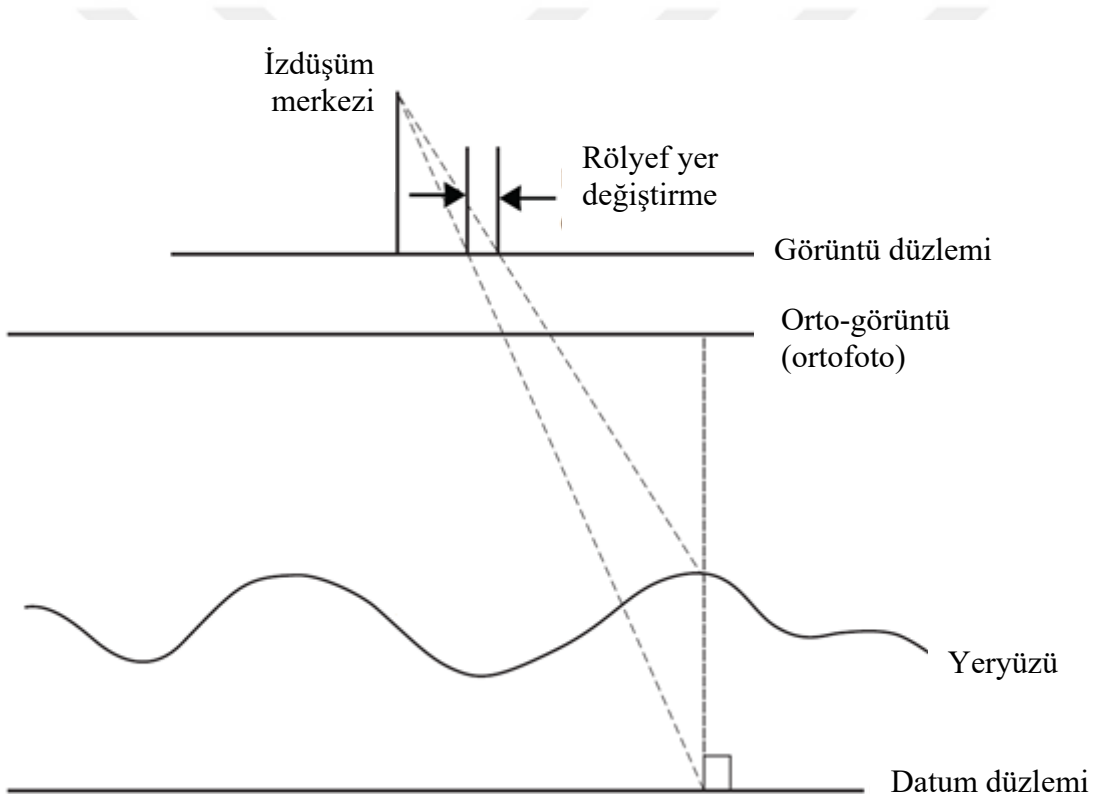
Fotogrametrinin temel prensiplerinden bilindiği üzere normal koşullarda, tek bir görüntü üzerinden üç boyutlu arazi koordinatlarının elde edilmesi mümkün değildir. Başka bir deyişle 2 boyutlu uzaydan 3 boyutlu uzaya geçilemez. İç ve dış yöneltmesi yapılmış tek bir resmin temsil edildiği Şekil 2.1’de izdüşüm merkezi (O), görüntü noktası P’ ve buna karşılık gelen arazi noktası P nin tek bir doğru üzerinde olduğu görülmektedir. Buna göre görüntü üzerindeki nokta ve izdüşüm merkezinden geçer ve \overline{OP} doğrusu üzerinde herhangi bir yerde olabilir. Yani iç ve dış yöneltme parametreleri bilinen tek görüntü üzerindeki bir nokta izdüşüm merkezinin oluşturduğu ışının doğrultusunda sonsuz noktaya karşılık gelmektedir. Bu yüzden görüntü üzerinde noktanın arazideki konumunun bulunabilmesi için o noktaya ait yükseklik (Z) değerinin bilinmesi gerekmektedir.

(2.10) ve (2.11) eşitlikleri incelendiğinde de eşitliğin çözülebilmesi için eşitliğin sağ tarafında bulunan iç ve dış yöneltme parametreleri dışında Z yükseklik değerinin de bilinmesi gerektiği görülmektedir. Bu durumda iki eşitlik de çözülebilir ve görüntü üzerindeki noktaya ait olan X_A ve Y_A koordinat değerleri hesaplanabilir.

2.1.1.1 Orto-görüntü (Ortofoto)

Bilindiği üzere bir görüntü üzerindeki noktalar projektif izdüşümle 2 boyutlu bir düzlem üzerine kaydedilmişlerdir. Görüntü üzerinde bulunan noktalar temsil ettiği arazi yüzeyindeki yükseklik farkından dolayı ve 2 boyutlu bir düzleme izdüşürüldükleri için her bir pikselin ölçeği farklıdır ve konumu hatalıdır. Bu rölyef

yer değiştirme olarak adlandırılır (şekil 2.2). Her bir piksel için (2.10) ve (2.11) eşitlikleri ile o noktaya ait arazi koordinatları hesaplandığında aslında görüntünün tamamı projektif izdüşümden ortogonal izdüşüme dönüşümü gerçekleştirilmiş olmaktadır. Böylece arazi koordinatları bilinen bir piksel kümesinden oluşan yeni bir görüntü oluşmaktadır. Oluşan bu piksel kümesi yükseklik farkının heryerde eşit olmadığından orjinal görüntüdeki gibi düzenli grid aralığında değildir. Bu yüzden bu piksel kümesini yeniden örnekleme ile düzenli grid oluşturulmalıdır. Yeniden örnekleme sonrası elde edilen görüntü ortogonal izdüşümde koordinatları bilinen ve eşit ölçekte bir görüntüdür. Bu oluşan yeni görüntü orto-görüntü (ortofoto) olarak adlandırılmaktadır. Orto görüntü üzerinden koordinat alınabilir ve metrik işlemler gerçekleştirilebilir.

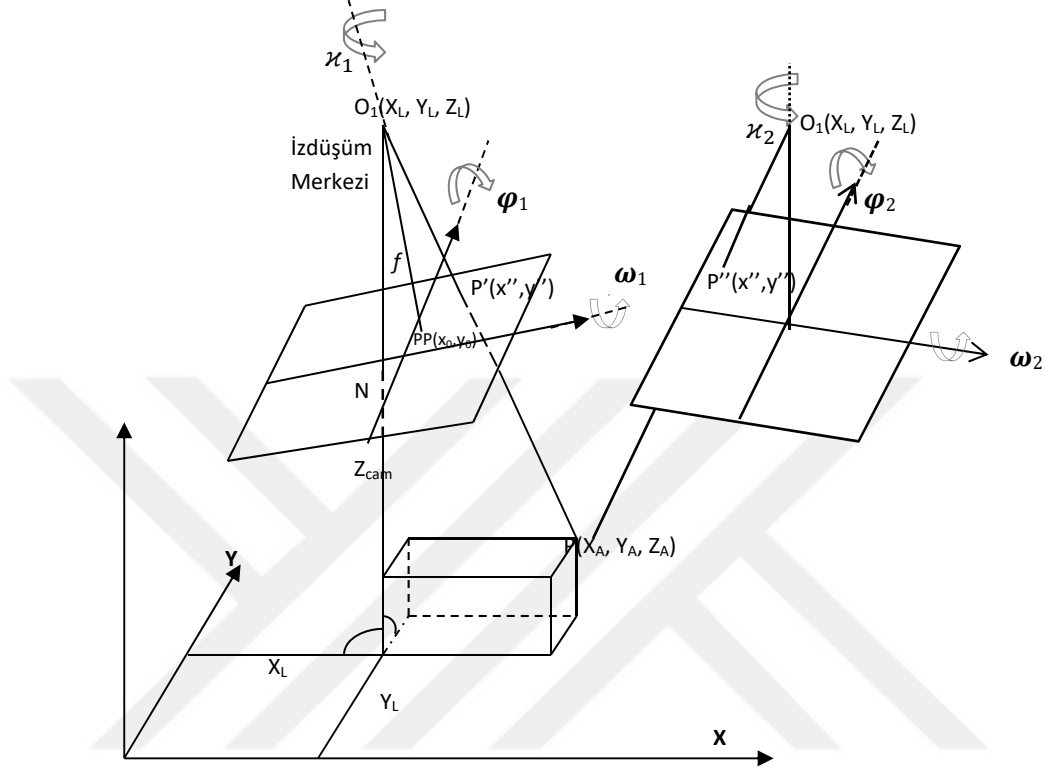


şekil 2.2 : Rölyef yer değiştirme.

2.1.2 Çift resim yöneltmesi

Bindirmeli olarak alınmış ve bir çift görüntü geometrik olarak incelendiğinde (şekil 2.3), görüntü çekim anındaki konum ve dönüklükleri bilindiğinde sol görüntüye ait merkezi izdüşüm ve görüntü noktasının oluşturduğu ışın $O'P'$ ile sağ görüntüye ait merkezi izdüşüm ve görüntü noktasının oluşturduğu ışın $O''P''$ yeryüzünde gerçek konumundaki noktada kesişmektedirler. $O'P'$ ve $O''P''$ ışınları kolinear ya da

homolog ışınlar olarak bilinmektedir. (2.8) - (2.11) eşitlikleri kolineer eşitlikleri ya da merkezi izdüşüm eşitlikleri olarak adlandırılmaktadır. Bu durumda iç ve dış yöneltme parametreleri bilinen bir çift görüntü yönetilebilmektedir.



Şekil 2.3 : Çift resim yöneltmesi.

Görüntü koordinatlarından arazi koordinatlarına dönüşüm için (2.10) ve (2.11) eşitlikleri iki görüntü için yeniden düzenlenirse;

$$(x - x_0) * m_{11} + (Y_A - Y_L) * m_{21} - (Z_A - Z_L) * m_{31} = u \quad (2.16)$$

$$(x - x_0) * m_{12} + (Y_A - Y_L) * m_{22} - (Z_A - Z_L) * m_{32} = v \quad (2.17)$$

$$(x - x_0) * m_{13} + (Y_A - Y_L) * m_{23} - (Z_A - Z_L) * m_{32} = w \quad (2.18)$$

Sol görüntü için;

$$X_A = X_{L1} - (Z - Z_{L1}) * \frac{u_1}{w_1} \text{ ve } Y_A = Y_{L1} - (Z - Z_{L1}) * \frac{v_1}{w_1} \quad (2.19)$$

Sağ görüntü için;

$$X_A = X_{L2} - (Z - Z_{L2}) * \frac{u_2}{w_2} \text{ ve } Y_A = Y_{L2} - (Z - Z_{L2}) * \frac{v_2}{w_2} \quad (2.20)$$

(2.19) ve (2.20) eşitliklerinden görüldüğü üzere X_A ve Y_A koordinat değerlerinin hesaplanabilmesi için dış yöneltme parametreleri dışında eşitliklerin sağ tarafında bulunan Z değerinin çözülmesi gerekmektedir. Bunun için sol veya sağ görüntüdeki X_A denklemleri eşitlenerek Z değeri hesaplanabilir.

$$Z = \frac{X_{L2} w_1 w_2 - Z_{L2} w_1 u_2 + Z_{L1} u_1 w_2 - X_{L1} w_1 w_2}{u_1 w_2 - u_2 w_1} \quad (2.21)$$

Yukarıda gerçekleştirilen işlem Y_A denklemleri için de uygulanarak bir Z değeri daha hesaplanarak, bulunan iki Z değerinin ortalaması alınabilir. Daha sonra bulunan Z değeri (2.19) ve (2.20) denklemlerinde yerine konularak X_A ve Y_A koordinat değerleri hesaplanabilir. Bunun dışında her iki resme ait toplam 4 denklem ve 3 adet bilinmeyen olduğu için “En Küçük Kareler” yöntemi ile de X_A , Y_A ve Z_A değerleri hesaplanabilir. Böylece 2 boyutlu görüntü uzayından 3 boyutlu uzaya dönüşüm gerçekleştirilir (Wolf ve Dewit, 2000).

2.2 Hava Triangulasyonu

Bölüm 2.1 de tek ve çift resim yöneltmesi açıklandı. Fotogrametride yöneltmenin iç ve dış yöneltme elemanları ile mümkün olduğundan bahsedilmiştir. İç yöneltme elemanları metrik kameralarda hassas olarak bilinmektedir. Bununla birlikte dış yöneltme elemanları da GPS/IMU sayesinde uçuş sonrasında elde edilebilmektedir. Ancak GPS/IMU bulunmadığı ve/veya GPS/IMU doğruluğunun yeterli olmadığı durumlarda dış yöneltme elemanlarının hesaplanması veya iyileştirilmesi gerekmektedir.

Dış yöneltme parametrelerinin hesabı, yerde hassas koordinatları bilinen YKNları ile görüntü düzlemi arasında yapılan bir geriden kestirme işlemidir. Bunun için sadece YKNları kullanıldığında çok fazla YKN inşası gerektiğinden maliyet oldukça fazladır. Bir fotogrametrik blok düşünüldüğünde, bloğa ait her görüntü için 6 adet bilinmeyen vardır ve bunun çözülebilmesi için en az her model için 6 adet bilinene ihtiyaç olduğundan oldukça fazla YKN ihtiyacı bulunmaktadır. Hesap işlemleri için ihtiyaç duyulan YKN sayısını azaltmak için görüntülerin bindirme alanlarında en az 2 görüntü içinde bulunan noktalar her bir görüntü için ölçülmektedir. Bu ölçülen görüntü noktalarına bağlama noktaları adı verilmektedir. Bağlama noktaları tüm blok içinde ve görüntülerde ölçülür. Her bir bağlama noktası ölçüldüğünde aslında hesabın içine bilinen değer yerine o görüntü noktasına ait (2.18) ve (2.19) eşitlikleri olarak en 2 adet bağlama noktası ölçü olarak eklenir. Bu bağlama noktası ise en az 2 adet görüntüde olacağı için hesaba aslında en az 4 adet ölçüm denklemi ve 3 adet bilinmeyen (o noktaya ait arazi koordinatları) olarak hesaba dahil edilmiş olur. Bu şekilde tüm blokta bağlama noktaları ölçülerek, ölçüler ve bilinenlerin (genelde tüm blok içinde köşelerde olacak şekilde 4 adet YKN'a ait arazi koordinatları) toplam sayısı, toplam bilinmeyen sayısına eşit veya fazla olduğunda çözüm gerçekleştirilebilir.

Bağlama noktası ölçümü ve dış yöneltme parametrelerinin çözüm işlemlerinin süreci hava triangülasyonu olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde bağlama noktaları güçlü bilgisayarlarda yazılımlar tarafından görüntü eşleme teknikleri ile otomatik olarak yapılmaktadır.

2.2.1 Işın demetleri ile blok dengeleme

Işın Demetleri ile blok dengeleme, tüm bloktaki herbir resmin izdüşüm merkezinden geçen ışın demetlerinin (bağlama noktaları ve buna karşılık gelen arazi noktaları arasındaki ışınlar) tek seferde aynı anda çözülmesidir.

Blok dengeleme için dolaylı model dengelemesine ait formüller aşağıda verilmiştir.

$$N = B^T * W_e * B \quad (2.22)$$

$$t = B^T * W_e * f \quad (2.23)$$

$$W_{xx} = Q_{xx}^{-1} \quad (2.24)$$

$$\delta_x = (N + W_{xx})^{-1} * t \quad (2.25)$$

$$\hat{x} = x + \delta_x \quad (2.26)$$

$$k = W_e * (f - B * \delta_x) \quad (2.27)$$

$$Q = W^{-1} \quad (2.28)$$

$$v = Q * A^T * k \quad (2.29)$$

$$\hat{l} = l^0 + v \quad (2.30)$$

$$Q_{xx} = (N + W_{xx})^{-1} \quad (2.31)$$

$$Q_{xx} = (N + W_{xx})^{-1} \quad (2.32)$$

$$r = mu - u + ux \quad (2.33)$$

$$\sigma_0^2 = \frac{v^T * W * v + \delta_x^T * W_{xx} * \delta_x}{r} \quad (2.34)$$

$$C_x = Q_{xx} * \sigma_0^2 \quad (2.35)$$

$$\sigma_x^{\wedge} = \sqrt{\text{diag}(\sigma_x^{\wedge})} \quad (2.36)$$

$$\sigma_0^{\wedge} = \sqrt{\sigma_0^{\wedge 2}} \quad (2.37)$$

$$q = (X_A - X_L) * m_{(3,1)} + (Y_A - Y_L) * m_{(3,2)} - (Z_A - Z_L) * m_{(3,3)} \quad (2.40)$$

$$r = (X_A - X_L) * m_{(1,1)} + (Y_A - Y_L) * m_{(1,2)} - (Z_A - Z_L) * m_{(1,3)} \quad (2.41)$$

$$s = (X_A - X_L) * m_{(2,1)} + (Y_A - Y_L) * m_{(2,2)} - (Z_A - Z_L) * m_{(2,3)} \quad (2.42)$$

$$X_A - X_L = \Delta X \quad Y_A - Y_L = \Delta Y \quad Z_A - Z_L = \Delta Z \quad (2.43)$$

$$\frac{\partial F}{\partial \omega} = \frac{c}{q^2} * [(r * (-m_{(3,3)} * \Delta Y + m_{(3,2)} * \Delta Z) - q * (-m_{(1,3)} * \Delta Y + m_{(1,2)} * \Delta Z)] \quad (2.44)$$

$$\frac{\partial F}{\partial \varphi} = \frac{c}{q^2} * [(r * (\cos \varphi * \Delta X + \sin \omega * \sin \varphi * \Delta Y - \cos \omega * \sin \varphi * \Delta Z) - q * (-\sin \varphi * \cos \kappa * \Delta X + \sin \omega * \cos \varphi * \cos \kappa * \Delta Y - \cos \omega * \cos \varphi * \cos \kappa * \Delta Z)] \quad (2.45)$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial \kappa} = -\frac{c}{q^2} * (m_{(2,1)} * \Delta X + m_{(2,2)} * \Delta Y + m_{(2,3)} * \Delta Z) \quad (2.46)$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial X_L} = -\frac{c}{q^2} * (r * m_{(3,1)} - q * m_{(1,1)}) \quad (2.47)$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial Y_L} = -\frac{c}{q} * (r * m_{(3,2)} - q * m_{(1,2)}) \quad (2.48)$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial Z_L} = -\frac{c}{q^2} * (r * m_{(3,3)} - q * m_{(1,3)}) \quad (2.49)$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial X_A} = \frac{c}{q^2} * (r * m_{(3,1)} - q * m_{(1,1)}) \quad (2.50)$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial Y_A} = \frac{c}{q^2} * (r * m_{(3,2)} - q * m_{(1,2)}) \quad (2.51)$$

$$\frac{\partial F_x}{\partial Z_A} = \frac{c}{q^2} * (r * m_{(3,3)} - q * m_{(1,3)}) \quad (2.52)$$

$$\frac{\partial F_y}{\partial \omega} = \frac{c}{q^2} * [(s * (-m_{(3,3)} * \Delta Y + m_{(3,2)} * \Delta Z) - q * (-m_{(2,3)} * \Delta Y + m_{(2,2)} * \Delta Z)] \quad (2.53)$$

$$\frac{\partial F_y}{\partial \varphi} = \frac{c}{q^2} * [(s * (\cos \varphi * \Delta X + \sin \omega * \sin \varphi * \Delta Y - \cos \omega * \sin \varphi * \Delta Z) - q * (-\sin \varphi * \cos \kappa * \Delta X + \sin \omega * \cos \varphi * \cos \kappa * \Delta Y - \cos \omega * \cos \varphi * \cos \kappa * \Delta Z)] \quad (2.54)$$

$$\frac{\partial F_y}{\partial \kappa} = -\frac{c}{q} * (m_{(1,1)} * \Delta X + m_{(1,2)} * \Delta Y + m_{(1,3)} * \Delta Z) \quad (2.55)$$

$$\frac{\partial F_y}{\partial X_L} = -\frac{c}{q^2} * (s * m_{(3,1)} - q * m_{(2,1)}) \quad (2.56)$$

$$\frac{\partial Fy}{\partial Y_L} = -\frac{c}{q^2} * (s * m_{(3,2)} - q * m_{(2,2)}) \quad (2.57)$$

$$\frac{\partial Fy}{\partial Z_L} = -\frac{c}{q^2} * (r * m_{(3,3)} - q * m_{(2,3)}) \quad (2.58)$$

$$\frac{\partial Fy}{\partial X_A} = \frac{c}{q^2} * (s * m_{(3,1)} - q * m_{(2,1)}) \quad (2.59)$$

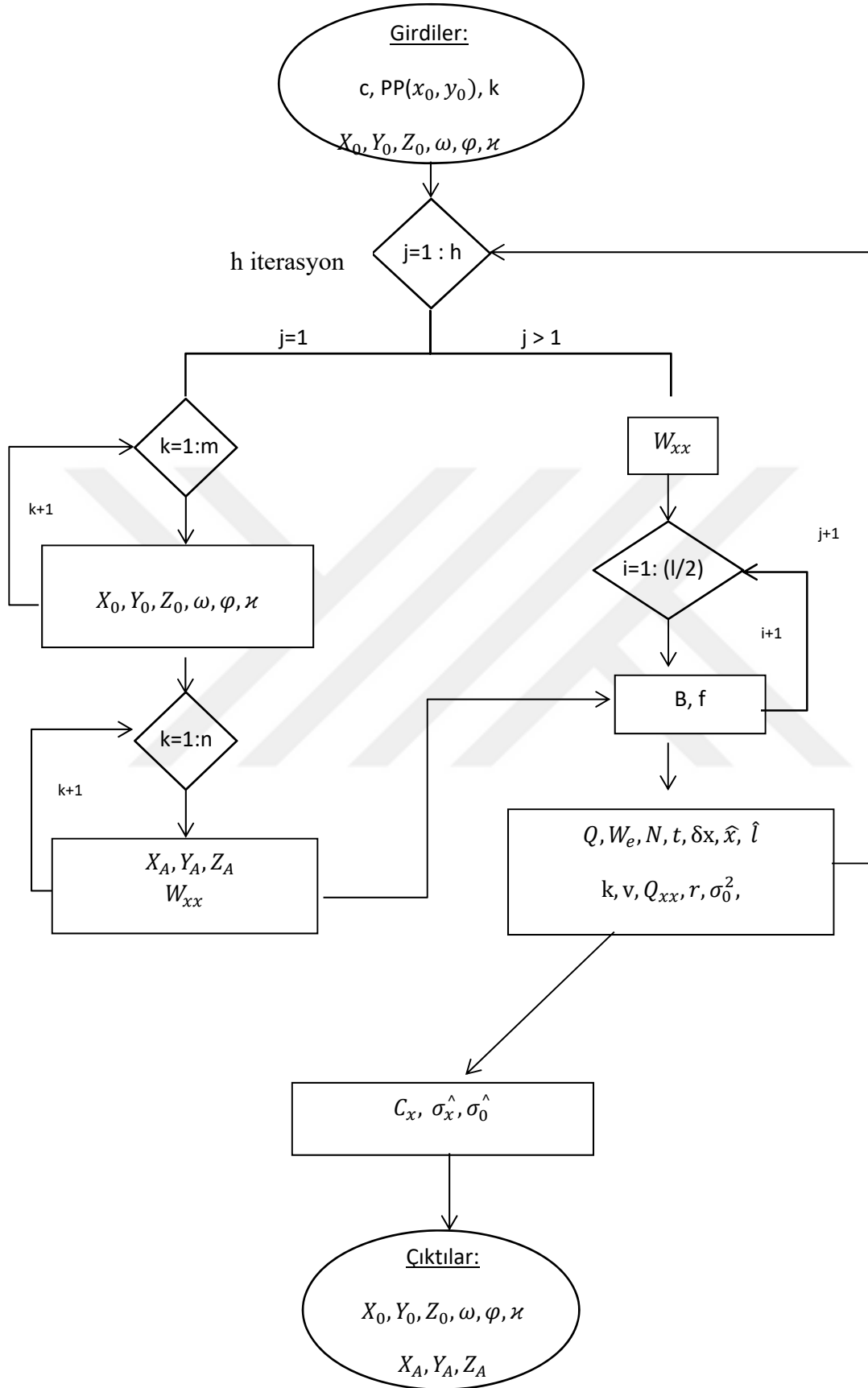
$$\frac{\partial Fy}{\partial Y_A} = \frac{c}{q^2} * (s * m_{(3,2)} - q * m_{(2,2)}) \quad (2.60)$$

$$\frac{\partial Fy}{\partial Z_A} = \frac{c}{q^2} * (s * m_{(3,3)} - q * m_{(2,3)}) \quad (2.61)$$

Bu bölümde verilen (2.25) ve (2.61) arasındaki eşitlikler kullanılarak söz konusu blok içindeki her bir görüntüye ait dış yöneltme parametreleri, bağlama noktaları ve YKN koordinatları ile birlikte çözüm gerçekleştirilir. Bu çözüme yeteri kadar YKN ve bağlama noktası dahil edilirse iç yöneltme parametreleri de yeniden hesaplanarak iyileştirilmesi sağlanabilir. Işın demetleri ile blok dengeleme algoritması Şekil 2.6'da verilmiştir.

2.3 Doğrudan Coğrafi Konumlandırma

Resim yöneltmesinin dış yöneltme elemanları bilinmediği veya GPS/IMU doğruluğunun yeterli olmadığı durumlarda YKN'ları kullanılarak geriden kestirme işlemi ile yukarıda açıklandığı gibi elde edilebilir. Burada dolaylı bir yöntem söz konusudur. YKN'dan dış yöneltme parametrelerine, hesaplanan parametrelerle de görüntüye ait noktalarda arazi üzerindeki noktaların koordinatlarına dönüşüm gerçekleştirilir. Bu da maliyeti olan bir işlemdir. Ancak GPS/IMU ile dış yöneltme parametreleri uçuş sonrasında doğrudan elde edilebilmektedir. Eğer GPS/IMU ile elde edilecek doğruluk söz konusu fotogrametrik işlem için yeterli ise GPS/IMU entegrasyonu ile dış yöneltme parametreleri mevcut olduğu için, tek görüntü veya çift resim yöneltmesi yapılabilmektedir. Bu işlem de aslında ileriden kestirme olarak düşünülebilir. GPS/IMU değerlerinin kullanılarak yapılan yöneltme işlemi doğrudan coğrafi konumlandırma olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.6 : Işın demetleriyle blok dengeleme algoritması.

3. KÜRESEL KONUMLAMA SİSTEMİ VE INERSİYAL NAVİGASYON SİSTEMİ (GPS ve INS)

GPS ve INS birçok disiplinde olduğu gibi fotogrametride de günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır. GPS/INS doğrudan coğrafi konumlandırmayı mümkün kılmakta ve birçok fotogrametrik uygulama için maliyeti önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu bölümde GPS ve INS sistemleri hakkında bilgi verilecek ve hata kaynakları incelenecektir.

3.1 Küresel Konumlama Sistemi (GPS)

Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System: GPS) ABD savunma bakanlığı tarafından finanse edilip geliştirilmiş uydu bazlı navigasyon sistemidir.

GPS; uydu, alıcı ve kontrol parçası olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır.

Eşit aralıklarla dizilmiş 6 GPS yörüngesi ve bu yörüngelerin her birinde düzgün sıralanmış 4'er tane GPS uydusundan oluşur (toplam 24 uydu). Teorik olarak dünya üzerindeki bir nokta günün 24 saati 3 veya daha fazla GPS uydusu gözlenebilir ve bir gözlemcinin konumunun belirlenmesinde 4 veya daha fazla GPS uydusu kullanılabilir (Grewal M.S. ve diğ., 2007).

Her bir GPS uydusu uydular tarafından yayınlanan sinyallere zaman bilgisi sağlamak için bir sezyum ve/veya rubidyum atomik saat taşımaktadır. Her bir uydu saati için iç saat düzeltilmesi sağlanmaktadır. Her bir uydu iki spektrumda sinyal göndermektedir (L1 ve L2). GPS uydu yörünge ve sinyal özellikleri Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1 : GPS uydu yörünge ve sinyal özellikleri.

Eleman	Özellikler
Uydular	24 uydu kendi kendine sinyal yayar
Yörüngeler	55 derecelik eğimde 6 düzlem, her bir yörünge düzlemi 20231 km yükseklikte 4 uydu içerir (12 saatlik bir peryotla)
Taşıyıcı frekansları	L1: 1575.42 MHz L2: 1227.60 MHz
Sayısal Sinyaller	C/A kodu (coarse acquisition code) 1.023 MHz P kodu (precise code) 10.23 MHz Navigasyon mesajı: 50 bps (saniyede 50 baud)
Konumlama Hassasiyeti	SPS: 100m yatay (2dRMS) ve 150m düşey (%95) PPS: 21m yatay (2dRMS) ve 29m düşey (%95)
Hız Doğruluğu	SPS: 0.5-2 m/sn gözlenen PPS: 0.2 m/sn
Zaman Doğruluğu	SPS: 334 ns (%95) PPS: 200 ns (%95)

Sinyal yayılmasındaki gecikmeler L1 ve L2 taşıyıcı sinyallerinin ölçülebilir gecikmeleri kullanılarak hesaplanabilmektedir.

En yüksek kalitede sinyal, ABD tarafından askeri kullanım için ayrılmıştı ve sivil kullanıma açık olan sinyal bilerek bozulmuştu (*Selective Availability*). Ancak bu durum 2000 yılında kaldırıldı.

Hassas Konumlama Servisi; Formal özel bir servis olan Hassas Konumlama Servisi (Precise Point Positioning: PPS) , ABD'nin müttefiklerine bazı özel kurumlara sağladığı tek alıcı GPS konumlama servsidir ve bu servis deşifre edilmiş P kodunu ve SA etkilerinden arındırılmış yüksek doğruluk içermektedir.

Standart Konumlama Servisi (Standart Positioning Service: SPS); Herhangi bir kullanıcıya sürekli tek bir GPS alıcısına dünya çapında sağladığı standart konumlama servisedir. SPS sadece C/A koduna ve L1 taşıyıcı verilerini sağlamaktadır (Grewal M.S. ve diğ., 2007).

3.1.1 GPS hata kaynakları

GPS’de hatalar uydu kaynaklı, sinyal yayılması kaynaklı ya da alıcı kaynaklı olabilir. Uydu/Alıcı Sinyal Gürültüsü, Uydu/Alıcı Saat Hataları, Uydu Yörünge Hataları, Atmosferik Gecikme, İyonosferik Gecikme, Troposferik Gecikme, Uydu Eğim Açısı, Sinyal Yayılma (Multipath) Etkisi, Başlangıç Faz Belirsizlikleri, Anten Faz Kayıklıkları, Alıcı Hataları, Kullanıcı Hataları, Kontrol Birimi Hataları.

Anten Faz Kayıklığı; GPS anteninde sinyallerin algılandığı nokta, “anten faz merkezi” olarak isimlendirilir. Anten faz merkezi, antenin fiziksel merkezi ile çakışmaz. Söz konusu kayıklık, uydu yüksekliğine ve azimutuna bağlıdır ve L1 ve L2 için farklıdır. Kayıklık, biri sabit diğeri zamana bağlı değişim olmak üzere iki ayrı şekilde ifade edilebilir. Anten faz merkezi hatalarını elemek için uygun anten seçilmesi, bağıl konumlamada farklı tip anten kullanılmaması, antenlerin tam kuzeye yönlendirilmesi gerekmektedir.

Atmosferik Gecikme; Yer yüzeyinden itibaren yaklaşık 50 km kalınlığındaki tabaka Troposfer olarak adlandırılmaktadır. 50 km ile 1000 km arası güneş ışınlarıyla iyonize edilmiş gazlar içeren kısım ise iyonosfer olarak tanımlanmaktadır (GPS Inertial Navigation, s151). İyonlaşma serbest elektron bulutları üretir ve bu GPS sinyalleri için frekansın bir fonksiyonu olan yayılma hızında dağıtıcı bir etki yaratmaktadır. İyonosferin GPS sinyalleri üzerindeki en temel etkisi yayılma hızını değiştirmesidir. Taşıyıcı faz aynı miktarda olmasına rağmen sinyal modülasyonu gecikmektedir ve bu yüzden ölçülen mesafe gerçekte olduğundan daha büyük çıkmaktadır. İyonosferdeki gecikme, sinyal yolu boyunca elektron aktivitesine bağlı olup metreküpteki elektron sayısının fonksiyonu olarak hesaplanır. Bunun yanında uydu hareketi nedeniyle sinyal yayılma yolunun değişmesi de hata miktarını etkilemektedir. Düşük uydu yükseklik açılarında iyonosfer yolu daha fazla olduğundan daha fazla hataya yol açmaktadır. İyonosfer gecikmesinin giderilmesi için, farklı frekanstaki dalgaların farklı dirence maruz kalacağı bilgisi ile çift frekanslı GPS alıcıları kullanılmaktadır.

Troposferdeki gecikme frekansa bağılı olmayıp, farklı frekans kullanımı ile giderilemez. Troposferik etki iki ayrı bölümde (ıslak ve kuru) incelenerek modellendirilmeye çalışılır. Yeryüzünde ölçülen ısı ve basınç ile uydunun yüksekliğine bağılı olarak geliştirilen modeller ile ilgili araştırmalar devam etmektedir (boun.edu.tr).

Multipath; GPS sinyallerinin iki ya da daha fazla yol üzerinden yayılması ile oluşur. Bu en önemli hata kaynaklarından biridir. Multipath den kaynaklanan hatalar her anten alıcısı civarındaki lokal yansıma geometrisine bağılı olduğundan DGPS ile giderilemez. Bu hatanın önlenmesi için en kolay ve etkin yol, alıcının yakınında yansıtıcı yüzeylerin olmamasına dikkat edilmelidir. Ayrıca GPS sinyallerinin sağ el kuralına göre, yansıyan dalganın ise sol el kuralına göre polarize olması nedeniyle uygun filtreleme yöntemleri ve yansıyan dalgayı absorbe eden özel anten tipleri (ground planes) kullanılabilir (boun.edu.tr).

Uydu Geometrisi; Ölçü yapılan uyduların uzaydaki dağılımı da koordinat hesaplarını etkilemektedir. Gözlenen uydular birbirine çok yakınsa elde edilecek konum doğruluğu düşük, homojen olarak dağılmışsa konum doğruluğu yüksek olacaktır. Geometrik hatalar, Geometrik hassasiyetin bozulması (Geometric Dillution of Precision: GDOP) olarak ifade edilir. GDOP konumdaki bozulmayı ifade eden PDOP (Positional Dilution of Precision), düşey konumdaki bozulmayı ifade eden VDOP (Vertical Dillution of Precision) ve zaman içindeki bozulmayı ifade eden TDOP (Time Dillution of Precision) olarak ifade edir. GDOP'daki küçük değerler uyduların o an uzaydaki dağılımının iyi olduğunu başka bir ifade ile konum doğruluğunun uydu geometrisine bağılı olan hatalarının düşük olacağını ifade etmektedir (Grewal M.S. ve diğ., 2007).

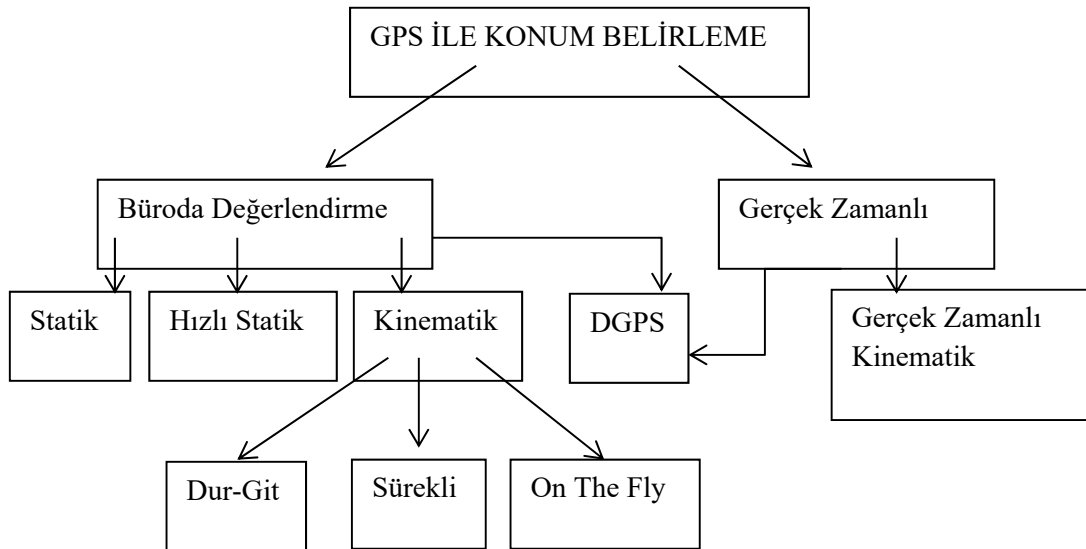
“Uydu saat hataları ve uydu yörünge hataları”, “alıcı saat hataları” ve “başlangıç faz belirsizlikleri” kullanılan fark teknikleri ile en aza indirilmektedir.

Alıcı hataları teknolojik gelişme ile birlikte azalmıştır. Devreye sokulan yeni uydularla geometri yani uydu dağılımı da yeterli olmaktadır. Ölçmelerde aynı antenlerin kullanılmasıyla anten faz kayıklıkları da ortadan kalkar. Çift frekansta ölçü alarak iyonosferik gecikmeyi de ortadan kaldırabiliriz. Multipath ve troposferik gecikme hataları en önemli hata kaynaklarıdır ve uydu eğim açısı küçüldükçe artarlar. Multipath etkisini azaltmak için, bu amaçla hazırlanmış antenler

kullanılması ve dikkatli yer seçimi gerekir. Troposferik gecikme ise meteorolojik verilere ya da matematiksel yöntemlere dayalı olarak modellenmeye çalışılmaktadır (Grewal M.S. ve diğ., 2007).

3.1.2 GPS ile konum belirleme metotları

GPS ölçmelerinde elde edilmek istenen duyarlılığa, ve amaca göre farklı ölçme teknikleri uygulanmaktadır. Elde edilen koordinat doğruluğu gözlem süresine, alıcı tipine, uyduların konumu ve sayısına ve ölçme metoduna göre değişir. Bir noktanın doğrudan dünya üzerindeki konumu (enlem, boylam, yükseklik veya X,Y,Z) belirleniyorsa mutlak konum belirleme (Point Positioning) olarak adlandırılır. Noktaların birbirine göre olan konumlarının belirlenmesine ise bağıl konum belirleme (Relative Positioning) denir. Konumu belirlenen nokta durağan ise (yer kontrol noktası, poligon noktası, detay vb.) statik konum belirleme; hareketli ise (uçak, gemi, araç) kinematik konum belirleme olarak adlandırılır. Araçların navigasyonu amacıyla anlık (real-time) konum belirleme yapılabilmektedir. GPS ölçülerinin, daha hassas sonuçlar elde etmek amacıyla daha sonraki bir zamanda büroda değerlendirilmesi (post-processing) yapılabilmektedir. GPS ile konum belirleme metotları Şekil 2.1’de özetlenmiştir.



Şekil 3.1 : GPS ile konum belirleme metotları.

Kinematik Ölçme: Kinematik konumlama alıcının sürekli hareket halinde olduğu durumlarda uygulanmaktadır. Bu metotta en az bir sabit referans alıcı ve bir hareketli alıcı (rover) bulunmaktadır. Bu teknikte söz konusu alıcılar aynı uydulara aynı anda sürekli gözlem yaparlar ve referans alıcılar ölçme boyunca aynı kontrol noktasında

işlem yaparlar. Kinematik ölçmede gecikme ölçme başlamadan önce faz belirsizliğinin çözülmesiyle (initialization) gecikme önlenmektedir (GPS for Land Surveyors, s113).

Kinematik on-the-fly: Statik çözümleme gerektirmemektedir. Hareket halindeyken en az 5 uydudan sürekli veri alır. Veri kayıt aralığı 0,1 sn ve daha azdır.

Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK); Kinematik metodunda olduğu gibi referans istasyonu bilinen bir noktadır. Bununla birlikte GZK metodunda baz istasyonu düzeltmeleri alıcılara radyo bağlantısı ile iletmektedir. Bu prosedür gerçek zamanlı olarak yüksek doğruluk vaat etmektedir. Sonuçların sonradan tekrar işlenmesine gerek yoktur.

3.1.3 Diferensiyel ve birleştirilmiş GPS

Diferensiyel GPS (DGPS); Diferensiyel GPS (DGPS), konumu bilinen bir referans istasyonundan alınan ilave veri ile GPS den elde edilen konumların hatalarını azaltma tekniğidir. DGPS, efemeris mesajı, iyonosfer ve uydu saat hatalarının referans istasyonunda belirlenmesi ve pseudo-range düzeltmelerini gerçek zamanlı olarak kullanıcı alıcısına ileterek konum belirleme esnasında hataların giderilmesini içermektedir (Stebler Y., 2008).

Yerel-Alan Diferensiyel GPS; Yerel Alan Diferensiyel GPS (Local-Area Differential GPS: LAGPS) kullanıcı alıcısının belirli bir görüş hattı dahilinde yerleştirilmiş lokal bir referans istasyonundan gerçek zamanlı pseudorange ve hatta taşıyıcı faz düzeltmelerini aldığı DGPS'in bir şeklidir. Düzeltmeler, navigasyon mesaj efemerisinin ve uydu saatinin birleşik hatası (SA etkisini içeren) ve sinyal yayılma gecikmesi hatalarını içermektedir. Bu hataların ölçü yapılan kullanıcı alıcısında da geçerli olduğu kabulüyle bu uygulamadan elde edilen koordinatlar daha doğru olacaktır.

Geniş-Alan Diferensiyel GPS; Geniş Alan Diferensiyel GPS (Wide-Area Differential GPS: WADGPS) kullanıcı GPS alıcılarının geniş coğrafi alana yayılmış GPS istasyonları açısından elde edilmiş düzeltmeleri aldığı bir DGPS yöntemidir. Uydu saati, iyonosferik yayılma gecikmesi ve efemeris gibi belli hata kaynakları için müstakil düzeltmeler belirlenmektedir. Bu düzeltmeler kullanıcının alıcısına ya da kullanıcı alıcısının bağlı olduğu koordinatını hesaplayan bilgisayara iletilir. Düzeltmeler sabit (geostationary) iletişim uydusu veya yer bazlı verici ağı vasıtasıyla

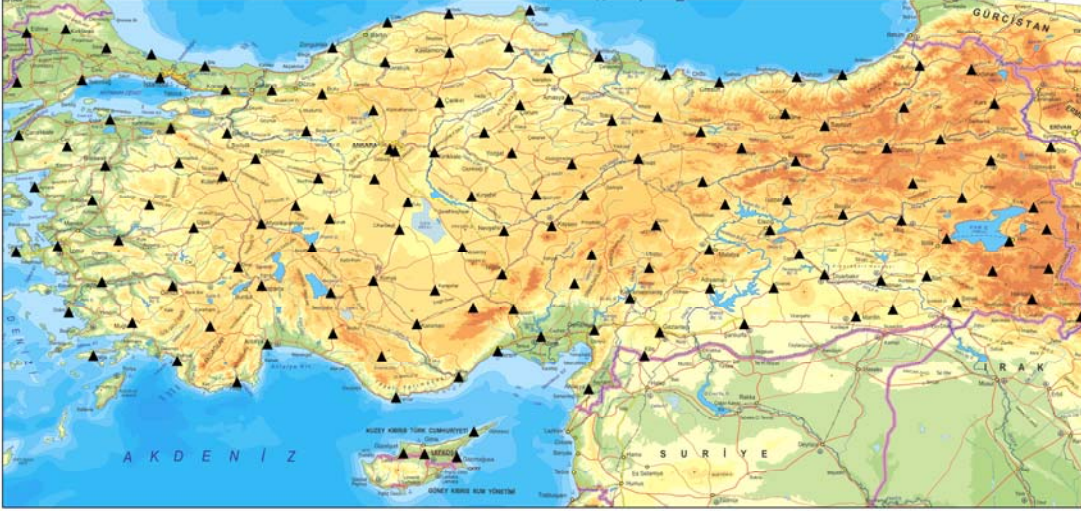
gerçek zamanlı olarak iletilmektedir. Düzeltmeler sonraki tarihlerde sonradan veri işleme verisi olarak da sağlanabilmektedir.

Geniş-Alan Birleştirilmiş Sistem; Geniş-Alan Birleştirilmiş System (Wide-Area Augmentation System: WAAS) GPS SPS'i geniş bir coğrafi alanda zenginleştirmektedir. WAAS WADGPS düzeltmelerini ve sabit dünya uydu yörüngesinden (Geostationary Earth Orbit: GEO) ilave mesafe ölçüm sinyallerini ve GPS ve GEO uydularının bütünleşik verisini sağlamaktadır (Grewal M.S. ve diğ., 2007).

3.1.4 TUSAGA-Aktif (CORS-TR)

Günümüzde CORS ağlarını henüz kurmamış olan ülkelerde GPS kullanıcıları statik veya gerçek zamanlı tekniklerden (RTK/DGPS) yararlanarak öncelikle kendi baz istasyonlarını belirlemektedir ve bu istasyonlar aracılığıyla gezici alıcıların koordinatları belirlenmektedir. Ancak statik ölçmelerde gezici alıcıların konumlarını belirlemek referans alıcıya bağlı olarak 15 dakika ile saatlere varan zamana gereksinim duymaktadır. Klasik gerçek zamanlı uygulamalarda ise referans istasyonundan topoğrafik yapıya bağlı olarak en fazla 5-10 km uzaklıkta noktalara çözüm sağlanabilmektedir. Hem mevcut GPS alıcılarını hem de yeni alıcıları daha etkin kullanmaya, hızlı, ekonomik ve daha duyarlı koordinat belirlemeye imkân veren bu sistem TUSAGA-Aktif (CORS TR) Projesi ile kurulmuştur. 24 saat hizmet veren ağ yaklaşımı sayesinde statik ve gerçek zamanda konum belirlemeler saniyeler içerisinde gerçekleştirilebilmektedir (Yıldırım Ö. ve diğ., 2007).

Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'ni de kapsayacak şekilde istasyonlar arası ortalama uzaklık 80 km, maksimum uzaklık 100 km olacak şekilde, 146 adet istasyon bulunmaktadır. TUSAGA-Aktif projesine ait istasyonların dağılımı Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Tezde gerçekleştirilen uygulamaların tamamı TUSAGA-Aktif verileri kullanılarak yarı zamanlı GZK yöntemi kullanılarak yapılmıştır.



Şekil.3.2 : TUSAGA-Aktif İstasyonlarının dağılımı.

3.2 İnersiyal Navigasyon Sistemi (INS)

Ataletsel navigasyonun temel fikri “ivmenin ikinci integrali konumdur” prensibidir. Söz konusu sensörler zamana bağlı ivmeyi ve başlangıç konum ve hızı ölçerse bu yaklaşımın uygulanması basit olacaktır.

Atalet, herhangi bir kuvvet ya da torkla bozulmadığı sürece cismin öteleme ve dönüklük hızını sabit tutma eğilimidir (Newton’un birinci kanunu). Bir ataletsel referans sistemi Newtonun hareket yasalarının geçerli olduğu bir koordinat sistemidir. Ataletsel referans sistemleri dönmez ve ötelenmezler.

Ataletsel sensörler vektörel değişkenler olan ataletsel ivmeyi ve dönüklüğü ölçmektedirler.

İvme ölçerler; aynı zamanda özel kuvvet olarak adlandırılan ataletsel ivmeyi ölçerler. İvme ölçerler gravitasyonel ivmeyi ölçmezler. İvme ölçerlerin ölçüsü Newtonun ikinci yasası ile modellenmiştir ($a = F / m$). F fiziksel olarak uygulanan kuvvet (graviteyi içermez), m ise kütledir ve spesifik kuvvet F/m oranıdır.

Jiroskoplar dönüklüğü ölçen sensörlerdir. Hız jiroskopları (rate gyros) dönme hızını ve öteleme jiroskopları (displacement gyros) birikmiş dönüklük açısını ölçerler.

Ataletsel sensörün girdi eksenleri açısal hız ya da ivmenin vektör bileşenini tanımlarlar. Çok eksenli sensörler birden fazla bileşen ölçebilirler.

Ataletsel Sensör Grubu (Inertial Sensor Assembly: ISA), aynı rölatif dönüklükleri sağlamak için ortak bir baza sıkıca monte edilmiş ataletsel sensörler grubudur. Ataletsel navigasyonda kullanılan ISA'lar genellikle üç ivme ölçer ve üç jiroskop içermektedir (Grewal M.S. ve diğ., 2007).

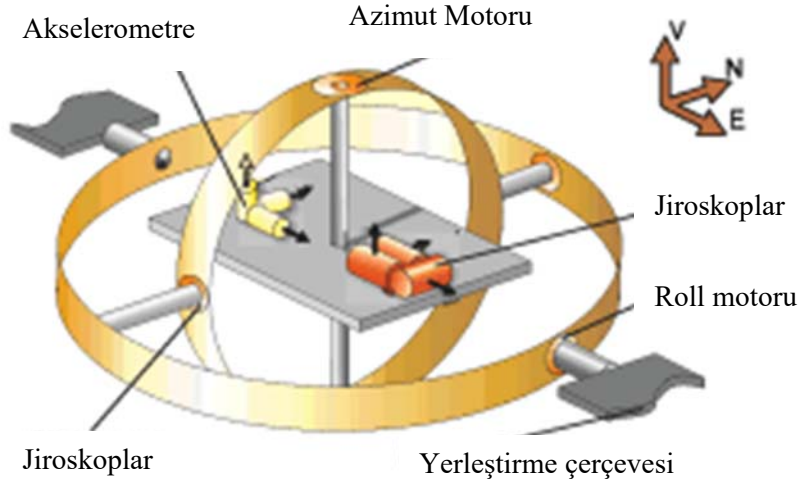
Ataletsel Ölçme Birimi (Inertial Measurement Unit: IMU), bir ISA ve ISA'nın kalibrasyon ve kontrolünü sağlayan elektronik desteğini içerir. Elektronik destek termal kontrol veya dengeleme, sinyal düzenleme ve girdi/çıkış kontrolünü içermektedir. Aynı zamanda IMU işlemcisini de içerebilmektedir.

Ataletsel Navigasyon Sistemi (Inertial Navigation System: INS) IMU'ya ilave olarak Navigasyon Bilgisayarları (gravitasyonel hızlanma hesaplamak için ve IMU verilerini işlemek için), kullanıcı arabirimlerini, ve güç sağlayıcılarını içermektedir. INS, GPS alıcısının anteninin konumunu kestirdiği gibi ISA'nın konumunu kestirir. ISA ve GPS anteninin rölatif konumları GPS/INS entegrasyonunda hesaba katılacaktır (Grewal M.S. ve diğ., 2007).

Birçok farklı ataletsel navigasyon sistemi dizayn edilmiştir. Bunlar genel olarak iki kategoride incelenebilir.

Şamandıra/Pusula (Gimbal) sistemleri, ISA dönüklüklerden/dönmelerden izole edilmiştir. Bu dönüklük izole edilmiş ISA ataletsel platform, stabil platform ya da stabil element olarak adlandırılır. Bu durumda IMU, ISA'yı, pusula/şamandıra yapısı ve izole edilmiş tüm ilgili elektronikleri içermektedir.

Araca Tutturulmuş (Strapdown) sistemler, bu durumda ISA dönüklükten izole edilmemiştir fakat aracın çerçeve yapısına "quasirigidly" monte edilmiştir. Grewal M.S. ve diğ., 2007).



Şekil 3.3 : İnersiyal navigasyon sistemi.

3.2.1 INS hata kaynakları

Başlangıç (Initialization) Hataları; Ataletsel navigatörler sadece başlangıç konumu ve hızı iletirmek için algılanan ivmenin integralini alırlar. GPS olmayan sistemlerde başlangıç konum ve hız kestirimleri için başka kaynaklara ihtiyaç vardır. Başlangıç hataları bu değerlerdeki başlangıç değerlerindeki hatalardır.

Hizalama (Alignment) Hataları; Çoğu tek INS uygulamaları şamandıra (gimbal) sistemlerde hizalama, strapdown sistemlerde navigasyon eksenlerine göre dönüklük yönlerinin kosinüslerinin hesaplanması için bir başlangıç periyodunu içerir. Bu periyot sonunda oluşan hatalar hizalama hataları olarak adlandırılır. Bunlar eğiklik (yatak eksenlere göre dönüklükler) ve başucu (heading) (dikey eksene göre dönüklükler) hatalarını içerir.

Sensör Dengeleme Hataları; Sensör kalibrasyonu sensör hata dengelemesinde kullanılan model parametrelerinin kestirim prosedürüdür. Bu modellenen parametrelerin zaman içinde ve dönüşler arasında değişmesi olağan dışı değildir ve bu parametrelerin sabit kalacağı sensörlerin dizayn edilmesi oldukça pahalıdır. Bu problem GPS/INS uygulamalarında Kalman Filtrelemesi ile çözülmeye çalışılmaktadır. Kalman Filtresi temelli GPS/INS entegrasyonunda INS den ve GPS den elde edilen konumlar bu kalibrasyon parametrelerinin düzeltmelerinde kullanılabilir.

Gravite Modeli Hataları; Bilinmeyen gravite modelleme hataları cihazın dinamiklerinde yaptığı etkidir (Grewal M.S. ve diğ., 2007).

3.2.2 GPS/INS entegrasyonu

GPS/INS entegrasyonu, farklı sensör sistemlerinden elde edilen çıktıların, algılanan şeyin daha iyi kestirimini elde etmek için birleştirmeyi içeren sensör entegrasyonu veya sensör füzyonunun bir formudur.

GPS alıcısı konum sensörüdür. Gecikmeleri filtrelemek için hız kestirimlerini kullanabilir fakat birincil çıktısı yer merkezli koordinat sisteminde antenin konumudur. GPS konum hataları GPS uydularının uygunluğuna ve geometrik dağılımına bağlıdır. Bunun yanında diğer hata kaynaklarından daha önceki bölümlerde bahsedilmişti. Sonuç RMS konum hataları konum hesaplama için yeterli uydu olmaması dışında sınırlıdır (Stebler Y., 2008).

INS ivme-ölçer ve dönüklük (ya da dönme hızı) sensörlerini kullanır. Fakat sensör sistemi olarak konum da (ISA'nın yer merkezli koordinat sistemine göre konumu) bunun bir çıktısıdır. INS konum hataları sensör ve yer modellerinin kalitesine bağlıdır. Kısa zamanda konum hataları çok az olsa da, RMS konum hataları sınırlı değildir ve zaman arttıkça büyür ve sınırlı değildir.

Gevşek Eşlenmiş Uygulamalar (Loosely Coupled Implementations); Bu uygulamalarda GPS alıcısı ve INS'in sadece standart çıktıları sensör sistemi entegrasyonunda (genellikle Kalman Filtresi) girdi olarak kullanılır. Navigasyon değişkenleri (konum ve hız) kestirimleri olan çıktılar bu alt sistemlerin çıktıklarına dayanır. Her bir alt sistemin (GPS veya INS) kendi Kalman Filtresi olmasına rağmen, entegrasyon mimarisi bunları hiçbir şekilde etkilemez, değiştirmez (Grewal M.S. ve diğ., 2007).

Sıkı Eşlenmiş Uygulamalar (Tightly Coupled Implementations); Bu uygulamalarda GPS alıcısından pseudorange ler ve/veya ataletsel navigatörlerlerden ham ivmeler kullanılmaktadır. Bu çıktılar GPS alıcılarının ve INS'lerin yazılımında ve hatta donanımında değişikliğe ihtiyaç duyar. Sistem entegrasyonu için filtreleme modeli GPS sinyal yayılma gecikmeleri ya da ivme-ölçer ölçek faktörü hataları gibi değişkenleri ve bu değişkenlerin kestirilmiş değerlerini GPS alıcısı ve INS'in iç uygulamalarında kullanmaktadır.

Sıkı eşleşmiş uygulamalar GPS alıcısı veya INS'in iç girdilerini de etkileyebilir. INS'den elde edilen ivme çıktıları GPS Doppler döngülerinde ve konum kestirimleri GPS kesilmelerinde daha hızlı hesaplamalar için kullanılabilir. Aynı zamanda GPS

kesilmesi sırasında serbest-ataletsel performansın arttırılması için INS ivme-ölçerleri ve jiroskopları gerçek zamanlı olarak yeniden kalibre edilebilir (Grewal M.S. ve diğ., 2007).

Bu bölümde INS kavramı ve hata kaynakları açıklanmıştır. INS genel olarak sistemin (ölçme birimi, yazılımlar ...vb.) adı IMU (Inersiyal ölçme birimi) ise ölçme biriminin adıdır. Genel olarak anlatımlarda birbirinin yerine kullanılabilirler. Tezin bundan sonraki kısmında IMU olarak bahsedilecektir.



4. HATA ARTMASI

Ölçüm aletlerinin duyarlılığı önceden bilindiğinde, ölçü değerlerinin kullanıldığı işlemler sonucunda elde edilecek sonuç duyarlılık hesaplanabilmektedir. Tez çalışmamda hata artma yasası kullanılarak, fotogrametrik tek ve çift resim yöneltmesinde elde edilecek konum duyarlılığı çeşitli projelerde analiz edilmiştir. Bu bölümde hata artma yasası açıklanacak, tek ve çift resim yöneltmesi için uygulanacaktır.

4.1 Hata Artma Yasası

Mühendislik uygulamalarında ölçülen değerlerden yararlanarak başka değerlerin hesaplanması sıkça karşılaşılan bir durumdur. Bu gibi durumlarda, ölçü değerlerinin kullanıldığı matematiksel fonksiyona bağlı olarak mevcut olan değerlerden yeni hesaplanan değerlere bir hata artması söz konusu olacaktır. Mevcut ölçü değerlerinin duyarlılıkları ve varsa birbirleri arasındaki kovaryansları bilindiği takdirde kullanıldıkları fonksiyonda elde edilen karesel ortalama hatası “hata artma kuralı” uygulanarak elde edilebilir.

Karesel ortalama hataları m_1, m_2, \dots, m_n ve kovaryansları $m_{12}, \dots, m_{1n}, \dots, m_{n-1 n}$ olan l_1, l_2, \dots, l_n ölçülerinin $x = f(l_1 \dots l_n)$ şeklinde tanımlanan bir fonksiyonunu ele alalım. Bu fonksiyonda gerçek düzeltme değerleri yerine yazılacak olursa

$$x + \varepsilon_x = f(l_1 + \varepsilon_1, \dots, l_n + \varepsilon_n) \quad (4.1)$$

elde edilir. Hata artma ilkesinin uygulanabilmesi için bu ifadenin doğrusallaştırılması gerekir. Gerçek düzeltmeler ölçülere kıyasla çok küçük olduklarından diferansiyel artımlar olarak da düşünülebilirler. Bu durumda, fonksiyon birinci dereceden Taylor serisine açılarak aşağıdaki gibi doğrusallaştırılabilir:

$$x + \varepsilon_x = f(l_1, \dots, l_n) + \frac{\partial x}{\partial l_1} \varepsilon_1, \dots, \frac{\partial x}{\partial l_n} \varepsilon_n \quad (4.2)$$

$$\varepsilon_x = \frac{\partial x}{\partial l_1} \varepsilon_1 + \dots + \frac{\partial x}{\partial l_n} \varepsilon_n \quad (4.3)$$

elde edilir. (4.3) eşitliğinin her iki tarafının karesi alınırsa

$$\begin{aligned} \varepsilon_x^2 = & \left(\frac{\partial x}{\partial l_1}\right)^2 \varepsilon_1^2 + \dots + \left(\frac{\partial x}{\partial l_1}\right)^2 \varepsilon_n^2 + 2 \left(\frac{\partial x}{\partial l_1}\right) \left(\frac{\partial x}{\partial l_2}\right) \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \dots \\ & + 2 \left(\frac{\partial x}{\partial l_{n-1}}\right) \left(\frac{\partial x}{\partial l_n}\right) \varepsilon_{n-1} \varepsilon_n \end{aligned} \quad (4.4)$$

varyans tanımına göre her iki taraf ölçü sayısına bölünürse

$$\begin{aligned} m_x^2 = & \left(\frac{\partial x}{\partial l_1}\right)^2 m_1^2 + \dots + \left(\frac{\partial x}{\partial l_1}\right)^2 m_n^2 + 2 \left(\frac{\partial x}{\partial l_1}\right) \left(\frac{\partial x}{\partial l_2}\right) m_{12} + \dots \\ & + 2 \left(\frac{\partial x}{\partial l_{n-1}}\right) \left(\frac{\partial x}{\partial l_n}\right) m_{n-1n} \end{aligned} \quad (4.5)$$

elde edilir. Fonksiyonun karesel ortalama hatası, (4.5) eşitliğinin karekökü alınarak

$$m_x = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial l_1}\right)^2 m_1^2 + \dots + \left(\frac{\partial x}{\partial l_1}\right)^2 m_n^2 + 2 \left(\frac{\partial x}{\partial l_1}\right) \left(\frac{\partial x}{\partial l_2}\right) m_{12} + \dots + 2 \left(\frac{\partial x}{\partial l_{n-1}}\right) \left(\frac{\partial x}{\partial l_n}\right) m_{n-1n}} \quad (4.6)$$

şeklinde elde edilir. Ölçüler birbirinden bağımsız olduğunda kovaryanslı terimler sıfır olur ve bağıntı aşağıdaki gibi yazılır.

$$m_x = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial l_1}\right)^2 m_1^2 + \dots + \left(\frac{\partial x}{\partial l_1}\right)^2 m_n^2} \quad (4.7)$$

Burada yukarıda tanımlanan ölçülerin başka bir fonksiyonu olduğunu varsayalım. Bu fonksiyonun karesel ortalama hatası da (4.7) eşitliğindeki gibi hesaplanacaktır.

$$y = g(l_1, \dots, l_n) \quad (4.8)$$

Her iki fonksiyonun kovaryansına gelince (4.8) eşitliğinin doğrusal ifadesi

$$\varepsilon_y = \frac{\partial y}{\partial l_1} \varepsilon_1 + \dots + \frac{\partial y}{\partial l_n} \varepsilon_n \quad (4.9)$$

ile diğer fonksiyonun doğrusal ifadesi eşitlik (4.3)'ün çarpımından bulunan

$$\begin{aligned} \varepsilon_x \varepsilon_y = & \left(\frac{\partial x}{\partial l_1}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial l_1}\right) \varepsilon_1^2 + \dots + \left(\frac{\partial x}{\partial l_n}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial l_n}\right) \varepsilon_n^2 + \left(\left(\frac{\partial x}{\partial l_1}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial l_2}\right) + \right. \\ & \left. \left(\frac{\partial x}{\partial l_2}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial l_1}\right)\right) \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \dots + \left(\left(\frac{\partial x}{\partial l_{n-1}}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial l_n}\right) + \left(\frac{\partial x}{\partial l_n}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial l_{n-1}}\right)\right) \varepsilon_{n-1} \varepsilon_n + \end{aligned} \quad (4.10)$$

eşitliğinin her iki tarafın ölçü sayısına bölünürse;

$$m_{xy} = \left(\frac{\partial x}{\partial l_1}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial l_1}\right) m_1^2 + \dots + \left(\frac{\partial x}{\partial l_n}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial l_n}\right) m_n^2 + \left(\left(\frac{\partial x}{\partial l_1}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial l_2}\right) + \left(\frac{\partial x}{\partial l_2}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial l_1}\right)\right) m_{12} + \dots + \left(\left(\frac{\partial x}{\partial l_{n-1}}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial l_n}\right) + \left(\frac{\partial x}{\partial l_n}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial l_{n-1}}\right)\right) m_{n-1n} \quad (4.11)$$

olarak elde edilir.

$$m_x = \left(\frac{\partial x}{\partial l_1}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial l_1}\right) m_1^2 + \dots + \left(\frac{\partial x}{\partial l_n}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial l_n}\right) m_n^2 + \left(\left(\frac{\partial x}{\partial l_1}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial l_2}\right) + \left(\frac{\partial x}{\partial l_2}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial l_1}\right)\right) m_{12} + \dots + \left(\left(\frac{\partial x}{\partial l_{n-1}}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial l_n}\right) + \left(\frac{\partial x}{\partial l_n}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial l_{n-1}}\right)\right) m_{n-1n} \quad (4.12)$$

Dengeleme hesabında eşitlik (7 ve 12) “genel hata artma kuralı” olarak adlandırılır Hata artma kuralı matris-vektör gösterimi ile ifade edilmek istenirse ölçüler vektörü;

$$l = [l_1 \ l_2 \ \dots \ l_n]^T \quad (4.13)$$

ölçü fonksiyonları vektörü;

$$f = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (4.14)$$

fonksiyonlar vektörünün katsayılar matrisi;

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial l_1} & \frac{\partial x}{\partial l_2} & \dots & \frac{\partial x}{\partial l_n} \\ \frac{\partial y}{\partial l_1} & \frac{\partial y}{\partial l_2} & \dots & \frac{\partial y}{\partial l_n} \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

gösterimleriyle $f = F(l)$ fonksiyonunun diferansiyel ifadesi;

$$df = A dl \quad (4.16)$$

ve onun karesinin alınmasıyla varyans-kovaryans matrisi;

$$C_f = A C_l A^T \quad (4.17)$$

olarak elde edilir (Kutoğlu H.Ş. ve diğ., 2017).

4.2 Çift Resim Yöneltilmesinde Hata Artması

Bu bölümde çift resim yöneltilmesi ile elde edilen konum duyarlılığının analiz edilebilmesi için hata artma yasasının nasıl uygulandığı açıklanmaktadır. Çift resim yöneltilmesinin matematiksel modeli Bölüm 2’de incelenmişti. Görüntü koordinatlarından arazi koordinatlarına (X, Y ve Z) dönüşüm sağlayan merkezi izdüşüm denklemleri (2.19), (2.20) ve (2.21) eşitlikleri ile verilmiştir. Eşitlik (4.17) ile hesaplanan C_f matrisinin köşegenlerinin karekökü bize konum bileşenlerinin duyarlılığını verecektir.

$$m_x = \sqrt[2]{C_f} \quad (4.18)$$

Eşitlik (4.18)’in hesaplanabilmesi için fonksiyonlar vektörü katsayılar matrisi (A) ve ölçülerin varyans kovaryans matrisi (C_l)’nin oluşturulması gerekmektedir. Buna göre A matrisi;

Sağ görüntü için;

$$K_1 = \frac{\partial X}{\partial \omega_1} \frac{\partial X}{\partial \varphi_1} \frac{\partial X}{\partial \kappa_1} \frac{\partial X}{\partial X_{01}} \frac{\partial X}{\partial Y_{01}} \frac{\partial X}{\partial Z_{01}} \frac{\partial X}{\partial x_1} \frac{\partial X}{\partial y_1} \frac{\partial X}{\partial x_{01}} \frac{\partial X}{\partial y_{01}} \frac{\partial X}{\partial c} \quad (4.19)$$

$$M_1 = \frac{\partial Y}{\partial \omega_1} \frac{\partial Y}{\partial \varphi_1} \frac{\partial Y}{\partial \kappa_1} \frac{\partial Y}{\partial X_{01}} \frac{\partial Y}{\partial Y_{01}} \frac{\partial Y}{\partial Z_{01}} \frac{\partial Y}{\partial x_1} \frac{\partial Y}{\partial y_1} \frac{\partial Y}{\partial x_{01}} \frac{\partial Y}{\partial y_{01}} \frac{\partial Y}{\partial c} \quad (4.20)$$

$$N_1 = \frac{\partial Z}{\partial \omega_1} \frac{\partial Z}{\partial \varphi_1} \frac{\partial Z}{\partial \kappa_1} \frac{\partial Z}{\partial X_{01}} \frac{\partial Z}{\partial Y_{01}} \frac{\partial Z}{\partial Z_{01}} \frac{\partial Z}{\partial x_1} \frac{\partial Z}{\partial y_1} \frac{\partial Z}{\partial x_{01}} \frac{\partial Z}{\partial y_{01}} \frac{\partial Z}{\partial c} \quad (4.21)$$

Sol Görüntü için;

$$K_2 = \frac{\partial X}{\partial \omega_2} \frac{\partial X}{\partial \varphi_2} \frac{\partial X}{\partial \kappa_2} \frac{\partial X}{\partial X_{02}} \frac{\partial X}{\partial Y_{02}} \frac{\partial X}{\partial Z_{02}} \frac{\partial X}{\partial x_2} \frac{\partial X}{\partial y_2} \frac{\partial X}{\partial x_{02}} \frac{\partial X}{\partial y_{02}} \frac{\partial X}{\partial c} \quad (4.22)$$

$$M_2 = \frac{\partial Y}{\partial \omega_2} \frac{\partial Y}{\partial \varphi_2} \frac{\partial Y}{\partial \kappa_2} \frac{\partial Y}{\partial X_{02}} \frac{\partial Y}{\partial Y_{02}} \frac{\partial Y}{\partial Z_{02}} \frac{\partial Y}{\partial x_2} \frac{\partial Y}{\partial y_2} \frac{\partial Y}{\partial x_{02}} \frac{\partial Y}{\partial y_{02}} \frac{\partial Y}{\partial c} \quad (4.23)$$

$$N_2 = \frac{\partial Z}{\partial \omega_2} \frac{\partial Z}{\partial \varphi_2} \frac{\partial Z}{\partial \kappa_2} \frac{\partial Z}{\partial X_{02}} \frac{\partial Z}{\partial Y_{02}} \frac{\partial Z}{\partial Z_{02}} \frac{\partial Z}{\partial x_2} \frac{\partial Z}{\partial y_2} \frac{\partial Z}{\partial x_{02}} \frac{\partial Z}{\partial y_{02}} \frac{\partial Z}{\partial c} \quad (4.24)$$

$$A = \begin{bmatrix} K_1 & K_2 \\ M_1 & M_2 \\ N_1 & N_2 \end{bmatrix} \quad (4.25)$$

Eşitlik (4.18) ve (4.25) arasında ifade edilen türevlerin tamamı EK A’da sunulmuştur.

C_l ölçüler varyans kovaryans matrisi ölçülerin önceden bilinen duyarlılıklarından (σ) oluşmaktadır. Çift resim yöneltmesi için uygulanacak olursa;

$$C_{l1} = \text{diag}[\sigma_{\omega_1}^2 \sigma_{\phi_1}^2 \sigma_{\kappa_1}^2 \sigma_{X_{01}}^2 \sigma_{Y_{01}}^2 \sigma_{Z_{01}}^2 \sigma_{x_1}^2 \sigma_{y_1}^2 \sigma_{x_{01}}^2 \sigma_{y_{01}}^2 \sigma_c^2] \quad (4.26)$$

$$C_{l2} = \text{diag}[\sigma_{\omega_2}^2 \sigma_{\phi_2}^2 \sigma_{\kappa_2}^2 \sigma_{X_{02}}^2 \sigma_{Y_{02}}^2 \sigma_{Z_{02}}^2 \sigma_{x_2}^2 \sigma_{y_2}^2 \sigma_{x_{02}}^2 \sigma_{y_{02}}^2 \sigma_c^2] \quad (4.27)$$

Fonksiyonlardaki parametreler birbirinden bağımsız oldukları kabul edildiğinden C_l matrisinin köşegenleri dışındaki elemanlar sıfır olmaktadır. Böylece C_l ölçüler varyans kovaryans matrisi (4.28) eşitliği ile ifade edilebilir.

$$C_l = \begin{bmatrix} C_{l1} & 0 \\ 0 & C_{l2} \end{bmatrix} \quad (4.28)$$

C_l ve A matrisi oluşturulduğuna göre (4.18) eşitliği ile X , Y ve Z konum bileşenlerine ait duyarlılıklar (m_x) hesaplanabilir. Tezimde bu metodoloji ile X , Y ve Z konum bileşenlerine ait duyarlılıklar hesaplanmıştır. Bunun yanında her bir parametrenin duyarlılıkları 0 ve belirlenen bir değer aralığında arttırılarak, her bir parametrenin konum bileşenlerinin duyarlılıklarına etkisi grafiklere çizdirilerek analiz edilmiştir.

4.3 Tek Resim Yöneltmesinde Hata Artması

Bu bölümde tek resim yöneltmesi ile elde edilen konum duyarlılığının analiz edilebilmesi için hata artma yasasının nasıl uygulandığı açıklanmaktadır. Tek resim yöneltmesinin matematiksel modeli Bölüm 2’de incelenmişti. Görüntü koordinatlarından arazi koordinatlarına (X , Y) dönüşüm sağlayan merkezi izdüşüm denklemleri (2.10) ve (2.11) eşitlikleri ile verilmiştir. Eşitlik (4.17) ile hesaplanan C_f matrisinin köşegenlerinin karekökü bize konum bileşenlerinin duyarlılığını verecektir.

Eşitlik (4.18)’in hesaplanabilmesi için fonksiyonlar vektörü katsayılar matrisi (A) ve ölçülerin varyans kovaryans matrisi (C_l)’nin oluşturulması gerekmektedir. Buna göre A matrisi;

$$K = \frac{\partial X}{\partial \omega} \frac{\partial X}{\partial \phi} \frac{\partial X}{\partial \kappa} \frac{\partial X}{\partial X_0} \frac{\partial X}{\partial Y_0} \frac{\partial X}{\partial Z_0} \frac{\partial X}{\partial x} \frac{\partial X}{\partial y} \frac{\partial X}{\partial x_0} \frac{\partial X}{\partial y_0} \frac{\partial X}{\partial c} \frac{\partial X}{\partial Z} \quad (4.29)$$

$$M = \frac{\partial Y}{\partial \omega} \frac{\partial Y}{\partial \phi} \frac{\partial Y}{\partial \kappa} \frac{\partial Y}{\partial X_0} \frac{\partial Y}{\partial Y_0} \frac{\partial Y}{\partial Z_0} \frac{\partial Y}{\partial x} \frac{\partial Y}{\partial y} \frac{\partial Y}{\partial x_0} \frac{\partial Y}{\partial y_0} \frac{\partial Y}{\partial c} \frac{\partial Y}{\partial Z} \quad (4.30)$$

$$A = \begin{bmatrix} K \\ M \end{bmatrix} \quad (4.31)$$

Eşitlik (4.19) ve (4.20)'de ifade edilen türevlerin tamamı EK A'da sunulmuştur.

C_l ölçüler varyans kovaryans matrisi ölçülerin önceden bilinen duyarlılıklarından (σ) oluşmaktadır. Tek resim yöneltmesi için uygulanacak olursa;

$$C_l = \text{diag} \left[\sigma_\omega^2 \sigma_\varphi^2 \sigma_\kappa^2 \sigma_{x_0}^2 \sigma_{y_0}^2 \sigma_{z_0}^2 \sigma_x^2 \sigma_y^2 \sigma_{x_0}^2 \sigma_{y_0}^2 \sigma_c^2 \sigma_z^2 \right] \quad (4.32)$$

Fonksiyonlardaki parametreler birbirinden bağımsız oldukları kabul edildiğinden C_l matrisinin köşegenleri dışındaki elemanlar sıfır olmaktadır. Böylece C_l ölçüler varyans kovaryans matrisi (4.28) eşitliği ile ifade edilebilir.

$$C_l = \begin{bmatrix} C_{l(1,1)} & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & C_{l(n,n)} \end{bmatrix} \quad n = 1, 2, \dots, 12 \quad (4.33)$$

C_l ve A matrisi oluşturulduğuna göre (4.18) eşitliği ile X, Y konum bileşenlerine ait duyarlılıklar (m_x) hesaplanabilir. Tezimde bu metodoloji kullanılarak X, Y konum bileşenlerine ait duyarlılıklar hesaplanmıştır. Bunun yanında her bir parametrenin duyarlılıkları 0 ve belirlenen bir değer aralığında arttırılarak, her bir parametrenin konum bileşenlerinin duyarlılıklarına etkisi grafiklere çizdirilerek analiz edilmiştir.

5. UYGULAMA VE DEĞERLENDİRME

Hata artma yasası Matlab yazılımı ile kodlanarak arayüz oluşturulmuştur. Hazırlanan program ile stereo modeller ve ortofotolar üzerinde duyarlılık analizi yapılabilmektedir. Stereo model veya ortofoto üzerinde herhangi bir noktaya ait hata tahmini yapılabilmekte ve o noktaya ait konumsal duyarlılık dış yöneltme elemanlarının duyarlılık değişimine göre incelenebilmektedir. Bunun yanında stereo model veya ortofoto üzerinde birden fazla nokta ile de ortalama hata tahmini yapılabilmekte ve noktalara göre hata dağılımı incelenebilmektedir.

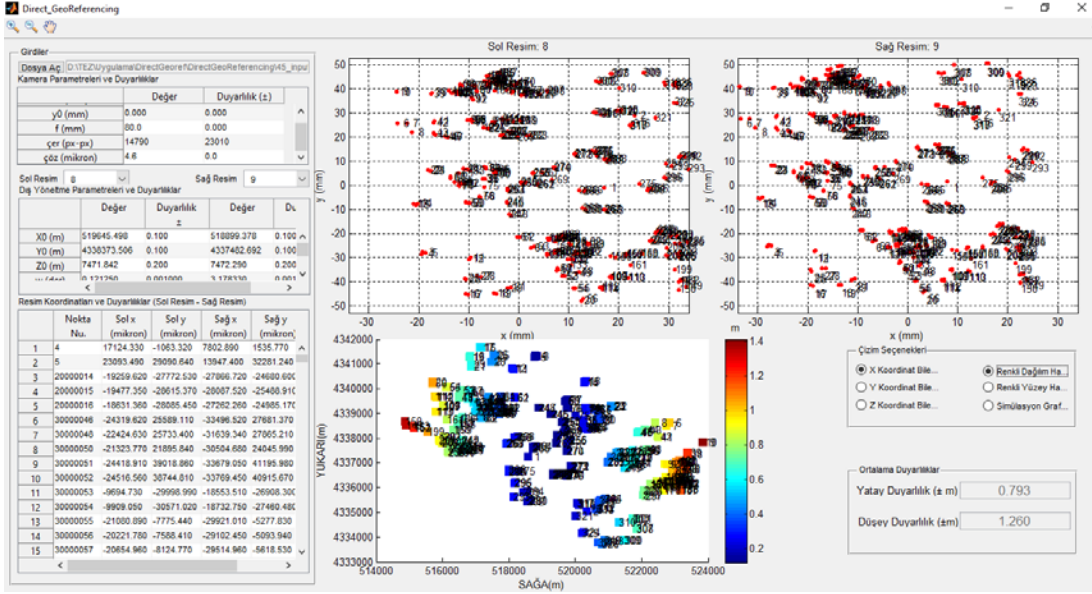
Bu çalışmada farklı ölçekte elde edilmiş projeler ele alınarak farklı çözünürlükler için hem stereo model hem de ortofoto için dengelenmiş ve doğrudan elde edilmiş parametreler kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. Buna ilave olarak İnsansız Hava Aracı ile elde edilmiş bir projenin de hata analizi yapılmıştır.

Söz konusu arayüz yardımı ile hesaplanan hata tahminleri, deneysel olarak yapılan testlerle karşılaştırılmış, teorik olarak hesaplanan hata tahmini ile ne kadar gerçekçi bir sonuç elde edildiği de test edilmiştir.

5.1. Matlab İle Hazırlanan Arayüz

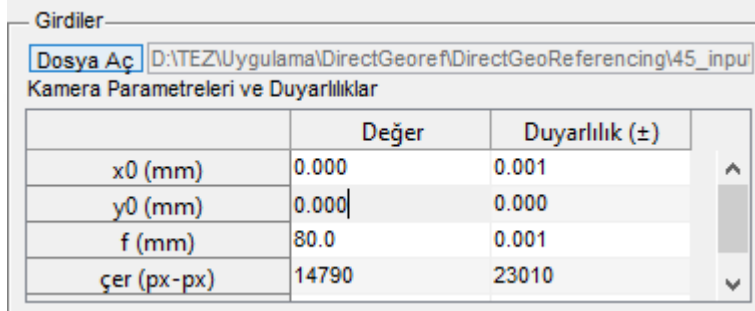
5.1.1 Stereo modeller için hazırlanan arayüz

Bölüm 4 'de metodolojisi açıklanan çift görüntü yöneltmesinin konum duyarlılığının analizi için Matlab yazılımı ile arayüz oluşturulmuştur. Söz konusu uygulama arayüzüne ait Matlab kodları Ek B'de sunulmuştur. Hazırlanan arayüz Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Matlab arayüzü genel görünümü (görüntü çifti için).

Arayüzün sol üst köşesinde bulunan “Dosya Aç” düğmesi ile iç ve dış yöneltme parametreleri, duyarlılıkları ve görüntü koordinatlarının bulunduğu (Şekil 5.2) girdi dosyası seçilir.



Şekil 5.2 : Girdi dosyasının seçilmesi.

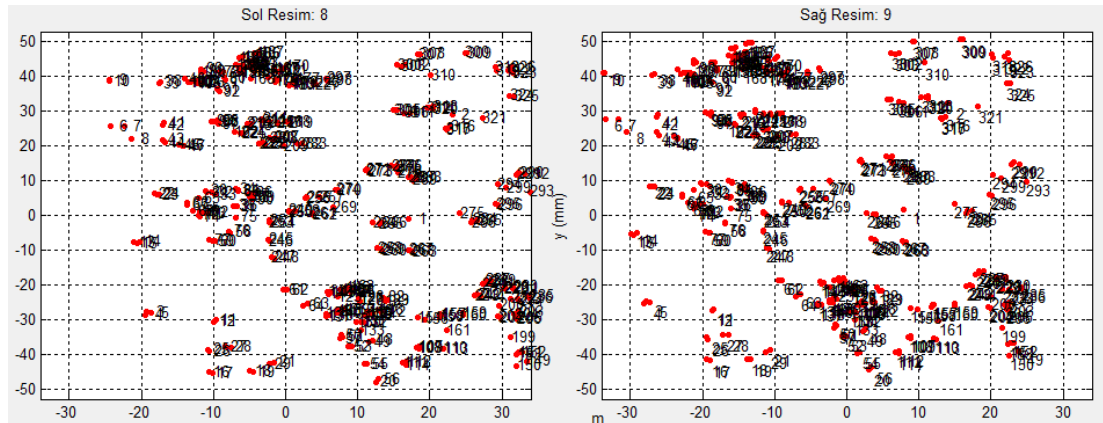
Girdi dosyası seçildikten sonra girdi değerlerinin alt kısmında bulunan iki adet listeleme menüsünden sol ve sağ görüntüler sırayla seçilir (Şekil 5.3).

Sol Resim		8	Sağ Resim		9
Dış Yönelme Parametreleri ve Duyarlılıklar					
	Değer	Duyarlılık	Değer	Du	
		±			
X0 (m)	519645.498	0.100	518899.378	0.100	▲
Y0 (m)	4338373.506	0.100	4337482.692	0.100	
Z0 (m)	7471.842	0.200	7472.290	0.200	
ω (deg)	0.121250	0.001000	3.178330	0.001	▼

Resim Koordinatları ve Duyarlılıklar (Sol Resim - Sağ Resim)					
	Nokta Nu.	Sol x (mikron)	Sol y (mikron)	Sağ x (mikron)	Sağ y (mikron)
1	4	17124.330	-1063.320	7802.890	1535.770
2	5	23093.490	29090.640	13947.400	32281.240
3	20000014	-19259.620	-27772.530	-27866.720	-24680.600
4	20000015	-19477.350	-28615.370	-28087.520	-25488.910
5	20000016	-18631.360	-28085.450	-27262.260	-24985.170
6	30000046	-24319.620	25589.110	-33496.520	27681.370
7	30000048	-22424.630	25733.400	-31639.340	27865.210
8	30000050	-21323.770	21895.840	-30504.680	24045.990
9	30000051	-24418.910	39018.860	-33679.050	41195.980
10	30000052	-24516.560	38744.810	-33769.450	40915.670
11	30000053	-9694.730	-29998.990	-18553.510	-26908.300
12	30000054	-9909.050	-30571.020	-18732.750	-27460.480
13	30000055	-21080.890	-7775.440	-29921.010	-5277.830
14	30000056	-20221.780	-7588.410	-29102.450	-5093.940
15	30000057	-20654.960	-8124.770	-29514.960	-5618.530

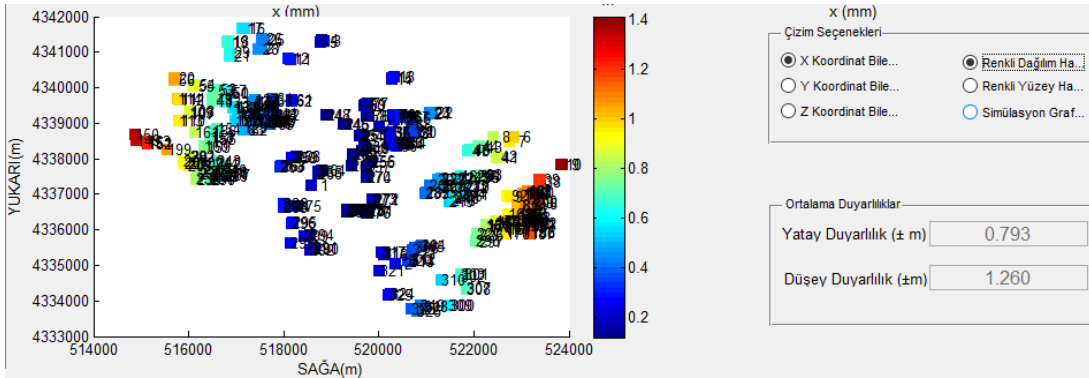
Şekil 5.3 : Görüntü çiftinin seçilmesi.

Görüntü çiftleri seçilince arayüzün sağ üst kısmında görüntü noktalarının dağılımını gösteren grafikler görüntülenir (Şekil 5.4).

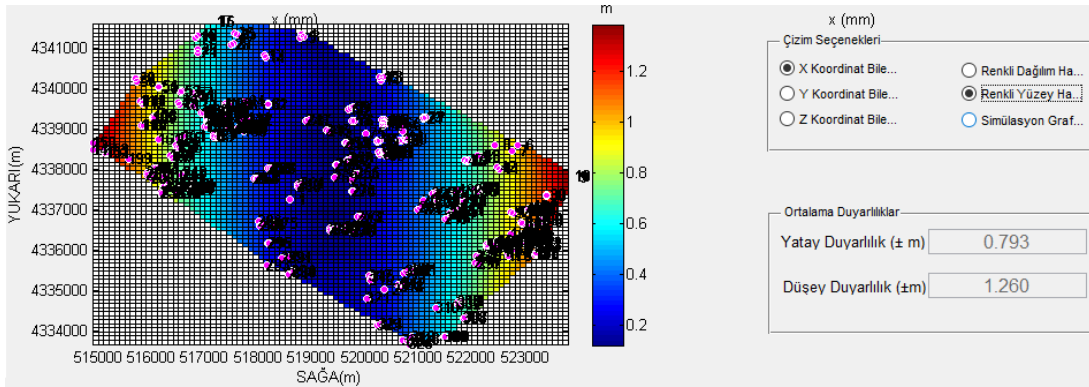


Şekil 5.4 : Görüntü noktalarının dağılım grafikleri.

Arayüzün sağ alt kısmında X, Y ve Z konum bileşenleri için renk dağılım haritası ve renk yüzey haritası ayrı ayrı görüntülenebilir (Şekil 5.4 ve Şekil 5.6)

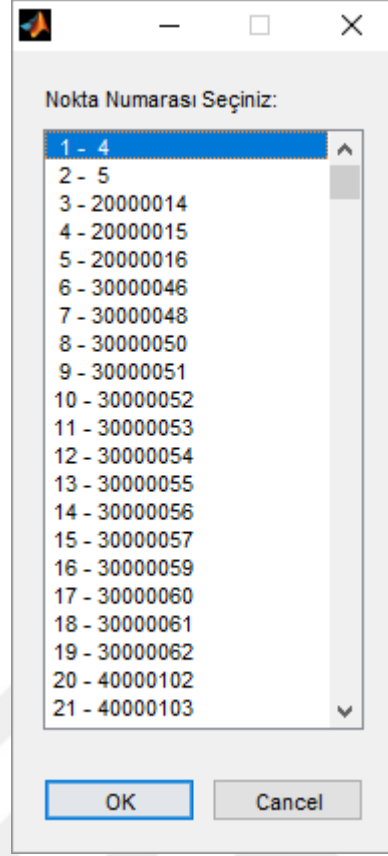


Şekil 5.5 : İlgili konum bileşenine ait renk dağılım haritası.

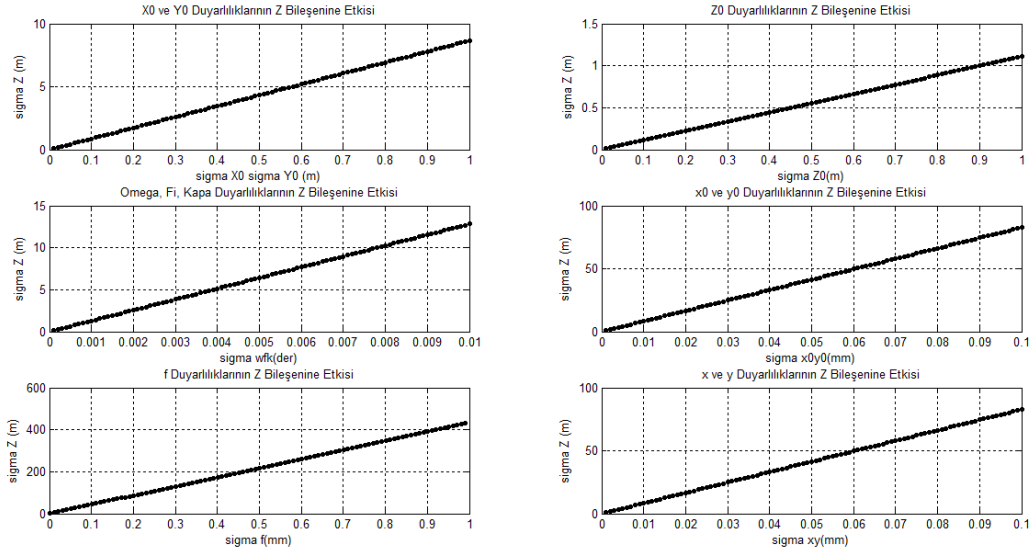


Şekil 5.6 : İlgili konum bileşenine ait renk yüzey haritası.

Çizim seçeneklerinden “Simülasyon Grafikleri” seçeneği işaretlendiğinde, girdi dosyasında bulunan nokta isimleri ayrı bir pencerede (Şekil 5.7) açılır. Açılan pencereden istenilen nokta seçildiğinde, parametre duyarlılıklarının o noktaya ait X, Y ve Z konum bileşenlerine etkisini gösteren grafikler ayrı ayrı gösterilmektedir (Şekil 5.8). Burada söz konusu parametre duyarlılığı sıfır değerinden belirli aralıklarla artırılarak ve geriye kalan tüm parametre duyarlılıkları sıfır kabul edilerek konum duyarlılığına etkisi grafiklere çizdirilmiştir.

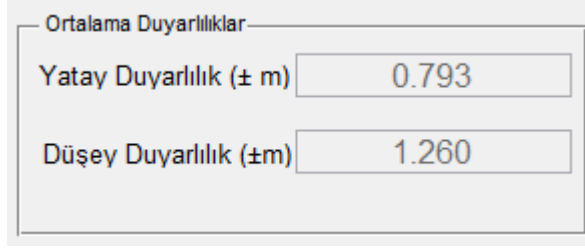


Şekil 5.7 : Görüntü çiftine ait nokta numaralarının seçimi.



Şekil 5.8 : Yönelme parametrelerinin konum duyarlılığına etkisi.

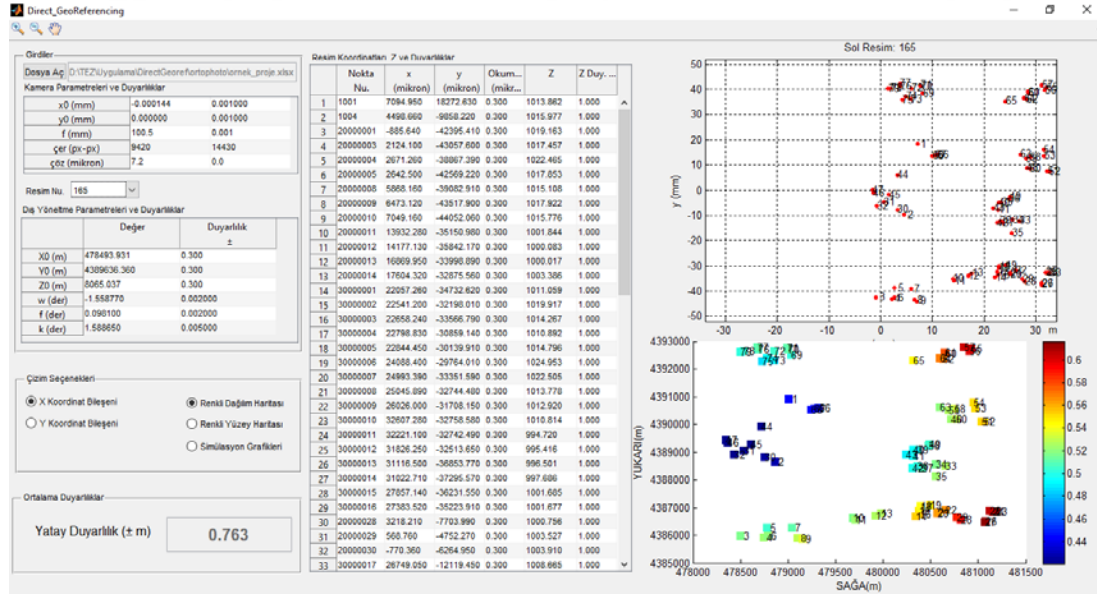
Son olarak görüntü çiftine ait ortalama konum duyarlılıkları arayüzün sağ alt kısmında gösterilmektedir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 : Ortalama konum duyarlılıkları.

5.1.2 Ortofoto için hazırlanan arayüz

Bölüm 4 'de metodolojisi açıklanan tek görüntü yöneltmesinin konum duyarlılığının analizi için Matlab yazılımı ile arayüz oluşturulmuştur. Hazırlanan arayüz Şekil 5.10'de gösterilmiştir.



Şekil 5.10 : Matlab arayüzü genel görünümü (tek görüntü için).

Arayüzün sol üst köşesinde bulunan "Dosya Aç" düğmesi ile iç ve dış yöneltme parametreleri, duyarlılıkları ve görüntü koordinatlarının bulunduğu girdi dosyası seçilir. Girdi dosyası seçildikten sonra girdi değerlerinin alt kısmında bulunan listeleme menüsünden ilgili görüntü seçilir (Şekil 5.11).

Girdiler

Dosya Aç: D:\TEZ\Uygulama\DirectGeoreflortophoto\ornek_proje.xlsx

Kamera Parametreleri ve Duyarlılıklar

x0 (mm)	-0.000144	0.001000
y0 (mm)	0.000000	0.001000
f (mm)	100.5	0.001
çer (px-px)	9420	14430
çöz (mikron)	7.2	0.0

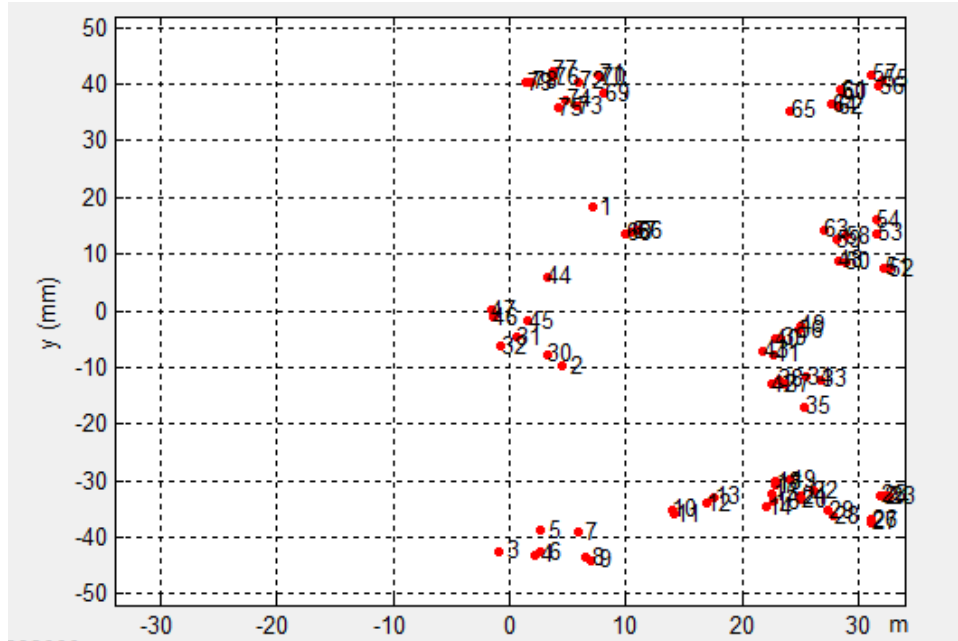
Resim Nu. 165

Dış Yönetme Parametreleri ve Duyarlılıklar

	Değer	Duyarlılık ±
X0 (m)	478493.931	0.300
Y0 (m)	4389636.360	0.300
Z0 (m)	8065.037	0.300
w (der)	-1.558770	0.002000
f (der)	0.098100	0.002000
k (der)	1.588650	0.005000

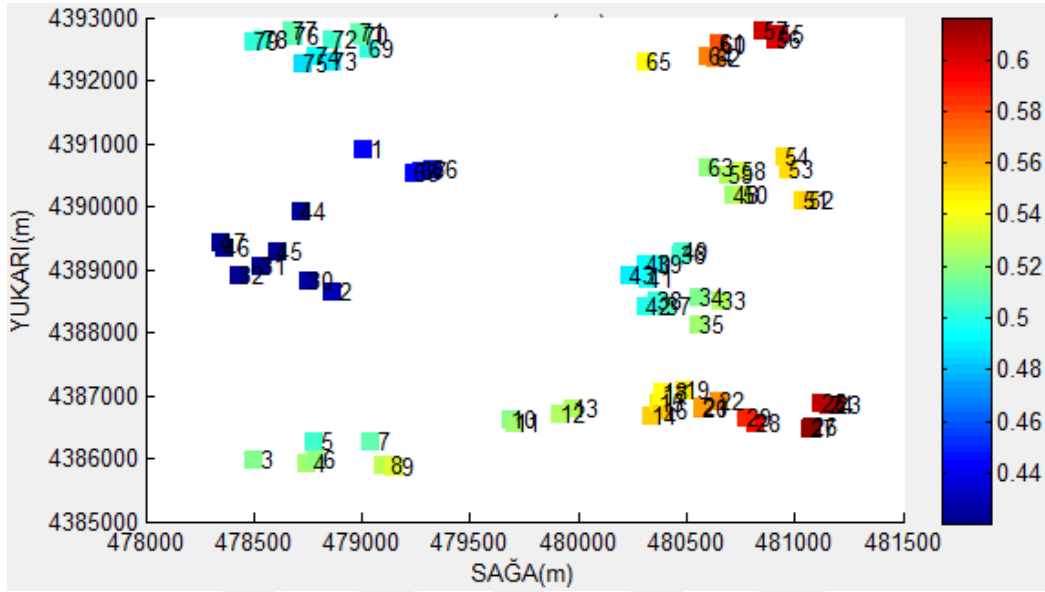
Şekil 5.11 : Girdi dosyasının ve resmin seçilmesi.

Söz konusu görüntü seçilince arayüzün sağ üst kısmında görüntü noktalarının dağılımını gösteren grafik görüntülenir (Şekil 5.12).

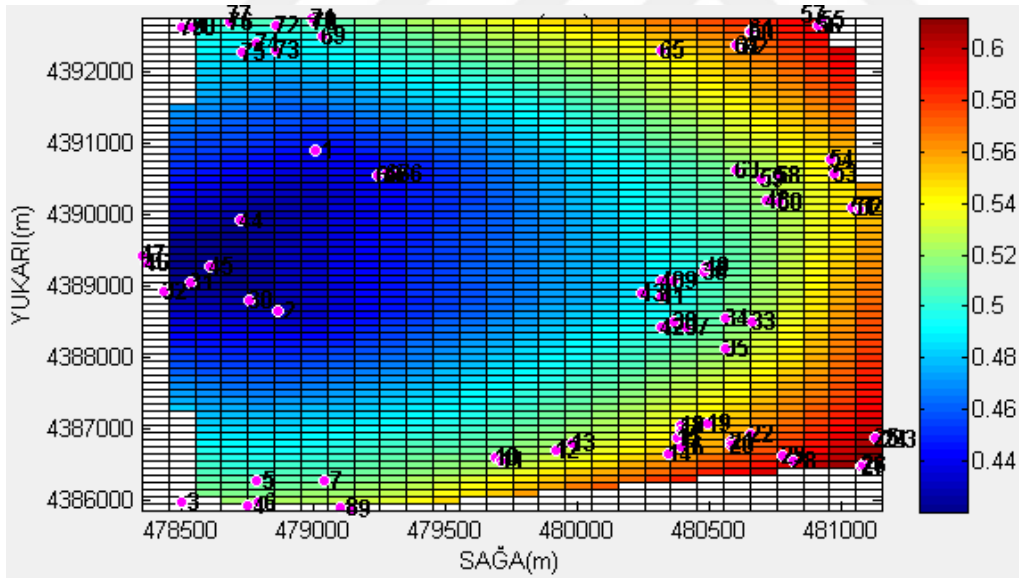


Şekil 5.12 : Görüntü noktalarının dağılımı.

Arayüzün sağ alt kısmında “Çizim Seçenekleri” bölümünden X ve Y konum bileşenleri için renk dağılım haritası ve renk yüzey haritası ayrı ayrı görüntülenebilir (Şekil 5.13 ve Şekil 5.14)



Şekil 5.13 : İlgili konum bileşenine ait renk dağılım haritası.

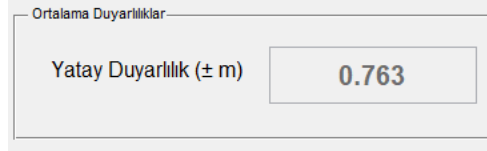


Şekil 5.14 : İlgili konum bileşenine ait renk yüzey haritası.

Çizim seçeneklerinden “Simülasyon Grafikleri” seçeneği işaretlendiğinde, girdi dosyasında bulunan nokta isimleri ayrı bir pencerede (Şekil 5.7) açılır. Açılan pencereden istenilen nokta seçildiğinde, parametre duyarlılıklarının o noktaya ait X ve Y konum bileşenlerine etkisini gösteren grafikler ayrı ayrı gösterilmektedir (Şekil 5.14). Burada söz konusu parametre duyarlılığı sıfır değerinden belirli aralıklarla

arttırılarak ve geriye kalan tüm parametre duyarlılıkları sıfır kabul edilerek konum duyarlılığına etkisi grafiklere çizdirilmiştir.

Son olarak resme ait ortalama konum duyarlılığı arayüzün sol alt kısmında gösterilmektedir (Şekil 5.15).



Şekil 5.15 : Ortalama konum duyarlılığı.

Ayrıca hem tek görüntü hem de çift görüntü için analiz yapıldığında, girdi ve çıktı değerleri bir çıktı dosyasına yazdırılmaktadır (Şekil 5.16).

```

<<<<<< KAMERA PARAMETRELERİ (İÇ YÖNELTME ELEMANLARI) >>>>>>
x0 (mm)      : 0.000 ± 0.000
y0 (mm)      : 0.000 ± 0.000
f (mm)       : 80.000 ± 0.000
Çerçeve (piksel) : 14790 x 23010
Çözünürlük (piksel) : 4.6

<<<<<< DIŞ YÖNELTME ELEMANLARI >>>>>>
                SOL RESİM                SAĞ RESİM
X0 (m)      : 519645.498 ± 0.100        518899.378 ± 0.100
Y0 (m)      : 4338373.506 ± 0.100      4337482.692 ± 0.100
Z0 (m)      : 7471.842 ± 0.200         7472.290 ± 0.200
omega (deg) : 0.121250 ± 0.001000      3.178330 ± 0.001000
fi (deg)    : -0.059900 ± 0.001000     -0.262490 ± 0.001000
kapa (deg)  : -129.784000 ± 0.002000   -130.125240 ± 0.002000

<<<<<< RESİM KOORDİNATI ÖLÇME DUYARLILIĞI >>>>>>
sigma (mikron) : 0.300

<<<<<< ORTALAMA DUYARLILIKLAR >>>>>>
Yatay (m) : 0.793
Düşey (m) : 1.260

<<<<<< ARAZİ KOORDİNATLARI >>>>>>
  S.Nu   Nokta No   X (m)                Y (m)                Z (m)                MSE (m)
  1      4          518583.541 ± 0.185   4337255.444 ± 0.182   201.905 ± 1.523      0.121
  2      5          520349.861 ± 0.273   4335045.471 ± 0.671   108.620 ± 1.693      4.571
  3      20000014    518849.206 ± 0.156   4341291.979 ± 0.793   345.681 ± 1.670      3.261
  4      20000015    518805.760 ± 0.163   4341348.426 ± 0.809   361.298 ± 1.674      5.095
  5      20000016    518792.202 ± 0.165   4341265.995 ± 0.786   347.379 ± 1.669      5.868
  6      30000046    522853.337 ± 0.994   4338599.503 ± 0.230   206.576 ± 2.011      17.885
  7      30000048    522757.238 ± 0.953   4338458.897 ± 0.200   196.857 ± 1.984      17.193
  8      30000050    522422.854 ± 0.832   4338605.131 ± 0.220   202.252 ± 1.911      13.599
  9      30000051    523857.103 ± 1.411   4337817.709 ± 0.170   100.058 ± 2.268      26.872

```

Şekil 5.16 : Çıktı dosyası.

5.2 Stereo Modeller İçin Duyarlılık Analizi Uygulaması

Bu bölümde, Bölüm 5.1’de anlatılan ve arayüzler ile çeşitli projelerde konum duyarlılığı hesaplanmış ve yöneltme parametrelerinin konum duyarlılığına etkisi analiz edilmiştir. Çalışma bölgesi olarak İzmir Bergama bölgesi belirlenmiştir. Söz konusu analizler hava resim çekme makinası ile elde edilen farklı YÖA’da projeler (10cm, 20cm, 30cm ve 45cm) ve İHA projesi ile stereo modeller (çift görüntü yöneltmesi) için hem dengelenmiş hem de doğrudan elde edilen değerler kullanılarak yapılmıştır. Bunun yanında bir projede ortofoto (tek görüntü yöneltmesi) için duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir.

Testlerde kullanılan resim çekme makinası (RÇM) parametreleri Çizelge 5.1’ de sunulmuştur.

Çizelge 5.1 : Resim çekme makinası (RÇM) parametreleri.

Resim çekme makinası	Çerçeve Boyutu (piksel)	Odak Uzaklığı (Mikron)	Piksel Büyüklüğü (Mikron)	x_0	y_0
Ultracam Eagle	13080 x 2010	79.8	5.2	0.00	0.00

5.2.1 10 cm YÖA testi

5.2.1.1 Dengelenmiş değerler ile test

Uygulamada YÖA 10 cm olarak gerçekleştirilmiş bir projeden hava triangulasyonu sonucunda elde edilen değerler kullanılmıştır. Dış yöneltme parametreleri Çizelge 5.2’de, bilinen duyarlılıkları Çizelge 5.3’de sunulmuştur.

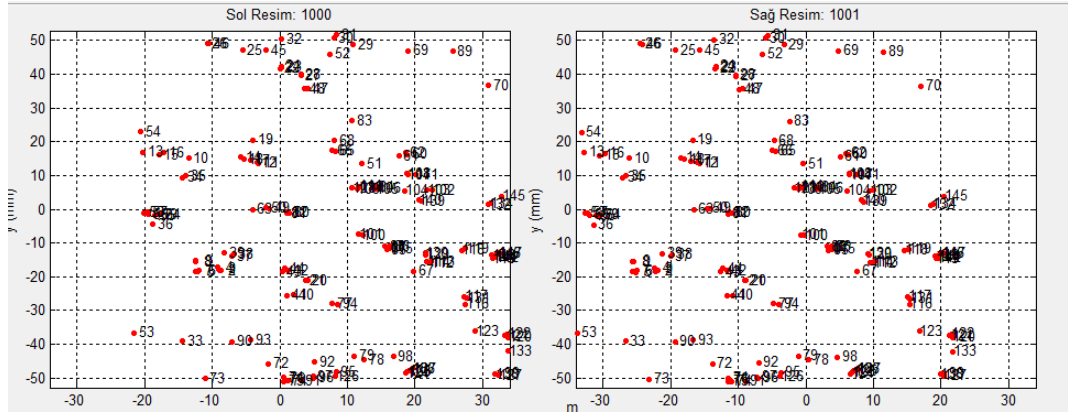
Çizelge 5.2 : Dış yöneltme parametreleri.

Görüntü Nu.	X_0 (m)	Y_0 (m)	Z_0 (m)	ω (°)	φ (°)	κ (°)
1000	519107.95	4334546.97	1654.151	0.03745	0.11963	51.99356
1001	519253.25	4334735.04	1653.837	0.07082	0.1467	51.99836

Çizelge 5.3 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları.

σx_0 (mm)	σy_0 (mm)	σf (mm)	$\sigma \omega$ (°)	$\sigma \varphi$ (°)	$\sigma \kappa$ (°)	σX_0 (m)	σY_0 (m)	σZ_0
0.00001	0.00001	0.00001	0.0002	0.0002	0.0005	0.01	0.01	0.02

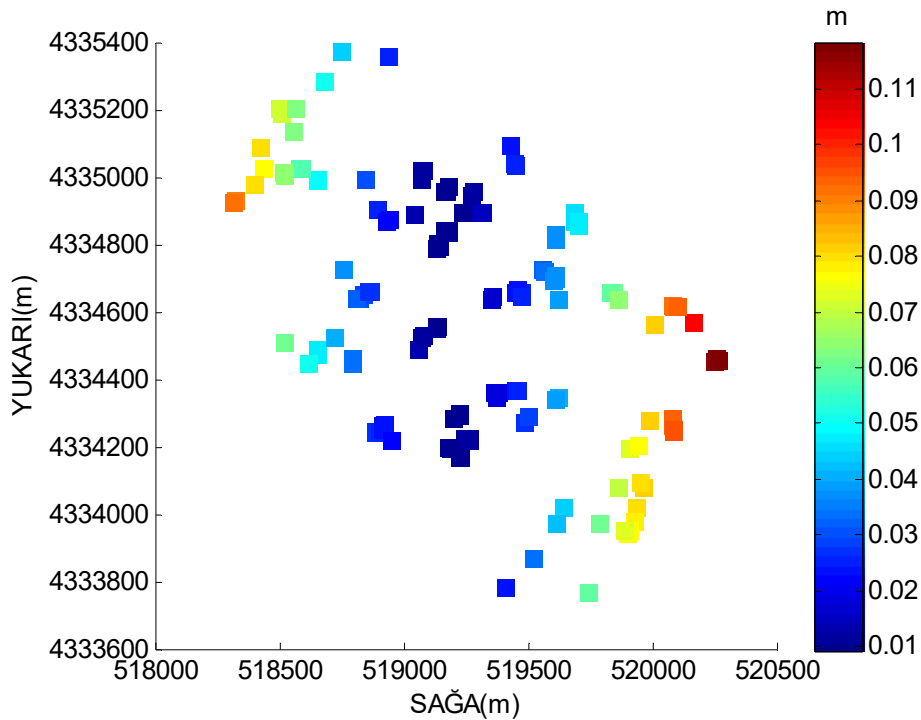
Modele ait noktaların her iki görüntüde de koordinatları ölçülmüştür. Şekil 9.'da stereo model alanında yapılan bağlama noktaları ölçümlerinin dağılımı görülmektedir.



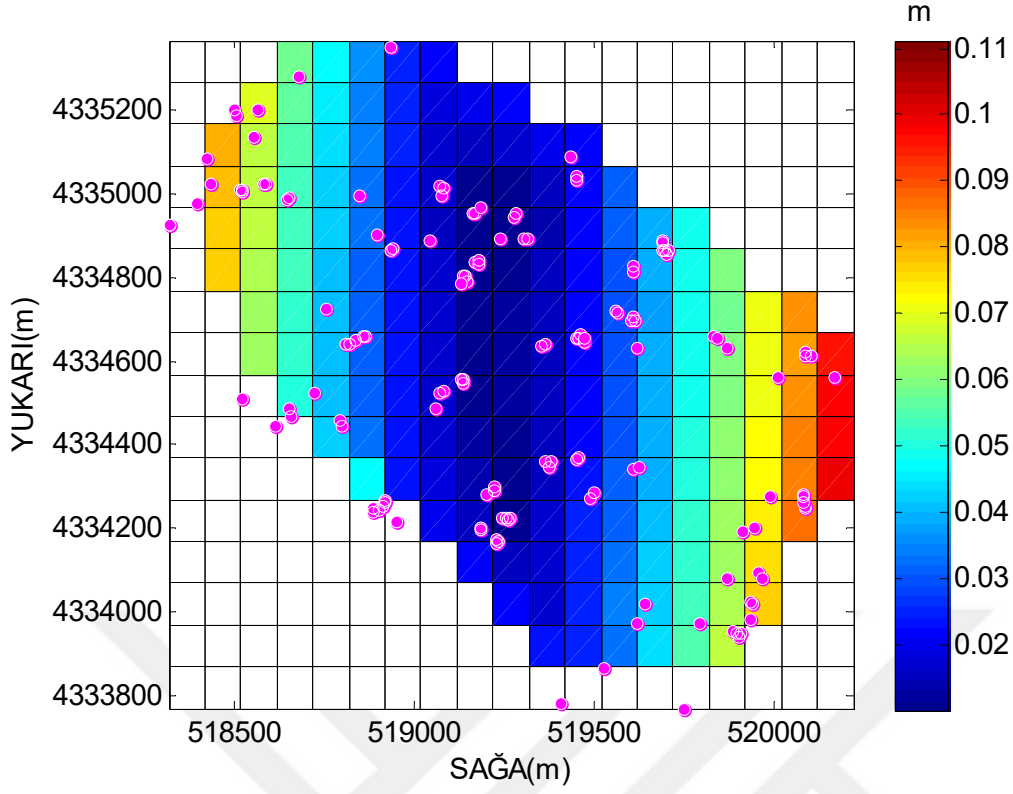
Şekil 5.17 : Stereo model alanında görüntü koordinatlarının dağılımı.

Söz konusu projeye ait model için gerçekleştirilen uygulama sonucunda yatay konum duyarlılığı $\sigma_{xy} = \pm 0.062$ m, düşey konum duyarlılığı ise $\sigma_z = \pm 0.096$ m olarak hesaplanmıştır.

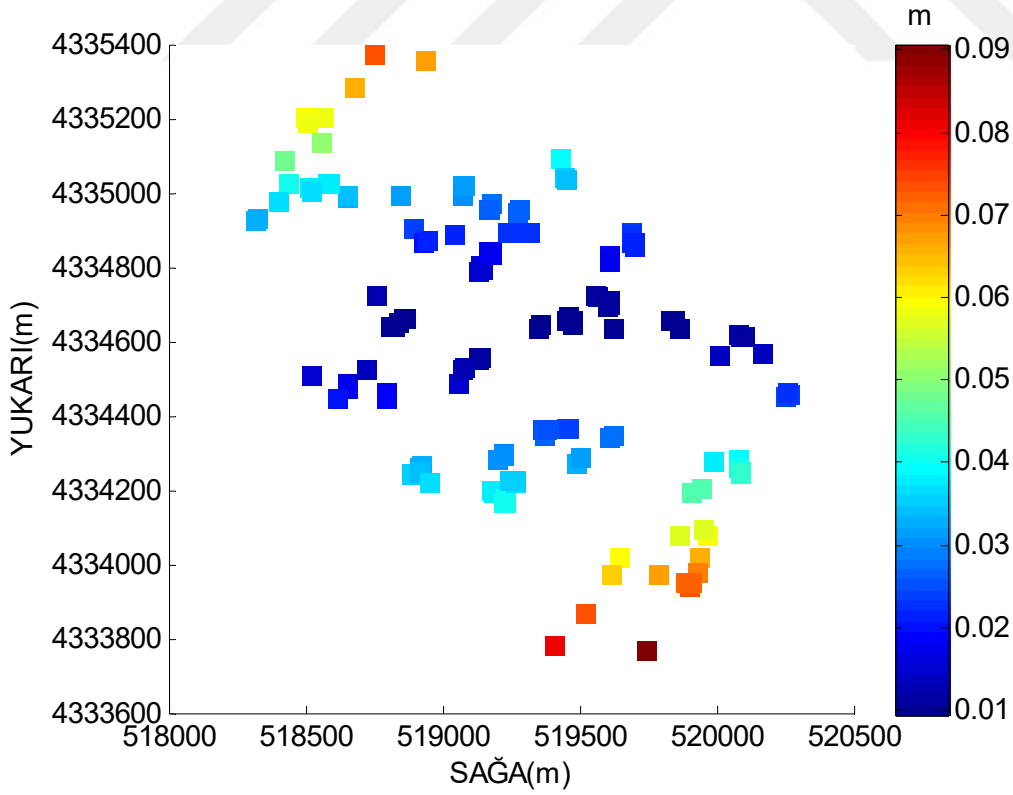
Şekil 5.18 – Şekil 5.23’de ölçülen her bir noktaya ait X, Y ve Z bileşenlerine ait konum duyarlılığı ve bu noktalardan enterpolasyon ile oluşturulmuş renk yüzeyleri ile model üzerinde konum duyarlılığı dağılımları grafik olarak gösterilmiştir.



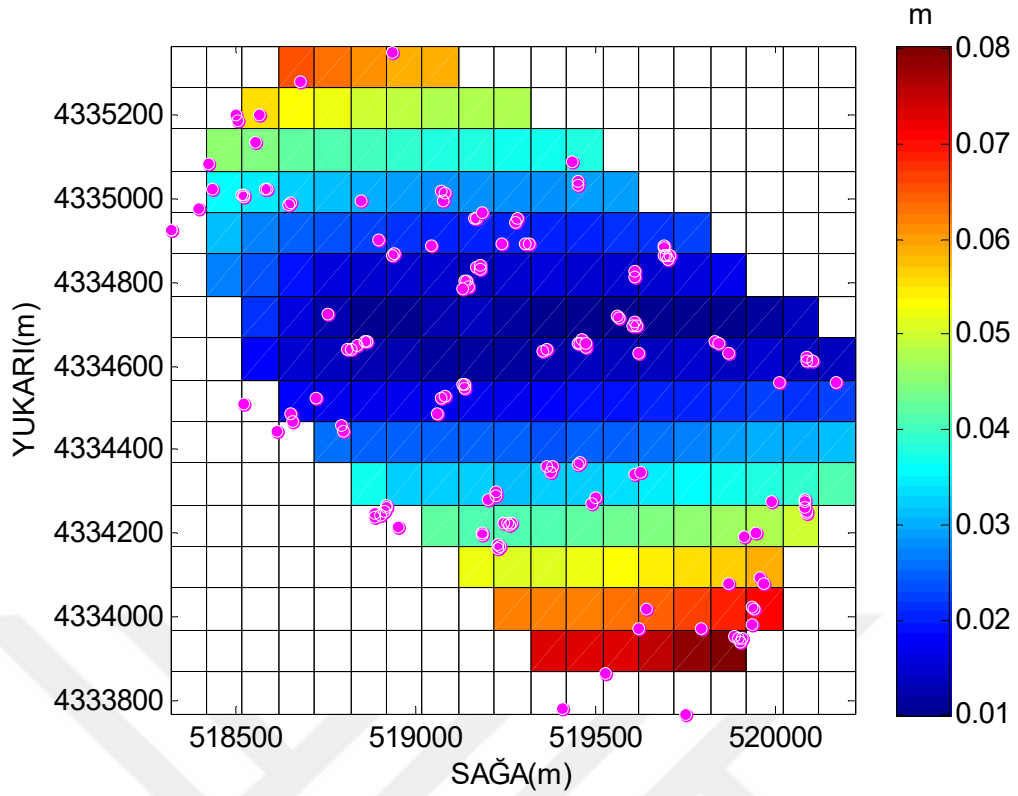
Şekil 5.18 : X koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



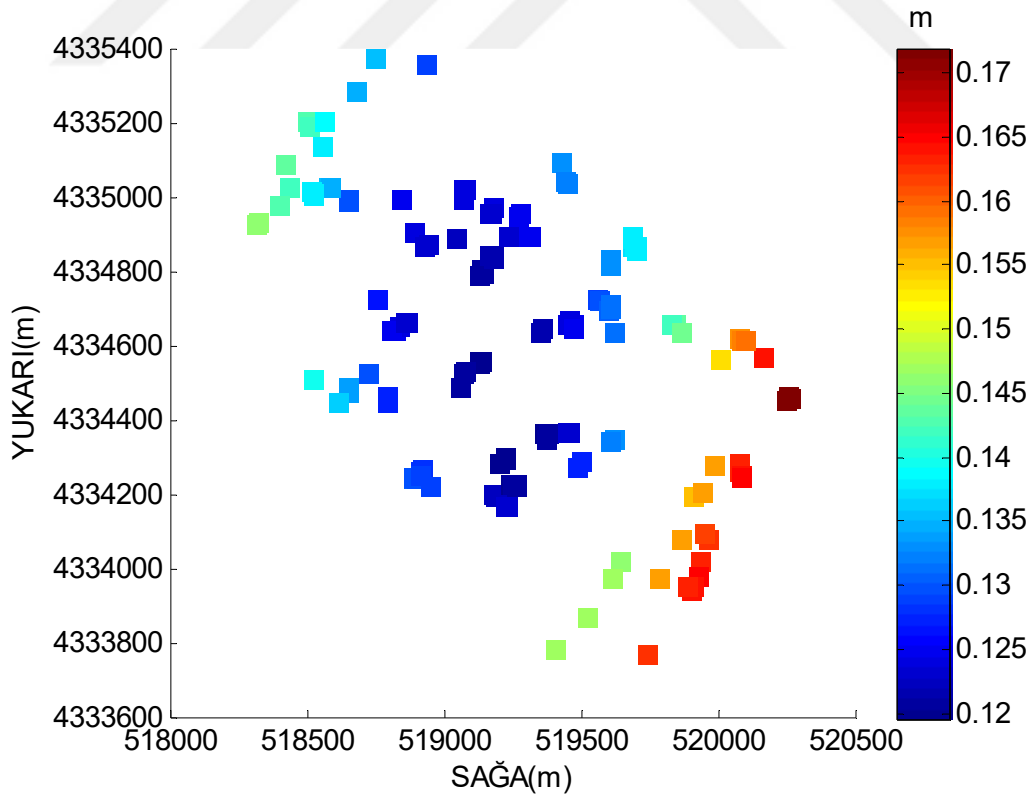
Şekil 5.19 : X koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.



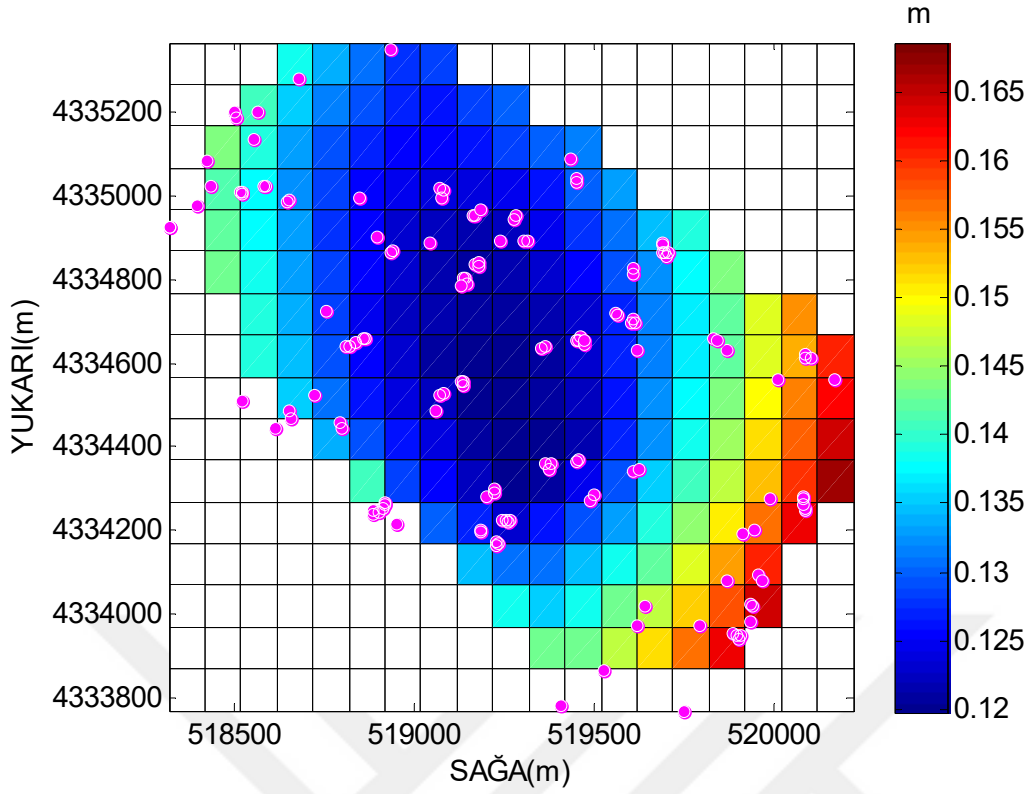
Şekil 5.20 : Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



Şekil 5.21 : Y koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.



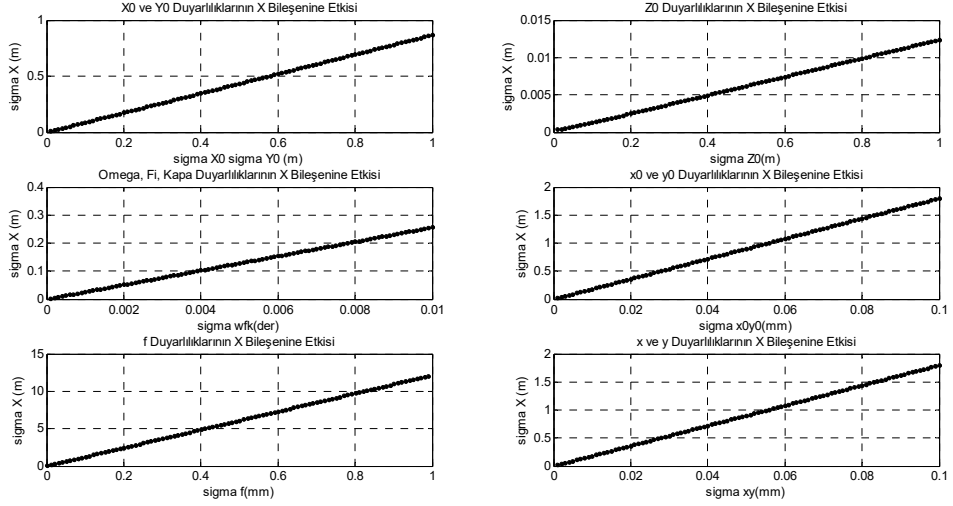
Şekil 5.22 : Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



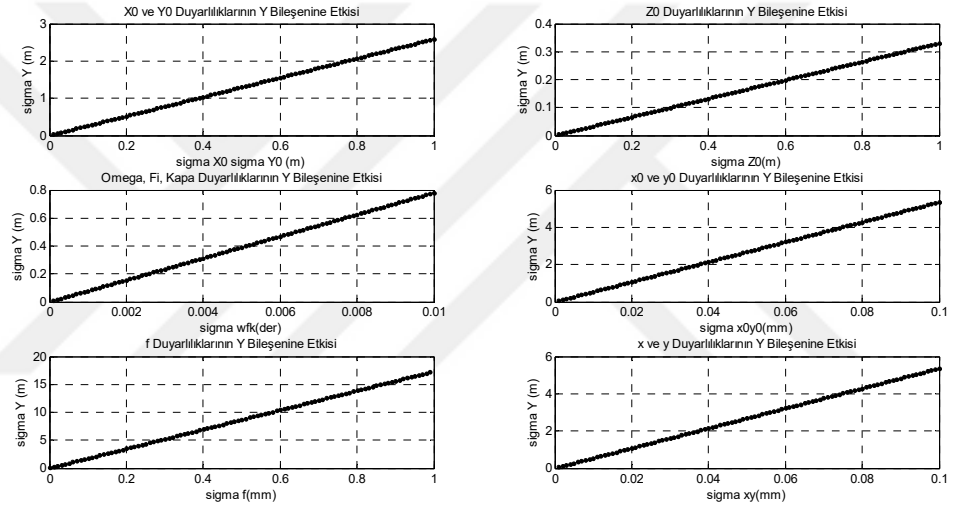
Şekil 5.23 : Z koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.

Şekil 5.18 - Şekil 5.23' de sunulan grafikler incelendiğinde konum duyarlılıkları; X konum bileşeni için $\pm 0.02 - 0.1$ m arasında, Y konum bileşeni $\pm 0.01 - 0.08$ m arasında, Z konum bileşeni ise $\pm 0.12 - 0.17$ m arasında olduğu görülmektedir.

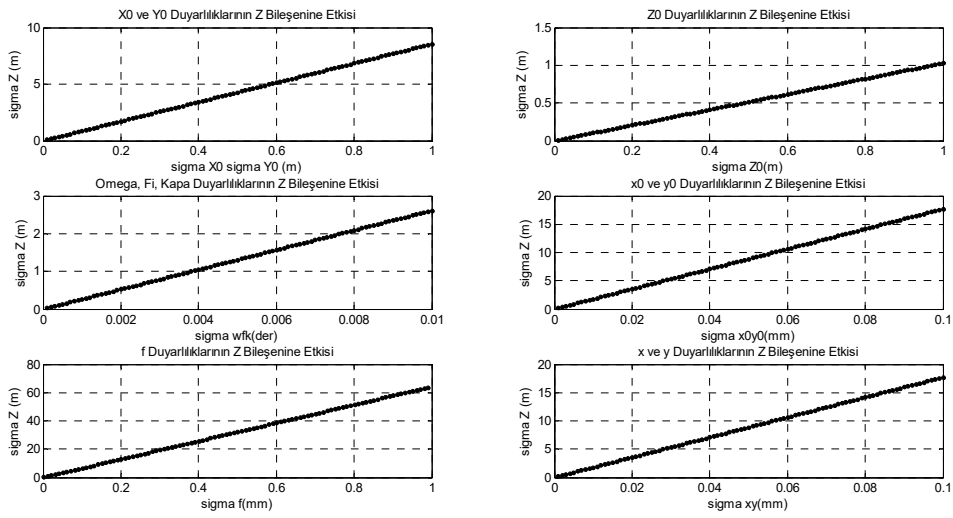
Her bir parametrenin ayrı ayrı izdüşüm denklemlerinde konum duyarlılığına etkisi incelenmiştir. Burada incelenecek parametrenin duyarlılığı sıfıra yakın bir değerden belirli aralıklarla arttırılırken diğer parametreler hatasız ve sabit olarak kabul edilerek grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 5.24 – Şekil 5.26'da sunulan grafikler her bir parametrenin X, Y ve Z bileşenine etkisini göstermektedir.



Şekil 5.24 : Yönelme parametrelerinin X bileşenine etkisi.



Şekil 5.25 : Yönelme parametrelerinin Y bileşenine etkisi.



Şekil 5.26 : Yönelme parametrelerinin Z bileşenine etkisi.

Şekil 16-18’de sunulan grafikler incelendiğinde X ve Y konum bileşenleri yöneltme parametrelerinden birbirine yakın ve aynı oranda etkilendiği görülmektedir. Buna göre X_0 ve Y_0 parametresinin X ve Y konum bileşenlerini bire bir oranda etkilemekte ve lineer bir artış göstermektedir. Z_0 bileşeninin ise X ve Y konum duyarlılığına etkisinin yok denecek az olduğu görülmektedir. Dönüklük parametrelerinin duyarlılığı ise $0^\circ - 0.01^\circ$ aralığında ± 0.3 m ye varan konum hatasına neden olmaktadır ve lineer artış göstermektedir. Ana nokta koordinatları ve nokta ölçüm duyarlılığının da yatay konum duyarlılığını oldukça fazla etkilediği görülmektedir.

Yöneltme parametrelerinin Z konum bileşenine etkisi incelendiğinde; X_0, Y_0 ’ın 0 - 1 m aralığındaki duyarlılığı 1 m’ye kadar, $0^\circ - 0.01^\circ$ aralığında dönüklük duyarlılığının Z konum duyarlılığını $\pm 2-3$ m’ye kadar etkilediği görülmektedir. Z_0 parametresi Z konum bileşenini bileşenini yaklaşık bire bir oranda etkilemektedir. Ana nokta koordinatları ve nokta ölçüm duyarlılığının da Z konum duyarlılığını oldukça fazla etkilemektedir. Buradaki tüm bileşenler için duyarlılık, Z konum bileşenini lineer artış göstererek arttırmaktadır.

5.2.1.2 Doğrudan elde edilen GPS/IMU değerleri ile test

Uygulamada YÖA 10 cm olarak gerçekleştirilmiş bir projeden doğrudan elde edilen GPS/IMU değerleri kullanılmıştır. Dış yöneltme parametreleri Çizelge 5.4’de, bilinen duyarlılıkları Çizelge 5.5’de sunulmuştur.

Çizelge 5.4 : Dış yöneltme parametreleri.

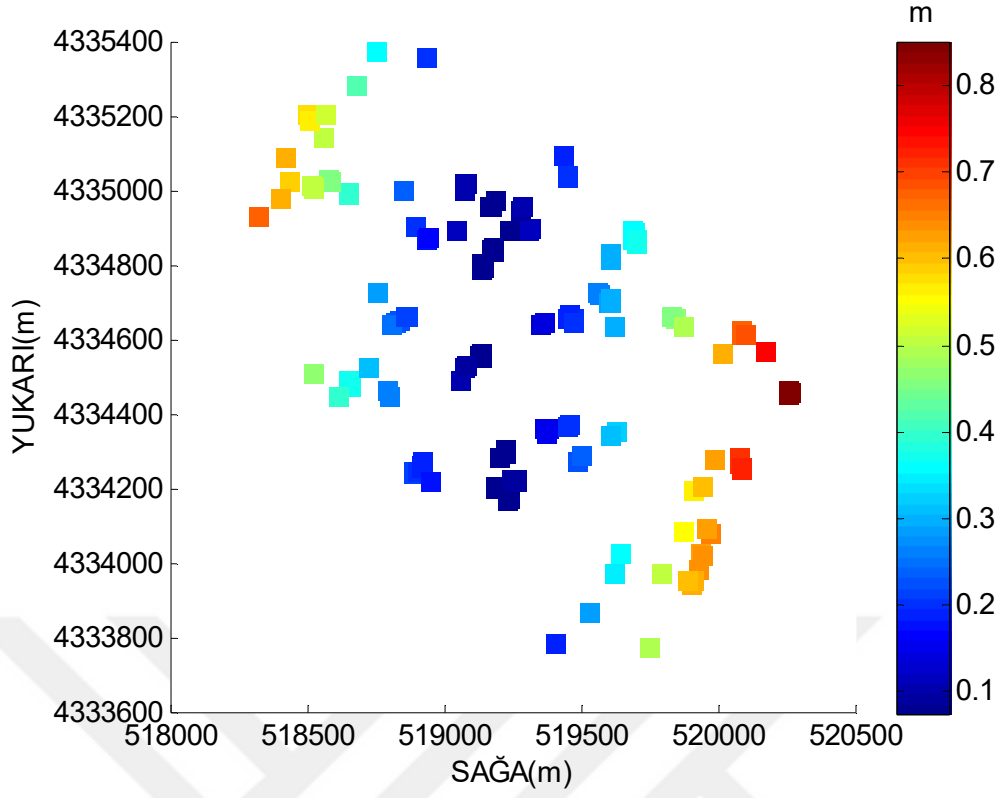
Görüntü						
Nu.	X_0 (m)	Y_0 (m)	Z_0 (m)	ω ($^\circ$)	φ ($^\circ$)	κ ($^\circ$)
1000	518978.36	4337762.65	1750.412	1.28849	-0.27803	-127.6469
1001	518818.61	4337557.33	1751.091	2.4934	-0.24216	-128.0309

Çizelge 5.5 : Yöneltme Parametreleri Duyarlılıkları.

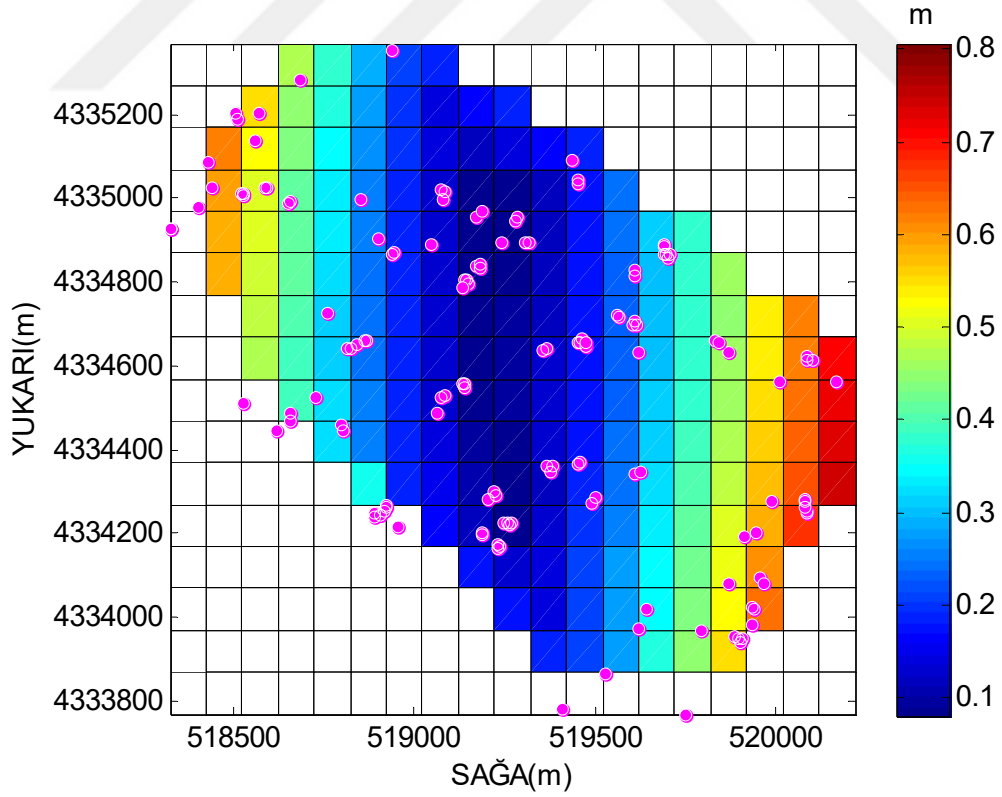
σ_{x_0} (mm)	σ_{y_0} (mm)	σ_f (mm)	σ_ω ($^\circ$)	σ_φ ($^\circ$)	σ_κ ($^\circ$)	σ_{X_0} (m)	σ_{Y_0} (m)	σ_{Z_0}
0.00001	0.00001	0.00001	0.001	0.001	0.002	0.1	0.1	0.2

Söz konusu projeye ait model için gerçekleştirilen uygulama sonucunda yatay konum duyarlılığı $\sigma_{xy} = \pm 0.425$ m, düşey konum duyarlılığı ise $\sigma_z = \pm 0.691$ m olarak belirlenmiştir.

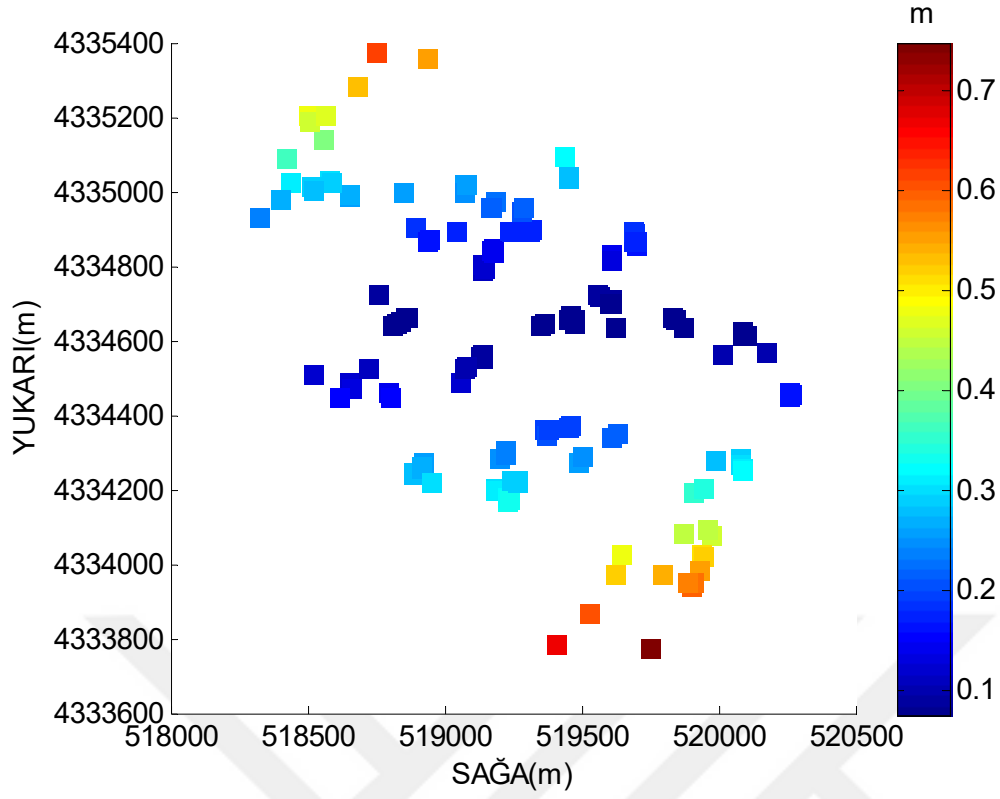
Şekil 5.27 – Şekil 5.32’ de ölçülen her bir noktaya ait X, Y ve Z bileşenlerine ait konum duyarlılığı ve bu noktalardan enterpolasyon ile oluşturulmuş renk yüzeyleri ile model üzerinde konum duyarlılığı dağılımları grafik olarak gösterilmiştir.



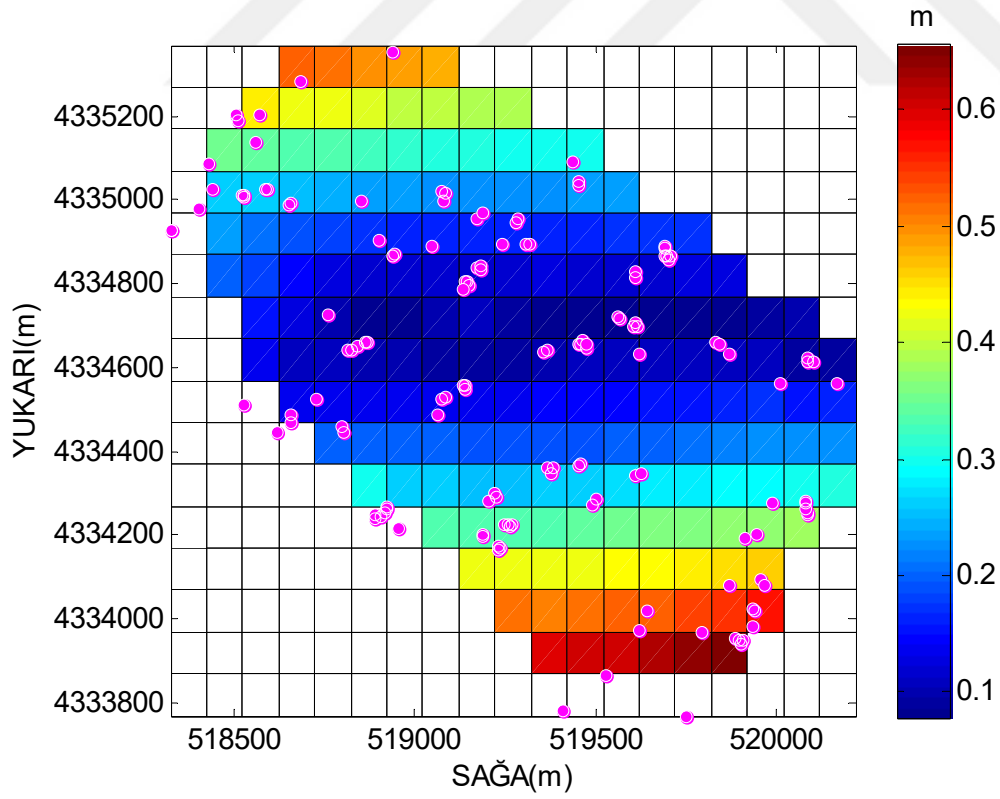
Şekil 5.27 : X koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



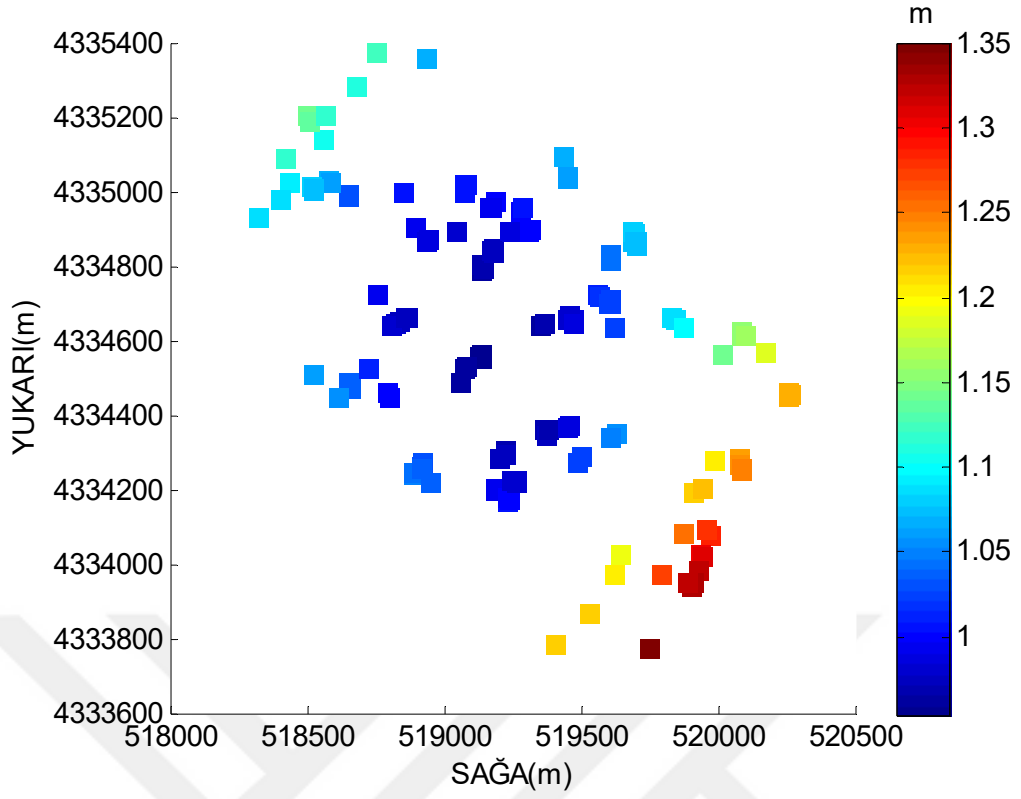
Şekil 5.28 : X koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.



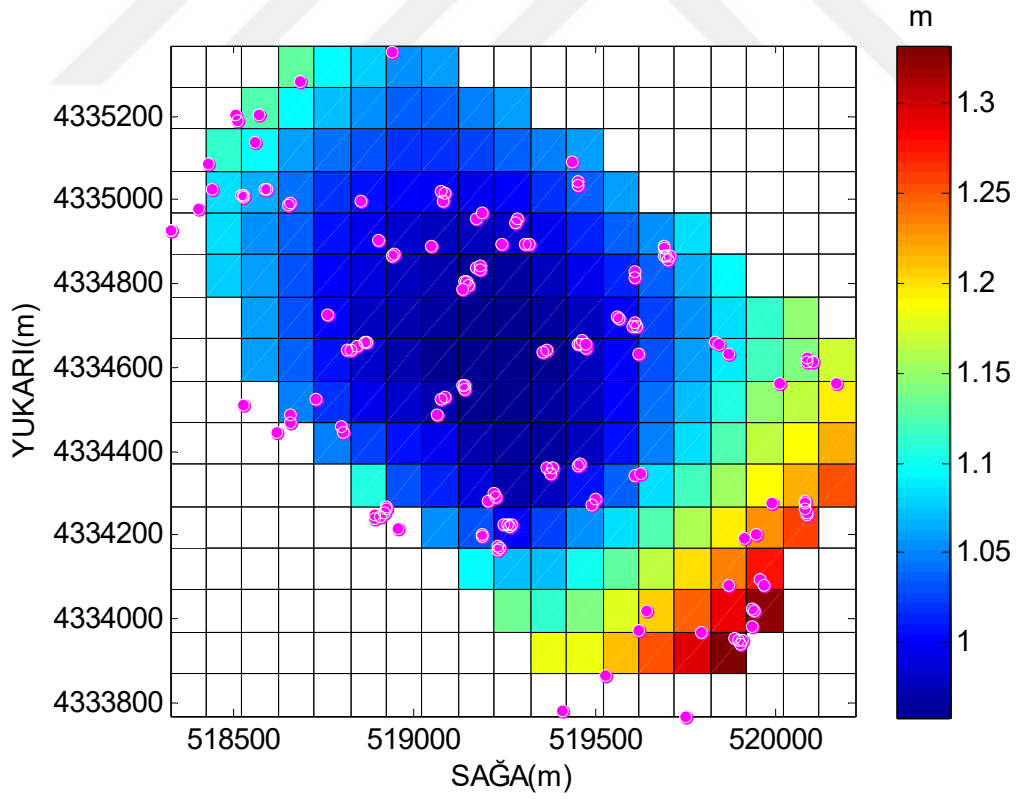
Şekil 5.29 : Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



Şekil 5.30 : Y koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.



Şekil 5.31 : Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



Şekil 5.32 : Z koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.

Şekil (10-15)'de sunulan grafikler incelendiğinde konum duyarlılıkları; X konum bileşeni için $\pm 0.1 - 0.7$ m arasında, Y konum bileşeni için $\pm 0.1 - 0.6$ m arasında, Z konum bileşeni ise $\pm 1-1.3$ m arasında olduğu görülmektedir.

5.2.2 20 cm YÖA testi

5.2.2.1 Dengelenmiş değerler ile test

Uygulamada YÖA 20 cm olarak gerçekleştirilmiş bir projeden hava triangülasyonu sonucunda elde edilen değerler kullanılmıştır. Dış yöneltme parametreleri Çizelge 5.6'de, bilinen duyarlılıkları Çizelge 5.7'de sunulmuştur.

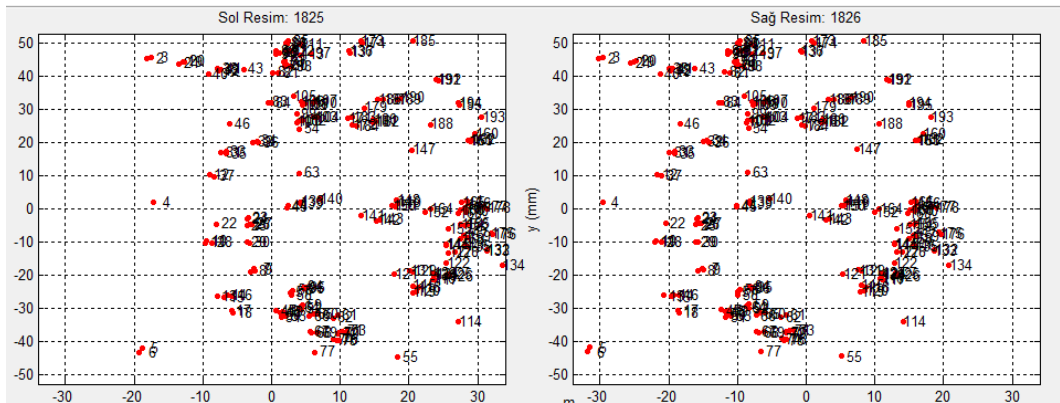
Çizelge 5.6 : Dış yöneltme parametreleri.

Görüntü Nu.	X_0 (m)	Y_0 (m)	Z_0 (m)	ω (°)	φ (°)	κ (°)
1825	519198.00	4338120.11	3269.01	0.7668	-0.1414	-128.8669
1826	518895.98	4337745.37	3269.03	0.89367	-0.13723	-128.7976

Çizelge 5.7 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları.

σx_0 (mm)	σy_0 (mm)	σf (mm)	$\sigma \omega$ (°)	$\sigma \varphi$ (°)	$\sigma \kappa$ (°)	σX_0 (m)	σY_0 (m)	σZ_0
0.00001	0.00001	0.00001	0.0002	0.0002	0.0005	0.01	0.01	0.02

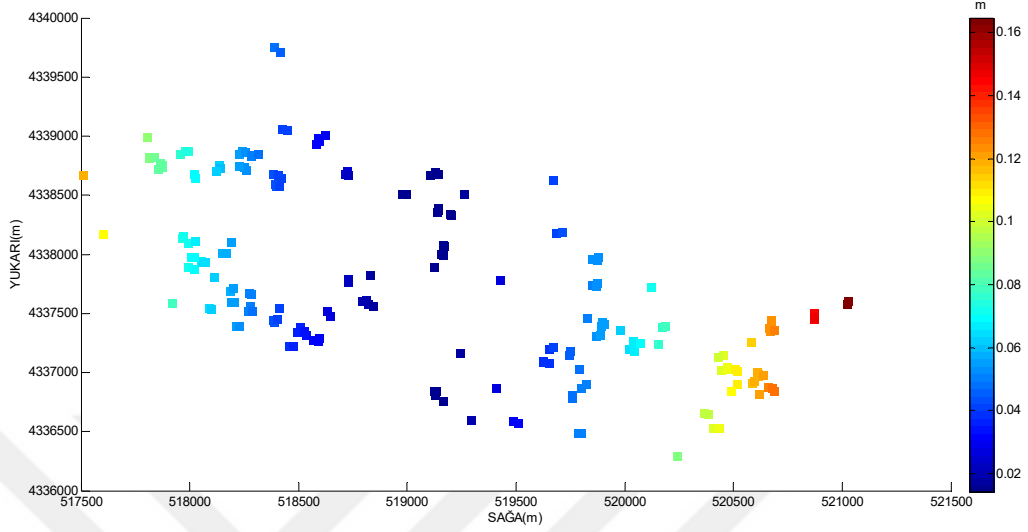
Modele ait noktaların her iki görüntüde de koordinatları ölçülmüştür. Şekil 5.33'de stereo model alanında yapılan bağlama noktaları ölçümlerinin dağılımı görülmektedir.



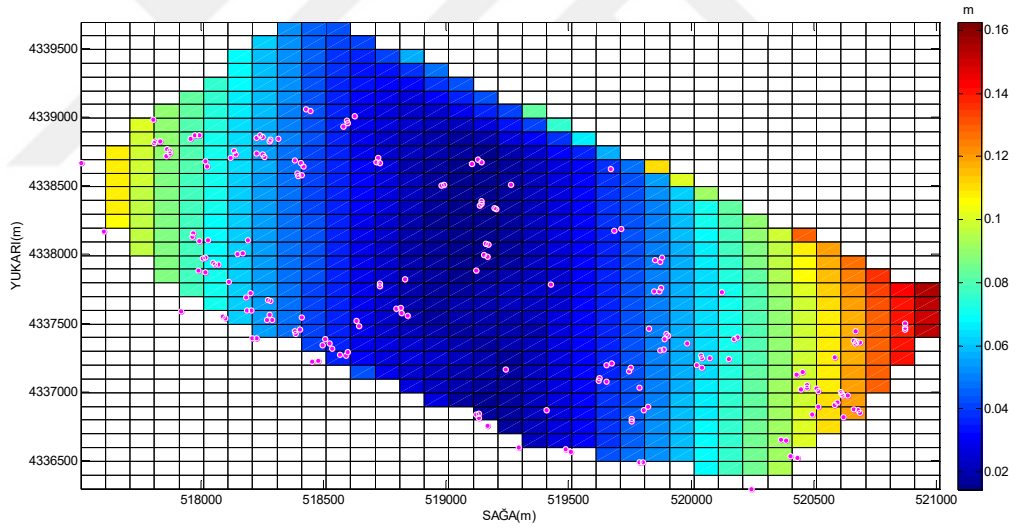
Şekil 5.33 : Stereo model alanında görüntü koordinatlarının dağılımı.

Söz konusu projeye ait model için gerçekleştirilen uygulama sonucunda yatay konum duyarlılığı $\sigma_{xy} = \pm 0.088$ m, düşey konum duyarlılığı ise $\sigma_z = \pm 0.143$ m olarak belirlenmiştir.

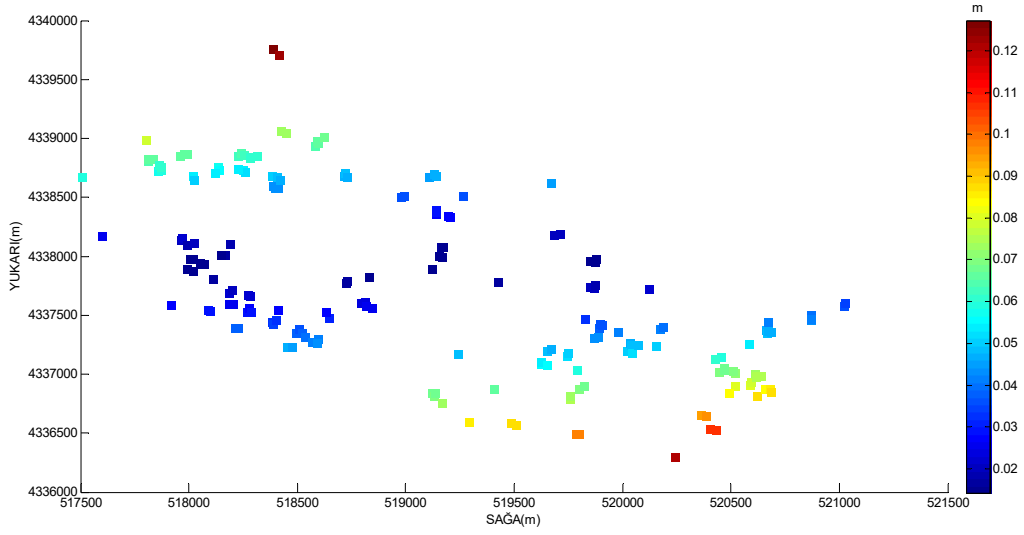
Şekil 5.34 – Şekil 5.39’ da ölçülen her bir noktaya ait X, Y ve Z bileşenlerine ait konum duyarlılığı ve bu noktalardan enterpolasyon ile oluşturulmuş renk yüzeyleri ile model üzerinde konum duyarlılığı dağılımları grafik olarak gösterilmiştir.



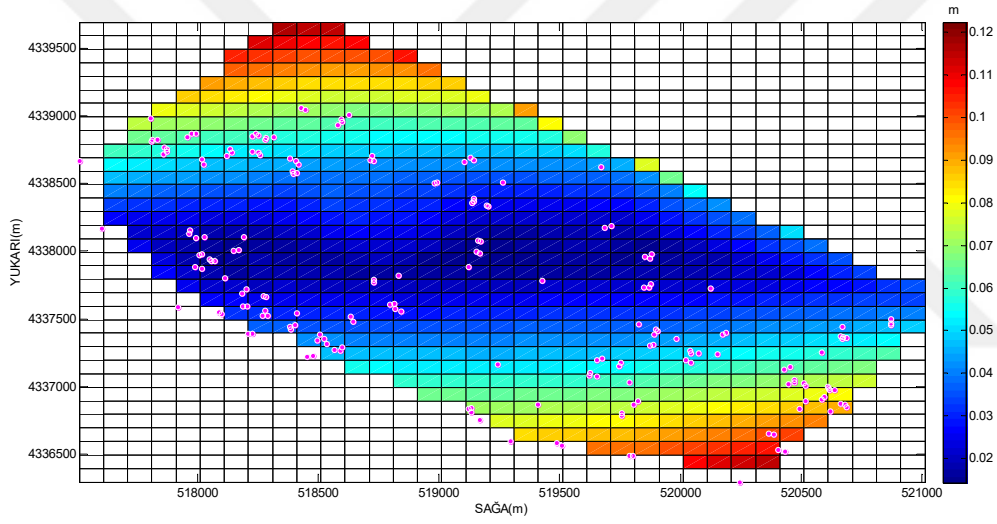
Şekil 5.34 : X koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



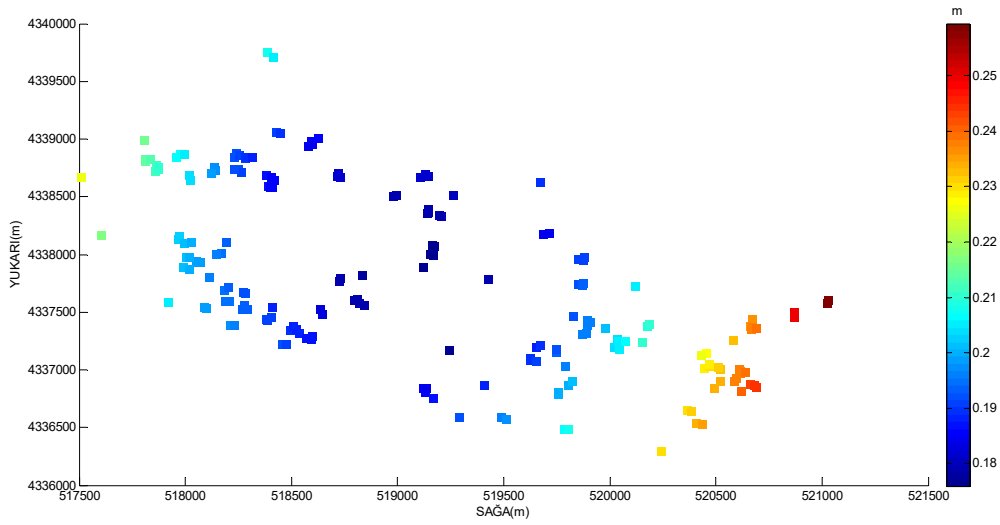
Şekil 5.35 : X koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.



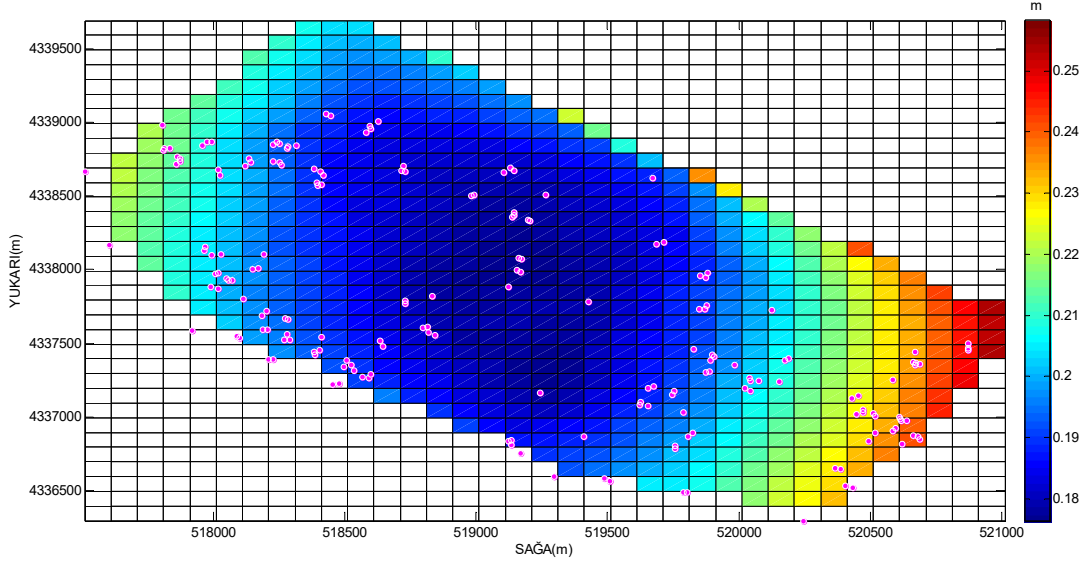
Şekil 5.36 : Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



Şekil 5.37 : Y koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.



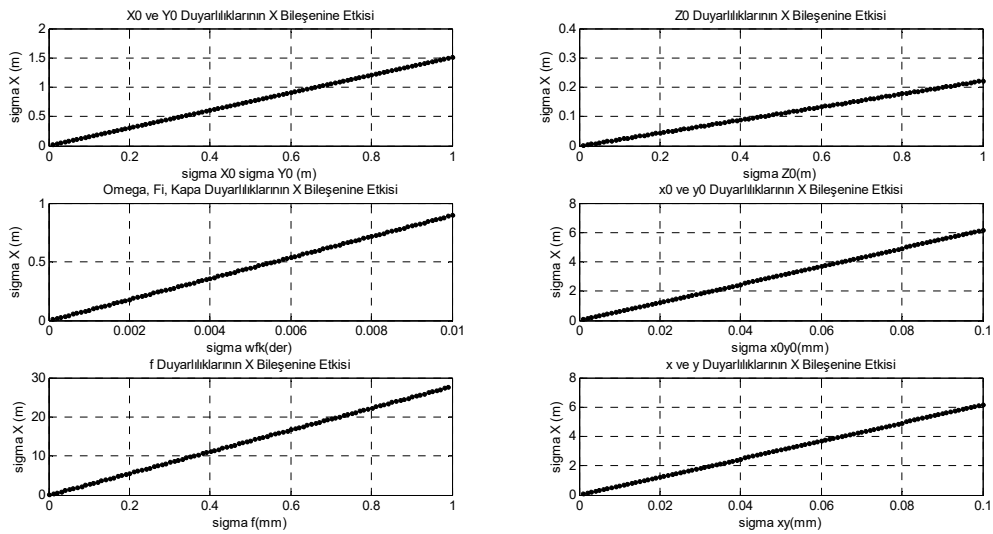
Şekil 5.38: Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



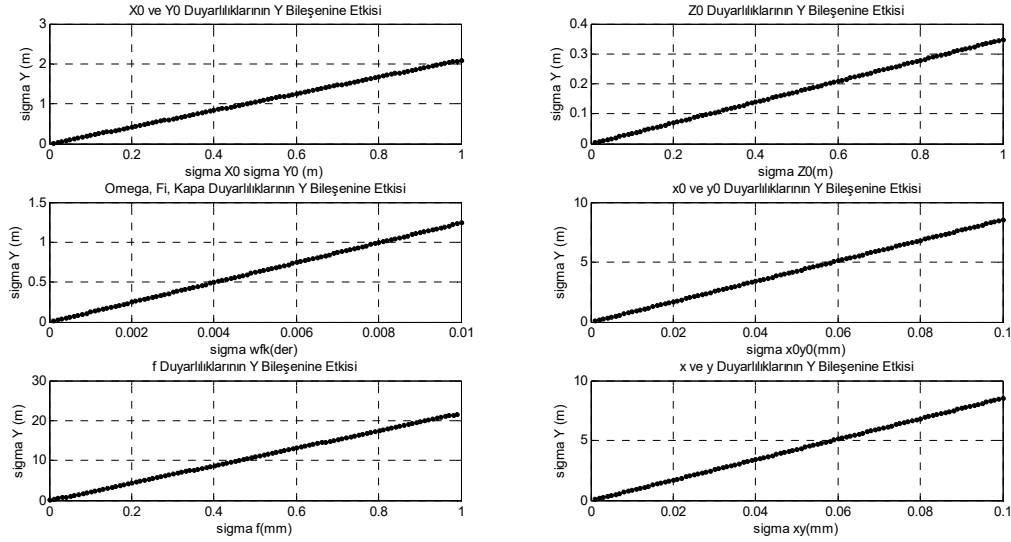
Şekil 5.39 : Z koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.

Şekil 5.34 – Şekil 5.39 arasında sunulan grafikler incelendiğinde konum duyarlılıkları; X konum bileşeni için $\pm 0.02 - 0.16$ m arasında, Y konum bileşeni $\pm 0.02 - 0.12$ m arasında, Z konum bileşeni ise $\pm 0.18 - 0.25$ m arasında olduğu görülmektedir.

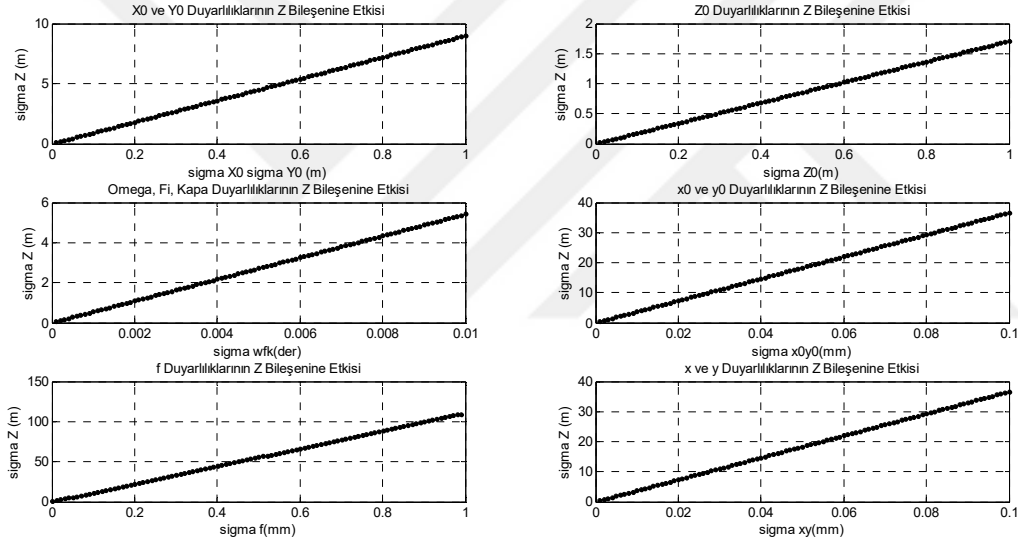
Her bir parametrenin ayrı ayrı izdüşüm denklemlerinde konum duyarlılığına etkisi incelenmiştir. Burada hangi parametrenin duyarlılığı incelenecekse onun duyarlılığı sıfıra yakın bir değerden belirli aralıklarla artırılırken diğer parametreler hatasız ve sabit olarak kabul edilerek grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 5.40 – Şekil 5.42 arasında sunulan grafikler her bir parametrenin X, Y ve Z bileşenine etkisini göstermektedir.



Şekil 5.40 : Yönelme parametrelerinin X bileşenine etkisi.



Şekil 5.41 : Yönelme parametrelerinin Y bileşenine etkisi.



Şekil 5.42 : Yönelme parametrelerinin Z bileşenine etkisi.

Şekil 5.40 – Şekil 5.42 arasında sunulan grafikler incelendiğinde X ve Y konum bileşenleri yönelme parametrelerinden birbirine yakın ve aynı oranda etkilendiği görülmektedir. Buna göre X_0 ve Y_0 parametresinin X ve Y konum bileşenlerini bire bir oranda etkilemekte ve lineer bir artış göstermektedir. Z_0 bileşeninin ise X ve Y konum duyarlılığına etkisinin yok denecek kadar az olduğu görülmektedir. Dönüklük parametrelerinin duyarlılığı ise $0^\circ - 0.01^\circ$ aralığında ± 1 m ye varan konum duyarlılığına neden olmaktadır ve lineer artış göstermektedir. Ana nokta koordinatları ve nokta ölçüm duyarlılığının da yatay konum duyarlılığını oldukça fazla etkilediği görülmektedir.

Yöneltme parametrelerinin Z konum bileşenine etkisi incelendiğinde; X_0 , Y_0 'ın 0 - 8 m aralığındaki duyarlılığı ± 1 m'ye kadar, $0^\circ - 0.01^\circ$ aralığında dönüklük duyarlılığının Z konum duyarlılığını ± 5 m'ye kadar etkilediği görülmektedir. Z_0 parametresi Z konum bileşenini bileşenini yaklaşık bire bir oranda etkilemektedir. Ana nokta koordinatları ve nokta ölçüm duyarlılığının da Z konum duyarlılığını oldukça fazla etkilemektedir. Buradaki tüm bileşenler için duyarlılık, Z konum bileşenini lineer artış göstererek arttırmaktadır.

5.2.2.2 Doğrudan elde edilen GPS/IMU değerleri ile test

Uygulamada YÖA 20 cm olarak gerçekleştirilmiş bir projeden doğrudan elde edilen GPS/IMU değerleri kullanılmıştır. Dış yöneltme parametreleri Çizelge 5.8'da, bilinen duyarlılıkları Çizelge 5.9'de sunulmuştur.

Çizelge 5.8 : Dış yöneltme parametreleri.

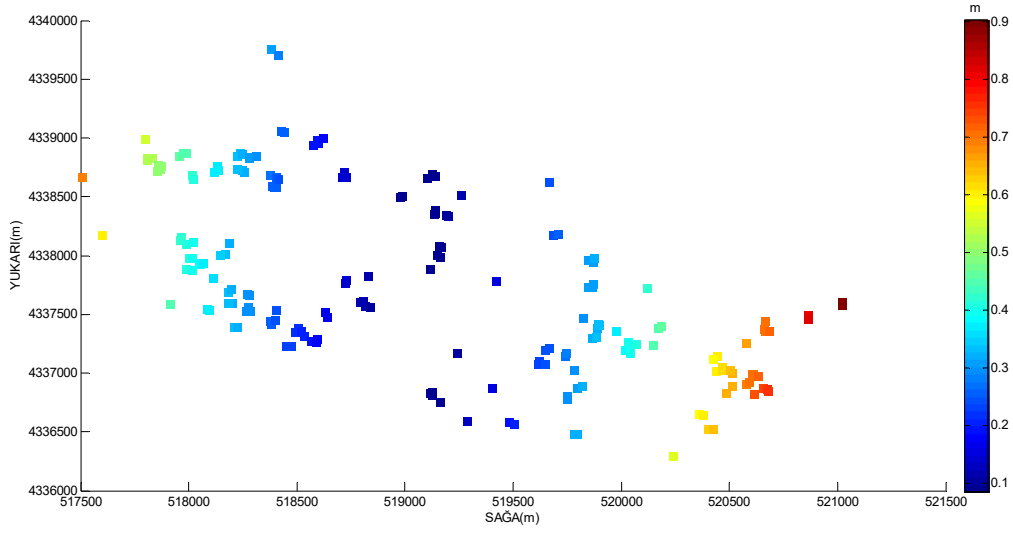
Görüntü Nu.	X_0 (m)	Y_0 (m)	Z_0 (m)	ω ($^\circ$)	φ ($^\circ$)	κ ($^\circ$)
1000	518978.36	4337762.65	1750.412	1.28849	-0.27803	-127.6469
1001	518818.61	4337557.33	1751.091	2.4934	-0.24216	-128.0309

Çizelge 5.9 : Yöneltme Parametreleri Duyarlılıkları.

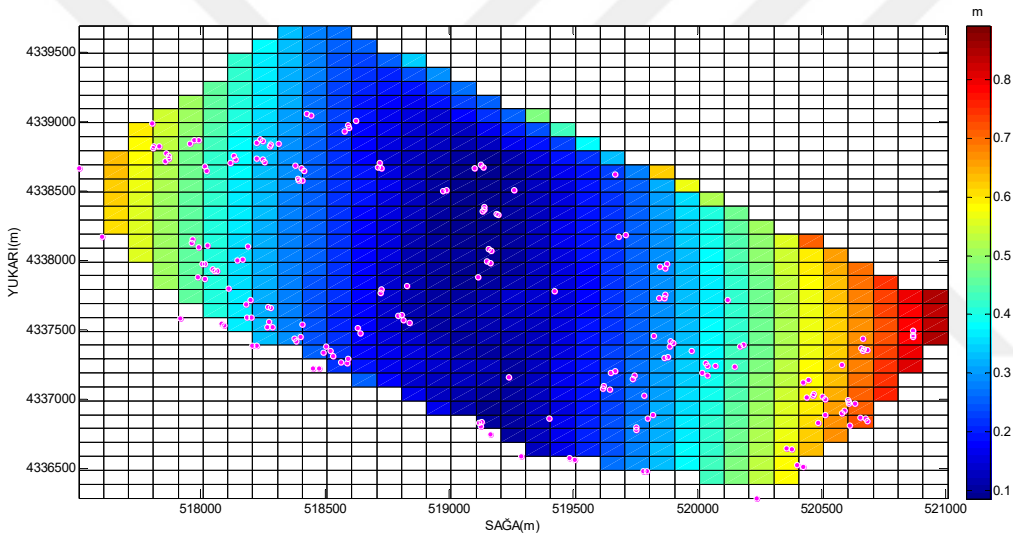
σ_{X_0} (mm)	σ_{Y_0} (mm)	σ_f (mm)	σ_{ω} ($^\circ$)	σ_{φ} ($^\circ$)	σ_{κ} ($^\circ$)	σ_{X_0} (m)	σ_{Y_0} (m)	σ_{Z_0}
0.00001	0.00001	0.00001	0.001	0.001	0.002	0.1	0.1	0.2

Söz konusu projeye ait model için gerçekleştirilen uygulama sonucunda yatay konum duyarlılığı $\sigma_{xy} = \pm 0.521$ m, düşey konum duyarlılığı ise $\sigma_z = \pm 0.852$ m olarak hesaplanmıştır.

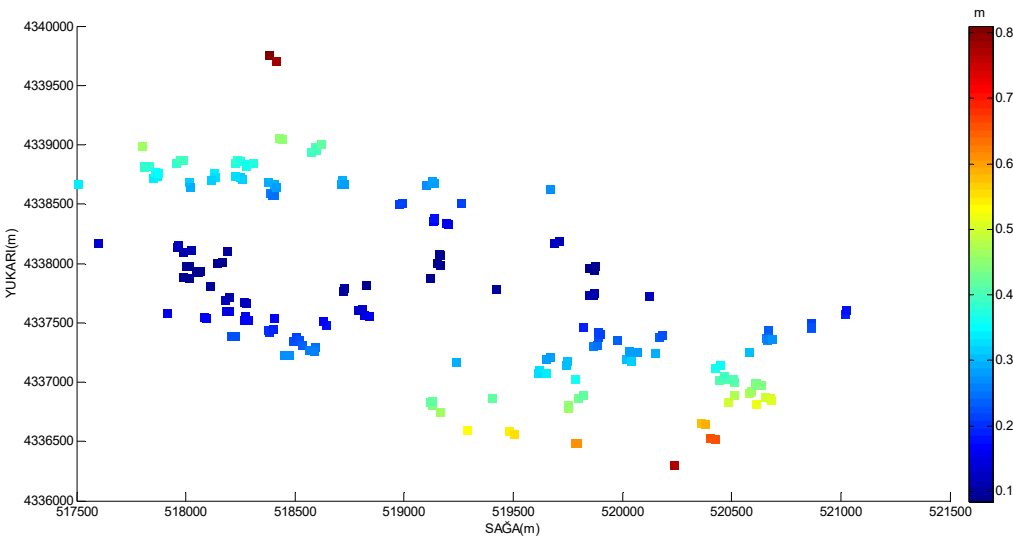
Şekil 5.43 – Şekil 5.48 arasında ölçülen her bir noktaya ait X, Y ve Z bileşenlerine ait konum duyarlılığı ve bu noktalardan enterpolasyon ile oluşturulmuş renk yüzeyleri ile model üzerinde konum duyarlılığı dağılımları grafik olarak gösterilmiştir.



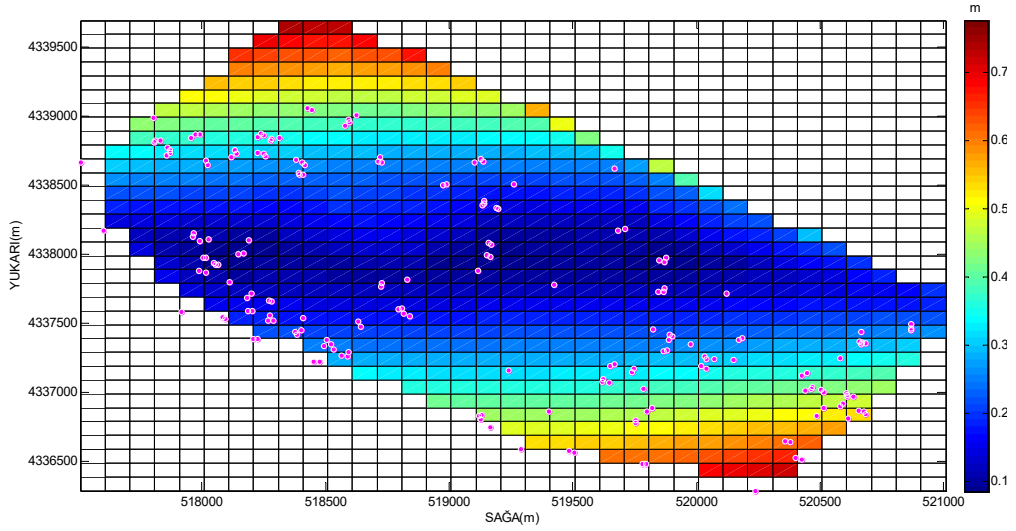
Şekil 5.43 : X koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



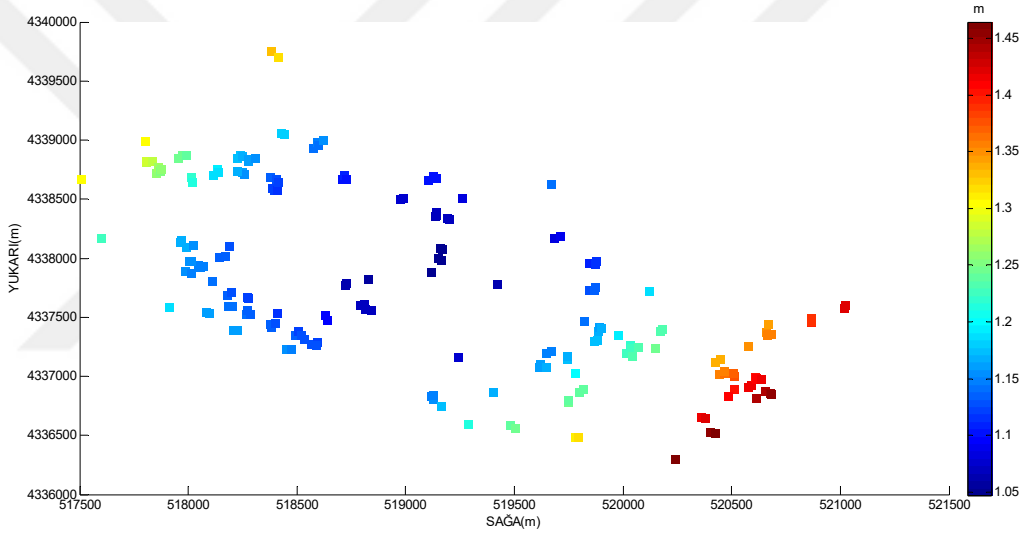
Şekil 5.44 : X koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.



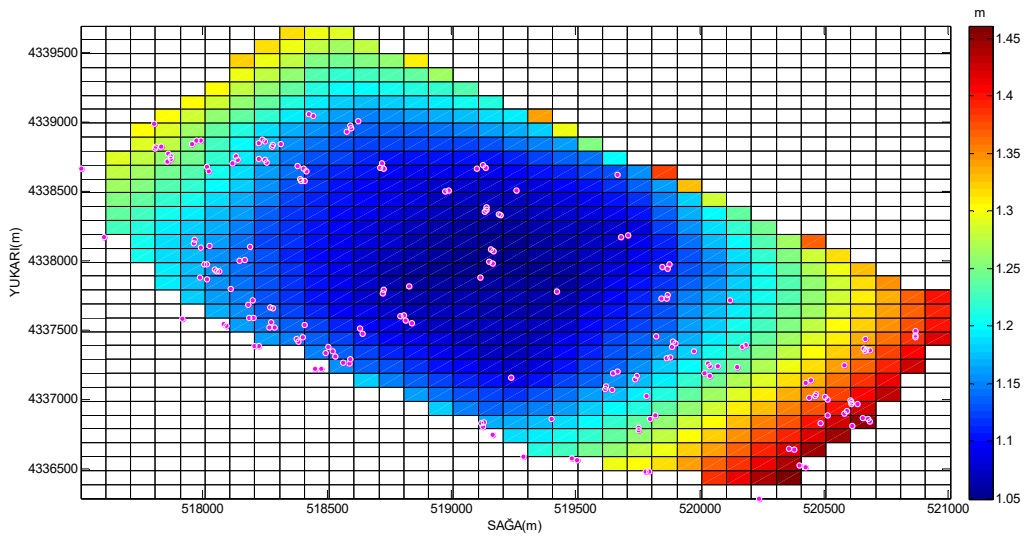
Şekil 5.45 : Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



Şekil 5.46 : Y koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.



Şekil 5.47 : Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



Şekil 5.48 : Z koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.

Şekil 5.43 – Şekil 5.48 arasında sunulan grafikler incelendiğinde konum duyarlılıkları; X konum bileşeni için $\pm 0.1 - 0.8$ m arasında, Y konum bileşeni $\pm 0.1 - 0.9$ m arasında, Z konum bileşeni ise $\pm 1.1-1.5$ m arasında olduğu görülmektedir.

5.2.3 30 cm YÖA testi

5.2.3.1 Dengelenmiş değerler ile test

Uygulamada YÖA 30 cm olarak gerçekleştirilmiş bir projeden hava triangulasyonu sonucunda elde edilen değerler kullanılmıştır. Dış yöneltme parametreleri Çizelge 5.10’da, bilinen duyarlılıkları Çizelge 5.11’de sunulmuştur.

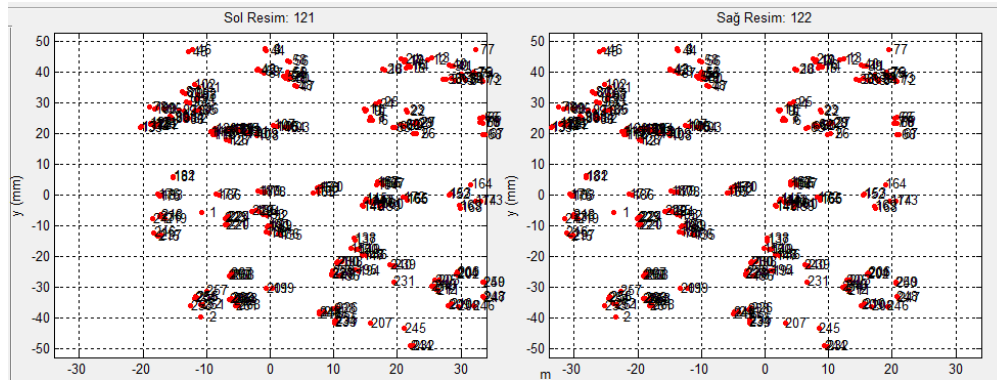
Çizelge 5.10 : Dış yöneltme parametreleri.

Görüntü Nu.	X_0 (m)	Y_0 (m)	Z_0 (m)	ω (°)	φ (°)	κ (°)
121	513578.27	4331303.34	5045.986	0.04706	0.14566	49.54235
122	514076.16	4331890.03	5045.242	0.07744	0.12173	49.72597

Çizelge 5.11 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları.

σx_0 (mm)	σy_0 (mm)	σf (mm)	$\sigma \omega$ (°)	$\sigma \varphi$ (°)	$\sigma \kappa$ (°)	σX_0 (m)	σY_0 (m)	σZ_0
0.00001	0.00001	0.00001	0.0002	0.0002	0.0005	0.01	0.01	0.02

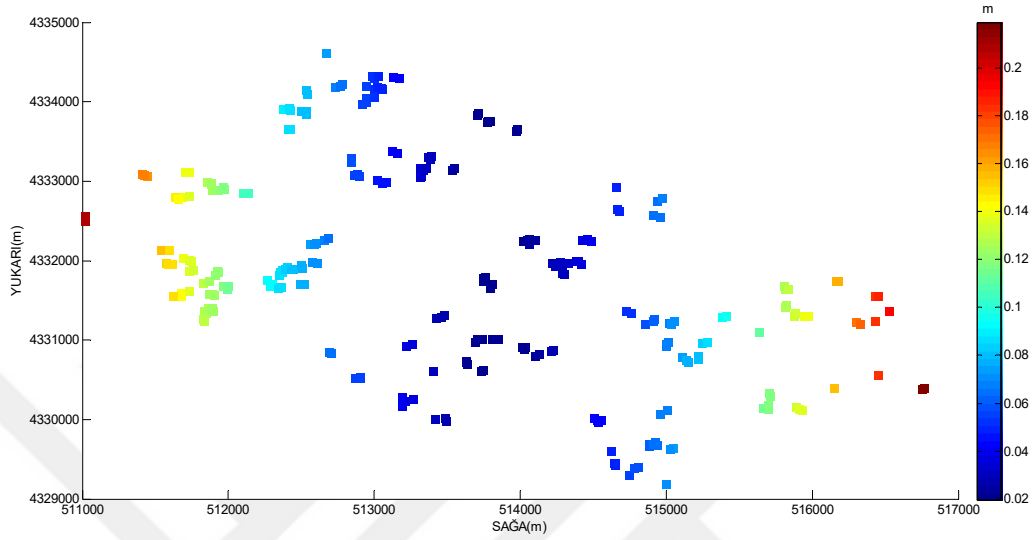
Modele ait noktaların her iki görüntüde de koordinatları ölçülmüştür. Şekil 5.49’da stereo model alanında yapılan bağlama noktaları ölçümlerinin dağılımı görülmektedir.



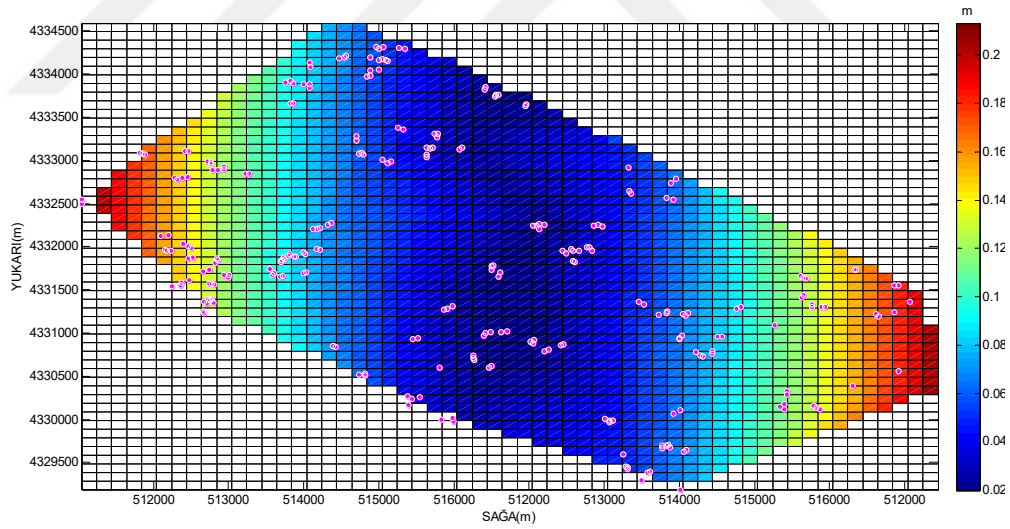
Şekil 5.49 : Stereo model alanında görüntü koordinatlarının dağılımı.

Söz konusu projeye ait model için gerçekleştirilen uygulama sonucunda yatay konum duyarlılığı $\sigma_{xy} = \pm 0.121$ m, düşey konum duyarlılığı ise $\sigma_z = \pm 0.199$ m olarak belirlenmiştir.

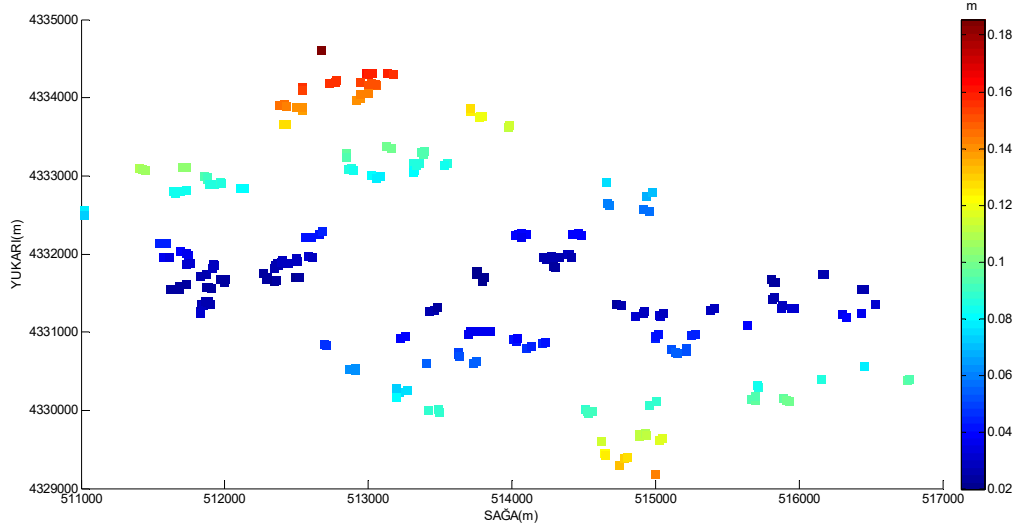
Şekil 5.50 – Şekil 55 arasında de ölçülen her bir noktaya ait X, Y ve Z bileşenlerine ait konum duyarlılığı ve bu noktalardan enterpolasyon ile oluşturulmuş renk yüzeyleri ile model üzerinde konum duyarlılığı dağılımları grafik olarak gösterilmiştir.



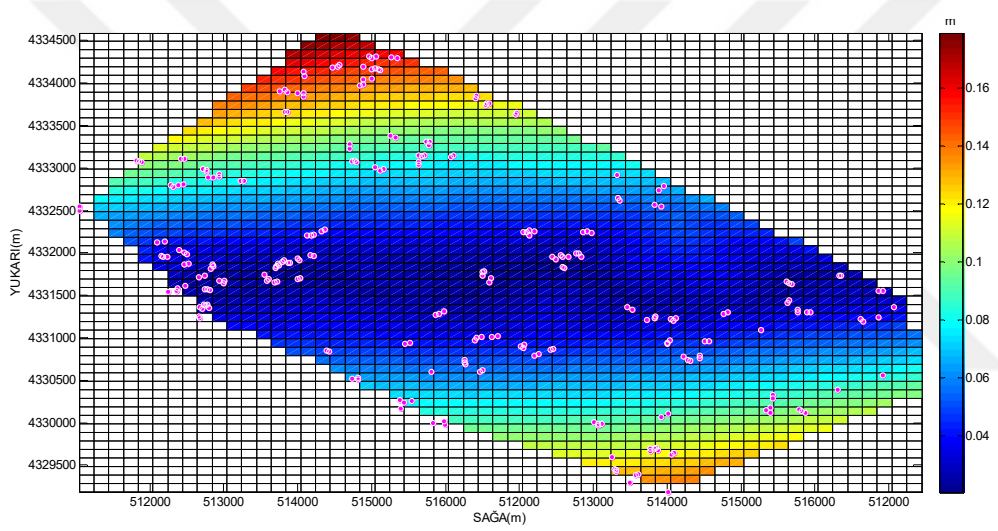
Şekil 5.50 : X koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



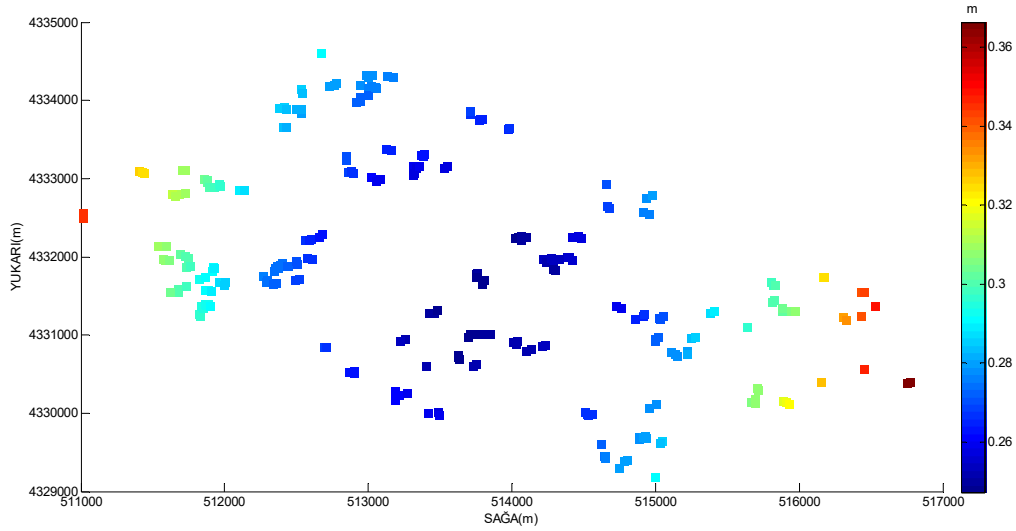
Şekil 5.51 : X koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.



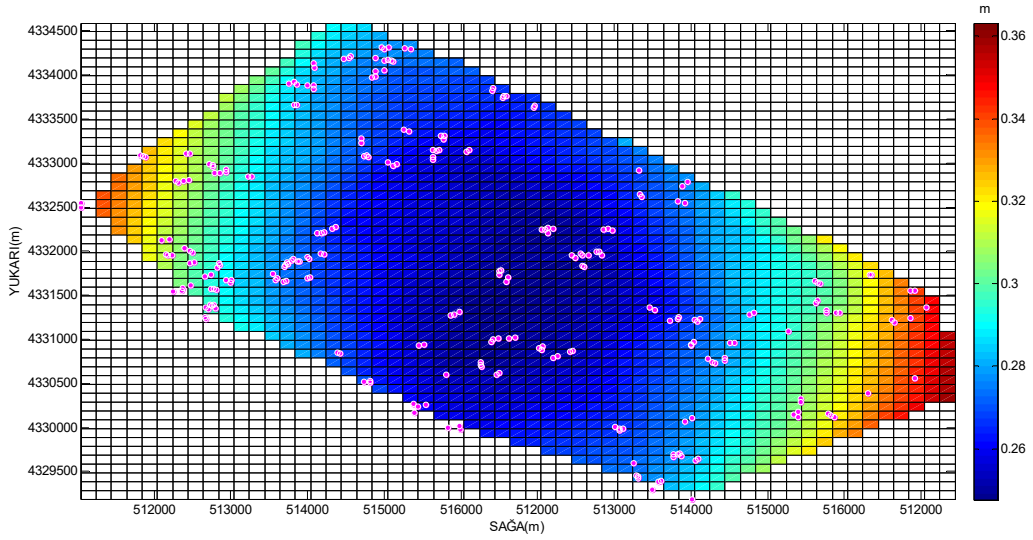
Şekil 5.52 : Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



Şekil 5.53 : Y koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.



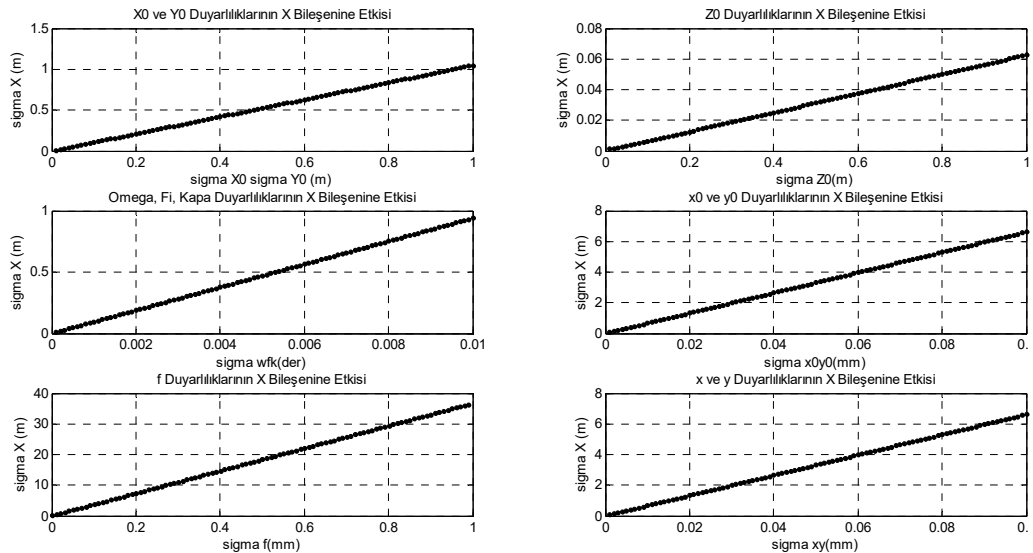
Şekil 5.54 : Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



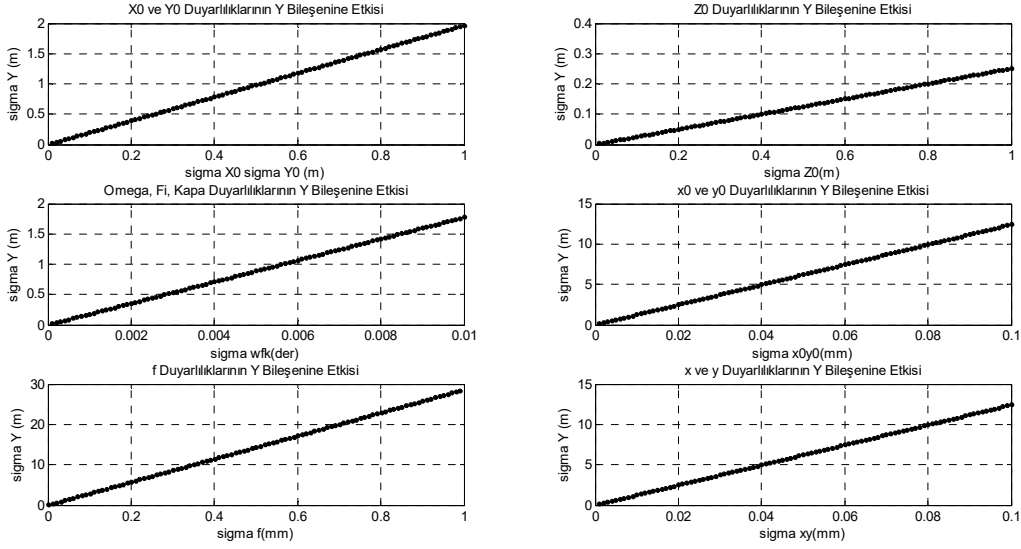
Şekil 5.55 : Z koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.

Şekil 50 – Şekil 55 arasında sunulan grafikler incelendiğinde konum duyarlılıkları; X konum bileşeni için $\pm 0.02 - 0.2$ m arasında, Y konum bileşeni için $\pm 0.02 - 0.18$ m arasında, Z konum bileşeni ise $\pm 0.20 - 0.30$ m arasında olduğu görülmektedir.

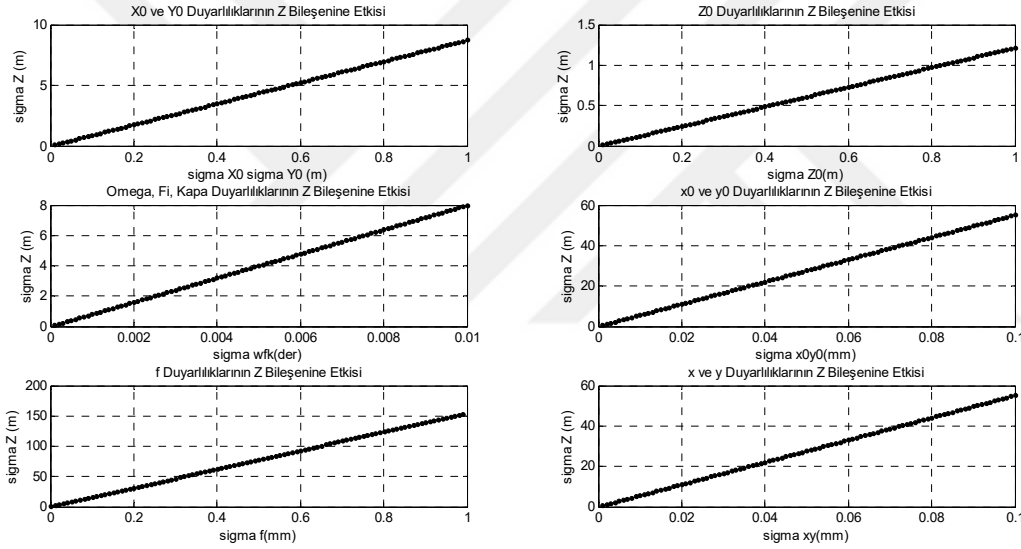
Her bir parametrenin ayrı ayrı izdüşüm denklemlerinde konum duyarlılığına etkisi incelenmiştir. Burada incelenecek parametrenin duyarlılığı sıfıra yakın bir değerden belirli aralıklarla artırılırken diğer parametreler hatasız ve sabit olarak kabul edilerek grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 5.56 – Şekil 5.58 arasında sunulan grafikler her bir parametrenin X, Y ve Z bileşenine etkisini göstermektedir.



Şekil 5.56 : Yöneltilme parametrelerinin X bileşenine etkisi.



Şekil 5.57 : Yönelme parametrelerinin Y bileşenine etkisi.



Şekil 5.58 : Yönelme parametrelerinin Z bileşenine etkisi.

Şekil 5.56 – Şekil 5.58 arasında sunulan grafikler incelendiğinde X ve Y konum bileşenleri yönelme parametrelerinden birbirine yakın ve aynı oranda etkilendiği görülmektedir. Buna göre X0 ve Y0 parametresinin X ve Y konum bileşenlerini bire bir oranda etkilemekte ve lineer bir artış göstermektedir. Z0 bileşeninin ise X ve Y konum duyarlılığına etkisinin yok denecek kadar az olduğu görülmektedir. Dönüklük parametrelerinin duyarlılığı ise $0^\circ - 0.01^\circ$ aralığında $\pm 1.5-2$ m ye varan konum hatasına neden olmaktadır ve lineer artış göstermektedir. Ana nokta koordinatları ve nokta ölçüm duyarlılığının da yatay konum duyarlılığını oldukça fazla etkilediği görülmektedir.

Yöneltme parametrelerinin Z konum bileşenine etkisi incelendiğinde; X_0 , Y_0 'ın 0 - 1 m aralığındaki duyarlılığı ± 8 m'ye kadar, $0^\circ - 0.01^\circ$ aralığında dönüklük duyarlılığının Z konum duyarlılığını ± 7 m'ye kadar etkilediği görülmektedir. Z_0 parametresi Z konum bileşenini bileşenini yaklaşık bire bir oranda etkilemektedir. Ana nokta koordinatları ve nokta ölçüm duyarlılığının da Z konum duyarlılığını oldukça fazla etkilemektedir. Buradaki tüm bileşenler için duyarlılık, Z konum bileşenini lineer artış göstererek arttırmaktadır.

5.2.3.2 Doğrudan elde edilen GPS/IMU değerleri ile test

Uygulamada YÖA 30 cm olarak gerçekleştirilmiş bir projeden doğrudan elde edilen GPS/IMU değerleri kullanılmıştır. Dış yöneltme parametreleri Çizelge 5.12'de, bilinen duyarlılıkları Çizelge 5.13'de sunulmuştur.

Çizelge 5.12 : Dış yöneltme parametreleri.

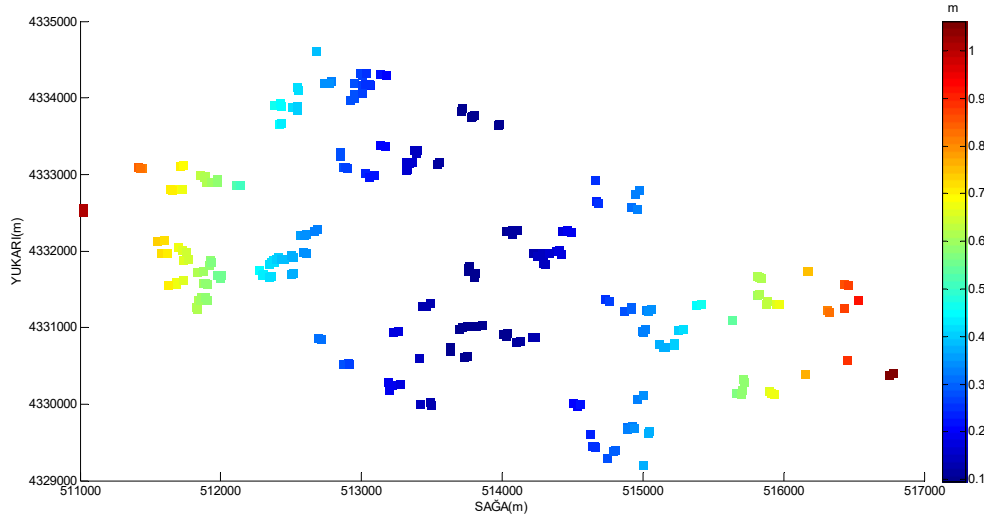
Görüntü Nu.	X_0 (m)	Y_0 (m)	Z_0 (m)	ω ($^\circ$)	φ ($^\circ$)	κ ($^\circ$)
121	513578.51	4331303.04	5051.645	0.0988	0.1018	49.51702
122	514076.51	4331889.71	5050.83	0.12881	0.07875	49.70116

Çizelge 5.13 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları.

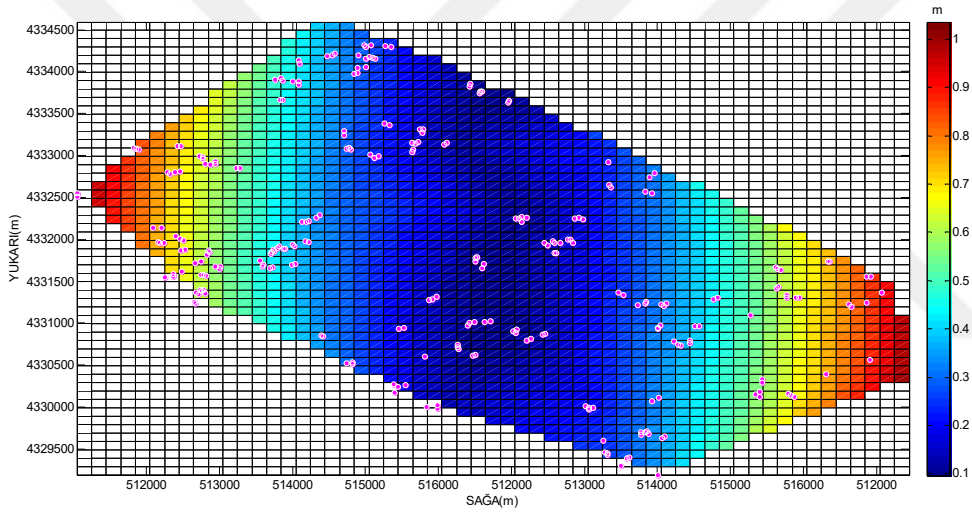
σx_0 (mm)	σy_0 (mm)	σf (mm)	$\sigma \omega$ ($^\circ$)	$\sigma \varphi$ ($^\circ$)	$\sigma \kappa$ ($^\circ$)	σX_0 (m)	σY_0 (m)	σZ_0
0.00001	0.00001	0.00001	0.001	0.001	0.002	0.1	0.1	0.2

Söz konusu projeye ait model için gerçekleştirilen uygulama sonucunda yatay konum duyarlılığı $\sigma_{xy} = \pm 0.601$ m, düşey konum duyarlılığı ise $\sigma_z = \pm 0.982$ m olarak belirlenmiştir.

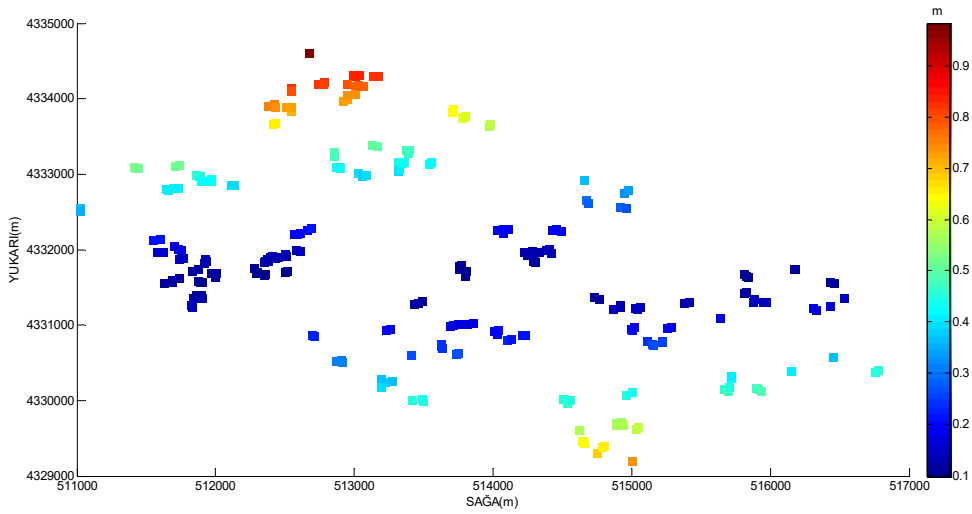
Şekil 5.59 – Şekil 5.64 arasında ölçülen her bir noktaya ait X, Y ve Z bileşenlerine ait konum duyarlılığı ve bu noktalardan enterpolasyon ile oluşturulmuş renk yüzeyleri ile model üzerinde konum duyarlılık dağılımları grafik olarak gösterilmiştir.



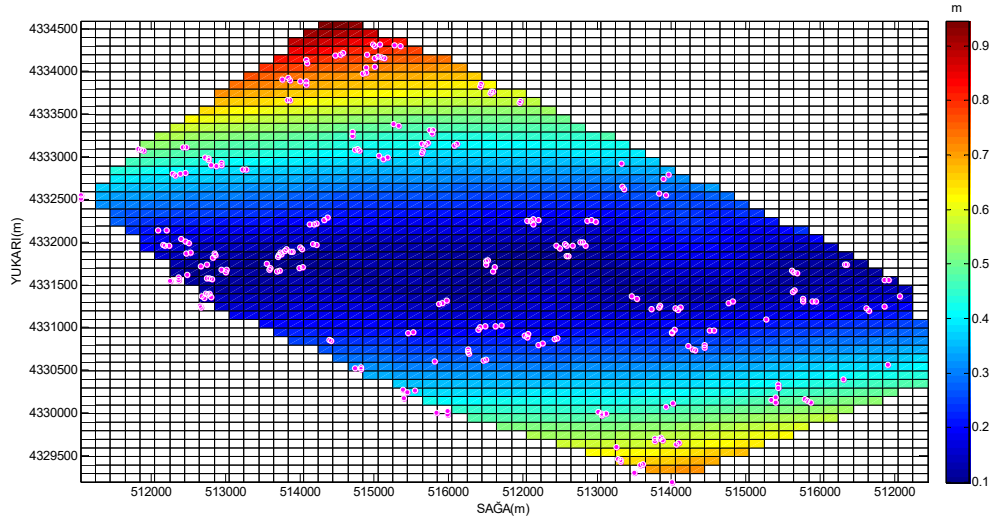
Şekil 5.59 : X koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



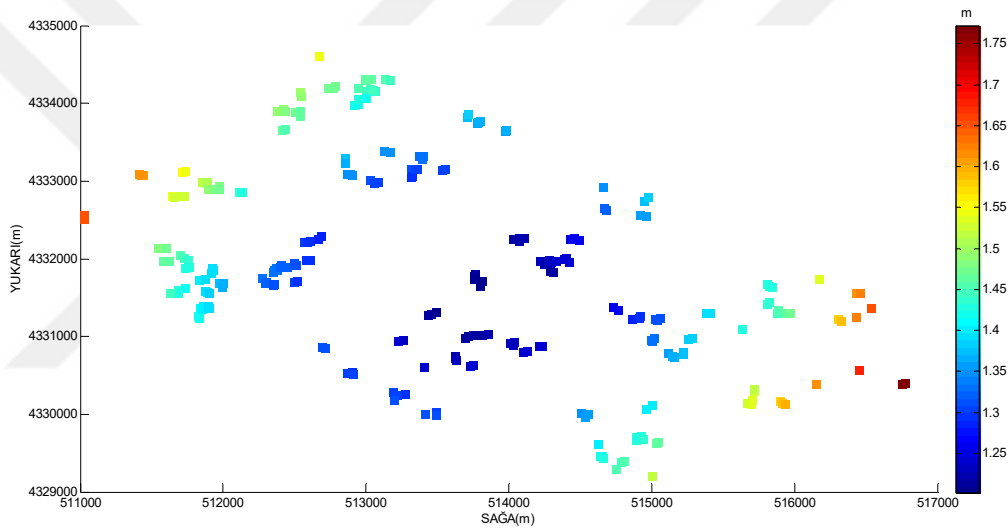
Şekil 5.60 : X koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.



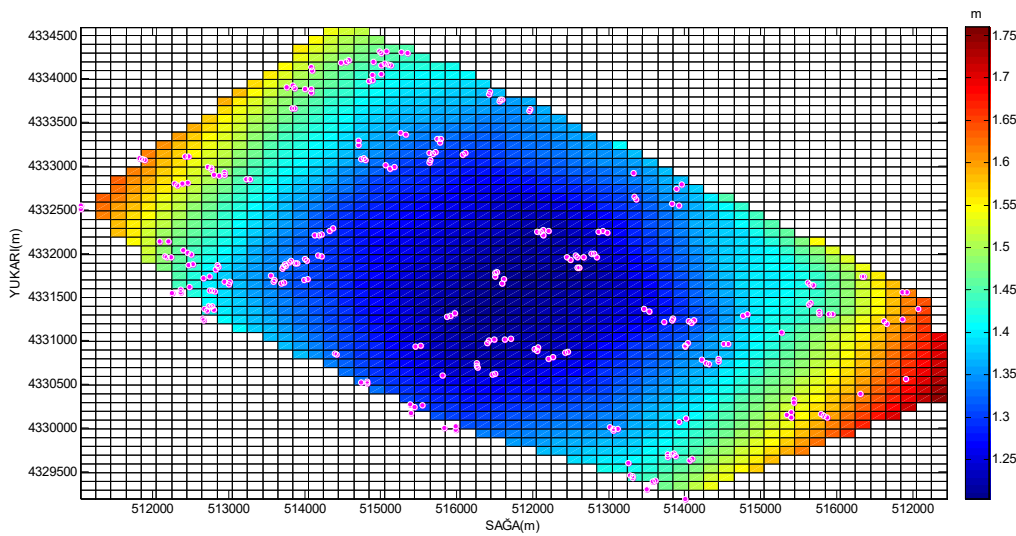
Şekil 5.61 : Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



Şekil 5.62 : Y koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.



Şekil 5.63 : Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



Şekil 5.64 : Z koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.

Şekil 5.59 – Şekil 5.64 arasında sunulan grafikler incelendiğinde konum duyarlılıkları; X konum bileşeni için $\pm 0.1 - 1$ m arasında, Y konum bileşeni $\pm 0.1 - 0.9$ m arasında, Z konum bileşeni ise $\pm 1.2-1.7$ m arasında olduğu görülmektedir.

5.2.4 45 cm YÖA Testi

5.2.4.1 Dengelenmiş değerler ile test

Uygulamada YÖA 45 cm olarak gerçekleştirilmiş bir projeden hava triangulasyonu sonucunda elde edilen değerler kullanılmıştır. Dış yöneltme parametreleri Çizelge 5.14’da, bilinen duyarlılıkları Çizelge 5.15’de sunulmuştur.

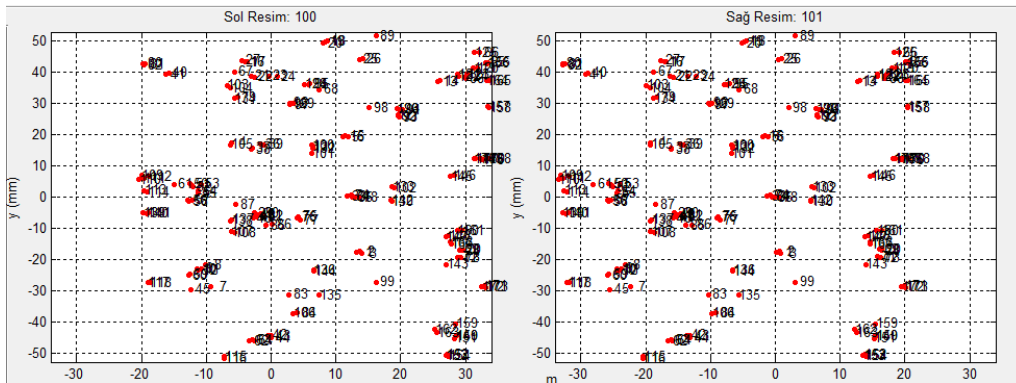
Çizelge 5.14 : Dış yöneltme parametreleri.

Görüntü Nu.	X_0 (m)	Y_0 (m)	Z_0 (m)	ω (°)	φ (°)	κ (°)
100	520798.08	4329993.85	7046.544	-0.05318	-0.09923	-130.0947
101	520060.3	4329120.9	7045.78	-0.05676	-0.11387	-130.1648

Çizelge 5.15 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları.

σx_0 (mm)	σy_0 (mm)	σf (mm)	$\sigma \omega$ (°)	$\sigma \varphi$ (°)	$\sigma \kappa$ (°)	σX_0 (m)	σY_0 (m)	σZ_0
0.00001	0.00001	0.00001	0.0002	0.0002	0.0005	0.01	0.01	0.02

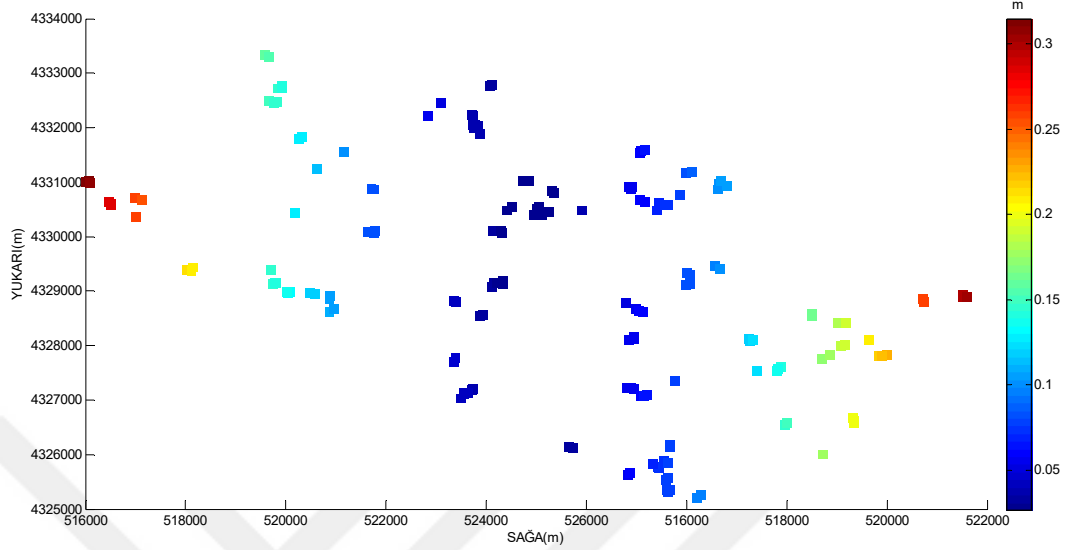
Modele ait noktaların her iki görüntüde de koordinatları ölçülmüştür. Şekil 5.49’da stereo model alanında yapılan bağlama noktaları ölçümlerinin dağılımı görülmektedir.



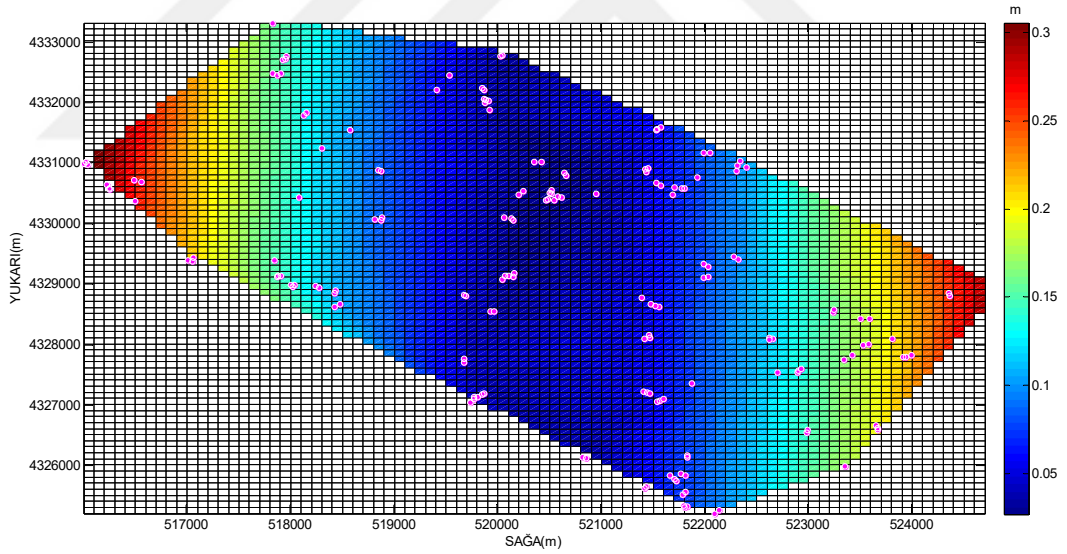
Şekil 5.65 : Stereo model alanında görüntü koordinatlarının dağılımı.

Söz konusu projeye ait model için gerçekleştirilen uygulama sonucunda yatay konum duyarlılığı $\sigma_{xy} = \pm 0.171$ m, düşey konum duyarlılığı ise $\sigma_z = \pm 0.265$ m olarak belirlenmiştir.

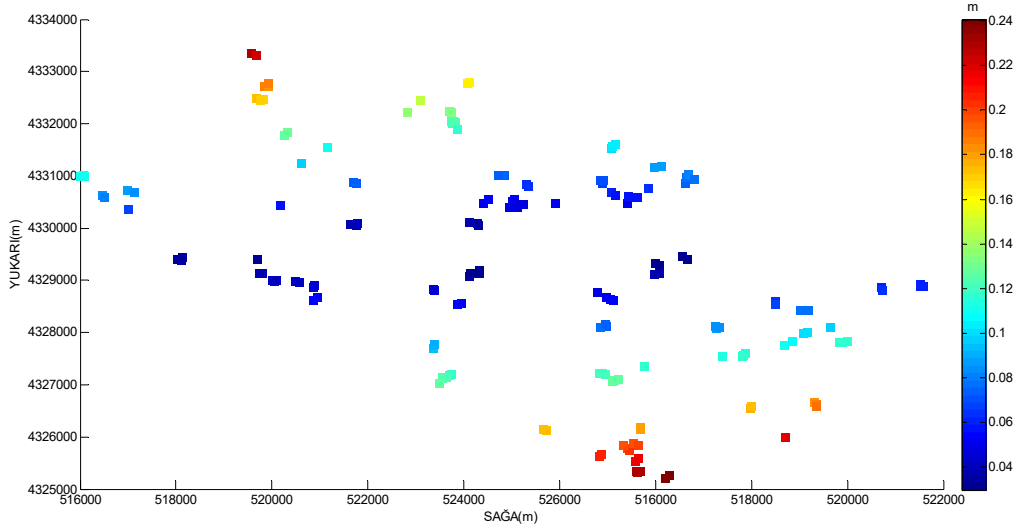
Şekil 66 – Şekil 71 arasında ölçülen her bir noktaya ait X, Y ve Z bileşenlerine ait konum duyarlılığı ve bu noktalardan enterpolasyon ile oluşturulmuş renk yüzeyleri ile model üzerinde konum duyarlılığı dağılımları grafik olarak gösterilmiştir.



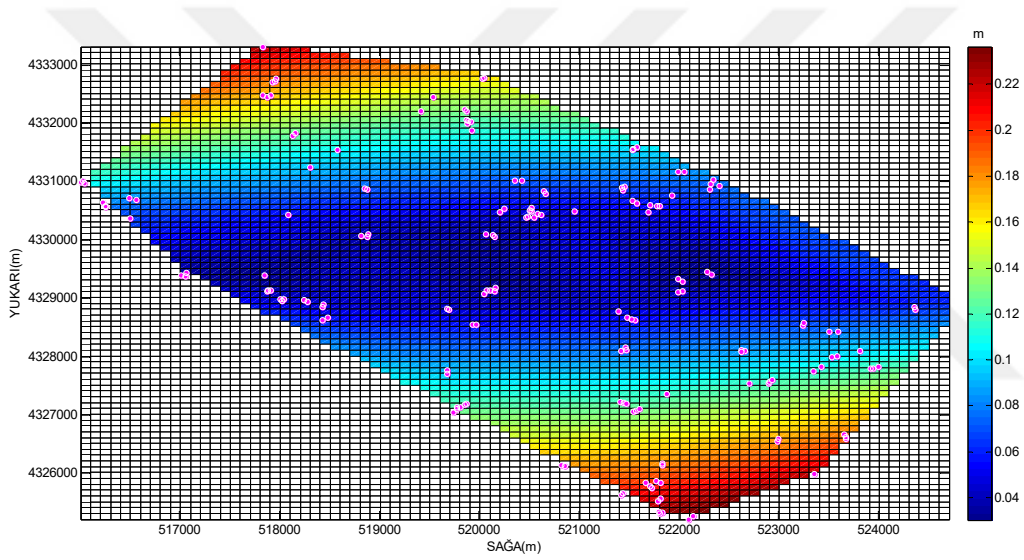
Şekil 5.66 : X koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



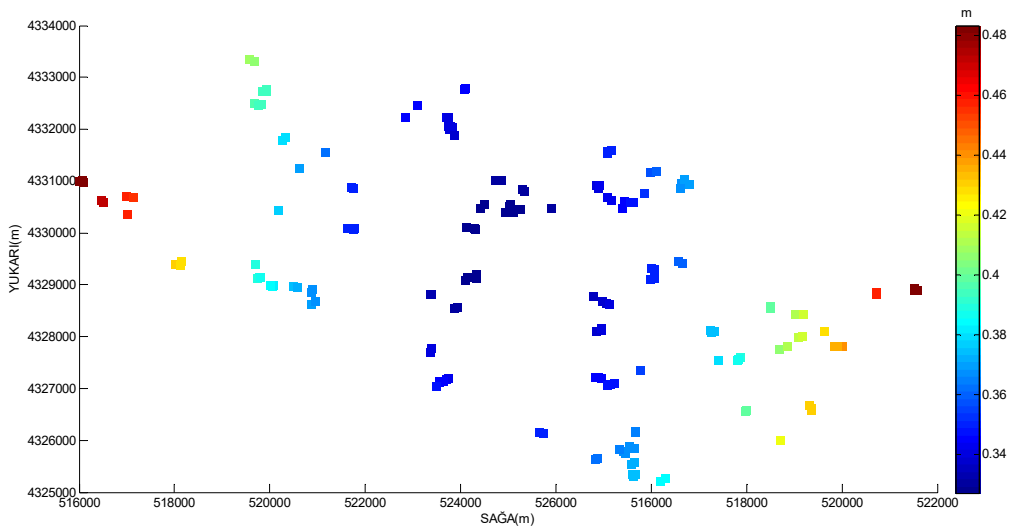
Şekil 5.67 : X koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.



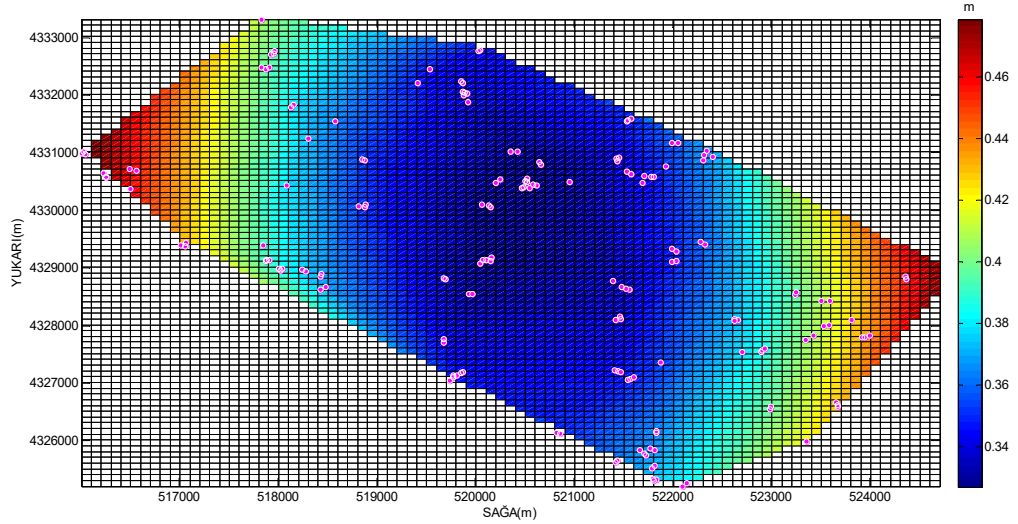
Şekil 5.68 : Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



Şekil 5.69 : Y koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.



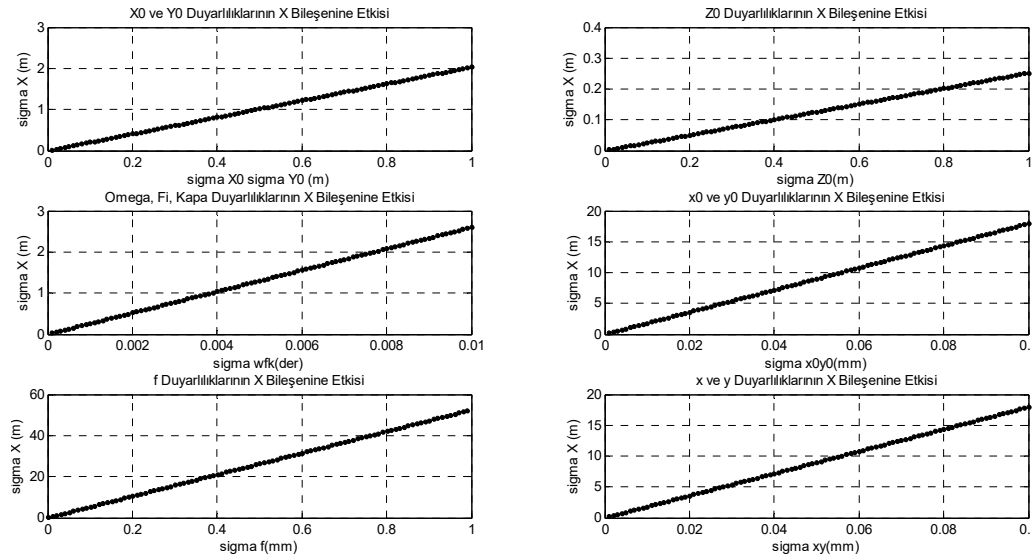
Şekil 5.70 : Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



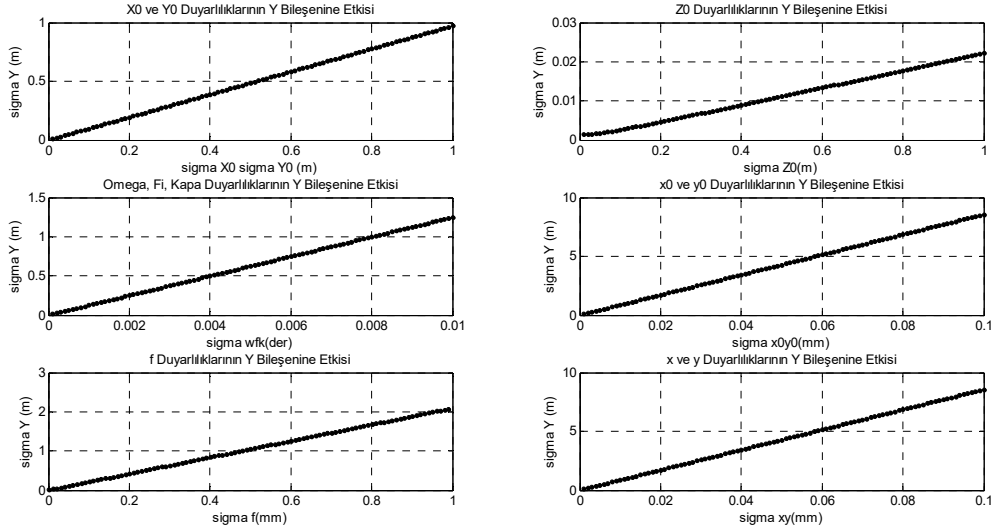
Şekil 5.71 : Z koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.

Şekil 66 – Şekil 71 arasında sunulan grafikler incelendiğinde konum duyarlılıkları; X konum bileşeni için $\pm 0.05 - 0.3$ m arasında, Y konum bileşeni $\pm 0.04 - 0.22$ m arasında, Z konum bileşeni ise $\pm 0.34 - 0.46$ m arasında olduğu görülmektedir.

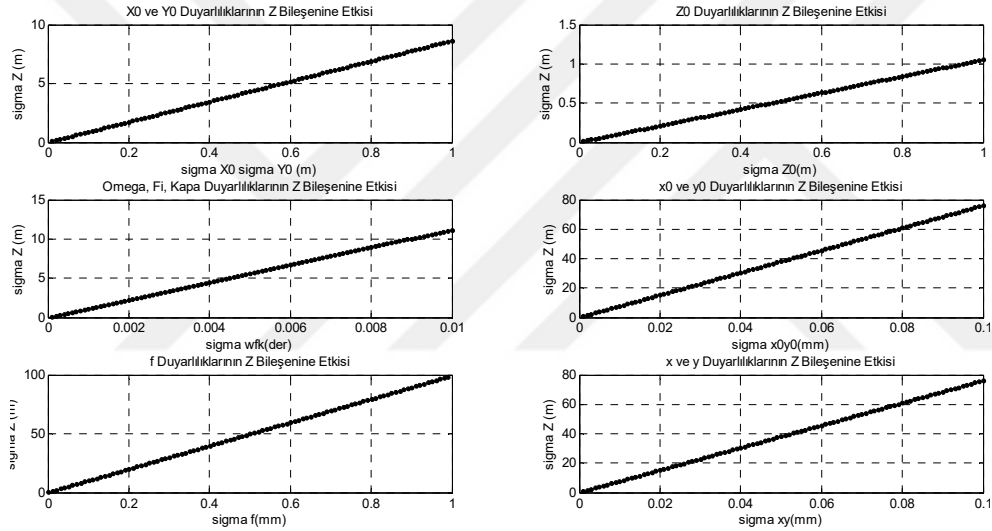
Her bir parametrenin ayrı ayrı izdüşüm denklemlerinde konum duyarlılığına etkisi incelenmiştir. Burada hangi parametrenin duyarlılığı incelenecekse onun duyarlılığı sıfıra yakın bir değerden belirli aralıklarla artırılırken diğer parametreler hatasız ve sabit olarak kabul edilerek grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 72 – Şekil 74 arasında sunulan grafikler her bir parametrenin X, Y ve Z bileşenine etkisini göstermektedir.



Şekil 5.72 : Yönelme parametrelerinin X bileşenine etkisi.



Şekil 5.73 : Yönelme parametrelerinin Y bileşenine etkisi.



Şekil 5.74 : Yönelme parametrelerinin Z bileşenine etkisi.

Şekil 72 – Şekil 74 arasında sunulan grafikler incelendiğinde X ve Y konum bileşenleri yönelme parametrelerinden birbirine yakın ve aynı oranda etkilendiği görülmektedir. Buna göre X_0 ve Y_0 parametresinin X ve Y konum bileşenlerini bire bir oranda etkilemekte ve lineer bir artış göstermektedir. Z0 bileşeninin ise X ve Y konum duyarlılığına etkisinin yok denecek kadar az olduğu görülmektedir. Dönüklük parametrelerinin duyarlılığı ise $0^\circ - 0.01^\circ$ aralığında ± 2.5 m ye varan konum hatasına neden olmaktadır ve lineer artış göstermektedir. Ana nokta koordinatları ve nokta ölçüm duyarlılığının da yatay konum duyarlılığını oldukça fazla etkilediği görülmektedir.

Yöneltme parametrelerinin Z konum bileşenine etkisi incelendiğinde; X_0 , Y_0 'ın 0 - 1 m aralığındaki duyarlılığı ± 8 m'ye kadar, $0^\circ - 0.01^\circ$ aralığında dönüklük duyarlılığının Z konum duyarlılığını 10 m'ye kadar etkilediği görülmektedir. Z_0 parametresi Z konum bileşenini bileşenini yaklaşık bire bir oranda etkilemektedir. Ana nokta koordinatları ve nokta ölçüm duyarlılığının da Z konum duyarlılığını oldukça fazla etkilemektedir. Buradaki tüm bileşenler için duyarlılık, Z konum bileşenini lineer artış göstererek arttırmaktadır.

5.2.4.2 Doğrudan elde edilen GPS/IMU değerleri ile test

Uygulamada YÖA 45 cm olarak gerçekleştirilmiş bir projeden doğrudan elde edilen GPS/IMU değerleri kullanılmıştır. Dış yöneltme parametreleri Çizelge 5.16'de, bilinen duyarlılıkları Çizelge 5.17'de sunulmuştur.

Çizelge 5.16 : Dış yöneltme parametreleri.

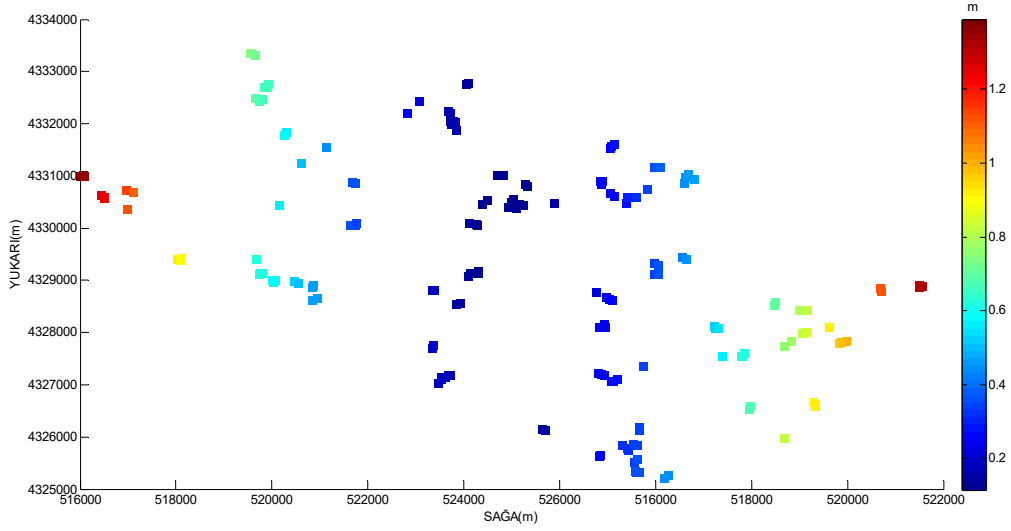
Görüntü Nu.	X_0 (m)	Y_0 (m)	Z_0 (m)	ω ($^\circ$)	φ ($^\circ$)	κ ($^\circ$)
100	520797.7	4329992.94	7053.812	-0.09719	-0.03419	-130.1205
101	520059.84	4329119.84	7053.02	-0.09878	-0.04888	-130.1919

Çizelge 5.17 : Yöneltme parametreleri duyarlılıkları.

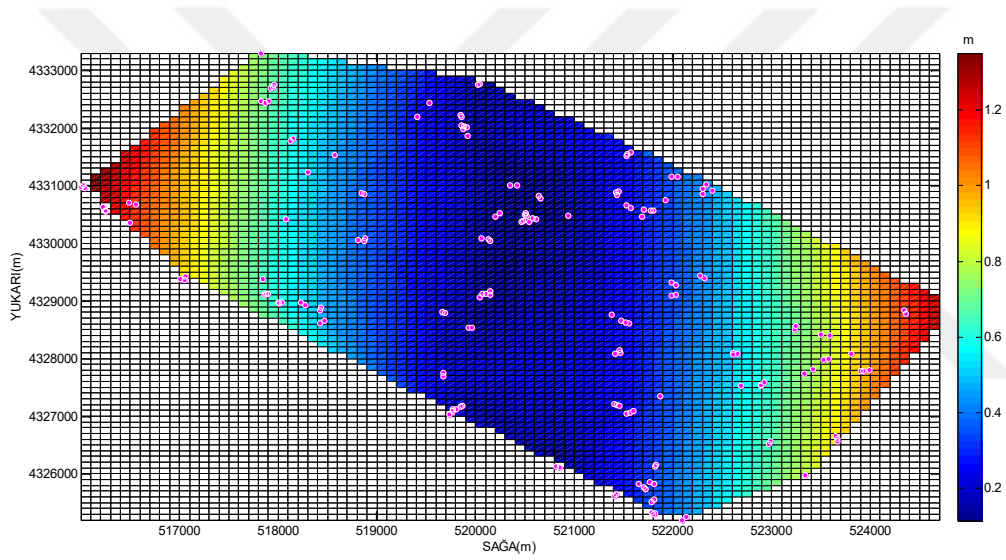
σx_0 (mm)	σy_0 (mm)	σf (mm)	$\sigma \omega$ ($^\circ$)	$\sigma \varphi$ ($^\circ$)	$\sigma \kappa$ ($^\circ$)	σX_0 (m)	σY_0 (m)	σZ_0
0.00001	0.00001	0.00001	0.001	0.001	0.002	0.1	0.1	0.2

Söz konusu projeye ait model için gerçekleştirilen uygulama sonucunda yatay konum duyarlılığı $\sigma_{xy} = \pm 0.765$ m, düşey konum duyarlılığı ise $\sigma_z = \pm 1.174$ m olarak belirlenmiştir.

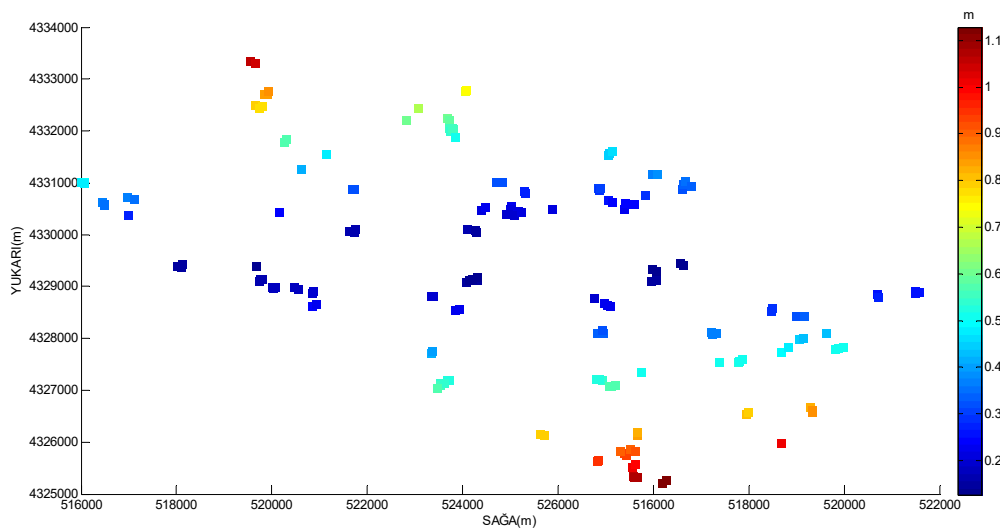
Şekil 5.75 – Şekil 5.80 arasında ölçülen her bir noktaya ait X, Y ve Z bileşenlerine ait konum duyarlılığı ve bu noktalardan enterpolasyon ile oluşturulmuş renk yüzeyleri ile model üzerinde konum duyarlılığı dağılımları grafik olarak gösterilmiştir.



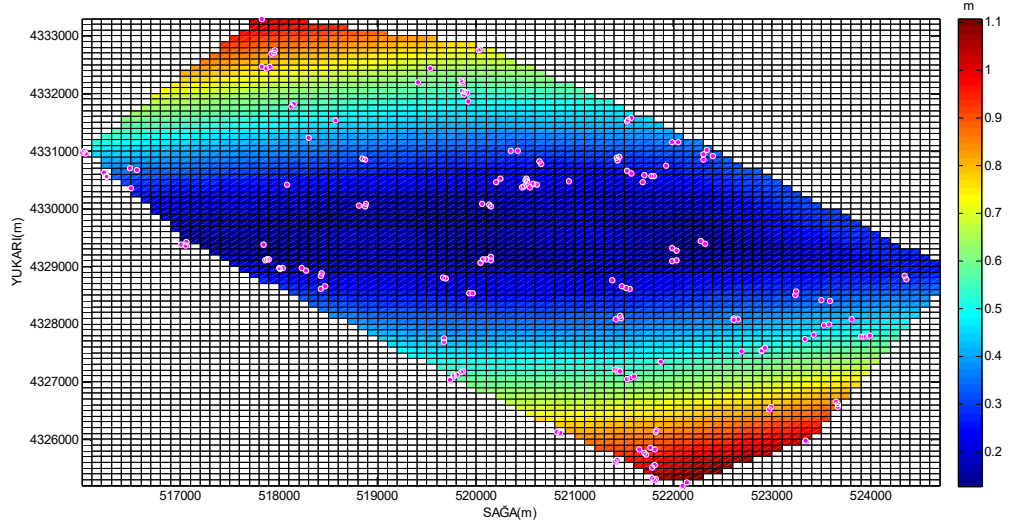
Şekil 5.75 : X koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



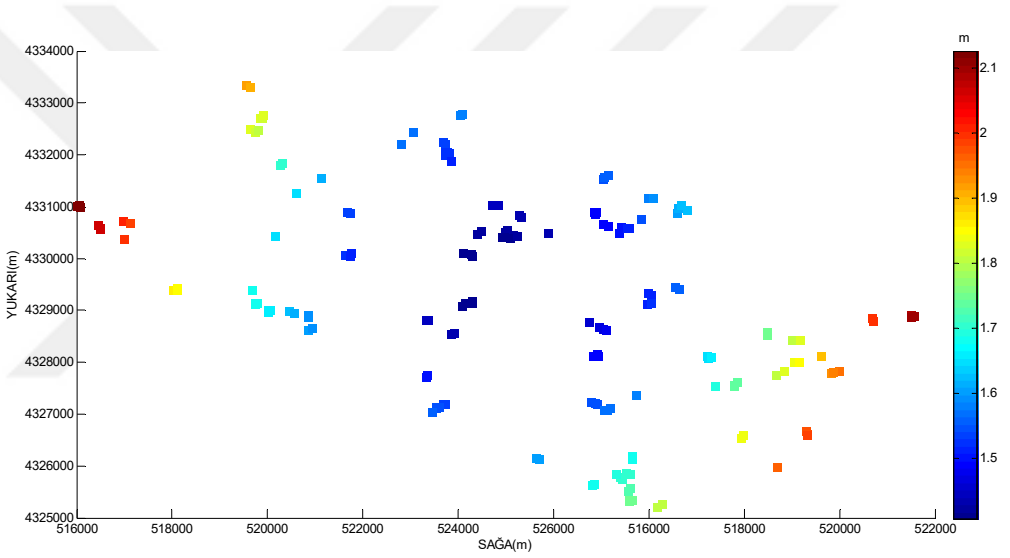
Şekil 5.76 : X koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.



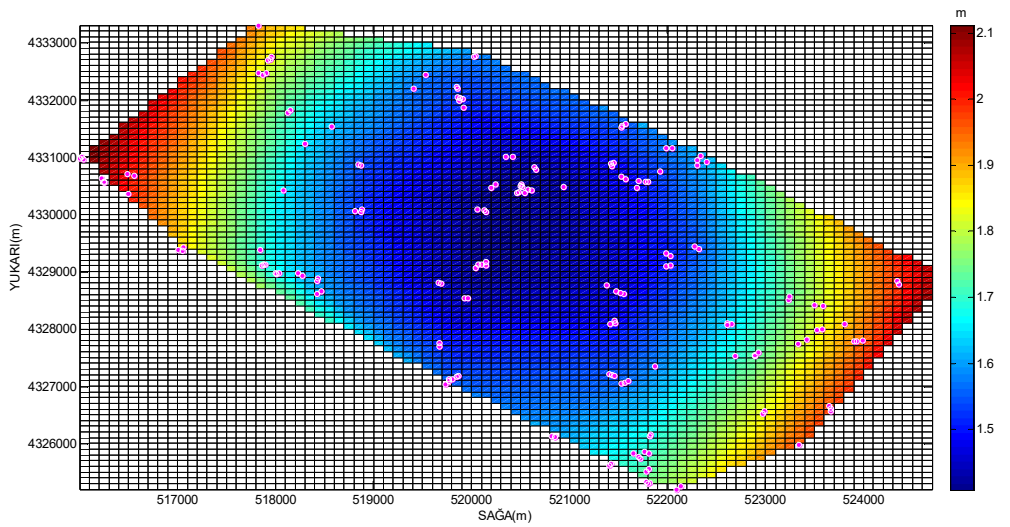
Şekil 5.77 : Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



Şekil 5.78 : Y koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.



Şekil 5.79 : Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



Şekil 5.80 : Z koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.

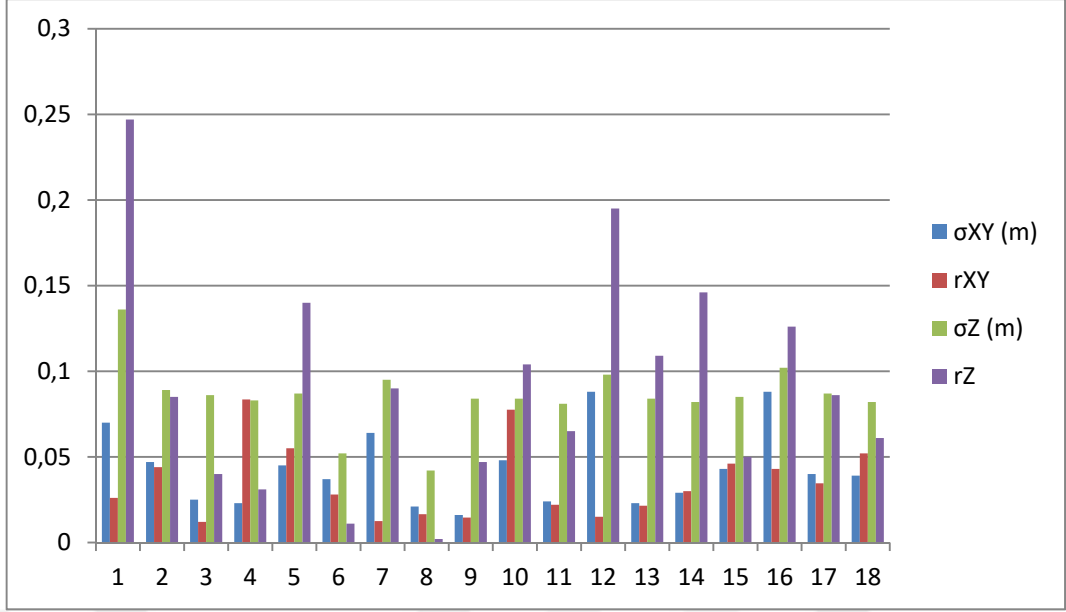
Şekil 5.75 – Şekil 5.80 arasında sunulan grafikler incelendiğinde konum duyarlılıkları; X konum bileşeni için 0.2 – 1.2 m arasında, Y konum bileşeni 0.2 – 1.1 m arasında, Z konum bileşeni ise 1.4 - 2.1 m arasında olduğu görülmektedir.

5.2.5 Kontrol noktaları ile karşılaştırma

Bu aşamada yukarıda hata analizi yapılan 4 farklı çözünürlükteki proje içinde 20 adet YKN dengeleme sonucunda hesaplanan düzeltmeler (r) ile YKN görüntü noktalarına ait hata hesapları (σ) karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların karşılaştırmaları Çizelge 5.18 – Çizelge 5.21 ve Şekil 5.81 – Şekil 5.84 arasında gösterilmiştir.

Çizelge 5.18 : Yönelme parametreleri duyarlılıkları (10 cm YÖA).

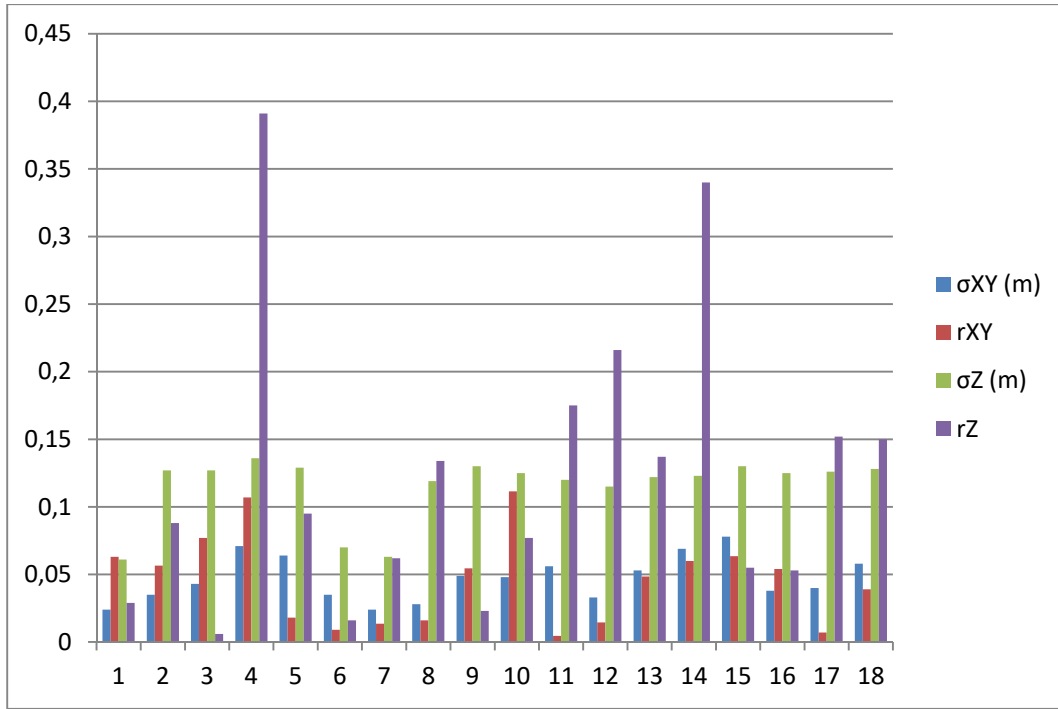
YKN Nu	10cm YÖA			
	σ_{XY} (m)	rXY	σ_Z (m)	rZ
1	0.07	0.026	0.136	0.247
2	0.047	0.044	0.089	0.085
3	0.025	0.012	0.086	0.040
4	0.023	0.084	0.083	0.031
5	0.045	0.055	0.087	0.140
7	0.037	0.028	0.052	0.011
8	0.064	0.013	0.095	0.090
9	0.021	0.017	0.042	0.002
10	0.016	0.015	0.084	0.047
11	0.048	0.078	0.084	0.104
13	0.024	0.022	0.081	0.065
14	0.088	0.015	0.098	0.195
15	0.023	0.022	0.084	0.109
16	0.029	0.030	0.082	0.146
17	0.043	0.046	0.085	0.050
18	0.088	0.043	0.102	0.126
19	0.04	0.035	0.087	0.086
20	0.039	0.052	0.082	0.061



Şekil 5.81 : Duyarlılık hesabı ve dengeleme sonuçları karşılaştırması (10cm YÖA).

Çizelge 5.19 : Yöneltilme parametreleri duyarlılıkları (20 cm YÖA).

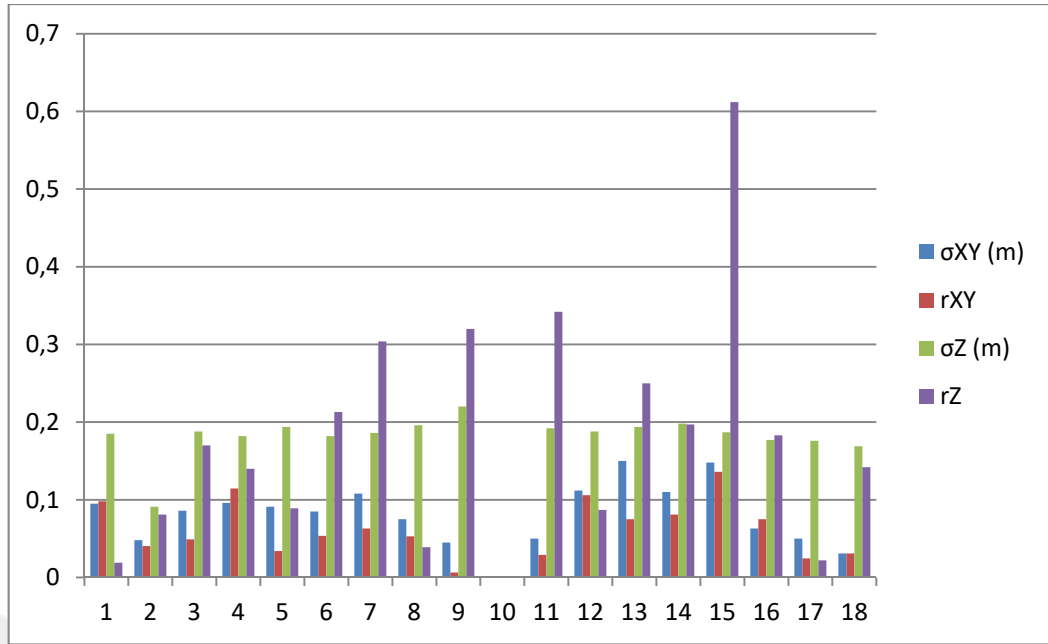
YKN Nu	20 cm YÖA			
	σ_{XY} (m)	rXY	σ_Z (m)	rZ
1	0.024	0.063	0.061	0.029
2	0.035	0.0565	0.127	0.088
3	0.043	0.077	0.127	0.006
4	0.071	0.107	0.136	0.391
5	0.064	0.018	0.129	0.095
7	0.035	0.009	0.07	0.016
8	0.024	0.0135	0.063	0.062
9	0.028	0.016	0.119	0.134
10	0.049	0.0545	0.13	0.023
11	0.048	0.1115	0.125	0.077
13	0.056	0.0045	0.12	0.175
14	0.033	0.0145	0.115	0.216
15	0.053	0.0485	0.122	0.137
16	0.069	0.06	0.123	0.34
17	0.078	0.0635	0.13	0.055
18	0.038	0.054	0.125	0.053
19	0.04	0.007	0.126	0.152
20	0.058	0.039	0.128	0.15



Şekil 5.82 : Duyarlılık hesabı ve dengeleme sonuçları karşılaştırması (20cm YÖA).

Çizelge 5.20 : Yönelme parametreleri duyarlılıkları (30 cm YÖA).

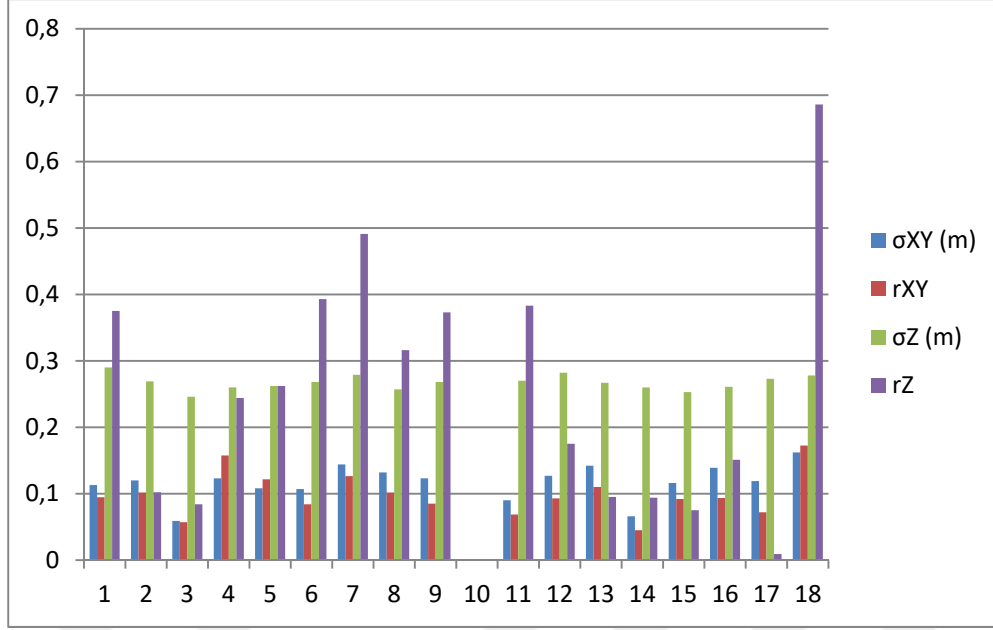
YKN Nu	30 cm YÖA			
	σ_{XY} (m)	rXY	σ_Z (m)	rZ
1	0.095	0.098	0.185	0.019
2	0.048	0.0405	0.091	0.081
3	0.086	0.049	0.188	0.17
4	0.096	0.1145	0.182	0.14
5	0.091	0.034	0.194	0.089
7	0.085	0.0535	0.182	0.213
8	0.108	0.063	0.186	0.304
9	0.075	0.053	0.196	0.039
10	0.045	0.0065	0.22	0.32
11	-	-	-	-
13	0.05	0.029	0.192	0.342
14	0.112	0.106	0.188	0.087
15	0.15	0.075	0.194	0.25
16	0.11	0.081	0.198	0.197
17	0.148	0.136	0.187	0.612
18	0.063	0.075	0.177	0.183
19	0.05	0.0245	0.176	0.022
20	0.031	0.031	0.169	0.142



Şekil 5.83 : Duyarlılık hesabı ve dengeleme sonuçları karşılaştırması (10cm YÖA).

Çizelge 5.21 : Yönelme parametreleri duyarlılıkları (45 cm YÖA).

YKN Nu	45 cm YÖA			
	σ_{XY} (m)	rXY	σ_Z (m)	rZ
1	0.113	0.0945	0.29	0.375
2	0.12	0.1015	0.269	0.102
3	0.059	0.057	0.246	0.084
4	0.123	0.1575	0.26	0.244
5	0.108	0.1215	0.262	0.262
7	0.107	0.084	0.268	0.393
8	0.144	0.1265	0.279	0.491
9	0.132	0.1015	0.257	0.316
10	0.123	0.085	0.268	0.373
11	-	-	-	-
13	0.09	0.0685	0.27	0.383
14	0.127	0.093	0.282	0.175
15	0.142	0.11	0.267	0.095
16	0.066	0.045	0.26	0.094
17	0.116	0.092	0.253	0.075
18	0.139	0.0935	0.261	0.151
19	0.119	0.072	0.273	0.009
20	0.162	0.1725	0.278	0.686



Şekil 5.84 : Duyarlılık hesabı ve dengeleme sonuçları karşılaştırması (45cm YÖA).

5.2.6 İnsansız hava aracı (İHA) ile fotogrametrik konum duyarlılığı

Bu bölümde İHA ile gerçekleştirilen bir proje üzerinde konum duyarlılığı hesaplanmış ve yöneltme parametrelerinin konum duyarlılığına etkisi analiz edilmiştir. Çalışma bölgesi Iğdır bölgesidir. Kullanılan resim çekme makinası parametreleri Çizelge 5.22’ de sunulmuştur.

Çizelge 5.22 : İHA resim çekme makinası parametreleri.

Resim çekme makinası	Çerçeve Boyutu (piksel)	Odak Uzaklığı (mm)	Piksel Büyüklüğü (Mikron)	x_0 (mm)	y_0 (mm)
ILCE 600	6000 x 4000	200	4	-0.22	-0.14

5.2.6.1 Dengelenmiş değerler ile test

Uygulamada YÖA 4 cm olarak gerçekleştirilmiş bir İHA projesinden hava triangulasyonu sonucunda elde edilen değerler kullanılmıştır. Dış yöneltme parametreleri Çizelge 5.23’de, bilinen duyarlılıkları Çizelge 5.24’de sunulmuştur.

Çizelge 5.23 : Dış yöneltme parametreleri.

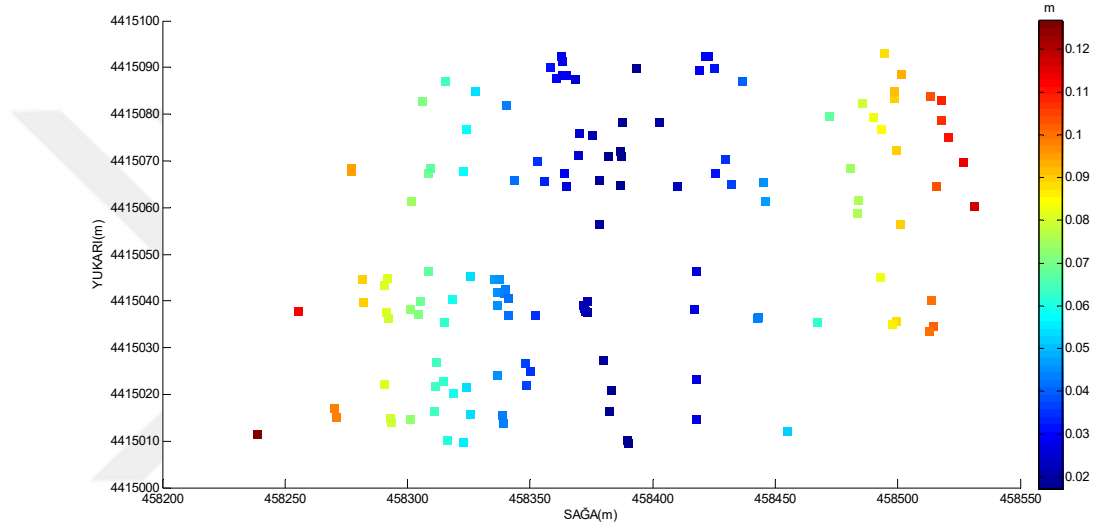
Görüntü Nu.	X_0 (m)	Y_0 (m)	Z_0 (m)	ω (°)	ϕ (°)	κ (°)
20064	458390.98	4415034.21	1101.992	1.0452669	2.1716846	-178.09968
20065	458391.76	4414988.33	1102.638	-0.851097	-1.700325	179.741077

Çizelge 5.24 : Yönelme parametreleri duyarlılıkları.

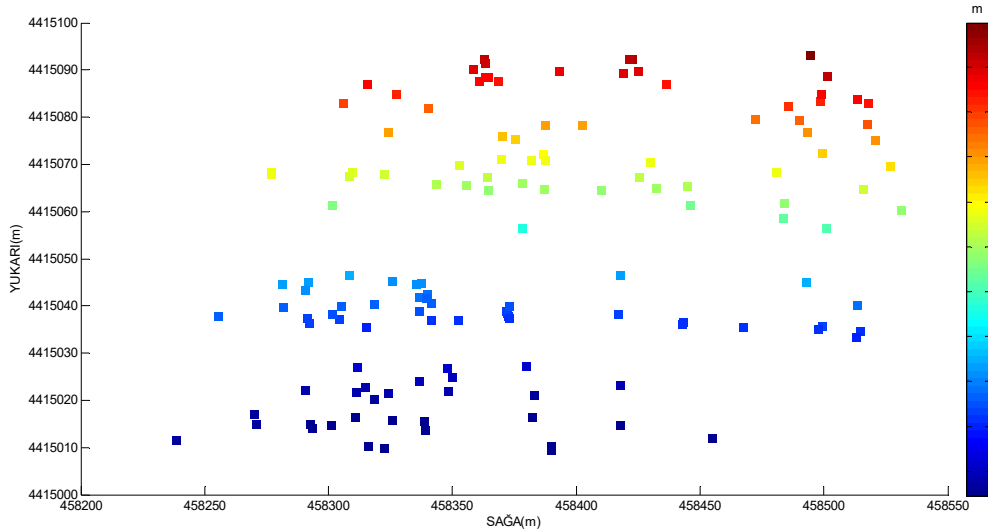
σx_0 (mm)	σy_0 (mm)	σf (mm)	$\sigma \omega$ (°)	$\sigma \varphi$ (°)	$\sigma \kappa$ (°)	σX_0 (m)	σY_0 (m)	σZ_0
0.00001	0.00001	0.00001	0.001	0.001	0.0001	0.01	0.01	0.01

Söz konusu projeye ait model için gerçekleştirilen uygulama sonucunda yatay konum duyarlılığı $\sigma_{xy} = \pm 0.076$ m, dikey konum duyarlılığı ise $\sigma_z = \pm 0.155$ m olarak hesaplanmıştır.

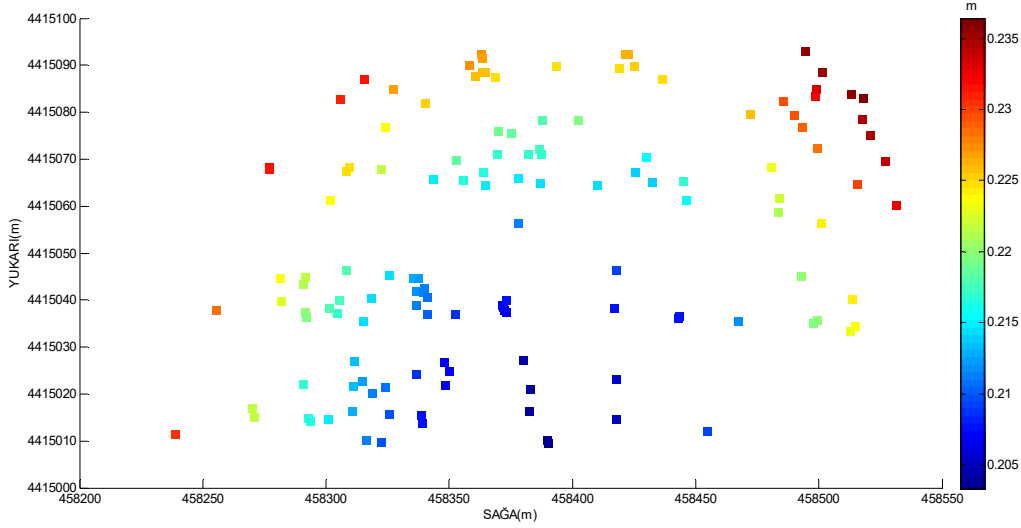
Şekil 5.85 – Şekil 5.87’de ölçülen her bir noktaya ait X, Y ve Z bileşenlerine ait konum duyarlılığı konum duyarlılığı dağılımları grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.85 : X koordinat bileşeni konum duyarlılığı dağılımı grafiği.



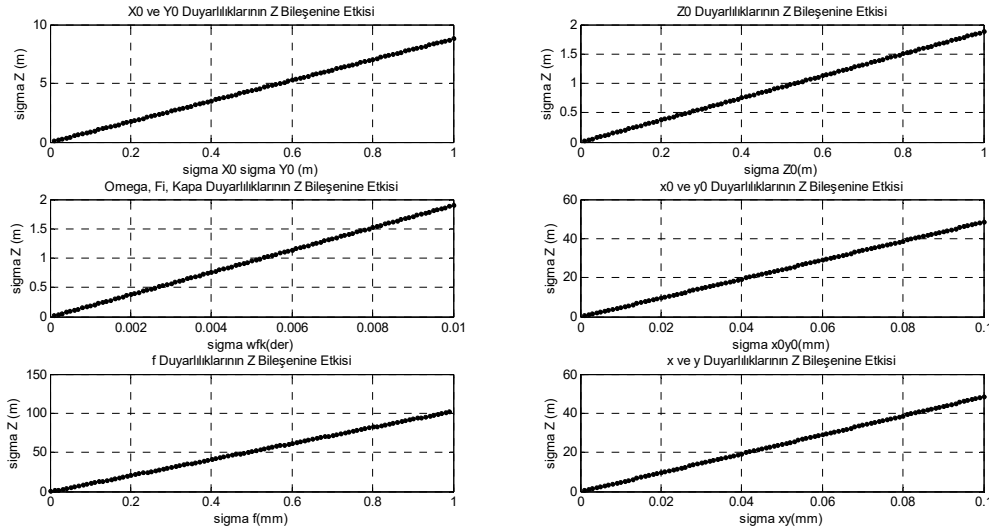
Şekil 5.86 : Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



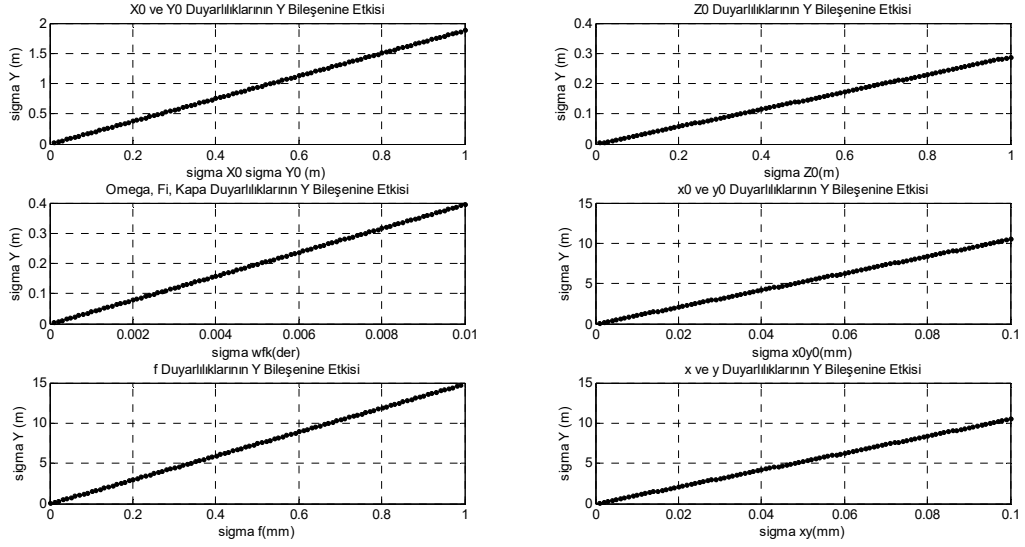
Şekil 5.87 : Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.

Şekil 5.85 - Şekil 5.87' de sunulan grafikler incelendiğinde konum duyarlılıkları; X konum bileşeni için 0.02 - 0.12 m arasında, Y konum bileşeni 0.02 – 0.07 m arasında, Z konum bileşeni ise 0.2 – 0.24 m arasında olduğu görülmektedir.

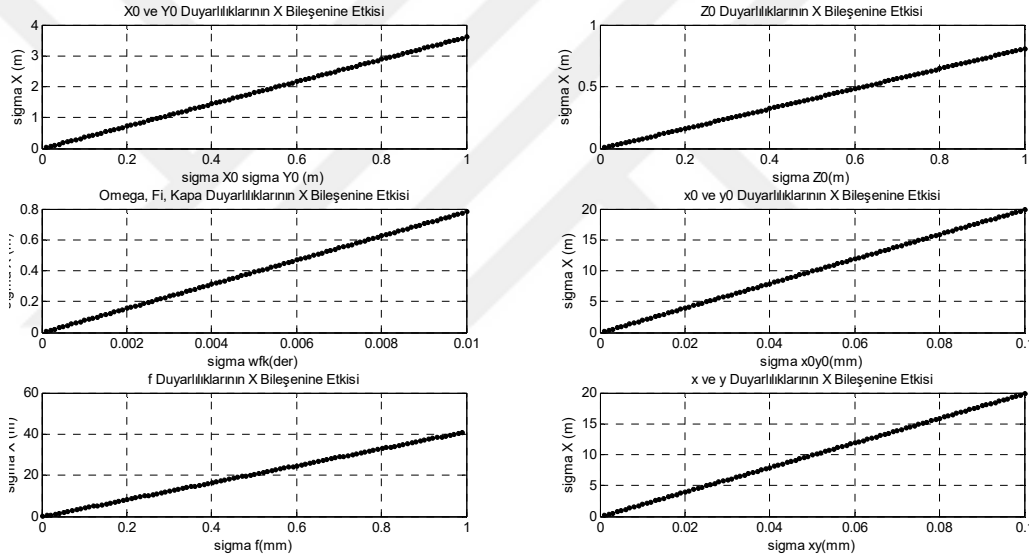
Her bir parametrenin ayrı ayrı izdüşüm denklemlerinde konum duyarlılığına etkisi incelenmiştir. Burada incelenecek parametrenin duyarlılığı sıfıra yakın bir değerden belirli aralıklarla artırılırken diğer parametreler hatasız ve sabit olarak kabul edilerek grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 5.88 – Şekil 5.90'da sunulan grafikler her bir parametrenin X, Y ve Z bileşenine etkisini göstermektedir.



Şekil 5.88 : Yönelme parametrelerinin Z bileşenine etkisi.



Şekil 5.89 : Yönelme parametrelerinin Y bileşenine etkisi.



Şekil 5.90 : Yönelme parametrelerinin X bileşenine etkisi.

Şekil 88-90'da sunulan grafikler incelendiğinde X ve Y konum bileşenleri yönelme parametrelerinden birbirine yakın ve aynı oranda etkilendiği görülmektedir. Buna göre X_0 ve Y_0 parametresinin X ve Y konum bileşenlerini bire bir oranda etkilemekte ve lineer bir artış göstermektedir. Z_0 bileşeninin ise X ve Y konum duyarlılığına etkisinin yok denecek az olduğu görülmektedir. Dönüklük parametrelerinin duyarlılığı ise $0^\circ - 0.01^\circ$ aralığında ± 0.3 m ye varan konum hatasına neden olmaktadır ve lineer artış göstermektedir. Ana nokta koordinatları ve nokta ölçüm duyarlılığının da yatay konum duyarlılığını oldukça fazla etkilediği görülmektedir.

Yönelme parametrelerinin Z konum bileşenine etkisi incelendiğinde; X_0 , Y_0 'ın 0 - 1 m aralığındaki duyarlılığı ± 1 m'ye kadar, 0° – 0.01° aralığında dönüklük duyarlılığının Z konum duyarlılığını ± 2 -3 m'ye kadar etkilediği görülmektedir. Z_0 parametresi Z konum bileşenini bileşenini yaklaşık bire bir oranda etkilemektedir. Ana nokta koordinatları ve nokta ölçüm duyarlılığının da Z konum duyarlılığını oldukça fazla etkilemektedir. Buradaki tüm bileşenler için duyarlılık, Z konum bileşenini lineer artış göstererek arttırmaktadır.

5.2.6.2 Doğrudan elde edilen GPS/IMU değerleri ile test

Uygulamada YÖA 4 cm olarak gerçekleştirilmiş bir projeden doğrudan elde edilen GPS/IMU değerleri kullanılmıştır. Dış yönelme parametreleri Çizelge 5.25'de, bilinen duyarlılıkları Çizelge 5.26'de sunulmuştur.

Çizelge 5.25 : Dış yönelme parametreleri.

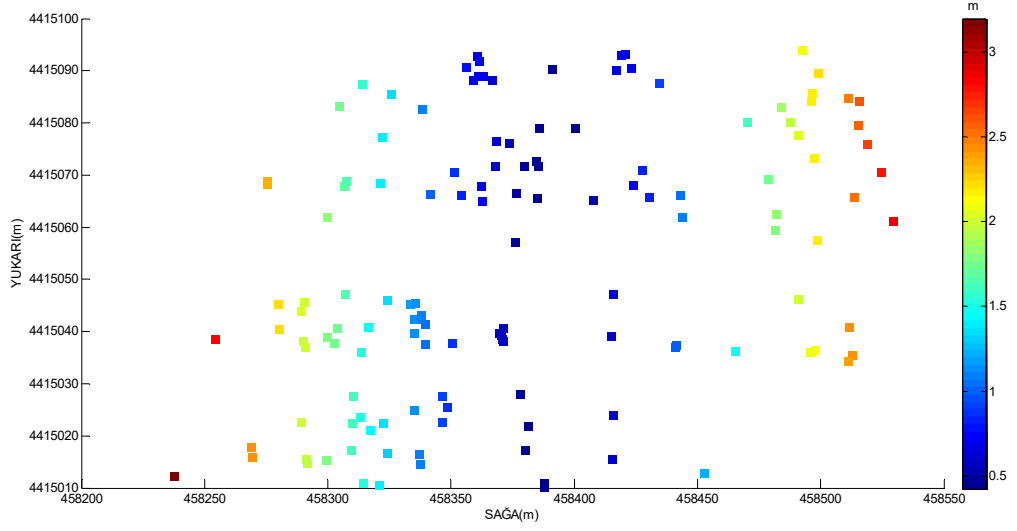
Görüntü Nu.	X_0 (m)	Y_0 (m)	Z_0 (m)	ω ($^\circ$)	φ ($^\circ$)	κ ($^\circ$)
20064	458390.708	4415034.486	1102.047	1.145801	2.514144	-178.04255
20065	458391.647	4414988.336	1102.660	-0.672981	-1.307132	179.746760

Çizelge 5.26 : Yönelme parametreleri duyarlılıkları.

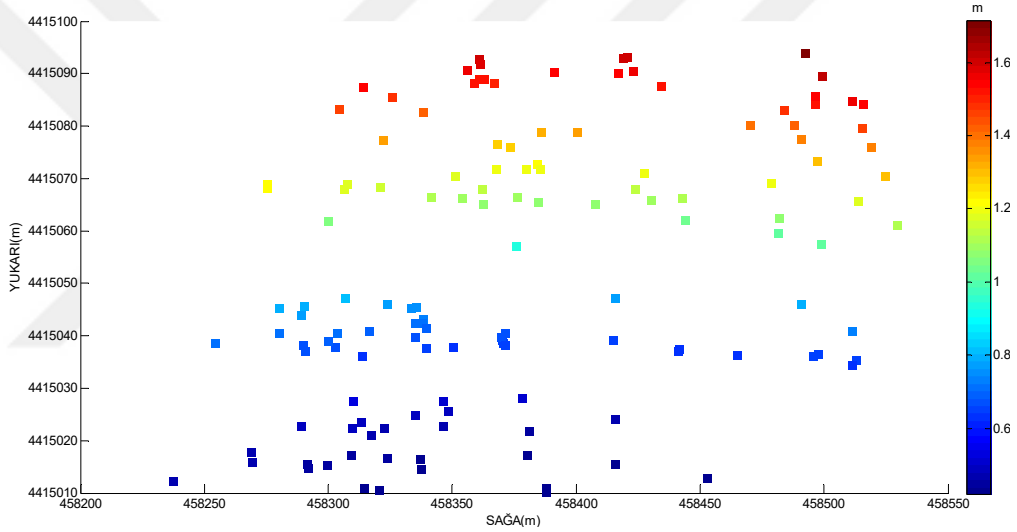
σx_0 (mm)	σy_0 (mm)	σf (mm)	$\sigma \omega$ ($^\circ$)	$\sigma \varphi$ ($^\circ$)	$\sigma \kappa$ ($^\circ$)	σX_0 (m)	σY_0 (m)	σZ_0
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.1	0.1	0.2

Söz konusu projeye ait model için gerçekleştirilen uygulama sonucunda yatay konum duyarlılığı $\sigma_{xy} = \pm 0.85$ m, düşey konum duyarlılığı ise $\sigma_z = \pm 3.75$ m olarak belirlenmiştir.

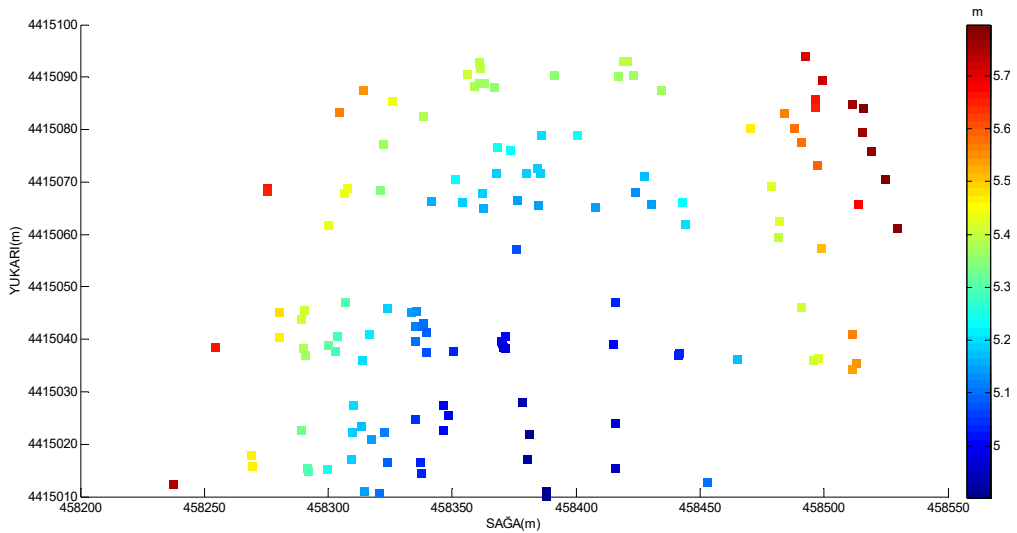
Şekil 5.87 – Şekil 5.89 arasında ölçülen her bir noktaya ait X, Y ve Z bileşenlerine ait konum duyarlılığı grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.91 : X koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



Şekil 5.92 : Y koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.



Şekil 5.93 : Z koordinat bileşeni nokta konum duyarlılığı grafiği.

Şekil 5.91 – Şekil 5.93 arasında sunulan grafikler incelendiğinde konum duyarlılıkları; X konum bileşeni için $\pm 0.5 - 3$ m arasında, Y konum bileşeni $\pm 0.6 - 1.6$ m arasında, Z konum bileşeni ise $\pm 5 - 5.7$ m arasında olduğu görülmektedir.

5.2.6.3 YKN ile karşılaştırma

Hazırlanan yazılım ile İHA ile elde edilen görüntü çiftleri için YKN'a ait duyarlılık hesaplanmış ve stereo modeller üzerinde yapılan ölçümlerle karşılaştırılarak, hesaplanan duyarlılık tahmininin gerçeği ne kadar yansıttığı değerlendirilmiştir. Stereo modeller üzerinde ölçülen koordinat değerleri ile bilinen koordinatlar arasındaki fark (d_{xy} , d_z) ile YKN görüntü noktalarına ait hata hesapları (σ) karşılaştırılmıştır.

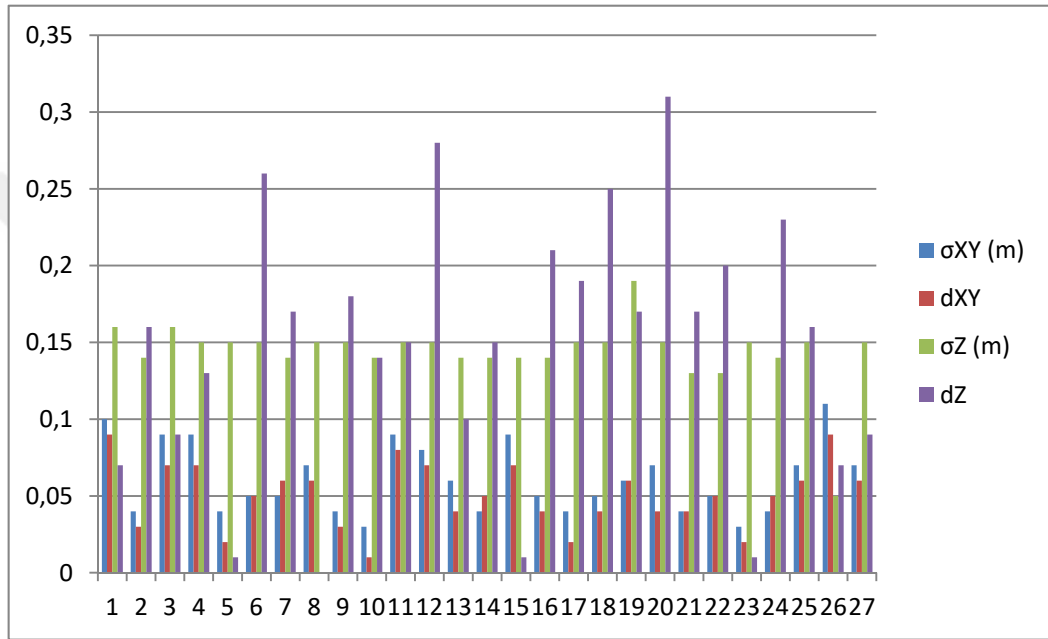
Dengelenmiş yöneltme parametreleri ile yapılan karşılaştırma Çizelge 5.27 ve Şekil 5.94'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.27 : Dengelenmiş yöneltme parametreleri ile elde edilen duyarlılık karşılaştırması.

YKN Nu	İHA (4cm YÖA)			
	σ_{XY} (m)	d_{XY}	σ_Z (m)	d_Z
1	0.1	0.09	0.16	0.07
2	0.04	0.03	0.14	0.16
3	0.09	0.07	0.16	0.09
4	0.09	0.07	0.15	0.13
5	0.04	0.02	0.15	0.01
7	0.05	0.05	0.15	0.26
8	0.05	0.06	0.14	0.17
9	0.07	0.06	0.15	0
10	0.04	0.03	0.15	0.18
11	0.03	0.01	0.14	0.14
13	0.09	0.08	0.15	0.15
14	0.08	0.07	0.15	0.28
15	0.06	0.04	0.14	0.1
16	0.04	0.05	0.14	0.15
17	0.09	0.07	0.14	0.01
18	0.05	0.04	0.14	0.21
19	0.04	0.02	0.15	0.19
20	0.05	0.04	0.15	0.25
21	0.06	0.06	0.19	0.17
22	0.07	0.04	0.15	0.31
23	0.04	0.04	0.13	0.17
24	0.05	0.05	0.13	0.2

Çizelge 5.27 (devam) : Dengelenmiş yöneltme parametreleri ile elde edilen duyarlılık karşılaştırması.

YKN	İHA (4cm YÖA)				
	Nu	σ_{XY} (m)	dXY	σ_Z (m)	dZ
25		0.03	0.02	0.15	0.01
26		0.04	0.05	0.14	0.23
27		0.07	0.06	0.15	0.16
28		0.11	0.09	0.05	0.07
29		0.07	0.06	0.15	0.09



Şekil 5.94 : Dengelenmiş yöneltme parametreleri ile YKN karşılaştırması.

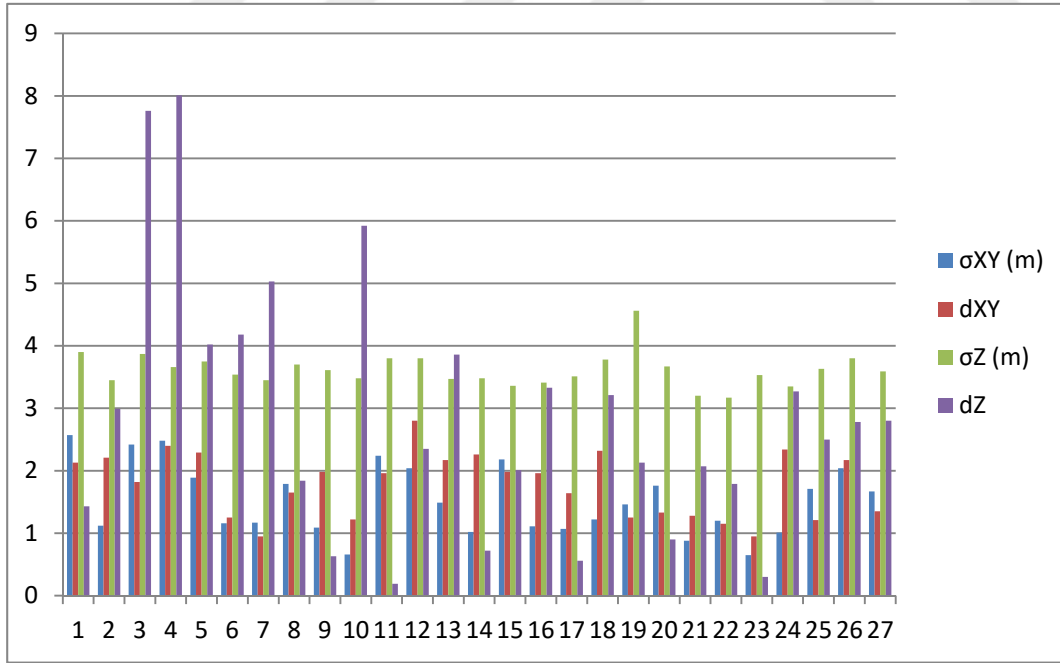
Doğrudan elde edilmiş GPS/IMU değerleri ile yapılan karşılaştırma Çizelge 5.28 ve Şekil 5.95’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.28 : GPS/IMU parametreleri ile elde edilen duyarlılık karşılaştırması.

YKN	İHA (4cm YÖA)				
	Nu	σ_{XY} (m)	dXY	σ_Z (m)	dZ
1		2.57	2.13	3.9	1.43
2		1.12	2.21	3.45	2.99
3		2.42	1.82	3.87	7.76
4		2.48	2.4	3.66	8.01
5		1.89	2.29	3.75	4.02
7		1.16	1.25	3.54	4.18
8		1.17	0.95	3.45	5.03
9		1.79	1.65	3.7	1.84
10		1.09	1.98	3.61	0.63

Çizelge 5.28 (devam) : GPS/IMU parametreleri ile elde edilen duyarlılık karşılaştırması.

YKN Nu	İHA (4cm YÖA)			
	σ_{XY} (m)	dXY	σ_Z (m)	dZ
13	2.24	1.96	3.8	0.19
14	2.04	2.8	3.8	2.35
15	1.49	2.17	3.47	3.86
16	1.02	2.26	3.48	0.72
17	2.18	1.98	3.36	2.01
18	1.11	1.96	3.41	3.33
19	1.07	1.64	3.51	0.56
20	1.22	2.32	3.78	3.21
21	1.46	1.25	4.56	2.13
22	1.76	1.33	3.67	0.9
23	0.88	1.28	3.2	2.07
24	1.2	1.15	3.17	1.79
25	0.65	0.95	3.53	0.3
26	1.01	2.34	3.35	3.27
27	1.71	1.21	3.63	2.5
28	2.04	2.17	3.8	2.78
29	1.67	1.35	3.59	2.8



Şekil 5.95 : Doğrudan elde edilen GPS/IMU parametreleri ile YKN karşılaştırması.

5.3 Ortofoto İçin Duyarlılık Analizi Uygulaması

Bu bölümde, Bölüm 5.1’de anlatılan ve arayüzler ile çeşitli projelerde konum duyarlılığı hesaplanmış ve yöneltme parametrelerinin konum duyarlılığına etkisi analiz edilmiştir. Çalışma bölgesi olarak Mersin bölgesi belirlenmiştir. Söz konusu analizler Ultracam Eagle ile elde edilen 30 cm YÖA bir projede (tek görüntü yöneltmesi) için hem dengelenmiş hem de doğrudan elde edilen değerler ile farklı yükseklik verileri kullanılarak üretilen ortofotolar üzerinde konum duyarlılıkları belirlenmiş ve yöneltme parametrelerinin etkisi analiz edilmiştir.

Oluşturulan ortofotolar üzerinden YKN koordinatları ölçülmüş ve hassas olarak bilinen değerleri ile farkları alınmıştır. Ampirik olarak bulunan bu fark değerleri, bu tezde hazırlanan yazılım ile yapılan duyarlılık tahminleri ile karşılaştırılmıştır. Buradaki amaç hesap yöntemi ile bulunan duyarlılık değeri ile gerçekte olan hata arasındaki tutarlılığı belirlemektir.

5.3.1. Dengelenmiş dış yöneltme parametreleri ile test

Uygulamada YÖA 30 cm olarak gerçekleştirilmiş bir projeden hava triangulasyonu sonucunda elde edilen değerler kullanılmıştır. Dış yöneltme parametreleri Çizelge 5.29’da, bilinen duyarlılıkları Çizelge 5.30’de sunulmuştur.

Çizelge 5.29 : Dış yöneltme parametreleri.

Görüntü Nu.	X0 (m)	Y0 (m)	Z0 (m)	ω (°)	φ (°)	κ (°)
23	634085,749	4064125,014	5642,092	-0,912030	-0,649140	-89,129320
87	710640,956	4047316,313	4893,451	-0,546180	-0,986030	-26,676040
170	766308,630	4098943,321	5390,085	-0,769300	0,275720	-178,490500
202	710958,281	4097614,750	5392,231	-1,076100	0,479190	-178,925100
203	709195,769	4097587,922	5392,237	-1,114040	0,242300	-179,290040
217	684614,630	4096994,649	5390,626	-1,281370	0,413270	-179,285210
232	658783,195	4096393,290	5390,462	-0,886010	0,310900	-178,648440
249	633541,953	4095771,458	5391,325	-1,279940	0,418490	-178,682400
502	633394,755	4079938,673	5272,008	-0,011160	-1,105930	1,567460
576	758230,105	4082873,901	5278,291	0,011000	-0,730390	2,038870
641	653541,504	4076435,317	5163,632	-0,479460	0,773340	-178,271230
656	662352,251	4072685,226	5055,581	-0,299150	-0,717420	1,450440
685	710300,071	4073824,757	5057,356	0,330980	-0,690770	1,691240
707	745992,001	4074688,621	5058,618	0,854640	-0,707070	1,085580
894	690546,992	4061467,680	4918,417	1,323010	-0,997640	1,601920

Çizelge 5.30 : Yönelme parametreleri duyarlılıkları.

σx_0 (mm)	σy_0 (mm)	σf (mm)	$\sigma \omega$ (°)	$\sigma \varphi$ (°)	$\sigma \kappa$ (°)	σX_0 (m)	σY_0 (m)	σZ_0
0.00001	0.00001	0.00001	0.0002	0.0002	0.0005	0.01	0.01	0.02

5.3.1.1 YUKPAF verisinden elde edilen ortofoto

YUKPAF verisi ile üretilen ortofotolar üzerinden YKN koordinatları manuel olarak ölçülmüştür. Belirlenen kontrol noktaların yükseklik duyarlılığı $\sigma Z_0 = 1 m$ olarak girilmiştir. Ölçülen görüntü koordinatları, arazi koordinatları ve noktalara ait yükseklik değerleri Çizelge 5.31’de sunulmuştur.

Çizelge 5.31 : Dengelenmiş dış yönelme parametreleri ile YUKPAF yükseklik verisi kullanılan ölçümler.

YKN. Nu.	Xres	Yres	Xaraz	Yaraz	Zyukpaf
F6007	-15309,530	-2132,330	633981,869	4065111,167	10,000
EGM01	-15309,490	-2132,390	633981,869	4065111,167	10,000
EGM05	-11437,400	-21449,660	709518,446	4046417,840	33,211
G6005	-9516,120	-1310,580	766906,395	4098975,954	142,017
EGM09	-9516,150	-1310,460	766906,395	4098975,954	142,017
EGM03	28463,510	2760,430	708996,234	4097292,504	30,000
EGM03	2678,890	2822,310	708995,118	4097292,607	30,000
G6002	-6119,120	-3649,820	684981,954	4097125,482	48,000
G6001	-194,180	936,750	658768,956	4096257,136	326,000
F6005	1863,960	-7236,780	633403,134	4096059,199	1155,000
EGM07	1864,000	-7236,690	633403,134	4096059,199	1155,000
F6006-6	-80,260	31619,750	633426,733	4081678,944	878,000
G6007	-3192,460	-27411,330	758150,985	4081061,395	19,629
EGM04	-5223,660	1516,470	653811,793	4076304,968	5,000
G6010	-7643,700	24552,470	661893,736	4074200,536	3,000
G6009	6437,830	5877,880	710758,190	4074238,069	9,000
G6008	5017,930	-18752,440	746394,168	4073585,225	7,000
EGM02	5017,930	-18752,480	746394,168	4073585,225	7,000
G6011	-8597,830	-12949,040	690127,260	4060772,953	3,000

Hassas olarak bilinen YKN koordinatları ile kendi ölçtüğümüz YKN noktaları arasındaki farklar Çizelge 5.32’de sunulmuştur.

Çizelge 5.32 : Bilinen hassas değerler ve ölçülen değerler ile farkları.

ΔX	ΔY
0.54	0.37
0.54	0.38
0.9	0.85
0.36	0.09
0.36	0.12
1.12	1.27
0.23	0.33
0.25	0.1
0.15	0.33

Çizelge 5.32 (devam) : Bilinen hassas değerler ve ölçülen değerler ile farkları.

ΔX	ΔY
0.26	0.98
0.26	0.83
1.19	1.48
1.04	0.45
0.21	0.15
0.95	2.55
0.38	1.04
0.71	0.72
0.71	0.84
0.51	0.2

5.3.1.2 SRTM verisinden elde edilen ortofoto

SRTM 30 verisi ile üretilen ortofotolar üzerinden YKN koordinatları manuel olarak ölçülmüştür. Belirlenen kontrol noktaların yükseklik duyarlılığı $\sigma Z_0 = \pm 3 m$ olarak girilmiştir. Ölçülen görüntü koordinatları, arazi koordinatları ve noktalara ait yükseklik değerleri Çizelge 5.29’da sunulmuştur.

Çizelge 5.33 : Dengelenmiş dış yöneltme parametreleri ile SRTM-30 yükseklik verisi kullanılan ölçümler.

YKN. Nu.	Xres	Yres	Xaraz	Yaraz	Zsrtm
F6007	-15309,530	-2132,330	633982,039	4065111,161	7,805
EGM01	-15309,490	-2132,390	633982,039	4065111,161	7,805
EGM05	-11437,400	-21449,660	709516,781	4046415,504	24,171
G6005	-9516,120	-1310,580	766906,035	4098975,937	144,897
EGM09	-9516,150	-1310,460	766906,035	4098975,937	144,897
EGM03	28463,510	2760,430	708995,189	4097292,337	27,128
EGM03	2678,890	2822,310	708995,047	4097292,425	27,124
G6002	-6119,120	-3649,820	684982,082	4097125,488	46,944
G6001	-194,180	936,750	658769,002	4096256,870	318,799
F6005	1863,960	-7236,780	633403,089	4096059,448	1152,974
EGM07	1864,000	-7236,690	633403,089	4096059,448	1152,974
F6006-6	-80,260	31619,750	633426,670	4081678,730	877,323
G6007	-3192,460	-27411,330	758150,998	4081060,626	17,498
EGM04	-5223,660	1516,470	653811,745	4076304,957	6,180
G6010	-7643,700	24552,470	661893,637	4074200,960	1,000
G6009	6437,830	5877,880	710758,373	4074238,449	9,339
G6008	5017,930	-18752,440	746393,965	4073585,839	10,000
EGM02	5017,930	-18752,480	746393,965	4073585,839	10,000
G6011	-8597,830	-12949,040	690127,215	4060772,852	2,146

Hassas olarak bilinen YKN koordinatları ile kendi ölçtüğümüz YKN noktaları arasındaki farklar Çizelge 5.30’da sunulmuştur.

Çizelge 5.34 : Bilinen hassas değerler ve ölçülen değerler ile farkları.

ΔX	ΔY
0.65	0.44
0.56	0.46
2.07	2.36
0.81	0.3
0.61	0.47
0.6	0.22
0.48	0.13
0.52	0.17
0.23	0.11
0.54	1.2
0.54	1.07
2.77	1.27
2.42	0.32
0.42	0.18
2.19	2.97
0.86	1.17
0.63	0.09
0.43	0.19
1.16	0.84

5.3.2 Doğrudan elde edilen dış yöneltme parametreleri ile test

Uygulamada YÖA 30 cm olarak gerçekleştirilmiş bir proje ile doğrudan elde edilen GPS/IMU değerleri kullanılmıştır. Dış yöneltme parametreleri Çizelge 5.35’de, bilinen duyarlılıkları Çizelge 5.36’de sunulmuştur.

Çizelge 5.35 : Dış yöneltme parametreleri.

Görüntü Nu.	X0 (m)	Y0 (m)	Z0 (m)	ω (°)	ϕ (°)	κ (°)
23	634085,749	4064125,014	5642,092	-0,912030	-0,649140	-89,129320
87	710640,956	4047316,313	4893,451	-0,546180	-0,986030	-26,676040
170	766308,630	4098943,321	5390,085	-0,769300	0,275720	-178,490500
202	710958,281	4097614,750	5392,231	-1,076100	0,479190	-178,925100
203	709195,769	4097587,922	5392,237	-1,114040	0,242300	-179,290040
217	684614,630	4096994,649	5390,626	-1,281370	0,413270	-179,285210
232	658783,195	4096393,290	5390,462	-0,886010	0,310900	-178,648440
249	633541,953	4095771,458	5391,325	-1,279940	0,418490	-178,682400
502	633394,755	4079938,673	5272,008	-0,011160	-1,105930	1,567460
576	758230,105	4082873,901	5278,291	0,011000	-0,730390	2,038870
641	653541,504	4076435,317	5163,632	-0,479460	0,773340	-178,271230
656	662352,251	4072685,226	5055,581	-0,299150	-0,717420	1,450440
685	710300,071	4073824,757	5057,356	0,330980	-0,690770	1,691240
707	745992,001	4074688,621	5058,618	0,854640	-0,707070	1,085580
894	690546,992	4061467,680	4918,417	1,323010	-0,997640	1,601920

Çizelge 5.36 : Yönelme parametreleri duyarlılıkları.

σx_0 (mm)	σy_0 (mm)	σf (mm)	$\sigma \omega$ (°)	$\sigma \varphi$ (°)	$\sigma \kappa$ (°)	σX_0 (m)	σY_0 (m)	σZ_0
0.00001	0.00001	0.00001	0.001	0.001	0.002	0.1	0.1	0.2

5.3.2.1 YUKPAF verisinden elde edilen ortofoto

YUKPAF verisi ile üretilen ortofotolar üzerinden YKN koordinatları manuel olarak ölçülmüştür. Belirlenen kontrol noktaların yükseklik duyarlılığı $\sigma Z_0 = 1 m$ olarak girilmiştir. Ölçülen görüntü koordinatları, arazi koordinatları ve noktalara ait yükseklik değerleri Çizelge 5.37’de sunulmuştur.

Çizelge 5.37 : Doğrudan dış yönelme parametreleri ile YUKPAF yükseklik verisi kullanılan ölçümler.

YKN. Nu.	Xres	Yres	Xaraz	Yaraz	Zyukpaf
F6007	-15309,530	-2132,330	633983,086	4065109,951	10,504
EGM01	-15309,490	-2132,390	633983,086	4065109,951	10,504
EGM05	-11437,400	-21449,660	709518,599	4046417,380	33,000
G6005	-9516,120	-1310,580	766906,196	4098975,505	143,000
EGM09	-9516,150	-1310,460	766906,196	4098975,505	143,000
EGM03	28463,510	2760,430	708996,975	4097291,718	30,000
EGM03	2678,890	2822,310	708995,378	4097291,431	30,000
G6002	-6119,120	-3649,820	684982,113	4097124,293	48,000
G6001	-194,180	936,750	658769,399	4096255,796	326,000
F6005	1863,960	-7236,780	633403,633	4096057,930	1155,422
EGM07	1864,000	-7236,690	633403,633	4096057,930	1155,422
F6006-6	-80,260	31619,750	633427,581	4081678,047	876,633
G6007	-3192,460	-27411,330	758151,312	4081062,861	19,784
EGM04	-5223,660	1516,470	653812,097	4076304,248	5,000
G6010	-7643,700	24552,470	661893,741	4074199,608	3,000
G6009	6437,830	5877,880	710757,678	4074237,754	9,000
G6008	5017,930	-18752,440	746393,439	4073585,930	7,000
EGM02	5017,930	-18752,480	746393,439	4073585,930	7,000
G6011	-8597,830	-12949,040	690127,784	4060773,088	3,000

Hassas olarak bilinen YKN koordinatları ile kendi ölçtüğümüz YKN noktaları arasındaki farklar Çizelge 5.38’de sunulmuştur.

Çizelge 5.38 : Bilinen hassas değerler ve ölçülen değerler ile farkları.

ΔX	ΔY
0.85	0.64
0.75	0.67
1.04	2.67
0.82	0.38
0.72	0.37
1.24	1.47
0.75	0.3
0.56	0.21

Çizelge 5.38 (devam) : Bilinen hassas değerler ve ölçülen değerler ile farkları.

ΔX	ΔY
0.52	0.05
0.56	1.23
0.46	1.21
1.21	1.85
1.27	0.44
0.63	0.23
1.08	4.33
0.62	2.16
0.87	0.36
0.97	0.47
0.71	0.32

5.3.2.2 SRTM verisinden elde edilen ortofoto

SRTM 30 verisi ile üretilen ortofotolar üzerinden YKN koordinatları manuel olarak ölçülmüştür. Belirlenen kontrol noktaların yükseklik duyarlılığı $\sigma Z_0 = 3 m$ olarak girilmiştir. Ölçülen görüntü koordinatları, arazi koordinatları ve noktalara ait yükseklik değerleri Çizelge 5.39’de sunulmuştur.

Çizelge 5.39 : Dengelenmiş dış yöneltme parametreleri ile SRTM-30 yükseklik verisi kullanılan ölçümler.

YKN. Nu.	Xres	Yres	Xaraz	Yaraz	Zsrtm
F6007	-15309,530	-2132,330	633983,012	4065110,543	7,714
EGM01	-15309,490	-2132,390	633983,012	4065110,543	7,714
EGM05	-11437,400	-21449,660	709516,525	4046415,714	24,204
G6005	-9516,120	-1310,580	766905,993	4098975,434	145,000
EGM09	-9516,150	-1310,460	766905,993	4098975,434	145,000
EGM03	28463,510	2760,430	708995,855	4097291,538	27,150
EGM03	2678,890	2822,310	708995,318	4097291,269	27,000
G6002	-6119,120	-3649,820	684982,177	4097124,271	46,928
G6001	-194,180	936,750	658769,408	4096255,507	318,000
F6005	1863,960	-7236,780	633403,519	4096058,116	1152,653
EGM07	1864,000	-7236,690	633403,519	4096058,116	1152,653
F6006-6	-80,260	31619,750	633427,524	4081677,763	877,000
G6007	-3192,460	-27411,330	758151,152	4081062,141	20,000
EGM04	-5223,660	1516,470	653812,102	4076304,308	5,000
G6010	-7643,700	24552,470	661893,607	4074199,935	1,000
G6009	6437,830	5877,880	710757,583	4074237,944	9,000
G6008	5017,930	-18752,440	746393,113	4073586,582	10,000
EGM02	5017,930	-18752,480	746393,113	4073586,582	10,000
G6011	-8597,830	-12949,040	690127,694	4060772,977	2,000

Hassas olarak bilinen YKN koordinatları ile kendi ölçtüğümüz YKN noktaları arasındaki farklar Çizelge 5.40 sunulmuştur.

Çizelge 5.40 : Bilinen hassas değerler ve ölçülen değerler ile farkları.

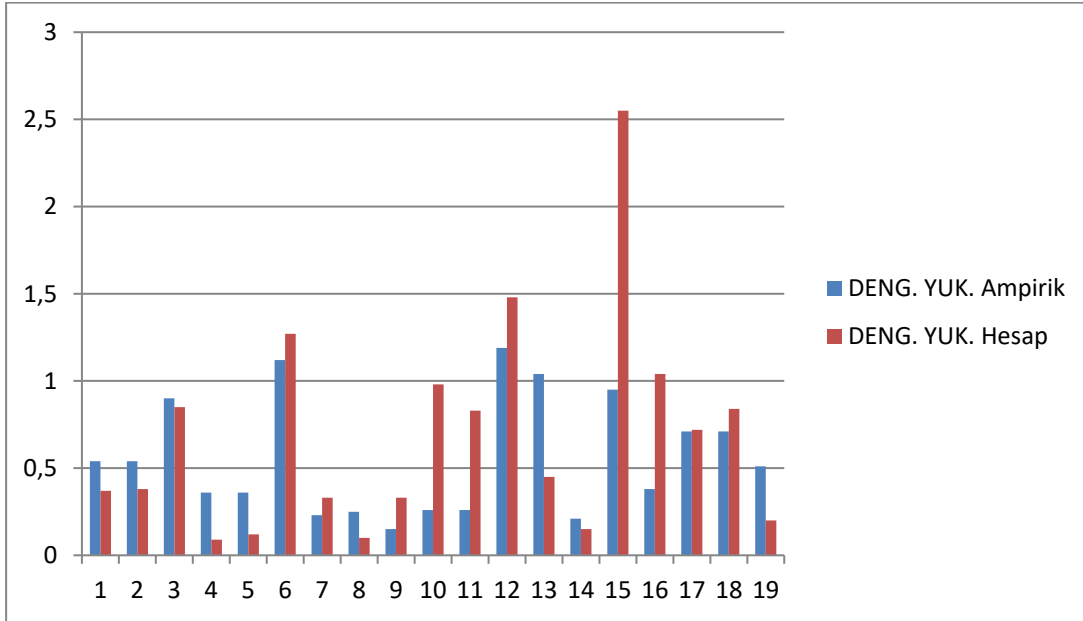
ΔX	ΔY
1.34	0.89
1.34	0.95
2.14	1.6
0.95	0.29
1.05	0.26
2.65	1.7
0.89	0.37
0.72	0.36
0.55	0.38
0.83	0.61
0.73	0.8
2.83	1.88
2.48	0.44
0.65	0.17
2.25	4.45
0.99	3.51
1.71	0.56
1.71	0.65
1.26	0.48

Yukarıda deneysel olarak her bir hava fotoğrafına ait 4 çeşit ortofoto üzerinden YKN'lerin hataları belirlenmiştir. Tez çalışmamızda oluşturulan yazılım ile aynı noktalara ait hesaplanan teorik hata tahminleri ile deneysel olarak belirlenen değerler Çizelge 5.41 'de gösterilmiştir.

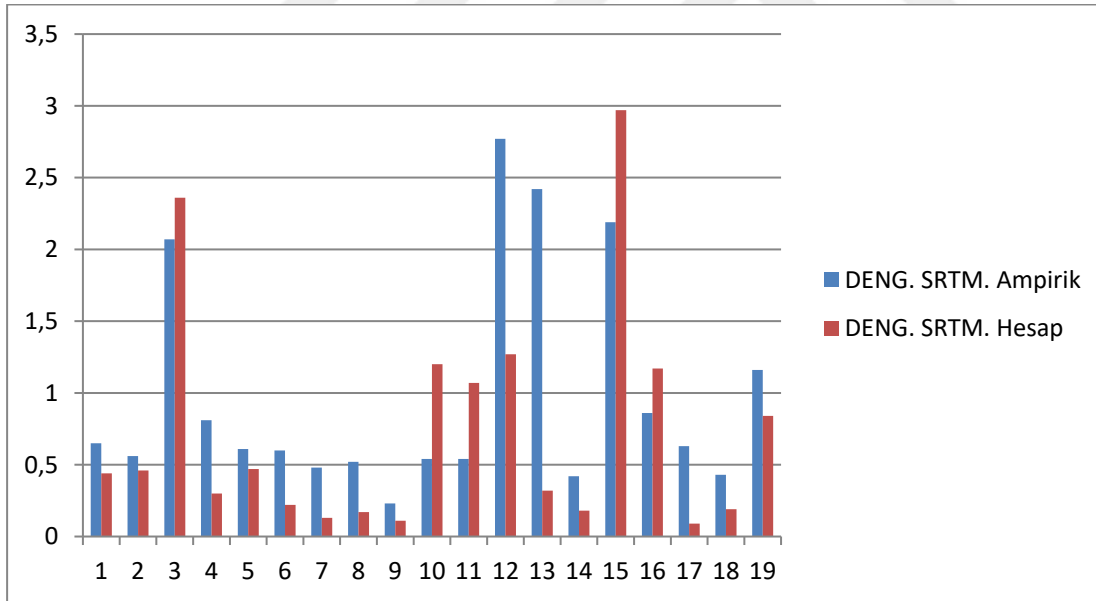
Çizelge 5.41 : Ortofoto için sonuçların karşılaştırılması.

Nokta Nu.	DENG. YUK.		DENG. SRTM.		GPS/IMU-YUK.		GPS/IMU-SRTM.	
	Ampirik	Hesap	Ampirik	Hesap	Ampirik	Hesap	Ampirik	Hesap
F6007	0.54	0.37	0.65	0.44	0.85	0.64	1.34	0.89
EGM01	0.54	0.38	0.56	0.46	0.75	0.67	1.34	0.95
EGM05	0.9	0.85	2.07	2.36	1.04	2.67	2.14	1.6
G6005	0.36	0.09	0.81	0.3	0.82	0.38	0.95	0.29
EGM09	0.36	0.12	0.61	0.47	0.72	0.37	1.05	0.26
EGM03	1.12	1.27	0.6	0.22	1.24	1.47	2.65	1.7
EGM03	0.23	0.33	0.48	0.13	0.75	0.3	0.89	0.37
G6002	0.25	0.1	0.52	0.17	0.56	0.21	0.72	0.36
G6001	0.15	0.33	0.23	0.11	0.52	0.05	0.55	0.38
F6005	0.26	0.98	0.54	1.2	0.56	1.23	0.83	0.61
EGM07	0.26	0.83	0.54	1.07	0.46	1.21	0.73	0.8
F6006-6	1.19	1.48	2.77	1.27	1.21	1.85	2.83	1.88
G6007	1.04	0.45	2.42	0.32	1.27	0.44	2.48	0.44
EGM04	0.21	0.15	0.42	0.18	0.63	0.23	0.65	0.17
G6010	0.95	2.55	2.19	2.97	1.08	4.33	2.25	4.45
G6009	0.38	1.04	0.86	1.17	0.62	2.16	0.99	3.51
G6008	0.71	0.72	0.63	0.09	0.87	0.36	1.71	0.56
EGM02	0.71	0.84	0.43	0.19	0.97	0.47	1.71	0.65
G6011	0.51	0.2	1.16	0.84	0.71	0.32	1.26	0.48

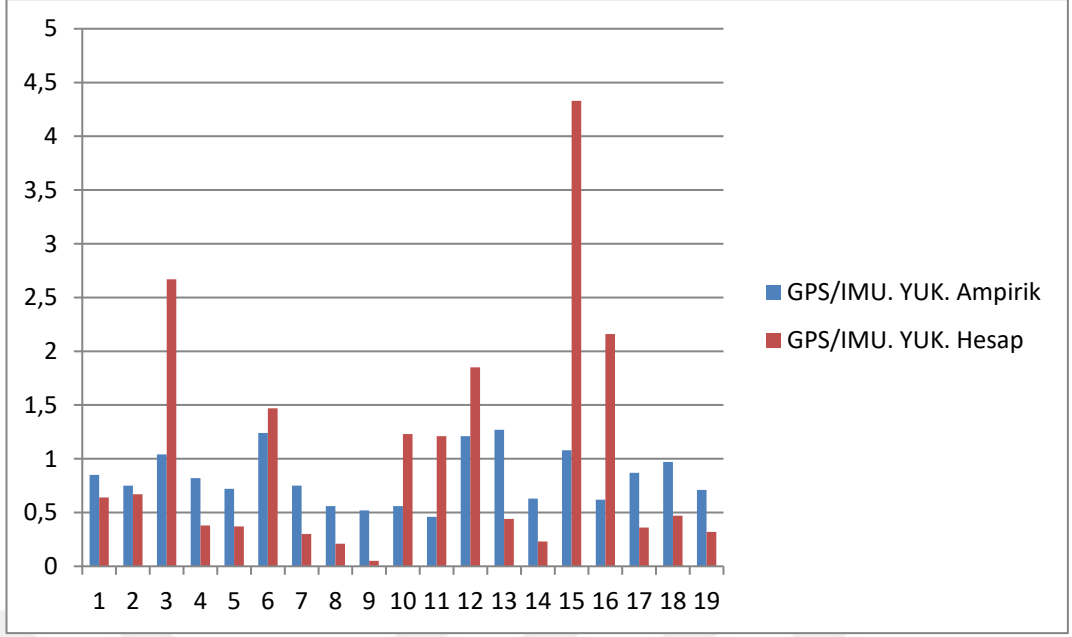
Hesap yöntemi ile bulunan ve deneysel olarak elde edilen hatalar aşağıdaki grafiklerde (Şekil 5.96-5.99) gösterilmiştir.



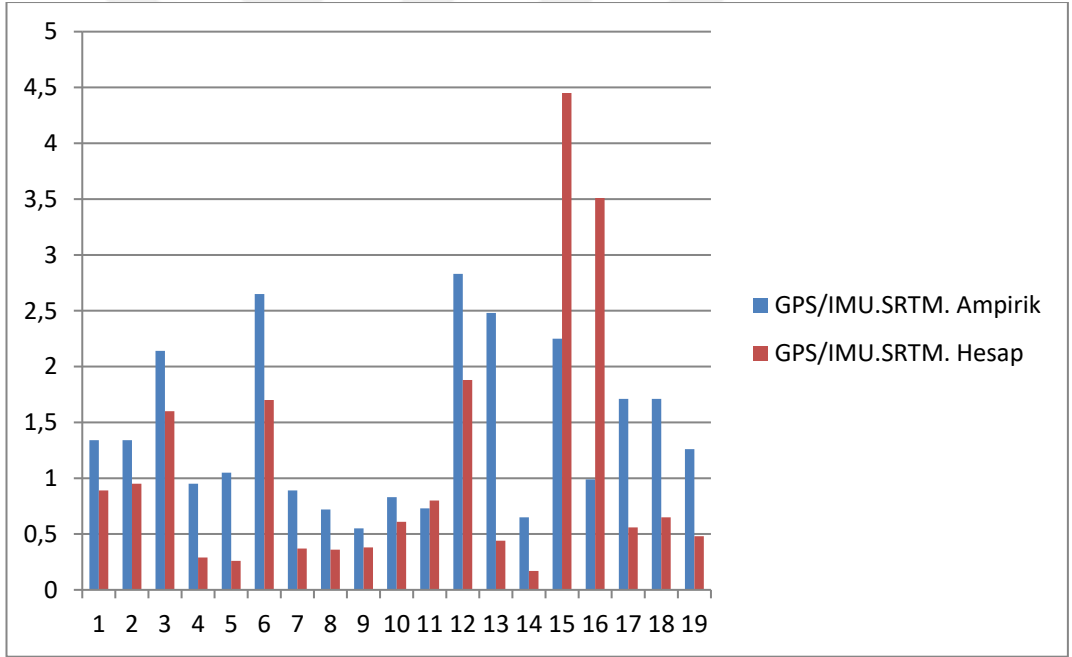
Şekil 5.96 : Dengelenmiş dış yöneltme parametreleri ve YUKPAF ile elde edilen konum duyarlılıkları karşılaştırması.



Şekil 5.97 : Dengelenmiş dış yöneltme parametreleri ve SRTM-30 ile elde edilen konum duyarlılıkları karşılaştırması.



Şekil 5.98 : Doğrudan GPS/IMU değerleri ve YUKPAF ile elde edilen konum duyarlılıkları karşılaştırması.



Şekil 5.99 : Doğrudan GPS/IMU değerleri ve SRTM-30 ile elde edilen konum duyarlılıkları karşılaştırması.

5.3.2.3 Değerlendirme

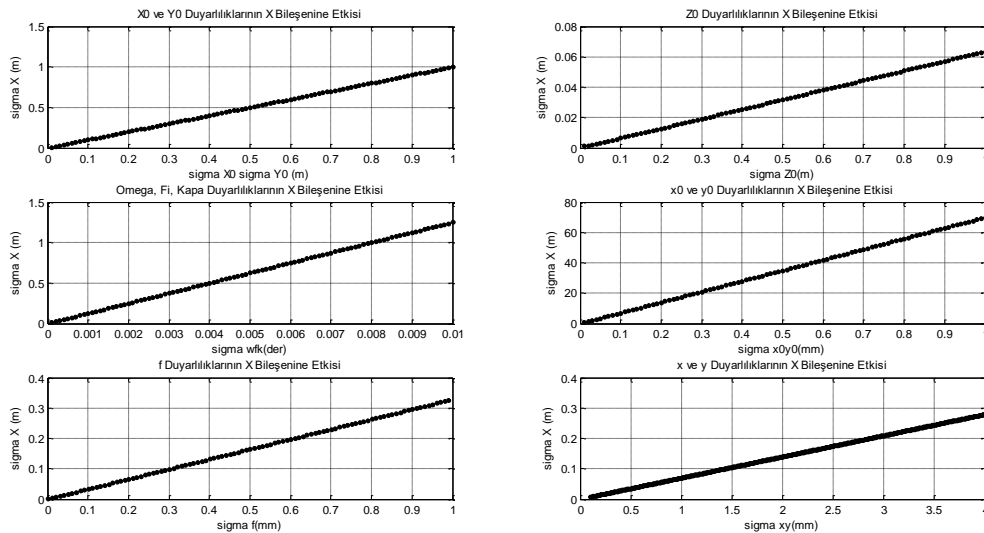
Genel olarak elde edilen sonuçlar incelendiğinde dengelenmiş dış yöneltme parametreleri kullanılarak üretilen ortofotolardaki konum hassasiyeti, doğrudan GPS/IMU verileri kullanılarak üretilen ortofotolardaki konum hassasiyetine göre daha iyi sonuç vermiştir. YUKPAF verisi kullanılarak, SRTM-30 verisine göre daha doğru sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar zaten bilinen ve beklenen sonuçlardır.

Daha hassas dış yöneltme parametresi ve/veya yükseklik verisi ile konum hassasiyeti daha iyi ortofotoların elde edilmesi doğal ve beklenen bir sonuçtur.

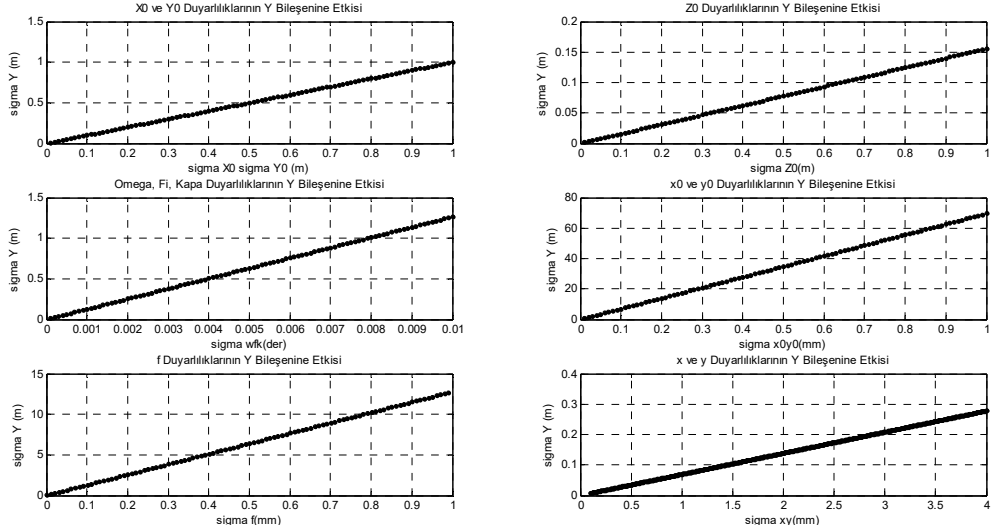
Teorik olarak hesaplanan hata tahmini ile deneysel olarak elde edilen hatalar arasında birbirine yakın değerler olmakla birlikte, hata tahminin daha iyimser veya daha kötümser yapıldığı YKN'ları mevcuttur. Teorik olarak yapılan hesapta izdüşüm denklemlerinde bulunan parametrelerin duyarlılıkları kullanılmış ve diğer hata kaynakları göz ardı edilmiştir. Bu yüzden teorik olarak elde edilen değerlerin bazı noktalarda iyimser veya kötümser olarak sonuç verdiği değerlendirilmektedir. Bunun yanında hesaba katılan parametre duyarlılıklarının da önemi olduğu bilinmektedir. Duyarlılık hesabı oldukça ayrıntılı bir konu olup ayrıca araştırılması gerekmektedir. Hazırlanan yazılımda parametre duyarlılıkları ne kadar iyi bilinirse elde edilen sonuçlar o kadar gerçeğe yakın çıkması beklenmektedir.

5.3.2.4 Dış yöneltme parametrelerinin ortofoto üzerindeki etkisinin incelenmesi

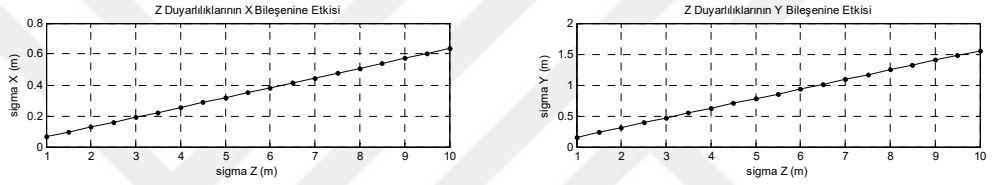
Bu bölümde izdüşüm denklemlerindeki ayrı ayrı her bir parametrenin konum duyarlılığına etkisi incelenmiştir. Burada hangi parametrenin duyarlılığı incelenecekse onun duyarlılığı sıfıra yakın bir değerden belirli aralıklarla artırılırken diğer parametreler hatasız ve sabit olarak kabul edilerek grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 5.96 – Şekil 5.98 arasında sunulan grafikler her bir parametrenin X ve Y bileşenine etkisini göstermektedir.



Şekil 5.100 : Yöneltme parametrelerinin X konum bileşenine etkisi.



Şekil 5.101 : Yönelme parametrelerinin Y konum bileşenine etkisi.



Şekil 5.102 : Z duyarlılıklarının X ve Y konum bileşenlerine etkisi.

5.4 İstatiksel Değerlendirme

5.4.1 Güven aralığı

Tez çalışmasında dengelenmiş parametreler ile hesaplanan duyarlılıklar, blok dengeleme sonucunda kontrol noktalarına gelen düzeltmeler ile karşılaştırılmıştır. Yapılan duyarlılık tahminlerinin standart sapmaları ve normal dağılımda %90 ($1-\alpha$, $\alpha = 0.1$) güven aralığında ortalama hataları Çizelge 5.42 ve Çizelge 5.43'de sunulmuştur.

Çizelge 5.42 : Stereo görüntü çiftleri için yapılan testlerin normal dağılım istatistikleri ($\alpha = 0.1$).

	S (Standart Sapma)		$\bar{x} \pm Z_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$	
	xy (m)	z (m)	xy (m)	z (m)
10 cm YÖA	0.03	0.05	0.02 ± 0.01	0.03 ± 0.02
20 cm YÖA	0.03	0.1	0.02 ± 0.01	0.06 ± 0.04
30 cm YÖA	0.03	0.14	0.02 ± 0.01	0.09 ± 0.06
45 cm YÖA	0.01	0.08	0.01 ± 0.01	0.06 ± 0.03

Çizelge 5.43 : Ortofoto için yapılan testlerin normal dağılım istatistikleri ($\alpha = 0.1$).

	DENG. YUK. (xy)	DENG. SRTM. (xy)	GPS/IMU- YUK. (xy)	GPS/IMU- SRTM. (xy)
S (Standart Sapma)	0.51	0.72	1.04	1.12
$\bar{x} \pm Z_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$	0.33 ± 0.22	0.50 ± 0.32	0.71 ± 0.46	0.83 ± 0.49

5.4.2 Uyum testi

T testi, hipotez testlerinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. T testi vasıtasıyla iki örneklemin ortalamaları karşılaştırılarak, aradaki farkın istatistiksel olarak anlamlı mı yoksa rastlantısal mı olduğu tespit edilmektedir. Genellikle örneklem boyutlarının küçük olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

Tez çalışmasında hesaplanan konum duyarlılıkları daha önceki bölümlerde dengeleme sonucunda kontrol noktalarına gelen düzeltmeler arasındaki farklar tablosal ve grafiksel olarak incelenmişti. Bu bölümde ise söz konusu iki örneklem ortalamaları arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı incelenmiştir. Böylece tez çalışmasında arayüzü hazırlanan konum duyarlılığı hesabının kullanılabilir olup olmadığı tespit edilmiştir. Hesaplanan konum duyarlılıkları ve dengeleme sonucunda kontrol noktalarına gelen düzeltmeler arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlılığını belirlemek için bağımsız grup t testi uygulanmıştır. Bu kapsamda H_0 ve H_1 hipotezleri aşağıdaki gibidir. t kritik değerleri 5.1 ve 5.2 eşitlikleri ile hesaplanmaktadır (Ghilani D.C. ve Wolf P.R 2006).

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

μ : örneklem ortalamaları

n, m : örneklem sayıları

s : örneklemelerin standart sapması

t : t kritik değeri

\bar{x}, \bar{y} : örneklem ortalamaları

sd: serbestlik derecesi

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s_x^2}{n} + \frac{s_y^2}{m}}} \quad (5.1)$$

$$s = \sqrt{\frac{(n-1)s_x^2 + (m-1)s_y^2}{n+m-2}} \quad (5.2)$$

Hesaplanan t değeri t tablo değerinden küçükse H_0 hipotezi kabul edilmektedir. Uyumluluk testi kapsamında hesaplanan değerler ve sonuçlar Çizelge 5.44 ve Çizelge 5.45’de verilmiştir.

Çizelge 5.44 : Stereo görüntü çiftleri için elde edilen örneklere ait t testi sonuçları.

Test	sd		t		$t_{\alpha/2}$ tablo değeri	Sonuç	
	xy	xy	xy	z		xy	z
10 cm YÖA	34	1.02	1.02	0.73	2.03	H_0 KABUL	H_0 KABUL
20 cm YÖA	34	0.19	0.19	0.79	2.03	H_0 KABUL	H_0 KABUL
30 cm YÖA	32	1.82	1.82	0.86	2.035	H_0 KABUL	H_0 KABUL
45 cm YÖA	32	1.814	1.814	0.76	2.035	H_0 KABUL	H_0 KABUL
İHA	52	1.663	1.663	0.88	2.01	H_0 KABUL	H_0 KABUL
İHA- GPS/IMU	52	-1.74	-1.74	0.06	2.01	H_0 KABUL	H_0 KABUL

Çizelge 5.45 : Ortofoto için elde edilen örneklere ait t testi sonuçları.

Test	df	t	$t_{\alpha/2}$	tablo değeri	Sonuç
DENG. YUK.	36	-0.79	2.03		H_0 KABUL
DENG. SRTM.	36	0.94	2.03		H_0 KABUL
GPS/IMU. YUK.	36	-0.77	2.03		H_0 KABUL
GPS/IMU.SRTM.	36	1.13	2.03		H_0 KABUL

Çizelge 5.44 ve Çizelge 5.45’de elde edilen t testi sonuçlarına göre, hata artma yasası ile hesaplanan duyarlılıklar ve dengeleme sonucunda gelen düzeltmelerin ortalaması arasındaki fark %95 güven aralığında anlamlı değildir. Yapılan istatistiksel test sonucuna göre tez çalışmasında Matlab arayüzü ile hazırlanan hata artma yasası hesabının kullanılabilir olduğu değerlendirilmiştir.



6. SONUÇLAR

GPS/IMU sistemleri fotogrametri ve uzaktan algılamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistem fotogrametrik uygulamalarda (stereo model oluşturulması, düşeye çevirme ve diğer dış yöneltme parametrelerine ihtiyaç duyulan uygulamalarda) hava triangulasyonu ihtiyacını kısmen azaltmıştır. Bunun yanında günümüzde, zaman ve maliyet önemli olduğundan, gerçek ya da yarı-gerçek (near-real, quasi-real) zamanlı çalışmalar (gerçek zamanlı haritalama) hız kazanmıştır. Gerek çerçeve görüntü yöneltmesinde gerekse LIDAR (Light Detection and Ranging) uygulamalarında GPS/IMU önemli rol oynamaktadır.

Gerçek zamanlı haritalama çalışmalarının hız kazandığı günümüzde GZK GPS yöntemi ön plana çıkmaktadır. Özellikle LIDAR (Light Detection and Ranging) uygulamaları başta olmak üzere, GZK GPS fotogrametrik projelerde yaygın olarak kullanılmamaktadır. GZK GPS çalışmaları daha çok LIDAR uygulamalarında yoğunlaşmış olup, hava fotogrametrisinde gerek uluslararası gerekse ulusal literatürde fazla yer bulmamaktadır. GZK GPS gerçek zamanlı bir uygulama olmakla birlikte fiziksel olarak gerçek zamanlı uygulama olanağı bulunmadığından ve özellikle uçuş şartlarında sinyal haberleşmesinin kısıtları bulunduğundan, uygulama ve analizler uçuş sonrası işlem (post proses) olarak gerçekleştirilmektedir. Tez çalışmasında gerçek zamanlı olarak bahsedilen tüm uygulamalar yarı-gerçek zamanlı (near-real, quasi-real) olarak gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasında GZK GPS yönteminin konum doğruluğu açısından fotogrametrik uygulamalarda kullanılabilirliği test edilmiştir. Konum doğruluğu genellikle yerde işaretlenmiş veya keskin detay şeklinde bağımsız YKN kullanılarak belirlenmektedir. Ancak YKN hem ekonomik olarak maliyetlidir hem de her durumda fiziki şartlar ve güvenlik nedeniyle tesis edilmesi veya ölçülmesi mümkün olmamaktadır. Bununla birlikte YKN olmadan konum duyarlılığı hesaplamak mümkündür. Bu çalışmadaki testler, hata artma yasasının merkezi izdüşüm denklemlerine uygulanması ile konum duyarlılığı hesaplanarak gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasında GPS ve IMU hata kaynakları hakkında özet bilgi verilmiş ve hesapsal bir uygulama ile YKN olmadan konum duyarlılığı belirlenmiştir. Merkezi izdüşüm denklemlerine hata artma yasası uygulanarak her bir yöneltme parametresinin konum duyarlılığına etkisi incelenmiş ve yorumlanmıştır. Bunun yanında mevcut dış yöneltme parametreleri ile elde edilecek duyarlılık örnek projeler üzerinde hesapsal olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda fotogrametrinin matematik modeli incelenmiş, izdüşüm denklemlerine hata artma yasası uygulanarak konum duyarlılığı hesaplanmıştır. İzdüşüm denklemlerinde bulunan dış yöneltme parametrelerinin konum duyarlılığına etkisi analiz edilmiştir. Konum duyarlılığı hesabı ve analizlerin gerçekleştirilmesi için MATLAB yazılımı kullanılarak bir ara yüz hazırlanmıştır. Söz konusu ara yüz ile hem stereo görüntü çiftleri hem de tek görüntü yöneltmesi için konum duyarlılığı ve analizi gerçekleştirilebilmektedir.

Tez kapsamında hazırlanan ara yüz ile çeşitli projeler için konum duyarlılığı ve analizi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan tüm projelerdeki izdüşüm merkezi koordinatları TUSAGA Aktif istasyonlarından faydalanarak GZK GPS yöntemi ile hesaplanmıştır. Her bir proje için dengelenmiş ve GPS/IMU entegrasyonu ile doğrudan elde edilmiş dış yöneltme parametreleri ile ayrı ayrı konum duyarlılığı hesabı ve analizi yapılmıştır. Bunun yanında bir İHA projesi için de söz konusu işlemler gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında yapılan tüm test değerleri ilgili bölümlerde verilmiş ve değerlendirilmiştir. Yöneltme parametrelerinin konum duyarlılığına etkisi değerlendirilecek olursa genel olarak:

X ve Y konum bileşenlerinin yöneltme parametrelerinden birbirine yakın ve aynı oranda etkilendiği görülmektedir. Buna göre X_0 ve Y_0 parametresi X ve Y konum bileşenlerini bire bir oranda etkilemekte ve lineer bir artış göstermektedir. Z_0 bileşeninin ise X ve Y konum duyarlılığına etkisinin yok denecek kadar az olduğu görülmektedir. Dönüklük parametrelerinin duyarlılığı ise $0^\circ - 0.01^\circ$ aralığında uçuş yüksekliği ile orantılı olmak üzere ± 3 m ye varan konum duyarlılığına neden olmaktadır ve lineer artış göstermektedir. Ana nokta koordinatları ve nokta ölçüm duyarlılığının da yatay konum duyarlılığını oldukça fazla etkilediği görülmektedir.

Yöneltme parametrelerinin Z konum bileşenine etkisi incelendiğinde; X_0, Y_0 'ın 0 - 1 m aralığındaki duyarlılığı ± 1 m'ye kadar, $0^\circ - 0.01^\circ$ aralığında dönüklük duyarlılığının

Z konum duyarlılığını $\pm 2-3$ m'ye kadar etkilediği görülmektedir. Z_0 parametresi Z konum bileşenini yaklaşık bire bir oranda etkilemektedir. Ana nokta koordinatları ve nokta ölçüm duyarlılığı da Z konum duyarlılığını oldukça fazla etkilemektedir. Buradaki tüm bileşenler için duyarlılık, Z konum bileşenini lineer artış şeklinde etkilemektedir.

Ortofoto için genel olarak elde edilen sonuçlar incelendiğinde dengelenmiş dış yöneltme parametreleri kullanılarak üretilen ortofotolardaki konum duyarlılığı, doğrudan GPS/IMU verileri kullanılarak üretilen ortofotolardaki konum duyarlılığına göre daha iyi sonuç vermiştir. YUKPAF verisi kullanılarak, SRTM-30 verisine göre daha doğru sonuçlar elde edilmiştir. Daha hassas dış yöneltme parametresi ve/veya yükseklik verisi ile konum duyarlılığı daha iyi ortofoların elde edilmesi doğal ve beklenen bir sonuçtur.

İHA sonuçlarını ayrıca incelemek gerekirse; doğrudan GPS/IMU değerleri ile elde edilecek konum doğruluğunun oldukça düşük olduğu, bu yüzden blok dengelemenin kaçınılmaz olduğu ve gerçekleştirilen uçuşun mümkün olduğunca normal alıma yakın olması gerektiği değerlendirilmektedir. Bunun yanında hava fotogrametrisinde ihtiyaç duyulan YKN sayısından daha fazla YKN'a ihtiyaç duyulmaktadır.

YKN ile yapılan karşılaştırmada hesap yöntemi ile yapılan konum duyarlılığı hesabı ile dengeleme sonucunda noktalara gelen düzeltmeler arasında birbirine yakın değerler olmakla birlikte, bazı noktalarda farkın yüksek olduğu görülmüştür. Hesaplanan konum duyarlılığı değerleri ve dengeleme sonucunda noktalara gelen konum düzeltmeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın bulunup bulunmadığının tespiti için t testi yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda ortalama hatalar arasında %95 güven seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ve hesaplanan duyarlılıkların kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir. Hesapsal olarak yapılan işlemde izdüşüm denklemlerinde bulunan parametrelerin duyarlılıkları kullanılmış ve söz konusu farkın bilinmeyen hata kaynaklarından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Bunun yanında ölçülere ait önceden bilinen duyarlılık hesabı ve iyileştirilmesi oldukça ayrıntılı bir konu olup ayrıca araştırılması gerekmektedir. Belirlenen konum duyarlılığı için her parametrenin hangi oranda etki ettiği belirlenebilir ve hazırlanan arayüze ayrı bir modül olarak eklenebilir.

Gerçekleştirilen testlerde elde edilen sonuçlar, fiziksel koşullar sağlandığı takdirde (yüksek irtifada sinyal haberleşmesinin sağlandığı durumda) GZK GPS yönteminin ve hazırlanan konum duyarlılığı hesabı arayüzünün kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

Tez çalışması ile sağlanan faydalar;

- YKN olmadan gerçekleştirilecek fotogrametrik uygulamalarda elde edilecek konum duyarlılığı belirlenebilmektedir.
- Hazırlanan ara yüz ile deneysel olarak test edilmesi maliyetli ve gerçek zamanlı uygulamalar gibi teknik engeller içeren uygulamalar ile ileride gerçekleştirilecek çalışmalar için konum duyarlılığı analizleri gerçekleştirilebilecektir.
- YKN olmadığı durumlarda, farklı kaynaklardan temin edilen (basılı harita, açık kaynak ... vb.) noktaların kullanıldığı durumlarda konum duyarlılığı hesaplanabilecektir.
- Kullanılan kamera ve IMU için fabrika duyarlılıklarının iyimser olup olmadığı tespit edilebilecektir.
- LIDAR uygulamalarında yine aynı prensiple (hata artma yasası) konum duyarlılığı hesaplanabileceğinden, LIDAR ile ilgili yapılacak çalışmalara kaynak teşkil edecektir.
- Son dönemde kullanımı hızla artan İnsansız Hava Araçları ile fotogrametrik uygulamalarda elde edilecek konum duyarlılığı belirlenebilecektir.
- Uçuş öncesinde yapılacak simülasyonla elde edilmek istenen konum duyarlılığını elde edilebilmek için gerekli ölçüm duyarlılıkları belirlenebilecektir.
- Ölçülerin duyarlılığının hesaplanması için ayrı bir çalışma yapılabileceği ve benzer uygulamanın LIDAR verileri için de gerçekleştirilebileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- Arslan N., Aydın C., Üstün A., Demirel H.** (2002). Sanal Referans İstasyonu Sistemi (VRS), YTÜ, İnşaat Fakültesi, Jeodezi Ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 80750 İstanbul
- Benassi F., Dall’Asta E., Diotri F, Forlani G., Cella U.M., Roncella R., Santise M.** (2017). Testing Accuracy and Repeatability of UAV Blocks Oriented with GNSS-Supported Aerial Triangulation, *Remote Sens.* 2017, 9, 172; doi:10.3390/rs9020172.
- Burger, J., Gochfeld, M., Jeitner, C., Burke, S., Stamm, T., Snigaroff R., Weston, J.** (2007). Mercury levels and potential risk from subsistence foods from the Aleutians. *Science of The Total Environment*, 384, 93-105. doi:10.10162007.05.004.
- Burman H.** (2000). *Calibration and Orientation of Airborne Image and Laser Scanner Data Using GPS an INS, Photogrammetric Reports*, (Report No: 69), Royal Ins.of Tech., Department of Geodesy an Photogrammetry, Stockholm, Sweden.
- Burman H.** (2002). Image Orientation By GPS and INS, *Department Of Geodesy And Photogrammetry*, The Royal Institute Of Technology, Stockholm, Sweden, Commission III, Working Group 1.
- Cannon M.E.** (2001). An Overview of Multi-Reference Station Methods for Cm-Level Positioning, Department of Geomatics Engineering The University of Calgary 2500 University Drive N.W., Calgary, AB, T2N 1N4
- Chiang K., Duong T.T., Liao J.** (2013). The Performance Analysis of a Real-Time Integrated INS/GPS Vehicle Navigation System with Abnormal GPS Measurement Elimination, *Sensors*, 13, ISSN 1424-8220.
- Ellum C.** (2012). Integration Of Raw Gps Measurements Into A Bundle Adjustment, *Mobile Multi-sensor Systems Research Group*, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Calgary, AB, Canada.
- Ellum C., El-Sheimy N.** (2005). The Common Adjustment of GPS and Photogrammetric Measurements, *From Pharaohs to Geoinformatics FIG Working Week 2005 and GSDI-8*.
- Fournier H.** (2009). *Automated Processing of GPS/MEMS-IMU Data for Position, Velocity and Attitude Determination*, (Ms.Thesis), Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne.
- Gerke, M. and Przybilla, H.J.** (2016). Accuracy Analysis of Photogrammetric UAV Image Blocks: Influence of Onboard RTKGNSS and Cross Flight Patterns, *Photogrammetrie – Fernerkundung– Geoinformation (PFG)*.

- Ghilani C.D., Wolf P.R. (2006),** *Adjustment Computations*, Spatial Data Analysis.
- Gordini C., Kealy A. N., Grgich P. M., Hale M. J. (2006).** Testing and Evaluation of a GPS CORS Network for Real Time Centimetric Positioning – The Victoria GPSnet™, 2006 International Global Navigation Satellite Systems Society IGSS Symposium.
- Grewal M.S., Weill L.R. and Andrews A.P. (2007).** *Global Positioning Systems, Inertial Navigation and Integration*, Second Edition, Wiley Interscience.
- Honkavaara E. (2004).** In-Flight Camera Calibration For Direct Georeferencing, *Finnish Geodetic Institute, Department of Remote Sensing and Photogrammetry*, Finland.
- K. Eren, T. Uzel, H. Akdeniz, A.Cingöz, O. Ercan, Ö.Yıldırım (2007).** Ulusal Cors Sistemi Kurulması Ve Datum Dönüşüm Parametrelerinin Belirlenmesi, *11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Kim Y. S., Lee, Dong Min Hong, Soon H., Chung C., Sik L., Kang W. (2008).** *Beijing, Coastline Change Analysis Using RTK-GPS And Aerial Photo, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B.*
- Kršák B., Blišť P., Pauliková A. Puškárová P., Kovanic L., Palková J., Zelizňaková V. (2016).** Use of low-cost UAV photogrammetry to analyze the accuracy of a digital elevation model in a case study, <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2016.05.028>
- Kruck E. (2001).** Benefit Of Rigorous Modeling Of GPS In Combined AT/GPS/IMU–Bundle Block Adjustment, *OEEPE Workshop Integrated Sensor Orientation*.
- Kutoğlu H.Ş., Görmüş K.S. Dengeleme Hesabı Ders Notları**, Retrieved January 9, 2017 from http://geomatik.beun.edu.tr/gormus/files/2013/02/dengeleme_hesab%C4%B1_1_ders_notlar%C4%B1.pdf.
- Lee I.S., Ge L. (2006).** The performance of RTK-GPS for surveying under challenging environmental Conditions, *Earth Planets Space*, 58, 515–522.
- Legat K, Skaloud J., Schaer P. (2006).** Real-Time Processing Of GPS/IMU Data For On-The-Fly Quality Control In Airborne Mobile Mapping, *ENC-GNSS 2006*, Manchester.
- Legat K., Skaloud J. (2006).** Reliability of Direct Georeferencing –A Case Study On Practical Problems And Solutions, Report to EuroSDR Commission 1.
- Manual of Photogrammetry Fifth Edition. (2004).** American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Mikhail E.M., Bethel J.S., McGlone J.C. (2001).** *Introduction To Modern Photogrammetry*, Wiley.

- Mostafa M.R., Liberty E., Hutton J.** (2007). Trimble White Paper, An End To End Airborne Digital Mapping solution, For Rapid Directly Georeferenced Orthophoto Production., www.trimble.com/geospatial/aerial-mapping
- Mostafa M. R.,** (2005). Precise Airborne GPS Positioning Alternatives for the Aerial Mapping Practice. Canada
- Müller J., Gärtner-Roer I., Thee P., Ginzler C.** (2014). Accuracy assessment of airborne photogrammetrically derived high-resolution digital elevation models in a high mountain environment, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.
- Nocerinoa E., Mennaa F., Remondinoa F., Saleri R.** (2013). Accuracy And Block Deformation Analysis In Automatic Uav And Terrestrial Photogrammetry - Lesson Learnt, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5/W1, 2013*, XXIV International CIPA Symposium, 2 – 6 September 2013, Strasbourg, France
- P. Schaer , J. Skaloud , P. Tomé.** (2008). Towards In-Flight Quality Assessment Of Airborne Laser Scanning, *XXI ISPRS Congress*, Beijing, China, July 3-11.
- Passini R., Jewell D., Jacobsen K.** (2002). An Accuracy Study On A Large Airborne GPS Aero Triangulation Block, *ASPRS Annual Convention*, Washington,
- Skaloud J., Lichti D.** (2006). Rigorous approach to bore-sight self-calibration in airborne laser scanning, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 61 47–59.
- Stebler Y.** (2008). GPS/IMU Integrity in Airborne Mapping, Ms.Thesis July, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne Geodetic Engineering Laboratory.
- Talaya J.** (2000). International Archives Of Photogrammetry And Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B2. Amsterdam., Robust Gps Kinematic Positioning For Direct Georeferencing
- Tsai V.J.D., Victor J. D.** (2006). On Gps And GPS-RTK Assisted Aerotriangulation, *ASPRS Annual Conference*, Reno, Nevada.
- Uysal M., Toprak A.S., Polat N.** (2015). DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill, *Measurement* <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2015.06.010>.
- Weatherburn C.A.** (1968), *A First Course in Mathematical Statistics*, Cambridge.
- Wolf P.R., Dewit B.A.** (2000). *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS*, McGraw-Hill Education: New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico City.
- Yıldırım Ö., Bakıcı S., Cingöz A., Erkan Y.,Gülal E., Dindar A.A.** (2007). TUSAGA-Aktif (CORS TR) Projesi Ve Ülkemize Katkıları, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, *Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, 30 Ekim –02 Kasım 2007, KTÜ, Trabzon.



EKLER

EK A: İzdüşüm Denklemlerinin Türevleri

EK B: Uygulama Arayüzü Kodları (Matlab)



EK A : İzdüşüm Denklemlerinin Türevleri

A.1 Rotasyon Matrisi

$$M = R_{\kappa}R_{\varphi}R_{\omega} \quad (\text{A.1.1})$$

$$R_{\kappa}R_{\varphi} = \begin{bmatrix} \cos\kappa & \sin\kappa & 0 \\ -\sin\kappa & \cos\kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\varphi & 0 & -\sin\varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\varphi & 0 & \cos\varphi \end{bmatrix} \quad (\text{A.1.2})$$

$$R_{\kappa}R_{\varphi}R_{\omega} = \begin{bmatrix} \cos\kappa\cos\varphi & \sin\kappa & -\cos\kappa\sin\varphi \\ -\sin\kappa\cos\varphi & \cos\kappa & \sin\kappa\sin\varphi \\ \sin\varphi & 0 & \cos\varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\omega & \sin\omega \\ 0 & -\sin\omega & \cos\omega \end{bmatrix} \quad (\text{A.1.3})$$

$$M = \begin{bmatrix} \cos\kappa\cos\varphi & \sin\kappa\cos\omega + \cos\kappa\sin\varphi\sin\omega & \sin\kappa\sin\omega - \cos\kappa\sin\varphi\cos\omega \\ -\sin\kappa\cos\varphi & \cos\kappa\cos\omega - \sin\kappa\sin\varphi\sin\omega & \cos\kappa\sin\omega + \sin\kappa\sin\varphi\cos\omega \\ \sin\varphi & -\cos\varphi\sin\omega & \cos\varphi\cos\omega \end{bmatrix} \quad (\text{A.1.4})$$

$$Z - Z_0 = \Delta Z \text{ (Arazi Koordinatları)} \quad (\text{A.1.5})$$

$$x - x_0 = dx, \quad y - y_0 = dy \text{ (Resim Koordinatları)} \quad (\text{A.1.6})$$

$$r = dx * m_{11} + dy * m_{21} - c * m_{31} \quad (\text{A.1.7})$$

$$s = dx * m_{12} + dy * m_{22} - c * m_{32} \quad (\text{A.1.8})$$

$$q = dx * m_{13} + dy * m_{23} - c * m_{33} \quad (\text{A.1.9})$$

$$X = X_0 + \Delta Z \frac{r}{q} \quad Y = Y_0 + \Delta Z \frac{s}{q} \quad (\text{A.1.10})$$

A.2 Merkezi İzdüşüm Denklemlerinin Türevleri

A.2.1 Arazi koordinatları fonksiyonunun türevleri

$$a_{11} = \frac{\partial X}{\partial \omega} \quad (\text{A.2.1})$$

$$a_{11} = \frac{\Delta Z}{q^2} \cdot r \cdot s \quad (\text{A.2.2})$$

$$a_{12} = \frac{\partial X}{\partial \varphi} \quad (\text{A.2.3})$$

$$a_{12} = \frac{\Delta Z}{q^2} [(-dx \cdot \cos\kappa \cdot \sin\varphi + dy \cdot \sin\varphi - c \cdot \cos\phi) \cdot q \\ + (dx \cdot \cos\kappa \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega - dy \cdot \sin\kappa \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega \\ - c \cdot \sin\varphi \cdot \cos\omega) \cdot r] \quad (\text{A.2.4})$$

$$a_{13} = \frac{\partial X}{\partial \kappa} \quad (\text{A.2.5})$$

$$a_{13} = \frac{\Delta Z}{q^2} [(dx \cdot m_{12} - dy \cdot m_{11}) \cdot q - (dx \cdot m_{23} - dy \cdot m_{13}) \cdot r] \quad (\text{A.2.6})$$

$$a_{14} = \frac{\partial X}{\partial X_0} = 1 \quad (\text{A.2.7})$$

$$a_{15} = \frac{\partial X}{\partial Y_0} = 0 \quad (\text{A.2.8})$$

$$a_{16} = \frac{\partial X}{\partial Z_0} = -\frac{r}{q} \quad (\text{A.2.9})$$

$$a_{17} = \frac{\partial X}{\partial x} = \frac{\Delta Z}{q^2} (m_{11} \cdot q - m_{13} \cdot r) \quad (\text{A.2.10})$$

$$a_{18} = \frac{\partial X}{\partial y} = \frac{\Delta Z}{q^2} (m_{21} \cdot q - m_{23} \cdot r) \quad (\text{A.2.11})$$

$$a_{19} = \frac{\partial X}{\partial x_0} = \frac{\Delta Z}{q^2} (-m_{11} \cdot q + m_{13} \cdot r) \quad (\text{A.2.12})$$

$$a_{110} = \frac{\partial X}{\partial y_0} = \frac{\Delta Z}{q^2} (-m_{21} \cdot q + m_{23} \cdot r) \quad (\text{A.2.13})$$

$$a_{111} = \frac{\partial X}{\partial c} = \frac{\Delta Z}{q^2} (-m_{31} \cdot q + m_{33} \cdot r) \quad (\text{A.2.14})$$

$$a_{112} = \frac{\partial X}{\partial Z} = \frac{r}{q} (-m_{21} \cdot q + m_{23} \cdot r) \quad (\text{A.2.15})$$

$$a_{21} = \frac{\partial Y}{\partial \omega} = -\frac{\Delta Z}{q^2} (q^2 + s^2) \quad (\text{A.2.16})$$

$$a_{22} = \frac{\partial Y}{\partial \varphi} = \frac{\Delta Z}{q^2} \{[(dx \cdot \cos\kappa \cdot \cos\varphi \cdot \sin\omega - dy \cdot \sin\kappa \cdot \cos\varphi \cdot \sin\omega \\ - c \cdot \sin\varphi \cdot \sin\omega) \cdot q] \\ + [(dx \cdot \cos\kappa \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega - dy \cdot \sin\kappa \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega \\ - c \cdot \sin\varphi \cdot \cos\omega) \cdot s]\} \quad (\text{A.2.17})$$

$$a_{23} = \frac{\partial Y}{\partial \kappa} = -\frac{\Delta Z}{q^2} [(dx \cdot m_{22} - dy \cdot m_{12}) \cdot q - (dx \cdot m_{23} - dy \cdot m_{13})s] \quad (\text{A.2.18})$$

$$a_{24} = \frac{\partial Y}{\partial X_0} = 0 \quad (\text{A.2.19})$$

$$a_{25} = \frac{\partial Y}{\partial Y_0} = 1 \quad (\text{A.2.20})$$

$$a_{26} = \frac{\partial Y}{\partial Z_0} = -\frac{s}{q} \quad (\text{A.2.21})$$

$$a_{27} = \frac{\partial Y}{\partial x} = \frac{\Delta Z}{q^2} (m_{12} \cdot q - m_{13} \cdot s) \quad (\text{A.2.22})$$

$$a_{28} = \frac{\partial Y}{\partial y} = \frac{\Delta Z}{q^2} (m_{22} \cdot q - m_{23} \cdot s) \quad (\text{A.2.23})$$

$$a_{29} = \frac{\partial Y}{\partial x_0} = \frac{\Delta Z}{q^2} (-m_{12} \cdot q + m_{13} \cdot s) \quad (\text{A.2.24})$$

$$a_{210} = \frac{\partial Y}{\partial y_0} = \frac{\Delta Z}{q^2} (-m_{22} \cdot q + m_{23} \cdot s) \quad (\text{A.2.25})$$

$$a_{211} = \frac{\partial Y}{\partial c} = \frac{\Delta Z}{q^2} (-m_{32} \cdot q + m_{33} \cdot s) \quad (\text{A.2.26})$$

$$a_{212} = \frac{\partial Y}{\partial Z} = \frac{s}{q} \quad (\text{A.2.27})$$

A.2.2 Resim koordinatları fonksiyonunun türevleri

$$X - X_0 = \Delta X \quad (\text{A.2.28})$$

$$Z - Y_0 = \Delta Y$$

$$Z - Z_0 = \Delta Z$$

$$r = \Delta X * m_{11} + \Delta Y * m_{12} - \Delta Z * m_{13} \quad (\text{A.2.29})$$

$$s = \Delta X * m_{21} + \Delta Y * m_{22} - \Delta Z * m_{23} \quad (\text{A.2.30})$$

$$q = \Delta X * m_{31} + \Delta Y * m_{32} - \Delta Z * m_{33} \quad (\text{A.2.31})$$

$$F = x_0 - c \cdot \frac{r}{q} = x_a \quad (\text{A.2.32})$$

$$G = y_0 - c \cdot \frac{s}{q} = y_a \quad (\text{A.2.33})$$

$$b_{11} = \frac{\partial F}{\partial \omega} = \frac{c}{q^2} * [(m_{13} \cdot \Delta Y - m_{12} \cdot \Delta Z) \cdot q - (m_{33} \cdot \Delta Y + m_{32} \cdot \Delta Z) \cdot r] \quad (\text{A.2.34})$$

$$b_{12} = \frac{\partial F}{\partial \varphi} = \frac{c}{q^2} * [(\cos \varphi \cdot \Delta X - \sin \varphi \cdot \sin \omega \cdot \Delta Y - \sin \varphi \cdot \cos \omega \cdot \Delta Z) \cdot r - (\cos \kappa \cdot \sin \varphi \cdot \Delta X - \cos \kappa \cdot \cos \varphi \cdot \sin \omega \cdot \Delta Y + \cos \kappa \cdot \cos \omega \cdot \cos \varphi \cdot \Delta Z) \cdot q] \quad (\text{A.2.35})$$

$$b_{13} = \frac{\partial F}{\partial \kappa} = \frac{c}{q} * s \quad (\text{A.2.36})$$

$$b_{14} = \frac{\partial F}{\partial X_0} = \frac{c}{q^2} (m_{11} \cdot q - m_{31} \cdot r) \quad (\text{A.2.37})$$

$$b_{15} = \frac{\partial F}{\partial Y_0} = \frac{c}{q^2} (m_{12} \cdot q - m_{32} \cdot r) \quad (\text{A.2.38})$$

$$b_{16} = \frac{\partial F}{\partial Z_0} = \frac{c}{q^2} (m_{13} \cdot q - m_{33} \cdot r) \quad (\text{A.2.39})$$

$$b_{21} = \frac{\partial G}{\partial \omega} = \frac{c}{q^2} * [(m_{32} \cdot \Delta Z - m_{33} \cdot \Delta Y) \cdot s + (m_{23} \cdot \Delta Y - m_{22} \cdot \Delta Z) \cdot q] \quad (\text{A.2.40})$$

$$b_{22} = \frac{\partial G}{\partial \varphi} = \frac{c}{q^2} * [(\cos \varphi \cdot \Delta X + \sin \varphi \cdot \sin \omega \cdot \Delta Y - \sin \varphi \cdot \cos \omega \cdot \Delta Z) \cdot s - (\sin \kappa \cdot \sin \varphi \cdot \Delta X - \sin \kappa \cdot \cos \varphi \cdot \sin \omega \cdot \Delta Y + \sin \kappa \cdot \cos \omega \cdot \cos \varphi \cdot \Delta Z) \cdot q] \quad (\text{A.2.41})$$

$$b_{23} = \frac{\partial G}{\partial \kappa} = \frac{c}{q} * r \quad (\text{A.2.42})$$

$$b_{24} = \frac{\partial G}{\partial X_0} = \frac{c}{q^2} (m_{21} \cdot q - m_{31} \cdot s) \quad (\text{A.2.43})$$

$$b_{25} = \frac{\partial G}{\partial Y_0} = \frac{c}{q^2} (m_{22} \cdot q - m_{32} \cdot s) \quad (\text{A.2.44})$$

$$b_{26} = \frac{\partial F}{\partial Z_0} = \frac{c}{q^2} (m_{23} \cdot q - m_{33} \cdot s) \quad (\text{A.2.45})$$

A.2.3 Çift resimden Z hesabı ve türevleri

Sol Resim;

$$X = X_{01} + (Z - Z_{01}) \frac{r_1}{q_1} \quad (\text{A.2.46})$$

$$Y = Y_{01} + (Z - Z_{01}) \frac{s_1}{q_1} \quad (\text{A.2.47})$$

Sağ Resim;

$$X = X_{02} + (Z - Z_{02}) \frac{r_2}{q_2} \quad (\text{A.2.48})$$

$$Y = Y_{02} + (Z - Z_{02}) \frac{s_2}{q_2} \quad (\text{A.2.49})$$

X'leri eşitlersek;

$$X_{01} + (Z - Z_{01}) \frac{r_1}{q_1} = X = X_{02} + (Z - Z_{02}) \frac{r_2}{q_2} \quad (\text{A.2.50})$$

$$Z = \frac{X_{02} \cdot q_1 \cdot q_2 - X_{01} \cdot q_1 \cdot q_2 + Z_{01} \cdot r_1 \cdot q_2 - Z_{02} \cdot r_2 \cdot q_1}{r_1 \cdot q_2 - r_2 \cdot q_1} \quad (\text{A.2.51})$$

$$k = X_{02} \cdot q_1 \cdot q_2 - X_{01} \cdot q_1 \cdot q_2 + Z_{01} \cdot r_1 \cdot q_2 - Z_{02} \cdot r_2 \cdot q_1 \quad (\text{A.2.52})$$

$$t = r_1 \cdot q_2 - r_2 \cdot q_1 \quad (\text{A.2.53})$$

$$q'(\omega) = s \quad (\text{A.2.54})$$

$$q'(\varphi) = -dx(\cos\kappa \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega) + dy(\sin\kappa \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega) - c \cdot \sin\varphi \cdot \cos\omega \quad (\text{A.2.55})$$

$$q'(\kappa) = dx \cdot m_{23} - dy \cdot m_{13} \quad (\text{A.2.56})$$

$$q'(x) = m_{13} \quad (\text{A.2.57})$$

$$q'(y) = m_{23} \quad (\text{A.2.58})$$

$$q'(x_0) = -m_{13} \quad (\text{A.2.59})$$

$$q'(x_0) = -m_{23} \quad (\text{A.2.60})$$

$$q'(c) = -m_{33} \quad (\text{A.2.28})$$

$$r'(\omega) = 0 \quad (\text{A.2.61})$$

$$r'(\varphi) = -dx(\cos\kappa \cdot \sin\varphi) + dy(\sin\kappa \cdot \sin\varphi) - c \cdot \cos\varphi \quad (\text{A.2.62})$$

$$r'(\kappa) = dx \cdot m_{12} - dy \cdot m_{11} \quad (\text{A.2.63})$$

$$r'(x) = m_{11} \quad (\text{A.2.64})$$

$$r'(y) = m_{21} \quad (\text{A.2.65})$$

$$r'(x_0) = -m_{11} \quad (\text{A.2.66})$$

$$r'(x_0) = -m_{21} \quad (\text{A.2.67})$$

$$r'(c) = -m_{31} \quad (\text{A.2.68})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial \omega_1} = \frac{(X_{02} \cdot s_1 \cdot q_2 - X_{01} \cdot s_1 \cdot q_2 + Z_{02} \cdot r_2 \cdot s_1) \cdot t + r_2 \cdot s_1 \cdot k}{t^2} \quad (\text{A.2.69})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial \varphi_1} = \frac{(X_{02} \cdot q_1'(\varphi) \cdot q_2 - X_{01} \cdot q_1'(\varphi) \cdot q_2 + Z_{01} \cdot r_1'(\varphi) \cdot q_2 - Z_{02} \cdot r_2 \cdot q_1'(\varphi)) \cdot t - (r_1'(\varphi) \cdot q_2 - q_1'(\varphi) \cdot r_2) \cdot k}{t^2} \quad (\text{A.2.70})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial \kappa_1} = \frac{(X_{02} \cdot q_1'(\kappa) \cdot q_2 - X_{01} \cdot q_1'(\kappa) \cdot q_2 + Z_{01} \cdot r_1'(\kappa) \cdot q_2 - Z_{02} \cdot r_2 \cdot q_1'(\kappa)) \cdot t - (r_1'(\kappa) \cdot q_2 - q_1'(\kappa) \cdot r_2) \cdot k}{t^2} \quad (\text{A.2.71})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial X_{01}} = -\frac{q_1 \cdot q_2}{t} \quad (\text{A.2.72})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial Z_{01}} = \frac{r_1 \cdot q_2}{t} \quad (\text{A.2.73})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial x_1} = \frac{(X_{02} \cdot m_{13} \cdot q_2 - X_{01} \cdot m_{13} \cdot q_2 + Z_{01} \cdot m_{11} \cdot q_2 - Z_{02} \cdot r_2 \cdot m_{13}) \cdot t - (m_{11} \cdot q_2 - m_{13} \cdot r_2) \cdot k}{t^2} \quad (\text{A.2.74})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial y_1} = \frac{(X_{02} \cdot m_{23} \cdot q_2 - X_{01} \cdot m_{23} \cdot q_2 + Z_{01} \cdot m_{21} \cdot q_2 - Z_{02} \cdot r_2 \cdot m_{23}) \cdot t - (m_{21} \cdot q_2 - m_{23} \cdot r_2) \cdot k}{t^2} \quad (\text{A.2.75})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial x_{01}} = \frac{(-X_{02} \cdot m_{13} \cdot q_2 + X_{01} \cdot m_{13} \cdot q_2 - Z_{01} \cdot m_{11} \cdot q_2 + Z_{02} \cdot r_2 \cdot m_{13}) \cdot t + (m_{11} \cdot q_2 - m_{13} \cdot r_2) \cdot k}{t^2} \quad (\text{A.2.76})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial y_{01}} = \frac{(-X_{02} \cdot m_{23} \cdot q_2 + X_{01} \cdot m_{23} \cdot q_2 + Z_{01} \cdot m_{21} \cdot q_2 - Z_{02} \cdot r_2 \cdot m_{23}) \cdot t + (m_{21} \cdot q_2 - m_{23} \cdot r_2) \cdot k}{t^2} \quad (\text{A.2.77})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial c_1} = \frac{(-X_{02} \cdot m_{33} \cdot q_2 + X_{01} \cdot m_{33} \cdot q_2 - Z_{01} \cdot m_{31} \cdot q_2 + Z_{02} \cdot r_2 \cdot m_{33}) \cdot t + (m_{31} \cdot q_2 - m_{33} \cdot r_2) \cdot k}{t^2} \quad (\text{A.2.78})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial \omega_2} = \frac{(X_{02} \cdot q_1 \cdot s_2 - X_{01} \cdot q_1 \cdot s_2 + Z_{01} \cdot s_2 \cdot r_1) \cdot t + r_1 \cdot s_2 \cdot k}{t^2} \quad (\text{A.2.79})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial \varphi_2} = \frac{(X_{02} \cdot q_2'(\varphi) \cdot q_1 - X_{01} \cdot q_2'(\varphi) \cdot q_1 + a n Z_{01} \cdot q_2'(\varphi) \cdot r_1 - Z_{02} \cdot q_1 \cdot r_2'(\varphi)) \cdot t - (q_2'(\varphi) \cdot r_1 - r_2'(\varphi) \cdot q_1) \cdot k}{t^2} \quad (\text{A.2.80})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial \kappa_2} = \frac{(X_{02} \cdot q_2'(\kappa) \cdot q_1 - X_{01} \cdot q_2'(\kappa) \cdot q_1 + Z_{01} \cdot q_2'(\kappa) \cdot r_1 - Z_{02} \cdot q_1 \cdot r_2'(\kappa)) \cdot t - (q_2'(\kappa) \cdot r_1 - r_2'(\kappa) \cdot q_1) \cdot k}{t^2} \quad (\text{A.2.81})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial X_{02}} = \frac{q_1 \cdot q_2}{t} \quad (\text{A.2.82})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial Z_{02}} = -\frac{r_1 \cdot q_2}{t} \quad (\text{A.2.83})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial x_2} = \frac{(X_{02} \cdot m_{13} \cdot q_1 - X_{01} \cdot m_{13} \cdot q_1 + Z_{01} \cdot m_{13} \cdot r_1 - Z_{02} \cdot q_1 \cdot m_{11}) \cdot t - (m_{13} \cdot r_1 - m_{11} \cdot q_1) \cdot k}{t^2} \quad (\text{A.2.84})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial y_2} = \frac{(X_{02} \cdot m_{23} \cdot q_1 - X_{01} \cdot m_{23} \cdot q_1 + Z_{01} \cdot m_{23} \cdot r_1 - Z_{02} \cdot q_1 \cdot m_{21}) \cdot t - (m_{23} \cdot r_1 - m_{21} \cdot q_1) \cdot k}{t^2} \quad (\text{A.2.85})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial x_{02}} = \frac{(-X_{02} \cdot m_{13} \cdot q_1 + X_{01} \cdot m_{13} \cdot q_1 - Z_{01} \cdot m_{13} \cdot q_1 + Z_{02} \cdot q_1 \cdot m_{11}) \cdot t + (m_{13} \cdot r_1 - m_{11} \cdot q_1) \cdot k}{t^2} \quad (\text{A.2.86})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial y_{02}} = \frac{(-X_{02} \cdot m_{23} \cdot q_1 + X_{01} \cdot m_{23} \cdot q_1 + Z_{02} \cdot m_{21} \cdot q_1 - Z_{01} \cdot r_1 \cdot m_{23}) \cdot t + (m_{23} \cdot r_1 - m_{23} \cdot q_1) \cdot k}{t^2} \quad (\text{A.2.87})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial c_2} = \frac{(-X_{02} \cdot m_{33} \cdot q_1 + X_{01} \cdot m_{33} \cdot q_1 - Z_{01} \cdot m_{33} \cdot r_1 + Z_{02} \cdot q_1 \cdot m_{31}) \cdot t + (m_{33} \cdot r_1 - m_{31} \cdot q_1) \cdot k}{t^2} \quad (\text{A.2.88})$$

EK B : Uygulama Arayüzü Kodları (Matlab)

```
function varargout = Direct_GeoReferencing(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @Direct_GeoReferencing_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @Direct_GeoReferencing_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before Direct_GeoReferencing is made visible.
function Direct_GeoReferencing_OpeningFcn(hObject, eventdata,
handles, varargin)
handles.output = hObject;
movegui('center');
handles.EOP = [];
handles.Camera = [];
handles.Obs = [];
handles.leftimage = [];
handles.rightimage = [];
set(handles.uitable1, 'Data', []);
set(handles.uitable2, 'Data', []);
set(handles.uitable3, 'Data', []);
cla(handles.axes1, 'reset');
cla(handles.axes2, 'reset');
cla(handles.axes3, 'reset');
handles.plot_selection_coordinate = 1;
handles.plot_selection_type = 1;
set(handles.radiobutton1, 'Value', 1);
set(handles.radiobutton2, 'Value', 0);
set(handles.radiobutton3, 'Value', 0);
set(handles.radiobutton4, 'Value', 1);
set(handles.radiobutton5, 'Value', 0);
set(handles.radiobutton6, 'Value', 0);
set(handles.edit2, 'String', ' ');
set(handles.edit3, 'String', ' ');
handles.all_XYZ = [];
handles.all_stdXYZ = [];
handles.all_mse = [];

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

function varargout = Direct_GeoReferencing_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;
```

```

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
    [FileName,PathName] = uigetfile({'*.xls;*.xlsx','Excel Dosyaları (*.xls,*.xlsx)'},'Proje Dosyasını Seçiniz');

if FileName ~= 0
    h = waitbar(0,'Lütfen Bekleyiniz...');
    handles.EOP = [];
    handles.Camera = [];
    handles.Obs = [];
    handles.leftimage = [];
    handles.rightimage = [];
    set(handles.uitable1,'Data',[]);
    set(handles.uitable2,'Data',[]);
    set(handles.uitable3,'Data',[]);
    cla(handles.axes1,'reset');
    cla(handles.axes2,'reset');
    cla(handles.axes3,'reset');
    handles.plot_selection_coordinate = 1;
    handles.plot_selection_type = 1;
    set(handles.radiobutton1,'Value',1);
    set(handles.radiobutton2,'Value',0);
    set(handles.radiobutton3,'Value',0);
    set(handles.radiobutton4,'Value',1);
    set(handles.radiobutton5,'Value',0);
    set(handles.radiobutton6,'Value',0);
    set(handles.edit2,'String',' ');
    set(handles.edit3,'String',' ');
    handles.all_XYZ = [];
    handles.all_stdXYZ = [];
    handles.all_mse = [];
    waitbar(0.2);

    set(handles.edit1,'String',fullfile(PathName,FileName));
    [~,~,EOP] = xlsread(fullfile(PathName,FileName),
'Dis_Yoneltme_Parametreleri');
    waitbar(0.4);

    [~,~,Camera] = xlsread(fullfile(PathName,FileName),
'Kamera_Parametreleri');
    waitbar(0.6);

    [~,~,Obs] = xlsread(fullfile(PathName,FileName),
'Görüntü_Koordinatları');
    waitbar(0.8);

    EOP(1,:) = [];
    handles.EOP = cell2mat(EOP);
    Camera(1,:) = [];
    handles.Camera = [cell2mat(Camera) 0];
    Obs(1,:) = [];
    handles.Obs = cell2mat(Obs);

    table2data_num = reshape(handles.Camera([1 2 3 7 9 4 5 6 8
10]),5,2);
    table2data_str = {};
    table2data_str{1,1} = sprintf('%0.3f',table2data_num(1,1));
    table2data_str{2,1} = sprintf('%0.3f',table2data_num(2,1));
    table2data_str{3,1} = sprintf('%0.1f',table2data_num(3,1));

```

```

table2data_str{4,1} = sprintf('%d',table2data_num(4,1));
table2data_str{5,1} = sprintf('%0.1f',table2data_num(5,1));
table2data_str{1,2} = sprintf('%0.3f',table2data_num(1,2));
table2data_str{2,2} = sprintf('%0.3f',table2data_num(2,2));
table2data_str{3,2} = sprintf('%0.3f',table2data_num(3,2));
table2data_str{4,2} = sprintf('%d',table2data_num(4,2));
table2data_str{5,2} = sprintf('%0.1f',table2data_num(5,2));

set(handles.uitable2, 'Data', table2data_str);
set(handles.popupmenu1, 'String', ['Seçiniz' ;
cellstr(num2str(handles.EOP(:,1)))], 'Value', 1);
set(handles.popupmenu2, 'String', ['Seçiniz' ;
cellstr(num2str(handles.EOP(:,1)))], 'Value', 1);
waitbar(1);
close(h)
end
guidata(hObject, handles);

function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end
% --- Executes on selection change in popupmenu1.
function popupmenu1_Callback(hObject, eventdata, handles)
if get(hObject, 'Value') > 1
contents = cellstr(get(hObject, 'String'));
handles.leftimage = str2num(contents{get(hObject, 'Value')});
guidata(hObject, handles);
if ~isempty(handles.rightimage)
Left_EOPs =
handles.EOP(handles.EOP(:,1)==handles.leftimage,2:end);
Right_EOPs =
handles.EOP(handles.EOP(:,1)==handles.rightimage,2:end);

left_points =
handles.Obs(handles.Obs(:,1)==handles.leftimage,2:end);
right_points =
handles.Obs(handles.Obs(:,1)==handles.rightimage,2:end);
[~, ia, ib] = intersect(left_points(:,1),
right_points(:,1));
if isempty(ia)
msgbox('Sol ve Sag Görüntüde Ortak Nokta
Bulunmamaktadır.', 'Hata', 'Error');
set(handles.uitable1, 'Data', []);
set(handles.uitable3, 'Data', []);
cla(handles.axes1, 'reset');
cla(handles.axes2, 'reset');
cla(handles.axes3, 'reset');
return
else
table1data_num = [reshape(Left_EOPs,6,2)
reshape(Right_EOPs,6,2)];
table1data_str = {};
for i = 1 : 3
for j = 1 :4
table1data_str{i,j} =
sprintf('%0.3f',table1data_num(i,j));
end
end
for i = 4 : 6

```

```

        for j = 1 :4
            tableldata_str{i,j} =
sprintf('%0.6f',tableldata_num(i,j));
        end
    end
    set(handles.uitable1, 'Data', tableldata_str);
    imagecoord = [left_points(ia,1:3) right_points(ib,2:4)];
    imagecoord_str = {};
    for i = 1 : size(imagecoord,1)
        imagecoord_str{i,1} = sprintf('%d',imagecoord(i,1));
        imagecoord_str{i,2} =
sprintf('%0.3f',imagecoord(i,2));
        imagecoord_str{i,3} =
sprintf('%0.3f',imagecoord(i,3));
        imagecoord_str{i,4} =
sprintf('%0.3f',imagecoord(i,4));
        imagecoord_str{i,5} =
sprintf('%0.3f',imagecoord(i,5));
        imagecoord_str{i,6} =
sprintf('%0.3f',imagecoord(i,6));
    end
    set(handles.uitable3, 'Data', imagecoord_str);
    guidata(hObject, handles);
    radiobutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
    radiobutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
    handles.plot_selection_coordinate = 1;
    handles.plot_selection_type = 1;
    guidata(hObject, handles);
    computations(hObject, eventdata, handles)
end
end
end
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end
% --- Executes on selection change in popupmenu2.
function popupmenu2_Callback(hObject, eventdata, handles)
if get(hObject, 'Value') > 1
    contents = cellstr(get(hObject, 'String'));
    handles.rightimage = str2num(contents{get(hObject, 'Value')});
    guidata(hObject, handles);
    if ~isempty(handles.leftimage)
        Left_EOPs =
handles.EOP(handles.EOP(:,1)==handles.leftimage,2:end);
        Right_EOPs =
handles.EOP(handles.EOP(:,1)==handles.rightimage,2:end);
        left_points =
handles.Obs(handles.Obs(:,1)==handles.leftimage,2:end);
        right_points =
handles.Obs(handles.Obs(:,1)==handles.rightimage,2:end);
        [~, ia, ib] = intersect(left_points(:,1),
right_points(:,1));
        if isempty(ia)
            msgbox('Sol ve Sag Görüntüde Ortak Nokta
Bulunmamaktadır.', 'Hata', 'Error');
            set(handles.uitable1, 'Data', []);
            set(handles.uitable3, 'Data', []);

```

```

        cla(handles.axes1, 'reset');
        cla(handles.axes2, 'reset');
        cla(handles.axes3, 'reset');
        return
    else
        tableldata_num = [reshape(Left_EOPs,6,2)
        reshape(Right_EOPs,6,2)];
        tableldata_str = {};
        for i = 1 : 3
            for j = 1 :4
                tableldata_str{i,j} =
sprintf('%0.3f',tableldata_num(i,j));
            end
        end
        for i = 4 : 6
            for j = 1 :4
                tableldata_str{i,j} =
sprintf('%0.6f',tableldata_num(i,j));
            end
        end
        set(handles.uitable1, 'Data',tableldata_str);
        imagecoord = [left_points(ia,1:3) right_points(ib,2:4)];
        imagecoord_str = {};
        for i = 1 : size(imagecoord,1)
            imagecoord_str{i,1} = sprintf('%d',imagecoord(i,1));
            imagecoord_str{i,2} =
sprintf('%0.3f',imagecoord(i,2));
            imagecoord_str{i,3} =
sprintf('%0.3f',imagecoord(i,3));
            imagecoord_str{i,4} =
sprintf('%0.3f',imagecoord(i,4));
            imagecoord_str{i,5} =
sprintf('%0.3f',imagecoord(i,5));
            imagecoord_str{i,6} =
sprintf('%0.3f',imagecoord(i,6));
        end
        set(handles.uitable3, 'Data',imagecoord_str);
        guidata(hObject, handles);
        radiobutton1_Callback(hObject, eventdata, handles);
        radiobutton4_Callback(hObject, eventdata, handles);
        handles.plot_selection_coordinate = 1;
        handles.plot_selection_type = 1;
        guidata(hObject, handles);
        computations(hObject, eventdata, handles)
    end
end

end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end
% --- Executes on button press in radiobutton1.
function radiobutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
handles.plot_selection_coordinate = 1;
set(handles.radiobutton1, 'Value',1);
set(handles.radiobutton2, 'Value',0);
set(handles.radiobutton3, 'Value',0);

```

```

guidata(hObject, handles);
if ~isempty(handles.all_XYZ)
    cla(handles.axes3, 'reset');
    plot_results(handles);
end
% --- Executes on button press in radiobutton2.
function radiobutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
handles.plot_selection_coordinate = 2;
set(handles.radiobutton1, 'Value', 0);
set(handles.radiobutton2, 'Value', 1);
set(handles.radiobutton3, 'Value', 0);
guidata(hObject, handles);
if ~isempty(handles.all_XYZ)
    cla(handles.axes3, 'reset');
    plot_results(handles);
end
% --- Executes on button press in radiobutton3.
function radiobutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
handles.plot_selection_coordinate = 3;
set(handles.radiobutton1, 'Value', 0);
set(handles.radiobutton2, 'Value', 0);
set(handles.radiobutton3, 'Value', 1);
guidata(hObject, handles);
if ~isempty(handles.all_XYZ)
    cla(handles.axes3, 'reset');
    plot_results(handles);
end
% --- Executes on button press in radiobutton4.
function radiobutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
handles.plot_selection_type = 1;
set(handles.radiobutton4, 'Value', 1);
set(handles.radiobutton5, 'Value', 0);
set(handles.radiobutton6, 'Value', 0);
guidata(hObject, handles);
if ~isempty(handles.all_XYZ)
    cla(handles.axes3, 'reset');
    plot_results(handles);
end
% --- Executes on button press in radiobutton5.
function radiobutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
handles.plot_selection_type = 2;
set(handles.radiobutton4, 'Value', 0);
set(handles.radiobutton5, 'Value', 1);
set(handles.radiobutton6, 'Value', 0);
guidata(hObject, handles);
if ~isempty(handles.all_XYZ)
    cla(handles.axes3, 'reset');
    plot_results(handles);
end
% --- Executes on button press in radiobutton6.
function radiobutton6_Callback(hObject, eventdata, handles)
handles.plot_selection_type = 3;
set(handles.radiobutton4, 'Value', 0);
set(handles.radiobutton5, 'Value', 0);
set(handles.radiobutton6, 'Value', 1);
guidata(hObject, handles);

table1data = cellfun(@str2num, get(handles.uitable1, 'Data'));
table2data = cellfun(@str2num, get(handles.uitable2, 'Data'));
table3data = cellfun(@str2num, get(handles.uitable3, 'Data'));
if isempty(table1data)

```



```

        msgbox('Dış Yöneltilme Parametreleri Gösteren Tablo
Boşdur','Hata','Error');
        return
    end
    if isempty(table2data)
        msgbox('Kamera Parametreleri Gösteren Tablo
Boşdur','Hata','Error');
        return
    end
    if isempty(table3data)
        msgbox('Görüntü Koordinatlarını Gösteren Tablo
Boşdur','Hata','Error');
        return
    end
    points = table3data(:,1);
    str = {};
    for i = 1 : length(points)
        str(i,1) = cellstr(sprintf('%3d - %2d\n',i,points(i)));
    end
    [idx,~] = listdlg('PromptString','Nokta Numarası Seçiniz:',...
        'SelectionMode','single',...
        'ListString',str);
    if ~isempty(idx)
        X0L = table1data(1,1);
        Y0L = table1data(2,1);
        Z0L = table1data(3,1);
        X0R = table1data(1,3);
        Y0R = table1data(2,3);
        Z0R = table1data(3,3);
        omegaL = table1data(4,1) * pi/180;
        phiL = table1data(5,1) * pi/180;
        kappaL = table1data(6,1) * pi/180;
        omegaR = table1data(4,3) * pi/180;
        phiR = table1data(5,3) * pi/180;
        kappaR = table1data(6,3) * pi/180;
        x0 = table2data(1,1) / 1000;
        y0 = table2data(2,1) / 1000;
        f = table2data(3,1) / 1000;
        xL = table3data(idx,2)*10^-6;
        yL = table3data(idx,3)*10^-6;
        xR = table3data(idx,4)*10^-6;
        yR = table3data(idx,5)*10^-6;

        sim_stdXYZ_X0Y0 = [];
        for i = 0.01 : 0.01 : 1 % for X0 and Y0 for both images 1 cm
to 1 m uncertainty
            uX0L = i;
            uY0L = i;
            uZ0L = 10^-8;
            uX0R = i;
            uY0R = i;
            uZ0R = 10^-8;
            uwL = 10^-8;
            upL = 10^-8;
            ukL = 10^-8;
            uwR = 10^-8;
            upR = 10^-8;
            ukR = 10^-8;
            ux0 = 10^-8;
            uy0 = 10^-8;
            uf = 10^-8;
        end
    end
end

```

```

uxL      = 10^-8;
uyL      = 10^-8;
uxR      = 10^-8;
uyR      = 10^-8;

[~, std_XYZ, ~] =
space_coordinates_inverse_collinearity_cos(X0L, Y0L, Z0L, X0R, Y0R, Z0R, o
megaL, phiL, kappaL, omegaR, phiR, kappaR, xL, yL, xR, yR, x0, y0, f, uX0L, uY0L, u
Z0L, uX0R, uY0R, uZ0R, uwL, upL, ukL, uwR, upR, ukR, uxL, uyL, uxR, uyR, ux0, uy0, u
f);
sim_stdXYZ_X0Y0 = [sim_stdXYZ_X0Y0 ; [i std_XYZ']];
clear std_XYZ
end

sim_stdXYZ_Z0 = [];
for i = 0.01 : 0.01 : 1 % for Z0 for both images 1 cm to 1 m
uncertainty
ux0L     = 10^-8;
uY0L     = 10^-8;
uZ0L     = i;
uX0R     = 10^-8;
uY0R     = 10^-8;
uZ0R     = i;
uwL      = 10^-8;
upL      = 10^-8;
ukL      = 10^-8;
uwR      = 10^-8;
upR      = 10^-8;
ukR      = 10^-8;
ux0      = 10^-8;
uy0      = 10^-8;
uf       = 10^-8;
uxL      = 10^-8;
uyL      = 10^-8;
uxR      = 10^-8;
uyR      = 10^-8;

[~, std_XYZ, ~] =
space_coordinates_inverse_collinearity_cos(X0L, Y0L, Z0L, X0R, Y0R, Z0R, o
megaL, phiL, kappaL, omegaR, phiR, kappaR, xL, yL, xR, yR, x0, y0, f, uX0L, uY0L, u
Z0L, uX0R, uY0R, uZ0R, uwL, upL, ukL, uwR, upR, ukR, uxL, uyL, uxR, uyR, ux0, uy0, u
f);
sim_stdXYZ_Z0 = [sim_stdXYZ_Z0 ; [i std_XYZ']];
clear std_XYZ
end

sim_stdXYZ_wfk = [];
for i = 0.0001 : 0.0001 : 0.01 % for wfk for both images
0.0001 deg to 0.01 deg uncertainty
ux0L     = 10^-8;
uY0L     = 10^-8;
uZ0L     = 10^-8;
uX0R     = 10^-8;
uY0R     = 10^-8;
uZ0R     = 10^-8;
uwL      = i * pi/180;
upL      = i * pi/180;
ukL      = i * pi/180;
uwR      = i * pi/180;
upR      = i * pi/180;
ukR      = i * pi/180;

```

```

ux0      = 10^-8;
uy0      = 10^-8;
uf       = 10^-8;
uxL      = 10^-8;
uyL      = 10^-8;
uxR      = 10^-8;
uyR      = 10^-8;

[~, std_XYZ, ~] =
space_coordinates_inverse_collinearity_cos(X0L, Y0L, Z0L, X0R, Y0R, Z0R, o
megaL, phiL, kappaL, omegaR, phiR, kappaR, xL, yL, xR, yR, x0, y0, f, uX0L, uY0L, u
sim_stdXYZ_wfk = [sim_stdXYZ_wfk ; [i std_XYZ']];
clear std_XYZ
end

sim_stdXYZ_x0y0 = [];
for i = 0.001 : 0.001 : 0.1 % for x0y0 for both images 0.1 mm
to 1 mm uncertainty
    uX0L = 10^-8;
    uY0L = 10^-8;
    uZ0L = 10^-8;
    uX0R = 10^-8;
    uY0R = 10^-8;
    uZ0R = 10^-8;
    uwL = 10^-8;
    upL = 10^-8;
    ukL = 10^-8;
    uwR = 10^-8;
    upR = 10^-8;
    ukR = 10^-8;
    ux0 = i*1E-3;
    uy0 = i*1E-3;
    uf = 10^-10;
    uxL = 10^-10;
    uyL = 10^-10;
    uxR = 10^-10;
    uyR = 10^-10;

    [~, std_XYZ, ~] =
space_coordinates_inverse_collinearity_cos(X0L, Y0L, Z0L, X0R, Y0R, Z0R, o
megaL, phiL, kappaL, omegaR, phiR, kappaR, xL, yL, xR, yR, x0, y0, f, uX0L, uY0L, u
Z0L, uX0R, uY0R, uZ0R, uwL, upL, ukL, uwR, upR, ukR, uxL, uyL, uxR, uyR, ux0, uy0, u
f);
    sim_stdXYZ_x0y0 = [sim_stdXYZ_x0y0 ; [i std_XYZ']];
clear std_XYZ
end

sim_stdXYZ_f = [];
for i = 0.001 : 0.01 : 1 % for f for both images 0.1 mm to 1
mm uncertainty
    uX0L = 10^-10;
    uY0L = 10^-10;
    uZ0L = 10^-10;
    uX0R = 10^-10;
    uY0R = 10^-10;
    uZ0R = 10^-10;
    uwL = 10^-10;
    upL = 10^-10;
    ukL = 10^-10;
    uwR = 10^-10;
    upR = 10^-10;

```

```

ukR      = 10^-10;
ux0      = 10^-10;
uy0      = 10^-10;
uf       = i/1000;
uxL      = 10^-10;
uyL      = 10^-10;
uxR      = 10^-10;
uyR      = 10^-10;

[~, std_XYZ, ~] =
space_coordinates_inverse_collinearity_cos(X0L,Y0L,Z0L,X0R,Y0R,Z0R,o
megaL,phiL,kappaL,omegaR,phiR,kappaR,xL,yL,xR,yR,x0,y0,f,uX0L,uY0L,u
Z0L,uX0R,uY0R,uZ0R,uwL,upL,ukL,uwR,upR,ukR,uxR,uyR,ux0,uy0,uf);
sim_stdXYZ_f = [sim_stdXYZ_f ; [i std_XYZ]];
clear std_XYZ
end

sim_stdXYZ_xy = [];
for i = 0.001 : 0.001 : 0.1 % for x andy for both images 0.1
micron to 1 micron uncertainty
ux0L     = 10^-8;
uy0L     = 10^-8;
uz0L     = 10^-8;
ux0R     = 10^-8;
uy0R     = 10^-8;
uz0R     = 10^-8;
uwL      = 10^-8;
upL      = 10^-8;
ukL      = 10^-8;
uwR      = 10^-8;
upR      = 10^-8;
ukR      = 10^-8;
ux0      = 10^-8;
uy0      = 10^-8;
uf       = 10^-8;
uxL      = i*10^-3;
uyL      = i*10^-3;
uxR      = i*10^-3;
uyR      = i*10^-3;

[~, std_XYZ, ~] =
space_coordinates_inverse_collinearity_cos(X0L,Y0L,Z0L,X0R,Y0R,Z0R,o
megaL,phiL,kappaL,omegaR,phiR,kappaR,xL,yL,xR,yR,x0,y0,f,uX0L,uY0L,u
Z0L,uX0R,uY0R,uZ0R,uwL,upL,ukL,uwR,upR,ukR,uxL,uyL,uxR,uyR,ux0,uy0,u
f);
sim_stdXYZ_xy = [sim_stdXYZ_xy ; [i std_XYZ]];
clear std_XYZ
end

figure('Color','white');
subplot(3,2,1);
plot(sim_stdXYZ_X0Y0(:,1) , sim_stdXYZ_X0Y0(:,2) , 'ko-
','MarkerSize',4,'MarkerFaceColor','k');
grid on;
ylabel('sigma X (m)');
xlabel('sigma X0 sigma Y0 (m)');
title('X0 ve Y0 Duyarlılıklarının X Bileşenine Etkisi');

subplot(3,2,2);

```

```

    plot(sim_stdXYZ_Z0(:,1) , sim_stdXYZ_Z0(:,2) , 'ko-
', 'MarkerSize',4, 'MarkerFaceColor', 'k');
    grid on;
    ylabel('sigma X (m)');
    xlabel('sigma Z0(m)');
    title('Z0 Duyarlılıklarının X Bileşenine Etkisi');

    subplot(3,2,3);
    plot(sim_stdXYZ_wfk(:,1) , sim_stdXYZ_wfk(:,2) , 'ko-
', 'MarkerSize',4, 'MarkerFaceColor', 'k');
    grid on;
    ylabel('sigma X (m)');
    xlabel('sigma wfk(der)');
    title('Omega, Fi, Kapa Duyarlılıklarının X Bileşenine Etkisi');

    subplot(3,2,4);
    plot(sim_stdXYZ_x0y0(:,1) , sim_stdXYZ_x0y0(:,2) , 'ko-
', 'MarkerSize',4, 'MarkerFaceColor', 'k');
    grid on;
    ylabel('sigma X (m)');
    xlabel('sigma x0y0(mm)');
    title('x0 ve y0 Duyarlılıklarının X Bileşenine Etkisi');

    subplot(3,2,5);
    plot(sim_stdXYZ_f(:,1) , sim_stdXYZ_f(:,2) , 'ko-
', 'MarkerSize',4, 'MarkerFaceColor', 'k');
    grid on;
    ylabel('sigma X (m)');
    xlabel('sigma f(mm)');
    title('f Duyarlılıklarının X Bileşenine Etkisi');

    subplot(3,2,6);
    plot(sim_stdXYZ_xy(:,1) , sim_stdXYZ_xy(:,2) , 'ko-
', 'MarkerSize',4, 'MarkerFaceColor', 'k');
    grid on;
    ylabel('sigma X (m)');
    xlabel('sigma xy(mm)');
    title('x ve y Duyarlılıklarının X Bileşenine Etkisi');

    figure('Color', 'white');
    subplot(3,2,1);
    plot(sim_stdXYZ_X0Y0(:,1) , sim_stdXYZ_X0Y0(:,3) , 'ko-
', 'MarkerSize',4, 'MarkerFaceColor', 'k');
    grid on;
    ylabel('sigma Y (m)');
    xlabel('sigma X0 sigma Y0 (m)');
    title('X0 ve Y0 Duyarlılıklarının Y Bileşenine Etkisi');

    subplot(3,2,2);
    plot(sim_stdXYZ_Z0(:,1) , sim_stdXYZ_Z0(:,3) , 'ko-
', 'MarkerSize',4, 'MarkerFaceColor', 'k');
    grid on;
    ylabel('sigma Y (m)');
    xlabel('sigma Z0(m)');
    title('Z0 Duyarlılıklarının Y Bileşenine Etkisi');

    subplot(3,2,3);
    plot(sim_stdXYZ_wfk(:,1) , sim_stdXYZ_wfk(:,3) , 'ko-
', 'MarkerSize',4, 'MarkerFaceColor', 'k');
    grid on;

```

```

ylabel('sigma Y (m)');
xlabel('sigma wfk(der)');
title('Omega, Fi, Kapa Duyarliliklarının Y Bileşenine Etkisi');

subplot(3,2,4);
plot(sim_stdXYZ_x0y0(:,1) , sim_stdXYZ_x0y0(:,3) , 'ko-
', 'MarkerSize',4, 'MarkerFaceColor', 'k');
grid on;
ylabel('sigma Y (m)');
xlabel('sigma x0y0(mm)');
title('x0 ve y0 Duyarliliklarının Y Bileşenine Etkisi');

subplot(3,2,5);
plot(sim_stdXYZ_f(:,1) , sim_stdXYZ_f(:,3) , 'ko-
', 'MarkerSize',4, 'MarkerFaceColor', 'k');
grid on;
ylabel('sigma Y (m)');
xlabel('sigma f(mm)');
title('f Duyarliliklarının Y Bileşenine Etkisi');

subplot(3,2,6);
plot(sim_stdXYZ_xy(:,1) , sim_stdXYZ_xy(:,3) , 'ko-
', 'MarkerSize',4, 'MarkerFaceColor', 'k');
grid on;
ylabel('sigma Y (m)');
xlabel('sigma xy(mm)');
title('x ve y Duyarliliklarının Y Bileşenine Etkisi');

figure('Color', 'white');
subplot(3,2,1);
plot(sim_stdXYZ_X0Y0(:,1) , sim_stdXYZ_X0Y0(:,4) , 'ko-
', 'MarkerSize',4, 'MarkerFaceColor', 'k');
grid on;
ylabel('sigma Z (m)');
xlabel('sigma X0 sigma Y0 (m)');
title('X0 ve Y0 Duyarliliklarının Z Bileşenine Etkisi');

subplot(3,2,2);
plot(sim_stdXYZ_Z0(:,1) , sim_stdXYZ_Z0(:,4) , 'ko-
', 'MarkerSize',4, 'MarkerFaceColor', 'k');
grid on;
ylabel('sigma Z (m)');
xlabel('sigma Z0(m)');
title('Z0 Duyarliliklarının Z Bileşenine Etkisi');

subplot(3,2,3);
plot(sim_stdXYZ_wfk(:,1) , sim_stdXYZ_wfk(:,4) , 'ko-
', 'MarkerSize',4, 'MarkerFaceColor', 'k');
grid on;
ylabel('sigma Z (m)');
xlabel('sigma wfk(der)');
title('Omega, Fi, Kapa Duyarliliklarının Z Bileşenine Etkisi');

subplot(3,2,4);
plot(sim_stdXYZ_x0y0(:,1) , sim_stdXYZ_x0y0(:,4) , 'ko-
', 'MarkerSize',4, 'MarkerFaceColor', 'k');
grid on;
ylabel('sigma Z (m)');
xlabel('sigma x0y0(mm)');
title('x0 ve y0 Duyarliliklarının Z Bileşenine Etkisi');

```

```

subplot(3,2,5);
plot(sim_stdXYZ_f(:,1) , sim_stdXYZ_f(:,4) , 'ko-
','MarkerSize',4,'MarkerFaceColor','k');
grid on;
ylabel('sigma Z (m)');
xlabel('sigma f(mm)');
title('f Duyarlılıklarının Z Bileşenine Etkisi');

subplot(3,2,6);
plot(sim_stdXYZ_xy(:,1) , sim_stdXYZ_xy(:,4) , 'ko-
','MarkerSize',4,'MarkerFaceColor','k');
grid on;
ylabel('sigma Z (m)');
xlabel('sigma xy(mm)');
title('x ve y Duyarlılıklarının Z Bileşenine Etkisi');
end

```

```

function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function plot_results(handles)
if handles.plot_selection_coordinate == 1 &
handles.plot_selection_type == 1;
%plot X scatter

scatter(handles.axes3,handles.all_XYZ(:,1),handles.all_XYZ(:,2),100,
handles.all_stdXYZ(:,1),'filled','Marker','s');
s = colorbar('location','EastOutside');
title(s,'m');

text(handles.all_XYZ(:,1)+0.1,handles.all_XYZ(:,2)+0.1,cellstr(num2s
tr((1:length(handles.all_XYZ(:,1))))'), 'Parent',handles.axes3);
elseif handles.plot_selection_coordinate == 2 &
handles.plot_selection_type == 1;
%plot Y scatter

scatter(handles.axes3,handles.all_XYZ(:,1),handles.all_XYZ(:,2),100,
handles.all_stdXYZ(:,2),'filled','Marker','s');
s = colorbar('location','EastOutside');
title(s,'m');

text(handles.all_XYZ(:,1)+0.1,handles.all_XYZ(:,2)+0.1,cellstr(num2s
tr((1:length(handles.all_XYZ(:,1))))'), 'Parent',handles.axes3);
elseif handles.plot_selection_coordinate == 3 &
handles.plot_selection_type == 1;
%plot Z scatter

```

```

scatter(handles.axes3,handles.all_XYZ(:,1),handles.all_XYZ(:,2),100,
handles.all_stdXYZ(:,3),'filled','Marker','s');
    s = colorbar('location','EastOutside');
    title(s,'m');

text(handles.all_XYZ(:,1)+0.1,handles.all_XYZ(:,2)+0.1,cellstr(num2s
tr((1:length(handles.all_XYZ(:,1)))')), 'Parent',handles.axes3);
elseif handles.plot_selection_coordinate == 1 &
handles.plot_selection_type == 2;
    %plot X pcolor
    F = TriScatteredInterp([handles.all_XYZ(:,1)
handles.all_XYZ(:,2)],handles.all_stdXYZ(:,1));
    [XX,YY] =
meshgrid(min(handles.all_XYZ(:,1)):100:max(handles.all_XYZ(:,1)),
min(handles.all_XYZ(:,2)):100:max(handles.all_XYZ(:,2)));
    ZZ = F(XX,YY);
    pcolor(handles.axes3,XX,YY,ZZ);hold on;
    s = colorbar('location','EastOutside');
    title(s,'m');

plot(handles.axes3,handles.all_XYZ(:,1),handles.all_XYZ(:,2),'mo','M
arkerSize',5,'MarkerEdgeColor','w','MarkerFaceColor','m');

text(handles.all_XYZ(:,1)+0.1,handles.all_XYZ(:,2)+0.1,cellstr(num2s
tr((1:length(handles.all_XYZ(:,1)))')), 'Parent',handles.axes3,'FontW
eight','bold');
elseif handles.plot_selection_coordinate == 2 &
handles.plot_selection_type == 2;
    %plot Y pcolor
    F = TriScatteredInterp([handles.all_XYZ(:,1)
handles.all_XYZ(:,2)],handles.all_stdXYZ(:,2));
    [XX,YY] =
meshgrid(min(handles.all_XYZ(:,1)):100:max(handles.all_XYZ(:,1)),
min(handles.all_XYZ(:,2)):100:max(handles.all_XYZ(:,2)));
    ZZ = F(XX,YY);
    pcolor(handles.axes3,XX,YY,ZZ);hold on;
    s = colorbar('location','EastOutside');
    title(s,'m');

plot(handles.axes3,handles.all_XYZ(:,1),handles.all_XYZ(:,2),'mo','M
arkerSize',5,'MarkerEdgeColor','w','MarkerFaceColor','m');

text(handles.all_XYZ(:,1)+0.1,handles.all_XYZ(:,2)+0.1,cellstr(num2s
tr((1:length(handles.all_XYZ(:,1)))')), 'Parent',handles.axes3,'FontW
eight','bold');
elseif handles.plot_selection_coordinate == 3 &
handles.plot_selection_type == 2;
    %plot Z pcolor
    F = TriScatteredInterp([handles.all_XYZ(:,1)
handles.all_XYZ(:,2)],handles.all_stdXYZ(:,3));
    [XX,YY] =
meshgrid(min(handles.all_XYZ(:,1)):100:max(handles.all_XYZ(:,1)),
min(handles.all_XYZ(:,2)):100:max(handles.all_XYZ(:,2)));
    ZZ = F(XX,YY);
    pcolor(handles.axes3,XX,YY,ZZ);hold on;
    s = colorbar('location','EastOutside');
    title(s,'m');

plot(handles.axes3,handles.all_XYZ(:,1),handles.all_XYZ(:,2),'mo','M
arkerSize',5,'MarkerEdgeColor','w','MarkerFaceColor','m');

```



```

text(handles.all_XYZ(:,1)+0.1,handles.all_XYZ(:,2)+0.1,cellstr(num2s
tr((1:length(handles.all_XYZ(:,1)))')), 'Parent',handles.axes3, 'FontW
eight', 'bold');
end
set(gca, 'XTickLabel', num2str(get(gca, 'XTick'),' %d'));
set(gca, 'YTickLabel', num2str(get(gca, 'YTick'),' %d'));
ylabel('YUKARI (m)'); xlabel('SAĞA (m)');

```

```

function computations(hObject, eventdata, handles)

```

```

table1data = cellfun(@str2num,get(handles.uitable1, 'Data'));
table2data = cellfun(@str2num,get(handles.uitable2, 'Data'));
table3data = cellfun(@str2num,get(handles.uitable3, 'Data'));

```

```

cla(handles.axes1, 'reset');
cla(handles.axes2, 'reset');
cla(handles.axes3, 'reset');

```

```

frame_x = table2data(4,1)*table2data(5,1)/1000;
frame_y = table2data(4,2)*table2data(5,1)/1000;
plot(handles.axes1,table3data(:,2)/1000,table3data(:,3)/1000, 'ro', 'M
arkerSize', 3, 'MarkerFaceColor', 'r');
text(table3data(:,2)/1000+0.1,table3data(:,3)/1000+0.1,cellstr(num2s
tr((1:length(table3data(:,1)))')), 'Parent',handles.axes1);
set(handles.axes1, 'XGrid', 'on', 'YGrid', 'on', 'XLim', [-frame_x/2
frame_x/2], 'YLim', [-frame_y/2 frame_y/2]);
title(handles.axes1, ['Sol Görüntü: ', num2str(handles.leftimage)]);
xlabel(handles.axes1, 'x (mm)'); ylabel(handles.axes1, 'y (mm)');
plot(handles.axes2,table3data(:,4)/1000,table3data(:,5)/1000, 'ro', 'M
arkerSize', 3, 'MarkerFaceColor', 'r');
text(table3data(:,4)/1000+0.1,table3data(:,5)/1000+0.1,cellstr(num2s
tr((1:length(table3data(:,1)))')), 'Parent',handles.axes2);
set(handles.axes2, 'XGrid', 'on', 'YGrid', 'on', 'XLim', [-frame_x/2
frame_x/2], 'YLim', [-frame_y/2 frame_y/2]);
title(handles.axes2, ['Sağ Görüntü: ', num2str(handles.rightimage)]);
xlabel(handles.axes2, 'x (mm)'); ylabel(handles.axes2, 'y (mm)');

```

```

X0L = table1data(1,1);
Y0L = table1data(2,1);
Z0L = table1data(3,1);
X0R = table1data(1,3);
Y0R = table1data(2,3);
Z0R = table1data(3,3);
omegaL = table1data(4,1) * pi/180;
phiL = table1data(5,1) * pi/180;
kappaL = table1data(6,1) * pi/180;
omegaR = table1data(4,3) * pi/180;
phiR = table1data(5,3) * pi/180;
kappaR = table1data(6,3) * pi/180;
uX0L = table1data(1,2);
uY0L = table1data(2,2);
uZ0L = table1data(3,2);
uX0R = table1data(1,4);
uY0R = table1data(2,4);
uZ0R = table1data(3,4);
uwL = table1data(4,2) * pi/180;
upL = table1data(5,2) * pi/180;
ukL = table1data(6,2) * pi/180;
uWR = table1data(4,4) * pi/180;

```

```

upR      = table1data(5,4) * pi/180;
ukR      = table1data(6,4) * pi/180;
x0       = table2data(1,1)/1000;
y0       = table2data(2,1)/1000;
f        = table2data(3,1)/1000;
ux0      = table2data(1,2)/1000;
uy0      = table2data(2,2)/1000;
uf       = table2data(3,2)/1000;

npoints  = size(table3data,1);
handles.all_XYZ      = [];
handles.all_stdXYZ   = [];
handles.all_mse      = [];
for i = 1 : npoints
    xL = table3data(i,2)*10^-6;
    yL = table3data(i,3)*10^-6;
    xR = table3data(i,4)*10^-6;
    yR = table3data(i,5)*10^-6;
    uxL = table3data(i,6)*10^-6;
    uyL = table3data(i,6)*10^-6;
    uxR = table3data(i,6)*10^-6;
    uyR = table3data(i,6)*10^-6;
    [XYZ , std_XYZ , mse] =
space_coordinates_inverse_collinearity_cos(X0L,Y0L,Z0L,X0R,Y0R,Z0R,o
megaL,phiL,kappaL,omegaR,phiR,kappaR,xL,yL,xR,yR,x0,y0,f,ux0L,uY0L,
wL,upL,ukL,uwR,upR,ukR,uxL,uyL,uxR,uyR,ux0,uy0,uf);
    handles.all_XYZ      = [handles.all_XYZ ; XYZ'];
    handles.all_stdXYZ   = [handles.all_stdXYZ ; std_XYZ'];
    handles.all_mse      = [handles.all_mse ; mse];

end
guidata(hObject, handles);

if handles.plot_selection_type ~= 3
    cla(handles.axes3, 'reset');
end
plot_results(handles);

mean_sig_XY = sqrt( sum(sum(handles.all_stdXYZ(:,1:2).^2,2)) /
npoints);
mean_sig_Z  = sqrt(sum(handles.all_stdXYZ(:,3).^2) /
npoints)/sqrt(2);
set(handles.edit2, 'String', num2str(mean_sig_XY, '%0.3f'));
set(handles.edit3, 'String', num2str(mean_sig_Z, '%0.3f'));

fid = fopen('results.out', 'w');
fprintf(fid, '<<<<<< KAMERA PARAMETRELERİ (İÇ YÖNELTME ELEMANLARI)
>>>>>>\n');
fprintf(fid, 'x0 (mm)           : %5.3f ±
%5.3f\n', table2data(1,1), table2data(1,2));
fprintf(fid, 'y0 (mm)           : %5.3f ±
%5.3f\n', table2data(2,1), table2data(2,2));
fprintf(fid, 'f (mm)           : %5.3f ±
%5.3f\n', table2data(3,1), table2data(3,2));
fprintf(fid, 'Çerçeve (piksel)    : %5d x
%5d\n', table2data(4,1), table2data(4,2));
fprintf(fid, 'Çözünürlük (piksel) : %5.1f\n', table2data(5,1));
fprintf(fid, '\n'); fprintf(fid, '\n');
fprintf(fid, '<<<<<< DIŞ YÖNELTME ELEMANLARI >>>>>>\n');

```

```

fprintf(fid, '
                                SOL RESİM
SAĞ RESİM\n');
fprintf(fid, 'X0 (m)           : %12.3f ± %2.3f %21.3f ±
%2.3f\n', table1data(1,1:4));
fprintf(fid, 'Y0 (m)           : %12.3f ± %2.3f %21.3f ±
%2.3f\n', table1data(2,1:4));
fprintf(fid, 'Z0 (m)           : %12.3f ± %2.3f %21.3f ±
%2.3f\n', table1data(3,1:4));
fprintf(fid, 'omega (deg)      : %12.6f ± %2.6f %18.6f ±
%2.6f\n', table1data(4,1:4));
fprintf(fid, 'fi (deg)         : %12.6f ± %2.6f %18.6f ±
%2.6f\n', table1data(5,1:4));
fprintf(fid, 'kapa (deg)       : %12.6f ± %2.6f %18.6f ±
%2.6f\n', table1data(6,1:4));
fprintf(fid, '\n'); fprintf(fid, '\n');
fprintf(fid, '<<<<<<< RESİM KOORDİNATI ÖLÇME DUYARLILIĞI >>>>>>>\n');
fprintf(fid, 'sigma (mikron)      : %12.3f\n', table3data(1,end));
fprintf(fid, '\n'); fprintf(fid, '\n');
fprintf(fid, '<<<<<<< ORTALAMA DUYARLILIKLAR >>>>>>>\n');
fprintf(fid, 'Yatay (m)       : %12.3f\n', mean_sig_XY);
fprintf(fid, 'Düşey (m)      : %12.3f\n', mean_sig_Z);

fprintf(fid, '\n'); fprintf(fid, '\n');

fprintf(fid, '<<<<<<< ARAZİ KOORDİNATLARI >>>>>>>\n');
fprintf(fid, '
S.Nu      Nokta No      X (m)
Y (m)      Z (m)          MSE (m)\n');
for i = 1 : size(handles.all_XYZ)
    fprintf(fid, '%7d %14d %14.3f ± %3.3f %14.3f ± %3.3f %14.3f ±
%3.3f %14.3f\n', i, table3data(i,1), ...

handles.all_XYZ(i,1), handles.all_stdXYZ(i,1), ...

handles.all_XYZ(i,2), handles.all_stdXYZ(i,2), ...

handles.all_XYZ(i,3), handles.all_stdXYZ(i,3), ...

handles.all_mse(i));
end
fclose(fid);
function uitable2_CellEditCallback(hObject, eventdata, handles)
if ~isempty(handles.leftimage) & ~isempty(handles.rightimage)
    radiobutton1_Callback(hObject, eventdata, handles);
    radiobutton4_Callback(hObject, eventdata, handles);
    handles.plot_selection_coordinate = 1;
    handles.plot_selection_type = 1;
    guidata(hObject, handles);
    computations(hObject, eventdata, handles);
end
function uitable1_CellEditCallback(hObject, eventdata, handles)
if ~isempty(handles.leftimage) & ~isempty(handles.rightimage)
    radiobutton1_Callback(hObject, eventdata, handles);
    radiobutton4_Callback(hObject, eventdata, handles);
    handles.plot_selection_coordinate = 1;
    handles.plot_selection_type = 1;
    guidata(hObject, handles);
    computations(hObject, eventdata, handles);
end

% --- Executes when entered data in editable cell(s) in uitable3.
function uitable3_CellEditCallback(hObject, eventdata, handles)

```

```

if eventdata.Indices(2) == 6
    table3data = get(handles.uitable3, 'Data');
    table3data(:,end) = cellstr(eventdata.NewData);
    set(handles.uitable3, 'Data', table3data);
    radiobutton1_Callback(hObject, eventdata, handles);
    radiobutton4_Callback(hObject, eventdata, handles);
    handles.plot_selection_coordinate = 1;
    handles.plot_selection_type = 1;
    guidata(hObject, handles);
    computations(hObject, eventdata, handles);
end

function [XYZ , std_XYZ , mse] =
space_coordinates_inverse_collinearity_cos(X0L,Y0L,Z0L,X0R,Y0R,Z0R,o
megaL,uwL,upL,ukL,uwR,upR,ukR,uxL,uyL,uxR,uyR,ux0,uy0,uf)

R1wL = [ 1          0          0          ;
        0          cos(omegaL) sin(omegaL) ;
        0          -sin(omegaL) cos(omegaL) ] ;

R2pL = [ cos(phiL)  0          -sin(phiL) ;
        0          1          0          ;
        sin(phiL)  0          cos(phiL) ] ;

R3kL = [ cos(kappaL)  sin(kappaL)  0          ;
        -sin(kappaL)  cos(kappaL)  0          ;
        0             0            1] ;

R1wR = [ 1          0          0          ;
        0          cos(omegaR) sin(omegaR) ;
        0          -sin(omegaR) cos(omegaR) ] ;

R2pR = [ cos(phiR)  0          -sin(phiR) ;
        0          1          0          ;
        sin(phiR)  0          cos(phiR) ] ;

R3kR = [ cos(kappaR)  sin(kappaR)  0          ;
        -sin(kappaR)  cos(kappaR)  0          ;
        0             0            1] ;

RL = R3kL * R2pL * R1wL;
RR = R3kR * R2pR * R1wR;
%% PROCESS
%Constants
dxL = xL - x0;
dyL = yL - y0;
dxR = xR - x0;
dyR = yR - y0;
K1U = RL(1,1)*dxL + RL(2,1)*dyL - RL(3,1)*f;%r1
K1D = RL(1,3)*dxL + RL(2,3)*dyL - RL(3,3)*f;%q1
K1 = K1U / K1D;
K2U = RL(1,2)*dxL + RL(2,2)*dyL - RL(3,2)*f;%s1
K2D = RL(1,3)*dxL + RL(2,3)*dyL - RL(3,3)*f;%q1
K2 = K2U / K2D;
K3U = RR(1,1)*dxR + RR(2,1)*dyR - RR(3,1)*f;%r2
K3D = RR(1,3)*dxR + RR(2,3)*dyR - RR(3,3)*f;%q2
K3 = K3U / K3D;
K4U = RR(1,2)*dxR + RR(2,2)*dyR - RR(3,2)*f;%s2
K4D = RR(1,3)*dxR + RR(2,3)*dyR - RR(3,3)*f;%q2
K4 = K4U / K4D;

```

```

Z=(X0R*K1D*K3D-X0L*K1D*K3D+Z0L*K1U*K3D-Z0R*K3U*K1D)/(K1U*K3D-
K3U*K1D);
DZL=Z-Z0L;
DZR=Z-Z0R;
%Desing Matrix
A = [ 1 0 -K1 ;
      0 1 -K2 ;
      1 0 -K3 ;
      0 1 -K4];

b = [ X0L - Z0L*K1 ; %F1:Function-1
      Y0L - Z0L*K2 ; %F2:Function-2
      X0R - Z0R*K3 ; %F3:Function-3
      Y0R - Z0R*K4] ; %F4:Function-4

%Covariance for 19 input elements
cwL = cos(omegaL);
swL = sin(omegaL);
cwR = cos(omegaR);
swR = sin(omegaR);
cpL = cos(phiL);
spL = sin(phiL);
cpR = cos(phiR);
spR = sin(phiR);
ckL = cos(kappaL);
skL = sin(kappaL);
ckR = cos(kappaR);
skR = sin(kappaR);

%dF1/dX0L
dF1_dX0L = 1;
%dF1/dY0L
dF1_dY0L = 0;
%dF1/dZ0L
dF1_dZ0L = -K1;
%dF1/dX0R
dF1_dX0R = 0;
%dF1/dY0R
dF1_dY0R = 0;
%dF1/dZ0R
dF1_dZ0R = 0;%a11=-DZ/q^2*r*s;
%dF1/dwL
dF1_dwL = Z0L*K1U*K2U/K1D^2;
%dF1/dpL
dF1_dpL = -Z0L * ((-spL*ckL*dxL + spL*skL*dyL - cpL*f)*K1D -
K1U*(-cwL*cpL*ckL*dxL + cwL*cpL*skL*dyL + cwL*spL*f)) / (K1D^2);
%dF1/dkL
dF1_dkL = -Z0L/K1D^2 * ((RL(1,2)*dxL-RL(1,1)*dyL)*K1D-(RL(2,3)*dxL-
RL(1,3)*dyL)*K1U);
%dF1/dwR
dF1_dwR = 0;
%dF1/dpR
dF1_dpR = 0;
%dF1/dkR
dF1_dkR = 0;
%dF1/dxL
dF1_dxL = -Z0L * (RL(1,1)*K1D - K1U*RL(1,3)) / (K1D^2);
%dF1/dyL
dF1_dyL = -Z0L * (RL(2,1)*K1D - K1U*RL(2,3)) / (K1D^2
%dF1/dxR
dF1_dxR = 0;

```

```

% dF1/dyR
dF1_dyR = 0;
% dF1/dx0
dF1_dx0 = -Z0L * (K1U*RL(1,3) - RL(1,1)*K1D) / (K1D^2);
% dF1/dy0
dF1_dy0 = -Z0L * (K1U*RL(2,3) - RL(2,1)*K1D) / (K1D^2);
% dF1/df
dF1_df = -Z0L * ((RL(2,3)*K1U - RL(2,1))*K1D) / (K1D^2);

% dF2/dX0L
dF2_dX0L = 0;
% dF2/dY0L
dF2_dY0L = 1;
% dF2/dZ0L
dF2_dZ0L = -K2;
% dF2/dX0R
dF2_dX0R = 0;
% dF2/dY0R
dF2_dY0R = 0;
% dF2/dZ0R
dF2_dZ0R = 0;
% dF2/dwL
dF2_dwL = Z0L * (K2D^2 + K2U^2) / (K2D^2);
dF2_dpL = -Z0L * (((swL*cpL*ckL*dxL - swL*cpL*skL*dyL -
swL*spL*f)*K2D - K2U*(-cwL*cpL*ckL*dxL + cwL*cpL*skL*dyL +
cwL*spL*f))) / (K2D^2);
% dF2/dkL
dF2_dkL = -Z0L * ((RL(2,2)*dxL - RL(1,2)*dyL)*K2D - K2U*(RL(2,3)*dxL
- RL(1,3)*dyL)) / (K2D^2);
% dF2/dwR
dF2_dwR = 0;
% dF2/dpR
dF2_dpR = 0;
% dF2/dkR
dF2_dkR = 0;
% dF2/dxL
dF2_dxL = -Z0L * (RL(1,2)*K2D - K2U*RL(1,3)) / (K2D^2);
% dF2/dyL
dF2_dyL = -Z0L * (RL(2,2)*K2D - K2U*RL(2,3)) / (K2D^2);
% dF2/dxR
dF2_dxR = 0;
% dF2/dyR
dF2_dyR = 0;
% dF2/dx0
dF2_dx0 = -Z0L * (RL(1,3)*K2U - RL(1,2)*K2D) / (K2D^2);
% dF2/dy0
dF2_dy0 = -Z0L * (RL(2,3)*K2U - RL(2,2)*K2D) / (K2D^2);
% dF2/df
dF2_df = -Z0L * (RL(3,3)*K2U - RL(3,2)*K2D) / (K2D^2);
% dF3/dX0L
dF3_dX0L = 0;
% dF3/dY0L
dF3_dY0L = 0;
% dF3/dZ0L
dF3_dZ0L = 0;
% dF3/dX0R
dF3_dX0R = 1;
% dF3/dY0R
dF3_dY0R = 0;
% dF3/dZ0R

```

```

dF3_dZ0R = -K3;
% dF3/dwL
dF3_dwL = 0;
% dF3/dpL
dF3_dpL = 0;
% dF3/dkL
dF3_dkL = 0;
% dF3/dwR
dF3_dwR = Z0R*K3U*K4U / K3D^2;
% dF3/dpR
dF3_dpR = -Z0R * ((-spR*ckR*dxR + spR*skR*dyR - cpR*f)*K3D -
K3U*(-cwR*cpR*ckR*dxR + cwR*cpR*skR*dyR + cwR*spR*f)) / (K3D^2);
% dF3/dkR
dF3_dkR = -Z0R/K3D^2 * ((RR(1,2)*dxR - RR(1,1)*dyR)*K3D - (RR(2,3)*dxR -
RR(1,3)*dyR)*K3U);
% dF3/dxL
dF3_dxL = 0;
% dF3/dyL
dF3_dyL = 0;
% dF3/dxR
dF3_dxR = -Z0R * (RR(1,1)*K3D - K3U*RR(1,3)) / (K3D^2); % -Z0R *
(cpR*ckR*K3D - K3U*(swR*skR - cwR*spR*ckR)) / (K3D^2);
% dF3/dyR
dF3_dyR = -Z0R * (RR(2,1)*K3D - K3U*RR(2,3)) / (K3D^2); % -Z0R * (-
cpR*skR*K3D - K3U*(swR*ckR + cwR*spR*skR)) / (K3D^2);
% dF3/dx0
dF3_dx0 = -Z0R * (K3U*RR(1,3) - RR(1,1)*K3D) / (K3D^2); % -Z0R * (-
cpR*ckR*K3D - K3U*(-(swR*skR - cwR*spR*ckR)) / (K3D^2);
% dF3/dy0
dF3_dy0 = -Z0R * (K3U*RR(2,3) - RR(2,1)*K3D) / (K3D^2); % -Z0R *
(cpR*skR*K3D - K3U*(-(swR*ckR + cwR*spR*skR)) / (K3D^2);
% dF3/df
dF3_df = -Z0R * ((RR(2,3)*K3U - RR(2,1))*K3D) / (K3D^2); % -Z0R * (-
spR*K3D - K3U*(-cwR*cpR)) / (K3D^2);
% dF4/dX0L
dF4_dX0L = 0;
% dF4/dY0L
dF4_dY0L = 0;
% dF4/dZ0L
dF4_dZ0L = 0;
% dF4/dX0R
dF4_dX0R = 0;
% dF4/dY0R
dF4_dY0R = 1;
% dF4/dZ0R
dF4_dZ0R = -K4;
% dF4/dwL
dF4_dwL = 0;
% dF4/dpL
dF4_dpL = 0;
% dF4/dkL
dF4_dkL = 0;
% dF4/dwR
dF4_dwR = Z0R * (K4D^2 + K4U^2) / (K4D^2);
% dF4/dpR
dF4_dpR = -Z0R * (((swR*cpR*ckR*dxR - swR*cpR*skR*dyR -
swR*spR*f)*K4D - K4U*(-cwR*cpR*ckR*dxR + cwR*cpR*skR*dyR +
cwR*spR*f)) / (K4D^2);
% dF4/dkR
dF4_dkR = -Z0R * ((RR(2,2)*dxR - RR(1,2)*dyR)*K4D - K4U*(RR(2,3)*dxR -
RR(1,3)*dyR)) / (K4D^2);

```

```

%df4/dxL
dF4_dxL = 0;
%df4/dyL
dF4_dyL = 0;
%df4/dxR
dF4_dxR = -Z0R * (RR(1,2)*K4D - K4U*RR(1,3)) / (K4D^2);
%df4/dyR
dF4_dyR = -Z0R * (RR(2,2)*K4D - K4U*RR(2,3)) / (K4D^2);
%df4/dx0
dF4_dx0 = -Z0R * (RR(1,3)*K4U - RR(1,2)*K4D) / (K4D^2);
%df4/dy0
dF4_dy0 = -Z0R * (RR(2,3)*K4U - RR(2,2)*K4D) / (K4D^2); %df4/df
dF4_df = -Z0R * (RR(3,3)*K4U - RR(3,2)*K4D) / (K4D^2);

J = [ dF1_dx0L dF1_dy0L dF1_dz0L dF1_dx0R dF1_dy0R
dF1_dz0R dF1_dwL dF1_dpL dF1_dkL dF1_dwR dF1_dpR dF1_dkR
dF1_dxL dF1_dyL dF1_dxR dF1_dyR dF1_dx0 dF1_dy0 dF1_df ;
dF2_dx0L dF2_dy0L dF2_dz0L dF2_dx0R dF2_dy0R
dF2_dz0R dF2_dwL dF2_dpL dF2_dkL dF2_dwR dF2_dpR dF2_dkR
dF2_dxL dF2_dyL dF2_dxR dF2_dyR dF2_dx0 dF2_dy0 dF2_df ;
dF3_dx0L dF3_dy0L dF3_dz0L dF3_dx0R dF3_dy0R
dF3_dz0R dF3_dwL dF3_dpL dF3_dkL dF3_dwR dF3_dpR dF3_dkR
dF3_dxL dF3_dyL dF3_dxR dF3_dyR dF3_dx0 dF3_dy0 dF3_df ;
dF4_dx0L dF4_dy0L dF4_dz0L dF4_dx0R dF4_dy0R
dF4_dz0R dF4_dwL dF4_dpL dF4_dkL dF4_dwR dF4_dpR dF4_dkR
dF4_dxL dF4_dyL dF4_dxR dF4_dyR dF4_dx0 dF4_dy0 dF4_df];

uncertainty = [uX0L ; uY0L ; uZ0L ; uX0R ; uY0R ; uZ0R ; uwL ; upL ;
ukL ; uwR ; upR ; ukR ; uxL ; uyL ; uxR ; uyR ; ux0 ; uy0 ; uf];
Cobs = diag(uncertainty.^2);
CF = J * Cobs * J';

CF = diag(diag(CF));
XYZ = inv(A'*inv(CF)*A)*A'*inv(CF)*b;
mse = (b - A*XYZ)'\*inv(CF)*(b - A*XYZ);
Cx = inv(A'*inv(CF)*A);
std_XYZ = sqrt(diag(Cx));
function popupmenu2_ButtonDownFcn(hObject, eventdata, handles)
function popupmenu2_KeyPressFcn(hObject, eventdata, handles)
function uitable2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```


ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Ali Coşkun KİRACI
Doğum Tarihi ve Yeri : 30.03.1979
E-posta : alicoskun.kiraci@hgk.msb.gov.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2001, Kara Harp Okulu, Sistem Mühendisliği
2004, Harita Yüksek Teknik Okulu, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2008, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2004-2010 yılları arasında Kıymetlendirme Kontrol Subayı olarak görev yapmıştır.
- 2010-2012 yılları arasında Süreç Analiz Subayı olarak görev yapmıştır.
- 2012-2014 yılları arasında Kıymetlendirme Kontrol Subayı olarak görev yapmıştır.
- 2014-2015 yılları arasında Görev Planlama Subayı olarak görev yapmıştır.
- 2015-2017 yılları arasında 2'nci Kıymetlendirme Kısım Amiri olarak görev yapmıştır.
- 2017-Halen 1'inci Kıymetlendirme Kısım Amiri olarak görev yapmaktadır.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Kiraci A.C.**, Toz F.G., 2018. “Stereo Görüntü Yöneltilmesinde Duyarlılık Analizi”. Harita Dergisi, Ocak 2018 159. Sayı, 1300-5790.
- **Kiraci A.C.**, Toz F.G., 2016. Theoretical Analysis Of Positional Uncertainty In Direct Georeferencing”, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B1, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Kiraci A.C.**, Karşlıoğlu M., 2009. “Havadan Alınan Sayısal Görüntülerin Doğrudan Yöneltilmesi ve Ortorektifikasyonu”, Harita Dergisi, Temmuz 2009 Sayı 142, 1300-5790.
- **Kiraci A.C.**, İşcan L., Eker O., Yılmaz A., Özerbil T., Maraş H.H., Fırat O., Akabalı O.A., 2010. “Sayısal Hava Kamerası ve Fotogrametriye Kazandırdıkları”, Harita Dergisi, Ocak 2010 Sayı 143, 1300-5790.