

**T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BELEDİYE HİZMETLERİNDE KULLANILAN HARİTA ÜRETİMLERİNİN
TEMEL ÖLÇÜTLERLE KIYASLANMASI**

DOKTORA TEZİ

**Ahmet SEYDANLIOĞLU
1109141001**

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Programı: Geomatik**

EKİM 2017

**T.C. İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BELEDİYE HİZMETLERİNDE KULLANILAN HARİTA ÜRETİMLERİNİN
TEMEL ÖLÇÜTLERLE KIYASLANMASI**

DOKTORA TEZİ

**Ahmet SEYDANLIOĞLU
1109141001**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:25.10.2017

Tezin Savunulduğu Tarih: 25.10.2017

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Turgut UZEL

Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Turgut UZEL

Prof. Dr. Kamil EREN

Prof. Dr. Halil ERKAYA (İ.O.Ü)

Prof. Dr. Engin GÜLAL (Y.T.Ü)

Doç. Dr. Erol YAVUZ (U.Ü)

EKİM 2017

ÖNSÖZ

Yüksek maliyetli, gelişmiş alet, donanım ve yazılımlarla, gelişmiş teknolojiye sahip uçak ve sayısal hava kameraları ile emek yoğun biçimde uygulanan Klasik Fotogrametri yöntemleri; tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de, klasik yersel yöntemlerle beraber en çok kullanılan veri toplama ve harita üretimi yöntemlerinden birisidir. Fotogrametri bilimi ve tekniği kullanılarak; yeryüzüne ilişkin sayısal görüntüler (hava fotoğrafları), fotogrametrik nirengi ölçümleri ve blok dengeleme sonuçları, farklı formatlarda sayısal yükseklik verileri (DTM, DEM, DSM, TIN, EYE, vb.), farklı ölçeklerde sayısal ortofoto haritalar ve foto-mozaik verileri, sayısal vektör harita bilgileri vb. veriler üretilmektedir. LIDAR Fotogrametrisi yöntemi ile arazi yüzeyine ilişkin nokta bulutu (point cloud) verileri, bu verilerden yararlanarak farklı yapıda ve formatlarda sayısal yükseklik verileri, ortofoto ve foto-mozaik görüntüleri vb. veriler üretilmektedir. Son yıllarda geliştirilen İnsansız Hava Araçları (İHA) Fotogrametrisi yöntemi ile özellikle küçük alanlarda tüm fotogrametrik uygulamaların gerçekleştirilmesi, klasik fotogrametrik yöntemlerle elde edilebilen tüm verilerin üretimi olanaklı hale gelmiştir.

Gerek LIDAR Fotogrametri tekniği, gerekse İHA Fotogrametri yöntemlerinin ve bu yöntemlerle toplanan verilerin, klasik fotogrametrik proje ve uygulamaların içerisine sokulması, büyük çaplı fotogrametrik veri toplama ve harita üretimi projelerinde LIDAR ve İHA teknolojilerine de yer verilmesi hususunun, yakın dönemin önemli ilgi alanlarından birisi olması düşünülmektedir.

Bu çalışmada üzerimden emeğini esirgemeyen tez danışman hocam Sayın Prof. Dr. Turgut UZEL'e ve uygulama çalışmalarında teknik destek sağlayan Harita Mühendisi Metin EREL'e teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda bu zorlu tez sürecimde bana destek olan ve fikirleriyle çalışmama katkı sağlayan çok değerli eşim Şehir Plancısı Duygu SEYDANLIOĞLU'na, tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ahmet SEYDANLIOĞLU

OCAK, 2017

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç.....	3
1.2. Karar Verme (Yöneylem Araştırması)	8
1.3. Yöntem	12
1.4. Kapsam	12
2. FOTOGRAMETRİ YÖNTEMİ İLE VERİ TOPLAMA	14
2.1. Fotogrametri'nin Tanımı, Özellikleri ve Kullanım Alanları	16
2.2. Fotogrametrinin Temel Prensipleri, Bileşenleri, Esasları	18
2.3. Fotogrametrik Yöntemde Ana İşlem Adımları.....	24
2.3.1. Planlama ve Hazırlık İşlemleri (Planning and Preparation Works)	25
2.3.2. Uçuş Planı Hazırlama (Flight Planning).....	26
2.3.3. Arazide Yer Kontrol Noktası (YKN) Tesisi ve İşaretlenmesi (Ground Control) 27	
2.3.4. Kinematik GPS'li Uçuş ile Hava Fotoğrafı Çekimi (Photo Flight, Aerial Imagery)	28
2.3.5. Sayısal Uçuş Verilerinin İşlenmesi (Process Flight Data)	29
2.3.6. Fotogrametrik Nirengi Ölçümü (Photogrammetric Aerial Triangulation).....	30
2.3.7. Fotogrametrik Nirengi Blok Dengelemesi (Bundle Block Adjustment).....	34
2.3.8. Sayısal Yükseklik Verileri Üretimi (Digital Elevation Data).....	37
2.3.9. Sayısal Ortofoto ve Foto-Mozaik Görüntüleri Üretimi (Orthophoto, Photo- Mosaic) 40	
2.3.10. Sayısal Vektör Harita Üretimi (Vector Map Compilation)	42
2.3.11. Diğer İlave/Tamamlayıcı İşlemler (Additional Tasks).....	46
3. LIDAR YÖNTEMİ/TEKNİĞİ İLE VERİ TOPLAMA.....	48
3.1. LIDAR'ın Özellikleri ve Kullanım Alanları.....	49

3.2.	LIDAR'ın Temel Prensipleri, Bileşenleri ve Esasları.....	53
3.3.	LIDAR Yönteminde Ana İşlem Adımları.....	58
3.3.1.	Planlama ve Hazırlık İşlemleri	59
3.3.2.	LIDAR Uçuş Planlaması	59
3.3.3.	Arazide Yer Kontrol Noktası (YKN) Tesisi ve İşaretlenmesi (Ground Control)	60
3.3.4.	Kinematik GPS'li Uçuş ile LIDAR Lazer Tarama Verileri Temini (Laser Scanning).....	61
3.3.5.	LIDAR Uçuş Verilerinin İşlenmesi	61
3.3.6.	LIDAR Verileri ile Fotogrametrik Nirengi Ölçümü (LIDAR Photo-Triangulation).....	61
3.3.7.	LIDAR Verilerinin Blok Dengelemesi ve Harita Projeksiyonunda Koordinat Hesabı	62
3.3.8.	LIDAR Verilerinin İşlenmesi, Filtrelenmesi, Sınıflandırılması, Editlenmesi	62
3.3.9.	LIDAR Nokta Bulutu Verilerinden Sayısal Yükseklik Verileri Üretimi	66
3.3.10.	Diğer İlave / Tamamlayıcı İşlemler, Sayısal Ortofoto ve Vektör Harita Üretimi	72
4.	İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI FOTOGRAMETRİSİ İLE VERİ TOPLAMA.....	75
4.1.	İHA'nın Tanımı, Özellikleri ve Kullanım Alanları	76
4.2.	İHA'nın Temel Prensipleri, Bileşenleri ve Esasları.....	78
4.3.	İHA Fotogrametri Yönteminde Ana İşlem Adımları.....	83
4.3.1.	Planlama ve Hazırlık İşlemleri	85
4.3.2.	İHA Uçuş Planlaması (UAV Flight Planning)	86
4.3.3.	Arazide Yer Kontrol Noktası Tesisi ve İşaretlenmesi	87
4.3.4.	Kinematik GPS'li İHA Uçuşu ile Sayısal Hava Fotoğrafı Çekimi.....	88
4.3.5.	Sayısal Uçuş Verilerinin İşlenmesi (Process UAV Flight Data).....	90
4.3.6.	İHA Verileri ile Fotogrametrik Nirengi Ölçümü (UAV Photo-Triangulation) ..	91

4.3.7.	İHA Verileri ile Fotogrametrik Nirengi Blok Dengeleme (Bundle Block Adjustment).....	91
4.3.8.	İHA Görüntüleri ile Veri İşleme, Sayısal Veri Toplama ve Harita Üretimi İşlemleri.....	92
4.6.9.	Diğer İlave / Tamamlayıcı İşlemler (Additional Tasks).....	97
5.	UYGULAMALAR.....	99
5.1.	Giriş, Genel Bilgiler.....	99
5.2.	Çalışma Alanı, Proje Uygulama Alanı	101
5.2.1.	LIDAR ve Fotogrametrik Uygulama Alanı ile İHA Uygulama Alanı (Birinci Uygulama Alanı).....	101
5.2.2.	Jeodezik Harita Uygulama Alanı ile İHA Çalışma Alanı (İkinci Uygulama Alanı)	103
5.3.	Uygulamada Kullanılan Donanım ve Yazılımlar	104
5.3.1.	Fotogrametrik Donanım ve Yazılımlar	104
5.3.2.	LIDAR Donanım ve Yazılımları.....	105
5.3.3.	İHA Donanım ve Yazılımları	106
5.4.	Uygulamada Kullanılan Temel Veriler ve Görüntüler	107
5.4.1.	Fotogrametrik Veriler.....	107
5.4.2.	LIDAR Verileri	107
5.4.3.	İHA Verileri.....	107
5.5.	Gerçekleştirilen Uygulamalar, İşlem Adımları ve İş Akışları.....	108
5.5.1.	Fotogrametrik İşlemler	108
5.5.2.	LIDAR İşlemleri.....	110
5.5.3.	İHA İşlemleri.....	112
5.6.	Sonuçların Değerlendirilmesi ve Analizi.....	115
5.6.1.	LIDAR + Fotogrametrik Ölçüm Verileri ile İHA Sonuçlarının Analizi (Birinci Uygulama Alanı).....	119

5.6.2. Jeodezik Ölçüm Verileri ile İHA Sonuçlarının Analizi (İkinci Uygulama Alanı)

130

6.	FOTOGRAMETRİ, LIDAR VE İHA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	140
6.1.	Fotogrametrik Yöntem ile LIDAR Yönteminin Karşılaştırılması	140
6.2.	Fotogrametrik Yöntem ile İHA Fotogrametri Yönteminin Karşılaştırılması	141
6.3.	İşlem Adımlarının Genel Esasları ve Matematiksel Temellerine Göre Karşılaştırma	143
6.4.	Kullanılan Sistem, Alet, Donanım ve Yazılımlara Göre Üç Yöntemi Karşılaştırma	146
6.5.	Sonuç Verilerin Doğrulukları ve Hassasiyetlerine Göre Karşılaştırma	147
6.6.	Sonuç Ürünleri Maliyetlerine Göre Karşılaştırma (Birim Fiyat-Maliyet Analizi)	147
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	150
7.1.	Sonuçlar	151
7.2.	Öneriler	151
	KAYNAKÇA	151
	ÖZGEÇMİŞ	151

KISALTMA LİSTESİ

- 2D: Two Dimension (İki Boyutlu)
3D: Three Dimension (Üç Boyutlu)
ABM: Area-Based Matching (Alan-Bazlı Eşleme)
ALS: Airborne Laser Scanning (Hava Lazer Tarama)
ALSM: Airborne Laser Swath Mapping (Hava Lazer Koridor Haritalama)
ASPRS: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği)
ATT: Automatic Aerial Triangulation
BÖHHBÜY: Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgilerini Üretim Yönetmeliği
CAD: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CBS: Coğrafi Bilgi Sistemi
CVT: Coğrafi Veritabanı
DEM: Digital Elevation Model
DSM: Digital Surface Model
DTM: Digital Terrain Model
EKKY: En Küçük Kareler Yöntemi
EYE: Eş Yükseklik Eğrisi
FBM: Feature-Based Matching (Detay-Bazlı Eşleme)
FMC: Forward Motion Compensation (İleri Bindirme Düzenleyicisi)
FN: Fotogrametrik Nirengi
GIS: Geographic Information System
GPS: Global Positioning System (Global Konumlama Sistemi)
GSD: Ground Sampling Distance (Yer Örnekleme Mesafesi)
HGK: Harita Genel Komutanlığı
HKMO: Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası
IFSAR: Interferometric Synthetic Aperture Radar (İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar)
IMU: Inertial Measurement Unit (İnersiyal Ölçme Ünitesi)
INS: Inertial Navigation System (İnersiyal Navigasyon Sistemi)

ISO: Uluslararası Standardlar Enstitüsü

ISPRS: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği)

İHA: İnsansız Hava Aracı

LIDAR: Laser Imaging Detection and Ranging (Lazerli Görüntüleme ve Mesafe Ölçme)

LSA: Least Squares Adjustment (En Küçük Kareler Yöntemi)

RBM:Relation-Based/Structural Matching (İlişki-Bazlı Eşleme)

RRDS: Reduced Resolution Data Set (Düşük Çözünürlüklü İndirgenmiş Veri Seti)

SAM: Sayısal Arazi Modeli

SYM: Sayısal Yükseklik Modeli

SYzM: Sayısal Yüzey Modeli

TIN: Triangulated Irregular Network (Düzensiz Üçgenleme Modeli)

TSE: Türk Standardları Enstitüsü

YKN: Yer Kontrol Noktası

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Karar vermede temel ölçütler ve aralarındaki bağlantılar	16
Şekil 1.2: Haritalama projesinde karar verme süreci.....	18
Şekil 1.3:Proje çözüm süreci	19
Şekil 2.1: Ardışık resim çekimi ile kolon ve blok oluşumu	37
Şekil 2.2: Ardışık resimlerde fotogrametrik nirengi (FN) ölçümü	39
Şekil 2.3: Sayısal görüntü eşleme (digital image matching) tekniğinin temel prensibi	40
Şekil 2.4: Epipolar eşleme tekniğinin temel prensibi	41
Şekil 2.5: Düşükten yüksek çözünürlüğe geçişte uygulanan görüntü piramidi.....	41
Şekil 2.6: Tam çözünürlüklü eşlemede uygulanan görüntü piramidi tekniği.....	42
Şekil 2.7: Fotogrametrik nirengi ölçümleri ile blok oluşumu	45
Şekil 2.8: Sayısal yükseklik modeli verilerine örnekler	47
Şekil 3.1: LIDAR sisteminin genel yapısı ve lazer tarama tekniğinin temel prensibi	58
Şekil 3.2: LIDAR’da lazer ışınının yeryüzeyine gidişi ve geri dönüşünün temel prensibi	62
Şekil 3.3: LIDAR’ın temel çalışma prensibi	63
Şekil 3.4: LIDAR sisteminin ana bileşenleri.....	65
Şekil 3.5: Uçuş hatları boyunca kalibrasyon sahası için yer kontrol noktaları (YKN) prensibi	68
Şekil 3.6: Filtreleme öncesi Sayısal Yüzey Modeli (DSM) ile oluşan topografik yüzey (Solda), filtreleme sonrası Sayısal Arazi Modeli (DTM) ile oluşan topografik yüzey (Sağda)	73
Şekil 3.7: LIDAR sistemi ile elde edilen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM, DEM) verisi	77
Şekil 3.8: LIDAR sistemi ile elde edilen Sayısal Arazi Modeli (SAM, DTM) verisi.....	78

Şekil 3.9: LIDAR sistemi ile elde edilen Sayısal Yüzey Modeli (SYzM, DTM) verisi	79
Şekil 3.10: LIDAR-Sayısal Yüzey Modeli (DSM) verileri üzerine geçirilmiş ortofoto görüntüsü	81
Şekil 4. 1: Sayısal kamera monte edilmiş bir insansız hava aracı “drone”	85
Şekil 4.2: İHA sistemleriyle ölçülen noktaların Google Earth ortamında gösterimi	87
Şekil 4.3: İHA fotogrametrisi ile uçuş ve Yer Kontrol Noktası (YKN) planı hazırlama (Örnek)	95
Şekil 4.4: İHA fotogrametrisi yöntemiyle uçuş yapılması ve hava fotoğrafları çekimi (Örnek)	97
Şekil 4.5: İHA fotogrametrisi ile toplanan sayısal uçuş verilerinin analizi ve işlenmesi (Örnek)	98
Şekil 4.6: İHA görüntülerinden üretilen Sayısal Nokta Bulutu (Point Clouds) verilerine örnekler	102
Şekil 4.7: İHA görüntülerinden toplanan Sayısal Yüzey Modeli (Digital Surface Model) örneği	103
Şekil 4. 8: İHA görüntülerinden üretilen Sayısal Vektör Harita (Vector Maps) örnekleri.....	105
Şekil 5.1: Nabucco Projesi (LIDAR+fotogrametri) ile İHA Proje Alanı (Birinci Uygulama Alanı)	110
Şekil 5.2: Birinci Uygulama Alanı: LIDAR + Fotogrametri Proje Alanı (Kırmızı taralı) ile İHA Proje Alanının (Mavi taralı) grafik olarak gösterimi	110
Şekil 5.3: İkinci Uygulama Alanı: Jeodezik Harita Üretim Alanı (Yeşil) ile İHA Proje Alanı (Bordo).....	111
Şekil 5.4: Leica ALS60 Laser Scanner	113
Şekil 5.5: Sabit kanatlı İHA sistemi	114
Şekil 56: Fotogrametrik uçuş planı ve YKN planlaması	116
Şekil 5.7: Fotogrametrik vektör harita ve ortofoto harita	117
Şekil 5. 8: LIDAR uçuş planı ve GPS oturum planı	118
Şekil 5.9: LIDAR sayısal yüzey modelinam nokta bulutu verisi	118
Şekil 5.10: LIDAR sayısal arazi modeli nokta bulutu verisi	119

Şekil 5. 11: İHA uçuş planı ve YKN planlaması (BirinciUygulama Alanı)	120
Şekil 5.12: İHA uçuş planı ve YKN planlaması (İkinci Uygulama Alanı)	121
Şekil 5. 13: İHA görüntülerindensayısal yüzey modeli nokta bulutu verisi	122
Şekil 5.14: İHA görüntüleri ile üretilmiş vektör harita ve ortofoto harita (BirinciUygulama Alanı).....	123
Şekil 5.15: Konum ve yükseklik doğruluklarını karşılaştırma noktaları (BirinciUygulama Alanı)	124
Şekil 5.16: Konum doğruluklarını karşılaştırma noktaları (ikinciuygulama alanı)	125
Şekil 5.17: Yükseklik doğruluklarını karşılaştırma noktaları (ikinciuygulama alanı)	125
Şekil 5.18: Konum doğruluklarını karşılaştırma noktaları (birinci uygulama alanı, bölge-1)	128
Şekil 5.19: Konum doğruluklarını karşılaştırma noktaları (birinci uygulama alanı, bölge-2)	130
Şekil 5.20: Yükseklik doğruluklarını karşılaştırma noktaları (birinci uygulama alanı, bölge-1)	132
Şekil 5.21: Yükseklik doğruluklarını karşılaştırma noktaları (birinci uygulamaaalanı, bölge-2)	136
Şekil 5.22: Konum doğruluklarını karşılaştırma noktaları (ikinci uygulama alanı).....	139
Şekil 5.23: Uygun olmayan konum karşılaştırmannoktalarına örnek (ikinci uygulama alanı)	140
Şekil 7.1: Birinci Uygulama Alanı-LIDAR + Fotogrametri Proje Alanı (Kırmızı taralı) ile İHA Proje Alanının (Mavi taralı) grafik olarak gösterimi (solda), İkinci Uygulama Alanı- Jeodezik Harita Üretim Alanı (Yeşil) ile İHA Proje Alanı (Bordo) (sağda).....	159

TABLO LİSTESİ

Tablo 5.1: Konum doğruluklarını karşılaştırma tablosu (birinci uygulama alanı, bölge-1)...	128
Tablo 5.2: Konum doğruluklarını karşılaştırma tablosu (birinci uygulama alanı, bölge-2)...	130
Tablo 5.3: Yükseklik karşılaştırma tablosu (birinci uygulama alanı, bölge-1)	132
Tablo 5.4: Yükseklik doğruluklarını karşılaştırma tablosu (birinci uygulama alanı, bölge-2)	135
Tablo 5.5: Konum doğruluklarını karşılaştırma tablosu (ikinci uygulama alanı)	138
Tablo 5.6: Yükseklik doğruluklarını karşılaştırma tablosu (ikinci uygulama alanı)	141
Tablo6.1: İşlem adımlarına göre karşılaştırma tablosu	150
Tablo 6.2: Kullanılan sistem, alet, donanım ve yazılımlara göre karşılaştırma tablosu	153
Tablo 6.3: Konum ve yükseklik doğruluklarını karşılaştırma tablosu	154
Tablo 6.4: Toplanan verilerin ve üretilen topografik haritaların birim fiyat ve maliyet analizini karşılaştırma tablosu	156
Tablo7.1: Doktora Tezindeki 1'inci Uygulama Alanı "Bandırma Organize Sanayi Bölgesi"ne ait kapasite, maliyet, süre ve kalite ölçütlerinin üç fotogrametrik yöntemle mukayesesi tablosu	158

SİMGE LİSTESİ

r_{ik} : Dönüklük (Rotasyon) Matrisinin Elemanları

ξ_0, η_0 : Odak noktasının (PP) görüntü koordinatları

c : Odak uzaklığı (kamera sabitesi)

X_0, Y_0, Z_0 : Kamera göre arazi koordinatları

κ : Dönme açısı

ϕ : Dönme açısı

Ω : Dönme açısı

$R\kappa$: Dönme matrisi

$R\phi$: Dönme matrisi

$R\Omega$: Dönme matrisi

Enstitüsü : **Fen Bilimleri**
Anabilim Dalı : **İnşaat Mühendisliği**
Programı : **Geomatik**
Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Turgut UZEL**
Tez Türü ve Tarihi : **Doktora – Eylül 2017**

KISA ÖZET

BELEDİYE HİZMETLERİNDE KULLANILAN HARİTA ÜRETİMLERİNİN TEMEL ÖLÇÜTLERLE KIYASLANMASI

Ahmet SEYDANLIOĞLU

Belediye hizmetlerinde ihtiyaç duyulan temel haritaların üretiminde, hangi yöntemin ve metodolojinin kullanılacağına karar vermek, yöneticilerin, karar vericilerin ve uygulayıcıların görevleri arasındadır. Karar verme süreçlerini etkileyen birçok faktör olmakla birlikte, en fazla etkileyen temel ölçütler maliyet, kapasite, süre ve kalitedir. Bu temel ölçütlerin yanında projenin boyutu, amaçları, sonucunda elde edilecek faydalar, üretimindeki aciliyet durumu vb. hususlar, karar verme süreçlerini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Bir haritacılık projesinde kullanılacak yöntemle karar verebilmek için öncelikle amacın kesin olarak belirlenmesi ve istenen doğruluğun saptanması gerekir. Sonrasında bunu sağlayan yöntemlerin maliyet, kapasite, kalite ve süre bakımından incelenerek kıyaslanması en doğru sonucu verir.

Belediye hizmetlerinde kullanılan harita üretim tekniklerinin kıyaslanmasında klasik fotogrametri, LIDAR ve İHA yöntemleriyle elde edilen mevcut veriler üzerinde yapılan araştırma sonuçlarına, uygulamalardan elde edilen konum ve yükseklik doğruluklarına, birim fiyat/maliyet analizlerine, ayrıca bu konuda yapılan tez ve araştırma çalışması sonuçlarına başvurulmuştur.

Büyük sahaların, meskûn/gayri meskûn alanların haritalanmasında, yüksek doğruluk ve hassasiyet istenen projelerde, hava fotoğrafları çekimi, sayısal yükseklik modeli verilerinin üretimi, topografik vektör ve ortofoto haritaların üretimi ve revizyonunda klasik fotogrametri, sadece yükseklik bilgisine ihtiyaç duyulan projelerde, uzun şeritvari harita yapımı projelerinde, sayısal yükseklik verisi üretiminin zor olduğu arazi kesimlerinde LIDAR fotogrametrisi, kazı ve dolgu alanları gibi küçük alanlarda ya da kısa mesafeli şeritvari güzergâhlarda, hassas konum ve yükseklik doğruluğunun talep edilmediği, ancak üretimin hızlı ve ekonomik yapılmasının beklendiği küçük haritalama projelerinde ise İHA fotogrametrisinin kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Fotogrametrik Yöntemler, LIDAR, İnsansız Hava Araçları (İHA) Fotogrametrisi

Bilim Dalı Sayısal Kodu:

University : **Istanbul Kültür University**
Institute : **Institute of Sciences**
Department : **Civil Engineering**
Programme : **Geomatics**
Supervisor : **Prof. Dr. Turgut UZEL**
Degree Awarded and Date : **Ph. D. – September 2017**

ABSTRACT

COMPARISON OF MAP GENERATION USED IN MUNICIPAL SERVICES WITH BASIC CRITERIA

Ahmet SEYDANLIOĞLU

In planning, engineering and infrastructure services who made from municipalities needs to decide which mapping method and technology is functional for map generation. Many factors, such as propose of project, budget of project, current technologic facilities, etc., affect that decision prosses. But the most affected factors are cost, capacity, time and quality. In map generation projects, primarily define the propose of project and determine the accuracy. Then compare the mapping methods through cost, capacity, time and quality analysis.

This text refered that classical photogrammetry, LIDAR and UAV researchs, articles, and thesis. In oder hand, position and elevation accuracy datas, and cost analysis results supported mapping technics comparison.

As a result, classical photogrammetry method uses for large, residential or non-residential areas mapping, presicion and high accuracy required projects, current aerial photography, digital elevation model datas, topographic vector and ortophoto maps (between the scales of 1/500 and 1/25000) generation and revision. LIDAR method uses for only elevation data needed mapping project which spreaded big areas, regular residential or non-residential areas, strip map generation, rugged terrain zone mapping. UAV photogrammetry method uses for open mine sites, small areas like excavation and filling zones, short distance strip map generation, 1/500, 1/1000 or 1/2000 scaled map generation, non-high precision elevation and position accuracy needed mapping projects, economic, low cost and fast produced map generation.

Key Words: Photogrammetry Method, LIDAR, Unmanned Aerial Vehicle (UAV)
Photogrammetry Method

Science Code:

1. GİRİŞ

Gittikçe çoğalan insan nüfusu ve ivmelenecek büyüyen teknolojinin etkisiyle hızla değişen dünyada insanın yaşamsal ve toplumsal gereksinimleri de hızla artmaktadır. Bu gereksinimleri karşılamak amacıyla gelişen yeni teknolojiler, haritacılık alanında da gelişmeleri tetiklemekte ve zaman içerisinde farklı ölçüm, harita yapım ve üretim yöntemlerini ortaya koymaktadır.

Bu yöntemlerden birisi **sayısal fotogrametri**dir. Bu, özel kameralarla yerden, havadan veya uzaydan alınan fotoğraflarla yapılan çeşitli ölçme, değerlendirme, yorumlama ve analiz işlemleriyle arazi yüzeyi hakkında güvenilir bilgiler elde etmeye, yeryüzünün topografik yapısına ilişkin doğal ve yapay detaylara ait üç boyutlu coğrafi bilgileri (geometrik, mekânsal veri) ile öznitelik bilgilerini (semantik, non-grafik veri) çıkarmaya ve çeşitli ölçeklerde topografik haritalar üretmeye yarayan bir tekniktir.

Son zamanlarda **insansız hava araçları** (İHA, örneğin **drone**'lar) kullanılarak özellikle küçük arazilerin sayısal havai fotogrametrik haritası yapılmaktadır. Drone'larda bir sayısal fotoğraf makinası ile bir **GPS (Global Positioning System = Global Konum belirleme Sistemi)** aleti bulunmaktadır.

LIDAR (Laser Imaging Detection And Ranging) ise lazer ışınlarıyla tarama yaparak hassas üç boyutlu haritalama tekniğidir. Sayısal yüzey modeli ve sayısal arazi modeli oluşturulması amacıyla GPS, yatay ve düşey ivmeleri ölçüp kaydeden bir **IMU (Inertial Measurement Unit = İnersiyal Ölçme Ünitesi)**, **INS (Inertial Navigation System = İnersiyal Navigasyon Sistemi)** ve **lazer tarayıcı (laser scanner)** teknolojilerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş veri toplama teknolojisidir.

Genellikle yersel haritalama ve görüntüleme için kullanılan **mobil haritalama (mobile mapping) sistemi**, bir araç üzerindeki platform üzerine monte edilen dönel bir laser tarama düzeneği ile GPS ve IMU'den oluşmaktadır. Araç hareket ederken sistem, çevredeki tüm objelerin konumlarını üç boyutlu olarak belirlemektedir. Söz konusu tüm sistemler, birer bilgisayarla kontrol edilmekte ve değerlendirilmektedir.

Topoğrafik vektör ve ortofoto haritalar; coğrafi veriler, detay ve yükseklik bilgileri, detaylara ilişkin öznel bilgiler ve özel veriler, arazinin topografyasını gösteren ve kullanıcılara hızlı biçimde sunmaya olanak sağlayan temel veri kaynaklarından. Kamu kurumları, belediyeler ve özel sektör kuruluşlarının uygulama ve kalkınma amaçlı; askeri kuruluşların savunma amaçlı projelerinde; sözü edilen bu coğrafi bilgiler, sayısal vektör ve ortofoto haritalar ile harita bilgileri, temel altlık verileri olarak özel bir yer tutmakta, önemli işlevleri yerine getirmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

Haritacılık disiplini ve harita yapım yöntemlerindeki temel ilke, amaca uygun, doğru, güncel ve güvenilir sonuçlara, harita ve harita bilgilerine, mümkün olabilen en kısa zamanda ve en ucuz maliyetle ulaşmaktır.

Yeryüzeyine ilişkin coğrafi veri toplama, detay ve yükseklik bilgilerini ölçme, kıymetlendirme, muhtelif cins ve ölçekte topoğrafik halihazır haritaları üretmede, tarihsel gelişme süreci içerisinde kullanılan yöntemleri üç grupta toplamak mümkündür:

- a. Yersel jeodezik yöntemler (yersel ölçme aletleri ile arazide yapılan ölçümlerle uygulanır).
- b. Fotogrametrik yöntemler (havadan, uçaktan alınan görüntülerle ve verilerle uygulanır).
- c. Uydu teknolojileri yöntemi (uydulardan alınan görüntülerle, verilerle uygulanır).

Günümüzde, GPS destekli klasik yersel yöntemlerle beraber yaygın olarak kullanılmakta olan harita üretim yöntemleri, sayısal fotogrametrik yöntemlerdir. LIDAR ise genellikle şeritvari harita yapımında ve sayısal yükseklik verilerinin toplanmasında kullanılmaktadır. Fotogrametri ve LIDAR, özellikleri itibarıyla çeşitli avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Her iki yöntemle toplanan veriler ve üretilen haritalar doğruluk

bakımından oldukça hassas olmasına karşın, yapılan işlemlerin süresi ve maliyeti oldukça yüksektir. Ayrıca her iki yöntemin uygulanabilmesi için Harita Genel Komutanlığı (HGK), Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü vb. bazı kamu kurum ve kuruluşlarından izin alması gerekmekte ve bu izin süreci, hem maliyeti hem de yapılan işin süresini biraz daha arttırmaktadır. Bu ve benzeri sebeplerden dolayı fotogrametri ve LIDAR yöntemlerinde birim başına (pafta başına) düşen maliyetini nispeten düşürmek amacıyla, günümüzde özellikle büyük alanların haritasının yapımında daha fazla kullanılmaktadır. Küçük alanların haritalarının üretiminde ise daha ziyade klasik yersel yöntemler tercih edilmektedir.

Son günlerde, fotogrametri ve LIDAR yöntemlerine oranla daha az maliyetli olan ve özellikle küçük alanların haritalanmasında kullanılmaya başlanan, yakın bir gelecekte büyük alanlarda da uygulanması beklenen bir diğer yöntem ise İnsansız Hava Araçları (İHA) kullanılarak harita üretimidir. Bu yöntemin uygulanmasında, diğer iki yöntemde olduğu gibi, çeşitli kamu kurum ve kuruluşlarından izin alma zorunluluğu yoktur ve istenilen ürüne ve veriye çok kısa bir sürede çok daha az bir maliyetle ulaşılabilmektedir. Ancak sahip olduğu teknik sınırlamalar nedeniyle, İHA teknikleri henüz büyük alanların haritalanmasında yeterince etkili değildir.

Bu tez çalışmasında fotogrametri, LIDAR ve İHA yöntemleri detaylı bir şekilde anlatılacak, fotogrametri ve LIDAR yöntemleri, doğruluk ve birim fiyat analizleri yapılarak karşılaştırılacaktır.

1.1. Amaç

Bu doktora tezinin temel amaçları ve hedefleri şunlardır:

1. Fotogrametri, LIDAR ve İHA fotogrametrisi yöntemlerinin kuramsal, teknik, kullanım ve uygulama esaslarını açıklamak ve üç yöntemi irdeleyerek bu yöntemlerin benzer ve farklı yönlerini, avantaj ve dezavantajlarını, kullanım alanlarını, teknik kapasitelerini, olanak ve yeteneklerini ortaya koymak,
2. Sayısal yükseklik verilerinin (DTM, DEM, DSM, TIN, EYE, vb.) toplanmasında uygulanan klasik ve sayısal fotogrametrik yöntemlerle LIDAR tekniklerini, doğruluk, maliyet, birim-fiyat, zaman vb. kriterler açısından genel olarak

karşılaştırmak; LIDAR teknikleriyle toplanan nokta bulutu, sayısal görüntü ve sayısal yükseklik modeli verilerinin, fotogrametrik proje ve uygulamalara sağlayabileceği katkı ve desteği ortaya çıkarmak; LIDAR tekniğinin, fotogrametrik proje ve çalışmalarda beraberce kullanılabilmesi olanaklarını araştırmak; sonuçta, her iki yöntemi birbirleriyle rekabet eden, bir yöntemi diğerinin yerine ikame edilmesi gereken yöntem olarak değerlendirmeksizin, sayısal görüntülerin ve yükseklik verilerinin üretiminde, LIDAR yöntemlerinin fotogrametrik yöntemlere sağlayabileceği ilave katkı ve desteği araştırmak,

3. Fotogrametrik yöntemler ile İHA fotogrametrisi yöntemlerini, toplanan veriler ve üretilen topografik vektör ve ortofoto haritaların, doğruluk, maliyet, birim-fiyat, süre vb. kriterler açısından karşılaştırmasını yapmak; özellikle küçük alanlarda gerçekleştirilen büyük ölçekli topografik harita üretimlerinde, İHA fotogrametrisi yöntemlerinin fotogrametrik yöntemlerle elde edilen yüksek doğruluk ve kalitedeki verilerle ve görüntülerle uyumluluğunu tespit etmek; sonuçta, her iki yöntemi birbirleriyle rekabet eden, bir yöntemin diğerinin yerine ikame edilmesi gereken yöntem olarak değerlendirmeksizin, sayısal görüntü, harita ve coğrafi veri üretiminde, İHA yöntemlerinin fotogrametrik yöntemlere sağlayabileceği ilave katkı ve desteği ortaya çıkarmaktır.

Uygulamada gerçekleştirilen çeşitli planlama, proje, altyapı ve mühendislik hizmetlerinde ihtiyaç duyulan temel haritaların ve harita bilgilerinin üretiminde, hangi yöntemin, teknolojinin ve metodoloji yaklaşımının kullanılacağına karar vermek, yöneticilerin, karar vericilerin ve uygulayıcıların önemli görevleri ve sorumlulukları arasında yer almaktadır. Bu anlamda, karar verme süreçlerini etkileyen çok sayıda faktör olmakla birlikte, en fazla etkileyen temel ölçütler ve bunların arasındaki bağlantı ve ilişkiler, Şekil 1.1'de özetlenmiştir.

Karar vermede rol oynayan bu temel ölçütler ve etkenlerin yanında projenin boyutu (küçük, orta ve büyük çaplı proje olması), projenin amaçları, üretimindeki aciliyet durumu, proje için tahsis edilen bütçe/mali kaynak, mevcut teknolojik imkân ve kabiliyetler, projenin gerçekleşmesi neticesinde elde edilecek faydalar, vb. hususlar, karar verme süreçlerini doğrudan etkileyen en önemli faktörlerdir.

Özetle, gerektesinim duyulan bir haritanın hangi yöntemle yapılacağına karar vermek için dört temel ölçüt vardır. Bunlar, Şekil 1.1’de gösterildiği gibi **maliyet, süre, kapasite ve kalite**’dir.

a. MALİYET

Her proje, belirli bir yatırım veya harcamayı gerektirir. **Maliyet**, bir projenin yapılıp bitirilmesi için harcanan paranın tümüdür. Maliyet, doğrudan ve dolaylı masrafların toplamı olarak tanımlanır. Proje hazırlık aşamasında maliyet tahmini,

- Projenin öngörülen toplam maliyeti,
- Proje için mali kaynak miktarı,
- Projedeki ek üretimler için ilave mali kaynak gereksinimi ve bunun için kaynak durumu,

belirlenerek yapılır.

b. KAPASİTE

Projeyi gerçekleştiren insan gücü ile projede kullanılan alet ve teçhizat gücüne, kapasite denir. Herhangi bir harita ve harita bilgisi üretimi projesinde gereken kapasite, esas olarak aşağıdaki temel bileşenlerden oluşmaktadır:

- İnsan Gücü: Anahtar teknik personel, teknik personel, idari personel, destek personeli ve yardımcı personelin mevcudiyeti ile projede görevlendirilen personelin bilgi ve deneyimleri, imkân ve kabiliyetleri, uzmanlık seviyeleri, mesleki kariyerleri, vb. verilerdir.
- Ekipman Kapasitesi: Projeye tahsis edilebilecek alet, cihaz, sistem, donanım, yazılım ve teçhizatın mevcudiyeti ile bunların kalitesi, ölçü hassasiyeti, doğruluğu, teknolojik imkânları, vb. verilerden oluşur.
- Malzeme Kapasitesi: Projede kullanılacak ilave malzemeler ve yardımcı materyallerin mevcudiyeti, kullanıma hazır olup olmadığı, kalite ve standartları ile ilgili bilgilerdir.
- Kaynak Materyal Kapasitesi: Projede kullanılabilir mevcut haritalar, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri, SAM-SYM-YM-TIN-EYE, vb. sayısal yükseklik verileri, jeodezik YKN’ları, nivelman ve poligon noktalarının mevcudiyeti, kullanıma uygunluğunu belirtir.

- Kapasite Arttırma Gücü: İdarenin taleplerine uygun olarak, yüklenicinin mevcut personel ve alet kapasitesini arttırma imkân ve kabiliyetlerini gösterir.

c. SÜRE

Süre, projenin başlangıcından başarıyla sonuçlanmasına kadar geçen zaman olarak tanımlanır. Maliyet üzerine etkiyen en önemli etmenlerden birisi de kuşkusuz süredir. Zira işin belirlenen optimum sürenin aşımında birim maliyet çok artar. Hız arttıkça birim maliyetin düşeceği açıktır. Fakat hızın, belirli bir değerin üstüne çıkması, iş ve işlem inceliğine kötü etki eder; kalite düşer.

Proje süresi, herhangi bir harita ve harita bilgisi üretimi projesinde, uygulanacak metodoloji, yöntem ve teknolojiye karar vermede rol oynayan temel ölçütlerden biridir. Bu, proje veya işin/çalışmanın ne kadarlık bir zaman dilimi içinde eksiksiz ve başarılı şekilde tamamlanacağını gösteren kriterdir. Süre ile ilgili aşağıdaki hususlardan bahsetmek gerekir:

- Proje için öngörülen tamamlanma süresinin uygunluğu ve yeterliliği (İdare ve yüklenici açısından).
- Proje için öngörülen başlangıç zamanı.
- Proje için öngörülen bitiş zamanı.
- İlave süre ihtiyacı ve karşılanma durumu (Muhtemel gecikmeler ve ilave üretimler için).

d. KALİTE

Kalite ise projede öngörülen işlerin, standartlarla belirlenmiş doğruluk ölçütüdür. Kalite veya başka bir deyişle iş doğruluğu ve inceliği, yapılan işin yetkinliğini belirten en önemli ölçüttür. İş inceliği, her ülkenin kendi resmi teknik yönetmelikleri veya uluslararası yönetmeliklerle belirlenmiş tanımlar ve tolerans değerleridir. Tolerans değerleri, yapılacak işin amacına ve önemine göre değişir. Elde edilen sonucun tolerans değerlerinin altında olması önkoşuldur (Uzel 2014).

Standardlar, herhangi bir harita ve harita bilgisi üretimi projesinde, uygulanacak metodoloji, yöntem ve teknolojiye karar vermede rol oynayan temel ölçütlerden ilki olan **kalite** veya **veri kalitesi** olup üretilen verilerin standardını, kalitesini, nefasetini, tamlığını ve doğruluklarını gösteren asal bir kriterdir. Veri kalitesini etkileyen önemli faktörler ve kalite bileşenleri şu şekilde sıralanabilir:

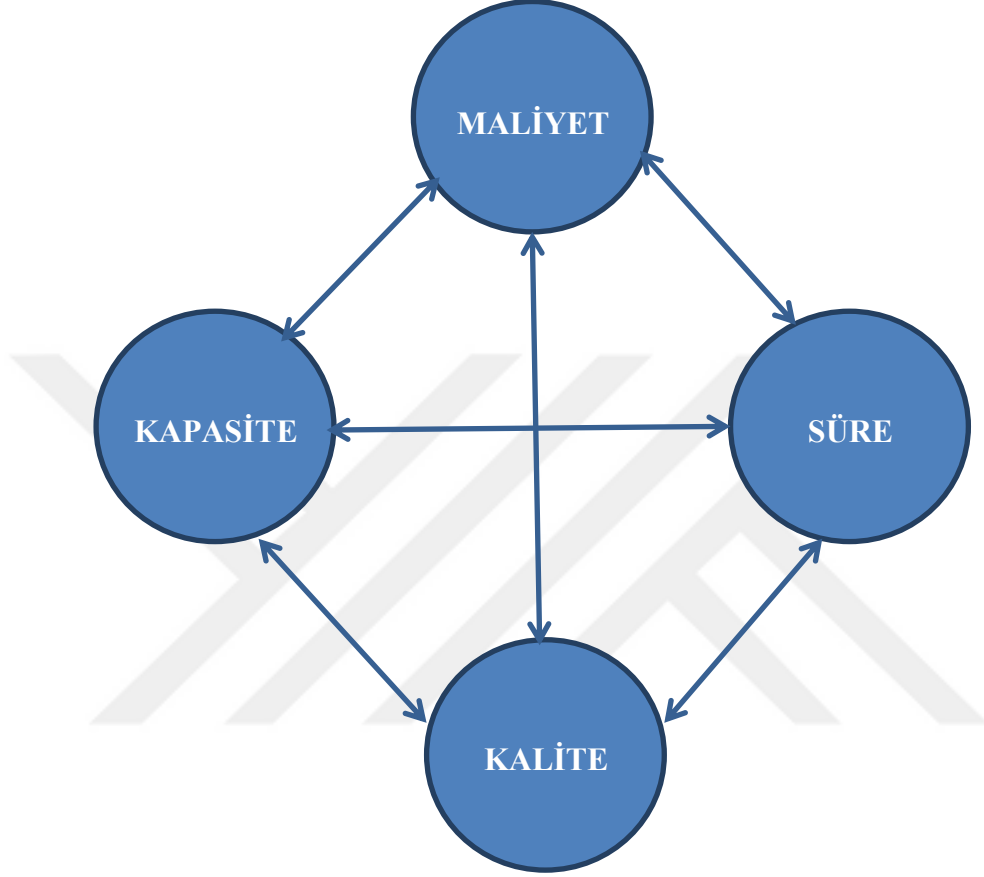
- Verinin güncelliği (up-to date).
- Verilerin nefaseti ve uygunluğu (appropriateness).
- Detay tamlığı (completeness).
- Verinin konum doğruluğu (planimetric accuracy).
- Verinin yükseklik doğruluğu (vertical accuracy).
- Detay ve öznelikleri yorumlama doğruluğu (feature / attribute interpretation).
- Ulusal ve uluslararası standartlara uygunluğu.
- İlgili yönetmelik, yönerge ve teknik talimatlara uygunluğu.

Standardlar, devlet dairelerinin veya Türk Standardları Enstitüsü (TSE)'nin ya da Uluslararası Standardlar Enstitüsü (ISO)'nun yayımladığı teknik yönetmeliklerdir. Herhangi bir topografik haritada veya coğrafi veri kümesinde, beklenen veri kalitesini sağlayabilmek için aşağıdaki kalite standartlarının dikkate alınması gerekmektedir:

- Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgilerini Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY) standartları, vb teknik yönetmelikler.
- Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, ASPRS) standartları ve spesifikasyonları ve benzeri standartlar.
- “Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası (HKMO)”nın teknik talimatları.
- “ISO Kalite Standartları”.

1.2. Karar Verme (Yöneylem Araştırması)

Şekil 1.1’de görüleceği gibi karar verme ölçütleri arasında karşılıklı çok sıkı ilişkiler, bağlantı ve bağımlılıklar mevcuttur. Her bir kriter, diğer üçünü doğrudan etkilemektedir.



Şekil 1.1: Karar vermede temel ölçütler ve aralarındaki bağlantılar (Uzel2014)

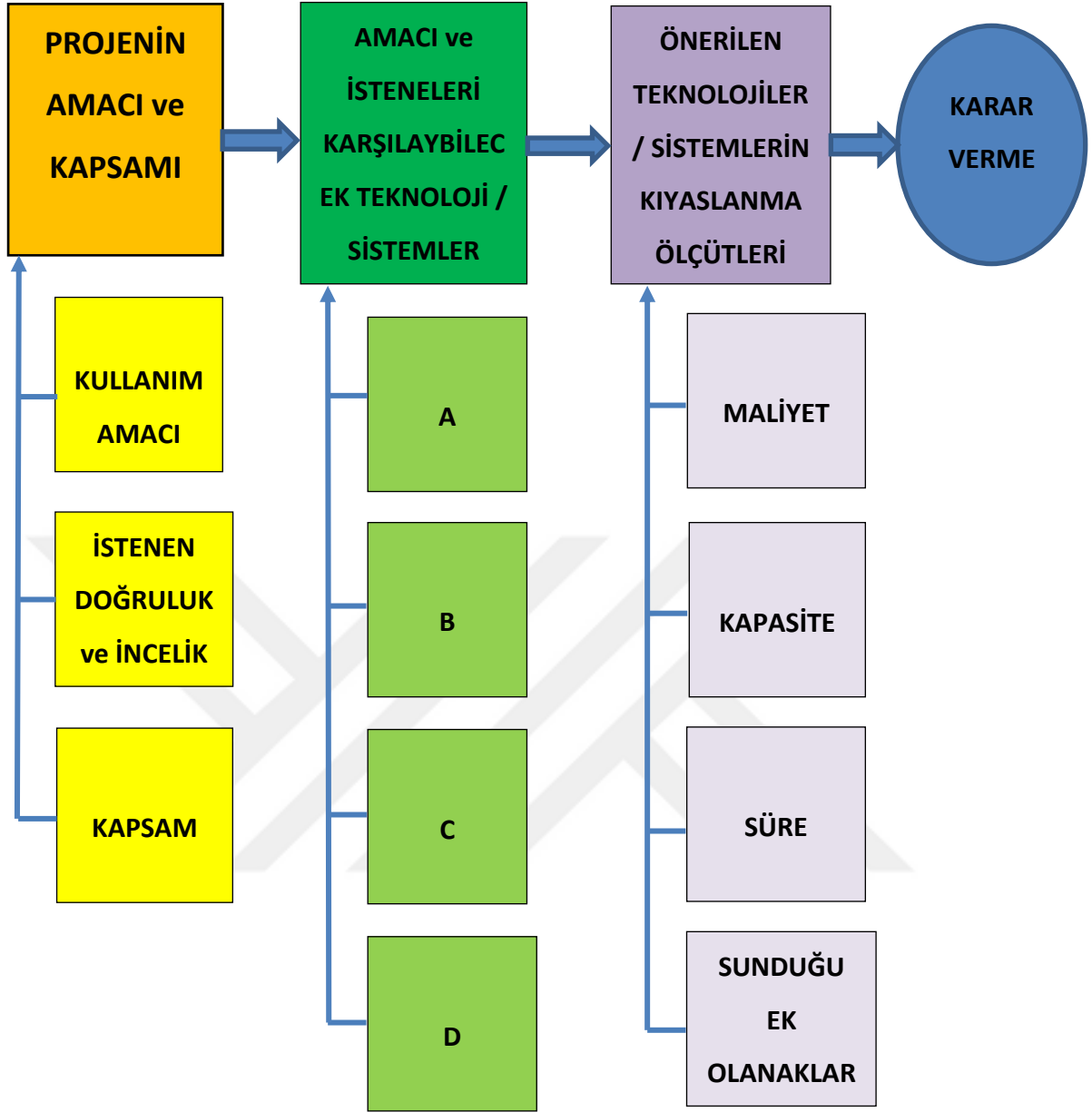
Harita üretimi projelerinde, karar vermede etkin olan temel ölçütler arasındaki karşılıklı ilişkileri, aşağıdaki somut örneklerle daha net bir şekilde açıklamakta yarar vardır:

- Örneğin, bir harita yapımı projesinde, kapasite açısından deneyimli ve uzman teknik personel görevlendirilmesi halinde, proje planlanandan daha kısa sürede tamamlanabilir; bu durum da hem maliyet tasarrufu sağlanmasına, hem de kaliteli veri üretimine yol açar. Tersine bir durumda ise, projede aynı sayıda yeni ve nispeten deneyimsiz personel görevlendirilmesi halinde, proje kapsamındaki verilerin ve haritaların üretimi daha uzun bir sürede, daha fazla maliyetle ve nispeten daha düşük kalitede gerçekleştirilmiş olur.

- Bir başka örnek de herhangi bir proje için hesaplanan bütçeden daha düşük bir bütçe ve maliyet öngörülür ve planlanırsa, bu durum uygulayıcı açısından daha düşük bir kapasite kullanımına neden olur. Bu durum da hem üretim süresinin artmasına, hem de daha düşük kalitede veri üretilmesine yol açar.
- Başka bir örnek: Personel ve alet kapasitesi arttırılırsa, beklenen veri kalitesinde, ancak daha kısa zaman süresi içerisinde bitirilmesi mümkün hale gelebilir ama proje maliyeti artar. Tersine bir durumda, personel ve alet kapasitesi daha düşük tutulduğunda, süre ve veri kalitesi açısından olumsuz sonuçlar doğar.
- Bir proje aynı personel ve alet kapasitesi kullanılarak (yani kapasite arttırımı yapılmadan), planlanandan daha kısa bir süre içerisinde tamamlanması istenirse, ya fazla mesai nedeniyle maliyet yükselir veya üretim daha düşük kalitede olur.

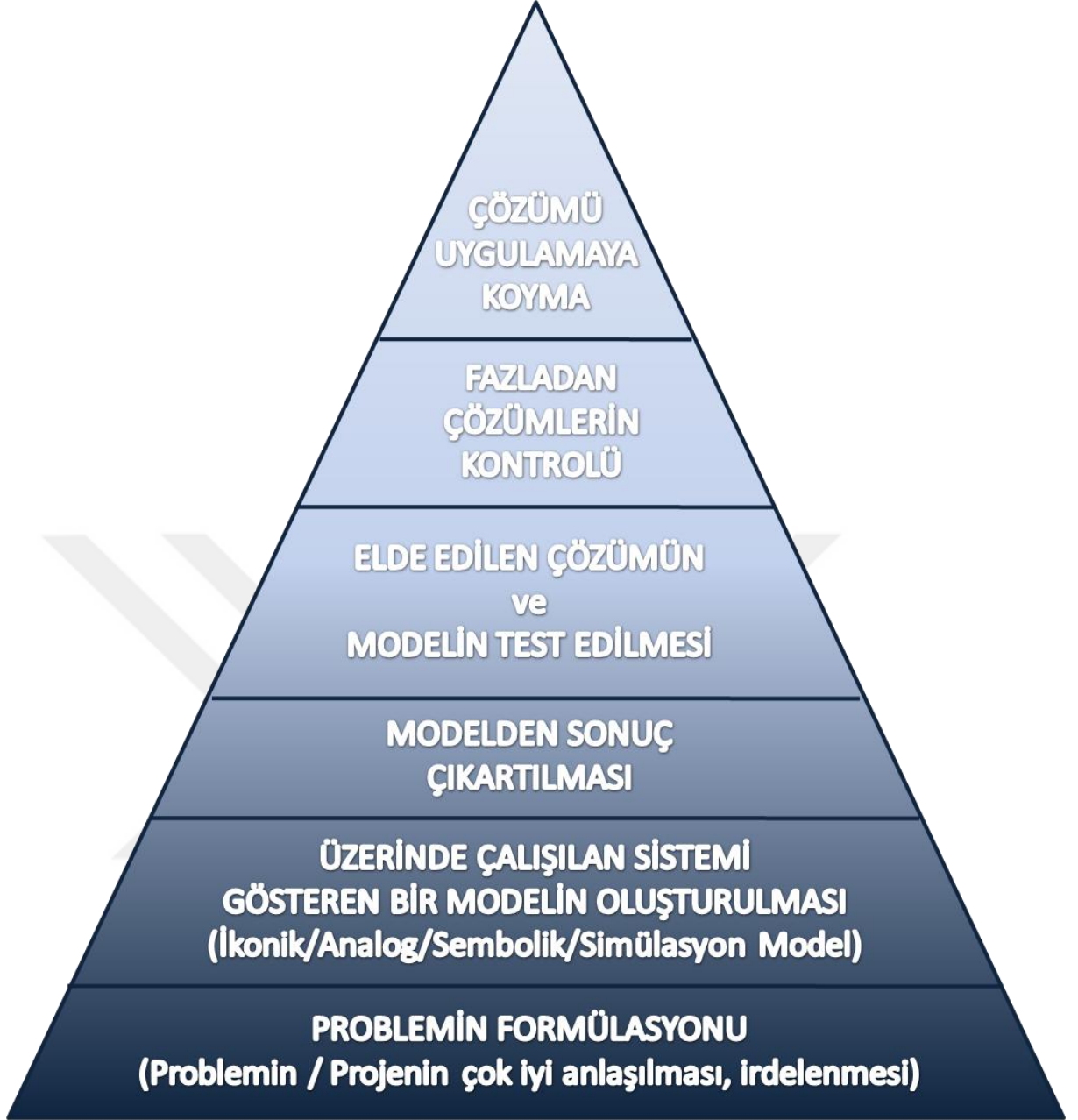
Bu örneklerin daha fazla çoğaltılması mümkündür. Görüldüğü gibi, harita üretimi ile ilgili bir projenin planlanmasında, hangi yöntemin (“**Fotogrametri**”, “**İHA Fotogrametrisi**”, “**LIDAR**” ya da “**Yersel Jeodezik Yöntem**” kullanılacağına karar vermek için burada belirtilen faktörlerin tümünü beraberce düşünmek ve ele almak, yalnızca bir kritere göre karar vermemek en doğru hareket tarzıdır. Proje ve planlamalarda, yalnızca maliyeti, yalnızca kapasiteyi, yalnızca süreyi ya da yalnızca veri kalitesini göz önüne alarak bir veri toplama ve harita üretimi yönteminin uygulanmasına karar verilmesi, sağlıklı sonuçların elde edilmesini önler.

Sonuç olarak mühendisin, gerçekleştireceği proje için incelik-süre-kapasite-maliyet bağıntısını derinlemesine incelemesi; bunların her biri için optimum çözümler araması ve bilimsel bir yaklaşımla karar vermesi gerekir. Bir harita/geomatik mühendisliği projesinde karar vermek için öncelikle amacın kesin olarak belirlenmesi ve istenen doğruluğun saptanması gerekir. Bundan sonra bunu sağlayan yöntemlerin/teknolojilerin maliyet ve süre bakımından incelenmesi ve kıyaslanması en akılcı yoldur (Uzel 2014).



Şekil 1.2: Haritalama projesinde karar verme süreci (Uzel 2014)

Nihai karar için Şekil 1.3'te gösterildiği gibi problemin (projenin) derinlemesine incelenip iyice anlaşılması ve irdelenmesi olarak tanımlanan problemin formülasyonu basamağından başlayarak karar verilmesi gerekir (Uzel 2014).



Şekil 1.3:Proje çözüm süreci (Uzel 2014)

1.3. Yöntem

Bu çalışmada ilk etapta, tümünden gelim yöntemiyle “fotogrametri”, “LIDAR”, “insansız hava aracı fotogrametrisi” kavramları ve bu kavramla ilişkili terimler, literatür araştırmasıyla sağlanan kaynaklardan yararlanılarak açıklanmıştır. Konu ile ilgili kavramsal bilgiler ise tezlerden, bilimsel makale ve kitaplardan edinilmiştir.

Fotogrametri ve LIDAR yöntemlerinin, doğruluk ve birim fiyat analizleri yapılarak karşılaştırılması ve elde edilen sonuçlarla, İHA yönteminin, doğruluk ve maliyet bakımından yaklaşımının ortaya konmasına ait kaynak araştırmaları yapılarak gerekli inceleme ve araştırmalar tamamlanmıştır. Ardından, belirtilen yöntemlere ait uygulamalar gerçekleştirilmiş, uygulamaların tamamlanmasını müteakiben sonuçlar analiz edilerek değerlendirilmiştir.

1.4. Kapsam

Bu tezi, başlangıçta verilen “Özet” ve “Önsöz” bölümlerinin ardından, yedi (7) ana bölümden oluşmaktadır. Her bölümde verilen detaylı bilgiler, özetle aşağıda belirtildiği gibidir:

Birinci Bölümde: Doktora tezinin içeriği ve konusu hakkında genel bilgiler verilmiş; çalışmanın ana amaçları ve hedefleri belirtilmiş; Fotogrametri, LIDAR ve İHA sistemleri çok özet olarak tanıtılmıştır. Yapılan çalışmanın ve hazırlanan tez metninin bütün bölümleri (7 bölüm) hakkında özet bilgiler sunulmuştur.

İkinci Bölümde: Fotogrametri yöntemi ve tekniğinin tanımı, teknik özellikleri, bileşenleri, temel prensibi ve dayandığı teknik, teorik ve matematiksel esasları ile yöntemin kullanım alanları hakkında genel bilgiler verilmiş; fotogrametrik yöntemle veri toplama ve harita üretiminde uygulanan ana işlem adımları ve iş akışları hakkında bilgiler aktarılmış; fotogrametrik yöntemle toplanan sayısal görüntüler, coğrafi veriler, yükseklik bilgileri, topografik vektör ve ortofoto haritalar vb. ürünler hakkında detaylı bilgiler takdim edilmiştir.

Üçüncü Bölümde: LIDAR yöntemi ve tekniğinin tanımı, teknik özellikleri, bileşenleri, temel prensibi ve dayandığı teorik ve matematiksel esasları ile yöntemin kullanım alanları hakkında genel bilgiler verilmiş; LIDAR yöntemiyle veri toplama ve sayısal veri üretiminde uygulanan ana işlem adımları ve iş akışları hakkında bilgiler aktarılmış; LIDAR yöntemiyle toplanan nokta bulutu, sayısal yükseklik modeli ve sayısal görüntü verileri hakkında bilgiler sunulmuştur.

Dördüncü Bölümde: İHA fotogrametrisi yöntemi ve tekniğinin tanımı, teknik özellikleri, bileşenleri, temel prensibi ve dayandığı teorik ve matematiksel esasları ile yöntemin kullanım alanları hakkında genel bilgiler verilmiş; İHA yöntemiyle veri toplama ve harita üretiminde uygulanan ana işlem adımları ve iş akışları hakkında bilgiler aktarılmış; İHA yöntemiyle toplanan sayısal görüntüler, coğrafi veriler, nokta bulutu ve sayısal yükseklik modeli verileri, topografik vektör ve ortofoto haritalar hakkında bilgiler takdim edilmiştir.

Beşinci Bölümde: Doktora tezi kapsamında, fotogrametrik yöntemlerle, LIDAR tekniği ve İHA sistemleriyle yapılan sayısal uygulamalar aktarılmış; bu amaçla, her üç yöntemin uygulanmasında yararlanılan çalışma alanları (grafik olarak); kullanılan alet, ekipman, donanım ve yazılımlar; yararlanılan coğrafi veriler, haritalar ve görüntüler; fotogrametri, LIDAR ve İHA yöntemi ile gerçekleştirilen sayısal uygulamalar ve her üç yöntemden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve analizine yönelik bilgiler verilmiştir.

Altıncı Bölümde: Fotogrametri, LIDAR ve İHA yöntemlerinde kullanılan girdi verileri, üç yöntemin dayandığı teorik, teknik ve matematiksel esaslar, kullanılan alet, donanım ve yazılımlar, uygulanan temel işlem adımları ve toplanan veriler; elde edilen sonuç ürünler kapsamında bu yöntemlerle alınan görüntüler, üretilen coğrafi veriler, ortofoto ve vektör haritalar; elde edilen doğruluk, hassasiyet, maliyet, birim-fiyat analizi, zaman vb. kriterlere göre mukayese edilmiş; elde edilen sonuçlar tablolar halinde gösterilmiştir.

Yedinci Bölümde: Fotogrametri, LIDAR ve İHA yöntemleri ile yapılan sayısal uygulamalardan elde edilen sonuçlar analiz edilerek değerlendirilmiş, yararlı ve lüzumlu olduğu görülenler sonuç ve öneriler başlığı altında kullanıcılara takdim edilmiştir.

2. FOTOGRAMETRİ YÖNTEMİ İLE VERİ TOPLAMA

Uluslararası Kartografya Birliği'nin tanımına göre harita, belirlenmiş bir kullanım amacı için gerçek doğa (haritası yapılan bölge) ile ilişkili seçilmiş bilgilerin aktarımını yapan bütüncül yapıda görsel, dokunsal ya da sayısal kartografik üründür. Harita Genel Komutanlığı'nın tanımına göre harita, yeryüzünün tamamının veya bir bölümünün belli bir ölçekte ve projeksiyon sistemi kullanılarak bir yüzey üzerine izdüşürülmesi, görüntü ise objelerden yansıyan enerjinin, sayısal olarak bir manyetik bant üzerine kaydedilip bir görüntü işleme sistemi (image processing system) yardımıyla, ya baskı olarak ya da monitör üzerinde görünür duruma dönüştürülmesine verilen isimdir. Haritalar ölçekleri ve sahip oldukları vektörel veriler sayesinde üzerinden direk ölçüm yapılabilen ve içeriğinde barındırdığı verileri öznelikleriyle birlikte sunabilen sayısal kartografik ürünlerdir. Görüntüler sayısallaştırılmadıkları sürece vektör verilere dönüştürülemezler.

Muhtelif proje ve planlamalarda ihtiyaç duyulan temel haritalar ve harita bilgilerini, en genel anlamda aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- Görüntü Verileri;
 - Hava fotoğrafları.
 - Uydu görüntüleri.
 - Radar verileri.
 - Taranmış sayısal veriler.
 - Orto-görüntüler ve foto-mozaik görüntüleri, vb.
- Topografik Haritalar (Temel / Altlık Haritalar);
 - Vektör haritalar.
 - Ortofoto haritalar.
 - Eş yükseklik eğrisi haritaları.
 - Eğim, kabartma, gölgeli, rölyef, anaglif haritalar, vb.

- Yükseklik Bilgileri;
 - Sayısal Arazi Modeli (SAM, DTM: Digital Terrain Model) verileri.
 - Sayısal Yükseklik Modeli (SYM, DEM: Digital Elevation Model) verileri.
 - Sayısal Yüzey Modeli (YM, DSM: Digital Surface Model) verileri.
 - Düzensiz Üçgenleme Modeli (TIN: Triangulated Irregular Network) verileri.
 - Eş Yükseklik Eğrisi (EYE, CON: Contour Lines) verileri, vb.
- Jeodezik Veriler;
 - Yer Kontrol Noktaları (YKN) ve Poligon noktaları.
 - Ana ve Ara Nivelman Noktaları.
 - Gravite ve Manyetik değerleri.
 - GPS ölçüleri, vb.
- Diğer Coğrafi Veriler;
 - Fotogrametrik Nirengi (FN) ölçüm verileri ve blok dengeleme sonuçları.
 - Koordinat değerleri, datum dönüşümü parametreleri, vb.

Topografik vektör ve ortofoto haritalar, coğrafi veriler, detay ve yükseklik bilgileri, detaylara ilişkin öznelik bilgileri ve sözel veriler, arazi topografyasını gösteren ve kullanıcılara hızlı biçimde sunmaya olanak sağlayan temel veri kaynaklarıdır. Kamu kuruluşları, belediyeler ve özel sektör kuruluşlarının kalkınma amaçlı, askeri kuruluşların savunma amaçlı projelerinde; sözü edilen bu coğrafi bilgiler, sayısal vektör ve ortofoto haritalar ile harita bilgileri, temel altlık veriler olarak önemli yer tutmakta, önemli işlevleri yerine getirmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Haritaların en çok kullanıldığı alan planlama alanıdır. Bunun sebebi 3194 sayılı İmar Kanunu ve Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliğine göre halihazır haritaların plan altlığı olarak kullanılması zorunluluğudur. 1/100.000 ölçekten 1/1000 ölçeğe kadar tasdikli halihazır haritalar üzerine Çevre Düzeni Planları, Nazım İmar Planları ve Uygulama İmar Planları yapılır.

Teknolojik gelişmelere paralel olarak fotogrametrik sistemler ve algılayıcılar, uzaktan algılama ve görüntüleme sistemleri ile bu sistemlerde kullanılan taşıyıcı platformlar da hızlı bir şekilde değişmekte ve gelişmektedir. Günümüzde uçak ve uydular gibi taşıyıcı platformlara yerleştirilen yüksek çözünürlüklü sayısal kamera, lazer tarayıcı ve algılayıcılar

yardımla yeryüzüne ait kaliteli ve yüksek çözünürlüğe sahip görüntülerin elde edilmesi olanaklı hale gelmiştir.

Fotogrametrik yöntem; topoğrafyaya ilişkin konumsal coğrafi verilerin (spatial data) toplanmasında, sayısal yükseklik bilgilerinin elde edilmesinde, farklı ölçeklerde topografik vektör ve ortofoto haritaların üretilmesinde kullanılan en önemli yöntemlerden birisidir.

2.1. Fotogrametri'nin Tanımı, Özellikleri ve Kullanım Alanları

ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing: Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği) teşkilatının tanımına göre **fotogrametri**, fotografik görüntülerin ve elektromanyetik enerjinin kayıt, ölçme ve yorumlanması sonucunda, fiziksel cisimler ve yeryüzü detayları ile bunların çevresine ilişkin bilgileri toplayan ve toplanan bilgilerin analiz edilmesini sağlayan bir tekniktir.

Diğer daha ayrıntılı bir tanımla fotogrametri, ilk bölümde de belirtildiği gibi, özel kameralarla yerden ve havadan alınan fotoğraflar üzerinde yapılan çeşitli ölçme, değerlendirme, yorumlama ve analiz işlemleriyle arazi yüzeyi hakkında güvenilir bilgiler elde etmeye, yeryüzünün topografik yapısına ilişkin doğal ve yapay detaylara ait üç boyutlu grafik coğrafi bilgileri (geometrik, mekânsal veri) ve öznitelik bilgilerini (semantik, non-grafik veri) çıkarmaya ve muhtelif ölçeklerde topografik haritaları üretmeye yarayan bir ölçme, değerlendirme ve yorumlama tekniğidir.

Tarihsel süreç içerisinde, fotogrametri tekniğinin gelişme evrelerini, değerlendirme yöntemleri de dikkate alınarak, beş grupta toplamak mümkündür:

- Plançete Fotogrametrisi: 1880-1940 arası, Plançete, alidat nivelatris, alidat aletleri ile,
- Analog Fotogrametri: 1930-1980 arası, Analog kıymetlendirme aletleri ve sistemleri ile,
- Yarı Analitik Fotogrametri: 1970-1990 arası, Sayısal çıkışlı analog alet ve sistemler ile,
- Analitik Fotogrametri: 1980-2000; Analitik kıymetlendirme aletleri, ortofoto sistemleri ile,

- Sayısal (Dijital) Fotogrametri: 2000 sonrası, Sayısal kıymetlendirme aletleri ile uygulanır.

Resim çekilen yerin konumuna ve kullanılan kameraya göre fotogrametri yöntemleri:

- a) Yersel Fotogrametri (Terrestrial Photogrammetry): Yerden alınan resimlerle uygulanır.
- b) Hava Fotogrametrisi (Aerial Photogrammetry): Havadan alınan resimlerle uygulanır (Arslanbek, 4).

Kullanılan resim sayısına, monoskopi ve stereoskopi durumuna göre fotogrametri yöntemleri:

- a) Tek Resim Fotogrametrisi (Mono Photogrammetry): Tek resim yataylamasına dayanır.
- b) Çift Resim Fotogrametrisi (Stereo Photogrammetry): Üç boyutlu model oluşumuna dayanır.

Bunların dışında, uygulama alanlarına, uygulanan resim ölçeklerine, kamera ile obje yüzeyleri arasındaki mesafelere göre de fotogrametriyi farklı şekillerde sınıflandırmak olanaklıdır.

Fotogrametri yöntemi; bindirmeli veya bindirmesiz olarak çekilen tek resimlerle (monoscopic/ monocular photogrammetry) uygulandığı gibi, uygulamada genellikle farklı ölçeklerde topografik vektör ve ortofoto haritaların üretiminde, bindirmeli olarak çekilmiş hava fotoğraflarından oluşturulan stereo modellerle ve stereo fotogrametri (stereoscopic / binocular photogrammetry) tekniği ile de uygulanır.

Üç boyutlu fotogrametride kullanılan değerlendirme (kıymetlendirme) alet ve sistemlerinde, aşağıda belirtilen stereoskopik görüş elde etme yöntemleri uygulanır:

- a) Kesişen Göz Eksenleri Yöntemi: Normal bir çift göz ile stereoskopik görme prensibidir.
- b) Paralel Göz Eksenleri Yöntemi: Işın yollarını ayırarak stereoskopik görme tekniğidir.

- c) Konvergent Göz Eksenleri Yöntemi: Üç farklı teknikle stereoskopik görüş uygulanabilir;
- (1) Anaglif Yöntem: İki bütünler renkteki filtrelerle görüntülerin ayrılmasıdır.
 - (2) Polarizasyon Yöntemi: Polarize süzgeçlerle görüntülerin ayrılması işlemidir.
 - (3) Kırpma Yöntemi: Senkronizasyon işlemi ile görüntülerin ayrılması tekniğidir.

2.2. Fotogrametrinin Temel Prensipleri, Bileşenleri, Esasları

Fotogrametri yönteminin dayandığı temel esaslar dört ana başlıkta toplanır:

- 1) Matematiksel Temeller: Merkezi / perspektif / projektif izdüşüm esaslarını içerir.
- 2) Optik Temeller: Kamera, mercek, optik, odak uzaklığı, ışık kavramı vb. hususları içerir.
- 3) Fotografik Temeller: Işık, fotoğraf, sayısal görüntü, piksel vb. kavramları içerir.
- 4) Fotogrametrik Temeller: Monoskopi, stereoskopi, ölçü markası vb. ayrıntıları içerir.

Fotogrametrik yöntem ve işlemlerin dayandığı başlıca matematiksel temeller ve esaslar şunlardır:

- Merkezi / Perspektif / Projektif İzdüşüm (Central / Perspective / Projective Projection): Yeryüzünden, arazi yüzeyindeki objelerden, cisimlerden ve detaylardan gelen ışınların tek bir objektif merkezinden (izdüşüm merkezi) geçerek görüntü oluşmasına olanak sağlayan, fotoğraf ve sayısal görüntülerin temelini oluşturan izdüşüm tekniğidir.
- Yatay ve Düşey Datum (Horizontal and Vertical Datum): Topografik yeryüzünün haritada gösterilmesine olanak sağlayan, konum ve yüksekliklere ilişkin temel referans yüzeyleridir. Jeodezi ve fotogrametride, farklı özelliklere sahip çok sayıda uluslararası yatay ve düşey datumlar, referans yüzeyleri ve elipsoidler kullanılmaktadır.
- İki ve Üç Boyutlu Koordinat Sistemleri (2D & 3D Coordinate Systems): Fotogrametrik uygulamalarda kullanılan, fotoğraf, piksel, görüntü (image), model (stereo model), kolon (şerit), alet taşıyıcı, alet (aletsel), arazi (yer, uzay, cisim, obje) koordinat sistemleri vb. şekilde kullanılan iki ya da üç boyutlu sistemlerdir.
- İki ve Üç Boyutlu Koordinat Dönüşümleri (2D & 3D Coordinate Transformations): Fotogrametrik uygulamalarda kullanılan iki ve üç boyutlu koordinat sistemleri arasındaki dönüşümleri yapmaya olanak sağlayan Affin, Helmert, Projektif, Benzerlik Dönüşümü vb. matematiksel dönüşüm eşitlikleridir.

- Datum Dönüşümleri (Datum Transformation): Önceden belirlenmiş olan dönüşüm parametreleri ile farklı yatay ya da dişey datumlar (referans yüzeyleri) arasında gerekli dönüşümleri yapmaya olanak sağlayan matematiksel dönüşüm eşitlikleridir.
- Uzaysal Çift Nokta Geriden Kestirmesi (Space Resection): Üç boyutlu fotogramride, her bir resmin 6 elemanı olmak üzere, bir resim çiftinin toplam 12 adet dış yöneltme elemanının (parametresi, bilinmeyeni) aynı anda belirlenmesi ve çözümlenmesi işlemidir.
- Doğrusallık / Kolinarite / Eşdoğruluk / Doğrudaşlık Koşulu (Colinearity Condition): Arazi noktası (P), izdüşüm merkezi / objektif merkezi (O) ve resim / görüntü noktası (P')'ndan geçen POP' izdüşüm ışınının bir doğru şeklinde olması; diğer bir deyişle, P, O, P' noktalarının aynı doğru üzerinde bulunması, matematiksel anlamda bu noktalara ait P (X,Y,Z), P' (x',y',-c) ve O (X₀,Y₀,Z₀) arazi ve resim koordinatlarının, bir doğru denklemini sağlaması koşuludur.
- Düzlemsellik / Koplanarite / Eşdüzlemlilik / Düzlemdeşlik Koşulu (Coplanarity Condition): Herhangi bir arazi / obje noktası (P) ile bu noktaya ait, bindirmeli, ardışık bir çift resimdeki izdüşümleri olan P' ve P'' noktalarından geçen eşlenik (eş, komolog, karşılıklı) ışınların aykırı doğrular durumunda olmaması ve aynı düzlemde bulunması; P arazi noktasında dişey paralaksın mevcut olmaması (P_y = 0 olması); matematiksel anlamda, bu eşlenik ışınlara ait P (X,Y,Z), P' (x',y',-c), O' (X₀₁,Y₀₁,Z₀₁), P'' (x'',y'',-c), O'' (X₀₂,Y₀₂,Z₀₂) arazi ve resim koordinatlarının, bir düzlem denklemini sağlaması koşuludur.
- En Küçük Kareler Yöntemi (EKKY) Dengelemesi (Least Squares Adjustment, LSA): Jeodezik ve fotogrametrik ölçümlerle gerçekleştirilen dengeleme ve hata hesabında, ölçümlere ilişkin hataların karelerinin toplamının minimum (en küçük) olması koşuludur. Özetle; **(VV) = min.** ya da ağırlıklar hesaba katılırsa, **(PVV) = min.** olması koşuludur.
- Otomatik Kaba Hata Tespiti (Gross Errors / Blunders Detection, Robust Estimation): Jeodezik ve fotogrametrik ölçülerle yapılan hata hesabı ve dengelemede, ölçümlerde mevcut kaba hataların otomatik olarak tespit edilmesi yöntemidir.
- Görüntü / Resim Koordinatlandırması (Image / Photo Geo-registration): Tek resim fotogrametrisinde, tek resim ya da görüntünün yeteri sayıda, homojen olarak dağılmış Yer Kontrol Noktaları (YKN) yardımıyla yaklaşık olarak koordinatlandırılması işlemidir.

- Görüntü / Resim Yersel Konumlama, Referanslama (Image Geo-referencing): Tek resim fotogrametrisinde, tek bir resim ya da görüntünün yeteri sayıda ve homojen dağılmış Yer Kontrol Noktaları (YKN) yardımıyla koordinatlandırılarak, gerçek yeryüzüne uygun şekilde referanslanması ve arazinin topografyası ile uyumlu hale getirilmesi işlemidir.
- Görüntü / Ortofoto Yataylaması (Image Ortho-rectification): Merkezi izdüşüm tekniğiyle alınmış resimlerdeki eğiklik (tilt) ve dönüklük (rotation) etkileri ile arazideki yükseklik farklarından meydana gelen hataların ve rölyef kaymalarının (relief displacement) giderilmesi; kısaca orijinal ham görüntünün yataylanması için yapılan işlemdir.
- İç, Karşılıklı ve Mutlak Yönelme (Interior, Relative and Absolute Orientation): Üç boyutlu fotogrametride, bindirmeli bir resim çiftinden arazinin benzeri gerçek stereo model elde edilmesine olanak sağlayan, üç aşamalı olarak uygulanan yönelme (ayar) işlemleridir.
- Paralaks Denklemi (Parallax Equation): Üç boyutlu fotogrametride, yatay ve düşey paralaks etkilerinden arındırılmış (paralakssız), uzayda rastgele konumda olan üç boyutlu bir stereo model oluşumu için gerekli olan beş adet dış yönelme bilinmeyeninin (5 karşılıklı yönelme elemanı) çözümüne olanak sağlayan matematiksel eşitliklerdir.
- Stereo Model Oluşumu (Stereo Model Restitution): Üç boyutlu fotogrametride, bindirmeli bir resim çiftinden araziye ilişkin gerçek, paralakssız, ölçeklendirilmiş, koordinatlandırılmış, üzerinden arazi detaylarına ilişkin konum ve yükseklik bilgileri alınabilen üç boyutlu (stereo) modelin elde edilmesi işlemidir.
- Enterpolasyon ve Örnekleme (Interpolation and Resampling): Sayısal görüntülerle yapılan uygulamalarda; sayısal yükseklik modeli verilerinden yararlanarak elde edilen sayısal yüzey modeli üzerinde rastgele seçilen herhangi bir noktanın yüksekliğini komşu en yakın yükseklik noktalarından; sayısal ortofoto üretiminde ise herhangi bir pikselin değerini çevre komşu piksellerden kestirme yoluyla hesaplamaya yarayan algoritmadır.

Sayısal (dijital) fotogrametrinin dayandığı ilave temel kavramlar ve prensipler ise şunlardır:

- Piksel (Pixel): Sayısal (dijital) görüntünün, grafik ve matematiksel olarak tanımlanabilen, algılanabilen ve ayırt edilebilen, yaklaşık kare biçimindeki en küçük elemanıdır.
- Yer Örnekleme Aralığı (GSD: Ground Sampling Distance): Sayısal (dijital) bir görüntünün en küçük elemanı olan pikselin arazideki boyutu ve karşılığı olup, GSD'nin de yaklaşık kare biçiminde olduğunu varsaymak mümkündür.
- Görüntü / Sayısal Görüntü (Image / Digital Image): Sayısal kamera yardımıyla doğrudan alınan ya da analog formdaki bir görüntünün sayısal hale dönüştürülmesi yoluyla elde edilen, piksellerin birleşmesinden oluşan fotogrametrik bir veri kaynağıdır.
- Görüntü / Sayısal Görüntü Ayırma Gücü (Image / Digital Image Resolution): Sayısal görüntülerin, konumsal (spatial), spektral (spectral), radyometrik (radiometric) ve zamansal (temporal) çözünürlüklerini ve duyarlık ölçütlerini ortaya koyan bir özelliktir.
- Epipolar Geometri (Epipolar Geometry): Stereo fotogrametride, ardışık bir çift resimde bulunan aynı detay (obje, arazi) noktasına ait eşlenik (eş, homolog) noktalar ve resimlerin izdüşüm merkezlerini içeren epipolar doğrular ile epipolar düzlemin oluşturduğu geometrik bir şekildir (Arslanbek 71).
- Görüntü Eşleme / Sayısal Görüntü Eşleme (Image Matching / Digital Image Matching): Birbiriyle komşu ardışık sayısal görüntülerde, bir görüntüde ölçülen herhangi bir pikselin eşleniğinin (eş, benzer) çeşitli matematiksel işlemler ve istatistiksel yöntemlerle diğer görüntüde veya görüntülerde otomatik olarak bulunması işlemidir (Arslanbek 72).
- Görüntü Piramidi (Image Pyramid): Büyük boyutlu sayısal görüntü verilerinin bilgisayar ortamında daha kolay ve hızlı biçimde görüntülenmesini sağlamak amacıyla, orijinal (tam) yüksek çözünürlükten başlayarak düşük çözünürlüğe doğru farklı çözünürlük derecelerinde, adeta piramite benzer bir yapıda görüntülenmesi işlemidir. Bu şekilde elde edilen görüntülerle görüntü eşlemeye en düşük çözünürlük düzeyinden başlanarak tam çözünürlüklü görüntü seviyesine kadar işleme devam edilir.
- Düşük / İndirgenmiş Çözünürlüklü Veri Setleri (RRDS: Reduced Resolution Data Set): Orijinal (tam) ve yüksek çözünürlüğe sahip sayısal bir görüntüye ait görüntü

piramidi oluşturulmasında uygulanan ve daha düşük çözünürlük düzeylerinde görüntüler elde etmeye yarayan en basit görüntü piramidi elde etme yöntemidir.

- Görüntü İşleme / Sayısal Görüntü İşleme (Image Processing / Digital Image Processing): Orijinal sayısal görüntülerde çeşitli matematiksel ve istatistiksel yöntemlerle, histogram, renk, ton, kontrastlık dengelemesi vb. işlemlerle uygulanan, görüntüler üzerinde çeşitli bilgiler elde etmeye, görüntünün özelliklerini ve içeriğini ortaya çıkarmaya yarayan çeşitli sayısal görüntü uygulamalarıdır.
- Görüntü Zenginleştirme (Image Enhancement): Sayısal görüntüler üzerinde, görüntüyü daha kaliteli, net, anlaşılır, yorumlanabilir ve kolay kullanılabilir hale getirmek için uygulanan; görüntü parlaklığını dengeleme (brightness adjustment), renk ve ton farklılıklarını giderme (color and tone balancing), görüntü kontrastlığını kontrol etme ve giderme (contrast adjustment), veri ölçekleme (data scaling), histogram dengelemesi (histogram equalization) vb. matematiksel ve istatistiksel işlemlerdir.
- İç ve Dış Yöneltilme (Interior & Exterior Orientation): Tek resim fotogrametrisinde, tek bir resmin 3 adet iç yöneltilme ve 6 adet dış yöneltilme elemanının çözümlenmesi; çift resim fotogrametrisinde ise, bir çift resmin 6 adet iç yöneltilme ve 12 adet dış yöneltilme elemanının birlikte çözümlenmesi¹; bu şekilde, dijital fotogrametri yöntemi ve tekniğiyle, resim çekimi sırasında oluşan iç demet ve dış demet probleminin tek aşamada çözümünün sağlanması işlemleridir.
- Orto-görüntü Örnekleme (Orthophoto / Ortho-image Resampling): Sayısal ortofoto görüntüler üzerinde herhangi bir pikselin değerinin, örnekleme ve interpolasyon yöntemiyle bilinen çevre (komşu) piksellerden hesaplanması işlemidir.

Fotogrametride kullanılan iki ve üç boyutlu (2D ve 3D) koordinat sistemleri şunlardır:

- Resim Koordinat Sistemi: 2D (x',y'), (x,y); 3D ($x',y',-c$), (x,y,z) (Photo Coord. System).
- Piksel Koordinat Sistemi: 2D (c, r), (x_c, y_r) (Pixel Coordinate System: Column x Row).
- Görüntü Koordinat Sistemi: 2D (x_g, y_g); 3D (x_g, y_g, z_g) (Image Coordinate System).

¹Özbalımcı, Mahmut., *Fotogrametrik Yöntemle Ortofoto Harita Üretiminin Temel Esasları, Ortofotonun Yararları ve Kullanım Alanları*, Ankara: Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Sempozyumu (TUFUAB), 2007.

- Model Koordinat Sistemi: 3D (x_m, y_m, z_m) (Model / Stereo Model Coordinate System).
- Kolon / Şerit Koordinat Sistemi: 2D (x_k, y_k), 3D (x_k, y_k, z_k) (Strip Coordinate System).
- Alet Taşıyıcı Koordinat Sistemi: 2D (x_L, y_L), (x_R, y_R) (Carrier Coordinate System).
- Alet / Aletsel Koordinat Sistemi: 3D (X_A, Y_A, Z_A) (Instrumental Coordinate System).
- Arazi (Yer, Uzay, Cisim) Koordinat Sistemi: 3D (X, Y, Z) (Ground Coordinate System).
- Geosentrik / Toposentrik Koordinat Sistemi (Geocentric / Topocentric Coord. System).

Fotogrametri bilimi ve tekniğinin temel özellikleri ve uygulama esasları şöyle özetlenebilir:

- Fotogrametri bilimi ve tekniğinin dayandığı temeller; Matematiksel esaslar (merkezî izdüşüm), Optik esaslar, Fotografik esaslar ve Fotogrametrik esaslardan oluşur.
- Hava fotoğrafları; elektromanyetik spektrumun çoğunlukla 0,4-0,7 μm arasında değişen dalga boyuna sahip “Görünür/Görünen Işık (Visible Light)” bandında ve kısmen de “Yansıyan Kızılötesi (Reflected Infrared)” bandında alınan görüntülerdir. Bu nedenle, fotogrametrik yöntemler çoğunlukla elektromanyetik spektrumun insan gözüyle algılanabilen “Görünür Işık” dalga boyundaki dar bir bant aralığıyla ilgilidir.
- Fotogrametrik çalışmalarda kullanılan hava fotoğrafları; tek renkli (pankromatik, monokrom, siyah / beyaz), üç renkli (Colored, RGB: Red-Gren-Blue, Kırmızı-Mavi-Yeşil) ve ilave olarak da yansıyan kızılötesi (reflected infrared, IR) görüntülerdir.
- Fotogrametrik veri toplama ve harita üretiminde kullanılan hava fotoğrafları, çekildikleri anda doğanın ve fiziksel yeryüzünün gerçek durumunu yansıtır. Bu veri kaynaklarından üretilmiş ya da türetilmiş topoğrafik vektör haritaların ve diğer verilerin belirtilen özelliklerin tamamını taşımadığı, hava fotoğraflarının diğer veri kaynaklarına oranla daha doğal, orijinal, ham, doğru ve güvenilir veri kaynakları olduğu söylenebilir.
- Fotogrametrik veri toplama işlemleri genellikle yerden ve havadan alınan resimlerle gerçekleştirildiği için fotogrametri, bir yakın mesafe uygulaması olarak nitelendirilebilir.
- Yersel ve hava fotoğraflarının çekiminde, iç yöneltme elemanları hassas olarak bilinen, belirli peryotlarla kalibrasyonu yapılmış olan, görüntü yürümesini düzeltici sistemlere (FMC: Forward Motion Compensation, İleri Bindirme Düzenleyicisi)

sahip “Metrik Kameralar” kullanılır. Günümüzde fotoğraf çekimi amacıyla en fazla başvurulan kameralar sayısal (dijital) kameralardır.

- Sayılan özellikleri nedeniyle, hava fotoğrafları daha dar bir kullanım çeşitliliğine sahiptir. Bu açıdan, ancak belirli amaç ve hizmetlerde, örneğin 1/25.000 ve daha büyük ölçekli topoğrafik vektör ve ortofoto haritaların üretimi ve revizyonunda oldukça yaygın biçimde kullanılır. Kısmen fotoğrafik yorumlama ve analiz çalışmalarında da kullanılabilir.
- Hava fotoğrafı alımında genellikle fotoğraf ölçeği sınırlaması söz konusudur. Hava fotoğrafı çekiminde kullanılan kameraların odak uzaklığına, uçakların maksimum uçuş yüksekliğine, kamera ve uçağın teknik özelliklerine bağlı olarak en büyük 1/3.000, en küçük 1/40.000 olmak üzere bu aralıkta orta ve büyük ölçekli hava fotoğraflarının alımı olanaklıdır. Sayılan nedenlerle, fotogrametrik yöntemler daha ziyade 1/500-1/25.000 arası orta ve büyük ölçekli topoğrafik vektör ve ortofoto haritaların üretiminde kullanılır.
- Uygulamalarda, hava fotoğraflarının zamansal çözünürlüğü (temporal resolution) ve yineleme sıklığının (repetition period) nispeten düşük olduğu, yani daha uzun zaman aralıklarında alındığı söylenebilir.
- Geniş alanlara ait (örneğin, 1.000 km²'den büyük) 1/25.000 ve daha büyük ölçekli topoğrafik haritaların üretimi ve revizyonu ile coğrafi verilerin toplamasında, fotogrametrik yöntemlerin ve hava fotoğraflarının ekonomik ve maliyet etkin olduğu, ancak birkaç fotoğraftan veya 2–3 paftadan oluşan küçük alanların haritalanmasında ise oldukça maliyetli, zahmetli ve zaman alıcı olduğu değerlendirilmektedir.

2.3. Fotogrametrik Yöntemde Ana İşlem Adımları

Fotogrametrik yöntemler ve amaca uygun olarak bindirmeli (stereo) ve bindirmesiz (mono) çekilen sayısal hava fotoğrafları; arazi detayları, detaylara ait öznitelik bilgileri ve eş yükseklik eğrilerinden (EYE) oluşan sayısal vektör haritaların üretimi, revizyonu ve güncellenmesi, Sayısal Arazi Modeli (SAM, DTM), Sayısal Yükseklik Modeli (SYM, DEM), Sayısal Yüzey Modeli (SYzM, DSM), TIN-Düzensiz Üçgenleme Modeli vb. sayısal yükseklik verilerinin toplanması, toplanan raster ve vektör verilerle üç boyutlu modelleme ve simülasyon çalışmalarının yapılması, orto-rektifiye edilmiş ve yataylanmış ortofoto görüntülerin (registered and rectified orthophoto images) üretimi, ortofotoların birleştirilmesiyle foto-mozaik verilerin üretimi, topoğrafik yüzey üzerinde zamanla meydana

gelen değişikliklerin tespit edilmesi vb. uygulamalarda yaygın kullanılmaktadır. Fotogrametrik yöntemle veri toplama ve harita üretiminde uygulanan işlem adımları ve tipik bir iş akışı, aşağıda ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

2.3.1. Planlama ve Hazırlık İşlemleri (Planning and Preparation Works)

Fotogrametrik yöntemle veri toplama ve harita üretiminin ilk aşaması fotogrametrik planlama ve görev hazırlama faaliyetleridir. Bu kapsamda; proje ile ilgili tüm bilgiler bir araya getirilir, hava fotoğrafı çekimi yapılacak iş bölgesinin sınırları grafik olarak sayısal ortamda gösterilir, üretimi yapılacak harita ölçeğine göre pafta taksimatları hazırlanır. Belirlenen harita ölçeğine uygun olarak, ideal ve en uygun resim ölçeği ve uçuş yüksekliğinin tespiti, arazideki yer örnekleme mesafesinin (GSD: Ground Sampling Distance) belirlenmesi, işe uygun sayısal kameranın ve uçak tipinin seçimi, kullanılan kameranın kalibrasyon raporunun temin edilmesi vb. işlemler bu safhada gerçekleştirilir.

Bu aşamada dikkat edilmesi gereken önemli hususlar ve uygulanması gereken temel prensipler; yapılacak işe en uygun ideal yer örnekleme mesafesinin tespiti ve istenen GSD'yi sağlayabilen, uygun piksel boyutlarına, odak uzaklığına ve görüntü formatına sahip en uygun sayısal / dijital kameranın seçimidir.

Sayısal görüntü alımı (fotoğraf çekimi) amacıyla uygulamalarda sıklıkla kullanılan farklı kameralar şunlardır:

- Çerçeve (Frame) kameralar,
- Sayısal (Digital with CCD) kameralar,
- Video (Video with CCD) kameralar,
- Metrik olmayan (Non-metric) kameralar,
- Jenerik Push-Broom algılayıcılar (SPOT, IRS vb.).

2.3.2. Uçuş Planı Hazırlama (Flight Planning)

Fotogrametrik yöntemle veri toplama ve harita üretiminde, uçuş planları hazırlanırken dikkate alınması gereken husus, Yer Kontrol Noktaları (YKN)'nın sayısı, dağılımı ve üretim yöntemi olup, tarihsel gelişme süreci içerisinde kullanılan YKN sıklaştırma yöntemleri şunlardır:

- a. Havuz Yöntemi: Eski ve terkedilmiş bir yöntem olup, çok sayıda YKN tesisi gereklidir.
- b. Dizi Yöntemi: Eski ve terkedilmiş bir yöntem olup, YKN sayısı yaklaşık % 20 azalmıştır.
- c. Fotogrametrik Nirengi (FN) Yöntemi: GPS öncesi çok kullanılan, klasik FN yöntemidir.
- d. GPS Destekli Fotogrametrik Nirengi (Kinematik GPS): Günümüzde çok yaygın kullanılır.

Burada belirtilen ilk üç yöntem, çok fazla sayıda YKN gerektirmesi nedeniyle terkedilmiş olup, günümüzde gerçekleştirilen tüm fotogrametrik uygulamalarda gelişmiş, yüksek teknolojiye sahip GPS destekli fotogrametrik nirengi (Kinematik GPS: KGPS) yöntemi kullanılmaktadır.

Hava fotoğrafı çekimi öncesinde uygulanan bu işlem adımında; çalışma bölgesine ait sayısal ortamda bir uçuş planının hazırlanması ve yeteri sayıda yer kontrol noktasının planlanması, bu amaçla uçuş kolonlarının çizilmesi, eski ve yeni YKN'larının uçuş planına dâhil edilmesi, hazırlanan uçuş planında yer alan grafik ve grafik olmayan bütün bilgilerin uçuş ekibine teslim edilmesi vb. işlemler gerçekleştirilir.

Bu aşamada dikkat edilmesi gereken önemli hususlar ve uygulanması gereken temel prensipler; iş bölgesinin şekli ve boyutlarına uygun olarak fotogrametrik blokların teşkil edilmesi, ideal uçuş kolonlarının çizimi, yeteri sayıda ve uygun dağılımda YKN'larının seçimidir. Uçuş ve müteakip işlem adımlarının başarısı bu hususların eksiksiz olarak yerine getirilmesine yakından bağlıdır.

Uçuş ve YKN (nirengi) planının hazırlanması ve hava fotoğraflarının çekiminde; kullanılan uçak ve sayısal (dijital) kameraların teknik özellikleri, fotoğraf ölçeği ($1/m_r$), harita (plan) ölçeği ($1/m_k$), araziden itibaren uçuş yüksekliği (H,h), ileri ve yan bindirme oranları (p,q), arazinin eğimi (α), arazideki maksimum yükseklik farkları (ΔH_i), her bir uçuş kolonunun araziden itibaren yüksekliği (h_k) vb. hususlar önem taşımaktadır. Uçuş planları hazırlanırken, burada belirtilen hususların dikkate alınması oldukça yararlı ve uygundur.

Bu önemli bilgilerin yanı sıra, iş bölgesi adı, şekli, boyutları, konumu ve uçuş yönü, çalışmada kullanılacak yatay ve düşey datum, projeksiyon ve koordinat sistemleri, iş bölgesinin grafiği, planlamada kullanılacak altlık haritalar (analog, sayısal) ve sayısal yükseklik modeli verileri, çalışma bölgesinin topoğrafik yapısı, engebe durumu ve yükseklik farkları (dağlık, ormanlık, düz, engebeli olması, yerleşim yerleri ve meskun alanlar içermesi), iş bölgesi içerisinde geniş alan kaplayan deniz, göl, baraj, nehir yatakları gibi su detaylarının mevcudiyeti vb. özellikler de uçuş planlamasında göz önüne alınması yararlı görülen diğer hususlardır.

2.3.3. Arazide Yer Kontrol Noktası (YKN) Tesisi ve İşaretlenmesi (Ground Control)

Hava fotoğrafları kullanılarak yapılan fotogrametrik veri toplama ve topografik harita üretimlerinde; daha önce hazırlanan uçuş planında işaretlenen yeri, sayısı ve dağılımı grafik olarak gösterilen yer kontrol noktalarının arazide tesisi, yönetmelikte belirtilen şekil ve boyutlarda hava işaretlerinin yapılması, kireçlenmesi ve boyanması (pre-signalisation), klasik teodolit, total station veya gelişmiş jeodezik GPS/GNSS alet, sistem ve yöntemlerle ölçümü, dengeleme ile üç boyutlu koordinatlarının (XYZ) hesaplanması işlemleri uygulanır. Nirengi noktası kullanılmaksızın hava fotoğrafı çekimi, ancak çok acil durumlarda, zorunlu hallerde ve nadiren uygulanır.

Bu aşamada dikkat edilmesi gereken önemli hususlar ve uygulanması gereken temel prensipler; tüm YKN'larının mümkün oldukça planlanan yerlerinde tesis ve inşa edilmesi, hava işaretlerinin istenen boyut ve renklerde yapılması, ayrıca fotogrametrik yöntemle veri toplama ve harita üretimi beklentilerini karşılayacak düzeyde ölçme hassasiyetine ve koordinat doğruluğuna (m_{xy} , m_z) sahip olmasıdır.

2.3.4. Kinematik GPS'li Uçuş ile Hava Fotoğrafi Çekimi (Photo Flight, Aerial Imagery)

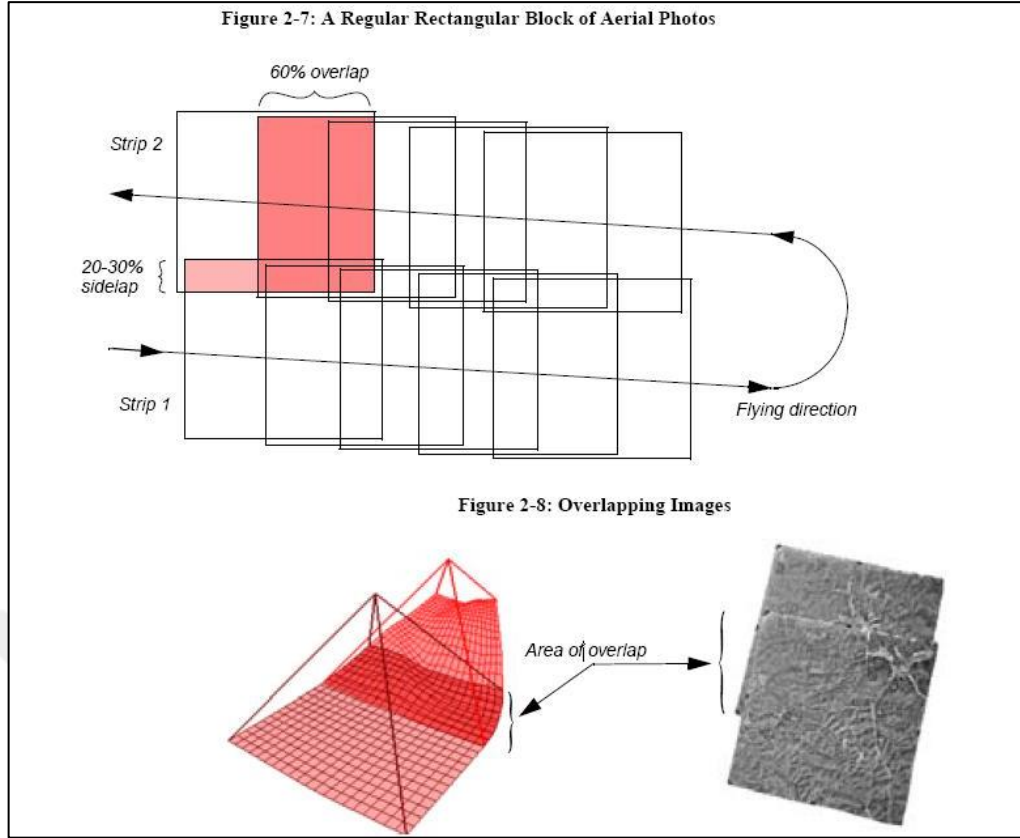
Bu işlem adımında sırasıyla; önceden hazırlanan uçuş planına uygun olarak uçağa yerleştirilmiş kalibrasyonlu sayısal (dijital) hava kamerası, GPS/IMU ve GPS/INS sistemleri ile GPS destekli navigasyon ve kinematik görüntü uçuşu yapılır; proje alanını (iş bölgesini) kaplayan sayısal hava fotoğrafları çekilir, görüntü verileri ve uçuş bilgileri sayısal ortama kaydedilir. Yapılan kontroller sonucunda, tespit edilen eksik ve hatalı uçuşlar ilave uçuşlarla revize edilir. Uçuş süresince ve fotoğraf çekimi sırasında uçakta ve iş bölgesi içinde aynı tip ve model GPS/GNSS alıcıları kullanılarak yapılan işin özelliğine göre yeteri sıklıkta GPS kaydı yapılır (0,5 saniye veya 1 saniye aralıklı).

Bu işlem adımı sonunda, iş bölgesinin tamamı hiç boşluk kalmayacak şekilde bindirmeli resimlerle kapatılmış olur. Ardışık ve bindirmeli resim çekimi yapılarak kolon ve blok oluşumu Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

Bu aşamada dikkat edilmesi gereken önemli hususlar ve uygulanması gereken temel prensipler; uçuşun önceden hazırlanan uçuş planlamasına uygun olarak ve GPS destekli navigasyonla gerçekleştirilmesi, uçuş öncesi YKN'larındaki işaretlemelerin tamamlandığının kontrolü ve uçuş ekibiyle koordine edilmesidir.

Hava fotoğraflarının kalitesi ve netliği; güneşin konumuna, yükseklik açısına ve ışık koşullarına bağlıdır. Uçuş ve fotoğraf çekimi sırasında bu koşullara uyulmasıyla beklenen nitelikleri ve koşulları sağlayan hava fotoğraflarının elde edilmesi mümkün olur. Hava fotoğrafları bu özelliğiyle isteğe göre yönlendirilebilen veya müdahale edilebilen veri kaynaklarındandır.

Hava fotoğrafları ile yapılan fotogrametrik veri toplama ve topografik harita üretimlerinde yeterli doğrulukta yer kontrol noktaları kullanıldığından bindirmeli fotoğraflarla oluşturulan fotogrametrik bloğun ve stereo modellerin konum ve yükseklik doğrulukları da oldukça yüksektir.



Şekil 2.1: Ardışık resim çekimi ile kolon ve blok oluşumu¹

2.3.5. Sayısal Uçuş Verilerinin İşlenmesi (Process Flight Data)

Bu işlem adımında sırasıyla; uçakta ve yerde yapılan GPS/GNSS ölçümleri uygun bir yazılımla kontrol edilerek işlenir, çeşitli sayısal görüntü işleme (digital image processing) ve görüntü zenginleştirme (image enhancement) algoritmaları kullanılarak amaca uygun sayısal görüntüler elde edilir, GPS/IMU ve GPS/INS verileri proses edilerek resimlerin eğiklik ve dönüklükleri ile izdüşüm merkezinin (objektif merkezi, resim orta noktaları) koordinatlarını içeren yaklaşık dış yöneltme elemanları hesaplanır.

Sayısal görüntülerde sıkça uygulanan, temel sayısal görüntü işleme algoritmaları şunlardır:

- Görüntü parlaklığını dengeleme (adjusting image brightness),
- Görüntü kontrastlığını kontrol etme ve giderme (removing image contrasting),
- Görüntüde renk ve ton ayarlaması yapma (color and tone balancing),

¹<http://slideplayer.com/slide/4531969/>, Erişim Tarihi: 02.06.2016

- Histogram dengeleme işlemleri (histogram equalization),
- Görüntü zenginleştirme uygulamaları (image enhancement),
- Veri ölçekleme işlemleri (data scaling).

Elde edilen sayısal görüntüler bir sonraki işlem adımı olan fotogrametrik nirengi ölçümünde, her bir resme ait dış yöneltme verileri ise fotogrametrik nirengi blok dengeleme hesabında kullanılır.

Sayısal görüntülerin ayırma gücü (resolution) önemli bir husus olup dört kategoride incelenir:

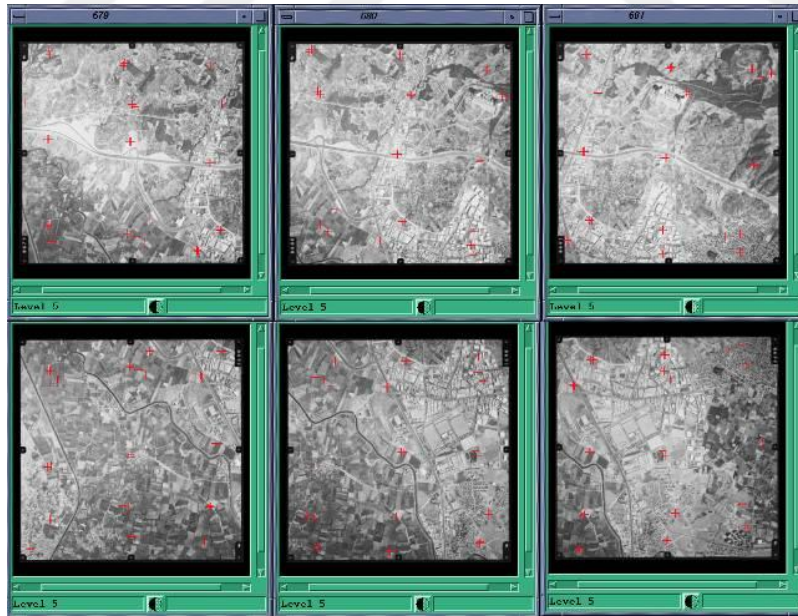
- Konumsal Ayırma Gücü (Spatial Resolution): Sayısal görüntü yersel ayırma derecesidir.
- Spektral Ayırma Gücü (Spectral Resolution): Sayısal görüntünün spektral duyarlılığıdır.
- Radyometrik Ayırma Gücü (Radiometric Resolution): Görüntü radyometrik duyarlılığıdır.
- Zamansal Ayırma Gücü (Temporal Resolution): Görüntünün zamansal çözünürlüğüdür.

2.3.6. Fotogrametrik Nirengi Ölçümü (Photogrammetric Aerial Triangulation)

Fotogrametrik Nirengi (FN: AT, Aerial Triangulation, Photo-Triangulation) ölçümü işlem adımıyla; sayısal görüntü işleme yöntemleri uygulanmış, ardışık ve bindirmeli sayısal hava fotoğraflarının düşük piksel çözünürlüğünde görüntü piramitleri (image pyramid) ya da düşük çözünürlüklü indirgenmiş veri setleri (RRDS: Reduced Resolution Data Set) oluşturulur, kamera kalibrasyon raporundaki bilgiler sisteme girilerek her bir fotoğrafın (image frame) iç yöneltmesi yapılır, resimlerin ve kolonların bindirme alanlarında özellikle standart Von Gruber noktalarının olduğu bölgeleri kapsayacak şekilde yeterli sayıda ve dağılımda model ve kolon bağlama noktaları (tie points) ile yer kontrol noktalarının uygulamada kullanılacak blok dengeleme yazılımı ile uyumlu olacak şekilde resim, model, kolon veya blok koordinatları ölçülür.

Bu aşamada dikkat edilmesi gereken önemli hususlar ve uygulanması gereken temel prensipler, fotogrametrik blok içerisinde seçilen ve ölçülen bağlama noktalarının yeterli sayıda ve uygun dağılımda olması, YKN ve bağlama noktalarının ölçüm hassasiyetinin istenen düzeyde olmasıdır.

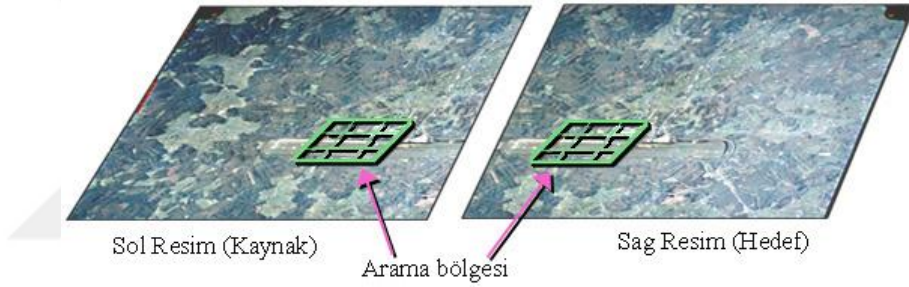
Günümüzde, plançete fotogrametrisi, analog fotogrametri, yarı analog-yarı analitik fotogrametri ve analitik fotogrametri kıymetlendirme yöntemleri, alet ve sistemleri fotogrametrik uygulamalarda ve harita üretimlerinde fazla kullanılmamaktadır (Özbalmumcu, Fotogrametrik Yöntemle Topoğrafik Vektör Harita Üretimi ve Proje Yönetiminde Uyulması Gereken Teknik Esaslar 2). Bu yöntemlere, alet ve sistemlere paralel olarak fotogrametrik nirengi işlemlerinde bağlama noktaları ve yer kontrol noktalarının kolon, model veya blok koordinatı ölçümleri de tamamen terk edilmiştir. Bunların yerine, fotogrametrik uygulamalarda ve FN ölçümünde, sayısal (dijital) stereo fotogrametrik sistemler kullanılmakta ve otomatik, yarı otomatik ve manüel gerçekleştirilen fotogrametrik nirengi işlemlerinde, Şekil 2.2’de gösterildiği gibi resim ya da görüntü koordinatları (image/photo coordinates) ölçülmektedir.



Şekil 2.2: Ardışık resimlerde fotogrametrik nirengi (FN) ölçümü (Özbalmumcu, Mahmut., *Fotogrametrik Yöntemle Topoğrafik Vektör Harita Üretimi ve Proje Yönetiminde Uyulması Gereken Teknik Esaslar*, Ankara: Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Sempozyumu (TUFUAB), 2007.)

Gelişen sayısal fotogrametri yöntemi ve dijital fotogrametrik stereo kıymetlendirme sistemlerinin yaygın bir biçimde kullanılmaya başlanması ile birlikte fotogrametrik nirengi işlemlerinde kolon ve model bağlama noktaları full otomatik yöntemlerle, denetleme ve yer kontrol noktalarının görüntü koordinatları manüel ve yarı otomatik yöntemlerle ölçülmekte olup yapılan fotogrametrik nirengi ölçümleri “Işın Demetleriyle Blok Dengeleme (Bundle Block Adjustment)” yazılımı kullanılarak dengelenmektedir.

Dijital stereo fotogrametrik sistemlerle ve sayısal görüntülerle uygulanan fotogrametrik nirengi ölçümleri, sayısal görüntü eşleme (digital image matching) tekniğine ve prensibine dayanmaktadır. Sayısal görüntü eşleme, aynı kolonda ardışık veya yan yana kolonlarda birbirine komşu sayısal görüntülerde bir görüntüde ölçülen pikselin eşleniğinin diğer görüntüde veya görüntülerde otomatik olarak bulunması işlemidir. Sayısal görüntü eşleme tekniğinin temel prensibi ve uygulama şekli Şekil 2.3’te gösterilmiştir.

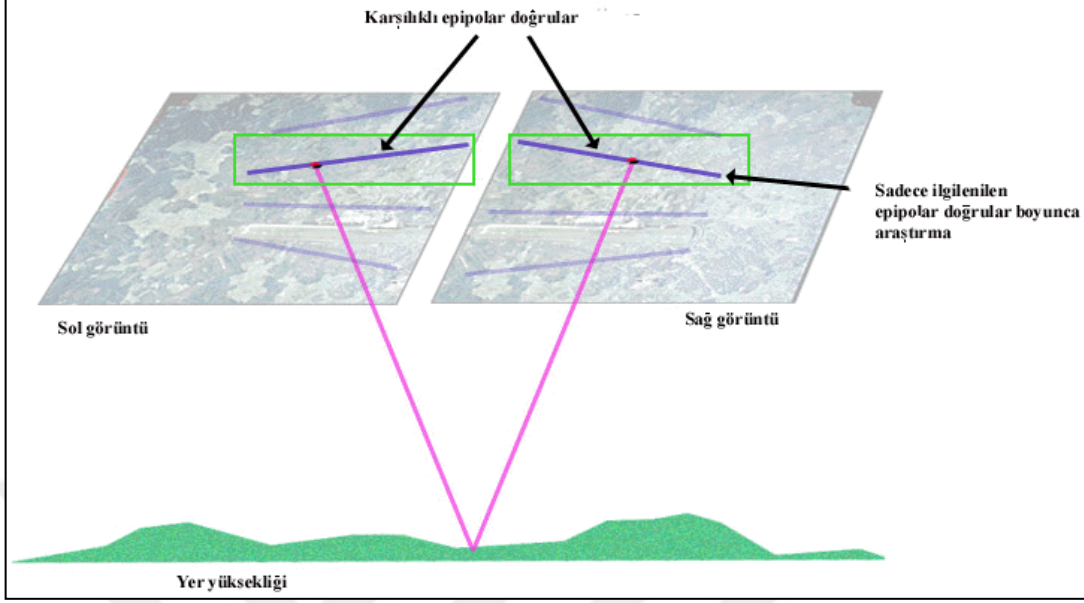


Şekil 2.3: Sayısal görüntü eşleme (digital image matching) tekniğinin temel prensibi (Arslanbek, Levent., (2009). *Farklı Kaynaklardan Elde Edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Ortofoto Doğruluğuna Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.)

Uygulamada en fazla kullanılan sayısal görüntü eşleme yöntemleri ve algoritmaları şunlardır:

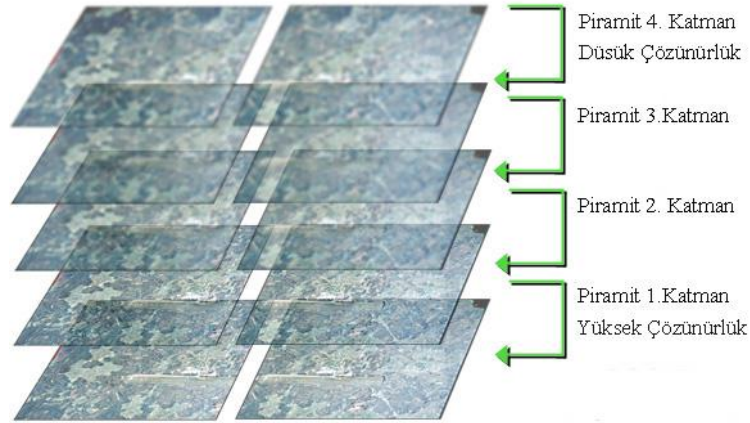
- Epipolar Eşleme (Epipolar Matching): Epipolar doğrular ve düzlemde yapılan eşlemedir.
- Alan-Bazlı Eşleme (ABM: Area-Based Matching): Alana bağlı eşleme yöntemidir.
 - ✓ En Küçük Kareler Korelasyonu ile Eşleme (Least Squares Matching Method)
 - ✓ Çapraz Korelasyon Tekniği ile Eşleme (Cross Corelation Matching Method)
- Detay-Bazlı Eşleme (FBM: Feature-Based Matching): Detaya bağlı eşleme yöntemidir.

d. İlişki-Bazlı Eşleme (RBM: Relation-Based/Structural Matching): İlişkiye dayalı eşlemedir.

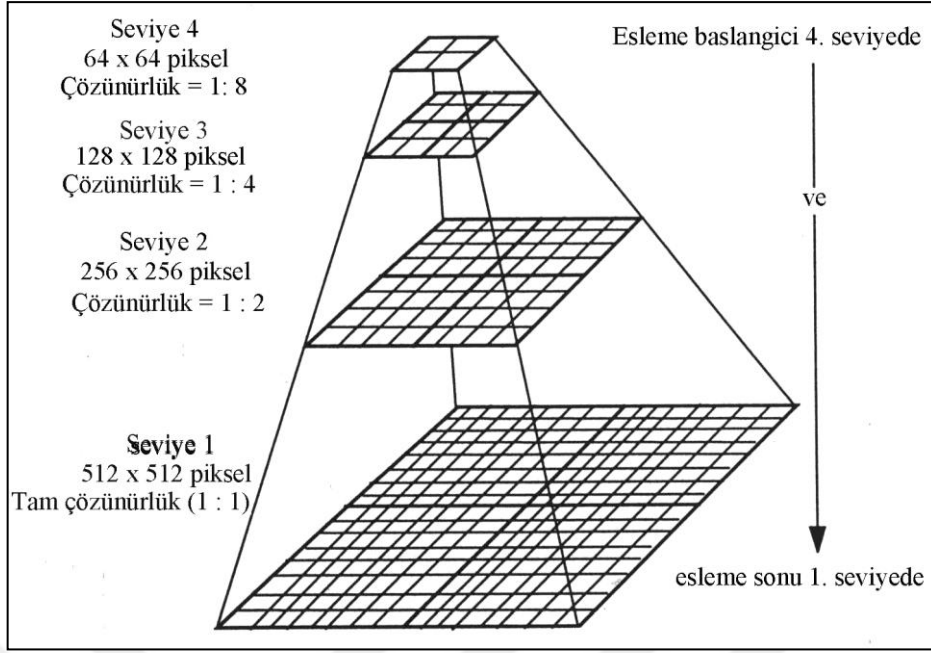


Şekil 2.4: Epipolar eşleme tekniğinin temel prensibi (Şahin, İsmail., (2007). *Farklı Kaynaklardan Elde Edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Ortofoto Doğruluğuna Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.)

Düşükten yüksek çözünürlüğe geçişte uygulanan görüntü piramidi ile tam çözünürlüklü eşleme için uygulanan görüntü piramidi tekniği Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da sunulmuştur.



Şekil 2.5: Düşükten yüksek çözünürlüğe geçişte uygulanan görüntü piramidi (Şahin, İsmail., (2007). *Farklı Kaynaklardan Elde Edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Ortofoto Doğruluğuna Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.)



Şekil 2.6: Tam çözünürlüklü eşlemede uygulanan görüntü piramidi tekniği
(<https://hexagongeospatial.fluidtopics.net/book#!book;uri=435b837f3ecf8ffd7ff02d10ee690136;breadcrumb=b07198c3a1789d8e9d47e283a65dfe1f-d2589e484d86255ea0e297bfe22edc9d-f8cb21298d818463076c449953ae0161>, Erişim Tarihi: 02.06.2016)

2.3.7. Fotogrametrik Nirengi Blok Dengelemesi (Bundle Block Adjustment)

Fotogrametrik nirengi ölçümlerinin blok dengelemesi aşamasında sırasıyla; yer kontrol noktaları, denetleme noktaları (CP: Check Point), kolon ve model bağlama noktalarına ait fotogrametrik nirengi ölçümleri, işlenmiş kinematik GPS, GPS/IMU ve GPS/INS uçuş verileri ve YKN'lerinin bilinen üç boyutlu koordinatları (X,Y,Z) ile birlikte uygun bir dengeleme modeli kullanılarak tüm ölçümlerin blok dengelemesi yapılır. Dengeleme sonuçları analiz edilerek, eksik ve hatalı ölçümler yenilenir. İteratif hesaplama sonucunda her bir resmin 6, bir stereo modelin 12 adet dış yöneltme elemanı (parametresi, bilinmeyeni), model ve kolon bağlama noktalarının arazi koordinatları (X,Y,Z), hataları ile birlikte hesaplanır.

Dengelemede; maksimum iterasyon sayısı, yaklaşma değeri (convergency), iç yöneltme elemanlarının doğruluğu, YKN ve bağlama noktalarının fotogrametrik nirengi ölçüm hataları, YKN'lerinin koordinat hataları, yer küreselliği etkisi ve diğer ilave parametrelerin belirlenerek sistemde tanımlanması önemlidir. FN ölçümü ve blok oluşumu Şekil 2.7'de verilmiştir.

Tarihsel gelişme süreci içerisinde kullanılan fotogrametrik blok dengeleme yöntemleri şunlardır:

- a. Kolon Dengelemesi (Strip Adjustment): Ölçüm ve dengeleme birimi kolon olup, üç boyutlu benzerlik dönüşümü ile her bir kolondaki bütün noktaların konum (X,Y) ve yükseklikleri (Z) ayrı ayrı hesaplanır. Bu yöntemde her bir kolonun konum (XY) ve yükseklik (Z) koordinatları hesabında farklı polinomlar kullanılır. Dengelemenin matematik modeli kolon ölçümlerine ve kullanılan ikinci dereceden polinom eşitliklerine dayanır.
- b. Kolonlarla Blok Dengeleme (Polynomial Adjustment by Adjacent Strips): Ölçüm ve dengeleme birimi kolon olup, iki ve daha üst dereceli polinomlar kullanılarak, noktaların konum (X,Y) ve yükseklikleri (Z) ayrı ayrı hesaplanır. Bloktaki bütün kolonlar birlikte dengelenerek, (XY) ve (Z)'nin farklı polinomlarla hesabı ayrı ayrı yapılır. Dengelemenin matematik modeli kolon ölçümlerine, iki ve daha üst dereceden alınan polinom eşitliklerine dayanır.
- c. Bağımsız Modellerle Blok Dengeleme (Block Adjustment by Independent Models): Bu yöntemde, bloktaki bütün modeller beraberce dengelenir. Bloktaki iç ve karşılıklı yöneltilmesi yapılmış her bir modele uzaysal (üç boyutlu) benzerlik dönüşümü uygulanarak konum (X,Y) ve yüksekliğin (Z) iki aşamalı çözümü gerçekleştirilir. Dengelemenin matematik modeli bağımsız modellere ve uzaysal üç boyutlu benzerlik dönüşümü eşitliklerine dayanır.
- d. Işın Demetleriyle/Resimlerle Blok Dengeleme (Bundle Block Adjustment): Bu yöntemde bloktaki bütün resimler beraberce dengelenir ve (X,Y,Z) koordinatlarının tek aşamalı çözümü yapılır.

Dengelemenin matematik modeli resimlere ve doğrusallık (kolinarite) koşulu denklemlerine dayanır (Selçuk, Baybura, Karşlı 5). Günümüzde sıkça kullanılan bir yöntemdir.

$$\left. \begin{aligned} x' = x'_h - c &= \frac{r_{11}(X - X_{01}) + r_{21}(Y - Y_{01}) + r_{31}(Z - Z_{01})}{r_{13}(X - X_{01}) + r_{23}(Y - Y_{01}) + r_{33}(Z - Z_{01})} \\ y' = y'_h - c &= \frac{r_{12}(X - X_{01}) + r_{22}(Y - Y_{01}) + r_{32}(Z - Z_{01})}{r_{13}(X - X_{01}) + r_{23}(Y - Y_{01}) + r_{33}(Z - Z_{01})} \end{aligned} \right\} \text{(Sol Resim için), (2.1)}$$

$$\left. \begin{aligned} x'' &= x_h'' - c = \frac{r_{11}(X - X_{02}) + r_{21}(Y - Y_{02}) + r_{31}(Z - Z_{02})}{r_{13}(X - X_{02}) + r_{23}(Y - Y_{02}) + r_{33}(Z - Z_{02})} \\ y'' &= y_h'' - c = \frac{r_{12}(X - X_{02}) + r_{22}(Y - Y_{02}) + r_{32}(Z - Z_{02})}{r_{13}(X - X_{02}) + r_{23}(Y - Y_{02}) + r_{33}(Z - Z_{02})} \end{aligned} \right\} \text{(Sağ Resim için),(2.2)}$$

$$\left. \begin{aligned} x_i' &= f(x_h', c, X_{01}, Y_{01}, Z_{01}, \omega', \phi', \chi', X_i, Y_i, Z_i) \\ y_i' &= f(y_h', c, X_{01}, Y_{01}, Z_{01}, \omega', \phi', \chi', X_i, Y_i, Z_i) \end{aligned} \right\} \text{Sol Resim (Resim-1) (2.1a)}$$

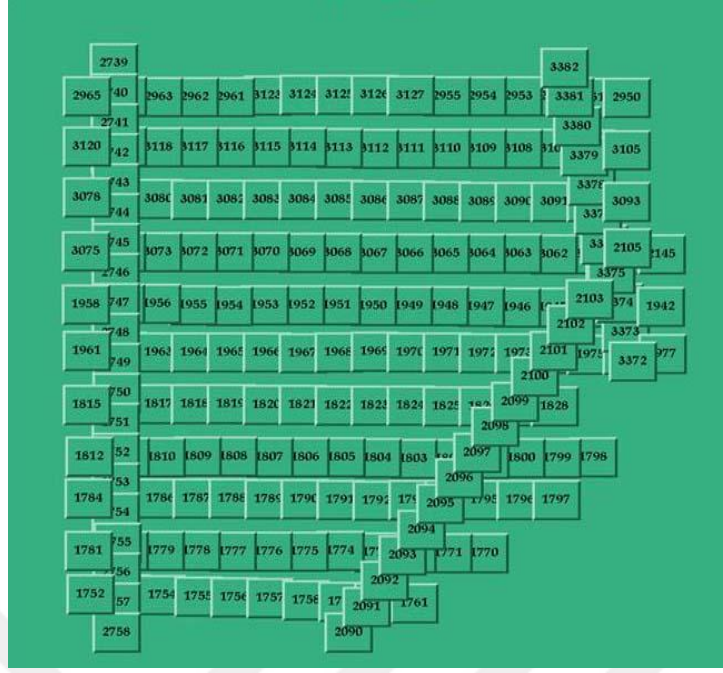
$$\left. \begin{aligned} x_i'' &= f(x_h'', c, X_{02}, Y_{02}, Z_{02}, \omega'', \phi'', \chi'', X_i, Y_i, Z_i) \\ y_i'' &= f(y_h'', c, X_{02}, Y_{02}, Z_{02}, \omega'', \phi'', \chi'', X_i, Y_i, Z_i) \end{aligned} \right\} \text{Sağ Resim (Resim-2) (2.2a)}$$

- e. GPS Destekli Birleşik Blok Dengeleme (GPS Supported Combined Block Adjustment): GPS/IMU, GPS/INS yöneltme verileri ile fotogrametrik nirengi ölçümlerinden (X,Y,Z) koordinatlarının tek aşamalı çözümüdür. Dengelemenin matematik modeli resimlere ve doğrusallık (kolinarite) koşulu denklemlerine dayanır. Günümüzde en fazla kullanılan yöntemdir.

Kinematik GPS destekli birleşik blok dengelemenin matematik modeli şöyledir:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{AC} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{PC} + R(\omega, \phi, \kappa) \cdot \begin{bmatrix} X_{AC}^{PC} \\ Y_{AC}^{PC} \\ Z_{AC}^{PC} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} \cdot dt \quad (2.3)$$

Günümüzde fotogrametrik nirengi ölçümleri bindirmeli sayısal görüntülerle yapılmakta olup ölçüm birimi görüntüdür. Bu aşamada tüm yer kontrol, denetleme ve bağlama noktaları hangi resimlerde yer alıyorsa, o resimlerdeki piksel ve resim koordinatları ölçülmekte olup bu safhada kolon ve model bağlama noktaları otomatik olarak, YKN ve denetleme noktaları manüel ve yarı otomatik yöntemlerle ölçülerek yapılan tüm ölçümler ilave parametrelili ve self kalibrasyonlu “İşın Demetleriyle Blok Dengeleme” yazılımı kullanılarak dengelenmektedir.



Şekil 2.7: Fotogrametrik nirengi ölçümleri ile blok oluşumu (Özbalımcı, Mahmut., *Fotogrametrik Yöntemle Topoğrafik Vektör Harita Üretimi ve Proje Yönetiminde Uyulması Gereken Teknik Esaslar*, Ankara: Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Sempozyumu (TUFUAB), 2007.)

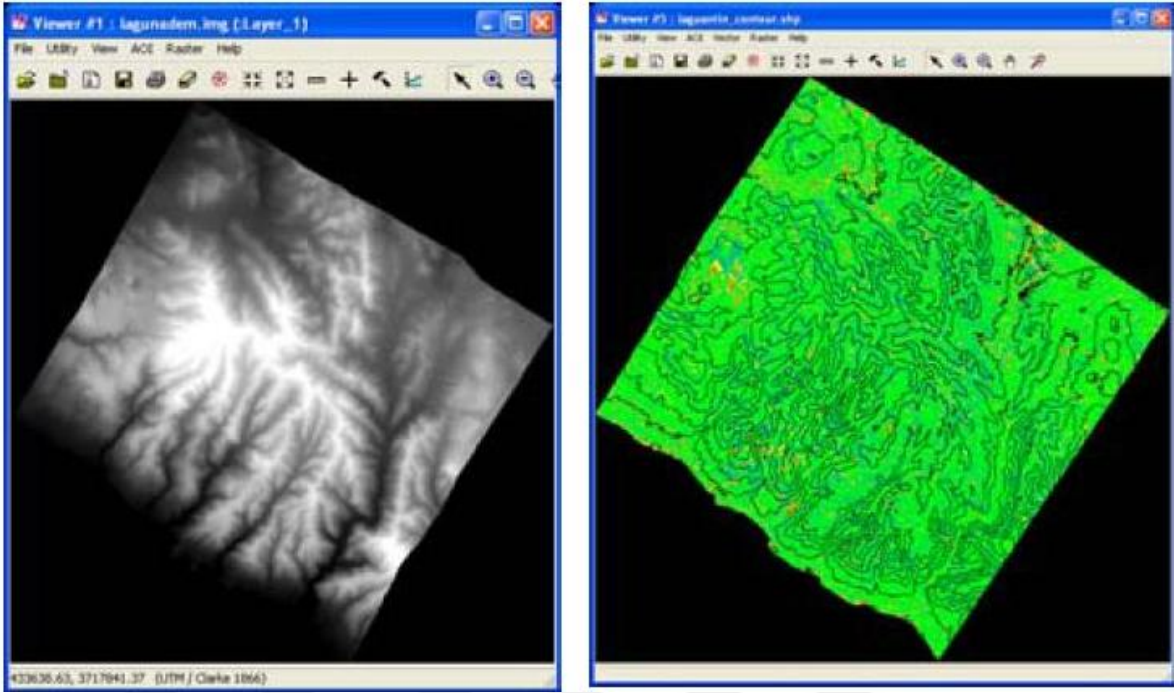
2.3.8. Sayısal Yükseklik Verileri Üretimi (Digital Elevation Data)

Fotogrametrik nirengi blok dengelemesinin ardından blokta oluşturulan stereo modellerde, sayısal görüntü eşleme tekniği ve muhtelif polinom ve fonksiyonlarla otomatik yüzey geçirme algoritmaları kullanılarak topografik yeryüzüne ilişkin çeşitli formatta sayısal yükseklik modeli verileri (DTM, DEM, DSM, TIN, vb.) manüel, yarı otomatik ve otomatik yöntemlerle ölçülür ve hesaplanır. Toplanan farklı formdaki sayısal yükseklik modeli verileri manüel olarak editlenir ve düzeltilir.

Bu verilerden yararlanarak çeşitli enterpolasyon ve örnekleme (resampling) yöntemleri ile otomatik olarak eş yükseklik eğrilerinin üretimi gerçekleştirilir. Fotogrametrik yöntemle toplanan sayısal yükseklik verileri şunlardır:

- SAM-Sayısal Arazi Modeli (DTM: Digital Terrain Model):** Raster yapıda, grid formunda ve genellikle otomatik olarak toplanan, topografik yüzey üzerindeki grid noktalarının yükseklikleri ile birlikte arazideki kırık hatları (break-lines) ve karakteristik noktaları (characteristic points) da içermesi nedeniyle gerçek yeryüzünü en iyi şekilde temsil eden ve bu haliyle Çıplak Yeryüzü Modeli (Bare Earth Model) olarak da adlandırılan, sayısal yükseklik verileridir.

- b. SYM-Sayısal Yükseklik Modeli (DEM: Digital Elevation Model): Raster yapıda, grid formunda ve genellikle otomatik olarak toplanan, sadece gerçek topografik yüzey üzerindeki grid noktalarının yüksekliklerini içeren (kırık hatları ve karakteristik noktaları içermemesi nedeniyle DEM'in DTM'den tek ve en önemli farkı burada ortaya çıkar), sürekli yüzey yükseklik değerleri şeklindeki sayısal yükseklik verileridir. Şekil 2.8'de sayısal yükseklik modeli verilerine ait bazı örnekler sunulmuştur.
- c. SYzM-Sayısal Yüzey Modeli (DSM: Digital Surface Model): Raster yapıda, grid formunda ve genellikle otomatik olarak toplanan, çıplak arazide topografik yüzey üzerinden geçen ancak topografik yeryüzü üzerindeki doğal ve insan yapısı detayların (binalar, ormanlık alanlar, ağaçlar, bitki örtüsü, enerji nakil hatları, köprüler vb.) üzerinden geçen ve sözü edilen detayların yüksekliklerini de dikkate alan, bu özellikleri nedeniyle üç boyutlu kentsel modellemelere de olanak sağlayan sayısal yükseklik verileridir.
- d. TIN-Düzensiz Üçgenleme Modeli (TIN: Triangulated Irregular Network): Raster yapıda, düzensiz üçgenler şeklinde ve genellikle otomatik yöntemlerle toplanan, arazideki engebe durumunu, yükseklik farklarındaki ani ve hızlı değişimleri uygun ve ideal biçimde yansıtan, gerçek topografyayı oldukça iyi temsil edebilen, haritacılıkta ve diğer alanlarda yaygın olarak kullanılan, güçlü bir matematik modele sahip sayısal yükseklik verileridir.



Şekil 2.8: Sayısal yükseklik modeli verilerine örnekler¹

Aralarında küçük farklar olmakla birlikte, SAM (DTM) ve SYM (DEM) verileri çıplak topografyayı ve gerçek yeryüzünü (bare earth) en iyi temsil eden sayısal yükseklik verileri olarak kullanılır.

Gerek daha doğru ve hassas bir yükseklik verisi elde etmek gerekse de eş yükseklik eğrilerini daha yüksek hassasiyette üretebilmek için yukarıda belirtilen ve otomatik olarak toplanan DEM, DTM ve TIN yükseklik verilerinin (DSM hariç) ilave yükseklik verileri ile desteklenmesi gereklidir. Bu amaçla fotogrametrik blok içerisinde oluşturulan stereo modellerde gerekli görülen bazı alanlarda, sırtlar, dereler, şev üstü ve şev altları, kayalık alan üst ve alt sınırları, falez, uçurum ve teras (taraça) kenarları, ana yollarda platform, yarma ve dolgu kenarları, meskûn alan sınırları, istinat duvarları vb. kesikli ve yüksekliği ani değişen alanlarda kırık hatların (break-lines), tepe, boyun, höyük, tümülüs, kokurdan, kaya tepeleri, kum tepeleri, meskûn alan içi, yol platformu ve banketleri, beton zeminler vb. yüksekliği belirgin olan yerlerde ve alanlarda da karakteristik noktaların (characteristic points) ölçümleri yapılır.

¹<http://www.photogrammetrynews.com/2010/09/automatic-terrain-generation-and.html>,
02.06.2016

Erişim Tarihi:

Sözü edilen sayısal yükseklik verilerden yararlanılarak çeşitli enterpolasyon ve örnekleme yöntemlerinin kullanılmasıyla otomatik olarak eş yükseklik de üretilebilir. İkinci bir yöntem olarak da blokta oluşturulan stereo modellerde operatör marifetiyle manüel yöntemler kullanılarak eş yükseklik eğrileri de çizilebilir. Bu son yöntemde gerekli alanlarda kırık hatlar ve karakteristik noktalar operatör tarafından kot noktası şeklinde manüel olarak sayısallaştırılmaktadır.

2.3.9. Sayısal Ortofoto ve Foto-Mozaik Görüntüleri Üretimi (Orthophoto, Photo-Mosaic)

Ortofoto: Perspektif izdüşüm ürünü olan resimlerdeki eğiklik ve dönüklük etkilerinden ileri gelen hatalar ile arazideki yükseklik farklarından oluşan nokta kaymalarının (rölyef kayma) giderilmesi ya da asgari düzeye indirilmesi suretiyle elde edilen, harita gibi belirli ve sabit bir ölçeğe sahip olan, üzerinden belirli hassasiyette koordinat ölçülmesine olanak sağlayan, geometrik ve perspektif bozulmaları giderilmiş, düzeltilmiş hava fotoğrafı ve sayısal görüntüye “Ortofoto” denir.

Ortofoto Harita: Üzerine harita kenar bilgileri, grid işaretleri veya çizgileri, eş yükseklik eğrileri, diğer yükseklik noktaları, yer, yöre, dere, tepe, mevki vb. coğrafi yer isimleri ile diğer kartografik bilgilerin eklendiği ortofoto görüntülere denir. Daha kısa bir tanımla, görüntü parçacıklarının birleştirilmesiyle standart veya rastgele ölçeklerde üretilen fotoğraf formundaki haritaya “Ortofoto Harita” veya “Foto-Harita” denir.

Foto-Mozaik (Orto-Mozaik) Görüntü: Eğiklik ve dönüklük etkileri ile arazideki yükseklik farklarından ileri gelen kayıklık hataları giderilmiş birbirine komşu ortofoto görüntülerin birleştirilmesi sonucunda elde edilen, görüntüler arasındaki renk, ton ve kontrastlık farkları giderilmiş olan görüntü topluluğuna “Foto-Mozaik” ya da “Ortofoto Mozaik Görüntü” adı verilir.

Dengeleme ile oluşturulan fotogrametrik bloktaki yöneltmiş sayısal görüntülerden ve üç boyutlu modellerde otomatik olarak toplanmış ve editlenmiş sayısal yükseklik verilerinden yararlanılarak doğrusallık (kolinarite) koşulu denklemleri yardımıyla bloktaki her bir sayısal görüntünün yataylaması (orto-rektifikasyonu) işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem

sonunda, gerçek yeryüzü ile uyumlu olacak şekilde koordinatlandırılmış (geo-registered), konumlandırılmış (geo-referenced) ve yataylanmış (ortho-rectified) sayısal görüntüye mevcut sayısal yükseklik modeli verisi giydirilmiş (DEM/DTM/TIN draping) olmaktadır.

Ortofoto ve foto-mozaik görüntülerin doğruluğu ve çözünürlüğünü etkileyen en önemli faktörler, kullanılan sayısal görüntülerin kalitesi ve dengeleme ile bulunan konumsal çözünürlükleri ile dengeleme sonucu hesaplanan görüntü yöneltme verileri ve ortorektifikasyon işleminde kullanılan sayısal yükseklik modeli verilerinin doğruluğu ve hassasiyetidir. Bu nedenle, sayısal yükseklik modeli verilerinin yüksek hassasiyette ve yeteri sıklıkta toplanan grid noktalarından oluşması ya da doğrudan grid formunda üretilmeyen verilerin uygun bir enterpolasyon yöntemiyle grid formuna dönüştürülmesi gereklidir. Yükseklik farkı az olan bölgeler nispeten daha düşük duyarlıklılı sayısal yükseklik modeli verileri ile temsil edilebilmesine karşın, eğimi fazla olan engebeli bölgelerde ise sayısal yükseklik modeli verilerinin daha yüksek hassasiyette üretilmesi, arazi ile daha iyi uyumlu olması gerekmektedir.

Sayısal (dijital) ortofotonun matematik modeli, tek resim fotogrametrisinde bir resmin 3 adet iç ve 6 adet dış yöneltme parametresinin, çift resim fotogrametrisinde ise bir stereo modelin 6 adet iç ve 12 adet dış yöneltme parametresinin birlikte çözümlenmesine olanak sağlayan ve aşağıda gösterilen “Doğrusallık (Kolarite) Koşulu” denklemlerine dayanır.

$$\xi = -c * \left(\frac{r_{11} * \xi' + r_{21} * \eta' - r_{31} * c'}{r_{13} * \xi' + r_{23} * \eta' - r_{33} * c'} \right) \quad (2.4)$$

$$\eta = -c * \left(\frac{r_{12} * \xi' + r_{22} * \eta' - r_{32} * c'}{r_{13} * \xi' + r_{23} * \eta' - r_{33} * c'} \right) \quad (2.5)$$

$$\xi' = -c' * \left(\frac{r_{11} * \xi + r_{12} * \eta - r_{13} * c}{r_{31} * \xi + r_{32} * \eta - r_{33} * c} \right) \quad (2.6)$$

$$\eta' = -c' * \left(\frac{r_{21} * \xi + r_{22} * \eta - r_{23} * c}{r_{31} * \xi + r_{32} * \eta - r_{33} * c} \right) \quad (2.7)$$

$$\xi = \xi_0 - c * \left(\frac{r_{11} * (X - X_0) + r_{21} * (Y - Y_0) + r_{31} * (Z - Z_0)}{r_{13} * (X - X_0) + r_{23} * (Y - Y_0) + r_{33} * (Z - Z_0)} \right) \quad (2.4a)$$

$$\eta = \eta_0 - c * \left(\frac{r_{12} * (X - X_0) + r_{22} * (Y - Y_0) + r_{32} * (Z - Z_0)}{r_{13} * (X - X_0) + r_{23} * (Y - Y_0) + r_{33} * (Z - Z_0)} \right) \quad (2.5a)$$

$$X = X_0 + (Z - Z_0) * \left(\frac{r_{11} * (\xi - \xi_0) + r_{12} * (\eta - \eta_0) - r_{13} * c}{r_{31} * (\xi - \xi_0) + r_{32} * (\eta - \eta_0) + r_{33} * c} \right) \quad (2.8)$$

$$Y = Y_0 + (Z - Z_0) * \left(\frac{r_{21} * (\xi - \xi_0) + r_{22} * (\eta - \eta_0) - r_{23} * c}{r_{31} * (\xi - \xi_0) + r_{32} * (\eta - \eta_0) + r_{33} * c} \right) \quad (2.9)$$

r_{ik} : Dönüklük (Rotasyon) Matrisinin Elemanları

ξ_0, η_0 : Odak noktasının (PP) görüntü koordinatları

c : Odak uzaklığı (kamera sabitesi)

X_0, Y_0, Z_0 : Kameraya göre arazi koordinatları (Özbalmumcu, Fotogrametrik Yöntemle Ortofoto Harita Üretiminin Temel Esasları, Ortofotonun Yararları ve Kullanım Alanları 4).

Uygulamada çok kullanılan Ortofoto ve DEM Örnekleme (ortho-resampling) yöntemleri şunlardır:

- En Yakın Komşu Örneklemesi (Nearest Neighborhood) Yöntemi
- Bilineer Enterpolasyon (Bilinear Interpolation) Yöntemi
- Kübik Katlama (Cubic Convolution) Yöntemi
- Bikübik Spline Eğrileri (Bicubic Spline) Yöntemi

2.3.10. Sayısal Vektör Harita Üretimi (Vector Map Compilation)

Vektör Harita: Standart ölçekteki basılı topografik haritalarda gösterilen ve tanımlanmış bir sembol kütüphanesinde (symbol library) ya da detay ve öznelik kodlama kataloğunda (feature and attribute coding catalogue) yer alan detayların nokta, çizgi ve alan şeklinde tutulduğu ve sunulduğu, nokta detayların (point feature, cell, symbol) koordinatları ile çizgi detayların (line feature, polyline) nokta dizileri ile alan detayların (area feature, shape, closed polygon) kapanan çizgi dizileri ile iki boyutlu (X,Y) ya da ekseriyetle üç boyutlu koordinatlarıyla (X,Y,Z) tanımlandığı, komşu paftalarla kenarlaşmış sayısal coğrafi bilgi dosyası ya da grafik vektör veri dosyasına “Vektör Harita” denir.

Yapılan uygulamalarda, genellikle 1/3.000–1/40.000 arası ölçeklerde hava fotoğrafları çekilmekte ve bu verilerle 1/500-1/25.000 arasındaki orta ve büyük ölçekli haritalar, bu kapsamda genellikle 1/1.000, 1/2.000, 1/5.000 ve 1/25.000 standart ölçeklerde, talebe göre bazı durumlarda 1/500, 1/2.500, 1/10.000, 1/15.000 ve 1/20.000 gibi standart olmayan ölçeklerde muhtelif harita ve planların, topografik vektör ve ortofoto haritaların üretimi ve revizyonu yapılmaktadır. Bazı ülkelerde uygun hava kameraları ve uçağın maksimum uçuş tavanı kullanılarak 1/40.000–1/70.000 arasındaki ölçeklerde hava fotoğrafı alımı da yapılmakta ve bu fotoğraflarla 1/50.000 ölçekli topografik vektör ve ortofoto haritaların üretimi ve revizyonu gerçekleştirilmektedir.

Fotogrametrik stereo kıymetlendirme/değerlendirme yöntemi (stereo map compilation, 3D vector map digitization) ile sayısal vektör harita üretimi için gerekli modeller iki yöntemle oluşturulabilir:

- a. Fotogrametrik nirengi ölçümü ve blok dengelemesi sayısal görüntülerle stereo model oluşumu:
 - İç Yönelme (Interior Orientation): Sayısal kameranın piksel boyutu bloktaki tüm resimlere otomatik olarak ve tek aşamada uygulanır. Bu işlemle her bir resmin 3, bir resim çiftinin 6 adet iç yönelme elemanı (bilinmeyen, parametresi) çözümlenir.
 - Dış Yönelme (Exterior Orientation): Fotogrametrik nirengi blok dengelemesi ile hesaplanan her bir resme ait dış yönelme elemanları bloktaki tüm sayısal görüntülere otomatik olarak ve tek aşamada atanır. Bu işlemle her bir resmin 6, bir çift resmin 12 adet dış yönelme elemanı (bilinmeyen, parametresi) çözümlenir. Blok içerisindeki tüm resimlerin dış yönelmesi tek aşamada çözümlenmiş olur.
- b. Fotogrametrik nirengi ölçümü ve blok dengelemesi mevcut olmayan sayısal görüntülerle stereo model oluşumu:
 - İç Yönelme: Sayısal kameranın piksel boyutu her resim çiftine ayrı ayrı uygulanır.
 - Dış Yönelme: Her bir resim çiftinin dış yönelmesi iki aşamada gerçekleştirilir.
 - ✓ Karşılıklı Yönelme, Rölatif Ayar (Relative Orientation): Bir resim çiftine ait 12 adet dış yönelme elemanından 5 tanesi çözümlenerek bindirmeli her

resim çiftinden paralaksız ve uzayda rastgele konumda bir stereo model oluşturulur.

- ✓ Mutlak Yönelme, Absolut Ayar (Absolute Orientation): Bir resim çiftine ait 12 adet dış yönelme elemanından 7 tanesi çözümlenerek karşılıklı yönelme ile elde edilen rastgele konumdaki stereo modelin X,Y,Z'si bilinen yeteri sayıda YKN'ları ile eğiklik ve dönüklük etkileri ile öteleme ve kayıklık etkilerinin giderilmesi, modelin ölçeklenmesi ve koordinatlandırılması işlemleri sağlanır.

İç Yönelmenin Matematik Modeli: Her bir resmin 3 bilinmeyeninin çözümüne olanak sağlayan 2 boyutlu Affin, Helmert veya Benzerlik dönüşümü eşitliklerine dayanır. Bu eşitlikler şu şekildedir:

$$x = a_1 + a_2X + a_3Y \quad (2.10)$$

$$y = b_1 + b_2X + b_3Y \quad (2.11)$$

$$x = (\cos \alpha)x - (\sin \alpha)y + X_o \quad (2.12)$$

$$y = (\sin \alpha)x + (\cos \alpha)y + Y_o \quad (2.13)$$

$$X = (m \cos \alpha) x - (m \sin \alpha) y + X_o \quad (2.10a)$$

$$Y = (m \sin \alpha) x + (m \cos \alpha) y + Y_o \quad (2.10b)$$

Dış Yönelmenin Matematik Modeli (Tek aşamalı çözümde): Her bir resim çiftinin 12 bilinmeyeninin çözümüne olanak sağlayan doğrusallık (kolinarite) koşulu denklemlerine dayanır. Dış yönelmenin iki aşamalı çözümündeki işlem adımları ve matematik modelleri şöyledir:

- Karşılıklı Yönelmenin Matematik Modeli: Her bir resim çifti için 5 bilinmeyeninin çözümüne olanak sağlayan doğrusallık (kolinarite) koşulu, düzlemsellik (koplanarite) koşulu ve paralaks denklemlerine (parallax equation) dayanır.

Genel paralaks denklemi (5 bilinmeyenli) ($\Delta\kappa$, $\Delta\emptyset$, $\Delta\Omega$, Δby , Δbz), (ΔA , ΔB , ΔC , ΔD , ΔE);

$$-P_i = -Py_i = \left(\frac{x_i \cdot y_i}{z_i} \right) \Delta A - \left(\frac{y_i^2 + z_i^2}{z_i} \right) \Delta B - \left(\frac{y_i}{z_i} \right) \Delta C + (x_i) \Delta D + \Delta E \quad (2.14)$$

$$\Delta A = \frac{\rho}{2bk} (P_3 - P_4 - P_5 + P_6) \quad (2.14a)$$

$$\Delta B = \frac{\rho}{4Zk^2} (2P_1 + 2P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6) \quad (2.14b)$$

$$\Delta C = \frac{\rho}{2k} (P_3 - P_5) \quad (2.14c)$$

$$\Delta D = \frac{\rho}{3b} (P_1 - P_2 + P_3 - P_4 + P_5 - P_6) \quad (2.14d)$$

$$\Delta E = \frac{1}{3} (P_1 + P_3 + P_5) + \frac{Z}{3} (3 + 2k^2) \Delta B \quad (2.14e)$$

- Mutlak Yönelmenin Matematik Modeli: Her bir resim çifti için 7 bilinmeyeninin çözümüne olanak sağlayan, üç boyutlu (3D) benzerlik dönüşümü eşitliklerine dayanır;

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ H_i \end{bmatrix} = \lambda \cdot R_\kappa \cdot R_\phi \cdot R_\Omega \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

κ, ϕ ve Ω dönme açılarına göre R_κ, R_ϕ ve R_Ω dönme matrisleri;

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa & 0 \\ \sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \Omega & -\sin \Omega \\ 0 & \sin \Omega & \cos \Omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Ardışık resim çiftlerinin yöneltme ve ayar işlemlerinin tamamlanması ve arazinin tam benzeri olan üç boyutlu modellerin oluşturulmasından sonra stereo kıymetlendirme aşamasına geçilir. Bu aşamada; yukarıda detaylı şekilde gösterildiği gibi sırasıyla ilgili sayısal (dijital) fotogrametrik kıymetlendirme sistemlerinde önce stereo modeller teşkil edilir ve sisteme aktarılır, oluşturulan stereo modellerde sürekli üç boyutlu görüntüleme yapılarak çalışma bölgesindeki pafta alanına giren nokta, çizgi ve alan detaylar ve görülebilen tüm diğer vektör yapıdaki veriler (şevler, taramalar, paternleme detayları vb.) ilgili yönetmelik ve teknik talimatlarda belirtilen tüm kriterlere, sembol kütüphanesinde (symbol library) verilen sembollere ve özel işaretlere, detay ve öznitelik kodlama kataloğuna (feature and attribute coding catalogue), vektör harita standartlarına (vector map standards) uygun olarak üç boyutlu (X,Y,Z) sayısallaştırılır, eş yükseklik eğrileri çizilir ve kıymetlenir, yükseklik (kot) noktaları üç boyutlu olarak sayısallaştırılır, detaylara ait öznitelik bilgileri toplanır (sadece stereo modellerde tespit edilebilen ve görülebilen öznitelikler) ve sayısal vektör harita dosyaları oluşturulur (Özbalımcı, Fotogrametrik Yöntemle Topoğrafik Vektör Harita Üretimi ve Proje Yönetiminde Uygulanması Gereken Teknik Esaslar 8).

Fotogrametrik stereo kıymetlendirme yöntemiyle yapılan vektör harita üretiminde ardışık ve bindirmeli bir çift hava fotoğrafı için uygulanan “Baz/Yükseklik Oranı (B/H, b/h)” yapılan stereo kıymetlendirmenin konum ve yükseklik doğruluğunu doğrudan etkileyen önemli bir husustur. Hava fotoğrafları; harita ölçeğine ($1/m_k$), fotoğraf ölçeğine ($1/m_r$), kullanılan sayısal hava kamerasının türüne ve odak uzaklığına (c,f) bağlı olarak, araziden itibaren asgari 800 metreden başlayarak azami 10.000 metreye kadar değişen yüksekliklerde çekildiği için B/H (b/h) oranı da 0,5-2,0 arasında değişmekte ve istendiğinde ideal değer olan 1'e yakın olması sağlanabilmektedir. Bu nedenle harita ölçeğine bağlı olmakla beraber stereo hava fotoğraflarından üretilen haritaların ve coğrafi verilerin konum ve yükseklik doğruluğu yüksektir.

2.3.11. Diğer İlave/Tamamlayıcı İşlemler (Additional Tasks)

Fotogrametrik yöntemle farklı ölçeklerde vektör ve ortofoto harita üretimlerinin tamamlanmasının ardından bu sayısal vektör haritalar, ortofoto haritalar ve sayısal coğrafi verilerin kullanıma uygun veriler haline getirilmesi ve kullanıcılara sunulması amacıyla fotogrametrik tekniklerin dışında bazı uygulamalar gerçekleştirilmektedir.

Fotogrametrik vektör ve ortofoto haritalar ile coğrafi verilere uygulanan diğer işlemler şunlardır:

a. Topografik Arazi Bütünlemesi ve Pafta İsimlendirme (Field Map Completion and Geographic Names Collection): Fotogrametrik yöntemle üretilen sayısal vektör haritaların çeşitli jeodezik ve topografik alet ve sistemlerle (GPS, total station, elektronik takeometre vb.) arazide topografik bütünlemesinin yapılması, detaylara ilişkin gerekli öznitelik bilgilerinin toplanması ve tüm paftalarda isimlendirme çalışmalarının (coğrafi yöre, mevki, dere, tepe isimleri vb.) yapılması işlemleridir. Arazi bütünlemesinde, fotogrametrik stereo kıymetlendirmede kullanılan aynı sembol kütüphanesi, detay ve öznitelik kodlama kataloğu ve tabloları ile vektör harita standartları kullanılır.

b. Kartografik İşlemler, Basım ve Çoğaltma (Cartography, Map Printing and Publishing): Fotogrametrik yöntemle üretilen ve topografik arazi bütünlemesi ve isimlendirme çalışmaları tamamlanan sayısal vektör harita ve ortofoto haritaların kartografik editleme, düzenleme ve genelleştirme işlemlerinin yapılması, detayların kartografik sembol kütüphanesinde yer alan sembollerle gösterilmesi ve pafta kitabesi içinde kalan tüm grafik verilerin, grid işaretleri ve çizgilerinin paftalara konması, pafta kitabesi dışında kalan tüm lejant, başlık ve harita kenar bilgilerinin ve gerekli açıklamaların ilgili yerlerine konması, arazide bütünleme sırasında toplanan ve revize edilen yöre, mevki, dere, tepe vb. coğrafi yer isimlerinin paftadaki yerlerine yazılması, detaylara, toplanan öznitelik bilgilerinin atanması (attaching attribute), tamamlanan kartografik vektör ve ortofoto haritaların basımı, çoğaltılması ile kullanıcılara sunulması işlemlerinden oluşur.

c. Coğrafi Veritabanı (CVT, GDB: Geographic Database) ve Coğrafi Bilgi Sistemi Uygulamaları (CBS, GIS: Geographic Information System): Topografik arazi bütünlemesi ve kartografik işlemleri tamamlanmış olan sayısal vektör haritalar araziden toplanan detay öznitelik bilgileri, coğrafi yer isimleri ve ilgili coğrafi verilerle, vektör bazlı veritabanlarının (vector database) kurulması ayrıca sayısal ham/orijinal görüntüler, sayısal ortofoto haritalar, foto-mozaiik görüntüler, coğrafi yer isimleri ve ilgili coğrafi verilerle raster bazlı veritabanlarının (raster database) kurulması işlemlerini içermektedir.

3. LIDAR YÖNTEMİ/TEKNIĞİ İLE VERİ TOPLAMA

Son yıllarda LIDAR verilerinin kullanılmaya başlanmasıyla birlikte özellikle kısa süreli büyük projelerde hız, doğruluk, süre ve maliyet açısından önemli tasarruf sağlanması beklenmektedir. Yersel jeodezik ölçme teknikleri ve klasik hava fotogrametrisi yöntemiyle oldukça uzun zaman alan sayısal yükseklik modeli verileri ile topografik harita üretimlerinin LIDAR verileri ile daha kısa sürelerde tamamlanarak bu alanda önemli ilerlemeler sağlanabileceği düşünülmektedir.

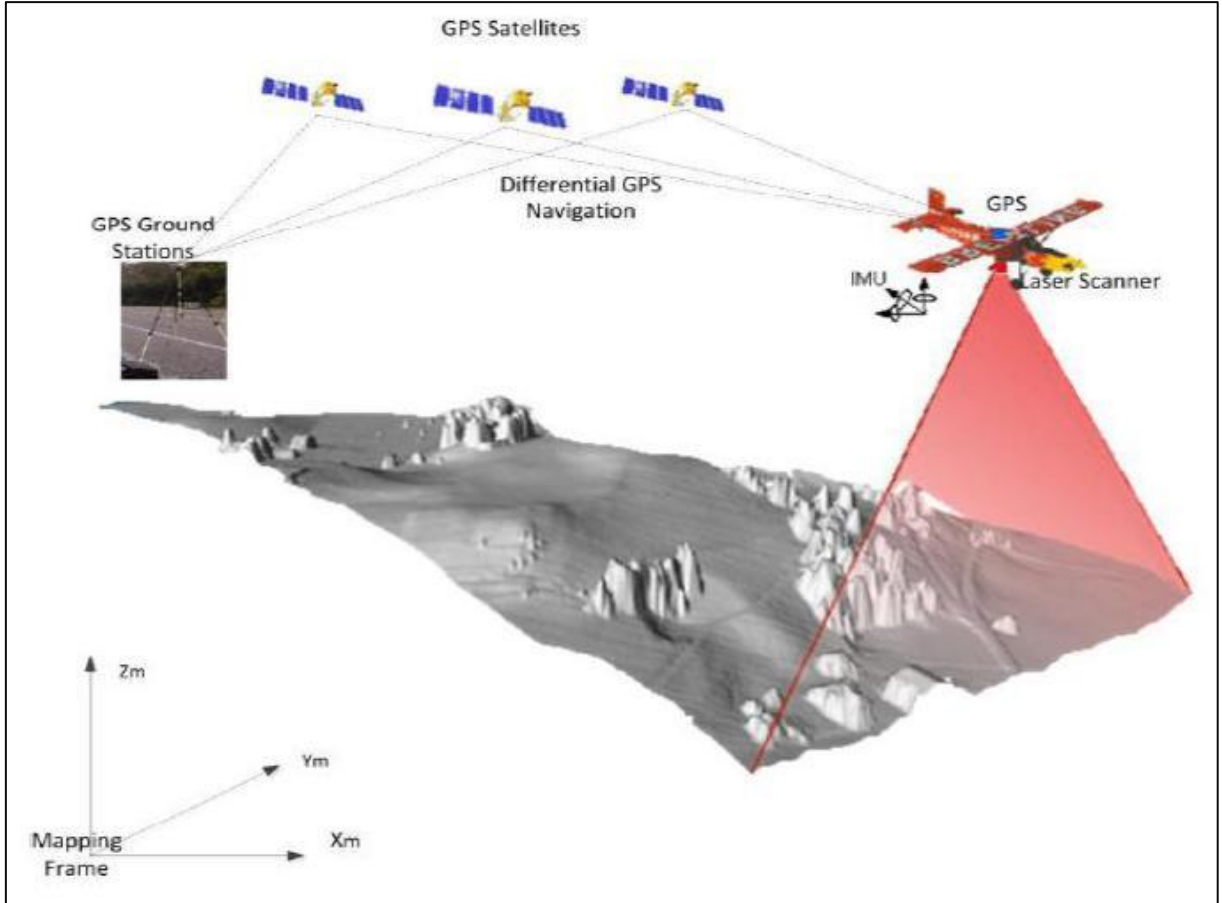
LIDAR yöntemleri ve sistemleri ile toplanan sayısal yükseklik verileri tek başlarına kullanılabilirdiği gibi fotogrametri projelerini, yersel ve hava fotogrametrisi çalışmalarını tamamlayıcı özelliklere de sahiptir. Bu sebeple son zamanlarda ihtiyaç duyulan arazi kesimlerinde fotogrametrik proje planlamaları içerisinde LIDAR veri toplama işlemleri de dahil edilmeye başlanmıştır.

LIDAR sistemleri yükseklik farkının az olduğu yerlerde ve nispeten düşük yoğunlukta bitki örtüsüne sahip alanlarda oldukça etkilidir. Bu alanda gerçekleştirilen ulusal ve uluslararası proje ve çalışmalardan edinilen bilgilere göre, LIDAR yöntemiyle toplanan nokta bulutu verileri ile sayısal arazi modeli ve yükseklik modeli verilerinin yükseklik doğruluğunun (vertical accuracy) engebeli arazilerde 3-30 cm arasında değiştiği ve ortalama 15 cm civarında olduğu, konum doğruluğunun (horizontal accuracy) ise düz arazilerde 5-50 cm arasında değiştiği ve maksimum 1 m civarında olduğu tespit edilmiştir. Farklı arazi yapısı ve yükseklik farklarında değişen konum ve yükseklik doğruluklarının elde edildiği gözlenmiştir.

3.1. LIDAR'ın Özellikleri ve Kullanım Alanları

LIDAR, lazer kullanan aktif bir uzaktan algılama sistemi olup hassas üç boyutlu sayısal yüzey modeli ve sayısal arazi modeli oluşturulması amacıyla GPS, IMU, INS ve lazer tarayıcı teknolojilerinin entegrasyonu ile oluşturulmuş bir veri toplama yöntemidir (Altınışık 17, Yılmaz, Yakar 24). Helikopter, uçak vb. hava araçları içerisine yerleştirilen LIDAR sistemleri ile haritalanacak alanın üzerinde istenilen sıklıkta ve yoğunlukta uçuş yapılarak yüzeye ait üç boyutlu konum verileri (nokta bulutu verileri) toplanabilmektedir. LIDAR sisteminin yapısı ve lazer tarama prensibi Şekil 3.1'de verilmiştir.

Havadan LIDAR (Airborne LIDAR) sistemleri, uçuş yüksekliğine bağlı olarak genellikle bir güzergâhı takip eden şerit (kolon) ve uzun koridor şeklindeki alanlarda ihtiyaç duyulan nokta bulutu ve sayısal yükseklik modeli verilerinin hızlı bir şekilde toplanmasına olanak sağlar. LIDAR yöntemi topoğrafyanın bozuk olduğu alanlarda daha fazla tercih edilmektedir. Hava LIDAR sistemleri; veri yoğunluğu, sağladığı doğruluk, hız ve maliyet avantajları sebebiyle, günümüzde birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.



Şekil 3.1: LIDAR sisteminin genel yapısı ve lazer tarama tekniğinin temel prensibi (Polat, Nizar., (2014). Farklı Filtreleme Yöntemleri İle LIDAR Nokta Bulutlarından Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.)

Su taneciklerinin kızılötesi ışığı emme özelliklerinden dolayı sisli, puslu, yağmurlu, karlı vb. havalarda LIDAR sistemleri ile istenilen kalite ve çözünürlükte verilerin elde edilmesi zorlaşmaktadır. Bunun yerine görüş mesafesinin açık olduğu, yağışın olmadığı hava ve atmosfer koşullarında LIDAR sistemleri daha etkilidir.

Hava LIDAR sistemlerinin önemli özellikleri şunlardır:

- Araziye ilişkin güvenilir, yüksek hassasiyette yükseklik bilgisi toplamaya olanak sağlar.
- LIDAR verilerinin toplanması, işlenmesi ve kullanılması oldukça hızlı ve kolaydır.
- Yüzeyle ilişkin istenilen sıklıkta nokta bulutu verilerinin toplanması olanaklıdır (Navruz 44).

LIDAR yükseklik verilerinin en genel anlamda iki temel işlevi ve kullanım alanı mevcuttur:

- Orto-rektifikasyon işlemiyle görüntülerin yataylanarak ortofotolarının üretilmesi.
- Elde edilen sayısal arazi modelleri yardımıyla eş yükseklik eğrilerinin oluşturulması.

Hava LIDAR sistemlerinin kullanıldığı alanlar şöyle sıralanabilir:

- Güzergâh, şerit ve koridor şeklinde bir hat boyunca uzanan alanların haritalanmasında,
- Arazinin net görülemediği bitki örtüsü ile kaplı alanlar, tarım, ziraat, orman vb. alanlarında,
- YKN'larının zor görüldüğü yerler, batimetrik alanlar, sahil bölgeleri ve kıyı alanlarında,
- Yanına gidilemeyen, tehlikeli ve riskli bölgelerde,
- Büyük alanlar ve geniş arazi kesimlerine ait haritaların ekonomik şekilde üretiminde,
- Topografik arazi yapısının bozuk olduğu bölgelerde,
- Topografik harita üretimi, araziye ilişkin eğim, uzaklık, hacim vb. ölçüm ve hesapların yapılmasında,
- Deprem, orman yangını, heyelan, sel vb. doğal afetlerin incelenmesi ve analizinde,
- Çevresel analizler ve kartografik uygulamalarda, iletişim sistemlerinin modellenmesinde,
- Jeolojik ve hidrolojik uygulamalarda ve buna yönelik harita üretimlerinde,
- Doğal kaynak yönetimi, afet kriz yönetimi, su kaynakları yönetimi, orman ve çevre yönetiminde,
- Yollar, kanallar, barajlar, tüneller, enerji nakil hatlarının vb. projelerle ilgili çeşitli mühendislik hizmetlerinde, şehir planlama ve yapı endüstrisi uygulamalarında,
- Askeri uygulamalarda, tarım, madencilik, kazı çalışmaları ve CBS (GIS) faaliyetlerinde,
- Atmosferik çalışmalar, deniz seviyesi ölçümleri ve buzul araştırmalarında,
- İhtiyaç duyulan nokta bulutu verileri, SAM (DTM), SYM (DEM) ve eş yükseklik eğrisi vb. yükseklik verilerinin oluşturulması ve üretiminde yaygın olarak kullanılır (Navruz 44, Polat 3, Yılmaz, Yakar 24).

LIDAR sistemlerinin en çok kullanıldığı arazi kesimleri olan meskûn sahalarda ve bitki örtüsü ile kaplı alanlarda beklenen başarının elde edilebilmesi için toplanan nokta bulutu yoğunluğunun gereğinden fazla olması gereklidir. Bu amaçla ardışık ve bindirmeli LIDAR uçuşlarının yapılması ile daha uygun sonuçlar elde edilir.

LIDAR sisteminin en fazla etkili olduğu alanlar şunlardır:

- Yoğun LIDAR nokta bulutu verileri ile yüksek çözünürlüklü SYM verileri üretimi,
- LIDAR noktaları yardımıyla toplanan yükseklikler dikkate alınarak, yüzey özelliklerinin ortaya çıkarılması; bina, ağaç ve enerji nakil hatları gibi detayların haritalanması,
- Yükseklik değişiminin az olduğu, hafif eğimli arazilerin hassas olarak haritalanması,
- Lazer ışınlarının bitkilerden kısmen geçerek çoklu sinyal dönüşleri elde edilmek suretiyle, bitki topluluğuna ait yükseklik ve hacim verilerinin elde edilmesi,
- Ağaçlık ve ormanlık bölgelerde, farklı mevsimlerde elde edilen çoklu sinyal dönüşleri kullanılarak bitki sınıflandırması yapılması,
- Lazer ışınlarının çoklu dönüşleri sayesinde klasik yöntemlerle çok zor olan sık ağaçlık ve ormanlık bölgelere ait SYM (DEM) ve SYzM (DSM) yükseklik verilerinin üretimi.

LIDAR sisteminin önemli avantajları şunlardır:

- Klasik jeodezik ve fotogrametrik yöntemlere oranla veri elde etme maliyetleri düşüktür.
- Çok sayıda noktadan oluşan nokta bulutu verileri ve sayısal yükseklik verileri elde edilir.
- Gün (güneş) ışığına ihtiyaç olmadan gece ve gündüz veri toplama yeteneğine sahiptir.
- Klasik yöntemlere oranla atmosfer koşullarından (sis, yağmur, bulut vb.) ve mevsimsel koşullardan az etkilenir.
- Toplanan nokta bulutu ve yükseklik verilerinin nokta yoğunluğu ve doğruluğu yüksektir.
- Çok sayıda lazer sinyal dönüşü (multiple beam returns) ve tam dalga formunda (full waveform) kayıt imkânları ile daha fazla bilgi toplama olanağı mevcuttur.

LIDAR sisteminin önemli dezavantajları şunlardır:

- Donanım ve ekipman maliyeti oldukça yüksektir. Ancak teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak maliyetin zamanla azalması beklenmektedir.
- LIDAR sisteminin jeodezik ve fotogrametrik sistemlere göre kurulum maliyeti yüksektir.
- LIDAR sisteminin amortisman süresi oldukça kısadır.
- LIDAR'ın en önemli bileşeni olan lazer sisteminden hedefe gönderilen ışığın ancak %1-10 kadarı yansıtılarak LIDAR alıcısına geri dönmekte ve çok fazla enerji kaybı olmaktadır.
- Veri işlemede yardımcı verilere, hava fotoğrafı ve uydu görüntülerine ihtiyaç duyulur.
- Çoğu LIDAR lazerleri yakın kızılötesi (NIR) radyasyon kullanır. Yağmur, bulut, sis vb. atmosferik olaylar ile su yüzeyi, asfalt, katran vb. yüzeyler NIR dalga boylarının çoğunu emer ve yutarlar. LIDAR sistemleri bu koşullarda değersiz veya zayıf sinyal dönüşlerine sebep olur.

3.2. LIDAR'ın Temel Prensibi, Bileşenleri ve Esasları

LIDAR sistemleri esas itibarıyla topografik yüzeylere ilişkin sayısal yükseklik bilgilerinin hızlı, kolay ve ekonomik biçimde toplanmasına ve üç boyutlu arazi modellerinin elde edilmesine olanak sağlar. LIDAR sistemi RADAR'a benzeyen aktif bir algılayıcı sistem olup ihtiyaç duyduğu enerjiyi ve ışığı kendisi üretir. Bu amaçla elektromanyetik spektrumun radar ve lazer dalgaları yerine yakın kızılötesi dalga boyu bandını kullanır. Lazer tarayıcı uçağın alt bölümüne hava kamerası gibi monte edilir.

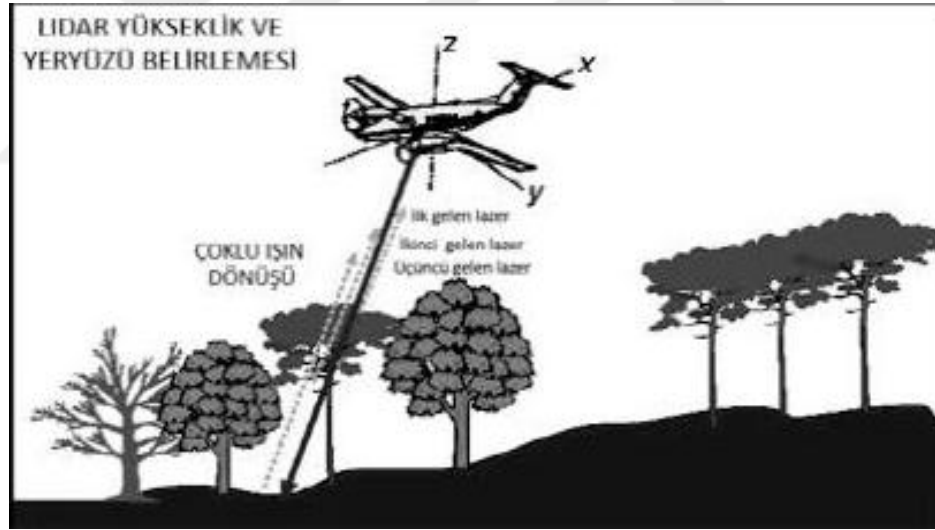
LIDAR'ın temel çalışma prensibi özetle şöyledir: LIDAR sistemi sahip olduğu lazer tarayıcı ve diğer aksesuar ve donanımlar yardımıyla topografik yeryüzüne lazer ışını gönderir ve ışığın gidiş-dönüş zamanı hassas olarak kaydedilir. Işığın kaynaktan çıkıp geri gelme süresinin yarısı ile ışık hızı çarpılarak lazer sistemi ile obje arasındaki mesafe R hesaplanır (Navruz 43):

$$R = (1/2).t \quad (3.2)$$

Ölçülen süre (t) ve lazerin açısı kullanılarak objenin üç boyutlu konumu ve koordinatları hesaplanır. Mesafe ölçme işlemleri sonucunda uçuş hattı boyunca zamana göre dağılmış yükseklik bilgisini içeren nokta bulutu verileri elde edilmiş olur.

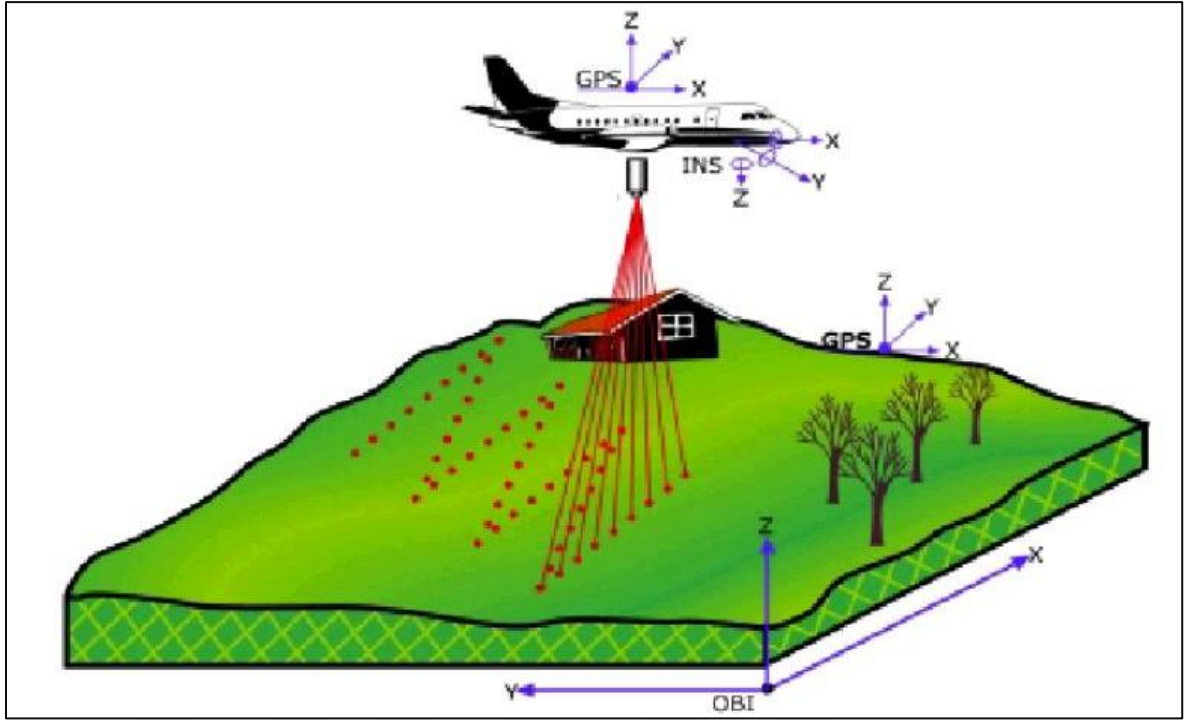
Gönderilen lazer ışınının bir kısmı araziden/cisimden geri yansır ve platformdaki LIDAR algılayıcısına geri gelir. Yüzeğe çarpan ışığın bir bölümü ise, yüzeyin pürüzlülük ve parlaklık değerlerine göre saçılır ve dağılır (scattering). Bu geri yansıyan ve saçılan lazer ışını analiz edilerek, ortaya çıkan değişiklikler hedefin özelliklerinin tespit edilmesinde kullanılır. Her bir yansıma değeri için yükseklik noktaları hesaplanır. LIDAR teknolojisi şu anda, yüksek çözünürlüklü topografik harita üretimi için kullanılmaktadır.

LIDAR ve Lazer tarama sisteminin temel çalışma prensibi Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.2: LIDAR'da lazer ışınının yeryüzeyine gidişi ve geri dönüşünün temel prensibi¹

¹ Navruz, Muzaffer., [http://www.mta.gov.tr/v2.0/birimler/redaksiyon/ekonomi-bultenleri/2011-11/havadan-\(airborn\)-lidar-nedir.pdf](http://www.mta.gov.tr/v2.0/birimler/redaksiyon/ekonomi-bultenleri/2011-11/havadan-(airborn)-lidar-nedir.pdf), Erişim Tarihi: 28.03.2016



Şekil 3.3: LIDAR'ın temel çalışma prensibi (Yılmaz, H.Murat., Yakar, Murat., "LIDAR (Light Detection and Ranging) Tarama Sistemi," *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2(2006): 23-33.)

LIDAR yöntemi ve lazer sistemlerinin başarısı yeteri kadar lazer ışınının araziye ulaşması ve yüzeye çarpması, etkin filtreleme ve sınıflandırma algoritmaları ve yazılımları kullanılarak bina, bitki örtüsü ve insan yapısı objelere ve detaylara olan istenmeyen çarpma etkilerinin ortadan kaldırılması ile yakından ilgilidir.

LIDAR sisteminin her proje uygulamasından önce kalibre edilmesi gereklidir. Yer kontrol noktaları (YKN) LIDAR'la yapılan ölçümlerin kontrolünde kullanılırken çalışma alanındaki GPS ve hava taşındaki GPS/IMU sistemleri ise gerçek zamanlı kontrolün yapılması amacıyla kullanılmaktadır.

Özellikle ormanlık alanlarda ve bitki örtüsü ile kaplı arazi kesimlerinde lazer kaynağından gönderilerek ağaçların yapraklarına, dallarına ve gövdesine, bitki örtüsü yüzeyine çarptıktan sonra yansıyan ve geri dönen ilk lazer ışınları ile araziye ilişkin sayısal yüzey modeli verileri elde edilir. Aynı ışın demetinin ağaçların dalları ve yaprakları arasından ve bitki örtüsü içinden geçerek gerçek arazi yüzeyine ulaşan ve daha geç yansıyan lazer ışınları ile çıplak arazi yüzeyine ilişkin sayısal arazi modeli verileri oluşturulur. LIDAR sistemi ile yapılan ölçümlerde algılayıcıların alıcılara ilk dönen sinyaller, genellikle ağaç

yaprakları, ağaç dalları ve bina tepelerine değen ve çarparak oradan geri dönen sinyallerdir. Son dönen sinyaller ise, ağaç yaprakları ve dalları arasından arazi yüzeyine ulaşan, toprağa değen ve oradan yansıyan sinyallerdir. Topoğrafik harita üretiminde genellikle son dönen elemanlar ve lazer ışınları (sinyalleri) kullanılır.

LIDAR tekniği, kullanılan platformlara ve taşıyıcılara göre dört farklı yöntemle uygulanır:

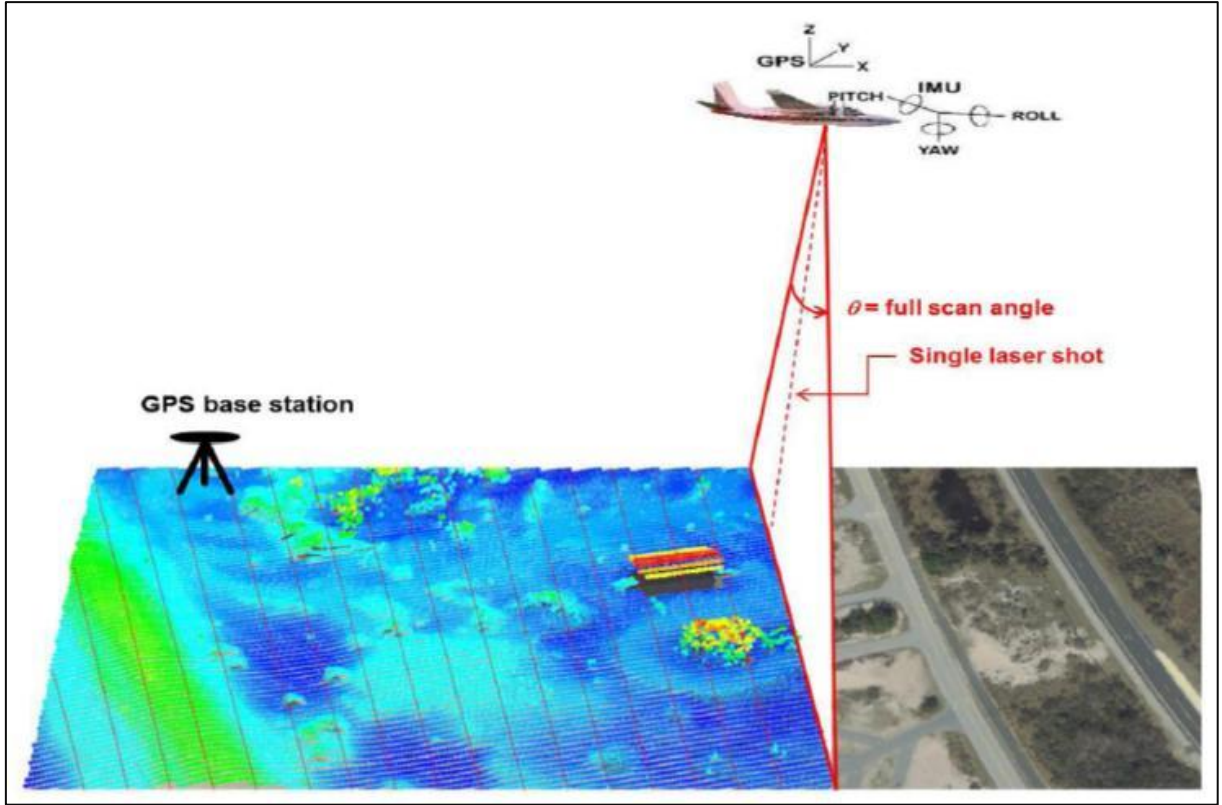
- Mobil LIDAR Sistemi (MLS: Mobile LIDAR): Arazide hareketli lazer tarama yöntemidir.
- Yersel LIDAR Sistemi (TLS: Terrestrial LIDAR System): Sistemin arazide sabit uygun noktalara kurularak yapılan LIDAR uygulamalarıdır.
- Hava Platformlu LIDAR Sistemi (ALS: Airborne LIDAR System): Uçaklardan uygulanır.
- Uydu Platformlu LIDAR (SLS: Spaceborne LIDAR System): Uydulardan uygulanır.

LIDAR-Lazer tarayıcı sistemleri iki farklı türde olabilir:

- a. Atım (Pulse) Tip Lazer: Atım formu topoğrafik uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Lazerden kesikli sinyaller gönderilir ve bir ya da daha fazla sinyal kayıt olarak geri döner.
- b. Dalga Tip Lazer: Lazer hedefe sürekli sinyal gönderir, sürekli ya da ona yakın bir sinyal geri döner (Bölme 2).

Bir hava bazlı LIDAR veri toplama sistemi, esas itibarıyla üç ana bileşenden oluşur (Şekil 3.4):

- Yüksek çözünürlüklü sayısal kamera,
- Lazer tarayıcı sistemi,
- GPS+IMU sistemi.



Şekil 3.4: LIDAR sisteminin ana bileşenleri (Polat, Nizar., (2014). *Farklı Filtreleme Yöntemleri İle LIDAR Nokta Bulutlarından Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.)

LIDAR sistemi ile lazer ölçümünün temel elemanları üç tanedir:

- Lazer Altimetresi (Yükseklik ölçer),
- Lazer Tarayıcı (Yüzey ölçer),
- Lazer Sistemi (Mesafe ölçer).

Yüzey yapısına bağlı olarak, lazer altimetresinde genellikle iki farklı lazer türü kullanılır:

- a. Topoğrafik Lazer Altimetresi: Kaynak olarak elektromanyetik spektrumun kızıl ötesi bölümü kullanılır.
- b. Batimetrik Lazer Altimetresi: Elektromanyetik spektrumun mavi/yeşil bandı kullanılır.

Topografik LIDAR ile görev ve proje planlamasında lazer sinyal hızı (kHz), lazer dalga boyu (frekansı, μm), araziden itibaren uçuş yüksekliği (m), lazer tarama genişliği (m), arazideki lazer çözünürlüğü (cm) ve elde edilebilen yatay ve düşey doğruluklar (rmse, cm) büyük önem taşır.

LIDAR ile etkili sonuçlar alınması için aşağıdaki zaman ölçümlerinin dikkatle yapılması gerekir:

- GPS konum bilgisinin ölçüldüğü zaman,
- IMU verisinin kaydedildiği zaman,
- Lazer sinyalinin gönderildiği zaman,
- Lazer sinyalinin geri döndüğü zaman.

LIDAR sisteminin etkili kullanımı için azından aşağıdaki koşulların yerine gelmesi gerekir:

- Alet alıcısı, ilk ve son sinyal dahil olmak üzere minimum 3 dönüş sinyalini kaydetme yeteneğine sahip olmalıdır.
- Arazi lazer beam çapı 15 cm'den daha büyük olmalıdır.
- LIDAR aletinin tarama açısı ± 20 dereceden daha küçük olmalıdır.

3.3. LIDAR Yönteminde Ana İşlem Adımları

LIDAR sisteminin başarısı aşağıdaki faktörlere yakından bağlıdır:

- Uçuş yüksekliği ve uçuş (uçak) hızı,
- Sinyal tekrarlama frekansı ve hızı,
- Tarama açısı ve tarama genişliği,
- Lazer tarama frekansı ve hızı,
- Lazer uçuş hatlarının ve verilerinin bindirme oranı,
- Arazinin topografik yapısı, özellikleri ve bitki örtüsünün durumu,
- Projenin süresi, yaklaşık bütçesi ve sonuç ürünleri.

LIDAR sistemleri ile elde edilen sonuç verilerin özellikleri genel olarak şöyledir:

- 0.10-0.50 m arası noktaların mutlak düşey doğruluğu (ortalama 0.15 cm),
- 0.30-1.00 m arası noktaların mutlak yatay doğruluğu (ortalama 0.50 cm),
- 1 m²'de 0.50-20 arası nokta yoğunluğu (ortalama 1-4 nokta / m²).

3.3.1. Planlama ve Hazırlık İşlemleri

LIDAR yöntemi ile veri toplamanın ilk aşaması olan planlama ve hazırlık işlemlerinde dikkat edilmesi gereken en önemli husus amaca, projeye ve yapılacak işe en uygun LIDAR ve lazer sisteminin seçimidir. Bu yöntemle veri toplama, genel itibarıyla fotogrametrik yöntemleri tamamlayıcı özelliklere sahiptir. Bu sebeple, fotogrametrik görüntü uçuşu ve YKN planlamasında belirtilen tüm hususlar burada da aynen geçerlidir. Ancak sadece LIDAR yöntemi kullanılarak sayısal veri toplama amacıyla yapılan uçuş ve YKN planlamasında aynı kurallar dikkate alınarak klasik yöntemlere oranla daha az sayıda YKN planlaması yeterli olabilmektedir.

Bu aşamada dikkat edilmesi gereken yegâne husus ve fotogrametrik yöntemlere göre en önemli farklılık klasik hava kameraları ile hava fotoğraflarının planlanmasına ilave olarak LIDAR sistemleriyle nokta bulutu sayısal yükseklik modeli verilerinin toplanmasının planlamaya dahil edilmesidir.

3.3.2. LIDAR Uçuş Planlaması

Havadan LIDAR uygulamaları çoğunlukla YKN'lı olarak uygulanmakla beraber YKN'na ihtiyaç duyulmadan ve GPS/IMU sistemleri yardımıyla görüntülerin dış yönelmeleri yapılabilmektedir, (Navruz 42). GPS ve IMU teçhizatı bulunmayan LIDAR sistemleriyle alınan görüntülerin işlenmesi için yeteri sayıda YKN'na ihtiyaç vardır.

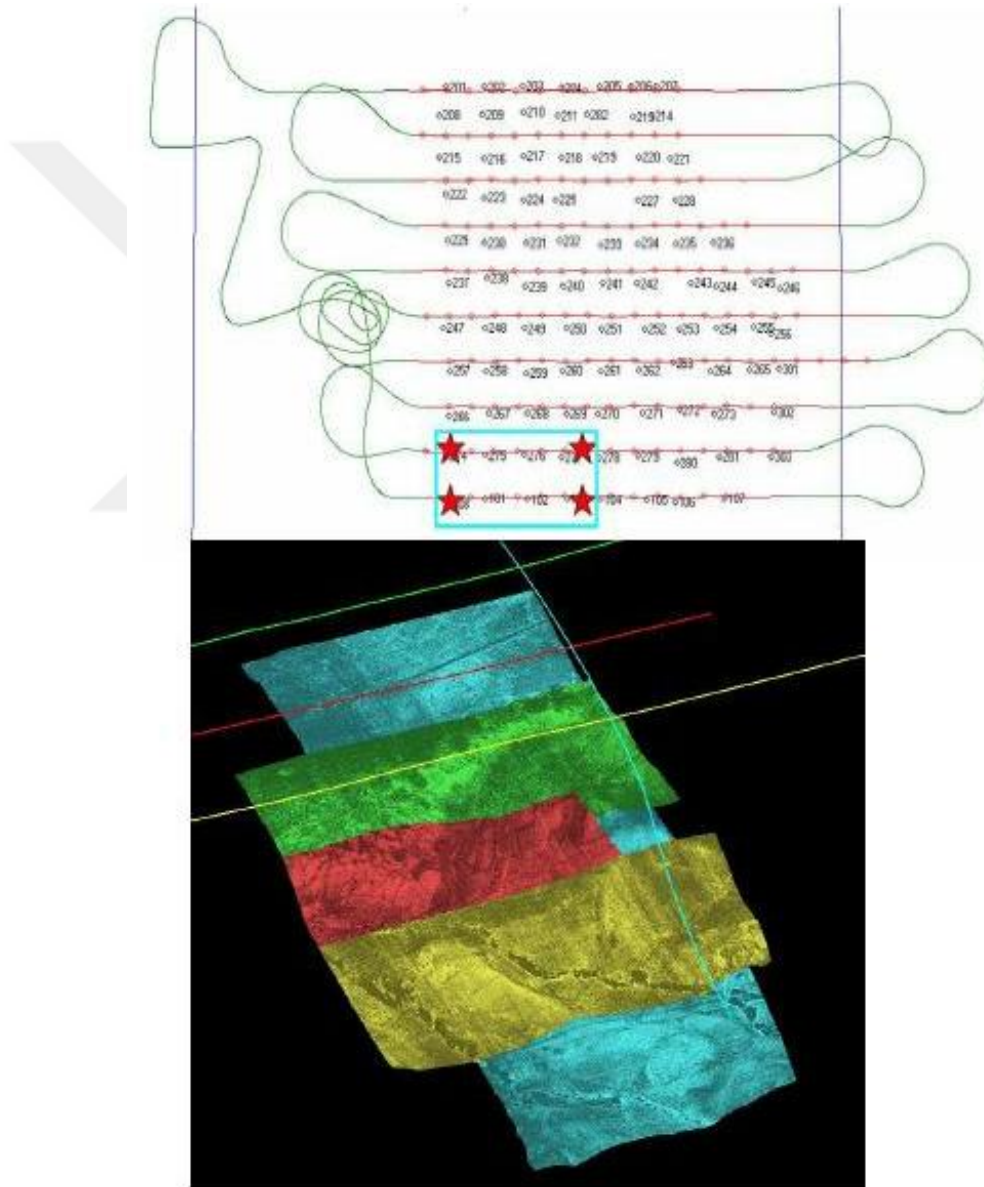
LIDAR uçuş planları hazırlanırken YKN'larının sayısı, dağılımı ve sıklığı ile görüntülerin GSD değeri dikkate alınır. Uygulamalarda genellikle YKN yoğunluğu olarak 1-4 nokta/m² ve ortofoto görüntü için GSD değeri 10 cm civarında alınmaktadır.

LIDAR uçuş planları hazırlanırken dikkate alınması gereken diğer önemli hususlar şunlardır:

- Araziden itibaren uçuş yüksekliği (flying height),
- Uçuş hızı ve toplam uçuş süresi (flying velocity and flight duration)
- Lazer tarama iz genişliği (swath width),
- Lazer yan (enine) bindirme oranı (side overlap),
- Fotoğraflar için ileri (boyuna) bindirme ve yan (enine) bindirme oranları.

3.3.3. Araziye Yer Kontrol Noktası (YKN) Tesisi ve İşaretlenmesi (Ground Control)

LIDAR uçuşu ve YKN planlamasına uygun olarak fotogrametrik yöntemlere oranla daha az sayıda planlanan YKN'larının arazide tesisi, ölçümü, dengeleme ile hesabı ve LIDAR uçuşundan önce işaretlenmesi, kireçlenmesi ve boyanması vb. işlemler fotogrametrik yöntemlerde olduğu gibidir. Fotogrametri yöntemine göre en önemli farkı LIDAR'da genellikle daha az sayıda YKN tesisi ve işaretlenmesine ihtiyaç duyulmasıdır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Uçuş hatları boyunca kalibrasyon sahası için yer kontrol noktaları (YKN) prensibi (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

3.3.4. Kinematik GPS'li Uçuş ile LIDAR Lazer Tarama Verileri Temini (Laser Scanning)

LIDAR sistemleri ile uçuş ve veri toplama esnasında LIDAR lazerinin konumunun bilinmesi gereklidir. Bu işlem diferansiyel konum belirleme sistemi (DGPS: Differential Global Positioning System) teknolojisi ile sağlanır. DGPS tekniği, iki farklı GPS alıcısının aynı anda konumunun belirlenip kaydedilmesi esasına dayanır. Veri toplama sırasında yerdeki sabit ve koordinatları bilinen noktaya kurulan GPS alıcısıyla kaydedilen (X,Y,Z) koordinatlarını, uçaktaki GPS alıcısı ise LIDAR antenin konum bilgilerini kaydeder. Daha sonra yapılan işlemler sırasında konumu bilinen yer istasyonu noktasında belirlenen düzeltme değerleri hesaba katılarak LIDAR anten noktasının konumu, yaklaşık 5-10 cm arasında bir doğruluk ile hesaplanır. Böylece enlem, boylam ve WGS84 koordinat sistemine göre elipsoidal yükseklikleri elde edilir. Bu işlemler için LIDAR anten yöneltme bilgilerinin (roll, pitch, heading) tüm veri toplama süresince elde edilmesi gereklidir. Tüm bu işlemler sonucunda, hareket halindeki uçağın/helikopterin herhangi bir andaki enlem, boylam ve elipsoidal yükseklikleri ile yöneltme verileri elde edilmiş olur.

3.3.5. LIDAR Uçuş Verilerinin İşlenmesi

Bu aşamada gerçekleştirilen tüm işlemler fotogrametri yönteminde ve İHA fotogrametrisinde olduğu gibidir. Çekilen görüntülerin radyometrik dengelemesi de bu aşamada gerçekleştirilir. Ayrıca GPS/IMU ve GPS/INS verileri işlenerek resimlerin yaklaşık dış yöneltme elemanları (her resmin 6 dış yöneltme bilinmeyen) belirlenir ve elde edilen bu parametreler müteakip aşamalarda kullanılır.

3.3.6. LIDAR Verileri ile Fotogrametrik Nirengi Ölçümü (LIDAR Photo-Triangulation)

Bu aşamada uygulanan tüm işlemler fotogrametri yönteminde ve İHA fotogrametrisinde olduğu gibidir. Özetle, LIDAR verilerini de kapsayan sayısal görüntülerle fotogrametrik nirengi ölçümleri yapılır. Ardışık bindirmeli sayısal görüntülerde, model ve kolon bağlama noktalarının görüntü koordinatları otomatik olarak YKN ve denetleme noktalarının görüntü koordinatları manuel ve yarı otomatik yöntemlerle ölçülür. Ölçüm sonuçları editlenir, düzeltilir ve fotogrametrik nirengi blok dengelemesi için hazırlanır.

3.3.7. LIDAR Verilerinin Blok Dengelemesi ve Harita Projeksiyonunda Koordinat Hesabı

Yapılan fotogrametrik nirengi ölçümlerinde manuel ölçülen yer kontrol noktaları ve denetleme noktaları ile otomatik olarak ölçülen kolon ve model bağlama noktaları kullanılarak gerçekleştirilen blok dengelemesi sonucunda bloktaki tüm resimlerin dış yönelme elemanları hesaplanır. Bu aşamada self kalibrasyonlu, ilave parametrelili ve kaba hata araştırmalı ışın demetleriyle blok dengeleme yöntemi uygulanır.

LIDAR nokta bulutu ve yükseklik ölçümlerindeki temel hata kaynakları şunlardır:

- Enterpolasyon hataları (boşlukların kaldırılması ve bitki örtüsündeki noktaların atılması).
- Arazi yüzeyinde olmayan noktaların sayısal arazi modeline etkileri ve oluşan hatalar.

3.3.8. LIDAR Verilerinin İşlenmesi, Filtrelenmesi, Sınıflandırılması, Edetlenmesi

LIDAR veri seti içerisindeki esas nokta türleri şunlardır:

- a. Yer Noktaları (Ground/Terrestrial Points): Genellikle bölgesel en düşük yüksekliğe sahip noktalar olup çıplak yeryüzü de denilen gerçek arazi yüzeyindeki noktaları ifade eder.
- b. Obje Noktaları (Object/Feature Points, Non-Terrestrial Points): Arazide bulunan ama arazi yüzeyine ait olmayan ya da gerçek topografik yüzeyden sayılmayan ağaçlar, binalar, köprüler, kuşlar, enerji nakil hatları vb. doğal ve yapay objelere ait noktalardır. Gürültü ya da aykırı değerlerin de içinde bulunduğu bu nokta bulutundan yüzey noktalarını çıkarabilmek için yüzey noktalarının karakteristiklerini iyice anlamak gereklidir.

LIDAR verilerinin filtrelenmesi ve sınıflandırmasında dikkate alınması gereken gerçek arazi noktalarının karakteristik özellikleri şunlardır:

- En Düşük Yükseklik: Teorik olarak, yer yüzeyinde en düşük yüksekliğe sahip noktalardır.

- Yüzeyin Eğimi: Çıplak yeryüzünde komşu iki yer noktası arasındaki yüzey eğimi daha düşük olup bir yer noktası ve bir obje noktası arasında eğim daha yüksektir.
- Yüzey Noktaları Yükseklik Farkı: Yüzeyle ait komşu iki nokta arasındaki yükseklik farkı bir yüzey noktası ile bir obje noktası arasındaki yükseklik farkından daha düşüktür.
- Yüzey Homojenliği: Çıplak yeryüzü nispeten daha yumuşak ve sürekli. Bu durumu bozan en temel objeler ise ağaçlar ve binalardır. Yani ağaçlar ve binalar morfolojik olarak topografik yeryüzünde daha belirgin bir durumdadır, (Polat 19).

Toplanan LIDAR nokta bulutu verilerinden gerçek araziye ilişkin sayısal arazi modeli ve sayısal yükseklik modeli verilerinin oluşturulması için arazi yüzeyi üzerindeki ağaçlar, bitkiler, binalar, köprü ve viyadükler, elektrik hatları, arabalar vb. doğal ve insan yapısı tüm detayların bu verilerden çıkartılması gereklidir. Bu işlemler veri işleme adımında çeşitli sınıflandırma, filtreleme ve editleme algoritmaları ile uygulanır.

LIDAR veri işleme adımında arazi yüzeyi üzerinde ve o yüzeyden dönen lazer sinyalleri ile sayısal yükseklik modeli verilerini elde etmek için toplanan LIDAR nokta bulutu verilerinde manuel ve otomatik yöntemlerle çeşitli filtreleme teknikleri uygulanır. Bu ilk işlemlerle LAS formatında ham veriler üretilmiş olur.

LIDAR verileri elde edildikten sonra uygulanan post-process işlemi üç adımdan oluşmaktadır:

- a. Filtreleme (Filtering),
- b. Sınıflandırma (Classification),
- c. Enterpolasyon, Örnekleme (Interpolation, Resampling).

a. Filtreleme (Filtering): LIDAR nokta bulutundan SYM verileri üretiminde nokta bulutu veri setinde yer yüzeyine ait noktaların diğer yeryüzü üzerinde olmayan (ağaç, bina vb.) tüm noktalardan arındırılması işlemine “filtreleme” denir. Diğer bir deyişle filtreleme, üç boyutlu uzaya dağılmış bir nokta bulutu kümesi olan LIDAR verilerindeki yer yüzeyini temsil eden noktaların, insan yapısı objeleri (ağaçlar, bitkiler, binalar gibi) temsil eden noktalardan ayrılmasıdır.

Filtreme işlemi özellik çıkarımı için çok önemlidir ve sınıflandırma işlemine başlamadan önce mutlaka uygulanması gereklidir. Filtreleme yoluyla, toplanmış orijinal sayısal yüzey modeli verilerinden sayısal arazi modeli verileri elde edilmiş olur. Çoklu yansımaya beraber bir lazer ışını arazinin bir miktar içine ve bitki örtüsünün derinliklerine girerek nüfuz edebilmektedir. Bazı filtreleme algoritmaları ile bu çoklu yansımalar analiz edilebilmekte, ağaç gölgesi altındaki arazi yüzeyi ve topoğrafya hakkında bilgi edinilebilmektedir. Filtrelerin bir kısmı ham veriyi kullanır, bir kısmı ise görüntüye dönüştürülmüş veriyi kullanır. Filtreleme tekniğinin temel prensibi Şekil 3.6'da sunulmuştur.

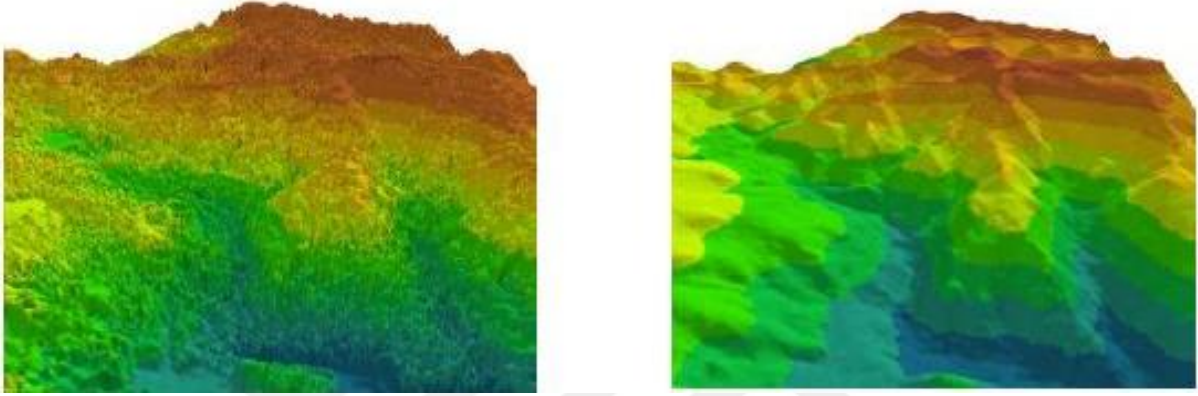
Filtreleme yoluyla toplanan LIDAR nokta bulutu verilerinden hangi yükseklik verilerinin gerçek yeryüzüne hangilerinin de doğal ve insan yapısı detaylara ait olduğu ayıklamak suretiyle belirlenebilmektedir. Tüm bu olumlu sonuçlara rağmen falezler, sarp ve dik kayalıklar, şevler, uçurumlar vb. gibi arazilerde filtreleme sonuçları istenen doğruluğu tam verememektedir.

b. Sınıflandırma (Classification): Bu işlemle orijinal toplanmış DSM verilerinden bina, bitki örtüsü, enerji nakil hatları vb. detayların gruplandırılması işlemi yapılarak bina ve bitki örtüsü detaylarının birbirinden ayırt edilmesi sağlanmış olur. Sınıflandırma işleminde LIDAR nokta bulutu ve sayısal yükseklik verilerinde çıplak yeryüzüne ait yükseklikler yoğunluk, çoklu dönüşümler vb. bilgilerin çıkarılması işlemleri gerçekleştirilir. Bazı uygulamalarda sınıflandırma ve filtreleme işlemleri birlikte uygulanan tek bir işlem adımı olarak da değerlendirilir.

Yansıma değerleri yüzeyin geometrisi ve yüzey materyaline bağlı olduğu için bitki, su ve yer yüzeyinin yoğunluk değerleri farklılık arz eder. Bu yüzden yoğunluk değerleri nokta sınıflandırmasında çok fazla işe yaramaktadır. LIDAR algılayıcısı bitki yüzeyine ait çoklu yansıma ve dönüşleri kaydeder. Bu sayede yer ve ağaç noktaları sınıflandırılarak ağaç yoğunluğu tahmini yapılabilir. Bina vb. objelerin sınıflandırılması işlemi de LIDAR verilerinden kolaylıkla yapılabilir.

c. Enterpolasyon, Örnekleme (Interpolation, Resampling): Son işlem adımında toplanan ve editlenen, filtreleme ve sınıflandırma işlemleri tamamlanmış gerçek arazi yüzeyine ilişkin DSM ve DTM sayısal yükseklik modeli verilerinden yararlanarak

enterpolasyon yöntemleri ile grid yapıda, yüksek doğruluklu sayısal arazi modeli ve sayısal yükseklik modeli verileri üretilir. LIDAR verilerinin filtrelenmesi ve sınıflandırmasında karşılaşılan zorluklar ve sorunlar genellikle enterpolasyon yöntemleri ile giderilmeye çalışılır ve sonuçta ideal bir SAM/SYM verisi üretimi için gerekli sürekli yüzey verisi elde edilir. Bu sebeple uygulamada kullanılan enterpolasyon yöntemleri SAM verilerinin doğruluğu üzerinde doğrudan etkilidir.



Şekil 3.6: Filtreleme öncesi Sayısal Yüzey Modeli (DSM) ile oluşan topografik yüzey (Solda), filtreleme sonrası Sayısal Arazi Modeli (DTM) ile oluşan topografik yüzey (Sağda)

LIDAR yönteminin önemli sorunlardan birisi de verilerin filtrelenmesi ve sınıflandırılması için en uygun model ve yöntemin seçiminde uygulamalarda bazı zorluklarla karşılaşılmasıdır. Bunun en önemli nedeni, toplanan verilerde doğal olarak bazı aykırı değerlerin bulunmasıdır. Yani az sayıda da olsa nokta kümesinin çok üstünde veya altında noktaların mevcut olması, muhtelif karmaşık objeler, dik yamaçlar, bağlı objeler, arazi süreksizliğine yol açan köprüler ve viyadükler, bitkiler vb. objeler filtrelemede ve sınıflandırmada bazı sorunlara yol açmaktadır.

GPS, INS ve LIDAR algılayıcıları ile toplanan ham veriler işlenerek koordinatlandırılmış nokta bulutu verileri ve kolon dosyaları elde edilir. Kolonlar arasında dengeleme işleminin yapılabilmesi için nokta bulutu içerisinde zemin noktalarının ayrıştırılması gerekmektedir. Bu amaçla dengeleme ön aşaması olarak kolonun sınıflandırma işlemi sonucunda zemin noktaları elde edilir. Zemin noktaları kullanılarak kolonlar arasındaki omega, phi, kapa dönüklükleri ve ölçek farkları hesaplanır. Sonuçta dengelenmiş nokta bulutu verileri elde edilir. Daha sonra kolonların bindirmeli alanlarındaki fazla kısımlar

kesilerek temizlenir. İş bölgesinde detaylı bir sınıflandırma yapılarak farklı yükseklik gruplarını temsil eden sınıflar elde edilir.

LIDAR uçuşu tamamlandıktan sonra ham LIDAR verileri post-proses tabii tutulur. Hedeften ve arazi yüzeyinden yansiyarak geri dönen her sinyal için alıcı ile hedef arasındaki eğik mesafe hesaplanır. Elde edilen veriler daha sonra atmosferik etkilerden arındırılır. Arazi koordinat sistemine göre mevcut eğiklik ve dönüklükler IMU sistemi ile yapılan ölçümlerle belirlenir. Bundan sonra dönüklük açıları gelen sinyallerin eğikliklerini düzeltilir. GPS ölçüm verileri ise bu verilerden ayrı olarak ve tek başına proses edilir ve işlenmiş veriler daha sonra LIDAR veri işleme sınıflandırmasına dahil edilir. Son aşamada LIDAR algılayıcılarının sinyal gönderildiği anda tespit edilen yaklaşık konumları ve tarama boyunca belirlenen salınım açıları kullanılarak yeryüzü üzerindeki herhangi bir yer noktasının ortometrik yüksekliği kolaylıkla bulunabilir. Bu işlemler sırasında uçağın herhangi bir andaki konumu da tespit edilebilir.

3.3.9. LIDAR Nokta Bulutu Verilerinden Sayısal Yükseklik Verileri Üretimi

LIDAR sistemleriyle elde edilen ham veriler, uzaya dağılmış, araziye ait ortalama 10 cm hassasiyette üretilmiş olan, genellikle uluslararası LAS formatındaki üç boyutlu nokta bulutu (point cloud) verileridir. LIDAR nokta bulutu kümesinde nokta yoğunluğunun ideal olarak metrekaresine 4 nokta, asgari olarak da 1 nokta olması arzu edilir. LIDAR nokta bulutu verileri ile bu verilerden türetilen sayısal arazi modeli ve sayısal yükseklik modeli verileri genellikle ASCII (asc) formatlarda üretilir.

LIDAR verilerini etkileyen önemli hususlar şunlardır:

- Veri yoğunluğu ve sıklığı (Point intensity / densification): LIDAR verisinin yoğunluğu uçuş yüksekliğine, atmosferik yansımaya, lazer ışınının frekansına ve ışının açısına bağlı olarak değişir.
- Veri doğruluğu ve kalitesi (Data accuracy and quality): LIDAR verilerinin düşey doğruluğu; LIDAR sisteminin hataları, uçuş yüksekliği, lazer ışını açısı, yüzeyin eğimi ve pürüzlülüğüne göre değişir. Uçuş yüksekliği fazla ise düşük düşey doğruluk elde edilir.
- Veri dağılımı (Point distribution): LIDAR verileri düzenli, eşit ve homojen dağılımlı olmayan verilerdir. Birden çok uçuş kolonu verileri birbiriyle birleştirilerek daha düzenli, tüm alana dağılmış ve boş kısımları minimum düzeyde olan bir veri seti elde edilmeye çalışılır. Sonuç olarak üst üste bindirilmiş LIDAR verilerinde noktalar arası mesafe daha az ve nokta yoğunluğu daha fazladır.

Temelde sayısal arazi modeli ve sayısal yükseklik modeli verileri elde etme yöntemleri şunlardır¹:

- Jeodezik ölçme yöntemleri
- Fotogrametrik ölçme yöntemleri
- IFSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar = Enterferometrik Yapay Açıklıklı Radar)
- LIDAR Yöntemi (Light Detection and Ranging = Lazerli Görüntüleme ve Mesafe Ölçme)

LIDAR yöntemi ile toplanan nokta bulutu verilerinden elde edilen yükseklik bilgileri şunlar olabilir:

- Sayısal Arazi Modeli: Kırık çizgili yüzey verileridir (Şekil 3.8).
- Sayısal Yükseklik Modeli: Grid yüzey verileridir (Şekil 3.7).
- Sayısal Yüzey Modeli: Ağaç, bina yükseklikleridir (Şekil 3.9).
- Üçgen Modeli: Düzensiz üçgenleme modelidir.
- Eş Yükseklik Eğrileri: Arazi yüzeyine ilişkin eş yükselti çizgileridir.

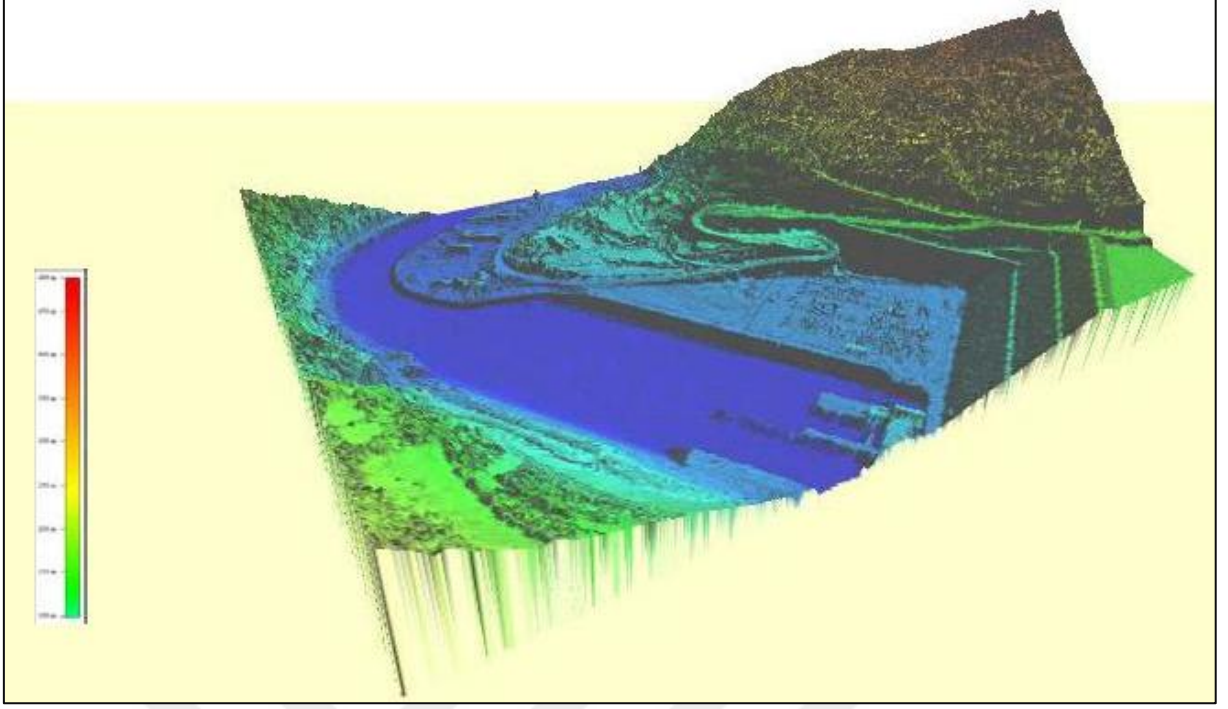
¹ Altınışık, Sinan., "Airborne Lidar Teknolojisi İle Sayısal Harita Üretimi ve Şırnak Örneği," *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi* 4(2012): 16-22.

- Kırık Hatlar: Arazide yüksekliğin ani değiştiği yerlerdir (dere, sırt, şev, vb.).
- Karakteristik Noktalar: Arazide yüksekliği belirgin yerlerdir (tepe, boyun, kokurdan, vb.).
- Gölge ve Kabartma Harita Verileri: Arazi yüzeyinin yapay olarak üç boyutlu sunumudur.
- Yamaç ve Eğim Haritaları/Verileri: Arazi yüzeyinin farklı yollarla üç boyutlu sunumudur.

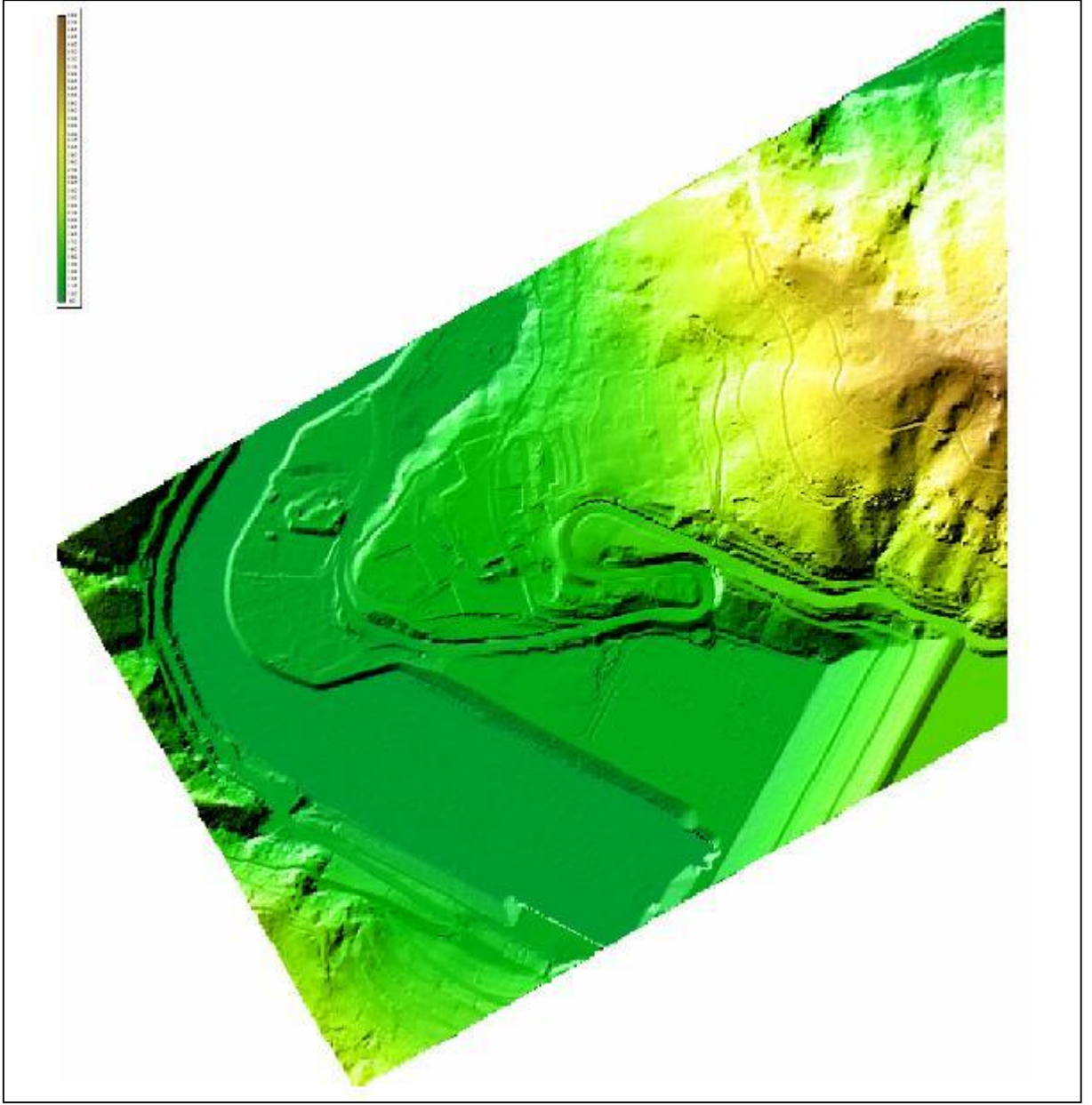
LIDAR'la toplanan sayısal arazi ve yükseklik modeli verilerinin doğruluğu şu faktörlere bağlıdır:

- Araziye ilişkin kaynak verilerin yoğunluğu ve dağılımı,
- Seçilen enterpolasyon yöntemi,
- Gridleme aralığı (grid mesafesi),
- Uçuş yüksekliği, kat edilen yolun uzunluğu ve tarama izinin genişliği,
- Lazer uzaklık ölçme donanımı ve teçhizatı,
- Lazer sistemi ile yapılan mesafe ölçümlerinin doğruluğu,
- GPS sisteminin konumlama doğruluğu ve IMU sisteminin yöneltme doğruluğu (Bölme 14).

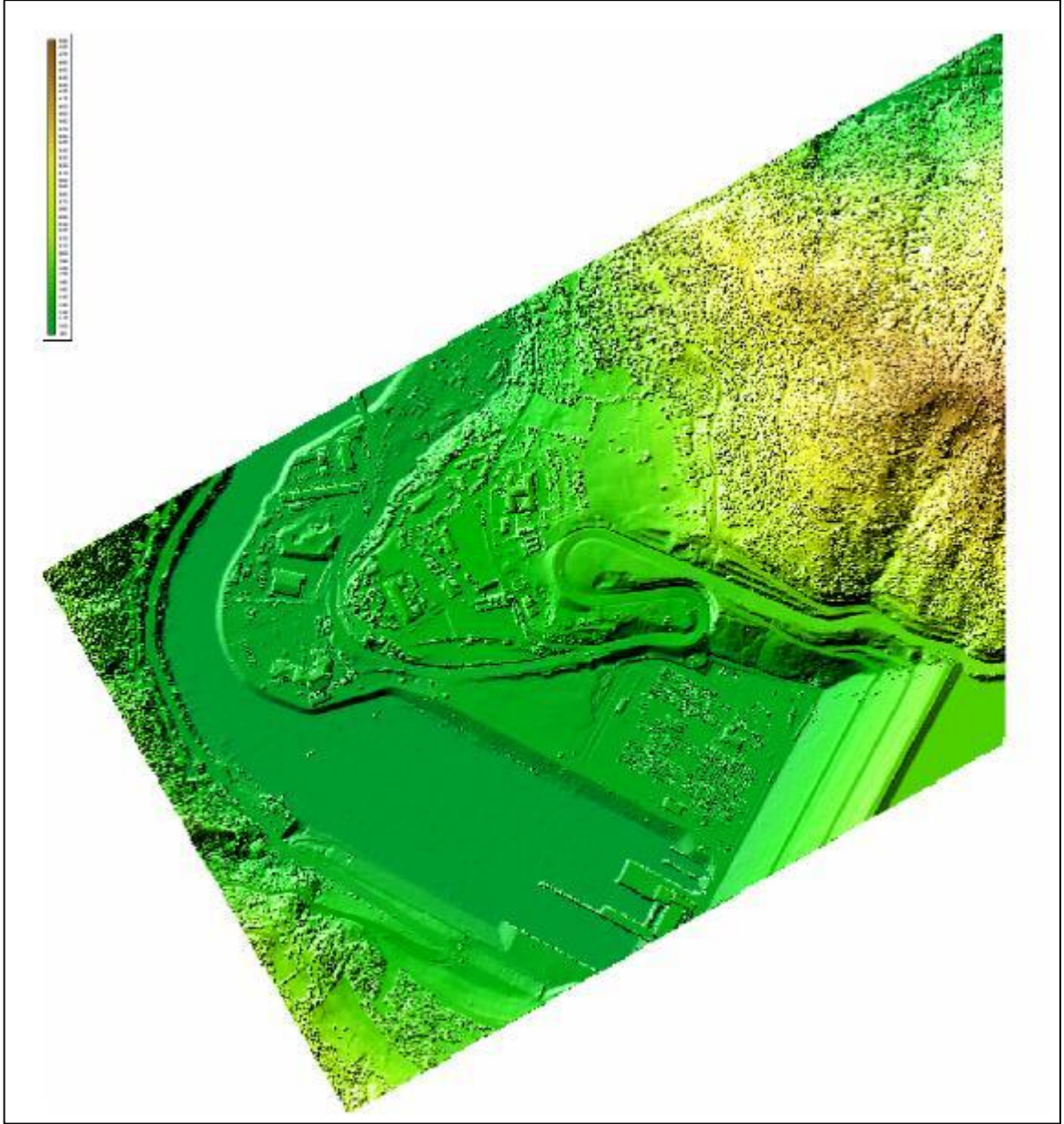
LIDAR yöntemiyle gerçekteştirilen muhtelif proje ve uygulamalardan edinilen bilgilere göre 1000 metreye kadar uçuş yüksekliğinde toplanan nokta bulutu verilerinden yararlanarak SAM, SYM ve SYzM formunda sayısal yükseklik modeli verilerinin ortalama 10-15 cm yükseklik doğruluğu ve 0.50-1.00 m arası konum doğruluğu üretildiği tespit edilmiştir.



Şekil 3.7: LIDAR sistemi ile elde edilen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM, DEM) verisi (Bölme, Murat., (2013). LIDAR İle Sayısal Arazi Modeli Üretimi ve Sistemin Doğruluğunun ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.)



Şekil 3.8: LIDAR sistemi ile elde edilen Sayısal Arazi Modeli (SAM, DTM) verisi (Bölme, Murat., (2013). *LIDAR İle Sayısal Arazi Modeli Üretimi ve Sistemin Doğruluğunun ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.)



Şekil 3.9: LIDAR sistemi ile elde edilen Sayısal Yüzey Modeli (SYzM, DTM) verisi (Bölme, Murat., (2013). *LIDAR İle Sayısal Arazi Modeli Üretimi ve Sistemin Doğruluğunun ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.)

3.3.10. Diğer İlave / Tamamlayıcı İşlemler, Sayısal Ortofoto ve Vektör Harita Üretimi

Pek çok LIDAR sistemi nokta bulutu verilerinin toplanması ile eş zamanlı olarak çözünürlüğü genellikle 1 m civarında olan sayısal, renkli veya siyah-beyaz, ortorektifiye edilmiş görüntüleri de toplama yeteneğine sahiptir. Ortofoto üretimi için gerekli görüntüler ya sayısal kameralardan ya da sayısal video kameralardan toplanır. Daha sonra ortofoto görüntüleri mozaiklenebilir ya da her bir lazer sinyali yoluyla gönderilen yoğun değerlerden türetilir.

Arazi yüzeyinde elde edilen LIDAR nokta bulutu verileri kullanılarak sayısal arazi modeli verileri elde edilir. Bu sayısal yükseklik verileri yardımıyla gelişmiş matematiksel algoritmalarla sayısal görüntüler ortorektifiye edilerek ya da basit bilgisayar görüntüleme ve hesaplama teknikleri kullanılarak Şekil 3.10'da gösterildiği gibi ortofoto ve foto-mozaiik görüntüler elde edilir.



Şekil 3.10: LIDAR-Sayısal Yüzey Modeli (DSM) verileri üzerine geçirilmiş ortofoto görüntüsü (Bölme, Murat., (2013). *LIDAR İle Sayısal Arazi Modeli Üretimi ve Sistemin Doğruluğunun ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.)

LIDAR verilerinden elde edilen farklı ürünler şunlardır:

- Temel veriler, ham/işlenmemiş ve filtrelenmemiş veriler (ilk sınıflama işlemleri yapılmış),
- Filtrelenmiş, yer noktası olan ve yer noktası olmayan veriler şeklinde yükseklik verileri (Ancak, bina ve bitki örtüsü detayları sınıflandırılmamış, birbirinden ayrılmamış verilerdir.),
- Otomatik sınıflandırma ile insan yapısı detaylardan arındırılmış, tam olarak işlenmiş veriler (% 99 düzgün bir sayısal arazi modeli ve çıplak yeryüzü yüzeyi)

- Enerji hatları, bina izleri vb. detayların manuel ve otomatik olarak tanımlamalarının birleşiminden oluşan, ileri derecede işlenmiş ve sınıflandırılmış detay çıkarma verileri,
- Diğer algılayıcılardan alınan bilgiler ile LIDAR'dan elde edilmiş yükseklik verilerinin birleştirildiği LIDAR veri ürünlerinin daha ileri seviyede artırılmış hali.

LIDAR ile fiziki coğrafya çalışmalarında kullanılmak üzere üretilen haritalar ve veriler şunlardır:

- Sayısal arazi modelleri ve sayısal yükseklik modelleri,
- Eşyükselti eğrileri,
- Kartografik haritalar,
- Arazi kullanım haritaları,
- Su kaynakları planlama ve dağılım haritaları,
- Sahillerde kıyı kenar çizgisi analizi,
- Jeomorfolojik haritalar,
- İklim haritaları,
- Biyotop haritaları (Duran 460).

4. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI FOTOGRAMETRİSİ İLE VERİ TOPLAMA

Harita üretiminde klasik jeodezik ve fotogrametrik yöntemlerle üretilen coğrafi veriler ve topografik haritalar, hava fotoğrafları, uydu görüntüleri, RADAR ve LIDAR verileri, hassas ve güvenilir olmaları yanında oldukça pahalı, yüksek maliyetli, uygulaması zor, zaman alıcı ve deneyim gerektiren yöntemlerdir. Bunun yanı sıra yanına gidilemeyen ve çalışma yapmanın zor olduğu arazi kesimlerinde, nispeten daha küçük alanlarda klasik harita üretim yöntemleri ve teknikleri yerine son yıllarda geliştirilen ve kullanılmaya başlanan radyo kontrollü İHA sistemleri (özellikle drone'lar) ile mobil harita üretimleri olanaklı hale gelmiştir. "İHA fotogrametrisi" olarak da adlandırılan bu yöntemin kullanımının yakın zamanda hızla artacağı düşünülmektedir.

Düşük maliyetlere, basit ve hızlı çözümlere olanak sağlayan İHA sistemleri, farklı meslek disiplinlerinde ve özellikle fotogrametri alanında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bunun en önemli nedenleri; model uçakların ve helikopterlerin son dönemde büyük gelişme kaydetmesi, sistemlerin elektronik donanımlarında önemli teknolojik yeniliklerin olması, gelişmiş GNSS (Global Navigation Satellite System), IMU ve INS ile konum belirleme ve navigasyonun daha yüksek hassasiyette yapılabilmesi ve fiyatlarının ucuzlaması sayılabilir.

İnsansız hava araçlarına monte edilen sayısal kameralar yardımıyla yeryüzünün görüntülenmesi, klasik vektör ve ortofoto haritaların üretimi, her geçen gün hızla artmaktadır. Oldukça basit bir tasarım, teçhizat, donanım ve yazılım bileşenlerine sahip olan İHA sistemleri ile düşük maliyetle, ekonomik ve hızlı biçimde, yeteri seviyede konumsal, radyometrik ve zamansal çözünürlüğe sahip görüntüler elde edilebilmektedir. Elde edilen yüksek konumsal çözünürlüğe sahip sayısal görüntüler, çok farklı amaçlar için kullanılabilir.

4.1. İHA'nın Tanımı, Özellikleri ve Kullanım Alanları

Bir mobil haritalama sistemi ve uygulaması olan İHA sistemleri, üzerinde farklı algılayıcıların monte edildiği, hareket halindeki hava aracının sürekli olarak üç boyutlu koordinatlarını elde edebilen ve aynı anda mekânsal veri toplayabilen, sınırlı ya da sınırsız yer kontrollü GPS desteğinin sağlandığı hareketli bir platformdur (Coşkun 12).

Mobil haritalama uygulamalarında kullanılan mobil platform, bir kara taşıtı, su taşıtı veya hava aracı olabilir. Mobil araca monte edilen GPS, IMU ve INS gibi konumlama sistemleri yardımıyla, mobil aracın ve araca monte edilen sayısal kamera veya lazer tarama sistemi gibi algılayıcıların konumsal olarak yönetilmesi sağlanmaktadır, (Şekil 4.1).

Mobil haritalama sistemleri genellikle iki kategoride sınıflandırılabilir;

- Yer Bazlı (Terrestrial) Sistemler: Arazide kullanılan lazer tarama sistemleridir.
- Hava Bazlı (Airborne) Sistemler: İHA sistemleri gibi hava destekli uygulamalardır.

Her iki sistemde de birden fazla bütünleşik farklı algılayıcılar, kamera sistemleri ve bileşenleri kullanılabilir. Ancak kullanılan platformlar birbirinden farklıdır. Hava bazlı mobil haritalama araçları olarak balon, zeplin, uçurtma, paraşüt, roket, helikopter, planör, uçak, drone vb. araçlar kullanılabilir. Doktora tezi çalışmasında tez konusu ile yakından ilişkisi bulunan hava bazlı haritalama sistemlerinden olan model uçaklardan ve bu kapsamda İHA sistemlerinden bahsedilecektir.

Ulusal ve uluslararası proje ve çalışmalar, İHA sistemleri ile yeryüzeyine ilişkin sayısal görüntülerin elde edilmesi, sayısal yükseklik modeli verileri, ortofoto ve foto-mozaik görüntüler ile topografik sayısal vektör haritaların üretimi klasik yöntemlere oranla daha kolay, basit, hızlı ve ekonomik bir şekilde gerçekleştirilebildiğini göstermektedir.



Şekil 4. 1: Sayısal kamera monte edilmiş bir insansız hava aracı “drone”¹

İHA Fotogrametrisinin önemli kullanım alanları şunlardır:

- Güvenlik ve askeri keşif, gözetleme, istihbarat ve istihbarata karşı koyma uygulamaları,
- Çevre koruma ve düzenleme hizmetleri,
- Çeşitli mühendislik uygulamaları, madencilik çalışmaları, barajlar ve HES (hidro-elektrik santral) uygulamaları,
- Yol projelerinin yapılması, arazi ve yol eğimlerinin tespiti ve yol kesitlerinin çıkarılması,
- Havadan yakın mesafe görüntüleme ile çok hızlı, kolay, ekonomik bir şekilde görüntü elde etme, halihazır harita, vektör ve ortofoto harita, sayısal arazi modeli vb. üretimleri,
- Üç boyutlu şehir ve arazi modellemeleri, deformasyon analizleri,
- Arama-kurtarma amaçlı güvenlik hizmetleri ve jandarma/güvenlik faaliyetleri,
- Arkeolojik kazı çalışmaları ve eski tarihi eserlerin incelenmesi,
- Doğal afetlerin (deprem, sel, yangın, heyelan vb.) yönetimi, izlenmesi, görüntülenmesi,
- Muhtelif belediyeçilik hizmetleri ve kentsel dönüşüm uygulamaları,

¹http://eski.geomaticsgroup.com/media/Genel_Medya/RB/b32bc5-TeknoMer_Insansiz_Hava_Araci.pdf, Erişim Tarihi: 28.03.2016

- Ormancılık faaliyetleri, orman amenajman haritalarının üretimi, orman tahribinin takibi,
- Enerji nakil hatlarının periyodik olarak görüntülenmesi, bakımı ve onarımları,
- Ziraat alanları ve yeşil alanların tespiti işlemleri,
- Jeolojik ve meteorolojik uygulamalar.

4.2. İHA'nın Temel Prensibi, Bileşenleri ve Esasları

Bir İHA görüntüleme sistemi esas itibarıyla üç ana bileşenden oluşur:

- Sayısal kamera, lazer tarayıcı vb. görüntüleme sistemi,
- GPS konum belirleme sistemi,
- IMU.

Radyo kontrollü bir İHA sisteminde aşağıdaki ilave bileşenlerin de olması tercih edilir:

- Vibrasyonu önleyen stabilizasyon sistemi,
- Otomatik pilot sistemi,
- Uzaktan kumanda sistemi (Coşkun 14).

Burada belirtilen temel İHA bileşenleri yardımıyla kamera, algılayıcı ve tarayıcı sistemlerle istenen görüntülerin temin edilmesi yanında elde edilen verilerin konumlandırılması ve insansız hava araçlarının kontrolü ve yönetilmesi işlemleri de gerçekleştirilmektedir.

İnternet aracılığı ile erişilebilen Google ve Google Earth haritaları Şekil 3.2'de takdim edildiği gibi İHA sistemleri ile harita üretiminde ve hatta mobil harita üretimlerinde önemli olanaklar sağlamaktadır. Yersel ve İHA benzeri hava bazlı mobil haritalama sistemlerinde özel olarak üretilmiş ya da modifiye edilmiş araçlar kullanılmaktadır.



Şekil 4.2: İHA sistemleriyle ölçülen noktaların Google Earth ortamında gösterimi (Avdan, Uğur., Şenkal, Emre., Çömert, Resul., Tuncer, Serhan., *İnsansız Hava Aracı İle Oluşturulan Verilerin Doğruluk Analizi*, İstanbul: V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS), 2014.)

İHA'larda kullanılan görüntü alma sistemleri ve algılayıcılar klasik hava fotogrametrisinden LIDAR ve RADAR'a kadar en düşük çözünürlükteki kamera ve algılayıcılardan en yüksek çözünürlükteki sayısal kameralara kadar kullanım amacına göre değişen farklı tipte ve niteliklerde görüntü alma seçenekleri sunmaktadır.

İHA sistemlerinde kullanılması mümkün olan görüntü alma seçenekleri şunlardır:

- ✓ Termal kameralar,
- ✓ Morötesi (ultraviole) kameralar,
- ✓ LIDAR algılayıcıları,
- ✓ RADAR sistemleri,
- ✓ Hiperspektral kameralar,
- ✓ Standart kameralar,
- ✓ Sayısal/dijital kameralar.

Uygun bir İHA Sistemi tasarımı ve kullanımında dikkate alınması yararlı görülen hususlar ve teknik özellikler aşağıda sıralanmıştır. Parantez içinde verilen değerler farklı uygulamalardan ve İHA projelerinden elde edilen bilgileri, belirtilen teknik özelliklerle ilgili minimum, maksimum ve ortalama değerleri yansıtmaktadır. Verilen değerler tamamen yapılan uygulamalardan edinilen bilgileri içermekte olup bu değerler İHA sistemlerinin teknik özellikleri ve donanım bileşenlerinin karakteristikleri hakkında sadece bir fikir vermeye yöneliktir. Aksi halde burada verilen değerlerin tamamen dışında tasarımı yapan kişi veya kurum tarafından yapılacak tercihlere göre daha yüksek (ya da daha düşük) kapasiteye, imkân ve kabiliyetlere, gelişmiş teknik özelliklere sahip İHA sistemlerinin tasarımının mümkün olabileceği değerlendirilmektedir.

- Kullanımı tasarlanan hava aracı türü (model uçak, helikopter, planör vb.),
- Planlanan kamera, tarayıcı ve algılayıcı türü (standart, dijital kamera, SAR, LIDAR vb.),
- Kamera ağırlığı (100-300 gr arası),
- İHA aracı ağırlığı (0,7-2,5 kg arası),
- İHA taşıma / yükleme kapasitesi (300-500 gr arası),
- İHA toplam ağırlığı, uçuş ağırlığı (0,7-4,0 kg arası),
- İHA aracının kanat genişliği (70-150 cm arası),
- Rüzgâra karşı dayanıklılığı ve rüzgâr mukavemeti (40-70 km/saat rüzgâr hızı),
- Rüzgârda güvenli uçuş hız limiti (km/saat olarak),
- Maksimum uçuş hızı (30-60 km/saat),
- Azami hıza ulaşma süresi (dakika olarak),
- Maksimum uçuş süresi (15-120 dakika arası),
- Maksimum uçuş menzili / uzaklığı (3 ila 15 km arası),
- Görüntülerin gönderilebileceği maksimum uzaklık, radyolink kapasitesi (1-20 km arası),
- Yükselme ve alçalma hızı ve hızın ayarlanabilme özelliği (m/sn olarak),
- Ortalama faydalı yükseklik (50 ila 1000 m arası),
- Maksimum uçuş yüksekliği (50 ila 1000 m arası),
- Minimum ve maksimum tırmanma hızı ve hızın ayarlanabilme özelliği (2-30 m/sn),
- Motor tipi (benzinli, nitro yakıtlı, elektrikli motorlar, fırçasız motorlar vb.),
- Motor gücü/itki gücü,
- Batarya tipi (Lityum-Polimer, Li-Po vb.),

- Batarya şarj süreleri (5-60 dakika arası),
- Arazideki kapladığı alan, uçuş alanı genişliği (0,20-20 km² arası),
- Arazideki piksel çözünürlüğü (3-30 cm/piksel),
- Kalkış ve inişte kullanılan teknik (otomatik, manüel, düşey, eğik düzlemde vb.),
- Kalkış ve inişler için piste ihtiyaç olup olmadığı ve açık araziye inme yetenekleri,
- Havada asılı kalabilme (hoover) özelliği,
- Havada asılı kalma süresi (saat veya dakika olarak zaman birimi ile),
- Manevra kabiliyeti, sağa-sola-geriye dönme özelliği,
- Kaza ve düşmelerde kırım olasılığı (yüzde olarak),
- Sürekli işletim ve bakım desteği,
- Kullanılan teknik ekipmanın garanti desteği.

Bazı teknik özellikleri, ebatları ve ağırlığı kullanılacak İHA sistemine doğrudan bağlı olmakla birlikte İHA'larda kullanılan sayısal kameraların asgari şu özelliklere sahip olması uygundur:

- Birden fazla cins ve özellikteki kamera ve algılayıcı takılabilme özelliği,
- Kameranın çözünürlüğü (3.000 ila 6.000 piksel arası),
- Odak uzaklığı (4-25 mm arası),
- Deklanşör hızı (ortalama 1/2.000),
- Diyafram açıklığı (1/2 – 1/9 arası),
- Ağırlığı (100-300 gr arası),
- Asgari 5-20 Megapiksel (MP) çözünürlük,
- Akıllı görüntü sabitleme özelliği,
- Farklı ışık koşullarına olan duyarlılığı.

İnsansız hava araçları bazı önemli özellikleri göz önüne alınarak sınıflandırılırlar. Sınıflandırmada ağırlık, uçuş süresi, uçuş hızı ve yükleme miktarı, ayırt edici özellikler olarak görülmektedir ve sınıflandırma yapılırken bu önemli ayırt edici özelliklerin göz önüne alınmasında yarar vardır. İHA sistemlerinin performansları ile ilgili sözü edilen bu kriterler ve karakteristik özellikler tasarımcı, üretici ve potansiyel müşteriler için büyük önem taşımakta ve İHA'lar ile ilgili ihtiyaçların ve beklentilerin tespit edilmesi ve karşılanmasında önemli rol oynamaktadır. İHA tasarımı ve İHA fotogrametrisi uygulamalarında belirtilen ölçütlerden,

özellikle İHA sisteminin ağırlığı, dayanıklılığı, uçuş süresi ve motor gücü oldukça belirleyicidir.

Radyo kontrollü İHA sistemleri uzaktan kumanda edilen, insansız, model hava araçlarıdır. İHA sistemleri benzin, nitro yakıt ve elektrik motorları ile çalışabilir. Hava fotogrametrisi uygulamaları için, vibrasyonu daha az olması nedeniyle genellikle elektrik motorları tercih edilmektedir. Ancak günümüzde İHA'larda uygun kamera altlıkları ve vibrasyon etkisini gideren ilave teçhizat ve ekipmanlarla benzinle çalışan İHA-hava araçları da kolayca kullanılabilir. Elektrikle çalışan İHA'lar, benzin ve nitro yakıtla çalışanlara oranla uçuş süreleri daha kısadır. Havadan fotoğraf alımı ve topografik harita üretimi amacıyla kullanılan İHA hava araçları ile hazırlanan uçuş planlarına ve uçuş hatlarına uygun olarak daha stabil, optimum uçuş yapılmasını sağlamak amacıyla İHA'larda otomatik pilot sistemlerinin kullanılması oldukça yararlıdır. Oto-pilot sistemleri hem benzin ve nitro motorlar hem de elektrikli motorlar ile çalışan İHA'larda rahatlıkla kullanılabilir. Daha iyi sonuçlara ulaşmak için oto-pilot sistemi ile birlikte kamera stabilizasyonu teçhizatının da kullanılmasında yararlar vardır (Coşkun 14).

Radyo kontrollü, uzaktan kumandalı, oto-pilot sistemli İHA'ların önemli avantajları şunlardır:

- ✓ Düşük maliyetlere sahip olması,
- ✓ Kolay kontrol edilebilir olması,
- ✓ Kullanma ve işletiminin basit olması,
- ✓ Basit, kolay, ucuz donanım, yazılım ve teçhizata sahip olması,
- ✓ Düşük doğruluklu çalışmalarda hızlı çözümler sunabilmesi,
- ✓ Ulaşılamayan, girilemeyen, tehlikeli ve riskli alanlarda çalışabilme olanağı sağlaması,
- ✓ Seri bir planlama ile istenilen zamanda, çok hızlı veri toplama ve görüntü alma kabiliyetine sahip olması,
- ✓ Uçuş planına uygun olarak uçuş yapma ve veri toplama yeteneğine sahip olması,
- ✓ Hızlı ve ekonomik şekilde görüntü alma, yükseklik verisi, vektör ve ortofoto harita üretme olanağı sağlaması,
- ✓ Zamansal çözünürlüğü oldukça yüksek periyodik görüntü alımını mümkün kılmasıdır.

Radyo kontrollü, otomatik pilot sistemine sahip İHA'ların önemli dezavantajları şunlardır:

- İHA'larla ilgili mevcutta birtakım yasal sınırlamaların ve zorlukların olması,
- İHA'larla ticari uçuş yapılmasına yönelik yeni yasal düzenlemelerin olmaması,
- Sivil Havacılık tarafından İHA uçuşları ile ilgili gerekli düzenlemelerin yapılmaması,
- İHA'ların kamuya açık alanlarda kullanımının riskli olması, tehlike arz etmesi ve belirli noktalarda kullanım yasağının bulunması,
- İHA donanımlarının garantisinin olmaması ve sigorta konusunda belirsizliklerin yaşanması,
- Sınırlı yükleme ve taşıma kapasitesine sahip olmasıdır.

4.3. İHA Fotogrametri Yönteminde Ana İşlem Adımları

İHA sistemleri de dâhil olmak üzere tüm mobil haritalama sistemlerinde uygulanan temel işlemler en genel haliyle aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Platformun mobil hale getirilmesi,
- Veri toplama,
- Veri işleme,
- Bilgi elde etme,
- Kullanıcılar için veriyi uygun hale getirme.

Ancak, son yıllarda meydana gelen teknolojik gelişmelere paralel olarak İHA fotogrametrisi verileri ve görüntüleri fotogrametrik yöntemlerin imkân ve kabiliyetlerine ulaşmış, her türlü fotogrametrik veri toplama ve harita üretimi çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır. Bu nedenle bu bölümde fotogrametrik yöntemlerde olduğu gibi İHA fotogrametrisinde uygulanan tüm işlem adımları detaylı olarak incelenmiştir.

İHA fotogrametrisinde kullanılabilen girdi verileri şunlar olabilir:

- Yersel, hava ve uydu fotogrametrisi amaçlı sayısal kameralarla çekilen fotoğraflar,
- Her türlü kamera ve merceklerden elde edilen veriler (LIDAR, SLR, multispektral vb.),
- Çoklu band görüntüleri ve çoklu format desteği (RGB, NIR, Termal, JPG, TIFF vb.),

- Çoklu kamera desteği (Aynı proje içerisinde farklı formatlarda görüntü ve veri alabilme),
- Yer kontrol noktalarının koordinatları ve her türlü koordinat ve referans sistemi desteği.¹

İHA fotogrametrisi yöntemiyle üretilen çıktı verileri şunlardır:

- ✓ Ham ve işlenmiş sayısal görüntüler (raw and processed images),
- ✓ Ham ve işlenmiş sayısal GNSS/GPS, GPS/IMU ve GPS/INS kinematik uçuş verileri,
- ✓ Fotogrametrik nirengi ölçümleri,
- ✓ Fotogrametrik nirengi blok dengeleme sonuçları raporu,
- ✓ Denetleme noktaları ve bağlama noktalarının koordinatları,
- ✓ Resimlerin dış yöneltme verileri,
- ✓ Çeşitli formatlarda üçgen model yapısında üretilen yükseklik verileri (TIN, OBJ vb.),
- ✓ Çeşitli ASCII formatlarda üç boyutlu nokta bulutu verileri (LAS, LAZ, XYZ, PLY vb.),
- ✓ Çeşitli formatlarda üretilen vektör veriler (DXF, DGN, SHP, KML vb.),
- ✓ Çeşitli formatlarda, ortofoto ve foto-mozaik görüntüleri (TIFF, GeoTIFF, JPEG, RGB),
- ✓ Çeşitli formatlarda Google alanları (Başta KML ve HTML formatında olmak üzere).²

Bu bölümde İHA sistemi ve İHA fotogrametrisi yöntemiyle veri toplama ve topografik vektör ve ortofoto harita üretimlerinde uygulanan temel işlem adımları aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır.

¹http://eski.geomaticsgroup.com/media/Genel_Medya/RB/b32bc5-TeknoMer_Insansiz_Hava_Araci.pdf, Erişim Tarihi: 28.03.2016

²http://eski.geomaticsgroup.com/media/Genel_Medya/RB/b32bc5-TeknoMer_Insansiz_Hava_Araci.pdf, Erişim Tarihi: 28.03.2016

4.3.1. Planlama ve Hazırlık İşlemleri

İHA sistemlerinde fotogrametri yöntemlerindeki planlama ve hazırlık işlemlerinin aynısı uygulanır. Bu aşamada fotogrametrik yöntemlerde olduğu gibi proje ile ilgili tüm bilgiler bir araya getirilir, hava fotoğrafı çekimi yapılacak iş bölgesinin sınırları grafik olarak sayısal ortama aktarılır, üretimi yapılacak harita ölçeğine göre pafta taksimatları hazırlanır. İHA sistemiyle fotogrametrik veri toplama ve harita üretimine başlamadan önce uygulamada kullanılacak hava aracı ve sayısal kameranın tasarımı büyük önem taşımaktadır. İHA sistemlerinde kullanılan hava aracı ve sayısal kameralardaki bazı sınırlamalar nedeniyle ancak düşük yüksekliklerde (100-1000m arası), 1/2.000 ve daha büyük ölçekli topografik haritaların üretimi olanaklı olduğundan uçuş yüksekliği, görüntü ölçeği, GSD değeri, sayısal kameranın piksel boyutları vb. değerler belirtilen bu sınırlamalara uygun olarak seçilir.

Bu kapsamda İHA sistemlerinin fotogrametriden önemli farklılıkları; resim çekme amacıyla kullanılan hava aracı ve sayısal kameranın fotogrametrik yöntemlerde kullanılan sistemlerden tamamen farklı olması, fotogrametrik yöntemlerin aksine İHA fotogrametrisinde daha basit, küçük, hafif, kullanımı kolay, pratik, maliyeti düşük, ucuz uzaktan kumandalı insansız sistemler ve hava araçları ile sayısal kameraların kullanılması sayılabilir.

İHA'nın başarısı ve uygulamalarda kullanımı, aşağıda belirtilen 4 işlemin sorunsuz olarak gerçekleşmesine bağlıdır:

- İlk aşama: Uygun, basit ve kullanışlı prototip insansız hava aracı tasarımı/seçimidir.
- İkinci aşama: Uygun, basit, hafif bir sayısal kameranın insansız hava aracına montajıdır.
- Üçüncü aşama: Kamera monte edilmiş İHA hava aracının stabilizasyonunun sağlanmasıdır.
- Son aşama: İHA sistemi ile resim çekilerek yüksek doğruluklu 3D harita üretimidir.

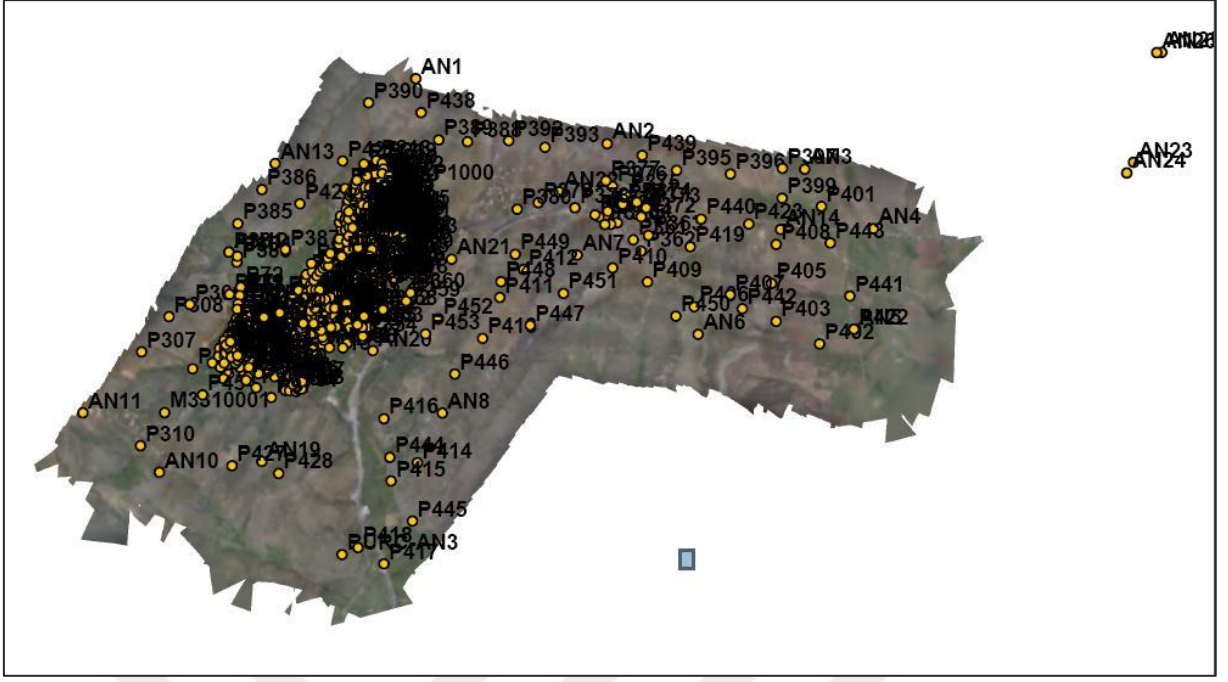
İnsansız hava aracı türü ve İHA fotogrametrisi yönteminin seçiminde etkili olan ana faktörler şunlardır:

- İnsansız hava aracının yükleme miktarı, taşıma kapasitesi,
- İHA'nın uçuş süresi, havada kalma süresi,
- Haritası yapılacak alanın büyüklüğü,
- Harita ve coğrafi veri üretiminde beklenen doğruluk, incelik ve duyarlılık.

4.3.2. İHA Uçuş Planlaması (UAV Flight Planning)

İHA sistemleriyle hava fotoğrafı çekimi öncesinde çalışma bölgesine ait bir uçuş planının sayısal ortamda hazırlanması; yeterli sayıda, uygun ve homojen dağılmış YKN'lerinin planlanması, uçuş kolonlarının çizilmesi, eski ve yeni YKN'lerinin uçuş planına aktarılması, hazırlanan uçuş planında yer alan grafik ve grafik olmayan bütün bilgilerin, uçuş işlemlerini uzaktan kumanda ile sevk ve idare edecek olan ekibe teslim edilmesigibifotogrametrideki benzer işlemler gerçekleştirilir. İHA sistemleri ile arazini yapısı ve karakteristiklerine bağlı olarak klasik sayısal hava fotogrametrisindeki benzer şekilde % 60-80 arası boyuna bindirme, % 40-60 arası enine bindirme oranları uygulanmaktadır.

Bu aşamada dikkat edilmesi gereken önemli hususlar ve uygulanması gereken temel prensipler, uçuş ve YKN planının hazırlanmasında ve hava fotoğrafı çekiminde uygulanması gereken önemli kurallar, iş bölgesi ile uyumlu proje verileri ve parametrelerinin hazırlanmasında göz önüne alınması yararlı görülen hususlar fotogrametri yönteminde belirtildiği gibidir. Uçuş ve müteakip işlem adımlarının başarısı belirtilen bu hususların eksiksiz olarak yerine getirilmesine bağlıdır. Örnek bir İHA uçuş ve YKN planlaması Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3: İHA fotogrametrisi ile uçuş ve Yer Kontrol Noktası (YKN) planı hazırlama (Örnek) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

4.3.3. Arazide Yer Kontrol Noktası Tesisi ve İşaretlenmesi

İnsansız hava aracından elde edilen görüntülerin birtakım yöneltme ve hesaplama işlemlerinden sonra bir harita gibi kullanılabilmesi için iş bölgesine ait uçuş planları hazırlanırken uygun ve homojen dağılımda ve yeteri sayıda yer kontrol noktası ile koordinatlandırılması gerekmektedir¹. Bu işlemin temel amacı verilerin daha hassas yöneltmesini sağlamaktır. Bazı İHA yazılımları toplanan sayısal verileri/görüntüleri YKN olmaksızın da işleyebilmektedir. YKN kullanılmaksızın uygulanan İHA fotogrametrisi yöntemindeki veri işlemede genellikle sayısal uçuş verileri kullanılmakta olup elde edilen sonuç ürünlerin doğruluğu, YKN'lı elde edilen verilere oranla daha düşüktür.

İHA fotogrametrisi yöntemiyle çekilen hava fotoğrafları ile yapılan uygulamalardaki bu işlem adımı; hazırlanan uçuş planında gösterilen tüm yer kontrol noktalarının arazide tesisi, uygun hava işaretlerinin yapılması, boyanması ve kireçlenmesi, klasik veya gelişmiş GPS/GNSS sistemleriyle ölçümü, üç boyutlu koordinatlarının (X,Y,Z) dengeleme ile hesaplanması işlemleri yerine getirilir. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken önemli hususlar

¹Avdan, Uğur., Şenkal, Emre., Çömert, Resul., Tuncer, Serhan., İnsansız Hava Aracı İle Oluşturulan Verilerin Doğruluk Analizi, İstanbul: V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS), 2014.

ve uygulanması gereken temel prensipler fotogrametrik yöntemlerde olduğu gibidir. Bu aşamada uygulanan işlemler açısından iki yöntem arasından önemli bir farklılık yoktur.

4.3.4. Kinematik GPS'li İHA Uçuşu ile Sayısal Hava Fotoğrafı Çekimi

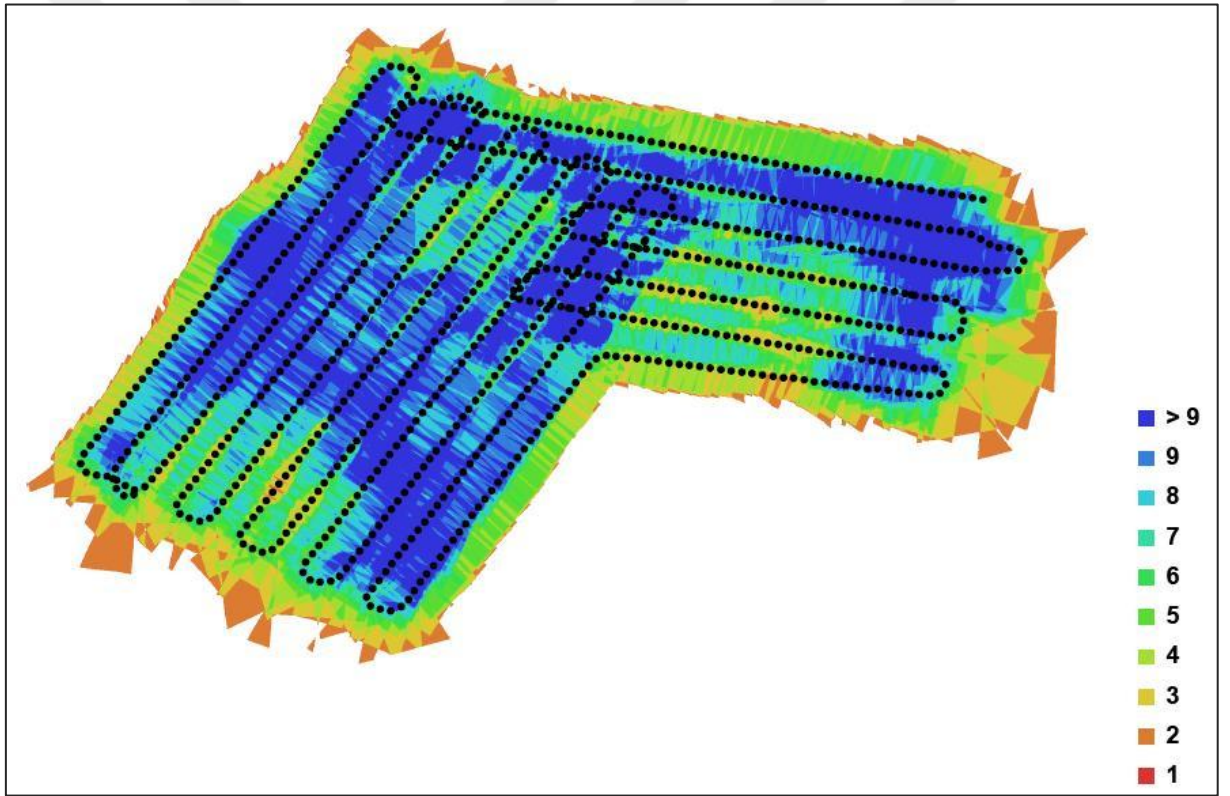
Bu işlem adımında hava aracına monte edilmiş olan sayısal hava kamerası, GPS/IMU ve GPS/INS sistemleri ile uçuş planına uygun olarak GPS destekli navigasyon ve kinematik görüntü uçuşu yapılır ve iş bölgesini örten bindirmeli hava fotoğrafları çekilir. Yapılan uçuşlara ait uçuş bilgileri ve görüntü verileri sayısal ortama kaydedilir. Daha sonra yapılan kontrollerde görülen eksik ve hatalı uçuşlar yenilenir. Uçuş süresince ve resim çekimi sırasında bir adet uçakta ve bir adet arazide, iş bölgesi içinde ve yaklaşık ortasında bir yerde olacak şekilde aynı model GPS/GNSS alıcıları ile aynı anda GPS kaydı ve ölçümleri yapılır. Bu işlemler sonunda iş bölgesinin tamamı bindirmeli resimlerle kapatılmış olur. İHA sistemiyle uçuş yapılması ve hava fotoğraf çekimi Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

Bu aşamada İHA fotogrametrisinin fotogrametriden önemli farkları, İHA yönteminde GPS destekli navigasyon ve uçuşta otomatik pilot sisteminin kullanılması, kullanılan hava aracının uzaktan kumanda ile kontrol edilmek suretiyle resim çekimlerinin yapılması ve bu nedenle İHA sisteminde herhangi bir uçuş ekibine ihtiyaç duyulmaması, ayrıca sistemin sahip olduğu teknik sınırlamalar nedeniyle iş bölgesinin klasik yöntemlere oranla nispeten daha küçük seçilmesi, iş bölgesine ait fotoğrafların kesiksiz bir şekilde alınması ve özellikle kolon dönüşlerinde de fotoğraf çekimine kesintisiz bir şekilde devam edilmesi sayılabilir. Dikkat edilmesi gereken diğer hususlar ve uygulanması gereken temel prensipler fotogrametri yönteminde belirtildiği gibidir.

Kullanılan kamera ve algılayıcı tipine bağlı olarak İHA sistemleri ile şu görüntüler alınabilir:

- Pankromatik (PAN, P) görüntüler: Tek renkli, siyah-beyaz, monokrom görüntülerdir.
- Renkli görüntüler: Kırmızı-yeşil-mavi renkli görüntülerdir.
- Yakın kızılötesi (NIR: Near Infrared) görüntüler: Yansıyan kızılötesi/infrared verilerdir.
- Lazer tarama (Laser Scanning) verileri: Sürekli lazer tarama ile toplanan görüntülerdir.

- LIDAR verileri: Talep ve ihtiyaç olması halinde lazer vb. sistemlerle alınan görüntülerdir.
- RADAR verileri: Talep ve ihtiyaç olması halinde RADAR sistemiyle alınan görüntülerdir.
- Gece görüş özellikli kameralar: Özel amaçlı askeri üretimler yapılmasına olanak sağlayan kameralardır.
- Yakınlaştırma-odaklama özellikli kameralar: Hedeflere yaklaştırmaya, takip etmeye yarar.
- Diğer görüntü verileri: Bunların dışında kalan diğer kamera ve algılayıcı verileridir.

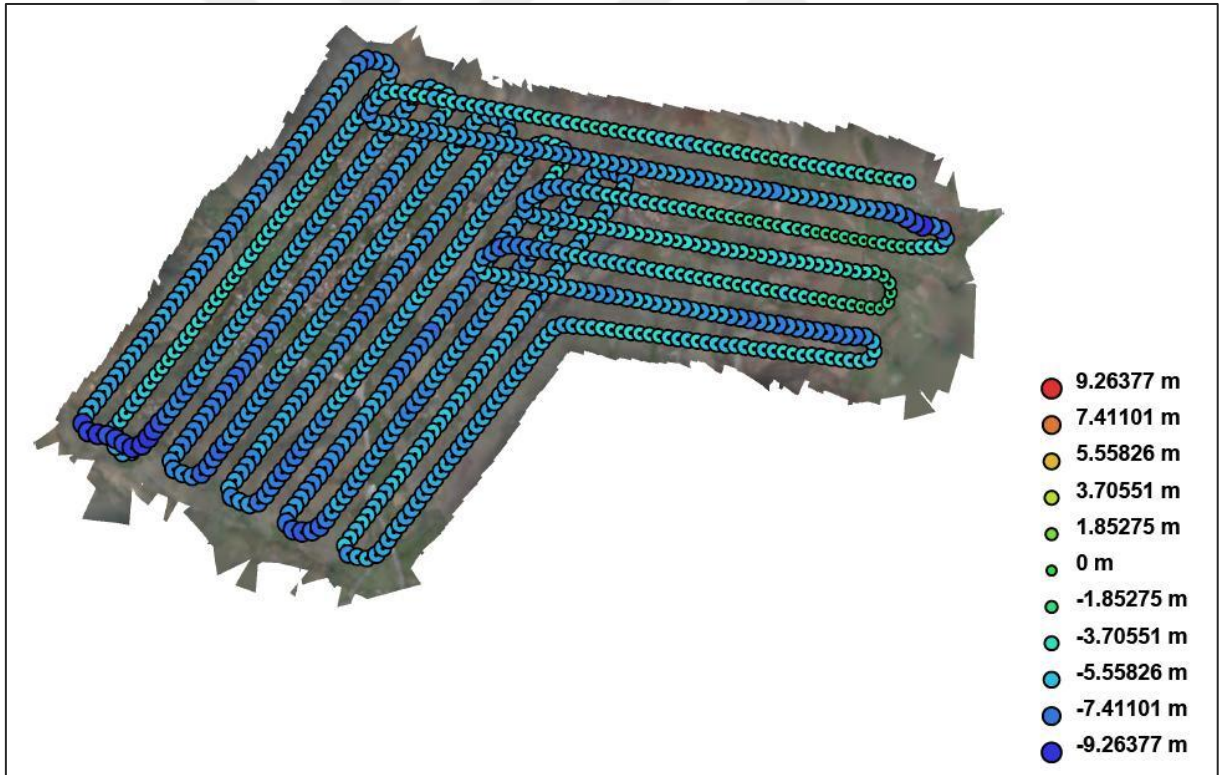


Şekil 4.4: İHA fotogrametrisi yöntemiyle uçuş yapılması ve hava fotoğrafları çekimi (Örnek) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

4.3.5. Sayısal Uçuş Verilerinin İşlenmesi (Process UAV Flight Data)

Bu işlem adımında sırasıyla, uçakta ve yerde yapılan GPS/GNSS ölçümleri işlenir (proses edilir), sayısal görüntü işleme ve görüntü zenginleştirme algoritmaları ile uygun sayısal görüntüler elde edilir, GPS/IMU ve GPS/INS verileri proses edilerek resimlerin eğiklik ve dönüklükleri, izdüşüm merkezlerinin koordinatlarını içeren yaklaşık dış yöneltme elemanları hesaplanır. Fotogrametri uygulamalarında olduğu gibi İHA fotogrametrisinde de uçuş verilerinin hızlı ve tam otomatik olarak kontrolü, tam otomatik veri işleme algoritmaları ile işlenmesi olanaklıdır.

Elde edilen işlenmiş, zenginleştirilmiş sayısal görüntüler bir sonraki işlem adımı olan fotogrametrik nirengi ölçümünde, her bir resme ait dış yöneltme verileri ise fotogrametrik nirengi blok dengeleme hesabında kullanılır.



Şekil 4.5: İHA fotogrametrisi ile toplanan sayısal uçuş verilerinin analizi ve işlenmesi (Örnek) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

4.3.6. İHA Verileri ile Fotogrametrik Nirengi Ölçümü (UAV Photo-Triangulation)

İHA fotogrametrisinden elde edilen, görüntü işleme ve zenginleştirme algoritmaları uygulanan sayısal görüntülerde fotogrametrik nirengi ölçümünde kolon ve model bağlama noktaları tam otomatik yöntemle, yer kontrol noktaları ve denetleme noktaları ise operatör kontrollü olarak manuel ölçülür. Otomatik olarak ölçülen bağlama noktalarından kaba hatalı olanlar ve hata sınırını aşan ölçümler, operatör tarafından manuel ve yarı otomatik yöntemlerle editlenir ya da yeniden ölçülür. Bağlama noktalarının yetersiz ve eksik olduğu görüntü alanlarında manuel olarak ilave fotogrametrik nirengi ve bağlama noktası ölçümleri yapılır. İHA fotogrametrisinde uygulanan fotogrametrik nirengi ölçümleri fotogrametri ile benzer özelliklere sahiptir.

4.3.7. İHA Verileri ile Fotogrametrik Nirengi Blok Dengeleme (Bundle Block Adjustment)

Otomatik olarak gerçekleştirilen ve operatör kontrollü şekilde manuel olarak editlenen fotogrametrik nirengi bağlama ve yer kontrol noktası ölçümleri, YKN'lerinin bilinen üç boyutlu koordinatları (X,Y,Z), işlenmiş uçuş verileri ve kamera bilgileri kullanılarak ışın demetleriyle blok dengeleme yapılır, dengeleme sonucunda bağlama noktalarının koordinatları ile her bir resmin 6 adet dış yöneltme bilinmeyenini hesaplanır. Dengeleme sonunda yapılan hata hesabı ve hata analizleri ile bağlama noktalarının koordinatları ve resimlerin dış yöneltme verileri hassas biçimde elde edilebilmektedir. Klasik yöntemde olduğu gibi İHA fotogrametrisinde de self kalibrasyonlu ve ilave parametrelili ışın demetleriyle blok dengeleme yöntemi kullanılarak dengeleme sonucunda otomatik kamera kalibrasyonu verileri elde edilebilmektedir.

4.3.8. İHA Görüntüleri ile Veri İşleme, Sayısal Veri Toplama ve Harita Üretimi İşlemleri

Fotogrametrik nirengi ölçümlerinin blok dengelemesi yapıldıktan sonra İHA görüntülerinin işlenmesi aşamasına geçilir. Verilerin işlenmesi safhasında aşağıdaki işlemler gerçekleştirilir:

- a. Başlangıç seviyesinde veri işleme (initial processing),
- b. Nokta bulutu verilerinin oluşturulması (point cloud densification),
- c. Sayısal yükseklik ve sayısal yüzey modeli verilerinin üretimi,
- d. Sayısal ortofoto ve foto-mozaik görüntülerin üretimi,
- e. Vektör veri toplama ve sayısal vektör harita üretimi.

İnsansız hava aracından elde edilen verilerin doğruluklarının araştırılması günümüzdeki uygulamalarda büyük önem kazanmıştır. Bu amaçla yer kontrol noktalı ve yer kontrol noktasız olarak uygulanan, kolay ve zor arazi koşulları, düz ve engebeli arazi topografyası için geliştirilen farklı veri işleme algoritmaları mevcuttur.

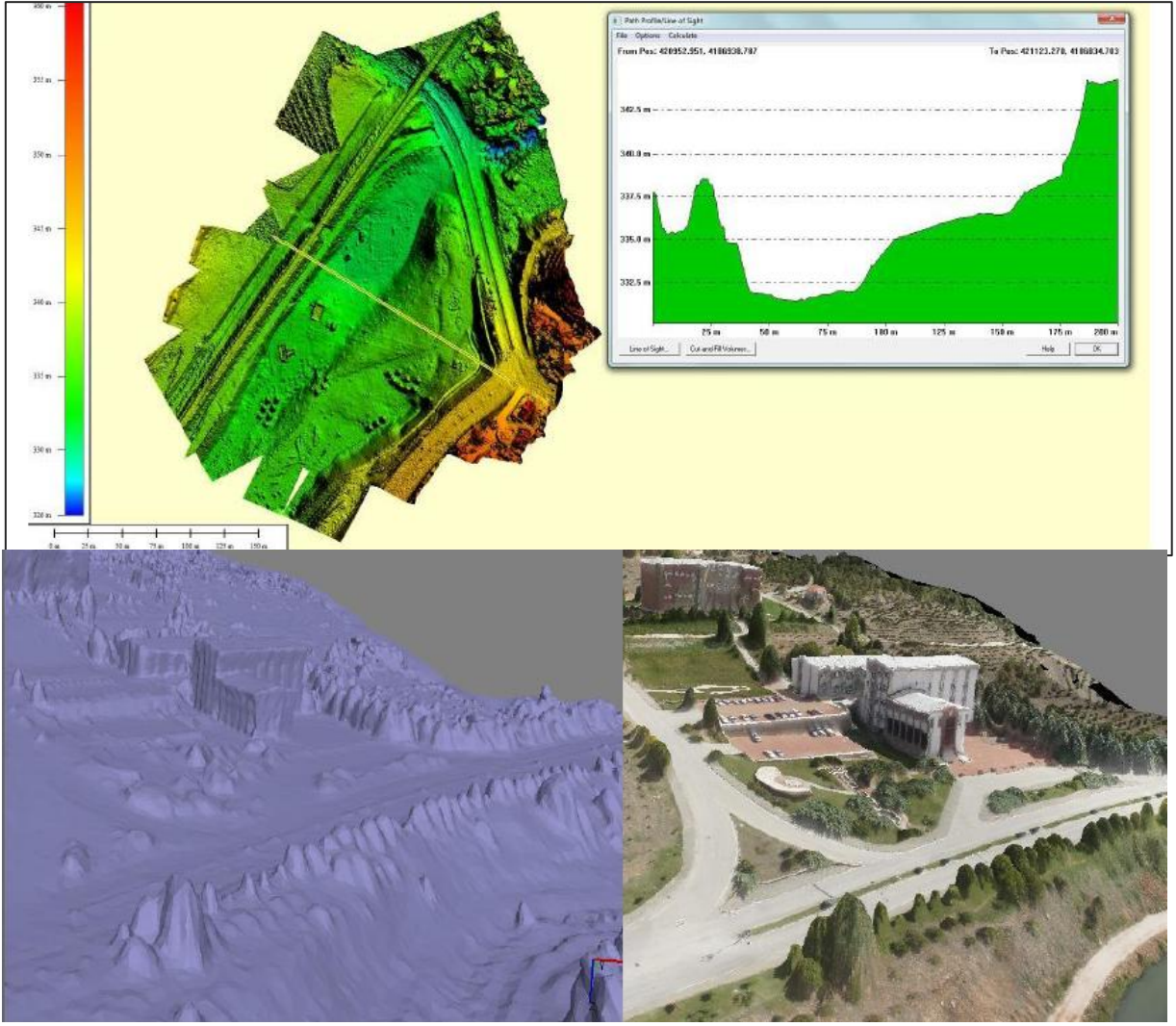
4.3.8.1. Başlangıç Düzeyinde Veri İşleme

Başlangıç düzeyinde veri işleme(initial processing), İHA görüntülerinde uygulanan ilk veri işleme ve değerlendirme adımıdır. Bu aşamada öncelikle bir analiz raporu oluşturulur. Hazırlanan analiz raporunda yapılan işlemlerin kalitesi, çözünürlüğü, ortaya çıkacak verilerin ön izlemesi, kalibrasyon detayları vb. bilgilere yer verilir. Bu evrede sayısal İHA görüntülerine ilişkin düzenlenen analiz raporu, daha sonraki İHA işlemlerinde, sayısal veri toplama ve harita üretimi aşamalarında büyük önem taşımaktadır¹. Çünkü insansız hava aracı ile toplanan görüntülerin ve yoğun verilerin işlenmesi, yüksek kapasiteli bilgisayarlarla dahi uzun zaman alabilmektedir. Bu nedenle İHA verileriyle üretilecek sonuç ürünlerin, yeterli kaliteyi sağlayabilmesi için sayısal İHA görüntüleriyle yapılan ilk veri işlemeye ait analiz raporunun dikkatlice incelenmesi yararlıdır. Kullanıcıdan kaynaklanan hataların varlığı, konumu ve büyüklüğü ancak veri işleme analiz raporunun incelenmesi ile ortaya çıkarılabilir.

¹ Avdan, Şenkal, Çömert, Tuncer 10 .

4.3.8.2. Nokta Bulutu Verilerinin Üretimi (Point Cloud Densification)

Elde edilen İHA görüntü verilerinden yararlanarak nokta bulutu sınıflandırması yapılır. Bu işlemde görüntüler üzerinde çeşitli sayısal görüntü eşleme teknikleri ve basit bilgisayar destekli görüntüleme teknikleri ve hesaplama algoritmaları kullanılarak uygun bir yazılım ile görüntüler üzerinde birbirleriyle eşleşen bütün pikseller birer nokta olarak kaydedilir ve ilgili pikselin sayısal değeri olarak atanır. Bütün görüntü piksellerine bu işlemler uygulandıktan sonra çalışma alanına ait üç boyutlu sayısal nokta bulutu verileri elde edilmiş olur. Nokta bulutu verilerinin elde edilmesinde; piksellerin parlaklık, renk, ton, doygunluk (satürasyon) vb. karakteristik özellikleri, pikselin konumunu en iyi yansıtan değer olarak düşünülen her bir pikselin orta noktasının arazi koordinatları büyük önem taşır. Nokta bulutu verilerinin elde edilmesi ile sayısal görüntülerin raster yapıdaki birbirine komşu pikselleri karakteristik sayılara, yani her bir piksel sayısal bir değere dönüştürülmüş olur. Bu şekilde elde edilen nokta bulutu şeklindeki veriler ya da görüntüler (üç boyutlu nokta bulutu verileri), basit uygulamalara, hızlı ölçümlere ve hesaplamalara olanak sağlar. İHA görüntülerinden üretilen sayısal nokta bulutu verilerine örnekler Şekil 4.6’da sunulmuştur.

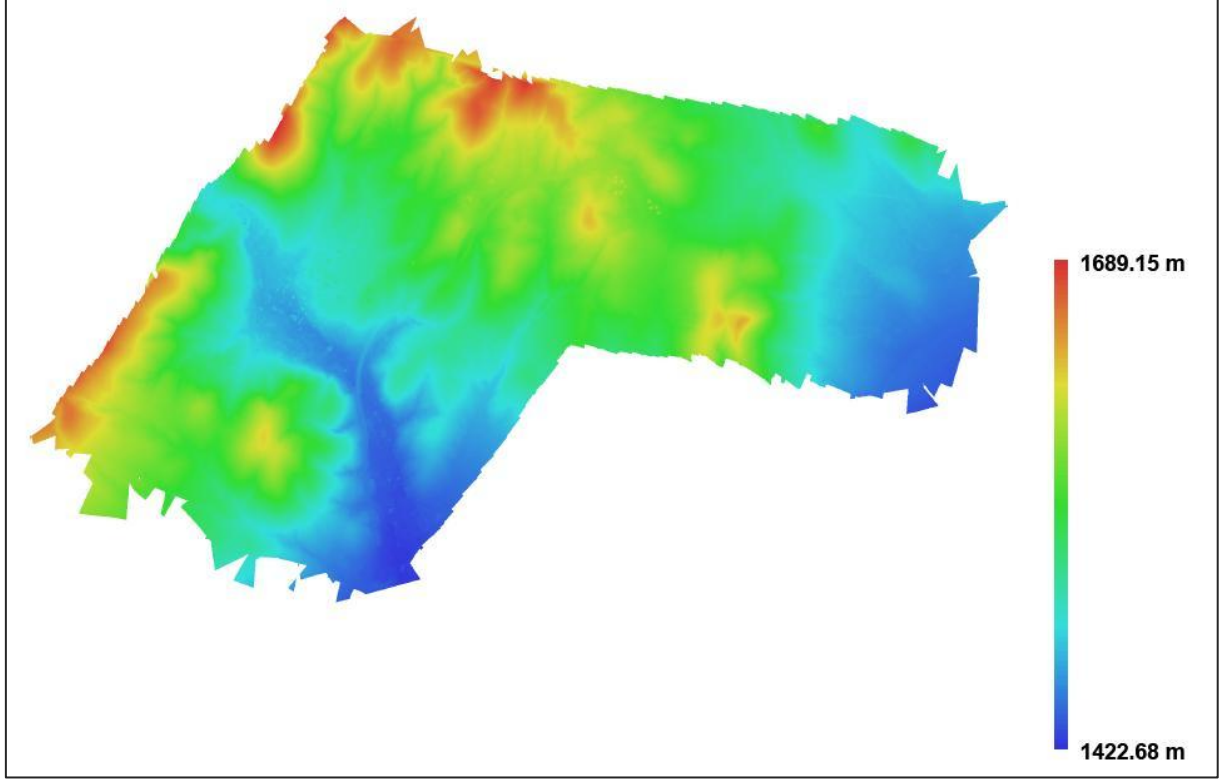


Şekil 4.6: İHA görüntülerinden üretilen Sayısal Nokta Bulutu (Point Clouds) verilerine örnekler (http://eski.geomaticsgroup.com/media/Genel_Medya/RB/b32bc5-TeknoMer_Insansiz_Hava_Araci.pdf kaynağından yararlanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.)

4.6.8.3. Sayısal Yükseklik Verilerinin Üretimi

İHA fotogrametrisi yöntemiyle elde edilen işlenmiş, zenginleştirilmiş ve yöneltilmiş sayısal görüntü verileri ile sayısal görüntü eşleme tekniği ve muhtelif polinom ve fonksiyonlarla otomatik yüzey geçirme algoritmaları kullanılarak grid formda üç boyutlu sayısal yükseklik modeli verileri ve raster formatta sayısal yüzey modeli verilerinin otomatik olarak üretimi gerçekleştirilir. Sayısal yükseklik verilerinin toplanmasında 1 m^2 'ye düşen asgari yükseklik noktası sayısı, toplanan verilerin kalitesini ve kullanım amacını etkileyen önemli faktörlerden birisi olup bu değer asgari $0.20\text{-}1 \text{ nokta/m}^2$ arasında değişmektedir.

İHA fotogrametrisi yöntemiyle çekilen sayısal görüntülerle gerçekleştirilen muhtelif proje ve uygulamalarda SAM ve SYM sayısal yükseklik verilerinin ortalama 10-15 cm doğrulukta üretildiği tespit edilmiştir. İHA görüntülerinden toplanan sayısal yüzey modeli örneği Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7: İHA görüntülerinden toplanan Sayısal Yüzey Modeli (Digital Surface Model) örneği (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından oluşturulmuştur.)

4.6.8.4. Sayısal Ortofoto ve Foto-Mozaik Görüntülerin Üretimi

İHA fotogrametrisi yöntemiyle elde edilen işlenmiş ve yöneltmiş sayısal görüntüler, üretilen sayısal yükseklik modeli verileri kullanılarak orto-rektifikasyon işlemiyle ya da basit bilgisayar destekli görüntüleme teknikleri ve hesaplama algoritmaları ile yataylanır. Bu işlem sonucunda, çeşitli raster veri formatlarında gerçek koordinatlara sahip ortofoto görüntüler elde edilir. Ortofoto görüntülerin otomatik yöntemlerle birleştirilmesi, mozaik hatlarının (seam-lines) otomatik olarak sayısallaştırılması, mozaiklemede görüntü seçme ve değiştirme algoritmalarının uygulanması, sayısal görüntülerde renk, ton ve kontrastlık dengelemelerinin yapılması suretiyle, daha kaliteli ve yorumlanabilir ortofoto görüntü-mozaikleri elde edilebilir.

İHA fotogrametri yöntemiyle çekilen sayısal görüntülerle gerçekleştirilen muhtelif proje ve uygulamalarda sayısal ortofoto ve foto-mozaiik görüntülerinin ortalama 7-10 cm konum doğruluğunda üretildiğı tespit edilmiştir.

4.6.8.5. Sayısal Vektör Haritaların Üretimi

Bu aşamada fotogrametrik yöntemlere benzer şekilde İHA fotogrametrisi yöntemiyle elde edilen işlenmiş ve yöneltilmiş sayısal görüntülerle sayısal fotogrametrik kıymetlendirme sistemlerinde önce üç boyutlu modeller oluşturulur. Oluşturulan stereo modellerde sürekli üç boyutlu görüntüleme ile nokta, çizgi ve alan detayları, çoklu doğrular ve yüzey verileri, görülebilen diğer vektör veriler, sembol kütüphanesinde gösterilen sembollere ve özel işaretlere; detay ve öznitelik kodlama kataloğuna ve vektör harita standartlarına uygun olarak üç boyutlu sayısallaştırılır; eş yükseklik eğrileri stereo modellerde kıymetlendirilir, üç boyutlu olarak yükseklik (kot) noktaları atılır, detaylara ait öznitelik bilgileri toplanır ve çeşitli CAD (Computer Aided Design: Bilgisayar Destekli Tasarım) formatlarda sayısal vektör harita verileri oluşturulur (Şekil 4.8).



Şekil 4. 8: İHA görüntülerinden üretilen Sayısal Vektör Harita (Vector Maps) örnekleri
(http://eski.geomaticsgroup.com/media/Genel_Medya/RB/b32bc5-TeknoMer_Insansiz_Hava_Araci.pdf)

4.6.9. Diğer İlave / Tamamlayıcı İşlemler (Additional Tasks)

İHA fotogrametrisi yöntemiyle farklı ölçeklerde topografik vektör ve ortofoto harita üretimlerinin tamamlanmasının ardından fotogrametrik yöntemlerde olduğu gibi İHA görüntüleriyle üretilen sayısal vektör haritalar, ortofoto haritalar ve sayısal coğrafi verilerin kullanıma uygun hale getirilmesi ve kullanıcılara sunulması için İHA fotogrametrisi kapsamına girmeyen diğer bazı uygulamalar gerçekleştirilmektedir.

İHA ile üretilen vektör ve ortofoto haritalar ve coğrafi verilerde uygulanan diğer işlemler şunlardır:

- Topografik arazi bütünlemesi ve pafta isimlendirmesi çalışmaları,
- Kartografik işlemler, pafta basımı ve çoğaltma işlemleri,
- Coğrafi Veritabanı ve Coğrafi Bilgi Sistemi uygulamaları.



5. UYGULAMALAR

5.1. Giriş, Genel Bilgiler

Bu bölümde, ilk adımda tezin konusu ile yakın ilgisi bulunan, tamamlanmış veya halen devam etmekte olan çeşitli ulusal ve uluslararası projeler ile bu konuda yapılan test ve araştırma çalışmaları tespit edilerek ana hatlarıyla incelenmiştir.

İkinci adımda, özellikle yersel jeodezik, fotogrametrik, LIDAR ve İHA fotogrametrisi yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen coğrafi veri toplama ve topografik harita üretimi projelerinde asgari iki ya da üç yöntemin uygulandığı ortak alanlar belirlenmeye çalışılmıştır.

Üçüncü ve son adımda, jeodezik, fotogrametrik, LIDAR ve İHA yöntemleriyle toplanan verilerin ve üretilen haritaların konum ve yükseklik doğruluklarını tespit etmek ve birbirleriyle karşılaştırmak amacıyla asgari iki veri toplama yönteminin kullanıldığı çalışma alanları seçilmiştir.

Bu konuda yapılan araştırma ve incelemelerden elde edilen sonuçlara göre son yıllarda ülkemizin iki farklı bölgesinde gerçekleştirilmiş olan dört ayrı projenin ve proje verilerinin tez çalışması için uygun olduğu, bu amaçla iki farklı çalışma alanı tesis edilerek bu alanlarda tez kapsamındaki tüm sayısal uygulamaların yapılabileceği tespit edilmiştir.

- a. Birinci Uygulama Alanı:** Balıkesir ili Bandırma ilçesi sınırları içinde kalan bir bölge olup seçilen çalışma konusuyla ilgili önceki yıllarda tamamlanan projeler şunlardır:
- “NABUCCO-Doğal Gaz Boru Hattı Projesi”: LIDAR + Fotogrametri projesidir, (2010).
 - “Balıkesir-Bandırma Organize Sanayi Bölgesi (OSB) Projesi”: İHA projesidir, (2015).
- b. İkinci Uygulama Alanı:** Tokat ili Zile ilçesi sınırları içinde kalan bir bölge olup seçilen çalışma konusuyla ilgili önceki yıllarda tamamlanan projeler şunlardır:
- “Amasya - Zile Devlet Yolu Projesi”: Yersel jeodezik bir veri toplama projesidir, (2012).
 - “Hidro Elektrik Santrali (HES) Bağlantı Yolları Projesi”: İHA projesidir, (2012).

Bu bölümde, Türkiye’de iki farklı bölgede 2010 ila 2015 yılları arasında gerçekleştirilmiş olan dört farklı proje verilerinden yararlanılarak yapılan muhtelif uygulamalardan detaylı olarak söz edilmiştir. Sayısal uygulamalardan elde edilen sonuçlara dayanarak birinci uygulama alanında İHA, LIDAR ve fotogrametri yöntemleriyle, ikinci uygulama alanında ise İHA yöntemi ve yersel jeodezik yöntemle gerçekleştirilen veri toplama ve harita üretimi çalışmalarının doğruluk ve maliyetleri araştırılmış, konum ve yükseklik doğrulukları detaylı olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Yersel jeodezik yöntem diğer veri toplama yöntemlerinin konum ve yükseklik doğruluklarının araştırılması ve tespitinde başvurulan ana yöntem olması nedeniyle ikinci uygulama alanına jeodezik veri toplama yöntemi de dâhil edilmiştir.

5.2. Çalışma Alanı, Proje Uygulama Alanı

Bu bölümde klasik yersel jeodezik, fotogrametrik, LIDAR ve İHA fotogrametrisi yöntemleri ile ilgili proje uygulama alanları detaylı biçimde tanıtılmıştır.

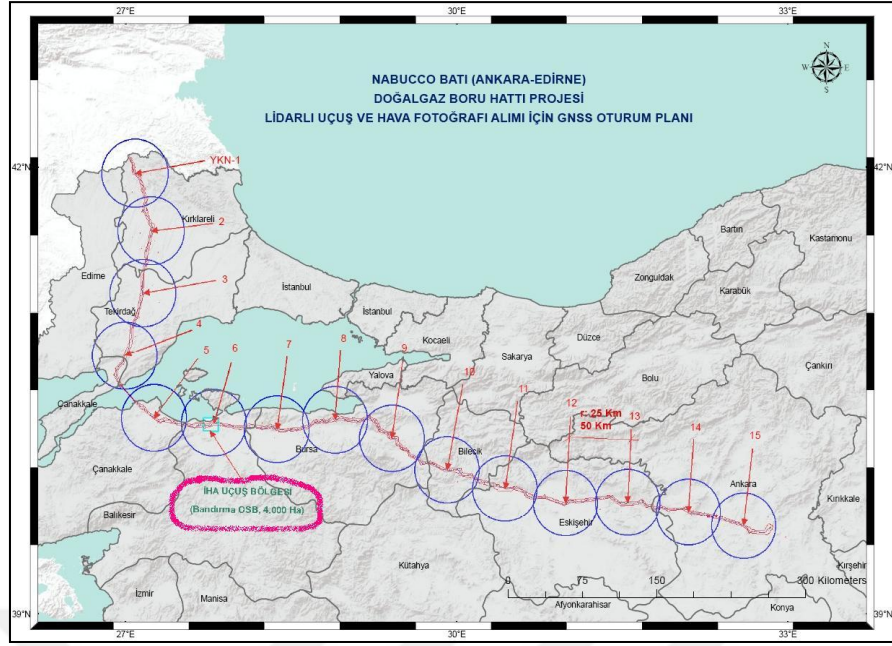
5.2.1. LIDAR ve Fotogrametrik Uygulama Alanı ile İHA Uygulama Alanı (Birinci Uygulama Alanı)

Birinci uygulama alanı, Balıkesir ili Bandırma ilçesi sınırları içerisinde yer alan bir bölge olup bu alanda konum ve yükseklik doğruluklarının tespitinde iki projenin verileri kullanılmıştır;

a. Birinci uygulama alanının büyük bir kısmını içerisine alan, yaklaşık 735 km uzunluğunda, Ankara - Edirne arasındaki “NABUCCO-Doğal Gaz Boru Hattı Projesi” kapsamında 2010 yılında LIDAR ve fotogrametrik yöntemler ile toplanan sayısal yükseklik verileri ve hava fotoğrafları kullanılarak üretilen coğrafi veriler, topografik vektör ve ortofoto haritalar, konum ve yükseklik doğrulukları bakımından incelenmiştir (Şekil 5.1).

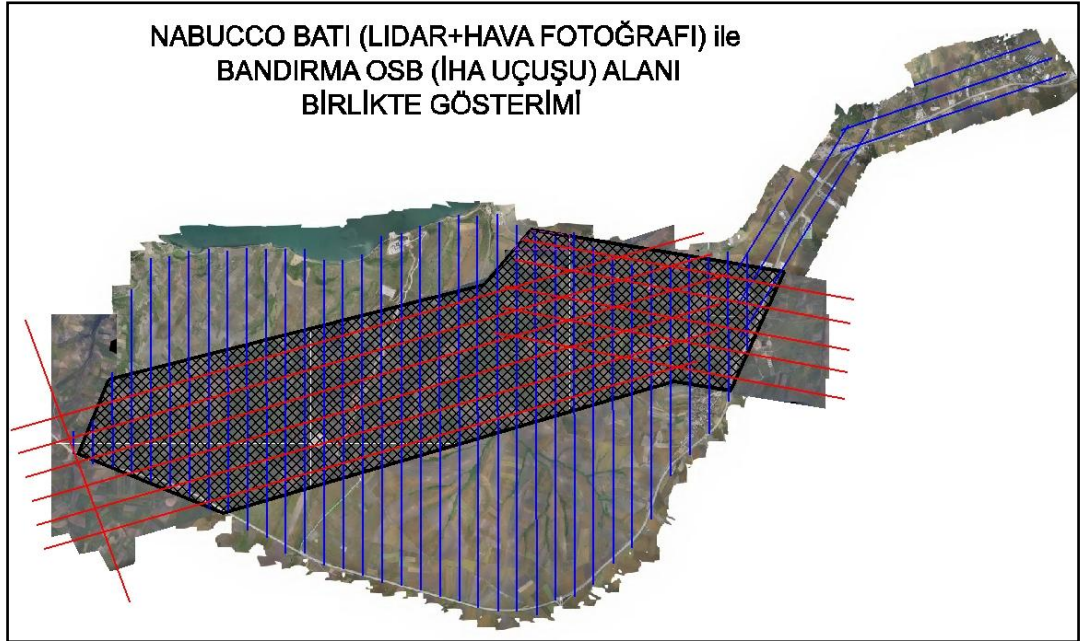
b. Birinci uygulama alanının önemli bir kısmını içeren, Balıkesir-Bandırma bölgesinde bulunan yaklaşık 4.000 hektar büyüklüğündeki “Organize Sanayi Bölgesi (OSB) Projesi” kapsamında 2015 yılında İHA sistemi ile alınan hava fotoğrafları kullanılarak üretimi gerçekleştirilen 1/1.000 ölçekli fotogrametrik vektör haritalar, konum ve yükseklik doğrulukları bakımından incelenmiştir (Şekil 5.1).

Birinci uygulama alanını kapsayan her iki projenin de genel görünümü, aşağıda Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Nabucco Projesi (LIDAR+fotogrametri) ile İHA Proje Alanı (Birinci Uygulama Alanı) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

LIDAR + fotogrametri uygulaması İHA uygulama alanını doğu-batı istikametinde ve yaklaşık %50 oranında kapsamakta olup ortaya çıkan birinci uygulama alanının grafiği Şekil 5.2’de verilmiştir.



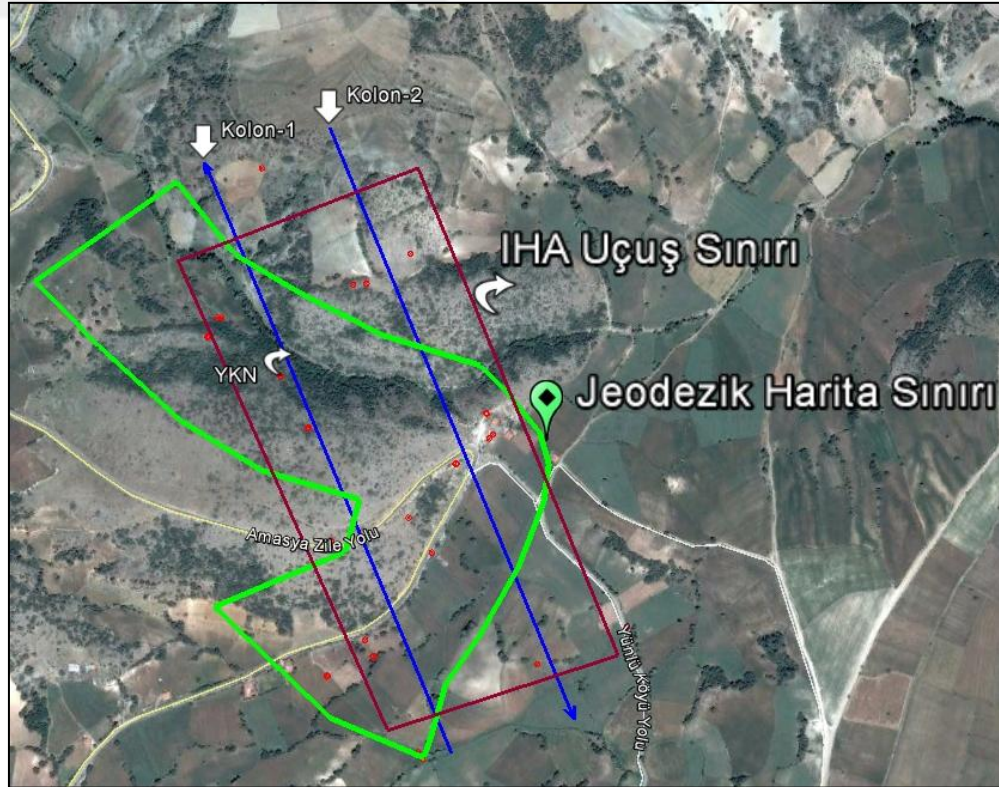
Şekil 5.2: Birinci Uygulama Alanı: LIDAR + Fotogrametri Proje Alanı (Kırmızı taralı) ile İHA Proje Alanının (Mavi taralı) grafik olarak gösterimi (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

5.2.2. Jeodezik Harita Uygulama Alanı ile İHA Çalışma Alanı (İkinci Uygulama Alanı)

İkinci Uygulama Alanı, Tokat ili Zile ilçesi sınırları içerisinde yer alan bir bölge olup bu alanda konum ve yükseklik doğruluklarının tespitinde iki projenin verileri kullanılmıştır:

a. İkinci uygulama alanının büyük bir kısmını içerisine alan “Amasya – Zile Devlet Yolu Projesi” kapsamında ilgili devlet yolunun projelendirme çalışmasına altlık oluşturmak amacıyla 2012 yılında klasik yersel jeodezik yöntemle ve GPS-RTK tekniğiyle üretilmiş olan 1/1.000 ölçekli şeritvari haritaların konum ve yükseklik doğrulukları incelenmiştir.

b. İkinci uygulama alanının yine önemli bir kısmını kaplayan “Hidro Elektrik Santrali (HES) Projesi” kapsamında HES bağlantı yollarının burada sözü edilen devlet yolu projesine birleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle ortak alanda hem jeodezik yöntemle üretilen haritalar hem de İHA yöntemiyle üretilen haritaları karşılaştırma olanağı doğmuştur. Jeodezik yöntemle üretilen harita ile İHA kullanılmak suretiyle fotogrametrik yöntemle üretilen haritanın, bilhassa yatay ve düşey doğruluklar (konum ve yükseklik doğrulukları) bakımından oldukça yararlı olacağı öngörüldüğündentezin konusuna dâhil edilmiştir. Her iki proje alanı ve ortak alan aşağıda Şekil 5.3’teki grafikte sunulmuştur.



Şekil 5.3: İkinci Uygulama Alanı: Jeodezik Harita Üretim Alanı (Yeşil) ile İHA Proje Alanı (Bordo) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

5.3. Uygulamada Kullanılan Donanım ve Yazılımlar

Bu bölümde tez kapsamında gerçekleştirilen fotogrametri, LIDAR ve İHA fotogrametrisi uygulamalarında kullanılan donanım, yazılım, alet, yardımcı teçhizat ve malzeme hakkında özet bilgiler verilmiştir.

5.3.1. Fotogrametrik Donanım ve Yazılımlar

Doktora tezi kapsamında LIDAR+ fotogrametri uygulaması olan (birinciuygulama alanı) “NABUCCO Projesi” verileriyle gerçekleştirilen fotogrametrik çalışmalarda kullanılan donanım, yazılım ve diğer parametreler aşağıda verilmiştir:

Kamera	:	Leica RCD105 -Medium format dijital kamera
Piksel Sayısı	:	5389 (uçuş yönünde) x 7162 (uçuş yönüne dik doğrultuda)
Piksel Boyutu	:	6.8 mikron
Kamera Odak Uzaklığı	:	60 mm (Direkt RGB)
Uçuş Yüksekliği	:	800 m (Arazi yüzeyinden itibaren)
Yer Örnekleme Aralığı	:	20 cm (YÖA, GSD: Ground Sampling Distance)
Kalibrasyon Tarihi	:	17 Nisan 2008
GPS/IMU Sistemi	:	CUS6-“uIRS”, GrafNav
Kullanılan Yazılımlar	:	Leica Photogrammetry Suite-LPS (Fotogrametrik yazılım paketi)

5.3.2. LIDAR Donanım ve Yazılımları

LIDAR+fotogrametri yönteminin uygulandığı Nabucco projesindeki LIDAR için donanım, yazılım ve diğer parametreler aşağıda verilmektedir:

LIDAR	:	Leica ALS60 Laser Scanner IPAS10
Hızı	:	200 kHz (Saniyede 200.000 nokta)
Uçuş Yüksekliği	:	800 m (Yerden)
IMU	:	CUS6-“uIRS”
GPS/INS Prosesi	:	Leica IPAS Pro v1.32
Kullanılan Yazılımlar	:	TerraSolid TerraScan, TerraMatch



Şekil 5.4: Leica ALS60 Laser Scanner (http://w3.leica-geosystems.com/downloads/123/zz/airborne/als60/brochures/ALS60_bro_en.pdf)

5.3.3. İHA Donanım ve Yazılımları

Tez kapsamında gerçekleştirilen her iki uygulamada da, Şekil 5.5'te gösterilen sabit kanatlı uçağa monteli ve uzaktan kumandalı aynı İHA sistemi kullanılmış olup İHA uygulamalarında kullanılan donanım, yazılım ve diğer parametreler aşağıda verilmiştir:

Kamera	:	Sony A6000 Dijital Kamera
Piksel Sayısı	:	4000 (uçuş yönünde) x 6000 (uçuş yönüne dik doğrultuda)
Piksel Boyutu	:	3.89 mikron
Kamera Odak Uzaklığı	:	20 mm (Direkt RGB)
Uçuş Yüksekliği	:	300 ve 400 m (birinci uygulama ve ikinci uygulama)
Yer Örnekleme Aralığı	:	6 cm ve 8 cm (birinci uygulama ve ikinci uygulama için; YÖA, GSD)
GPS-IMU Sistemi	:	Trimble – Vectornav
Kullanılan Yazılımlar	:	AgiSoft ve Leica-LPS Fotogrametrik sistem yazılımı



Şekil 5.5: Sabit kanatlı İHA sistemi (Bu fotoğraf tez çalışması kapsamında yazar tarafından çekilmiştir.)

5.4. Uygulamada Kullanılan Temel Veriler ve Görüntüler

Bu bölümde tez kapsamında gerçekleştirilen fotogrametri, LIDAR ve İHA fotogrametrisi uygulamalarında kullanılan ve daha önceki yıllarda tamamlanmış olan ilgili projelerden alınan temel coğrafi veriler, görüntüler, haritalar vb. hakkında özet bilgiler verilmiştir.

5.4.1. Fotogrametrik Veriler

Uygulamada kullanılan temel fotogrametrik veriler yukarıda belirtilen tamamlanmış projelerden temin edilen ve tezdeki çalışma alanlarına giren yer kontrol noktalarının koordinatları, sayısal stereo hava fotoğrafları, kamera kalibrasyon raporu bilgileri ile hava fotoğrafları çekimi sırasında GPS-IMU sistemiyle ölçülen ve ardından proses edilerek fotogrametrik nirengi dengelenmesinde kullanılan hava fotoğraflarına ait dış yöneltme parametreleridir ($X_0, Y_0, Z_0, \Omega, \Phi, \kappa$).

5.4.2. LIDAR Verileri

Uygulamada kullanılan temel LIDAR verileri, yukarıda belirtilen tamamlanmış projelerden temin edilen ve tezdeki çalışma alanlarına giren, LIDAR sistemiyle toplanan iş bölgesindeki nokta bulutu ham verileri, GPS-IMU verileri ve uçuş esnasında yer GPS'i ile toplanan RINEX formatındaki veriler, LIDAR verileri proses edilmeden önce elde mevcut olması gereken verilerdir. Uçuş esnasında burada sözü edilen yer GPS'i uçuştan önce planlanmış olan ve arazide 25 km yarıçapındaki dairenin içerisine giren yer kontrol noktalarının üzerine kurularak sabit oturum şeklinde sürekli GPS verisi toplanmasına olanak sağlamaktadır.

5.4.3. İHA Verileri

Uygulamada kullanılan temel İHA verileri, yukarıda belirtilen tamamlanmış projelerden temin edilen ve tezdeki çalışma alanlarına giren İHA verileri olup bu veriler fotogrametrik verilerle tamamen benzer özelliklere sahiptir.

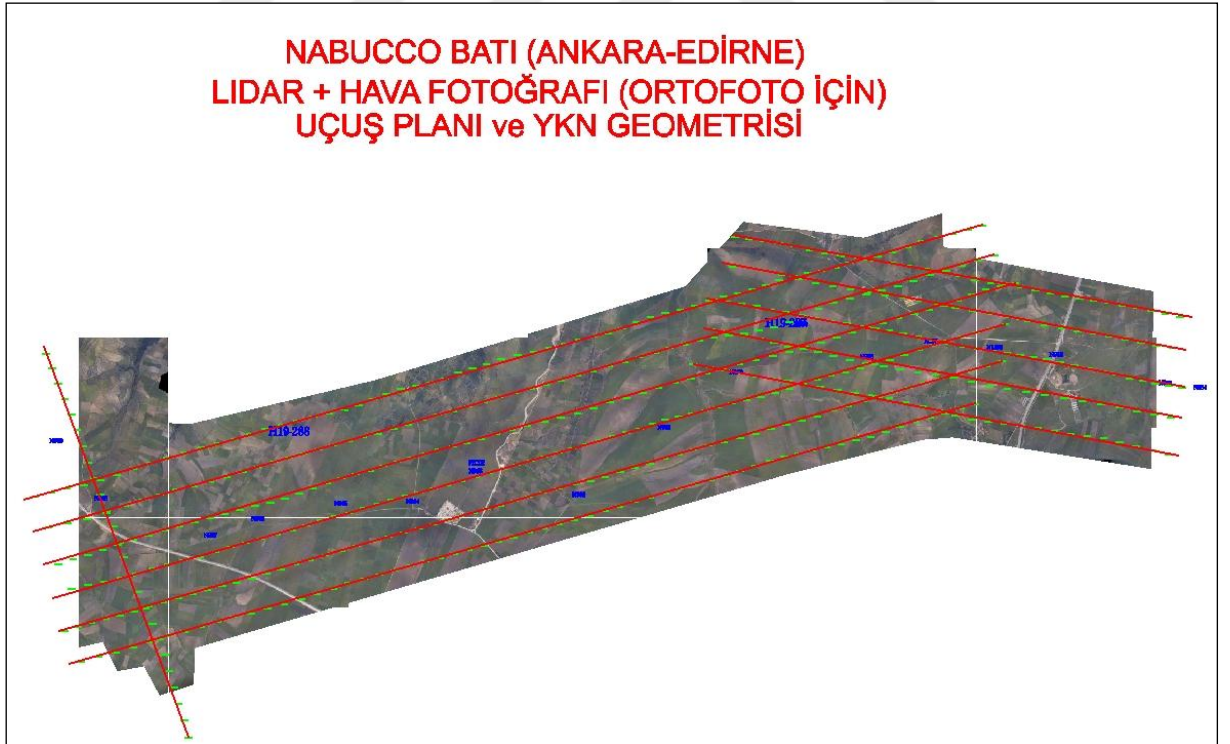
Bu anlamda İHA verilerinin fotogrametrik verilerden en önemli farkı, fotogrametri uygulamalarından elde edilen ve (Ω, Φ, κ) ile ifade edilen resimlerin dış yöneltme parametrelerindeki eğiklik ve dönüklük değerlerine karşılık İHA sistemlerinde (Yaw, Pitch, Roll) şeklindeki açısal büyüklüklerin kullanılmasıdır.

5.5. Gerçekleştirilen Uygulamalar, İşlem Adımları ve İş Akışları

Bu bölümdetez kapsamında gerçekleştirilen fotogrametri, LIDAR ve İHA fotogrametrisi uygulamalarında izlenen ana ve alt işlem adımları, iş akışları, yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar ayrıntılı bir şekilde takdim edilmiştir.

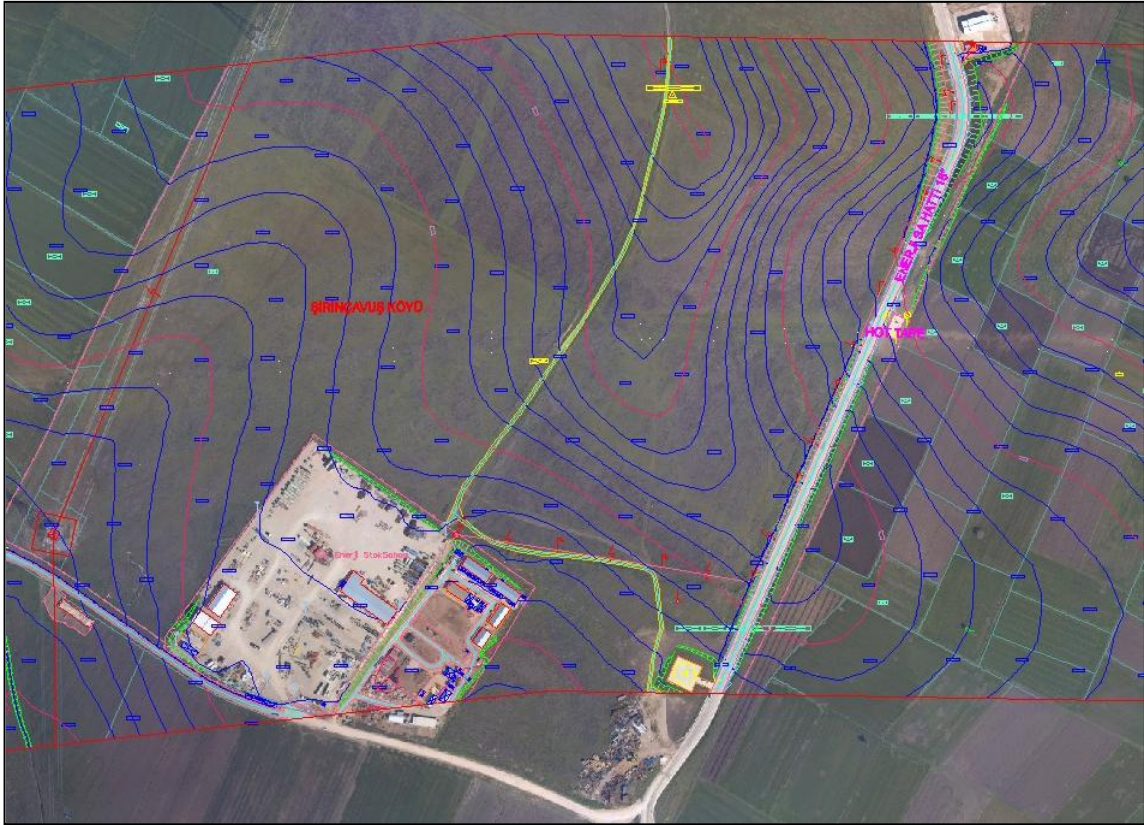
5.5.1. Fotogrametrik İşlemler

- Uçuş planı hazırlanır, planlanan yer kontrol noktalarının arazide istikşaf, keşif ve yer seçimi çalışmaları gerçekleştirilir (Şekil 5.6).



Şekil 56: Fotogrametrik uçuş planı ve YKN planlaması (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

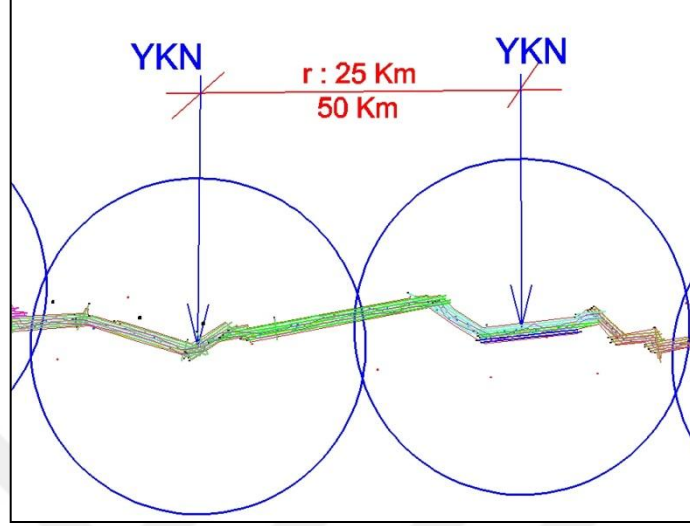
- b. Yer kontrol noktalarının arazide tesisi, hava işaretlerinin yapılması, GNSS sistemleriyle ölçülerek dengelenmesi ve (X,Y,Z) koordinatlarının hesabı işlemleri tamamlanır.
- c. Uçuş planına göre GPS/IMU destekli hava fotoğrafı alımı gerçekleştirilir.
- d. Sayısal görüntü işleme, görüntü zenginleştirme teknikleriyle hava fotoğrafları proses edilir.
- e. GPS/IMU verileri proses edilerek resimlere ait öteleme ve dönüklük elemanları, diğer bir deyişle dış yöneltme parametreleri $(X_0, Y_0, Z_0, \Omega, \Phi, \kappa)$ hesaplanır.
- f. Fotogrametrik nirengi ölçümü ve blok dengeleme işlemleri yapılarak fotogrametrik blok içerisindeki bütün stereo modeller oluşturulur.
- g. Fotogrametrik kıymetlendirme sistemlerinde sayısal hava fotoğraflarından oluşturulan stereo modeller kullanılarak üç boyutlu vektör haritalar ile sayısal yükseklik verileri (DEM, DTM, TIN, EYE, vb.) üretilir (Şekil 5.7).
- h. Sayısal arazi modeli ve sayısal yükseklik modeli verileri ve fotogrametrik nirengi dengelemesi sonucunda elde edilen resimlere ait dış yöneltme parametreleri kullanılarak sayısal ortofoto haritalar üretilir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7: Fotogrametrik vektör harita ve ortofoto harita (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

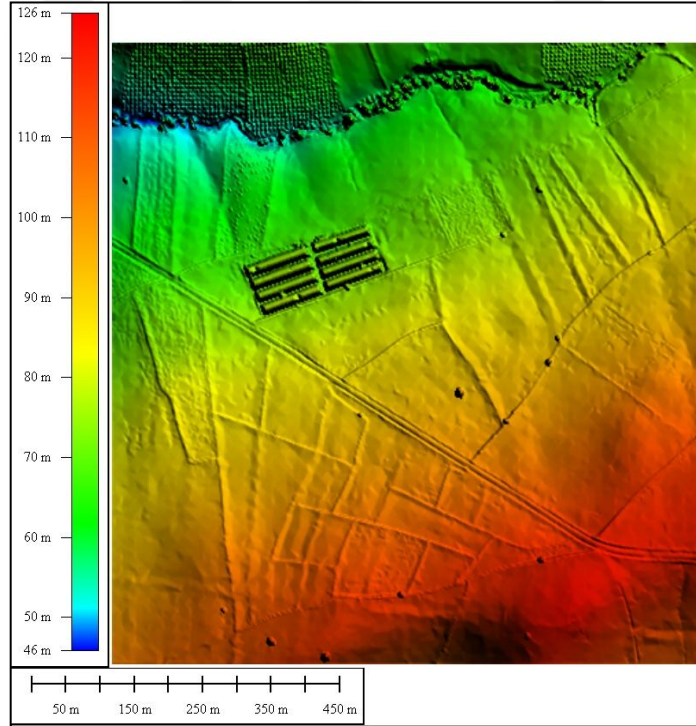
5.5.2. LIDAR İşlemleri

- a. LIDAR uçuş planı hazırlanır, planlanan yer kontrol noktalarının arazide istikşaf, keşif ve yer seçimi çalışmaları gerçekleştirilir (Şekil 5.8).



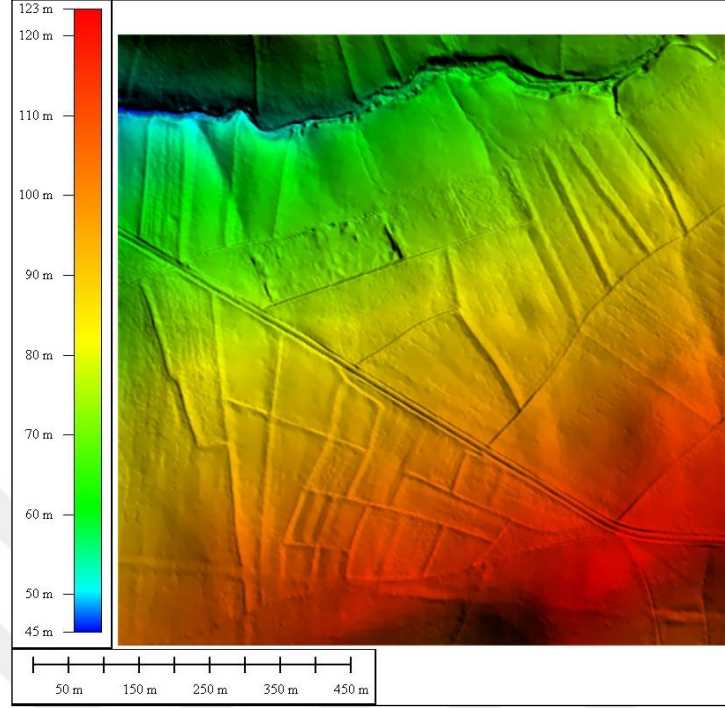
Şekil 5. 8: LIDAR uçuş planı ve GPS oturma planı (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

- b. LIDAR uçuşu ile sayısal yüzey modeli nokta bulutu verileri toplanır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9: LIDAR sayısal yüzey modelinin nokta bulutu verisi (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

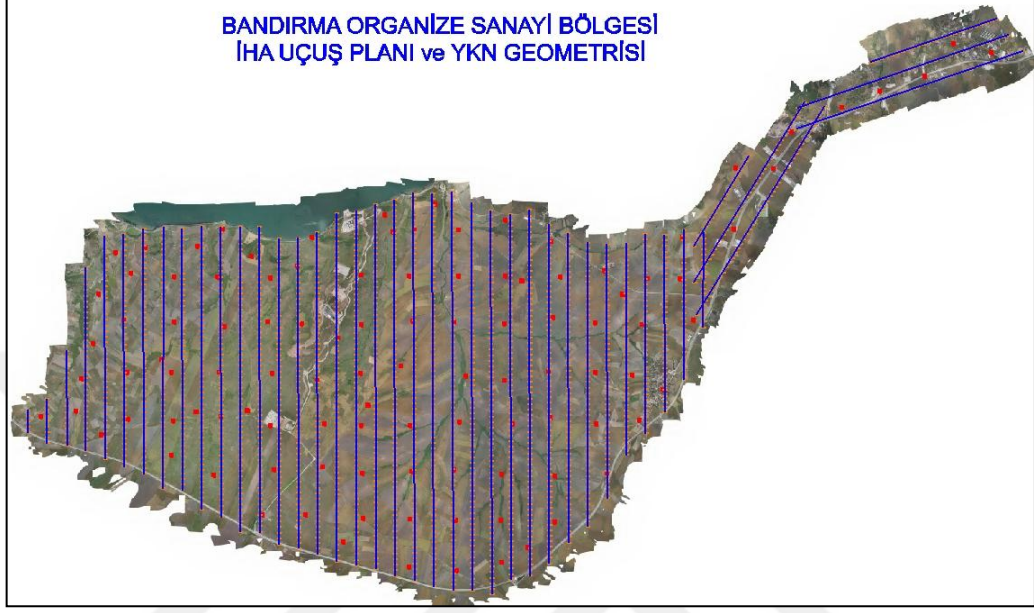
c. LIDAR sayısal yüzey modeli verilerinden sayısal arazi modeli bilgileri üretilir (Şekil 5.10).



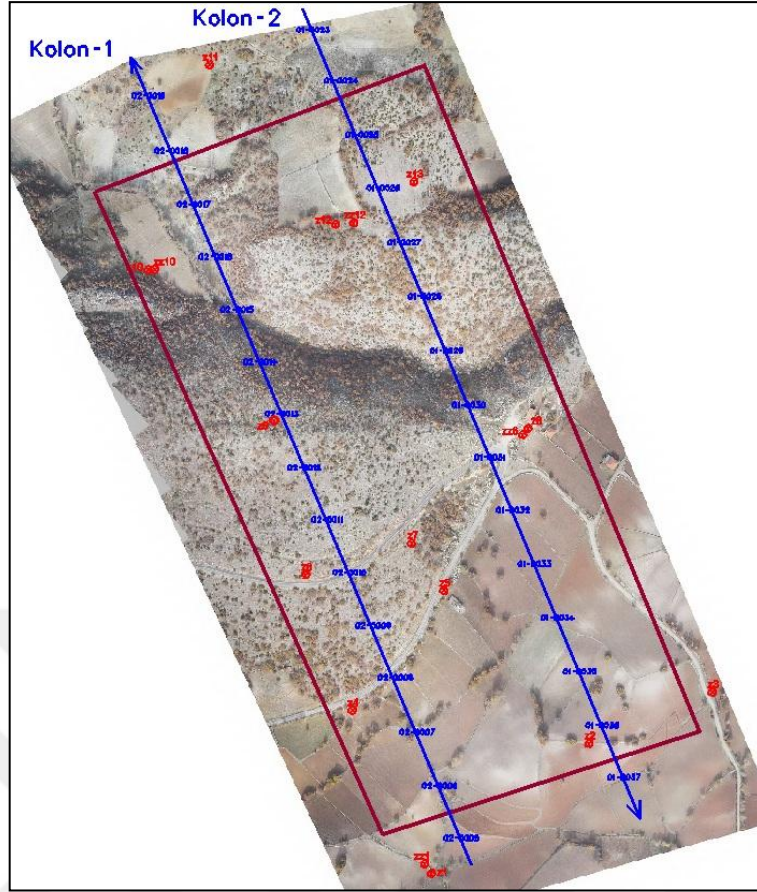
Şekil 5.10: LIDAR sayısal arazi modeli nokta bulutu verisi (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

5.5.3. İHA İşlemleri

- a. İHA uçuş planı hazırlanır, planlanan yer kontrol noktalarının arazide istikşaf, keşif ve yer seçimi çalışmaları gerçekleştirilir (Şekil 5.11).

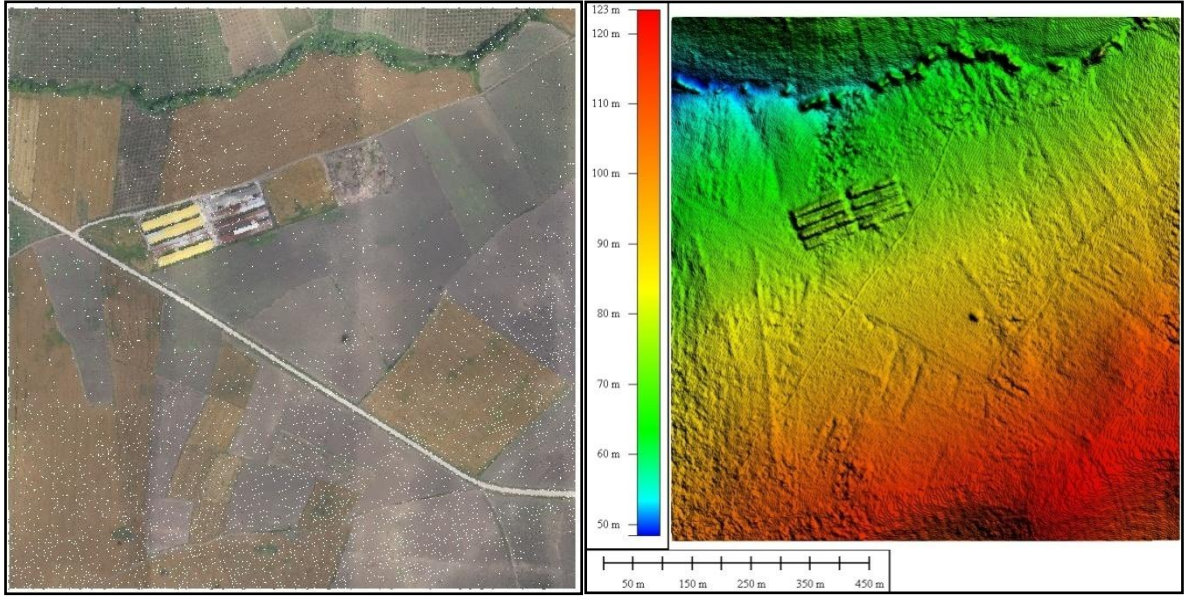


Şekil 5. 11: İHA uçuş planı ve YKN planlaması (BirinciUygulama Alanı) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)



Şekil 5.12: İHA uçuş planı ve YKN planlaması (İkinci Uygulama Alanı) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

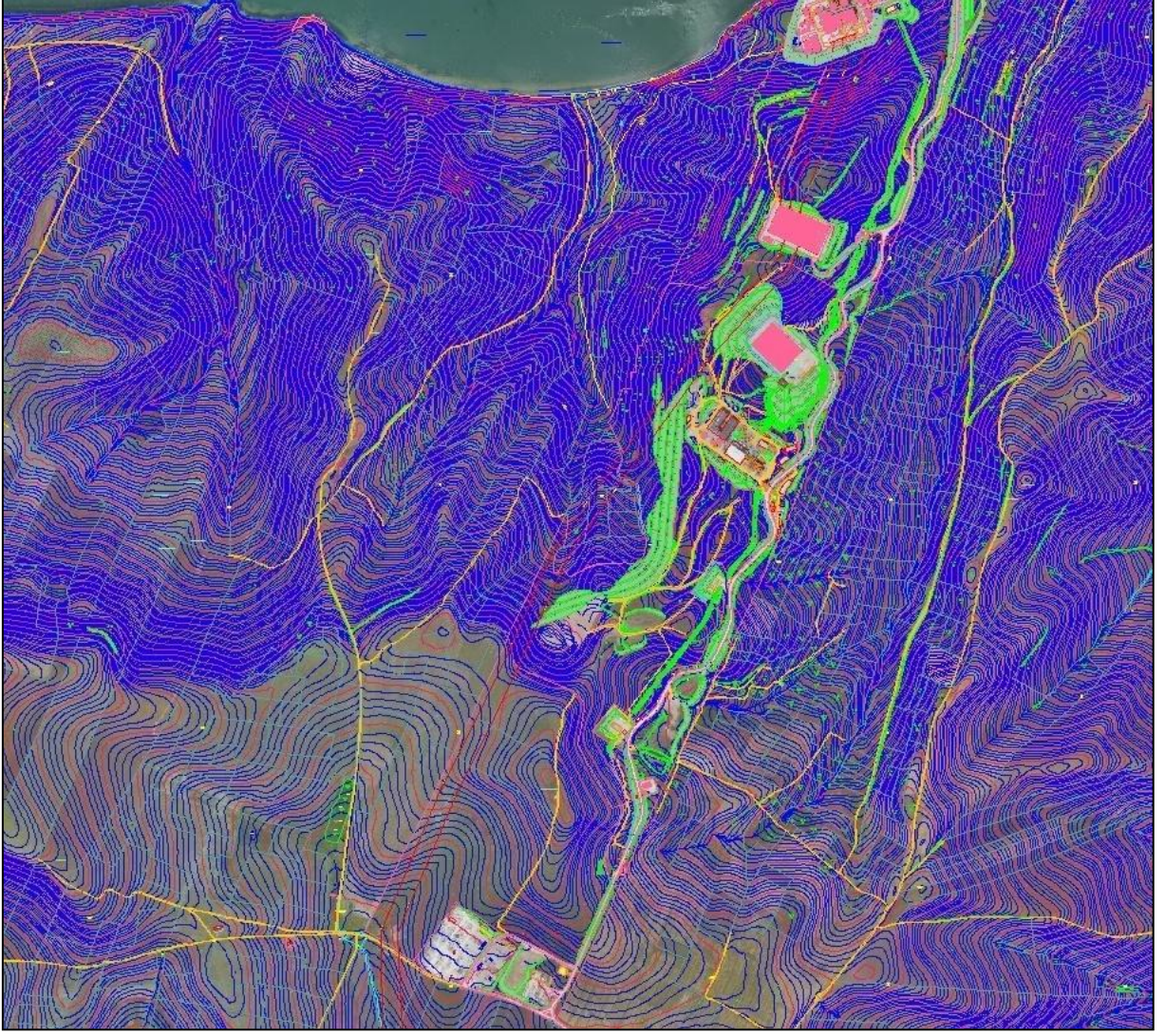
- b. Yer kontrol noktalarının arazide tesisi, hava işaretlerinin yapılması, GNSS sistemleriyle ölçülerek dengelenmesi ve (X,Y,Z) koordinatlarının hesabı işlemleri tamamlanır.
- c. Uçuş planına göre GPS/IMU destekli İHA sistemi ile hava fotoğrafı alımı gerçekleştirilir.
- d. Fotogrametrik nirengi ölçümü ve blok dengeleme işlemleri yapılarak fotogrametrik blok içerisindeki bütün stereo modeller oluşturulur.
- e. İHA görüntülerinden piksel eşleme yöntemiyle Şekil 5.13'te gösterilen sayısal yüzey modeli verileri elde edilir.



Şekil 5.13: İHA görüntülerinden sayısal yüzey modeli nokta bulutu verisi

Günümüzde yazılım teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte İHA veya hava fotogrametrisi (insanlı) yöntemiyle çekilen bindirmeli hava fotoğraflarından piksel eşleme yöntemiyle LIDAR ham verilerinde olduğu gibi sayısal yüzey modeli verileri elde edilebilmektedir. Üstte Şekil 5.13'te sol taraftaki resim ortofoto veya hava fotoğrafı görünümünde olmasına rağmen aslında RGB renklerinde olup içerisinde yükseklik bilgisini ihtiva eden bir nokta bulutu verisidir. Bu veriden yararlanarak sağ taraftaki DSM verisi kolayca elde edilebilmektedir. Bu şekilde İHA sistemiyle alınan görüntülerle üretilen DSM verisi LIDAR sistemi ile elde edilen DSM modeli verisine çok yakın bir yüzey modelidir (Şekil 5.9).

- f. Fotogrametrik kıymetlendirme sistemlerinde İHA hava fotoğraflarından oluşturulan stereo modeller kullanılarak üç boyutlu vektör haritalar ile sayısal yükseklik verileri üretilir (Şekil 5.14).
- g. Sayısal arazi modeli ve sayısal yükseklik modeli verileri ve fotogrametrik nirengi dengelemesi sonucunda elde edilen resimlere ait dış yöneltme parametreleri kullanılarak sayısal ortofoto haritalar üretilir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14: İHA görüntüleri ile üretilmiş vektör harita ve ortofoto harita (BirinciUygulama Alanı) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

5.6. Sonuçların Değerlendirilmesi ve Analizi

Aynı çalışma alanında gerçekleştirilen gerek LIDAR+fotogrametri ve İHA fotogrametrisi yöntemi ile elde edilen vektör harita ve ortofoto haritaların (birinciuygulama alanı) gerekse jeodezik yöntem ve İHA fotogrametrisi yöntemi ile elde edilen haritaların (ikinciuygulama alanı) doğruluklarının karşılaştırılması iki başlık altında aktarılmıştır:

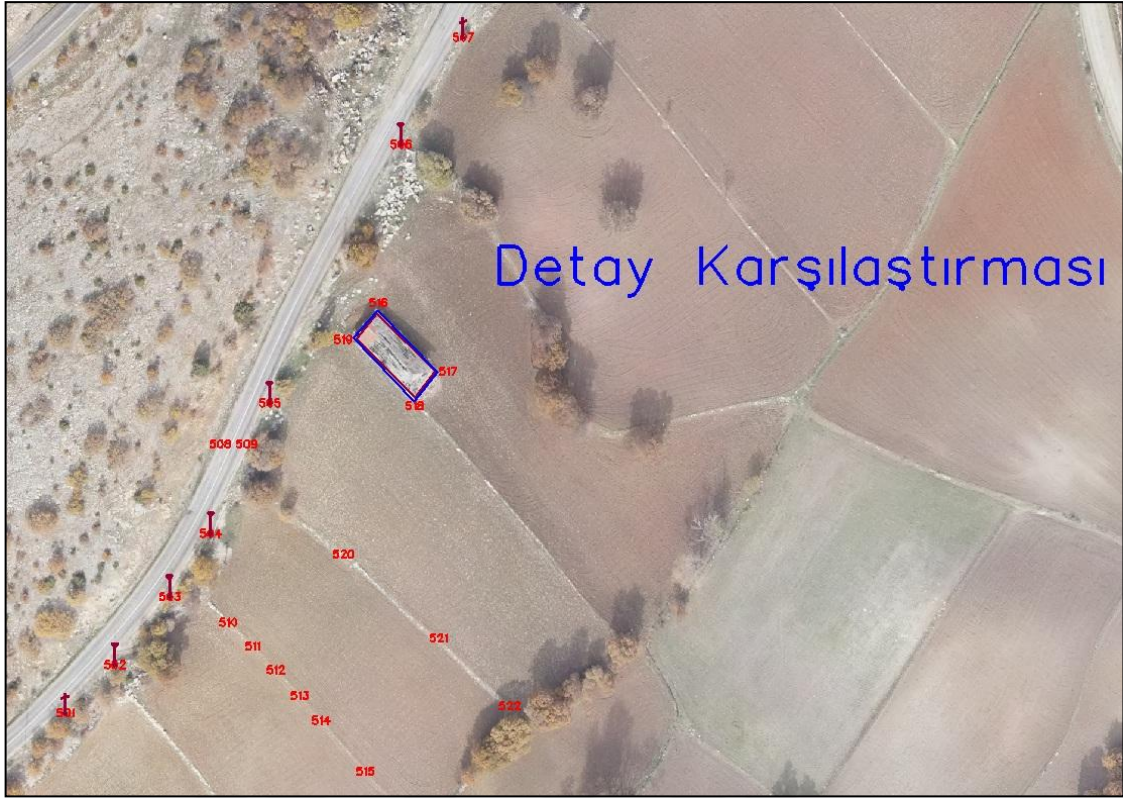
- Konum doğruluk karşılaştırması,
- Yükseklik doğruluk karşılaştırması.

Balıkesir iline bağılı Bandırma ilçesi sınırları içerisindeki **birinciuygulama alanında**(Şekil 5.15), LIDAR + fotogrametri yöntemi ve İHA yöntemi ile üretilen haritaların ortak alanında seçilen iki farklı bölgede konum ve yükseklik doğrulukları araştırılmış bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

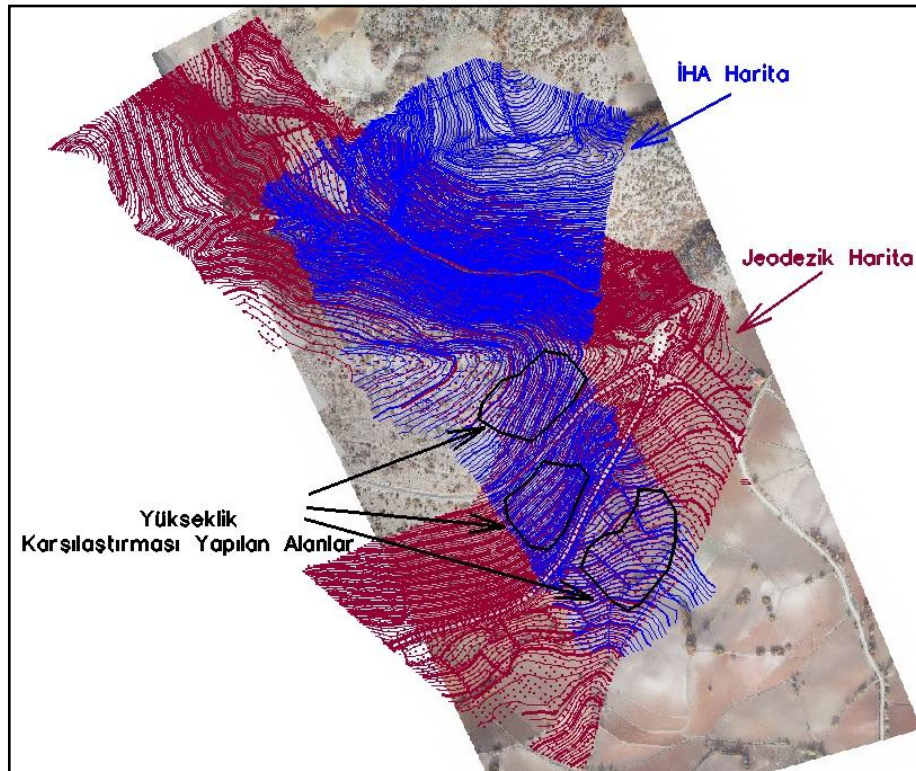


Şekil 5.15: Konum ve yükseklik doğruluklarını karşılaştırma noktaları (BirinciUygulama Alanı) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

Tokat iline bağılı Zille ilçesi sınırları içerisindeki **ikinci uygulama alanında**(Şekil 5.16 ve Şekil 5.17),yersel jeodezik yöntem ve İHA yöntemi ile üretilen topografik haritaların ortak alanında seçilen bölgede konum ve yükseklik doğrulukları araştırılmış bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.16: Konum doğruluklarını karşılaştırma noktaları (ikinciuygulama alanı) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)



Şekil 5.17: Yükseklik doğruluklarını karşılaştırma noktaları (ikinciuygulama alanı) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

Her iki çalışma ve uygulama alanı da meskûn bölgeleri içermediği ve çoğunlukla kırsal alanlara ait olduğu için özellikle konum doğruluklarının araştırılması ve karşılaştırılması amacıyla yeteri sayıda belirgin detay noktası bulunamamıştır. Ancak her iki uygulama alanında yükseklik doğruluklarının araştırılması ve birbirleriyle karşılaştırılması amacıyla yeterli sayıda yükseklik denetleme noktası tespit edilerek proje çalışmalarında kullanılmıştır.

a. 1. Konum Doğruluklarının Karşılaştırılması (Birinci Uygulama Alanı):

Fotogrametrik yöntemle üretilen topografik haritadan alınan detayların koordinatları (F: Fotogrametri) ile İHA Fotogrametrisi yöntemiyle üretilen topografik haritadan alınan detayların koordinatları (İ: İHA) arasındaki farkların karşılaştırılması aşağıda verilen formüllere göre gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar daha sonra tablolar halinde sunulmuştur.

$$dx = (X_f - X_i) \quad (5.1)$$

$$dy = (Y_f - Y_i) \quad (5.2)$$

$$ds = \sqrt{(dx^2 + dy^2)} \quad (5.3)$$

a. 2. Konum Doğruluklarının Karşılaştırılması (İkinci Uygulama Alanı):

Jeodezik yöntemle üretilen topografik haritadan alınan detayların koordinatları (J: Jeodezik) ile İHA fotogrametrisi yöntemiyle üretilen topografik haritadan alınan detayların koordinatları (İ: İHA) arasındaki farkların karşılaştırılması aşağıda verilen formüllere göre gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar daha sonra tablolar halinde sunulmuştur.

$$dx = (X_j - X_i) \quad (5.4)$$

$$dy = (Y_j - Y_i) \quad (5.5)$$

$$ds = \sqrt{(dx^2 + dy^2)} \quad (5.6)$$

b. 1. Yükseklik Doğruluklarının Karşılaştırılması (Birinci Uygulama Alanı):

LIDAR yöntemiyle elde edilen sayısal arazi modelinden alınan noktaların ortometrik yükseklikleri (L: LIDAR) ile İHA yöntemi ile üretilen sayısal arazi modelinden alınan noktaların ortometrik yükseklikleri (İ: İHA) arasındaki farkların karşılaştırılması aşağıda verilen formüllere göre gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar daha sonra tablolar halinde sunulmuştur.

$$dH = H_l - H_i \quad (5.7)$$

$$dH_{ort} = \sum H_l - H_i / n \quad (5.8)$$

b. 2. Yükseklik Doğruluklarının Karşılaştırılması (İkinci Uygulama Alanı):

LIDAR yöntemiyle elde edilen sayısal arazi modelinden alınan noktaların ortometrik yükseklikleri (L: LIDAR) ile İHA yöntemi ile üretilen sayısal arazi modelinden alınan noktaların ortometrik yükseklikleri (İ: İHA) arasındaki farkların karşılaştırılması aşağıda verilen formüllere göre gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar daha sonra tablolar halinde sunulmuştur.

$$dH = H_j - H_i \quad (5.9)$$

$$dH_{ort} = \sum H_j - H_i / n \quad (5.10)$$

5.6.1. LIDAR + Fotogrametrik Ölçüm Verileri ile İHA Sonuçlarının Analizi (Birinci Uygulama Alanı)

Bu bölümde, **birinci uygulama alanında**(Balıkesir iline bağlı Bandırma ilçesi sınırları içinde kalan bölge) önceki yıllarda tamamlanmış olan “NABUCCO-Doğal Gaz Boru Hattı Projesi” kapsamında LIDAR + fotogrametri yöntemiyle elde edilen ölçüm verileri ve üretilen haritalar ile yine aynı bölgeye ilişkin “Balıkesir-Bandırma Organize Sanayi Bölgesi (OSB) Projesi” kapsamında İHA fotogrametrisi yöntemiyle elde edilen ölçüm verileri ve üretilen haritalar kullanılarak her iki yöntemin konum ve yükseklik doğrulukları araştırılmış elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak tablolar halinde sunulmuştur.

a. 1. Konum Doğruluklarının Karşılaştırılması (Birinci Uygulama Alanı):

Balıkesir iline bağlı Bandırma ilçesi sınırları içerisindeki birinciuygulama alanında gerçekleştirilen bu çalışmada seçilen iki farklı bölgede LIDAR + fotogrametri verileri ile İHA verilerinin konum doğrulukları karşılaştırılmıştır. Söz konusu her iki bölgenin grafikleri aşağıda Şekil 5.18 ve Şekil 5.19’da, doğrulukları karşılaştırma tabloları ise Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

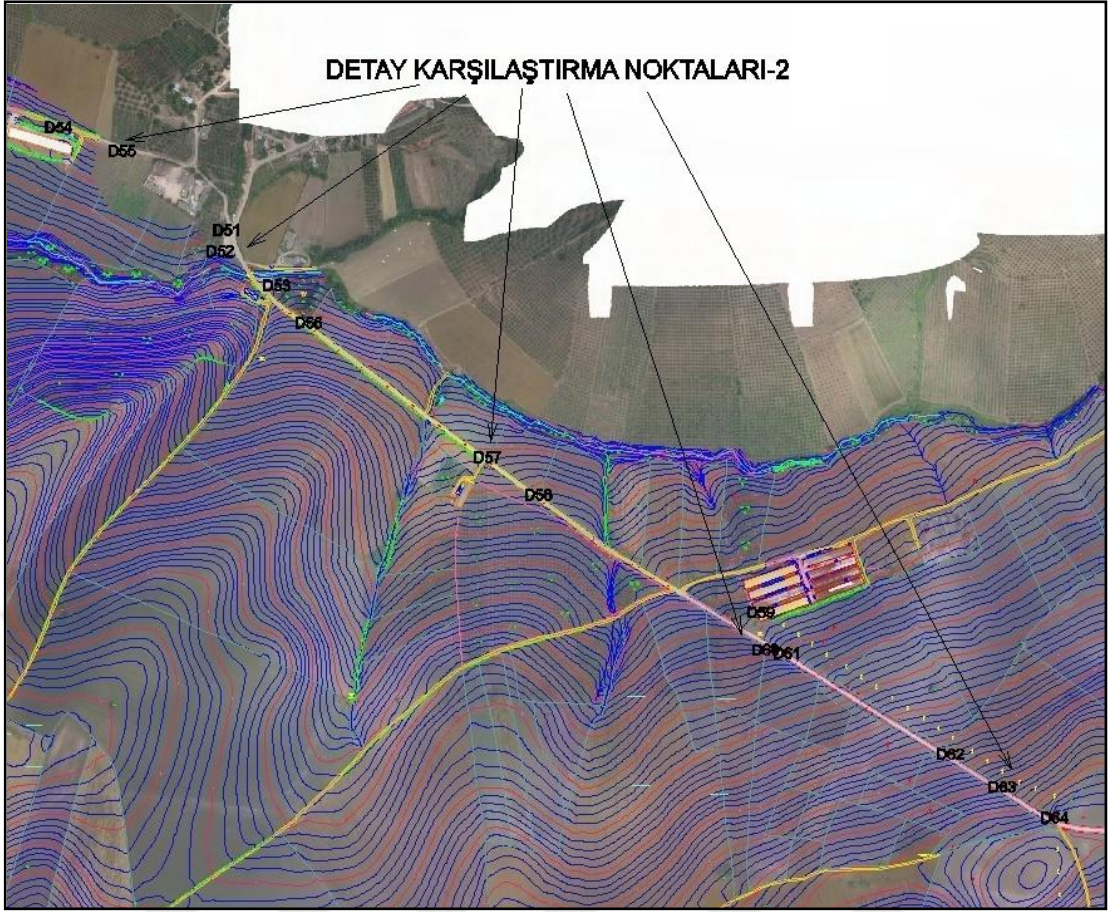


Şekil 5.18: Konum doğruluklarını karşılaştırma noktaları (birinci uygulama alanı, bölge-1) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

Tablo 5.1: Konum doğruluklarını karşılaştırma tablosu (birinci uygulama alanı, bölge-1)¹(Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

LIDAR + ORTOFOTO YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN ORTOFOTO HARİTA İLE İHA YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN ORTOFOTO HARİTANIN KONUM DOĞRULUKLARININ KARŞILAŞTIRILMASI BÖLGE-1 (1'İNCİ UYGULAMA ALANI)								
Nokta No	FOTOG. HARİTA (F)		İHA HARİTA (İ)		Farklar (m)			Açıklama
	Y _f	X _f	Y _i	X _i	dx	dy	ds	
D1	564459.45	4460992.75	564459.39	4460992.69	0.06	0.06	0.08	Pist Köşesi
D2	564436.64	4461002.75	564436.52	4461002.74	0.12	0.01	0.12	Pist Köşesi
D3	564426.48	4460980.04	564426.30	4460980.13	0.18	-0.09	0.20	Pist Köşesi
D4	564449.29	4460969.94	564449.17	4460969.95	0.12	-0.01	0.12	Pist Köşesi
D5	564635.09	4461315.77	564635.02	4461315.60	0.07	0.17	0.18	Sınır
D6	564717.42	4461565.63	564717.22	4461565.73	0.20	-0.10	0.22	B.Zemin
D7	564696.85	4461568.16	564696.90	4461568.21	-0.05	-0.05	0.07	B.Zemin
D8	564689.21	4461591.41	564689.03	4461591.36	0.18	0.05	0.19	Rogar
D9	564666.97	4461597.80	564667.18	4461597.90	-0.21	-0.10	0.23	Direk
D10	563743.71	4461093.57	563743.82	4461093.63	-0.11	-0.06	0.13	Havuz
D11	564686.92	4461736.15	564687.05	4461735.94	-0.13	0.21	0.25	Direk
D12	564668.65	4461665.37	564668.90	4461665.39	-0.25	-0.02	0.25	Direk
D13	564581.94	4461243.21	564581.66	4461243.04	0.28	0.17	0.33	Direk
D14	564545.11	4461159.11	564544.98	4461159.21	0.13	-0.10	0.16	Direk
D15	564436.50	4461052.79	564436.51	4461052.80	-0.02	-0.01	0.02	Direk
dS_{ort} =							0.17m	

¹LİDAR-Ortofoto piksel çözünürlüğü 20 cm, İHA-Ortofoto çözünürlüğü 8 cm'dir.



Şekil 5.19: Konum doğruluklarını karşılaştırma noktaları (birinci uygulama alanı, bölge-2) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

Tablo 5.2: Konum doğruluklarını karşılaştırma tablosu (birinci uygulama alanı, bölge-2)¹ (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

LIDAR+ORTOFOTO YÖNTEMİYLE YAPILAN ORTOFOTO HARİTA ile İHA YÖNTEMİYLE YAPILAN ORTOFOTO HARİTANIN KONUM DOĞRULUK KARŞILAŞTIRMASI BÖLGE-2 (1.UYGULAMA)									
Nok. No	FOTOG. HARİTA (F)		İHA HARİTA (İ)		Farklar			Açıklama	
	Y _f	X _f	Y _i	X _i	dx	dy	ds		
D51	568353.06	4463986.77	568353.13	4463986.92	-0.07	-0.15	0.17	Direk	
D52	568342.15	4463953.03	568342.26	4463952.96	-0.11	0.07	0.13	Çeşme	
D53	568435.25	4463896.55	568435.23	4463896.42	0.02	0.13	0.13	Mezar	
D54	568077.61	4464155.67	568077.45	4464155.60	0.16	0.07	0.17	Direk	
D55	568181.20	4464117.17	568181.24	4464117.19	-0.04	-0.02	0.04	Direk	
D56	568487.23	4463835.93	568487.23	4463835.63	0.00	0.29	0.29	Direk	
D57	568781.08	4463614.89	568781.00	4463614.82	0.08	0.07	0.11	Direk	
D58	568864.53	4463553.70	568864.21	4463553.50	0.32	0.20	0.38	Direk	
D59	569228.98	4463360.67	569229.10	4463360.67	-0.12	0.00	0.12	Rogar	
D60	569236.66	4463299.18	569236.82	4463299.02	-0.16	0.16	0.23	Direk	
D61	569272.25	4463293.55	569272.19	4463293.83	0.06	-0.28	0.29	Direk	
D62	569539.64	4463127.95	569539.90	4463128.05	-0.26	-0.10	0.28	Direk	
D63	569624.91	4463074.86	569625.11	4463074.52	-0.20	0.34	0.39	Direk	
D64	569711.18	4463024.56	569711.12	4463024.33	0.06	0.23	0.24	Direk	
D65	570652.19	4462962.09	570652.60	4462962.00	-0.41	0.09	0.42	Direk	
D66	570752.35	4462954.61	570752.43	4462954.43	-0.08	0.18	0.20	Direk	
							dS_{ort}=	0.22m	

¹LIDAR-Ortofoto piksel çözünürlüğü 20 cm, İHA ortofoto çözünürlüğü 8 cm dir.

b. 1. Yükseklik Doğruluklarının Karşılaştırılması (Birinci Uygulama Alanı):

Balıkesir iline bağlı Bandırma ilçesi sınırları içerisindeki birinciuygulama alanında gerçekleştirilen bu çalışmada seçilen iki farklı bölgede LIDAR + fotogrametri verileri ile İHA verilerinin yükseklik doğrulukları karşılaştırılmıştır. Söz konusu her iki bölgenin grafikleri Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de, doğrulukları karşılaştırma tabloları ise Tablo 5.3 ve Tablo 5.4’de gösterilmiştir.



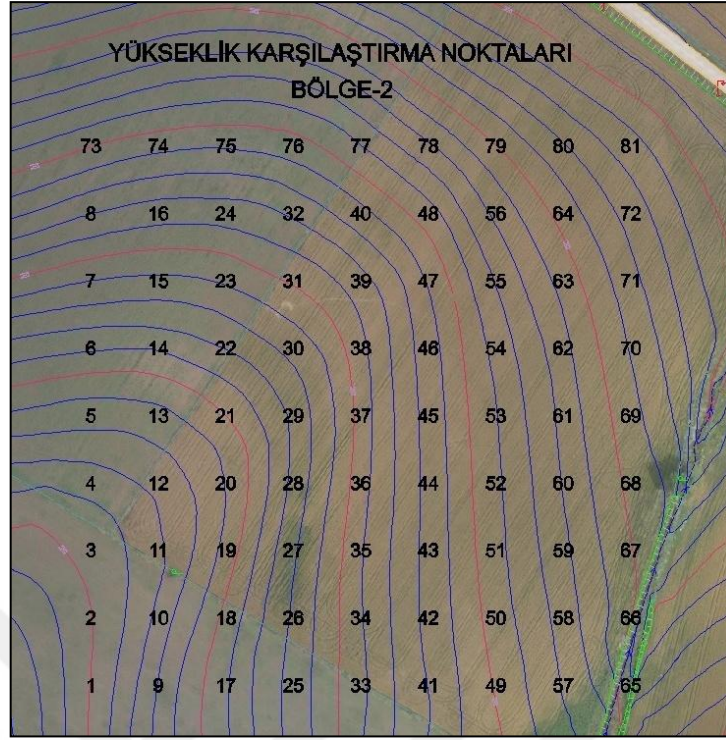
Şekil 5.20: Yükseklik doğruluklarını karşılaştırma noktaları (birinci uygulama alanı, bölge-1) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

Tablo 5.3: Yükseklik karşılaştırma tablosu (birinci uygulama alanı, bölge-1) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

LIDAR DTM VERİSİ ile İHA YÖNTEMİYLE YAPILAN HARİTANIN YÜKSEKLİK DOĞRULUK KARŞILAŞTIRMASI BÖLGE-1 (1.UYGULAMA)					
Nok. No	LIDAR DTM (L)			İHA HARİTA (İ)	dH=H _i -H _i
	Y _i	X _i	H _i	H _i	
1	563150.00	4461275.00	183.21	182.88	0.33
2	563150.00	4461300.00	183.31	183.08	0.23
3	563150.00	4461325.00	183.28	182.90	0.38
4	563150.00	4461350.00	183.16	182.86	0.30
5	563150.00	4461375.00	183.24	182.98	0.26
6	563150.00	4461400.00	183.09	182.77	0.32
7	563150.00	4461425.00	183.00	182.81	0.19
8	563150.00	4461450.00	182.01	182.03	-0.02
9	563150.00	4461475.00	181.34	181.12	0.22
10	563150.00	4461500.00	181.24	180.89	0.35
11	563175.00	4461275.00	181.60	181.38	0.22
12	563175.00	4461300.00	181.49	181.27	0.22
13	563175.00	4461325.00	181.44	181.21	0.23
14	563175.00	4461350.00	181.21	181.03	0.18
15	563175.00	4461375.00	181.40	181.08	0.32
16	563175.00	4461400.00	181.16	180.97	0.19
17	563175.00	4461425.00	180.97	180.71	0.26
18	563175.00	4461450.00	180.64	180.33	0.31
19	563175.00	4461475.00	179.96	179.65	0.31
20	563175.00	4461500.00	179.95	179.64	0.31
21	563200.00	4461275.00	179.92	179.79	0.13
22	563200.00	4461300.00	179.77	179.58	0.19
23	563200.00	4461325.00	179.73	179.31	0.42
24	563200.00	4461350.00	179.65	179.45	0.20
25	563200.00	4461375.00	179.65	179.47	0.18
26	563200.00	4461400.00	179.65	179.33	0.32
27	563200.00	4461425.00	179.46	179.26	0.20
28	563200.00	4461450.00	179.13	179.14	-0.01
29	563200.00	4461475.00	178.62	178.27	0.35
30	563200.00	4461500.00	178.38	178.04	0.34
31	563225.00	4461275.00	178.59	178.52	0.07
32	563225.00	4461300.00	178.36	178.18	0.18
33	563225.00	4461325.00	178.06	177.94	0.12
34	563225.00	4461350.00	178.16	178.06	0.10
35	563225.00	4461375.00	177.97	177.93	0.04
36	563225.00	4461400.00	178.11	177.78	0.33
37	563225.00	4461425.00	177.96	177.76	0.20

38	563225.00	4461450.00	177.79	177.47	0.32
39	563225.00	4461475.00	177.27	176.97	0.30
40	563225.00	4461500.00	177.14	176.85	0.29
41	563250.00	4461275.00	177.70	177.43	0.27
42	563250.00	4461300.00	177.23	176.95	0.28
43	563250.00	4461325.00	176.76	176.79	-0.03
44	563250.00	4461350.00	176.79	176.72	0.07
45	563250.00	4461375.00	176.68	176.59	0.09
46	563250.00	4461400.00	176.75	176.48	0.27
47	563250.00	4461425.00	176.87	176.67	0.20
48	563250.00	4461450.00	176.54	176.53	0.01
49	563250.00	4461475.00	176.08	175.82	0.26
50	563250.00	4461500.00	175.87	175.54	0.33
51	563275.00	4461275.00	176.28	176.23	0.05
52	563275.00	4461300.00	175.96	175.78	0.18
53	563275.00	4461325.00	175.86	175.57	0.29
54	563275.00	4461350.00	175.51	175.42	0.09
55	563275.00	4461375.00	175.52	175.31	0.21
56	563275.00	4461400.00	175.43	175.23	0.20
57	563275.00	4461425.00	175.60	175.61	-0.01
58	563275.00	4461450.00	175.26	175.26	0.00
59	563275.00	4461475.00	175.00	174.95	0.05
60	563275.00	4461500.00	174.76	174.70	0.06
61	563300.00	4461275.00	175.13	175.11	0.02
62	563300.00	4461300.00	174.93	174.59	0.34
63	563300.00	4461325.00	174.57	174.24	0.33
64	563300.00	4461350.00	174.37	174.09	0.28
66	563300.00	4461400.00	174.52	174.47	0.05
67	563300.00	4461425.00	174.32	174.49	-0.17
68	563300.00	4461450.00	174.08	174.19	-0.11
69	563300.00	4461475.00	173.83	174.00	-0.17
70	563300.00	4461500.00	173.57	173.34	0.23
71	563325.00	4461275.00	173.80	173.48	0.32
72	563325.00	4461300.00	173.72	173.43	0.29
73	563325.00	4461325.00	173.39	172.98	0.41
74	563325.00	4461350.00	173.33	172.98	0.35
75	563325.00	4461375.00	173.25	173.10	0.15
76	563325.00	4461400.00	173.25	173.14	0.11
77	563325.00	4461425.00	173.19	173.43	-0.24
78	563325.00	4461450.00	173.12	173.01	0.11
79	563325.00	4461475.00	172.67	172.94	-0.27
80	563325.00	4461500.00	172.25	172.31	-0.06
81	563350.00	4461275.00	172.36	172.48	-0.12
82	563350.00	4461300.00	172.02	172.22	-0.20
83	563350.00	4461325.00	172.13	172.13	0.00
84	563350.00	4461350.00	172.08	172.18	-0.10

85	563350.00	4461375.00	171.93	171.93	0.00
86	563350.00	4461400.00	172.03	172.02	0.01
87	563350.00	4461425.00	172.25	172.19	0.06
88	563350.00	4461450.00	171.86	171.74	0.12
89	563350.00	4461475.00	171.56	171.74	-0.18
90	563350.00	4461500.00	171.23	171.58	-0.35
92	563375.00	4461300.00	170.51	170.76	-0.25
93	563375.00	4461325.00	170.24	170.62	-0.38
94	563375.00	4461350.00	170.23	170.39	-0.16
95	563375.00	4461375.00	170.43	170.59	-0.16
96	563375.00	4461400.00	170.38	170.74	-0.36
97	563375.00	4461425.00	170.70	170.87	-0.17
98	563375.00	4461450.00	170.55	170.61	-0.06
99	563375.00	4461475.00	170.23	170.58	-0.35
100	563375.00	4461500.00	170.24	170.54	-0.30
				dH_{ort}=	0.20 m



Şekil 5.21: Yükseklik doğruluklarını karşılaştırma noktaları (birinci uygulama alanı, bölge-2) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

Tablo 5.4: Yükseklik doğruluklarını karşılaştırma tablosu (birinci uygulama alanı, bölge-2) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

LIDAR DTM VERİSİ ile İHA YÖNTEMİYLE YAPILAN HARİTANIN YÜKSEKLİK DOĞRULUK KARŞILAŞTIRMASI BÖLGE-2 (1.UYGULAMA)					
Nok. No	LIDAR DTM (L)			İHA HARİTA (i)	dH=H _i -H _i
	Y _i	X _i	H _i	H _i	
1	568425.00	4463475.00	74.58	74.13	0.45
2	568425.00	4463500.00	74.84	74.55	0.29
3	568425.00	4463525.00	74.66	74.51	0.15
4	568425.00	4463550.00	73.41	73.35	0.06
5	568425.00	4463575.00	71.52	71.08	0.44
6	568425.00	4463600.00	68.70	68.42	0.28
7	568425.00	4463625.00	65.80	65.67	0.13
8	568425.00	4463650.00	62.77	62.94	-0.17
9	568450.00	4463475.00	71.46	71.20	0.26
10	568450.00	4463500.00	72.21	71.96	0.25
11	568450.00	4463525.00	73.08	72.26	0.82
12	568450.00	4463550.00	72.53	72.08	0.45
13	568450.00	4463575.00	71.15	70.76	0.39
14	568450.00	4463600.00	68.66	68.35	0.31

15	568450.00	4463625.00	66.16	65.94	0.22
16	568450.00	4463650.00	63.44	63.13	0.31
17	568475.00	4463475.00	68.67	68.57	0.10
18	568475.00	4463500.00	69.38	68.91	0.47
19	568475.00	4463525.00	70.17	69.93	0.24
20	568475.00	4463550.00	70.67	70.25	0.42
21	568475.00	4463575.00	69.75	69.30	0.45
22	568475.00	4463600.00	67.73	67.52	0.21
23	568475.00	4463625.00	65.65	65.44	0.21
24	568475.00	4463650.00	63.49	63.19	0.30
25	568500.00	4463475.00	66.22	66.05	0.17
26	568500.00	4463500.00	66.40	66.05	0.35
27	568500.00	4463525.00	66.77	66.85	-0.08
28	568500.00	4463550.00	67.38	67.19	0.19
29	568500.00	4463575.00	67.36	66.93	0.43
30	568500.00	4463600.00	66.44	66.16	0.28
31	568500.00	4463625.00	64.60	64.46	0.14
32	568500.00	4463650.00	62.64	62.57	0.07
33	568525.00	4463475.00	64.18	63.88	0.30
34	568525.00	4463500.00	63.78	63.71	0.07
35	568525.00	4463525.00	63.79	63.95	-0.16
36	568525.00	4463550.00	64.07	64.31	-0.24
37	568525.00	4463575.00	64.24	64.31	-0.07
38	568525.00	4463600.00	64.02	63.94	0.08
39	568525.00	4463625.00	63.14	62.92	0.22
40	568525.00	4463650.00	61.06	61.16	-0.10
41	568550.00	4463475.00	61.67	61.29	0.38
42	568550.00	4463500.00	61.35	61.32	0.03
43	568550.00	4463525.00	61.37	61.41	-0.04
44	568550.00	4463550.00	61.39	61.43	-0.04
45	568550.00	4463575.00	61.26	61.45	-0.19
46	568550.00	4463600.00	61.10	61.11	-0.01
47	568550.00	4463625.00	60.50	60.02	0.48
48	568550.00	4463650.00	59.06	59.09	-0.03
49	568575.00	4463475.00	59.66	59.45	0.21
50	568575.00	4463500.00	59.25	59.03	0.22
51	568575.00	4463525.00	59.01	58.97	0.04
52	568575.00	4463550.00	58.95	58.95	0.00
53	568575.00	4463575.00	58.82	58.76	0.06
54	568575.00	4463600.00	58.39	58.07	0.32
55	568575.00	4463625.00	57.62	57.64	-0.02
56	568575.00	4463650.00	56.44	56.53	-0.09
57	568600.00	4463475.00	57.60	57.53	0.07
58	568600.00	4463500.00	57.32	57.07	0.25
59	568600.00	4463525.00	57.01	57.01	0.00
60	568600.00	4463550.00	56.62	56.72	-0.10

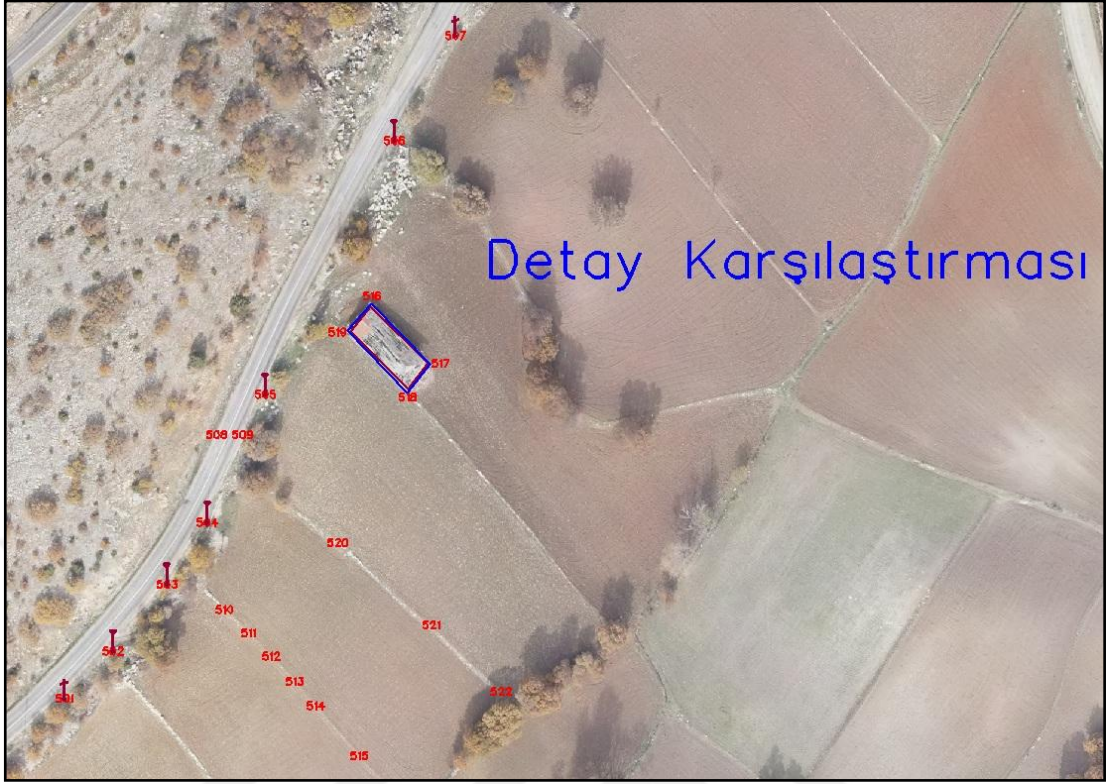
61	568600.00	4463575.00	56.36	56.43	-0.07
62	568600.00	4463600.00	56.06	55.93	0.13
63	568600.00	4463625.00	55.30	55.49	-0.19
64	568600.00	4463650.00	54.33	54.49	-0.16
65	568625.00	4463475.00	56.60	56.25	0.35
66	568625.00	4463500.00	55.16	54.94	0.22
67	568625.00	4463525.00	54.74	54.80	-0.06
68	568625.00	4463550.00	54.39	54.45	-0.06
69	568625.00	4463575.00	54.00	53.80	0.20
70	568625.00	4463600.00	53.62	53.52	0.10
71	568625.00	4463625.00	53.04	52.77	0.27
72	568625.00	4463650.00	52.29	52.36	-0.07
73	568425.00	4463675.00	59.71	59.73	-0.02
74	568450.00	4463675.00	60.48	60.08	0.40
75	568475.00	4463675.00	60.84	60.63	0.21
76	568500.00	4463675.00	60.20	59.92	0.28
77	568525.00	4463675.00	58.78	58.62	0.16
78	568550.00	4463675.00	56.77	56.62	0.15
79	568575.00	4463675.00	54.75	54.90	-0.15
80	568600.00	4463675.00	52.82	53.19	-0.37
81	568625.00	4463675.00	51.20	51.35	-0.15
				dH_{ort}=	0.17 m

5.6.2. Jeodezik Ölçüm Verileri ile İHA Sonuçlarının Analizi (İkinci Uygulama Alanı)

Bu bölümde tezin **ikinci uygulama alanında** (Tokat iline bağlı Zile ilçesi sınırları içinde kalan bölge) önceki yıllarda tamamlanmış olan “Amasya-Zile Devlet Yolu Projesi” kapsamında klasik yersel jeodezik yöntemle elde edilen ölçüm verileri ve üretilen haritalar ile yine aynı bölgeye ilişkin “Hidro-Elektrik Santrali (HES) Bağlantı Yolları Projesi” kapsamında İHA fotogrametrisi yöntemiyle elde edilen ölçüm verileri ve üretilen haritalar kullanılarak her iki yöntemin konum ve yükseklik doğrulukları araştırılmış olup elde edilen sonuç doğruluklar karşılaştırılarak tablolar halinde sunulmuştur.

a. 2. Konum Doğruluklarının Karşılaştırılması (İkinci Uygulama Alanı):

Tokat iline bağlı Zile ilçesi sınırları içerisindeki ikinciuygulama alanında gerçekleştirilen bu çalışmada seçilen bir bölgede klasik yersel jeodezik verilerle İHA verilerinin konum doğrulukları karşılaştırılmıştır. Söz konusu bölgenin grafiği Şekil 5.22’de, doğrulukları karşılaştırma tablosu ise Tablo 5.5’de gösterilmiştir.



Şekil 5.22: Konum doğruluklarını karşılaştırma noktaları (ikinci uygulama alanı) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

Tablo 5.5: Konum doğruluklarını karşılaştırma tablosu (ikinci uygulama alanı) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

JEODEZİK YÖNTEMLE YAPILAN HARİTA ile İHA YÖNTEMİYLE YAPILAN HARİTANIN KONUM DOĞRULUK KARŞILAŞTIRMASI (2.UYGULAMA)								
Nok. No	JEODEZİK HARİTA (J)		İHA HARİTA (İ)		Farklar			Açıklama
	Y_j	X_j	Y_i	X_i	dx	dy	ds	
501	488,936.69	4,471,006.82	488,936.62	4,471,006.82	0.07	0.00	0.07	Direk
502	488,949.82	4,471,019.68	488,949.70	4,471,019.74	0.12	-0.06	0.13	Direk
503	488,964.37	4,471,037.75	488,964.15	4,471,037.74	0.22	0.01	0.22	Direk
504	488,975.26	4,471,054.50	488,975.16	4,471,054.54	0.10	-0.04	0.11	Direk
505	488,990.96	4,471,089.15	488,990.79	4,471,089.10	0.17	0.05	0.18	Direk
506	489,025.80	4,471,157.82	489,025.77	4,471,157.84	0.03	-0.02	0.04	Direk
507	489,042.42	4,471,186.24	489,042.56	4,471,186.30	-0.14	-0.06	0.15	Direk
508	488,977.79	4,471,078.25	488,977.62	4,471,078.34	0.17	-0.09	0.19	Yol
509	488,984.77	4,471,078.24	488,984.70	4,471,078.26	0.07	-0.02	0.07	Yol
510	488,979.92	4,471,030.91	488,980.21	4,471,031.25	-0.29	-0.34	0.45	Sınır
511	488,986.44	4,471,024.61	488,986.66	4,471,024.77	-0.22	-0.16	0.27	Sınır
512	488,992.57	4,471,018.28	488,992.75	4,471,018.43	-0.18	-0.15	0.23	Sınır

513	488,998.90	4,471,011.50	488,999.13	4,471,011.67	-0.23	-0.17	0.29	Sınır
514	489,004.62	4,471,004.87	489,004.84	4,471,005.16	-0.22	-0.29	0.36	Sınır
515	489,016.40	4,470,991.34	489,016.69	4,470,991.62	-0.29	-0.28	0.40	Sınır
516	489,019.43	4,471,113.05	489,019.69	4,471,113.71	-0.26	-0.66		Bina
517	489,034.94	4,471,097.65	489,035.60	4,471,097.30	-0.66	0.35		Bina
518	489,029.61	4,471,090.68	489,029.33	4,471,089.78	0.28	0.90		Bina
519	489,014.03	4,471,106.34	489,013.28	4,471,106.66	0.75	-0.32		Bina
520	489,010.57	4,471,049.05	489,010.69	4,471,049.20	-0.12	-0.15	0.19	Sınır
521	489,035.87	4,471,026.68	489,035.81	4,471,026.59	0.06	0.09	0.11	Sınır
522	489,054.74	4,471,008.72	489,054.63	4,471,008.66	0.11	0.06	0.13	Sınır
							dS_{ort}=	0.20m

Yukarıdaki tabloda 516, 517, 518, 519 numaralı detay noktaları bir binanın köşe noktalarıdır. Bu noktalardaki farklar biraz daha büyük olup diğer ölçüm noktalarına göre oldukça kaba sayılır. Bunun nedeni, binaya ait olan bu noktaların jeodezik yöntemle üretilen haritada bina zemin oturumu dikkate alınarak alımının yapılmış olmasıdır. Hâlbuki İHA yöntemi ile üretilen fotogrametrik haritada aynı bina çatı dış çizgilerinden çizilmiştir. Fotogrametrik harita üretimindeki temel prensiplerden birisi de binaların çatı dış hatlarından çizilmesidir. Bu nedenle, sözü edilen bu noktalar dikkat çekmesi açısından tabloya dâhil edilmiş olup oluşan farkları ise ortalama hataya dâhil edilmemiştir. Söz konusu bu durum aşağıdaki şekilden de rahatlıkla görülebilmektedir (Şekil 5.23).



Şekil 5.23: Uygun olmayan konum karşılaştırma noktalarına örnek (ikinci uygulama alanı) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

b. 2. Yükseklik Doğruluklarının Karşılaştırılması (İkinci Uygulama Alanı)

Tokat iline bağlı Zile ilçesi sınırları içerisindeki ikinciuygulama alanında gerçekleştirilen bu çalışmada seçilen bir bölgede klasik yersel jeodezik verilerle İHA verilerinin yükseklik doğrulukları karşılaştırılmıştır. Söz konusu bölgenin grafiği Şekil 5.24'de, doğrulukları karşılaştırma tablosu ise, Tablo 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.24: Yükseklik doğruluklarını karşılaştırma noktaları (ikinci uygulama alanı) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

Tablo 5.6: Yükseklik doğruluklarını karşılaştırma tablosu (ikinci uygulama alanı) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

JEODEZİK YÖNTEMLE YAPILAN HARİTA ile İHA YÖNTEMİYLE YAPILAN HARİTANIN YÜKSEKLİK DOĞRULUK KARŞILAŞTIRMASI					
Nok. No	JEODEZİK HARİTA (J)			İHA HARİTA (İ)	dH=H _j -H _i
	Y _j	X _j	H _j	H _i	
101	489,088.55	4,471,137.88	1,153.19	1,153.10	0.09
102	489,080.34	4,471,130.41	1,152.71	1,152.59	0.12
103	489,070.98	4,471,125.77	1,152.08	1,152.14	-0.06
104	489,080.93	4,471,084.33	1,147.42	1,147.17	0.25
105	489,089.54	4,471,091.46	1,147.27	1,147.46	-0.18
106	489,098.51	4,471,097.51	1,147.48	1,147.59	-0.11
107	489,107.01	4,471,104.61	1,147.88	1,147.93	-0.05
108	489,116.17	4,471,112.69	1,148.52	1,148.61	-0.09
109	489,109.67	4,471,093.03	1,146.89	1,146.89	0.00
110	489,099.21	4,471,088.09	1,146.62	1,146.69	-0.07
111	489,063.53	4,470,979.75	1,134.40	1,134.31	0.09
112	489,036.85	4,470,988.79	1,134.98	1,134.83	0.15
113	489,042.84	4,470,998.14	1,136.04	1,135.97	0.07
114	489,050.03	4,471,006.73	1,137.19	1,137.19	0.00
115	489,057.13	4,471,010.53	1,138.35	1,138.12	0.23
116	489,064.75	4,471,018.21	1,139.23	1,139.09	0.14
117	489,074.50	4,471,025.34	1,139.84	1,139.90	-0.06
118	489,100.83	4,471,080.80	1,145.30	1,145.19	0.11
119	489,094.24	4,471,070.85	1,144.42	1,144.58	-0.16
120	489,087.95	4,471,060.13	1,143.26	1,143.33	-0.07
121	489,079.63	4,471,050.68	1,142.26	1,142.32	-0.06
122	489,074.17	4,471,043.98	1,141.61	1,141.65	-0.04
123	489,067.19	4,471,035.35	1,140.81	1,140.86	-0.05
124	489,058.44	4,471,026.76	1,139.94	1,139.97	-0.03
125	489,050.23	4,471,018.64	1,139.11	1,139.07	0.04
126	489,042.71	4,471,011.30	1,137.97	1,137.82	0.15
127	489,036.55	4,471,001.82	1,136.60	1,136.62	-0.02
128	489,028.81	4,470,994.15	1,135.77	1,135.75	0.02
129	489,001.34	4,471,028.54	1,144.09	1,144.11	-0.02
130	489,009.68	4,471,037.57	1,144.95	1,144.98	-0.03
131	489,013.77	4,471,043.39	1,145.56	1,145.55	0.01
132	489,018.02	4,471,047.51	1,146.01	1,146.10	-0.09
133	489,024.60	4,471,055.54	1,146.55	1,146.61	-0.06
134	489,033.77	4,471,066.67	1,147.17	1,147.26	-0.09
135	489,041.29	4,471,072.73	1,147.06	1,147.22	-0.16
136	489,047.31	4,471,080.93	1,147.24	1,147.41	-0.17
137	489,053.04	4,471,086.65	1,147.60	1,147.65	-0.05

138	489,060.60	4,471,094.50	1,148.40	1,148.25	0.15
139	489,030.87	4,471,077.30	1,148.64	1,148.76	-0.12
140	489,024.23	4,471,069.48	1,148.48	1,148.67	-0.19
141	489,018.52	4,471,062.88	1,148.23	1,148.24	-0.01
142	489,012.08	4,471,054.90	1,147.53	1,147.67	-0.14
143	489,005.90	4,471,046.01	1,146.44	1,146.41	0.03
144	489,000.50	4,471,039.96	1,145.83	1,145.85	-0.02
145	488,994.01	4,471,032.29	1,144.95	1,144.95	0.00
146	489,100.38	4,471,137.66	1,152.32	1,152.35	-0.03
147	489,094.04	4,471,130.64	1,151.83	1,151.78	0.05
148	489,084.19	4,471,123.18	1,151.37	1,151.37	0.00
149	489,074.17	4,471,117.28	1,150.76	1,150.85	-0.09
150	489,068.04	4,471,112.03	1,150.44	1,150.41	0.03
151	489,074.58	4,471,088.73	1,148.02	1,147.82	0.20
152	489,083.39	4,471,094.12	1,147.75	1,147.84	-0.09
153	489,093.45	4,471,100.96	1,147.98	1,148.05	-0.07
154	489,101.91	4,471,110.77	1,148.70	1,148.81	-0.11
155	489,110.59	4,471,117.47	1,149.21	1,149.22	-0.01
156	489,116.90	4,471,092.17	1,146.72	1,146.74	-0.02
157	489,107.64	4,471,030.92	1,140.51	1,140.55	-0.04
158	489,099.40	4,471,021.02	1,139.46	1,139.69	-0.23
159	489,089.61	4,471,016.96	1,138.74	1,138.66	0.08
160	489,082.91	4,471,009.45	1,137.93	1,137.88	0.05
161	489,073.64	4,471,001.86	1,137.17	1,137.05	0.12
162	489,065.57	4,470,994.83	1,136.50	1,136.29	0.21
163	489,055.33	4,470,985.79	1,135.26	1,135.02	0.24
164	489,084.34	4,471,033.18	1,140.80	1,140.50	0.30
165	489,088.82	4,471,039.46	1,141.13	1,141.13	0.00
166	489,094.57	4,471,049.10	1,142.03	1,142.14	-0.11
167	489,098.52	4,471,057.54	1,142.95	1,142.96	-0.01
168	489,103.42	4,471,068.41	1,143.93	1,144.08	-0.15
169	489,108.86	4,471,078.29	1,144.79	1,144.92	-0.13
170	489,086.96	4,471,073.61	1,144.96	1,145.09	-0.13
171	489,081.66	4,471,065.01	1,143.94	1,144.14	-0.20
172	489,074.74	4,471,056.79	1,143.07	1,143.10	-0.03
173	489,069.22	4,471,050.54	1,142.48	1,142.48	0.00
174	489,061.75	4,471,041.52	1,141.65	1,141.70	-0.05
175	489,052.67	4,471,033.15	1,140.77	1,140.80	-0.03
176	489,044.59	4,471,024.18	1,139.95	1,139.96	-0.01
177	489,036.78	4,471,016.84	1,139.09	1,138.97	0.12
178	489,030.46	4,471,008.05	1,138.01	1,137.96	0.05
179	489,023.59	4,471,000.82	1,137.25	1,137.18	0.07
180	489,006.71	4,471,023.80	1,143.06	1,143.00	0.06
181	489,014.49	4,471,032.61	1,143.93	1,143.88	0.05
182	489,023.15	4,471,042.57	1,144.80	1,144.96	-0.16
183	489,030.11	4,471,051.13	1,145.39	1,145.48	-0.09

184	489,038.37	4,471,061.69	1,146.15	1,146.21	-0.06
185	489,044.15	4,471,068.10	1,146.33	1,146.44	-0.11
186	489,048.74	4,471,073.38	1,146.53	1,146.57	-0.04
187	489,057.03	4,471,081.43	1,146.94	1,146.90	0.04
188	489,063.14	4,471,086.73	1,147.37	1,147.34	0.03
189	489,006.13	4,471,059.17	1,148.52	1,148.68	-0.16
190	489,104.53	4,471,129.15	1,150.96	1,151.03	-0.07
191	489,097.58	4,471,123.27	1,150.51	1,150.68	-0.17
192	489,087.64	4,471,115.96	1,150.05	1,150.21	-0.16
193	489,080.45	4,471,110.88	1,149.65	1,149.85	-0.20
194	489,071.08	4,471,104.29	1,149.30	1,149.24	0.06
195	489,079.53	4,471,101.76	1,148.57	1,148.78	-0.21
196	489,089.08	4,471,108.71	1,149.03	1,149.25	-0.22
197	489,097.96	4,471,116.82	1,149.64	1,149.87	-0.23
198	489,106.55	4,471,124.44	1,150.20	1,150.34	-0.14
199	489,079.36	4,471,076.49	1,145.59	1,145.51	0.08
200	489,072.26	4,471,068.96	1,144.82	1,144.98	-0.15
201	489,064.62	4,471,059.73	1,143.62	1,143.82	-0.20
202	489,054.79	4,471,050.65	1,143.15	1,143.22	-0.07
203	489,046.50	4,471,041.71	1,142.27	1,142.41	-0.14
204	489,037.06	4,471,032.41	1,141.55	1,141.60	-0.05
205	489,029.11	4,471,024.09	1,140.84	1,140.87	-0.03
206	489,022.14	4,471,018.44	1,140.63	1,140.69	-0.06
207	489,015.28	4,471,009.77	1,139.62	1,139.70	-0.08
208	489,012.64	4,471,017.37	1,141.39	1,141.49	-0.09
209	489,020.65	4,471,026.10	1,142.19	1,142.24	-0.05
210	489,030.22	4,471,036.01	1,142.97	1,143.17	-0.20
211	489,036.63	4,471,044.89	1,143.68	1,143.82	-0.14
212	489,044.32	4,471,054.37	1,144.48	1,144.66	-0.18
213	489,050.14	4,471,061.53	1,144.93	1,144.99	-0.06
214	489,058.17	4,471,068.44	1,145.08	1,145.27	-0.19
215	489,065.98	4,471,074.88	1,145.89	1,145.89	0.00
216	489,070.79	4,471,081.29	1,146.52	1,146.41	0.11
217	489,060.60	4,471,055.71	1,143.39	1,143.35	0.04
218	489,071.29	4,471,042.44	1,141.77	1,141.51	0.26
219	489,084.34	4,471,026.55	1,140.23	1,140.02	0.21
220	489,003.09	4,471,054.29	1,148.22	1,147.90	0.32
221	489,010.57	4,471,049.05	1,147.13	1,146.98	0.15
222	489,016.17	4,471,044.22	1,145.96	1,145.82	0.14
223	489,022.59	4,471,038.31	1,144.46	1,144.37	0.09
224	489,028.19	4,471,032.81	1,143.04	1,142.74	0.30
225	489,035.87	4,471,026.68	1,141.19	1,141.03	0.16
226	489,041.85	4,471,021.08	1,139.94	1,139.75	0.19
227	489,048.92	4,471,014.60	1,138.87	1,138.60	0.27
228	489,057.64	4,471,005.78	1,137.49	1,137.66	-0.17
229	489,044.39	4,470,988.14	1,135.15	1,134.89	0.26

230	489,054.63	4,470,997.35	1,136.46	1,136.30	0.16
231	489,066.15	4,471,008.87	1,138.00	1,137.97	0.03
232	489,077.41	4,471,017.57	1,138.93	1,138.99	-0.06
233	489,089.44	4,471,026.78	1,140.15	1,139.81	0.34
234	489,102.23	4,471,040.09	1,141.32	1,141.29	0.03
235	489,109.40	4,471,051.86	1,142.75	1,142.49	0.26
301	488,963.83	4,471,085.15	1,161.87	1,161.79	0.08
302	488,956.21	4,471,140.29	1,178.93	1,178.95	-0.02
303	488,947.65	4,471,128.63	1,178.05	1,178.08	-0.03
304	488,933.70	4,471,113.27	1,177.69	1,177.80	-0.11
305	488,926.65	4,471,102.62	1,176.97	1,176.97	0.00
306	488,916.67	4,471,085.63	1,174.77	1,175.08	-0.31
307	488,914.26	4,471,075.60	1,172.78	1,173.01	-0.23
308	488,895.06	4,471,124.26	1,189.44	1,189.33	0.11
309	488,908.60	4,471,131.31	1,187.19	1,187.31	-0.12
310	488,922.32	4,471,141.09	1,186.39	1,186.45	-0.06
311	488,935.96	4,471,151.96	1,186.19	1,186.04	0.15
312	488,953.09	4,471,167.20	1,185.68	1,185.74	-0.06
313	488,949.61	4,471,070.12	1,162.38	1,162.35	0.03
314	488,955.09	4,471,080.34	1,163.48	1,163.40	0.08
315	488,961.47	4,471,091.21	1,164.27	1,164.46	-0.19
316	488,964.85	4,471,101.34	1,165.98	1,165.89	0.09
317	488,970.51	4,471,110.42	1,166.41	1,166.33	0.08
318	488,974.90	4,471,119.53	1,167.26	1,167.19	0.07
319	488,980.63	4,471,127.68	1,167.54	1,167.45	0.09
320	488,985.14	4,471,135.72	1,167.74	1,167.83	-0.09
321	488,989.76	4,471,145.70	1,168.86	1,168.96	-0.10
322	488,993.61	4,471,158.07	1,170.56	1,170.61	-0.05
323	488,968.04	4,471,168.07	1,182.18	1,182.15	0.03
324	488,958.91	4,471,151.17	1,180.81	1,180.75	0.06
325	488,949.23	4,471,149.07	1,182.61	1,182.48	0.13
326	488,935.84	4,471,139.25	1,183.63	1,183.49	0.14
327	488,924.53	4,471,127.27	1,182.74	1,182.90	-0.16
328	488,928.96	4,471,119.79	1,180.23	1,180.30	-0.07
329	488,912.13	4,471,112.98	1,182.34	1,182.51	-0.17
330	488,906.39	4,471,106.01	1,182.25	1,182.40	-0.15
331	488,907.51	4,471,092.27	1,178.88	1,178.84	0.04
332	488,902.24	4,471,098.52	1,181.68	1,181.86	-0.18
333	488,903.04	4,471,140.22	1,190.54	1,190.51	0.03
334	488,916.86	4,471,150.60	1,189.61	1,189.63	-0.02
335	488,929.72	4,471,160.18	1,188.93	1,189.06	-0.13
336	488,944.78	4,471,174.43	1,188.61	1,188.64	-0.03
337	488,937.70	4,471,067.30	1,165.21	1,164.94	0.27
338	488,941.83	4,471,075.65	1,166.46	1,166.59	-0.13
339	488,945.61	4,471,085.84	1,167.99	1,168.33	-0.34
340	488,954.73	4,471,096.63	1,168.20	1,168.37	-0.17

341	488,959.79	4,471,107.16	1,169.28	1,169.31	-0.03
342	488,966.32	4,471,119.92	1,170.37	1,170.53	-0.16
343	488,974.07	4,471,132.91	1,171.62	1,171.78	-0.16
344	488,982.73	4,471,147.87	1,172.48	1,172.59	-0.11
345	488,987.54	4,471,163.62	1,174.17	1,174.07	0.11
346	488,982.98	4,471,172.92	1,177.84	1,178.02	-0.18
347	488,976.84	4,471,161.92	1,177.92	1,177.98	-0.06
348	488,970.03	4,471,150.50	1,177.44	1,177.67	-0.23
349	488,960.82	4,471,133.62	1,176.20	1,176.30	-0.10
350	488,953.74	4,471,120.69	1,174.77	1,174.79	-0.02
351	488,942.89	4,471,106.92	1,174.32	1,174.17	0.15
352	488,934.40	4,471,093.81	1,173.06	1,173.16	-0.10
353	488,923.95	4,471,080.40	1,171.84	1,172.08	-0.24
354	488,920.75	4,471,068.98	1,169.34	1,169.58	-0.24
355	488,906.73	4,471,080.60	1,175.69	1,175.77	-0.08
356	488,915.51	4,471,087.67	1,175.36	1,175.73	-0.37
357	488,894.48	4,471,106.48	1,185.63	1,185.69	-0.06
358	488,910.40	4,471,120.93	1,184.40	1,184.73	-0.33
359	488,935.46	4,471,128.93	1,180.81	1,180.86	-0.05
360	488,947.72	4,471,135.86	1,179.87	1,179.79	0.08
401	488,972.21	4,471,319.41	1,197.69	1,197.69	0.00
402	488,961.82	4,471,323.63	1,199.77	1,199.83	-0.06
403	488,949.70	4,471,328.21	1,201.48	1,201.99	-0.51
404	488,918.32	4,471,309.14	1,209.62	1,209.75	-0.13
405	488,935.79	4,471,301.50	1,205.70	1,205.77	-0.07
406	488,946.81	4,471,298.67	1,202.63	1,202.62	0.01
407	488,960.97	4,471,292.88	1,198.59	1,198.63	-0.04
408	488,972.80	4,471,285.44	1,194.56	1,194.79	-0.23
409	488,979.76	4,471,283.98	1,192.83	1,193.03	-0.20
410	488,962.74	4,471,256.55	1,193.78	1,193.86	-0.08
411	488,949.53	4,471,256.21	1,197.09	1,197.41	-0.32
412	488,936.34	4,471,259.47	1,200.93	1,200.97	-0.04
413	488,921.60	4,471,261.56	1,204.62	1,204.68	-0.06
414	488,908.14	4,471,260.51	1,208.06	1,208.29	-0.23
415	488,896.85	4,471,269.34	1,212.00	1,212.16	-0.15
416	488,880.23	4,471,272.41	1,214.80	1,214.96	-0.16
417	488,985.36	4,471,305.66	1,193.69	1,193.88	-0.19
418	488,976.76	4,471,309.04	1,195.77	1,195.97	-0.20
419	488,968.93	4,471,310.81	1,197.72	1,197.74	-0.02
420	488,960.73	4,471,313.61	1,199.82	1,199.96	-0.14
421	488,944.68	4,471,320.50	1,203.15	1,203.42	-0.27
422	488,938.15	4,471,328.67	1,204.06	1,204.27	-0.21
423	488,921.69	4,471,316.60	1,208.85	1,209.09	-0.24
424	488,936.19	4,471,308.78	1,205.89	1,205.75	0.14
425	488,951.48	4,471,307.05	1,201.88	1,201.93	-0.05
426	488,960.14	4,471,300.22	1,199.34	1,199.44	-0.10

427	488,969.87	4,471,294.16	1,196.11	1,196.13	-0.02
428	488,979.58	4,471,292.11	1,193.64	1,193.71	-0.07
429	488,955.18	4,471,247.92	1,194.57	1,194.73	-0.16
430	488,945.40	4,471,246.04	1,197.06	1,197.26	-0.20
431	488,932.84	4,471,245.05	1,200.08	1,200.17	-0.09
432	488,917.48	4,471,249.81	1,204.29	1,204.32	-0.03
433	488,906.84	4,471,250.14	1,206.89	1,206.98	-0.09
434	488,892.29	4,471,260.09	1,211.72	1,211.83	-0.11
435	488,874.49	4,471,263.94	1,214.52	1,214.63	-0.11
436	488,913.24	4,471,304.25	1,210.85	1,211.08	-0.23
437	488,929.65	4,471,292.95	1,206.49	1,206.70	-0.21
438	488,938.94	4,471,290.87	1,203.78	1,204.15	-0.37
439	488,955.01	4,471,285.20	1,199.10	1,199.28	-0.18
440	488,965.74	4,471,279.44	1,195.62	1,195.94	-0.32
441	488,976.15	4,471,267.83	1,191.79	1,191.90	-0.11
442	488,961.69	4,471,265.10	1,194.95	1,195.18	-0.23
443	488,949.84	4,471,266.20	1,198.27	1,198.41	-0.13
444	488,936.20	4,471,268.24	1,201.97	1,202.17	-0.20
445	488,921.87	4,471,270.95	1,205.90	1,206.18	-0.27
446	488,909.79	4,471,269.42	1,209.11	1,209.14	-0.03
447	488,898.51	4,471,277.68	1,212.54	1,212.72	-0.18
448	488,882.85	4,471,281.42	1,215.31	1,215.36	-0.05
449	488,861.73	4,471,261.80	1,215.43	1,215.43	0.00
450	488,876.26	4,471,256.86	1,213.34	1,213.49	-0.15
451	488,888.35	4,471,253.59	1,211.37	1,211.34	0.03
452	488,898.76	4,471,246.11	1,207.91	1,208.13	-0.22
453	488,911.89	4,471,242.19	1,204.61	1,204.76	-0.15
454	488,923.27	4,471,237.73	1,201.54	1,201.69	-0.15
455	488,935.89	4,471,235.92	1,198.24	1,198.23	0.01
456	488,946.23	4,471,237.29	1,195.82	1,196.03	-0.21
457	488,923.00	4,471,217.54	1,199.68	1,199.66	0.02
458	488,910.02	4,471,221.42	1,203.14	1,203.13	0.01
459	488,899.70	4,471,226.87	1,205.87	1,205.82	0.05
460	488,882.60	4,471,232.75	1,209.78	1,209.82	-0.04
461	488,865.06	4,471,235.69	1,212.47	1,212.57	-0.10
462	488,849.67	4,471,240.86	1,214.69	1,214.77	-0.08
463	488,896.49	4,471,217.33	1,205.49	1,205.81	-0.32
464	488,880.56	4,471,222.44	1,209.26	1,209.20	0.06
465	488,920.10	4,471,226.27	1,201.20	1,201.28	-0.08
466	488,904.13	4,471,232.10	1,205.38	1,205.35	0.03
467	488,888.77	4,471,237.94	1,209.08	1,209.00	0.08
468	488,873.73	4,471,244.38	1,212.28	1,212.32	-0.04
469	488,854.99	4,471,249.30	1,214.94	1,214.96	-0.02
470	488,949.75	4,471,273.68	1,199.14	1,199.33	-0.19
				dH_{ort}=	0.12 m

6. FOTOGRAMETRİ, LIDAR VE İHA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde fotogrametri, LIDAR ve İHA yöntemleri çeşitli kriterlere göre karşılaştırılmış olup karşılaştırmada yersel jeodezik yöntemle elde edilen verilerden de yararlanılarak her üç yöntemin birbirlerine göre üstün ve zayıf tarafları, avantajları ve dezavantajları ortaya konmuştur.

6.1. Fotogrametrik Yöntem ile LIDAR Yönteminin Karşılaştırılması

➤ Fotogrametrik yöntemde, sayısal yükseklik modeli, verileri stereo modellerde otomatik yöntemle toplanmakta olup manuel ve yarı otomatik yöntemlerle editlenmektedir. LIDAR tekniğinde ise önce doğrudan araziye ilişkin nokta bulutu verileri toplanmakta ve daha sonra bu verilerden farklı formatlarda sayısal yükseklik modeli verileri üretilmektedir. Özetle, fotogrametrik yöntemle sayısal yükseklik verileri ilave işlemlerle üretilirken LIDAR yönteminde sayısal yükseklik verilerinin doğrudan toplanması söz konusudur.

➤ Fotogrametrik yöntemle toplanan SAM ve SYM verilerinin doğruluğu, uçuş yüksekliğine yakından bağlıdır. LIDAR verilerinden üretilen SAM ve SYM verilerinin doğruluğu, uçuş yüksekliğine doğrudan bağlı olmayıp sadece toplanan nokta sıklığına bağlıdır. Lazer taramadaki nokta sıklığı ise uçuş yüksekliğine, uçuş hızına, tarayıcının açılım açısına ve tarayıcının ölçme hızına bağlıdır.

➤ Fotogrametrideki ölçümlerde arazi yüzeyindeki herhangi bir noktanın en az iki fotoğrafta görülebilmesi yani stereoskopinin oluşması gereklidir. Ancak yüksek binaların ya da bitki örtüsünün mevcut olduğu görüntülerde bu işlem epeyce zorlaşır. LIDAR yönteminde ise obje ve cisimlerin tek resimde ölçümleri ile (monoskopik ölçüm) yüzey yükseklikleri belirlenebilir. Yani nesneye yalnızca tek bir hat boyunca görüş yeterlidir.

➤ Fotogrametride yüzey noktalarının ölçümü iyi bir kontrastı ve ayırmayı gerekli kılar. Kum, kar, buz, su vb. homojen ve tek tip yüzeyler fotogrametrik ölçümler için önemli engel teşkil ederler. LIDAR sistemleri ise bu tip yüzeylerde oldukça iyi sonuçlar verir.

➤ Hava fotogrametrisinde kullanılan kameralar pasif algılayıcı sistemleridir. Diğer bir ifade ile objelerden yansıyan güneş ışınlarını kullanır ve gün ışığından büyük oranda etkilenirler. LIDAR ise aktif bir sistem olup gün ışığından ve gölgelerden çok fazla etkilenmez. Diğer bir deyişle LIDAR ile gece ve gündüz alım yapılması olanaklıdır.

➤ Fotogrametrik yöntemlerle üretilen sayısal yükseklik modeli verileri, LIDAR'dan elde edilen sayısal arazi modeli, sayısal yükseklik modeli ve sayısal yüzey modeli verilerine oranla ortofoto üretimi için daha kullanışlı, pratik ve orijinal ve uygun verilerdir.

➤ Fotogrametri yöntemlerinde çeşitli işlem adımları ile dolaylı olarak üretilen hassas yükseklik verilerinin aksine, LIDAR tekniği ile doğrudan toplanan yoğun nokta bulutu verileri yardımıyla oldukça hassas SAM ve SYM yükseklik verilerinin üretimi olanaklıdır.

➤ Fotogrametrik yöntemlerin oldukça yetersiz olduğu sık ağaçlık ve ormanlık bölgelerde, LIDAR tekniği ile yüksek hassasiyette SAM ve SYM verilerinin üretimi olanaklıdır.

➤ Kıyı ve sahilleri izleme, hidrolojik modelleme, orman sınıflandırma, üç boyutlu şehir modelleme, arazi kullanımı sınıflandırması, obje ve cisimlerin tespiti vb. uygulamalarda LIDAR tekniği fotogrametri yöntemine oranla daha başarılı sonuçlar ortaya koyar.

➤ LIDAR nokta bulutu verilerine uygun analiz işlemleri uygulanarak topografik yüzeyin birtakım özellikleri ortaya çıkarılabilir. Fotogrametrik yöntemlerde ise bu işlemlerin yapılması ve benzer verilerin çıkarılması nispeten daha zordur.

➤ LIDAR'daki lazer ışınlarının bitki örtüsü ve ağaç yapraklarına nüfuz etme, gerçek arazi yüzeyine ulaşma ve lazer sinyallerinin çoklu dönüşleri sayesinde bitkilerin yükseklikleri, boyları ve hacimlerinin tespit edilmesi olanaklı hale gelmektedir. Fotogrametride kullanılan sayısal kameralarla elde edilen görüntülerle bu tip bilgilerin ve öznelik verilerinin toplanması pek fazla olanaklı değildir.

➤ LIDAR'daki lazer ışınlarının çoklu dönüşleri (multi-return) sayesinde, detay ve bitki sınıflandırması işlemlerinin yapılması olanaklıdır. Fotogrametrik yöntemlerle bu tür öznelik bilgilerinin toplanması pek mümkün görülmemektedir.

6.2. Fotogrametrik Yöntem ile İHA Fotogrametri Yönteminin Karşılaştırılması

➤ Fotogrametrik yöntemle toplanan sayısal coğrafi veriler ile topografik vektör ve ortofoto haritaların doğruluğu, konum ve yükseklik hassasiyeti İHA sistemleri ile toplanan benzer verilere oranla daha yüksektir.

- Fotogrametrik yöntemlere oranla, İHA fotogrametrisinde kullanılan alet, teçhizat, malzeme, donanım ve yazılımlar oldukça basit, kullanımı kolay, pratik ve ucuz olup İHA yönteminin her aşaması düşük maliyetli ve nispeten basit işlemlerle gerçekleştirilir.
- Fotogrametrik yöntemler, yüksek hassasiyet ve doğruluk istenen ancak hızlı çözümlerin istenmediği uzun zaman alan projelerde çok başarılı sonuçlar verir. İHA yöntemi ise düşük doğruluklu çalışmalarda çok hızlı çözümler vermesi ile tanınan bir yöntemdir.
- Fotogrametrik yöntemlerin planlanması, kullanımı, işletimi ve kontrolü oldukça karmaşık ve maliyetli olup uzmanlık ve deneyim gerektirir. İHA yöntemi ve sistemlerinin planlanması, sevk ve idaresi, kullanımı ve kontrolü son derece pratik, basit ve kolaydır.
- Fotogrametri yönteminde olduğu gibi İHA fotogrametrisinde de ulaşılamayan, yanına gidilemeyen, tehlikeli ve riskli alanlarda çalışabilme olanağı mevcuttur.
- İHA yönteminde hızlı bir planlama ile herhangi bir bölgenin istenilen herhangi bir zamanda veya periyodik olarak zamansal çözünürlüğü oldukça yüksek görüntülerinin alınması ve çok hızlı şekilde istenen verilerin toplanması mümkündür. Fotogrametrik yöntemde ise belirtilen bu işlemlerin gerçekleştirilmesi daha fazla zaman alır.
- Fotogrametride, gelişmiş uçaklar ve büyük odak uzaklıklı sayısal hava kameraları kullanılır. Fotoğraf alımı deneyimli uçuş ekibi (pilot, navigatör, kamera operatörü, vb.) tarafından gerçekleştirilir. İHA fotogrametrisinde ise hava aracı/platformu olarak uzaktan kumandalı, otomatik pilot sistemine sahip, resim çekiminde çok hafif ve basit model uçaklar ile hafif, çok küçük odak uzaklıklı sayısal kameralar kullanılır.
- Fotogrametrik yöntemle hava fotoğrafı çekiminde kullanılan gelişmiş, teknik kapasitesi yüksek uçakların aksine İHA sistemlerinde kullanılan hava aracının yükleme ve taşıma kapasitesi, hızı ve diğer tüm teknik özellikleri oldukça sınırlıdır.
- Fotogrametrik yöntemle uçuş yapılması ve hava fotoğrafı çekimi kuralları ve izlenecek prosedürler ilgili yasalarda açıkça belirtilmiştir. Buna karşılık, haritacılık alanına yeni girmeye başlayan İHA sistemleri ile ilgili yasal düzenlemeler henüz tamamlanmamış olup bu konuda halen bazı yasal zorluklar ve sınırlamalar mevcuttur. Günümüz koşullarında İHA'larla ticari uçuş yapılmasına yönelik bazı yeni yasal düzenlemelerin yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.
- Fotogrametrik yöntemlerde kullanılan gelişmiş uçaklar ve sayısal kameralar için kesintisiz ve sorunsuz biçimde sağlanan sigorta ve garanti hizmetlerine karşılık İHA tekniğinde kullanılan model uçak, sayısal kamera, uçuş ekipmanı, teçhizatı, donanım ve yazılımları ile ilgili sigorta hizmetleri ve garanti süreleri konusunda halihazırda önemli belirsizlikler ve eksikler mevcuttur.

➤ Fotogrametrik veri toplama ve harita üretimi amaçlı klasik resim çekimi yapan uçak ve kamera sistemlerinin aksine İHA sistemlerinin kamuya açık alanlarda resim çekimi ve veri toplama amacıyla kullanılmasında önemli bazı riskler ve tehlikeler mevcuttur.

➤ Fotogrametrik yöntem ve sistemler uzun yıllar boyunca meydana gelen önemli teknolojik gelişmelerden dolayı yıllardır başarılı bir şekilde kullanılmış ve halen de yaygın şekilde kullanımına devam edilmektedir. Günümüzde klasik yersel yöntemlerle beraber fotogrametrik yöntemler veri toplama ve harita üretimlerinde en fazla kullanılan, doğruluğu ve güvenilirliği oldukça yüksek olan temel yöntemlerdir. Fotogrametrik yöntem, sistem ve uygulamalarda daha geniş bir zamana yayılmış olarak halen önemli bazı gelişmeler meydana gelmektedir. İHA sistemleri ise haritacılık alanında uygulamaya henüz yeni girmeye başlayan oldukça yeni teknolojiler olup fotogrametri yöntemlerine oranla İHA fotogrametrisinde daha hızlı değişme ve gelişmelerin olduğunu söylemek olanaklıdır.

6.3. İşlem Adımlarının Genel Esasları ve Matematiksel Temellerine Göre Karşılaştırma

Tablo6.1: İşlem adımlarına göre karşılaştırma tablosu(Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

#	İşlem Adımının Temelleri	Fotogrametri	LIDAR Tekniği	İHA Yöntemi
1	Planlama ve Görev Hazırlama	Sayısal kamera ve işe en uygun GSD seçimi	LIDAR-Lazer sistemi ve nokta sıklığının seçimi	İHA, sayısal kamera ve işe en uygun GSD seçimi
2	Uçuş Planı Hazırlanması	Kompleks, gelişmiş, uçuş planı hazırlama	Kompleks, gelişmiş, LIDAR uçuş planlaması	Basit, pratik İHA uçuş planı hazırlama
3	Yer Kontrol Noktası (YKN) Planı	GPS destekli kinematik uçuşla YKN planlaması	Klasik yöntemlere göre daha az YKN planlama	Küçük alanda uygulama, daha çok sayıda YKN
4	YKN Tesisi, İşaretlenmesi, vb.	GPS alet ve sistemleri	GPS alet ve sistemleri	GPS alet ve sistemleri
5	Navigasyonlu Uçuş Yapılması	Gelişmiş GPS destekli uçuş navigasyonu	Gelişmiş GPS destekli uçuş navigasyonu	GPS destekli, basit İHA uçuş navigasyonu imkânı
6	Sayısal Hava Fotoğrafı Çekimi	GPS/IMU ve GPS/INS destekli resim çekimi	GPS/IMU ve GPS/INS destekli veri toplama	Basit GPS/IMU destekli resim çekimi olanaklı
7	Sayısal Görüntüleri Proses Etme	Sayısal görüntü işleme, görüntü zenginleştirme	LIDAR-Lazer verilerini işleme (proses)	İHA görüntü verisi işleme, basit gör. zenginleştirme
8	Sayısal Uçuş Verilerini İşleme	GPS/IMU ve GPS/INS veri işleme (proses)	GPS/IMU ve GPS/INS veri işleme (proses)	GPS/IMU, GPS/INS veri işleme (proses) olanaklı
9	Fotogrametrik Nirengi Ölçümü	Sayısal görüntü eşleme otomatik FN ölçüm, edit	Sayısal görüntü eşleme otomatik FN ölçüm, edit	Otomatik fotogrametrik nirengi ölçümü, editleme
10	Fotog. Blok Dengeleme Hesabı	Doğrusallık koşulu, ışın demetleri ile blok deng.	Blok dengeleme, harita projeksiyonunda koordinat	Basit dengeleme hesabı ve bilgisayar teknikleri
11	Sayısal Yükseklik Verisi Üretimi	Görüntü eşleme, yüzey geçirme, enterpolasyon	Veri işleme, sınıflama, filtreleme, enterpolasyon	Basit gör. eşleme, yüzey geçirme, enterpolasyon
12	Sayısal Ortofoto Üretimi	Doğrusallık koşulu, ortorektifikasyon işlemi	LIDAR yükseklik verisi ile ortofoto yataylaması	Basit orto-rektifikasyon işlemi, bilgisayar teknikleri

13	Sayısal Foto-Mozaik Üretimi	Seamline çizgileri çizimi renk-ton dengelemesi	LIDAR lazer verilerinin görüntülerde kullanımı	Orto-Mozaik çizgilerinin otomatik olarak çizimi
14	Sayısal Vektör Harita Üretimi	Nokta, çizgi, alan detay 3D çizimi ve semboloji	LIDAR yükseklik verisi ve EYE'nin üretimi	Basit semboloji ile vektör veri ve harita üretimleri
15	Yapılan Diğer İlave İşlemler	Bütünleme, kartografya, CVT ve CBS işlemleri	Ortofoto, foto-mozaik, vektör harita üretimleri	Bütünleme, kartografya, CVT ve CBS işlemleri
16	Elde Edilen Veriler ve Ürünler	Görüntüler, uçuş verileri yükseklikler, ortofotolar	Nokta bulutu, yükseklik verisi (DEM, DTM, DSM)	Fotogrametrik verilere ek olarak, nokta bulutu verisi

	Diğer Hususlar	Fotogrametri	LIDAR Tekniği	İHA Yöntemi
17	Ölçme, Değerlendirme Yöntemi	Stereoskopik(çift resim)	Monoskopik (tek resim)	Mono ve stereo yöntemler
18	En Başarılı Kullanım Alanları	Büyük ve geniş alanlar	Kolon ve güzergâhlar	Küçük ve şeritvari alanlar
19	Uzman, Deneyimli Personel	Uzman ve deneyimli personel ihtiyacı fazla	Uzman ve deneyimli personel ihtiyacı çok az	Uzman ve deneyimli personel ihtiyacı hiç yok
20	Ölçme, Değerlendirme Süreleri	Uzun, zor, zaman alıcı	Nispeten hızlı ve kolay	Hızlı, kısa süreli ve pratik
21	İşlemlerin ve Ürünlerin Maliyeti	Maliyeti çok yüksek	Maliyeti epeyce yüksek	Maliyeti oldukça düşük
22	Genel Doğruluk Beklentileri	Çok yüksek doğruluklar	Çok yüksek doğruluklar	Daha düşük doğruluklar
23	YKN Hassasiyeti ve Duyarlılığı	Hassasiyeti çok yüksek	Yeterli hassasiyette	Yeterli hassasiyette
24	Alınan Görüntü/Verilerin Kalitesi	Çok kaliteli görüntüler	Çok kaliteli lazer verisi	Kaliteli İHA veri/görüntüsü
25	Uçuş Konum Verileri Hassasiyeti	Hassasiyeti çok yüksek	Hassasiyeti çok yüksek	Yeterli hassasiyette
26	Fotogrametrik Nirengi Duyarlılığı	Çok hassas FN ve blok	Yeterli hassasiyette FN	Yeterli hassasiyette FN
27	Yükseklik Verisi Hassasiyeti	Hassasiyeti yüksek	Hassasiyeti çok yüksek	Hassasiyeti biraz düşük
28	Ortofoto, Foto-mozaik Duyarlılığı	Hassasiyeti çok yüksek	Yeterli hassasiyette	Yeterli hassasiyette
29	Vektör Harita Hassasiyeti	Hassasiyeti çok yüksek	Yeterli hassasiyette	Yeterli hassasiyette
30	Yapılan Tüm İşlemler, Prosesler	Manüel, yarı otomatik ve ful otomatik yöntem, edileme imkânı mevcut	Manüel, yarı otomatik ve ful otomatik yöntem, edileme imkânı mevcut	Ful otomatik yöntemler, edileme imkânları sınırlı
31	Yükseklikleri Etkileyen Faktörler	Uçuş yüksekliği	Nokta sıklığı, lazer sist.	Uçuş yüksekliği, İHA sist.
32	Yükseklik Verisi Toplama Usulü	Bloktaki oluşan stereo modellerden toplama	Doğrudan nokta bulutu verilerinden üretme	Fotog.ye ek olarak, nokta bulutu verilerinden üretme
33	Yükseklik Verisi Üretim Zorluğu	Zor, zaman alıcı, pahalı	Kolay, hızlı, etkili, ucuz	Daha hızlı, kolay ve ucuz
34	Atmosferik Koşulların Etkisi	Hava koşullarına bağlı	Hava etkisi az veya yok	Hava koşullarına bağlı
35	Elektromanyetik (EM) Spektrum	Görünür ışık bandı	Yansıyan kızılötesi bant	Görünür ışık bandı
36	Işık/Aydınlık Koşullarına Bağlılık	Işığa bağımlı, gündüz, açık, güneşli havalarda	Işık koşullarına bağlı değil gece-gündüz alım	Işığa bağımlı, gündüz, açık, güneşli havalarda
37	Meskûn Alanda Etkisi / Başarısı	Yeteri düzeyde başarılı	Çok etkili ve başarılı	Etkisi ve başarısı sınırlı

38	Ormanlık ve Bitki Örtülü Alanlar	Bu alanlarda yetersiz	Çok etkili ve başarılı	Bu alanlarda başarısız
39	Çöl, Sulu, Buzlu Alanlarda Etkisi	Bu alanlarda yetersiz	Çok etkili ve başarılı	Bu alanlarda başarısız
40	Kıyı, Sahil, Hidrolojik Alanlarda	Yeteri düzeyde başarılı	Çok etkili ve başarılı	Etkisi ve başarısı sınırlı
41	Açık Arazilerde Etkisi / Başarısı	Çok etkili ve başarılı	Çok etkili ve başarılı	Yeterli etkili ve başarılı
42	Yaprakları, Bitkileri Delip Geçme	Bu imkânı/kabiliyeti yok	Tüm bu kabiliyete sahip	Bu imkânı/kabiliyeti yok
43	Detayları Yorumlama Kabiliyeti	Çok yüksek düzeyde	Bu imkânı çok sınırlı	Yeterli ve iyi düzeyde
44	Öznitelikleri Belirleme Kabiliyeti	Yeterli, normal düzeyde	Bitki ve ormanlarda iyi	Kısmen düşük düzeyde
45	Görüntü Yineleme Periyodu	Zamansal çözünürlüğü kısmen düşük, maliyetli	Zamansal çözünürlüğü kısmen düşük, maliyetli	Çok hızlı, seri, zamansal çözünürlüğü çok yüksek
46	Yasal Düzenlemeler İhtiyacı	Gerekli değil, tümü var	Gerekli değil, tümü var	Yasal düzenleme gerekli
47	Alet/Ekipmanda Garanti, Sigorta	Uygulanabilir durumda	Uygulanabilir durumda	Henüz uygulanamıyor
48	Gelişme Potansiyeli ve Geleceği	Teknolojik gelişmeler yavaş, zamana yayılmış	Gelişme potansiyeli yüksek, kullanımda artış	Gelişme potansiyeli çok yüksek, kullanımda artış

6.4. Kullanılan Sistem, Alet, Donanım ve Yazılımlara Göre Üç Yöntemi Karşılaştırma

Tablo 6.2: Kullanılan sistem, alet, donanım ve yazılımlara göre karşılaştırma tablosu(Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

#	Alet, Donanım, Yazılım	Fotogrametri	LIDAR Tekniği	İHA Yöntemi
1	YKN Ölçü Alet ve Sistemleri	GPS alet ve sistemleri	GPS alet ve sistemleri	GPS alet ve sistemleri
2	YKN Hesap.Dengeleme Yazılımı	Gelişmiş ful dengeleme	Gelişmiş ful dengeleme	Basit hesaplama yazılımı
3	Uçuş ve YKN Planlama Yazılımı	Gelişmiş, maliyetli	Gelişmiş, maliyetli	Basit, ucuz, hızlı yazılım
4	Hava Platformu / Aracı Türü	Gelişmiş, kapsamlı uçak	Uçak, uydu, yer araçları	Model uçak, İHA, planör
5	Hava Aracının (Uçak) Özellikleri	Stabilizasyonlu, kamera monte edilmiş, dengeli	Stabilizasyonlu, kamera monte edilmiş, dengeli	Kamera araca eklenebilir, stabilizasyonu olanaklı
6	Kullanılan Algılama Yöntemi	Pasif sistem (gün ışığı)	Aktif sistem (lazer aleti)	Pasif sistem (gün ışığı)
7	Kamera / Algılayıcı Sistemi Tipi	Gelişmiş, büyük odak uzaklıklı, metrik kamera	Lazer tarayıcı sistemi (hava kamerasına ek)	Basit, hafif, küçük odak uzaklıklı sayısal kamera
8	Kamera / Algılayıcı Özellikleri	Gelişmiş, pahalı, yüksek rezolüsyonlu, ağır sist.	Gelişmiş, pahalı, yüksek çözünürlüklü, ağır sist.	Küçük, ucuz, maliyeti az, düşük çözünürlüklü, pratik
9	Uçuş Navigasyon Sistemi	GPS/IMU, GPS/INS	GPS/IMU, GPS/INS	Basit GPS/IMU destekli
10	Uçuşta GPS/GNSS Desteği	Mevcut, kameraya takılı	Mevcut, kameraya takılı	Basit GPS desteği var
11	Uçuş Ekibi (Pilot, Navigatör, vb.)	Min. 3 kişilik uçuş ekibi: Pilot,navigatör,foto-opr.	Min. 3 kişilik uçuş ekibi: Pilot,navigatör,foto-opr.	Uzaktan kumandalı, oto-pilot sistemli (Ekip yok)
12	Sayısal Görüntü İşleme Yazılımı	Gelişmiş, sayısal görüntü işleme yazılımı	Gelişmiş LIDAR-lazer veri işleme yazılımı	Basit, ucuz, İHA görüntü işleme, bilgisayar tekniği
13	GPS/IMU, GPS/INS Veri İşleme	Gelişmiş proses yazılım	Gelişmiş proses yazılımı	Basit GPS proses yazılımı
14	Fotogrametrik Nirengi Yazılımı	Gelişmiş, ful kapasiteli	Gelişmiş, ful kapasiteli	Basit ve ucuz FN yazılımı
15	Blok Dengeleme Yazılımı	Işın demetleriyle blok dengeleme yazılımı(ful)	Lazer verisi hesaplama yazılımı (blok deng. ek)	Blok dengeleme yazılımı, bilgisayar destekli hesap.
16	Sayısal Yükseklik Verisi Türleri	DEM, DTM, DSM, TIN, EYE (mühani) verileri	DEM/DTM, DSM ve Nokta Bulutu verileri	DEM, DTM, DSM, TIN, EYE, Nokta Bulutu verileri
17	Sayısal Yükseklik Verisi Yazılımı	Ful gelişmiş, maliyetli	Gelişmiş, tam (full) kapasiteli	Basit, ucuz, pratik ve hızlı
18	Sayısal Ortofoto Üretimi Yazılımı	Ful gelişmiş, maliyetli	Gelişmiş, tam kapasiteli	Basit bilgisayar teknikleri
19	Foto-mozaik Üretimi Yazılımı	Ful gelişmiş, maliyetli	Gelişmiş, tam kapasiteli	Basit bilgisayar teknikleri
20	Vektör Harita Üretimi Yazılımı	Ful gelişmiş, maliyetli	Yeteri kapasiteli yazılım	Basit semboloji kullanımı
21	Kullanılan Kıymetlendirme Aleti	Sayısal / dijital, stereo fotogrametri kıym. aleti	Kapasiteli görüntüleme, veri işleme bilgisayarı	Basit görüntüleme ve veri işleme bilgisayarları (PC)

6.5. Sonuç Verilerin Doğrulukları ve Hassasiyetlerine Göre Karşılaştırma

Fotogrametri, LIDAR ve İHA yöntemleri ile toplanan coğrafi veriler ve üretilen topografik haritaların “Uygulamalar” bölümünde elde edilen konum ve yükseklik doğrulukları aşağıdaki tablolarda özet halinde sunulmuştur. Yeni kullanılmaya başlanan teknolojilerden olan LIDAR ve İHA sistemleri ve yöntemleriyle toplanan veriler, görüntüler ve üretilen topografik haritaların konum ve yükseklik doğruluklarının tespitinde eğer uygulamada yersel jeodezik veriler ve haritalar kullanılmışsa bu yöntem, jeodezik verilerin mevcut olmadığı uygulamalarda ise fotogrametrik yöntemle üretilen veriler ve haritalar, doğru ve hatasız olarak kabul edilmiş olup LIDAR ve İHA verileri jeodezik veya fotogrametrik verilerle mukayese edilerek konum ve yükseklik doğrulukları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar alttaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 6.3: Konum ve yükseklik doğruluklarını karşılaştırma tablosu (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

#	Veri Toplama Yöntemi	Tablo No	Açıklama	<u>Konum Doğruluğu Karşılaştırması</u>
1	Fotogrametrik Harita – İHA Harita	Tablo 5.1	1. Uygulama, Bölge-1	± 0.17 m
2	Fotogrametrik Harita – İHA Harita	Tablo 5.2	1. Uygulama, Bölge-2	± 0.22 m
3	Jeodezik Harita – İHA Harita	Tablo 5.5	2. Uygulama (Tek Bölge)	± 0.20 m

#	Yöntem	Tablo No	Açıklama	<u>Yükseklik Doğruluğu Karşılaştırması</u>
1	LIDAR DTM – İHA Harita	Tablo 5.3	1. Uygulama, Bölge-1	± 0.20 m
2	LIDAR DTM – İHA Harita	Tablo 5.4	1. Uygulama, Bölge-2	± 0.17 m
3	Jeodezik Harita – İHA Harita	Tablo 5.6	2. Uygulama (Tek Bölge)	± 0.12 m

6.6. Sonuç Ürünleri Maliyetlerine Göre Karşılaştırma (Birim Fiyat-Maliyet Analizi)

Birim fiyat analizinde ve maliyet hesabında Balıkesir iline bağlı Bandırma ilçesi sınırları içerisindeki yaklaşık 4.000 hektarlık alan kaplayan “Organize Sanayi Bölgesi (OSB)” alanına ait İHA yöntemi ile 1/1.000 ölçekli harita üretimi çalışmasından yararlanılmıştır. Söz konusu bölgede daha önce LIDAR + fotogrametri yöntemiyle de harita üretimi yapılmıştır. Birim fiyatların hesaplanmasında, “657 Sayılı Harita Genel Komutanlığı Kanunu ve

Bakanlıklar arası Harita İşlerini Koordinasyon ve Planlama Kurulu (BHİKPK) Yönetmeliği Uyarınca, Harita ve Uzaktan Algılama İsteklerine ilişkin Bütçe Aktarma Hesaplarına Esas Olacak 2015 Yılı Yaklaşık Maliyetleri” dikkate alınmıştır. Söz konusu birim fiyat ve maliyet tablosundaki pozlar maliyet olduğu için kâr miktarı % 20 alınarak hesaplanan birim fiyatlara ayrıca ilave edilmiştir.

“Bandırma OSB Projesi”nin İHA sistemi ve yöntemi ile haritasının yapımında ilgili yönetmelik gereğince yaklaşık 700-750 m aralıklarla toplam 100 adet C4 derece (Poligon) noktası tesis edilerek ölçü ve hesapları yapılmıştır. Aynı bölgenin fotogrametrik yöntemle haritasının yapımı için 25 adet C3 derece yer kontrol noktasitesisine ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir. Yine aynı bölgede LIDAR ile sayısal arazi modeli verisi toplamak için ise sadece 2 adet C2 derece YKN’ye ihtiyaç olduğu belirlenmiştir. LIDAR verilerinden yararlanarak teknik anlamda doğrudan üç boyutlu vektör harita üretimi yapılamamaktadır. Bu nedenle, birim fiyat analizi için baz alınan maliyetlerde LIDAR ile ilgili poz bulunmamaktadır. Sayılan nedenlerden ötürü LIDAR işlemleri yaklaşık olarak alınmıştır. Söz konusu iş bölgesi gayri meskûn alan, fotogrametrik değerlendirme pozu ise yarı meskûn alana göre olduğu için fiyat analizinde bu birim fiyatın % 40’ı alınmıştır. İHA uçuşundan elde edilen hava fotoğraflarının yöneltme ve değerlendirme işlemlerinde maliyeti oldukça düşük yazılımlar kullanıldığı için fotogrametrik nirengi kısmının maliyetinin ihmal edilebilir seviyede olduğu değerlendirilmiştir.

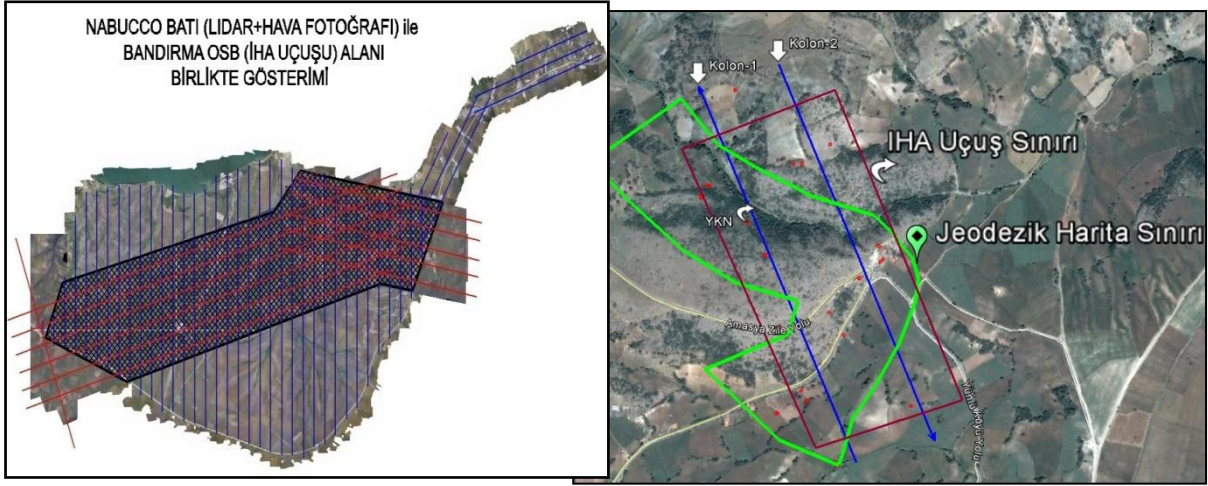
Fotogrametri, LIDAR ve İHA yöntemleriyle toplanan verilerin ve üretilen topografik haritaların maliyeti, birim fiyat ve maliyet analizi ile ilgili elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda özet olarak sunulmuştur.

Tablo 6.4: Toplanan verilerin ve üretilen topografik haritaların birim fiyat ve maliyet analizini karşılaştırma tablosu
(Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

#	Fiyat-Maliyet Analizi (1 Ha için)	Fotogrametri (TL / ha)	LIDAR Tekniği (TL / ha)	İHA Yöntemi (TL / ha)
1	Yer Kontrol Noktaları Tesis, Ölçü ve Hesabı (C2 - C3 - C4 Derece)	4.80 TL	1.20 TL	9.30 TL
2	Uçuş Yapılması ve Resim Çekimi	7.00 TL	7.00 TL	2.50 TL
3	Fotogrametrik Nirengi İşlemleri	0.50 TL	-	-
4	Değerlendirme, Veri Toplama (Vektör Harita, LIDAR, DTM)	32.20 TL	7.00 TL	32.20 TL
5	Ortofoto Harita	0.50 TL	-	0.56 TL
TOPLAM		45 TL / ha	15.20 TL / ha	44.50 TL / ha

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada amaç düşük maliyette, yüksek kalite ve doğrulukta haritalar üretmek için kullanılacak yöntemler arasında kıyaslama yapıp etkin karar vermeyi sağlamaktır. Bunun için iki farklı uygulama alanında fotogrametrik yöntem, LIDAR ve İnsansız Hava Aracı yöntemleri kullanılarak toplanan coğrafi veriler ve üretilen topografik vektör ve ortofoto haritaların konum ve yükseklik doğrulukları araştırılmış, elde edilen sonuçlar jeodezik ve fotogrametrik verilerden bulunan doğruluklarla karşılaştırılmıştır. Birinci uygulama alanı Balıkesir ili Bandırma ilçesi sınırları içinde kalan bir bölge olup seçilen çalışma konusuyla ilgili olarak bölgede önceki yıllarda tamamlanan projeler NABUCCO-Doğal Gaz Boru Hattı Projesi (LIDAR + Fotogrametri projesi-2010) ve Balıkesir-Bandırma Organize Sanayi Bölgesi (OSB) Projesi (İHA projesi-2015)'dir. İkinci uygulama alanı Tokat ili Zile ilçesi sınırları içinde kalan bir bölge olup seçilen çalışma konusuyla ilgili olarak bölgede önceki yıllarda tamamlanan projeler Amasya - Zile Devlet Yolu Projesi (Yersel jeodezik veri toplama projesi-2012) ve Hidro Elektrik Santrali (HES) Bağlantı Yolları Projesi (İHA projesi-2012)'dir. Birinci uygulama alanında İHA, LIDAR ve fotogrametri yöntemleriyle, ikinci uygulama alanında ise İHA yöntemi ve yersel jeodezik yöntemle gerçekleştirilen veri toplama ve harita üretimi çalışmalarının doğruluk ve maliyetleri araştırılmış, konum ve yükseklik doğrulukları detaylı olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Yersel jeodezik yöntem diğer veri toplama yöntemlerinin konum ve yükseklik doğruluklarının araştırılması ve tespitinde başvurulan ana yöntem olması nedeniyle ikinci uygulama alanına jeodezik veri toplama yöntemi de dâhil edilmiştir.



Şekil 7.1: Birinci Uygulama Alanı-LIDAR + Fotogrametri Proje Alanı (Kırmızı taralı) ile İHA Proje Alanının (Mavi taralı) grafik olarak gösterimi (solda), İkinci Uygulama Alanı-Jeodezik Harita Üretim Alanı (Yeşil) ile İHA Proje Alanı (Bordo) (sağda) (Tez çalışması kapsamında yazar tarafından hazırlanmıştır.)

Bu karşılaştırmada jeodezik ve fotogrametrik veriler doğru ve hatasız kabul edilerek LIDAR ve İHA yöntemleri ile toplanan verilerin konum ve yükseklik doğrulukları tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu üç yöntemle ilgili maliyet hesabı ve birim fiyat analizi de yapılarak elde edilen sonuçlardoktora tezinin bu bölümünde özet olarak takdim edilmiştir.

Tez kapsamında incelenen “Bandırma Organize Sanayi Bölgesi”nde elde edilen sonuçlara göre, “Fotogrametri”, “İHA Fotogrametrisi” ve “LIDAR” yöntemlerinin seçiminde, karar mekanizmalarını etkileyen temel faktörler şunlardır:

Tablo7.1: Doktora Tezindeki 1'inci Uygulama Alanı "Bandırma Organize Sanayi Bölgesi"ne ait kapasite, maliyet, süre ve kalite ölçütlerinin üç fotogrametrik yöntemle mukayesesi tablosu (Tabloda verilen değerler tez Sonuçları'ndan alınarak değerlendirilmiştir.)

SIRA	KRİTER / TEKNİK ÖZELLİK	"FOTOGRA METRİ"	"LIDAR"	"İHA FOTOG."
a	Birim Proje Alanı (Ortak Alan)			
1	PROJE ALANI (İŞ BÖLGESİ)	≈ 2.500 Ha. = 25 km ²	≈ 2.500 Ha. = 25 km ²	≈ 2.500 Ha. = 25 km ²
2	HARİTA ÖLÇEĞİ	1/1.000	1/1.000	1/1.000
3	PAFTA SAYISI	60 Pafta	60 Pafta	60 Pafta
b	Temel Kriterler			
4	Baz Mesafesi = B	B ≈ 180m	B ≈ 180m	B ≈ 90m
5	Kolon Genişliği = A	A ≈ 380m	A ≈ 380m	A ≈ 280m
6	Kolon Sayısı (İş Bölgesinde)	7 Kolon	1 m ² 'ye 4-5 Nokta (100-125 Milyon Nok)	12 Kolon

7	Resim Sayısı (İş Bölgesinde)	≈ 350 Resim	1 m ² 'ye 4-5 Nokta (100-125 Milyon Nok)	≈ 900 Resim
8	Yer Kontrol Noktası (YKN) Sayısı	10 YKN (C3 Derece)	2 YKN (C3 Derece)	60 YKN (C3 Derece)
c	Alet, Donanım, Yazılım, Araç			
9	Kullanılan Hava Aracı	1 Uçak (Gelişmiş)	1 Uçak (Gelişmiş)	1 İHA (Model Uçak)
10	Kullanılan Sayısal / Dijital Kamera	1 Kamera (Gelişmiş)	1 LIDAR Sistemi	1 Kamera (Basit)
11	Kullanılan Jeodezik Ölçme Aleti	3 adet GPS Sistemi	3 adet GPS Sistemi	3 adet GPS Sistemi
12	Kıymetlendirme Aleti / Donanım	1 Fotog.Str.Kıym.Aleti	1 adet Gör.İşleme PC	1 Fotog.Str.Kıym.Aleti
13	Stereo Kıymetlendirme Ekipmanı	1 adet Stereo Kit	1 Gör.İşl.Prosesörü	1 adet Stereo Kit
14	Kullanılan Yazılım	1 Fotog.Str.Kıym.SW	1 LIDAR Prosesi SW	1 Fotog.Str.Kıym.SW
15	Kullanılan Arazi Aracı	1 adet Binek Oto	1 adet Binek Oto	1 adet Binek Oto
d	Yapılan İş, Süre ve Personel			
16	Uçuş ve YKN Planlaması	1 gün / 1 Proje Müh.	1 gün / 1 Proje Müh.	1 gün / 1 Proje Müh.
17	YKN Tesisi, Ölçümü Hesabı	1 gün / 1 Arazi Ekibi	0.5 gün / 1 Arazi Ekibi	5 gün / 1 Arazi Ekibi
18	1 Arazi Ölçme / GPS Ekibi	3 Kişi (1 Tekniker, 1 Şoför, 1 Jaloncu)	3 Kişi (1 Tekniker, 1 Şoför, 1 Jaloncu)	3 Kişi (1 Tekniker, 1 Şoför, 1 Jaloncu)
19	Yasal Uçuş İzinlerinin Alınması	30-45 gün / 1 Yönetici	30-45 gün / 1 Yönetici	İzin gereksiz
20	Uçuş Yapılması ve Resim Çekimi	1 gün / 1 Uçuş Ekibi	1 gün / 1 Uçuş Ekibi	2 gün (Ekip Yok)
21	1 Uçuş Ekibi Personeli	3 Kişi (Pilot, Kamera Opr., Navigatör)	3 Kişi (Pilot, Kamera Opr., Navigatör)	1 İHA Opr. (Yerde)
22	Veri / Vektör Harita Üretimi	60 gün / 1 Kıym.Opr.	5 gün / 1 Gör.İşl.Opr.	60 gün / 1 Kıym.Opr.
e	Veri Kalitesi ve Maliyetler			
23	Yatay Doğruluk (Konum Doğruluğu)	± 15-20 cm	-	± 20-25 cm
24	Düşey Doğruluk (Yükseklik Doğr.)	± 15-20 cm	± 5-10 cm	± 20-25 cm
25	Maliyet'lerin Mukayesesi (3 Yöntem)	45.00 TL / 1 Ha.	15.00 TL / 1 Ha.	44.50 TL / 1 Ha.
26	Maliyet (Fotog.+LIDAR Birlikte)	60.00 TL / 1 Ha.	60.00 TL / 1 Ha.	-

7.1. Sonuçlar

Fotogrametri, LIDAR ve İHA yöntemleriyle toplanan verilerin konum ve yükseklik doğrulukları ile ilgili elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Fotogrametrik yöntemle veri toplama ve harita üretimi uzun yıllardır başarılı şekilde uygulanmakta olup bu yöntemle üretilen bütün coğrafi verilerin ve topografik vektör ve ortofoto haritaların, aynı yersel jeodezik yöntemlerde olduğu gibi konum ve yükseklik doğruluğunun çok yüksek olduğunu söylemek olanaklıdır.

- Sadece LIDAR verileri kullanılarak doğrudan üç boyutlu sayısal vektör harita üretimi yapılamamaktadır. Ancak bu yöntemle doğrudan toplanan nokta bulutu biçimindeki

yükseklik verilerinden yararlanılarak sayısal yüzey modeli, sayısal arazi modeli, eş yükseklik eğrisi verileri üretilmektedir. Bu anlamda, LIDAR yükseklik verileri üç boyutlu bir haritanın yükseklik bilgisinin (3'üncü boyutunun) elde edilmesine önemli bir katkı, destek ve imkân sağlamaktadır.

- Yapılan araştırma ve çalışmalardan edinilen bilgilere göre, nokta sıklığının yeterli düzeyde (veya yeterinden biraz fazla) alınması halinde LIDAR sistemlerinin büyük alanlarda, şeritvari harita yapımı çalışmalarında, engebeli, ormanlık ve ağaçlık arazilerde, bitki örtüsü ile kaplı alanlarda, hatta kesikli ve süreklilik arz etmeyen arazi kesimlerinde ve düzenli meskûn alanlarda oldukça başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Buna karşın, özellikle çok yoğun meskûn alanlarda, su ile kaplı arazilerde LIDAR sistemleri ile başarılı sonuçların alınması epeyce zorlaşır.

- İHA yöntemi kullanılarak elde edilen stereo hava fotoğrafları ve diğer verilerle fotogrametride belirtilen bütün işlem adımları uygulanarak daha hızlı, kolay, pratik yöntemlerle veri toplama ve üç boyutlu sayısal vektör harita üretimi yapılabilmektedir. İHA yöntemi kullanılarak üretilen haritalar fotogrametrik yöntemle üretilen haritalarla aynı kalitededir. Ancak İHA yöntemiyle üretilen haritalar küçük alanlar için düşük maliyetli olarak hazırlanırken büyük alanlarda maliyet artacağı için tercih edilmez.

- Yapılan uygulamada Nabucco Doğal Gaz Boru Hattı Projesi kapsamında üretilmiş olan 1/2.000 ölçekli fotogrametrik haritalardan yararlanılmıştır. Bu nedenle söz konusu haritalardan elde edilen konum ve yükseklik doğruluklarının Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliğine (BÖHHBÜY) uygun olduğu, istenen hassasiyetleri karşıladığı değerlendirilmektedir.

- Konum doğruluğu bakımından, fotogrametrik yöntem ve İHA yöntemiyle elde edilen verilerin karşılaştırılmasında ortalama hatanın $dS_{ort} = \pm 20 \text{ cm}$ civarında olduğu tespit edilmiştir. Fotogrametrik veriler baz alınarak (yani doğru ve hatasız kabul edilerek) hesaplanan İHA verisi konum hatasının, kabul edilebilir bir düzeyde olduğu söylenebilir. Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY) Madde 94'de bu hususla ilgili olarak 1/1.000 ölçekli haritalar için; "*İzdüşüm koordinatları arasındaki farklar (d_x, d_y) $\pm 15 \text{ cm}$ 'yi geçemez*" denilmektedir. Söz konusu uygulamada, klasik yöntemle 1/2.000 ölçekli harita üretimi yapıldığı göz önüne alındığında elde edilen ortalama hatanın Yönetmelikte verilen hata sınırının biraz daha altında olduğudur.

- Yükseklik doğruluğu bakımından, LIDAR verileri ile İHA verilerinin karşılaştırılmasında ortalama hatanın $dH_{ort} = \pm 18 \text{ cm}$ civarında olduğu görülmüştür. Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY) Madde 96'da bu hususla

ilgili olarak; “*Bu noktaların ölçülen ve eş yükseklik eğrilerinden hesaplanan yükseklikleri arasındaki farkların % 90’ı eş yükseklik eğrisi aralığının 1/3’ünden, % 10’u da bir düzeç eğrisi aralığının 1/2’sinden fazla olamaz.*” ifadesi yer almaktadır. 1/2.000 ölçekli bir haritada eş yükseklik eğrileri 2 m aralıklarla geçirileceğinden, bu nedenle toleransın $2/3 = 0.66$ m civarında olduğu dikkate alındığında söz konusu ortalama hatanın bu hata sınırı değerinin daha altında olduğu kolaylıkla görülmektedir.

Fotogrametri, LIDAR ve İHA yöntemleriyle toplanan verilerde birim fiyat ve maliyet analizi ile ilgili elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Uygulamada dikkate alınan bölgenin alanı 4.000 hektar civarında olup herhangi bir izin beklemeden İHA ile 2 gün içerisinde hava fotoğrafı çekimi yapılmıştır. Oysa fotogrametri veya LIDAR tekniğinin uygulandığı projelerde hava fotoğrafı çekimi amacıyla Harita Genel Komutanlığı ve Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü’nden izin alınması zorunludur. Bu işlemler ile ilgili yasal süreç ise yaklaşık 30–45 gün içerisinde tamamlanabilmektedir.

- Söz konusu uygulamada, fotogrametrik yöntem ile üretilen vektör harita (45 TL/ha) ile İHA yöntemi kullanılarak elde edilen vektör haritanın (44.5 TL/ha) birim fiyatlarının yaklaşık olarak birbirine eşit olduğu kolayca söylenebilir. Bu aşamada, İHA yönteminin özellikle uçuş ve resim çekimi açısından daha hızlı ve pratik olduğunu söylemekte büyük yararlar vardır.

- İHA yöntemi ile uçuş ve resim çekiminin birim maliyeti daha düşük olmasına rağmen, daha fazla yer kontrol noktası gerektirdiği için YKN ile ilgili maliyetler fotogrametrik yöntemlere oranla daha fazladır. Fotogrametrik yöntemde YKN sayısının daha az olmasının temel nedeni uçuş esnasında gelişmiş GPS/IMU sistemlerinin kullanılmasıdır.

- Günümüzde teknolojinin çok hızlı ilerlemesiyle birlikte gelişmiş GPS/IMU sistemlerinin uçaklar dışında artık İHA’lara da monte edilebildiği bilinmektedir. Bu nedenle, İHA yönteminin birim fiyatlarının ve veri toplama maliyetlerinin teknolojik gelişmelere paralel olarak daha çok azalacağı değerlendirilmektedir.

- LIDAR tekniği kullanılarak elde edilen veriler yardımıyla bir vektör haritanın sadece yükseklik bileşeni elde edilmiş olmaktadır. Yani LIDAR sistemleri ile toplanan verilerle tam anlamıyla doğrudan bir vektör harita üretimi yapılamamaktadır. Bu anlamda, LIDAR ile elde edilen nokta bulutu ve sayısal yükseklik verileri, topografik vektör ve ortofoto haritaların üretiminde dolaylı bir veri kaynağı olarak kullanılmakta ve söz konusu haritaların yükseklik bileşenini oluşturmaktadır.

- Sayılan nedenlerle ve uygulamadan elde edilen sonuçlar da dikkate alındığında, LIDAR yöntemi maliyetinin (15.20 TL/ha) fotogrametri ve İHA yöntemlerine göre daha ucuz olduğunu söylemek mümkündür.

7.2. Öneriler

- Fotogrametrik yöntem ve LIDAR tekniği uzun yıllardır başarıyla kullanılmakta olup bu yöntemlerden elde edilen verilerin ve haritaların doğruluğu kanıtlanmıştır.

- İHA uygulamasında küçük formatlı kameralar kullanıldığı için resim ve kolon sayısı daha fazladır. Bu nedenle 5.000 hektara kadar olan alanların haritaları sabit kanatlı (uçak şeklinde) İHA'lar kullanılarak yapılabilir. Daha büyük alanların haritalarının üretiminde fotogrametri yönteminin kullanılması ile daha iyi sonuçlar elde edilir.

- Fotogrametrik yöntemle üretilen yükseklik verileri ile LIDAR yöntemi ile toplanan yükseklik verilerinin doğruluğu birbirine oldukça yakındır. Ancak LIDAR yöntemi ile doğrudan toplanan nokta bulutu verileri kullanılarak ihtiyaç duyulan sayısal yükseklik verileri hızlı ve pratik biçimde üretilebilmektedir. Ayrıca sık ağaçlık alanlarda, ormanlık bölgelerde, bitki örtüsü ile kaplı alanlarda LIDAR verileri oldukça doğru ve iyi sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle, LIDAR sistemi ile sayısal yükseklik verisi toplanmasına yönelik proje planlamasında bu hususlara azami özen gösterilmesi oldukça yararlıdır.

- İHA sistemi ve yönteminin ticari olarak kullanılmasında halen bazı yasal eksiklikler ve sınırlamalar bulunmaktadır. Ancak bu konuyla ilgili olarak “Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü”nün gerekli çalışmalara ve yasal düzenlemelere başladığı da bilinmektedir.

- İHA'lar döner kanatlı (helikopter şeklinde) ve sabit kanatlı (uçak şeklinde) olmak üzere iki farklı tipte üretilmektedir. İHA'ların sahip olduğu teknik imkânlar göz önüne alındığında bu sistemlerin şeritvari alanlar, kazı ve dolgu alanları, açık maden sahaları gibi özellikle meskûn alan dışında kalan küçük sahaların (200–300 ha gibi) haritasının yapımı amacıyla kolaylıkla kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Doktora tezi kapsamında; fotogrametri, LIDAR ve İHA sistemleri ve yöntemleriyle elde edilen mevcut veriler üzerinde yapılan araştırma ve inceleme sonuçları, uygulamalardan elde edilen konum ve yükseklik doğrulukları, birim fiyat analizleri ve maliyet hesapları ile bu konuda yapılan testler, tez ve araştırma çalışması sonuçları da göz önüne alınarak yukarıda detaylı biçimde verilen sonuç ve önerilere ilaveten şunlar söylenebilir:

➤ Büyük sahaların, meskûn ve gayri meskûn alanların haritalanmasında, yüksek doğruluk ve hassasiyet istenen önemli projelerde, güncel hava fotoğrafları çekimi, çeşitli formatlarda sayısal yükseklik modeli verilerinin üretimi, 1/500 ile 1/25.000 arasındaki standart veya standart olmayan her ölçekte topografik vektör ve ortofoto haritaların üretimi ve revizyonu çalışmalarında, uzun yıllardır başarıyla uygulanan fotogrametrik yöntemlerin kullanımına devam edilmesi yararlıdır. Bu tür önemli ve büyük projelerde, belirli konularda (YKN tesisi, ölçümü ve işaretlenmesi, topografik arazi bütünlemesi, konum ve yükseklik doğruluklarının arazi ölçümleriyle tespiti vb.), klasik yersel, topografik ve jeodezik yöntemlerden de azami ölçüde istifade edilmesi oldukça yararlıdır. Fotogrametri alanında meydana gelen önemli değişme ve gelişmelerin izlenmesinde de büyük yararlar görülmektedir.

➤ Sadece yükseklik bilgisine ihtiyaç duyulan ve büyük alan kaplayan haritacılık projelerinde, düzenli meskûn ve gayri meskûn alanlarda, bir güzergâhı takip eden uzun şeritvari harita yapımı projelerinde, sayısal yükseklik verisi üretiminin fotogrametrik yöntemle zor, zahmetli ve zaman alıcı olduğu engebeli, kesikli ve süreklilik arz etmeyen arazi kesimlerinde, büyük alanların haritalanmasına yönelik olarak planlanan fotogrametri projelerinin içerisinde veya ihtiyaç olması halinde yalnız başlarına LIDAR sistemleri ve LIDAR yöntemlerinden de yararlanılması, son yıllarda önemli teknolojik gelişmeler kaydetmesi nedeniyle LIDAR verilerinin de haritacılık uygulamaları içerisine dâhil edilmesi ile olumlu sonuçların alınabileceği değerlendirilmektedir. Bunlara ilaveten, LIDAR'da meydana gelen önemli teknolojik gelişmelerin çok yakından takip edilmesinin de yararlı olacağı düşünülmektedir.

➤ Belirtilen yöntemlerin yanı sıra açık maden sahaları, kazı ve dolgu alanları gibi nispeten küçük alanlarda ya da kısa mesafeli şeritvari güzergâhlarda (yol, kanal, demiryolu, boru hatları vb. projelerde), 1/500, 1/1.000 ve 1/2.000 gibi büyük ölçekli harita üretimlerinde, özellikle çok hassas konum ve yükseklik doğruluğunun talep edilmediği, ancak harita üretimlerinin hızlı, ekonomik ve düşük maliyetli yapılmasının arzu edildiği küçük çaplı harita yapımı projelerinde, son yıllarda önemli teknolojik gelişmeler gösteren, teknik özellikleri, imkân ve kabiliyetleri her geçen gün hızla artan İHA sistemleri ve İHA fotogrametrisi yöntemlerine de çeşitli haritacılık uygulamalarında ve fotogrametrik projelerde yer verilmesinin çok yararlı ve ekonomik sonuçlar verebileceği düşünülmektedir. Son olarak da İHA sistemlerinde meydana gelen önemli teknolojik gelişmelerin çok yakından takip edilmesinin oldukça yararlı olacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- Altınışık, Sinan (2012), “Airborne Lidar Teknolojisi İle Sayısal Harita Üretimi ve şırnak Örneği,” *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi* 4(2012): 16-22.
- Arpacı, Kemal Emre., (2013). *Düşük Maliyetli Fotogrametrik Sistemlerin Küçük Objelerin 3 Boyutlu Modellenmesi Çalışmalarında Kullanım Olanakları*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arslanbek, Levent, (2009). *Farklı Kaynaklardan Elde Edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Ortofoto Doğruluğuna Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Ateş, Hikmet, (2006). *Fotogrametrik Yöntemle Konumsal Veri Üretiminde Toplam Kalite Yönetimi*, Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Avdan, Uğur., şenkal, Emre., Çömert, Resul., Tuncer, Serhan, (2014), *İnsansız Hava Aracı İle Oluşturulan Verilerin Doğruluk Analizi*, İstanbul: V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS), 2014.
- Ayyıldız, Ekrem., Özer, Erdem., Özmüş, Levent., Erkek, Bilal., Bakıcı, Sedat, (2014), *İnsansız Hava Aracı (İHA) ve Uçak Platformlarından Elde Edilen Görüntülerin Ortofoto Üretiminde Karşılaştırılması*, Çorum: 7. Ulusal Mühendislik Ölçümleri Sempozyumu, 2014.
- Bölme, Murat., (2013). *LIDAR İle Sayısal Arazi Modeli Üretimi ve Sistemin Doğruluğunun ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Cingöz, Ayhan., Erkan, Yasin., Kurt, Ali İhsan., Peker, Selçuk., (2013). “Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı–Aktif (TUSAGA-AKTİF) Sistemi” *14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı Bildiri Özetleri Kitabı*, 14-17 Mayıs 2013, Ankara.
- Coşkun, Mehmet Zeki., “Düşük Maliyetli İHA (İnsansız Hava Aracı) ile Mobil Harita Üretiminin Bugünü ve Geleceği,” *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi* 4(2012): 11-18.

- Demir, Nusret., “Görüntü ve LIDAR Verisinden Bina Tespitinde Farklı Yöntemler,” *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi* 8(2015): 55-65.
- Duran, Celalettin., Üstündağ, Önder, (2008), “Mekansal Analizlerde Hava LIDAR (Light Detection and Ranging) Verilerinden Yararlanma Olanakları,” *New World Sciences Academy Social Sciences* 3(2008): 453-463.
- Esirtgen, Fatih, (2010). *Farklı Veri Kaynakları İle Elde Edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluk Analizi ve Kalite Değerlendirmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Mutluoğlu, Ömer., Ceylan, Ayhan, (2005), “Dijital Ortofoto Haritalarda Konum Doğruluğu ve Maliyet Karşılaştırması,” *Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi* 20(2005): 35-42.
- Özbalmumcu, Mahmut, (2007), *Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Tekniklerinin Topoğrafik Harita Üretimindeki Yeri ve Önemi*, Ankara: TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel Teknik Kurultayı, 2007.
- Özbalmumcu, Mahmut, (2007), *Fotogrametrik Yöntemle Ortofoto Harita Üretiminin Temel Esasları, Ortofotonun Yararları ve Kullanım Alanları*, Ankara: Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Sempozyumu (TUFUAB), 2007.
- Özbalmumcu, Mahmut, (2007), *Fotogrametrik Yöntemle Topoğrafik Vektör Harita Üretimi ve Proje Yönetiminde Uyulması Gereken Teknik Esaslar*, Ankara: Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Sempozyumu (TUFUAB), 2007.
- Polat, Nizar, (2014). *Farklı Filtreleme Yöntemleri İle LIDAR Nokta Bulutlarından Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Selçuk, Osman., Baybura, Tamer., Karşlı, Fevzi, (2010), “Sayısal ve Analog Hava Kameralarının Geometrik Potansiyellerinin Fotogrametrik Açından İrdelenmesi,” *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2(2010): 1-11.
- Şahin, İsmail, (2007). *Farklı Kaynaklardan Elde Edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Ortofoto Doğruluğuna Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- Şehsuvaroğlu, Mehmet Sabri., Eker, Oktay., Erdoğan, Mustafa., Yıldız, Ferruh, (2013). “Fotogrametri mi Lidar mı?” *14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı Bildiri Özetleri Kitabı*, 14-17 Mayıs 2013, Ankara.
- Ulvi, Ali., Yakar, Murat, (2013). “İnsansız Hava Araçları Yardımıyla Kompak Kameraların Hava Fotogrametrisinde Kullanılmasına Bir Örnek” *14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı Bildiri Özetleri Kitabı*, 14-17 Mayıs 2013, Ankara.
- Uzel, Turgut, (2014), Operations Research, Text Book, 2014.
- Uzel, Turgut., Eren, Kamil., Erkaya, Halil., Gülal, Engin, (2013), “Hava ve Uzay Teknolojilerinin Mesleğimize Sunduğu Olanaklar” *14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı Bildiri Özetleri Kitabı*, 14-17 Mayıs 2013, Ankara.
- Yıldırım, Abdullah., Şeker, Dursun Zafer, (2006), “Fotogrametrik Harita Üretiminde Kullanılan Görüntülerin Maliyet Analizi,” *İTÜ Dergisi* 5(2006): 83-90.
- Yıldız, Ferruh, (2010), *Dijital (Sayısal) Fotogrametri Teknolojisi*. İstanbul: Coğrafi Bilgi Teknolojileri Çalıştayı, 2010.
- Yılmaz, H.Murat., Yakar, Murat, (2006), “LIDAR (Light Detection and Ranging) Tarama Sistemi,” *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2(2006): 23-33.
- Yılmaz, Volkan., Akar, Alper., Akar, Özlem., Güngör, Oğuz., Gökalp, Ertan, Karşlı, Fevzi, (2013), *İnsansız Hava Aracı İle Üretilen Ortofoto Haritalarda Doğruluk Analizi*, Trabzon: Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu (TUFUAB), 2013.
- Navruz, Muzaffer, (2016), [http://www.mta.gov.tr/v2.0/birimler/redaksiyon/ekonomi-bultenleri/2011-11/havadan-\(airborn\)-lidar-nedir.pdf](http://www.mta.gov.tr/v2.0/birimler/redaksiyon/ekonomi-bultenleri/2011-11/havadan-(airborn)-lidar-nedir.pdf), Erişim Tarihi: 28.03.2016
- <http://jeodezi.beun.edu.tr/marangoz/files/2013/03/YLisansTeziAycan.pdf>, Erişim Tarihi: 28.03.2016
- http://eski.geomaticsgroup.com/media/Genel_Medya/RB/b32bc5-TeknoMer_Insansiz_Hava_Araci.pdf, Erişim Tarihi: 28.03.2016
- <http://slideplayer.com/slide/4531969/>, Erişim Tarihi: 02.06.2016
- <https://hexagongeospatial.fluidtopics.net/book#!book;uri=435b837f3ecf8ffd7ff02d10ee690136;breadcrumb=b07198c3a1789d8e9d47e283a65dfe1f->

[d2589e484d86255ea0e297bfe22edc9d-f8cb21298d818463076c449953ae0161](https://doi.org/10.1007/978-3-319-22899-9_10), Erişim

Tarihi: 02.06.2016

<http://www.photogrammetrynews.com/2010/09/automatic-terrain-generation-and.html>,

Erişim Tarihi: 02.06.2016

[http://w3.leica-](http://w3.leica-geosystems.com/downloads123/zz/airborne/als60/brochures/ALS60_bro_en.pdf)

[geosystems.com/downloads123/zz/airborne/als60/brochures/ALS60_bro_en.pdf](http://w3.leica-geosystems.com/downloads123/zz/airborne/als60/brochures/ALS60_bro_en.pdf), Erişim

Tarihi: 02.06.2016

http://www.hkmo.org.tr/hakkimizda/meslegimiz/harita_nedir.php, Erişim tarihi: 10.08.2016

<http://www.hgk.msb.gov.tr/e-3-terimler-sozlugu.html#>, Erişim Tarihi: 11.08.2016



ÖZGEÇMİŞ

1981'de Şanlıurfa'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini doğduğu şehir Şanlıurfa'da tamamladı. Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünden mezun oldu ve aynı üniversitesinin Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Yüksek Lisans Programını tamamladı.

YAPILAN PROJE ve TEZLER

DRY – Kİ Projesi (DEPREM RİSK YÖNETİM VE KENTSEL İYİLEŞTİRME) : Ulusal bir proje haline gelen Deprem Risk Yönetim ve Kentsel Dönüşüm konusunda çağdaş ve ileri teknolojiyle işin tasarımından bitişine kadar hizmet verecek ve belediyecilik anlamında diğer tüm teknik projelere güncel altlık olacak bir sistem tasarlanmıştır (Proje).

Tünel Açma Yöntemleri ve 4.Levent – Ayazağa Metro Hattında Deformasyon Ölçmeleri: Bu çalışmada İ.B.B. tarafından yürütülen 4.Levent – Ayazağa metro projesine ait koverjans ölçümleri yardımıyla tünellerdeki düşey hareketin ve yatay deformasyonların belirlenmesine farklı bir yaklaşım geliştirilmiştir (Yüksek Lisans Tezi).

En Kısa Yol Analizi: Bu çalışmada İstanbul ili Beşiktaş ilçesine ait mevcut yol verileri kullanılarak ilçedeki yol ağında herhangi bir şekilde belirlenen iki nokta arasındaki en kısa yolun sorgulanarak belirlenmesini sağlayan bir çalışma yapılmıştır (Lisans Tezi).

Karayolu Proje: Yol güzergâhı belirleme, kurb - klotoid hesapları ve yerleştirilmesi, boykesit - enkesit hesap ve çizimi, hacimler tablosu ve maliyet hesaplarını içeren yüksek standartlarda kara yolu projesi tasarlanmıştır (Proje).

İmar Uygulaması: İmar Kanununun 18. maddesi gereğince DOP ve KOP miktarlarının belirlenmesi, kesintilerin yapılması ve yeni imar parsellerinin oluşturulması (Proje).

İŞ DENEYİMLERİ

Balıkesir Büyükşehir Belediyesi - İmar ve Şehircilik Daire Başkanlığı

Balıkesir Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Daire Başkanı olarak görev yapmaktadır. (2014-...)

Balıkesir Büyükşehir Belediyesi - İmar ve Şehircilik Daire Başkanlığı – Harita Müdürlüğü

Balıkesir Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Daire Başkanlığı Harita Müdürlüğünde Harita Müdürü olarak görev yapmaktadır. (2014-...)

Balıkesir Büyükşehir Belediyesi - Balıkesir Toplu Konut A.Ş.

Balıkesir Toplu Konut A.Ş. (BALTOK)'de Yönetim Kurulu Başkanı olarak görev yapmaktadır. (2015-...)

İstanbul Büyükşehir Belediyesi – Raylı Sistemler Daire Başkanlığı – Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı sistemler Daire Başkanlığı Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü tarafından yürütülen Mecidiyeköy Mahmutbey Metro hattında inşaat işinde görev almıştır. (2014)

İstanbul Büyükşehir Belediyesi – Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanı yönetici asistanı olarak görev yapmıştır. (2013–2014)

İstanbul Büyükşehir Belediyesi – İmar ve Şehircilik Daire Başkanlığı

İstanbul Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Daire Başkanı yönetici asistanı olarak görev yapmıştır. (2011–2013)

İstanbul Büyükşehir Belediyesi – İmar ve Şehircilik Daire Başkanlığı – Harita Müdürlüğü

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Harita Müdürlüğü tarafından üretilen 1/1000 ölçekli hâlihazır harita üretiminin tüm aşamalarında kontrol mühendisi olarak görev almıştır (2006–2011).

Harita, İnşaat, Mimarlık firmaları

Çeşitli Harita, İnşaat, Mimarlık firmaları için Karayolu Projelendirme, İmar Uygulaması, Sayısallaştırma, Taşınmaz Değerlemesi, 3D(Şehir ve Bina) modelleme ve haritacılık uygulama vb. işlerde teknik eleman / Mühendis olarak görev yapmıştır (2004–2006).