



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**EĞİK FOTOGRAMETRİK YÖNTEM VE
KLASİK YÖNTEMLE FOTOGRAMETRİK
VERİ ÜRETİMLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI**

İsmail SAYAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

İsmail SAYAR tarafından hazırlanan “EĞİK FOTOGRA METRİK YÖNTEM VE KLASİK YÖNTEMLE FOTOGRA METRİK VERİ ÜRETİMLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI” adlı tez çalışması 14/07/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Ferruh YILDIZ

.....

Danışman

Prof. Dr. Ferruh YILDIZ

.....

Üye

Dr. Öğretim Üyesi Lütfiye KARASAKA

.....

Üye

Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Öğrencinin Adı SOYADI

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EĞİK FOTOGRAMETRİK YÖNTEM VE KLASİK YÖNTEMLE FOTOGRAMETRİK VERİ ÜRETİMLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI

İsmail SAYAR

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. FERRUH YILDIZ

2021, 58 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Ferruh YILDIZ
Dr. Öğretim Üyesi Lütfiye KARASAKA
Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ

Araştırma tezinin amacı gelişen teknoloji ile birlikte kullanımı yaygınlaşan çoklu kamera sistemlerinin incelenmesi ve eğik fotogrametrik üretimlerin klasik yöntemle karşılaştırılmasıdır. Bu kapsamda günümüzde kullanılan eğik kamera çeşitleri ve sınıflandırılması incelenmiştir. Klasik ve eğik fotogrametrik yöntemde iş akış şemaları oluşturulmuş ve bunlar hakkında detaylı olarak bilgi verilmiştir.

Tez çalışması için belirlenen yaklaşık 69 hektarlık alanda klasik yöntemle ve çoklu kamera sistemlerinin kullanıldığı eğik fotogrametrik yöntemle veri üretimleri yapılmıştır. Üretimi yapılan veri setlerinin karşılaştırılması yapılarak birbirleriyle kıyaslanması sağlanmıştır. Her iki yöntemle de üretimi yapılan veri setleri aşağıda belirtilmiştir;

- Nokta bulutu,
- Sayısal yüzey modeli (SYM),
- Sayısal arazi modeli (SAM),
- 3 boyutlu katı model (Mesh Model)

Böylelikle her iki yöntemin birbirleriyle kıyaslanması, eğik fotogrametrik yöntemle üretilen veri setlerinin klasik yöntemle göre üstünlüklerinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Eğik Fotogrametrik Yöntem, Eğik Resim Fotogrametrisi, Nokta Bulutu, Eğik Hava Kameraları

ABSTRACT

MS THESIS

COMPARISON OF PHOTOGRAMMETRIC DATA PRODUCTION WITH OBLIQUE PHOTOGRAMMETRIC METHOD AND CLASSICAL PHOTOGRAMMETRIC METHOD

İsmail SAYAR

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geomatic Engineering**

Advisor: Prof.Dr. FERRUH YILDIZ

2021, 58 Pages

Jury

**Prof. Dr. Ferruh YILDIZ
Asst. Prof. Dr. Lütfiye KARASAKA
Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ**

The purpose of this research thesis is to examine the multi-camera systems that are becoming widespread with the developing technology and to compare the oblique photogrammetric productions with the classical method. In this context, the types and classifications of the oblique cameras used widely has been examined. The work flow charts regards to classical and oblique photogrammetric method are developed and the detailed information are given in this scope.

In this thesis study, the area within approximately 69 hectares is determined and the data set is produced by classical method and by oblique photogrammetric method using multi-camera systems for this determined area. The produced data sets were compared with each other. The data sets produced by these two methods are listed below;

- Point cloud
- Digital surface model (DSM)
- Digital terrain model (DTM)
- Mesh model

Thus, it is aimed to compare these two methods with each other and to reveal the advantages of the data sets produced by the oblique photogrammetric method over the classical method.

Keywords: Oblique Photogrammetry, Oblique Aerial Cameras, Oblique Photogrammetric Method, Point Cloud

ÖNSÖZ

Meslek hayatım boyunca bilgi ve tecrübelerini paylaşmayı hiç esirgemeyen mesleki gelişimimde büyük katkıları olan Sayın Metin EREL'e şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam boyunca desteğini ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ferruh Yıldız'a binlerce teşekkürler.

İçinde bulunduğumuz zorlu pandemi sürecinde uzaktan da olsa yüksek lisans tez çalışmamda büyük katkıları olan Arş. Gör. Hasan Bilgehan MAKİNECİ Hocama şükranlarımı sunarım.

Hayatım boyunca desteklerini her zaman arkamda hissettiğim biricik aileme teşekkürler.

Her anımda yanımda olan ve desteklerini benden hiç esirgemeyen sevgili eşime, dünyaya gelmesini dört gözle beklediğimiz bebeğimizin annesine sonsuz teşekkürler.

İsmail SAYAR
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	5
3.1. Temel kavramlar	5
3.1.1. Fotogrametri.....	5
3.1.1.1. Fotogrametri bilimi tarihsel gelişim	5
3.1.2. Eğik fotogrametri	6
3.1.2.1 Kamera çeşitleri	7
3.2. Projede kullanılan materyal ve yöntem	9
3.3. Proje Planlaması	10
3.4. Fotogrametrik uçuş planlaması	11
3.5. Ham fotoğrafları işlenmesi ve görüntü üretimi.....	17
3.6. Yer kontrol noktası	18
3.6.1. Yer kontrol noktası seçimi	18
3.7. Fotogrametrik nirengi	20
3.7.1. Işın demetleri ile dengeleme (bundle adjustment).....	21
3.7.2. GNSS (Global Navigation Satallite System) / IMU (Inertial Measurement Unit) Sistemi	23
3.7.3. Kinematik destekli fotogrametrik nirengi	26
3.7.4. Fotogrametrik nirengi ölçmeleri iş süreci	27
3.7.4.1. İç Yönelme.....	27
3.7.4.2. Karşılıklı Yönelme.....	30
3.7.4.3. Mutlak Yönelme	32
3.8. Nokta bulutu üretimi	33
3.9. Sayısal yüzey modeli ve sayısal arazi modeli üretimi	34
3.9.1. Fotogrametrik yöntemlerle SAM ve SYM üretimi.....	35
3.9.2. Nokta bulutundan SAM ve SYM elde edilmesi	36
3.10. Üç boyutlu modelleme ve katı model üretimi	38
3.10.1. Ayrıntı düzeyi (Level of Detail) (Lod)	40
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	42

4.1. Çalışma alanı.....	42
4.2. Nokta bulutu	43
4.3. Sayısal arazi modeli ve sayısal yüzey modeli.....	46
4.4. Üç boyutlu modelleme ve katı model	48
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	54
5.1 Sonuçlar	54
5.2 Öneriler	55
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	58



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ω	: Omega
φ	: Phi
κ	: Kappa
λ	: Lambda
Σ	: Toplam

Kısaltmalar

BÖHHBÜY	: Büyük Ölçekli Harita Ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
DEM	: Digital Elevation Model
DSM	: Digital Surface Model
DTM	: Digital Terrain Model
GPS	: Global Positioning System
GNSS	: Global Navigation Satallite Systems
GPU	: Graphic Processing Unit
GSD	: Ground Sampling Distance
IMU	: Inertial Measurement Unitinertial Measurement Unit
INS	: Inertial Navigation System
LOD	: Level of Detail
KOH	: Karesel Ortalama Hata
RAM	: Random Access Memory
RGB	: Red Green Blue
RTK	: Real Time Kinematic
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SFM	: Structure From Motion
SGM	: Semi Global Matching
SYM	: Sayısal Yüzey Modeli
YKN	: Yer Kontrol Noktası
YÖA	: Yer Örnekleme Aralığı

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte özellikle kent planlaması, 3 boyutlu kadastro gibi çalışmalarda eğik fotogrametrik yöntem kullanılmaya başlanmıştır. Eğik fotoğraflar genellikle yapıların cephe kaplamasında kullanılmaktadır. Eğik fotogrametrik yöntemde çalışma sahasının birden çok kamera ile görüntülerinin alımı yapıldığından elimizde oldukça yoğun bir veri seti bulunmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında test alanı olarak seçilen bölgenin 5 farklı şekilde konumlandırılmış kamera ile çekilmiş görüntülerinden fotogrametrik üretim yapılmıştır. Eğik fotogrametrik yöntemin enine ve boyuna bindirme oranları da klasik fotogrametriye (sadece dik alımda tek bir kamera ile fotoğraf alımının yapıldığı üretim şekli) göre daha yüksek olduğundan ortaya çıkan verilerin klasik fotogrametriye göre sağladığı üstünlükler yapılan tez çalışmasında araştırılarak ortaya çıkarılmıştır.

Gerçekleştirilen tez çalışmasında klasik fotogrametrik yöntemle eğik fotogrametrik yöntem, üretilen ve türetilen sonuç ürünleri kapsamında kıyaslanmıştır. Kıyaslanması yapılan sonuç ürünleri şunlardır:

- Nokta bulutu verisi
- Sayısal Yüzey Modeli
- Sayısal Arazi Modeli
- Katı Model

Bu tez çalışmasının amacı farklı kameralarla elde edilen yoğun nokta bulutu verisinden üretimler yaparak klasik yöntem (tek bir kamera ile düşeye yakın “dik alım” alımda çekilen fotoğraflardan) verileriyle kıyaslanmasıdır. Bu çalışmadan ortaya çıkan sonuçlar ışığında;

- 5 kamera ile eşzamanlı olarak elde edilen yoğun nokta bulutu verisi irdelenerek sonraki fotogrametrik üretim aşamalarına katkısı araştırılmıştır.
- Eğik fotogrametrik yöntemle üretilen nokta bulutu verisinden sayısal yükseklik modeli ortaya çıkarılarak özellikle yan cephelerin 3 boyutlu olarak detay yoğunluğu ve doğruluğu araştırılmıştır.
- Yoğun nokta bulutu verisinden filtreleme yöntemiyle sayısal arazi modeli elde edilerek, klasik yöntemle mukayese edilmiş ve hâlihazır sayısal harita yapımında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

- Her iki yöntemle katı model üretilerek verilerin görsel detay ve konum doğruluğu bakımından mukayese edilmiştir.

Bu araştırmalar ışığında eğik fotogrametrik yöntemin günümüzde cephe kaplama dışında farklı yönlerden kullanılabilirliği ortaya çıkarılmıştır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Ayyıldız 2017 yılında yaptığı çalışmada Konya Büyükşehir Belediyesi tarafından projelendirilen “Eğik Hava Fotoğrafı Alımı ve 3 Boyutlu Kent Modeli Oluşturulması Projesi” kapsamına giren Meram ve Selçuklu ilçelerine ait kadastral parsellerde eğik fotogrametrik yöntemle 19 farklı binanın 3B modeli üretilmiş daha sonra bu verilerle mevcut kadastral veriler ilişkilendirilerek 3 boyutlu şehir modeller ve kadastral verileri ilişkilendirilerek karşılaştırma yapılmıştır.

Kılınçoğlu 2016 yılında yaptığı çalışmada “Farklı İnsansız Hava Araçları İle Elde Edilen Görüntülerin Otomatik Fotogrametrik Yöntemlerle Değerlendirilmesi ve Doğruluk Analizi” yapmıştır. Boğazlıyan fabrika sınırları içinde işleme için bekleyen pancarların hacimsel değişiminin kaydedilmesi için Sabit Kanatlı İHA ve Multikopter ile 13 Ekim ve 10 Ekim 2015 tarihindeki veri setleri kullanmıştır. Elde edilen görüntüler fotogrametrik yazılım desteği ile işlenmiş ve otomatik yöntemlerle değerlendirmiştir. Literatür araştırmalarının ön gördüğü doğruluklar sayesinde iki farklı İHA'nın kıyaslanması yapılmıştır.

Tütüneken 2015 yılında “TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı”nda sunduğu bildiriye, Konya Büyükşehir Belediyesi Eğik (Oblique) Görüntü Alımı, 3 Boyutlu Kent Modeli ve 3 Boyutlu Kent Rehberi Projesi kapsamında yapılan eğik fotogrametrik görüntü alımı, fotogrametrik nirengi planlaması, eğik görüntülerin işlenmesi, yapı detaylarının sayısallaştırılması ve bina cephe kaplamaları konusunu çalışmıştır.

Varlık ve Erdönmez 2020 yılında yaptığı araştırma makalesinde insansız hava aracı ile eğik fotogrametri uygulaması yapmıştır. Konya İli Meram İlçesi sınırlarında yaklaşık 7.5 hektarlık alana ilişkin yapılan çalışmada, nokta bulutu, sayısal arazi model, sayısal yükseklik modeli ve gerçek ortofoto verileri üretilerek kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Remondino ve Gerke, 2015 yılında yaptığı “Oblique Aerial Imagery – A Review” makalesinde eğik fotogrametrik görüntülerin özellikleri, eğik fotogrametride kullanılan kamera tipleri, sensörler ve özellikleri ve yapılan uygulamaları araştırmıştır. Bunun yanında eğik fotogrametrik yöntemle veri üretim yöntemlerini de araştırmıştır. Üretilen nokta bulutu, sayısal yüzey modeli, sayısal arazi modeli ve gerçek ortofoto verisinin özelliklerinden bahsetmiştir.

Gregory-Lederer 2020 yılında yaptığı tez çalışmasında Güney Amerika Montana'da bulunan Philips Park çalışma alanında kayalık bölgeler için insansız hava aracı kullanarak eğik ve nadir fotogrametri tekniği kullanarak çeşitli analizler yapmıştır. Bunların arasında kayalık alanın eğim hesabı, profil çıkarılması, heyelan ve kayalıkların düşme ve parçalanma ihtimalleri gibi analizleri de yapmıştır.

Kılınç 2020 yılında yaptığı tez çalışmasında küçük ölçekli fotogrametrik haritalarda ağaçlık alanlarda daha doğru ve daha pratik eş yükseklik eğrisi üretmek için sayısal hava kamerası ile elde edilen görüntü tabanlı nokta bulutunun kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu kapsamda üç ayrı çalışma bölgesi belirlemiş ve bu alanların seçiminde az, orta ve çok yoğun ağaçlık alanlar ile topografyası orta engebeli alanları dikkate alarak çalışmasını gerçekleştirmiştir. Çalışmaları sonucunda küçük ölçekli fotogrametrik haritalar için ormanlık alanlarda görüntü tabanlı nokta bulutunun filtreleme yöntemi ile eş yükseklik eğrisi üretimini incelemek için seçilmiş tüm alanlarda nokta bulutunun filtreleme yöntemi olarak NDVI değerleri ile yapılan filtrelemenin CSF algoritması ile yapılabildiğine göre daha iyi sonuç verdiğini tespit etmiştir.

Erdönmez 2018 yılında yaptığı tez çalışmasında klasik İnsanlı hava araçları ile yapılan eğik resim fotogrametrisi yerine İHA(İnsansız Hava Araçları) ile yapılabilecek çalışmaları araştırmıştır. Çalışma kapsamında klasik fotogrametrik teknik ve eğik fotogrametrik teknik arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda eğik sistemde üretilen gerçek ortofotoların daha yüksek hassasiyete sahip olduğunu tespit etmiştir. Hassasiyet ve doğruluk değerlerine bakıldığında eğik sistem ile üretilen DEM'in Düşey sistem ile üretilene göre daha fazla hataya sahip olduğu tespit etmiştir.

Hirschmuüller 2008 yılındaki "Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information" makalesinde stereo modellerin SGM algoritmasına göre yoğun görüntü eşleme ve piksel eşleştirmenin matematik modelini araştırmıştır. Görüntülerdeki radyometrik hataların piksel eşleştirmeye olan etkisini ortaya çıkarmıştır. Araştırma tezinde SGM algoritmasının görüntü yoğun eşleme için en uygun yöntem olduğunu ortaya koymuştur.

Rupnik ve Ark, 2014 yılında "Oblique Multi-Camera Systems - Orientation And Dense Matching Issues" çalışmasını yapmıştır. Bu çalışmada eğik kameralar ve eğik kamera çeşitleri hakkında araştırmalar yapmıştır. Ayrıca fotogrametrik nirengi dengelemesi ve yoğun görüntü eşlemesi hakkında bilgiler sunmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Temel kavramlar

3.1.1. Fotogrametri

Fotogrametri temel olarak fotoğraflar üzerinde ölçme teknikleri kullanılarak, objeler hakkında bilgi sahibi olmamızı ve çeşitli analizler yapmamızı sağlayan bir bilim dalıdır. Fotogrametri sözcüğü, Latince'den ışık anlamına gelen (photo), çizim anlamına gelen (gramma) ve ölçme anlamına gelen (metron) sözcüklerinden türetilmiştir. Sözcük anlamı olarak bakıldığında ışık yardımıyla ölçme ve çizim yapma anlamına gelmektedir.

3.1.1.1. Fotogrametri bilimi tarihsel gelişim

XV. yüzyılların başında Leonardo Da Vinci'nin optik izdüşüm teorisi fotogrametrik hesaplamaların temellerini oluşturmuştur. 1900'lü yılların başında analog fotogrametri yöntemi 1960'lı yıllara kadar uygulanmıştır. 1960'lı yıllardan itibaren elektronik ve bilgisayar teknolojisinin getirdiği imkânlarla analitik fotogrametri olarak adlandırığımız fotogrametrik değerlendirme yöntemleri ortaya çıkmıştır. 2000'li yılların başından itibaren de sayısal görüntü işleme yazılımlarının geliştirilmesi, donanımlarının performanslarının artması, sayısal hava kameralarının gelişerek GNSS/IMU destekli uygulamalarla desteklenmesi fotogrametrik uygulamaların tamamen dijital fotogrametri olarak adlandırılan üretim teknikleriyle üretilmesine altlık hazırlamıştır.

Artık, günümüzde gelişen kamera sistemleri, yazılımların performansları, değerlendirme donanımlarının kapasiteleri üretimlerin çok daha pratik ve hızlı yapılmasına imkân vermektedir. Gelişen görüntü işleme tekniklerinin yanında yüksek kapasiteli işlemciler ve ekran kartları kullanılarak binlerce görüntüyle aynı anda dengelenmesi ve veri üretimi mümkün olabilmektedir.

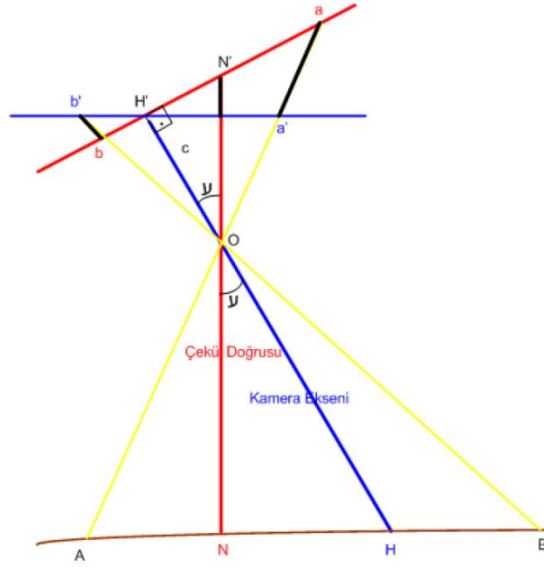
Dünyada bu alandaki evrensel gelişmeler ülkemizde de eşzamanlı olarak uygulama imkânı bulmuş ve özellikle Harita Genel Müdürlüğü, Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü, diğer kamu kurumları ve özel sektör ülkemizde ve yurt dışında yaptıkları çalışmalarla fotogrametrinin gelişmesine ön ayak olmuşlardır.

3.1.2. Eğik fotogrametri

Günümüzde teknoloji ile birlikte gelişen kamera sistemlerinin yanında yazılım ve donanım kapasitelerinin de artmasıyla eğik fotogrametrik yöntem çok daha yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Farklı sensörlerden elde edilen verilerle birlikte elde edilen ürünlerin niteliği de zenginleşmektedir. Temel olarak eğik fotoğraflar ile birlikte yapıların yan cepheleri de tüm açılardan görüntülenerek bu kısımlara ilişkin de veri üretimi yapılabilmektedir. Farklı açılarda konumlanmış kameralarla aynı anda fotoğraf çekimi yapıldığı için ek uçuş maliyetine gerek kalmaması da bu sistemin kullanılabilirliğini artıran bir başka nedendir.

Eğik fotogrametrik yöntem kent planlamalarında, altyapı uygulamalarında, taşınmaz değerlendirilmesinde, üç boyutlu kadastro işlerinde, kaçak yapıların tespitinde, yapılara ait imar planına uygun olmayan durumların tespitinde dünyada ve ülkemizde kullanılmaya başlamıştır. Bu çalışmalara örnek olarak ülkemizde Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü “3B Şehir Modellerinin Üretimi Ve 3B Kadastro Altlıklarının Oluşturulması İşleri” çalışmalarını 2018 yılından bu yana devam ettirmektedir.

Fotogrametride eğiklik açısı fotoğraf çekim merkezinin düşeyle yaptığı açı olarak tanımlanır. Eğiklik açısı 5° den büyük olarak alınmış fotoğraflar eğik fotoğraflar olarak tanımlanmaktadır. Düşey olarak çekilen hava fotoğraflarında yaklaşık fotoğraf ölçeği mevcuttur. Öte yandan eğik fotoğraflarda yaklaşık bir fotoğraf ölçeğinden söz etmek mümkün değildir. Eğik fotoğraflarda, fotoğraf ölçeği dik uzaklığa ve objenin konumuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. (Kılıç, 2014). Bu nedenle eğik fotoğraflarda faydalı alan olarak mümkün olduğunca objeye en yakın fotoğraf kullanılır.

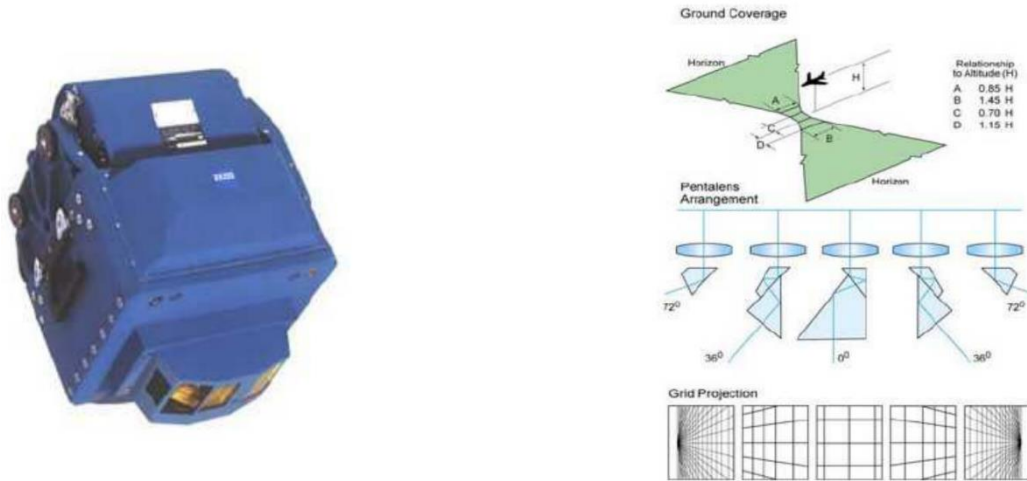


Şekil 3.1. Eğik fotogrametrinin izdüşümsel gösterimi (Kılıç,2014)

3.1.2.1 Kamera çeşitleri

Günümüzde kullanılan çoklu kamera sistemleri, kameraların konumlandırılması, kamera sayıları, spektral duyarlılığı, gibi özelliklerine göre farklı sınıflara ayrılırlar. (Remondino, 2015). Çoklu kamera sistemlerini kameraların konumlandırılmasına göre üçe ayırabiliriz.

- **Çapraz konumlandırma;** En yaygın kullanılan kamera sistemleridir. Tek nadir kamera ile 40° - 50° lik 4 adet eğik konumlandırılmış kameradan oluşur. Kameralar dar açılı ve geniş açılı görüş açısına sahip olabilir. Leica, Vexcel, Dimac gibi firmalar tarafından üretilen kameralar çapraz konumlandırma sistemine sahiptir.
- **Düz konumlandırma;** Düz konumlandırmada tüm optik eksenler tek bir dikey düzlemde konumlandırılmıştır. Fakat tüm alanı kapsayabilecek şekilde farklı yönlerde bakmaktadır. Bu sistemde uçuş yüksekliğine bağlı olarak tüm alanı kapsayacak şekilde 4-8 adet lense sahip kamera kullanılabilir. Şekil 3.2'de Zeiss firmasına ait düz konumlandırılmış eğik kamera sistemi görülmektedir.



Şekil 3.2. Zeiss KS-153 modeline ait düz konumlandırılmış eğik hava kamerası (Petrie,2008)

- **Blok şeklinde konumlandırma;** Birden çok kamera aynı eksen üzerinde değil blok şeklinde konumlandırmaya sahiptir. Bu konumlandırmanın örneği birinci nesil Z/I DMC kameralardır. Bu sistemler düşey hava kamerası olarak kullanılan geniş açılı kameraların eğik sistem haline uyarlanmasıyla yapılmaktadır (Remondino, 2015).

Günümüzde eğik fotogrametride kullanılan kamera sistemleri çizelge 3.1’de verilmiştir.

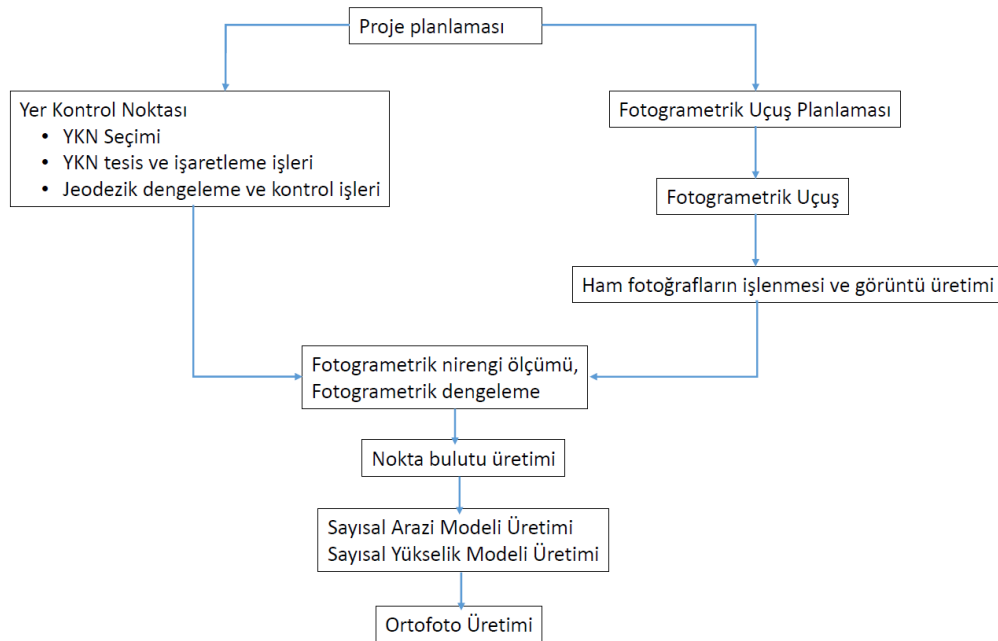
Çizelge 3.1. Eğik hava kameraları ve özellikleri (Remondino, 2015)

	Konumlandırma biçimi	Sensör sayısı	Sensör boyutu (nadir kamera-eğik kamera)	Piksel boyutu (micron)	Kamera odak uzaklığı (nadir kamera-eğik kamera)(mm)
Leica RCD30 Oblique	Çapraz konumlandırma	4+1	10320x7752	5.2	50-80
Vexcel Osprey Mark 3	Çapraz konumlandırma	4+1	8670x13470 7700x10300	5.2	82-100.5
Dimac Oblique	Çapraz konumlandırma	4+2	(2x)13000x8900 (4x)7600x8900	6	55-210
Midas 5	Çapraz konumlandırma	4+1	5616 x 3744 (Canon EOS-ID) 7360 x 4912 (Nikon D800E)	6.4 4.8	27-90
Trimble AIC	Blok konumlandırma	4	7228 x 5428 (RolleiMetric)	6.8	60-100
Vision map A3 edge	Düz konumlandırma	2	4864 x 3232 (Kodak)	7.4	300

3.2. Projede kullanılan materyal ve yöntem

Bu tez çalışması kapsamında test sahası olarak seçilen bölgenin klasik yöntem ve eğik fotogrametrik yöntemle fotogrametrik projeleri oluşturulmuştur. Her bir üretim tekniği için fotogrametrik projelerin oluşturulması ve iş akışları her bir bölümün alt başlıklarında detaylı olarak verilmiştir.

Eğik fotogrametrik yöntemde de temel olarak klasik yöntemdeki iş akışları geçerlidir. Bu tez çalışması kapsamında uygulanan temel üretim tekniklerine ilişkin iş akış şeması genel olarak Şekil 3.1.'de gösterilmiş ve her bir işlem adımında geçerli olan işlemler alt bölümlerde açıklanmıştır.



Şekil 3.3. Fotogrametrik iş üretim süreci

3.3. Proje Planlaması

Fotogrametrik işlerde proje planlaması yapılırken fotogrametrik veri üretilecek alanın sınırları belirlenir, arazinin topografik yapısı incelenir. Projesi yapılacak alanın sınırları 1/25000 ve daha küçük ölçekli topoğrafik haritalarda işaretlenir ve yaklaşık proje sahası belirlenir. Proje planlamasını yapılırken proje kapsamında fotogrametrik üretimi yapılacak meskûn ve gayri meskûn alanlar yaklaşık olarak hesaplanır.

İş tanımına göre projenin girdi verilerinin ve sonuç ürünlerin doğrulukları belirlenir. Projeden beklenen doğruluğa göre uygun yer örnekleme aralığında fotogrametrik uçuş yapılır. Proje sonuç ürünlerinin doğruluğu proje süresini ve maliyetini doğrudan etkileyen bir unsurdur. Örnek verecek olursak aynı alanın 1/1000 ve 1/2000 ölçekli harita üretimi için yapılacak fotogrametrik uçuş yüksekliği birbirinden farklı olacaktır. Dolayısıyla 1/2000 ölçekli harita üretimi için çekilen hava fotoğrafları yaklaşık iki kat daha büyük bir alanı tarayacak bu da uçuş süresinin yarı yarıya azalmasına neden olacaktır. Böylelikle uçuş maliyetinde ve süresinde ciddi farklar ortaya çıkacaktır. Benzer şekilde fotoğraf sayısı azaldığı için yer kontrol noktası sayısı da azalacaktır. Fotogrametrik stereo sayısallaştırma detay yoğunluğu da aynı şekilde haritanın ölçeğine bağlı olarak değişecek ve proje süresi ile maliyetini doğrudan etkileyecektir.

Tez çalışması kapsamında, Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü Harita Dairesi Başkanlığı tarafından 3 Boyutlu (3B) Şehir modellerinin üretimi 3B kadastro altlıklarının oluşturulması kapsamında çekimi yapılan hava fotoğrafları kullanılmıştır. Yapılan proje Türkiye genelinde belirlenen yerleşim alanlarında (il, ilçe ve mahalle) kadastro haritalarının dijital kadastro ve tapu bilgilerini destekleyecek şekilde yenilenmesi, güncellenmesi ve her türlü planlama, projelendirme ve konumsal uygulamalarda kullanılmak üzere “3B Şehir Modellerinin Üretimi ve 3B Kadastro Altlıklarının Oluşturulması İşi” ni kapsamaktadır.

Proje planlamasını, fotogrametrik, jeodezik ve mimari olarak 3 ana başlığa ayırabiliriz.

Projenin fotogrametrik planlaması eğik fotogrametrik yöntemine göre yapılmıştır. Proje kapsamında çekilen eğik fotoğraflar “Ultracam Osprey Mark 3 Premium” eğik fotogrametrik kamera ile çekilmiştir. Yaklaşık 8-10 cm yer örnekleme aralığıyla uçuş yapılmıştır. Klasik fotogrametriden farklı olarak 5 kamerayla birden eğik fotoğrafların çekilmesi gerekliliği uçuş alanını ve uçuş süresini artırmış proje planlaması bu detaylar göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

Projenin jeodezik planlamasında da klasik fotogrametriden farklı olarak eğik fotoğrafların kapladığı alanlar dikkate alınarak uygun sayıda yer kontrol noktası tesis edilmesi öngörülmüştür. Aynı alanda 5 farklı kamerayla çekim yapılacağı düşünüldüğünde fotoğraf başına düşen yer kontrol noktası sayısı klasik fotogrametrik yöntemle göre 5 kata kadara azalabilmektedir. Bu nedenle projenin yer kontrol noktası planlaması yapılırken bu temel husus göz önüne alınarak yaklaşık nokta sayısı, tesis ve ölçme süresi ile maliyeti hesaplanmıştır.

3.4. Fotogrametrik uçuş planlaması

Uçuş planlamasında proje alanının büyüklüğüne uygun olarak fotogrametrik bloklar oluşturulması gerekmektedir. Uçuş kolonları mümkün olduğu kadar doğu batı veya kuzey güney yönlerinde yapılmalıdır. Çapraz uçuşlardan kaçınılmalıdır. Uçuş planlaması yaparken yapılacak proje ölçeğine göre yer örnekleme aralığı belirlenmesi gerekmektedir. Yer örnekleme aralığı BÖHHBÜY madde 54’de şu şekilde belirtilmiştir.

Yer örnekleme aralıkları, üretilecek harita ve ortofoto ölçeğine bağlı olarak belirlenir. Çekilecek hava fotoğraflarının yer örnekleme aralığı, harita ve ortofoto ölçeğinin;

- a) 1/5000 olması durumunda 30 cm’den,
 - b) 1/2000 olması durumunda 20 cm’den,
 - c) 1/1000 olması durumunda 10 cm’den,
 - ç) 1/500 olması durumunda 5 cm’den,
- fazla olamaz.

Yer örnekleme aralığında, uçuş koşullarından kaynaklanan $\pm\%10$ değişimler kabul edilir.”

$$1/Mr=c/h=s/S \quad (3.1)$$

Mr : Fotoğraf ölçeği

c : Kameranın odak uzaklığı

h : Uçuş yüksekliği

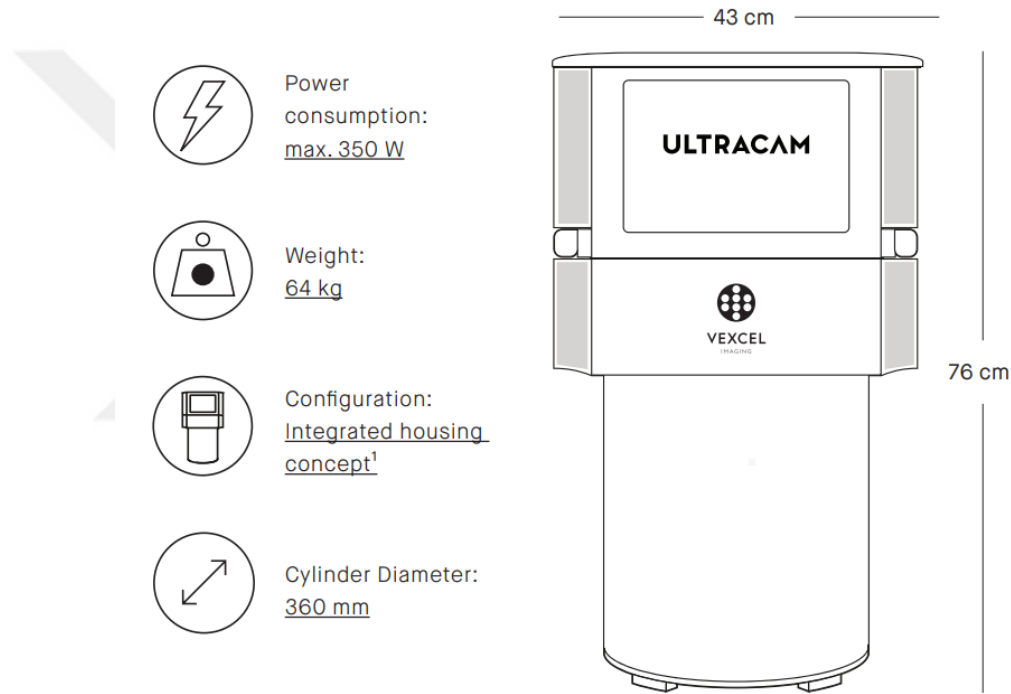
s : Fotoğraftaki 1 pikselin boyutu

S : Arazideki bir pikselin boyutu (yer örnekleme aralığı)

Yukarıdaki formülde yer örnekleme aralığı ve uçuş yüksekliğinin doğru orantılı olduğu görülmektedir. Yani uçuş yüksekliği arttıkça yer örnekleme aralığı da artar ve dolayısıyla fotogrametrik harita ölçeğimiz de küçülür.

Tez çalışması yapılan alan İzmir İli sınırları içerisinde bulunmaktadır. Fotogrametrik proje genelinde bakacak olursak İzmir İli kuzey ve güney olarak iki kısımda fotogrametrik proje planlaması yapılmıştır. Tez çalışması yapılan alan İzmir İli Kuzey kısmı sınırları içerisinde kalmaktadır.

Uçuşu yapılan fotogrametrik projede “Ultracam Osprey Mark 3 Premium” eğik fotogrametrik kamera kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Ultracam Osprey Mark 3 Premium hava kamerası fiziksel özellikleri

Uçuş planlaması yapılırken ilk olarak kullanılan kameranın teknik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Kameranın teknik özelliklerini kamera kalibrasyon raporundan görebiliriz. Kamera kalibrasyon raporunun güncel olması, uçuş ve fotogrametrik nirengi işlemleri için oldukça önemlidir. Çünkü bakımı yapılmamış ve kalibrasyon raporu güncel olmayan kamera parametreleri ile dengeleme yaptığımızda iç yöneltmeyi tam olarak çözemediğimiz için dengelemede hata kaynağı olarak karşımıza gelecektir.

Tez çalışması yapılan projede kullanılan kameranın teknik özellikleri Şekil 3.3'te verilmiştir.

Image Format	long track	45.084mm	8670pixel
	cross track	70.044mm	13470pixel
Image Extent		(-22.542, -35.022)mm	(22.542, 35.022)mm
Pixel Size		5.200µm*5.200µm	
Focal Length	ck	82.000mm	± 0.002mm
Principal Point (Level 2)	X_ppa	0.000mm	± 0.002mm
	Y_ppa	0.000mm	± 0.002mm
Lens Distortion	Remaining Distortion less than 0.002mm		

Şekil 3.5. Nadir hava kamerası parametreleri

Uçuş planlaması yapılırken kamera kalibrasyon raporundan odak uzaklığı ve piksel boyutu değerlerini kullanılmıştır. Yapılacak projeye uygun olan yer örnekleme aralığı maksimum 10 cm olarak belirlenmiştir.

Bu durumda daha önce açıklaması yapılan $c/h=s/S$ formülüne göre maksimum uçuş yüksekliği belirlenmiştir.

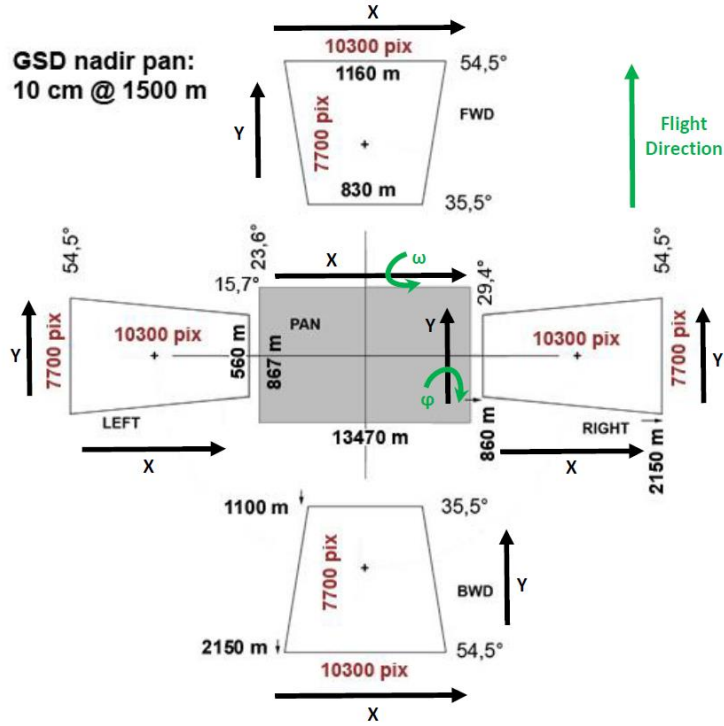
$$1/Mr=c/h=s/S \quad (3.2)$$

$$82\text{mm} / h(\text{metre}) = 5.2 \text{ micron} / 10\text{cm}$$

$$\text{Uçuş yüksekliği}(h) = 82000 \times 100000/5.2 \text{ (micron.)}$$

$$\text{Maksimum uçuş yüksekliği} (h) = 1577 \text{ metre}$$

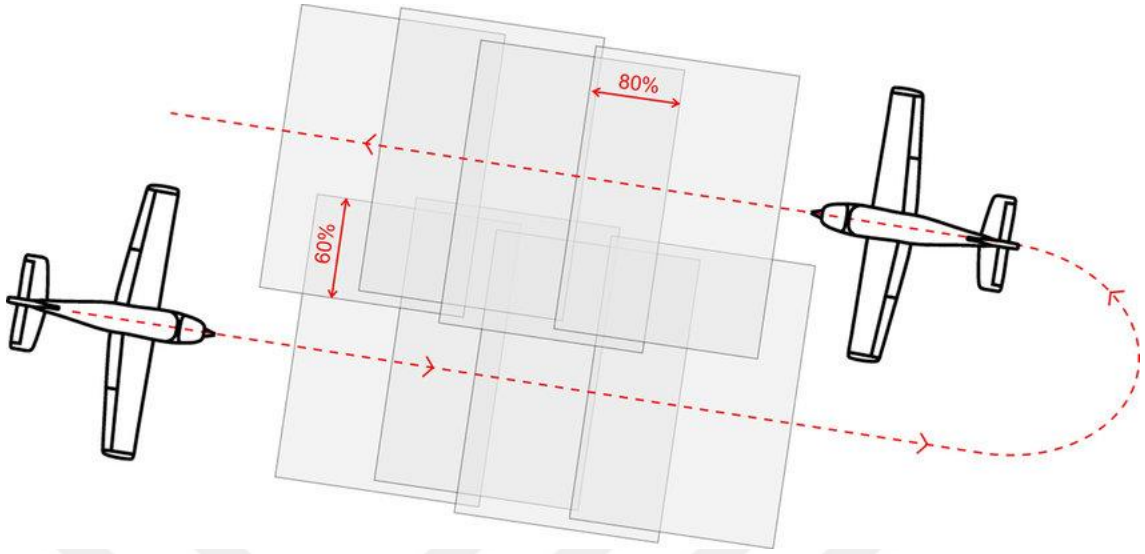
Eğik fotogrametrik uçuş planlaması da klasik fotogrametrik yöntemle benzer şekilde nadir (dik) uçuşa göre yapılmaktadır. Uçuş kolonları ile enine ve boyuna bindirme oranlarını planlamak için yine kamera kalibrasyon raporunda mevcut olan yatay ve düşey yönlere piksel sayılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Fotoğrafların boyutuna göre dik çekim yapılmaktadır. Boyuna bindirme daha yüksek olduğu için fotoğraflar dik konumda çekilmeli ve kolon genişliği dik fotoğraf geometrisine göre hesaplanmalıdır.



Şekil 3.6. 10 cm yer örnekleme aralığı için nadir ve eğik kameralardan çekilen fotoğraf boyutları

Şekil 3.4.'de kuzey güney yönlü ve 10 cm yer örnekleme aralığında yapılacak uçuş planı için fotoğraf boyutları verilmiştir. Projesi yapılan uçuşun doğu batı yönünde ve yer örnekleme aralığı 10 cm olacak şekilde uçuş planı yapıldığı düşünülürse, dik fotoğrafların kapladığı alan yaklaşık olarak 1347 x 867 metre olacaktır. Bu da bir fotoğrafın arazide yaklaşık 116 hektarlık alan kaplaması demektir. %75-%80 boyuna bindirme oranı ile hesap yapacak olursak yaklaşık 216 metre arayla fotoğraf çekimi yapılması gerekecektir.

Enine bindirme oranını hesaplarken ise resmin dik uzunluğu baz alınarak kolon genişlikleri belirlenecektir. 10 cm yer örnekleme aralığı ile hesap yapacak olursak fotoğrafın dik kenarının 1347 metre olduğunu görüyoruz. Yaklaşık %60-%65 boyuna bindirme oranı ile uçuş planı hesaplanacaktır. Bu da kolonlar arası mesafenin yaklaşık olarak 580 metre olarak belirlenmesini sağlayacaktır.

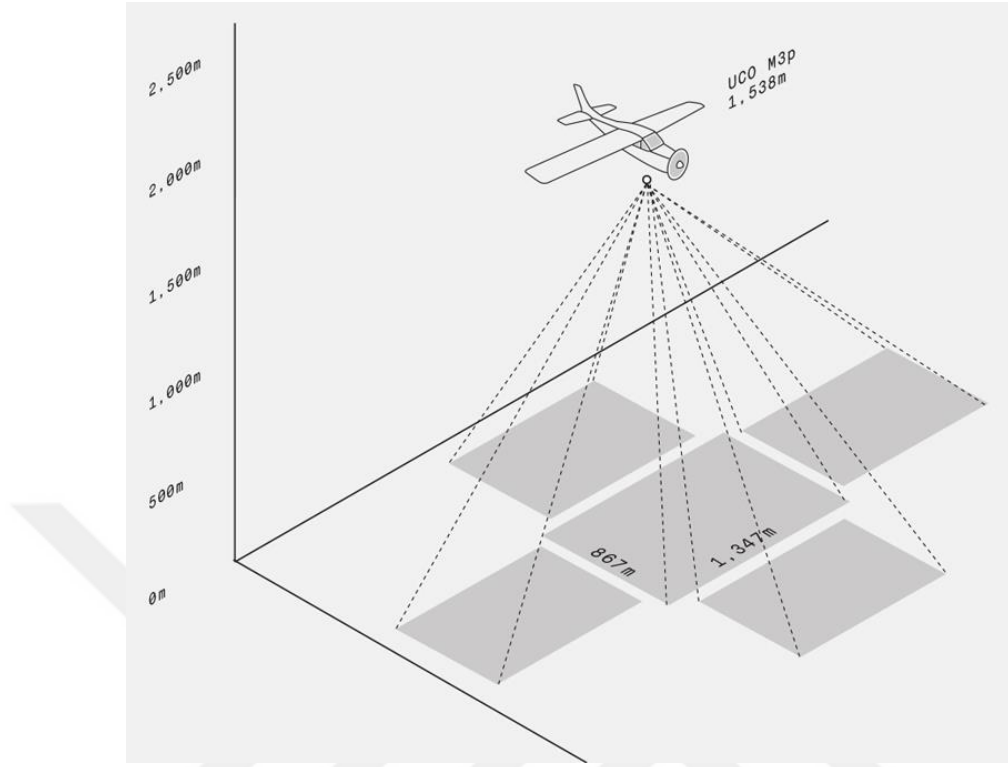


Şekil 3.7. %80 boyuna %60 enine bindirme oranlı uçuş planlaması

Enine ve boyuna bindirme oranlarında uçuş kolonları oluşturulduktan sonra yaklaşık fotoğraf sayısı, uçuş süresi gibi parametreler hesaplanabilecektir.

Eğik fotogrametrik uçuş planlaması yapılırken dikkat edilmesi gereken önemli bir detay ise projesi yapılacak alana ait eğik görüntüler omega veya phi açıları ekseninde yaklaşık 45°'lik eğimle yapılmaktadır.

Şekil 3.4.'de görüleceği gibi sağ ve sol kameralar fotoğraf çekim merkezinden itibaren 860 metreden başlayıp 2150 metreye kadar görüntü alımı yapmaktadır. Ön ve arka kameralar ise 1100 metreden başlayıp 2150 metreye kadar görüntü alımı yapmaktadır. Yani belirlenen proje tahdit sınırında tüm kameralardan görüntü alımı gerçekleştirebilmek için uçuş planlaması bu değerler göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Kolonlar arası mesafeyi yaklaşık 580 metre olarak hesaplamıştır. Bu durumda sağ ve sol fotoğrafların proje alanını kapsayabilmesi için en az 2 uçuş kolonu proje sahasının dışında uçuş yapılması gerekmektedir. Ön ve arka kameralar için ise boyuna bindirme oranı esas alınmalıdır. Yaklaşık 216 metre arayla fotoğraf çekimi yapıldığı düşünülürse her bir kolon proje sınırı dışında en az 10 fotoğraf fazladan görüntü alımı yapılmalıdır.



Şekil 3.8. Eğik görüntü alımı fotoğraf boyutları

Tez çalışması yapılan İzmir-Kuzey projesi kapsamında yaklaşık olarak 50.000 hektarlık bir alanda fotogrametrik uçuş yapılmış ve her bir kamerayla yaklaşık 6400 fotoğraf olmak üzere toplam 32000 fotoğraf çekilmiştir. Doğu batı doğrultusunda uçuş yapılmıştır.

Planlaması yapılan fotogrametrik uçuş tarihleri için BÖHHBÜY Madde 57’de “Uçuş görevi, Nisan ayının başı ile Ekim ayının sonu arasındaki dönemde uçuş planına uygun olarak bulutsuz bir havada, yerel öğle zamanından yaklaşık iki saat önceki ve sonraki zaman aralığında gerçekleştirilir. Bu dönem ve saat aralığı dışında zorunlu hallerde, idarenin onayı alınarak fotoğraf çekimi yapılabilir. Fotoğraf çekimi sırasında güneşin yükseklik açısı 30°’den büyük olmalıdır” denmektedir. Hava fotoğrafları çekim işlemleri bu maddeye uygun şekilde yapılmalıdır.

Fotogrametrik uçuş izinleri için ise Harita Genel Müdürlüğü’ne ilgili kamu kuruluşu tarafından üst yazı ile başvuru yapılarak gerekli izin yazısı alınmalı ve akabinde Sivil Havacılık Kurumu’nun verdiği “notam” yazısına göre fotogrametrik uçuş gerçekleştirilmelidir.

3.5. Ham fotoğrafları işlenmesi ve görüntü üretimi

Dijital görüntü, dijital fotogrametrinin temel girdi verisidir. Dijital görüntü işleme, bilgisayar ve yazılım yardımı ile görüntülerin elde edilmesi, depolanması, işlenmesi ve çeşitli ölçme ve yorumlama amaçları için farklı türdeki gösterimlere hazır hale getirilmesi olarak tanımlanır. Dijital görüntü işleme bir görüntünün ve özelliklerinin değiştirilmesi için kullanılan çok çeşitli teknikleri içerir. En basit düzeyde görüntü işleme, görüntüdeki piksellerin konumlarının değiştirilmesi ile gerçekleştirilir. (Karşlı,2016)

Uçuş sırasında kaydedilen görüntüler RAW formatında olup direkt olarak görüntülenemezler. Ancak proses sonrası görüntüler TIFF ya da diğer bir raster formatta kullanılabilir. Görüntüler 3 temel formatta işlenmiştir; bunlar **Level 0**, **Level 2** ve **Level 3** olarak adlandırılmaktadır:

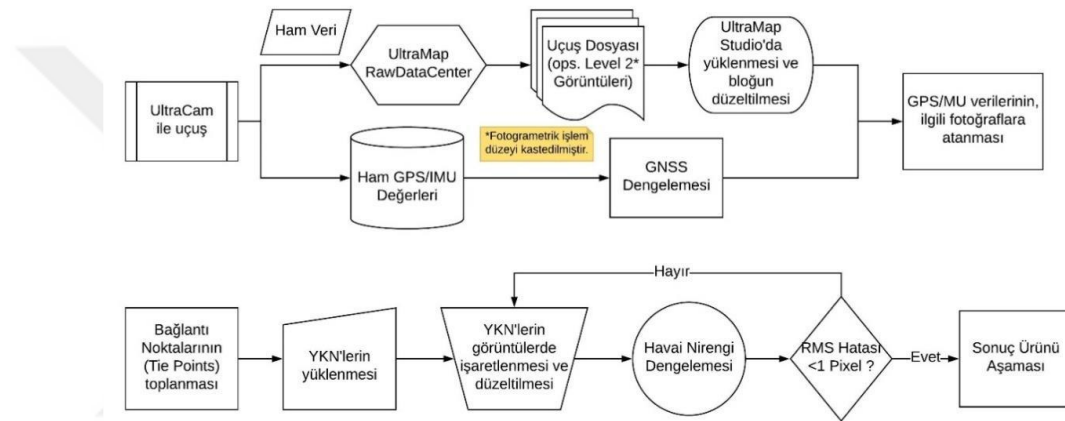
- **Level 0:** Uçaktaki diskten alınan ham dataların işlem bilgisayarlarına indirilmesi (Dump işlemi) işlemidir.
- **Level 2:** 9 parçada çekilen 9 cm GSD'ye sahip Pankromatik görüntünün ve 3 bantta çekilen Renkli RGB görüntünün birleştirilerek tek resim haline getirilmesi işlemidir.
- **Level 3:** 9 cm'lik Pankromatik görüntünün 18 cm'lik RGB görüntü ile kullanılarak "Pan Sharphening" yöntemi ile renklendirilmesi, radyometrik dengelemelerinin yapılması ve resmin TIFF formatına dönüştürülmesi işlemidir.

Level 0 formatında alımı yapılan hava fotoğrafları Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü Harita Dairesi tarafından radyometrik düzeltmeleri yapılarak görüntülenebilir fotoğraf haline getirilmiştir. Bu sayede elde edilen görüntü kalitesi yüksek fotoğraflarla, hem stereo kıymetlendirme (üç boyutlu değerlendirme) esnasında görüntü bozukluğu nedeniyle görülemeyen ve çizilemeyen detayların kaybı engellenmiş; hem de oluşturulan ortofotolarda renk, ton, kontrast ve parlaklık bütünlüğü sağlanmıştır. Bu süreçte kullanılan hava kamerasının kendi görüntü işleme yazılımı olan "Ultramap" yazılımı kullanılmıştır.

3 Boyutlu şehir modellerinin üretimi için gerekli olan görüntü işleme ve görüntülerden veri elde edilmesi işlemi için veri setleri boyutları oldukça büyük olmaktadır. Bunun yanı sıra çalıştırılacak algoritmalar kapsamlı ve çoklu işlemciye

ihtiyaç duymasından dolayı gelişmiş donanımlarla çalışmak gerekmektedir (Ayyıldız,2017).

Algoritmalar görüntülerin üzerinde çalışacağı için paralel işlemciye sahip 4 adet GPU özellikli 128 GB ekran kartı donanım üzerinde bulunmalıdır. Verilerin büyük olması ve hızlı erişim gerektiğinden donanımın depolama ünitesi 7 x 480 GB SSD ve işletim sistemi için ise 15k RPM özelliğine sahip 3 adet 300 GB SAS tipinde disklerin kullanılması uygun görülmektedir. Donanım üzerinde üretilen verilerin sunumunda sıkıntı yaşamamak için ise iki adet 10 GB SFP bağlantı (network) kartı bulunmalıdır.(Erkek ve ark., 2016)



Şekil 3.9. UltraMap programı fotogrametrik iş akış şeması (Halıcı,Aydın, 2019)

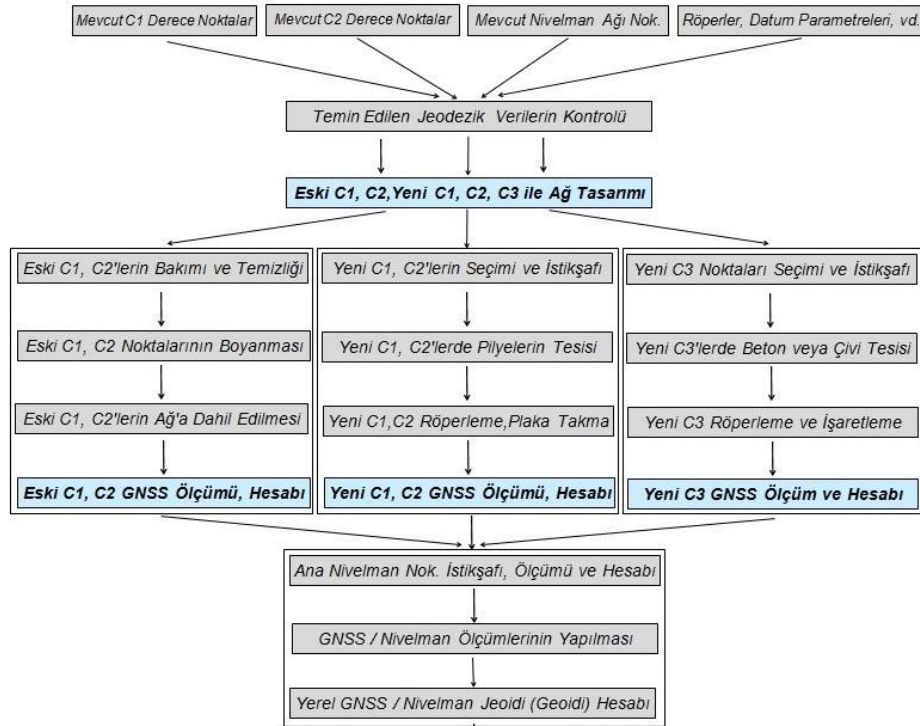
3.6. Yer kontrol noktası

Yer kontrol noktaları, koordinatları jeodezik yöntemlerle belirlenen ve zeminde yapılan işaretlemelerle fotogrametrik nirengide ölçümleri yapılan noktalardır. BÖHHBÜY'de de belirtildiği gibi fotogrametrik yöntemlerin uygulanmasında kullanılan YKN bu yönetmelikte belirtilen esaslar çerçevesinde en az C3 derece ağ özelliğinde tesis edilir, ölçülür ve hesaplanır.

3.6.1. Yer kontrol noktası seçimi

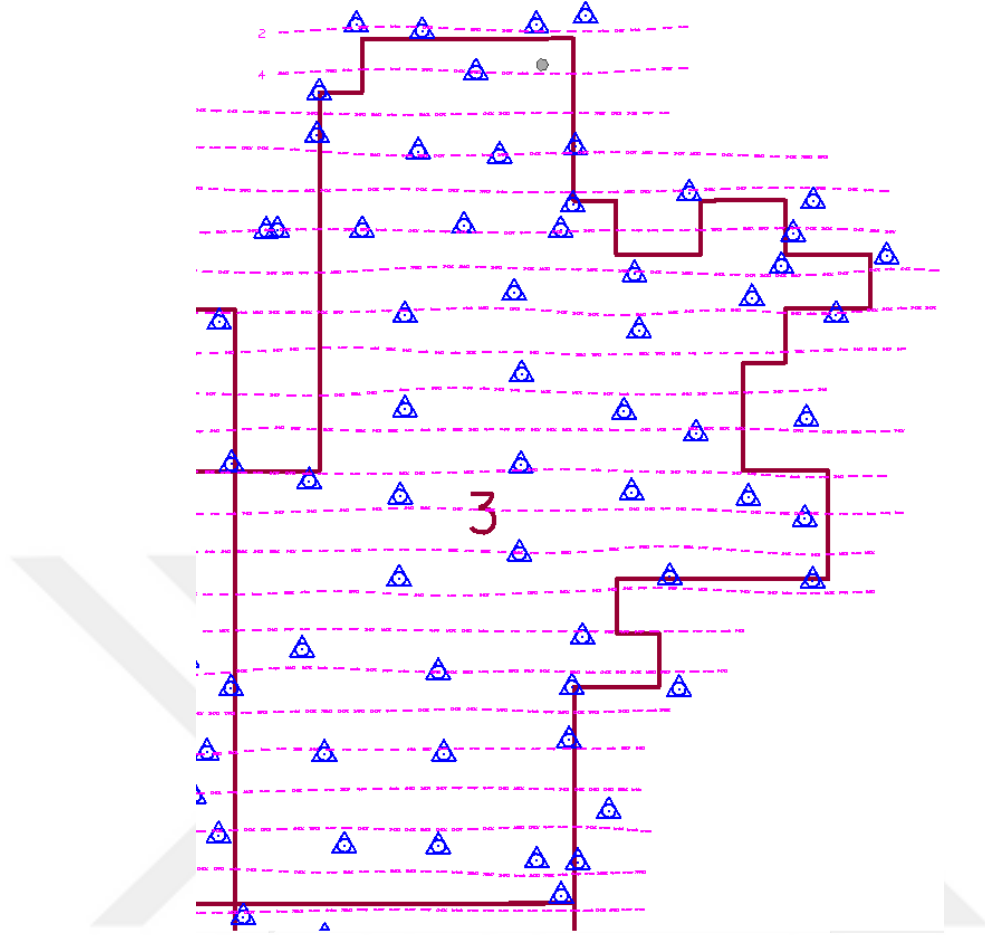
Yer kontrol noktası seçiminde öncelikle proje alanında mevcut nirengi noktalarının tespiti yapılmalıdır. İlgili kamu kuruluşundan zeminde daha önce tesisi

yapılmış nirengi noktaları temin edilerek sahada istikşaf çalışması yapılmalıdır. Zeminde bulunan mevcut noktalar tespit edilerek nirengi kanavasına işaretlenmelidir.



Şekil 3.10. Jeodezik ağ tasarımı ve ykn tesis işlemleri

Temin edilen jeodezik noktalar fotogrametrik uçuş planı ile karşılaştırılarak blok geometrisine uygun olan noktalar tespit edilmelidir. Fotogrametrik bloklar, blok köşelerine en az bir yer kontrol noktası gelecek şekilde planlanmalıdır. Yer kontrol noktası sıklığı BÖHHBÜY’de “Klasik fotogrametrik nirengi yöntemi kullanılacak ise blok çevresinde fotoğraf çekim bazının iki katı, blok içinde de bazın dört katı aralıkları geçmeyecek şekilde en az birer adet YKN oluşturulur. Bu noktaların koordinatları ve yükseklikleri C3 derece ağ noktaları niteliğindedir.” şeklinde ifade edilmektedir. Eğik fotogrametrik yöntemde hem fotogrametrik bindirme oranının yüksek olması aynı zamanda fotoğraf sayısının da fazla olması nedeniyle klasik fotogrametrik yöntemden daha fazla yer kontrol noktası tesis edilmesi karşılıklı ve mutlak yöneltme doğruluğunu artıracaktır. Yapılan çalışma kapsamında 250 adet yer kontrol noktası ölçümü ve hesabı yapılmıştır.



Şekil 3.11. Yer kontrol noktası dağılımı

Şekil 3.9.'da tez çalışması yapılan fotogrametrik bloğa ait yer kontrol noktası dağılımı verilmiştir. Blok alanı yaklaşık olarak 5230 hektarlık alanı kapsamaktadır. Blok sınırları içerisinde 65 adet yer kontrol noktası tesisi yapılmıştır.

3.7. Fotogrametrik nirengi

Fotogrametrik nirengi süreci fotogrametrik blokların oluşturulması ile başlamakta, buna uygun olarak jeodezik çalışmalar ve uçuş planlarının yapılması süreçleri ile birbirine bağlantılı olarak devam etmektedir.

Fotogrametri bilimi teknolojiyle doğrudan ilişkili olarak gelişmektedir. Geçmişten günümüze kullanılan fotogrametrik nirengi yöntemlerini en ayrıntılı biçimde şöyle sınıflandırmak uygundur;

Ölçüm yöntemine göre:

- Analog yöntem,
- Yarı analitik yöntem,
- Analitik yöntem.

Üzerinde ölçmelerin yapıldığı fotogrametri birimi (kolon, model ve resimler) esas alınarak:

- Kolon dengelemesi,
- Bağımsız modellerle blok dengeleme (Model),
- Işın demetleriyle blok dengeleme (Resim).

Hesaplama düzenleri için kullanılan formüllere göre:

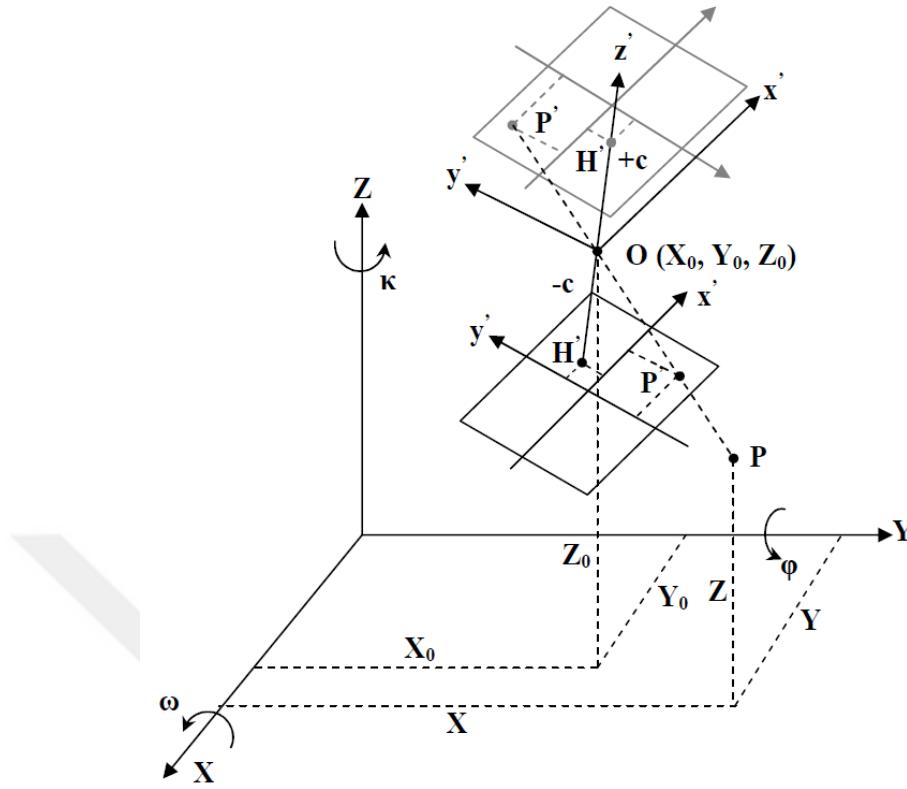
- Polinom yöntemi,
- Kolon dengelemesi,
- Bağımsız modeller yöntemi,
- Işın demetleri (bundle) yöntemi,
- GNSS destekli blok dengeleme yöntemi,

Otomatik fotogrametrik nirengi ve blok dengelemesi. (Özbalmumcu,2006)

Özellikle GNSS ve IMU (Inertial Measurement Unit) sistemlerinin gelişmesiyle birlikte günümüzde kinematik GNSS destekli fotogrametrik nirengi yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntemin ışın demetleri ile dengelemeden en büyük farkı dış yöneltme parametrelerinin bilinmeyen olarak değil ölçülen değerler olarak dengelemeye katılmasıdır.

3.7.1. Işın demetleri ile dengeleme (bundle adjustment)

Fotogrametrinin temelinde matematiksel model merkezsel izdüşüm esasına göre oluşturulmuştur. Merkezsel izdüşüm, uzaydaki noktaların izdüşüm merkezi adı verilen bir noktadan geçen doğrularla, bir düzlem üzerine veya başka bir uzay bölümüne izdüşürülmesi olarak tanımlanır.(Demirer, 2015). Fotogrametrinin temelini oluşturan fotoğraf ise, uzaydaki noktaların, bir düzlem üzerine, o düzlem dışındaki bir noktadan geçen ışık ışınlarıyla (doğrularla) izdüşürülmesidir. Merkezsel izdüşüm, izdüşüm merkezinin izdüşüm düzlemlerine göre ve izdüşüm düzlemlerinin birbirlerine göre konumu bakımından farklılıklar gösterir. (Demirer,2015)



Şekil 3.12. Merkezi izdüşüm modeli

Merkezi izdüşüm bağlantısı matematiksel olarak aşağıda verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \lambda \cdot R \begin{bmatrix} x' - x_p \\ y' - y_p \\ -c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}$$

(3.3)

Bu bağlantıda;

- X, Y, Z : P noktasının koordinatları,
- X_p, Y_p : İç yöneltme ana nokta koordinatları,
- x', y' : P' noktası fotoğraf koordinatları,
- c : Kamera odak uzaklığı,
- X₀, Y₀, Z₀ : İzdüşüm merkezi cisim uzay koordinatları
- λ : Her bir ısn için ölçek faktörü

olarak tanımlanmıştır.

Şekil 3.10.'da merkezi izdüşüm bağlantısı dönüklük değerleri ω, φ, κ olarak verilmiştir.

Görüntü ve cisim koordinat sistemleri arasındaki dönüklük (dönme) matrisi (3.4.)'de verilmiştir.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (3.4.)$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\omega \cdot \cos\kappa & -\cos\varphi \cdot \sin\kappa & \sin\varphi \\ \cos\omega \cdot \sin\kappa + \sin\omega \cdot \sin\varphi \cdot \cos\kappa & \cos\omega \cdot \cos\kappa - \sin\omega \cdot \sin\varphi \cdot \sin\kappa & -\sin\omega \cdot \cos\varphi \\ \sin\omega \cdot \cos\kappa - \cos\omega \cdot \sin\varphi \cdot \cos\kappa & \sin\omega \cdot \sin\kappa + \cos\omega \cdot \sin\varphi \cdot \sin\kappa & \cos\omega \cdot \cos\varphi \end{bmatrix}$$

Merkezi izdüşümün tanımı gereği O noktası (X_0, Y_0, Z_0) , P' noktası fotoğraf koordinatları ve P noktasının koordinatları (X, Y, Z) bir doğru üzerinde bulunmaları gerekmektedir. Bu da kolinearite (doğrusallık koşulunu sağlamaktadır.)

Her bir ışın için farklı olan ölçek faktörü (λ) elimine edildiğinde oluşan Kolinearite (doğrusallık) eşitlikleri denklem (3.5.) ve (3.6)'da verilmiştir.

$$\hat{x} = x_p - c \cdot \frac{r_{11} \cdot (X - X_0) + r_{21} \cdot (Y - Y_0) + r_{31} \cdot (Z - Z_0)}{r_{13} \cdot (X - X_0) + r_{23} \cdot (Y - Y_0) + r_{33} \cdot (Z - Z_0)} \quad (3.5.)$$

$$\hat{y} = y_p - c \cdot \frac{r_{12} \cdot (X - X_0) + r_{22} \cdot (Y - Y_0) + r_{32} \cdot (Z - Z_0)}{r_{13} \cdot (X - X_0) + r_{23} \cdot (Y - Y_0) + r_{33} \cdot (Z - Z_0)} \quad (3.6.)$$

Görüntü düzleminde elde edilen x', y' fotoğraf koordinatları affin dönüşümü ile coğrafi koordinat sistemine çevrilerek cisim koordinat sistemi elemanları bulunmuş olmaktadır.

3.7.2. GNSS (Global Navigation Satallite System) / IMU (Inertial Measurement Unit) Sistemi

IMU'lar, hız, yön, ivme, özel kuvvet, açılal oran ve cihazı çevreleyen manyetik alanlar gibi çeşitli faktörleri ölçebilir.

Bir IMU'daki her araç, farklı veri türlerini yakalamak için kullanılır:

- İvmeölçer: hız ve ivmeyi ölçer
- Jiroskop: dönüşü ve dönüş oranını ölçer
- Manyetometre: ana yönü belirler (yönlü yön)

IMU'lar, doğru çıkış hareketini sağlamak için birkaç farklı sensör türünden gelen girdiyi birleştirir.

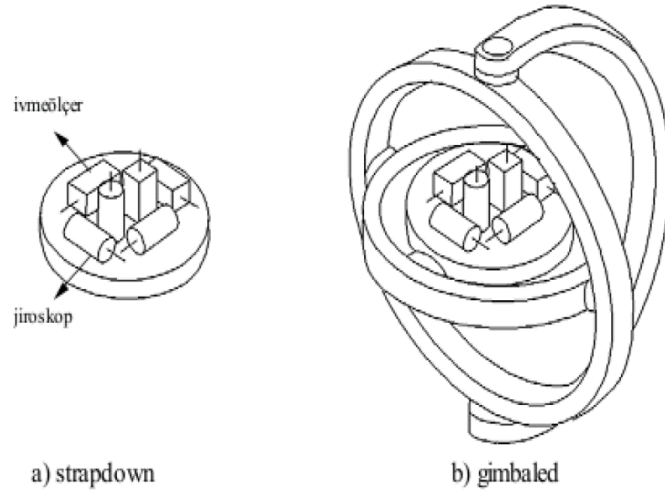
Temel prensibi Newton'un "Sürtünmesiz bir ortamda hareketsiz bir kütle, dışarıdan bir kuvvet veya tork etki etmediği sürece hareketsiz kalır, sabit hızla hareket eden bir kütle ise sabit hızla hareketine devam eder" biçimindeki ilk hareket kanunu'na dayanmaktadır. Bu özellik aynı zamanda eylemsizlik prensibi olarak da isimlendirilmektedir. (Nolan, 1995).

Fotogrametrik çalışmalarda 2 çeşit IMU sistemi kullanılmaktadır. Bunlar;

- Gimbaled (Sabit) Sistemler
- Strapdown (Hareketli) Sistemler

"Gimbaled" sistemlerde 3 adet jiroskop ve ivmeölçer bir platforma sabit olarak yerleştirilmiştir. Bu platform, oluşturulan düzenerk yardımıyla aracın hareketlerinden etkilenmemektedir ve dolayısıyla sabit kalmaktadır. Bu sistemde kaydedilen dönüklükler sabittir ve önceden tanımlanmış olan koordinat sistemine göre belirlenebilmektedir. Oldukça hassas olan bu sistemler aynı zamanda karmaşık sistematik yapıya sahiptirler. Bu nedenle üretim maliyetleri çok yüksektir. Bu da sistemin en büyük dezavantajıdır.

Sabit bir platform üzerine jiroskoplar ve ivme ölçerler yerleştirilerek strapdown sistemler kurulur. Bu platformlar aracın hareketi ile birlikte hareket ederler. Açısal hız değişimleri jiroskoplarla sürekli kaydedilmektedir. İvmeölçerler de hareketlidir ve aracın hareketlerinden etkilenmektedir. Bu sistemde belirlenen dönüklük verileri, "gimbaled" sistemlerde olduğu gibi tanımlanan sabit bir koordinat sistemine göre değil araca göre tanımlanan platform koordinat sistemine göre kaydedilmektedir. "Strapdown" sistemlerde sistem yapısı daha basittir. Bu sebeple platform sistemlere göre daha ucuzdur. Sonuç olarak doğrudan yönetme amaçlı kullanımlarda ağırlıklı bu sistemler tercih edilmektedir. Strapdown sistemlerde elde edilen doğruluk teknolojik gelişmelerle birlikte artmaktadır (Yastıklı, 2003).



Şekil 3.13. Strapdown ve gimbaled IMU dizaynı (Yastıklı, 2003)

IMU ile ölçülen değerlerin işlenmesi, kaydedilmesi ve sunulmasının için kullanılan yazılım ve donanım sistemleri bütünü INS'i (Inertial Navigation System) oluşturmaktadır.

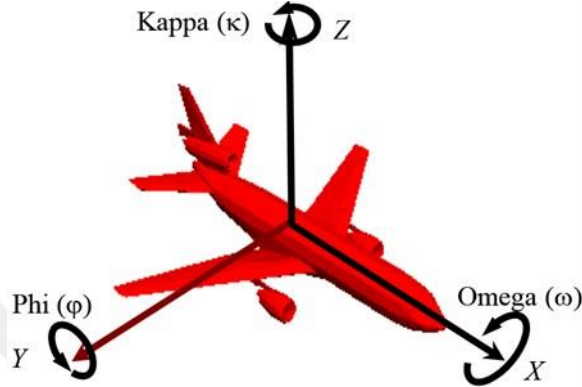


Şekil 3.14. GPS-IMU Özelliğine Sahip Uçuş Yönetim Sistemi (FMS: Flight Management System)

IMU sistemleri GNSS'den farklı olarak bağımsız sistemlerdir. Herhangi bir uydu bağlantısına ihtiyaç duymaz. Kinematik destekli fotogrametride GNSS sistemleri ile birlikte kullanılarak dış yöneltme elemanlarının yaklaşık değerlerinin belirlenmesini sağlamaktadır.

3.7.3. Kinematik destekli fotogrametrik nirengi

Kinematik destekli fotogrametrik nirengi yönteminde her bir hava fotoğrafı için GNSS ile resim orta noktası koordinatları IMU ile dönüklük açıları (omega, phi ve kappa) fotoğraf çekim anında kayıt edilmektedir. Böylelikle kaydedilen dış yöneltme değerleri bilinmeyen değil yaklaşık değer ölçü olarak dengelemeye dahil edilmektedir.



Şekil 3.15. Dönüklük açıları

Şekil 3.11.'de dönüklük açıları verilmiştir. Buna göre üç boyutlu uzayda X ekseninde yapılan bir uçuşa göre uçağın X eksenini ile yaptığı açı "omega" açısı, Y eksenine yaptığı açı "phi" açısı ve Z eksenine yaptığı açı ise "kappa" açısı olarak isimlendirilmektedir.

Kinematik GNSS destekli fotogrametrik nirengi yöntemi temelde ışın demetleri yöntemiyle dengeleme esasına dayanmaktadır. GNSS ile elde edilen resim orta noktaları değerleri (izdüşüm merkezi koordinatları) ve "IMU" ile elde edilen resim dönüklük değerleri fotogrametrik nirengi dengelemesinde yaklaşık değer (ek parametreler) olarak kullanılır. GNSS/IMU destekli fotogrametrik nirengide her bir resmin dış yöneltme parametrelerine ait yaklaşık değerler yer kontrol noktasına ihtiyaç duymadan belirlenmiş olur. Bu yöntemde uçuş fotoğraf çekimi yapıldığı andaki resim orta noktası koordinatları (X_0 , Y_0 ve Z_0) koordinatları RTK (Real Time Kinematic) ölçüm hassasiyetinde belirlenmiş olmaktadır.

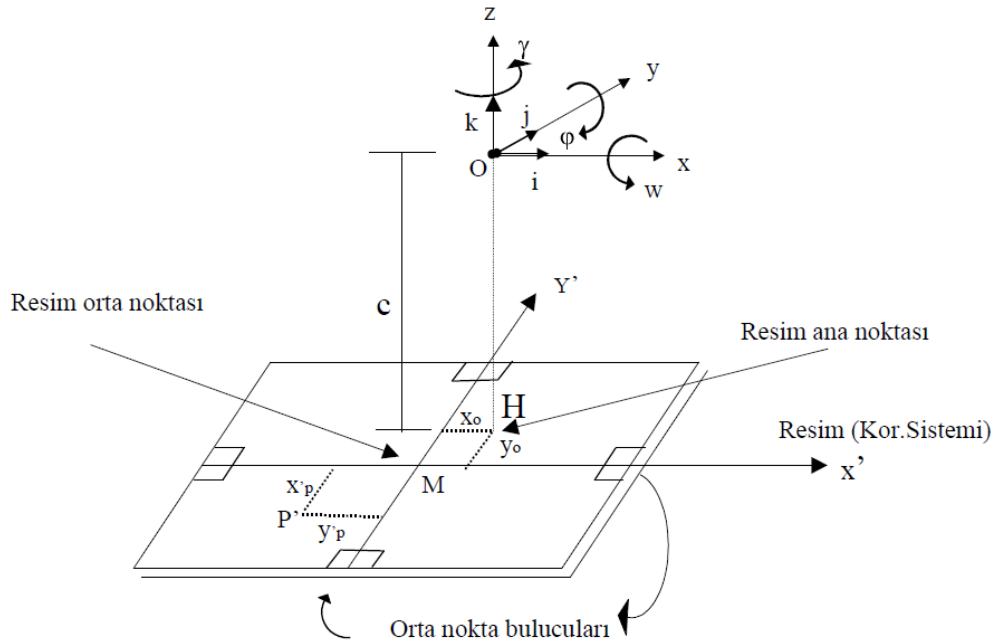
Kinematik GNSS destekli uçuşlarda zeminde uçuş boyunca ölçüm yapan sabit bir GNSS istasyonu bulunur. Ülkemizde kurulu olan ve 24 saat yayın yapan TUSAGA-Aktif sistemleri sayesinde zeminde sabit ölçüm istasyonu kurmadan da efemeris verisi alınabilmektedir. Fotoğraf alımı süresince kamera ile entegre olarak çalışan uçaktaki

kinematik GNSS alıcısı ile uçakta da ölçümler yapılmaktadır. Aynı anda iki GPS ile yapılan ölçümlerle uydu yörünge ve saat hataları giderilebilmektedir. Uçaktaki ve yerdeki GNSS efemeris verileri ile baz çözümleri yapılarak ITRF sisteminde koordinatlar türetilmektedir. Bu sayede çok daha az yer kontrol noktası kullanılarak harita üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Yer kontrol noktaları ayrıca yeni noktalara ortometrik yükseklik tayininde kullanılmaktadır.

3.7.4. Fotogrametrik nirengi ölçmeleri iş süreci

3.7.4.1. İç Yönelme

İç yönelme izdüşüm merkezine göre resim noktalarının konumunu esas alarak cisim uzayındaki ışınların aralarındaki açısal bağıntıyı ifade eder. Böylece resim koordinat sistemine göre, izdüşüm merkezinin konumu yönelmenin geometrik elemanlarıyla ifade edilir. İç yönelme ile resim çekim anındaki ışın demeti yeniden oluşur. (Ergün, 2015)



Şekil 3.16. İç yönelme elemanları (Ergün, 2015)

İç yöneltme elemanları kameranın odak uzaklığı c ve resim merkezi koordinatlarının resmin ortasına göre olan uzaklıkları X_h, Y_h dır.

Metrik kameralarda iç yöneltme işlemleri interaktif yöntemlerle belirlenir. Fotoğrafların, koordinat sistemlerini gösteren işaretler (fotoğrafın orta nokta bulucuları) operatör tarafından ölçülür ve hesaplanan değerler dengelemeye bilinen olarak dahil edilir. Bu ölçüm işaretlerine “fiducual mark” adı verilmektedir.



Şekil 3.17. İç yöneltmenin belirlenmesinde kullanılan ölçüm nokta örneği

Günümüzde kullanılan dijital kameralarda ise iç yöneltme değerleri laboratuvarında ölçülüp kamera kalibrasyon raporlarında verilmektedir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan fotoğrafların, fotogrametrik nirengi işlemleri tamamlanmış, radyometrik düzeltmeleri yapılmış, 8 bit veya 16 bit renkli hava fotoğrafları kullanılmıştır. İş sürecinde RGB formatta üretilen TIFF görüntüleri sıkıştırılarak boyutları küçültülmüş ve görüntü piramitleme işlemleri yapılmıştır. Oluşturulan görüntü piramitleri ile farklı yaklaşma değerlerinde görüntüler elde edilerek işlem hızlığı sağlanmıştır.

Kinematik destekli fotogrametrik nirengi işlemlerinde kamera kalibrasyon raporunda belirtilen iç yöneltme değerleri bilinen olarak girilir. Bu nedenle kullanılan

kameranın kalibrasyon raporunun güncel olması ve düzenli olarak yenilenmesi gerekmektedir.

Tez çalışmasında 5 kameralı eğik fotogrametrik sistem kullanılmıştır. Her bir fotoğraf çekim noktası 5'li bir istasyon olarak tanımlanmıştır. Güncel kamera kalibrasyon değeri her bir kamera için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Şekil 3.12.'de eğik kameralar için kamera kalibrasyon değerleri verilmiştir.

Image Format	long track cross track		40.040mm 53.560mm	7700pixel 10300pixel
Image Extent			(-20.020, -26.780)mm	(20.020, 26.780)mm
Pixel Size			5.200 μ m*5.200 μ m	
Focal Length	C4 (Backward)	ck	123.000mm	\pm 0.002mm
	C5 (Right)	ck	123.000mm	\pm 0.002mm
	C6 (Left)	ck	123.000mm	\pm 0.002mm
	C7 (Forward)	ck	123.000mm	\pm 0.002mm
Principal Point (Level 2)	C4 (Backward)	X_ppa	0.000mm	\pm 0.002mm
		Y_ppa	0.000mm	\pm 0.002mm
	C5 (Right)	X_ppa	-6.750mm	\pm 0.002mm
		Y_ppa	0.000mm	\pm 0.002mm
	C6 (Left)	X_ppa	6.750mm	\pm 0.002mm
		Y_ppa	0.000mm	\pm 0.002mm
	C7 (Forward)	X_ppa	0.000mm	\pm 0.002mm
		Y_ppa	0.000mm	\pm 0.002mm
Lens Distortion	Remaining Distortion less than 0.002mm			

Şekil 3.18. Eğik kameraların iç yöneltme parametreleri

Kullanılan kameraya ait mercek distorsiyon hataları 2 micron'dan daha küçük olduğundan göz ardı edilmiştir. Şekil 3.14.'de verilen değerlere göre tüm eğik kameraların odak uzakları aynı ve 123 mm. olarak verilmiştir. Ancak resim merkezi (principal point) noktasının sağ ve sol kamera için 0'dan farklı olduğunu görmekteyiz. Bu nedenle sağ ve sol kameraların iç yöneltme değerlerini girerken resim merkezi

noktasını göz önünde bulundurmamız gerekecektir. 1 pikselin boyutunun 5.2 mikron olarak verildiğini göz önünde bulundurursak Sağ ve sol kamera için verilen 6.75 mm.'lik kayıklık değeri 1298 piksele karşılık gelmektedir. Bu durumda sağ kameranın resim merkezi noktası pikselleri (3850, 6448.08), sol kameranın resim merkezi noktası pikselleri ise (3850, 3851.92) olarak belirlenmiştir.

3.7.4.2. Karşılıklı Yönelme

Karşılıklı yönelme işlemi ile fotoğraf çiftleri birbirine göre fotoğrafın çekim anındaki konumuna getirilir. Böylelikle fotoğraf çiftleri arasında 3 boyutlu model olmuş olacaktır. Karşılıklı yönelmenin girdi verileri olarak iç yönelme parametreleri ve görüntü piramitleri gereklidir.

Karşılıklı yönelme sonucunda ortaya 3 boyutlu bir model çıkar. Ancak bu model gerçek araziye tam olarak paralel değildir. Kendi içerisinde 3 boyutlu olarak ölçüm ve sorgulama yapılabilse de dünya koordinat sisteminde değildir.

Karşılıklı yönelme otomatik yöntemle görüntü eşleme esasına göre yapılmıştır. Birden çok otomatik yöntemle görüntü eşleştirme metodu vardır. Bunları sıralayacak olursak;

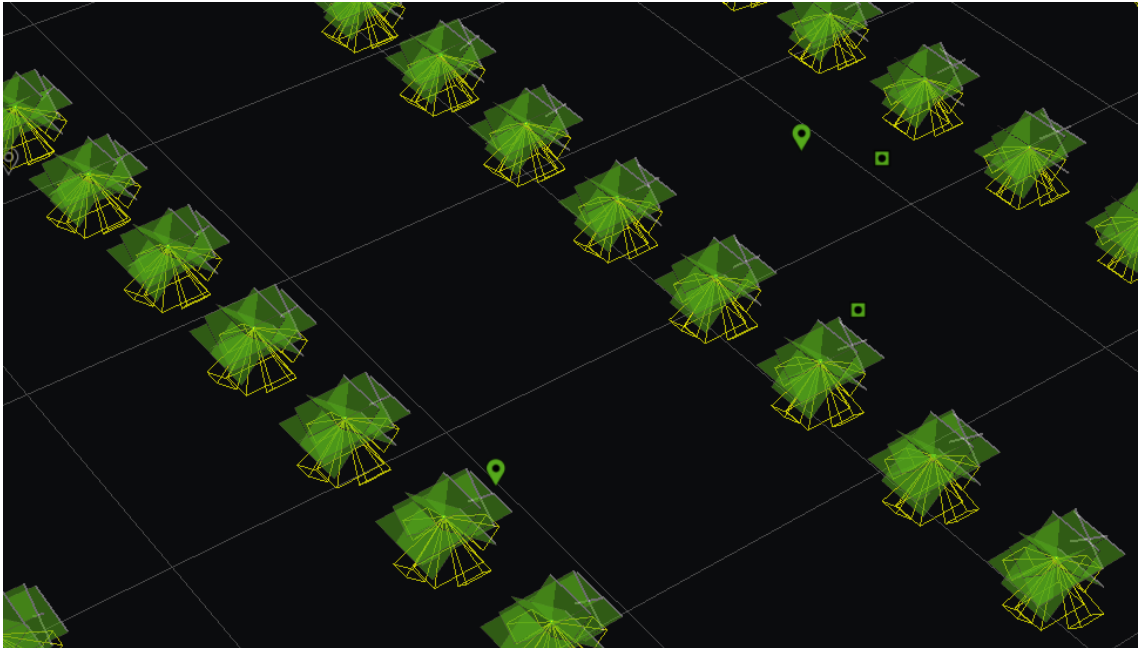
- Alan-Tabanlı Yöntemler
 - Korelasyon
 - En küçük kareler
 - Görüntü mesafesi
 - Ortak bilgi
- Detay-Tabanlı Yöntemler
 - İlinti operatörleri
 - Kenarlar ve bölgeler (regions)
- İlişkisel Yöntemler

Çizelge 3.1. Görüntü eşleştirme yöntemleri (Çavdaroğlu,2014)

Eşleştirme Yöntemi	Benzerlik Ölçümü	Eşleştirme Birimi
Alan Tabanlı	Korelasyon, en küçük kareler eşleştirmesi	Gri değerler
Detay Tabanlı	Uygunluk fonksiyonu	İlinti noktaları, kenarlar, bölgeler
İlişkisel	Uygunluk fonksiyonu	Görüntünün sembolik tanımı

Bu çalışma kapsamında görüntü eşleme işlemleri alan tabanlı eşleştirme yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntemde düşük çözünürlükten eşleştirme başlatılarak yüksek çözünürlüğe doğru kademeli olarak eşleştirme yapılır. Alansal eşleştirme yapabilmek için gerekli olan kamera kalibrasyon bilgileri ve GNSS/IMU ile ölçülen yaklaşık dış yöneltme değerleri ile stereo görüntüler birbirine yakın konumlarda olmalıdır. Dış yöneltmenin hassasiyetine göre uygun büyüklükte kareler belirlenerek yoğun görüntü eşleştirme işlemi yapılır. Tez çalışmasında fotogrametrik kolon ve model bağlamaları yoğun görüntü eşleştirme yöntemi ile otomatik ve yarı otomatik olarak yapılır.

Bu çalışma kapsamında fotogrametrik blokta toplam 779 fotoğraf mevcut olup bunların fotoğraf çekimi yapılan her noktada 5 farklı kamerayla çekilmiş toplam 3.895 adet hava fotoğrafı blok dengelemeye dâhil edilmiştir.

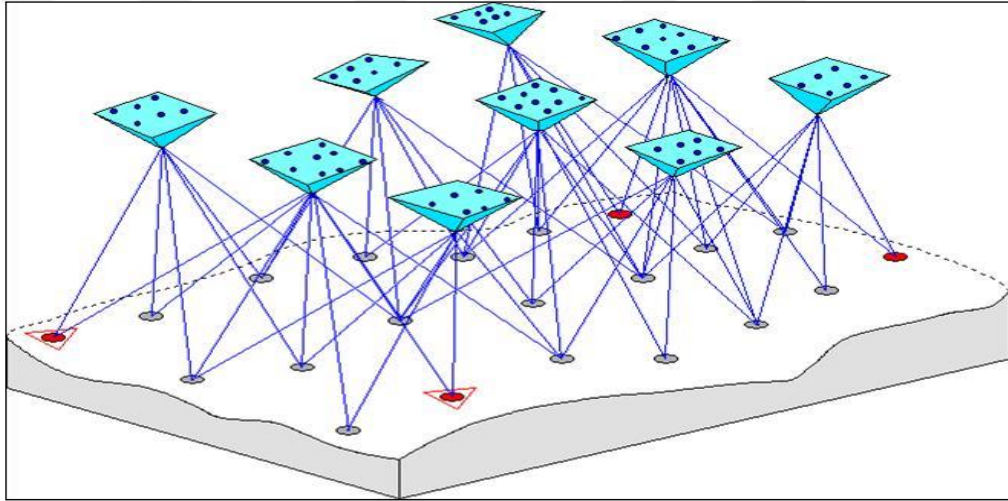


Şekil 3.19. Eğik fotogrametrik hava fotoğrafları

Çalışma kapsamında oluşturulan fotogrametrik blok, 23 adet uçuş kolonu içermektedir. Otomatik görüntü eşleştirme sonucu 200.256 adet otomatik fotoğraf bağlama noktası (tie point) üretilmiştir.

3.7.4.3. Mutlak Yönelme

Mutlak Yönelme ile karşılıklı yönelmesi yapılmış fotoğraf çiftlerinin koordinatı bilinen arazi koordinatlarına göre 3 boyutlu arazi koordinat sistemine dönüşümü yapılır. Mutlak yönelme ile stereo model 3 ekseninde döndürülür, 3 ekseninde ötelenir ve 1 adet ölçek faktörü eklenir. Böylelikle dış yönelmenin 12 bilinmeyen elemanlarından 5'i karşılıklı yönelme ile kalan 7 bilinmeyeni ise mutlak yönelme ile çözülmüştür.



Şekil 3.20. Işın demetleri yöntemine göre mutlak yönelme

Tez çalışması kapsamında yer kontrol noktalarının karesel ortalama hata değerleri X ve Y ekseninde 0.06 metre Z ekseninde ise 0.09 metre olarak hesaplanmıştır.

Dengeleme öncesi a-priori (öncül) değerler (karesel ortalama hatalar, koh) matematik modele aşağıdaki esaslara göre belirlenerek girilmiştir.

- Resim ölçme noktalarının koh değerleri, piksel boyutunun 5'de 1'i olarak belirlenmiş ve 1 mikron olarak alınmıştır.
- Cisim ölçme noktalarının koh değerleri (yer örnekleme aralığı/5) x fotoğraf ölçeği formülünden 2 cm olarak hesaplanmış ve girilmiştir.

- İzdüşüm merkezleri koordinatlarına ait koh değerleri, GNSS/IMU sistemine bağlı olarak resim orta noktası değerleri için 10cm, dönüklük açıları için ise 0.005° olarak alınmıştır.
- Fotogrametrik blok dengeleme 44 parametrelili self-calibration düzeltme esaslı olarak yapılmıştır.
- Atmosferik düzeltmeler uygulanmıştır.

Kesin dengelemeden önce fotogrametrik blok kapsamında kaba hata araştırması (blunder detection) yapılmıştır. Hatalı ölçüler dengeleme dışı bırakılmıştır. Resim bağlama noktaları geometrisi ve yoğunluğu kontrol edilerek operatör yardımı ile model ve kolon bağlama noktaları ölçülmüştür.

Yapılan blok dengeleme sonucunda a-posteriori karesel ortalama hata (koh) değeri (sigma) 0.8 mikron olarak hesaplanmıştır.

3.8. Nokta bulutu üretimi

Nokta bulutu verisi lazer tarayıcılarla veya hava fotoğraflarından elde edilebilir. Fotogrametrik hava fotoğraflarından üretilen nokta bulutu, stereo fotoğraf çiftlerinden derinlik bilgisinin elde edilmesi temeline göre elde edilmektedir. Bu işleme Structure From Motion (SFM) denir (Isawi 2016). SFM, Türkçeye Hareket Tabanlı Yapısal Algılama olarak çevrilmiştir. Burada stereo fotoğraf çiftlerinde eş pikseller bulunmaktadır. Kameranın iç ve dış yönelme parametreleri kullanılarak eşleşen piksellerin 3 boyutlu (X,Y,Z) koordinatları hesaplanır. Alanlar olarak eş piksellerin tespit edilmesi için belirli bir boyutta ortogonal alanlar belirlenir. Ampirik olan bu pencere boyutlarında algoritmalar eş piksel değerlerini tespit eder ve eşleştirir. Nokta bulutu üretimi için günümüzde birçok yazılım bulunmaktadır. Bunlar, Local Matching (LM), Region Growing (RG) veya Semi Global Matching (SGM) algoritmaları sayılabilir. Birçok kullanıcı yaygın olarak SGM algoritması kullanan yazılımları tercih etmektedir (Svensk 2017)

Günümüzde SGM yöntemi ile nokta bulutu üretimi yapan birçok yazılım bulunmaktadır. Ticari olarak kullanılan yazılımlara örnek olarak; Agisoft, Pix4d, Context Capture, Trimble Inpho gibi yazılımları verebiliriz. Ücretsiz yazılımlara örnek olarak ise Meshroom, Micmac gibi yazılımları verebiliriz.

Bu tez çalışması kapsamında nokta bulutu üretimleri için “Bentley Context Capture” yazılımı kullanılmıştır. Proje alanının eğik fotogrametrik yöntemle ve klasik

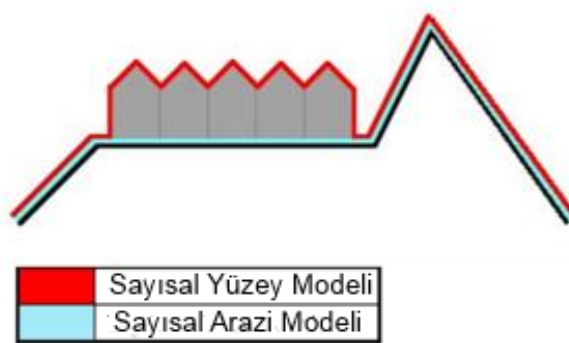
fotogrametrik yöntemle nokta bulutu üretimleri gerçekleştirilmiştir. Düzensiz aralıklarla nokta bulutu üretimleri yapılmıştır. Bunun nedeni, yüksekliğin ani değiştiği arazi ve arazi detaylarının daha keskin olarak belirlenebilmesidir. Bu sayede çatı detayları, yapı detayları gibi kısımlarda daha yoğun nokta bulutu üretimi gerçekleştirilerek detay ayırma hassasiyetinin daha keskin olması sağlanmıştır. Nokta bulutu verileri RGB renk skalasında ve lidar dosya yapısı (*.las) formatında üretilmiştir.

3.9. Sayısal yüzey modeli ve sayısal arazi modeli üretimi

Sayısal arazi modeli (digital terrain model) ve sayısal yüzey modeli (digital surface model) ile ilgili literatürde birçok tanım bulunmaktadır. Sayısal yüzey modeli arazinin topoğrafyasının matematiksel model olarak ifade edilmesine dayanır. (Arslanbek,2009) Sayısal yüzey modelinde (SYM) arazide halihazırda bulunan insan yapımı objeler yüzey modele dâhil edilir.

Arazi topoğrafyası, matematiksel olarak tanımlanması mümkün olmayan düzensiz bir 3 boyutlu modeldir. Modeli tam olarak tanımlamak için sonsuz sayıda 3 boyutlu noktaya ihtiyaç duyulur. Bu da mümkün olmayacağı için yapılacak çalışma özelinde ihtiyaç duyulan SYM hassasiyetine göre sayısal arazi modeli belirlenmektedir.

Sayısal arazi modeli (SAM) ise insan yapımı olan detayların SYM'den temizlenerek çıplak araziye temsil eden bir matematiksel modeldir.



Şekil 3.21. SAM ve SYM gösterimi

Veri toplama tipine göre birden fazla yöntemle SAM ve SYM elde etmek mümkündür. Bu yöntemler;

- Jeodezik yöntemlerle 3 boyutlu veriler elde edilmesi,

- Fotogrametrik yöntemlerle 3 boyutlu veriler elde edilmesi,
- Kartografik yöntemlerle 3 boyutlu veriler elde edilmesi,
- Uydu görüntülerinde fotogrametrik Yöntemlerle 3 boyutlu veriler elde edilmesidir.

3.9.1. Fotogrametrik yöntemlerle SAM ve SYM üretimi

Fotogrametrik yöntemlerle stereo fotoğraf çiftlerinden 3 boyutlu veriler elde edilebilir. Dijital fotogrametride en sık uygulanan yöntem, yarı otomatik veya otomatik yöntemler sayısal arazi modeli elde edilmesidir. Fotogrametrik yazılımlarda (INPHO DTM Master, Z/I Image Station Automatic Elevation, Erdas LPS) arazinin morfolojik ve karakteristik özelliklerine göre parametre değerleri girilerek otomatik yöntemle noktasal veri üretimi yapılır. Noktasal veriler stereo model alanlarında yapılır ve düzenli aralıklı nokta dağılımındadırlar. Üretilen noktasal veriler, stereo çizim operatörleri tarafından değerlendirilerek tüm noktaların arazi zeminine oturması sağlanır. Aynı zamanda arazinin karakteristik yapısını ortaya çıkaracak şev, dere, yol gibi çizgisel detaylar da 3 boyutlu olarak stereo modeller üzerinden sayısallaştırılır ve sayısal arazi modeline dâhil edilir.

Özellikle ormanlık alanlarda otomatik olarak elde edilen noktalar, ağaçların ve bitki örtüsünün üzerinde kalacağı için bu alanlarda eş yükseklik eğrisi çizilmesi özel algoritmalar kullanılır ya da değerlendirme operatörlerin marifeti gerekmektedir. Ormanlık alanlar seyrek ağaçlardan oluşuyorsa eş yükselti eğrileri ile birlikte zeminin görüldüğü kısımlarda zemine noktalar atılarak arazinin daha doğru bir şekilde ortaya çıkması sağlanacaktır.

Böylelikle sayısal yükseklik verisinin matematiksel modelini oluşturmak için noktalardan, çizgilerden ve eğrilerden oluşan 3 boyutlu bir veri seti elde edilmektedir.

Sayısal arazi modeli üretiminde en çok kullanılan yöntem üçgenleme yöntemidir. Üçgenlemede temel amaç, arazide birbirini kesmeyen üçgen yüzeyler elde edilerek tüm sahayı boşluk kalmayacak şekilde kaplamaktır. Böylelikle arazi yüzeyinin tamamı anlamlı ve ölçülebilir 3 boyutlu bir matematik yüzey haline gelir. Üçgenleme ağları lineer enterpolasyona göre oluşturulur.

3.9.2. Nokta bulutundan SAM ve SYM elde edilmesi

Günümüzde bilgisayar yazılım ve donanımlarının gelişmesi daha yüksek boyutlu verilerle analiz, üretim ve depolama işlemleri yapmamıza olanak sağlamaktadır. Klasik yöntemlerde belirli üretimi yapılacak harita ölçeğine göre 8 metre ile 30 metre arasında otomatik SYM noktası toplanırken günümüzde her bir piksele 1 yükseklik noktası gelecek şekilde 3 boyutlu veri üretimi yapılmaktadır. Bu da oldukça yoğun ve araziyi çok daha doğru tanımlayan veri elde etmemizi sağlamaktadır.

Nokta bulutundan SAM ve SYM üretiminde karşılaştığımız hata kaynaklarının başında görüntü eşleştirmesi yapılamayan alanlar gelmektedir. Bu alanlar bilhassa sulak alanlardır. Bu alanlara göletler, barajlar, nehirler, göller örnek verilebilir. Bu tarz alanlarda pikseller aynı renk değerlerine sahip olduğundan görüntü eşleştirme yapılamamaktadır. Bunun yanı sıra su yüzeyi durgun bir zemin olmadığı için eşleştirme yapılacak alanlarda ortak pikseller bulunamamakta ve bu da yükseklik hatasına yol açmaktadır. Bu sebeple üretilen nokta bulutu verisinin gürültüden arındırılarak yüzey modeli oluşturulması gerekmektedir.

Nokta bulutu verisinde sayısal arazi modeli iki farklı yöntemle elde edilebilir. Birincisi üretilen nokta bulutu verisinden elde edilen SYM'den çeşitli filtremeler ile zemine en yakın değerlerin bulunmasıdır. Bu yöntemde daha yüksek doğrulukta SAM tespiti yapılabilmesi için yapıların dış sınırları alansal olarak çizilerek SYM'de yapıların zemine indirgenmesi sağlanır. Bu işlemde 2 boyutlu alansal veriler kenar çizgilerinin yükseklik değerlerini alarak zemin kotuna indirilir. Şekil 3.18.'de mavi renkle gösterilen alanlar ise SYM'nin korunması gereken alanlar belirlenir. Diğer alanlarda ise açı ve mesafe parametreleri ile bitki örtüsünün zemine inmesi sağlanır.

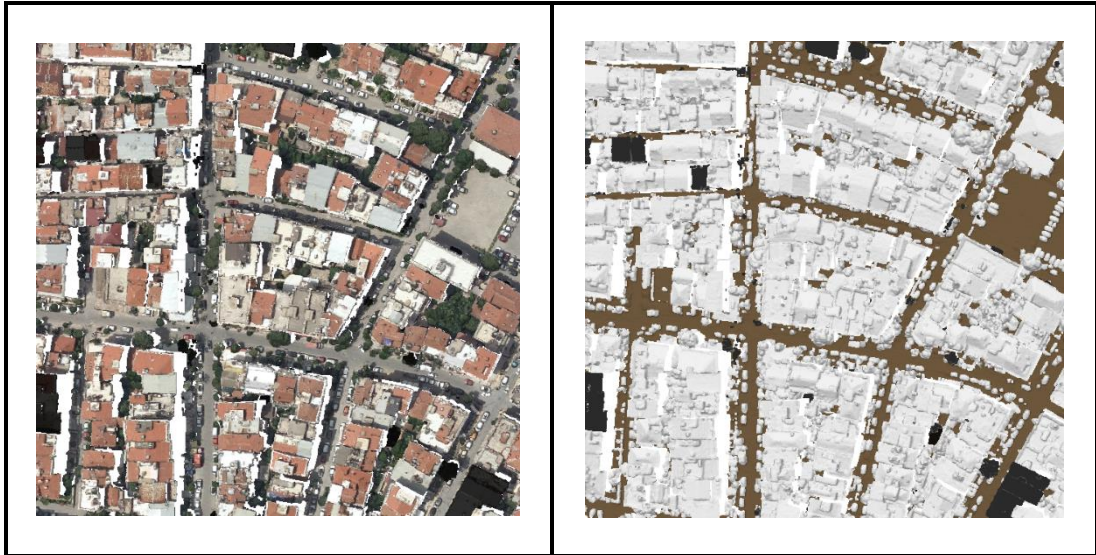


Şekil 3.22. SYM'de tanımları yapılan alanlar

SYM üzerinden SAM elde edilmesi ani yükseklik deęiřimi olan yerlerde doğru sonuçlar vermemektedir. Bunun sebebi ise tüm yüzey için sabit bir açısasal parametre kullanma gereklilięidir.

SAM elde etmek için kullanılan diğer bir yöntem ise nokta bulutu verisinin filtrelenmesi ile arazi modelinin tespit edilmesidir. Otomatik yöntemle nokta bulutu filtrelemesinde arazinin morfolojik yapısına, bitki örtüsüne ve inşaat yapılarının yoğunluğuna göre değişken parametre değerleri belirlenir. Otomatik filtreleme yapan yazılımların genel olarak çalışma mantığı řu şekildedir. Filtreleme yapılacak yoğun nokta bulutu verisi kendinden daha küçük hücrelere bölünür. Her hücrede en düşük yükseklikteki noktalar belirlenir. Bu noktaların arazide zemin noktaları olduğu varsayılır. Tespit edilen bu noktalara yeni zemin noktaları eklenmesi için kullanıcıdan maksimum açı ve mesafe değerleri girilmesi beklenir. Zemin olarak tespit edilen noktalardan belirlenen maksimum değere kadar olan diğer noktalar tespit edilir ve maksimum açı değerinin altında kalan noktalar zemin noktası olarak sınıflandırılır.

Nokta bulutu verisinden SAM noktaları elde edebilmek için girilen değişkenler oldukça önemlidir. Bu nedenle arazinin topografik ve morfolojik yapısı göz önünde bulundurularak filtreleme işleminde mümkün olduğunca arazinin homojen olduğu alanlar kendi içlerinde filtrelenmelidir.



Şekil 3.23. Aynı alana ait RGB nokta bulutu verisi ve zemin noktalarının tespiti

Pix4d, Agisoft, Terra, Cloud Compare gibi birçok ücretli yazılım otomatik yöntemle filtreleme işlemini yapılabilmektedir.

Yapılan tez çalışmasında aynı alana ait nadir ve eğik fotoğraflardan yoğun nokta bulutu verisi üretilmiştir. Üretilen nokta bulutu verisinden sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir. Her iki yöntemle de üretilen SYM verisi stereo modellerden operatörler tarafından sayısallaştırılmış verilerle karşılaştırılmıştır.

3.10. Üç boyutlu modelleme ve katı model üretimi

Fotogrametrik yöntemlerle üretilen nokta bulutu verisinden elde edilebilecek bir diğer veri seti ise katı modellerdir. Renkli nokta bulutu verisi yalnızca noktalardan oluşan herhangi bir yüzey özelliği içermeyen noktalar kümesidir. Nokta bulutunun renk değerleri korunarak üç boyutlu sayısal yüzey modelleri elde edilmesiyle katı modeller üretilir. Özellikle üç boyutlu şehir modellerinin sunulmasında katı modeller kullanılmaktadır.

Katı modeller iki şekilde üretilebilmektedir. Bunlardan birincisi fotogrametrik yöntemlerle üretilmiş olan çatıların sayısal arazi modeli üzerine çatı saçak paylarından itibaren indirilmesi ile bina modellerinin oluşturulması esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde yapılara ait çatı ve çatı detayları 3 boyutlu gerçek koordinatlarında sayısallaştırılır. Çatı normali ve çatı detayları kendi içerisinde modellenerek çatı modelini ortaya çıkarır. Üretilen çatı modelinin sayısal arazi modeli üzerine kadar indirilmesi ile yapıların modellemesi tamamlanır. Yapıların çatıları gerçek ortofoto ile kaplanırken yan cepheleri ise eğik fotoğraflardan kaplanabilir.



Şekil 3.24. Çatı detaylarının zemine indirgenmesiyle oluşturulan katı model

Bu teknikte tüm yapılar birbirinden bağımsız veriler olduğundan özellikle coğrafi bilgi sisteminde veri olarak kullanılabilir. Böylelikle kent bilgi sistemlerine yapı bazlı entegrasyonu sağlanabilmekte, kadastro ve mülkiyet verileriyle ilişkilendirilebilmektedir.

Katı model üretiminde diğer bir yöntem ise mesh model denilen doğrudan nokta bulutu verisinden katı model üretimidir. Eğik fotogrametrik yöntemde yan cepheler de kaplanacağı için katı modelde herhangi bir açıklık olmayacaktır. Ancak yalnızca nadir hava fotoğrafları ile katı model oluşturuluyorsa yan cephelerde boşluklar meydana gelebilmektedir.



Şekil 3.25. Çalışma alanına ait eğik fotogrametrik yöntemle oluşturulan katı model

Tez çalışması kapsamında aynı alanda eğik fotogrametrik yöntemle ve klasik fotogrametrik yöntemle katı model üretimi gerçekleştirilmiştir. Proje alanında yersel yöntemle çatı ve cephe detayları ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her iki yöntemle üretilen verilerden konumsal doğruluk analizi yapılmıştır. Ayrıca görsel olarak da her iki yöntemin karşılaştırılması yapılmıştır.

3.10.1. Ayrıntı düzeyi (Level of Detail) (Lod)

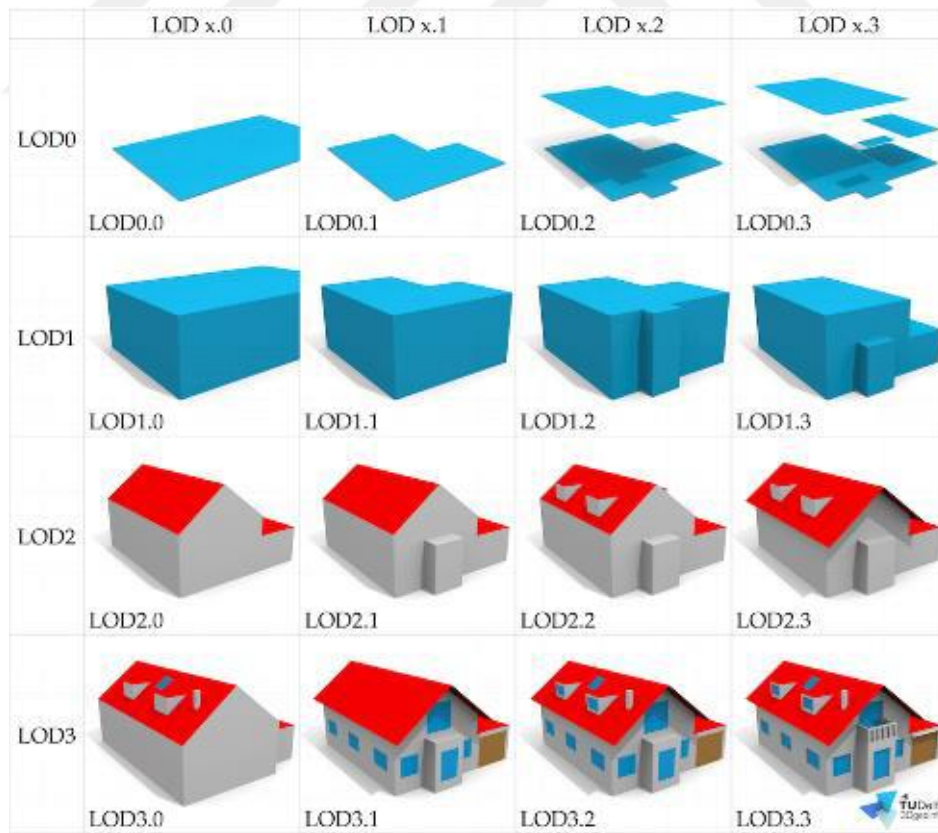
Katı modeller ve kent modelleri için elde edilen verilerin ayrıntı düzeyleri “Level of Detail” sınıflandırması ile tanımlanmaktadır. Yapılar için ölçek kavramı Lod seviyeleriyle ifade edilmektedir. (Luebke ve Ark.,2003)

3 boyutlu kent modelleme çalışmalarında her bir LoD seviyesi belirli bir genelleştirme düzeyini gösterir. Genel olarak yapılan çalışmalarda ayrıntı düzeyi seviyeleri CityGML verileri kapsamında incelenmektedir. (Yücel ve Selçuk, 2009) CityGML veri setleri 3 boyutlu kent modellemesinin kodlanıp depolanması ve sunulması için geliştirilmiş bir kodlama standartıdır. Bu kodlama standartı OGM (Open Geospatial Consortium) tarafından geliştirilmiş ve standartlaştırılmıştır.

CityGML kodlama standartlarının geliştirilmesinin nedeni 3 boyutlu modellerden üretilen verilerden tematik sorgulama ve analiz yapılmasına da olanak sağlamaktır. (Ayyıldız, 2017)

CityGML yapılaraya ait ayrıntı seviyesini 5 sınıfa ayırarak kategorize etmiştir. Bu seviyeler aşağıda açıklanmıştır.

- **LOD 0;** Detay seviyesinin en az olduğu ayrıntı düzeyini ifade etmektedir. Yalnızca sayısal arazi modeli bulunur. Yapılara ilişkin olaraksa zemin oturma ve çatı alanları ifade edilmektedir. Yapılara ilişkin veriler alansal olarak gösterilir.
- **LOD 1;** Yapılar 3 boyutlu hacimsel veriler olarak ifade edilir. Çatı kısımları düz olarak gösterilmektedir.
- **LOD2;** Çatı eğimleri ve çatı detayları lod 2 seviyesinde gösterilmektedir. Çatı haricinde de yapıların yan yüzeylerindeki detaylar LoD 2 seviyesinde gösterilmektedir.
- **LOD3;** Yapılara ait kapı ve pencere detayları da dahil olmak üzere yapılar bir bütün olarak Lod3 seviyesinde gösterilmektedir.
- **LOD4;** Yapıların iç detayları, odalar, eşyalar, merdivenler, iç kapılar gibi detaylar Lod 4 seviyesinde gösterilmektedir. CityGML kodlama sisteminin sunduğu en detaylı veri gösterim biçimidir.(Diez ve Sorribas, 2017).



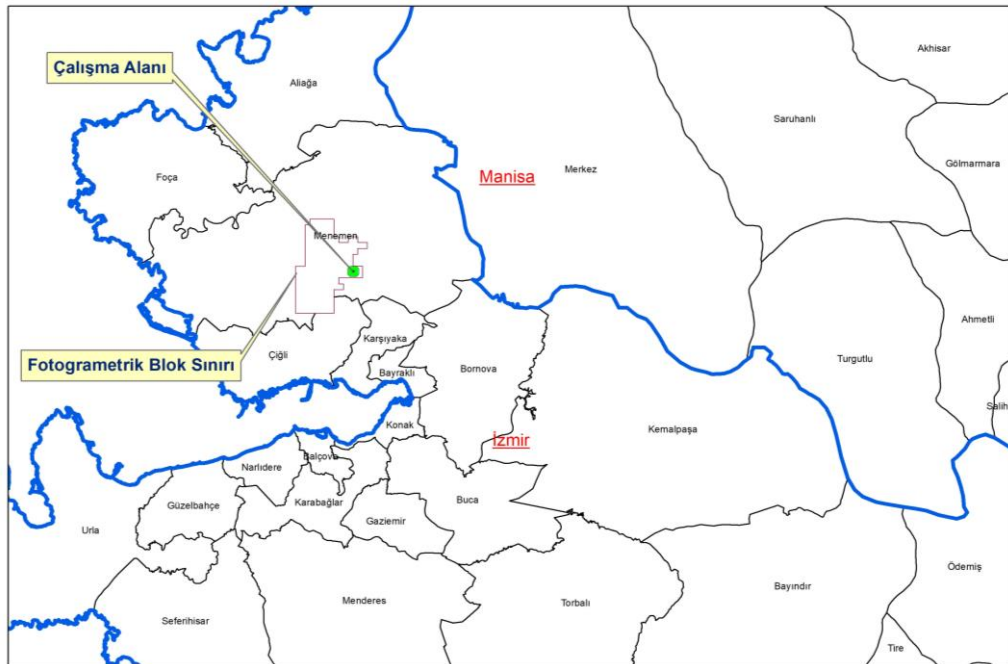
Şekil 3.26. LoD seviyelerinin gösterimi (Diez ve Sorribas, 2017)

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında kullanılan fotoğraflar, fotogrametrik yöneltmeleri ve blok dengeleme işlemleri tamamlanmış bir veri kümesidir. Çalışma alanı için dik çekilmiş fotoğraflardan klasik fotogrametrik yöntemle veri üretimi yapılmıştır. Bunun yanı sıra dik fotoğraflarla birlikte eğik fotoğrafları da kullanarak fotogrametrik veriler üretilmiş ve iki yöntemle de üretilen verilerin kıyaslaması yapılmıştır. Belirlenen çalışma sahasında yersel yöntemle çatı ve binaların yan yüzeylerine dair topoğrafik ölçümler yapılmış ve bu ölçümler de değerlendirmeye alınmıştır. Ayrıca stereo modellerden 3 boyutlu kıymetlendirilerek çizilen çatılar ve çatı detayları da elde edilen sonuç ürünlerinde kıyaslama yapılmak üzere kullanılmıştır.

4.1. Çalışma alanı

Sayısal uygulama alanı, İzmir İli Menemen İlçesi'nin güney kısmında kalmaktadır. Çalışma alanını oluşturan fotogrametrik blok 150 adet 1/1000 ölçekli paftayı kapsamaktadır. Fotogrametrik blok sınırı yaklaşık 5.630 hektarlık alanı kapsamaktadır. Her bir kamera ile 6.400 hava fotoğrafı çekimi yapılmış olup toplam da 32.000 fotoğraf çekimi yapılmıştır.



Şekil 4.1. Çalışma alanı sınırı ve fotogrametrik blok sınırı

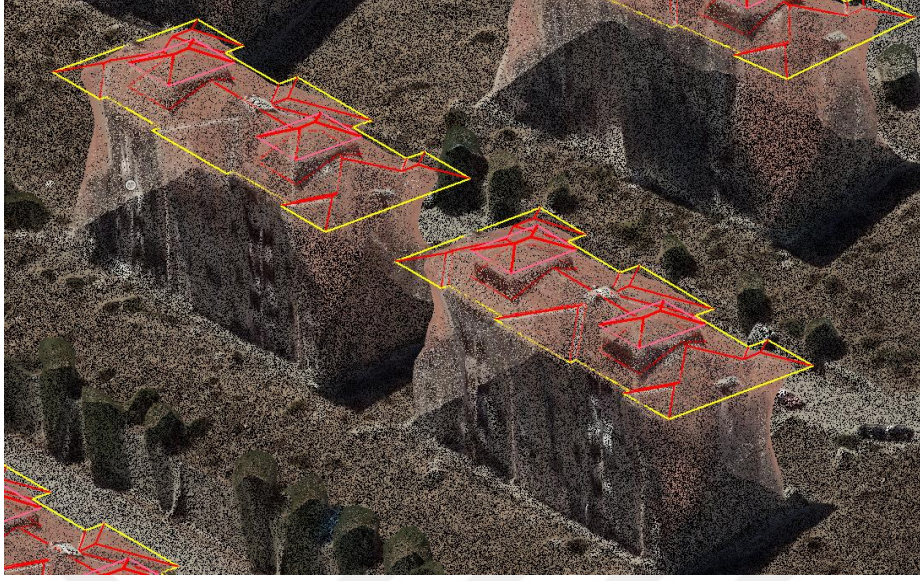
Tez çalışması yapılan alan ise yaklaşık olarak 69 hektarlık bir alanı kapsamaktadır. Çalışma yapılan bölge topoğrafya olarak tepelik bir arazi üzerine inşa edilmiş ayırık nizamda binaların yoğunlukta olduğu bir alandır.



Şekil 4.2. Çalışma alanının detaylı sınırları

4.2. Nokta bulutu

Çalışma alanı sınırları içerisinde nadir fotoğraflardan ve nadir+eğik fotoğraflardan nokta bulutu üretimi gerçekleştirilmiştir. Nadir hava fotoğraflarından yaklaşık 118 milyon adet nokta üretilirken eğik fotogrametrik yöntemle üretilen nokta sayısının ise yaklaşık 191 milyon olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3. Klasik yöntemle üretilen nokta bulutu verisi



Şekil 4.4. Eğik fotogrametrik yöntemle üretilen nokta bulutu

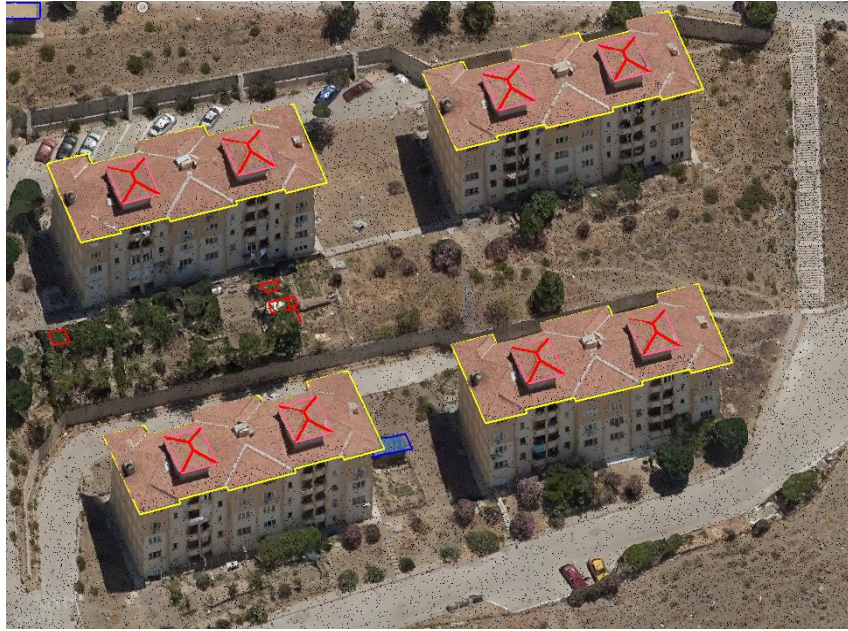
Şekil 4.3.'de klasik yöntemle üretilmiş nokta bulutu verisi Şekil 4.4.'de ise eğik fotogrametrik yöntemle üretilmiş nokta bulutu verilerinin izometrik açıdan görüntüsü verilmiştir.

Stereo değerlendirme ile üretilen çatı ve çatı detayları ile nokta bulutu verilerini birlikte incelendiğinde klasik yöntemle üretilen nokta bulutu verisinin özellikle çatıların köşelerinde yetersiz olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.5. Klasik fotogrametrik yöntemle üretilen nokta bulutu verisi ile çatı köşelerinin ölçümü

Şekilde 4.5.'de klasik yöntemle üretilen nokta bulutu verisindeki çatı köşelerinin stereo değerlendirilen çatı köşelerine mesafeleri ölçülmüştür. Köşelerdeki boşlukların 2 metre ve daha yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Şekil 4.6.'da ise çatı köşeleri ile nokta bulutu verisinin örtüştüğü görülmektedir.



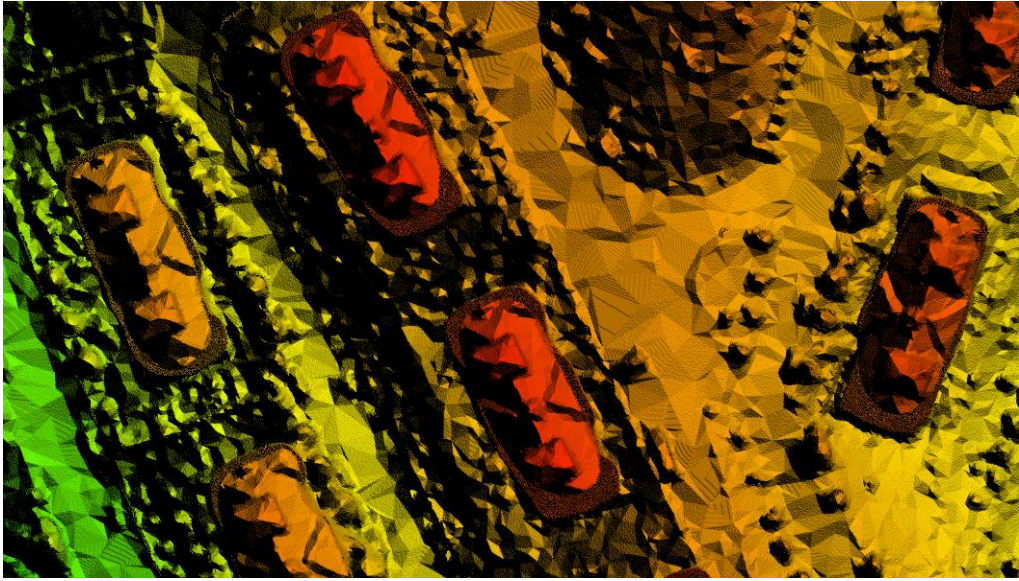
Şekil 4.6. Eğik fotogrametrik yöntemle üretilen nokta bulutu verisi ile çatı köşelerinin gösterimi

Çatı detaylarında olduğu gibi binaların yan yüzeylerinde de klasik yöntemle üretilen veride boşluklar ve eksiklikler olduğu görülmüştür.

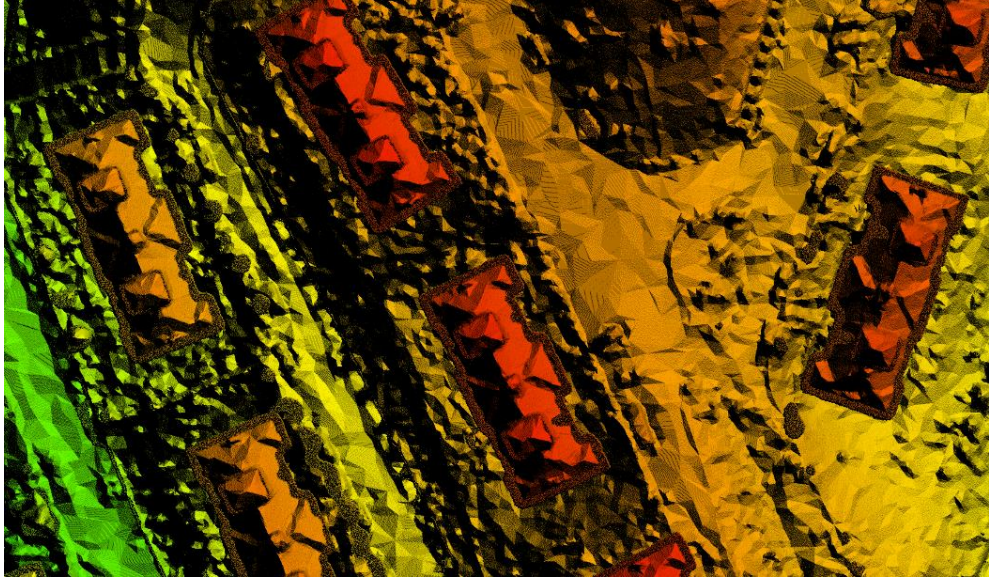
4.3. Sayısal arazi modeli ve sayısal yüzey modeli

Her iki yöntemle de elde edilen nokta bulutu verisinden “Global Mapper” yazılımı kullanılarak sayısal yüzey modeli oluşturulmuştur. Yüzey modeli oluşturulurken yazılımda DSM seçeneği seçilmiştir. Yüzey nokta sıklığı aralığı 1 nokta olarak, üçgenleme stratejisi ise en yüksek nokta seçimi olarak tanımlanmıştır.

Üretilen yüzey modelin piksel sayılarının nadir fotoğraflar için 13.165x11.854 piksel eğik fotogrametrik yöntem için ise 17.834x16.058 piksel olduğu görülmüştür. Aynı alana ait piksel sayılarının farklılığı ise yer örnekleme aralığının da farklı olmasına neden olmaktadır. Klasik yöntemle üretilen modelin yer örnekleme aralığı 7 cm iken eğik yöntemle üretilen verinin 5 cm olduğu görülmüştür.



Şekil 4.7. Klasik fotogrametrik yöntemle üretilen sayısal yüzey modeli

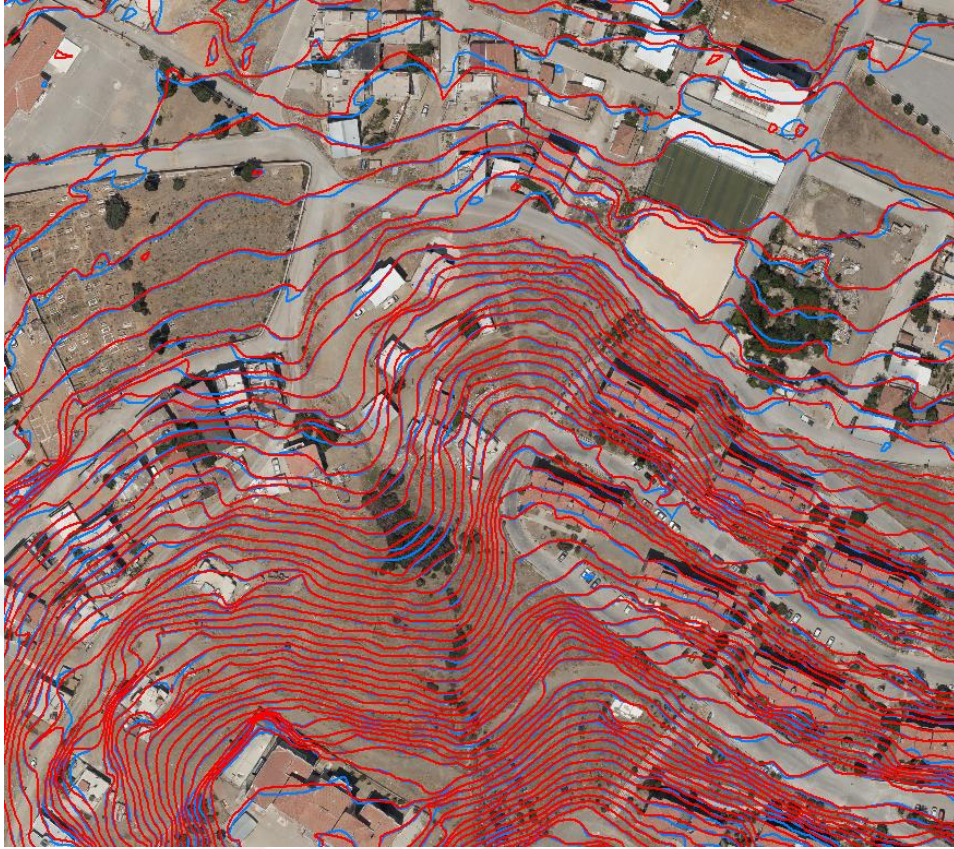


Şekil 4.8. Eğik fotogrametrik yöntemle üretilen sayısal yüzey modeli

Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de verildiği üzere eğik fotogrametrik yöntemle üretilen sayısal yüzey modelinin bina köşelerinin daha keskin olduğu görülmektedir. Bu da özellikle yapılaşmış alanda daha doğru ölçümler yapılmasını sağlayacaktır.

Sayısal arazi modeli nokta bulutu verisinin filtrelenmesi ile elde edilmiştir. Filtreleme yönteminde arazinin yapılaşma durumu, eğimi, bitki örtüsü gibi değerler dikkate alınarak farklı parametre değerleri kullanılarak zemin noktalarının en doğru şekilde ortaya çıkarılması hedeflenmektedir. Çalışma yapılan alan için 35x35 metrelik kontrol aralıklarında her 30 cm'de bir noktaların kontrol birbiriyle olan durumlarının analizi yapılmıştır. Birbirlerine göre olan açı değerleri 12 derecede küçük olan noktalar zemin noktası olarak işaretlenmiştir.

Oluşturulan sayısal arazi modeli verisinden 5 metrelik karelaaj (grid) noktalar üretilerek eş yükseklik 1 metre aralıklarla eş yükselti eğrileri üretilmiştir. (Şekil 4.9.)



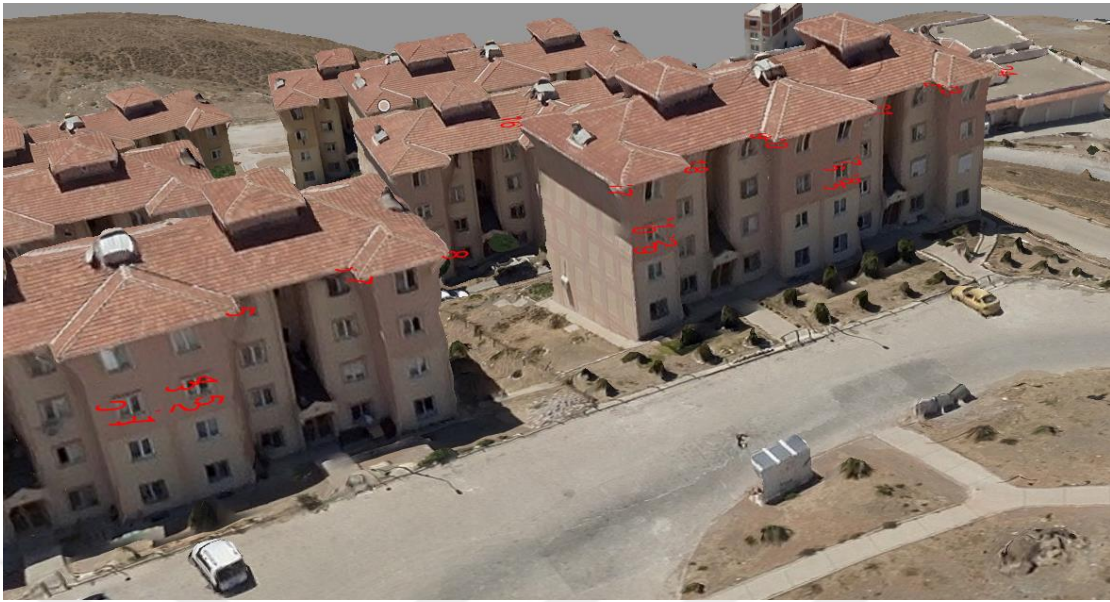
Şekil 4.9. Klasik ve eğik fotogrametrik yöntemle üretilen eş yükseklik eğrileri

Şekil 4.9.da mavi renkte gösterilen eğriler klasik yöntemle kırmızı renkte gösterilen eğriler ise eğik fotogrametrik yöntemle elde edilen sayısal arazi modelinden üretilmiştir. Aralarında çok küçük farkların olduğu görülmüştür.

4.4. Üç boyutlu modelleme ve katı model

Araştırma tezi çalışması kapsamında üç boyutlu katı model (mesh model) üretimi yapılan alan içerisinde belirlenen 4 adet bina için çatı kenarlarında ve bina cephelerinde yersel yöntemle ölçmeler yapılmıştır. Koordinatları onaylanmış C3 dereceli yer kontrol noktasından RTK (Real Time Kinematic) yöntemiyle ölçüm yapılacak alana poligon noktaları atılmış ve lazer özellikle total station ölçme cihazıyla çatı ve cephe ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Klasik ve eğik yöntemle üretilen katı model üzerinde yersel yöntemle ölçümü yapılan detay noktalarının işaretlenerek koordinatlarının karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 4.10. Eğik fotogrametrik yöntemle üretilen katı model üzerinde yersel ölçüm noktalarının gösterimi

Şekil 4.10.'da yersel alım noktalarının eğik yöntemle üretilen katı model üzerinde gösterimi verilmiştir. Katı model üzerinde işaretlenen detay noktalarının arazi noktaları ile X,Y ve Z eksenleri yönünde farklarının mutlak değerleri hesaplanmıştır. Eğik yöntemle belirlenen detay noktalarının yersel yöntemle karşılaştırılması çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Eğik fotogrametrik yöntemle üretilen katı model üzerinde belirlenen noktaların yersel ölçüm noktalarıyla karşılaştırılması

NN	Saha Alım Koordinat Değerleri (WGS 84 TM 27)			Eğik Yöntemle Üretilmiş Katı Modelin Detay Koordinatları (WGS 84 TM 27)			Mutlak Farklar		
	DX	DY	DZ	DX	DY	DZ	DX	DY	DZ
1	507929.459	4271827.753	154.010	507929.314	4271827.677	153.923	0.145	0.076	0.087
2	507927.163	4271832.689	154.090	507927.157	4271832.551	153.882	0.006	0.138	0.208
3	507925.560	4271831.870	154.120	507925.683	4271831.918	154.223	0.123	0.048	0.103
4	507921.955	4271831.006	156.850	507921.938	4271831.031	157.043	0.017	0.025	0.193
5	507920.385	4271846.764	154.100	507920.306	4271846.722	153.871	0.079	0.042	0.229
6	507915.961	4271851.804	154.130	507916.100	4271851.680	154.013	0.139	0.124	0.117
7	507917.614	4271852.592	154.080	507917.326	4271852.579	153.826	0.288	0.013	0.254
8	507915.166	4271857.660	154.120	507914.945	4271857.625	153.991	0.221	0.035	0.129
9	507922.514	4271840.072	149.060	507922.754	4271839.984	149.015	0.240	0.088	0.045
10	507922.465	4271840.011	150.360	507922.598	4271839.936	150.376	0.133	0.075	0.016
11	507922.000	4271841.166	149.060	507921.949	4271841.292	148.907	0.051	0.126	0.153
12	507921.017	4271843.208	149.060	507921.049	4271843.242	149.095	0.032	0.034	0.035
13	507920.951	4271843.164	150.350	507921.160	4271843.169	150.439	0.209	0.005	0.089

14	507920.432	4271844.294	150.340	507920.498	4271844.422	150.458	0.066	0.128	0.118
15	507920.480	4271844.324	149.050	507920.482	4271844.493	149.096	0.002	0.169	0.046
16	507896.847	4271859.914	154.870	507896.887	4271860.351	154.825	0.040	0.437	0.045
17	507908.925	4271867.252	154.830	507908.908	4271867.285	154.726	0.017	0.033	0.104
18	507905.993	4271872.081	154.810	507905.779	4271871.754	154.707	0.214	0.327	0.103
19	507901.099	4271876.702	154.860	507901.165	4271876.673	154.893	0.066	0.029	0.033
20	507902.629	4271877.626	154.770	507902.417	4271877.547	154.684	0.212	0.079	0.086
21	507897.941	4271885.464	154.800	507897.738	4271885.216	154.886	0.203	0.248	0.086
22	507893.014	4271890.098	154.780	507892.934	4271890.059	154.943	0.080	0.039	0.163
23	507894.571	4271891.040	154.770	507894.537	4271891.036	154.692	0.034	0.004	0.078
24	507891.673	4271895.856	154.820	507891.529	4271895.588	154.990	0.144	0.268	0.170
25	507898.935	4271881.927	149.790	507898.946	4271882.046	149.867	0.011	0.119	0.077
26	507898.946	4271881.919	151.220	507899.001	4271882.020	151.153	0.055	0.101	0.067
27	507898.282	4271883.184	151.230	507898.283	4271883.199	151.168	0.001	0.015	0.062
28	507898.222	4271883.170	149.800	507898.244	4271883.128	149.660	0.022	0.042	0.140
29	507907.034	4271868.525	149.810	507907.035	4271868.578	149.913	0.001	0.053	0.103
30	507907.030	4271868.526	151.240	507907.063	4271868.539	151.158	0.033	0.013	0.082
31	507906.372	4271869.759	151.220	507906.378	4271869.748	151.273	0.006	0.011	0.053
32	507906.260	4271869.814	149.810	507906.154	4271869.762	149.632	0.106	0.052	0.178
33	507966.361	4271870.245	150.480	507966.465	4271869.694	150.384	0.104	0.551	0.096
34	507964.529	4271864.901	150.420	507964.593	4271864.895	150.177	0.064	0.006	0.243
35	507966.238	4271864.317	150.440	507966.201	4271864.147	150.488	0.037	0.170	0.048
36	507962.420	4271858.776	150.440	507962.493	4271858.659	150.196	0.073	0.117	0.244
37	507959.455	4271850.084	150.360	507959.530	4271850.119	150.217	0.075	0.035	0.143
38	507961.157	4271849.522	150.430	507961.238	4271849.579	150.456	0.081	0.057	0.026
39	507959.059	4271843.373	150.420	507959.136	4271843.338	150.597	0.077	0.035	0.177
40	507957.387	4271843.949	150.510	507957.470	4271843.871	150.346	0.083	0.078	0.164
41	507955.553	4271838.604	150.420	507956.286	4271838.611	150.291	0.733	0.007	0.129
42	507962.637	4271856.344	145.420	507962.729	4271856.408	145.291	0.092	0.064	0.129
43	507962.710	4271856.358	146.730	507962.748	4271856.351	146.630	0.038	0.007	0.100
44	507962.328	4271855.211	146.720	507962.314	4271855.120	146.763	0.014	0.091	0.043
45	507962.235	4271855.189	145.430	507962.199	4271854.998	145.569	0.036	0.191	0.139
46	507939.184	4271818.968	156.430	507939.163	4271818.953	156.380	0.021	0.015	0.050
47	507941.790	4271813.943	156.440	507941.394	4271813.980	156.357	0.396	0.037	0.083
48	507944.817	4271808.263	156.410	507944.758	4271807.821	156.404	0.059	0.442	0.006
49	507949.058	4271800.186	156.460	507948.707	4271799.970	156.439	0.351	0.216	0.021
50	507952.105	4271794.420	156.360	507951.862	4271793.994	156.367	0.243	0.426	0.007
51	507954.726	4271789.545	156.390	507954.686	4271789.542	156.487	0.040	0.003	0.097
Fark Değerlerinin Aritmetik Ortalaması							0.110	0.109	0.106

BÖHHBÜY’de GPS, yersel ve fotogrametrik yöntemle ölçülen ölçülen detayların konum kontrolüne ilişkin tecviz değerleri 4.1. ve 4.2.’deki bağtıda verilmiştir.

$$KOH_{X,Y} \text{ (cm)} \leq \pm(-1.665 \times 10^{-6} \times S^2 + 0.01745 \times S - 1.166) \quad (4.1.)$$

$$KOH_Z \text{ (cm)} \leq \pm[1.33 \times KOH_{X,Y} \text{ (cm)}] \quad (4.2.)$$

4.1. ve 4.2. bağıntılarında “S” üretilecek harita ölçeğinin paydasındaki değerdir. 1/1000 ölçekli harita üretimi için tecviz değerleri oluşturulduğunda X ve Y yönündeki karesel ortalama hata sınır değerinin **16,1175 cm** Z eksenindeki karesel ortalama hata tecviz değerinin ise **21,436275 cm** olduğu görülmektedir.

X ve Y yönündeki karesel ortalama hata ise 4.3.’deki bağıntıyla hesaplanmıştır.

$$d_s = \sqrt{dx^2 + dy^2} \quad (4.3.)$$

4.3. bağıntısında eğik yöntemle üretilen katı modelden ölçülen X ve Y eksenlerinde detay noktalarının karesel ortalama hatası 15,47 cm olarak hesaplanmıştır. Bulunan karesel ortalama hata değeri BÖHHBÜY’e göre hesaplanan tecviz değerinin içerisinde kalmaktadır. Z yönündeki ortalama hata değeri ise 11 cm olarak hesaplanmıştır. Z yönünde de ortalama hatanın tecviz değerleri içerisinde kaldığı görülmüştür.

Eğik yöntemle üretilen katı modelde özellikle çatıların saçak çıkıntılarının olduğu kısımlarda modelde bozulmalar olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ise saçak çıkıntısının altında nokta bulutu toplanamamasından dolayı modellemenin duvar ve çatı kenarı arasında yapmasıdır. (Şekil 4.11.)



Şekil 4.11. Eğik fotogrametrik yöntemle üretilen katı model üzerinde görülen bozulmalar

Şekil 4.11. de işaretlenmiş alanlarda bozulmalar olduğu görülmektedir. Bu tarz alanlarda ölçüm doğruluğunun da düşeceği görülmektedir.

Çalışma alanı için klasik yöntemle de katı model (mesh) üretimi yapılmıştır. Üretilen katı modelde nokta bulutunda da görüldüğü gibi doğru tanımlanamayan yerler olduğu görülmüştür. Özellikle yan yüzeylerde pencere ya da bina detayı ölçümü yapılamamıştır. Çatı köşelerinde yapılan ölçümlerde ise hata miktarının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yersel yöntemle ölçülen detay noktalarının klasik fotogrametrik yöntemle üretilen katı modelde ölçümleri çizelge 4.2.de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Klasik fotogrametrik yöntemle üretilen katı model üzerinde belirlenen noktaların yersel ölçüm noktalarıyla karşılaştırılması

NN	Saha Alım Koordinat Değerleri (WGS 84 TM 27)			Klasik Yöntemle Üretilmiş Katı Modelin Detay Koordinatları (WGS 84 TM 27)			Mutlak Farklar		
							DX	DY	DZ
1	507929.459	4271827.753	154.010	507927.425	4271828.39	154.704	2.034	0.636	0.694
2	507927.163	4271832.689	154.090	507926.768	4271832.12	154.123	0.395	0.571	0.033
3	507925.560	4271831.870	154.120	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
4	507921.955	4271831.006	156.850	507921.559	4271830.88	156.923	0.396	0.122	0.073
5	507920.385	4271846.764	154.100	507920.331	4271846.47	153.934	0.054	0.292	0.166
6	507915.961	4271851.804	154.130	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
7	507917.614	4271852.592	154.080	507917.433	4271852.63	153.789	0.181	0.035	0.291
8	507915.166	4271857.660	154.120	507914.372	4271856.04	154.154	0.794	1.622	0.034
9	507922.514	4271840.072	149.060	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
10	507922.465	4271840.011	150.360	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
11	507922.000	4271841.166	149.060	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
12	507921.017	4271843.208	149.060	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
13	507920.951	4271843.164	150.350	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
14	507920.432	4271844.294	150.340	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
15	507920.480	4271844.324	149.050	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
16	507896.847	4271859.914	154.870	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
17	507908.925	4271867.252	154.830	507906.046	4271867.65	155.435	2.879	0.396	0.605
18	507905.993	4271872.081	154.810	507904.9	4271871.59	154.876	1.093	0.495	0.066
19	507901.099	4271876.702	154.860	507901.237	4271876.64	154.941	0.138	0.067	0.081
20	507902.629	4271877.626	154.770	507902.192	4271877.61	154.804	0.437	0.015	0.034
21	507897.941	4271885.464	154.800	507897.841	4271885.33	154.92	0.100	0.132	0.120
22	507893.014	4271890.098	154.780	507893.044	4271889.95	154.927	0.030	0.144	0.147
23	507894.571	4271891.040	154.770	507893.768	4271890.77	154.384	0.803	0.275	0.386

24	507891.673	4271895.856	154.820	507890.932	4271893.86	155.333	0.741	1.992	0.513
25	507898.935	4271881.927	149.790	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
26	507898.946	4271881.919	151.220	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
27	507898.282	4271883.184	151.230	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
28	507898.222	4271883.170	149.800	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
29	507907.034	4271868.525	149.810	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
30	507907.030	4271868.526	151.240	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
31	507906.372	4271869.759	151.220	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
32	507906.260	4271869.814	149.810	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
33	507966.361	4271870.245	150.480	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
34	507964.529	4271864.901	150.420	507966.136	4271864.34	149.395	1.607	0.557	1.025
35	507966.238	4271864.317	150.440	507966.251	4271864.14	150.53	0.013	0.176	0.090
36	507962.420	4271858.776	150.440	507963.883	4271858.34	150.448	1.463	0.434	0.008
37	507959.455	4271850.084	150.360	507960.325	4271850.24	150.368	0.870	0.155	0.008
38	507961.157	4271849.522	150.430	507960.993	4271849.35	150.477	0.164	0.170	0.047
39	507959.059	4271843.373	150.420	507959.19	4271843.4	150.608	0.131	0.025	0.188
40	507957.387	4271843.949	150.510	507958.632	4271842.33	150.725	1.245	1.619	0.215
41	507955.553	4271838.604	150.420	507957.769	4271839.83	151.124	2.216	1.224	0.704
42	507962.637	4271856.344	145.420	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
43	507962.710	4271856.358	146.730	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
44	507962.328	4271855.211	146.720	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
45	507962.235	4271855.189	145.430	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı	Ölçüm Yapılamadı
46	507939.184	4271818.968	156.430	507938.813	4271817.55	156.445	0.371	1.417	0.015
47	507941.790	4271813.943	156.440	507940.697	4271813.91	156.502	1.093	0.033	0.062
48	507944.817	4271808.263	156.410	507944.683	4271807.95	156.317	0.134	0.316	0.093
49	507949.058	4271800.186	156.460	507948.738	4271799.84	156.089	0.320	0.349	0.371
50	507952.105	4271794.420	156.360	507951.223	4271793.79	156.138	0.882	0.630	0.222
51	507954.726	4271789.545	156.390	507952.18	4271790.13	156.921	2.546	0.581	0.531
Fark Değerlerinin Aritmetik Ortalaması							0.826	0.517	0.244

Çizelge 4.2.de kırmızı dolguyla gösterilen detay noktaları katı model üzerinde belirlenemediği için ölçümleri yapılamamıştır. Ölçüm yapılan noktaların X ve Y eksenlerinde karesel ortalama hataları 97,46 cm, Z eksenindeki ortalama hatası ise 24,37 cm olarak hesaplanmıştır. 1/1000 ölçekli haritalar için detay noktalarının tecviz değerleri dikkate alındığında tüm eksenlerde tecviz değerlerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Araştırma tez çalışması kapsamında İzmir İli, Menemen ilçesinde yaklaşık 69 hektarlık alanda klasik yöntemle ve eğik fotogrametrik yöntemle veri üretimleri yapılmıştır. Her iki yöntemle de üretilip kıyaslaması yapılan veriler;

- Nokta bulutu,
- Sayısal arazi modeli,
- Sayısal yüzey modeli,
- Katı modeldir

Proje alanında belirlenen 4 farklı bina için çatı ve bina yan yüzeylerinde bulunan detaylar için yersel yöntemle detay ölçümü yapılmıştır. Yersel detay ölçümleri klasik ve eğik fotogrametrik yöntemle üretilen verilerle kıyaslanmıştır.

Bu kapsamda nokta bulutu verisi kıyaslandığında eğik fotogrametrik yöntemde toplanan nokta sayısının klasik yöntemden yaklaşık %60 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu nokta fazlalığı özellikle yapıların yan yüzeylerine de nokta bulutu üretilmesinden kaynaklanmaktadır. Bunun yanında binaların istinat duvarlarının da eğik yöntemle üretilen nokta bulutunda çok daha detaylı olarak üretiminin yapıldığı görülmüştür.

Sayısal arazi modeli ve sayısal yüzey modeli kıyaslamalarında ise nokta bulutu yoğunluğuna bağlı olarak eğik fotogrametrik yöntemde özellikle şevlerin daha detaylı olarak modellendiği görülmüştür. Aynı parametreler kullanılarak filtreleme yöntemiyle zemin noktaları tespiti yapılmıştır. Zemin noktalarından sayısal arazi modeli oluşturulmuştur. Her iki yöntemle oluşturulan sayısal arazi modellerinden 5 metrelik karelej aralıklarında zemin noktaları üretilmiş ve eş yükseklik eğrileri üretilmiştir. Üretilen eş yükseklik eğrilerinin yüksek oranda benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

Çalışma alanında yersel yöntemle belirlenen binalarda cephe ve çatı detayı ölçümleri yapılmıştır. Aynı detay noktaları için klasik ve eğik fotogrametrik yöntemle üretilen katı modellerde ölçümler yapılmıştır. Klasik yöntemde binaların yan cephelerinin tespit edilip ölçümlerin yapılamadığı görülmüştür. Klasik fotogrametrik yöntemde ölçümü yapılan yapılara ait detay noktalarının BÖHKBÜY’de belirtilen 1/1000 ölçekli haritalar için belirlenen tecviz değerlerinin dışında kaldığı görülmüştür. Eğik

fotogrametrik yöntemde binaların çatı ve yan yüzey ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümlerin tecviz değerlerinin içinde kaldığı tespit edilmiştir. Bina yan yüzeylerinin anlaşılabilir ve ölçümlenebilir olduğu görülmüştür. Yalnızca çatı saçak paylarının alt kısımlarında nokta bulutu üretilmediği için binaların üst katlarındaki pencere detaylarında bozulmalar meydana geldiği görülmüştür.

Eğik fotoğraflar 45 derecelik kamera açısıyla çekilmiştir. Binaların saçak paylarındaki bozulmaların önüne geçebilmek için daha büyük açılı eğik fotoğrafların çekilmesi gerektiği görülmüştür. Ufuk çizgisini de göre 60 derecelik açıyla çekilen fotoğraflarda binaların kör noktalarının ortaya çıkarılabileceği önerilmektedir. (Erdönmez,2018)

Klasik yöntemle üretilen katı model ayrıntı düzeyi incelendiğinde Lod 2 seviyesinde olduğu görülmüştür. Eğik fotogrametrik yöntemde ise Lod 3 seviyesinde detay ölçmeleri yapılabilmektedir.

5.2 Öneriler

Araştırma tez çalışması kapsamında klasik fotogrametrik yöntem ve eğik fotogrametrik yöntem kıyaslaması yapılmıştır. Eğik fotogrametrik özellikle meskun alanlarda bina cephelerine ilişkin ayrıntılı sonuçlar elde edilebildiği görülmüştür. Eğik yöntemle üretilen verilerden yapılara ait detayların yüksek hassasiyetle tespit edilip ölçümlerinin yapılabileceği tespit edilmiştir. Bu sayede;

- Tarihi binaların ve yapıların deformasyon analizleri,
- Yapılara ait detay analizleri,
- Zemin oturma analizleri,
- Bina cephelerine ait tahribatların tespit edilmesi,
- Binaların görünürlük analizleri,
- Karayolları sanat yapılarına ait değişimlerin analizleri,
- Arazi kotlarının ani değiştiği alanlar için yüksek doğrulukta ölçme analizleri,

gibi işlemler eğik fotogrametrik yöntemle yapılabilecektir.

KAYNAKLAR

- Akkaya, D., Başaraner, M. 2012, Yapı bilgi modellemesi (YBM) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS), Akademik Bilişim'12 - XIV. Akademik Bilişim Konferansı, 1 - 3 Şubat 2012, Uşak.
- Arslanbek, L.,2009, Farklı Kaynaklardan Elde Edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Ortofoto Doğruluğuna Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi Fotogrametri Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.
- Ayyıldız,E.,2017, Fotogrametri Yöntemiyle Oluşturulan 3 Boyutlu Şehir Modellerinin Kadastral Verilerle İlişkilendirilmesi
- Döllner, J., and Buchholz, H., (2005), Continuous Level-of-Detail Modeling of Buildings in 3D City Models, Proceedings of ACM GIS 2005, 173-181.
- Gregory-Lederer.,M.,2020, Nadir And Oblique Uav Photogrammetry Techniques For Quantitative Rock Fall Evaluation In The Rimrocks Of South-Central Montana
- Hirschmüller,H.,2008, Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information, IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, VOL. 30, NO. 2
- Kara, G., 2019, Geleneksel Fotogrametrik Yöntemle Üretilen Haritaların 3 Boyutlu Konum Doğruluğu Analizi: Çağlayan/Erzincan Örneği, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı
- Kılıç Y., Ekinci K. ve Kısa A., 2017, İHA ve Hava Kameralı Uçak İle Havadan Alınan Görüntüler Sonucu Elde Edilen Ürünlerin Karşılaştırılması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Kılınç, Ç., 2020, Nokta Bulutu Filtreleme Teknikleri İle Eşyükseklik Eğrisi Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.
- Kılınçoğlu, D., B.,2016, Farklı İnsansız Hava Araçları İle Elde Edilen Görüntülerin Otomatik Fotogrametrik Yöntemlerle Değerlendirilmesi Ve Doğruluk Analizi
- Kolbe, T.H. 2009,Representing and exchanging 3D city models with CityGML 3D Geo-Information Sciences, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Springer: Berlin, 15-31.
- Kraus, K., 1997. Photogrammetry Volume I-II, Dümmlers Verlag, Germany
- Lange, E. Petschek, P. Stuppach, S., 2004, Präsentation von Planungen, Der Einsatz von neuen Medien und 3d visualisierungen beim Wettbewerb Zürich-Leutschenbach,. Sayı: 7, 22-26.

- Marangoz, A. M., 2002, Sayısal kameralarla tarihsel yapıların rölevellerinin çıkarılması olanakları. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Özer E., Erkek B. ve Bakıcı S., 2014, Eğik Resim Fotogrametrisinin Arazi Yönetiminde Kullanımı, 5. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu, (UZAL-CBS 2014), İstanbul.
- Özerbil, T., Gökten, E., Önder, M., Selçuk, O., Sarılar, N. Ç., Tekgül, A., Yılmaz, E. ve Tütüneken, A., 2014, Oblique Aerial Image Acquisition, 3d City Modeling, 3d City Guide Project For Konya Metropolitan Municipality Uzal Cbs.
- Petrie G., 2008, Systematic Oblique Aerial Photography Using Multiple Digital Cameras, VIII International Scientific & Technical Conference "From Imagery to Map: Digital Photogrammetric Technologies", Porec, Croatia.
- Polat, N., 2014, Farklı Filtreleme Yöntemleri İle Lidar Nokta Bulutlarından Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi Fotogrametri Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.
- Rau, J.-Y., Jhan, J.-P., Hsu, Y., C., 2015, Analysis of Oblique Aerial Images for Land Cover and Point Cloud Classification in an Urban Environment, IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL. 53, NO. 3,
- Remondino F., Gerke M., 2015, Oblique Aerial Imagery – A Review, Photogrammetric Week 2015, Offenbach, Stuttgart.
- Uçar, E., Ergün, B., Fotogrametride Üç Boyutlu Şehir Modelleme Teknikleri Ve Cbs Kullanımı, Harita Dergisi, Sayı:132
- Varlık, A., Erdönmez, M., 2020, Yapılaşmış Alanlarda İnsansız Hava Araçları ile Eğik Resim Fotogrametrisi Uygulaması, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
- Yastikli, N., Bayraktar, H. ve Erisir, Z., 2014, Performance Validation of High Resolution Digital Surface Models Generated by Dense Image Matching with the Aerial Images, Isprs Technical Commission I Symposium, 40-1, 429-433.