

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İYİLEŞTİRİLMİŞ SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ İLE YENİ BİR GERÇEK
ORTOFOTO MODÜLÜ GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alanur YAVUZ

OCAK 2024

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İYİLEŞTİRİLMİŞ SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ İLE YENİ BİR GERÇEK
ORTOFOTO MODÜLÜ GELİŞTİRİLMESİ**

Alanur YAVUZ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"HARİTA YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 / 12 / 2023

Tezin Savunma Tarihi : 08 / 01 / 2024

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fevzi KARSLI

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

“İyileştirilmiş Sayısal Yükseklik Modeli ile Yeni Bir Gerçek Ortofoto Modülü Geliştirilmesi” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca danışmanım olarak araştırmalarımı yönlendiren, fikirleri ile vizyonumu geliştiren, çok değerli saygıdeğer hocam Prof. Dr. Fevzi KARSLI’ya teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmam süresince desteklerini benden esirgemeyen saygıdeğer hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Sibel CANAZ SEVGİN ve Öğr. Gör. Dr. Emirhan ÖZDEMİR’e teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım boyunca destek ve bilgilerini benden esirgemeyen arkadaşlarım, Harita Müh. Oğuzhan KÖSE’ye, Harita Müh. Ece FİŞ arkadaşlarıma ve tez çalışmalarım boyunca bana yardımcı olan ve bilgi, birikimini benimle paylaşan Harita Yüksek Müh. Murat BAHADIR’a ayrıca teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak hayatımın her anında sevgi ve destekleriyle yanımda olan, üzüntü ve sevinçlerimi paylaşan anneme, babama, kardeşlerime en içten teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bu tez çalışmasının bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Alanur YAVUZ

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İyileştirilmiş Sayısal Yükseklik Modeli İle Yeni Bir Gerçek Ortofoto Modülü Geliştirilmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Fevzi KARSLI’nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 08/01/2024

Alanur YAVUZ

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA NO</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Problemin Tanımı	3
1.3. Çalışmanın Amacı	4
1.4. Metodoloji	4
1.5. Literatür Araştırması.....	4
1.6. Temel Kavramlar	7
1.6.1. Fotogrametri ve Matematiksel Modeli	7
1.6.2. Hava Fotogrametrisi ve Kullanılan Kameralar	12
1.6.3. Lazer Tarama Teknolojisi	16
1.6.4. Nokta Bulutları.....	20
1.6.5. SMRF Filtreleme Yöntemi.....	23
1.7. Ortofoto	24
1.7.1. Dijital Ortofoto.....	26
1.8. Doğru (True) Ortofoto	28
1.9. Yükseklik Modelleri	29
1.9.1. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM).....	29

1.9.2.	Sayısal Arazi Modeli (SAM).....	31
1.9.3.	Sayısal Yüzey Modeli (YM)	32
1.10.	ArcGIS Yazılımı	33
1.10.1.	ArcGIS Yazılımında Python Programlama Dili.....	34
1.10.2.	ArcGIS Add-in Teknolojisi	35
1.10.3.	ArcGIS Yazılımında Ortofoto	38
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	44
2.1.	Çalışma Alanı, Veri Seti ve Özellikleri	44
2.2.	Kullanılan Yazılım ve Modüller	50
2.3.	Çalışma Kapsamında Gerçekleştirilen İşlemler.....	51
2.3.1.	Ortofoto Adına Gerekli Kodların Oluşturulması	52
2.3.2.	Klasik SYM Üretimi	55
2.3.3.	İyileştirilmiş SYM (<i>i</i> -SYM) Üretimi.....	56
2.3.3.1.	Nokta Bulutu Filtreleme	58
2.3.3.2.	ABORE Yönteminin Uygulanması	60
2.3.3.3.	ABORE Sınır Nokta Sıklaştırması	63
2.3.3.4.	Zemin Verisi ve Bina Çatı Noktaları Entegrasyonu	65
2.3.4.	Klasik ve Doğru Ortofoto Üretimi	67
2.3.5.	<i>i</i> -SYM ile Doğru ² Ortofoto Üretimi	68
2.3.6.	Visual Studio Kullanımı.....	69
2.3.7.	Modül ve Arayüz Oluşturmak İçin Visual Studio Kullanımı	71
2.3.8.	Visual Studio ile ArcGIS Entegrasyonu.....	73
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER.....	74
3.1.	Klasik Yöntemle Üretilen Ortofoto ile Nokta Bulutu Karşılaştırma Sonuçları.....	74
3.2.	Doğru Ortofoto ile Nokta Bulutu Karşılaştırılma Sonuçları	77
3.3.	<i>i</i> -SYM ile Üretilen Doğru ² Ortofoto ile Nokta Bulutu Karşılaştırılma Sonuçları	80
3.4.	Üretilen Ortofotolarla <i>i</i> -SYM ile Elde Edilen Doğru ² Ortofotonun Konumsal Doğruluk Kıyaslama Sonuçları.....	82
4.	TARTIŞMA	96
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	98

6. KAYNAKÇA.....	102
------------------	-----

ÖZGEÇMİŞ



ÖZET

İYİLEŞTİRİLMİŞ SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ İLE YENİ BİR GERÇEK ORTOFOTO MODÜLÜ GELİŞTİRİLMESİ

Alanur YAVUZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Fevzi KARSLI
2024, 122 Sayfa

Fotogrametri ve uzaktan algılama alanındaki teknolojik ilerlemeler, veri üretim sürecini kolaylaştırmakta ve yüksek performanslı yazılımlarla ortofoto üretim sürecini hızlandırmaktadır. Üretilen klasik ortofotolar, referans verilerle karşılaştırıldığında doğruluk düzeyi yetersiz kalmaktadır. Doğru ortofoto üretimi sırasında karşılaşılan en sık hatalardan biri de sayısal yükseklik modelinin (SYM) düzgün bir şekilde oluşturulamamasıdır. Bu çalışmada, ticari yazılımlarla üretilen doğru ortofotonun doğruluğunu artırmak üzere içeriğinde sadece bina çatı ve sınırlarını temsil eden verilerin bulunduğu iyileştirilmiş SYM (i-SYM) ile **doğru**² ortofoto üretimi önerilmiş ve gerçekleştirilmiştir. Sözü edilen öneri, Python programlama dilinden faydalanarak, ticari bir yazılım ArcGIS platformuna yeni bir ortofoto modülünün entegrasyonu ile desteklenmiştir. Yaklaşımın testi için, veri seti olarak Yenice İlçesi'nde (Karabük) seçilen bölgeye ait yüksek çözünürlüklü kırk dört dijital görüntü kullanılmıştır. Üretilen sonuç, ticari yazılımlar tarafından üretilen gerçek ortofoto sonuçları ve referans nokta bulutu ile kıyaslanmıştır. Çalışma sonucunda i-SYM kullanımının, ortofoto üretimindeki doğruluk seviyesini önemli ölçüde yükselttiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ortofoto, Gerçek Ortofoto, SYM, ArcGIS

Master Thesis

SUMMARY

DEVELOPMENT OF A NEW TRUE ORTHOPHOTO MODULE WITH AN IMPROVED DIGITAL ELEVATION MODEL

Alanur YAVUZ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied
Sciences Geomatics Engineering Graduate
Programme Supervisor: Prof. Dr. Fevzi KARSLI
2024, 122 Pages

Technological advances in the field of photogrammetry and remote sensing facilitate the data production process and accelerate the orthophoto production process with high-performance software. Conventional orthophotos produced are not accurate enough when compared with reference data. One of the most common errors encountered during accurate orthophoto production is the failure to properly generate the digital elevation model (DEM). In this study, in order to improve the accuracy of the true orthophoto produced with commercial software, the production of **true²** orthophotos with an improved DEM (*i*-DEM), which contains only data representing building roofs and boundaries, is proposed and realized. The proposal was supported by the integration of a new orthophoto module into a commercial software ArcGIS platform using the Python programming language. Forty-four high resolution digital images of a selected region in Yenice District (Karabük) were used as a dataset for testing the approach. The produced result was compared with the true orthophoto results produced by commercial software and the reference point cloud. As a result of the study, it was found that the use of *i*-DEM significantly improves the accuracy level in orthophoto production.

Key Words: Orthophoto, True Orthophoto, DEM, ArcGIS

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Klasik fotogrametrik harita üretim süreci	9
Şekil 2. Fotogrametrinin matematiksel modeli	10
Şekil 3. Analog hava kamera sistemi (Leica RC30) (URL12).....	14
Şekil 4. Sayısal çerçeve kamera sistemi (URL13)	16
Şekil 5. Sayısal satır tarayıcı sistem (URL18)	16
Şekil 6. Havadan lazer tarama (Harikumar, 2019).....	18
Şekil 7. Yersel lazer tarama cihazları (URL14)	20
Şekil 8. (a) hava LiDAR nokta bulutu, (b) yersel LiDAR nokta bulutu, (c) mobil LiDAR nokta bulutu (URL19).....	22
Şekil 9. Fotogrametrik nokta bulutu (Karabük-Yenice örneği)	23
Şekil 10. SMRF ile zemin ve zemin üstü verilerin gösterimi	24
Şekil 11. Fotogrametrik veri üretim iş akışı.....	25
Şekil 12. Ortofoto ve sayısal yüksek modeli arasındaki ilişki (Kraus, 2007)	26
Şekil 13. Ortofoto harita (URL15)	27
Şekil 14. Ortofoto ve dijital görüntü	27
Şekil 15. (a) SAM ile üretilen ortofoto, (b) SYM ile üretilen doğru ortofoto (URL1)	28
Şekil 16. (a) Ortofoto, (b) Doğru ortofoto (URL1)	29
Şekil 17. Sayısal yükseklik modeli	30
Şekil 18. TIN	31
Şekil 19. Sayısal arazi modeli	32
Şekil 20. Sayısal yüzey modeli	32
Şekil 21. SAM ile SYM arasındaki ilişki	33
Şekil 22. ArcGIS Pro arayüzü ve bir çalışma örneği	34
Şekil 23. CBS ile Python kullanımı (URL5).....	35
Şekil 24. Python Add-in Wizard arayüzü	36
Şekil 25. Örnek eklenti modül kodu	36
Şekil 26. (a) Toolbox oluşturma, (b) Script oluşturma, (c) Python kod ekleme	37
Şekil 27. (a) Girdi, kayıt verileri düzenleme, (b) Modül eklentisi	37
Şekil 28. ArcGIS Pro Add-in Manager arayüzü	38
Şekil 29. ArcGIS Pro ortofoto üretim aşamaları	39
Şekil 30. ArcGIS Pro’da ortofoto işlem adımı temsili	40

Şekil 31. ArcGIS Pro’da blok dengeleme araçları.....	40
Şekil 32. ArcGIS Pro’da ortofoto ürün araçları.....	41
Şekil 33. Yazılım çıktısı ortofotolar üzerindeki bozulmalar (URL6)	41
Şekil 34. SYM iyileştirmesiyle elde edilen TKGM örnek verisi (URL1).....	42
Şekil 35. ArcGIS Pro üzerindeki işlem adımları; (a) binalara ait nokta bulutu verisinin ortofoto üzerinde gösterimi, (b-c) binalara ait nokta bulutundaki boşlukların tespiti ve doldurulması, (d) bina sınırlarının manuel düzeltilmesine ilişkin dayandırıldıkları şekiller (URL17).....	43
Şekil 36. Çalışma alanı.....	44
Şekil 37. Uçuş yönü doğrultusunda çalışma alanına ait fotoğraflar.....	45
Şekil 38. Çalışma alanı olarak kullanılan bölge (Karabük-Yenice).....	48
Şekil 39. Referans nokta bulutu verisi	49
Şekil 40. Önerilen yaklaşım genel iş akışı	51
Şekil 41. Ortofoto kod genel işlem adımları	54
Şekil 42. (a) Ham veri, (b) Kod çıktı sonucu.....	54
Şekil 43. (a) Mozaik, (b) Ortofoto kod çıktısı.....	55
Şekil 44. Çalışma bölgesine ait SYM.....	55
Şekil 45. Klasik ortofoto (a) ve Doğru ortofoto (b) (URL11).....	56
Şekil 46. SYM’nin yaygın yanlış kullanımı (a), doğru kullanımı (b)	57
Şekil 47. Tasarlanan <i>i</i> -SYM.....	57
Şekil 48. <i>i</i> -SYM üretim iş akışı.....	58
Şekil 49. Nokta bulutu filtreleme	59
Şekil 50. Aynı binaya ait nokta bulutu verisinin; Global Mapper çıktısı (a), SMRF sınıflandırma çıktısı (b).....	59
Şekil 51. ABORE bina sınır gösterimi	60
Şekil 52. ABORE tekniği ile bina düzgünleştirme	61
Şekil 53. Örnek bir veri seti için ABORE kullanımı.....	61
Şekil 54. ABORE yöntemi sonrası uygulama işlem adımları.....	62
Şekil 55. ABORE sınır nokta sıklaştırması işlem adımları temsilleri.....	63
Şekil 56. Bina sınırlarının gösterilmesi	64
Şekil 57. Zemin verisi ve bina çatı noktaları entegrasyonu	65
Şekil 58. Sonuç ürün <i>i</i> -SYM	66
Şekil 59. Boşlukları doldurulmuş <i>i</i> -SYM.....	66
Şekil 60 <i>i</i> -SYM oluşturulması.....	67
Şekil 61. (a) Klasik yöntemle üretilmiş ortofoto, (b) Doğru yöntemle üretilmiş ortofoto	68

Şekil 62. <i>i</i> -SYM ile üretilen doğru ² ortofoto	68
Şekil 63. Visual Studio kullanımında genel iş akışı sıralaması.....	69
Şekil 64. Örnek SDK gösterimi.....	70
Şekil 65. Visual Studio kurulumu	71
Şekil 66. Visual Studio-ArcGIS Pro entegrasyon kurulumu.....	71
Şekil 67. Modül oluşturma arayüzleri	72
Şekil 68. C dilinde ilgili düzenlemelerin yapıldığı Visual Studio ekranı.....	72
Şekil 69. Detaylandırılmış Visual Studio iş akış sıralaması.....	73
Şekil 70. Visual Studio Çıktılarının ArcGIS programında gösterimi	73
Şekil 71. Klasik ortofoto gösterimi	75
Şekil 72. Klasik ortofoto ile nokta bulutu gösterimi	75
Şekil 73. <i>i</i> -SYM için oluşturulan çıktı sonucun doğru ortofoto üzerinde gösterim	78
Şekil 74. <i>i</i> -SYM üretimi ile elde edilen doğru ² ortofoto ile nokta bulutu gösterimi	80
Şekil 75. 14 binaya ait konumsal fark analizi grafikleri; (a-m) Bina 1;14.....	85
Şekil 76. Üç farklı ortofoto tekniğine göre üretilen sonuç görüntüler.....	92
Şekil 77. Doğru ² ortofoto hayalet örünü gösterimi	96
Şekil 78. Doğru ² Ortofoto ile klasik ortofoto kıyası.....	99
Şekil 79. Doğru ² Ortofoto ile referans nokta bulutu çakıştırması	99
Şekil 80. Sonuç ortofotoların kıyaslanması.....	100
Şekil 81. Bina 5 için (a) Klasik ortofoto, (b) Doğru ortofoto, (c) Doğru ² ortofoto gösterimi	101

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Kamera türler ve açıklık açıları.....	14
Tablo 2. Zenmuse P1 kamera özellikleri.....	45
Tablo 3. Veri seti içerisinde kullanılan ham görüntülere ait bilgiler	46
Tablo 4. Referans nokta bulutuna ait özellikler	49
Tablo 5. Binalara ait nokta yoğunluğu ve nokta sayısı	64
Tablo 6. Çalışma içerisindeki gereksinimler.....	70
Tablo 7. Klasik ortofoto için bina köşe koordinat bilgileri	75
Tablo 8. Doğru ortofoto için bina köşe koordinat bilgileri	78
Tablo 9. i-SYM ile üretilen doğru ² ortofoto için bina köşe koordinat bilgileri	81
Tablo 10. Ortofotolar için konumsal doğruluk analizi	83

SEMBOLLER DİZİNİ

ABORE	: Automatic Building Outline Regularization
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CSF	: Cloth Simulation Filtering
ESRI	: Environmental Systems Research Institute Inc.
GDAL	: Geospatial Data Abstraction Library
GM	: Global Mapper
GSD	: Ground Sampling Distance
ISPRS	: Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği
İHA	: İnsansız Hava Aracı
LiDAR	: Light Detection and Ranging
NET	: Network
SDK	: Software Development Kit
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
SMRF	: A simple morphological filter
TIN	: Triangulated Irregular Network
3B	: 3 Boyutlu
2B	: 2 Boyutlu

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Haritacılık sektöründe, analog kameralarla başlayıp sayısal kameralarla devam eden süreçte özel donanımlı uçaklarla gerçekleştirilen hava görüntüleme faaliyetleri bugün de aktif olarak devam etmektedir. İnsansız hava araçlarının kameralarla donatılmasıyla birlikte hava görüntüleme işlemleri daha da kolaylaşmıştır. Çeşitli nedenlerden dolayı uçaklar ve uydu sistemlerinden tam düşey görüntüler (hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri) alınamamakta, alınan görüntüler arazi koordinat sisteminin eksenleri (X, Y ve Z) ile belli oranda eğiklik ve dönüklüklere sahip olmaktadır. Bunun dışında, arazinin tam düz olmaması, çeşitli engebe ve yükseklik farklarına sahip olması ve yatay düzleme tam paralel olmaması gibi nedenlerle, çekilen hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinin her noktasında ölçek değişmekte ve elde edilen ham görüntü verileri bir harita gibi doğrudan kullanılamamaktadır.

Fotogrametri ve uzaktan algılama alanlarında yaşanan teknolojik ilerlemeler, veri üretim sürecini oldukça hızlandırmıştır. Gelişmiş yazılımlar sayesinde alınan görüntü tabanlı veriler, ortofoto üretimini hızlandırmaktadır. Ancak, fotogrametrik işlemlere tabi tutulan ham görüntülerin yetersizliği, ortofoto görüntülerinin istenilen doğruluk seviyesine ulaşmasını engellemektedir. Bu yetersizlik, yükseklik modellerinin (Sayısal Yükseklik/Arazi Modeli) filtrelenmemesi veya iyileştirilmemesi nedeniyle ortaya çıkmaktadır.

Birçok alanda kullanılmak üzere yüksek konumsal doğruluklu gerçek ortofoto haritalarının üretimi için de dünya yüzeyini üç boyutta en iyi düzeyde temsil edebilen SYM verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) verileri ancak yüzeyde milyonlarca noktada yapılan hassas 3B konum ölçümleri sonrasında üretilmektedir (Acar H., 2018).

Nokta bulutu konumsal bilgileri ortofoto üretim süreci ile ilişkilendirilebilir. Ortofotolar tüm nesneleri doğru planimetrik konumlarında temsil eden tek tip bir ölçeğe sahiptir. Bununla birlikte, geleneksel yöntemler kullanılarak üretilen ortofotolar, yüksek nesneler tarafından kapatılan alanlarda meydana gelen çift eşleme etkisinden muzdariptir. Çift eşleme sorunu, bir oklüzyon algılama sürecinin dahil edildiği yaygın olarak bilinen

gerçek ortofoto üretim prosedürü ile çözülebilir (Gharibi H. ve Habib A., 2018) .

Yol, köprü ve bina çatı kenarlarının net bir şekilde tanımlanmaması gerçek ortofotoda ciddi bir sorunu oluşturmaktadır. Yapılan araştırmalar, bu sorunun üstesinden gelmede SYM'nin kalitesinin önemli bir rol oynadığını ve sadece lazer noktalarıyla üretilen SYM'nin yeterli olmadığını göstermektedir (Günay, Arefi, & Hahn, 2007).

Birçok kentsel uygulama, doğru konumlara sahip sonuçlar için temel veri kaynağı olarak gerçek ortofotolara ihtiyaç duyar. Binalar, harita üzerinde sunulması gereken önemli nesnelerden biridir. Yüksek binalar, hava fotoğrafı alım geometrisinin neden olduğu kabartma yer değiştirmesi nedeniyle konumsal bozulmaya maruz kalabilir. Gerçek Ortofoto üretimi, bir SYM kullanarak görüntü piksellerini doğru konuma geri yansıtıp bozulmayı gidermek için en güvenilir yöntemlerden biridir. Ancak, SYM gridleme nedeniyle bazı binalar keskin kenarlarını kaybedebilir. Bu da gerçek ortofotolarda bina sınırı hatalarına yol açmaktadır (bina kenarlarında görüntüde akmalar olur). Bina kenarları ne kadar keskin ve iyi temsil edilirse, oluşturulan SYM ile ortaya çıkan gerçek ortofotolar da o kadar iyi olacaktır. Gerçek ortofotoda en belirgin hatalar testere dişi etkileri, konumsal değişim, rölyef etkisi, gölgelenme ve çift eşleme gibi etkileri içerir. SYM hatalarını düzeltmek için, SYM enterpolasyonu ve üretim öncesinde nesne sınırlarındaki kesintileri telafi etmek önemlidir (Ebrahimikia vd., 2022).

Çıktı görüntülerde SYM verileri net ve düz bina çatı kenarlarını oluşturamayabilir. Bu durum ortaya koyulan sonuç ürün ortofotonun kalitesini etkilemektedir. SYM enterpolasyonu sırasında yapılacak iyileştirme veya bina sınırlarını eklemek faydalı olacaktır (Widyaningrum, Lindenbergh, Gorte, & Zhou, 2018).

SYM verilerinin iyileştirilmesi aşaması için kullanılan bina kenarlarının düzgün çıkartılabilmesi ve bina kenar keskinleştirme gibi işlemler amacıyla nokta bulutu verisinde bulunan bina ve bina dışı noktaların sınıflandırılarak gereksiz noktaların eliminasyonu ve tamamlanamayan kenarlarının yeniden oluşturularak düzgün bina geometrisinin elde edilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında ortofoto doğruluk kalitesinin artırılması ve doğru (true) ortofoto mantığının bir kademe daha ileri taşınması amacıyla önerilen *doğru² ortofoto* adlı yöntem üretimi için SYM iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu iyileştirme sürecinde farklı kaynaklarca üretilmiş nokta bulutu verisine ait bina ve diğer obje temsillerinin sınıflandırılması, sınıflandırılan bina çatı ve bina çatı kenarlarının nokta sıklaştırması ile otomatik çıkartılması,

ardından sınıflandırılmış zemin verisi ile iyileştirilmiş, gürültülerden arındırılmış ve doğru konumsal veriye sahip SYM oluşturulmuştur. Oluşturulan iyileştirilmiş SYM (*i*-SYM) verisi yardımıyla *doğru*² ortofoto üretilerek klasik ortofotolar ve referans veri ile arasındaki konumsal farklılık ve üstünlükler incelenmiştir. Önerilen yöntemin ticari programlara eklenti bir modül şeklinde kullanılması amacıyla da ArcGIS ortamında Python açık kaynak kod ile bir arayüz geliştirilmiştir. Önerilen yöntem ile çalışmada seçilen ArcGIS yazılımının bu yöndeki yetersizlikleri de belli ölçüde giderilmiştir.

1.2. Problemin Tanımı

Fotogrametri, CBS ve Uzaktan Algılama konulu uygulamalar için birçok program ve yazılım bulunmakta ve kullanılmaktadır. Bu yazılımlar amaca yönelik olarak işlem sürecini otomatik gerçekleştirebildiği gibi manuel olarak da gerçekleştirebilir. Bu durum programlar için bir eksiklik olarak tanımlanabilmektedir. Günümüzde programlama dillerinin aktif kullanılması ve bu dillerin programlarla eşgüdümlü olabilmesi hem çeşitli problemlerin çözümü için ışık kaynağı olurken hem de literatüre yeni eklenmiş fakat programlarda bulunmayan özellikler açısından çözüm kapısı olmaktadır. Örneğin, kapsadığı çalışma alanlarındaki genişliğiyle bilinen ArcGIS yazılımı, diğer çoğu program ve yazılımlar gibi ortofoto ve doğru (true) ortofoto üretimi yapabilmektedir. Fakat, üretilen sonuç ortofotoda hem kullanılan SYM'ye bağlı olarak bina kenarları referansla örtüşmemiş, dalgalı, kayık, radyometrisi bozulmuş görüntülerin oluşması bir eksiklik olarak tanımlanmakta, hem de SYM'lerin iyileştirilmemesi sonucu bina sınırlarının otomatize olmayan bina sınır çıkartma ve sınır düzgünleştirme gibi işlemlere tabi tutulmaması sonuç doğruluğunu etkilemektedir. Yapılan bazı işlem adımlarının hala manuel olması ve programın istenilen doğrulukta sonuç verememesi bu yazılımı, kullanılan uygulamalar için doğruluk açısından kısmen de olsa yetersiz kılmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada *i*-SYM kullanılarak gerçekleştirilen *doğru*² ortofoto ile ArcGIS yazılımının desteğine olanak sunduğu programlama dili olan Python kullanılarak belirtilen sorun çözümlenmeye çalışılmış ve modül oluşturulmuştur. Oluşturulan modül bir arayüzle güncel sürüm ArcGIS Pro 3.0 ortamına entegre edilmiştir.

1.3. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma ticari yazılımlarda var olan fakat çıktı ürün doğruluğunun artırılması hedeflenen ortofoto ve doğru ortofoto mantığını bir ileri seviyeye taşıyarak *doğru*² ortofoto oluşturulması adına *i*-SYM kullanılması ve Python yazılım dili ile ArcGIS ortamına yeni bir modül geliştirilmesi amaçlamaktadır. Kullanılan yazılım dilinin avantajıyla geliştirilen modül güncellenebilme esnekliğine sahiptir. Sözü edilen modül ile ArcGIS yazılımına bir eklenti (“Add-in”) oluşturulmuştur. Bu amaçla, çalışma için programlama dili olarak Python (3. 11. 2), kullanılan ortam olarak Anaconda Navigator (Spyder 5. 4. 2) seçilmiştir. Modül oluşturmak ve kodun ArcGIS entegrasyonu için Visual Studio 2022 kullanılmıştır. Bu dille oluşturulan modülle, ortofoto kodu Python programında hazırlanmış ve ArcGIS yazılımına Visual Studio programı ile entegre edilmiştir.

1.4. Metodoloji

Yeni bir ortofoto üretim tekniği ortaya konulan bu tez çalışması kapsamında kullanılan verilere uygulanan işlemler ve yapılan çalışmalar;

- Python programlama dilinde betikler oluşturulması,
- İyileştirilmiş sayısal yükseklik modelinin üretilmesi için ABORE yöntemi ile otomatik sınır düzgünleştirilmesi,
- ABORE sınır noktalarına yükseklik değeri atanması ve sıklaştırılması,
- *Doğru*² ortofoto üretilmesi,
- Visual Studio yardımıyla modül ve arayüz oluşturulması,
- Arayüzün ArcGIS ortamına entegre edilmesi,

işlem adımlarını içermektedir.

1.5. Literatür Araştırması

Ortofoto üretimi için temel yardımcı verilerden olan SYM’nin son yıllarda farklı

tekniklerle hassas bir şekilde üretilmesi avantaj olarak görülse de ortofoto doğruluğunun artırılmasına yönelik hassas ve düzenli bir SYM verisinin üretimde kullanılması için uygun hale getirilmesi de zor bir işlem olup ortofoto üretimi açısından dezavantaj olarak değerlendirilmektedir. Bu bölümde, ortofoto ve iyileştirilmesine yönelik literatürde yapılan çalışmalar incelenmiş, bu çalışmalarda izlenen yöntem ve sonuçları aşağıda paylaşılmıştır.

Barazzetti L. vd. (2010), binaların temsilini iyileştirmek için gerçek ortofotoların oluşturulmasına yönelik, SAM/SYM'ler ve LiDAR (Light Detection And Ranging) verileri gibi çeşitli ürünlerin entegrasyonuna dayalı bir yaklaşım kullanarak çatı yer değiştirmesini düzeltebilen yeni bir yöntem önermişlerdir. Yöntem kapsamında, RANSAC kullanılarak otomatik modelleme ile seçilen bazı basit çatılar için, bir kümeleme prosedürü ile belirlenen eğimleri modellemişlerdir. Bu yöntem sayesinde, görüntünün geometrik düzeltmesinde, özellikle de şerit şeklindeki etkinin azaldığı kırılma çizgileri boyunca daha fazla iyileşme elde etmişlerdir.

Wu J. vd. (2011), doğru (gerçek) ortofoto üretiminde bina sınırlarının tam olarak doğru konumlandırılması zorluğundan yola çıkarak bina sınırlarının LiDAR verileri ve görüntülerin birleştirilmesiyle elde edilen 3B çizgi segmentlerinin kullanıldığı bir iyileştirme yöntemi önermişlerdir. Yöntem içerisinde LiDAR verilerinden 3B çatı düzlemi, görüntülerden binanın 2B kenar çizgileri olarak yönlendirilmiş bir uzay çizgisinin uzayda bir nokta ile bir düzlemi kestiği fikrine dayandırmışlardır. Yöntem doğruluğunu test ederek analiz etmişlerdir.

Chen Y. vd. (2014), ortofotolarda bulunan çift eşleme, kayıklık, yer değiştirme gibi sorunların var olma sebeplerinin çoğunlukla binalardan kaynaklandığını vurgulayarak özellikle yapılaşmış alanlarda, hava görüntülerinden doğru ortofotoların üretilmesi için hava görüntüleri dışında ek veri kaynaklarına bağlı olmayan yeni bir yöntem sunmuşlardır. Yöntem kapsamında görüntü eşleştirilmesiyle elde edilen nokta bulutu sınıflandırma sonucunun rehberliğinde görüntü segmentasyonu ve kenar algılama tekniklerini kullanarak bina çatı anahat modeli üretmişlerdir. Gerçek veriler üzerinde yapılan deney sonuçlarında yöntemin doğruluğu, seçili test alanlarında %88 ile %78 aralığında olduğu tespit etmişlerdir.

Deng F. vd. (2015), SYM, sayısal bina modeli ve görüntü verilerini kullanarak geleneksel ortofotolarda bulunan bina konumsal hatalarını düzeltmek için otomatik gerçek ortofoto üreten bir yöntem önermişlerdir. Oluşturdıkları sayısal bina modeli ile 3 boyutlu çatı üçgenlerinin ortografik olarak zemine yansıtılmasıyla binanın doğru konumu elde

etmişlerdir. Oklüzyon alanı belirleyerek eksik radyometrik bilgi en iyi bağımlı görüntülerden elde edilip piksel piksel bu alanları doldurmuşlardır. Bir komşu ortalama filtresi yardımıyla kesim çizgileri, kontur pürüzleri gibi etkileri yumuşatmışlardır. Deneysel sonuçlar, gerçek ortofoto üretimi için önerdikleri yöntemin etkili olduğunu gösterip X ve Y eksenlerinde sırasıyla 0,149 ve 0,061 m RMSE'lere ulaşmışlardır.

Widyaningrum vd. (2018), gerçek ortofoto üretiminin kullanılan SYM kalitesine direkt olarak bağlı olmasından ötürü bina ana hatlarının kırılma çizgileri olarak dahil edildiği SYM üretimini konu alan bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemi bina çatı ana hatlarını oluşturmak için veri odaklı bir yaklaşım olarak sunmuşlardır. Yöntem hem karmaşık hem de düz çatı kenarlarından oluşan 42 binalık bir alan içerisinde kullanılarak RanSAC ile köşe noktası seçimi, DBSCAN tabanlı kümelenme ile de kenar noktalarını hedef almışlardır. Kalite değerlendirmesi ile önerilen yöntemin temel haritadaki bir bina çizgisine kıyasla kabul edilebilir geometrik doğrulukla bina çizgilerinin %92'sini sağlayabildiğini tespit etmişlerdir.

Haggag M. vd. (2018), yüksek çözünürlüklü hava görüntülerinden gerçek ortofoto üretimi için yeni bir yöntem sunmuşlardır. Önerdikleri yöntemi, demet blok ayarlamasına dayalı görüntü yönlendirme, yarı küresel eşleştirme (SGM) tekniği kullanılarak sayısal yüzey modeli üretimi ve gerçek ortofoto üretimi olarak üç ana başlığa ayırmışlardır. Elde ettikleri sonuç gerçek ortofoto ile hayalet etkisi ve çoklu doku eşlemesi içermeyen titiz bir görüntü elde edip yöntemin etkinliğini ve doğruluğunu nitel ve nicel olarak doğrulamışlardır.

Acar H. (2018), gerçek ortofoto üretimi için sadece yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafları kullanarak, 3B yoğun nokta bulutu verilerinden bina çatı noktalarının otomatik olarak çıkartıldığı ve sonrasında bu noktalar ile üretilen iyileştirilmiş SYM verisiyle yeni bir yöntem önermiştir. Önerdiği yöntem, yapılan doğruluk analizi testlerinde hesaplanan Correctness, Completeness ve Quality metrikleri test alanı 1 için sırasıyla % 94.7, % 98.1, % 93.1 ve test alanı 2 için % 98.1, % 95.1 ve % 94.1 olarak hesaplamıştır.

Ebrahimikia M. ve Hüseyinav A. (2022), bina bölgelerinde 2B kenar algılama, 3B kenar grafiği oluşturma, sayısal yüzey modeli modifikasyonu işlem adımları ile İHA görüntülerinden gerçek ortofotolar oluşturmak için yeni bir yöntem sunmuşlardır. Yöntem içerisinde, binaların yapısal kenarlarını tanımlamak için derin öğrenme yaklaşımları kullanıp tahmini 3B kenar noktalarının sayısal yüzey modeli modifikasyonu için nokta bulutuna eklemişlerdir. Değerlendirme analizinde, önerilen yöntemin binaların yapılandırılmış

kenarlarındaki gerçek ortofoto bozulmasını azaltarak mevcut ortofoto iyileştirme yöntemlerinden ilk veri setinde %50'ye kadar ve ikinci veri setinde %70'e kadar daha iyi performans gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Zhou G. Vd. (2022), gerçek ortofoto ile dijital bina modeli üst üste bindirildiğinde üretilen gerçek ortofotonun bina cephesi dokusuna sahip olmaması sebebiyle her binanın tek tek ortorektifiye edildiği ve dijital arazi modeli tanımlandığı yeni bir gerçek ortofoto yöntemi olan True² ortofotoyu geliştirmişlerdir. Elde ettikleri deneysel sonuçlarda, geliştirdikleri True² ortofotonun, geleneksel gerçek ortofoto özelliklerini koruduğunu ve bina cephe dokusu ile herhangi bir noktada ölçülebilen üç boyutlu koordinatların ölçümü konusunda nicel ve nitel olarak daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir.

Wang C. ve Gu Y. (2022), itmeli süpürge hiperspektral tarayıcıların gerçek ortofoto üretmek için kullanılmasına yönelik bir yöntem önermişlerdir. Geleneksel ortofoto üretim yönteminden farklı olarak bu yöntemde hiperspektral görüntüleme sürecinde kaybolan yükseklik bilgisini elde etmek için LiDAR'ı kullanmışlardır. LiDAR verilerinden üretilen SYM yardımıyla yükseklikteki ani değişikliklerin neden olduğu projeksiyon hatalarını azaltmışlardır. Yaptıkları İHA uçuş testi ile yöntemin etkinliğini ve doğruluğunu nitel ve nicel olarak doğrulamışlardır.

Literatür incelendiğinde, ortofoto üretimi için hassas ve iyileştirilmiş bir SYM üretiminin otomatik bir biçimde gerçekleştirilemediği görülmektedir. Bu tez çalışmasında literatürde sözü edilen boşluk *i*-SYM üretiminin hassas ve otomatik bir biçimde üretilmesiyle birlikte doğru² ortofoto yöntemi geliştirilerek doldurulmaya çalışılmıştır.

1.6. Temel Kavramlar

Temel kavramlar başlığı altında bu tez çalışmasına altlık oluşturan kitabi bilgilere yer verilmiştir.

1.6.1. Fotogrametri ve Matematiksel Modeli

Fotogrametri, iki veya üç boyutlu cisimlerin fotoğraflar üzerinden ölçülmesi, fotoğraflar üzerinden nesneleri ölçme tekniği, fotoğraflar yardımı ile metrik, güvenilir

bilgiler alma bilimi gibi çeşitli tanımlarla açıklanabilmektedir. Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (ISPRS)'nin tanımına göre fotogrametri, nesnelerin görüntü ve mesafe verilerinden üç boyutlu geometrik ve tematik bilgileri çıkarma bilimidir. İki boyutlu görüntülerin üç boyutlu uzayda modellenebildiği bir ölçüm tekniğidir (Egels & Kasser, 2001).

Başka bir açıdan fotogrametri, ölçüm işlemlerini görüntüler aracılığı ile fiziksel herhangi bir temas olmadan yapabilmektir. Yalnızca tek fotoğraf ile özel durumlar dışında yalnızca iki boyutlu koordinat bilgisi elde edilebildiği için cisim uzayında üç boyutlu koordinat bilgi gereksinimi karşılanamamaktadır. Üç boyutlu veri için en az bindirmeli iki görüntü gereklidir (Linder, 2009). Fotogrametrinin doğuşu, fotoğraf makinesinin Niepce ve Dagurre tarafından icat edildiği yıla, 1839'a dayanırken, fotoğraflar yardımıyla ölçüm yapılmasını sağlayan ilk kamerayı icat eden topoğraf Laussedat, fotogrametrinin başlangıcına önemli bir katkı sağlamıştır (Acar, 2012).

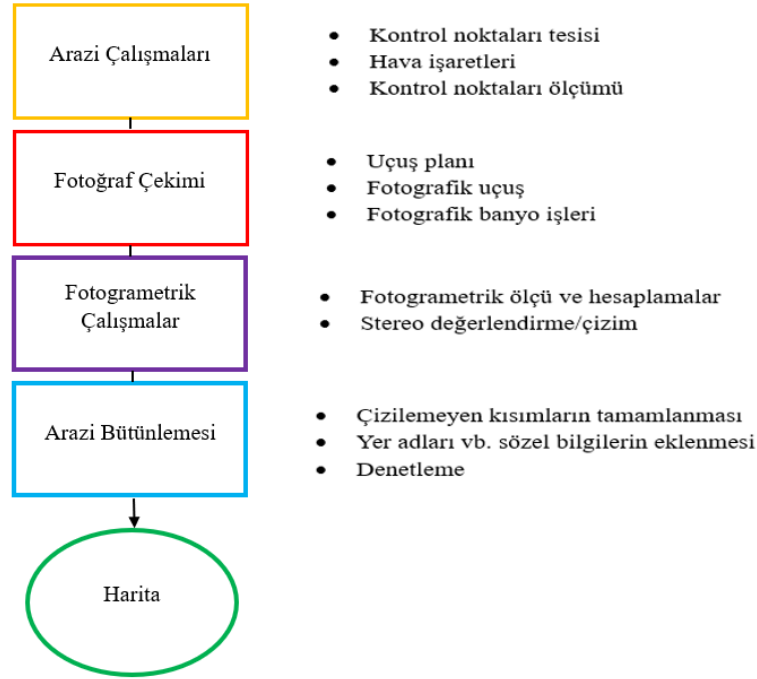
Fotogrametri, bir harita yapım tekniğidir. Türkiye'de ve çeşitli ülkelerde altmış yıldan fazla bir süredir başarıyla kullanılan bu yöntem, büyük ve orta ölçekli haritaların üretimini mümkün kılmaktadır. Bu yöntem, ülkelerin seri şekilde haritalarının hazırlanmasına imkân tanımıştır. Türkiye'de de 1/25.000 ölçekli haritalar, havadan fotoğraf fotogrametrisi yöntemiyle 20-25 yıl içinde tamamlanabilmiştir. 1960'lı yıllarda tamamlanan bu haritaların her 10-15 yılda bir güncellenmesi yapılmaktadır. Üretilen haritalar yalnızca 1/25.000 ölçekli olanlarla sınırlı değildir ve 1/10.000, 1/5000 ölçekli seri haritalara da ihtiyaç duyulmaktadır. Klasik fotogrametrik harita üretim süreci Şekil 1'de bir şema ile gösterilmiştir.

- Haritalanması planlanan alan içerisinde belirli bir sıklıkta noktalar tesis edilir. Fotoğraf çekiminden önce bu noktaların havada görülecek şekilde işaretlenmesi yapılır. Bu noktaların bazıları veya tamamına koordinat verebilmek için gerekli ölçümler yapılır. Fotoğraflarda görülebilen kontrol noktalarının X, Y ve Z koordinatları tespit edilir.
- Uçuş planına göre, hava işaretlerini tamamladıktan hemen sonra, uçaktaki özel bir kamera ile harita alanının fotoğrafları çekilir. Filmlerin banyo işlemleri yapılır ve bu filmlerden, ölçülerin alınacağı diyapozitif fotoğraflar basılır.
- Fotogrametri aletlerinde tanımlı veya tanımlanmamış tüm hava işaretli noktaların koordinatları ölçülerek, bir dizi hesaplama sonrasında bilinmeyen noktaların koordinatları da bulunur. Bu noktaların koordinatlarıyla birlikte stereo

değerlendirme aleti kullanılarak, arazinin üç boyutlu, küçültülmüş ve geometrik olarak benzer bir stereo model oluşturulur. Bu modelden haritanın amacı ve ölçeği ile ilgili ve gerekli olan ayrıntılar ve eş yükselti eğrileri çizilir.

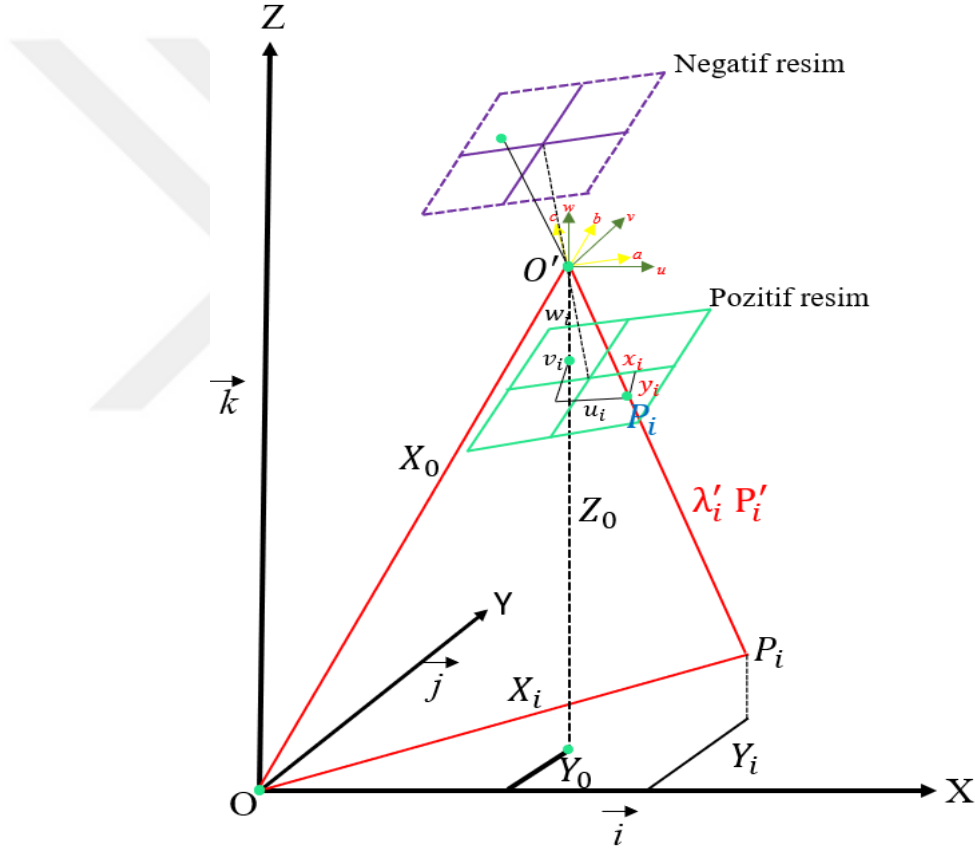
- İlk çizimler araziye, arazi ekipleri tarafından çizilemeyen kısımlar varsa tamamlanır. Yer, semt, yol adları ve diğer sözel bilgiler eklenir. Bu süreç genel bir denetimi de içerir ve sonunda orijinal bir harita oluşturulur. Eğer bir baskı yapılacaksa, kartografik işlemlerle baskı kalıpları hazırlanır.

Fotogrametrik yöntem kullanılarak harita üretimi yapılırken, arazi çalışmalarının tamamen ortadan kalkmadığını belirtmek gerekir. Çalışmaların başlangıcında ve sonunda araziye başvurmak ve arazide çalışmak kaçınılmazdır. Fakat, bu çalışmaların büyük bir kısmı, özellikle ayrıntı ölçümleri, büro ortamında gerçekleştirilir. Bugünlerde, arazi çalışmaları daha da azalmaktadır. Tüm bu pozitif yönleriyle fotogrametri, harita üretimi için vazgeçilmez bir seçenektir (Yaşayan & vd, 2018).



Şekil 1. Klasik fotogrametrik harita üretim süreci

Fotogrametrinin matematiksel modeli, cisim ve resim koordinatları arasındaki dönüşüm hesaplamalarında etken, cisim uzayında bulunan noktaları gösteren ışınların iz düşüm merkezinden geçerek resim düzlemine bir doğru boyunca iz düşürülme temeline dayanan kollinearite (iz düşüm) denklemlerine dayanır. Temel matematiksel model, Şekil 2’de gösterilmektedir. İç yöneltme parametreleri (asal uzaklık/kamera sabiti (c) ve asal nokta koordinatları (x_0, y_0)) ve dış yöneltme parametreleri (merkezi koordinatlar (X_0, Y_0, Z_0) ve dönüklük değerleri (ω, ϕ, χ)) yeniden konumlandırma işlemi için ihtiyaç duyulmaktadır (Karşı, 2022).



Şekil 2. Fotogrametrinin matematiksel modeli

Matematiksel model olarak gösterilen temsilde O, obje koordinat sisteminin orijini (X, Y ve Z), $P_i(X_i, Y_i, Z_i)$ nesne noktası koordinatı, O' iz düşüm merkezi koordinatları (X_0, Y_0, Z_0), OP_i iki vektör arasındaki mekânsal üçgeni tanımlamaktadır. Ek olarak, ölçek faktörü

(λ_i) ve dönüklük matrisi (R) 'nin resim ve obje koordinat sistemi arasında dönüşüm için bilinmesi gereklidir. Matematiksel modelin temeli izdüşüm denklemlerinin genel formu (1) nolu denklemde belirtilmiştir.

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} + \lambda'_i R \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ -c \end{pmatrix} \quad (1)$$

Kamera sabiti (c) , obje ve görüntü koordinat sistemlerinin birbirleri arasında yakın noktalara değinme kolaylığı için, negatif olarak yazılır. Ek olarak, obje ve görüntü koordinat sistemlerindeki birim vektörler (i, j, k) ve (a, b, c) tüm eksenlerde aynı ölçek mevcuttur ve ortogonal şekilde birbirlerine dik bir konumda bulunurlar. (2) nolu denklem ile iz düşüm denkleminin yeni formunda Arazi koordinatları (X_i, Y_i, Z_i) ile resim koordinatları (x_i, y_i) arasındaki ilişki gösterilmektedir.

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ -c \end{pmatrix} = \frac{1}{\lambda'_i} R^T \begin{pmatrix} X_i - X_0 \\ Y_i - Y_0 \\ Z_i - Z_0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

(3), (4) ve (5) nolu eşitliklerde olduğu gibi kosinüs ve sinüs değerlerinin alınmasıyla birlikte dönüklük matrisi (R) hesaplanır. Her bir dönüklük açısı için dönüklük matrisi $(R_\omega, R_\varphi, R_\chi)$ nin ayrı olarak hesaplanması gerekmektedir. (6) nolu eşitlikte olduğu gibi bu matrislerin çarpımı ile dönüklük matrisi (R) hesaplanmaktadır.

$$R_\omega^T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & \sin \omega \\ 0 & -\sin \omega & \cos \omega \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$R_\varphi^T = \begin{pmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$R_{\chi}^T = \begin{pmatrix} \cos \chi & \sin \chi & 0 \\ -\sin \chi & \cos \chi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$R_{\chi}^T = R_{\omega}^T R_{\phi}^T R_{\chi}^T = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{21} & r_{31} \\ r_{12} & r_{22} & r_{32} \\ r_{13} & r_{23} & r_{33} \end{pmatrix} \quad (6)$$

(7) nolu eşitliğin elde edilmesi için (6) nolu eşitliğe resim koordinat bilgisi ve arazi koordinat bilgisi eklenir.

$$\begin{pmatrix} x'_i \\ y'_i \\ -c \end{pmatrix} = \frac{1}{\lambda'_i} \begin{pmatrix} r_{11} & r_{21} & r_{31} \\ r_{12} & r_{22} & r_{32} \\ r_{13} & r_{23} & r_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_i - X'_0 \\ Y_i - Y'_0 \\ Z_i - Z'_0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

(8) ve (9) nolu eşitliklerinin elde edilmesi için (7) nolu denklemde ilk ve ikinci denklem üçüncü denklem ile bölünerek belirtilen iz düşüm denklemleri elde edilir. Ölçek faktörü (λ) sadeleştirmeden ötürü iz düşüm denklemlerinde yer almamaktadır (Karşı, 2022).

$$x_i = -c \frac{r_{11}(X_i - X_0) + r_{12}(Y_i - Y_0) + r_{13}(Z_i - Z_0)}{r_{31}(X_i - X_0) + r_{32}(Y_i - Y_0) + r_{33}(Z_i - Z_0)} \quad (8)$$

$$y_i = -c \frac{r_{21}(X_i - X_0) + r_{22}(Y_i - Y_0) + r_{23}(Z_i - Z_0)}{r_{31}(X_i - X_0) + r_{32}(Y_i - Y_0) + r_{33}(Z_i - Z_0)} \quad (9)$$

1.6.2. Hava Fotogrametrisi ve Kullanılan Kameralar

Fotoğrafın çekildiği konuma bağlı olarak fotogrametri, yersel fotogrametri ve hava fotogrametrisi olarak sınıflandırılır. Yersel fotogrametri, yeryüzünden veya yakından çekilen fotoğrafları kullanan bir fotogrametri tekniğidir. Hava fotogrametrisi ise uçak veya diğer hava araçlarıyla belirli bir yükseklikte elde edilen fotoğrafları kullanarak yapılan bir fotogrametri tekniğidir. Bu yöntem, haritacılıkta standart bir harita oluşturma yöntemi olarak kullanılır ve genellikle geniş alanların haritalanması için yaygın bir şekilde tercih edilir. Hava fotoğrafları, sadece harita üretimi için değil aynı zamanda diğer amaçlar için de

kullanılır. Örneğin, yer yüzeyinin özelliklerini veya bitki örtüsünü anlamak veya bilgi sistemleri oluşturmak gibi farklı hedeflerle çekilebilir. Bu fotoğraflar genellikle düşey fotoğraflardır.

Fotogrametri'nin ilk kullanımı yersel fotogrametri ile başlamıştır. Harita yapımı için sağladığı geniş olanaklar nedeniyle daha sonra hava fotogrametrisi tarafından yeri alınmıştır. Çünkü hava fotogrametrisi yersel fotogrametriye göre, geniş alanların haritalarının yapımında ekonomi ve hız sağlamıştır. Yersel fotogrametri belirli koşullar altında harita yapımında kullanılabilir. Ancak, yersel fotogrametri için gerekli koşullar sağlansa bile, arazide fotoğraf çekme ve gerekli ölçümleri yapma zorluğu, hava fotogrametrisinin tercih edilmesinin önemli nedenlerindendir. Yersel fotogrametri, hava fotogrametrisinin çalışmadığı ya da ekonomik olmadığı durumlarda harita yapımı için kullanılabilir.

Hava fotogrametrisi için kullanılan fotoğraflar, özel kameralarla çekilir. Bu kameralar, sabit odak uzaklığı, distorsiyonu düşük ve ayırma gücü yüksek objektiflere sahiptir. Hava kamerasının özelliklerine bağlı olarak, hava fotoğrafları siyah/beyaz, doğal renkli veya yapay renkli olabilir. Standart harita oluşturulması için genellikle siyah/beyaz film tercih edilirken, son yıllarda doğal renkli ve sayısal hava fotoğrafları da kullanılmaktadır. Renkli fotoğraflar özellikle yorumlama ve ortofoto ürünü için tercih edilmektedir çünkü siyah beyaz fotoğraflara göre çok daha fazla bilgi sunmaktadır.

Hava kameraları metrik kameralardır. Ölçü kameraları olarak da bilinirler. Hava kameralarının objektifleri, birkaç mercekten oluşan bir sistemdir. Bunlar neredeyse hatasızdır. Işın, iz düşüm merkezinden geçtiğinde sapmadan fotoğraf düzlemine ulaşır. Kamera distorsiyon hatası klasik hava kameralarında genellikle 5 μ 'dan daha azdır. Hava fotogrametrisinde yaygın olarak kullanılan kameralar, genellikle analog hava kameraları ve sayısal/dijital hava kameraları şeklinde iki temel gruba ayrılır. Teknolojideki ilerlemelerle birlikte, fotogrametride yaygın olarak kullanılan geleneksel hava kameraları yerlerini dijital hava kameralarına bırakmaktadır. Dijital hava kameralarının avantajları, kullanımlarının her geçen gün artmasına neden olmaktadır.

Analog hava kameralarında genellikle bir film fotoğraf düzleminde bulunur (Şekil 3). Hava kamerası, kamera altlık, kamera konisi ve magazin kısımlarından oluşur. Kamera askı düzeni, kameranın uçağa bağlandığı bölümdür ve uçağın titreşimlerini azaltır. Kamera konisinde, objektif, odak düzlemi, diyafram, obtüratör ve filtre bulunur. Fotoğraf kenar bilgileri ise odak düzleminde bulunur. Magazin kısmı ise filmi içeren bir bölümdür. Magazin

bölümünde, filmin düzleştirilmesi için vakum sistemi kullanılır, burada obtüratör açılarak film pozlanır ve son olarak pozlanan film sarılır.



Şekil 3. Analog hava kamera sistemi (Leica RC30) (URL12)

60 derece civarında bir görüş alanına sahip olan analog kameralar, fotogrametride uzun süredir kullanılan ve normal açılı kameralar olarak adlandırılan kameralardır. Daha sonra üretilen ve 90 derece civarında bir açıklığa sahip olan kameralar ise geniş açılı kameralar olarak bilinir. Kamera türleri genellikle Tablo 1’de listelenmiştir.

Çok geniş ve geniş açılı kameralarda, fotoğraf üzerinde kaybolan alanlar çoktur. Eğer tek tek fotoğraflar incelenecekse, normal veya hatta dar açılı kameralar tercih edilir. Bu ve benzer nedenlerle farklı açı ölçülerine sahip kameralar geliştirilmiş ve uygulamalarda kullanılmaktadır (Kaya, 2010).

Tablo 1. Kamera türler ve açıklık açıları

Asal Uzaklık c (mm)	Fotoğraf Boyutları s (cm)	Görüş Açısı	Kamera Türleri
610	23×23	<50°	Dar Açılı (DA)
305	23×23	56°-50°	Normal Açılı (NA)
210	23×23	70°-75°	Orta Açılı (OA)
115	18×18	85°-90°	Geniş Açılı (GA)
152	23×23		
80-90	23×23	110°-130°	Çok Geniş Açılı (ÇGA)

Günümüzde artık analog hava kameralarının yerini dijital hava kameraları almıştır. Dijital hava kameralarının kullanımı, klasik fotogrametrik üretim sürecini ve bazı kavramları değiştirmiştir. Film kullanımı ve banyo işlemleri sayısal kameralarla birlikte ortadan kalkmıştır. Ayrıca arşivleme işlemleri de sona ermiştir. Bunun yerine ham görüntülerin bilgisayar ortamında işlenerek dijital olarak saklanması tercih edilmektedir (Kiracı & vd, 2010). Dijital hava kameraları çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. İki ana gruba ayrılabilirler.

1. Dijital çerçeve hava kameralar (Frame Camera)
2. Dijital satır tarayıcı hava kameralar (Line scanner)

Şekil 4’te görülen dijital çerçeve kameralar, görüntünün format boyutuna göre 3’e ayrılır.

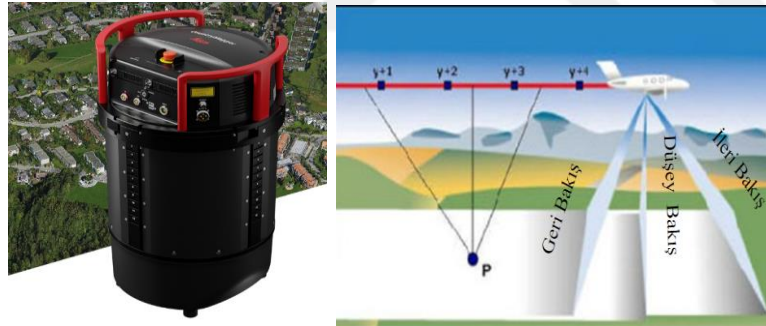
- Küçük formatlı çerçeve kamera,
- Orta formatlı çerçeve kamera,
- Büyük formatlı çerçeve kamera.

25 MP’e kadar görüntü boyutuna sahip kameralar küçük formatlı, 80 MP’e kadar görüntü boyutuna sahip kameralar orta formatlı, 100 MP’in üzerindeki görüntü boyutuna sahip kameralar ise büyük formatlı kamera olarak sınıflandırılır. Teknolojideki ilerlemeler doğrultusunda zamanla, görüntü boyutlarına ilişkin sınırlar değişebilir. Her üç sınıf da tekli ve çoklu kameralar olmak üzere iki alt sınıfa ayrılabilir. Elde edilen görüntülere göre, bu sınıflar monokromatik, renkli ve yapay renkli olarak ayrılabilir. Ticari olarak bulunan büyük formatlı tek çerçeveli kameralar genellikle alan dizisi detektörleri kullanır. Bu detektörlerin üretimi zor ve maliyetlidir. Öte yandan, çoklu kameraların kullanıldığı sistemlerde, ticari firmaların benimsediği yöntemler büyük formatlı sayısal çerçeve kameraların üretiminde oldukça farklıdır. Çoklu kamera kullanan sistemler, tek birleşik büyük formatlı çerçeve görüntülerini işlemek için görüntü işleme teknikleri kullanılarak birleştirilir.



Şekil 4. Sayısal çerçeve kamera sistemi (URL13)

Satır tarayıcı sistemleri, genellikle bir veya birden fazla satır dizisi tarafından araziye tarayarak veri toplar. Üç satırlı kameralarda genellikle ileri, nadir ve geri bakış açılarını içeren bindirmeli üç görüntü elde edilir (Şekil 5). Aynı veya daha düşük çözünürlükte çok bantlı görüntüler elde edilebilir. Birleşik GPS/IMU sistemleri, eğim ve kamera konumu bilgilerini belirlemek için gereklidir (Petrie & Walker, 2007).



Şekil 5. Sayısal satır tarayıcı sistem (URL18)

1.6.3. Lazer Tarama Teknolojisi

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, veri toplama ve değerlendirme yöntemlerinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. LiDAR (**L**ight **D**etection **A**nd **R**anging), sensörün hedef nesnenin lazer tarayıcıya olan mesafesini ölçmek için lazer ışınlarının cisim yüzeylerine gönderilip geri yansmasıyla sensöre ulaşan sürenin hesaplanması esasına dayanan bir teknolojidir. LiDAR ölçüm prensibi, tarayıcı ile yeryüzünde bulunan hedef nesne arasındaki

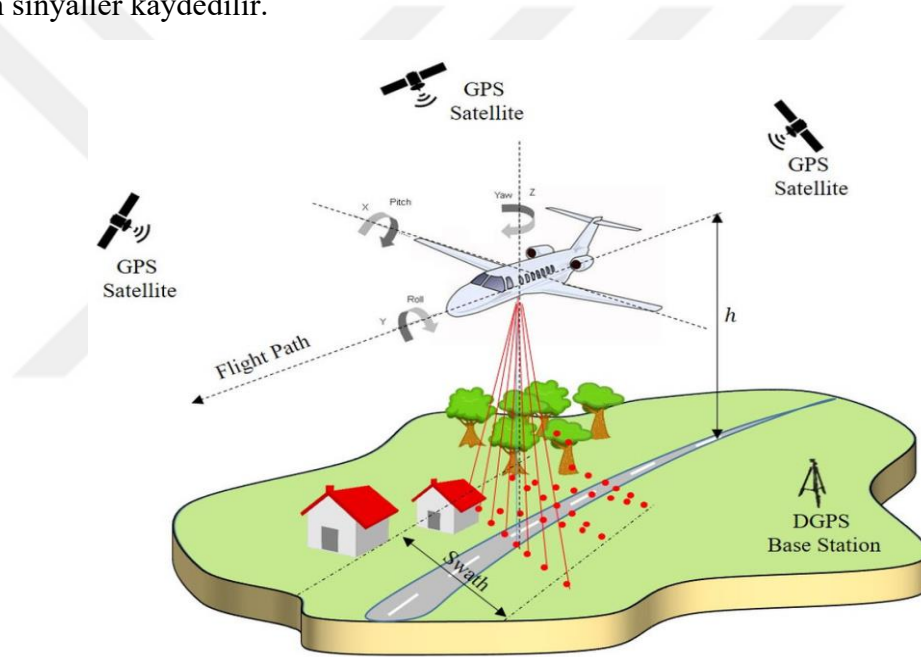
eğimli mesafeyi belirlemek için kullanılan bir prensiptir. Bu prensibe göre mesafe, ışığın hızı ve sinyal dönüş süresiyle hesaplanmaktadır. Nesnelerin konumsal bilgilerine (X, Y ve Z) erişmek için, lazer ışınlarının hedeflere isabet ettiği sırada tarayıcının konumu ve dönme açılarının bilinmesi zorunludur. Lazer tarayıcılar, ışınların cisimlerden yansımaları sıralayarak kaydetmektedir. Bu nedenle, yansıma sırasına göre detayların türüne dair tahminler yapılabilir. Lazer tarayıcıların yaydığı ışınlar, detay türlerine bağlı olarak çeşitli yansımalar ortaya koymaktadır. Eğer yansıyan ışınların uzaklığı aşırı büyükse, ölçümde kaba hatalar meydana gelir. Sıvı yüzeyler, örneğin deniz, göl veya akarsular, tarayıcıdan gönderilen ışınları genellikle absorbe eder ve geri dönen ışın miktarı oldukça düşüktür. Bu nedenle, sulak alanlarda özellikle sığ su bölgelerinde ışınlar yoğun bir şekilde yansır (Acar, 2018).

LiDAR, genellikle arazi üzerindeki çeşitli özelliklerin (zemin, bina, bitki örtüsü, araç, elektrik direği vb. unsurlar) 3B nokta bulutlarını etkili ve doğru bir biçimde temsil edebilmesi için çalışma alanındaki nesnelerin X, Y, Z koordinatları, yoğunluk verisi ve renk bilgisi (R, G, B ve IR) gibi parametreleri elde etme yeteneğine sahiptir. LiDAR sistemleri tarafından oluşturulan nokta bulutları, özellikle yüksek kesimli detayların (örneğin ağaçlar, binalar, elektrik direkleri, vb.) bulunduğu bölgelerde, lazer ışığının dar boşluklardan geçerek zemine çarpması nedeniyle avantajlıdır. Ancak optik veriye (hava görüntüsü) dayanarak keskin kenarları tam olarak temsil etmekte sınırlamalar bulunabilir, çünkü lazer ışınları her zaman nesnenin kenarı boyunca tam olarak isabet etmez. LiDAR gibi işlevsel bir sistem hem gece hem de gündüz ölçüm yapabilmesi ve gölgelerden etkilenmemesi sayesinde üretilen 3B nokta bulutlarıyla, topografik özelliklerin veya beşerî unsurların analiz edildiği aşamada büyük ölçüde detaylı geometrik bilgiler sunmaktadır (Vosselman, Kessels, & Gorte, 2005).

LiDAR, lazer mesafe ölçümü (laser ranging), lazer alimetre ve lazer tarama olarak da adlandırılır. Çeşitli avantajlara sahiptir. Öncelikle, atmosfer araştırmaları, deniz derinliği ölçümleri ve buzul araştırmaları gibi birçok alanda çok yönlü olarak kullanılan bir teknolojidir. Arazi verilerini toplamak için son derece etkili bir yöntemdir. Yüksek doğruluk ve yoğun nokta sayısı ile sayısal arazi modeli oluşturmak için idealdir. Fotogrametri yönteminden farklı olarak, nispeten düşük yoğunluktaki bitki örtüsü, düşük eğim ve düşük kontrast gibi özellik gösteren arazilerin haritasını çıkarma yeteneğine sahiptir. LiDAR, hedefe sinyal gönderir ve bu sinyalin hedeften algılayıcıya dönme süresini kaydeder. Lazer tarama sistemleri hava lazer tarama ve yersel lazer tarama olarak iki kategoriye ayrılabilir.

LiDAR, radar teknolojisi gibi aktif algılama sistemidir. Radyo dalgalarının yerine lazer ışınları kullanılır. GPS ve IMU ile entegre LiDAR, yüksek doğruluklu topografik harita yapımı için kullanılabilir (Şekil 6). Bu teknoloji, geleneksel topografik veri toplama yöntemlerine kıyasla, minimum yer kontrol gereksinimi, ı ışık ve hava koşullarına bağlı olmama, otomatik bir sistem olma, veri toplama ve işleme sürelerinin daha kısa olması, yüksek doğruluk ve yüksek nokta yoğunluğu gibi bir dizi avantaj sunar.

Lazer tarama sistemleri, dalga biçimli ve darbeli lazer olarak genellikle iki temel türdedir. Topografik harita yapımında, darbeli lazer sistemleri yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu sistemde, ayrık sinyaller lazerden yayılır ve bir ya da daha fazla geri dönen sinyal kaydedilir. Diğer bir taraftan, dalga biçimli lazer sistemleri sürekli sinyalleri kullanır ve dönen sinyaller kaydedilir.

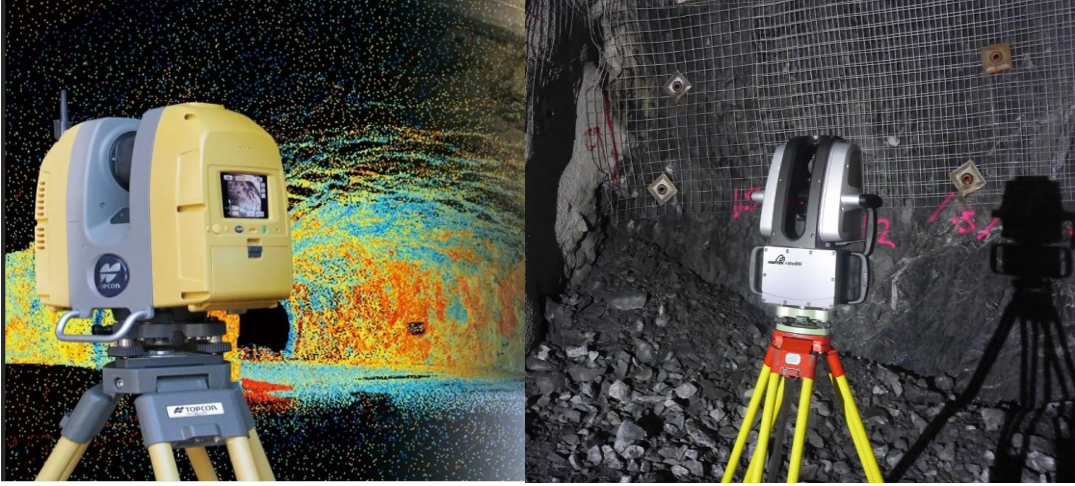


Şekil 6. Havadan lazer tarama (Harikumar, 2019)

Lazer tarama, genel anlamıyla bir nokta bulutunu oluşturan çok sayıda koordinatlı noktanın mekânsal verilerini toplamak için lazer teknolojisinin kullanıldığı bir işlemdir. Bu yöntem, objelerle fiziksel temas olmaksızın 3 boyutlu tarama uygulamalarının gerçekleştirilmesini sağlar. 3 boyutlu lazer tarayıcı cihazı, objeyi belirli bir grid yoğunluğuna sahip bir lazer ışını demetiyle tarar. Grid yoğunluğu, nesneleri belirli bir açıda veya belirli bir yoğunlukta tarama yeteneğini ifade eder. Cihazlardaki bu özellik sayesinde çok kısa

sürede binlerce 3 boyutlu nokta bulutu oluşturulabilmektedir. Tarama işleminin yoğunluğu, taranan nesnenin özelliklerine bağlı olarak değişir. Yüksek hassasiyet gerektiren taramalar için tarama açısı veya sıklığı düşük seçilmelidir. Bu şekilde daha fazla nokta elde edilir ve taranan objenin detayları daha iyi görülebilir. Ancak, taranacak obje çok önemli değilse, daha geniş bir açı veya daha az bir tarama sıklığı tercih edilebilir. Bu durumda tarama süresi kısılır, ancak detayları görmek zorlaşır ve kaba bir tarama gerçekleştirilmiş olur. Tüm bu ayarlamalar, tarama işlemine başlamadan önce detaylı planlama gerektirir. Taranan obje, 3B koordinat sisteminde nokta bulutu olarak gösterilir. Bu nedenle, 3B lazer tarayıcıya 1:1 oranında sayısallaştırıcı da denir. Tarama işlemi sonucunda bir nokta bulutu oluşur ve bu da bilgisayar ekranında anlık olarak gösterilir. Bugünün teknoloji ve bilimsel ilerlemeleri sayesinde, lazer tarama teknolojileri artık küçük projeler için bile önemli bir araç haline gelmiştir, çünkü hem zamandan hem maliyetten hem de işgücünden tasarruf sağlar. Bu nedenle, geleneksel yöntemlerle toplanması çok zor ve meşakkatli olan birçok noktanın hızlı ve doğru bir şekilde toplanmasıyla, üzerinde çalışılan nesne hakkında son derece ayrıntılı bilgiler elde etmek için bir araç konumunu almıştır.

Başlangıçta bu tür cihazlar oldukça maliyetli ve kullanılan yazılımlar sınırlı yeteneklere sahipti. Ancak teknolojiye ilerlemelere bağlı olarak cihazların kapasiteleri artmış ve gün geçtikçe yazılımlar daha gelişmiş ve akıllı hale gelmiştir. Şekil 7’de örnek yersel lazer tarayıcılar gösterilmektedir. Her firmanın farklı özelliklerde kullanılabilecek farklı tipte tarayıcıları bulunmaktadır. Günümüzde geline teknoloji imkânları ile hem yatay hem de düşey ekseninde 360° tarama genişlikleri bulunan lazer tarama cihazları bulunmaktadır. Böyle tarama genişlikleri, özellikle arkeolojik kazıların ve mimari yapılarındaki tavan taramalarının yapılmasında büyük kolaylıklar sağlamaktadır (Yaşayan & vd, 2018).



Şekil 7. Yersel lazer tarama cihazları (URL14)

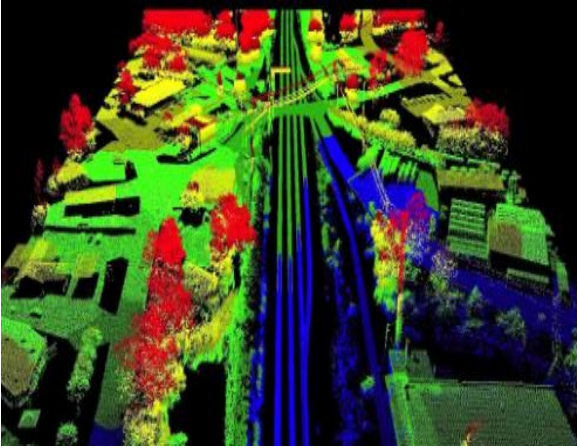
1.6.4. Nokta Bulutları

Nokta Bulutları, yeryüzünde bulunan doğal veya yapay olan nesnelerin üç boyutlu koordinat sisteminde dış yüzeyini temsil eden bir veri kümesidir. Genel olarak coğrafi nokta bulutları, dijital/sayısal yükseklik modellerinin oluşturulması, kent unsurlarının modellenmesi (bina, köprü, yol, ağaç vb.), haritalardan mevcut detayların çıkarılması ve analizi, hacim hesaplaması ve hasar tespiti gibi birçok harita çalışmasının hızlı ve etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi için tercih edilmektedir. LiDAR nokta bulutu ve fotogrametrik nokta bulutu olarak sınıflandırılan nokta bulutları için LiDAR ile doğrudan elde edilirken fotogrametrik yöntemde ise dolaylı yoldan dijital görüntü eşleştirme ile elde edilmektedir.

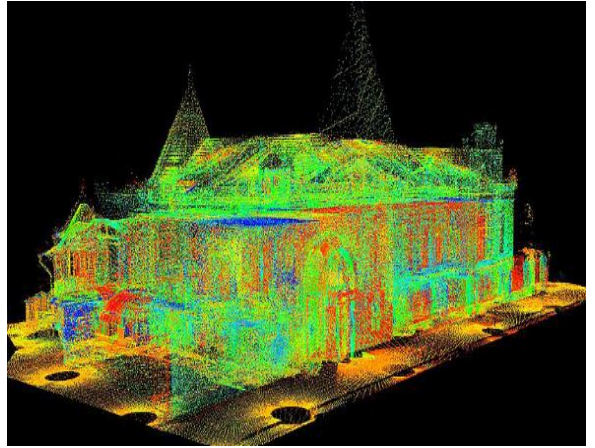
Tarayıcı, LiDAR teknolojisi kullanarak yüzeye gönderilen lazer sinyalinin hedef nesneye çarptıktan sonra alıcı sensöre geri yansır. Bu sayede sinyal, detaya temas ettiği noktanın konum (X, Y, Z), yoğunluk ve geometrik özellikleri olan renk bilgisi (R, G, B, IR) gibi özellikleri kaydeder. Lazer tarama sistemleri, gönderilen lazer ışığının seyahat süresini hassas bir şekilde ölçerek, nesne ile alıcı arasındaki eğik mesafeyi hesaplar. GPS kullanılarak lazer tarayıcının anlık konumu belirlenir ve IMU kullanılarak dönüklük parametreleri (ω , ϕ , χ) hesaplanır. Her bir lazer sinyalinin hedef nesneye temas ettiği noktanın X, Y, Z koordinatlarını doğru bir şekilde belirleyerek üretir. Üretilen nokta bulutları, uçuş yüksekliği, kameranın hassasiyeti, tarama modu ve yöntemine bağlı olarak değişken yoğunluklara sahip olabilir. Gerçek renkli bir temsili sağlamak için LiDAR kamerasında

RGB bant desteği bulunmalıdır, çünkü nokta bulutundaki detay noktaları yeryüzündeki gibi gerçek renklerle temsil edilmelidir. Filtreleme veya ayıklama işlemiyle LiDAR nokta bulutları içindeki gürültülü noktaları temizlemek gerekmektedir.

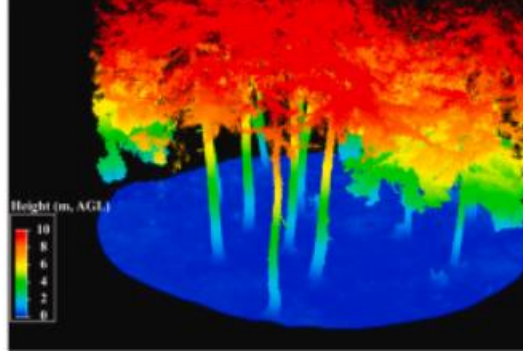
LiDAR teknolojisiyle Hava (ALS), yersel (TLS) ve mobil LiDAR (MLS) sistemleri (Şekil 8) kullanılarak farklı yoğunluk ve düzeyde nokta bulutları oluşturulmaktadır (Dong & Chen, 2017). Hava araçlarına (İHA, drone, uçak vb.) takılan LiDAR kameralar kullanılarak hava LiDAR nokta bulutları üretilmektedir. Genellikle, UAV ve drone kullanarak yapılan ölçümler, düşük veya orta irtifa da gerçekleştirildiği için, uçakla elde edilen hava LiDAR nokta bulutundan daha fazla yoğunlukta bir nokta bulutu sunar. Hava tarama sistemi olarak kullanılan LiDAR nokta bulutu, geniş bölgelerde hızlı ve etkili bir şekilde kullanılabilirken, yoğun yerleşim yerlerinde veya ormanlık alanlarda, binaların veya ağaçların alt kısımlarında bulunan detaylara kısmen ulaşabilir. Hava ölçümündeki değişkenlik, tarama açısının ve topoğrafyanın detay karmaşıklığının bir sonucudur. Lazer ışınları, hava ölçümünde tarayıcı tarafından gönderilen sinyal, havada uçuşan nesnelerle karşılaştığında, arazi detaylarına isabet etmeden alıcıya geri yansıyarak gürültülü nokta oluşturabilir. Son zamanlarda teknolojinin ilerlemesiyle birlikte elde edilen hava araçlarıyla alınan LiDAR nokta bulutlarının yoğunlukları artmış durumda ve şu anda 1000-3000 nokta/m² aralığında bulunmaktadır (Bahadır, 2023).



(a)



(b)



(c)

Şekil 8. (a) Hava LiDAR nokta bulutu, (b) yersel LiDAR nokta bulutu, (c) mobil LiDAR nokta bulutu (URL19)

Fotogrametrik nokta bulutları, LiDAR nokta bulutlarından görüntü eşleştirme algoritmaları yardımıyla üretildikleri için ayrılmaktadır. Dijital görüntülerdeki nesnelerin konumları, otomatik olarak stereo görüntü çiftleri kullanılarak belirlenebilir. Fotogrametride, 3B konum bilgisi oluşturulurken iki resim arasında gerçekleştirilen görüntü eşleştirme işlemi yapılır. Stereo (bindirmeli) görüntülerde detayların nokta olarak seçilmesi ve diğer resimde ilgili noktaların en uygun şekilde işaretlenmesi gereklidir. Ticari veya akademik yazılımlar kullanarak fotogrametrik nokta bulutu oluşturma ve eşleşen noktaları belirlemek mümkündür. Programlar, diğer resimlerde otomatik olarak seçilen noktaların eşleniklerini tespit edebilmek için arka planda temel dönüşüm matrisiyle normalizasyon işlemi yaparak, her bir görüntünün aynı eksene paralel hale getirilmesini sağlar. Epipolar geometri kullanarak, yapılan bu işlemde epipolar çizgiler oluşturulmaktadır. Algoritmalar gerçek eşlenik noktaları epipolar düzlem üzerinden tespit etmek ve yanlış eşleştirilen noktaları gidermek için bu yöntemi kullanır. SGM, fotogrametrik nokta bulutlarının üretimi için en sık kullanılan eşleştirme algoritmasıdır. Bu algoritma, bilinen iç ve dış yönelme elemanlarına sahip dijital resim çiftlerinde epipolar geometri kullanarak eşlenik noktaları piksel tabanlı olarak tespit eder ve üçgenleme yöntemiyle 3B koordinatların hesaplanmasını sağlar (Karslı, 2022). Nokta dağılımı olarak değerlendirildiğinde fotogrametrik nokta bulutları, LiDAR nokta bulutlarına göre daha düzensiz bir veri seti oluşturmaktadır. Fotogrametrik nokta bulutuna ilişkin örnek veri Şekil 9’da gösterilmektedir.



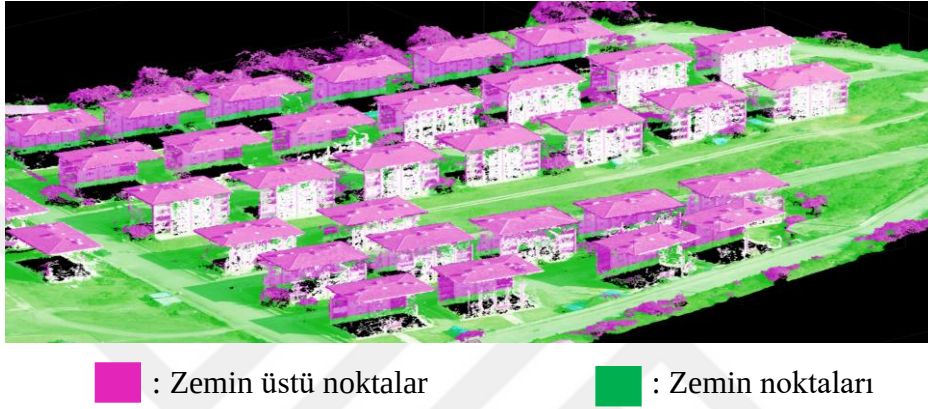
Şekil 9. Fotogrametrik nokta bulutu (Karabük-Yenice örneği)

1.6.5. SMRF Filtreleme Yöntemi

SMRF (Simple Morphological Filter/Basit Morfolojik Filtre) algoritması, nokta bulutlarında yer alan zemin ve zemin üstü noktaları ayırmak için dört temel aşamadan oluşur. Veri setindeki en düşük kotlu noktalar korunarak birinci aşamada minimum yüzey (ZI_{min}) oluşturulur. Maksimum değeri baz alarak ikinci aşamada bir arama penceresi oluşturulur ve grid hücrelerinin zemin veya zemin dışı nesne olduğunu tespit etmek için minimum yüzey, morfolojik operasyonlarla işlenir. Son aşamada, ham veri setindeki noktalar analiz edilerek zemin noktalarının filtrelenmesi sağlanır. Bu süreçte, gridlenmiş nokta bulutundan bir SYM oluşturulur ve ham veri setindeki noktalar ile SYM arasındaki ilişki incelenir.

SMRF algoritmasının sonucunda elde edilen minimum yüzey alanına göre nokta bulutu, grid sistemine dönüştürülerek bir raster verisi oluşturulur. Bu raster veri üzerinde, minimum yüzey alanına sahip olan bölgede aşınma ve genişleme işlemleri uygulanırken aşamalı bir morfolojik işlem de gerçekleştirilir. Görüntü üzerinde açma işlemi için genişleme filtresinin ardından bir erozyon filtresi uygulanır. Tekrarlanabilir filtre uygulanmasının ardından, her hücre, bir yapıya ait olup olmadığını belirleyen ikili bir maske olarak sınıflandırılır. Sonra algoritma, başlangıçta minimum yüzeye uygulanabilen bu ikili maskeyi kullanarak, zemin olmayan hücreleri ortadan kaldıran geçici bir SYM oluşturur. Son adımda, algoritma zemin ve zemin üstü noktalarını belirler. Bu işlem için, her noktanın geçici SYM ile olan dikey mesafesi ölçülür ve bir eşik değeri hesaplanır. Zemin sınıfı belirleme işlemi,

orijinal noktaların dikey mesafe ve opsiyonel ölçeklendirme parametreleri esas alınarak gerçekleştirilir. Arazinin eğimine ve topografyasına bağlı olarak SMRF algoritması ile zemin ve zemin üstü noktaların filtrelenmesi için belirli parametreler belirlenmelidir. Bu parametreler arasında maksimum arama penceresinin yarıçapı, eğim ve yükseklik eşikleri ile yükseklik eşik ölçeklendirme faktörü bulunmaktadır (Pingel & vd, 2013). Şekil 10'da SMRF ile zemin ve zemin üstü noktaların sınıflandırılması gösterilmektedir.

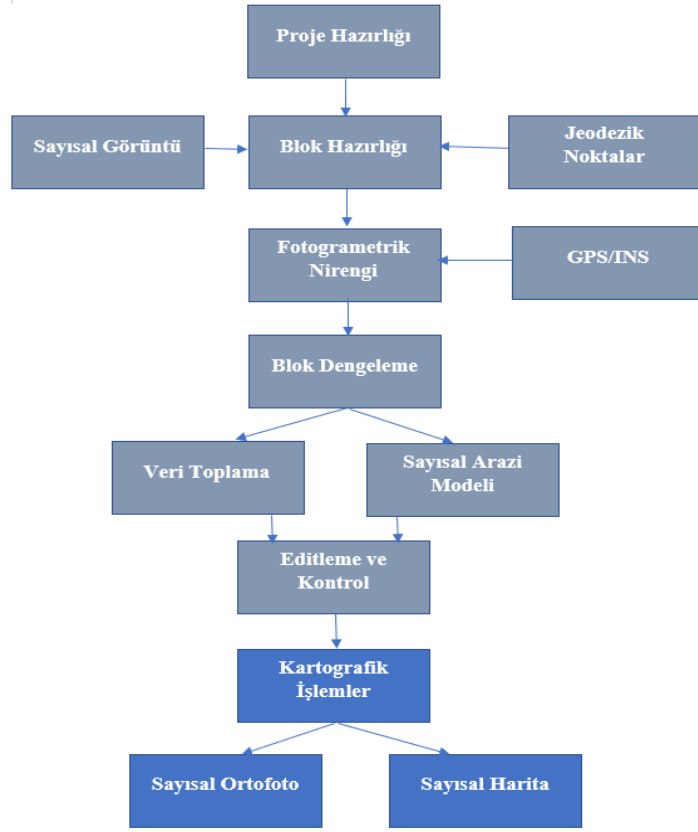


Şekil 10. SMRF ile zemin ve zemin üstü verilerin gösterimi

1.7. Ortofoto

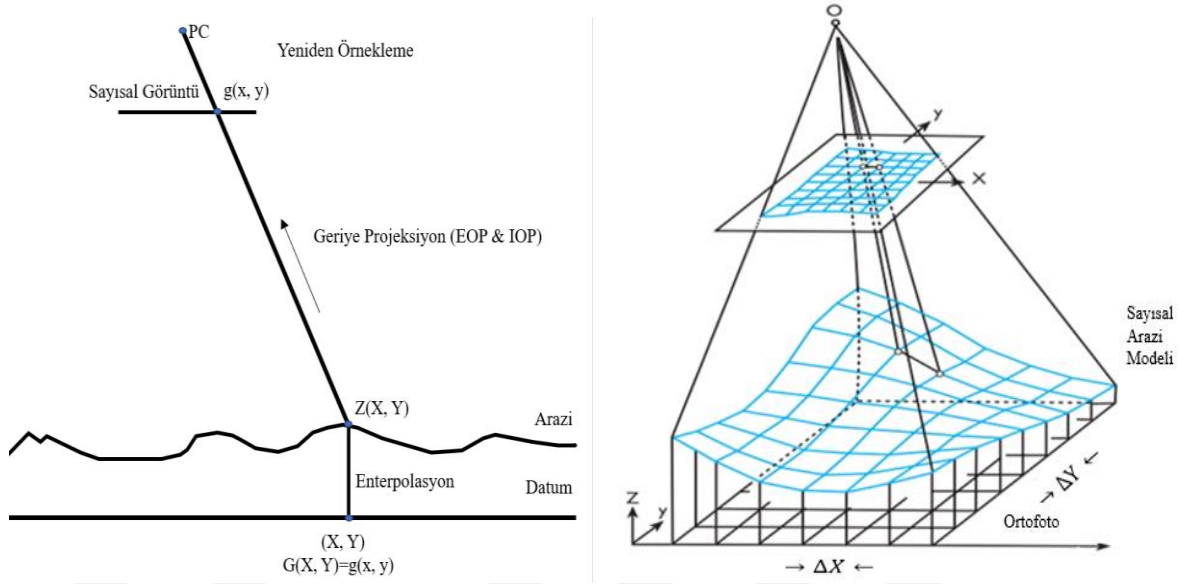
Günümüzde yaygın olarak kullanılan bir veri toplama yöntemi olan fotogrametri, çeşitli ölçeklerde ve hassasiyetlerle çalışarak farklı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Bu yöntem, çalışma alanının tüm konum bilgilerini istenilen hassasiyette toplayabilme ve elde edilen verileri farklı şekillerde sunabilme yeteneği ile öne çıkar. Fotogrametri, hızlı, hassas ve güvenilir bir veri toplama imkânı sunmasının yanı sıra çeşitli ürünler elde etme konusunda da öncüdür. Fotogrametrik veri üretim iş akışı Şekil 11'de gösterilmektedir. Bu yöntem, haritaların oluşturulmasından sayısal yükseklik modellerinin yapılmasına, ortofoto üretiminden arazi yüzey modellemelerine kadar çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Günümüzde yaygın olarak üretilen fotogrametrik ürünlerin hepsi sayısal formatta üretilmektedir ve genel olarak coğrafi veriler, sayısal arazi modeli, sayısal yükseklik modeli, vektörel haritalar, ortofoto, 3 boyutlu modeller şeklinde ifade edilebilir (Yaşayan & vd, 2018).



Şekil 11. Fotogrametrik veri üretim iş akışı

Ortofoto, hava araçlarından elde edilen yeryüzüne ait 3 boyutlu koordinat (X, Y, Z) bilgisini içeren hava fotoğraflarının sensör eğikliği ve arazi yüksekliğinden kaynaklanan geometrik hataları giderilmiş koordinatlı, yeryüzünü bozulma olmaksızın ölçekli bir şekilde gösteren yeniden örneklenmiş görüntülerdir. Jeodezik ve fotogrametrik hesaplar sonucunda, havadan görüntü alımı ile elde edilen ham görüntüler ortofoto görüntü olarak elde edilmektedir. Geleneksel anlamda, ortofoto üretiminin temeli, fotoğrafın tamamının rödresman yerine küçük kısımlar halinde rödresman edilerek fotoğraftaki yükseklik farklarından kaynaklanan hataların düzeltilmesine dayanır. Bunun için arazinin yükseklik bilgisine ihtiyaç vardır. Şekil 12’de, geriye projeksiyon ile ortofoto işleminin gerçekleştirilmesine yönelik şematik gösterimi ve sayısal yükseklik modeli ile ortofoto arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 12. Ortofoto ve sayısal yüksek modeli arasındaki ilişki (Kraus, 2007)

Hava görüntülerindeki optik distorsiyon ve kamera eğikliği gibi etkenlerden ötürü oluşan yer değiştirmeler ortofoto üretimiyle giderilir. Topografik rölyeften kaynaklanan yer değiştirmeler ise Sayısal Arazi Modeli yardımıyla düzeltilmektedir. Mevcut olan Sayısal Arazi Modeli kullanılabileceği gibi, fotoğraflar kullanılarak da uygun bir Sayısal Arazi Modeli hesaplanabilmektedir (Cankurt & vd, 2014).

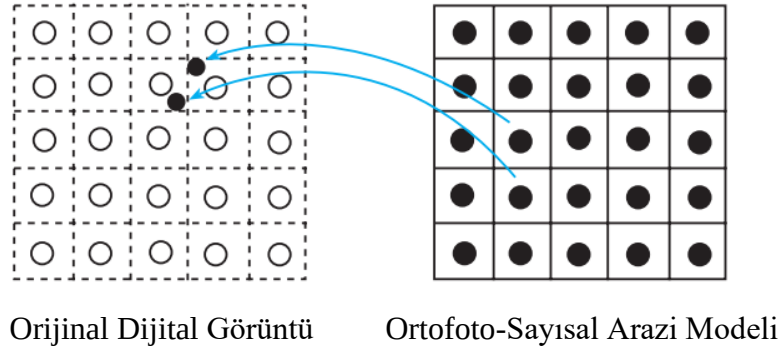
1.7.1. Dijital Ortofoto

Dijital görüntülerden sayısal yöntemler kullanılarak elde edilen bir ortofotoğraf, dijital ortofoto olarak adlandırılır. Klasik ortofotoda olduğu gibi bu fotoğraflar da ilgili alanın yükseklik bilgilerini gerektirir. Dijital ortofoto, dijital görüntülerin kullanılmasıyla, fotoğraf çekimi sırasındaki kamera eğikliği ve arazi yükseklik farklarından kaynaklanan hataları giderme amacıyla yeni bir sayısal görüntü elde etme yöntemidir (Şekil 13).



Şekil 13. Ortofoto harita

Şekil 14’te bir ortofoto ve dijital fotoğraf gösterilmiştir. Sistemin sayısal arazi modeli X, Y, Z koordinatlarıdır ve bilinen X, Y koordinatları her bir diferansiyel alana aitken bu alanların merkezlerinin de Z değerleri bilinmektedir. Bu diferansiyel alanlara karşılık gelen gri değerleri bulmak gerekmektedir. Her bir X, Y, Z değerlerine karşılık bir gri değeri doğru olarak bulunabilirse, bulunan değerlerle ortofoto oluşturulabilmektedir.

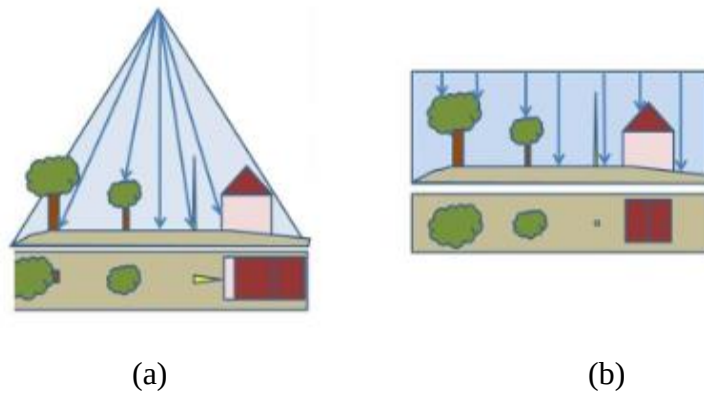


Şekil 14. Ortofoto ve dijital görüntü

İlk olarak, bu değere karşılık gelen x ve y fotoğraf koordinatları bulunmalıdır. Ardından, bu fotoğraf elemanına karşılık gelen gri değeri bulmak için iz düşüm denklemlerinden yararlanılmaktadır. Bu denklemlerdeki dış yöneltme elemanlarını ise, daha önce yapılmış bir fotogrametrik nirengiden veya ilgili modelin mutlak yöneltmesinden elde edilebilir. Alternatif olarak, kontrol noktaları kullanarak sadece bu fotoğrafın dış yöneltme elemanlarını uzay geriden kesme hesabıyla da bulunmaktadır. Böylece X , Y , Z değerlerine karşılık gelen x , y değerleri bulunur. Bu değerler doğal olarak sayısal fotoğrafın piksellerinin merkezleri olmayacaktır. Bilineer enterpolasyon hesabı uygulanarak daha uygun bir değer bulunabilir (Yaşayan & vd, 2018).

1.8. Doğru (True) Ortofoto

Rölyef hataları, yüksek doğruluklu Sayısal Arazi Modelleri (SAM) kullanan orto görüntülerde bile kaçınılmazdır. Bu hata, fotoğrafın eksenler etrafındaki eğiklik ve dönüklüğü ile ilgilidir. Doğru ortofoto, bu hataların düzeltildiği orto görüntülere verilen isimdir. Bu hataların ortadan kaldırılması için binaların da doğru bir şekilde modellendiği yüzey modellerine ihtiyaç vardır. Bunun için bina çatılarının elle ya da otomatik sayısallaştırma yöntemi ile ya da arazi bütünlemesiyle sayısallaştırılması ve SAM ile bu verilerin birlikte kullanılması gerekmektedir (Cankurt & vd, 2014). Şekil 15 ve Şekil 16'da SAM ile üretilen ortofoto (a) ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ile üretilen doğru (true) ortofoto (b) çizim ve uygulama gösterimleri eklenmiştir.



Şekil 15. (a) SAM ile üretilen ortofoto, (b) SYM ile üretilen doğru ortofoto (URL1)



(a)

(b)

Şekil 16. (a) Ortofoto, (b) Doğru ortofoto (URL1)

Bu tez çalışmasında önerilen yaklaşım sayesinde *i*-SYM verisi üretilebilmektedir. Bina çatı sınırlarının otomatik tespiti ile üretilen iyileştirilmiş SYM verisi ve yöneltme parametreleri bilinen dijital hava fotoğrafları kullanılarak gerçek üstü bir ortofoto üretimi gerçekleştirilecektir.

1.9. Yükseklik Modelleri

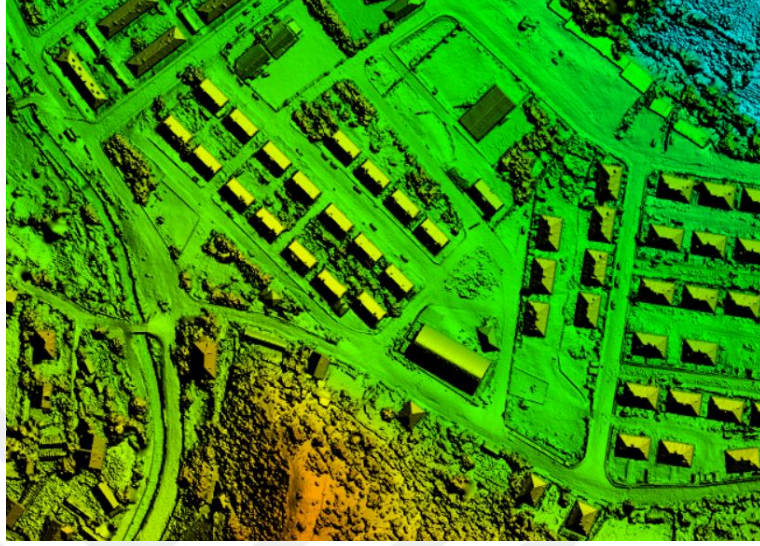
Yeryüzü, matematiksel olarak ölçülemeyecek kadar düzensiz olan üç boyutlu bir yapıdır. Tam olarak tanımlanabilmesi için sonsuz sayıda nokta gereklidir ancak bu imkânsız olduğundan belirli sayıda nokta seçilerek yüzeyi temsil edilmeye çalışılır. Topografik bir yüzey genellikle sayısal bir model olarak üç farklı şekilde gösterilir.

- Sayısal Yükseklik Modeli (SYM-DEM)
- Sayısal Arazi Modeli (SAM-DTM)
- Sayısal Yüzey Modeli (YM-DSM)

1.9.1. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)

Yüzeyde bulunan yükseklik değerlerini temsil etmek için X, Y ve Z eksenlerini kullanarak en basit ve çıplak bir şekilde ifade eden bir model olarak tanımlanabilir. Sayısal Yükseklik Modelleri, özellikle topografik bir yüzeyin sayısal olarak temsil edilmesi için

kullanılır. SYM'ler, yeryüzü topoğrafyasını en genel ve yaygın olarak ifade eden en temel modeldir (Şekil 17).



Şekil 17. Sayısal yükseklik modeli

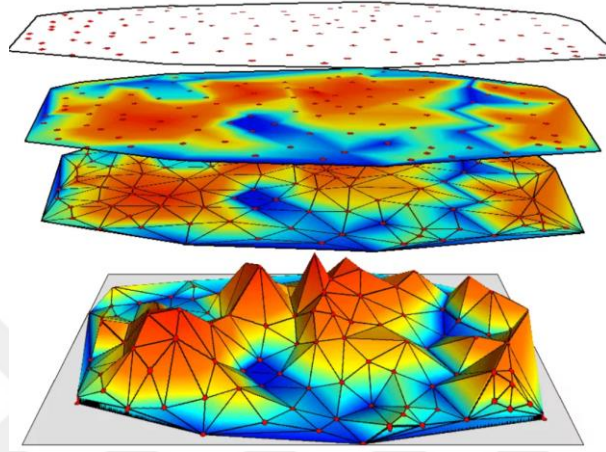
Sayısal yükseklik modeli (SYM), bir arazi yüzeyini en iyi temsil eden düzenli/düzensiz aralıklarla yapılmış çok sayıda yükseklik ölçümünden oluşmaktadır. SYM uygulamaları ile arazinin eğimi, eğim yönü, stereo görüntü çiftlerinin üretilmesi ve yeryüzünün 3 boyutlu ağ yapısının oluşturulması gibi işlemler gerçekleştirilebilmektedir (Yıldırım & vd, 1996).

Grid aralığı nedeniyle SYM'lerde bazı nesneler verilen aralıkta kalırken küçük olan detaylar kaybolabilir. Düzenli nokta sıklaştırması tüm alan için yapıldığında aynı yoğunluktaki yükseklik noktaları kullanılsa bile bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Karmaşık yüzeylerde tüm alana dağılmış ve daha sık veri noktaları kullanımını tercih edilebilirken bu durumda başka formlarda SYM verisine duyulan ihtiyaçta artış olmaktadır.

Fotogrametride önemli ürünlerden biri SYM üretimidir. Tek başına birer ürün olduğu kadar, ortofoto gibi ikinci ürünlerin oluşturulmasında da SYM'ler kullanılmaktadır. SYM'lerin otomatik toplanması için dijital fotogrametri ideal bir ortamdır (Erdoğan, 2007).

SYM'ler genellikle raster biçiminde veya üçgenlenmiş düzensiz ağ (TIN-Triangulated Irregular Network) kullanılarak temsil edilir. Ayrıca, SYM'ler, yükseklik verilerini içeren piksellerin olduğu sayısal bir görüntü olarak da depolanır. Başka bir deyişle, hücrelerin

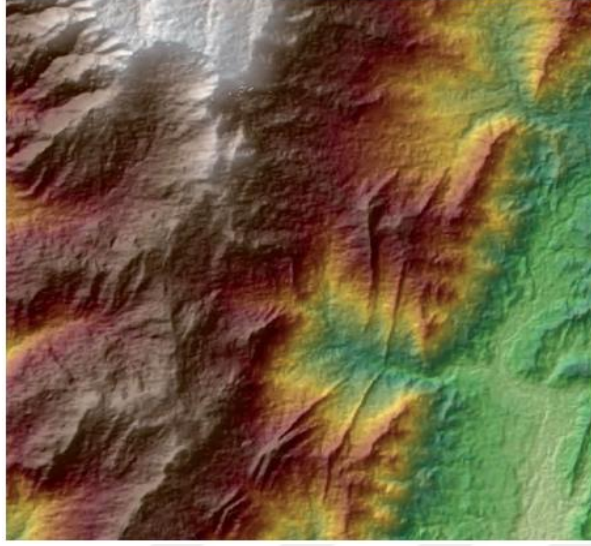
sayısal değerleri yükseklikleri belirtir. TIN (Şekil 18), rastgele dağılmış X, Y ve Z koordinatları bilinen noktalar kullanılarak hesaplanan kesişmeyen üçgenlerin bir araya geldiği bir yapıdır. TIN'in vektör yapısı, rastgele dağılmış nokta, çizgi ve poligon verilerinden oluşur. TIN, eğim, yönelim, yüzey alanı ve uzunluk, hacim hesaplamaları, eş yükselti eğrileri ve yükseklik verilerinin interpolasyonu için kullanılır.



Şekil 18. TIN

1.9.2. Sayısal Arazi Modeli (SAM)

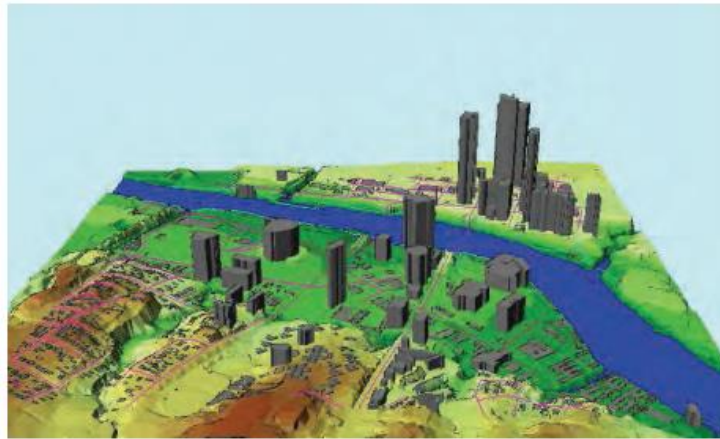
Sayısal arazi modeli (SAM), farklı şekillerde ifade edilebilir. Bazı ülkelerde, SAM ve SYM terimleri aynı anlamda kullanılır ve rastgele dağılmış Z değerleriyle arazi yüzeyini ifade eder. SAM, genellikle tam 3B yerine 2.5 boyutlu bir model olarak adlandırılır. SAM, arazi yüzeyinin belirgin topografik özelliklerini ve gerçek şeklini daha iyi bir şekilde sayısal olarak sunmaktadır (Şekil 19). SAM, Su ayırma ve su toplama çizgileri ile sırt ve vadileri içerir ve yeryüzünün bir parçasının kesikli bir temsilidir. Topografik bir yüzeyin sayısal olarak temsil edilmesi için SAM daha genel bir terim olsa da SYM daha yaygın olarak kullanılmaktadır. SYM, arazi şeklini daha iyi yansıtabilen eş yükselti eğrilerinin üretimi için SAM'den daha pahalı ve zaman alıcı bir yöntemdir. SAM oluşturulması için, arazi yüzeyinde konumları ve yükseklikleri (X, Y, Z) bilinen noktaların uygun şekilde dağılmış olması gerekmektedir (Yaşayan & vd, 2018). SAM, haritacılıkta, ortofoto oluşturulmasında, eğim haritası hazırlanmasında, en ve boy kesitlerin çiziminde, hacim hesaplamasında dahil olmak üzere çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır.



Şekil 19. Sayısal arazi modeli

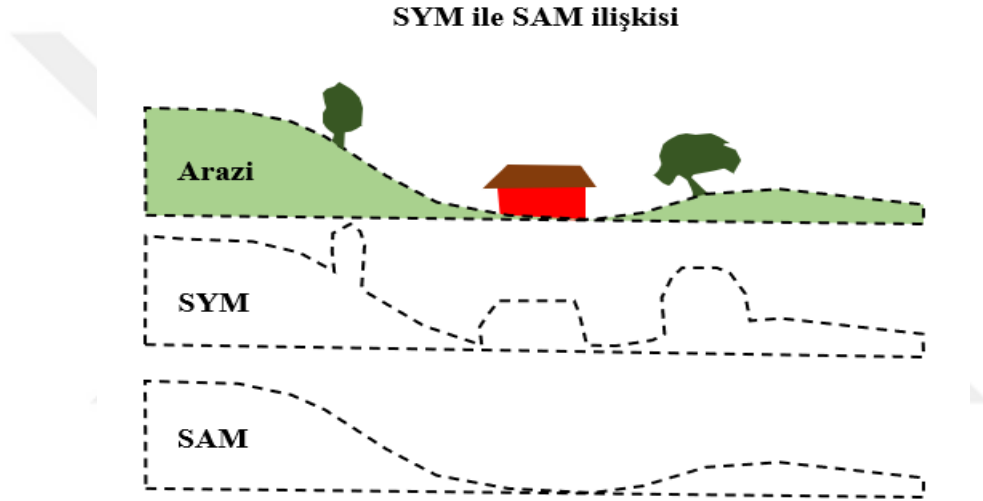
1.9.3. Sayısal Yüzey Modeli (YM)

Sayısal yüzey modeli (YM), SAM ve SYM'ye benzerdir. Sayısal yüzey modeli, yükseklik bilgilerinin bina, ağaç, kule ve diğer nesnelerin yüzeylerine ilişkin olması diğer modellerle arasındaki fark olarak tanımlanabilir (Şekil 20). Tek değerli yüzey, $z = f(x, y)$ fonksiyonu olarak tanımlanır. Herhangi bir (x, y) kombinasyonuna tek bir z değeri karşılık gelir.



Şekil 20. Sayısal yüzey modeli

Günümüzde kullandığımız çeşitli fotogrametrik yazılım ve programlar bulunmaktadır. Klasik ortofoto oluşturulurken görüntü ile SAM kullanılırken, doğru ortofoto da görüntü ile SYM kullanılmaktadır. SAM ile SYM arasındaki şekilsel ilişki Şekil 21’de gösterilmiştir. Oluşturulan klasik ortofotoda yüksekteki noktalar operatör tarafından zeminde yaklaşık yeri belirtilmek suretiyle üretilmektedir. Oluşturulan doğru ortofotoda da kullanılan SYM’ye bağlı olarak çıktı sonuç doğrulukları artabilmektedir. SYM’nin ortofoto doğruluğundaki önemi çok yüksektir. Yapılan Çalışmalar kısmında anlatıldığı gibi bir iyileştirilmiş SYM (i-SYM) oluşturularak ortofoto çıktı doğruluğu artırılması hedeflenmiştir.

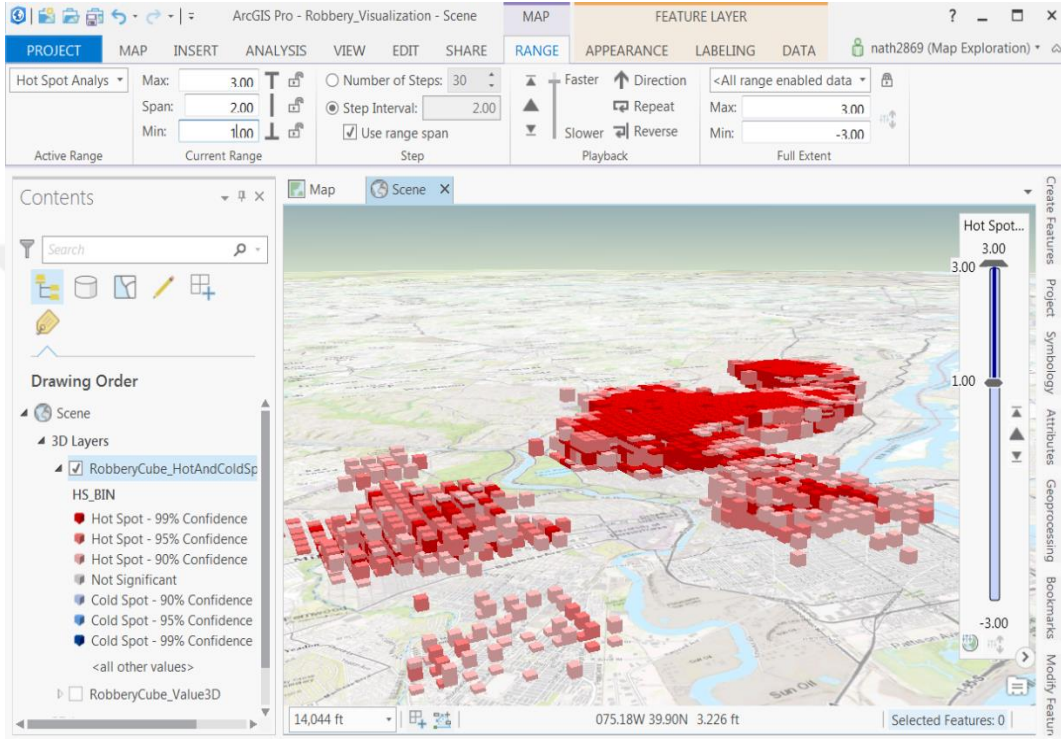


Şekil 21. SAM ile SYM arasındaki ilişki

1.10. ArcGIS Yazılımı

ArcGIS, Esri tarafından geliştirilen bir istemci, sunucu ve çevrimiçi coğrafi bilgi sistemi (CBS) yazılımı ailesidir. İlk olarak 1999 yılında ve komut satırı tabanlı bir CBS olan ARC/INFO olarak piyasaya sürülmüştür. ARC/INFO daha sonra ArcGIS Desktop ile birleştirilmiş ve sonunda 2015 yılında ArcGIS Pro olarak yerini almıştır. ArcGIS Pro, ArcGIS Desktop'un daha modern sürümü olan 64 bitlik bir CBS yazılımıdır. ArcGIS Desktop'tan farklı olarak, ArcCatalog ve ArcMap işlevlerine aynı uygulama üzerinden, en yaygın olarak Katalog bölmesinden erişilir. ArcGIS Pro'nun grafik gereksinimleri, yükseltilmiş görselleştirmeyi desteklemek için ArcGIS Desktop'tan önemli ölçüde daha

yüksektir. ArcGIS Pro, ArcGIS Online kullanarak özellik katmanlarının yayınlanmasını ve kullanılmasını içeren kolaylaştırılmış iş akışlarını da destekler. ArcGIS Pro 3.0'ın Haziran 2022'de piyasaya sürülmesiyle tüm *.aprx proje dosyaları sürüm 3.0'a kadar okunabilir ancak proje kaydedilirse, proje dosyasını sürüm 2.9.x ve önceki sürümlerle uyumsuz hale getirir (URL3). Şekil 22'de ArcGIS Pro arayüzü ve bir çalışma örneği eklenmiştir.

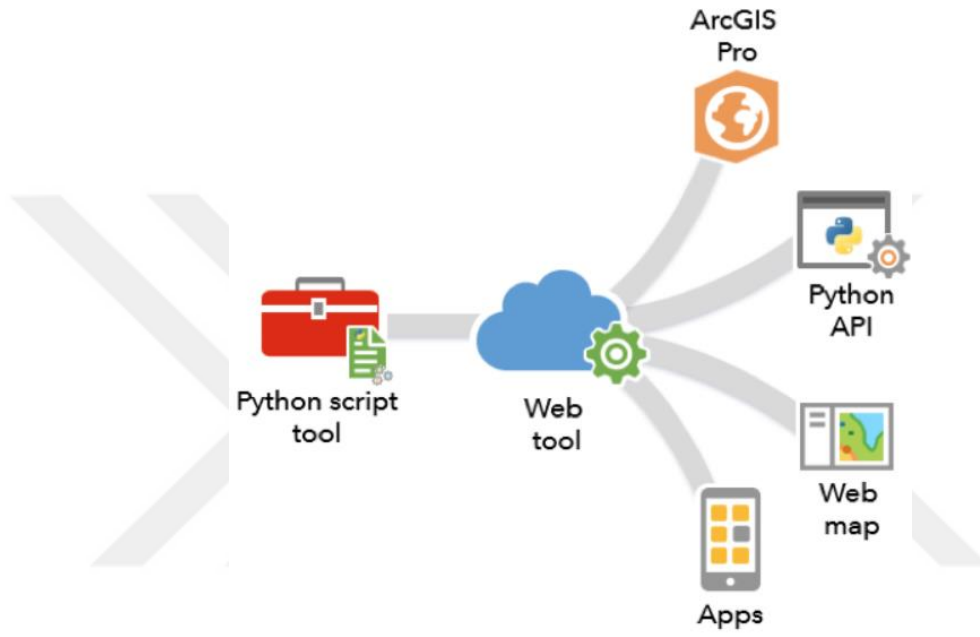


Şekil 22. ArcGIS Pro arayüzü ve bir çalışma örneği

1.10.1. ArcGIS Yazılımında Python Programlama Dili

Python ücretsiz, platformlar arası, açık kaynaklı bir programlama dilidir. Yaygın olarak kullanılır ve desteklenir. Python, ArcGIS 9.0 ile ArcGIS topluluğuna tanıtılmıştır. O zamandan beri, coğrafi işlem kullanıcıları için tercih edilen betik dili olarak kabul edilmiş ve büyümeye devam etmektedir. Python, büyük ölçüde çok yönlülüğü ve genişletilebilirliği nedeniyle ArcGIS Pro'da otomasyon için birincil dildir. Kısmen bu nitelikleri nedeniyle Python aynı zamanda genel olarak en yaygın kullanılan programlama dillerinden biri haline gelmektedir. Ek olarak Python, ArcGIS'te kullanılabilecek çeşitli önceden var olan paketlere sahiptir. Anaconda, popüler ve yaygın olarak kullanılan bir Python paket yöneticisidir.

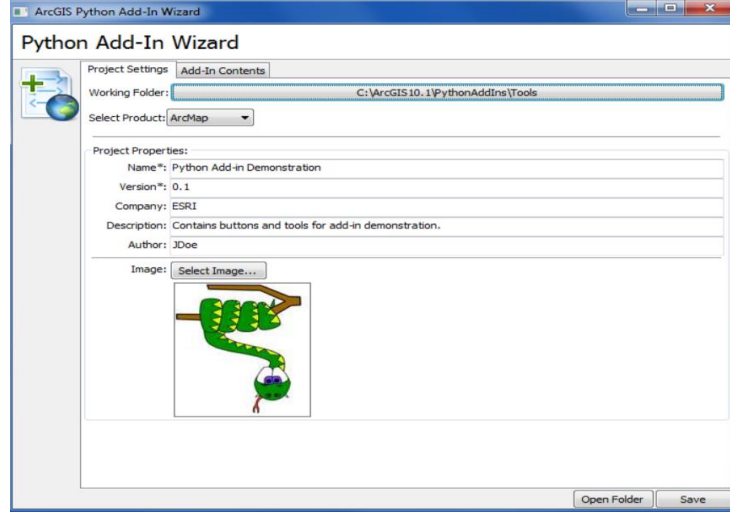
Conda'nın işlevselliği, Paket Yöneticisi aracılığıyla ArcGIS Pro'ya entegre edilmiştir. Paket Yöneticisi, Python kodu yazarken karşılaşılan zorlukların çoğunu ortadan kaldırır. Temel Python kurulumu yerine, bireysel bir proje ile ilişkili açık kaynaklı ve üçüncü taraf kütüphanelerin kurulmasını destekler. Bu, karmaşık Python araçlarını birden fazla bilgisayarda başarılı bir şekilde paylaşma sürecini basitleştirir (URL4). Şekil 23'te CBS İş Akışlarını Kolaylaştırmak için Python Kullanımı görselleştirilmiştir.



Şekil 23. CBS ile Python kullanımı (URL5)

1.10.2. ArcGIS Add-in Teknolojisi

Genel kullanım adıyla bilinen ArcGIS Add-in, Python programlama dili kullanılarak yazılan kodun ArcGIS masaüstü uygulamaları (ArcMap, ArcCatalog, ArcGlobe ve ArcScene) için araç çubuğu, açılan kutu, menü, buton gibi elemanlar içerip oluşturulabileceği bir eklentidir. Gelişen ArcGIS teknolojisiyle birlikte Add-in (eklenti) teknolojisi de hem çeşitliliğini arttırmış hem de çeşitli değişimlere uğramıştır. Bunlardan biri dışarıdan müdahaleyle oluşturulabilecek eklentilerde Şekil 24'te arayüzü görülen Python Add-in Wizard kullanılmasıdır. Python programlama diliyle yazılan betikler Add-in Wizard ile ArcGIS 10.1 sürümünde kullanılarak eklentiler oluşturulmuştur.



Şekil 24. Python Add-in Wizard arayüzü

Bir diğer Add-in yöntemi de ArcGIS arayüzünde bulunan Python sekmesi kullanılarak ya da başka bir ortamda python betikleri yazılarak Arcpy komutu ile eklenti oluşturulabilmektedir. ArcGIS ortamında kodun dönebilmesini sağlayan “import arcpy” komutuyla çağırılması ve devamında girdi, çıktı parametrelerinin ona uygun şekilde belirlenmesi, kod içerisinde uyum olması gereklidir. Burada input ve output verilerinin belirlenmesindeki ana sebep Şekil 25’te gösterildiği gibi ArcGIS programının ilgili kodu çalıştırmak için girdi ve çıktı verileri istemesidir. Örnek olarak eğim analizi yapabilen ve ArcGIS ortamında çalışabilen kod Şekil 25’te gösterilmiştir.

```

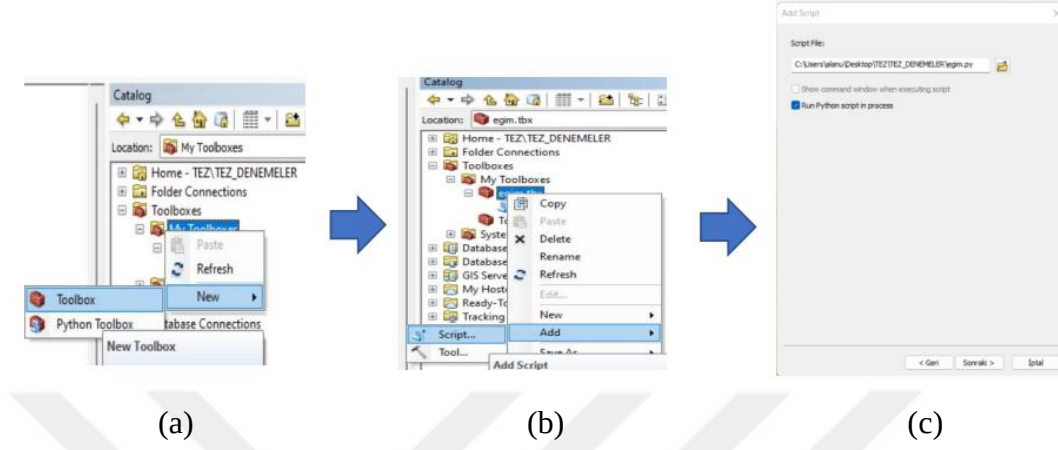
1 import arcpy
2 from arcpy.sa import *
3
4 girdi_raster=arcpy.GetParameterAsText(0)
5
6 egim_birimi="PERCENT_RISE"
7
8 z_carpani=1
9
10 dizin=arcpy.GetParameterAsText(1)
11
12 cikti_raster=Slope(girdi_raster , egim_birimi , z_carpani)
13 cikti_raster.save(dizin)

```

Şekil 25. Örnek eklenti modül kodu

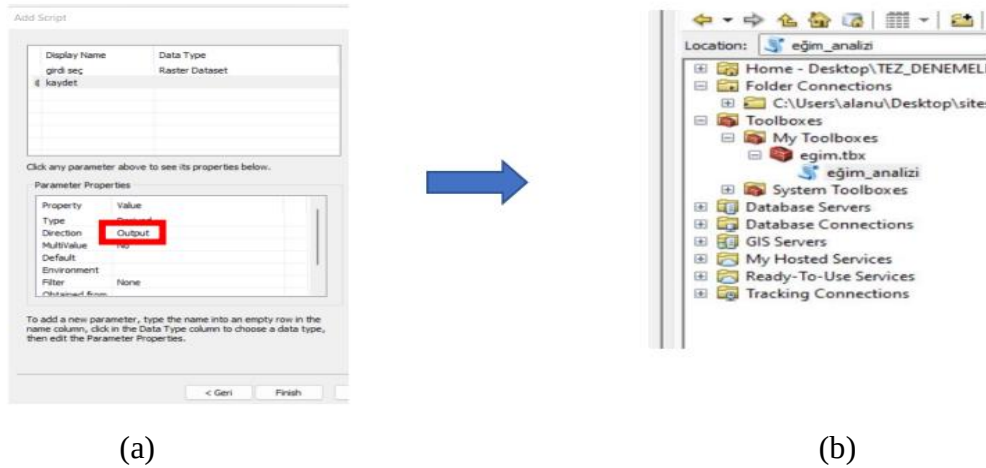
Hazırlanıp kaydedilen .py uzantılı dosyayı ArcGIS’le bağlayabilmek için ArcGIS üzerinde Catalog kısmında yeni bir Toolbox açılır (Şekil 26 (a)) ve açılan Toolbox’a Script

eklenir (Şekil 26 (b)). Gelen sayfaya isim ve etiketi girildikten sonra ilgili yazılan (Şekil 26 (c)) .py uzantılı kod bağlanır (Şekil 25).



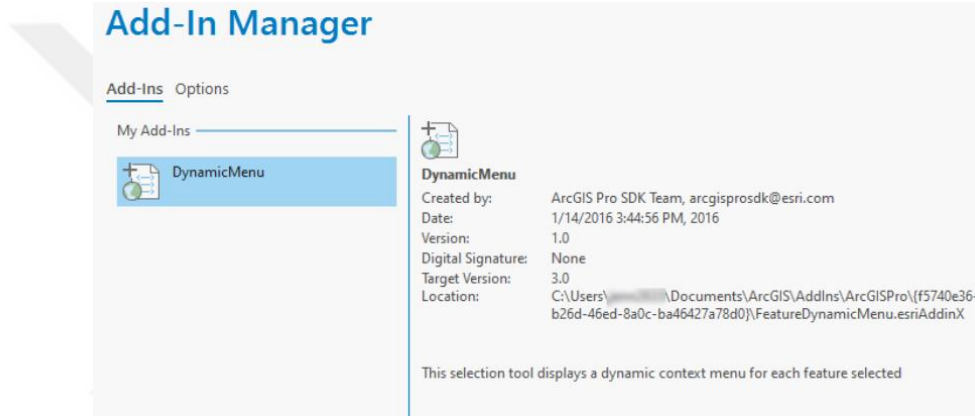
Şekil 26. (a) Toolbox oluşturma, (b) Script oluşturma, (c) Python kod ekleme

Ardından modülün, tıklanıldığı an hangi gerekli verilere ihtiyaç varsa onları girdi ve çıktı olarak, data tipinin de seçimi yazılıp kaydedilir (Şekil 27 (a)). Böylelikle bağlanan kodun içeriği baz alınarak ArcGIS ortamına istenilen isim altında modül eklenmiş olur (Şekil 27 (b)).



Şekil 27. (a) Girdi, kayıt verileri düzenleme, (b) Modül eklentisi

İlerleyen yıllarda ArcGIS üzerindeki gelişmelerle birlikte Add-in teknolojisi gelişmiştir. ArcGIS Pro'nun kendi bünyesinde bulunan Add-in Manager kısmından, yazılan Python betikleri, Add-in Wizard gibi ek bir “.exe” uzantılı (programlama yazılımlarına ihtiyaç olmadan çalışabilen) dosyasına ihtiyaç duymadan ArcGIS'in kendi bünyesine eklenebilir hale gelmiştir. ArcGIS Pro sürümü ile eklenti, geliştiriciler veya kullanıcılar tarafından kullanılan ArcGIS Pro SDK (Software Development Kit/Yazılım Geliştirme Kiti) for .NET ile oluşturulan bu özel işlevin çalışabilmesi için aynı sürümde kullanılması gerekmektedir. Bu işlemler ArcGIS Pro'ya özel ürün anahtarı kullanılarak elde edilmektedir. Şekil 28'de ArcGIS Pro bünyesindeki Add-in Manager kısmı görülmektedir.



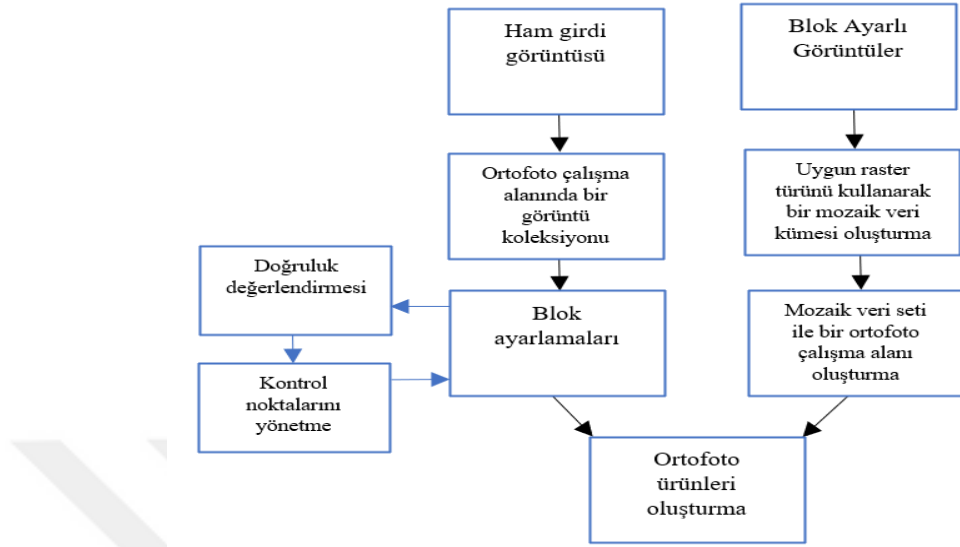
Şekil 28. ArcGIS Pro Add-in Manager arayüzü

Ek olarak ArcGIS üzerinde oluşturulmak istenen eklenti için ArcGIS Pro, Python dili gibi birçok dille yazılabilen bir arayüze sahip program olan Visual Studio ile de sağlanabilmektedir. Bu tez çalışmasında da modülün arayüzünün hazırlanması, ArcGIS Pro üzerine buton eklenmesi ve ArcGIS Pro ile kod arasında köprü oluşturmak için Visual Studio 2022 kullanılmış olup detaylı açıklama Yapılan Çalışmalar kısmında açıklanmıştır.

1.10.3. ArcGIS Yazılımında Ortofoto

ArcGIS Pro, sensör, platform ve arazi yer değiştirmesinden kaynaklanan geometrik bozulmayı gidermek için İHA'lerden, uydulardan, dijital fotoğrafçılıktan ve taranmış hava fotoğrafçılığından elde edilen görüntüleri fotogrametrik olarak düzeltmeye olanak tanır.

Şekil 29, ArcGIS Pro ortofoto üretim aşamalarını göstermektedir.

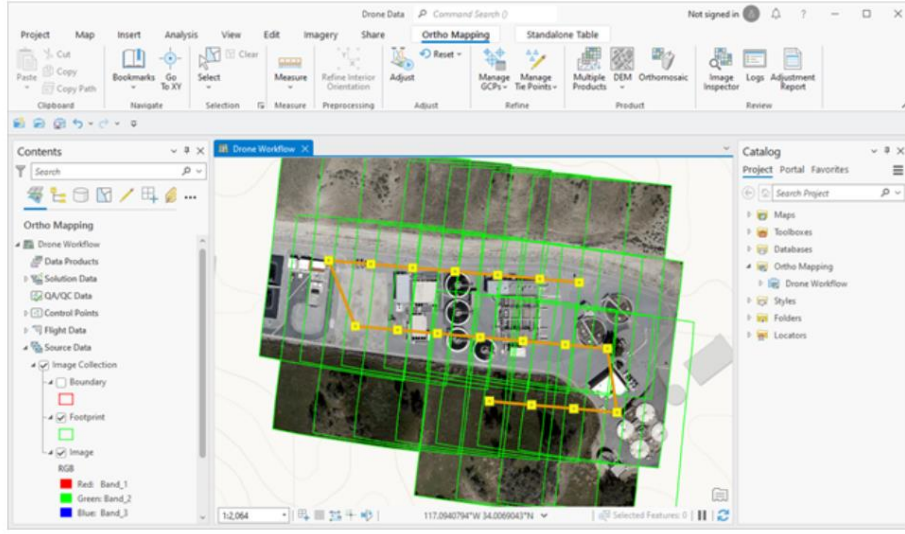


Şekil 29. ArcGIS Pro ortofoto üretim aşamaları

ArcGIS Pro kullanarak ortofoto üretimi üç adımda irdelenir:

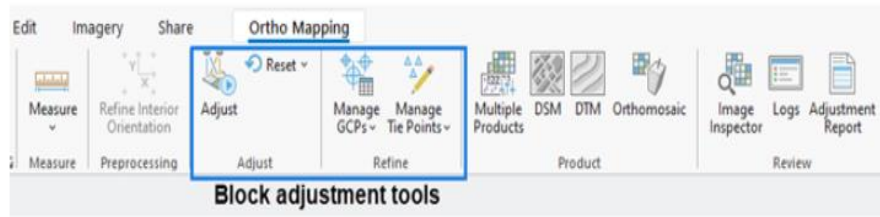
- Ortofoto çalışma alanı oluşturulması
- Görüntüdeki geometrik bozulmaları düzeltmek için blok ayarlaması
- Ortofoto ürünlerinin elde edilmesi (SYM, SAM, ortomozaik,)

İlk adım, ortofoto çalışma alanı oluşturulması için, ArcGIS Pro’da bir proje ve ortofoto çalışma alanı oluşturulur. Halihazırda var olan orto haritalama sekmesi, blok ayarlaması ve ortofoto ürünlerinin oluşturulması için araçlar bu bölümde bulunmaktadır. Çalışma alanı oluşturulduğunda, içerikler bölmesi, kontrol noktaları, veri ürünleri gibi çalışma alanıyla ilişkili çeşitli katmanları içerir. Bu katmanlar, ortofoto iş akışında uygun adımlar başlatılarak doldurulana kadar boştur. Örneğin, kontrol noktaları katmanı blok ayarlaması gerçekleştirildikten sonra doldurulur. Aynı şekilde veri ürünleri katmanı ortofoto oluşturma adımları gerçekleştirildikten sonra doldurulur. Şekil 30’da ArcGIS Pro’da ortofoto işlem adımı temsili gösterilmektedir.



Şekil 30. ArcGIS Pro’da ortofoto işlem adımı temsili

İkinci adım olarak tanımlanan blok ayarlaması, fotogrametride kullanılan bir tekniktir. Bindirilmiş görüntüler, yer kontrol noktaları (GCP'ler), kamera modeli ve yükseklik verileri arasındaki fotogrametrik ilişkiye dayalı olarak bir alan (blok) için ayarlama veya dönüşüm hesaplanır. ArcGIS Pro’da bulunan *adjust* ve *refine* gruplarındaki araçları kullanarak bir blok ayarlaması yapılması gerekmektedir (Şekil 31). Blok ayarlaması orto düzeltme süreci için önemli bir adımdır.



Şekil 31. ArcGIS Pro’da blok dengeleme araçları

Üçüncü adım ile blok ayarlaması sonrası ürün grubundaki araçlar kullanarak ortofoto ürünleri oluşturulur. SYM, SAM, ortomozaik ya da özel ürünler üretilir (Şekil 32).



Şekil 32. ArcGIS Pro’da ortofoto ürün araçları

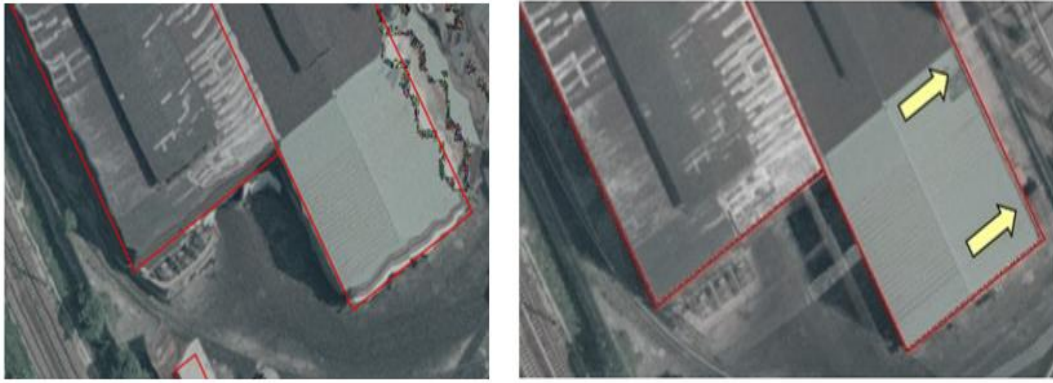
SYM, üzerindeki ağaçlar ve binalar gibi nesnelerin yüksekliği de dahil olmak üzere yeryüzünün dijital yüksekliğinin sergilendiği modeldir (URL16).

ArcGIS Pro ürettiği SYM ile bir noktaya dikkat çekip şöyle der; kaynak görüntü, gerçek ortofoto üretmek için hiçbir bina veya özellik nadir görünümlü olmadığı sürece görüntü ortorektifikasyonu için kullanılmamalıdır. Bu durum biraz daha açılırsa şöyle tanımlanabilir; kullanılan SYM’nin kalitesi SYM ile üretilen tüm ürünlerin kalitesini etkilemektedir. Bu nedenle SYM iyileştirilmeden kullanıldıkça, elde edilen sonuç ürün ortofoto hiçbir zaman tam anlamıyla doğru olmayacaktır. Bina kenarları bozulmuş, çatı kenarları akmış ya da net olmayan, tabiri caizse makyajı bozuk olarak tanımlanabilecek ortofotolar oluşmaktadır. Şekil 33’te gösterilen, günümüzde fotogrametri alanında popüler olarak kullanılan yazılımlarla yapılmış ortofotolar üzerindeki bozulmalara bir örnek olarak verilmektedir.



Şekil 33. Yazılım çıktısı ortofotolar üzerindeki bozulmalar (URL6)

Bu tez çalışması ile üretilen iyileştirilmiş Sayısal Yükseklik Modeli (*i*-SYM) kullanılarak elde edilen gerçek ortofotoyla bu sorunların önüne geçmek hedeflenmiştir. Şekil 34'te bu tür hataların önüne geçmek için bir çözüm yolu olarak TKGM (Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü)'nin 3B olarak stereo modellerden çizilen bina kenarları SYM'ye kırıklık hattı olarak eklenmesi sunulmuştur. Belirli bir alan oluşturulup bina kenarı boyunca alan içinde kalan yükseklik verisi silinerek gürültülerden arındırılmış ve gerçek ortofoto bu SYM'ye göre üretilmiştir (URL1).



Şekil 34. SYM iyileştirmesiyle elde edilen TKGM örnek verisi (URL1)

Çözüm yolları bu şekilde genişletilebilir. Fakat literatür incelendiğinde hem sunulan çözüm yolları hem de bu yol için üretilen SYM'ler uzun vade için çözüm olmamakla birlikte otomatik de değildir. Kullanıcı doğruluğuna bırakılmadan üretilen SYM'lerin otomatize edilmesi önemli bir adımdır. ArcGIS Pro'da bu konuda bina çıkarımı, bina kenar düzgünleştirme işlemleri gibi çoğu işlemi kullanıcıya bırakmaktadır. İşlemlerin otomatize olmaması çıktı sonuç doğruluklarını negatif etkilemektedir (Şekil 35). Bu tez çalışması kapsamında diğer çoğu yazılımda olduğu gibi ArcGIS Pro yazılımında da tespit edilen otomatikleştirme sorunu büyük ölçüde aşılmaktadır.



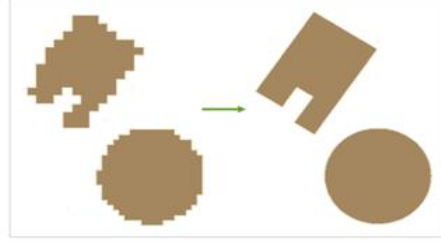
(a)



(b)



(c)



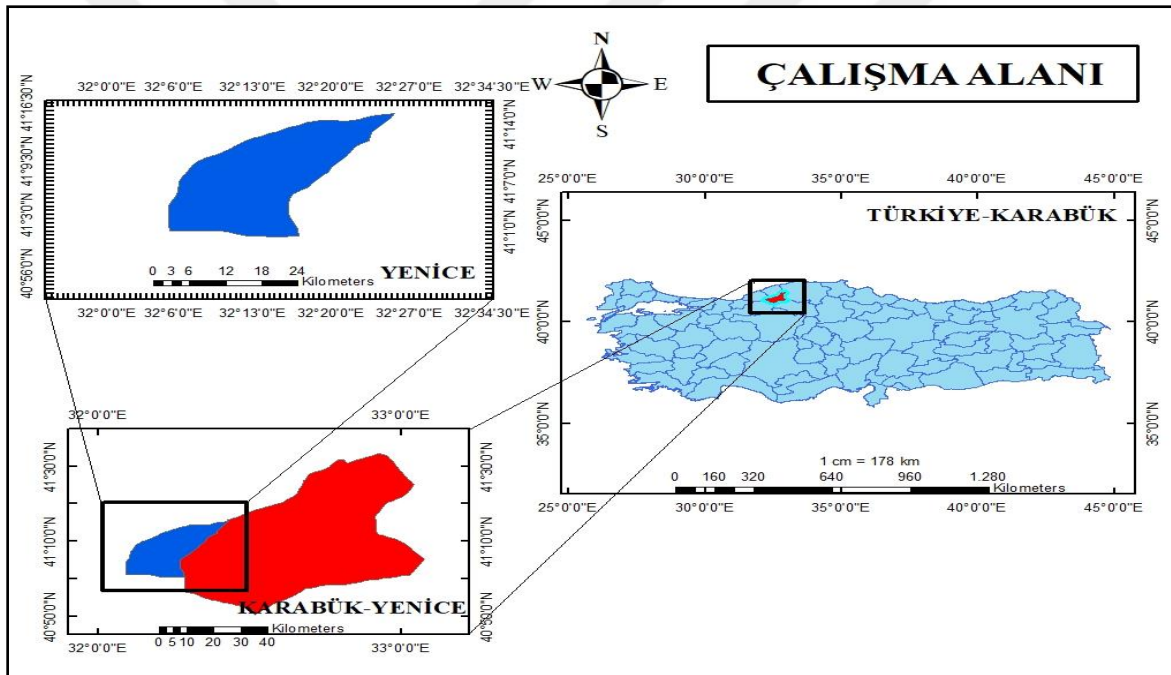
(d)

Şekil 35. ArcGIS Pro üzerindeki işlem adımları; (a) binalara ait nokta bulutu verisinin ortofoto üzerinde gösterimi, (b-c) binalara ait nokta bulutundaki boşlukların tespiti ve doldurulması, (d) bina sınırlarının manuel düzeltilmesine ilişkin dayandırıldıkları şekiller (URL17)

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışma Alanı, Veri Seti ve Özellikleri

Bu tez çalışmasında önerilen yaklaşımın test edilmesi ve uygulanması için, çalışma alanı olarak Karabük İli, Yenice İlçesi'ne ait veriler seçilmiştir (Şekil 36). Karabük'ün en batıdaki ilçesi konumunda olan Yenice, il merkezine 33 km uzaklıktadır. 1150 km²'lik bir alana sahip olan Yenice yüzölçümünün %85'i verimli ormanlarla kaplıdır. Arazi yapısı Batı Karadeniz Bölgesi'nin karakteristik özelliklerini taşımaktadır. Düz ve ova niteliğinde arazi yok denecek kadar azdır.



Şekil 36. Çalışma alanı

Büyük ölçekli fotogrametrik harita üretim amacıyla çalışma alanına ait fotoğraflar Matrice 300 adlı İnsansız Hava Aracı'na takılı 35 mm kamera sabitli, 8192×5460 uzaysal çözünürlüklü ve 4,2725 µm piksel büyüklüğüne sahip Zenmuse P1 (RGB) fotogrametrik (optik) kamerayla çekilmiş olup kamera özellikleri Tablo 2'de gösterilmektedir. Fotoğraflar yaklaşık olarak 420 m yükseklikten ve %80-90 bindirmeli ve yer örnekleme aralığı (GSD-YÖA) 5,26 cm olarak çekilmiştir.

Tablo 2. Zenmuse P1 kamera özellikleri

Zenmuse P1	
Piksel Boyutu	4,2725 μm
Mutlak Doğruluk (yatay)	3 cm
Mutlak Doğruluk (dikey)	5 cm
Sensör Boyutu	35,900×23,328 mm
Çözünürlük	45 MP
Minimum Fotoğraf Aralığı	0,7 saniye
Lens Boyutu	35 mm
Fotoğraf Boyutu	3:2 (8192×5460)
ISO Aralığı	Fotoğraf:100-25600

Tez çalışmasında proje sahasına çekilmiş görüntüler içerisinde uygulama yapmak üzere bölgeyi içeren 44 ham görüntü kullanılmıştır. Doğu-batı uçuş yönü doğrultusunda çalışma alanını kapsayan fotoğraflar numaralarıyla birlikte Şekil 37’de gösterilmektedir. Görüntüler farklı boyutlarda bina, yol ve bitki örtüsü gibi çeşitli detayları kapsamaktadır. Seçilen alanın yüzölçümü 0,2325 km^2 , yer örnekleme aralığı ise 5,26 cm’dir. Çalışma alanına ait nokta bulutu verisinin nokta yoğunluğu 865,17 nokta/ m^2 iken toplam nokta sayısı 130.707.480 adettir.



Şekil 37. Uçuş yönü doğrultusunda çalışma alanına ait fotoğraflar

Çalışma alanı içerisinde uygulama yapmak üzere kullanılan görüntülere ait dış yöneltme ($X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa$) ve kamera parametreleri Tablo 3'te detaylandırılmıştır.

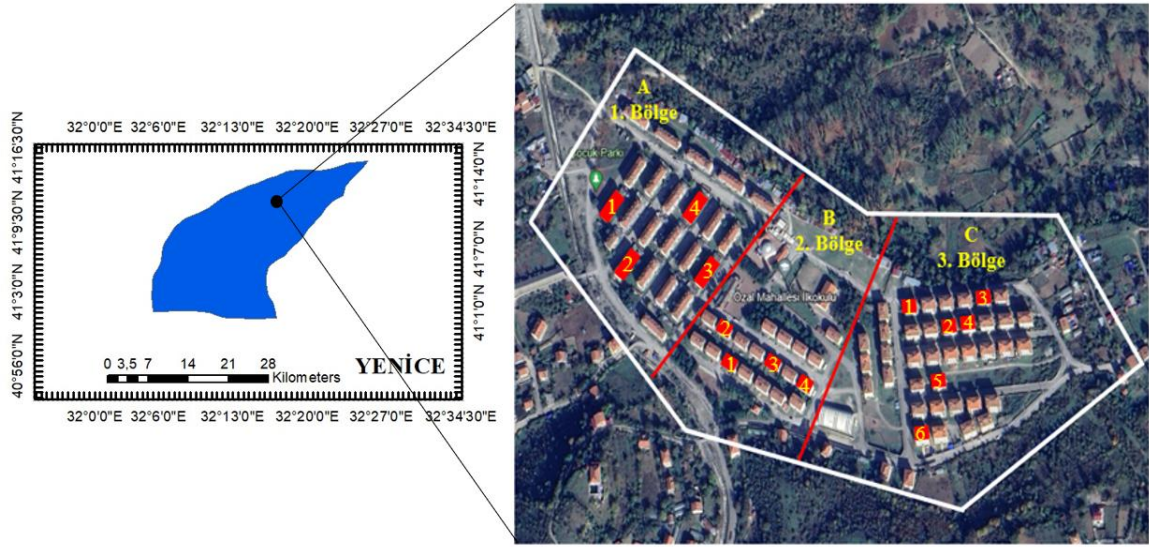
Tablo 3. Veri seti içerisinde kullanılan ham görüntülere ait bilgiler

Kamera Bilgileri						
Kamera	Zenmuse P1					
Kamera Sabiti (mm)	35.0629					
Asal Nokta Koordinatları (x_0, y_0) (mm)	-0.0994, -0.1210					
Piksel Boyutu (μm)	4.2725					
Resim No	X_0 (m)	Y_0 (m)	Z_0 (m)	ω°	ϕ°	κ°
CM0230.tif	440703.769	4563767.581	515.235	-0.77464	-0.77168	85.75818
CM0231.tif	440635.158	4563768.166	515.216	-0.79395	-0.76103	85.80719
CM0232.tif	440566.515	4563768.715	515.242	-0.79591	-0.76645	85.80130
CM0233.tif	440497.600	4563769.366	515.247	-0.79901	-0.78509	85.80848
CM0234.tif	440428.978	4563769.941	515.274	-0.82075	-0.75407	85.81877
CM0235.tif	440360.608	4563770.532	515.278	-0.82462	-0.75705	85.80628
CM0236.tif	440291.748	4563771.121	515.222	-0.77990	-0.72426	85.74534
CM0237.tif	440223.210	4563771.694	515.191	-0.76814	-0.76596	85.76020
CM0238.tif	440154.095	4563772.275	515.247	-0.75932	-0.80150	85.75972
CM0239.tif	440084.760	4563772.834	515.265	-0.76422	-0.80779	85.76419
CM0240.tif	440016.698	4563773.404	515.266	-0.77931	-0.78606	85.75409
CM0248.tif	439955.142	4563958.662	515.275	0.97697	1.43794	-91.89151
CM0249.tif	440023.150	4563958.014	515.268	0.83665	1.48273	-91.94923
CM0250.tif	440092.437	4563957.493	515.230	0.73006	1.50069	-91.98802
CM0251.tif	440161.520	4563956.901	515.276	0.67067	1.45747	-91.96942
CM0252.tif	440230.190	4563956.348	515.275	0.62101	1.43137	-91.94393
CM0253.tif	440298.184	4563955.794	515.295	0.58532	1.41638	-91.93198
CM0254.tif	440366.908	4563955.169	515.227	0.55929	1.42279	-91.96817
CM0255.tif	440435.659	4563954.662	515.212	0.56291	1.48752	-91.98413
CM0256.tif	440504.898	4563954.088	515.271	0.58885	1.49040	-91.99437
CM0257.tif	440573.181	4563953.532	515.317	0.60235	1.47560	-91.99264
CM0258.tif	440642.448	4563953.022	515.195	0.62716	1.49093	-91.98046

Tablo 3'ün devamı

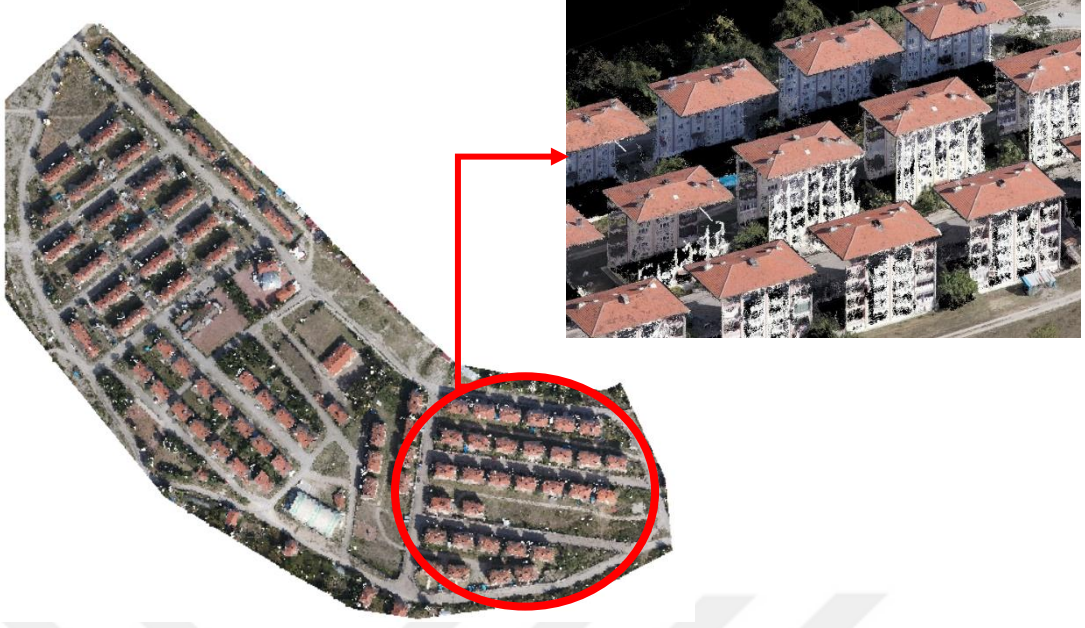
CM0259.tif	440710.718	4563952.399	515.201	0.62369	1.50541	-91.93696
CM0334.tif	440654.793	4564137.872	515.249	-0.54985	-0.91387	86.64099
CM0335.tif	440586.025	4564138.435	515.203	-0.50801	-0.95240	86.58478
CM0336.tif	440517.412	4564138.993	515.288	-0.50322	-0.97903	86.53510
CM0337.tif	440449.123	4564139.535	515.252	-0.51093	-0.95061	86.54611
CM0338.tif	440380.293	4564140.143	515.327	-0.51972	-0.93167	86.54163
CM0339.tif	440311.343	4564140.642	515.303	-0.53379	-0.92352	86.60160
CM0340.tif	440242.588	4564141.203	515.285	-0.53480	-0.90650	86.63296
CM0341.tif	440174.530	4564141.794	515.220	-0.55896	-0.93498	86.59658
CM0342.tif	440105.346	4564142.385	515.259	-0.59152	-0.95713	86.60741
CM0343.tif	440035.972	4564142.930	515.239	-0.64098	-0.90700	86.62775
CM0344.tif	439967.264	4564143.532	515.240	-0.65938	-0.88418	86.61524
CM0345.tif	439898.421	4564144.048	515.222	-0.65961	-0.89441	86.63275
CM0350.tif	439905.149	4564328.934	515.442	0.99469	1.52190	-87.42682
CM0351.tif	439973.632	4564328.383	515.376	0.99752	1.58390	-87.42554
CM0352.tif	440042.212	4564327.682	515.333	0.91597	1.62374	-87.47529
CM0353.tif	440110.586	4564327.150	515.301	0.79606	1.65720	-87.53098
CM0354.tif	440180.324	4564326.617	515.343	0.69334	1.67839	-87.57376
CM0355.tif	440248.450	4564326.056	515.342	0.64441	1.69606	-87.58629
CM0356.tif	440317.141	4564325.441	515.341	0.61847	1.67927	-87.56198
CM0357.tif	440385.853	4564324.874	515.310	0.58573	1.61752	-87.57293
CM0358.tif	440454.652	4564324.344	515.314	0.58018	1.60838	-87.54518

Çalışma bölgesi olarak seçilen alan, önerilen yaklaşımla üretilecek ortofoto sonuçlarının daha rahat analiz edilebilmesi için üç farklı alt bölgeye ayrılmış ve bu alt bölgelerde eşit sayıda olacak şekilde birbirinden bağımsız binalar seçilmiştir. A rumuzu ile gösterilen 1. alt bölgede dört bina, B ile temsil edilen 2. alt bölgede dört bina ve C olarak adlandırılan 3. alt bölgede ise altı bina yer almaktadır. Tüm alt bölgelerde kullanılan binalar A bölgesinden başlayarak sıralanmış ve numaralandırılmıştır (Şekil 38).



Şekil 38. Çalışma alanı olarak kullanılan bölge (Karabük-Yenice)

Referans veri seti olarak, çalışma alanına ait fotogrametrik eşleştirme yöntemi ile üretilen nokta bulutu verisi kullanılmıştır. Bu çalışmada, proje verileri kullanılarak gerçekleştirilen vektörel çizimin stereo fotogrametrik yöntem yerine, klasik yöntemle üretilmiş ortofoto üzerinden yapılmış olmasından kaynaklı ve sağlıklı bir analiz yapılamayacağı düşüncesiyle referans veri seti olarak vektör harita seçilmemiştir. Nokta bulutu verisinin bu verilere göre kesinlikle doğru olduğu kanaatiyle üretilen nokta bulutu verisi referans olarak seçilmiştir. Detaylandırmak gerekirse veri seti içerisinde bulunan *.dgn vektör harita verisi, sistemin ölçü prezisyonundan, stereo üretiminden kaynaklı hatalarından ötürü kullanılamamıştır. Referans vektör verinin, gerçek uzay koordinatlarına sahip nokta bulutu verisi ile tamamen çakışması beklenmektedir. Çizimle üretilmiş vektör veriye göre dengeli dış yöneltme elemanlarından eşleştirme yöntemi ile üretilen nokta bulutu geometrisi daha doğrudur. Nokta bulutu üzerinde bir noktanın koordinat doğruluğu, LiDAR sistem ile üretilmesi durumunda sistem hassasiyetine, eşleştirme ile üretilmesi durumunda ise eşleştirme hassasiyetine bağlıdır. Stereo fotogrametrik değerlendirmede de operatör çizim yaparken ilgili detayı doğru seçip seçmediği durumu dikkate alındığında, görüntü üzerindeki hata ve operatörün hatasıyla birlikte sonuç ürün kümülatif bir hataya sahip olacaktır. Bütün bu sebepler dikkate alınarak nokta bulutu verisi referans veri seti olarak seçilmiştir (Şekil 39). Referans nokta bulutu verisine ait bilgiler Tablo 4’te sunulmuştur



Şekil 39. Referans nokta bulutu verisi

Tablo 4. Referans nokta bulutuna ait özellikler

Nokta Bulutuna Ait Özellikler	
Nokta Sayısı	130.707.480
Nokta Yoğunluğu	865,17 nokta/m ²
Alan	0.3427 km ²
Planimetrik (konumsal) doğruluğu	± 3.7 cm
Yükseklik doğruluğu	± 5 cm
Datum	WGS84
EPSG Kodu	5255
Minimum Yükseklik	42.85 m
Maksimum Yükseklik	161.043 m

Klasik ortofoto, doğru ortofoto ve tez kapsamında önerilen yaklaşım doğru² ortofoto verileri referans olarak kabul edilen *.las verisi kullanılarak doğruluk analizleri gerçekleştirilmiştir. Doğruluk analizi seçilen her bir bina köşesi koordinatının her bir veri seti üzerinden alınması ile gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonrası klasik, doğru ve doğru² ortofoto için koordinat karşılaştırmaları yapılmış ve ilgili buldular tablolastırılarak Bulgular bölümünde detaylandırılmıştır.

2.2. Kullanılan Yazılım ve Modüller

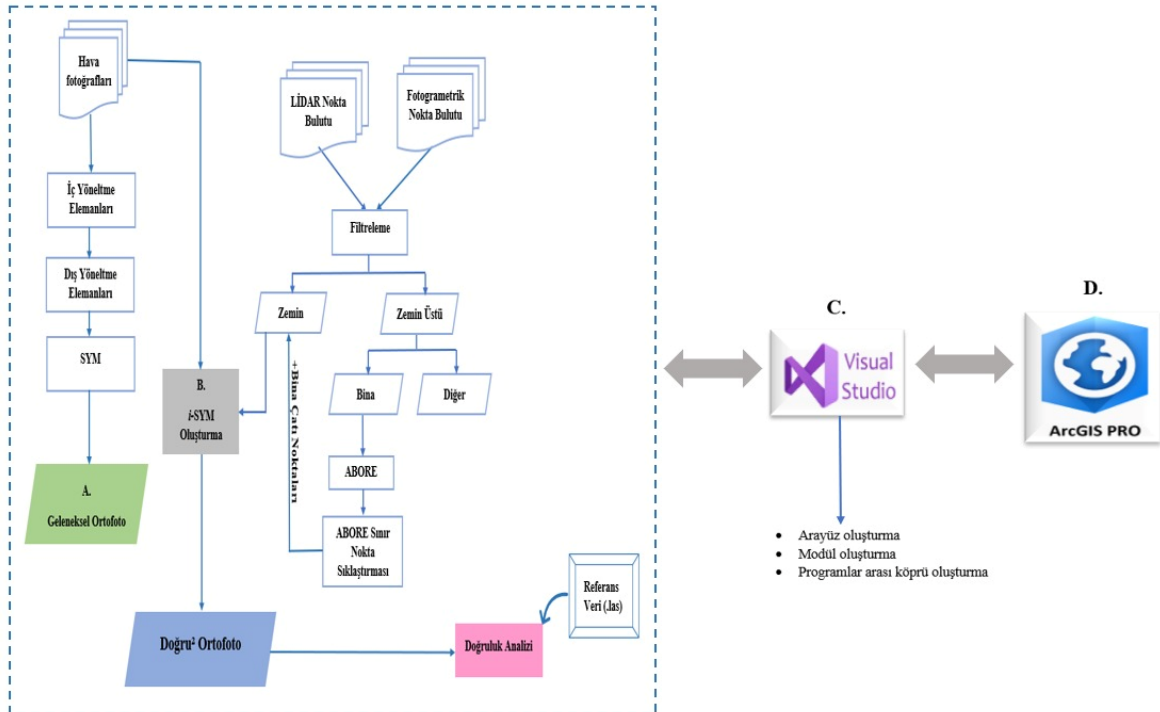
Bu çalışma içerisinde ortofoto üretimi için kod yazımında Python 3.11.2 programlama dili, kullanılan ortam olarak ise Anaconda Navigator/Spyder 5.4.2 seçilmiştir. Anaconda programı, resmi internet sitesi olan <https://anaconda.org/anaconda/> adresinden ücretsiz olarak indirilmiş olup çalışmaların yapılacağı Windows 11 64 bit işletim sistemli bilgisayara kurulmuştur. Anaconda, Windows, macOS ve Linux üzerinde çalışan açık kaynaklı bir paket ve ortam yönetim sistemidir. Conda, Python programları için oluşturulmuştur ve herhangi bir dil için yazılımı dağıtabilir (URL7). Anaconda içerisinde yeni bir Environments oluşturulup Spyder programı indirilmiştir. Spyder, Python için Python'da yazılmıştır. Kapsamlı bir geliştirme aracıdır ve düzenleme, analiz, hata ayıklama gibi işlevsellikleri ile bilimsel bir paketin derin inceleme ve güzel görselleştirme yeteneklerinin örnek bir kombinasyonunu sunar. Spyder ayrıca, NumPy, SciPy, Pandas, IPython, QtConsole, Matplotlib, SymPy ve daha fazlası dahil olmak üzere birçok popüler bilimsel paketle yerleşik entegrasyon sunar (URL8). Spyder içerisinde kullanılan Python dili için gerekli Python kütüphaneleri CMD.exe Prompt kullanılarak indirilip kurulmuştur. Daha sonra Doğru² Ortofoto elde etmek için kullanılacak olan *i*-SYM'yi oluşturmak için Global Mapper 23.0 ile Matlab R2023b programları kullanılmıştır. SMRF yönteminin kullanılması, otomatik bina sınır çıkarımı, bina sınır düzgünleştirme, bina sınır nokta sıklaştırma gibi işlemler Matlab üzerinden gerçekleştirilirken, sonuçları görselleştirmek ve kıyaslamaları için metadata elde etmek, SYM üretmek gibi işlem adımları için Global Mapper programından destek alınmıştır. Ek olarak LAStools programıyla çıkartılan zemin ve elde edilen bina çatı ve çatı sınır noktalarının filtrelenerek yüksek doğrulukta birleştirilmesi sağlanmıştır.

Modül oluşturmak ve kodun ArcGIS entegrasyonunu sağlamak için Visual Studio 2022 kullanılmıştır. Visual Studio programı, resmi internet sitesi olan <https://visualstudio.microsoft.com/tr/downloads/> adresinden ücretsiz olarak indirilmiştir. Visual Studio, döngünün tamamının tek bir yerde oluşturulduğu güçlü bir geliştirici aracıdır. Kod yazmak, düzenlemek ve derlemek ve hata ayıklamak için kullanabilecek kapsamlı bir geliştirme ortamıdır (URL9). Visual Studio kullanılarak yapılan ArcGIS entegrasyonu için ise ESRI tarafından geliştirilen ArcGIS Pro 3.0 sürümü kullanılmıştır. ArcGIS Pro, ESRI'nin en güçlü ve tek masaüstü CBS uygulamasıdır. ArcGIS Pro kullanıcıların fikir ve önerilerini

önemseyerek dikkate alan ve ona göre gelişim sağlayan bir yazılımdır. 2B, 3B ve 4B haritalamaya olanak sağlar. Kullanıcıların Web GIS aracılığıyla ArcGIS sisteminde çalışmasına olanak tanır ve veri paylaşımını destekler (URL10).

2.3. Çalışma Kapsamında Gerçekleştirilen İşlemler

Anaconda/Spyder ortamı kullanılarak Python programlama dili ile ortofoto için gerekli adımlar kodlanmıştır. Kodlama yapılırken çeşitli Github kodlarından yararlanılmıştır. *Doğru*² Ortofoto elde etmek için kullanılacak *i*-SYM için; Otomatik Bina Sınır Düzgünleştirme Yaklaşımı (ABORE) ve Sınır Nokta Sıklaştırma tekniğinden yararlanılarak zemin ve zemin üstü sınıflandırılmış, bina çatı ve iç noktaları kullanılarak ABORE sınırı içerisine düşen noktalar tespit edilmiştir. Otomatik elde edilen bina çatı sınır noktaları ile zemin noktaları birleştirilerek *i*-SYM elde edilmiştir. ArcGIS yazılımının eklenti olarak desteklediği Visual Studio programı kullanılarak ArcGIS ortamına eklenecek modül ile kod arası köprü oluşturulmuş olup arayüz yine aynı platformda kodlanmıştır. Önerilen yaklaşımın genel iş akışı Şekil 40'ta gösterilmiştir.



Şekil 40. Önerilen yaklaşım genel iş akışı

2.3.1. Ortofoto Adına Gerekli Kodların Oluşturulması

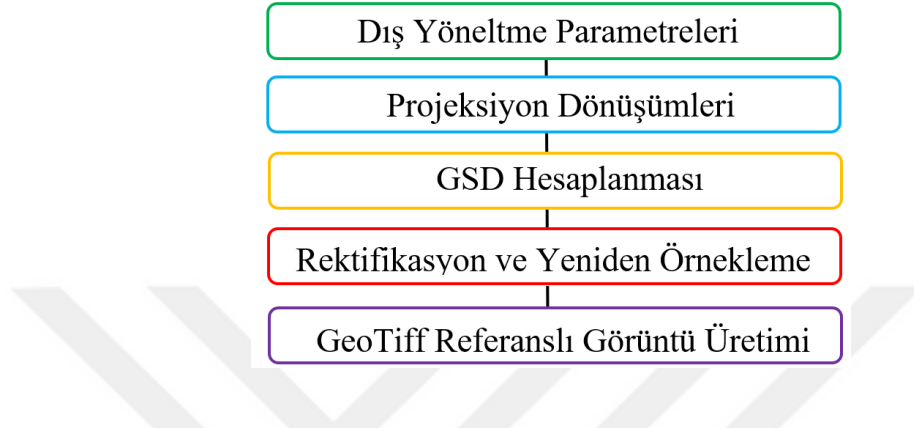
Bu çalışma kapsamında ortofoto adına gerekli kodların oluşturulmasıyla, fotogrametrik metotla edinilen hava fotoğraflarının optik hatalarının düzeltildiği ve işlendiği, 3 boyutlu koordinat (X, Y ve Z) verilerini içeren orfofoto haritalar elde edilmektedir. Çalışma içerisinde hava fotoğraflarından alınan görüntüler kullanılarak Python dilinde bireysel ortofotolar üreten bir haritalama yazılımı kullanılmıştır. Kod için GitHub üzerinde çeşitli kodlardan yararlanılmıştır (URL20). Bu kod ile bir görüntünün jeoreferanslı bir GeoTIFF dosyasına dönüştürülmesini sağlamaktadır. Genel işlem adımları;

1. İlgili kütüphaneler ve modüllerin kurulması,
 2. Gerekli parametrelerin ve değişkenlerin tanımlanması,
 3. İlgili klasördeki tüm dosyaların işlenmesi için bir döngü oluşturulması,
 4. Her bir dosya için aşağıdaki işlemlerin gerçekleştirilmesi
 - a. Dosyanın okunması ve metadata (meta veri) bilgilerinin çıkarılması,
 - b. Yöneltilme bilgilerine dayalı olarak görüntünün geri yüklenmesi,
 - c. Görüntü boyutlarının ve piksel boyutlarının hesaplanması,
 - d. Coğrafi ve düzlem koordinatları arasında dönüşüm yapılması
 - e. Dönüklük matrisinin hesaplanması,
 - f. Görüntü sınırlarının hesaplanması,
 - g. GSD ve sınırların boyutunun hesaplanması,
 - h. Görüntü düzeltme ve yeniden örnekleme işlemlerinin gerçekleştirilmesi,
 1. GeoTIFF (raster verilerini depolayan bir dosya uzantısıdır) dosyasının oluşturulması,
- şeklinde tanımlanabilir.

Ortofoto adına oluşturulan gerekli kodların çalıştırılması için Anaconda (Spyder 5.4.2.) ortamı seçilmiştir. Kod içerisinde çalıştırılmak üzere 107 kütüphane kurulmuştur. Bu kütüphanelerden en yaygın olanları GDAL, açık kaynak lisansı altında yayınlanan raster ve vektör jeouzsamsal veri formatları için bir çevirmen kitaplığıdır ve desteklenen tüm formatlar için çağıran uygulamaya tek bir raster soyut veri modeli ve tek vektör soyut veri modeli sunar. cv2 ya da OpenCV yüzleri ve nesneleri algılama ve tanıma, videolarda insani eylemleri sınıflandırma, kamera hareketlerini ve hareketli nesneleri izleme, nesneleri 3 boyutlu modellerine ayıklama ve stereo kameralardan 3D nokta bulutları üretme, görüntüleri

yüksek çözünürlükte birleştirme gibi alanlarda başarılı olarak kullanılır. NumPY, Python programlama dilinde bilimsel hesaplamalar ve çok boyutlu dizilerle çalışma için kullanılan bir kütüphanedir ve temel olarak büyük, çok boyutlu diziler ve matrisler üzerinde hızlı ve etkili hesaplamalar yapma yeteneği sağlar. pyexiv2, dijital görüntülere gömülü meta verileri (EXIF, IPTC, XMP dahil), yorumlama, okumaya yarayan bir kütüphanedir. Kod içerisinde girdi görüntüler ve görüntülere ait dış yöneltme parametreleri data dosyası Tkinter kütüphanesi ile çekilmiştir. Tkinter, python dilinde kullanıcı arayüzü oluşturmada kullanılan bir kütüphanedir. Görüntü metadatası olarak kod içerisinde görüntülerden odak uzaklığı, enlem, boylam gibi bilgiler çekilerek kullanılmıştır. Uygun projeksiyon dönüşümleri EPSG kodu dikkate alınarak yapılmıştır. Her bir dönüklük açısı için dönüklük matrisi (R_ω , R_ϕ , R_λ) ayrı olarak hesaplanmıştır. Kullanılan 'boundary' işlevi ile görüntünün dış yöneltme parametreleri, dönüşüm matrisi (R), piksel boyutu ve kamera sabiti gibi parametreleri kullanarak sınırları belirlenir. Görüntünün köşe noktaları 'getVertices' işlevi kullanılarak belirlenir. 'getVertices' işlevi, verilen bir görüntünün piksel boyutu ve odak uzunluğunu kullanarak köşe noktalarını hesaplar ve bu noktaları bir dizi içinde döndürür. Bu köşe noktaları 'projection' işlevine iletilir. 'projection' işlevi, verilen noktaların arazi koordinat sistemine çevrilmesi için dönüklük matrisini kullanmaktadır. 'pcs2ccs' işlevi, piksel koordinatlarını resim koordinat sistemine dönüştürmektedir. Kod, verilen parametreler kullanılarak bir görüntüyü düzeltmek için çeşitli dönüşümler yapmaktadır. Bu adımlardan projeksiyon adımı, düzlemin 3B dünya koordinatlarından 2B görüntü düzlemindeki koordinatlara dönüştürülmesi işlemini gerçekleştirir. Bu adımda, verilen boundary (sınırlar), boundary_rows (sınırların satır sayısı), boundary_cols (sınırların sütun sayısı), gsd (yer örnekleme aralığı), eo (dış yöneltme parametreleri), ground_height (yer yüksekliği) gibi parametreler kullanılmaktadır. Tersine Projeksiyon adımı, 2B görüntü düzlemindeki koordinatları 3B dünya koordinatlarına dönüştürür. Bu adımda, projeksiyon adımından elde edilen proj_coords_x, proj_coords_y, proj_coords_z gibi koordinatlara ek olarak R (dönüklük matrisi), focal_length (odak uzaklığı), pixel_size (piksel boyutu) da kullanılmaktadır. Yeniden Örnekleme adımı, düzlemin orijinal görüntüye dönüştürülmesi işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu adımda, 3B dünya koordinatlarından elde edilen plane_coord_CCS_x, plane_coord_CCS_y gibi koordinatlar kullanılır. Ek olarak image (girdi görüntü) ve coord_ICS_col, coord_ICS_row gibi piksel koordinatları da kullanılmaktadır. Bu adımlar takip edilerek, verilen parametre ve görüntüler kullanarak,

bireysel ortofotolar oluşturulur. Ortofotolar, GeoTiff formatında bir görüntü dosyası oluşturmaktadır. Bu işlem için, sınırlar, GSD, satır ve sütun sayıları gibi parametrelerle birlikte koordinat dönüşümünü tanımlayan bir GeoTransform oluşturulmaktadır. Şekil 41’de kod içerisinde uygulanan işlem adımları genel olarak gösterilmiştir.



Şekil 41. Ortofoto kod genel işlem adımları

Üretilen bireysel ortofotolar harici bir programda karşılaştırılıp referans ortofotoyla kıyaslanmıştır. Kod girdi veri girdisi olarak örnek ham görüntü Şekil 42 (a)’da sonuç orto görüntülerin karşılaştırılmış hali Şekil 42 (b)’de gösterilmektedir.



Şekil 42. (a) Ham veri, (b) Kod çıktı sonucu

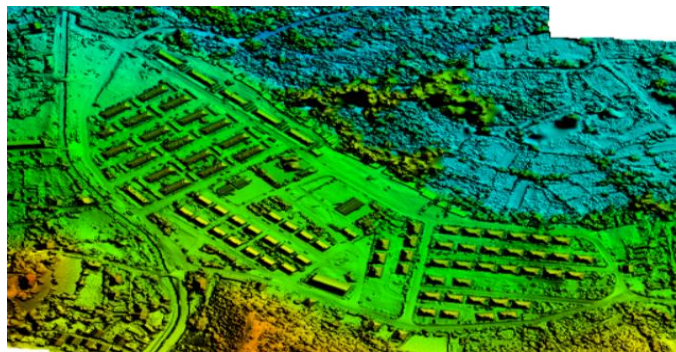
Bu tez çalışmasının tamamını kapsayan veri seti haricinde ortofoto kodunun çalıştırılması için üzerinde durulan bir veri seti olarak Trabzon İli, Of İlçe'sine ait DJI Phantom 4 Pro kamerayla çekilmiş 100 görüntü kullanılmış olup bu görüntüler farklı boyutlarda bina, yol ve bitki örtüsü gibi çeşitli detayları kapsamaktadır. Alan genişliği 0,3369 km², yer örnekleme aralığı 4,51 cm'dir. Veri setinin oluşturulan ortofoto kod çıktısı ve hazırlanan mozaik ile kıyası Şekil 43'te gösterilmektedir.



Şekil 43. (a) Mozaik, (b) Ortofoto kod çıktısı

2.3.2. Klasik SYM Üretimi

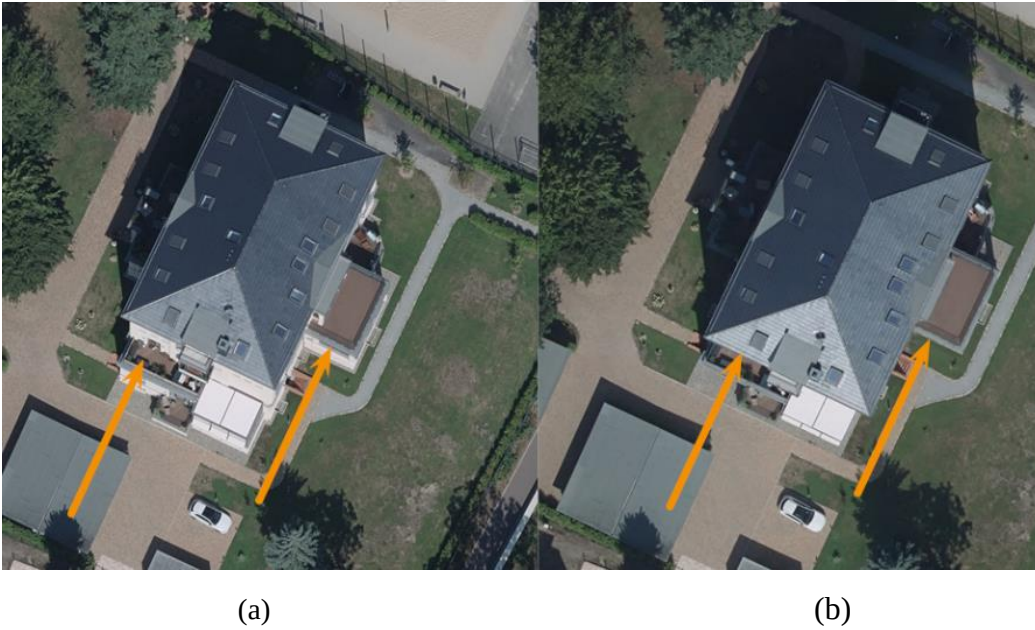
Klasik SYM üretimi, halihazırda var olan programların ürettiği şekilde, çalışma bölgelerine ait yükseklik modellerinin herhangi bir filtreleme yapılmaksızın, gürültülerinden arındırılmadan oluşturulmasıdır. Tez kapsamında çalışma bölgesi için oluşturulan SYM mevcut programlarla oluşturulmuş ve bunlar kullanılarak klasik ortofoto üretilmiştir. Şekil 44'te çalışma bölgesi için kullanılan klasik SYM gösterilmektedir.



Şekil 44. Çalışma bölgesine ait SYM

2.3.3. İyileştirilmiş SYM (i-SYM) Üretimi

Geleneksel Ortofoto üretiminde Sayısal Arazi Modeli'nin (SAM) kullanılması sonucu, binalar ve arazi üzerinde kalan diğer objeler, perspektif iz düşümden kaynaklanan görüntü ötelemesinden dolayı ortofoto üzerinde doğru olarak konumlandırılamamaktadır. SYM kullanılarak ortofoto üretilmesiyle bu sorunlar büyük ölçüde aşılmakta ve elde edilen ortofoto "Doğru Ortofoto" olarak adlandırılmaktadır (Günay A. , 2007). Geleneksel Ortofoto'ya göre gerçek ortofoto daha doğru sonuç verse de Doğru Ortofoto'nun üretimi farklı sorunları beraberinde getirmektedir. Sonuç görüntü üzerinde oluşan bozulmalar, kayıklıklar veya içeriği bozuk olarak tabir edilebilecek görüntüler oluşabilmektedir. Bina çatı kenarları, yollar ve köprüler net bir şekilde görünmemektedir. Buna ek olarak Doğru Ortofoto ile binaların gerçek konumlarına taşınmasıyla ortofoto üzerinde kayıp, resim bilgisi olmayan alanlar oluşmaktadır. Yapılan çeşitli araştırmalar ve literatür taramaları, bu sorunların aşılmasında SYM kalitesinin önemli bir rol aldığını ortaya koymaktadır (Günay A. , 2007). Klasik ortofoto ve doğru ortofoto Şekil 45'te gösterilmiştir.

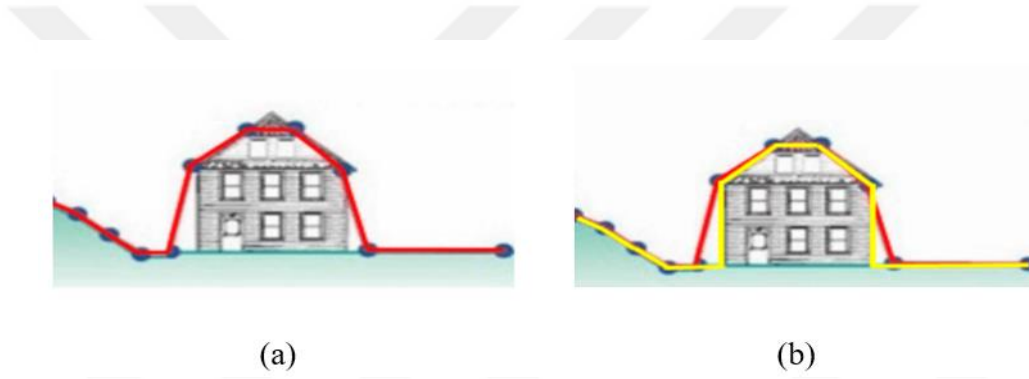


Şekil 45. Klasik ortofoto (a) ve Doğru ortofoto (b) (URL11)

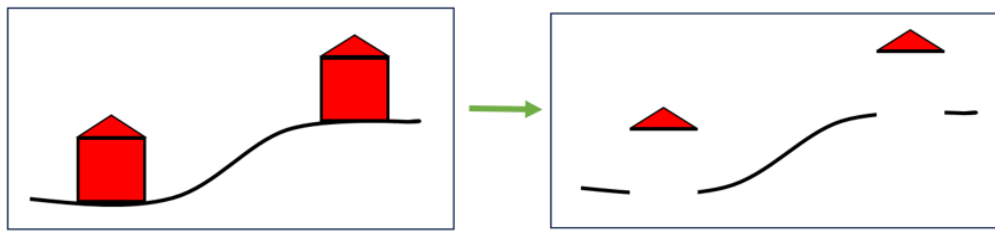
Üretilen ham görüntülerin fotogrametrik işlemlere tabi tutulması sonucunda ortofoto görüntüler istenilen doğruluk düzeyine ulaşmada yetersiz kalmaktadır. Söz konusu

yetersizliğin ana sebebi ortofoto üretimi için mevcut bina objeleri açısından kullanılan yükseklik modelinin (Sayısal Yükseklik/Arazi Modeli) filtrelenmemesi ya da iyileştirilmemesidir. Ayrıca gerçek ortofoto üretiminde meydana gelen en yaygın hatalardan biri sayısal yükseklik modeli (SYM) oluşturma kaynaklıdır.

Bu çalışmada doğru² ortofoto üretimi için SYM verisi iyileştirilerek, içeriğinde sadece zemin ve bina çatı sınırlarını temsil eden zemin üstü verilerin bulunduğu iyileştirilmiş SYM (*i*-SYM) verisi ile görüntü kullanılarak geleneksel ortofoto doğruluk düzeyinin daha da geliştirildiği gerçek üstü doğru ortofoto üretimi hedeflenmektedir. Şekil 46'da SYM'nin yaygın olarak kullanılan yanlış ve doğru kullanımı örneklendirilmiş olup Şekil 47'de tasarlanan *i*-SYM örneklendirilmiştir.



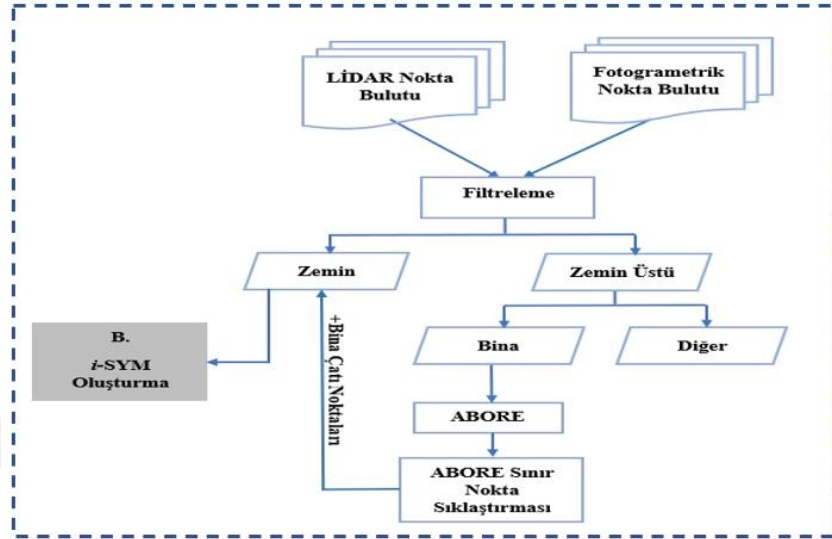
Şekil 46. SYM'nin yaygın yanlış kullanımı (a), doğru kullanımı (b)



Şekil 47. Tasarlanan *i*-SYM

İş akışı, gerçek ortofoto için Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)'nin kalitesini iyileştirmek amacıyla *i*-SYM üretilmesi temeline dayanarak bina çatısının ana hatlarını otomatik çıkartmak, düzgülendirmek ve nokta sıkılaştırma yapmak amacıyla tasarlanmıştır. Bina, çatının 2B hali ile temsil edilir. Yani binaların boyutları ve şekli üstten bakıldığında

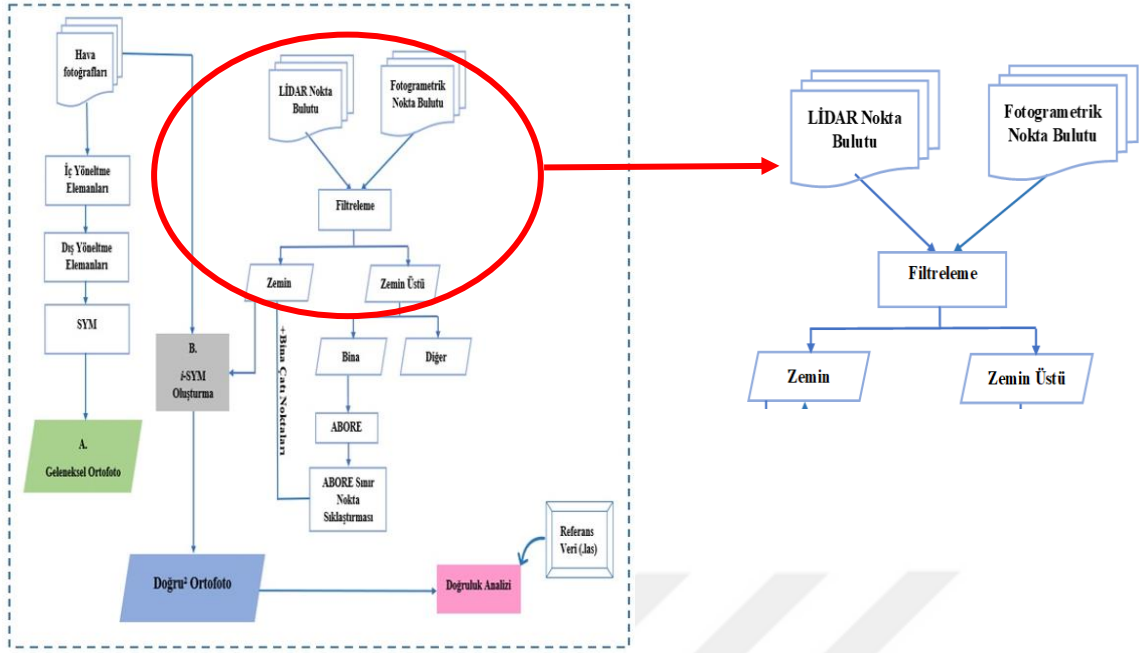
çatıya benzer. Bu çalışma kapsamında bina içerisindeki küçük detaylar veya iç kısımlar dikkate alınmayacaktır. Örneğin, dış hatların çıkarımında yükselteli (beşik) çatılı bir bina düz çatı olarak ele alınmıştır (Şekil 48).



Şekil 48. i-SYM üretim iş akışı

2.3.3.1. Nokta Bulutu Filtreleme

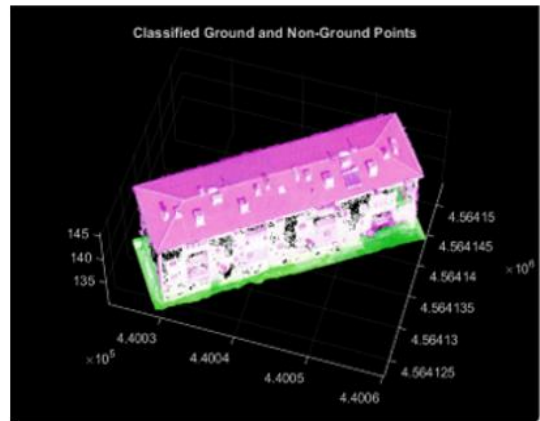
i-SYM elde etmenin ilk aşaması olan nokta bulutu filtreleme, çıkarılan bina kenarlarının kalitesini yükseltmek için en önemli adımdır. Şekil 49’da genelden özele iş akışı verilmiştir. Bu çalışmada, veri seti içerisinde seçilen uygulama alanlarından, her bölgeye göre rastgele seçilmiş bina verileri kullanılarak nokta bulutu incelenmiştir. Veri seti için nokta bulutu, Global Mapper 23.0 programında açılarak seçilen binalar adlandırılmak suretiyle kesilmiştir. 14 binaya ait kesilmiş nokta bulutu verileri Matlab R2023b programında SMRF tekniği kullanılarak zemin ve zemin üstü sınıflandırması yapıp ayrılmış ve zemin üstü kategorisindeki veriler ayrı ayrı *.mat dosyası olarak bir sonraki işlem için kaydedilmiştir. Şekil 50’de aynı binaya ait nokta bulutu verisinin Global Mapper çıktısı (a) ve çıktı sonucun zemin ve zemin üstü olarak SMRF ile sınıflandırılması (b) gösterilmiştir.



Şekil 49. Nokta bulutu filtreleme



(a)

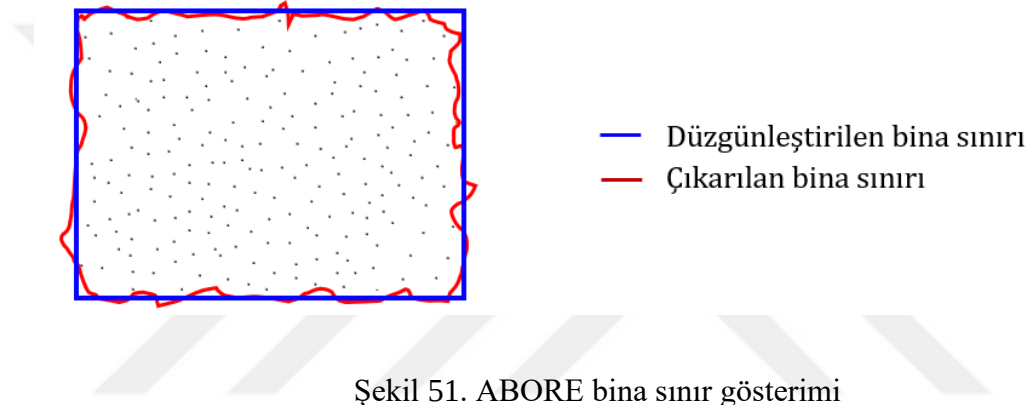


(b)

Şekil 50. Aynı binaya ait nokta bulutu verisinin; Global Mapper çıktısı (a), SMRF sınıflandırma çıktısı (b)

2.3.3.2. ABORE Yönteminin Uygulanması

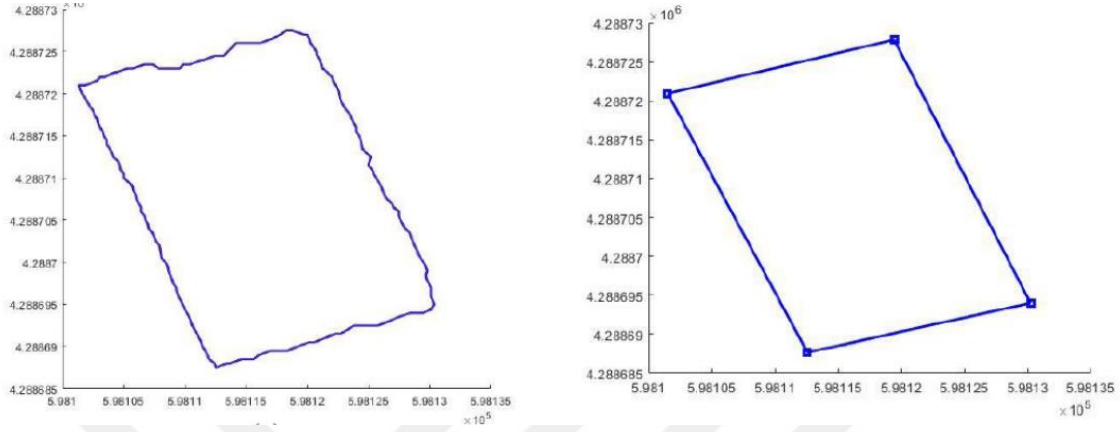
Temel harita katmanı olan binanın dış sınırının zikzaklı ya da düzgün olmayan bir yapıda temsil edilmesi yanlıştır. ABORE (Automatic Building Outline Regularization) yöntemi (Ozdemir vd., 2021), sadece ham nokta bulutu verisini kullanarak ortogonal düzensiz bina sınırlarının otomatik bir şekilde sayısallaştırılmasını sağlayan iki aşamalı bir düzgünleştirme yöntemidir. Yöntemin ilk aşamasında, düzgünleştirme ile bina sınırının köşe noktaları yaklaşık olarak tespit edilirken, ikinci aşamada ise kesin köşe noktaları tespit edilmektedir (Şekil 51).



Şekil 51. ABORE bina sınır gösterimi

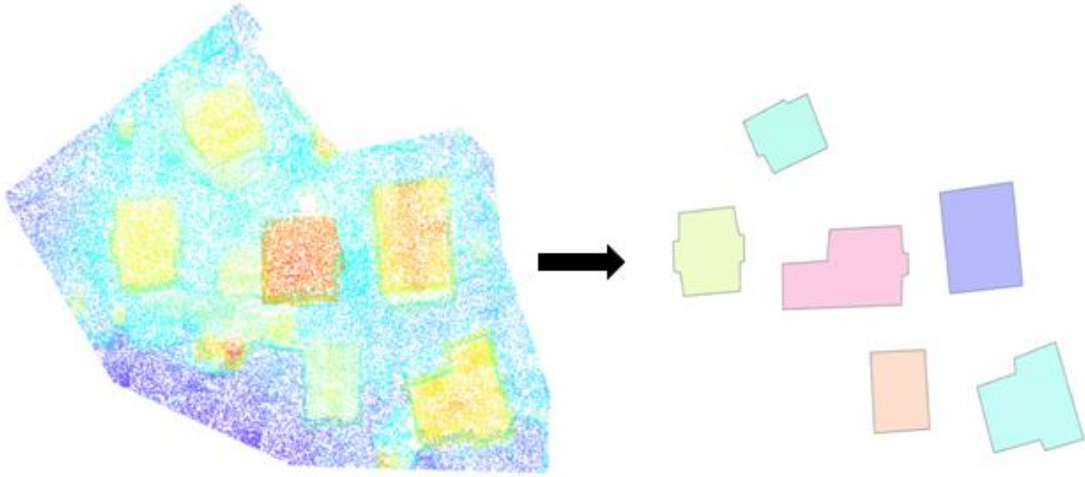
Bina kenar düzgünleştirme metodu yöntem işlem adımlarını biraz daha açmak gerekirse, öncelikle her bir sınır noktası sabit alınarak noktanın öncesi ve sonrasında doğrular geçirilir. Bu doğrular arasında bulunan açı ve kesişim noktalarından aday köşe noktaları tespit edilir. Tüm sınır noktaları için bu doğrular arasında bulunan açılar ve doğruların kesişim noktaları belirlenir. Bina köşesine ait olabilecek aday sınır noktaları açılarının belirli koşullara bağlı olarak değerlendirilmesiyle seçilir. İdeal köşe noktalarını belirlemek için köşeleri temsil eden aday köşe noktalarından oluşan köşe seçme koşulunu sağlayan en iyi noktalar seçilir. İdeal olarak seçilen köşe noktaları belirlendikten sonra hesaplanan doğru kesişim noktaları kullanılarak bina köşe noktaları tespit edilir. Bu metotla, “boundary” fonksiyonun ürettiği sınır noktalar yerine hesaplanan köşe noktaları kullanılarak aslında binanın yaklaşık köşe noktaları tespit edilir ve bu sayede daha net köşe noktaları gösterilir. Binanın kenar noktaları da düzenleme işlemine tabi tutulurken, ABORE yönteminin ikinci aşaması kullanılır. Burada, buffer geçirme işlemi devreye girmektedir. Buffer, hesaplanan yaklaşık köşe noktaları arasından her bir kenar için geçirilir ve

buffer'ların içindeki noktalara en iyi uyan doğrular çizilir. Bu doğruların kesişim noktaları ile kesin bina köşe noktaları tespit edilir. Şekil 52'de ABORE tekniği kullanılarak düzenlenen yapı sınırlarına ait örnekler sergilenmektedir (Ozdemir vd., 2021).



Şekil 52. ABORE tekniği ile bina düzgünleştirme

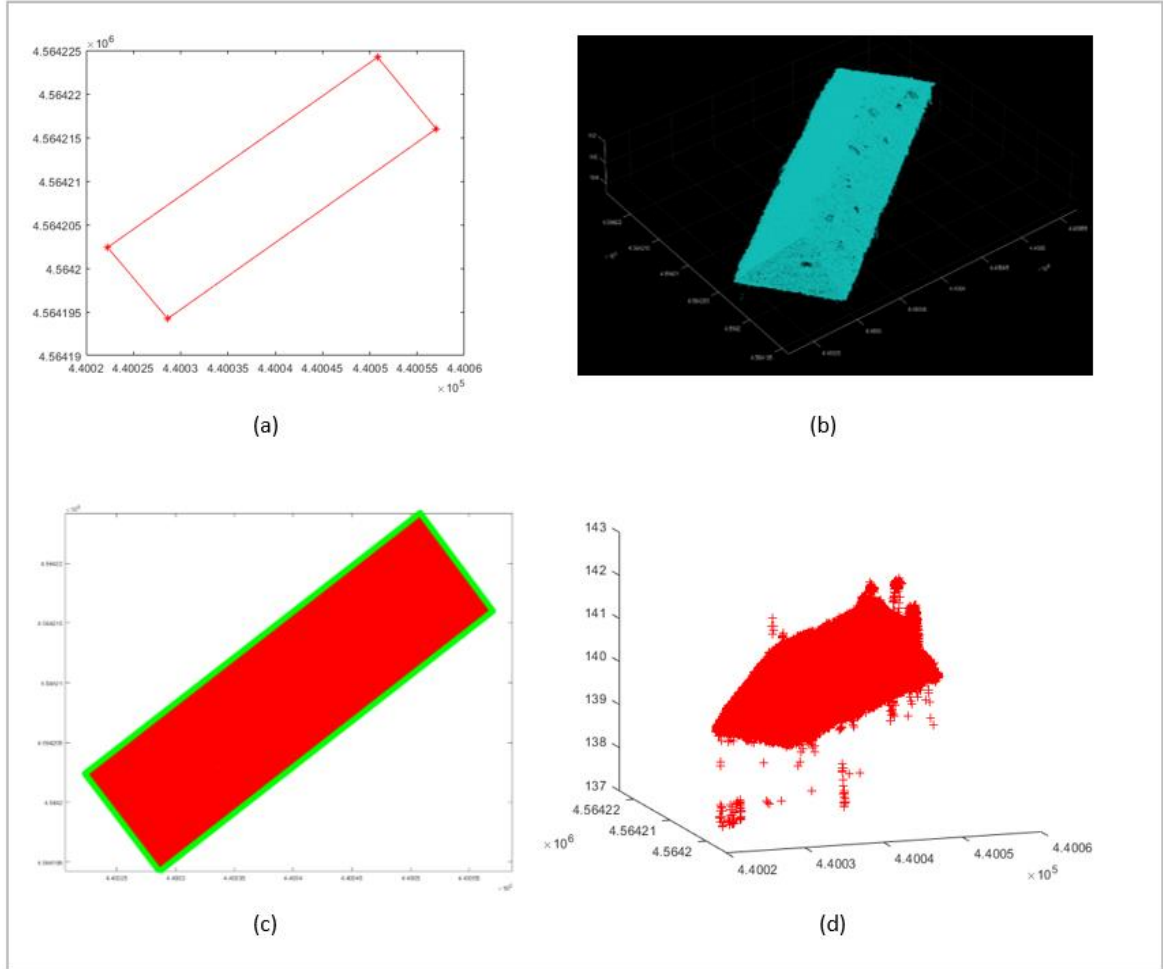
Şekil 53'te Trabzon ili, Of ilçesine ait bir örnek nokta bulutu veri seti üzerinde, seçili bir alanda ABORE kullanımı test edilmiş olup sonucu bina yapıları görselleştirilmiştir.



Şekil 53. Örnek bir veri seti için ABORE kullanımı

Bu tez çalışması kapsamında Ham nokta bulutu verisine ABORE yönteminde anlatılan işlem adımları uygulandıktan sonra, her bir binaya ait nokta bulutu verisi için kesişim

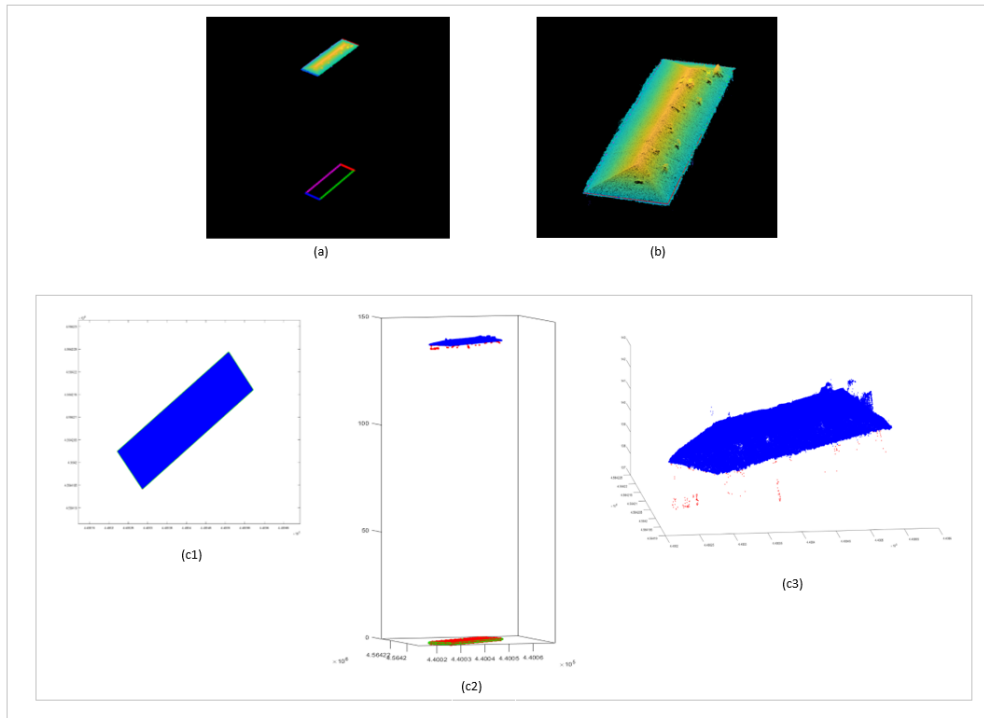
noktalarını içeren *.mat uzantılı bireysel veri dosyaları elde edilmiş olur. Bu kesişim noktaları, x ve y yönünde verileri içermektedir ve kesin bina köşe noktalarının belirlenmesi için kullanılır. Şekil 54'te (a), ABORE köşe noktaları kullanılarak elde edilen ABORE sınırını yani düzgünleştirilmiş sınırları temsil etmektedir. (b), bu aşamada çağırılan nokta bulutu verisi görselleştirilmiştir ve kullanılan veri, iş akışında yer alan *Nokta Bulutu Filtreleme* sonucu SMRF yöntemi ile elde edilen zemin üstü verisinin çatıya yakın kısmının otomatik kesilmesiyle elde edilmiştir. (c) bina çatısını temsil girdi nokta bulutu verisi, konumsal atamaları isimlendirildikten sonra sınır yüzeyi ve sınır içine düşen noktalar temsille gösterilmiştir. (d) daha sonra da kullanılacak poligon içerisine düşen noktalar temsil edilip, bir sonraki işlem adımı için kaydedilmiştir.



Şekil 54. ABORE yöntemi sonrası uygulama işlem adımları

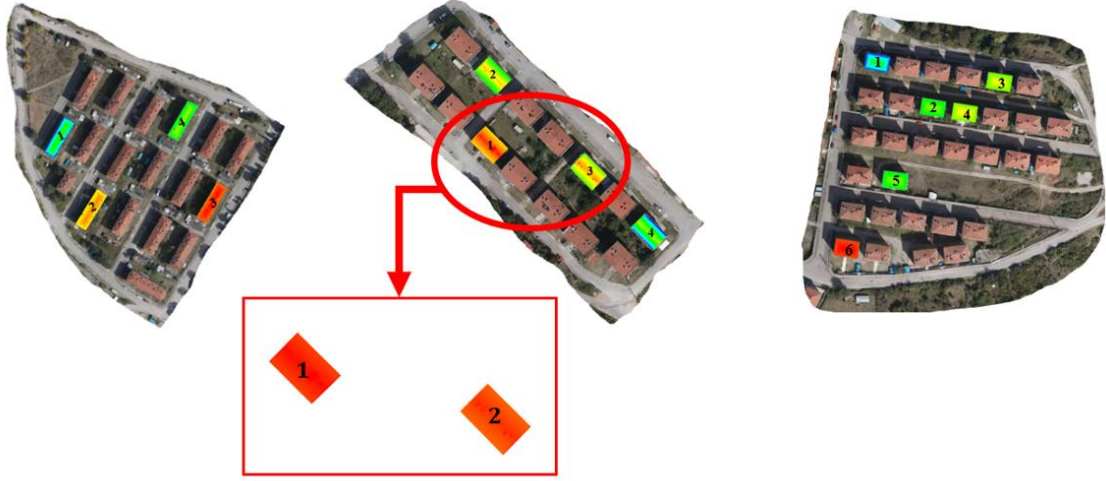
2.3.3.3. ABORE Sınır Nokta Sıklaştırması

i-SYM'nin oluşturulması için tasarlanan iş akışının bu aşamasında, bir önceki adımda kaydedilen iki boyutlu ABORE sınırları içinde kalan alanları seçerek sınır nokta sıklaştırılması yapılmış ve her bina için 100 nokta olacak şekilde kenarlara 25'er nokta atanmıştır. Ardından sınır üzerindeki noktalara en yakın noktalar atanarak bina çatı sınırını oluşturan her bir çizgi parçası için tanımlama yapılmış, sınırların oluşturan noktalar için üç boyutlu koordinat değeri atanmış ve kaydedilmiştir (Şekil 55 (a)). Tanımlanan her bir çizgi üzerindeki en yakın noktalar Şekil 55 (b)'de görüldüğü gibi üç boyutlu poligon sınırları olarak temsil edilmiştir. Bu sınırlar kullanılmak üzere Şekil 55 (c1), (c2) ve (c3) aynı çıktı sonucunu temsil etmekle birlikte; (c1) çatıya ait üstten görünümü temsil ederken, (c2) verinin üçüncü boyutta temsilini göstermektedir. (c3)'te ise kırmızı noktalar sınır dışı olup otomatik silinen noktaları temsil ederken, mavi noktalar *i*-SYM'de kullanılacak nokta bulutu bina çatı verilerine ait nihai noktaları göstermektedir. Her binada sınır nokta sıklaştırmaları yapılmış olup bu alan içerisinde kalan noktalara kotlar verilmiş, ilgili bir sonraki aşamada kullanılmak üzere *.las olarak kaydedilmiştir.



Şekil 55. ABORE sınır nokta sıklaştırması işlem adımları temsilleri

Sayısal yükseklik modeli için üretilen 14 bina, binaların numaralandırmaları, bu binaların ortofoto üzerindeki gösterimleri, seçilen üç bölge için de ayrı ayrı Global Mapper programında gösterilmiştir (Şekil 56).



Şekil 56. Bina sınırlarının gösterilmesi

14 farklı bina için nihai durumda üretilen çatı nokta sayısı ve nokta yoğunluğu bilgileri Tablo 5’te sunulmuştur. Tabloda Bina No sütununda kısaltma olarak kullanılan ‘b1b2’ ifadesi 1. bölgedeki 2. binayı (bölge1bina2) ifade etmektedir. Tüm alt isimlendirmeler sözü edilen kurala dayandırılmıştır.

Tablo 5. Binalara ait nokta yoğunluğu ve nokta sayısı

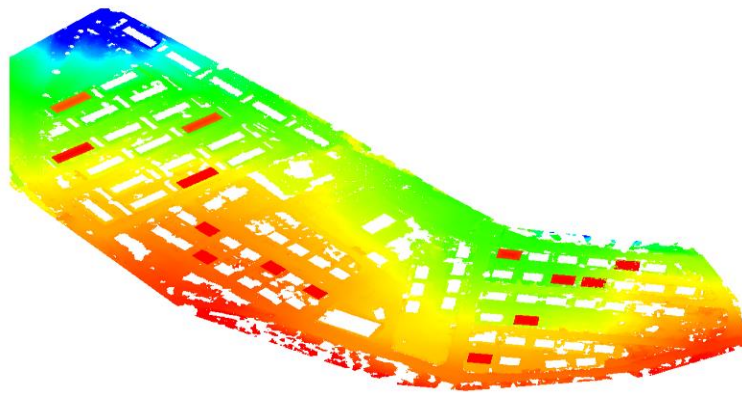
Bina No	Nokta Sayısı	Nokta Yoğunluğu
b1b1	265.934	706,17 nokta/m ²
b1b2	280.166	771,75 nokta/m ²
b1b3	269.096	721,35 nokta/m ²
b1b4	241.279	701,98 nokta/m ²
b2b1	155.366	803,63 nokta/m ²
b2b2	150.352	759,29 nokta/m ²
b2b3	154.985	752,09 nokta/m ²
b2b4	135.310	735,93 nokta/m ²

Tablo 5'in devamı

b3b1	162.224	781,99 nokta/m ²
b3b2	155.111	743,57 nokta/m ²
b3b3	164.268	757,49 nokta/m ²
b3b4	161.926	744,34 nokta/m ²
b3b5	161.685	738,17 nokta/m ²
b3b6	158.367	729,54 nokta/m ²

2.3.3.4. Zemin Verisi ve Bina Çatı Noktaları Entegrasyonu

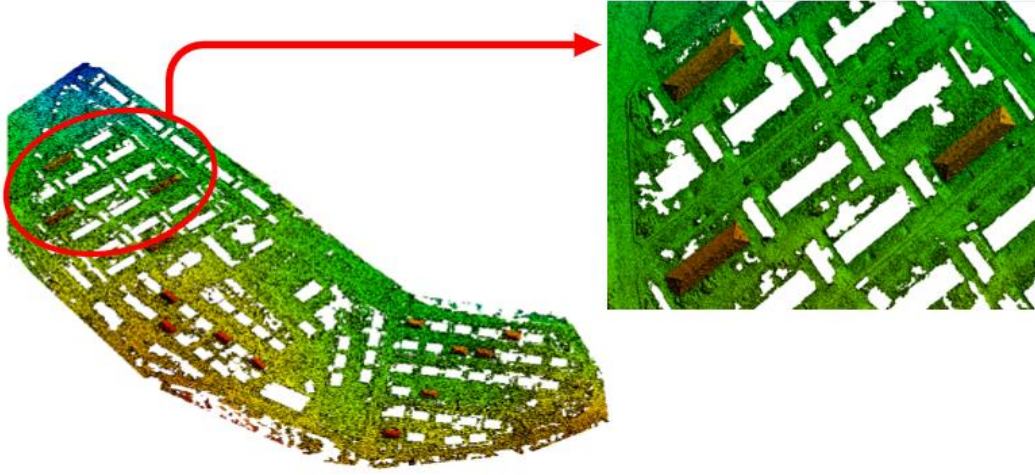
i-SYM oluşturma sürecinin son adımında ise, zemin verisi ve bina çatı noktaları entegrasyonu yapılmıştır. Çalışma bölgesine ait ham nokta bulutu verisi SMRF tekniği kullanılarak zemin ve zemin üstü olarak ayrılmıştır. Ayrılan zemin verisine ilaveten çalışma kapsamında elde edilen binalara ait *.las uzantılı çatı ve çatı sınırı kapsayan tüm bina nokta bulutu verileri (14 bina) LAStools programında birleştirilmiştir (Şekil 57). Zemin verisi CSF (Cloth Simulation Filtering) kullanılarak filtrelenmiş ve üretilmiştir. Yapılan çalışmalar kapsamında, farklı parametre değerleri ile yapılan filtrelemeler sonucunda CSF algoritmasındaki grid çözünürlüğü parametresinin zemin noktası belirlemede önemli rolü olduğu, dik ve eğimli bir çalışma alanı için düşük değerlerle daha fazla zemin noktası belirlediği ortaya çıkmıştır (Karasaka & Keleş, 2020).



Şekil 57. Zemin verisi ve bina çatı noktaları entegrasyonu

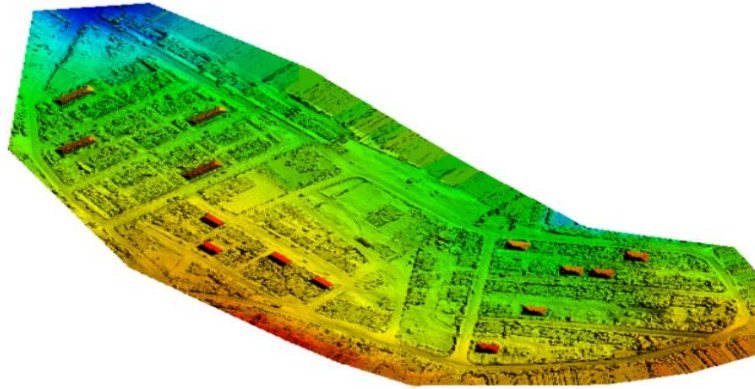
Birleştirilen veri, Global Mapper programında 5 cm'lik gridlerle SYM'ye

dönüştürülmüştür. Grid aralıklarının 5 cm seçilmesinin sebebi, veri setine ait nokta yoğunluğu dikkate alınarak birim alana düşen her bir nokta arası mesafenin yaklaşık 4.7 cm düzeyinde olduğunun tespitinden kaynaklanmaktadır. İşlenen adımlarla birlikte tasarlanan *i*-SYM elde edilmiş olup Şekil 58’de gösterilmektedir.



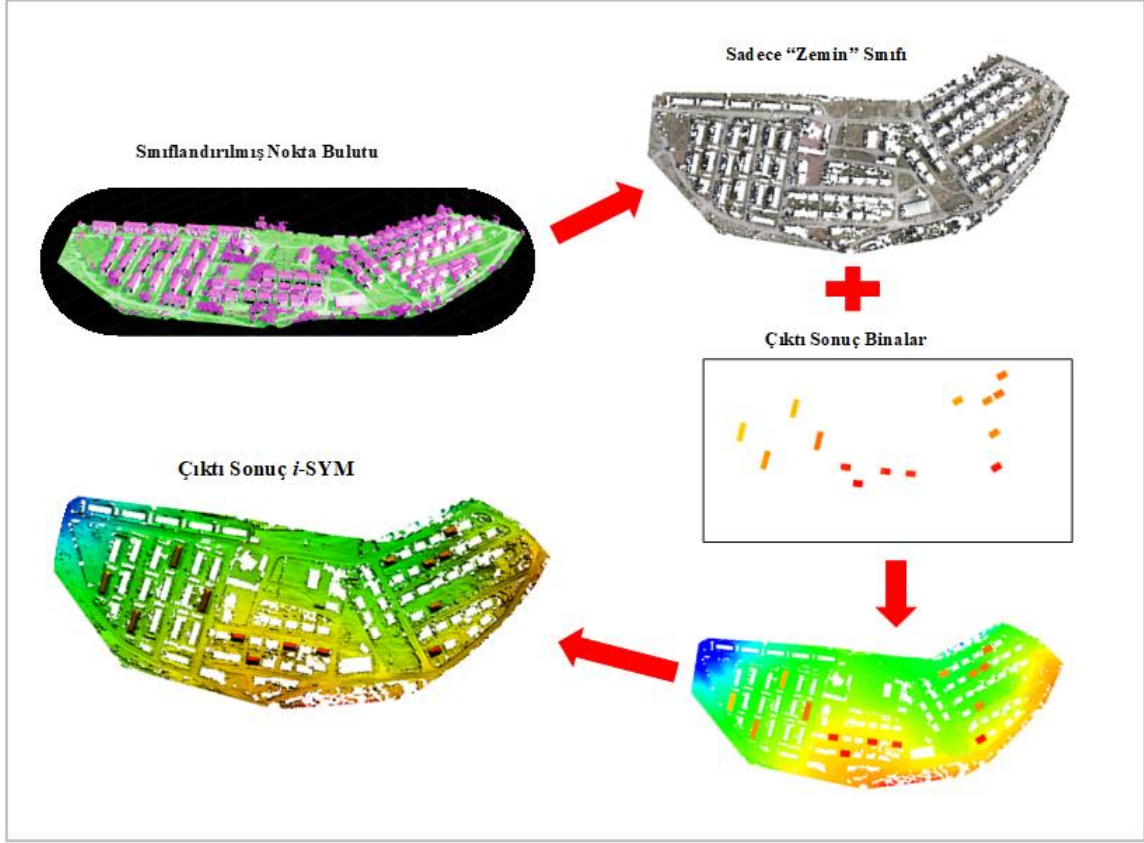
Şekil 58. Sonuç ürün *i*-SYM

Üretilen *i*-SYM’de bulunan harici alanlar enterpolasyon ile sıklaştırılarak doldurulmuştur (Şekil 59). Tez çalışması kapsamında analizler yapılarak doğruluğunun test edileceği binalar *i*-SYM üzerinde yer almaktadır.



Şekil 59. Boşlukları doldurulmuş *i*-SYM

i-SYM üretiminde genel iş akışı boyunca işlenen adımlara ait üretilen veriler Şekil 60'ta özet olarak gösterilmektedir.



Şekil 60 *i*-SYM oluşturulması

2.3.4. Klasik ve Doğru Ortofoto Üretimi

Klasik ve doğru ortofoto üretimi için çalışma bölgesine ait yöneltme parametreli (iç ve dış) bilinen görüntüler ve yine aynı bölgeye ait yükseklik modelinin üretilmesi ya da mevcut modellerin kullanılması gerekmektedir. Klasik ve doğru ortofoto arasındaki fark, doğru ortofotonun bütün yüzey dikkate alınarak üretilmesidir. Sözü edilen verilerin mevcut olması durumunda çeşitli ticari programlar yardımıyla iz düşüm denklemleri kullanılarak her bir piksele güncel değerler atanarak (yeniden örnekleme) ortofotolar üretilebilmektedir (Acar, 2018). Bu tez kapsamında çalışma alanına ait 44 ham görüntü kullanılmıştır ve ortofoto 5,26 cm yer örnekleme aralığına sahiptir. Klasik ve doğru yöntemle üretilen

ortofotolar Şekil 61’de gösterilmektedir.



Şekil 61. (a) Klasik yöntemle üretilmiş ortofoto, (b) Doğru yöntemle üretilmiş ortofoto

2.3.5. *i*-SYM ile Doğru² Ortofoto Üretimi

i-SYM’lerin üretilmesi aşamasından sonra çalışma alanına ait görüntüler ve bu görüntülere ait yöneltme parametreleri kullanılarak Doğru² Ortofoto üretimi, harici bir programda gerçekleştirilmiştir. Görüntü koordinat sistemi WGS84, çıktı koordinat sistemi TUREF/TM33’tür. *i*-SYM ile üretilen Doğru² Ortofoto Şekil 62’de gösterilirken Doğru² Ortofoto’ya ait detaylı analizler *Bulgular* bölümünde incelenmiştir.

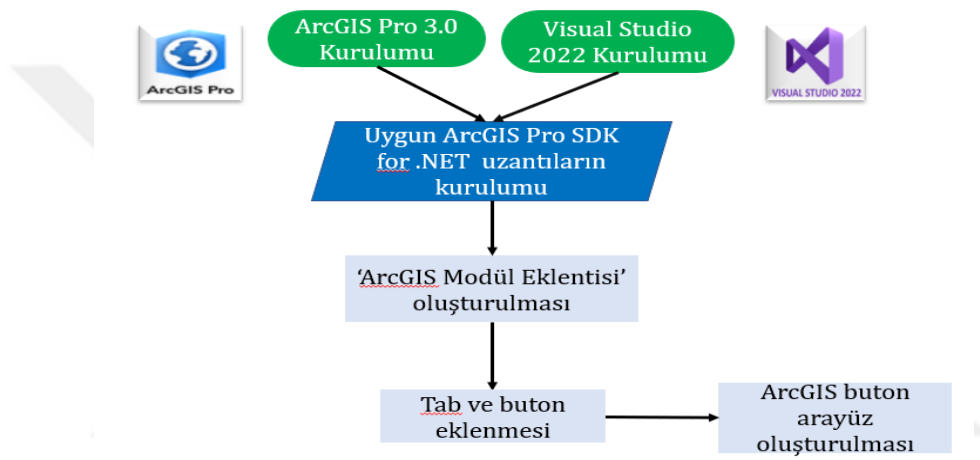


Şekil 62. *i*-SYM ile üretilen doğru² ortofoto

2.3.6. Visual Studio Kullanımı

Visual Studio, güçlü bir geliştirici aracıdır. Geliştiricilere verimli olarak yüksek kaliteli kod geliştirmeleri için zengin bir geliştirme ortamı sunar. Visual Studio, C++, C#, JavaScript, TypeScript, Python gibi birden çok dil desteği, platformlar arası geliştirme, yapay zekâ destekli geliştirme gibi birçok şekilde destek sunar (URL9).

Bu çalışmada Visual Studio kullanılarak ArcGIS ile olan entegrasyonundan, oluşturulan modül ve arayüz için genel iş akışı Şekil 63'te gösterilmektedir.



Şekil 63. Visual Studio kullanımında genel iş akışı sıralaması

Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, Visual Studio ile entegre edilecek ArcGIS Pro için kullanılan SDK sürümlerinin ilgili ArcGIS programının yazılım sürümüyle aynı olmasıdır. Program uyumsuzlukları kabul etmediği için, kullanılan ArcGIS programı 3.0 sürümündeyse, entegrasyon ve aradaki köprü görevini görecektir olan Visual Studio programının içerisindeki geliştiricilerin de 3.0 sürümünde olması gerekmektedir. İlgili Visual Studio programı geliştirilmeye çok açık ve sürekli/otomatik güncelleştirildiği için alınan hatalar doğrultusunda .NET Desktop Runtime 6.0 kurulumu yapılmalıdır. Kurulum sonrası kullanılan ArcGIS program sürümüne uygun SDK'nın indirilip, uyumsuz sürümdeki SDK'nın kaldırılması gerekmektedir. Kullanılan program sürümüne göre uygun, indirilebilecek 3 proapp-SDK'lar Şekil 64'te örnek olarak gösterilmiştir. Kurulumu izin verdikten sonra sorunsuz entegrasyon gösterecektir.

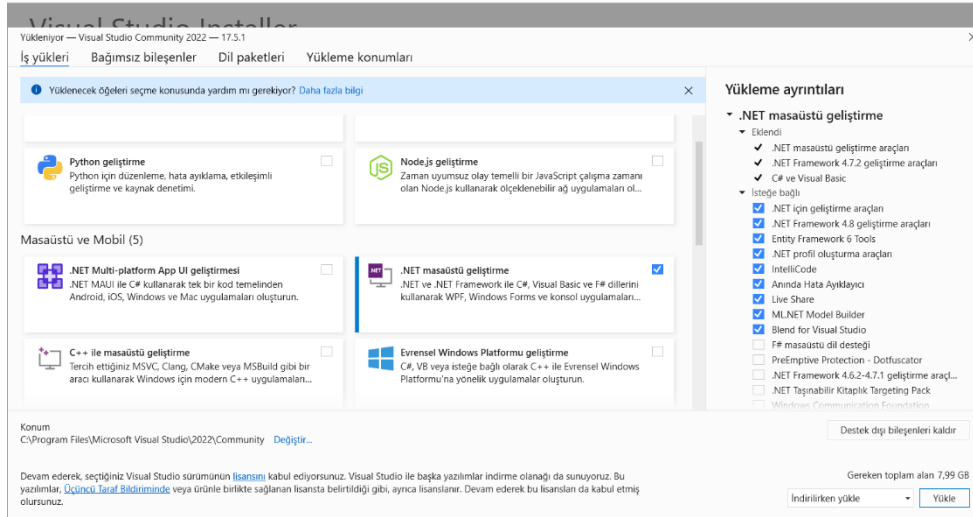
▼ Varlıklar 9		
ArcGISProAPIReference.chm	98,5MB	21 Haziran 2022
ArcGISProSDKIcons.zip	116 KB	21 Haziran 2022
CIMViewer.esriAddinX	23,7 MB	12 Temmuz 2022
proapp-sdk-migration.vsix	221 KB	21 Haziran 2022
proapp-sdk-templates.vsix	8.85MB	21 Haziran 2022
proapp-sdk-utilities.vsix	1,76MB	21 Haziran 2022
SignAddin.zip	763 KB	21 Haziran 2022
Kaynak kodu (zip)		21 Haziran 2022
Kaynak kodu (tar.gz)		21 Haziran 2022

Şekil 64. Örnek SDK gösterimi

ArcGIS Pro entegrasyonu için .NET bütününün sağlanması gerekmektedir (Şekil 65). .Net Framework, en temelde Windows üzerindeki işletilebilen dosya uzantısı olan *.dll'e sahip olan dosyalar bütünü olarak ele alınabilir. Bu dosyalar içerisinde hem .Net Framework'e ait işletilebilir kodlar hem de Windows işletim sistemine ait hizmetlerin kullanılmasını sağlayan kodlar mevcuttur. Gereksinimler Tablo 6'da gösterilmiştir.

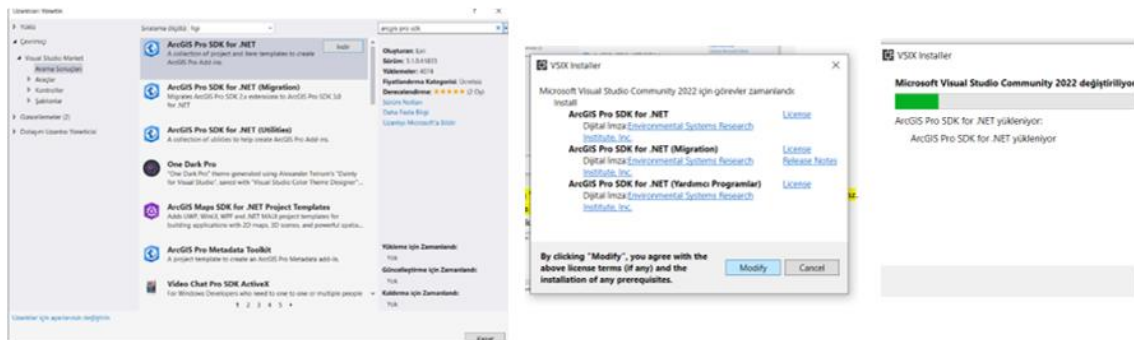
Tablo 6. Çalışma içerisindeki gereksinimler

ArcGIS Pro	Desteklenen Platformlar	Desteklenen .NET	Desteklenen IDE'ler	Kullanılan Program Dilleri
ArcGIS Pro 3.0	Windows 11 veya Windows 10 (64 bit)	Microsoft .NET Çalışma Zamanı 6.0.5 veya üstü	Visual Studio 2022 (v17.2 veya üzeri)	C#, C++



Şekil 65. Visual Studio kurulumu

Kurulum tamamlandıktan sonra açılan Visual Studio penceresinde *Uzantılar-Uzantıları Yönet* sekmesi seçilir. *Çevrimiçi-Visual Studio-ArcGIS Pro SDK* seçilip alt alta olan 3 ArcGIS Pro SDK indirilip kurulur. Kurulumun tamamlanabilmesi için programın yeniden başlatılması gerekmektedir. Bahsedilen ilgili işlem adımlarından Şekil 66'da gösterilmiştir.

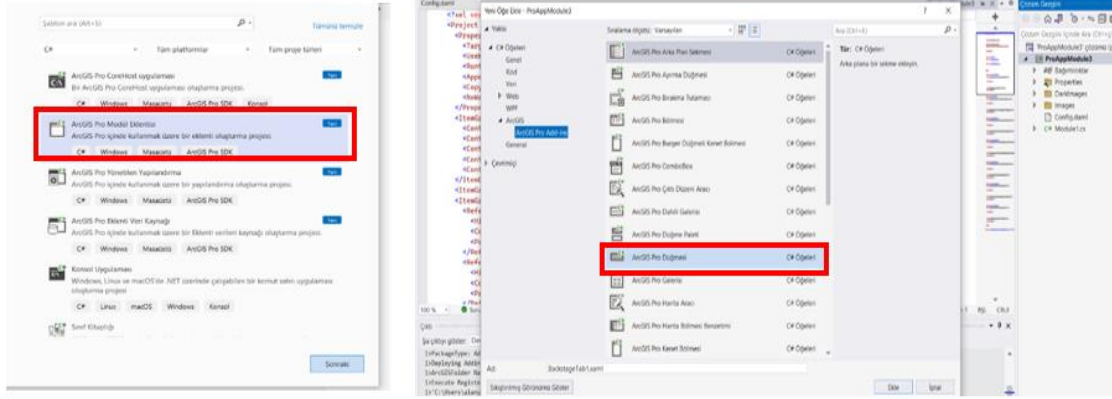


Şekil 66. Visual Studio-ArcGIS Pro entegrasyon kurulumu

2.3.7. Modül ve Arayüz Oluşturmak İçin Visual Studio Kullanımı

Visual Studio'da modül geliştirmek, tab veya buton oluşturmak için *Dosya-Yeni-Proje* seçilir. Buradan *ArcGIS Pro Modül Eklentisi* açılır. Buton oluşturmak için adlandırılan

modüle sağ tıklanıp *ekle/yeni öge* seçilir. Açılan sekmeden *ArcGIS Pro Düğmesi* seçilerek kodlama için program ile Visual Studio arasındaki köprü oluşturulmuş olur (Şekil 67).



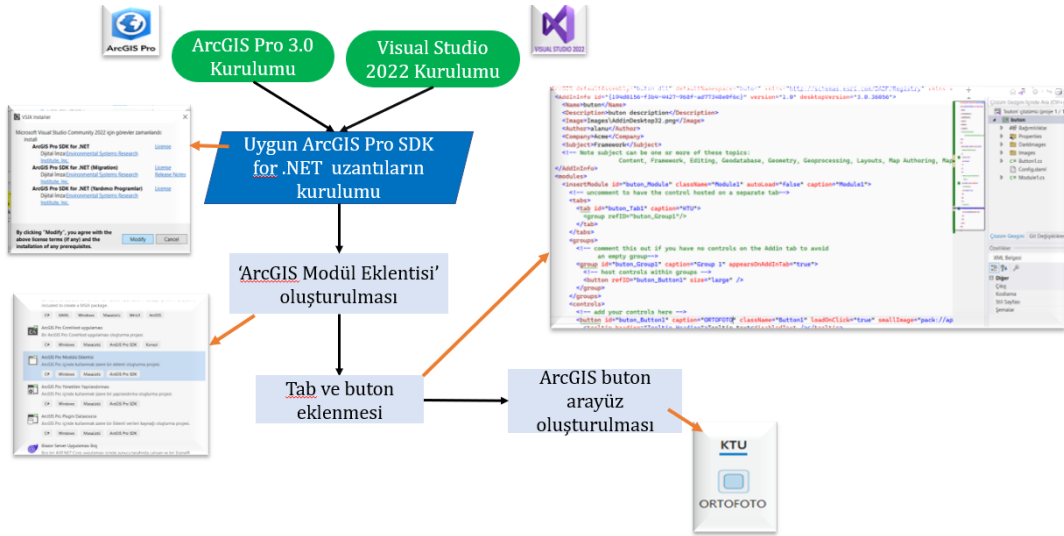
Şekil 67. Modül oluşturma arayüzleri

Modül, buton, tab için gerekli düzenleme ve/veya eklentilerin oluşturulması için ilgili alanda C dilinde kodlama yapılması gerekmektedir (Şekil 68). Ek olarak yazılan kodlar exe.'leştirilerek programa bağlanmaktadır.



Şekil 68. C dilinde ilgili düzenlemelerin yapıldığı Visual Studio ekranı

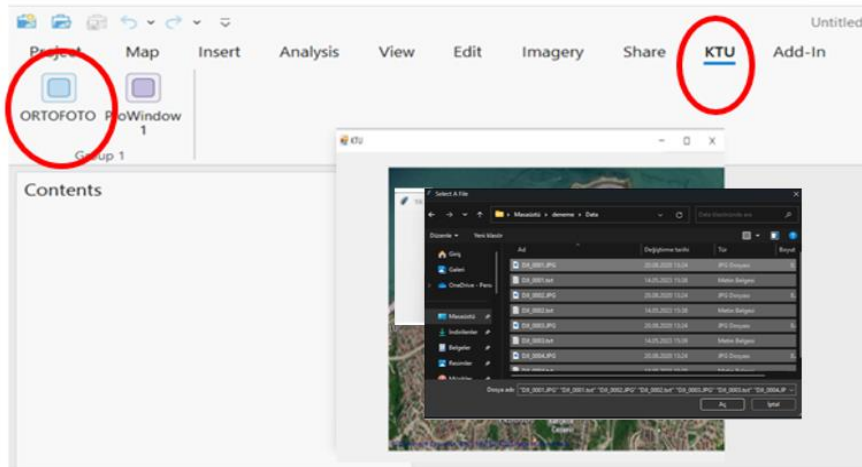
Visual Studio ile ArcGIS Pro programı arasında oluşturulan eklentilerin de gösterildiği genel iş akış sıralaması (Şekil 69) eklenmiştir.



Şekil 69. Detaylandırılmış Visual Studio iş akış sıralaması

2.3.8. Visual Studio ile ArcGIS Entegrasyonu

Visual Studio ile ArcGIS Pro programı arasında oluşturulan eklentilerin ArcGIS programına entegre olmuş hali örnek olarak Şekil 70'te gösterilmiştir. Oluşturulan 'KTU' sekmesi altında 'ortofoto' modülü açılmış ve ortofoto kodu exe. olarak bağlanmıştır. Parametrelere ait pencere şekilde gösterilmektedir.



Şekil 70. Visual Studio Çıktılarının ArcGIS programında gösterimi

3. BULGULAR VE İRDELEMELER

Bu tez kapsamında nokta bulutu, *i*-SYM'ye altlık oluşturabilecek şekilde işlemlerden geçmiştir. *i*-SYM'nin temelinde yatan mantık çerçevesinde SYM verisinin iyileştirilmesi, gürültülerden arındırılması, binaların doğru konumlandırılması ve bu sebeplerden oluşabilecek bina kenar akmaları ya da bozulmalarının önüne geçmek hedeflenmiştir. Bina çatı ve çatı sınır kenarlarının düzgünleştirilmesi, sıklaştırılması ve otomatik elde edilmesi işlemleri SYM üretiminde önemli bir yer almaktadır. Bu işlemler için ABORE yönteminden destek alınıp *i*-SYM üretilmiştir. Üretilen *i*-SYM kullanılarak klasik ortofoto doğruluk düzeyinin daha da geliştirildiği **doğru² ortofoto** elde edilmiş ve bulgularla desteklenmiştir. Referans olarak alınan nokta bulutu verisi kullanılarak klasik yöntemle üretilen ortofoto, doğru ortofoto ve *i*-SYM ile üretilen doğru² ortofotoya ait bina konumsal doğrulukları kıyaslanarak analiz edilmiş olup sonuçlar hem çıktı olarak hem de tablo olarak irdelenmiştir.

3.1. Klasik Yöntemle Üretilen Ortofoto ile Nokta Bulutu Karşılaştırma Sonuçları

Bu tez kapsamında *i*-SYM üretimi için elde edilen nokta bulutu bina çatı ve çatı sınırlarına ait köşe noktaları ile klasik yöntemle üretilen ortofoto bina köşe noktaları karşılaştırılmak suretiyle aralarındaki konum farkları analiz edilmiştir. Şekil 71'de klasik yöntem ortofoto sonucu gösterilmektedir. Binaların konumları doğru olmamakla birlikte ortofoto üzerindeki kayıklık ve bozukluklar gözükmemektedir. Şekil 72'de binaya ait nokta bulutu, klasik ortofoto üzerinde gösterilmektedir. Klasik ortofoto sonucu bina kenarlarında bozukluk ve kaymalar gözükmemekte. Bina olması gereken konumda değildir. Kırmızı taralı alan, binanın asıl sınırlarını ve olması gereken konumu temsil etmektedir.



Şekil 71. Klasik ortofoto gösterimi



Şekil 72. Klasik ortofoto ile nokta bulutu gösterimi

Tablo 7’de klasik ortofoto için bina köşe koordinat bilgileri verilmektedir. Çalışma alanı 3 bölge olarak ele alındığından ‘b1b2’ şeklindeki adlandırmalar ‘bölge 1 bina 2’nin kısaltması şeklindedir.

Tablo 7. Klasik ortofoto için bina köşe koordinat bilgileri

Bölge No	Sıra No	Bina No	No	X (m)	Y (m)
Bölge 1	1	b1b1	1	440021.43	4564202.74
			2	440050.13	4564225.12
			3	440056.58	4564216.28

Tablo 7'nin devamı

Bölge 2	2	b1b2	4	440028.10	4564194.20
			1	440022.87	4564132.14
			2	440052.24	4564153.22
			3	440058.55	4564144.63
	3	b1b3	4	440029.19	4564123.62
			1	440125.61	4564096.05
			2	440154.37	4564117.72
			3	440161.30	4564109.41
	4	b1b4	4	440131.71	4564087.57
			1	440129.30	4564173.93
			2	440157.84	4564195.95
			3	440164.37	4564187.38
	5	b2b1	4	440135.41	4564165.34
			1	440137.89	4563993.45
			2	440146.73	4564002.44
			3	440160.17	4563987.71
	6	b2b2	4	440151.09	4563980.33
			1	440140.31	4564032.75
			2	440148.82	4564041.28
			3	440162.32	4564027.95
	7	b2b3	4	440153.74	4564019.26
			1	440194.06	4563978.74
			2	440202.55	4563988.02
			3	440216.15	4563973.56
Bölge 3	8	b2b4	4	440207.78	4563965.07
			1	440229.01	4563943.74
			2	440237.58	4563952.54
			3	440250.63	4563939.41
	9	b3b1	4	440241.67	4563931.12
			1	440388.46	4563990.20
			2	440390.41	4564003.52
			3	440410.04	4564000.34
	10	b3b2	4	440407.50	4563986.25
			1	440433.06	4563954.38
			2	440434.60	4563967.23

Tablo 7'nin devamı

		3	440454.41	4563963.75
		4	440452.17	4563951.02
11	b3b3	1	440485.26	4563974.77
		2	440487.21	4563988.15
		3	440507.19	4563984.43
		4	440504.21	4563971.27
12	b3b4	1	440457.87	4563950.21
		2	440459.72	4563963.50
		3	440479.84	4563960.16
		4	440477.61	4563947.04
13	b3b5	1	440402.72	4563896.39
		2	440404.37	4563909.75
		3	440423.79	4563906.72
		4	440422.65	4563893.79
14	b3b6	1	440364.29	4563842.97
		2	440366.25	4563856.21
		3	440386.02	4563852.83
		4	440383.43	4563839.98

3.2. Doğru Ortofoto ile Nokta Bulutu Karşılaştırılma Sonuçları

Bu tez kapsamında nokta bulutuna ait bina çatı sınırlarını kapsayan köşe noktaları ile doğru ortofoto bina köşe noktaları karşılaştırılmak suretiyle aralarındaki konum farkları analiz edilmiştir. Şekil 73'te *i*-SYM için oluşturulan çıktı sonuç doğru ortofoto üzerinde gösterilmektedir. Bina kenarları gürültülü ve bina olması gereken konumdan farklı olarak gözükmemektedir.



Şekil 73. *i*-SYM için oluşturulan çıktı sonucun doğru ortofoto üzerinde gösterim

Tablo 8’de doğru ortofoto için bina köşe koordinat bilgileri verilmektedir. Çalışma alanı 3 bölge olarak ele alındığından ‘b1b3’ şeklindeki adlandırmalar ‘bölge 1 bina 3’ün kısaltması şeklindedir.

Tablo 8. Doğru ortofoto için bina köşe koordinat bilgileri

Bölge No	Sıra No	Bina No	No	X (m)	Y (m)
Bölge 1	1	b1b1	1	440022.06	4564202.45
			2	440050.69	4564224.47
			3	440057.25	4564215.94
			4	440028.61	4564193.91
	2	b1b2	1	440023.00	4564131.86
			2	440052.86	4564152.97
			3	440059.04	4564144.37
			4	440029.79	4564123.32
	3	b1b3	1	440125.83	4564096.07
			2	440154.24	4564117.87
			3	440161.57	4564109.52
			4	440132.25	4564087.65
	4	b1b4	1	440129.52	4564173.51
			2	440158.33	4564195.39
			3	440164.79	4564187.13

Tablo 8'in devamı

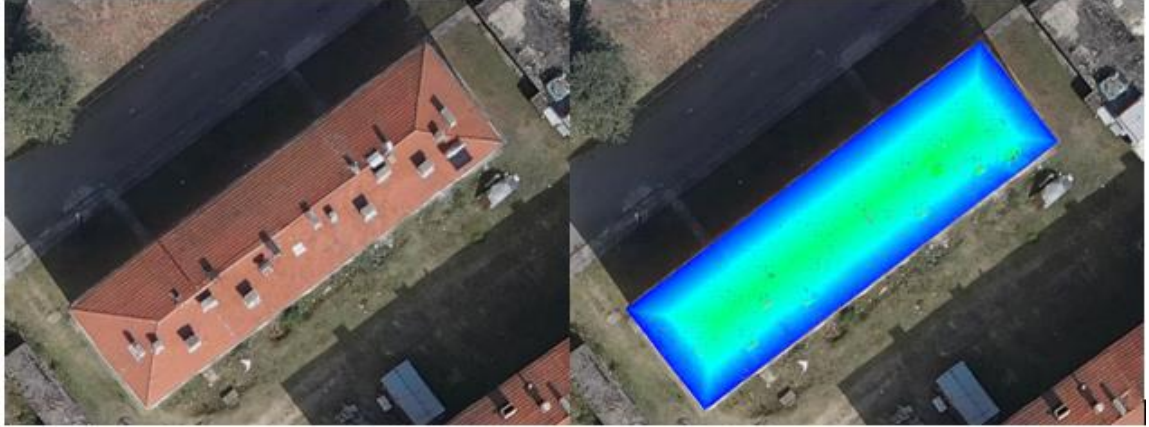
			4	440135.89	4564164.73
Bölge 2	5	b2b1	1	440139.02	4563993.01
			2	440147.38	4564001.83
			3	440160.29	4563988.91
			4	440151.64	4563980.35
	6	b2b2	1	440140.83	4564032.34
			2	440149.66	4564041.08
			3	440162.24	4564028.15
			4	440153.49	4564019.50
	7	b2b3	1	440194.97	4563978.33
			2	440203.63	4563986.92
			3	440216.53	4563974.22
			4	440207.80	4563965.14
	8	b2b4	1	440229.13	4563944.01
			2	440237.90	4563952.60
			3	440250.74	4563939.81
			4	440242.13	4563930.96
Bölge 3	9	b3b1	1	440388.02	4563990.12
			2	440390.84	4564002.86
			3	440410.00	4563999.03
			4	440407.17	4563986.61
	10	b3b2	1	440432.87	4563954.35
			2	440434.66	4563967.28
			3	440453.90	4563963.93
			4	440451.56	4563951.20
	11	b3b3	1	440484.92	4563974.60
			2	440487.17	4563987.28
			3	440506.22	4563984.18
			4	440503.90	4563971.34
	12	b3b4	1	440457.46	4563950.19
			2	440459.65	4563963.12
			3	440478.85	4563959.92
			4	440476.64	4563947.29
	13	b3b5	1	440402.39	4563896.61
			2	440404.35	4563909.54

Tablo 8'in devamı

14	b3b6	3	440423.63	4563907.15
		4	440421.81	4563894.03
		1	440364.25	4563843.08
		2	440366.28	4563856.24
		3	440385.55	4563853.00
		4	440383.46	4563840.19

3.3. *i*-SYM ile Üretilen Doğru² Ortofoto ile Nokta Bulutu Karşılaştırılma Sonuçları

Bu tez kapsamında *i*-SYM üretimi ile elde edilen doğru² ortofoto ile nokta bulutu karşılaştırılmak suretiyle aralarındaki konum farkları analiz edilmiştir. Şekil 74'te *i*-SYM ile oluşturulan çıktı sonuç doğru² ortofoto ve nokta bulutu gösterilmektedir. Hedeflendiği gibi binalar hem doğru konumunda hem de bina köşe ve kenarlarda oluşan akma ve bozukluklar ortadan kalkmıştır.



Şekil 74. *i*-SYM üretimi ile elde edilen doğru² ortofoto ile nokta bulutu gösterimi

Tablo 9'da *i*-SYM ile üretilen doğru² ortofoto için bina köşe koordinat bilgileri verilmektedir. Çalışma alanı 3 bölge olarak ele alındığından 'b2b1' şeklindeki adlandırmalar 'bölge 2 bina 1'in kısaltması şeklindedir.

Tablo 9. *i*-SYM ile üretilen doğru² ortofoto için bina köşe koordinat bilgileri

Bölge No	Sıra No	Bina No	No	X (m)	Y (m)
Bölge 1	1	b1b1	1	440022.24	4564202.39
			2	440050.75	4564224.22
			3	440057.05	4564216.02
			4	440028.71	4564194.27
	2	b1b2	1	440023.79	4564131.84
			2	440052.87	4564152.88
			3	440058.74	4564144.56
			4	440029.72	4564123.72
	3	b1b3	1	440126.20	4564096.00
			2	440154.54	4564117.63
			3	440160.82	4564109.46
			4	440132.35	4564087.91
	4	b1b4	1	440130.37	4564173.63
			2	440158.29	4564194.80
			3	440164.54	4564187.11
			4	440136.24	4564165.90
Bölge 2	5	b2b1	1	440139.17	4563992.99
			2	440147.42	4564001.43
			3	440160.00	4563988.85
			4	440151.63	4563980.48
	6	b2b2	1	440141.29	4564032.80
			2	440149.39	4564040.89
			3	440162.03	4564028.20
			4	440153.31	4564019.75
	7	b2b3	1	440195.28	4563978.33
			2	440203.24	4563986.42
			3	440215.95	4563973.78
			4	440207.81	4563965.55
	8	b2b4	1	440229.85	4563944.47
			2	440237.67	4563951.95

Tablo 9'un devamı

Bölge 3	9	b3b1	3	440250.10	4563939.67
			4	440242.43	4563931.62
			1	440388.68	4563990.32
			2	440391.01	4564002.70
			3	440409.58	4563999.19
	10	b3b2	4	440407.06	4563986.85
			1	440433.03	4563954.51
			2	440435.12	4563966.76
			3	440453.42	4563963.73
			4	440451.42	4563951.43
	11	b3b3	1	440485.16	4563974.72
			2	440487.41	4563987.05
			3	440505.96	4563984.07
			4	440503.88	4563971.57
	12	b3b4	1	440457.90	4563950.41
			2	440459.84	4563962.82
			3	440478.53	4563959.86
			4	440476.57	4563947.66
	13	b3b5	1	440402.72	4563896.88
			2	440404.56	4563909.32
			3	440423.30	4563906.86
			4	440421.55	4563894.51
	14	b3b6	1	440364.79	4563843.42
			2	440366.71	4563855.74
			3	440385.06	4563852.89
			4	440383.09	4563840.57

3.4. Üretilen Ortofotolarla *i*-SYM ile Elde Edilen Doğru² Ortofotonun Konumsal Doğruluk Kıyaslama Sonuçları

Tablo 10'da sunulduğu gibi geleneksel yöntemlerle elde edilen ortofotolar ile *i*-SYM kullanılarak elde edilen doğru² ortofoto, referans, nokta bulutu olarak alınıp konumsal olarak kıyaslandığında, **doğru² ortofoto**'ya ait çıktı konum doğruluğunun, diğer ortofotolara kıyasla en yüksek olduğu görülmektedir. Tablo 10'da belirtilen kısaltmalar, Klasik Ortofoto: KO;

Doğru Ortofoto: DO; Doğru2 Ortofoto: D2O; Nokta Bulutu: NB olarak tanımlanmaktadır.

Tablo 10. Ortofotolar için konumsal doğruluk analizi

Bölge No	Sıra No	Bina No	No	KO-NB		DO-NB		D2O-NB	
				ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
Bölge 1	1	b1b1	1	0.87	0.33	0.24	0.04	0.05	0.01
			2	0.65	0.95	0.08	0.30	0.03	0.05
			3	0.38	0.23	0.30	0.11	0.10	0.02
			4	0.51	0.04	0.00	0.32	0.10	0.03
	2	b1b2	1	0.87	0.27	0.74	0.01	0.05	0.03
			2	0.73	0.38	0.10	0.13	0.09	0.04
			3	0.24	0.14	0.25	0.12	0.05	0.07
			4	0.50	0.02	0.10	0.28	0.02	0.12
	3	b1b3	1	0.51	0.03	0.29	0.05	0.08	0.02
			2	0.25	0.07	0.38	0.22	0.08	0.01
			3	0.51	0.08	0.78	0.20	0.03	0.14
			4	0.61	0.34	0.07	0.26	0.03	0.00
	4	b1b4	1	1.13	0.18	0.91	0.24	0.06	0.12
			2	0.49	1.06	0.00	0.49	0.04	0.09
			3	0.10	0.28	0.32	0.04	0.07	0.01
			4	0.86	0.65	0.38	1.26	0.03	0.10
Bölge 2	5	b2b1	1	1.29	0.44	0.16	0.00	0.00	0.02
			2	0.70	1.02	0.06	0.41	0.02	0.01
			3	0.06	1.14	0.18	0.06	0.11	0.00
			4	0.52	0.27	0.03	0.25	0.02	0.12
	6	b2b2	1	1.05	0.04	0.52	0.37	0.06	0.09
			2	0.57	0.48	0.27	0.27	0.00	0.08
			3	0.37	0.24	0.29	0.04	0.08	0.02
			4	0.37	0.48	0.12	0.24	0.06	0.02
	7	b2b3	1	1.18	0.42	0.27	0.00	0.04	0.01
			2	0.71	1.62	0.38	0.52	0.02	0.02
			3	0.29	0.28	0.68	0.38	0.09	0.05
			4	0.01	0.47	0.03	0.40	0.04	0.01
	8	b2b4	1	0.88	0.68	0.76	0.41	0.03	0.05

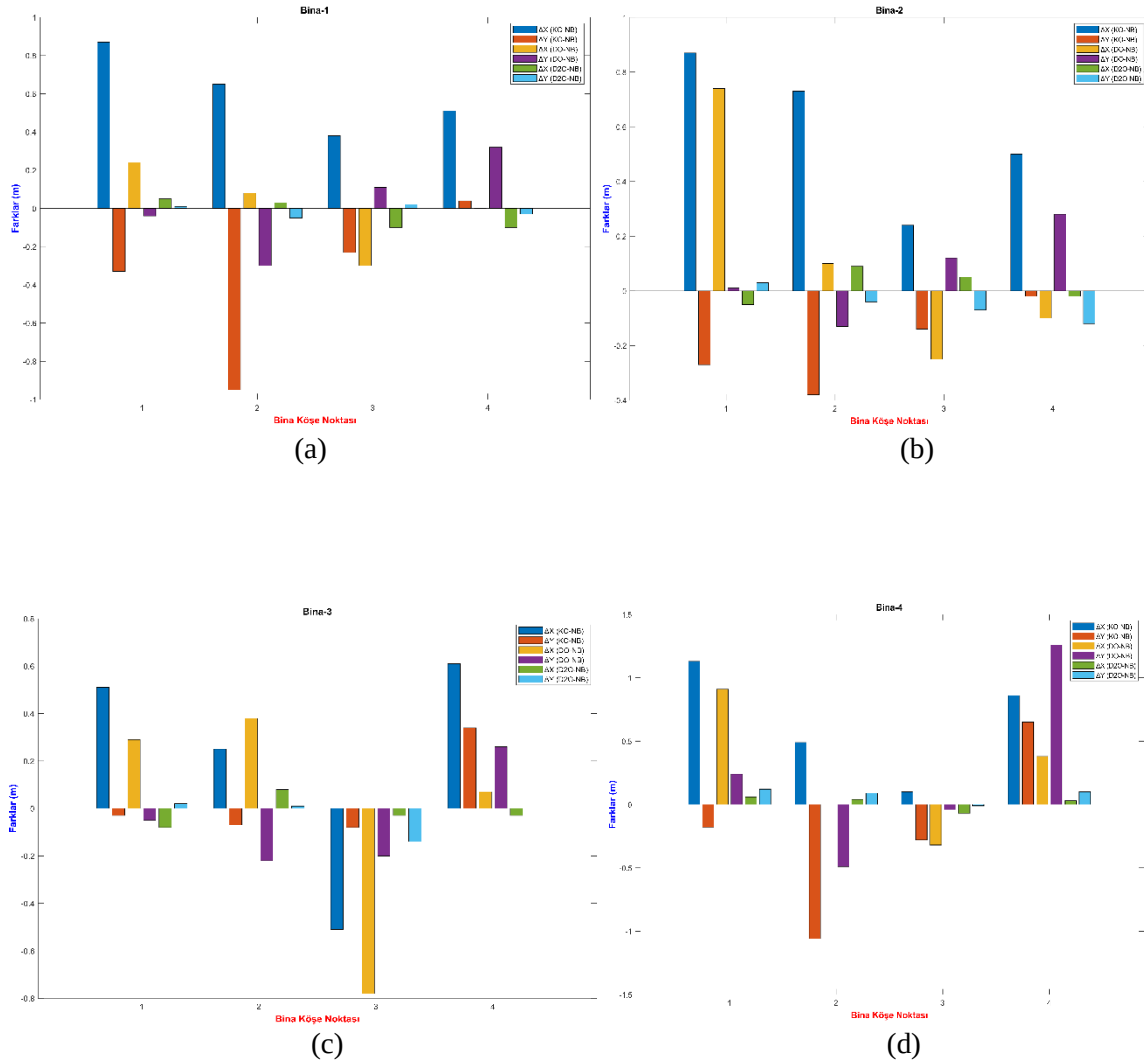
Tablo 10'un devamı

Bölge 3	9	b3b1	2	0.13	0.65	0.20	0.71	0.04	0.06
			3	0.60	0.30	0.71	0.10	0.07	0.04
			4	0.68	0.67	0.22	0.82	0.08	0.16
			1	0.15	0.19	0.59	0.26	0.07	0.07
	10	b3b2	2	0.55	0.87	0.12	0.21	0.05	0.05
			3	0.45	1.21	0.41	0.10	0.01	0.06
			4	0.53	0.72	0.20	0.36	0.09	0.12
			1	0.07	0.07	0.13	0.11	0.04	0.05
	11	b3b3	2	0.51	0.60	0.44	0.64	0.01	0.13
			3	1.03	0.11	0.52	0.29	0.05	0.09
			4	0.72	0.61	0.11	0.42	0.03	0.20
			1	0.12	0.11	0.22	0.06	0.02	0.06
	12	b3b4	2	0.13	1.11	0.16	0.24	0.07	0.00
			3	1.16	0.37	0.20	0.12	0.06	0.00
			4	0.15	0.40	0.15	0.33	0.17	0.09
			1	0.07	0.09	0.34	0.12	0.11	0.10
	13	b3b5	2	0.14	0.64	0.21	0.27	0.02	0.04
			3	1.39	0.20	0.40	0.04	0.08	0.09
			4	0.89	0.63	0.08	0.38	0.15	0.01
			1	0.01	0.45	0.34	0.23	0.01	0.05
	14	b3b6	2	0.26	0.49	0.29	0.29	0.08	0.07
			3	0.47	0.10	0.31	0.32	0.02	0.03
			4	1.03	0.67	0.19	0.43	0.07	0.05
			1	0.42	0.45	0.46	0.34	0.08	0.01
			2	0.45	0.44	0.42	0.47	0.01	0.03
			3	0.96	0.18	0.49	0.01	0.00	0.12
			4	0.30	0.51	0.34	0.31	0.03	0.07
			Ortalama			0.546	0.455	0.303	0.275

Klasik Ortofoto sonuçları incelendiğinde x yönünde maximum koordinat farkı **1.39 m**, x yönündeki farkların ortalama değeri **0.546 m**, y yönünde maximum koordinat farkı **1.62 m**, y yönündeki farkların ortalama değeri **0.455 m**; Doğru Ortofoto sonuçları incelendiğinde x yönünde maximum koordinat farkı 0.91 m, x yönündeki farkların ortalama değeri **0.303 m**, y yönünde maximum koordinat farkı **1.26 m**, y yönündeki farkların ortalama değeri

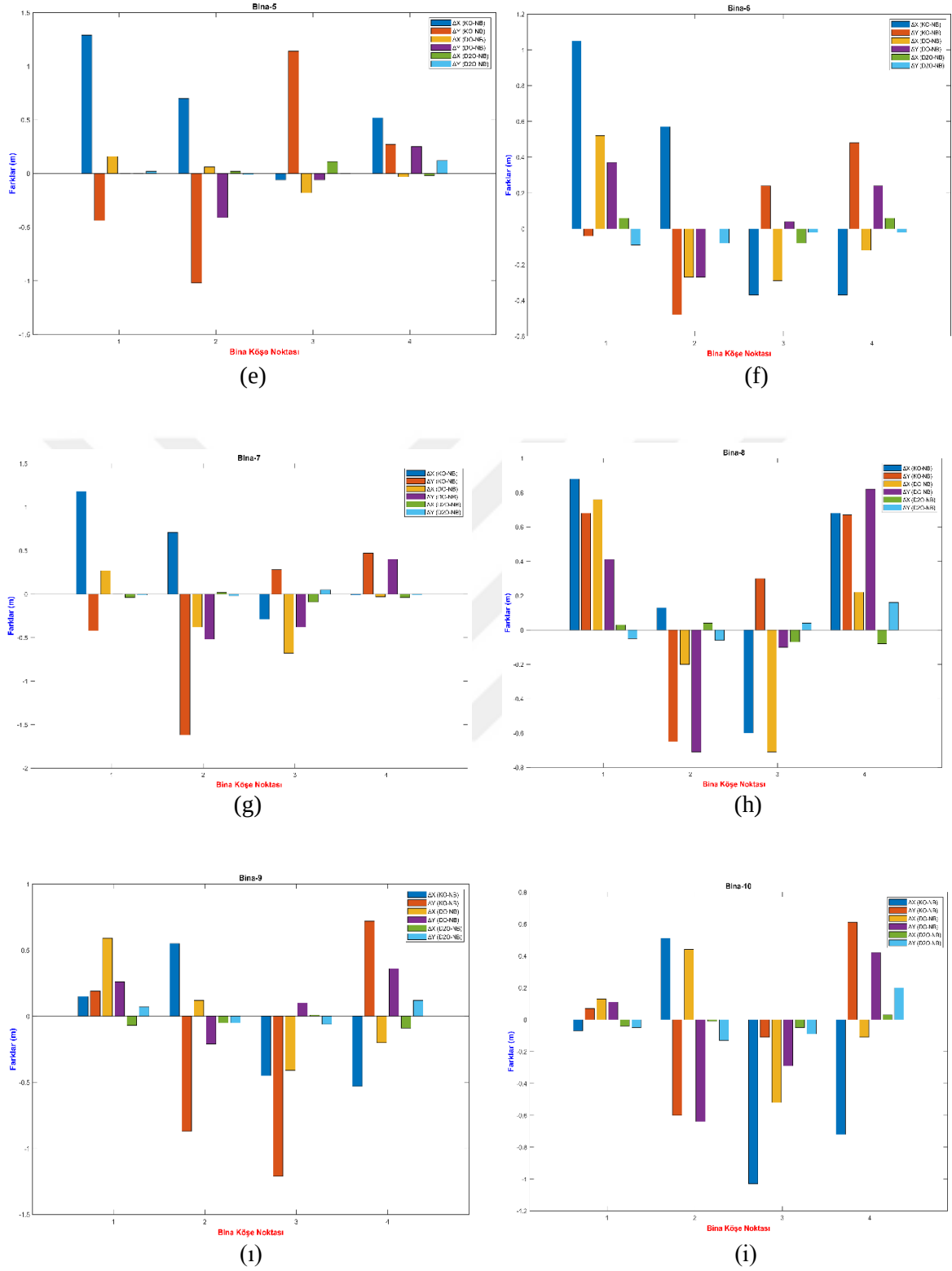
0.275 m; Doğru² Ortofoto sonuçları incelendiğinde x yönünde maximum koordinat farkı **0.17 m**, x yönündeki farkların ortalama değeri **0.054 m**, y yönünde maximum koordinat farkı **0.20 m**, y yönündeki farkların ortalama değeri **0.057 m** olarak tespit edilmiştir.

Tablo 10'a ait veriler Şekil 75'te 14 bina için grafik olarak sergilenmiştir. Bu grafiklerde X yönü bina köşe nokta sayılarını temsil ederken, Y yönü koordinat farklarını temsil etmektedir. 14 grafikten, her bir bina için temsil edilen bina köşelerine ait 6 farklı ΔX ve ΔY bilgisi bulunmaktadır. Bu bilgiler grafik lejantında belirtildiği gibi renklendirilmiş olup konumsal farklar gösterilmektedir.

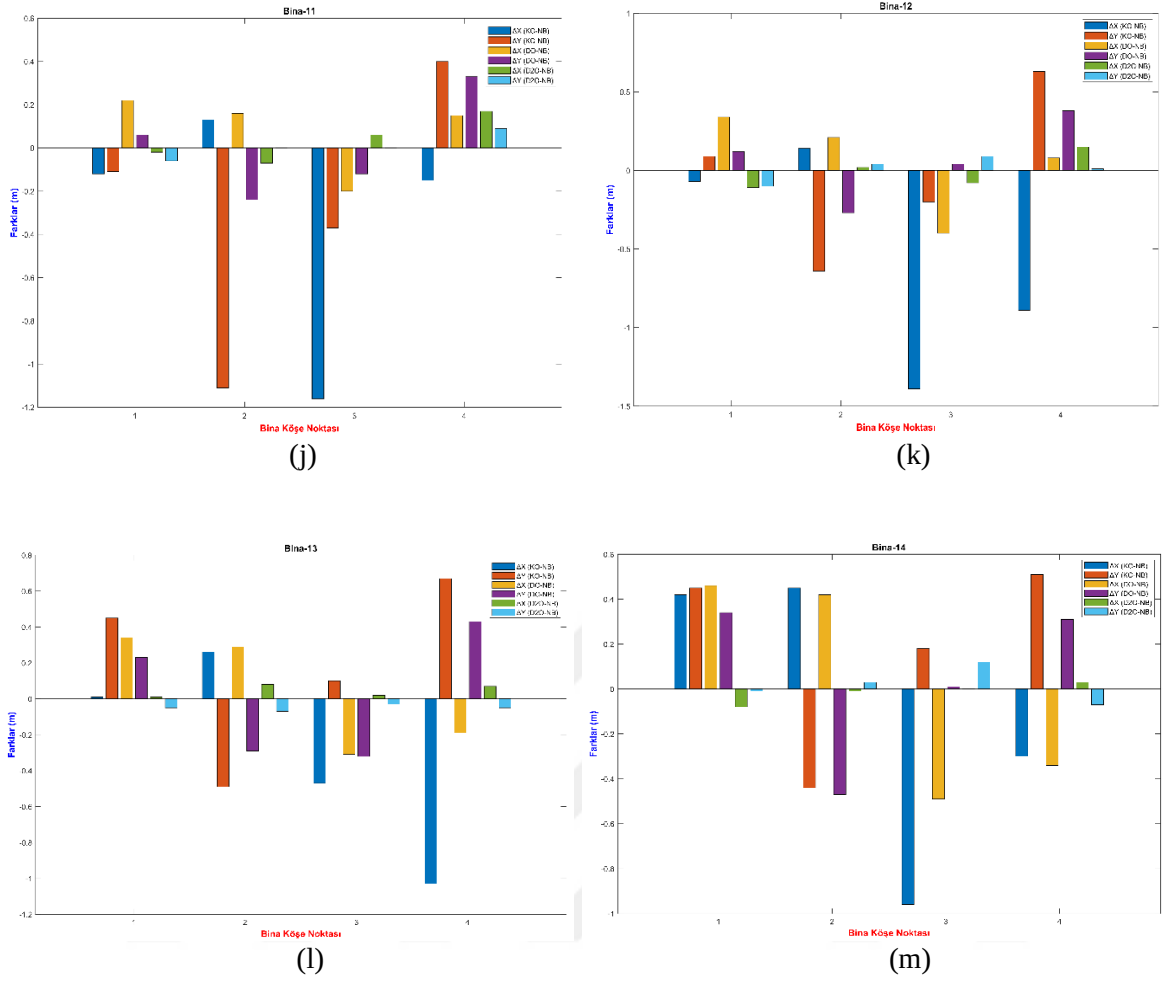


Şekil 75. 14 binaya ait konumsal fark analizi grafikleri; (a-m) Bina 1;14

Şekil 75'in devamı



Şekil 75'in devamı



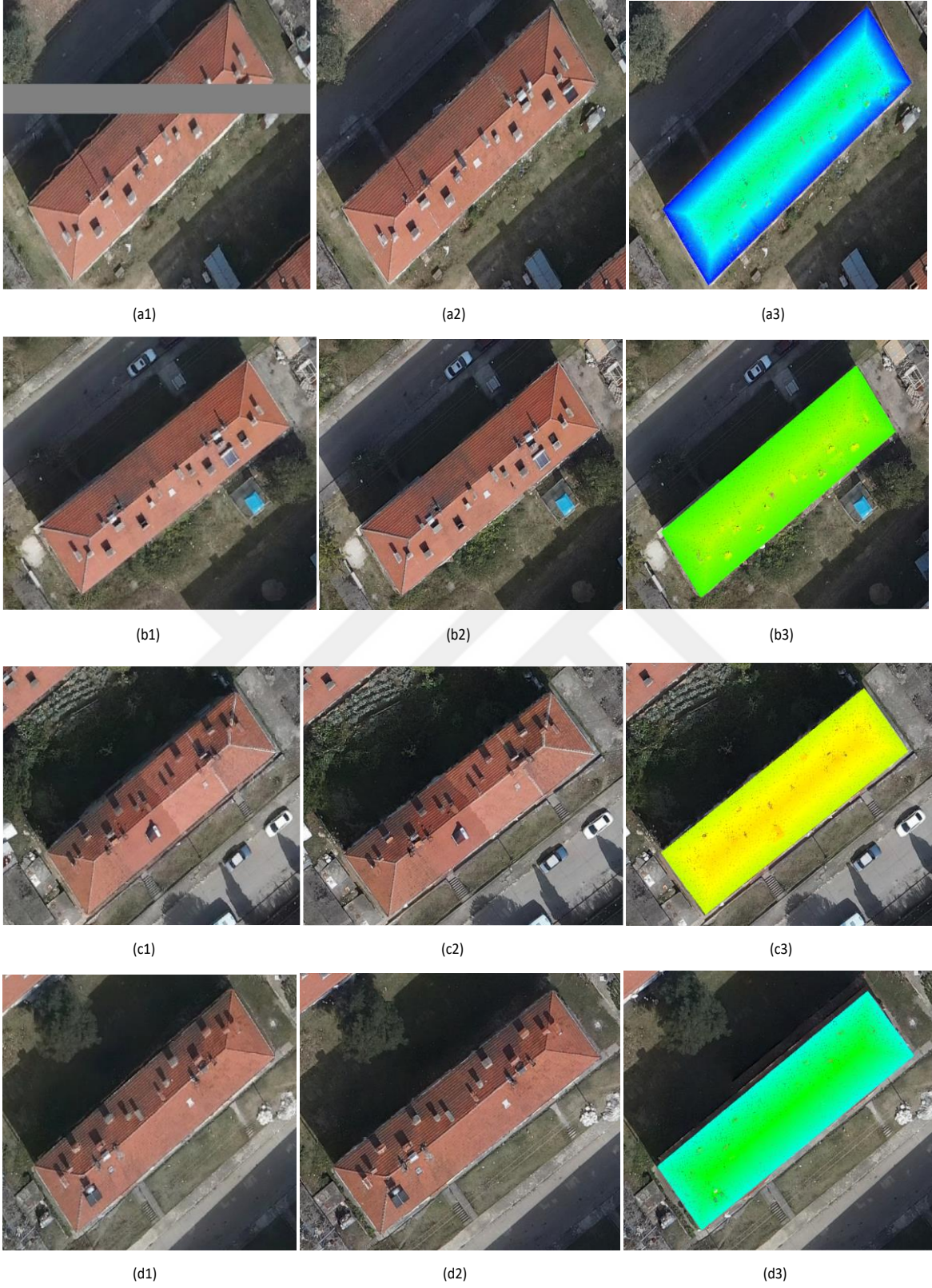
Bu tez kapsamında kullanılan veri seti üç çalışma bölgesine ayrılarak konumsal farkın daha rahat tespit edilebilmesi için her çalışma bölgesinden rastgele binalar alınmış ve alınan bu binalar numaralandırılmıştır. Şekil 76'da tüm çalışma boyunca irdelenen 14 bina görülmektedir. Şekil 76 üzerinde gösterilen 14 binaya ait sıralama klasik ortofoto, doğru ortofoto ve doğru² ortofoto sonuçları olarak listelenmiştir. Çalışma kapsamında 1. bölge 1. bina için, (a1) üzerinde görüldüğü gibi klasik ortofoto sonucunda kenar düzgünleştirilmesi sağlanamamış, bina kenarlarında dalgalanmalar oluşmuş ve konumsal doğrulukta bina olması gereken konumun dışında kalmıştır. Ek olarak klasik yöntemle üretilen ortofotoda piksel kayıpları mevcut olduğu görülmektedir. (a2) aynı binanın doğru ortofoto sonucunu göstermekte olup, kenarlarda bulunan akmalar klasik ortofotoya göre daha iyi durumda olmakla birlikte, kenar düzgünleştirmelerde zikzaklı kısımlar gözükmemekte ve bina yine olması gereken konumun dışındadır. Ancak, klasik ortofotoya göre binanın daha doğru konumlandığı görülmektedir. (a3) üzerinde aynı binanın doğru² ortofoto sonucu ve üzerine

çakıştırılmış referans nokta bulutu verisi irdelendiğinde, bina konumsal olarak geleneksel yöntemlere göre daha yüksek bir doğrulukta olmakla birlikte kenar akmaları ortadan kaldırılmış ve kenarlar düzgünleştirilmiştir. 1. bölge 2. bina için (b1) üzerinde görüldüğü gibi klasik ortofoto sonucunda kenarlarda hayalet etkileri gözükmemekte ve konumsal doğrulukta bina olması gereken konumun dışında kalmaktadır. (b2) aynı binaya ait doğru ortofoto çıktı sonucunda kenar düzgünleştirmelerde zikzaklı kısımlar gözükmemekte ve bina yine olması gereken konum dışında kalmış olup, klasik ortofotoya göre daha doğru konumlandırılmıştır. (b3) aynı binaya ait doğru² ortofoto çıktı sonucu ve üzerine çakıştırılmış referans nokta bulutu verisi irdelendiğinde bina, konumsal olarak geleneksel yöntemlere göre daha yüksek bir doğrulukta olmakla birlikte kenar akmaları ortadan kaldırılmış ve kenarlar düzgünleştirilmiştir. 1. bölge 3. bina için (c1) üzerinde görüldüğü gibi klasik ortofoto çıktı sonucunda bina kenarlarında hayalet etkileri ve bina cepheleri gözükmemektedir. Konumsal olarak bina olması gereken konum dışındadır. (c2) aynı binaya ait doğru ortofoto çıktı sonucunda hayalet görünüm azaltılsa da kenar düzgünleştirmelerde zikzaklı kısımlar gözükmemekte ve bina yine olması gereken konum dışındadır fakat klasik ortofotoya göre daha doğru konumlandırılmıştır. (c3) aynı binaya ait doğru² ortofoto çıktı sonucu ve üzerine çakıştırılmış referans nokta bulutu verisi irdelendiğinde bina, konumsal olarak geleneksel yöntemlere göre daha yüksek bir doğrulukta olmakla birlikte kenar akmaları ortadan kaldırılmış ve kenarlar düzgünleştirilmiştir. 1. bölge 4. bina için, (d1) üzerinde görüldüğü gibi klasik ortofoto çıktı sonucunda bina kenarlarında bozukluklar ve bina cepheleri gözükmemektedir. Konumsal doğrulukta bina olması gereken konumun dışındadır. (d2) görüntüsündeki aynı binaya ait doğru ortofoto çıktı sonucunda hayalet görünüm azaltılsa da kenar düzgünleştirmelerde zikzaklı kısımlar gözükmemekte ve bina yine olması gereken konum dışındadır, fakat klasik ortofotoya göre daha doğru konumlandırılmıştır. (d3) görüntüsünde aynı binaya ait doğru² ortofoto çıktı sonucu ve üzerine çakıştırılmış referans nokta bulutu verisi irdelendiğinde bina, köşe noktaları dış kısmı için kenarlar olarak bir miktar hayalet kenar etkisinde kalmış ve bina hariç dış kısmı gürültülü gibi gözükse de bina köşe noktaları konumsal olarak geleneksel yöntemlere göre daha yüksek bir doğrulukta olmakla birlikte kenar akmaları ortadan kaldırılmış ve kenarlar düzgünleştirilmiştir. 2. bölge 1. bina için (e1) görüntüsündeki klasik ortofoto sonucunda kenar düzgünleştirmesi sağlanamamış, bina kenarlarında dalgalanmalar mevcuttur. Bina olması gereken konumda değildir. (e2)'de binaya ait doğru ortofotoda, kenarlarda bulunan

akmlar klasik ortofotoya göre daha iyi durumda olmakla birlikte kenar düzgünleştirmelerde zikzaklı kısımlar gözükmemektedir. Bina olması gereken konum dışındadır fakat klasik ortofotoya göre daha doğru konumlandırılmıştır. (e3)'de binaya ait doğru² ortofoto sonucu ve üzerine çakıştırılmış referans nokta bulutu verisi incelendiğinde bina, konumsal olarak klasik ve doğru ortofotoya göre daha yüksek bir doğruluktadır. Kenar akmları ortadan kaldırılmış ve kenarlar düzgünleştirilmiştir. 2. bölge 2. bina için (f1) görüntüsünde klasik ortofoto için kenar düzgünleştirmesi sağlanamamış ve bina kenarlarında dalgalanmalar meydana gelmiştir. Bina, olması gereken konumun dışındadır. (f2)'de binaya ait doğru ortofoto sonucunda kenarlarda bulunan akmlar klasik ortofotoya göre daha iyi durumdadır. Kenar düzgünleştirmeleri tam anlamıyla yapılmamakla birlikte bina olması gereken konumun dışındadır ve klasik ortofotoya göre daha doğru konumlandırılmıştır. (f3)'de binaya ait doğru² ortofoto sonucu ve üzerine çakıştırılmış referans nokta bulutu verisi incelendiğinde bina köşe noktaları, konumsal olarak geleneksel yöntemlere göre daha yüksek bir doğrulukta olmakla birlikte bina kenarlarında oluşan akmlar ortadan kaldırılmış ve kenarlar düzgünleştirilmiştir. 2. bölge 3. bina için (g1) üzerinde görüldüğü gibi klasik ortofoto sonucunda kenar düzgünleştirmesi sağlanamamıştır. Bina kenarlarında az miktarda dalgalanmalar bulunmakta ve konumsal doğrulukta bina olması gereken konumun dışındadır. (g2) üzerinde görüldüğü gibi binaya ait doğru ortofoto sonucunda, bina kenarlarında bulunan akmlar klasik ortofotoya göre daha iyi durumda olmakla birlikte bina kenar düzgünleştirmeleri tam anlamıyla yapılmamaktadır. Bina olması gereken konumun dışındadır fakat klasik ortofotoya göre daha doğru konumlandırılmıştır. (g3) üzerinde görüldüğü gibi binaya ait doğru² ortofoto sonucu ve üzerine çakıştırılmış referans nokta bulutu verisi incelendiğinde bina köşeleri, konumsal olarak klasik ve doğru ortofoto sonuçlarına göre daha yüksek bir doğruluktadır. Bina kenarlarında oluşan akmlar ortadan kaldırılmış ve bina kenarları düzgünleştirilmiştir. Ek olarak bina ve bina köşeleri dışında kalan kısımlar için hayalet görüntüler oluşmaktadır. 2. bölge 4. bina için (h1)'de klasik ortofoto sonucunda bina kenar düzgünleştirmesi sağlanamamış ve bina kenarlarında dalgalanmalar mevcuttur. Bina, olması gereken konumun dışındadır. Ek olarak klasik yöntemle üretilen ortofotoda piksel kayıpları mevcut olduğu görülmektedir. (h2)'de görüldüğü gibi binaya ait doğru ortofoto sonucunda kenarlarda bulunan akmlar klasik ortofotoya göre azalmıştır. Bina kenarlarında zikzaklı kısımlar gözükmemektedir. Bina olması gereken konumun dışındadır fakat klasik ortofotoya göre daha doğru konumlandırılmıştır.

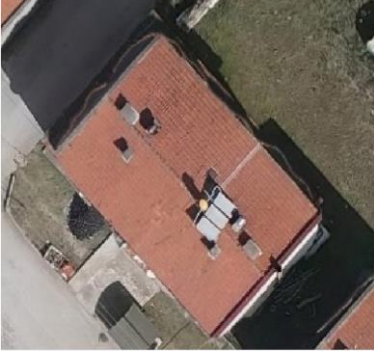
(h3)'de binaya ait doğru² ortofoto sonucu ve üzerine çakıştırılmış referans nokta bulutu verisi incelendiğinde bina, konumsal olarak klasik ve doğru ortofoto yöntemlerine göre daha yüksek bir doğruluktadır. Ek olarak bina kenar ve köşe noktaları dışındaki alanlarda hayalet görüntüler meydana gelmiştir. 3. bölge 1. bina için (i1) üzerinde görüldüğü gibi klasik ortofoto sonucunda bina kenarları için düzgünleştirme sağlanamamıştır. Bina kenarlarında dalgalanmalar mevcuttur. Bina olması gereken konumun dışındadır. (i2)'de doğru ortofoto sonucunda bina kenarlarında bulunan akmalar klasik ortofotoya göre daha azdır ve hayalet görüntüler oluşmaktadır. Bina olması gereken konumun dışındadır fakat klasik ortofotoya göre daha doğru konumlandırılmıştır. (i3)'de binaya ait doğru² ortofoto sonucu ve üzerine çakıştırılmış referans nokta bulutu verisi incelendiğinde bina köşe noktaları, konumsal olarak klasik ve doğru ortofoto yöntemlerine göre daha yüksek bir doğrulukta sonuç göstermiştir. Ek olarak bina çevresinde, bina kenar ve köşe noktaları dışında hayalet görüntüler meydana gelmiştir. 3. bölge 2. bina için (i1) üzerinde görüldüğü gibi klasik ortofoto sonucunda bina cephe ve kenar düzgünleştirmesi sağlanamamıştır. Bina olması gereken konumun dışındadır. (i2)'de binaya ait doğru ortofoto sonucunda, bina cepheleri düzeltilmiştir. Bina kenarlarına ait zikzaklı kısımlar gözükmemektedir. Bina, olması gereken konumun dışındadır fakat klasik ortofotoya göre daha doğru konumlandırılmıştır. (i3)'de ise binaya ait doğru² ortofoto sonucu ve üzerine çakıştırılmış referans nokta bulutu verisi incelendiğinde bina, konumsal olarak geleneksel yöntemlerle üretilen ortofotolara göre daha yüksek bir doğruluktadır. Ek olarak bina kenar ve köşe noktaları dışında kalan alanlarda az miktarda hayalet görüntüler meydana gelmiştir. 3. bölge 3. bina için (j1)'de görüldüğü gibi klasik ortofoto sonucunda bina cephe ve kenar düzgünleştirmesi sağlanamamıştır. Bina kenarlarında akmalar bulunmaktadır ve konumsal doğrulukta bina olması gereken konumun dışındadır. (j2)'de binaya ait doğru ortofoto sonucunda gözükken cephe yüzeyleri giderilmiş ve bina kenarlarında oluşan akmalar düzeltilmiştir. Sonuç ürün konumsal doğruluğu, klasik ortofotoya göre daha iyi durumda olmakla beraber bina kenarlarında zikzaklı kısımlar gözükmemektedir. Bina olması gereken konumun dışındadır fakat klasik ortofotoya göre daha doğru konumlandırılmıştır. (j3)'de binaya ait doğru² ortofoto sonucu ve üzerine çakıştırılmış referans nokta bulutu verisi incelendiğinde bina, konumsal olarak geleneksel ortofoto yöntemlerine göre daha yüksek bir doğruluktadır. Bina kenar ve köşe noktaları kenarlarındaki alanlarda az miktarda hayalet görüntüler meydana gelmiştir. 3. bölge 4. bina için (k1)'de görüldüğü gibi klasik ortofoto sonucunda bina cepheleri tam olarak

düzeltilenmemiştir ve kenar düzgünleştirmesi tam olarak sağlanamamıştır. Konumsal doğrulukta bina, olması gereken konumun dışındadır. (k2)'de binaya ait doğru ortofoto sonucunda bina cepheleri klasik ortofotoya göre konumsal olarak daha doğru durumdadır. Bina kenarlarında zikzaklı kısımlar çok az gözükmemekte ve bina yine olması gereken konumun dışındadır. Sonuç ortofoto, klasik ortofotoya göre daha doğru konumlandırılmıştır. (k3)'de binaya ait doğru² ortofoto sonucu ve üzerine çakıştırılmış referans nokta bulutu verisi incelendiğinde bina, konumsal olarak geleneksel ortofoto üretim yöntemlerine göre daha yüksek bir doğruluktur. Bina kenar akmaları ortadan kaldırılmış ve bina kenarları düzgünleştirilmiştir. 3. bölge 5. bina için (l1) üzerinde görüldüğü gibi klasik ortofoto sonucunda bina cepheleri gözükmemekte ve bina kenarlarında düzgünleştirme sağlanamamıştır. Kenarlarda dalgalanmalar bulunmakta ve konumsal doğrulukta bina olması gereken konumun dışındadır. (l2)'de görüldüğü gibi binaya ait doğru ortofoto sonucunda bina kenarlarında bulunan akmalar klasik ortofotoya oranla daha iyi durumdadır. Bina kenarlarında zikzaklı kısımlar gözükmemekte ve bina olması gereken konumun dışındadır. Elde edilen sonuç ortofoto, klasik ortofotoya göre daha doğru konumlandırılmıştır. (l3)'de binaya ait doğru² ortofoto sonucu ve üzerine çakıştırılmış referans nokta bulutu verisi incelendiğinde bina, konumsal olarak geleneksel ortofoto üretim yöntemlerine göre daha yüksek bir doğruluktur. Bina kenarlarındaki akmaları ortadan kaldırılmış ve bina kenarları düzgünleştirilmiştir. 3. bölge 6. bina için (m1) üzerinde görüldüğü gibi klasik ortofoto sonucunda bina kenarlarına ait düzgünleştirme sağlanamamıştır. Bina kenarlarında dalgalanmalar bulunmaktadır. Konumsal doğrulukta bina, olması gereken konumun dışındadır. Ek olarak klasik yöntemle üretilen ortofotoda piksel kayıpları mevcut olduğu görülmektedir. (m2)'de binaya ait doğru ortofoto sonucunda bina kenarlarında bulunan akmalar klasik ortofotoya göre azalmıştır. Bina kenarlarında zikzaklı kısımlar gözükmemekte ve bina olması gereken konumun dışındadır fakat klasik ortofotoya göre daha doğru konumlandırılmıştır. (m3)'de binaya ait doğru² ortofoto sonucu ve üzerine çakıştırılmış referans nokta bulutu verisi incelendiğinde bina, konumsal olarak geleneksel ortofoto üretim yöntemlerine göre daha yüksek bir doğruluktur. Bina kenarlarında meydana gelen akmalar ortadan kaldırılmış ve bina kenarları düzgünleştirilmiştir.

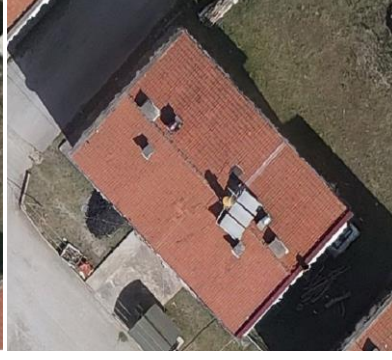


Şekil 76. Üç farklı ortofoto tekniğine göre üretilen sonuç görüntüler

Şekil 76'nın devamı



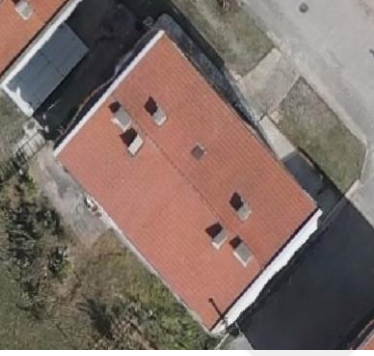
(e1)



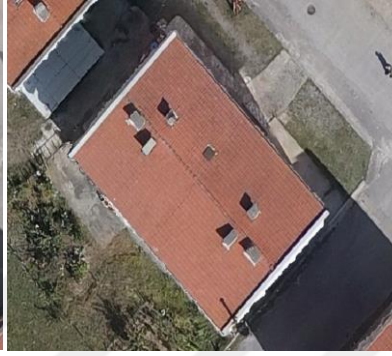
(e2)



(e3)



(f1)



(f2)



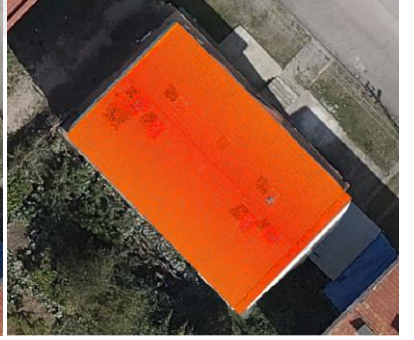
(f3)



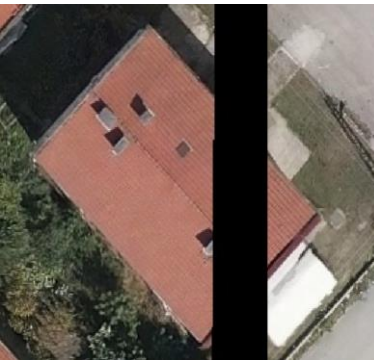
(g1)



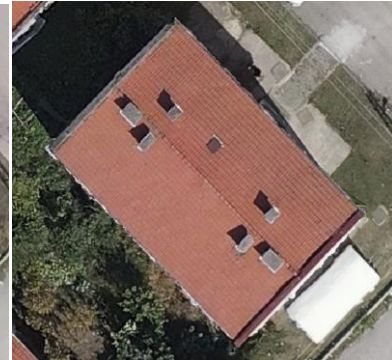
(g2)



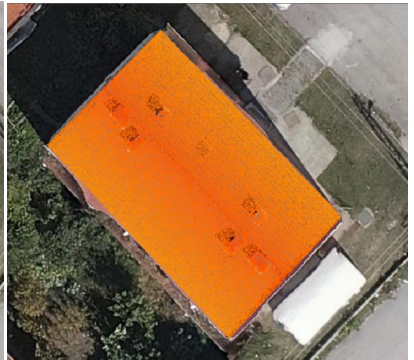
(g3)



(h1)



(h2)



(h3)

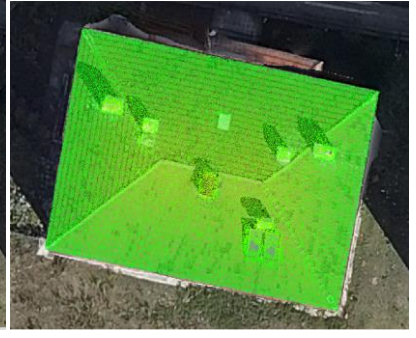
Şekil 76'nın devamı



(i1)



(i2)



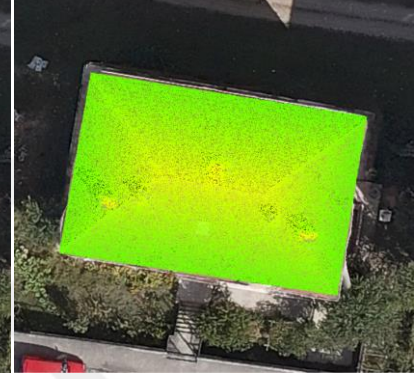
(i3)



(i1)



(i2)



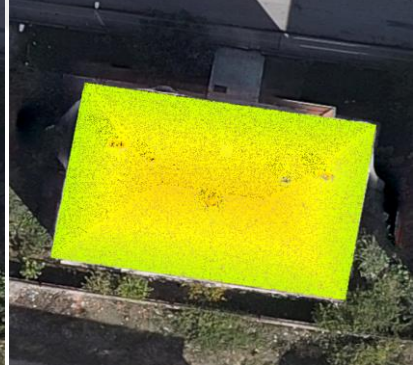
(i3)



(j1)



(j2)



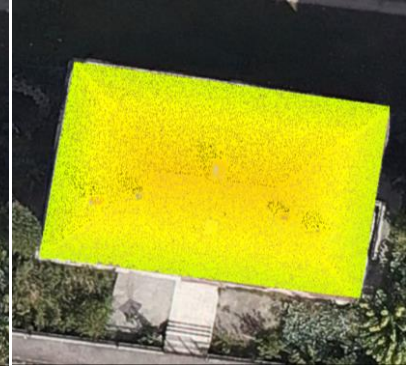
(j3)



(k1)



(k2)



(k3)

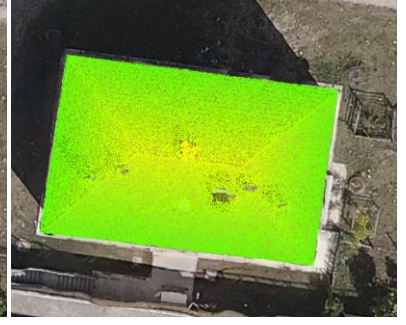
Şekil 76'nın devamı



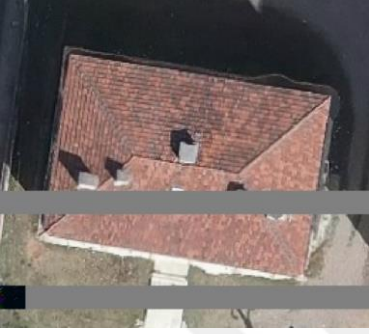
(I1)



(I2)



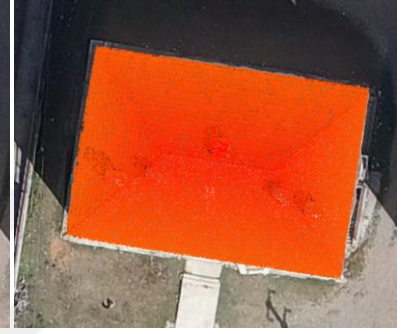
(I3)



(m1)



(m2)



(m3)

4. TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında önerilen yöntem olan *i*-SYM ile doğru² ortofoto üretimi ve yeni bir modül geliştirilmesi kapsamında bazı problemlerle karşılaşmıştır. Problemlerin bazıları kullanılan veri ile bağlantılıyken, bazıları oluşturulan eklenti için kullanılan programdan kaynaklanmaktadır. Kullanılan veri seti için referans olarak vektör harita yerine çalışma alanına ait nokta bulutu verisi kullanılmıştır. Bunun nedeni, vektörel çizimin stereo ya da ortofoto üzerinden elde edilmesidir. Nokta bulutu verisinin bu verilere göre daha doğru olduğu kanaatiyle üretilen nokta bulutu verisi referans olarak seçilmiştir. Bu nedenle ortofotolar arasında istenilen sayıda doğruluk analizi yapılamamıştır.

Tez çalışması sonucunda üretilen doğru² ortofotolar incelendiğinde, bazı bina kenarlarında hayalet görüntüler olduğu görülmektedir (Şekil 77). *i*-SYM'ler kullanılarak üretilen doğru² ortofoto görüntülerindeki bazı binalarda rölyef hataları düzeltildikten sonra konumları değişen binaların yerlerine farklı görüntülerdeki değişen bölgeye ait piksel gri değerleri gelemediğinden o bölgeler eski piksel değerleriyle aynı kalmıştır.



Şekil 77. Doğru² ortofoto hayalet örünüm gösterimi

Visual Studio kullanılarak ArcGIS platformunda oluşturulan modül, arka planda ortofoto kodunun çalıştırılmasına yöneliktir. *i*-SYM ile doğru² ortofoto üretimi ve yeni bir

modül geliştirilmesi kapsamında ArcGIS ile entegrasyon için SYM'nin iyileştirilmiş formata dönüştürülmesini sağladıktan sonra ortofotonun yapılması gerektiği ve entegrasyonun bu aşamadan sonra ortorektifikasyon olarak yani dışardan bir girdi gibi i-SYM'nin eklenmesi ile yapılması gerektiği kanısına varılmıştır. Ek olarak pozitif anlamda ArcGIS'e bir modülün entegre edilmesi Python açık kaynak kodla oluşturulan kodların eklenti yapılarak, aslında sorun olarak tanımlanan bir durumun çözüme eklenti olarak kavuşturulabileceğini de göstermiş olmaktadır. Ortofotoyu iyileştirmek ve bunu sağlayacak şekilde i-SYM üretilmesi tez kapsamında ana amaç olarak belirtilmiştir. Bu bağlamda harici programlar incelendiğinde, pilot program olarak ArcGIS ele alınmış olup ortofoto üretiminde belirlenen eksikliler ve sonuç ürün ortofoto doğruluğu göz önüne alınmış ve amaçlanan yeni yöntem için modül oluşturulması hedeflenmiştir. Tez kapsamında üretilen doğru² ortofoto ile ArcGIS'de ortofoto üretiminde belirlenen eksikliler ve sonuç ürün ortofoto doğruluğu iyileştirilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, geleneksel olarak ticari yazılımlarla üretilen doğru ortofoto üretimine yönelik iyileştirme yapmak üzere öncelikle iyileştirilmiş SYM verisi üretimi için SMRF yöntemi kullanılmış olup nokta bulutu zemin ve zemin üstü olmak üzere sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan binalara ABORE yöntemi uygulanarak bina çatı sınırları otomatik düzgünleştirilerek çıkartılmıştır. Ardından çıkartılan bina çatı sınırlarına nokta sıklaştırması yapılmıştır. Elde edilen bina çatı ve çatı sınırına ait nokta bulutu verileri kullanılarak SYM üretilmiştir. Üretilen bu *i*-SYM kullanılarak klasik ortofoto doğruluk düzeyinin daha da geliştirildiği doğru² ortofoto elde edilmiştir. Python açık kaynak kodlu programlama dilinden faydalananarak, ticari bir yazılım olan ArcGIS platformuna ortofoto modülünün entegrasyonu Visual Studio kullanılarak sağlanmıştır. Doğru² ortofoto modülü tam/full entegrasyonu için çalışmalar devam etmektedir. Önerilen yeni ortofoto yaklaşımının testi için, veri seti olarak Karabük İli, Yenice İlçesi'nde seçilen çalışma bölgesini içeren yüksek çözünürlüklü kırk dört (44) dijital hava görüntüsü kullanılmıştır. Üretilen sonuç Doğru² Ortofoto, geleneksel ve ticari yazılımlar tarafından üretilen klasik ve doğru ortofoto sonuçları ve referans olarak belirlenen nokta bulutu ile kıyaslanmıştır. Çalışma sonucunda *i*-SYM kullanımının, ortofoto üretimindeki doğruluk seviyesini önemli ölçüde yükselttiği tespit edilmiştir.

Şekil 78'de ortofoto üretirken kullanılan *i*-SYM ile elde edilen bina (2 numaralı bina) ile klasik ortofoto üretimiyle elde edilen bina (1 numaralı bina) arasındaki kıyas gösterilmektedir. Kırmızı oklarla gösterilen kısımlardan da anlaşıldığı üzere iyileştirilmiş SYM kullanılmayan bina cephelerinde kayıklıklar görülmektedir. Bu nedenle bina asıl olması gereken konum dışında yer almaktadır. Sonuç ürün ile ortofoto üretiminde *i*-SYM kullanımının önemi vurgulanmaktadır. Şekil 79'da ise referans olarak kullanılan nokta bulutu ile kullanılan *i*-SYM ile elde edilen Doğru² Ortofoto karşılaştırılarak gösterilmektedir.



Şekil 78. Doğru² Ortofoto ile klasik ortofoto kıyası



Şekil 79. Doğru² Ortofoto ile referans nokta bulutu karşılaştırması

Ortofotolar için konumsal doğruluk analizi olarak listelenen tablodaki veriler (Tablo 10), 14 bina için de 4 köşe noktası ele alınarak incelendiğinde, doğru ortofoto sonuçlarının klasik ortofoto sonuçlarından, doğru² ortofoto sonuçlarının ise hem doğru hem de klasik ortofoto sonuçlarından daha iyi olduğu görülmektedir. Örnek olarak 11. bina 3. köşe noktası ele alındığında x yönündeki farklar; klasik ortofotoda 1.16 m, doğru ortofotoda 0.20 m, doğru² ortofotoda ise 0.06 m iken, y yönündeki farklar ise; klasik ortofotoda 0.37 m, doğru ortofotoda 0.12 m, doğru² ortofotoda ise 0.00 m'dir. Buradan hareketle, üretilen i-SYM ile elde edilen ortofotonun, geleneksel yöntemlerle elde edilen ortofotolardan konumsal olarak daha doğru olduğu söylenebilmektedir.

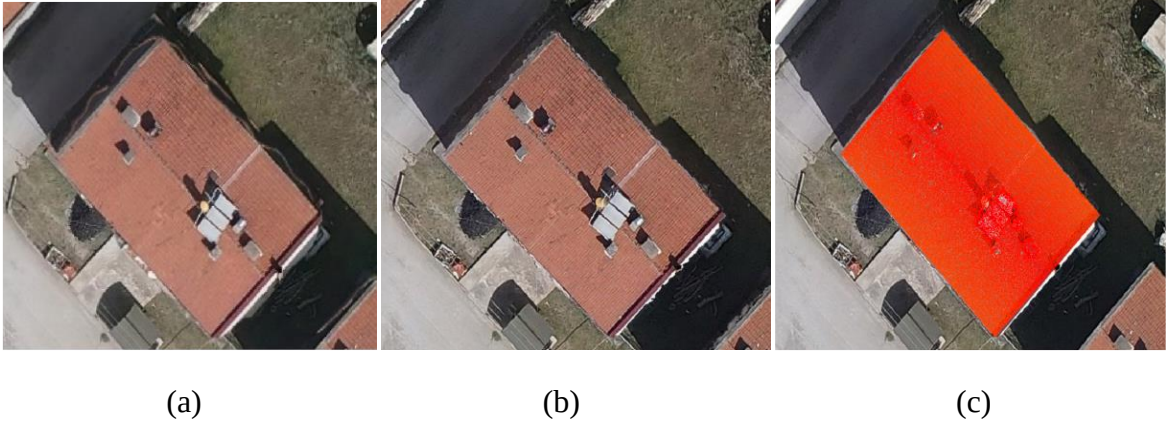
Çalışmada gerçekleştirilen analizler sonucunda SYM verisinin iyileştirilmesi, gürültülerden arındırılması, bina çatı ve çatı sınır kenarlarının düzgünleştirilmesi, sıklaştırılması ve otomatik elde edilmesi işlemleri SYM üretiminde önemli bir yer aldığı tekrar sonuçlarla desteklenmiştir.

Şekil 80’de aynı binalara ait farklı ortofoto sonuçları gözükmemektedir. (a) klasik ortofotoyu temsil etmektedir. Bina köşeleri dalgalı ve bina konumu olması gerektiği yerde değildir. (b) doğru ortofotoyu temsil etmektedir. Kenarlardaki dalgalanmalar klasik ortofotoya nispeten daha iyi fakat burada da konumsal doğruluk tam anlamıyla sağlanamamıştır. (c) doğru² ortofotoyu ve üstüne çakıştırılan referans nokta bulutunu temsil etmektedir. Hem bina kenarlarındaki akma ve bozukluklar giderilmiş hem de bina olması gereken konumda yer almaktadır.



Şekil 80. Sonuç ortofotoların kıyaslanması

Bir başka örnek olarak Şekil 81’de 5 nolu binaya ait (a) klasik ortofoto, (b) doğru ortofoto, (c) doğru² ortofoto sonuçları gösterilmektedir. Klasik ortofoto sonucunda kenar düzgünleştirilmesi sağlanamamış, bina kenarlarında dalgalanmalar ve konumsal doğrulukta bina olması gereken konum dışındadır. Doğru ortofoto sonucunda kenarlarda bulunan aklamalar klasik ortofotoya göre daha iyi durumda olmakla beraber hayalet görüntüler oluşmakta ve bina yine olması gereken konum dışındadır fakat klasik ortofotoya göre daha doğru konumlandırılmıştır. Doğru² ortofoto ve üzerine çakıştırılmış referans nokta bulutu verisi irdelendiğinde bina köşe noktaları, konumsal olarak geleneksel yöntemlere göre daha yüksek bir doğrulukta olmakla birlikte bina kenarlarında, bina köşe ve köşe noktaları dışında hayalet görüntüler meydana gelmiştir.



Şekil 81. Bina 5 için (a) Klasik ortofoto, (b) Doğru ortofoto, (c) Doğru² ortofoto gösterimi

Elde edilen sonuçların değerlendirilmesiyle, çalışma kapsamında farklı SYM verileri kullanılarak ortofotolar üretilmiş ve ortofotolar üretirken kullanılan dış yönlendirme parametreleri ve yapılan otomatik yönlendirme hepsi için aynı olduğundan, ortofotoların planimetrik doğruluğunda meydana gelen farkların en büyük nedeninin, kullanılan SYM verisi olduğu hem nicel hem de nitel olarak tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda *i*-SYM kullanımının, ortofoto üretimindeki doğruluk seviyesini önemli ölçüde yükselttiği tespit edilmiştir.

Tez çalışmasının en önemli kısımlarından olan bina kenar düzgünleştirme işleminin ABORE yöntemi kullanılarak otomatik yapılaşma aşaması, referans alınan program ArcGIS'e kıyasla çözülmüş bir sorundur ve başarılı olmuştur. ArcGIS'in ortofoto üretim aşamalarını aza indirgeyerek aslında *i*-SYM üretimiyle doğru² ortofoto üretimi hem iş yükü hem de çıktı ürün doğruluğu açısından daha başarılı olmaktadır.

Önerilen yöntemin, özellikle büyük ölçekli harita üretiminde nokta bulutu üzerinden otomatik sayısallaştırılan bina destekli üretilmiş doğru² ortofoto üzerinden de doğru bir biçimde sayısallaştırma yapma imkânı sunması ve harita üretim sürecini oldukça kolaylaştırması bakımından potansiyeli yüksek olup yaygın değere sahip olduğu ifade edilebilmektedir.

Gelecekteki çalışmalarda; kullanılan veri setlerinin dört köşeli binalar dışında çeşitlilik arz eden ve farklı yükseklikler barındıran binalarda denenmesi amaçlanmaktadır. Önerilen doğru² ortofoto yönteminin .exe uzantılı olarak harici SYM entegre edilerek yeniden kodlanması hedeflenmektedir.

6. KAYNAKÇA

- Acar, H. (2012). Nokta Belirleme Algoritmaları ile Otomatik Görüntü Eşleştirme. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Acar, H. (2018). Bina Çatı Noktalarının Yüksek Çözünürlüklü Görüntülerden Üretilen 3b Nokta Bulutu Verileri ile Otomatik Tespit Edilmesi ve Gerçek Ortofoto Üretimi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Bahadır, M. (2023). İyileştirilmiş Lokal Maksimum Yöntemi ile Nokta Bulutlarında Ağaç Segmentasyonu ve Metriklerinin Tahmini. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Barazzetti, L., & vd. (2010). LiDAR Digital Building Models for True Orthophoto Generation. Appl Geomat. 2, 187-196.
- Cankurt, İ., & vd. (2014). Ortofoto Üretiminde Tapu ve Kadastro Vizyonu. 5. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (Uzal-Cbs 2014). İstanbul.
- Chen, Y., & vd. (2014). True Orthophoto Generation Using Multi-View Aerial Images. Switzerland: ISPRS Technical Commission III Symposium.
- Deng, F., & vd. (2015). Automatic True Orthophoto Generation Based On Three-Dimensional Building Model Using Multiview Urban Aerial Images. Journal of Applied Remote Sensing, 1931-3195.
- Dong, P., & Chen, Q. (2017). Lidar Remote Sensing and Applications. CRC Press.
- Ebrahimikia, M., & Hosseininaveh, A. (2022). True Orthophoto Generation Based on Unmanned Aerial Vehicle Images Using Reconstructed Edge Points. 37(178), 161-184.
- Egels, Y., & Kasser, M. (2001). Digital Photogrammetry. London: CRC Press. 1st Edition, 376 Pp.
- Erdoğan, M. (2007). Veri Türü, Kalitesi ve Üretim Yöntemine Göre Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) Standartlarının Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Gharibi, H., & Habib, A. (2018). True Orthophoto Generation from Aerial Frame Images and LiDAR Data: An Update. *remotesensing*(10), 28.

- Günay, A. (2007). Semi Automatic True Orthophoto Production By Using Lıdar Data. Istanbul Technical University Institute Of Science And Technology, Master Of Science Thesis. Istanbul.
- Günay, A., Arefi, H., & Hahn, M. (2007). Lidar Verisi Kullanarak Gerçek Ortofoto Üretimi. TUFUAB Teknik Sempozyumu.
- Haggag, M., & vd. (2018). Towards Automated Generation of True Orthoimages for Urban Areas. American Journal of Geographic Information System. 7(2), 67-74. Egypt.
- Harikumar, A. (2019). Advanced Methods For Tree Species Classification and Biophysical Parameter Estimation Using Crown Geometric Information in High Density Lidar Data. University Of Trento, International Doctorate School in Information and Communication Technologies. Italy.
- Hirschmuller, H. (2008). Stereo Processing By Semiglobal Matching and Mutual Information. IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence, 30(2), 328-341.
- Huang, X., Han, Y., & Hu, K. (2020). An Improved Semi-Global Matching Method With Optimized Matching Aggregation Constraint. Chengdu/China: IOP Conference Series: Earth And Environmental Science, 012050(569).
- J. Wu, S. Jie, W. Yao and U. Stilla, (2011). Building Boundary Improvement for True Orthophoto Generation By Fusing Airborne LiDAR Data. 2011 Joint Urban Remote Sensing Event, pp. 125-128, doi: 10.1109/JURSE.2011.5764735. Munich, Germany.
- Karasaka, L., & Keleş, S. H. (2020). CSF (Cloth Simulation Filtering) Algoritmasının Zemin Noktalarını Filtrelemedeki Performans Analizi. Araştırma Makalesi . Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi.
- Karşlı, B. (2022). Fotogrametrik Görüntü Tabanlı Nokta Bulutu Üzerinden Otomatik Bina Çıkarımı ve Sayısallaştırma. Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray.
- Kaya, M. (2010). Sayısal Hava Kamerası ve Analog Hava Kamerası Kullanılarak Üretilen Fotogrametrik Sayısal Yükseklik Modellerinin Karşılaştırılması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Kiracı, A. Ç., & vd. (2010). Sayısal Hava Kameralarının Fotogrametriye Kazandırdıkları.

(143), 26-32.

Kraus, K. (2007). Photogrammetry Geometry From Images And Laser Scans. De Gruyter.

Linder, W. (2009). Digital Photogrammetry A Practical Course. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer.

Ozdemir, E., Karşı, F., Kavzoglu, T., Bahadır, M., & Yagmahan, A. (2021). A Novel Algorithm for Regularization of Building Footprints Using Raw Lidar Point Clouds. Georcato International.

Petrie, G., & Walker, A. S. (2007). Airborne Digital Imaging Technology: A New Overview. The Photogrammetric Record. 22(119), 203-225.

Pingel, T. J., & vd. (2013). An Improved Simple Morphological Filter for The Terrain Classification of Airborne Lidar Data.

URL1. (2023, Mayıs 14). <https://Cbs.Tkgm.Gov.Tr/3d/Html/2b1dgercekortofotolarinuretimi.Html>
Adresinden Alındı

URL3. (2023, Ekim 15). <https://En.Wikipedia.Org/Wiki/Arcgis> Adresinden Alındı

URL4. (2023, Eylül 8). <https://Pro.Arcgis.Com/En/Pro-App/3.1/Arcpy/Get-Started/Installing-Python-For-Arcgis-Pro.Htm> Adresinden Alındı

URL5. (2018, 06 13). <https://Community.Esri.Com/T5/Esri-Training-Blog/Using-Python-To-Streamline-Gis-Workflows/Ba-P/900062> Adresinden Alındı

URL6. (2016, Ocak 18). <https://Gis.Stackexchange.Com/Questions/177216/Cant-Generate-True-Orthophoto-From-My-Software> Adresinden Alındı

URL7. (2023, Ekim 16). <https://Anaconda.Cloud/Installers>, Adresinden Alındı

URL8. (2023, Ekim 9). <https://Anaconda.Org/Anaconda/Spyder> Adresinden Alındı

URL9. (2023, Ekim 24). <https://Learn.Microsoft.Com/Tr-Tr/Visualstudio/Get-Started/Visual-Studio-İde?View=Vs-2022> Adresinden Alındı

URL10. (2023, Eylül 5). <https://Www.Esri.Com.Tr/Tr-Tr/Urunler/Arcgis-Pro/Genel-Bakis> Adresinden Alındı

- URL11. (2023, Temmuz 23). <https://web.geofly.eu/en/products/true-orthophotos/true-orthophotos-oberflaechenmodelle.html?acceptCookie=1>
- URL12. (2023, Aralık 12). https://Geotech.Sk/Downloads/Fotogrametria/Letecke-Kamery/RC30_Brochure.Pdf Adresinden Alındı
- URL13. (2023, Aralık 25). <https://Www.Vexcel-İmaging.Com/Products/> Adresinden Alındı
- URL14. (2023). <https://Mavink.Com/Explore/Topcon-3D-Scanner> Adresinden Alındı
- URL16. (2023, Temmuz 9). <https://Pro.Arcgis.Com/En/Pro-App/Latest/Help/Data/İmagery/Ortho-Mapping-İn-Arcgis-Pro.Htm> Adresinden Alındı
- URL17. (2022, Ekim 3). <https://Learn.Arcgis.Com/En/Projects/Extract-3d-Buildings-From-Lidar-Data/> Adresinden Alındı
- URL18. (2023, ARALIK 22). <https://Leica-Geosystems.Com/Products/Airborne-Systems/Hybrid-Sensors/Leica-Countrysmapper> Adresinden Alındı
- URL19. (2023, ARALIK 18). <https://Www.Geomaticsgroup.Com/> Adresinden Alındı
- URL20. (2023, KASIM 16). https://Github.Com/Hwiyoung/Orthophoto_Maps Adresinden Alındı
- Vosselman, G., Kessels, P., & Gorte, B. G. (2005). The Utilisation of Airborne Laser Scanning for Mapping. International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation, 6, 177-186.
- Wang, C., & Gu, Y. (2022). A Method for Generating True Digital Orthophoto Map of UAV Platform Push-Broom Hyperspectral Scanners Assisted By LiDAR. International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Harbin, China.
- Widyaningrum , E., Lindenbergh, R., Gorte, B., & Zhou, K. (2018). Extraction of Building Roof Edges From Lidar Data to Optimize The Digital Surface Model for True Orthophoto Generation. The International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Riva Del Garda, Italy. 42 (2), 1199-1205.
- Yaşayan, A., & vd. (2018). Fotogrametri. Eskişehir: T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2295.

Yıldırım, H., & vd. (1996). Arc/Info ile Geniş Bir Alanda Sayısal Yükselti Modeli Oluştururken Karşılaşılan Sorunlar ve Çözümler. Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, s. 335-337. İstanbul.

Zhou, G., & vd. (2022). True² Orthoimage Map Generation. Remote Sensing, 14(17), 4396.



ÖZGEÇMİŞ

İlk öğrenimini Yomra Merkez İlköğretim Okulu'nda, Lise öğrenimini de Yavuz Sultan Selim Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 4 yıllık lisans eğitimini 2020 yılında tamamladı. Aynı yıl Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2022 yılı temmuz ayında Harita Mühendisliği Bölümü, Uzaktan Algılama Anabilim Dalına Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen üniversitede bu görevine ve yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.