

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

**TARİHİ YAPI CEPHE DOKUSUNUN FARKLI YÖNTEMLERLE ÜRETİLEN
NOKTA BULUTLARI ÜZERİNDEN OTOMATİK TESPİT EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Oğuzhan KINALI

**MART 2021
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

**TARİHİ YAPI CEPHE DOKUSUNUN FARKLI YÖNTEMLERLE ÜRETİLEN
NOKTA BULUTLARI ÜZERİNDEN OTOMATİK TESPİT EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

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

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 / 02 / 2021

Tezin Savunma Tarihi : 22 / 03 / 2021

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fevzi KARSLI

Trabzon 2021

ÖNSÖZ

Bu çalışmada bana danışmanlık eden, yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Fevzi KARSLI'ya teşekkürlerimi arz ederim.

Çalışma süresince sürekli destek ve yardımlarını gördüğüm değerli hocam Dr. Samet ÖZDEMİR'e şükranlarımı sunarım.

Lisans dönemimden beri manevi desteğini eksik etmeyen değerli büyüğüm, Karadeniz Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölüm Sekreteri Muhammet GÜMRÜKÇÜOĞLU'na teşekkür ederim.

Çalışma süreci boyunca sağladığı bilgilerle bana yardımcı olan ve çalıştığım kurumdaki Şef Sezgin Keskin ve manevi ortağı Sezgin Şahin ile kıymetli mesai arkadaşlarıma, meslektaşım Oğuz YILDIRIM'a, teknik katkılarından dolayı eski mesai arkadaşlarım Murat ÖZ, Zeliha Özgenur ÖZ, Yüksel AKGÜN ve İbrahim ALTAY'a teşekkürü borç bilirim.

Çalışmalarımda bana teknik ve manevi destekleri için meslektaşım Harita Yüksek Mühendisi Esmahan COŞKUN'a teşekkür ederim.

Maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli aileme ve değerlime teşekkür ederim.

Oğuzhan KINALI

TEZ ETİK BEYANAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Tarihi Yapı Cephe Dokusunun Farklı Yöntemlerle Üretilen Nokta Bulutları Üzerinden Otomatik Tespit Edilmesi” başlıklı bu çalışmayı Prof. Dr. Fevzi KARSLI'nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri kendim yaptığımı, 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. 22/03/2021

Oğuzhan KINALI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1 Giriş.....	1
1.2. Temel Kavramlar.....	5
1.2.1. Üç Boyut (3B) Kavramı ve Kullanım Alanları	5
1.3. Lazer Tarama Sistemleri.....	7
1.4. Dijital Kameralar	10
1.4.2. Dijital Kameraların 3B Modellemede Kullanımı	11
1.5. İnsansız Hava Araçları (İHA).....	12
1.5.1. İHA Teknik Bileşenleri	14
1.5.2. İHA ile Görüntü Alımında Hassasiyeti Etkileyen Faktörler	14
1.5.2.1. Mekanik Faktörler	14
1.5.2.2. Çevresel Faktörler.....	16
1.5.3. 3B Modellemede İHA Kullanımı	16
1.6. Fotogrametrik ve Nokta Bulutu Üretimi Matematik Model.....	17
1.7. Histogram Eşitleme ile Görüntü İyileştirme Yöntemi.....	23
1.8. Dalgacık Dönüşümü	25
1.8.1. Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD) Yöntemi	28

1.8.1.1. İki Boyutlu Sürekli Dalgacık Dönüşüm (2B SDD) Analizi	29
1.9. Doğruluk Analizi Yöntemleri.....	30
1.9.1. Sørensen-Dice ile Jaccard Benzerlik Yöntemleri.....	31
1.9.2. F1-Skor Doğruluk Yöntemi.....	32
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	34
2.1. Çalışma Alanı	34
2.2. Veri ve Ekipman.....	35
2.2.1. Sokkia GCX3 CORS GNSS Ölçüm Aleti	35
2.2.2. Geomax Zoom 35 Pro Total Station Aleti ve Özellikleri.....	36
2.2.3. Nikon D3200 Dijital Kamerası ve Objektifinin Özellikleri	37
2.2.4. Faro Focus3D X130 Ölçüm Cihazı Özellikleri	38
2.2.5. DJI Phantom 4 RTK Drone Özellikleri	39
2.3. Uygulama	41
2.3.1. CORS GNSS ve Total Station Ölçüm Aleti ile Ölçüm İşlemi	41
2.3.2. Nikon D3200 Dijital Kamerası ile Fotoğraflama İşlemi ve Verilerin İşlenmesi.....	42
2.3.2.1 Nikon D3200 Dijital Kamera ile Fotoğraflama İşlemi.....	42
2.3.2.2 Nikon D3200 Dijital Kamerası ile Elde Edilen Fotoğrafların Kıymetlendirilmesi İşlemi	43
2.3.3. Faro Focus3D Cihazı ile Ölçüm İşlemi ve Verilerin İşlenmesi.....	45
2.3.3.1. Faro Focus3D Ölçüm Verilerinin Kıymetlendirilmesi İşlemi.....	46
2.3.4. DJI Phantom 4 RTK Drone ile Oblik Fotoğraflama İşlemi ve Verilerin İşlenmesi..	48
2.3.4.1. DJI Phantom 4 RTK Drone Fotoğraflarının İşlenmesi ve Cephelere Ait Nokta Bulutunun Oluşturulması.....	50
2.3.5. Koordinat Sistemi Dönüşümü İşlemi Gerçekleştirilmesi	53
2.2.6. Nokta Bulutu Veri Setlerinin Normal Yüzeğe İndirgenmesi ve Gürültü Noktalarının Tespiti Edilmesi.....	55
2.2.7. Gürültü Noktalarının Elemine Edilmesi	61

2.2.8. Nokta Bulutlarından Alan Kesme ve Raster Dönüşümü.....	62
2.2.9. Referans Verilerin Üretilmesi.....	64
2.2.10. Cephe Doğruluk Analizleri.....	65
3. BULGULAR VE İRDELEME.....	99
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	102
5. KAYNAKLAR.....	103
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

TARİHİ YAPI CEPHE DOKUSUNUN FARKLI YÖNTEMLERLE ÜRETİLEN NOKTA
BULUTLARI ÜZERİNDEN OTOMATİK TESPİT EDİLMESİ

Oğuzhan KINALI

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Fevzi KARSLI
2021, 103 Sayfa

Ülkemiz, birçok medeniyeti üzerinde barındırmış ve bu sayede çok sayıda kültürel varlığa sahip olmuştur. Keşfedilen veya keşfedilmeyi bekleyen bu kültürel varlıkların geleceğe aktarılması son derece önem arz etmektedir. Kültürel varlıklara ait mimari röleve çalışmalarında, geçmişte manuel yöntemler ile elde edilen ölçüler kullanılarak çizilen rölemler kullanılırken, günümüzde artık yersel ve havadan gerçekleştirilen fotogrametrik ve 3B alım teknikleri kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu tez çalışmasında kültürel varlıkların korunması ve geleceğe aktarılması konusunda yapılacak mimari çalışmalarda belgeleme işlemlerinde yersel lazer tarayıcı cihazında ± 2 mm değer ile cm altı hassasiyetin elde edildiği ve 3B veri üretiminde taşınması zor, hassas ve yüksek maliyet gerektiren cihazlar olduğu ancak ilk öncelikte seçilmesi gereken bir alet olduğu tespit edilmiştir. Yersel fotogrametri yöntemi ile elde edilen verilerin ± 2 cm ve hava fotogrametrisi yöntemleri ile elde edilen verilerin ± 10 cm doğruluğunda veri üretildiği, taşınabilir ve düşük maliyet gerektiren cihazlar olduğu; ancak yüzey dokusu ve çevresel ışık faktörlerinden etkilenen bir yöntem olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak İHA'ların hareket halinde fotoğrafıma nedeniyle olası görüntü bozukluklarından dolayı yersel fotogrametriden sonra kullanılması tercih edilmesi gereken bir alet olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yersel ve Hava Fotogrametri, İHA, Yersel Lazer Tarama, Doğruluk, Hassasiyet, Nokta Bulutu, 2B Sürekli Dalgacık Analizi (2B SDD)

Master Thesis

SUMMARY

AUTOMATIC DETECTION OF THE HISTORICAL FACADE TEXTURE THROUGH POINT CLOUDS PRODUCED BY DIFFERENT METHODS

Oğuzhan KINALI

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geomatics Engineering Department
Supervisor: Prof. Dr. Fevzi KARSLI
2021, 103 Pages

Our country has hosted many civilizations and thus has a large number of cultural assets. It is extremely important to transfer these discovered or awaiting cultural assets to the future. In the past, the relays drawn using the measurements obtained by manual methods were used in the architectural relief studies of cultural assets, but now the use of local and airborne photogrammetric and 3D acquisition techniques has become widespread. In this thesis, it is a tool that has ± 2 mm and sub-cm accuracy in the terrestrial laser scanner device in the documentation processes in architectural studies to be carried out for the preservation of cultural assets and their transfer to the future, and it is a device that is difficult to carry, sensitive and requires high cost in 3D data production, but should be chosen first. It has been determined that. The data obtained by the terrestrial photogrammetry method are ± 2 cm and the data obtained by air photogrammetry methods are ± 10 cm accuracy, portable and low-cost devices; However, it has turned out to be a method affected by surface texture and environmental light factors. However, it has been concluded that UAVs are a preferred tool to be used after terrestrial photogrammetry due to possible image defects due to photographing in motion.

Key Words: Terrestrial and Airborne Photogrammetry, Drone, Terrestrial Laser Scanning, Accuracy, Sensitivity, Point Cloud, 2D Continuous Wavelet Analysis (2D CWT)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Üç boyut kavramı	5
Şekil 2. SAM ve SYM Modeli	6
Şekil 3. Hava lazer tarama yöntemi (URL-2).....	8
Şekil 4. Yersel lazer tarama yöntemi (Kula vd., 2017)	9
Şekil 5. Yersel lazer tarayıcı ile üç boyutlu nokta bulutu üretimi	10
Şekil 6. Dijital kamera görseli ve bileşenleri.....	10
Şekil 7. Yersel fotogrametrik yönteminde fotoğraf çekim planlaması.....	11
Şekil 8. Azami kalkış ağırlıklarına göre İHA sınıfları a) İHA0, b) İHA1, c) İHA2, d) İHA3	13
Şekil 9. İHA'lara entegre edilebilir Gimbal örneği	15
Şekil 10. İHA ile ortogörüntü ve nokta bulutu üretim aşamaları	18
Şekil 11. Fotogrametrik Matematiksel Modeli.....	19
Şekil 12. Yoğun Görüntü Eşleme	22
Şekil 13. Yer Örnekleme Aralığı (YÖA).....	23
Şekil 14. Örnek görüntü ve histogram grafiği (URL-3)	23
Şekil 15. Histogram eşitlemesi işlemi görmüş görüntü ve histogram grafiği (URL-3)	24
Şekil 16. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü ile Dalgacık Dönüşümünün zaman ve frekansa dayalı kıyaslanması	25
Şekil 17. Gaussian Ana Dalgacık Fonksiyonlarının grafiksel gösterimi.....	27
Şekil 18. Morlet Ana Dalgacık Fonksiyonlarının grafiksel gösterimi.....	27
Şekil 19. Meksika Şapkası Ana Dalgacık Fonksiyonlarının grafiksel gösterimi	28
Şekil 20. Meksika Şapka ana dalgacık fonksiyonunda ölçek etkisi (Reddy vd., 2014)	29
Şekil 21. Karşılaştırma Matrisi.....	30
Şekil 22. Sørensen-Dice Benzerliği Küme Gösterimi	32
Şekil 23. Yason Kilisesi	34
Şekil 24. Sokkia GCX3 CORS GNSS ölçüm aleti.....	36
Şekil 25. Geomax Zoom 35 Pro Total Station	37
Şekil 26. Nikon a) D3200 Dijital Kamera b) AF-S DX NIKKOR 18-140 mm objektif.....	37

Şekil 27. Faro Focus3D X130 lazer tarayıcı.....	38
Şekil 28. DJI Phantom 4 RTK.....	41
Şekil 29. Poligon ağı ve Total Station ile okunan noktalar	42
Şekil 30. Dijital kamera çekim geometrisi	43
Şekil 31. Referans koordinatların fotoğraflara işlenmesi	44
Şekil 32. Üretilen nokta bulutu verilerinin farklı formatta kaydedilmesi.....	45
Şekil 33. Faro Focus 3D Ölçüm Noktaları	45
Şekil 34. Manuel birleştirilen verilerin bütünleşik nokta bulutu verisi haline getirilmesi ..	46
Şekil 35. Bütünleşik renkli nokta verilerinin görünümü	47
Şekil 36. a) Bütünleşik veriden bölgesel seçimi b) Bölgesel seçimde verilerin dışarı aktarılması	47
Şekil 37. Drone kumanda ekranından uçuş alanı ve yüksekliğinin seçimi	48
Şekil 38. DJI Photogrammetry yazılımında uçuş parametrelerinin girilmesi; a) Kamera açısının belirlenmesi b) Görüntü bindirme oranının belirlenmesi.....	49
Şekil 39. Uçuş süresi ve uçuş verilerin miktarı	49
Şekil 40. İHA ile fotoğraf alımı yapılan noktalar.....	50
Şekil 41. Ön işleme ile ilgili parametrelerin girildiği “Process” penceresi.....	51
Şekil 42. Ön işleme sonucunda tespit edilen kamera konumları ve eşlenik noktaları	52
Şekil 43. Seçilen alana ait nokta bulutu verisi.....	53
Şekil 44. Cloud Compare programında eğik düzlemin görsel tespiti.....	56
Şekil 45. Eğik düzlemin Z değerlerine göre ölçeklenmiş renkli görünümü.....	57
Şekil 46. Nokta bulutunun sıfır düzlemi için hesaplanan dönüşüm matrisi	57
Şekil 47. Nokta bulutunun düzleme indirgenmesi; a) Uydurulan düzlem b) Dönüşüm matrisi	58
Şekil 48. Dönüşüm sonrası verinin Z değerlerine göre ölçeklenmiş görünümü	58
Şekil 49. Nokta bulutlarının hizalanmasında referans yüzeyden nokta seçimi	59
Şekil 50. Nokta bulutlarının hizalanmasında eşlenecek yüzeyden nokta seçimi	59
Şekil 51. Nokta bulutunun referans veri ile hizalanması ve sonuç bilgisi.....	60
Şekil 52. Noktadan noktaya mesafe hesaplanması; a) Referans ve uygulama verisinin seçimi b) Noktadan noktaya mesafe ile gürültü noktalarının tespiti	60
Şekil 53. Noktadan noktaya mesafe ile gürültü noktalarının tespiti.....	61
Şekil 54. Tespit edilen gürültü noktalarının elemine edilmesi a) Referans yüzeye olan mesafe farklılıklarının gösterimi ve (b) Gürültü noktalarından elemine edilmiş yüzey....	62

Şekil 55. Nokta bulutundan alan kesme işlemi; a) Nokta bulutu verisinin aktarılması b) Nokta bulutundan kesilecek alanların çizilmesi	63
Şekil 56. Nokta bulutundan alan kesme işlemi; a) Ana nokta bulutundan kesilen alanlar ve b) Çevrilen alan içinde kalan nokta bulutu verilerinin çıkartılması	63
Şekil 57. Kesilen nokta bulutu verilerinden raster görüntü üretimi	64
Şekil 58. Referans Verilerin Üretilmesi a) Raster görüntünün aktarılması b) Raster görüntüden manuel alan çevirme işlemi.....	64
Şekil 59. DJI Phantom 4 RTK ile elde edilmiş Cephe 1 Alan 1'e ait nokta bulutunun raster derinlik görüntüsü.....	65
Şekil 60. Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş Cephe 1 Alan 1'e nokta bulutu raster derinlik görüntüsü	66
Şekil 61. Nikon D3200 ile elde edilmiş Cephe 1 Alan 1'e nokta bulutu raster derinlik görüntüsü	66
Şekil 62. Cephe 1 Alan 2'ye ait nokta bulutu raster derinlik görüntüleri.....	67
Şekil 63. Cephe 2 Alan 1'e ait nokta bulutu raster derinlik görüntüleri.....	68
Şekil 64. Cephe 2 Alan 2'ye ait nokta bulutu raster derinlik görüntüleri.....	69
Şekil 65. DJI Phantom 4 RTK ile elde edilmiş Cephe 3 Alan 1'e ait nokta bulutunun raster derinlik görüntüsü.....	70
Şekil 66. Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş Cephe 3 Alan 1'e ait nokta bulutunun raster derinlik görüntüsü.....	70
Şekil 67. Nikon D3200 ile elde edilmiş Cephe 3 Alan 1'e ait nokta bulutunun raster derinlik görüntüsü	71
Şekil 68. Cephe 3 Alan 2'ye ait nokta bulutu raster derinlik görüntüleri.....	72
Şekil 69. DJI Phantom 4 RTK ile elde edilmiş Cephe 1 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün histogram eşitleme sonucu oluşan görüntü	73
Şekil 70. Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş Cephe 1 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün histogram eşitleme sonucu oluşan görüntü	73
Şekil 71. Nikon D3200 ile elde edilmiş Cephe 1 Alan 1'e ait nokta bulutu raster derinlik görüntüsünün histogram eşitleme sonucu oluşan görüntü	74
Şekil 72. Cephe 1 Alan 2'ye ait nokta bulutu raster derinlik görüntülerinden histogram eşitleme sonucu oluşan görüntü	75
Şekil 73. Cephe 2 Alan 1'e ait nokta bulutu raster derinlik görüntülerinden histogram eşitleme sonucu oluşan görüntü	76
Şekil 74. Cephe 2 Alan 2'ye ait nokta bulutu raster derinlik görüntülerinden histogram eşitleme sonucu oluşan görüntü	77
Şekil 75. DJI Phantom 4 RTK ile elde edilmiş Cephe 3 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün histogram eşitleme sonucu oluşan görüntü	78

Şekil 76. Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş Cephe 3 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün histogram eşitleme sonucu oluşan görüntü	78
Şekil 77. Nikon D3200 ile elde edilmiş Cephe 3 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün histogram eşitleme sonucu oluşan görüntü	79
Şekil 78. Cephe 3 Alan 2'ye ait nokta bulutu raster derinlik görüntülerinden histogram eşitleme sonucu oluşan görüntü	80
Şekil 79. DJI Phantom 4 RTK ile elde edilmiş Cephe 1 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsü.....	81
Şekil 80. Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş Cephe 1 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsü.....	81
Şekil 81. Nikon D3200 ile elde edilmiş Cephe 1 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsü.....	82
Şekil 82. Cephe 1 Alan 2'ye ait raster derinlik görüntüsünün 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsü.....	83
Şekil 83. Cephe 2 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsü.....	84
Şekil 84. Cephe 2 Alan 2'ye ait raster derinlik görüntüsünün 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsü.....	85
Şekil 85. DJI Phantom 4 RTK ile elde edilmiş Cephe 3 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsü.....	86
Şekil 86. Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş Cephe 3 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsü.....	86
Şekil 87. Nikon D3200 ile elde edilmiş Cephe 3 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsü.....	87
Şekil 88. Cephe 3 Alan 2'ye ait raster derinlik görüntüsünün 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsü.....	88
Şekil 89. Cephe 1 Alan 1'e ait; a) vektör veri ve b) bu veriden üretilmiş maske.....	89
Şekil 90. Cephe 1 Alan 2'ye ait; a) vektör veri ve b) bu veriden üretilmiş maske.....	89
Şekil 91. Cephe 2 Alan 1'e ait; a) vektör veri ve b) bu veriden üretilmiş maske.....	90
Şekil 92. Cephe 2 Alan 2'ye ait; a) vektör veri ve b) bu veriden üretilmiş maske.....	90
Şekil 93. Cephe 3 Alan 1'e ait; a) vektör veri ve b) bu veriden üretilmiş maske.....	91
Şekil 94. Cephe 3 Alan 2'ye ait; a) vektör veri ve b) bu veriden üretilmiş maske.....	91
Şekil 95. Cephe 1 Alan 1'in doğruluk analizi sonuçları.....	92
Şekil 96. Cephe 1 Alan 2'in doğruluk analizi sonuçları.....	93
Şekil 97. Cephe 2 Alan 1'in doğruluk analizi sonuçları.....	94
Şekil 98. Cephe 2 Alan 2'in doğruluk analizi sonuçları.....	95

Şekil 99. Cephe 3 Alan 1'in doğruluk analizi sonuçları.....	96
Şekil 100. Cephe 3 Alan 2'in doğruluk analizi sonuçları.....	97
Şekil 101. Cephelere ait doğruluk analizi sonuç değerlerinin genel ortalama değerleri	98



TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Sokkia GCX3 CORS GNSS teknik özellikleri	35
Tablo 2. Geomax Zoom 35 Pro Total Station teknik özellikleri	36
Tablo 3. AF-S DX NIKKOR 18-140 mm. objektif teknik özellikleri.....	38
Tablo 4. Phantom 4 RTK drone gövdesine ait teknik özellikler	39
Tablo 5. Phantom 4 RTK haritalama fonksiyonlarına ait teknik özellikler.....	39
Tablo 6. Phantom 4 RTK kamerasına ait teknik özellikler	40
Tablo 7. Phantom 4 RTK GNSS teknik özellikleri	40
Tablo 8. Her bir cephe için DJI ve Faro nokta bulutlarının indirgenmesi amacıyla kullanılan kontrol noktalarının koordinatları.....	54
Tablo 9. Cephe 1 Alan 1'in benzerlik sonuç değerleri	92
Tablo 10. Cephe 1 Alan 2'in doğruluk sonuç değerleri	93
Tablo 11. Cephe 2 Alan 1'in doğruluk sonuç değerleri	94
Tablo 12. Cephe 2 Alan 2'in doğruluk sonuç değerleri	95
Tablo 13. Cephe 3 Alan 1'in doğruluk sonuç değerleri	96
Tablo 14. Cephe 3 Alan 2'in doğruluk sonuç değerleri	97
Tablo 15. Cephelere ait doğruluk analizi sonuç değerlerinin genel ortalama değerleri.....	98

1. GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş

Kültür ve tabiat varlıklarını koruma kanununun, 3. maddesinde “Kültür varlıkları; tarih öncesi ve tarihi devirlere ait bilim, kültür, din ve güzel sanatlarla ilgili bulunan veya tarih öncesi ya da tarihi devirlerde sosyal yaşama konu olmuş bilimsel ve kültürel açıdan özgün değer taşıyan yer üstünde, yer altında veya su altındaki bütün taşınır ve taşınmaz varlıklardır.” tanımı yapılmıştır. Bu tanım ile zengin kültürel mirasın var olduğu ülkemizde, bu tanıma uygun kültürel varlıkların korunması ve gelecek nesillere aktarılması gerekmektedir. Asırlardır birçok medeniyeti üzerinde barındırmış ülkemiz, birçok kültürel mirasa sahiptir. Ancak bu kültürel mirasa yapılan bilinçsiz yaklaşımlar ile belgeleme ve koruma çalışmalarının yeterli doğrulukta gerçekleştirilememesinden dolayı pek çok kültürel tarihi yapı yapılan yanlış restorasyonlar ile orijinalliğini kaybetmiş ya da tamamen yıkılarak yok olmuştur. Böylece korunması gereken bu kültürel mirasların gelecek nesillere aktarılması mümkün olmamaktadır. Teknolojide her geçen gün gerçekleşen gelişim ve yenilikler sayesinde, söz konusu bu mirasların korunmasını hızlı, ekonomik ve yüksek doğruluk ile belgelemek mümkündür. Bu belgeleme işleminin gerçekleştirilmesi farklı meslek alanlarının ortak disiplin çalışmaları ile gerçekleşmektedir.

Kültürel varlık olarak tanımlanan mimari bir yapının korunmasına esas gerçekleştirilen üç yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler sırasıyla röleve, restitüsyon ve restorasyon olarak bilinmektedir. Röleve, mimari bir yapının şu anki durumuna ait yıpranma ve eskimeler gibi gözle görülebilir her halinin modellenerek oluşturulan projesidir. Restitüsyon, mimari yapının ilk yapıldığı halinin modellenerek oluşturulan projesidir. Bu işlemde binanın mevcut durumu esas alınarak projelendirme işlemi gerçekleştirilir. Mevcut durumunda bulunan eksiklikler, varsayımlar ile değil tarihi belgeler ya da yetersiz veri eksikliği olması durumunda mimari yapının dönemine ait farklı yapılar ile karşılaştırılarak uygun çizim yöntemleri ile belirtilmesidir. Restorasyon, mimari bir yapının röleve ve restitüsyona bağlı müdahale ile onarılması işlemidir.

Kültürel varlıkların korunmasına yönelik belgeleme çalışmalarında, Yersel Lazer Tarama Sistemleri (YLTS) ve Dijital Kamera Sistemleri (DKS) yaygın olarak kullanılmakta ve dijital ortamda sayısal olarak saklanmasına olan sağlamaktadır. Bu sistemler arasında ekonomik anlamda kolaylıkla DKS elde edilebilmesine rağmen, son 10

yılda hızla gelişen ve veri üretimindeki doğruluğu ile kullanım alanı artan YLTS ön plana çıkmıştır. YLTS, DKS'nin karşısında hassas ve etkili bir alternatif çözüm olarak bulunmaktadır. YLTS ve DKS kullanım alanları;

- Arkeolojik çalışmalar,
- Mimari yapı korunmasına yönelik uygulamalar,
- 3 B şehir modelleme çalışmaları,
- Sanal gerçeklik uygulamaları,
- Altyapı ve madencilik uygulama alanları,
- Deformasyon ölçümü ve yapı imalat kontrolleri,
- Endüstriyel tasarım ve imalat kontrol çalışmaları,
- Olay yeri inceleme delil toplama çalışmaları,

şeklinde özetlenebilir (Özdemir, 2014).

YLTS, doğal ve yapay nesnelerin, birebir (1:1) ölçekte ölçümlerini yaparak ölçülen modellerin nokta bulutu görüntüsünü elde etmeye yarayan ve üç boyutlu görsel ve istatistiksel analizler sağlayabilen sistemdir. YLTS, konumu itibari ile yeryüzü üzerinde kurulan aletler ile gerçekleştirilmekte olup, arazi üzerindeki canlı veya cansız tüm detayları tarama işleme ile noktalar halinde ve gerçek ölçekte veri elde edimini sağlayan sistemdir. Bu sistemin sık kullanıldığı alanlar daha çok mimari yapıların iç ve dış donanımlarını kayıt altına almak esaslı olarak gerçekleştirilmektedir. Ancak bu tip işlemlerin yanı sıra, haritacılık anlamında gerçek koordinat değerleri ile üç boyutlu mekânsal analizlere katkı sağlayan yönleri de bulunmaktadır. Elde edilen veriler içerisinde yalnızca yer üstü yapıların olmadığı, aynı zamanda sayısal arazi modeline eş değer sağlayabilecek verileri de içinde barındırdığından dolayı, üç boyutlu harita oluşumunda önemli katkı sağlamaktadır.

DKS, elektronik yapıda olup fonksiyonel olarak birçok kullanım özelliğine sahiptir. Bu sistemler, taşınabilir ve farklı araçlara donanımsal entegre ile kumanda vasıtası ile kullanılmaları söz konusudur. Bu sistemler kullanım alanlarına göre yersel fotogrametri ve hava fotogrametri olarak tanımlanmaktadır.

Gündelik yaşamda DKS, manzara, doğa, haber ve hobi gibi profesyonel fotoğrafçılık alanlarında kullanıldığı bilinmektedir. Ancak mühendislik ve mimarlık işlemlerinde artık sahada çekilen panoramik görüntülerin yerini, çoklu fotoğrafların çekimleri ve birleştirilmelerinden elde edilen üç boyutlu sayısal modeller almıştır. Modellemelerin gerçek boyuttaki doğrulukları, alan üzerinde alınacak koordinat değerlerinin fotoğraflar üzerinde işlenmesi ile gerçekleştirilmektedir. Gerçek ortamda

yapılan ölçümlerin hassasiyeti ile dijital ortamdan elde edilen hassasiyeti kıyaslandığı takdirde birbirlerine olan yakınlıkları gözlenebilmektedir. Bu yapılan işlemler sayesinde, arazi ortamında gördüğümüz ve göremediğimiz bütün detaylar bilgisayar ortamına aktarılır ve bu sayede zaman kaybı ile görsel kayıpların en aza indirgenmesi sağlanmaktadır.

Literatürde, YLTS ve DKS ile gerçekleştirilen ve bu yöntemlerin birbirine göre üstün yanlarını araştıran pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu bağlamda, Özdemir (2014), YLTS ile yersel fotogrametri ile elde edilen yüksek hassasiyetteki verilerden üretilmiş üç boyutlu verilerin kıyaslanması için bir çalışma yapmış ve bu çalışma YLTS ve DKS ölçüm tekniklerinin modelleme çalışmalarındaki başarımlarına yönelik bulgular sunmuştur. Kıvanç (2019), kültürel miras belgeleme çalışmalarında fotogrametrik yöntem ile YLTS'nin karşılaştırılmasına yönelik bir çalışma yapmıştır. Yine benzer bir çalışma olan yersel fotogrametrik yöntem ile yersel lazer taramanın karşılaştırılması ve doğruluk analizi, Duran vd. (2017) tarafından yapılan çalışmalardır. Gürcan (2012), Klasik ölçme yöntemleri olan Total Station ve GPS ile YLT ölçümlerinden elde edilen verilerin karşılaştırılmasına yönelik çalışma yapmıştır. Şahin (2011), jeodezik arazi çalışması ile elde edilen verileri Yersel Fotogrametride kullanarak YLT tekniği ile iki veri setinden elde edilen noktaların konum doğruluklarının karşılaştırılması üzerine çalışma yapmıştır. Çelik (2016), köprü ayağı etrafındaki oyulma ve birikme desenlerinin Hava Fotogrametrisi ve YLT teknikleri ile yapılan ölçümlerden elde edilen verilerin karşılaştırılmasına yönelik çalışma yapılmıştır. Kaya (2017) tarafından farklı bir bakış açısı ile İHA ve LTS ile elde edilen verilerden üç boyutlu modelleme ve hacim hesaplarının kıyaslanmasına ilişkin bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Dünya genelinde yapılan çalışmalarda YLTS ve DKS ile elde edilen veriler üzerinde birçok alanda ve sayıda araştırma yapılmış olup, günümüzde bu sistemlerin kıyaslanmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir. DKS ile üretilen veriler günümüzde elde edilmesi ve kullanımı hız kazanarak belirli bir seviyede yeterliliğe ulaşmıştır. İlk LiDAR uygulamaları 1990'lı yıllardan beri varlığını gösteriyor olsa da özellikle son 10 yılda bu algılayıcılara erişimin kolaylaşması sayesinde popülerliği oldukça artmıştır. YLTS ise günümüzde DKS'nin kullanıldığı fotogrametrik yöntemlerin yerini almaktadır. Ancak kullanılan her yöntemin zaman, maliyet ve hassasiyete yönelik olarak avantaj ve dezavantajlara sahip olduğu göz ardı edilmemelidir. Bu açıdan bakıldığında YLTS donanımsal olarak pahalı ve taşınması güç olmasına rağmen santimetre (cm) altı doğruluk ile sonuç üretilebilmekte olup DKS sisteminde düşük maliyet ve taşınabilir olmasına rağmen cm civarında doğruluk ile sonuç üretilmesi gerçekleştirilmektedir (Özdemir, 2014).

Valero vd. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, yığma taş duvarların yersel lazer tarayıcı ile ölçülerek elde edilen nokta bulutu verilerinin otomatik segmentasyon işlemi yapılmış ve derz aralıklarının vektörel çizim ile tespiti işlemi 2B sürekli dalgacık analizi yöntemi ile elde edilmiştir. Yapılan bu çalışma Cloud Compare programına eklenti olarak programlanmış olup tez kapsamında üretilen nokta bulutu verileri bu eklenti ile uygulama yapılmasına rağmen sonuç veriler beklenenin aksine doğru sonuçlar çıkartmamıştır.

Ülkemizde ve tüm dünyada yersel ve havadan fotogrametri ile yersel lazer tarayıcılar üzerine çok sayıda araştırma yapılmış olup, gelişen teknoloji ile düşük maliyet ve yüksek hassasiyette nokta bulutu verisi üretimi sürekli olarak araştırılması gereken bir konu olacaktır.

Günümüzde kullanılan YLTS ile yapılan ölçümlerde doğruluk mesafe ve cihazın ölçüm hassasiyetine göre değişiklikler göstermektedir. Bu duruma benzer değişiklikler DKS ile yapılan yersel ve hava ölçümlerinde de görülmektedir. Ancak YLTS ile ölçümde yüksek maliyet, taşınılmasındaki güçlük ve cm altı doğruluk ölçüm için taranan alanda etkin unsurlar olarak bilinmesine rağmen, DKS'ye esas yersel ve hava fotogrametri ölçümlerinde düşük maliyet, kolay taşınabilirlik ve cm civarı doğruluk bu ölçüm yöntemindeki etkin unsurlar olarak bilinmektedir.

Bu çalışmada, YLTS ile elde edilen nokta bulutu verileri ve DKS'ye esas yersel ve hava fotogrametri yöntemleri ile elde edilen nokta bulutu verilerinin doğruluklarının kıyaslanması ve kullanılan cihazların doğruluk analizinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

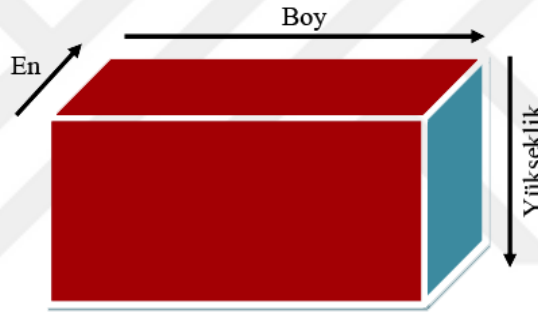
Bu çalışmada gerçekleştirilen uygulamaların birinci bölümünde, YLTS ve DKS'ye esas yersel ve hava fotogrametri işlemlerinin gerçekleştirileceği, geçmiş yıllardaki restitüsyon çalışmaları ile günümüzde kültürel varlığını devam ettiren Ordu İli, Perşembe İlçesi'nde bulunan Yason Kilisesi uygulama alanı olarak seçilmiştir. İkinci bölümünde, seçili uygulama alanında poligon noktalarının tayini ve ölçümlerin mimari yapı üzerinde yapılması işlemi gerçekleştirilmiştir. Üçüncü bölümde, yersel lazer tarama cihazı ile uygulama alanında ölçüm yapılmıştır. Dördüncü bölümde, İHA ile uygulama alanında eğik uçuş yapılarak hava fotoğraflama işlemi gerçekleştirilmiştir. Beşinci bölümde taşınabilir dijital kamera ile uygulama alanında yersel fotoğraflama işlemlerinin gerçekleştirilmiştir. Uygulamanın altıncı bölümünde YLTS ve DKS'ye esas yersel ve hava fotogrametri yöntemleri ile toplanan verilerin bilgisayar ortamına aktarılarak işlenmesi ve işlenmiş sonuç verilerinin doğruluk analizleri yapılmıştır. Uygulamanın son bölümünde elde edilen

doğruluk analizleri ve sonuç verilerinin kıyaslanması işlemi gerçekleştirilerek çalışma tamamlanmıştır.

1.2. Temel Kavramlar

1.2.1. Üç Boyut (3B) Kavramı ve Kullanım Alanları

3B kavramı, yeryüzünde veya uzayda bulunan detayların en, boy ve yüksekliğe sahip olduğu gözle görülebilir durum olarak bilinmektedir (Şekil 1). Günlük yaşamda, gözümüzün algıladığı her bir nesne ve hareket 3B'ye dayalı olarak algılanmaktadır. Ancak dijital ortamdaki görüntü algısı farklı algılanmaktadır.



Şekil 1. Üç boyut kavramı

3B görüntü analizi yöntemlerinden stereoskopik görüntüleme yöntemi 1838 yılında Charles Wheatstone tarafından keşfedilmiş bir yöntem olup uzun yıllar boyunca kullanımı gerçekleşmiştir (URL-1). Stereoskopik görüntüleme, kırmızı ve mavi renklere sahip iki stereo resmin üst üste bindirilmesi ve aynı renge sahip gözlükler ile bakılarak 3B görünüm yöntemidir. Bu yöntemdeki derinlik, göz yanılgısı olarak algılanmaktadır. Teknolojideki anlık gelişimler neticesinde kâğıt üzerinde gerçekleşen bu 3B işlemler yerini bilgisayar ortamında yapılmaya bırakmıştır.

3B kullanımı birçok alana sahip olması itibariyle soyut ve somut kullanıma dayalı olarak iki farklı kullanımda nitelendirilebilir.

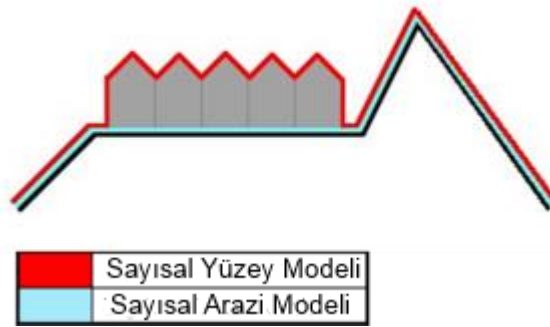
3B soyut kullanım, sanal ortamda üretilmiş modelin yine aynı sanal ortamda kullanılarak yüzeysel temas sağlanmadan görsel temas ile kullanımı olarak tanımlanabilir.

Ancak 3B somut kullanım hem sanal hem de gerçek ortamda üretilen veriler ve malzemelerin entegrasyonu ile oluşarak somut kelimesinin tanımı itibariyle gözle görülebilen ve elle tutularak hissederek algılanabilen bir kullanım olarak tanımlanabilir.

Sanal ortamda 3B verilerin üretiminde 3B yazıcılar, geçmişte varlığını hissetmememize rağmen günümüzde hayatımızın her köşesine uygulayabileceğimiz ve görebileceğimiz bir yer açmıştır. 3B yazıcılardan alınabilecek çıktı verileri, CAD programları üzerinde çizim ve boyutlandırma işlemlerinin ardından elde edilmesinin yanı sıra günümüzde yersel veya hava fotogrametrisi ile lazer tarama teknikleri kullanılarak elde edilen verilerin boyutlandırılması ile çıktı verileri alınmaktadır.

Haritalar, günümüzde sayısal ortamda üç boyutlu olarak üretilmekte olup ölçekli olarak kâğıt üzerine iki boyuta indirgenerek kullanılmaktadır. Bu kullanım somut ve saklanılabilir kullanım olarak nitelendirildiği için kullanımı ve üretimi basit ve kolaydır. Üretilen bu haritalarda arazideki yükseklik bilgileri, eş yükselti eğrilerinden arazi yapısı tanımlanmaktadır.

Ancak araziden elde edilen veriler ve bu veriler sayesinde üretilen üçgen model ya da nokta bulutları ile matematiksel algoritmaların kullanımı gerçekleştirilerek, sanal ortamda Sayısal Arazi Modeli (SAM), Sayısal Yüzey Modeli (SYM) ve Düzensiz Üçgen Ağ Modeli (TIN) gibi veri üretimleri gerçekleşmektedir (Şekil 2). Haritacılık faaliyetleri içerisinde üretilen bu veriler arasında bulunan SAM ile yalnızca yeryüzünde insan yapıları ve bitki örtüsünü içerisinde barındırmayan doğal zemine ait detaylar çıkartılmakta olup, SYM ile zamana dayalı yüzey analizleri, kübaj hesapları, 3B Kent Modeli gibi sonuçlar çıkartılabilmektedir (Selek, 2019). Bu veriler sanal nitelik taşıması sayesinde, arazi üzerinde elde edilmesi istenilen detayları ve bu detaylara ait bilgileri araziye gitmeden elde etmeyi ve bu detayların ve bilgilerin kullanımında kolaylık sağlamaktadır.



Şekil 2. SAM ve SYM Modeli

3B harita üzerinden birçok analiz ve sorgulama işlemi gerçekleştirilebilmektedir. 3B veriler, üzerinden gerçekleştirilebilen eğim, bakı, hacim hesaplamaları ve zamana bağlı değişim analizleri gibi analizler sayesinde birçok uygulama alanında kullanıma olanak sağlamaktadır. Sağladığı hesaplama kolaylıkları sayesinde arazi üzerinde yapılması düşünülen veya projelendirilen bir işin araziye doğru aktırılması ve arazinin doğru bir şekilde kullanımını mümkün olmaktadır.

Günümüzde 3B haritaların kullanım alanları;

- Sanal gerçeklik oyunları,
- Askeri alanlar,
- Alt ve üst yapı hizmetleri,
- Kübaj hesaplamaları,
- 3B kent bilgi sistemleri,
- Yeryüzünün ve yeryüzü üzerindeki yapıların zamansal değişiminin analizi ve takibi,

gibi yeryüzünün alt ve üst yapısını ilgilendiren bütün gerçeğe dayalı eylemler ile sanal ortamlardaki düşünce ve eğlenceye yönelik eylemleri kapsayan alanlar olarak bilinmektedir.

1.3. Lazer Tarama Sistemleri

Lazer tarama sistemleri, hava ve yersel olmak üzere iki farklı konumda kullanıma dayalı eş değer ölçüm prensipleri ile çalışan sistemlerdir. Hava lazer tarayıcılarında hareketli olarak işlem gerçekleştirilmekte iken, yersel lazer tarayıcılar (yersel mobil sistemler hariç) yeryüzünde bir konuma sabitlenerek işlem gerçekleştirilmektedir (Şekil 2).

Aktif algılayıcılar ile nokta bulutu üretiminde yersel tarama ve hava LiDAR (Light Detection and Ranging) sistemlerinden faydalanılmaktadır. Bu cihazlarda, algılayıcı tarafından gönderilen lazer ışınının ölçülen nesneden geri yansması arasında geçen uçuş zamanı veya faz farkı kullanılarak, alet ile nesne arasındaki mesafe, noktasal olarak ölçülerek nokta bulutları oluşturulmaktadır. Hava ve yersel lazer tarama ile elde edilen nokta bulutları 1:1 ölçekte olup arazi koordinat sistemine geçilmesi gerekir, kontrol noktaları veya üzerine entegre GNSS yardımı ile bu işlem kolayca gerçekleştirilebilmektedir.

Lazer tarayıcıların çalışma prensibi; cihazdan yeryüzüne veya yeryüzünde sabit bir nesneye lazer ışının gönderilmesi ve geri dönen lazer ışının cihaza varış süresi arasında geçen zamanın belirlenmesi ya da faz farkı ölçümleri ile hesaplanması olarak tanımlanabilir.

Lazer tarama cihazı göndermiş olduğu lazer ışınları çarpmış olduğu yüzeye bağlı olarak yansıma, emilim ve dağılma gibi gerçekleşen dış etkenlerden dolayı, gönderilen lazer ışını miktarı geri dönen ışın miktarına hiçbir zaman eşit olmamaktadır.

Ham olarak elde edilen nokta bulutları lazer tarama cihazları, içerisindeki lazer tarayıcı sistem ile açı ve mesafe bilgileri kullanılarak obje veya yüzeye ait 1:1 ölçeğinde nokta bulutu verisi elde edilmektedir. Bir nesnenin farklı konumlardan taranması ile elde edilen ayırık nokta bulutu verileri birleştirilerek nesnenin bütüncül olarak temsilini sağlayan nokta bulutları üretilebilir. Bu nokta bulutu, kendi içerisinde lokal bir koordinat sistemine sahip olduğundan, günümüzde birçok CAD programı üzerinden bu verileri jeodezik koordinat sistemine dönüşümleri gerçekleştirilebilir.

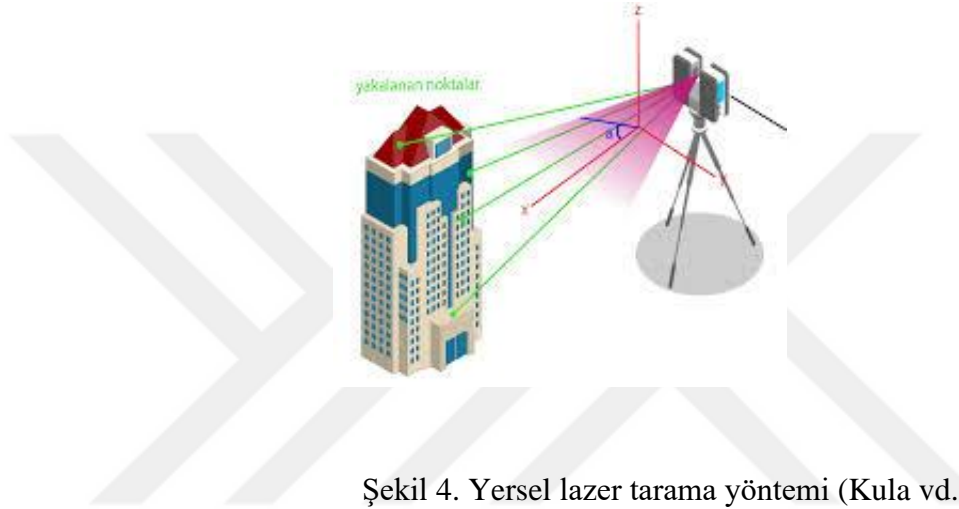
Hava lazer tarama sistemleri (HLTS), il veya ilçe gibi büyük ölçekli alanlarda kullanımı gerçekleştirilmektedir (Şekil 3). Yeryüzü üzerindeki doğal ve yapay tüm nesnelere ait yoğun ve yüksek doğrulukta nokta bulutu elde edilmesini sağlamaktadır. Hava lazer tarayıcılarında hareket halinde tarama işlemi gerçekleştirilmesinden dolayı nokta bulutu doğruluğu, hassasiyeti ve yoğunluğuna olumsuz bir şekilde etkilenmektedir. Bu sistemler ile elde edilen veriler kentsel planlama, ulaşım planlama ve projelendirme, kaçak yapı tespiti gibi kısa sürede büyük alanlarda iş yapma kabiliyetine sahiptir.



Şekil 3. Hava lazer tarama yöntemi (URL-2)

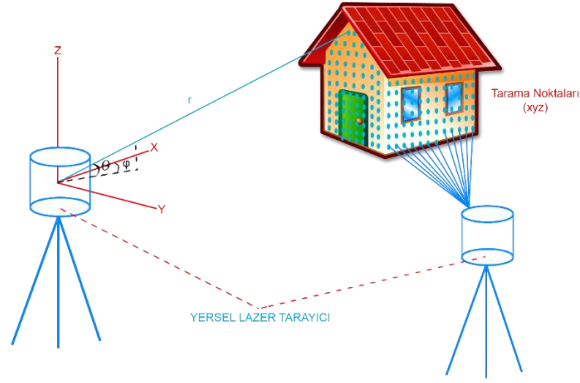
Yersel lazer tarama sistemleri (YLTS), küçük ölçekli olacak şekilde yeryüzü üzerinde insan yapımı ve doğal nesnelere ölçümünde kullanılmaktadır (Şekil 4). YLTS

ile 3B modelleme tekniklerinin kullanıldığı endüstriyel uygulamalar, mimari ve arkeolojik projeler, adli tıp ve kriminoloji gibi kısa sürede küçük alanlarda iş yapma kabiliyetine sahiptir (İçel, 2018). Bu sistemlerin, HLTS'ye göre kolay elde edilebilir olması, sabit konumdan işlem görmesi ve taşınmasının kolay olmasından dolayı ölçülecek nesnenin pek çok farklı konumdan taranmasına olanak sağlayarak modeli eksiksiz bir şekilde üretebilmesinde, ölçümü yapılan nesneye yakınlığından dolayı yoğun veri üretimi ayrıca gibi avantajlı yönleri bulunmaktadır.



Şekil 4. Yersel lazer tarama yöntemi (Kula vd., 2017)

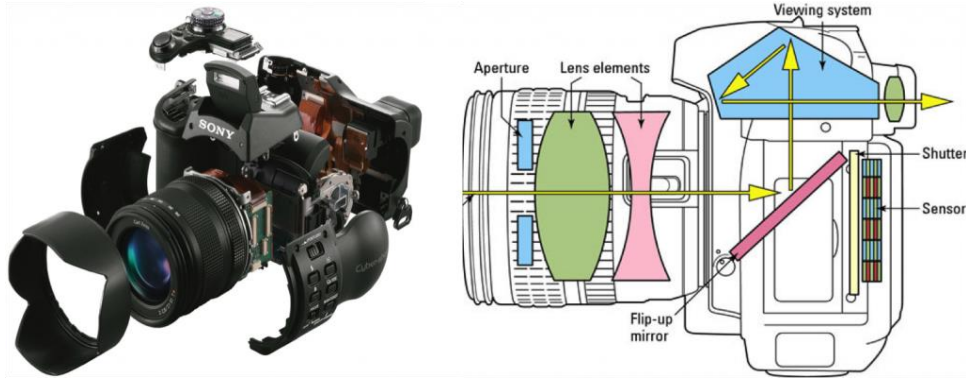
Yersel lazer tarama sistemleri, günümüzde olay yeri inceleme, sanayi sektöründe katı obje taramaları ile üretilmeyen teknik parçaların üretimleri, yedek parça üretimi ve onarımında, jeolojik heyelan bölgelerinde heyelan öncesi analizlerde, tarihi kalıntıların kayıt altına alınmasında ve röleve çizimlerinin oluşturulmasında, 3 boyutlu görsel ve konumsal duyarlılığı yüksek kent bilgi sistemlerinin oluşturulması gibi pek çok farklı bilim alanında kullanılan ve 3B dünyanın nokta bulutu veri formatında kayıt altına alınmasını sağlayan sistemlerdir (Şekil 5).



Şekil 5. Yersel lazer tarayıcı ile üç boyutlu nokta bulutu üretimi

1.4. Dijital Kameralar

Dijital kameralar, günümüzde sıklıkla hobi amaçlı fotoğraf ve video çekimlerinde kullanılıp sosyal medya ortamında birçok paylaşımaya yüksek çözünürlük kaliteleri ile temel oluşturmaktadır (Şekil 6). Mesleki anlamda ise profesyonel fotoğrafçılık alanlarında yaygın bir yer almıştır. Ancak fotoğraf makineleri farklı meslek gruplarında ve birçok konuda kazanç kapısı olarak görülmektedir.



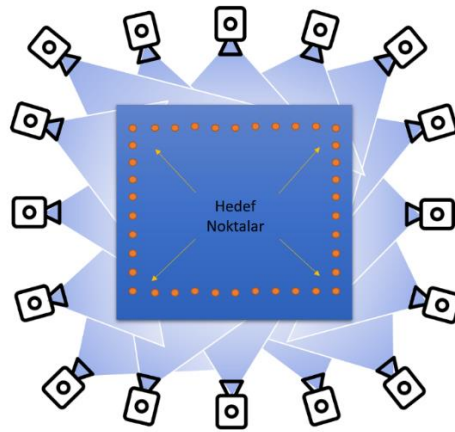
Şekil 6. Dijital kamera görseli ve bileşenleri

Dijital kameralar, birçok optik, mekanik ve elektronik parçayı içerisinde barındırmaktadır. Bu mekanik parçaların elde edilen görüntü üzerinde kalite bağlamında etkileri bulunmaktadır. Görüntü kalitesini etkileyen faktörler;

- Sensör (CCD veya CMOS),
 - Diyafram (f) Değeri,
 - Optik İmaj Sabitleyici (OIS),
 - Işık Duyarlılığı (ISO),
 - Odaklama,
 - Odak Hızı,
 - Objektif,
- şeklinde sıralanmaktadır.

1.4.2. Dijital Kameraların 3B Modellemede Kullanımı

Dijital kameralar, bindirmeli fotoğrafıma tekniğı ile 3B modelleme uygulamalarında kullanılmaktadır. Yersel fotogrametrik yöntem olarak bilinen bu işlemler hava fotogrametrisine benzerliğı ile bir objenin doğrudan ölçülerek 3B model çıkartılması yerine, objeye ait görüntüler üzerinden ölçüm işlemi gerçekleştiren teknolojilerdir. Bu yöntem ile 3B verilerin üretilmesi için farklı konumlardan sıralı ve bindirmeli fotoğrafların çekilmesi gerekmektedir (Şekil 7). Çekilmesi gereken fotoğrafların, objenin konumu ve şekline göre uygun görüntüleme açının belirlenmesi, obje üzerindeki kontrol noktalarının sayısı ve konumlarının nasıl olması gerektiğine dair teknik metotlara dikkat edilerek elde edilmesi gerekmektedir.



Şekil 7. Yersel fotogrametrik yönteminde fotoğraf çekim planlaması

Teknik olarak yakın fotoğraflama tekniği ile 3B nesnenin üretimi, taşınabilir fotoğraf makinesinin sabit objektif aralığı, sabit mesafe ve fotoğrafların bindirme oranları dikkate alınarak fotoğraflama işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Yapılan bu işlemler ile oluşturulan 3B verinin ölçeklendirilmesi, obje üzerinde ölçülen kontrol noktalarının fotoğraflar üzerine tayini halinde gerçeğe yakın bir boyut ile 3B nesne üretimini sağlayabilmektedir.

1.5. İnsansız Hava Araçları (İHA)

İlk olarak askeri alanda kullanıma başlayan İHA'lar son on yıl içerisinde artan taşıma kapasiteleri ve sağladıkları pek çok farklı algılayıcı entegrasyonlar ile günümüzde haritacılık alanında sıklıkla kullanılan bir platformdur. Kullanım alanı kısıtlı olan bu cihazlar için düzenlenen kanun ve yönetmelikler ile sivil hayatta kullanımları gerçekleşmiştir. Günümüzde hobi amaçlı olarak video ve fotoğraf çekimi ile yarış amaçlı kullanılan bu araçlar harita mühendisliği mesleğinde fotogrametrik ölçümlerde fotoğrafların yoğun görüntü eşleme yöntemi ile piksel bazlı nokta bulutu veri üretimi ve bu ölçümlere dayalı jeodezik koordinatlara sahip ortogörüntü, SYM ve SAM üretiminde de kullanılmaktadır.

İHA'ları, insanlı hava araçlarının kullanımı ile gerçekleştirilen fotogrametrik ölçümlerin aksine ölçülmesi gereken alana yakın mesafede işlem gerçekleştirerek, ulaşılması zor ve insanlı hava araçlarının kullanılamayacağı alanlarda kullanılması avantaj olarak görülmektedir. Dar alanlarda, anlık gerçekleştirilmesi düşünülen klasik hava fotogrametrisi uygulamalarında yüksek maliyet ve veri hacminden dolayı İHA'ların kullanılması daha ekonomik veri üretimine olanak sağlamaktadır. İHA'lar yüksek çözünürlükte Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve 3B modelleme gibi kullanım alanlarına sahiptir (Öztürk vd., 2017).

İHA'lar geçmiş zamanda askeri amaçlara hizmet veren bir alet olarak bilinmektedir. Günümüzde yasal kullanıma açılması ile birçok sektörde kullanılmasına olanak sağlanmıştır. İHA'lar günümüzdeki kullanım alanları;

- Askeri alanda keşif, gözetleme ve imha etme,
- Sivil savunma alanın arama kurtarma, keşif ve afet yönetimi,
- Kargo taşımacılığı,
- Zirai ilaçlama ve verimlilik analizleri,

- Fotoğrafçılık sektöründe dış çekimler (doğa, düğün vb.),
- Büyük ölçekli harita yapımları,
- Hobi amaçlı kullanımlar,

şeklinde sıralanmaktadır.

İHA'lar azami kalkış ağırlıklarına göre sınıflara dört sınıfa ayrılmaktadır. Azami kalkış ağırlığı 500 gr (dahil) ile 4 kg arasında olanlar İHA0 sınıfı, 4 kg (dahil) ile 25 kg arasında olanlar İHA1 sınıfı, 25 kg (dahil) ile 150 kg arasında olanlar İHA2 sınıfı ve 150 kg (dahil) ile daha fazla olanlar İHA3 sınıfı olarak nitelendirilmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Azami kalkış ağırlıklarına göre İHA sınıfları a) İHA0, b) İHA1, c) İHA2, d) İHA3

1.5.1. İHA Teknik Bileşenleri

İHA'lar birçok teknik donanıma sahiptir. İHA'nın genel görünümü incelendiğinde gövde ve kontrol kumandasından ibaret olarak bilinmektedir. Ancak bu genel görünümü kendi içerisindeki teknik ve mekanik bileşenlerine indirgediğimiz takdirde, karmaşık olarak gözükebilen ancak kendi içerisinde anlam ifade eden bir donanım olarak görülmektedir.

İHA kontrol kumandası tek başına bir bütünlük arz eden ünite olarak bilinmektedir. Kumanda üzerindeki yönlendirme ve komut panelleri ile hareket ve görevlendirmeler gerçekleştirilmektedir.

İHA'lar ana gövdesinde;

- Pervaneler,
- 2 eksenli motorlar,
- Entegre Kamera,
- Kamera Gimbal,
- Anakart,
- Kayıt ünitesi,
- Hafıza Kartı,
- Sinyal Kontrol Ünitesi,
- GNSS Ünitesi,

bulunmaktadır.

1.5.2. İHA ile Görüntü Alımında Hassasiyeti Etkileyen Faktörler

İHA'lar kullanımı kolay olan cihazlardır. Bu cihazlar ile yüksek kalitede görüntüler elde edilmesi için dikkat edilmesi gereken hususlar bulunmaktadır. Bu hususlar mekanik ve çevresel faktörler olarak bilinmektedir.

1.5.2.1. Mekanik Faktörler

Görüntü elde edinim amaçlı İHA'lar donanımsal olarak dış gövdesine bütünleşmiş kamera sistemlerine sahiptir. Kamera, İHA üzerine sabit (Z) eksenli ve değişken (X, Y ve

Z) eksenli olarak iki grupta incelenmekte olup görüntü üretim kalitesini etkileyen mekanik faktörler olarak bilinmektedir.

Sabit eksenli kameralar İHA gövdesi ile bütünleşik olarak bulunan ve kumanda üzerinde yalnızca düşey eksende yönlendirilebilen kameralardır. Bu kameraya sahip İHA’larda yatay eksende döndürülerek görüntü alınabilmesi için kumanda yardımı ile İHA bütün halde kamerası görüntü yönüne bakacak şekilde çevrilmesi gerekmektedir. Sabit kamera sistemleri, İHA’ların ileri uçuş yönünde ve ağırlık merkezi dışında yerleştirilmiştir. Bu kameralar Ağırlık merkezi dışında oldukları ve İHA’nın havada dengede kalmasını sağlamak için küçük boyutlara sahip olup yeterli çözünürlük kalitesine sahip değillerdir. Aynı zamanda İHA’nın havada hareketi veya askı esnasında, rüzgâr hızı ile pervaneler ve motorların oluşturmuş olduğu titreşimden dolayı görüntü kalitesi oldukça fazla etkilenmektedir.

Değişken eksenli kameralar İHA gövdesine demonte olarak sonrasında ilave edilebilen ve değiştirilebilen kameralardır. Bu kameralar gövde ile bütünleşik olarak kullanılmamakta olup kamera ile İHA arasında, Gimbal adı verilen titreşimi elemine eden ve kameranın yönlendirilmesini sağlayan cihaz ile bağlanmaktadır (Şekil 9). Gimbal, sabit bir yöne çevrilmiş kameranın olası esen rüzgâr ve İHA’nın çalışma esnasındaki titreşimi elemine ederek kaliteli görüntü elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu cihaz İHA hareket halinde iken kaliteli fotoğraflamanın yanı sıra kaliteli video kaydına katkı sağlamaktadır. Hareketten kaynaklı bulanık görüntülerin oluşmasını en az indirmektedir.



Şekil 9. İHA'lara entegre edilebilir Gimbal örneği

1.5.2.2. Çevresel Faktörler

İHA'ların çalışmasını etkileyen çevresel faktörler, İHA'nın mekanik özelliklerinden kaynaklı olmayıp hava koşulları olarak adlandırılan rüzgâr ve güneş ışığı ile yeryüzünden gelen ışık yansımaları olarak bilinmektedir.

İHA'lar ağırlık merkezi olan ve bu ağırlık merkezine göre hava sabit ve dengeli olarak kalacak şekilde tasarlanmıştır. Ancak havada hareket halinde veya askıda kalma süresi içerisinde farklı yüksekliklerde farklı rüzgâr akımlarına maruz kalmaktadır. Bu nedenlerden ötürü İHA'da oluşacak sallantı hareketleri veya küçük çaptaki titremeler, görüntü alımlarında olumsuz etkiye sebebiyet vererek sağlıklı veri alımına neden olmaktadır. Görüntü kalitesinde kalitesiz sonuç oluşturabilecek bu durumlara çözüm olarak çalışma alanına gidilmeden önce hava durumu kontrol edilmeli ve çalışma alanına ulaşıldığında rüzgâr hızı tayin edilerek uçuş planlaması bu bilgiler doğrultusunda düzenlenmesi gerekmektedir.

İHA'lar düşey mesafe belirlenen sabit yüksekliğin ardından, otonom belirlenmiş yatay yüzeydeki uçuş görevi esnasında; çalışma alanındaki nesnelere, nesnenin yansıtıcılık karakteristiği, güneş ışığının geliş açısı ve İHA'nın konumuna göre alımı yapılan görüntülerde farklı parlaklık etkisine maruz kalabilmektedir.

Kamera eksenini yatay eksene dik olması halinde güneş ışığına direkt maruz kalmamaktadır. Ancak arazi yüzeyinde bulunan yüksek yansıtma özelliklerine sahip olan yüzeylerden güneş ışınlarının yansıtılması sonucunda yatay ekseninde olan hareketi esnasında kamera bu parlamaların etkisine maruz kalabilmektedir. Bu etken fotoğraf çekimleri esnasında meydana geldiğinde fotoğraf üzerinde bölgesel parlaklığa sahip veriler ile karşılaşmaktadır. Yaşanabilecek bu olumsuz etkiyi azaltmak adına ortogörüntü çıkartılması istenilen alanda güneş ışınlarının yeryüzüne dik açıyla gelmediği bir zaman diliminin seçilmesi daha uygun olacaktır.

1.5.3. 3B Modellemede İHA Kullanımı

Uydu ve uçaklar ile elde edilen verileri temin etmek maddi anlamda güç gerektirmektedir. Bu veriler arazi üzerinde yer kontrol noktalarının tesisi ve bu noktaların statik ölçümleri yapılması ile gerçekleştirildiğinden dolayı geniş bir zaman aralığına sahip olmayı gerektirmektedir. Aynı zamanda çekilen görüntülerin birleştirilmesi işlemini,

yalnızca fotoğrafı çeken kişi veya kurumlar gerçekleştirmekte olup üretilen sonuç verilerde eksik ve hatalı işlemlerin uygulanması ve buna bağlı olarak hatalı veri teminleri gerçekleştirilebilmektedir. Ancak günümüzde her harita mühendisi kolaylıkla temin edebileceği İHA'lar ile harita yapımında kullanılacak ortogörüntü üretimi işlemlerini en başından en sonuna kadar gerçekleştirebilmektedir.

İHA ile harita yapım işlemlerinin, manuel olarak Total Station ve GNSS-CORS gibi yersel ölçü aletleri ile yapılan harita yapım işlerinin kıyaslanması sonucunda, zaman ve maliyet anlamında büyük farklar ortaya çıkmaktadır. Arazi üzerinde manuel olarak bir hafta yapılabilecek olan bir harita üretim işini İHA ile 1 gün içerisinde üretmek mümkün hale gelmiştir.

İHA'lar harita yapımındaki teknikleri;

- Yer kontrol noktalarının tesisi ve statik alım işlemleri,
- İHA ile uçuş işleminin gerçekleşmesi ve fotoğraflama işleminin tamamlanması,
- Elde edilen fotoğrafların dijital ortama aktarılması ve kıymetlendirilmesi,
- Kıymetlendirme işlemi sonucu oluşan veriler üzerinden manuel çizim ve çeşitli programların kullanımı ile otomatik harita üretiminde istenilen detayların oluşturulması işlemi,
- Üretilen haritaların paftalanması,

şeklinde sıralanmaktadır.

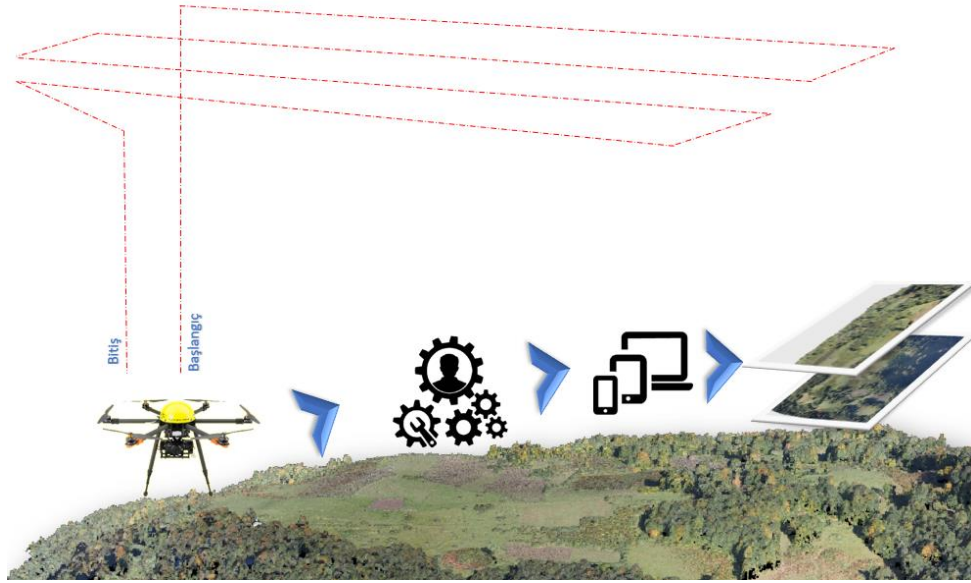
Kültürel mirası korumak adına yapılan belgeleme işlemlerinde, arazi yapısının imkân vermediği ve ulaşımı imkânsız olan alanlarda bulunan yapılara ait tüm detaylar İHA ile hızlı ve ekonomik olarak elde edilebilmektedir (Kıvanç, 2019). Bu elde edilen veriler sayesinde, manuel olarak gerçekleştirilen ölçme işlemleri ile zaman ve iş gücünde kazanç sağlayarak geleneksel olarak yapılan röleve çalışmaları gerçekleştirilebilmektedir.

1.6. Fotogrametrik ve Nokta Bulutu Üretimi Matematik Model

Tarama işleminin tamamlanmasının ardından elde edilen yoğun lazer sinyallerinin oluşturduğu noktalar kümesine nokta bulutu adı verilmektedir. 3B bilginin üretilmesinde aktif (LiDAR) ve pasif (kamera) algılayıcılardan faydalanılmaktadır. Bu algılayıcı sistemler ile 3B bilginin üretilmesinde modellenecek nesnenin üzerinden belirli örnekleme aralıkları ile üretilen noktasal konum bilgilerinden faydalanılmaktadır. 3B bilginin noktasal ifadesine nokta bulutu denilmektedir. Bu nokta bulutu verileri, pasif algılayıcıların

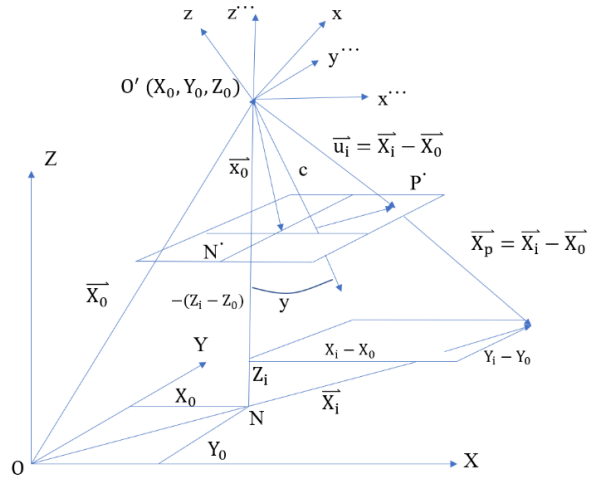
kullanıldığı yersel ve hava fotogrametri yöntemi ile elde edilen görüntülerden yoğun eşleme yöntemi ile piksel bazlı nokta bulutu üretebilmektedir. Aktif algılayıcıların kullanıldığı LiDAR ölçümü ile herhangi bir eşleme yöntemine gerek kalmaksızın nokta bulutu üretimi gerçekleştirilebilmektedir.

Fotoğraflar, objelerden yayılan veya yansıyan elektromanyetik enerjinin kaydedilmesi sonucu meydana gelmektedir. Bu kaydedilen veriler ile renk, ton ve ölçek değerlerinin tespiti gerçekleştirilmektedir. Piksel bazlı nokta bulutları, bindirmeli olarak çekilen fotoğrafların eşlenik noktalarının bir görüntü eşleme algoritması (SGM) ile tespit edilmesi ve ardından iç ve dış yöneltme parametrelerinden faydalanarak kolinearite denklemleri ile 3B nokta koordinatlarının hesaplanması şeklinde üretilen bir veridir. Bu veriler ilk oluşum aşamasında ölçeksiz olarak meydana gelmekte olup, görüntüler üzerinde belirlenen kontrol noktaları ile ölçekli hale getirilmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. İHA ile ortogörüntü ve nokta bulutu üretim aşamaları

Fotogrametrik yöntem ile kıymetlendirme aşamasında gerçekleşen iki yöntem işlem adımı ile gerçekleştirilir. Bu işlem adımlarından birincisi iç yöneltme parametreleri olan c (kamera sabiti) ve x_0, y_0 (asal nokta koordinatları)'ın hesaplanmaktadır. İkinci adım olarak dış yöneltme parametreleri olan cisim koordinatları X_0, Y_0 ve Z_0 değerleri ile ω, ϕ ve χ eğiklik ve dönüklük değerleri hesaplanmaktadır.



Şekil 11. Fotogrametrik Matematiksel Modeli

Fotoğraf ve cisim uzayı arasındaki gerçekleşen matematiksel model (Şekil 11) ilişkisi ortogonal dönüşüm matrisi ile belirlenmektedir.

- Kartezyen koordinat sisteminin orijin (O) değerleri X, Y, Z ,
- Obje noktası (P_i) koordinat değerleri X_i, Y_i, Z_i ,
- İzdüşüm merkezi (O') koordinatları X_0, Y_0, Z_0 ,
- Fotoğraf ve cisim koordinatları arasındaki ölçek faktörü λ_i ile dönüklük matrisi R gereklidir.

$$\vec{x}_i = \vec{x}_0 + \lambda'_i R \cdot \vec{p}_i' \quad (1)$$

(1) nolu denklem genişletilmesi ile (2) nolu denklem elde edilmiştir.

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X'_0 \\ Y'_0 \\ Z'_0 \end{pmatrix} + \lambda'_i R \begin{pmatrix} x'_i \\ y'_i \\ c \end{pmatrix} \quad (2)$$

Fotoğraf koordinat sistemi ile cisim koordinat sistemi arasındaki elde edilen (2) nolu denklemde aynı yönlere işaret etmesinde kolaylık sağlanması için (c) kamera sabiti

eksi işareti olacak şekilde girilmektedir. Her iki sistemdeki birim vektörler ile ortogonal olarak birbirine dik ve her eksen aynı ölçekte bulunmaktadır. Bu sebepten dolayı, (3) nolu eşitlikle R matrisinin transpozesi R^T kullanılarak eşitlik sağlanır.

$$\begin{pmatrix} x'_i \\ y'_i \\ -f \end{pmatrix} = \frac{1}{\lambda'_i} R^T \begin{pmatrix} X_i & -X'_0 \\ Y_i & -Y'_0 \\ Z_i & -Z'_0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

R^T matrisinin hesaplanması, eğiklik ve dönüklük değerlerinin (R_ω , R_φ , R_χ) matrisleri (4), (5) ve (6) nolu eşitliklerle ayrı ayrı hesaplanarak (7) ve (8) nolu eşitlikteki çarpım işlemi ile hesaplanmaktadır.

$$R^T_\omega = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & \sin \omega \\ 0 & -\sin \omega & \cos \omega \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$R^T_\varphi = \begin{pmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$R^T_\chi = \begin{pmatrix} \cos \chi & \sin \chi & 0 \\ -\sin \chi & \cos \chi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$R^T = \begin{pmatrix} \cos \varphi \cos \chi & \sin \chi \cos \omega + \cos \chi \sin \varphi \sin \omega & \sin \chi \sin \omega - \cos \chi \sin \varphi \cos \omega \\ -\sin \chi \cos \varphi & \cos \chi \cos \omega - \sin \chi \sin \varphi \sin \omega & \cos \chi \sin \omega - \sin \chi \sin \varphi \cos \omega \\ \sin \varphi & -\sin \omega \cos \varphi & \cos \varphi \cos \omega \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$R^T = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{21} & r_{31} \\ r_{12} & r_{22} & r_{32} \\ r_{13} & r_{23} & r_{33} \end{pmatrix} \quad (8)$$

Hesaplanan R^T değeri (3) nolu eşitlikte yerine yazılarak (9) nolu eşitlik elde edilir.

$$\begin{pmatrix} x'_i \\ y'_i \\ -f \end{pmatrix} = \frac{1}{\lambda'_i} \cdot \begin{pmatrix} r_{11} & r_{21} & r_{31} \\ r_{12} & r_{22} & r_{32} \\ r_{13} & r_{23} & r_{33} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_i & -x'_0 \\ y_i & -y'_0 \\ z_i & -z'_0 \end{pmatrix} \quad (9)$$

İşlemlere başlangıç aşamasında bilinen kamera sabiti (c) ile birinci ve ikinci denklemi, üçüncü denklem ile bölünerek ortadan kaldırılmasıyla (10) ve (11) nolu eşitliklerdeki kolinearite denklemleriyle işlem sonuçlandırılır.

$$x'_i = -c \frac{r_{11}(X_i - X'_0) + r_{12}(Y_i - Y'_0) + r_{13}(Z_i - Z'_0)}{r_{31}(X_i - X'_0) + r_{32}(Y_i - Y'_0) + r_{33}(Z_i - Z'_0)} \quad (10)$$

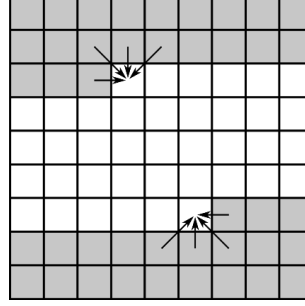
$$y'_i = -c \frac{r_{21}(X_i - X'_0) + r_{22}(Y_i - Y'_0) + r_{23}(Z_i - Z'_0)}{r_{31}(X_i - X'_0) + r_{32}(Y_i - Y'_0) + r_{33}(Z_i - Z'_0)} \quad (11)$$

eşitlikleri ile fotogrametrik matematiksel işlemler ifade edilmiştir (Konecny, 2003).

Dijital fotoğraf makineleri ile Sayısal Arazi Modeli (SAM), Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM), Ortogörüntüler ve Nokta Bulutu üretimi gibi birçok yüksek çözünürlükte ve doğrulukta ürünlerin üretilmektedir. Bu alandaki gelişmeler üretilen ürünlerin kalite ve doğruluğunu arttırmasına yönelik birçok çalışmaya olanak sağlamıştır. Dijital görüntülerden, nokta bulutu elde etme işlemi Yoğun Görüntü Eşleme prensiplerine bağlı olarak üretilmektedir. Bu prensip Semi Global Matching (SGM) prensibi karşılık gelmektedir (Limandal, 2019).

Yoğun görüntü eşleme (Şekil 12) prensibi, yüksek bindirme oranına sahip olacak şekilde çekilmiş hava fotoğraflarının bir piksel büyüklüğündeki aralıklarda eşleşmeyi ifade etmektedir (Şehsuvaroğlu vd. 2014). Bu yöntemde her bir piksele yükseklik değeri

hesaplanabilmekte olup bu yüksek yoğunlukta SYM ve SAM üretimi gerçekleştirilebilmektedir (Hirschmüller, 2008)



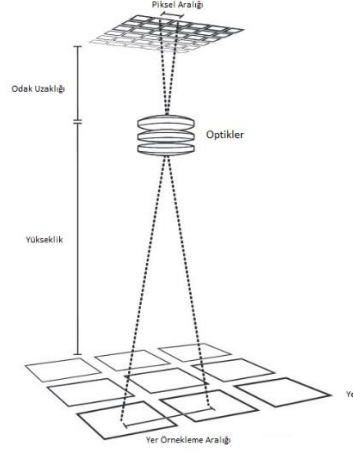
Şekil 12. Yoğun Görüntü Eşleme

SGM, hava fotogrametrisi ve yersel fotogrametri yöntemleri ile elde edilmiş aynı alanı gören çok sayıda bindirmeli fotoğrafların eşleştiği piksellere derinlik değeri kazandırmayı amaçlayan yöntemdir. Bu yöntem (12) nolu eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$E(D) = \sum_p (c(p, D_p) + \sum_{q \in N_p} P_1 T[|D_p - D_q| = 1] + \sum_{q \in N_p} P_2 T[|D_p - D_q| > 1]) \quad (12)$$

“Global Cost” fonksiyonu olarak adlandırılan bu eşitlikte (p) pikseller üzerindeki üretim değerlerini, (P_1) pikselle üzerindeki en küçük üretim değerlerini ve (P_2) pikseller üzerindeki en büyük üretim değerlerini ifade etmektedir.

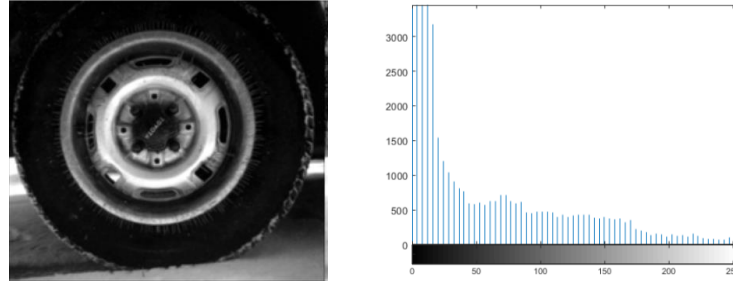
Bu yöntem, yeryüzü veya cisim üzerinde ölçülen ardışık iki pikselin merkezleri arasındaki mesafe olan Yer Örnekleme Aralığı (YÖA) değeri ile orantılı olarak gerçekleştirilmektedir. YÖA değerinin küçük olması halinde, yüksek çözünürlük ve doğrulukta veri üretimi gerçekleştirilebilir (Şekil 13). YÖA değerinin artması halinde fotoğraflama alanı artarken, yerin yüzeyini temsil edecek pikseller arası mesafe bu bağlamda artış göstermektedir. Bu da fotogrametrik birleşim sonucunda ortogörüntüde düşük çözünürlüklü görüntü elde edilmesine neden olmaktadır. Bu durum hava fotogrametrisi ve yersel fotogrametri gibi her iki fotogrametri türünde dikkat edilmesi gereken bir husus olarak ön plana çıkmaktadır.



Şekil 13. Yer Örnekleme Aralığı (YÖA)

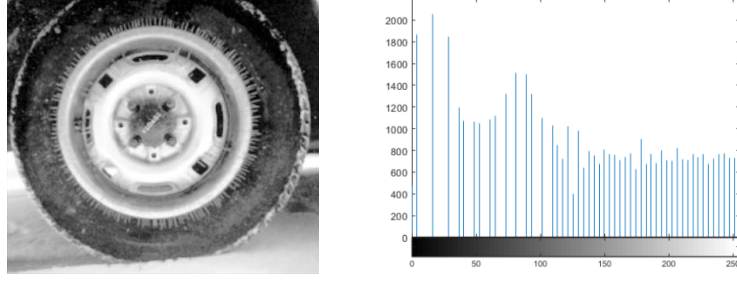
1.7. Histogram Eşitleme ile Görüntü İyileştirme Yöntemi

Histogram, herhangi veri topluluğunun sıklığını görsel anlamda belirme için kullanılan istatistiksel grafik olarak tanımlanmaktadır. Bu grafik yöntemi (Şekil 14), fotoğraflardaki gri piksel değerlerinin dağılımını görmemize olanak sağlamaktadır (Yılmaz, 2018).



Şekil 14. Örnek görüntü ve histogram grafiği (URL-3)

Histogram eşitleme, grafik üzerinde belirlenen dağılık gri piksel dağılımını eşit bir şekilde yayılımını sağlayan görüntü iyileştirme yöntemi olarak bilinmektedir. Ancak bu yöntem ile her görüntüde iyileştirme söz konusu olmamaktadır. Bu eşitleme yöntem, görüntü üzerindeki görünürlüğü az olan bölgelerde karşıtlık düzeltmesi yaparak iyileştirmeyi amaçlamaktadır (Şekil 15) (Yılmaz, 2018).



Şekil 15. Histogram eşitlemesi işlemi görmüş görüntü ve histogram grafiği
(URL-3)

Sayısal bir görüntünün histogram eşitleme işlemi üç adımda gerçekleşmektedir. Birincil işlem olarak sayısal görüntünün sahip olduğu 0-256 renk değeri aralığındaki gri renk değerlerinin (13) nolu eşitliği ile normalize histogram hesaplanmaktadır.

$$p_f(f_k) = \frac{n_k}{n} \quad k = 0, 1, 2, \dots, L - 1 \quad (13)$$

(13) nolu eşitlikte;

- (f) sayısal görüntü,
- (L) görüntüdeki olası genlik değerlerinin toplam değeri,
- (k) görüntünün her bir pikselinin 0 ile $L-1$ arasındaki değişken değeri,
- (n) görüntüdeki toplam piksel sayısını,
- (n_k), (f_k) genlikli piksel sayısını,

temsil etmektedir.

(13) nolu eşitlikte $p_f(f_k)$ 'nın (f_k) 'ya göre çizdirilerek grafikte görüntü histogram çizimi gerçekleştirilmektedir.

İkinci adım olarak hesaplanan görüntü histogramı ile her renk değerine tayin edilen indisin kendisinden bir önceki gelen indislerin toplanmasıyla birikimli histogram değeri hesaplanmaktadır. Son adım olarak birikimli histograma ait tüm değerlerin görüntüde

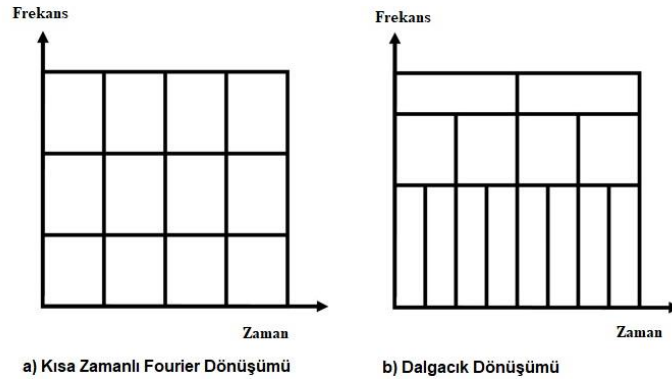
olması istenilen en büyük değer ile çarpılarak toplam piksel sayısına oranı (14) nolu eşitlik ile $T_f(f_k)$ 'nın (f_k) 'ya göre histogram eşitleme işlemi gerçekleştirilmektedir (Dikmen vd. 2014).

$$T(f_k) = \sum_{j=0}^k p_f \cdot (f_j) \rightarrow = \sum_{j=0}^{i=0} \frac{n_j}{n} \quad (14)$$

1.8. Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık ifadesi ilk kez Alfred Haar tarafından 1909 yılında ortaya atılmış olup dalgacık analizi yöntemi birçok araştırmacı tarafından ele alınarak geliştirilmiştir (Albora vd. 2008). Bu yöntem sismograf ölçümleri, sinyal analizi, ses analizi, görüntü analizi, MR görüntüleme ve analizi gibi birçok frekansa dayalı iş ve işlemlerde kullanılmaktadır. (Aygün, 2006)

Dalgacık dönüşümlerinin ortaya çıkmasında Fourier Dönüşümlerinden olan Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümüne (KZFD) alternatif olarak geliştirilmiş bir algoritmaya sahiptir (Koçoğlu, 2009). Her iki dönüşümün sahip olduğu algoritmalarda zaman ve frekansa bağlı ölçümler gerçekleşmektedir. KZFD ile yapılan analizler bir sinyalin zamana bağlı değişimlerini sabit bir şekilde tespitini yapabilir iken Dalgacık Dönüşümlerinde sinyal içerisindeki frekansların zamana bağlı sürekli değişimlerinin tespitini gerçekleştirmektedir (Şekil 16) (Sak vd., 2019).



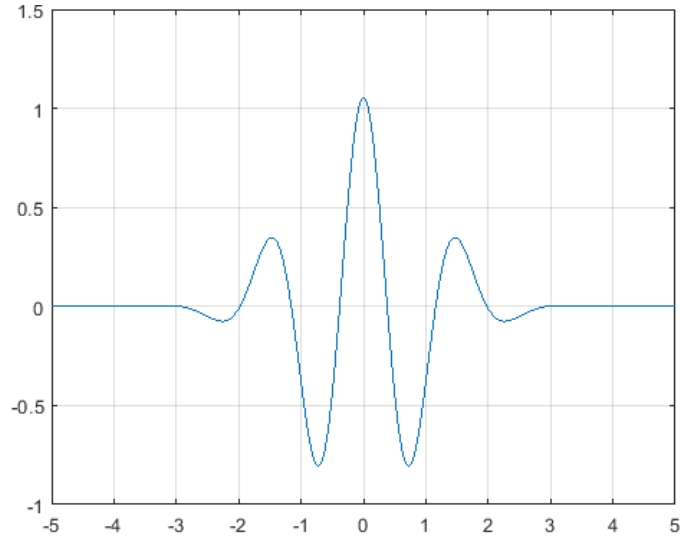
Şekil 16. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü ile Dalgacık Dönüşümünün zaman ve frekansa dayalı kıyaslanması

Dalgacık dönüşüm analizlerinde α (ölçek) ve τ (yer değiştirme) parametreleri ile (15) eşitlik ile hesaplama işlemi gerçekleştirilmektedir (Sak vd., 2019).

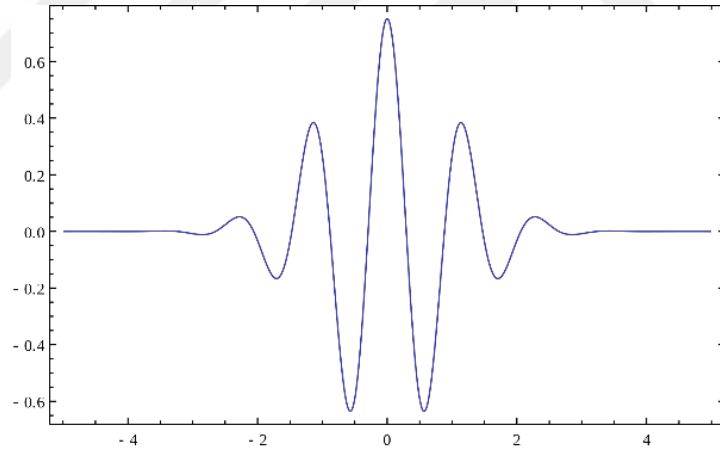
$$CWT(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi\left(\frac{t - \tau}{a}\right) dt \quad (15)$$

Dalgacık dönüşümlerinde kullanılacak verilerde ölçek ve çözünürlük kavramları doğruluğu etkilemektedir. Dalgacık dönüşüm analizlerinde yapılan tespit tekniklerinde ayrık dalgacık dönüşümü, çoklu çözünürlük analizi ve sürekli dalgacık dönüşümü olmak üzere üç yöntem üzerinde durulmaktadır. Bu yöntemlerden birincisi olan Ayrık dalgacık dönüşümlerinde sinyallerde meydana gelen anlık tepkisel değişimleri tespiti gerçekleştirmektedir. İkinci yöntem olan çoklu çözünürlük analizi ile yüksek kaliteli seviyede frekans değerlerine sahip bir sinyalde en iyi zaman çözünürlüğü ile sinyal içerisindeki zayıf frekansları çözümlene işlemi gerçekleştirilirken düşük kalitede frekanslarda ise tam tersi çözümlenmeler gerçekleştirilebilmektedir (Koçoğlu, 2009). Üçüncü yöntem olarak kullanılan Sürekli dalgacık yöntemi sinyallerdeki frekansları zamana bağlı değişimini ölçerek sinyaldeki doğal değişimlerin tespitini gerçekleştirmektedir. Analiz yöntemleri içerisinde zamana bağlı frekansların analizler için sürekli dalgacık dönüşümü analizleri en iyi tespitleri gerçekleştirdiği bilinmektedir (Sak vd., 2019). Dalgacık dönüşüm yöntemlerinde çözünürlüğün kaliteli olduğu bir veri daha hassas olacak bir büyük ölçekte incelendiğinde gözle görülemeyen detayların tespit edilebilmektedir (Aygün, 2006). Sonuç olarak dalgacık dönüşüm yöntemlerinde büyük ölçekler ile detaylı sonuçlar, küçük ölçekler ile kaba sonuçlara sahip analizler gerçekleştirilmektedir.

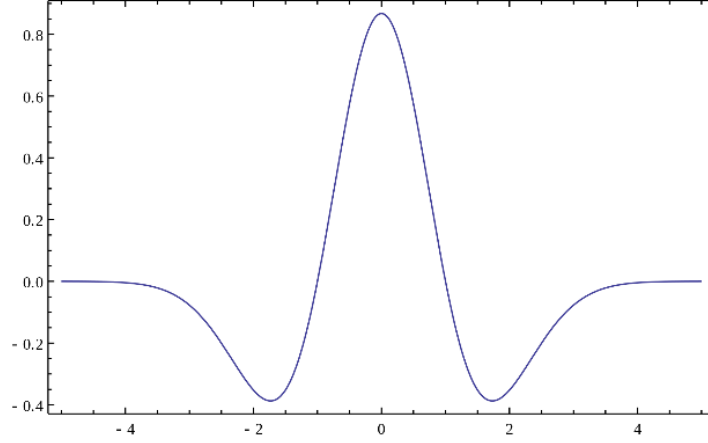
Dalgacık analizlerinde, dalgacık fonksiyonu olarak kullanılan ana dalgacıklar kullanılmaktadır. Bu ana dalgacıklardan bazıları Gaussian (Şekil 17), Morlet (Şekil 18) ve Meksika Şapkası (Şekil 19), olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 17. Gaussian Ana Dalgacık Fonksiyonlarının grafiksel gösterimi



Şekil 18. Morlet Ana Dalgacık Fonksiyonlarının grafiksel gösterimi



Şekil 19. Meksika Şapkası Ana Dalgacık Fonksiyonlarının grafiksel gösterimi

Bu tez kapsamında Meksika Şapkası ana dalgacık fonksiyonuna bağlı analiz işlemi gerçekleştirilmiştir.

Dalgacık dönüşüm analizlerinde iki bilenen dönüşüm yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden birincisi Ayrık Dalgacık Dönüşü Yöntemi ve ikincisi ise Sürekli Dalgacık Dönüşüm Yöntemi olup, bu tez kapsamında Sürekli Dalgacık Yöntemine bağlı analiz işlemi gerçekleştirilmiştir.

1.8.1. Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD) Yöntemi

SDD, bir sinyal üzerinde kullanılacak ana dalgacık fonksiyonun ölçeklenmiş ve konumlandırılmış haliyle çarpılarak, zaman içerisindeki hesaplanmış bu değerlerin toplamı ile sonuçlandırılan bir yöntemdir. (Akdoğan, 2013). SDD, bir sinyalin evrensel olarak hareketinin takibinde herhangi sabitlenme olup olmadığını tespit etmekte kullanılacak en iyi yöntem olarak bilinmektedir (Bilgehan vd., 2020). SDD yönteminde sinyalin ölçek ve konumsal hareketleri süreklilik göstererek ölçüm işlemlerinin gerçekleştirilmesinden dolayı ADD yönteminden farklı kılan özelliğidir.

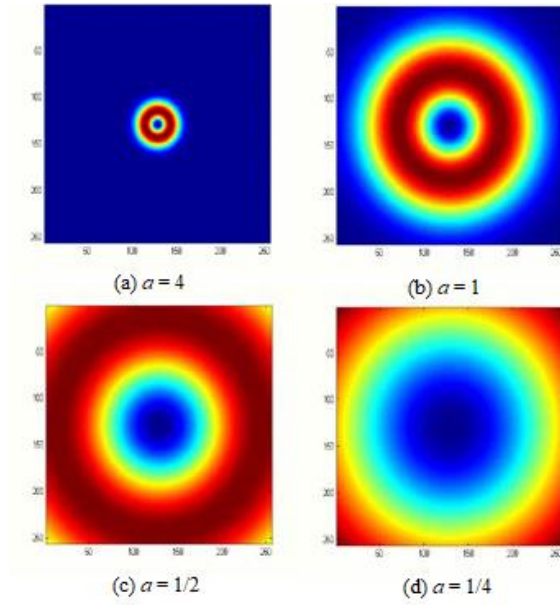
SDD, Kompleks Eşlenik (*), Dönüşümü gerçekleştirilecek fonksiyon ($g(t)$), Ana Dalgacık Fonksiyonu ($\psi_s, \tau(t)$), Kaydırma Parametresi (τ) ve Ölçek Parametresi (s) ve farklı ölçeklere sahip normalizasyon faktörleri ($1/\sqrt{s}$) ile (16) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır (Öner vd. 2017).

$$SDD_{(s,\tau)} = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{\infty} g(t) \psi_{s,\tau}^* \left(\frac{t-\tau}{s} \right) dt \quad (16)$$

1.8.1.1. İki Boyutlu Sürekli Dalgacık Dönüşüm (2B SDD) Analizi

İki boyutlu sürekli dalgacık dönüşümü analizi, doğal dönüklük parametreleri olan x ve y yatay düzlemdeki görüntü verilerinin sahip olduğu derinlik algısına göre temsil edilen yüzeyin ölçek ve açığa bağlı olarak detay çıkarımını sağlayan bir analiz olarak bilinmektedir.

2B SDD yöntemi yalnızca sinyal verilerine dayalı analizlerde kullanıldığı düşünülmemelidir. Düz bir yüzey üzerinde meydana gelmiş tahribatın tespiti, yeryüzü üzerinde meydana gelmiş tektonik hareketlerden kaynaklı değişimlerin tespiti, MR sonuçlarında bulguların tespiti gibi hassasiyet gerektiren alanda kullanılmaktadır. Bu yöntem, kullanılan ana dalgacık fonksiyonu ile yüzey üzerinden yatay düzlemde geçirilen Meksika Dalgasının yüzeydeki düşey eksendeki farklılıkların tespitini gerçekleştirmektedir. Bu etkili yöntem ile yüksek çözünürlüklü bir derinlik haritasında büyük ölçekli çalışmalarda en küçük detayı yakalamak mümkündür (Şekil 20).



Şekil 20. Meksika Şapka ana dalgacık fonksiyonunda ölçek etkisi (Reddy vd., 2014)

Analizi gerçekleştirilecek veri üzerinde ölçek ve açı değerini değişimi analiz sonucunu gözle görülür derece etkileyecek bir etkiye sahiptir. Bu değerlerin gerçeğe yakın sonuçlar çıkarılabilmesi adına minimum değerlerin seçimi gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

$$Wf(a, x) = a^{-2} \int \psi^* \left(\frac{b-x}{a} \right) f(b) db \quad (17)$$

2B SDD analizinde; gerçek bileşenlere ait vektörleri olan x ve b ye bağlı (x, y) ile (b_x, b_y) , değerleri, gerçek ölçek (a) parametresi ve karmaşıklık indisi $(*)$ parametrelerine bağlı olarak (17) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır (Fedi vd., 2010).

1.9. Doğruluk Analizi Yöntemleri

Doğruluk analizi yöntemleri olarak tez kapsamında karşılaştırma matrisinin (Şekil 21) kesin referans ve model çıktısı arasındaki doğru ve yanlış bağlı negatif ve pozitif doğrulukların Sørensen-Dice, Jaccard ve F1-Skor yöntemleri kullanılarak benzerlik karşılaştırılması yapılmıştır.

		Model Çıktısı	
		Pozitif	Negatif
Kesin Referans	Pozitif	DP	DN
	Negatif	YP	YN

Şekil 21. Karşılaştırma Matrisi

Şekil 21’de gösterilen model çıktısı ve kesin referansın, pozitif ve negatif değerlerine karşılık gelen doğru ve yanlış pikseller;

Doğru Pozitif (DP): Model çıktısının pozitif olup ve kesin referansa denk gelen kısmın pozitif sınıfa denk gelmesi sonucu tespit edilen piksellerdir.

Doğru Negatif (DN): Model çıktısının negatif olup ve kesin referansa denk gelen kısmın pozitif sınıfa denk gelmesi sonucu tespit edilen piksellerdir.

Yanlış Pozitif (YP): Model çıktısının pozitif olup ve kesin referansa denk gelen kısmın negatif sınıfa denk gelmesi sonucu tespit edilen piksellerdir.

Yanlış Negatifler (YN): Model çıktısının negatif olup ve kesin referansa denk gelen kısmın negatif sınıfa denk gelmesi sonucu tespit edilen pikseller, şeklinde tanımlanmıştır (Şahin, 2020). Bu tanımlamalar doğrultusunda farklı yöntemler ile üretilmiş model ürün ile kesin referans verisi arasındaki piksel bazlı değişim analizleri gerçekleştirilmektedir.

Karşılaştırma matrisinde tanımlanan tespit değerleri ile farklı benzerlik yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemler sırayla;

- Sørensen-Dice Benzerlik Yöntemi
- Jaccard Benzerlik Yöntemi
- F1-Skor Doğruluk Yöntemi

şeklinde tez kapsamında kullanılmak üzere belirlenmiştir.

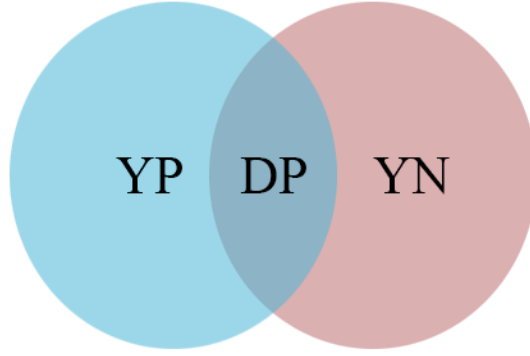
1.9.1. Sørensen-Dice ile Jaccard Benzerlik Yöntemleri

Sørensen-Dice benzerlik yöntemi, iki veri setinin birbiri ile olan benzerliklerinin karşılaştırmasını gerçekleştiren bir yöntem olarak kullanılmaktadır. (18) nolu denklemde gösterildiği üzere iki veri setinin kesişimlerinin, yine aynı iki veri setinin birleşimlerine oranının iki katının alınması ile benzerlik hesabı gerçekleştirilmektedir.

$$dice(A, B) = 2 \times (A \cap B) / (A \cup B) \quad (18)$$

(18) nolu eşitlikten yola çıkılarak Şekil 22’de belirtilen küme gösterimi ile anlaşılacağı üzere $A \cap B$ ile Doğru Pozitif (DP) değerleri, $A \cup B$ ile Doğru Pozitif (DP), Yanlış Pozitif (YP) ve Yanlış Negatif (YN) değerlerinin toplamı ile hesaplanmakta olup (19) nolu eşitlik ile gösterilmiştir (Bozkurt, 2018).

$$dice(A, B) = 2 \times DP / (DP + YP + YN) \quad (19)$$



Şekil 22. Sørensen-Dice Benzerliği Küme Gösterimi

Jaccard Benzerlik Yöntemi, karşılaştırma matrisi esas alınarak iki veri setinin kesişimi ile çıkartılan DP piksel değerlerinin, aynı iki veri setinin birleşiminden oluşan DP, YP ve YN piksel değerlerinin toplamına oranı olarak hesaplanmakta olup (22) nolu eşitlikte belirtilmiştir.

$$jaccard(A, B) = DP / (DP + YP + YN) \quad (20)$$

1.9.2. F1-Skor Doğruluk Yöntemi

“F1-Skor” (F1-Skor) ölçümü içerisinde F1, kesinlik (precision) ve duyarlılık (recall) adı altında üç farklı hesap işlemine sahiptir. Karmaşıklık matrisi ile hesaplanan pikseller ait değerler ile gerçekleştirilmektedir. Bu hesaplama işlemi tez sonuç verileri üzerinde ayrı ayrı olarak gerçekleştirilmiştir.

Kesinlik ölçü yöntemi, piksellere ait DP değerlerinin, DP ve YP değerlerinin toplamına oranı olarak hesaplanmakta olup (21) nolu eşitlikte belirtilmiştir.

$$kesinlik = DP / (DP + YP) \quad (21)$$

Duyarlılık ölçü yöntemi, piksellere ait DP değerlerinin, DP ve YN değerlerinin toplamına oranı olarak hesaplanmakta olup (22) nolu eşitlikte belirtilmiştir.

$$\text{duyarlılık} = DP/(DP+YN) \quad (22)$$

F1-Skoru ölçü yöntemi, duyarlılık ve kesinlik ölçü değerlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Piksel değerlerine bağlı hesaplanan Duyarlılık ve Kesinlik değerlerinin çarpımını Duyarlılık ve Kesinlik değerlerinin toplamına oranının iki katı olarak hesaplanmakta olup (23) nolu eşitlikte belirtilmiştir.

$$F_1 = 2 \times ((\text{Duyarlık} \times \text{Kesinlik}) / (\text{Duyarlılık} + \text{Kesinlik})) \quad (23)$$

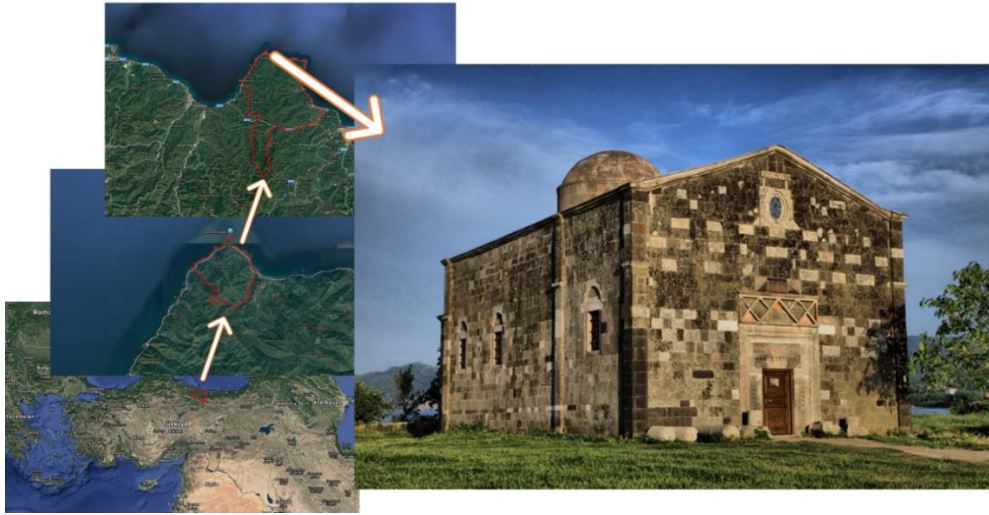


2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmalar kapsamında yersel ve hava fotogrametri yöntemleri ile elde edilen fotoğraflardan yoğun görüntü eşleme yöntemi kullanılarak üretilen nokta bulutu verileri ve YLT kullanılarak elde edilen nokta bulutu verilerinin raster derinlik görüntüsü oluşturulmuştur. Oluşturulan raster derinlik görüntüleri, 2B SDD analizi yöntemine tabi tutularak referans yüzey ile 2B SDD analiz görüntülerinin sayısal değerlerde doğruluk analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda hangi yöntemle elde edilen nokta bulutu verisinin ne kadar doğruluk değerine sahip olduğu ve görsel anlamda ayırt edilebildiğinin kıyaslanması gerçekleştirilmiştir.

2.1. Çalışma Alanı

Tez kapsamında Ordu İli, Perşembe İlçesi, Çaytepe Mahallesi sınırları içerisinde bulunan Yason Kilisesi isimli tarihi yapı üzerinde uygulama çalışması gerçekleştirilmiştir (Şekil 23).



Şekil 23. Yason Kilisesi

Bu yapı 1868 yılında düzgün kesme taşlar ile bölge yaşayan Rumlar tarafından inşa edilmiştir. Kilise doğu batı doğrultusunda inşa edilmiş olup iki adet giriş kapısı bulunmaktadır. Bu kapılardan biri batı cephesinde, ana giriş kapısı, diğeri ise güney

cephede bulunmaktadır. Yapı 2004 yılında koruma altına alınarak restorasyon işlemine tabi tutulduğu bilinmektedir.

2.2. Veri ve Ekipman

Bu tez çalışmasında seçilen uygulama alanında yapılan ölçümler esnasında; poligon tayini için Sokkia GCX3 CORS GNSS ölçüm aleti, mimari yapı üzerinden nokta okuma işlemleri için Geomax Zoom 35 Pro Total Station ölçüm aleti, yersel lazer tarama yönteminde Faro Focus3D X130 tarama cihazı, yersel fotogrametri yönteminde Nikon D3200 Dijital Kamerası ile entegre AF-S DX NIKKOR 18-140 mm. Objektif ve hava fotogrametri yönteminde DJI Phantom 4 RTK Drone kullanılmıştır. Kullanılan bu ekipmanların teknik özellikleri bu bölümde anlatılmaktadır.

2.2.1. Sokkia GCX3 CORS GNSS Ölçüm Aleti

Uygulama alanında Sokkia GCX3 CORS ölçüm aleti (Şekil 24) ile arazide total station ile ölçüm için gerektirecek poligon noktalarının ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Sokkia GCX3 cihazı Tablo 1'deki teknik özelliklere sahiptir.

Tablo 1. Sokkia GCX3 CORS GNSS teknik özellikleri

İzleme Kapasitesi	
Kanal Sayısı İzlenen Sinyaller	226 GNSSL1 C/A, L1C, L2P, L2C GLONASS L1 C/ A, L1 P, L2 C/A, L2P BeiDou 81, B2Galileo E1 SBAS L1 C/A WAAS/MSAS/EGNOS/GAGAN QZSSL1C/A, L1C, L2C
Konumlandırma Hassasiyeti	
Hızlı Statik	H: 3.0 mm + 0.4 ppm, V: 5.0mm + 0.6ppm
Hassas Statik	H: 3.0 mm + 0.1 ppm, V: 3.5 mm + 0.4 ppm
RTK (L1+L2)	H: 10 mm+ 0.8 ppm, V: 15 mm+ 1.0 ppm
DGNSS	H:0.4 m, V: 0.6m
SBAS	H:0.8 m, V: 1 m
Maksimum Veri Hızı	10 Hz



Şekil 24. Sokkia GCX3 CORS GNSS ölçüm aleti

2.2.2. Geomax Zoom 35 Pro Total Station Aleti ve Özellikleri

Uygulama alanında Geomax Zoom 35 Pro Total Station ölçüm aleti (Şekil 25) ile ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir.

Geomax Zoom 35 Pro cihazı Tablo 2'deki teknik özelliklere sahiptir.

Tablo 2. Geomax Zoom 35 Pro Total Station teknik özellikleri

Açı Ölçümü	
Hassasiyet	1" (0.3 mgon), 2" (0.6 mgon),
Ekran Çözünürlüğü	3" (0.9 mgon), 5" (1.5 mgon)
Metot	1" (0.1 mgon)
Kompansatör	Mutlak, sürekli, çapsal, Dörtlü eksen
Ölçüm Özellikleri	
Reflektör	3,500 m / 2 mm + 2 ppm
Uzun Mesafe	10,000 m / 5 mm + 2 ppm
Tipik Ölçüm Süresi	1 s **
Reflektörsüz	> 1,000 m / 2 mm + 2 ppm***
Lazer Nokta Boyutu	8 x 20 mm****



Şekil 25. Geomax Zoom 35 Pro Total Station

2.2.3. Nikon D3200 Dijital Kamerası ve Objektifinin Özellikleri

Uygulama alanında Nikon D3200 dijital fotoğraf makinesi ile fotoğraflama işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 26). Bu işlem yapılırken fotoğraf makinesi üzerinde AF-S DX NIKKOR 18 -140 mm. objektif kullanılmıştır (Şekil 25).

Nikon D3200 dijital kamera (Şekil 26); tek lens yansıtımlı yaklaşık 1,5x objektif odak uzaklığına sahip 24,2 mega piksel çözünürlükte teknik özelliklere sahiptir.



a)



b)

Şekil 26. Nikon a) D3200 Dijital Kamera b) AF-S DX NIKKOR 18-140 mm objektif

AF-S DX NIKKOR 18-140 mm. Objektif (Şekil 26) Tablo 3'teki teknik özelliklere sahiptir.

Tablo 3. AF-S DX NIKKOR 18-140 mm. objektif teknik özellikleri

Odak Uzaklığı	18-140 mm
Maksimum Diyafram	f/3,5-5,6
Minimum Diyafram	f/22-38
Görüş Açısı	76°-11°30'
Minimum Netleme	0,45 m

2.2.4. Faro Focus3D X130 Ölçüm Cihazı Özellikleri

Faro Focus3D X130 Ölçüm Cihazı (Şekil 27), Time of Flight (ToF) olarak bilinen uçuş süresi prensibi ile cihazdan iletilen bir lazer ışının hızına bağlı olacak şekilde objeden yansırarak cihaza ulaşım süresi ile mesafe ölçüm işlemi gerçekleştirmektedir. Mesafe, gönderilen ve alınan ışın arasındaki faz değişimi ile milimetrik hassasiyette ölçüm gerçekleştirmektedir. Cihaz üzerindeki ayna, lazer ışını aynı nesne üzerine dikey konumda yönlendirir. Açı ve mesafe ölçümleri ile eş zamanlı olarak kodlama işlemi gerçekleştirmektedir. Cihazın konumlandırıldığı sehpa üzerinde 360° yatay dönüş ile yatay açıda mesafe ölçümü gerçekleştirmektedir. Cihazın üretmiş olduğu mesafe, dikey açı ve yatay açılar ile polar koordinat sistemi çıkartıp, ardından Kartezyen Koordinat sistemindeki x, y ve z değerlerine dönüşümü gerçekleştirmektedir.



Şekil 27. Faro Focus3D X130 lazer tarayıcı

2.2.5. DJI Phantom 4 RTK Drone Özellikleri

Bu tez kapsamında kullanılan DJI Phantom 4 RTK Drone (Şekil 28) tam otomatik ve manuel kullanıma, RTK-PPK ile çift frekanslı GNSS ölçü yöntemine, yatayda 0,01 m düşeyde 0,015 m hassasiyet eve üzerine entegre 20 MP kameraya sahiptir. İHA'ya ait detaylı teknik özellikler aşağıdaki tablolarda belirtilmiştir.

Tablo 4. Phantom 4 RTK drone gövdesine ait teknik özellikler

Hover Doğruluk Aralığı	RTK aktif ve düzgün çalışıyor: Vertical:±0.1 m;Horizontal:±0.1 m
	RTK kapalı Vertical:±0.1 m(vision positioning); ±0.5 m(GNSS positioning) Horizontal:±0.3 m(vision positioning); ±1.5 m(GNSS positioning)

Tablo 5. Phantom 4 RTK haritalama fonksiyonlarına ait teknik özellikler

Harita Doğruluk **	Haritalama doğruluğu, Dijital Ortogörüntü Sınıfı için ASPRS Doğruluk Standartlarının gereksinimlerini karşılar ** Gerçek doğruluk, çevre aydınlatmasına ve desenlerine, uçak irtifasına, kullanılan harita yazılımına ve çekim sırasındaki diğer faktörlere bağlıdır.
Zemin örnek mesafesi (GSD)	(H / 36.5) cm / piksel, H, çekim sahnesine göre uçağın yüksekliği anlamına gelir (birim: m)
Veri Toplama Verimliliği	Yaklaşık çalışma alanı Tek bir uçuş için 1 km ² (182 m yükseklikte, yani GSD, yaklaşık 5 cm /pikseldir, Dijital Ortogörüntü Sınıfı için ASPRS Doğruluk Standartları gerekliliklerini yerine getirir

Tablo 6. Phantom 4 RTK kamerasına ait teknik özellikler

Sensör	1" CMOS; Efektif pikseller: 20 MP
Lens	FOV 84 ° ; 8,8 mm / 24 mm (35 mm format eşdeğeri: 24 mm) ; f/2.8 - f/11, otomatik odaklama, 1 m
ISO	Video:100-3200(Otomatik) 100-6400 (Manuel); Foto:100-3200 (Otomatik) 100-12800 (Manuel)
Mekanik Deklanşör Hızı	8 - 1/2000 s
Elektronik Deklanşör Hızı	8 - 1/2000 s

Tablo 7. Phantom 4 RTK GNSS teknik özellikleri

Tek Frekanslı, Yüksek Hassasiyetli GNSS Modülü	GNSS + Beidou + Galileo (Asya); GNSS + GLONASS + Galileo (diğer bölgeler)
Çok Frekanslı Çok Sistemli Yüksek Hassasiyetli RTK GNSS	Kullanılan Frekans: GNSS: L1 / L2; GLONASS: L1 / L2; Beidou: B1 / B2; Galileo: E1 / E5a İlk Sabit Süre < 50 s Konumlandırma Hassasiyeti: Dikey 1,5 cm + 1 ppm (RMS) ; Yatay 1 cm + 1 ppm (RMS) 1 ppm, hatanın uçaktan gelen her 1 km harekette 1 mm artış olduğu anlamına gelir.



Şekil 28. DJI Phantom 4 RTK

2.3. Uygulama

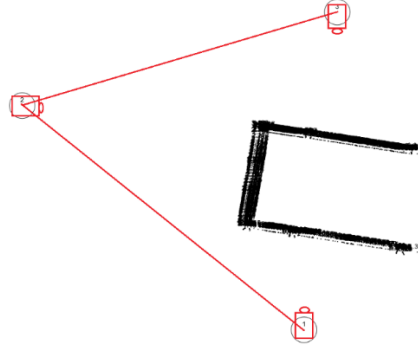
Bu tez çalışmasında modelleme amacıyla seçilen Yason Kilisesi'nin 4 farklı ölçüm tekniği ile alım işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlerde sırasıyla;

- 1 Total Station Ölçüm Aleti ile lazer mesafe okuma ile nokta toplama işlemi
- 2 Nikon D3200 Dijital fotoğraf makinesi ile sabit odaklı olarak çekim işlemi
- 3 Faro Laser Scanner cihazı ile ölçüm işlemi
- 4 DJI Phantom 4 RTK Drone ile eğik fotoğraflama işlemi

gerçekleştirilmiştir.

2.3.1. CORS GNSS ve Total Station Ölçüm Aleti ile Ölçüm İşlemi

CORS GNSS aleti ile mimari yapının etrafında 3 (üç) adet poligon tayini ile poligon ağı oluşturulmuştur. Total Station ölçüm cihazı ile sabit poligon noktalarından her birisine ayrı ayrı kurularak, aletin lazer mesafe okuma modu açılarak cepheler üzerinden detay noktaları toplanmıştır. Bu işlemler her bir cephe için ayrı ayrı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 29).



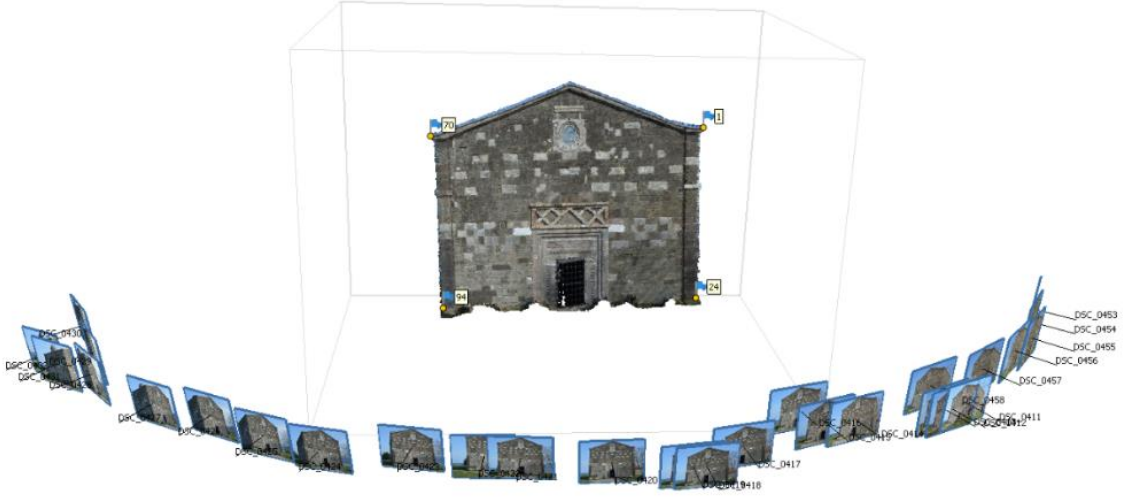
Şekil 29. Poligon ağı ve Total Station ile okunan noktalar

2.3.2. Nikon D3200 Dijital Kamerası ile Fotoğraflama İşlemi ve Verilerin İşlenmesi

Uygulama alanında, öncesinde hazır olarak kalibreli ve tekrar kalibre işlemi gerektirmeyen Nikon D3200 Dijital kamera ile yersel fotogrametri yöntemine esas bindirmeli fotoğraflama işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen fotoğraflardan yoğun görüntü eşleme tekniği ile piksel bazlı nokta bulutu üretimi işleminde “Agisoft MetaShape” yazılımı kullanılmıştır.

2.3.2.1 Nikon D3200 Dijital Kamera ile Fotoğraflama İşlemi

Yersel fotogrametrik amaçlı fotoğraf alımında, modellenecek bina ile yaklaşık olarak 12 m mesafe korunarak bindirmeli fotoğraflar çekilmiştir (Şekil 30). Objektif manuel moda getirilerek odak uzaklığı 18 mm olacak şekilde uygulama modelini fotoğraf karesi içine alarak netlik ayarı yapılmıştır. Odak uzaklığı sabitlemesi ve netlik ayarı sabit tutularak belirlenen yaklaşık sabitlikteki mesafede fotoğraflama işlemi gerçekleştirilmiştir. Fotoğraflama işleminde, dijital ekran üzerinde uygulama modelinin fotoğraf karesindeki pozisyonu ve netliği kontrol edilerek fotoğraflama işlemi gerçekleştirilmiştir.



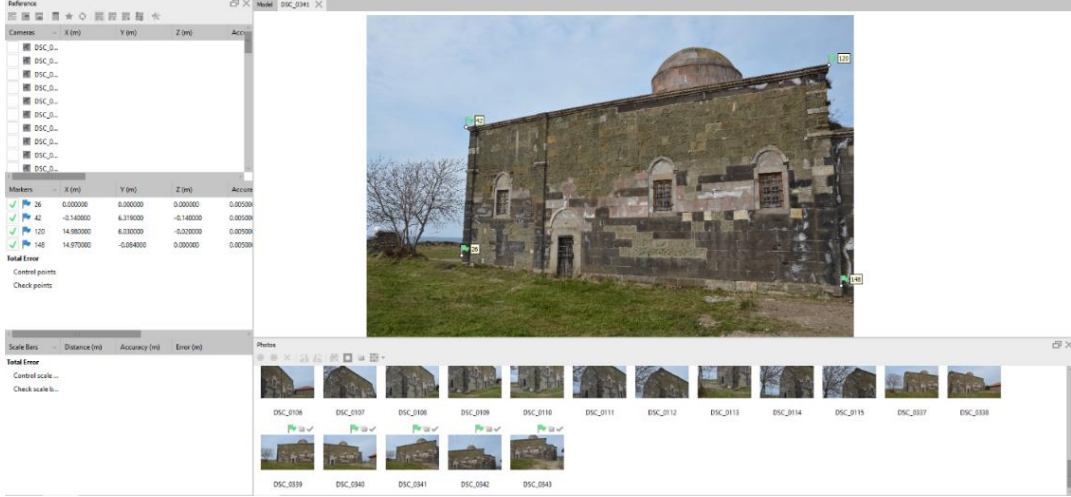
Şekil 30. Dijital kamera çekim geometrisi

2.3.2.2 Nikon D3200 Dijital Kamerası ile Elde Edilen Fotoğrafların Kıymetlendirilmesi İşlemi

Yersel yöntemle alımı yapılan fotoğraflar yoğun görüntü eşleme yöntemi ile piksel bazlı nokta bulutu üretim işlemi için “Agisoft MetaShape” yazılımı kullanılmıştır.

Her bir cephe için elde edilen fotoğraflar ilgili klasöre ayrılmıştır. Ardından fotoğrafları programa aktararak yüklenen fotoğrafların rölatif yöneltme işlemi ve fotoğraflama noktalarının gerçekleştirilmesi için “Align Photos” komutu uygulanmıştır. Bu işlemde program, fotoğraflar “sparse matching” ile tüm fotoğraflar arasında eşlenik noktaları tespit ederek lokal bir koordinat sisteminde fotoğrafların birbirlerine göre konumlarını hesaplar ve bu işlem sonucunda eşlenik noktalardan seyrek bir nokta bulutu oluşturulur.

Fotoğrafların birleştirilmesinden sonra kullanılacak kontrol noktalarının koordinatları programa aktarılmış olup, kontrol noktaları fotoğraflar üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 31).



Şekil 31. Referans koordinatların fotoğraflara işlenmesi

İşaretlenen koordinatları “Optimize Cameras” komutu ile fotoğraflarda işaretlenmiş noktalara göre ve yöneltmiş kameraların iç ve dış yöneltme parametreleri optimize edilerek üretilen modelin geometrik doğruluğu iyileştirilmiştir. Sırasıyla yapılan ön işlemlerin ardından fotoğrafların nokta bulutu üretimi “Build Dense Cloud” komutu ile tamamlanmış ve cephelere ait nokta bulutları ölçekli ve koordinatlı olacak şekilde ve “High” seviyedeki yoğunlukta üretilmiştir.

Nokta bulutu üretiminin ardından cephe üzerinde dağınık halde bulunan ve cepheyi temsil etmeyen gürültü noktaları manuel olarak seçilerek temizlenmesi işlemi gerçekleştirilerek cephelere ait gürültüsüz nokta bulutu verileri **.txt* formatında kaydedilerek “Agisoft MetaShape Professional” programı üzerinde yürütülen işlemler tamamlanmıştır (Şekil 32).

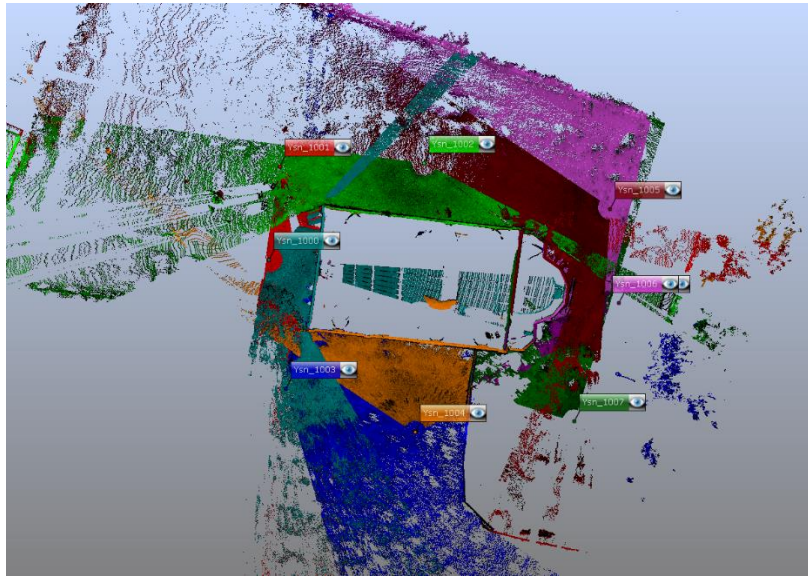
Bu işlem adımları üç cephenin her biri için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 32. Üretilen nokta bulutu verilerinin farklı formatta kaydedilmesi

2.3.3. Faro Focus3D Cihazı ile Ölçüm İşlemi ve Verilerin İşlenmesi

Faro Focus 3dx130 cihazı ile uygulama alanında ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Ölçüm işlemleri, cephelere paralel olacak şekilde 0° - 180° aralığında gerçekleştirilmiştir. Sırayla yapılan ölçüm işlemlerinde, cephe üzerinde bir önceki ölçüm ile bir sonraki ölçümün birbirine bindirmeli olacak şekilde olmasına dikkat edilmiştir. Toplamda 8 farklı konumunda 8 adet ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 33).



Şekil 33. Faro Focus 3D Ölçüm Noktaları

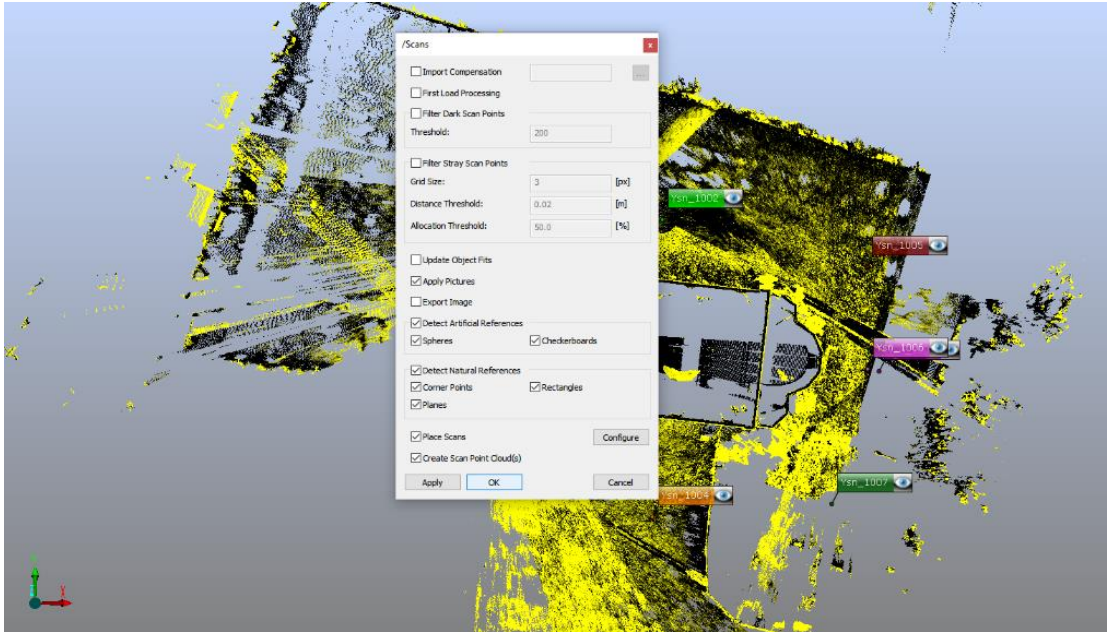
2.3.3.1. Faro Focus3D Ölçüm Verilerinin Kıymetlendirilmesi İşlemi

Faro Focus 3D ölçüm cihazı ile elde edilen 8 adet ölçümün kıymetlendirilmesi işleminde Faro Scene programı kullanılmıştır.

Faro Scene programı açıldıktan sonra Yeni Proje dosyası oluşturduktan sonra 8 adet ölçüm verisini yazılıma aktarılmıştır. Aktarma işleminin ardından “Load All Scans” komutu ile program içerisine taşıdığımız tarama verilerinin noktasal ölçümlerinin yüklenmiştir.

Verilerin programa aktarılmasının ardından “Correspondence View” ekranı üzerinden renklendirilmiş tarama verilerin manuel olarak çakıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Üst üste çakıştırılan verilerin “Place Scans” komutu ile doğruluğu kontrol edilmiştir. “Place Scan” ekranında yerleştirme modu “Cloud to Cloud” seçilerek işleme devam edilmiştir. Tamamlanan “Place Scan” işlemi ile “Structure” penceresinde taramaların başarılı bir şekilde yerleştirildiği tespit edilmiştir.

Ölçüm verilerinin yerleştirilmesi işleminin ardından verilere cihazın tarama esnasında çekmiş olduğu fotoğraflar ile birleştirilerek noktaların resimler üzerinde denk gelen renk değerleri işlenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 34).



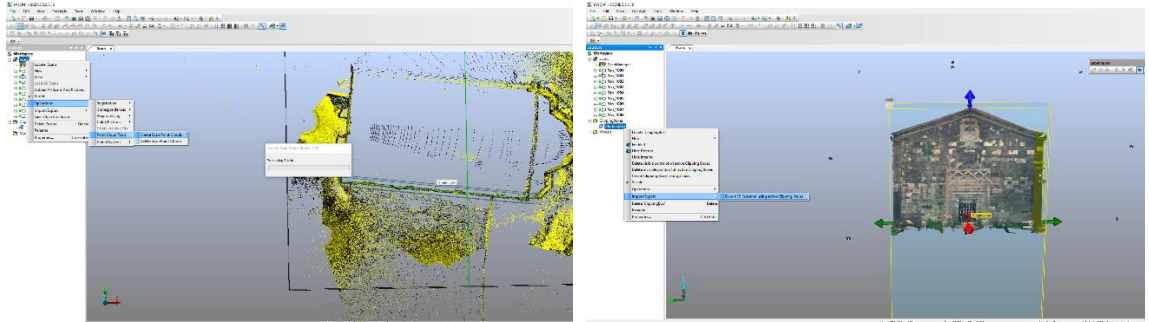
Şekil 34. Manuel birleştirilen verilerin bütünleşik nokta bulutu verisi haline getirilmesi

Ölçüm verileri üzerinde tamamlanan ön işlemlerin ardından verileri birleştirilmesi ve nokta bulutu verisinin oluşturulması işlemi “Create Scan Point Clouds” komutu ile gerçekleştirilerek uygulama alanına ait renkli nokta bulutu verisi elde edilmiştir (Şekil 35).



Şekil 35. Bütünleşik renkli nokta verilerinin görünümü

Elde edilen birleşik nokta bulutu verisinde “Clippingbox” komutu (Şekil 36) ile 3 cephenin her biri ayrı ayrı *.txt formatında kaydedilmiş olup “Faro Scene” programı üzerinde yürütülen işlemler başarıyla tamamlanmıştır.



a)

b)

Şekil 36. a) Bütünleşik veriden bölgesel seçimi b) Bölgesel seçimde verilerin dışarı aktarılması

2.3.4. DJI Phantom 4 RTK Drone ile Oblik Fotoğraflama İşlemi ve Verilerin İşlenmesi

DJI Phantom 4 RTK Drone cihazı ile uygulama alanında ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir.

Ekran üzerinde Plan sekmesi tıklanarak, gelen seçeneklerden 3D Photogrammetry (Multi-Oriented) menüsü seçilmiştir. Uygulama modelinin alanı drone ile entegreli kumanda ekranından 4 köşe olacak şekilde belirlenmiştir. Seçim işleminin ardından uçuş yüksekliği hem normal hem de oblik çekim için 25 m olacak şekilde seçilmiştir (Şekil 37).



Şekil 37. Drone kumanda ekranından uçuş alanı ve yüksekliğinin seçimi

Eğik çekim işleminde kamera çekim açısı -45 derece olacak şekilde belirlenmiştir. Uçuş esnasında fotoğraf bindirme oranları hem normal hem de Eğik çekim için %70 enine ve %80 boyuna olacak şekilde belirlenmiştir (Şekil 38).



Şekil 38. DJI Photogrammetry yazılımında uçuş parametrelerinin girilmesi; a) Kamera açısının belirlenmesi b) Görüntü bindirme oranının belirlenmesi

Yapılan bu işlemlerin ardından uçuş alanında 5 farklı fotoğrafı otomatik olarak oluşturmuştur. Drone üzerine entegreli RTK modülünün aktifliği ve uydu bağlantısı kontrol edilerek drone ekrandan verilen talimatla görevine gönderilmiştir. Drone yapmış olduğu görevde 338 m² planlanan alan olduğu, 11 dakika 35 saniye uçuş süresi içerisinde toplamda 212 adet fotoğraf olduğu sonuç ekranı ile belirlenmiştir (Şekil 39).



Şekil 39. Uçuş süresi ve uçuş verilerinin miktarı

2.3.4.1. DJI Phantom 4 RTK Drone Fotoğraflarının İşlenmesi ve Cephelere Ait Nokta Bulutunun Oluşturulması

Harita mühendisliğinde görüntü kıymetlendirme işlemi olarak bilinen görüntülerin fotogrametrik olarak değerlendirmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemde İHA ile çekilen görüntülerden yoğun görüntü eşleme yöntemi ile piksel bazlı nokta bulutu verisi üretimi gerçekleştirilmiştir. Uygulama alanından İHA ile elde edilen görüntülerin kıymetlendirilmesi işlemi için Pix4D programı kullanılmıştır.

Program başlangıcında gelen ekranda New Project komutu ile proje ismi ve konumu belirlenmesi, “Select Images” komutu ile İHA ile çekilmiş görüntüleri aktarılmasıdır. Image Properties ekranında herhangi değişiklik yapmadan bir sonraki adım olan “Select Output Coordinate System” ekranından koordinat sistemi PRJ formatında ITRF96 / TM39 seçilerek tanımlanması yapılmıştır.

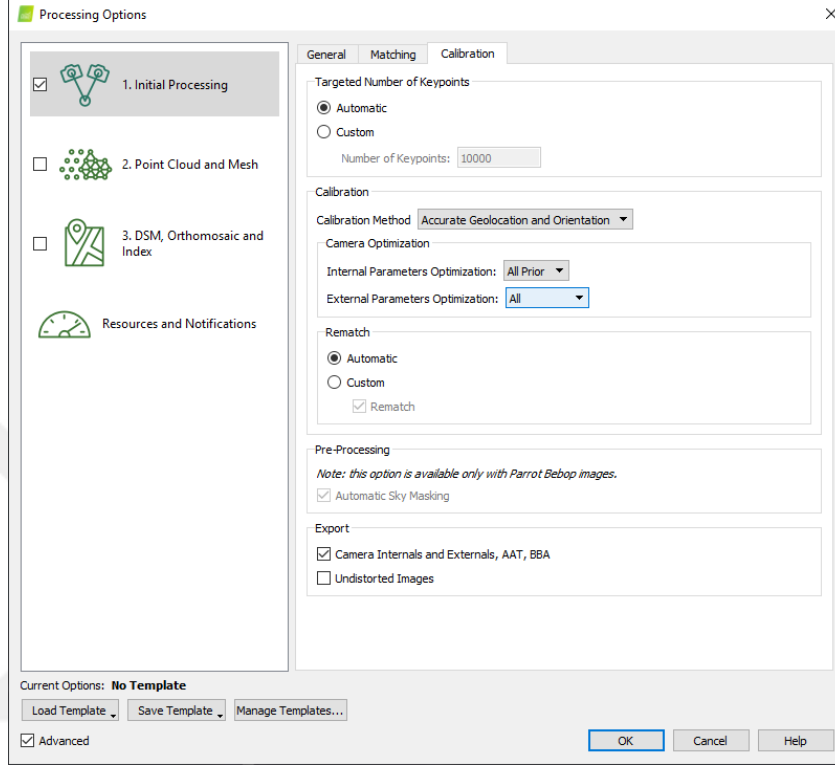
Amacımız ölçümünü gerçekleştirmiş olduğumuz yapının 3B modelini ve nokta bulutunu oluşturmak olduğu için, “3D Models” seçeneği tıklanarak devam edilmiştir.

Pix4DMapper ana ekranında İHA ile yapılan işlemin uçuş esnasındaki fotoğrafıma noktaları arka planda Google Earth arka planlı olacak şekilde gösterilmiştir (Şekil 40).



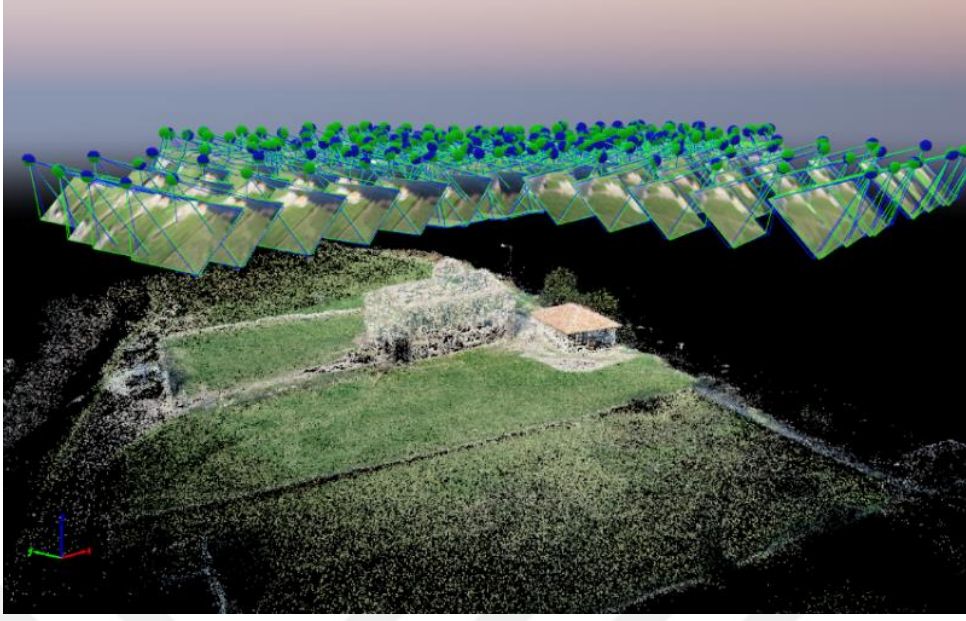
Şekil 40. İHA ile fotoğraf alımı yapılan noktalar

Kıymetlendirme işlemine başlarken “Processing Options” penceresinde ilk adım olan “Initial Processing” ile ekrandaki değerler en yüksek seviyeye getirilmesinin ardından ilk işlem adımı başlatılmıştır (Şekil 41).



Şekil 41. Ön işleme ile ilgili parametrelerin girildiği “Process” penceresi

Ön işlem adımı sayesinde İHA’nın fotoğraflar üzerine işlediği Kartezyen koordinat değerleri ve dönüklük parametreleri ile fotoğrafların birleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem adımında aşamasında hatalı fotoğraf tespiti gerçekleştirilmiş olup, ölçüm alanına ait az miktarda nokta bulutu verisi oluşturulmuştur (Şekil 42).



Şekil 42. Ön işleme sonucunda tespit edilen kamera konumları ve eşlenik noktaları

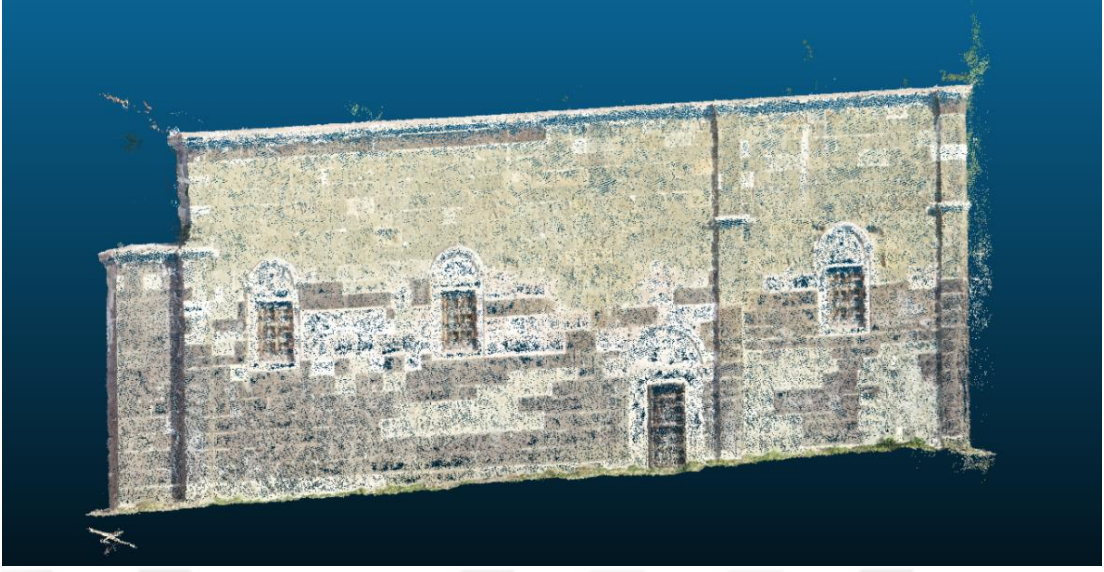
Programın ana ekranındaki Process üst sekmesi içerisinde bulunan “Quality Report” işlemi ile ön işleme sonucundaki kalite raporu üretilmiştir. Üretilen kalite raporunda fotoğrafların eşleştirme doğruluklarını gösteren;

- 1,04 cm Ground Sampling Distance (GSD) değeri,
- Görüntü başına 65005 anahtar nokta,
- 212 fotoğrafın %100 olarak kullanıldığı,
- İlk ve optimize edilmiş dahili kamera parametreleri arasında %0,43 bağıl fark
- Kalibre edilmiş görüntü başına ortalama 26018,3 eşleşme değeri,

sonuç tespit edilmiştir.

Ön işleme sonucunda oluşan nokta bulutu verisi sayesinde doğruluk tespiti yapılacak her bir cephe için ekran üzerindeki “New Processing Area” komutu ile her üç cepheye ayrı ayrı alan belirleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

“Processing Options” penceresinde ikinci adım olan “Point Cloud and Mesh” ile ekrandaki değerler en yüksek seviyeye getirilmesinin ardından ikinci işlem adımı başlatılmıştır. Bu işlem adımı ile DJI Phantom 4 RTK drone ile oblik çekim işlemi gerçekleştirilen Yason Kilisesi’nin, her üç cephesine ait yoğun nokta bulutunun oluşturulması işlemi Pix4D programı üzerinde tamamlanmıştır (Şekil 43).



Şekil 43. Seçilen alana ait nokta bulutu verisi

2.3.5. Koordinat Sistemi Dönüşümü İşlemi Gerçekleştirilmesi

Nikon D3200 ile elde edilen nokta bulutu veri setleri değerlendirme aşamasında indirgenmiş lokal koordinatlar kullanılarak gerçekleştirildiği için bu veri setlerine herhangi dönüşüm işlemi tekrardan uygulanmamıştır.

DJI Phantom'daki nokta bulutu verileri UTM 3° Projeksiyonu ITRF 39° Datumu ve Faro Focus'daki nokta bulutu verisi ölçekli ve lokal veriler olup aynı düzlemdeki noktaları temsil edebilecek konumda değildir. Cephelerin bütün nokta bulutu verilerinin üst üste çakışabilmeleri için bu iki nokta bulutu verisinin Nikon D3200 ile çekilerek birleştirilmesinde kullanılan indirgenmiş lokal koordinatlara dönüşümlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Total station ölçüm cihazı ile yapı yüzeyi üzerinde okunulan ve görsel olarak konumu bilinen lokal koordinat sistemindeki dört referans köşe noktası nokta bulutlarının yeniden referanslandırılmasında kullanılmıştır. İHA ve YLT'ye ait nokta bulutu verilerinde dört referans noktasına manuel olarak işaretlenmiştir. Karşılık gelen koordinatlar *.txt formatındaki dosyasından ilk dört satıra yazılmış olup Tablo 9'daki değerler ile dönüşüm işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 8. Her bir cephe için DJI ve Faro nokta bulutlarının indirgenmesi amacıyla kullanılan kontrol noktalarının koordinatları

CEPHE 1								
DJI	İndirgenmiş Koordinatlar				Yüzeyde Karşılık Gelen Koordinatlar			
	Nokta No	X (m)	Y (m)	Z (m)	Nokta No	X (m)	Y (m)	Z (m)
	42	-0.140	6.319	-0.140	-	389358.593	4556262.687	37.581
	26	0.000	0.000	0.000	-	389358.718	4556262.803	31.183
	120	15.110	6.172	-0.190	-	389373.511	4556260.556	37.217
	148	14.970	-0.084	0.000	-	389373.519	4556260.566	31.103
CEPHE 1								
Faro	İndirgenmiş Koordinatlar				Yüzeyde Karşılık Gelen Koordinatlar			
	Nokta No	X (m)	Y (m)	Z (m)	Nokta No	X (m)	Y (m)	Z (m)
	42	-0.140	6.319	-0.140	-	-7.6005	-0.1744	3.2519
	26	0.000	0.000	0.000	-	-7.4635	-0.0297	-2.7784
	120	15.110	6.172	-0.190	-	7.6602	-0.1144	3.0959
148	14.970	-0.084	0.000	-	7.5188	0.0670	-3.1649	
CEPHE 2								
DJI	İndirgenmiş Koordinatlar				Yüzeyde Karşılık Gelen Koordinatlar			
	Nokta No	X (m)	Y (m)	Z (m)	Nokta No	X (m)	Y (m)	Z (m)
	1	9.436	6.542	-0.145	-	389358.534	4556262.692	37.628
	24	9.294	0.223	0.000	-	389358.704	4556262.828	31.226
	70	-0.118	6.553	-0.146	-	389360.080	4556272.125	37.672
94	0.000	0.000	0.000	-	389360.206	4556271.982	31.008	
CEPHE 2								
Faro	İndirgenmiş Koordinatlar				Yüzeyde Karşılık Gelen Koordinatlar			
	Nokta No	X (m)	Y (m)	Z (m)	Nokta No	X (m)	Y (m)	Z (m)
	1	9.436	6.542	-0.145	-	-0.2061	-4.8348	2.4441
	24	9.294	0.223	0.000	-	-0.0819	-4.6874	-3.8713
	70	-0.118	6.553	-0.146	-	-0.1470	4.7621	2.4093
94	0.000	0.000	0.000	-	-0.0060	4.6264	-3.9067	

Tablo 8'in devamı

CEPHE 3								
DJI	İndirgenmiş Koordinatlar				Yüzeyde Karşılık Gelen Koordinatlar			
	Nokta No	X (m)	Y (m)	Z (m)	Nokta No	X (m)	Y (m)	Z (m)
	1	-0.760	6.468	-0.164	-	389375.114	4556269.904	37.646
	32	0.000	0.000	0.000	-	389374.367	4556269.838	31.196
	108	14.264	0.296	0.000	-	389360.228	4556271.973	31.490
	134	14.371	6.350	-0.069	-	389360.136	4556272.032	37.548
CEPHE 3								
Faro	İndirgenmiş Koordinatlar				Yüzeyde Karşılık Gelen Koordinatlar			
	Nokta No	X (m)	Y (m)	Z (m)	Nokta No	X (m)	Y (m)	Z (m)
	1	-0.760	6.468	-0.164	-	7.5654	0.1609	3.2117
	32	0.000	0.000	0.000	-	6.8041	0.0186	-3.2510
	108	14.264	0.296	0.000	-	-7.4868	-0.0023	-3.0808
	134	14.371	6.350	-0.069	-	-7.5921	0.0659	3.0986

Belirlenen indirgenmiş lokal noktalara karşılık gelen, ülke koordinat sistemine sahip İHA nokta bulut verileri ile lokal koordinat sistemine sahip YLT nokta bulutu verilerindeki koordinatlar birbirlerini temsil edecekleri şekilde ilk dört satıra yerleştirilerek **txt* formatında kaydedilmiştir.

MATLAB ortamında yazılan kodlar ile nokta bulutu verilerinin lokal koordinat sistemine koordinat dönüşüm işlemleri gerçekleştirilmiştir.

2.2.6. Nokta Bulutu Veri Setlerinin Normal Yüzeye İndirgenmesi ve Gürültü Noktalarının Tespiti Edilmesi

Nokta bulutu verileri cepheye üzerindeki lazer okuma yoğunluğu, fotoğraf sayısı ve hareketli fotoğraflaması verilerin işlenmesindeki üretim yoğunluğu seçiminden kaynaklı farklı veri yoğunlukları elde edilmiştir. Elde edilen bu verilerin dönüşümlerden ve referans nokta seçimleri esnasında nokta yoğunluğundan dolayı birbirileri üzerine tam olarak çakışmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca X ve Y eksenine dik, Z eksenine paralel bir düzleme eğik açı oluşturacak şekilde konumlandığı tespit edilmiştir (Şekil 44). Birbiri

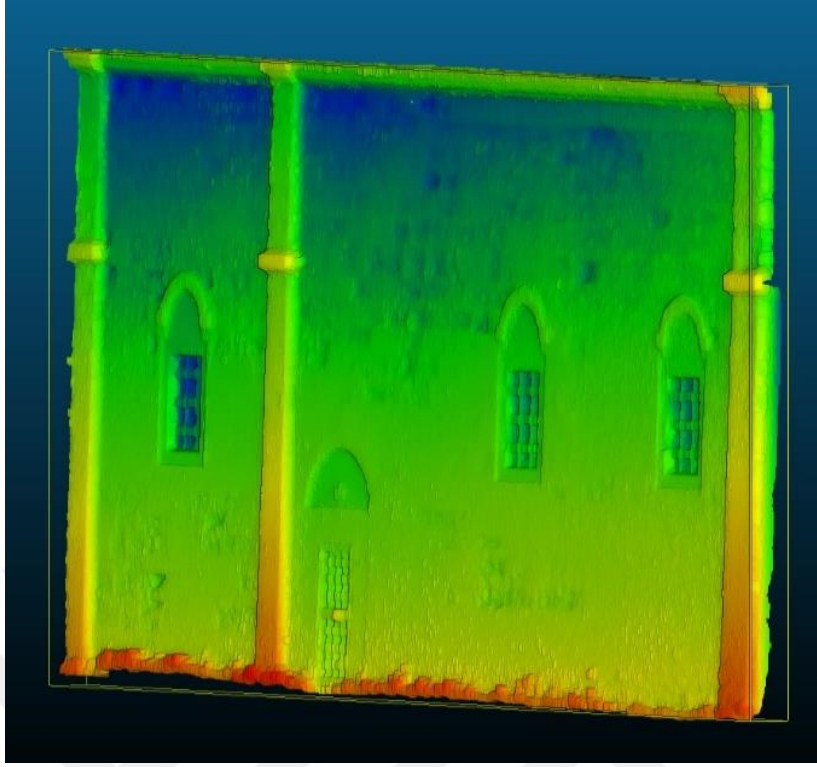
üzerine çakışmayan ve eğikliği tespit edilen bu nokta bulutu verileri ile elde edilen raster derinlik görüntülerinin 2B SDD analizinde derinlik algısında sapmalar meydana gelmiştir.



Şekil 44. Cloud Compare programında eğik düzlemin görsel tespiti

Bu işlemde, meydana gelen bu dönükleri gidermek, nokta bulutu verilerinin üst üste çakışması sağlamak ve nokta bulutu verilerinde oluşacak raster derinlik görüntülerindeki sapmaları en aza indirmek amaçlanmıştır.

Temsil edilen yüzeyin birbirine z yüzeyinde paralel olup aynı rengi temsil etmesi gerektiği noktalar farklı renklere sahip olduğundan z değerlerindeki sapmalar bu sayede tespit edilmiştir (Şekil 45).



Şekil 45. Eğik düzlemin Z değerlerine göre ölçeklenmiş renkli görünümü

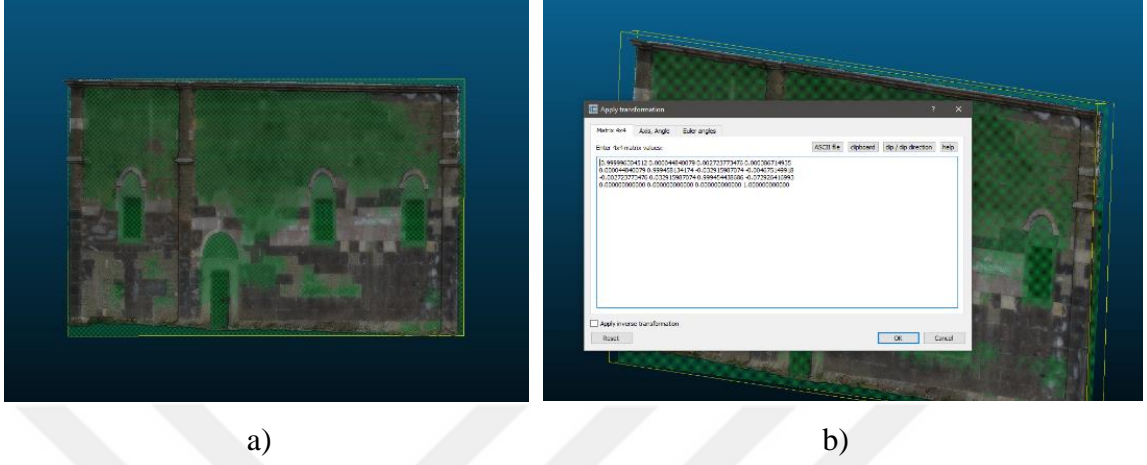
Programın üst sekmelerinden sırasıyla Tools-Fit-Plane işlem adımları takip edilerek nokta bulutuna bir düzlem uydurulmuştur. Bu işlemin ardından program mevcut nokta bulutunu yatay düzleme paralel hale getirmek için her iki düzlem z yönündeki yüzey normallerinin farkı hesaplanarak bir dönüşüm matrisi oluşturulmuştur (Şekil 46). Bu işlem ile elde edilen dönüşüm matrisi kaydedilmiştir.

$$\begin{bmatrix} 0.999996304512 & 0.000044840079 & 0.002723773476 & 0.000386714935 \\ 0.000044850079 & 0.999458134174 & -0.032915987074 & -0.004675149918 \\ -0.002723773476 & 0.032915987074 & 0.999454438686 & -0.072926416993 \\ 0.000000000000 & 0.000000000000 & 0.000000000000 & 1.000000000000 \end{bmatrix}$$

Şekil 46. Nokta bulutunun sıfır düzlemi için hesaplanan dönüşüm matrisi

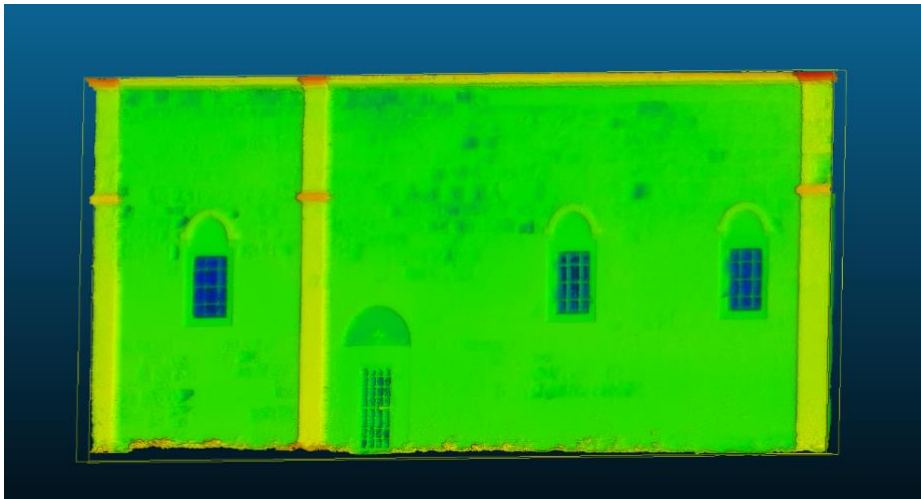
Nokta bulutunun yatay düzleme indirgenmesi işleminin yapılması için programda “Apply Transformation” komutu ile Apply Transformation ekranındaki matris kısmına

hesaplanan dönüşüm matris değerleri yapıştırılıp dönüşüm işlemi tamamlanmıştır (Şekil 47).



Şekil 47. Nokta bulutunun düzleme indirgenmesi; a) Uydurulan düzlem b) Dönüşüm matrisi

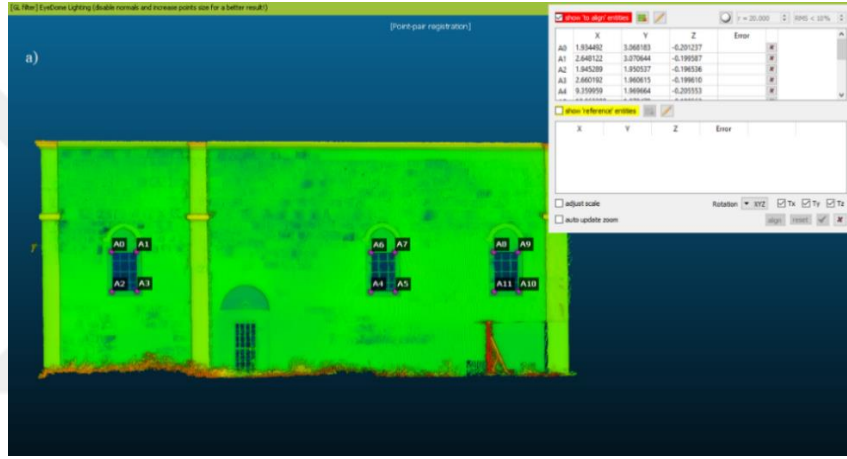
Bu işlem sayesinde nokta bulutunun Z değerlerinin ölçeklenmiş olarak renklendirilmesine ile görüldüğü üzere nokta bulutunun temsil etmesi gerektiği yüzey başarıyla oluşturulmuştur (Şekil 48). Bu işlem adımı her bir alet ile elde edilen tüm cephe nokta bulutlarına uygulanmıştır.



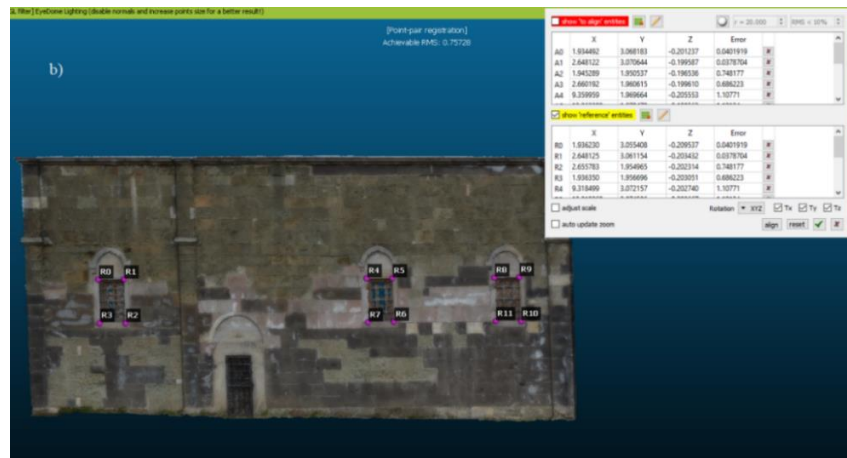
Şekil 48. Dönüşüm sonrası verinin Z değerlerine göre ölçeklenmiş görünümü

Z normal yüzey dönüşüm işleminin ardından yüzeylerinin birbirleri üzerine tam anlamıyla çakışmadığı tespit edilmiştir. Bu duruma neden olan etkenin dönüşüm esnasında nokta bulutu verilerinin üzerinde barındırdığı gürültü nokta bulutları olduğu tespit edilmiştir. Bu problemin giderilmesi adına program üzerinde az gürültü noktalarına sahip Nikon D3200 ile üretilmiş nokta bulutu, referans yüzey olarak her bir cephe için kullanılmıştır.

Seçilen iki nokta bulutu verisi, Program ana ekranında bulunana “Fine Registration” komutu ile referans yüzeyde seçili noktalar ile hizalanacak yüzeydeki benzer yerleri temsil eden noktalar manuel olarak seçilmiştir (Şekil 49 ve 50).



Şekil 49. Nokta bulutlarının hizalanmasında referans yüzeyden nokta seçimi



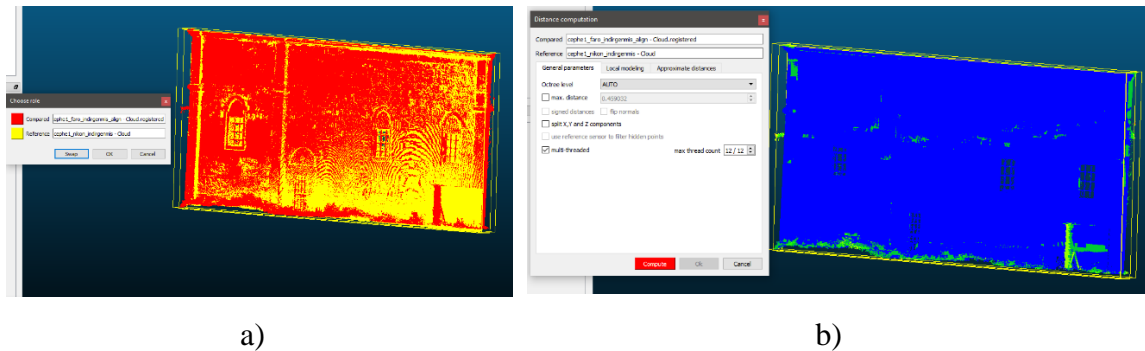
Şekil 50. Nokta bulutlarının hizalanmasında eşlenecek yüzeyden nokta seçimi

Bu işlem sonucunda referans yüzeyi ile üst üste gelecek şekilde bir hizalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem tüm cepheler için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir (Şekil 51).



Şekil 51. Nokta bulutunun referans veri ile hizalanması ve sonuç bilgisi

Referans yüzeye hizalama işleminin ardından, gürültü noktalarının tespit edilmesi amacıyla seçilen bir referans yüzey kullanılarak noktadan noktaya mesafe ölçümü gerçekleştirilmiştir. Aynı referans yüzey ile karşılaştırılan nokta bulutu verilerinin noktadan noktaya mesafe ölçümleri program üzerindeki “Compute Cloud/Cloud Distance” işlemi ile tespit edilmiştir. (Şekil 52).

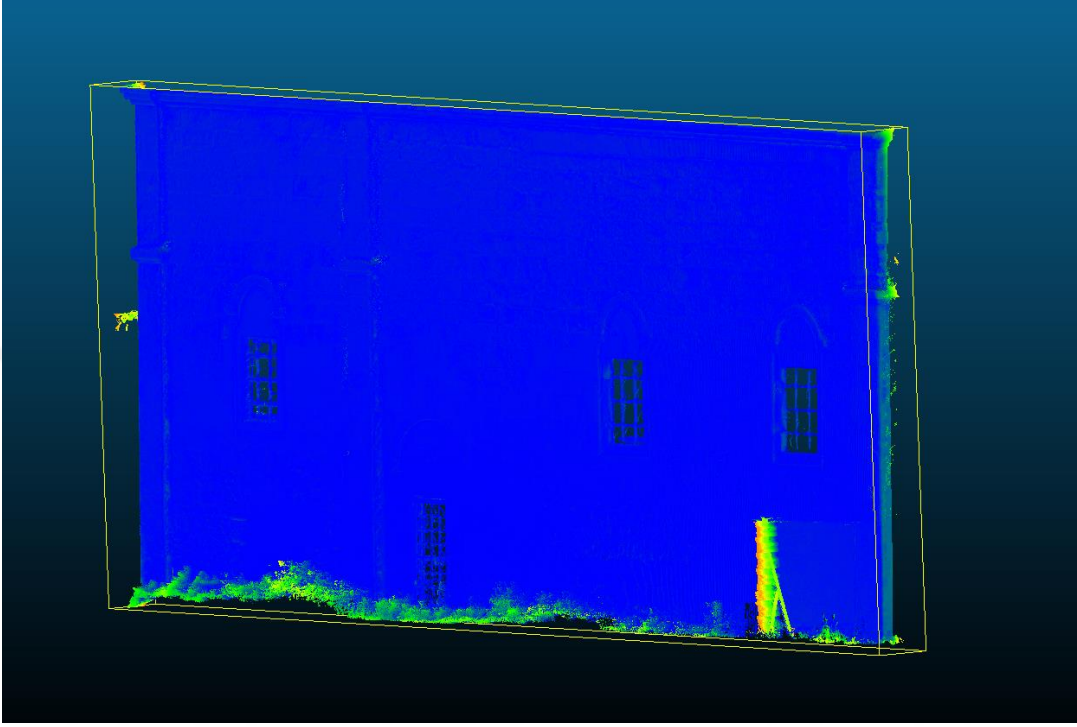


a)

b)

Şekil 52. Noktadan noktaya mesafe hesaplanması; a) Referans ve uygulama verisinin seçimi b) Noktadan noktaya mesafe ile gürültü noktalarının tespiti

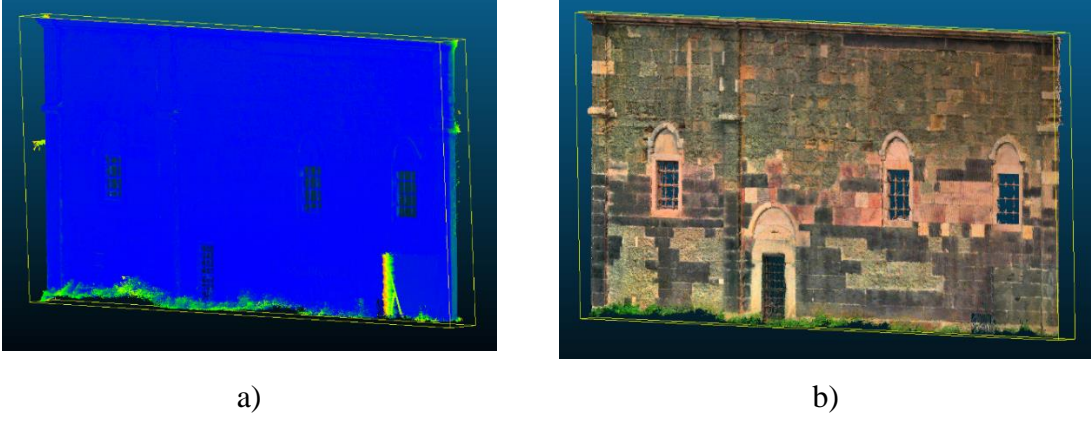
İşlem sonucunda ölçeklenmiş renklendirmede görüldüğü üzere gürültü noktaları tespit edilmiş olup kayıt işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem her bir cepheden farklı ölçüm teknikleri ile üretilen nokta bulutları üzerinden yapılmıştır (Şekil 53).



Şekil 53. Noktadan noktaya mesafe ile gürültü noktalarının tespiti

2.2.7. Gürültü Noktalarının Elemine Edilmesi

Cloud Compare programı üzerinde yapılan gürültü noktalarının tespiti işlemi ile noktaların ölçeklendirilmiş olarak görüntülenmesinde gürültü noktalarına isabet eden renk aralıklarının tespiti yapılmıştır. Veri içerisinde bulunan renkli ölçeklendirme değerlerinin bulunduğu sütunda tespit edilen gürültü değerleri MATLAB programı üzerinde yazılan kod ile ayıklanmıştır (Şekil 54).



Şekil 54. Tespit edilen gürültü noktalarının elemine edilmesi a) Referans yüzeye olan mesafe farklılıklarının gösterimi ve (b) Gürültü noktalarından elemine edilmiş yüzey

2.2.8. Nokta Bulutlarından Alan Kesme ve Raster Dönüşümü

MATLAB ortamında yazılan kodlar ile ayıklanarak kaydedilen gürültüsüz nokta bulutu verileri Cloud Compare programı üzerinde üç farklı nokta bulutu veri setleri her cephe için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır.

Program ana ekranında bulunan “Trace a Polyline by Point Picking” işlemi ile Referans yüzey olarak kabul edilen Nikon D3200 ile üretilmiş nokta bulutu verisi üzerinde noktalardan seçilerek alan çizilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 55). Bu sayede ayrı ölçüm tekniklerine ait aynı koordinat sistemine sahip nokta bulutu verilerinin ortak çalışma alanlarında doğruluk analizleri yapılmasına imkân sağlanmıştır.



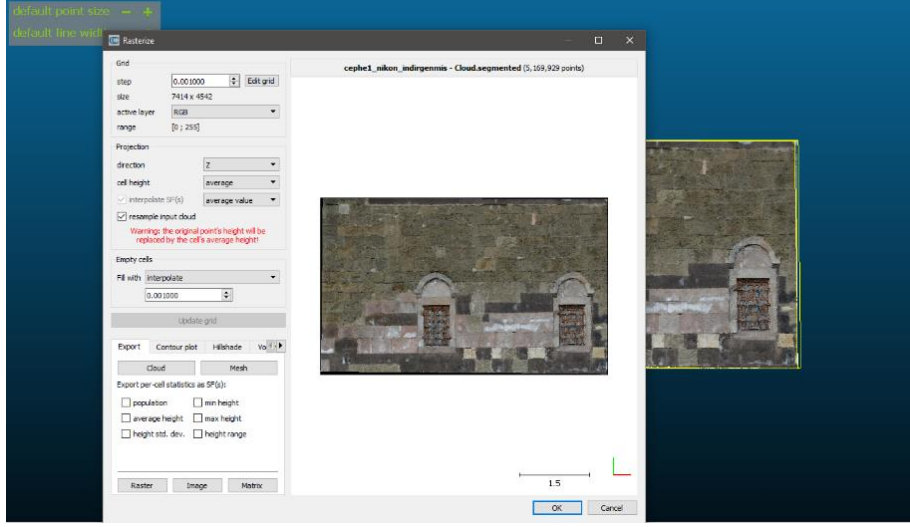
Şekil 55. Nokta bulutundan alan kesme işlemi; a) Nokta bulutu verisinin aktarılması b) Nokta bulutundan kesilecek alanların çizilmesi

Alan çevirme işleminin ardından seçili nokta verilerinin her birisine Program ana ekranı üzerinde bulunana “Segment” işlemi ile çevrili alanlar içerisinde kalan nokta bulutlarının kesilerek çıkartılması işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 56).



Şekil 56. Nokta bulutundan alan kesme işlemi; a) Ana nokta bulutundan kesilen alanlar ve b) Çevrilen alan içinde kalan nokta bulutu verilerinin çıkartılması

Alansal nokta bulutu kesim işleminin ardından her bir kesilen alan için program ana ekranındaki “Convert a Cloud to 2D Raster” işlemi ile nokta bulutu verisinden manuel olarak vektörel çizim işleminde gerekli olacak raster görüntü üretim işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 57). Bu işlem her cephe ve her ölçüm tekniğine ait nokta bulutu verilerinden kesilen nokta bulutu verileri için ayrı ayrı yapılarak kaydedilmiştir.



Şekil 57. Kesilen nokta bulutu verilerinden raster görüntü üretimi

2.2.9. Referans Verilerin Üretilmesi

Referans verilerinin üretilmesi amacıyla Cloud Compare programı üzerinden cephelerin kesilmiş yüzeylerine ait renkli raster görüntüler ArcMap programına aktarılarak duvar yüzeyindeki belirgin taş sınırları “Polygon” veri türünde manuel olarak çizilmiştir. Bu işlem, her cepheden kesilmiş tüm raster görüntüler için yapılmış olup ayrı ayrı klasörlerde *.shp formatında kaydedilmiştir (Şekil 58).



Şekil 58. Referans Verilerin Üretilmesi a) Raster görüntünün aktarılması b) Raster görüntüden manuel alan çevirme işlemi

2.2.10. Cephe Doğruluk Analizleri

Cloud Compare programı ile kaydedilen nokta bulutu verilerini her biri cepheden kesilen alan içinde kalan nokta bulutları MATLAB ortamında yazılan kodlar ile raster derinlik görüntüleri her bir alan için ayrı ayrı oluşturulmuştur.

Cephe 1 Alan 1'e ait nokta bulutu verilerinden raster derinlik görüntüsü oluşturulmasında DJI Phantom 4 RTK ile elde edilmiş görüntüde bulanık ve derz aralıklarının ayırt edilemediği, Faro Focus3D X130 ile elde edilen görüntüde derz aralıklarının belirgin olmasına rağmen bölgesel parlaklıklar meydana geldiği ve Nikon D3200 ile elde edilen görüntüde az miktarda bulanıklaşma ve bölgesel parlaklıklardan dolayı derz aralıklarının kısmen ayırt edilebildiği Şekil 59, Şekil 60 ve Şekil 61'de gözlemlenmiştir.



Şekil 59. DJI Phantom 4 RTK ile elde edilmiş Cephe 1 Alan 1'e ait nokta bulutunun raster derinlik görüntüsü



Şekil 60. Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş Cephe 1 Alan 1'e nokta bulutu raster derinlik görüntüsü



Şekil 61. Nikon D3200 ile elde edilmiş Cephe 1 Alan 1'e nokta bulutu raster derinlik görüntüsü

Cephe 1 Alan 2'ye ait nokta bulutu verilerinden raster derinlik görüntüsü oluşturulmasında DJI Phantom 4 RTK ile elde edilmiş görüntüde bulanık ve derz aralıklarının ayırt edilemediği, Faro Focus3D X130 ile elde edilen görüntüde derz aralıklarının bölgesel parlaklıklardan dolayı derz aralıklarının kısmen ayırt edildiği ve Nikon D3200 ile elde edilen görüntüde az miktarda bulanıklaşma ve bölgesel parlaklıklardan dolayı derz aralıklarının kısmen ayırt edilebildiği gözlemlenmiştir (Şekil 62).



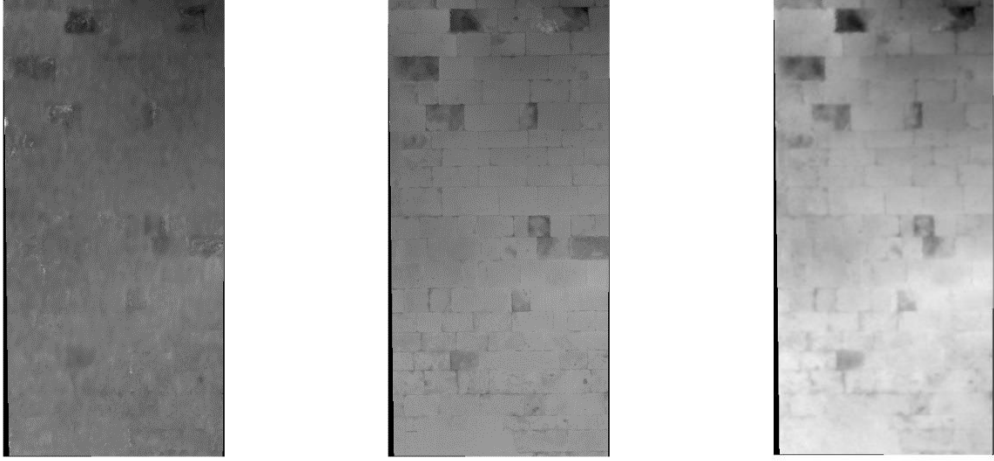
a) Cephe 1 Alan 2
DJI Phantom 4 RTK

b) Cephe 1 Alan 2
Faro Focus3D X130

c) Cephe 1 Alan 2
Nikon D3200

Şekil 62. Cephe 1 Alan 2'ye ait nokta bulutu raster derinlik görüntüleri

Cephe 2 Alan 1'e ait nokta bulutu verilerinden raster derinlik görüntüsü oluşturulmasında DJI Phantom 4 RTK ile elde edilmiş görüntüde bulanık ve derz aralıklarının hiçbir şekilde ayırt edilemediği, Faro Focus3D X130 ile elde edilen görüntüde derz aralıklarının ayırt edildiği ve Nikon D3200 ile elde edilen görüntüde az miktarda bulanıklaşma ve bölgesel parlaklıklardan dolayı derz aralıklarının kısmen ayırt edilebildiği gözlemlenmiştir (Şekil 63).



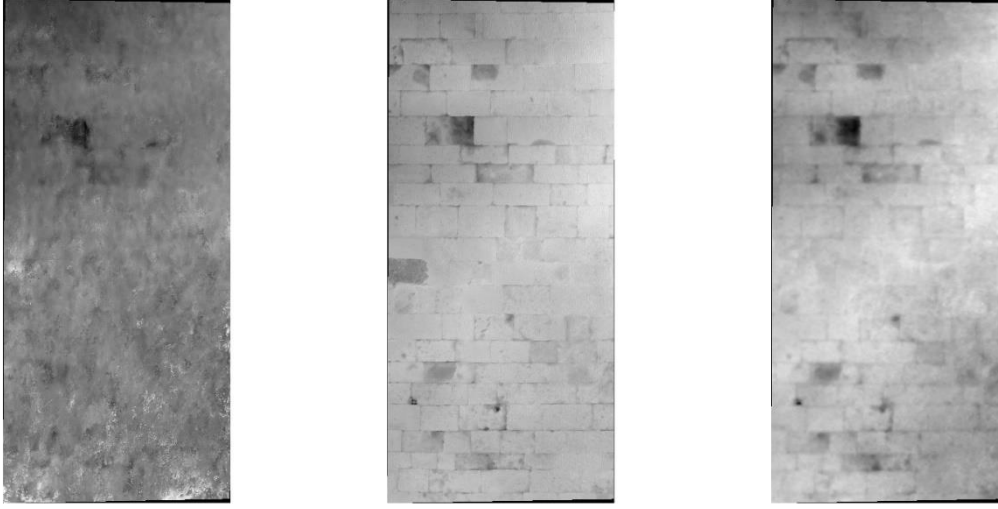
a) Cephe 2 Alan 1
DJI Phantom 4 RTK

b) Cephe 2 Alan 1
Faro Focus3D X130

c) Cephe 2 Alan 1
Nikon D3200

Şekil 63. Cephe 2 Alan 1'e ait nokta bulutu raster derinlik görüntüleri

Cephe 2 Alan 2'ye ait nokta bulutu verilerinden raster derinlik görüntüsü oluşturulmasında DJI Phantom 4 RTK ile elde edilmiş görüntüde bulanık ve derz aralıklarının hiçbir şekilde ayırt edilemediği, Faro Focus3D X130 ile elde edilen görüntüde derz aralıklarının ayırt edildiği ve Nikon D3200 ile elde edilen görüntüde az miktarda bulanıklaşma ve bölgesel parlaklıklardan dolayı derz aralıklarının kısmen ayırt edilebildiği gözlemlenmiştir (Şekil 64).



a) Cephe 2 Alan 2
DJI Phantom 4 RTK

b) Cephe 2 Alan 2
Faro Focus3D X130

c) Cephe 2 Alan 2
Nikon D3200

Şekil 64. Cephe 2 Alan 2'ye ait nokta bulutu raster derinlik görüntüleri

Cephe 3 Alan 1'e ait nokta bulutu verilerinden raster derinlik görüntüsü oluşturulmasında DJI Phantom 4 RTK ile elde edilmiş görüntüde bulanık ve derz aralıklarının hiçbir şekilde ayırt edilemediği ancak cephe üzerindeki pencere detaylarının az miktarda ayırt edilebildiği, Faro Focus3D X130 ile elde edilen görüntüde derz aralıklarının görüntünün genelindeki parlamadan dolayı kısmen ayırt edildiği ve Nikon D3200 ile elde edilen görüntüde az miktarda bulanıklaşma ve görüntünün genelindeki parlaklıklardan dolayı derz aralıklarının ayırt edilemediği ancak cephe üzerindeki pencere detaylarının ayırt edilebildiği Şekil 65, Şekil 66 ve Şekil 67'de gözlemlenmiştir.



Şekil 65. DJI Phantom 4 RTK ile elde edilmiş Cephe 3 Alan 1'e ait nokta bulutunun raster derinlik görüntüsü



Şekil 66. Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş Cephe 3 Alan 1'e ait nokta bulutunun raster derinlik görüntüsü



Şekil 67. Nikon D3200 ile elde edilmiş Cephe 3 Alan 1'e ait nokta bulutunun raster derinlik görüntüsü

Cephe 3 Alan 1'e ait nokta bulutu verilerinden raster derinlik görüntüsü oluşturulmasında DJI Phantom 4 RTK ile elde edilmiş görüntüde bulanık ve derz aralıklarının hiçbir şekilde ayırt edilemediği ancak cephe üzerindeki pencere detaylarının az miktarda ayırt edilebildiği, Faro Focus3D X130 ile elde edilen görüntüde derz aralıklarının görüntünün genelindeki parlamadan dolayı kısmen ayırt edildiği ve Nikon D3200 ile elde edilen görüntüde az miktarda bulanıklaşma ve görüntünün genelindeki parlaklıklardan dolayı derz aralıklarının ayırt edilemediği ancak cephe üzerindeki pencere detaylarının ayırt edilebildiği gözlemlenmiştir (Şekil 68).



a) Cephe 3 Alan 2
DJI Phantom 4 RTK

b) Cephe 3 Alan 2
Faro Focus3D X130

c) Cephe 3 Alan 2
Nikon D3200

Şekil 68. Cephe 3 Alan 2'ye ait nokta bulutu raster derinlik görüntüleri

Oluşturulan bu raster derinlik görüntülerinin her biri ayrı ayrı kaydedilmiştir. Kayıt işleminin ardından görüntüler üzerindeki derinlik algısını daha fazla ortaya çıkartmak için MATLAB'ın dahili "histeq" ve "adaphisteq" kodları ile histogram eşitleme işlemi uygulanmıştır.

Cephe 1 Alan 1'e ait raster derinlik görüntülerine uygulanan histogram eşitlemesi sonucunda oluşan görüntülerde yüzey üzerindeki derz aralıklarının görsel olarak ayırt edilebilirliğinde Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş görüntünün daha ayırt edici olduğu, ardından Nikon D3200 ile elde edilen görüntüden derz aralıklarının ayırt edilebildiği ve DJI Phantom 4 RTK ile elde edilen görüntüde derz aralıklarının tam olarak ayırt edilemediği Şekil 69, Şekil 70 ve Şekil 71'de görüldüğü gibi tespit edilmiştir.



Şekil 69. DJI Phantom 4 RTK ile elde edilmiş Cephe 1 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün histogram eşitleme sonucu oluşan görüntü



Şekil 70. Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş Cephe 1 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün histogram eşitleme sonucu oluşan görüntü



Şekil 71. Nikon D3200 ile elde edilmiş Cephe 1 Alan 1'e ait nokta bulutu raster derinlik görüntüsünün histogram eşitleme sonucu oluşan görüntü

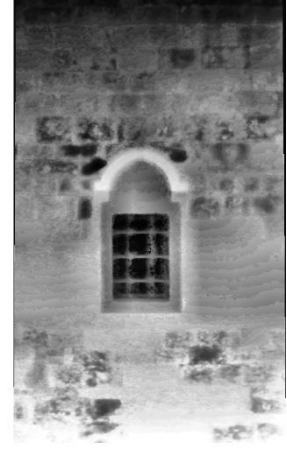
Cephe 1 Alan 2'ye ait raster derinlik görüntülerine uygulanan histogram eşitlemesi sonucunda oluşan görüntülerde yüzey üzerindeki derz aralıklarının görsel olarak ayırt edilebilirliğinde Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş görüntünün daha ayırt edici olduğu, ardından Nikon D3200 ile elde edilen görüntüden derz aralıklarının ayırt edilebildiği ve DJI Phantom 4 RTK ile elde edilen görüntüde derz aralıklarının tam olarak ayırt edilemediği tespit edilmiştir (Şekil 72).



a) Cephe 1 Alan 2
DJI Phantom 4 RTK



b) Cephe 1 Alan 2
Faro Focus3D X130



c) Cephe 1 Alan 2
Nikon D3200

Şekil 72. Cephe 1 Alan 2'ye ait nokta bulutu raster derinlik görüntülerinden histogram eşitleme sonucu oluşan görüntü

Cephe 2 Alan 1'e ait raster derinlik görüntülerine uygulanan histogram eşitlemesi sonucunda oluşan görüntülerde yüzey üzerindeki derz aralıklarının görsel olarak ayırt edilebilirliğinde Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş görüntünün daha ayırt edici olduğu, ardından Nikon D3200 ile elde edilen görüntüden derz aralıklarının ayırt edilebildiği ve DJI Phantom 4 RTK ile elde edilen görüntüde derz aralıklarının hiç ayırt edilemediği tespit edilmiştir (Şekil 73).



a) Cephe 2 Alan 1
DJI Phantom 4 RTK



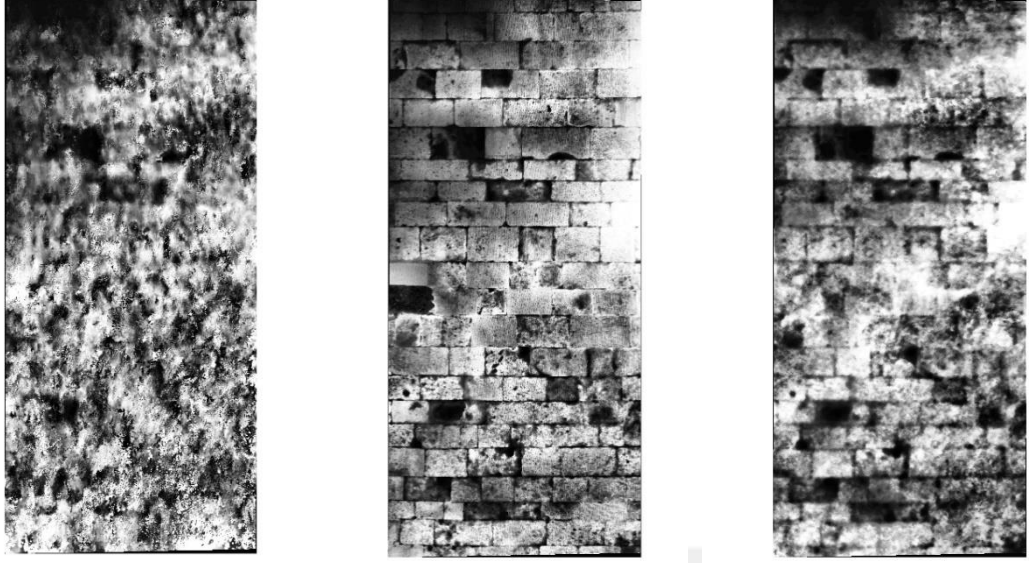
b) Cephe 2 Alan 1
Faro Focus3D X130



c) Cephe 2 Alan 1
Nikon D3200

Şekil 73. Cephe 2 Alan 1'e ait nokta bulutu raster derinlik görüntülerinden histogram eşitleme sonucu oluşan görüntü

Cephe 2 Alan 2'ye ait raster derinlik görüntülerine uygulanan histogram eşitlemesi sonucunda oluşan görüntülerde yüzey üzerindeki derz aralıklarının görsel olarak ayırt edilebilirliğinde Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş görüntünün daha ayırt edici olduğu, ardından Nikon D3200 ile elde edilen görüntüden derz aralıklarının ayırt edilebildiği ve DJI Phantom 4 RTK ile elde edilen görüntüde derz aralıklarının hiç ayırt edilemediği tespit edilmiştir (Şekil 74).



a) Cephe 2 Alan 2
DJI Phantom 4 RTK

b) Cephe 2 Alan 2
Faro Focus3D X130

c) Cephe 2 Alan 2
Nikon D3200

Şekil 74. Cephe 2 Alan 2'ye ait nokta bulutu raster derinlik görüntülerinden histogram eşitleme sonucu oluşan görüntü

Cephe 3 Alan 1'e ait raster derinlik görüntülerine uygulanan histogram eşitlemesi sonucunda oluşan görüntülerde yüzey üzerindeki derz aralıklarının görsel olarak ayırt edilebilirliğinde Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş görüntünün daha ayırt edici olduğu, ardından Nikon D3200 ile elde edilen görüntüden derz aralıklarının düşük bir oranda ayırt edilebildiği ve DJI Phantom 4 RTK ile elde edilen görüntüde derz aralıklarının hiç ayırt edilemediği Şekil 75, Şekil 76 ve Şekil 77'de görüldüğü gibi tespit edilmiştir.



Şekil 75. DJI Phantom 4 RTK ile elde edilmiş Cephe 3 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün histogram eşitleme sonucu oluşan görüntü

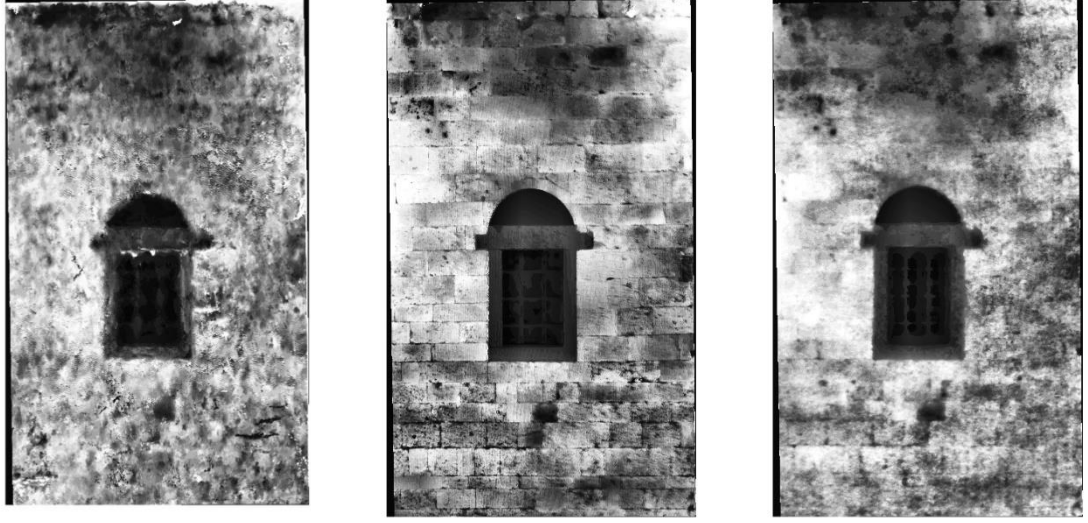


Şekil 76. Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş Cephe 3 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün histogram eşitleme sonucu oluşan görüntü



Şekil 77. Nikon D3200 ile elde edilmiş Cephe 3 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün histogram eşitleme sonucu oluşan görüntü

Cephe 3 Alan 2'ye ait raster derinlik görüntülerine uygulanan histogram eşitlemesi sonucunda oluşan görüntülerde yüzey üzerindeki derz aralıklarının görsel olarak ayırt edilebilirliğinde Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş görüntünün daha ayırt edici olduğu, ardından Nikon D3200 ile elde edilen görüntüden derz aralıklarının ayırt edilebilmesinde güçlük çekildiği ve DJI Phantom 4 RTK ile elde edilen görüntüde derz aralıklarının hiç ayırt edilemediği tespit edilmiştir (Şekil 78).



a) Cephe 3 Alan 2
DJI Phantom 4 RTK

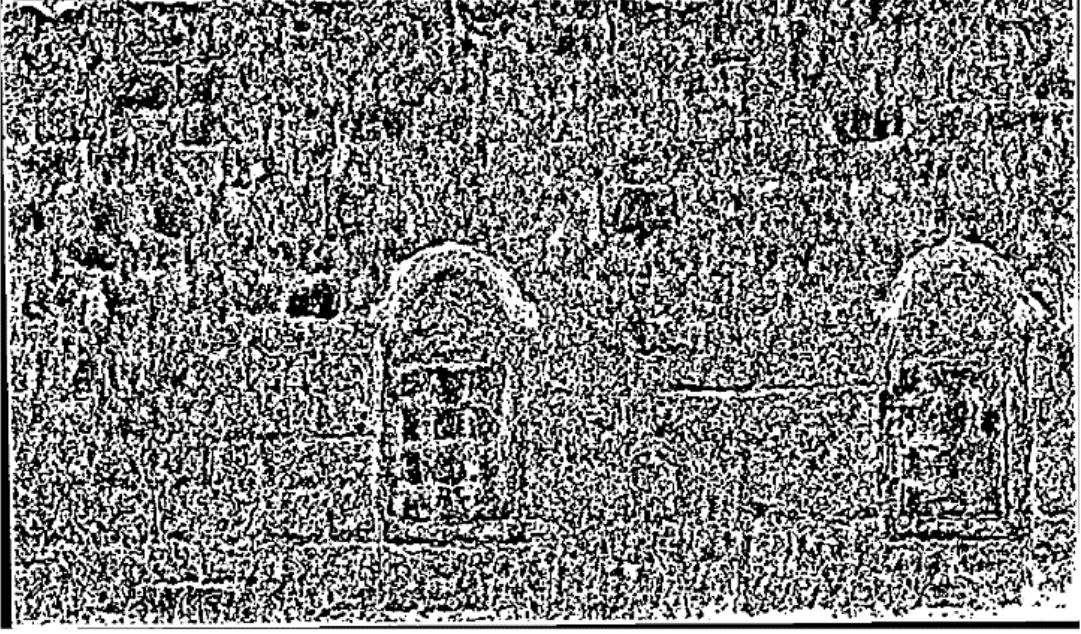
b) Cephe 3 Alan 2
Faro Focus3D X130

c) Cephe 3 Alan 2
Nikon D3200

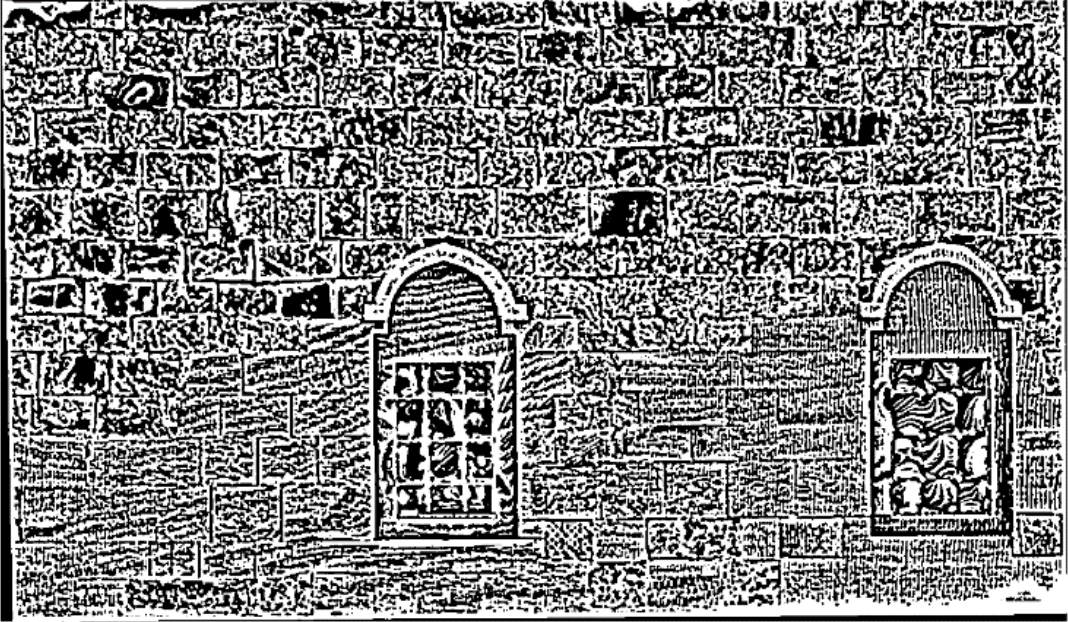
Şekil 78. Cephe 3 Alan 2'ye ait nokta bulutu raster derinlik görüntülerinden histogram eşitleme sonucu oluşan görüntü

Histogram eşitlemesi ile elde edilen görüntülerimizin her birini MATLAB'ın dahili iki boyutlu sürekli dalgacık analizi modülü ile analiz edilerek, görüntülerin derinlik içeriğinin piksel değerlerine bağlı olacak şekilde detaylı çıkartma işlemi gerçekleştirilmiştir.

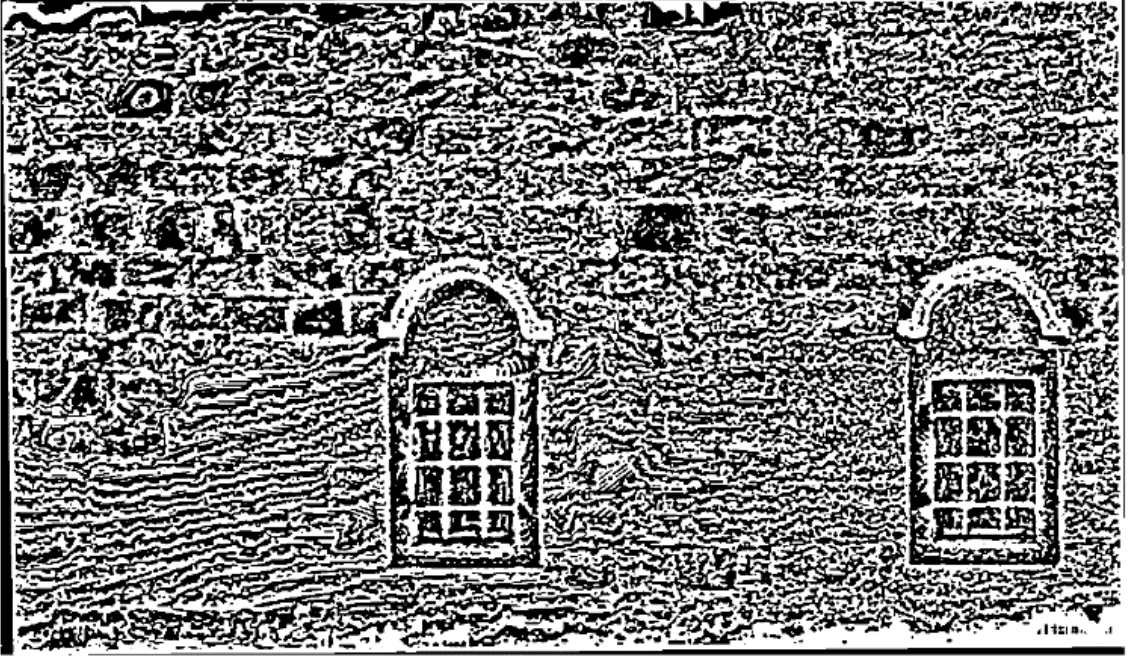
Cephe 1 Alan 1'e ait histogram eşitlemesi sonucu oluşan raster derinlik görüntülerine uygulanan 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsünde yüzey üzerindeki derz aralıklarının çizgisel olarak ayırt edilebilirliği, Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş görüntünün her yerinde yüksek oranda ayırt edici olduğu, ardından Nikon D3200 ile elde edilen görüntüde derz aralıklarının geniş aralıkta olduğu yerlerde ayırt edilebildiği ve DJI Phantom 4 RTK ile elde edilen görüntüde karmaşık ve ayırt edilemeyen bir sonuç ürün meydana geldiği Şekil 79, Şekil 80 ve Şekil 81'de görüldüğü gibi tespit edilmiştir.



Şekil 79. DJI Phantom 4 RTK ile elde edilmiş Cephe 1 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsü

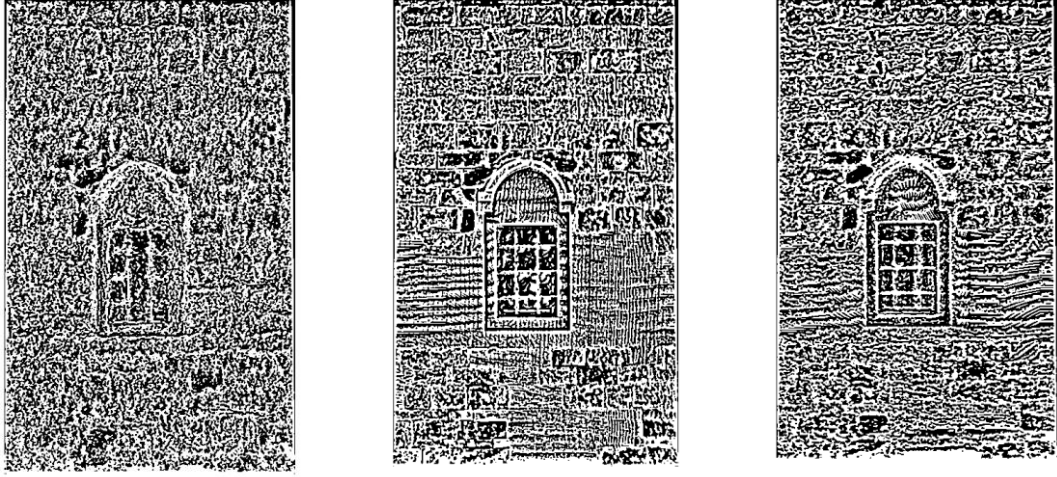


Şekil 80. Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş Cephe 1 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsü



Şekil 81. Nikon D3200 ile elde edilmiş Cephe 1 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsü

Cephe 1 Alan 2'ye ait histogram eşitlemesi sonucu oluşan raster derinlik görüntülerine uygulanan 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsünde yüzey üzerindeki derz aralıklarının çizgisel olarak ayırt edilebilirliği, Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş görüntünün her yerinde yüksek oranda ayırt edici olduğu, Nikon D3200 ile elde edilen görüntüde derz aralıklarının geniş aralıkta ve cephe üzerinde pencerenin olduğu bölgelerde ayırt edilebildiği ve DJI Phantom 4 RTK ile elde edilen görüntüde karmaşık ve ayırt edilemeyen bir sonuç ürün meydana geldiği Şekil 82'de görüldüğü gibi tespit edilmiştir.



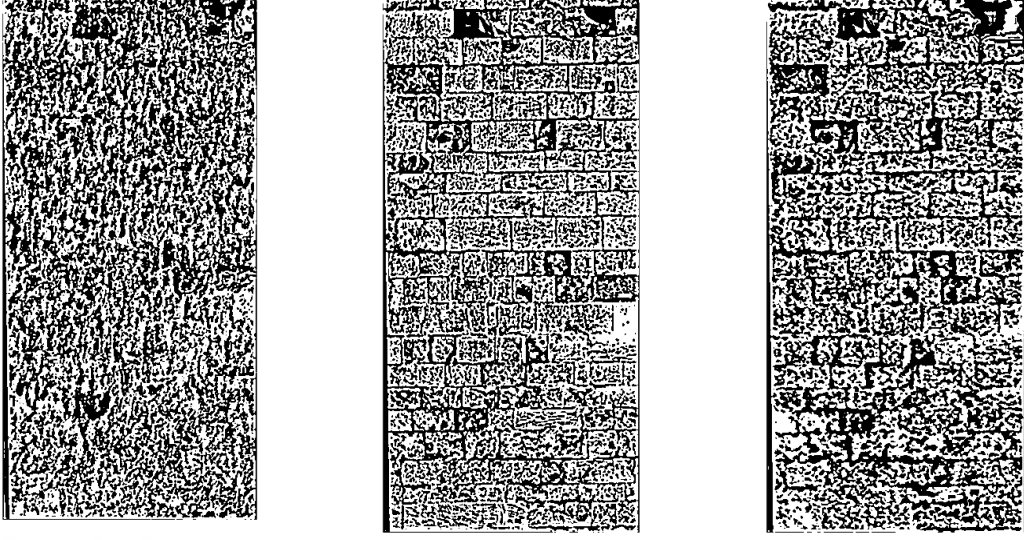
a) Cephe 1 Alan 2
DJI Phantom 4 RTK

b) Cephe 1 Alan 2
Faro Focus3D X130

c) Cephe 1 Alan 2
Nikon D3200

Şekil 82. Cephe 1 Alan 2'ye ait raster derinlik görüntüsünün 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsü

Cephe 2 Alan 1'e ait histogram eşitlemesi sonucu oluşan raster derinlik görüntülerine uygulanan 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsünde yüzey üzerindeki derz aralıklarının çizgisel olarak ayırt edilebilirliği, Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş görüntünün her yerinde yüksek oranda ayırt edici olduğu, Nikon D3200 ile elde edilen görüntüde derz aralıklarının geniş olmasından dolayı ayırt edilebildiğinin yüksek olduğu ve DJI Phantom 4 RTK ile elde edilen görüntüde karmaşık ve ayırt edilemeyen bir sonuç ürün meydana geldiği Şekil 83'de görüldüğü gibi tespit edilmiştir.



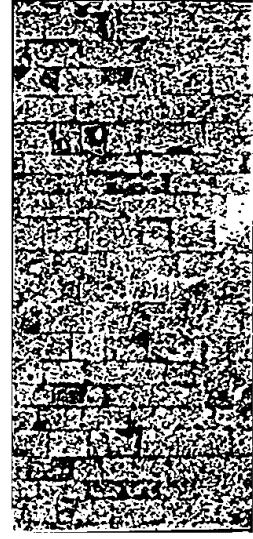
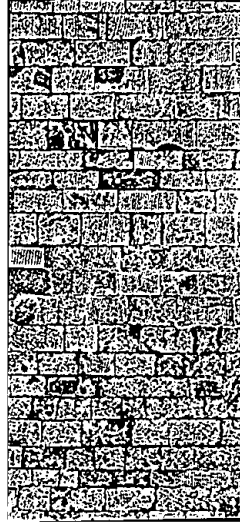
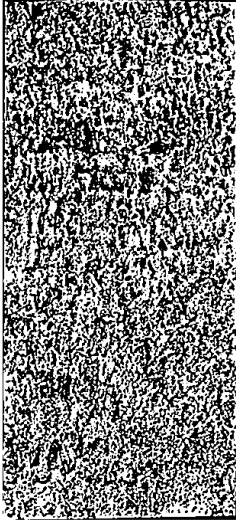
a) Cephe 2 Alan 1
DJI Phantom 4 RTK

b) Cephe 2 Alan 1
Faro Focus3D X130

c) Cephe 2 Alan 1
Nikon D3200

Şekil 83. Cephe 2 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsü

Cephe 2 Alan 2'ye ait histogram eşitlemesi sonucu oluşan raster derinlik görüntülerine uygulanan 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsünde yüzey üzerindeki derz aralıklarının çizgisel olarak ayırt edilebilirliği, Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş görüntünün her yerinde yüksek oranda ayırt edici olduğu, Nikon D3200 ile elde edilen görüntüde derz aralıklarının geniş olmasından dolayı ayırt edilebildiğinin yüksek olduğu ve DJI Phantom 4 RTK ile elde edilen görüntüde karmaşık ve ayırt edilemeyen bir sonuç ürün meydana geldiği Şekil 84'de görüldüğü gibi tespit edilmiştir.



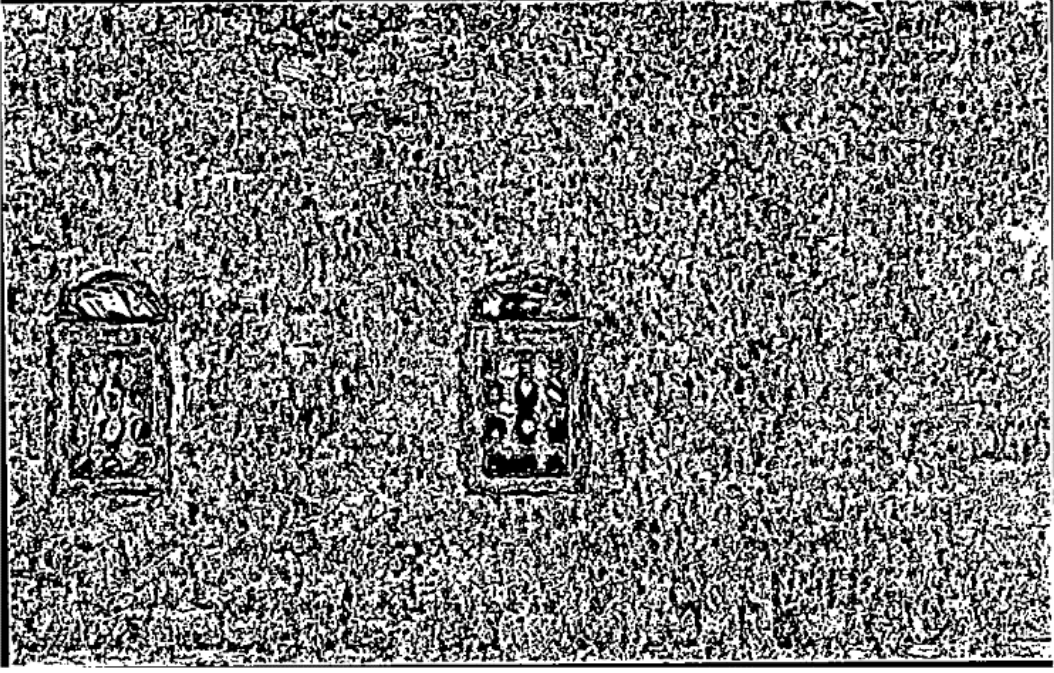
a) Cephe 2 Alan 2
DJI Phantom 4 RTK

b) Cephe 2 Alan 2
Faro Focus3D X130

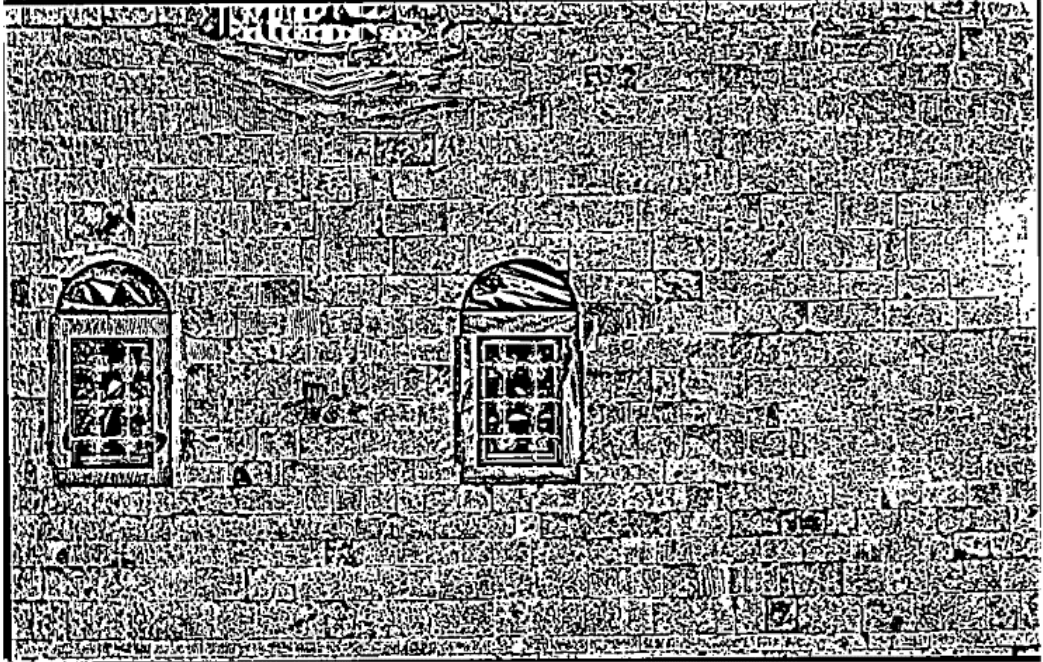
c) Cephe 2 Alan 2
Nikon D3200

Şekil 84. Cephe 2 Alan 2'ye ait raster derinlik görüntüsünün 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsü

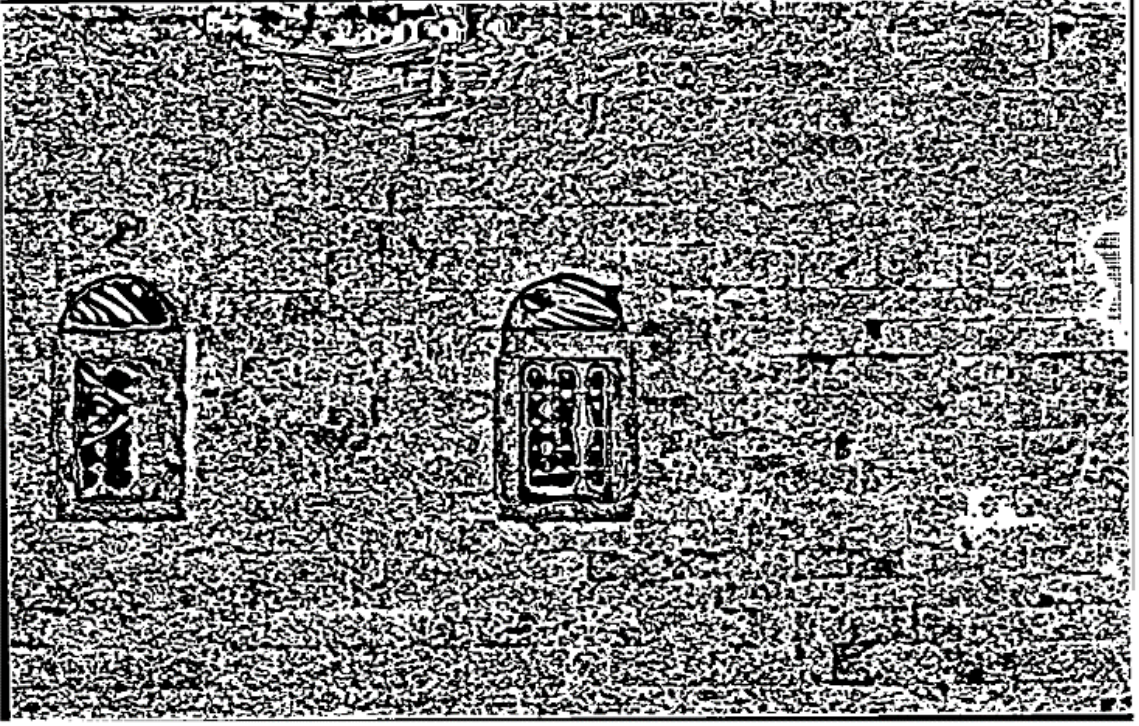
Cephe 3 Alan 1'e ait histogram eşitlemesi sonucu oluşan raster derinlik görüntülerine uygulanan 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsünde yüzey üzerindeki derz aralıklarının çizgisel olarak ayırt edilebilirliği, Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş görüntünün her yerinde yüksek oranda ayırt edici olduğu ancak yapı üzerindeki bazı düz yüzeylerde bozulmaların olduğu, Nikon D3200 ile elde edilen görüntüde derz aralıklarının geniş aralıkta olduğu yerlerde ayırt edilebildiği benzer düz yüzeylerde bozulmalar olduğu ve DJI Phantom 4 RTK ile elde edilen görüntüde karmaşık ve ayırt edilemeyen bir sonuç ürün meydana geldiği Şekil 85, Şekil 86 ve Şekil 87'de görüldüğü gibi tespit edilmiştir.



Şekil 85. DJI Phantom 4 RTK ile elde edilmiş Cephe 3 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsü

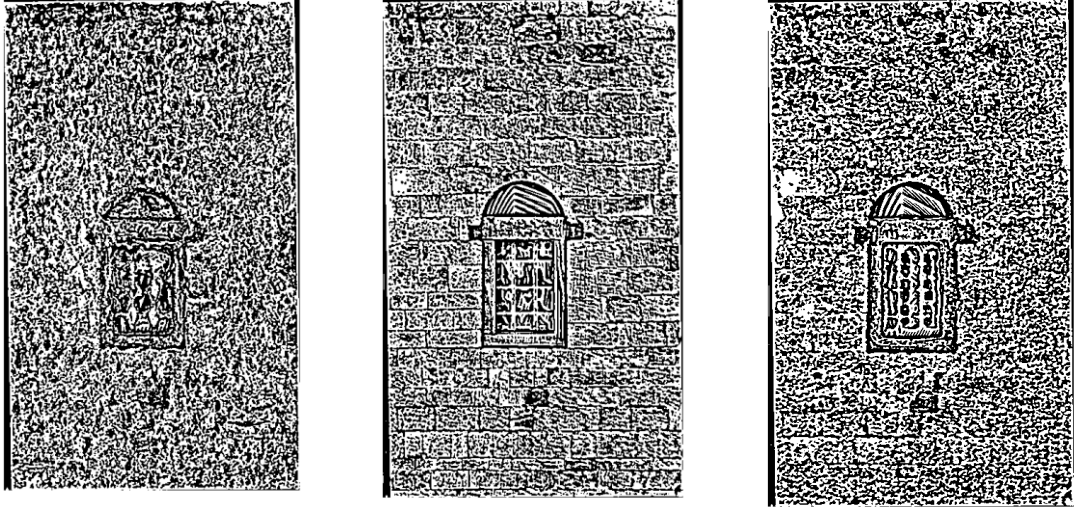


Şekil 86. Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş Cephe 3 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsü



Şekil 87. Nikon D3200 ile elde edilmiş Cephe 3 Alan 1'e ait raster derinlik görüntüsünün 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsü

Cephe 3 Alan 2'ye ait histogram eşitlemesi sonucu oluşan raster derinlik görüntülerine uygulanan 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsünde yüzey üzerindeki derz aralıklarının çizgisel olarak ayırt edilebilirliği, Faro Focus3D X130 ile elde edilmiş görüntünün her yerinde yüksek oranda ayırt edici olduğu, Nikon D3200 ile elde edilen görüntüde cephe üzerinde pencere detaylarının ayırt edilebildiği ancak derz aralıklarının geniş olmadığı bir yüzey olduğundan dolayı ayırt edilebildiğinin az olduğu ve DJI Phantom 4 RTK ile elde edilen görüntüde karmaşık ve ayırt edilemeyen bir sonuç ürün meydana geldiği Şekil 88'de görüldüğü gibi tespit edilmiştir.



a) Cephe 3 Alan 2
DJI Phantom 4 RTK

b) Cephe 3 Alan 2
Faro Focus3D X130

c) Cephe 3 Alan 2
Nikon D3200

Şekil 88. Cephe 3 Alan 2'ye ait raster derinlik görüntüsünün 2B SDD sonucu oluşan detay görüntüsü

MATLAB ortamında yazılan kodlar ile Arcgis programında, renkli raster görüntüler üzerinden manuel olarak gerçekleştirilen vektör çizimler MATLAB ortamına aktarılmıştır. Renkli raster görüntüler ile vektör veriler karşılaştırılarak birbirlerine göre konumsal doğrulukları tespit edilmiş olup herhangi olumsuzluğa rastlanılmamıştır. Bu işlemlerin ardından vektör veri ile maske oluşturularak çizgi kalınlığı 10 piksel olacak şekilde vektör verinin görüntü olarak çizim işlemi her bir cephe için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

Cephe 1 alan 1'de renkli raster görüntü üzerinden manuel olarak gerçekleştirilen vektörel çizim işleminde, yüzey üzerinde tespit edilen toplam 246 adet taş detay alan olarak çevrilerek kaydedilmiştir (Şekil 89).



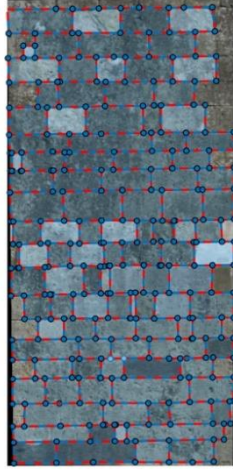
Şekil 89. Cephe 1 Alan 1'e ait; a) vektör veri ve b) bu veriden üretilmiş maske

Cephe 1 alan 2'de renkli raster görüntü üzerinden manuel olarak gerçekleştirilen vektörel çizim işleminde, yüzey üzerinde tespit edilen toplam 117 adet taş detay alan olarak çevrilerek kaydedilmiştir (Şekil 90).

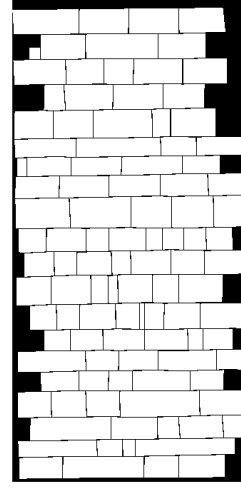


Şekil 90. Cephe 1 Alan 2'ye ait; a) vektör veri ve b) bu veriden üretilmiş maske

Cephe 2 Alan 1'de renkli raster görüntü üzerinden manuel olarak gerçekleştirilen vektörel çizim işleminde, yüzey üzerinde tespit edilen toplam 104 adet taş detay alan olarak çevrilerek kaydedilmiştir (Şekil 91).



a)



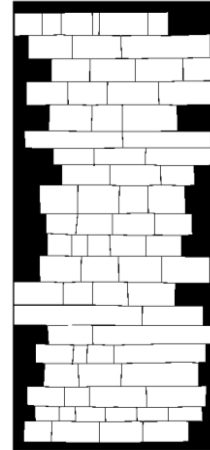
b)

Şekil 91. Cephe 2 Alan 1'e ait; a) vektör veri ve b) bu veriden üretilmiş maske

Cephe 2 Alan 2'de renkli raster görüntü üzerinden manuel olarak gerçekleştirilen vektörel çizim işleminde, yüzey üzerinde tespit edilen toplam 73 adet taş detay alan olarak çevrilerle kaydedilmiştir (Şekil 92).



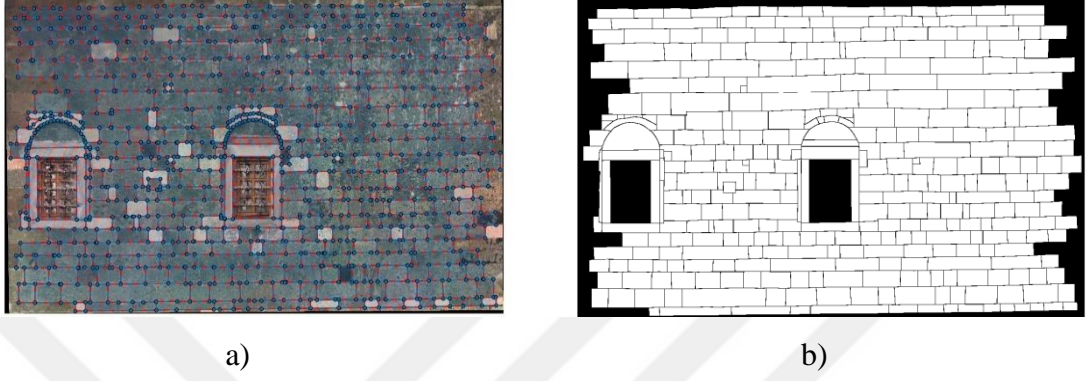
a)



b)

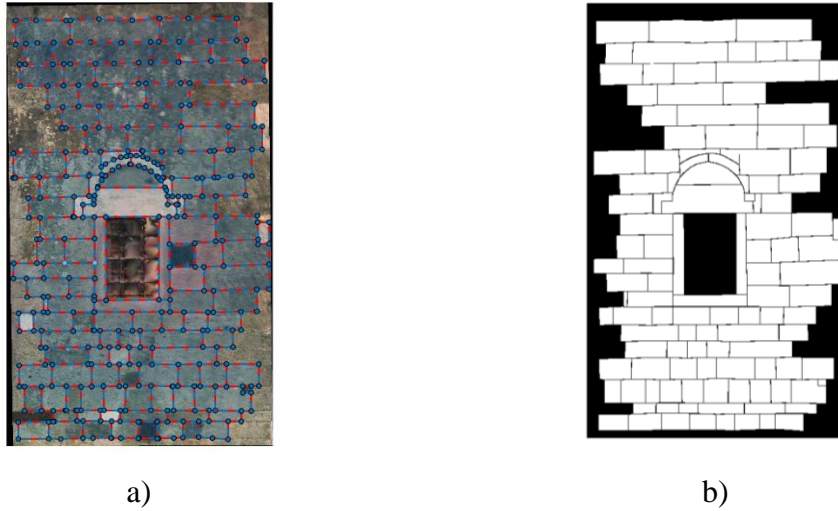
Şekil 92. Cephe 2 Alan 2'ye ait; a) vektör veri ve b) bu veriden üretilmiş maske

Cephe 3 Alan 1’de renkli raster görüntü üzerinden manuel olarak gerçekleştirilen vektörel çizim işleminde, yüzey üzerinde tespit edilen toplam 348 adet taş detay alan olarak çevrilerek kaydedilmiştir (Şekil 93).



Şekil 93. Cephe 3 Alan 1’e ait; a) vektör veri ve b) bu veriden üretilmiş maske

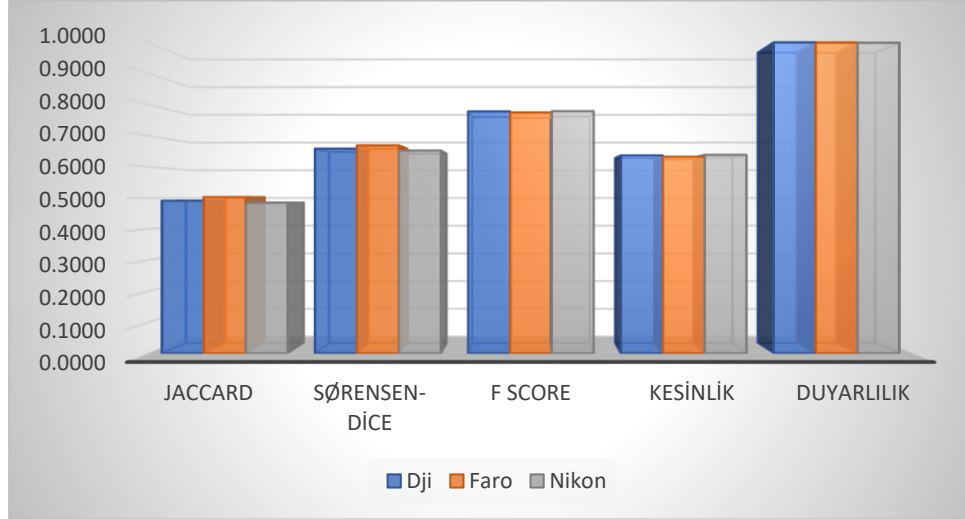
Cephe 3 Alan 2’de renkli raster görüntü üzerinden manuel olarak gerçekleştirilen vektörel çizim işleminde, yüzey üzerinde tespit edilen toplam 115 adet taş detay alan olarak çevrilerek kaydedilmiştir (Şekil 94).



Şekil 94. Cephe 3 Alan 2’ye ait; a) vektör veri ve b) bu veriden üretilmiş maske

Elde edilen maske görüntüleri ve iki boyutlu dalgacık analizinden elde edilen görüntüler ile MATLAB içerisinde gömülü Jaccard, Dice ve F-Skor kullanılarak doğruluk analizleri gerçekleştirilmiştir. Doğruluk analizi ile elde edilen sayısal sonuçlar aşağıdaki tablo ve grafikler halinde incelenmiştir.

Cephe 1 Alan 1’de belirlenen doğruluk değerlerinde hangi cihazın daha etkin sonuçlar çıkardığı belirlenmiştir. Jaccard ve Sørensen-Dice doğruluk analizlerinde en iyi doğrulukta kullanılabilir cihaz Faro olurken DJI ve Nikon sırasıyla takip etmektedir. F1-Skor ve Kesinlik doğruluk analizinde en iyi doğrulukta kullanılabilir cihaz Nikon olurken DJI ve Faro sırayla takip etmektedir. Duyarlık analizinde en iyi doğrulukta kullanılabilir cihaz DJI olurken Faro ve Nikon sırasıyla takip ettiği Şekil 95 ve Tablo 10’da tespit edilmiştir.

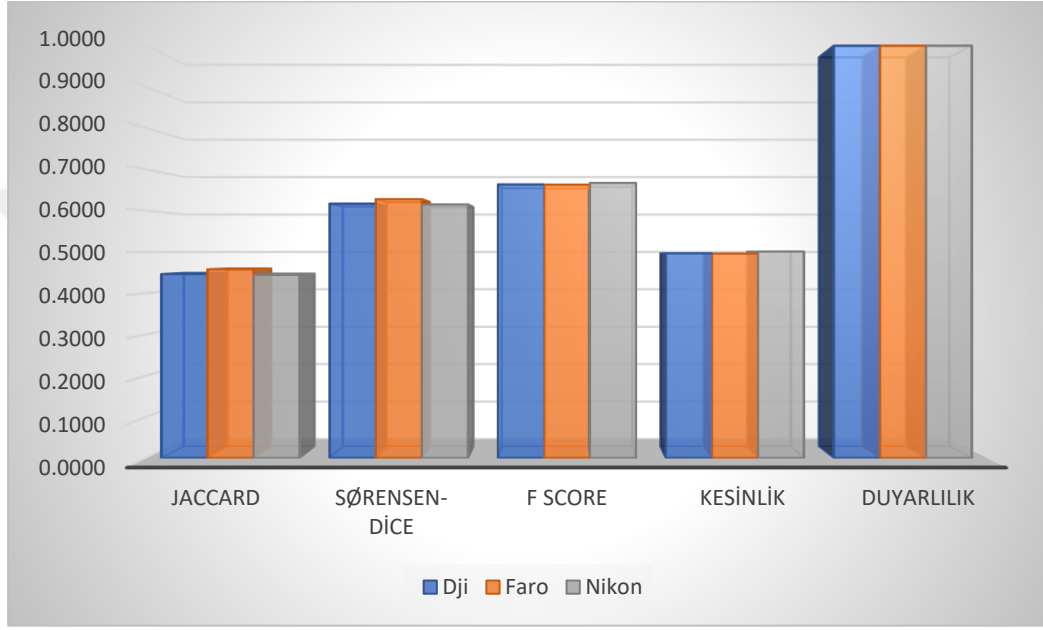


Şekil 95. Cephe 1 Alan 1’in doğruluk analizi sonuçları

Tablo 9. Cephe 1 Alan 1’in benzerlik sonuç değerleri

	Cephe 1 Alan1				
	Jaccard	Sørensen-Dice	F1-Skor	Kesinlik	Duyarlılık
DJI	0.4910	0.6586	0.7781	0.6367	1.0000
Faro	0.5029	0.6692	0.7749	0.6326	0.9997
Nikon	0.4843	0.6525	0.7791	0.6386	0.9988

Cephe 1 Alan 2’de belirlenen doğruluk değerlerinde hangi cihazın daha etkin sonuçlar çıkardığı belirlenmiştir. Jaccard ve Sørensen-Dice doğruluk analizlerinde en iyi doğrulukta kullanılabilir cihaz Faro olurken DJI ve Nikon sırasıyla takip etmektedir. F1-Skor ve Kesinlik doğruluk analizinde en iyi doğrulukta kullanılabilir cihaz Nikon olurken DJI ve Faro sırayla takip etmektedir. Duyarlık analizinde doğruluk değerlerinin her bir cihaz için birbirine eşit olduğu Şekil 96 ve Tablo 11’de tespit edilmiştir.

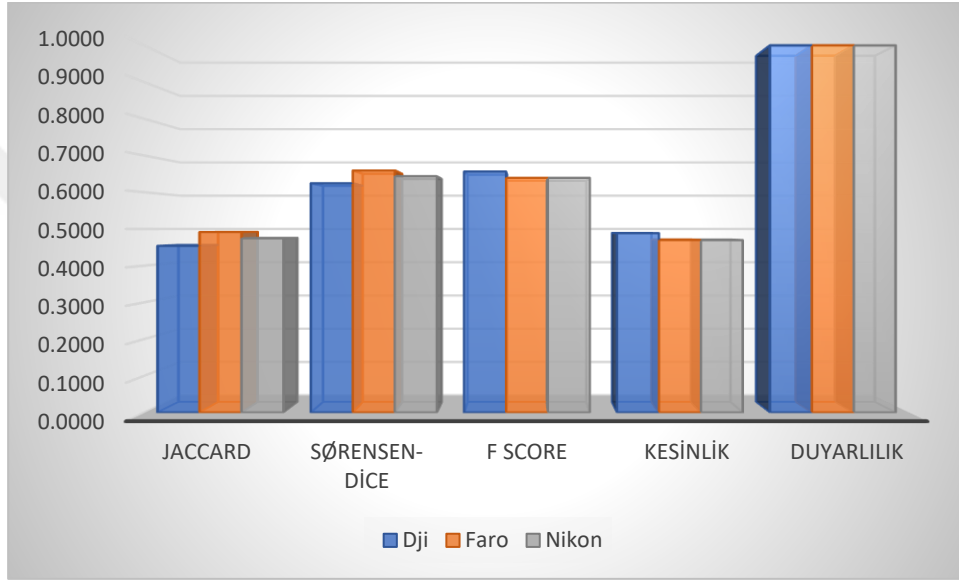


Şekil 96. Cephe 1 Alan 2’in doğruluk analizi sonuçları

Tablo 10. Cephe 1 Alan 2’in doğruluk sonuç değerleri

	Cephe 1 Alan 2				
	Jaccard	Sørensen-Dice	F1-Skor	Kesinlik	Duyarlılık
DJI	0.4462	0.6171	0.6637	0.4967	1.0000
Faro	0.4577	0.6280	0.6632	0.4961	1.0000
Nikon	0.4443	0.6152	0.6674	0.5009	1.0000

Cephe 2 Alan 1’de belirlenen doğruluk değerlerinde hangi cihazın daha etkin sonuçlar çıkardığı belirlenmiştir. Jaccard ve Sørensen-Dice doğruluk analizlerinde en iyi doğrulukta kullanılabilir cihaz Faro olurken Nikon ve DJI sırasıyla takip etmektedir. F1-Skor ve Kesinlik doğruluk analizinde en iyi doğrulukta kullanılabilir cihaz DJI olurken Faro ve Nikon sırayla takip etmektedir. Duyarlılık analizinde en iyi doğrulukta kullanılabilir cihaz Faro olurken DJI ve Nikon sırasıyla takip ettiği Şekil 97 ve Tablo 12’de tespit edilmiştir.

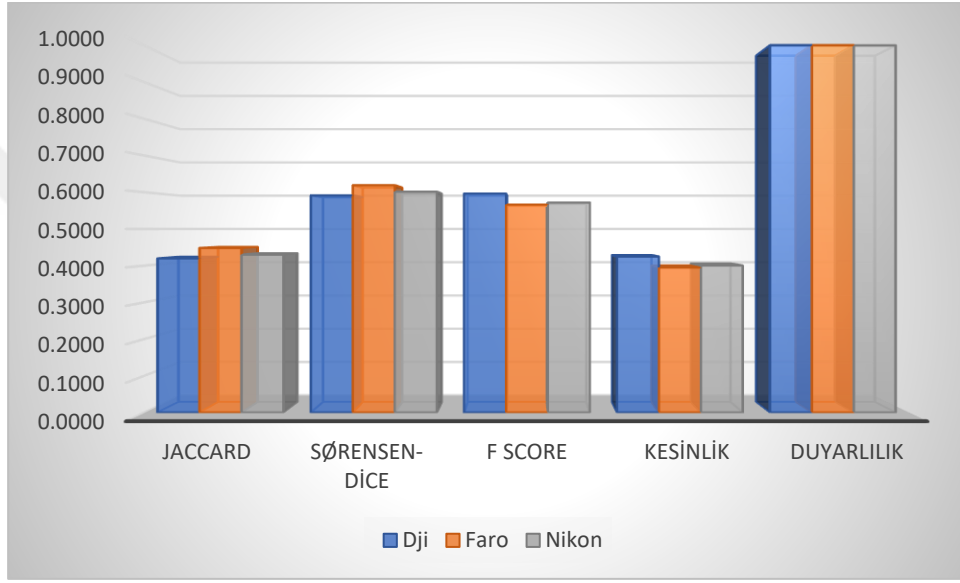


Şekil 97. Cephe 2 Alan 1’in doğruluk analizi sonuçları

Tablo 11. Cephe 2 Alan 1’in doğruluk sonuç değerleri

Cephe 2 Alan 1					
	Jaccard	Sørensen-Dice	F1-Skor	Kesinlik	Duyarlılık
DJI	0.4539	0.6244	0.6563	0.4885	0.9997
Faro	0.4916	0.6591	0.6392	0.4698	0.9999
Nikon	0.4745	0.6436	0.6390	0.4696	0.9995

Cephe 2 Alan 2’de belirlenen doğruluk değerlerinde hangi cihazın daha etkin sonuçlar çıkardığı belirlenmiştir. Jaccard ve Sørensen-Dice doğruluk analizlerinde en iyi doğrulukta kullanılabilir cihaz Faro olurken Nikon ve DJI sırasıyla takip etmektedir. F1-Skor ve Kesinlik doğruluk analizinde en iyi doğrulukta kullanılabilir cihaz DJI olurken Nikon ve Faro sırayla takip etmektedir. Duyarlılık analizinde en iyi doğruluk değerlerine DJI ve Faro eşit değerde sahip olurken Nikon bu doğruluk değerlerini takip ettiği Şekil 98 ve Tablo 13’te tespit edilmiştir.

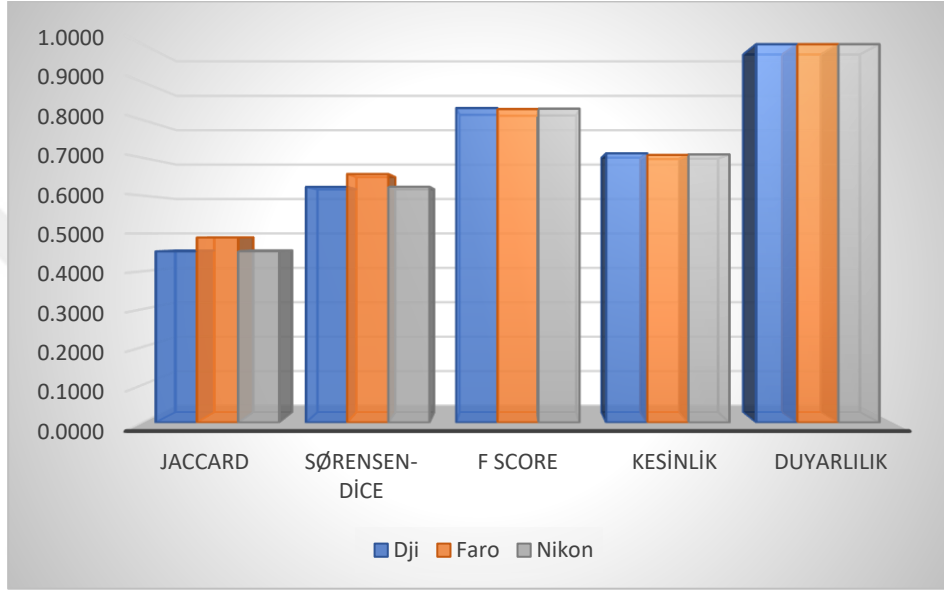


Şekil 98. Cephe 2 Alan 2’in doğruluk analizi sonuçları

Tablo 12. Cephe 2 Alan 2’in doğruluk sonuç değerleri

Cephe 2 Alan 2					
	Jaccard	Sørensen-Dice	F1-Skor	Kesinlik	Duyarlılık
DJI	0.4197	0.5913	0.5963	0.4247	1.0000
Faro	0.4482	0.6190	0.5662	0.3949	1.0000
Nikon	0.4300	0.6014	0.5719	0.4005	0.9995

Cephe 3 Alan 1’de belirlenen doğruluk değerlerinde hangi cihazın daha etkin sonuçlar çıkardığı belirlenmiştir. Jaccard ve Sørensen-Dice doğruluk analizlerinde en iyi doğrulukta kullanılabilir cihaz Faro olurken Nikon ve DJI sırasıyla takip etmektedir. F1-Skor ve Kesinlik doğruluk analizinde en iyi doğrulukta kullanılabilir cihaz DJI olurken Nikon ve Faro sırayla takip etmektedir. Duyarlılık analizinde doğruluk değerlerinin her bir cihaz için birbirine eşit olduğu Şekil 99 ve Tablo 14’te tespit edilmiştir.

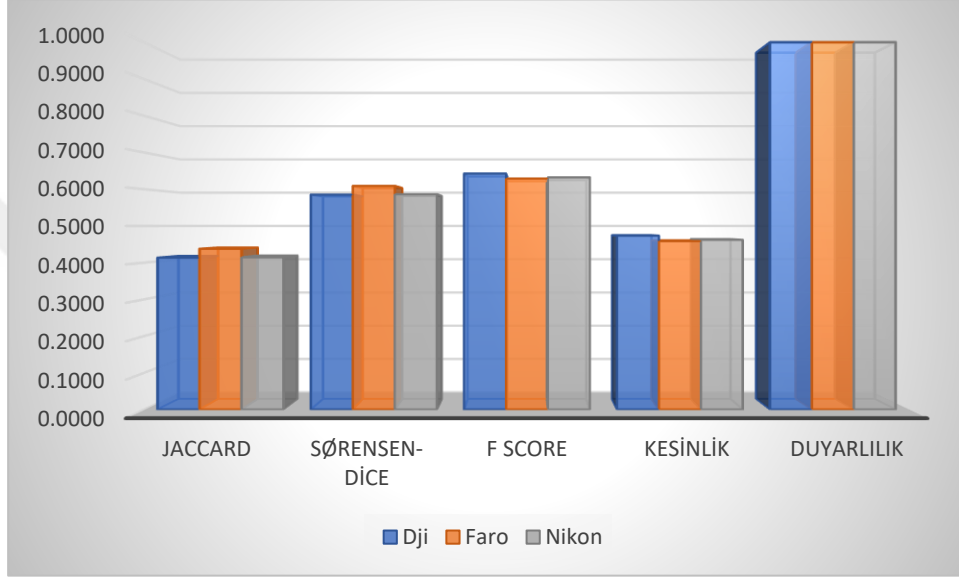


Şekil 99. Cephe 3 Alan 1’in doğruluk analizi sonuçları

Tablo 13. Cephe 3 Alan 1’in doğruluk sonuç değerleri

Cephe 3 Alan 1					
	Jaccard	Sørensen-Dice	F1-Skor	Kesinlik	Duyarlılık
DJI	0.4525	0.6231	0.8315	0.7116	1.0000
Faro	0.4893	0.6571	0.8288	0.7076	1.0000
Nikon	0.4529	0.6234	0.8297	0.7089	1.0000

Cephe 3 Alan 2’de belirlenen doğruluk değerlerinde hangi cihazın daha etkin sonuçlar çıkardığı belirlenmiştir. Jaccard ve Sørensen-Dice doğruluk analizlerinde en iyi doğrulukta kullanılabilir cihaz Faro olurken Nikon ve DJI sırasıyla takip etmektedir. F1-Skor ve Kesinlik doğruluk analizinde en iyi doğrulukta kullanılabilir cihaz DJI olurken Nikon ve Faro sırayla takip etmektedir. Duyarlılık analizinde doğruluk değerlerinin her bir cihaz için birbirine eşit olduğu Şekil 100 ve Tablo 15’te tespit edilmiştir.

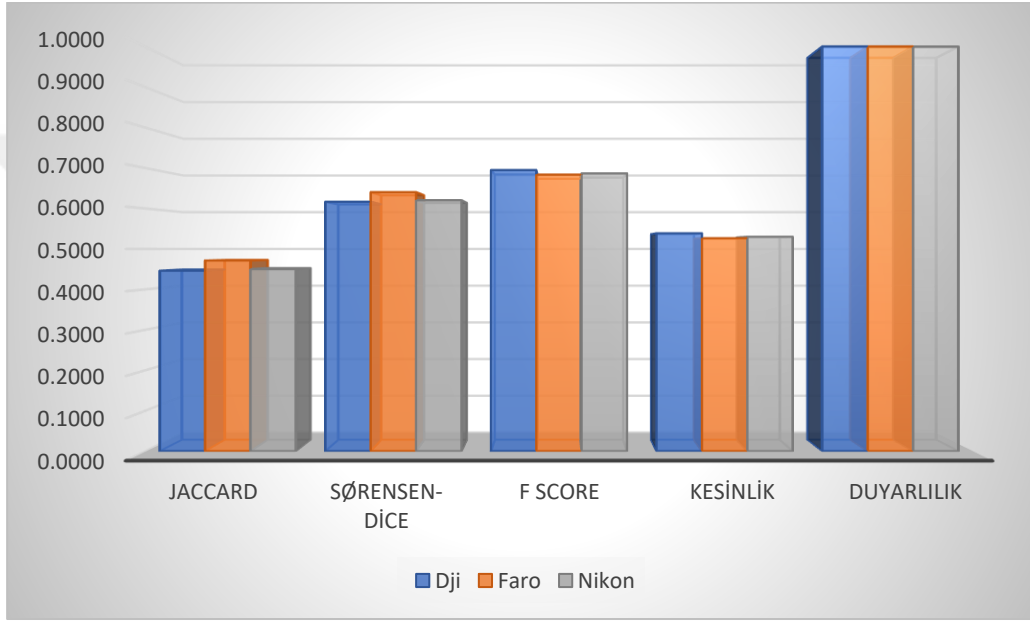


Şekil 100. Cephe 3 Alan 2’in doğruluk analizi sonuçları

Tablo 14. Cephe 3 Alan 2’in doğruluk sonuç değerleri

Cephe 3 Alan 2					
	Jaccard	Sørensen-Dice	F1-Skor	Kesinlik	Duyarlılık
DJI	0.4136	0.5852	0.6426	0.4735	1.0000
Faro	0.4379	0.6091	0.6290	0.4588	1.0000
Nikon	0.4146	0.5862	0.6321	0.4621	1.0000

Her bir cephe için ayrı ayrı belirlenen doğruluk değerlerinin genel ortalaması alınarak hangi cihazın daha etkin sonuçlar çıkardığı belirlenmiştir. Jaccard ve Sørensen-Dice doğruluk analizlerinde en iyi doğrulukta kullanılabilir cihaz Faro olurken Nikon ve DJI sırasıyla takip etmektedir. F1-Skor ve Kesinlik doğruluk analizinde en iyi doğrulukta kullanılabilir cihaz DJI olurken Nikon ve Faro sırayla takip etmektedir. Duyarlılık analizinde en iyi doğrulukta kullanılabilir cihaz DJI olurken Faro ve Nikon sırasıyla takip ettiği Şekil 101 ve Tablo 16'da tespit edilmiştir.



Şekil 101. Cephelere ait doğruluk analizi sonuç değerlerinin genel ortalama değerleri

Tablo 15. Cephelere ait doğruluk analizi sonuç değerlerinin genel ortalama değerleri

	Jaccard	Sørensen-Dice	F1-Skor	Kesinlik	Duyarlılık
DJI	0.4462	0.6166	0.6948	0.5386	1.0000
Faro	0.4713	0.6403	0.6836	0.5266	0.9999
Nikon	0.4501	0.6204	0.6865	0.5301	0.9996

3. BULGULAR VE İRDELEME

Çalışma alanı Yason Kilisesi, eski bir yapı olduğundan dolayı zaman içerisindeki yıpranmalardan dolayı restorasyon işlemi görmüştür. Bu restorasyon işlemi esnasında kilise duvarlarındaki taşlar değiştirilmiş olup orijinal görünümüne kavuşturulacak cinsten taşlar kullanılmadığı tespit edilmiştir. Duvar yüzeyi üzerinde, yerinde yapılan tespitlerde derz aralıklarının restorasyon yapılmamış kısımlarda çok belirgin olmasına rağmen restorasyona tabi tutulan alanlarda derz aralıkları asıl haline oranla çok daha küçük olduğu tespit edilmiştir.

Yersel Lazer Tarayıcı cihaz ile elde edilen nokta bulutu verilerinin birleştirilmesi ve sonrasında elde edilen raster görüntü üzerinde yapılan morfolojik operasyonlar neticesinde elde edilen noktalar verilerinde derinlik algısının yüksek olduğu ve bu hassasiyetin duvar yüzeyindeki derz aralıklarının net bir şekilde çıkartılabileceğini anlaşılmıştır. Bu cihazın ışın demetlerinin açı ve mesafelere dayalı olarak hesaplanması sonucunda, bir veri seti meydana getirmesi ölçüm hassasiyetindeki etkiyi göz önüne getirmektedir. Elde edilen verilerin, yüzeye ait yalnızca nokta olarak temsili olan veriler olduğu tespit edilmiştir. Bu cihaz ile herhangi yüzey üzerinde yapılan ölçümler gerçeğe yakın sonuç veriler alınmasını mümkün kılmaktadır.

Nikon D320 fotoğraf makinesi ile yapılan görüntüleme ve birleştirme işlemleri neticesi yüzey üzerindeki derinlik algısını milimetrik hassasiyette sağlamadığı tespit edilmiştir. Fotoğrafların birleşmesi sonucu oluşan nokta bulutu verilerinin piksel bazlı nokta verileri olduğu ve bu verilerin çekilen fotoğrafların kalitesi, sayısı ve üst üste binmesine bağlı olarak değişkenlik gösterebileceği tespit edilmiştir. Fazla olması derinlik algısında santimetre bazında etki göstermektedir.

DJI Phantom 4 RTK ile elde edilen görüntüleme ve birleştirme işlemleri neticesinde yüksek derecede gürültülü piksel bazlı nokta bulutu elde edilmiştir. Nokta bulutunda oluşan bu gürültüler İHA'nın hareket halinde olması, kameranın bağlı olduğu Gimbal'ın hassasiyetine ve kameranın hareket halindeki fotoğraflama süresine bağlı olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda fotoğraflaması yapılan cephelerde güneş cephelerdeki parlama etkisi de verilerin birleşimi sonucunda oluşan görsel algılamayı etkilediği belirlenmiştir.

Yapılan işlemler çıkartılan sonuç veriler dikkate alındığında görüntü ve nokta bulutu karşılaştırmasında büyükten küçüğe sıralama da Faro Focus Laser Scanner, Nikon D3200 ve DJI Phantom 4 RTK olarak sıralanmaktadır.

Tez kapsamında yapılan uygulama işlemlerinden elde edilen raster derinlik görüntüsünün histogram eşitleme sonucu oluşan görüntüsüne görsel anlamda yapılan inceleme sonucunda derz aralıklarının en ayırt edilebilirlikten ayırt edilemeyeceğine doğru Faro Focus Laser Scanner, Nikon D3200 ve DJI Phantom 4 RTK olarak sıralanmaktadır.

Histogram eşitlemesi sonucu oluşan görüntünün 2B SDD analizi sonucu oluşan detay görüntüleri görsel anlamda inceleme sonucunda derz aralıklarını en belirgin şekilde temsil eden görüntülerin Faro Focus Laser Scanner tarayıcıya ait görüntüler olduğu anlaşılmıştır. Bu bağlamda yapılan incelemelerde, Nikon D3200 ile elde edilen görüntülerinde derz aralıklarının gürültü verilerinden dolayı bulanık ve kısmen anlaşılır olduğu anlaşılmış iken DJI Phantom 4 RTK ile elde edilen görüntülerde derz aralıkları, sabit kurulumla sahip bir cihaz olmayışı göz önünde bulundurularak, bulanık ve anlaşılmaz görüntülere sahip olduğu anlaşılmıştır.

Doğruluk analizi sonuç değerlerinde istatistiksel olarak hesaplanma yöntemlerindeki sonuçlar, dağınık nokta bulutu verilerinin 2B SDD analizi sonucu elde edilen detay görüntülerindeki dağınık, ayrıştırılamayan ve gerçek yüzeyi temsil etmeyen detayların referans yüzey ile olan kesişim, birleşim ve toplam şeklinde matematiksel ilişkilerinden dolayı farklılıklar göstermiştir.

Yersel lazer tarama yöntemi ile yapılacak veri toplama işlemlerinde cihaz lazer demeti ile nokta veri toplamasına rağmen toplamış olduğu nokta verileri, cihazın çekmiş olduğu fotoğraflardan renk değerini aldığı için çekim yüzeyinde oluşabilecek yansımalara dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu işlemler yapılırken ölçüm yapılacak yüzeyde derz aralıklarının dar olmasından dolayı cihazın nokta toplama sıklığı ve oturum sayısı artırılması gerekmektedir.

Yersel fotogrametri yöntemi ile yapılacak veri toplama işlemlerinde kullanılacak donanımın kalitesine, iyi kalibre edilmesine ve araziye çıkılmadan önce çekim planının yapılarak bu plan dahilinde fotoğraflama işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Çekim yapılacak yüzeye olan mesafenin, kamera lensinin odak uzaklığına ve cihazın çözünürlük algısına bağlı olacak şekilde uygulamada gerçekleştirilmiş 12 metrenin üzerine çıkılmaması üretilen modelin kalitesine olumlu yönde katkı sağlayacaktır.

Hava fotogrametri yöntemi ile yapılacak veri toplama işlemlerinde uygulama alanında yüzeyde meydana gelebilecek yansımalar ve hava koşullarının rüzgârlı olmamasına dikkat edilmelidir. Çekim yapılacak yüzey ile İHA arasındaki mesafe 20 metre

ve altında olacak şekilde gerçekleştirilmesine dikkat edilmesi gerekmekte olup bu bağlamda fotoğraf netliklerinin harekete bağlı olacak şekilde daha net olması adına İHA uçuş hızının minimum seviyede olması tercih edilmelidir.



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Uygulamadan yapılan değerlendirme sonuçlarına göre YLT ile üretilen nokta bulutu verileri, histogram eşitleme sonucu raster görüntüler ile 2B SDD analizi sonucu oluşan detay çıkarımlarının kıyaslanmasında yüzey üzerinde derinlik yakalama anlamında daha iyi verileri üretilebileceği anlaşılmıştır. Bu bağlamda yapılan kıyaslamalarda sırasıyla DSLR kamera ve İHA şeklinde devam etmektedir.

Uygun cihaz seçiminin uygulama alanının yapısal ve fiziksel koşullarına bağlı olarak seçilmesi gerektiği yapılan bu uygulama sonucunda anlaşılmıştır. Uygulama alanı olarak belirlenecek bir yapının yerinde tespitinde ulaşılabilirlik, yapıya ait detayların ancak yapının çok yakınında anlaşılır ve ayırt edilebilir olması durumunda en iyi doğruluk ve hassasiyete sahip yöntem olan YLT seçilmesi uygun olacaktır. Uygulama alanında yapının ulaşılabilirliği, detay unsurları, kütleli olarak belirginliği uzaktan anlaşılır ve ayırt edilebilir olması durumunda doğruluk, hassasiyet ve maliyet göz önünde bulundurularak DSLR cihazı seçilmesi uygun olacaktır. Ancak uygulama alanında yapının ulaşılabilirliği mümkün seçilmesi uygun olacaktır. Ancak ulaşılabilirliğin mümkün olmadığı, ayırt edilmesi yalnızca yakından olan, doğruluk, hassasiyet ve maliyet unsurlarının göz önünde bulundurulduğunda İHA kullanılması uygun olacağı anlaşılmıştır.

Çalışma alanındaki derz aralıklarının yeterli belirginlikte olmaması nedeniyle böyle bir uygulama alanında YLT kullanılması gerekmektedir. YLT cihaz ile yapılan saha çalışmalarında oturum süreleri, istenilen çözünürlük ve nokta yoğunluğu ile tarama açısı göz önünde bulundurulması halinde ortalama 11 dakika kadar sürmektedir. Arazide gerçekleştirilen taramaların ofis ortamında kolaylıkla birleştirilmesi ile doğrudan 3B verinin işlenebilecek durumda olduğu bilinmelidir. Bu bağlamda yapılması düşünülen benzer çalışmalarda cihaz seçimini etkileyen faktörler ve üretilecek verilerin doğruluğu göz önüne bulundurularak YLT yönteminin tüm yöntemlere kıyasla öncelikli olarak seçilmesinin uygun olduğu anlaşılmıştır.

5. KAYNAKLAR

- Akdoğan., A., 2013. Yere Nüfuz Eden Radarlarda Lifting Temelli Dalgacık Dönüşümü ile Kargaşa Bastırma, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alp., H., Akıncı., T., Ç. ve Albora., M., 2007. Jeofizik Uygulamalarda Fourier ve Dalgacık Dönüşümlerinin Karşılaştırılması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 2008, 67-76.
- Arısoy., M., Ö. ve Dikmen., Ü., 2014. Manyetik Belirti Haritalarının Histogram Eşitleme Yöntemi Kullanılarak İyileştirilmesi, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 35, 2, 175-184.
- Asri, İ., Çorumluoğlu., Ö., 2007. Büyük Ölçekli Tarihi Dökümantasyon ve Tanıtım Amaçlı GNSSİT Destekli Dijital Fotogrametrik 3B Modelleme. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği IV. Teknik Sempozyumu (TUFUAB 2007) Haziran, KTÜ, Trabzon
- Aygün., O., 2006. Konuşmacı Sistemlerinde Dalgacık Dönüşümü, Yüksek Lisans Tezi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Bilgehan., B. ve Kavalcıoğlu., C., 2020. Sürekli Glikoz İzleme (CGM) Sinyalleri ile Tip 1 Diyabet Tedavisi İçin Sürekli Dalgacık Dönüşüm (CWT) Tabanlı Filtreleme Yöntemi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 581-593.
- Bozkurt., S., 2018, Derin Öğrenme Algoritmaları Kullanılarak Çay Alanlarının Otomatik Segmentasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çelik., M., F., 2016, Köprü Ayağı Modeli Etrafındaki Oyulma ve Birikme Desenlerinin Fotogrametri ve Yersel Lazer Tarama Yöntemleri ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Duran. Z., Atik., M., E. ve Çelik., M., F., 2017. Yersel Fotogrametrik Yöntem ile Yersel Lazer Taramanın Karşılaştırılması ve Doğruluk Analizi, Harita Dergisi, 158.
- Fedi., M., Cella., F., Quarta., T. ve Villani., A., V., 2010. 2D Continuous Wavelet Transform of potential fields due to extended source distributions, Applied and Computational Harmonic Analysis, 2010, 320-337.
- Gürcan., Y., 2012. Yersel Lazer Tarama Yöntemi ve Klasik Ölçme Yönteminin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Hirschmüller, H., 2008. Stereo processing by semi-global matching and mutual information, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 30, 2, 328-341.
- Hirschmüller, H., 2011. Semi-Global Matching-Motivation, Developments and Applications, Photogrammetric Week' 11, September, Stuttgart.
- İçel., A., 2018. Yersel Lazer Tarama Teknolojisi ile Arkeolojik Harita Üretimi: Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Kaya., E., 2017. İnsansız Hava Araçları ve Lazer Tarama Sistemleri ile Kaya Bloklarının 3 Boyutlu Modellenmesi ve Hacim Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Kıvanç., H., 2019. Kültürel Miras Belgeleme Çalışmalarında Fotogrametrik Yöntem ile Yersel Lazer Tarama Yönteminin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Konecny, G., 2003. Geoinformation; Remote Sensing, Photogrammetry and Geographic Information Systems, 1.
- Kula., B. ve Ergen., E., 2017. Lazer Tarayıcı Teknolojisinin Yapım Yönetiminde Kullanım Alanları, Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi Ekim 2017, Samsun, 253-302.
- Limandal., P., Y., 2019. Dijital Hava Görüntülerinden Üretilen Nokta Bulutu ile Yarı Otomatik bina Detayı Çıkarımı, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Özdemir., S., 2014. Yersel Lazer Tarama ve Yersel Fotogrametri ile Elde Edilen Yüksek Çözünürlüklü Verilerden Üretilmiş Üç Boyutlu Modellerin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- Öztürk., O., Bilgilioğlu, B., B., Çelik, M., F. ve Bilgilioğlu., S., S., 2017. İnsansız Hava Aracı (İHA) Görüntüleri ile Ortogörüntü Üretiminde Yükseklik ve Kamera Açısının Doğruluğa Etkisinin Araştırılması, Geomatik Dergisi, 2, 3, 135-141.
- Reddy., V., K., Siramoju., K., K. ve Sircar., P., 2014. Object Detection by 2-D Continuous Wavelet Transform, International Conference on Computational Science and Computational Intelligence, Nevada.

- Sağlam., A., 2020. 3D LIDAR Nokta Bulutu İşlemede Sınır Gözetmeli Voksel Tabanlı Bir Segmentasyon Yöntemi Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Sak., Ö., F. ve Beyen., K., 2019. Yapıların Zaman-Frekans Ortamında Dalgacık Dönüşümü Metoduyla Hasar Analizleri, Teknik Dergi, 8835-8860, 525.
- Saygeçitli., E., 2013. Atenolol-Klortalidon İçeren Kombine Ticari Farmasötik Preparat'ın Kemometrik Sürekli Dalgacık Dönüşüm Yöntemleri ile Kantitatif Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Selek., E., 2019. İHA ile Üretilmiş Ortofoto, Sayısal Arazi ve Yüzey Modeli Performanslarının İncelenmesi: Bursa İli Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Şahin., C., 2011. Taksim Cumhuriyet Meydanı Örneğinde Fotogrametri ve Lazer Tarama Verileriyle Bütünleşik 3B Kent Modeli Üretimi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şahin., N., 2020. Derin Öğrenme Tabanlı Yöntemler ile Cilt Lezyonlarının Bölütlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Şehsuvaroğlu., M., S., Eker., O., Erdoğan., M. ve Yıldız., F., 2014. Sayısal Yüzey Modeli Üretiminde Fotoragrametri mi, LiDAR mı?, Harita Dergisi, 1, 151.
- Valero., E., Boshe., F. ve Forster., A., 2018. Automatic segmentation of 3D point clouds of rubble masonry walls, and its application to building surveying, repair and maintenance, Automation in Construction, 96, 29-39.
- Yılmaz., F., 2018. Uzaktan Algılanan Görüntüler İçin Görüntü İyileştirme Tekniklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- URL-1, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Stereogram>, 12.02.2021
- URL-2, <https://d9v7j6n3.rocketcdn.me/wp-content/uploads/2020/12/havadan-lidar.png.webp>, 08.01.2021
- URL-3, <https://www.mathworks.com/help/images/ref/histeq.html>, 09.01.2021

ÖZGEÇMİŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümünü kazandı. Lisans öğrenimini 2015 yılında tamamladıktan sonra Trabzon'da özel bir büroda çalışmaya başladı. 2016 yılında Ordu Büyükşehir Belediyesi'nde harita mühendisi olarak çalışmaya başladı ve aynı kurumda çalışmaya devam etmektedir.

