T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOKLU FOTOĞRAFLARIN ÜÇ BOYUTLU REKONSTRÜKSİYONUNU YAPAN YAZILIMLARIN PERFORMANS ÖLÇÜMÜ

OZAN ŞAHİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
BİLGİSAYAR ORTAMINDA MİMARLIK PROGRAMI

DANIŞMAN
YAR. DOÇ. DR. TOGAN TONG

İSTANBUL, 2017

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOKLU FOTOĞRAFLARIN ÜÇ BOYUTLU REKONSTRÜKSİYONUNU YAPAN YAZILIMLARIN PERFORMANS ÖLÇÜMÜ

Ozan ŞAHİN tarafından hazırlanan tez çalışması 15.12.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yar. Doç. Dr. Togan TONG

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yar. Doç. Dr. Togan TONG

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Meral ERDOĞAN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Tuğrul YAZAR

Bilgi Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Öncelikle, tez hazırlama sürecim boyunca engin bilgilerini büyük bir sabırla bana aktaran Yar. Doç. Dr. Togan Tong'a teşekkürü borç bilirim. Bütün teknik desteği sağlayıp verileri okumamda yardımcı olan Araş. Gör. Ömer Uzunel'e teşekkür ederim.

Yaşamımın her anında beni destekleyip arkamda duran aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez hazırlama sürecimde bana destek olan Yük. Mimar Alican Işın ve Mimar Uğur Yılmaz'a teşekkür ederim.

"Eğitimin sonu yok, sen yine de sonuna git" diyen rahmetli amcam Behçet Şahin'e saygıyla.

Aralık, 2017

Ozan ŞAHİN.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMA LİSTESİ vi

ŞEKİL LİSTESİ vii

ÇİZELGE LİSTESİ x

ÖZET xi

ABSTRACT xiii

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 2
1.2 Tezin Amacı 2
1.3 Hipotez 3

BÖLÜM 2

FOTOGRAMETRİ VE TARİHÇESİ 4

2.1 Sayısal Fotogrametri 9
2.1.1 Sayısal Görüntü Elde Etme Yöntemleri 10
2.1.2 Sayısal Görüntü İşleme 12
2.1.3 Sayısal Görüntü Eşleme 12
2.2 3D Rekonstrüksiyon Oluşturmada Kullanılan Teknikler 14
2.2.1 Yersel Lazer Tarama 14
2.2.1.1 Fiziki Ortamda Tarama 14
2.2.1.2 Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi 17
2.2.1.3 Sahnenin Sadeleştirilmesi 17
2.2.2 Çoklu Fotoğraftan Üç Boyutlu Rekonstrüksiyon Oluşturulması 18
2.2.3 Çoklu Fotoğraftan 3D Rekonstrüksiyon Oluşturulmasında Örnek Çalışmalar 21
2.2.4 Çoklu Fotoğraftan 3D Rekonstrüksiyon İçin Optimum Fotoğraf Çekim Stratejisi 26
2.2.4.1 Kamera Çeşitleri ve Fotoğraf Sayısı 29

2.2.4.2 Sahnenin Aydınlık Düzeyi ve Fotoğraf Sayısı 31
2.2.4.3 Çekim Açısı 33
2.2.4.4 Fotoğraf Çözünürlüğü 37
2.2.4.5 EXIF Bilgisi 38
2.2.4.6 Gün Işığı Yönü 40
2.2.5 Çoklu Fotoğraftan 3D Rekonstrüksiyon Kapsamında İncelenen Programlar 42
2.2.5.1 Agisoft Photoscan 42
2.2.5.2 VisualSFM ve CMPMVS Kollaborasyonu 43
2.2.5.3 Autodesk Remake 45
2.2.5.4 123D Catch 46
2.2.5.5 Photosynth 47

BÖLÜM 3

ÇOKLU FOTOĞRAFTA 3D REKONSTRÜKSİYON KAPSAMINDA KLEOPATRA KAPISI İNCELENMESİ 48

3.1 Kleopatra Kapısı 48
3.2 Kleopatra Kapısı Verilenin Elde Edilmesi 49
3.2.1 Lazer Tarama 49
3.2.2 Drone İle Fotoğraf Çekimi 52
3.3 Kleopatra Kapısı Fotoğraflarının Çekilmesi 54
3.3.1 Agisoft Photoscan İle Üretilen 3D Rekonstrüksiyon 54
3.3.2 VisualSFM ve CMPMVS Kollaborasyonu İle Üretilen 3D Rekonstrüksiyon 56
3.3.3 Autodesk Remake İle Üretilen 3D Rekonstrüksiyon 59
3.4 Kleopatra Kapısı Verilenin Lazer Tarama Verileri İle Karşılaştırılması 61
3.4.1 Agisoft Photoscan ve Lazer Verisi Karşılaştırılması 63
3.4.2 Visual Sfm ve CMPMVS Kolobrasyonu ve Lazer Verisinin Karşılaştırılması 65
3.4.3 Autodesk Remake ve Lazer Verisinin Karşılaştırılması 68
3.5 Kleopatra Kapısı Model Verilerinin Lazer Tarama Verisi İle Karşılaştırılması Sonuçları 71

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER 74

KAYNAKLAR 76

EK-A

3D REKONSTRÜKSİYON YAZILIMLARI 811

EK-B

KLEOPATRA KAPISI FOTOĞRAFLARININ ÇEKİM KONUMLARI 87

ÖZGEÇMİŞ 92

KISALTMA LİSTESİ

2D	2 Dimensions (2 Boyutlu)
3D	3 Dimensions (3 Boyutlu)
CCD	Charge Coupled Device
CIPA	International Committee of Architectural Photogrammetry
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CPU	Central Processing Unit
DEM	Digital Elevation Models
DSLR	Digital Single Lens Reflect (Dijital Tek Mercekli Yansıma)
DSM	Digital Surface Models
DTM	Digital Terrain Models
EXIF	Exchangeable Image File (Değiştirilebilir Görüntü Dosyası)
GHZ	Gigahertz
GPS	Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
ICOMOS	International Council on Monuments and Sites
ISPRS	International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
MP	Megapiksel
RAM	Random Access Memory

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Aktif ve Pasif Sistemler [5]. 4
Şekil 2. 2 Aktif ve Pasif Algılayıcı Tipleri [5]. 5
Şekil 2. 3 Meydenbauer tarafından onarılan Wetzler Katedrali [16]. (Düşmeye yakın kulesini işaretlemiştir) 7
Şekil 2. 4 Sayısal Görüntü Elde Etme Yöntemleri 11
Şekil 2. 5 CCD ve CMOS Sensör Karşılaştırması [33]. 12
Şekil 2. 6 Görüntü Eşlemede Kullanılacak Ortak Alanlar [36]. 13
Şekil 2. 7 Görüntü Değerlendirme Aşamaları 15
Şekil 2. 8 Temel Lazer Tarama Stratejisi 16
Şekil 2. 9 İstasyonlardan Elde Edilen Nokta Bulutu Verileri 16
Şekil 2. 10 Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi 17
Şekil 2. 11 Sahnenin Sadeleştirilmesi Sonucu Elde Edilen Veri 18
Şekil 2. 12 2 Fotoğraftan Nokta Oluşumu [42]. 18
Şekil 2. 13 2 Fotoğraftan Nokta Oluşumu [43]. 19
Şekil 2. 14 SIFT Oluşum Diyagramı 20
Şekil 2. 15 Diego Viedas tarafından üretilen üç boyutlu model [48]. 22
Şekil 2. 16 SnapTank tarafıdan 150 kamera ile üretilen örnek zombi modeli [49]. 22
Şekil 2. 17 Yıkılan Welguan Binası [50]. 23
Şekil 2. 18 Yıkılan Welguan Binası'nın 3D Rekonstrüksiyonu[50]. 23
Şekil 2. 19 Çatalhöyük'ün Oluşturulan Modeli [51]. 24
Şekil 2. 20 CyArk Websitesi [52]. 24
Şekil 2. 21 #NEWPALMYRA projesi web sitesi [54]. 25
Şekil 2. 22 #NEWPALMYRA projesi turist fotoğrafı ekleme arayüzü [54]. 25
Şekil 2. 23 Kaotik Geometrik Formun Dijital Ortama Aktarılması [55] 26
Şekil 2. 24 Açık Havada Temel Fotoğraf Çekimi Stratejisi 27
Şekil 2. 25 Elde Edilen Fotoğraflar 27
Şekil 2. 26 Üretilen Model 28
Şekil 2. 27 (sol) Canon 450D (sağ) Iphone 6S 30
Şekil 2. 28 Fotoğraf Makinesinin ve Fotoğraf Sayısının Nokta Üretme Sayısına Etkisi 30
Şekil 2. 29 Fotoğraf Makinesinin ve Fotoğraf Sayısının Nokta Üretme Süresine Etkisi 31
Şekil 2. 30 (sol) Gündüz (sağ) Akşam 32
Şekil 2. 31 Gün Işığının Nokta Üretme Sayısına Etkisi 32
Şekil 2. 32 Gün Işığının Nokta Üretme Süresine Etkisi 33
Şekil 2. 33 Odaksal Çekim 34

Şekil 2. 34 Çevresel Çekim 34
Şekil 2. 35 Odaksal Çekilen Fotoğraflardan 3 Örnek 35
Şekil 2. 36 Çevresel Çekilen Fotoğraflardan 3 Örnek 35
Şekil 2. 37 Odaksal ve Çevresel Çekimin Nokta Üretme Sayısına Etkisi 36
Şekil 2. 38 Odaksal ve Çevresel Çekimin Nokta Üretme Süresine Etkisi 36
Şekil 2. 39 (sol) 200*267 px (sağ) 3024*4032 px Çözünürlüklerinde İncelenen Fotoğraflar 37
Şekil 2. 40 Fotoğraf Çözünürlüğünün Nokta Üretme Sayısına Etkisi 377
Şekil 2. 41 Fotoğraf Çözünürlüğünün Nokta Üretme Süresine Etkisi 38
Şekil 2. 42 (sol) EXIF Bilgisi İçeren Fotoğraf (sağ) EXIF Bilgisi Temizlenen Fotoğraf 39
Şekil 2. 43 EXIF Bilgisinin Nokta Üretme Sayısına Etkisi 39
Şekil 2. 44 EXIF Bilgisinin Nokta Üretme Süresine Etkisi 40
Şekil 2. 45 Sabit Gün Işığı Koşullarında Objenin Döndürülmesi 1. Çekim, 2. Çekim, 3. Çekim 400
Şekil 2. 46 Sabit Gün Işığı Koşullarında Objenin Etrafında Dönülmesi 1. Çekim, 2. Çekim, 3. Çekim 41
Şekil 2. 47 Obje ve Kamera Hareketinin Nokta Üretime Etkisi 41
Şekil 2. 48 Obje ve Kamera Hareketinin Nokta Üretimi Süresine Etkisi 42
Şekil 2. 49 Agisoft Photoscan Arayüzü 43
Şekil 2. 50 Agisoft Photoscan İş Akışı 43
Şekil 2. 51 VisualSFM Arayüzü 44
Şekil 2. 52 CMPMVS arayüzü 44
Şekil 2. 53 Visual SfM ve CMPMVS kollabarsyonu İş Akışı 45
Şekil 2. 54 Autodesk Remake Arayüzü 45
Şekil 2. 55 Autodesk Remake İş Akışı 46
Şekil 2. 56 123D Catch Iphone Arayüzü 46
Şekil 2. 57 123D Windows İşletim Sistemi Arayüzü 47
Şekil 2. 58 Photosynth Arayüzü 47
Şekil 3. 1 # Restorasyondan Önce Kleopatra Kapısı [64] 48
Şekil 3. 2 # Restorasyondan Sonra Kleopatra Kapısı [66] 48
Şekil 3. 3 Z+F 5010 Lazer Tarayıcı Görüntüsü [67] 49
Şekil 3. 4 Recap Ortamında Birleştirilen Nokta Bulutu 50
Şekil 3. 5 Gereksiz Noktaların Temizlenmesi Sonucu Elde Edilen Görüntü 51
Şekil 3. 6 Lazerin Ulaşamadığı noktalar 51
Şekil 3. 7 Çeken Dji Inspire 1 Görselleri [68] 52
Şekil 3. 8 Fotoğrafları Çekim Stratejisi Diyagramı 53
Şekil 3. 9 Fotoğrafların Çekim Noktaları 53
Şekil 3. 10 Fotoğrafların Çekim Stratejisi 53
Şekil 3. 11 Agisoft Photoscan'in Ürettiği Nokta Bulutu Verisi 55
Şekil 3. 12 Agisoft Photoscan'in Ürettiği Dikmeler Verisi 55
Şekil 3. 13 Agisoft Photoscan'in Ürettiği Dokulu Model Verisi 56
Şekil 3. 14 Visual Sfm'in Ürettiği Nokta Bulutu Datası 57
Şekil 3. 15 CMPMVS'in ürettiği Dikmeler Verisi 58
Şekil 3. 16 CMPMVS'in ürettiği Dokulu Model Verisi 58
Şekil 3. 17 Autodesk Remake'in Ürettiği Nokta Bulutu Verisi 60
Şekil 3. 18 Autodesk Remake'in Ürettiği Dikmeler Verisi 60

Şekil 3. 19 Autodesk Remake'in Ürettiği Dokulu Model Verisi 61
Şekil 3. 20 CloudCompare Arayüzü [70] 61
Şekil 3. 21 CloudCompare Hesaplaması [70] 62
Şekil 3. 22 CloudCompare Ortamına Alınan Lazer Tarama Verilerinin Farklı Açılardan Görünüşleri 62
Şekil 3. 23 CloudCompare Ortamında Photoscan ve Lazer Tarama Verisi Hizalanması . 63
Şekil 3. 24 CloudCompare Ortamında Photoscan ve Lazer Tarama Verisi Karşılaştırılması 64
Şekil 3. 25 CloudCompare Ortamında Photoscan ve Lazer Tarama Verileri Karşılaştırılması Grafiği 65
Şekil 3. 26 CloudCompare Ortamında CMPMVS ve Lazer Tarama Verileri Hizalanması 66
Şekil 3. 27 CloudCompare Ortamında CMPMVS ve Lazer Tarama Verileri Karşılaştırılması 67
Şekil 3. 28 CloudCompare Ortamında CMPMVS ve Lazer Tarama Verileri Karşılaştırılması Grafiği 68
Şekil 3. 29 CloudCompare Ortamında Autodesk Remake ve Lazer Tarama Verileri Hizalanması 69
Şekil 3. 30 CloudCompare Ortamında Remake ve Lazer Tarama Verileri Karşılaştırılması 70
Şekil 3. 31 CloudCompare Ortamında Autodesk Remake ve Lazer Tarama Verileri Karşılaştırılması Grafiği 71
Şekil 3. 32 Kleopatra Kapısını'nın 3D rekonstrüksiyonunu oluşturan yazılımların karşılaştırılması 72

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 Fotogrametri Sınıflandırılmaları [26]……9
Çizelge 2. 2 CCD ve CMOS Sensör Arasındaki Temel Farklar [32]…….. 11
Çizelge 2. 3 SfM Web Servisleri ve Masaüstü Uygulamaları Arasındaki Farklar [43]…….21
Çizelge 2. 4 Deneyde Kullanılan Akıllı Telefon ve DSLR Kamera Özellikleri…….. 29
Çizelge 2. 5 Deneyde Kullanılan Bilgisayar Özellikleri……29
Çizelge 3. 1 Lazer Tarayıcı Özellikleri [67]……49
Çizelge 3. 2 Drone Özellikleri [68]……52
Çizelge 3. 3 Deneyde Kullanılan Bilgisayar Özellikleri……54
Çizelge 3. 4 Meshlab Üzerinde İncelenen Agisoft Photoscan Rekonstrüksiyonu…… 54
Çizelge 3. 5 Meshlab Üzerinde İncelenen VisualSFM ve CMPMVS Kolaboroasyon Rekonstrüksiyonu……57
Çizelge 3. 6 Meshlab Üzerinde İncelenen Agisoft Photoscan Rekonstrüksiyonu…… 59
Çizelge 3. 7 Lazer Tarama ve Sayısal Fotogrametri Arasındaki Farklar……72
Çizelge 3. 8 Proje Ölçeği ile Hata Payı Arasındaki İlişki [71]……73

ÖZET

ÇOKLU FOTOĞRAFLARIN 3D REKONSTRÜKSİYON YAZILIMLARINDAKİ PERFORMANS ÖLÇÜMÜ

Ozan ŞAHİN

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yar. Doç. Dr. Togan TONG

Üç boyutlu modeller günümüzde birçok endüstrinin ihtiyacı haline gelmiştir. Sinema endüstrisi, bilgisayar oyunları, mimarlık ve sanal çevreye ihtiyaç duyulan her alanda üç boyutlu modeller kullanılmaktadır. Hareket ile nesne oluşturma -SFM (Structure From Motion) ise bütün bu üç boyutlu model ihtiyacı içerisinde, var olanı modellemeyi sağlayan düşük maliyetli fotogrametri tekniğidir. Bu teknik, çekilmiş bir dizi 2D fotoğrafı, 3D model üretmek için kullanır. Geleneksel fotogrametrik teknikler, model oluşturabilmek için kamera, yer kontrol noktaları gibi geometrik parametrelere ihtiyaç duyar. SFM, geleneksel fotogrametrinin aksine fotoğraflar üzerinden bütün bu parametreleri otomatik olarak üretir.

Bu çalışmada, mimari nesnelerin SFM ile modellenmesi için optimum fotoğraf çekim stratejileri araştırılmış ve VisualSFM yazılımı ile deneyleri yapılmıştır. Oluşturulan stratejiler doğrultusunda Mersin'in Tarsus ilçesinde yer alan Kleopatra Kapısı, VisualSfm ve CMPMVS kolobrasyonu, Autodesk Remake ve Agisoft Photoscan yazılımları kullanılarak 3D rekonstrüksiyonu üretilmiştir. Farklı yazılımların oluşturdukları 3D rekonstrüksiyon, lazer tarama karşısında doğrulukları CloudCompare ile incelenerek bir performans analizi gerçekleştirilmiştir.

Ortaya konulan performans analizleri doğrultusunda, çoklu fotoğraflardan 3D rekonstrüksiyon yazılımları ile mimari nesnelerin ifadesinin güvenirliğine ve mimarlık disiplinine olabilecek katkıları öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Üç boyutlu modelleme, sayısal fotoğraf, üç boyutlu rekonstrüksiyon, fotogrametri, VisualSFM, Autodesk Remake, Agisoft Photoscan, CloudCompare

ABSTRACT

PERFORMANCE EVALUATION OF SOFTWARES THAT MAKES THREE DIMENSIONAL RECONSTRUCTION OF MULTIPLE PHOTOS

Ozan ŞAHİN

Department of Architectural Design

MSc. Thesis

Adviser: Assist. Prof. Dr. Togan Tong

Nowadays, three-dimensional models have become a necessity for many industries. They are used in cinema industry, computer games, architecture and any field in need of virtual environment. Creating and object – SFM (Structure From Motion) is a low cost photogrammetry technique, which provides modeling an existing object, in this necessity of 3D models. This technique uses a series of 2D photographs to build a 3D model. Traditional photogrammetry techniques demands geometric parameters such as camera and ground control points to build a 3D model. Unlike traditional techniques, SFM automatically produces these parameters from photographs.

In this study, optimum photo shoot strategies are researched for modeling architectural objects with SFM, and experiments are made with VisualSFM software. 3D reconstruction of Cleopatra Gate, which located in Tarsus district of Mersin, is produced with VisualSFM and CMPMVS collaboration, Autodesk Remake and Agisoft Photoscan softwares, in line of forged strategies. Accuracy comparison of 3D reconstruction model with laser scanning, built with various softwares, analyzed with CloudCompare and a performance analysis is provided.

In the direction of performance analysis, reliability of expression of architectural objects with 3D reconstruction softwares from multiple photographs, and its contribution to architecture discipline is foreseen.

Keywords: Three-dimensional modeling, digital photography, three-dimensional reconstruction, photogrammetry, VisualSFM, Autodesk Remake, Agisoft Photoscan, Cloud Compare

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bilgi teknolojileri, günlük hayatın her alanına girmiştir. Bilgisayarlar hayatı kolaylaştıracak birçok işlevi üstlenmekle beraber (iletişim, eğlence vb.) profesyonel hayatın da vazgeçilmez iş araçları konumundadır. Bilgisayarın ivmelenerek gelişimini sürdürmesinin temel sebebi verimli olması ve kendi insiyatiflerini almaksızın itaatkâr bir biçimde hesaplama işlemini gerçekleştirmesidir.

Bilgisayarların mimarlık disiplininin içinde bulunması 90'lı yıllardan itibaren yaygınlaşmaya başlamıştır. Başlarda dökümantasyon görevini üstlenen bilgisayar günümüzde mimarlık çalışmalarının her adımında destek sağlayabilen bir sektörü oluşturmaktadır. Mimari çalışmaların en zorlu süreçlerinden biri olan var olanı modellemede ortaya çıkan yüksek hata oranları, teknik personel kullanımı ve uzun modelleme süreleri masraflı ve emek yoğun bir sürece sebep olmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte ortaya çıkan üç boyutlu tarayıcılar ise hassas ölçüm yeteneklerine karşın masraflı ve hantal olmaları nedeniyle ulaşılabilirliği düşük teknolojilerdir. Sayısal fotoğrafların ise günümüzde herkes tarafından üretilebilmesi, ucuz, ulaşılabilir ve yüksek hassasiyetlere ulaşmış olmaları sayısal fotoğraf işlemlerini çekici kılmaktadır [1]. Tüm sektörlerin artan ihtiyacı ve sayısal fotoğraf endüstrisindeki gelişmeler sayısal fotoğraftan üç boyutlu model oluşturma tekniğini ortaya çıkarmıştır.

Bu araştırmada hedeflenen yüksek hız ve düşük maliyet talebi doğrultusunda var olanı fotoğraf ile modelleme sistemlerinin incelenmesi; lazer tarama sistemi yerine kullanılabilecek olan en yaygın üç boyutlu rekonstrüksiyon programlarının tutarlılık düzeyleri karşılaştırılmasıdır.

1.1 Literatür Özeti

Konu ile ilgili kaynaklar araştırılarak kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Günümüzde 3D rekonstrüksiyonun kullanım alanları irdelenmiştir. 3D rekonstrüksiyon oluşturulmasında hassasiyeti etkileyen faktörler incelenmiştir. Fotoğraf tabanlı ve yazılım tabanlı hassasiyet faktörleri üzerinde durulmuştur. Fotoğraf tabanlı etkenleri göstermek amacıyla fotoğraf özellikleri değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Yazılım tabanlı etkiler incelenmesi amacıyla Araş. Gör. Ömer UZUNEL ve ekibi tarafından çekilen drone fotoğrafları üzerinden 3D rekonstrüksiyon oluşturulmuş ve Araş. Gör. Ömer UZUNEL'den elde edilen lazer tarama verileri ile doğruluk karşılaştırılmaları yapılmıştır.

Günümüzde mimari analiz, proje üretim, sunum ve sonuç ürünün üretim süreçlerinde üç boyutlu ifadeler, mimari proje için olmazsa olmaz bir araç ve analiz sistemi olmuştur. Bu çalışma kapsamında; iki boyutlu sayısal fotoğraf üretme becerisini bir adım öteye taşıyan drone sistemi ile elde edilmiş hava fotoğrafları üzerinden üretilen modellerin karşılaştırılması ve tutarlılığı incelenecektir. Yapılan incelemenin ardından, çoklu fotoğraftan 3D rekonstrüksiyon tekniğinin varolanı modellemeyi ne kadar ileriye götürebileceğine dair bir öngörü yapılacaktır.

Araştırma kapsamında sektörün önemli firmaları tarafından piyasaya sunulan yazılımlar kullanılarak deneyler yapılmıştır. Bu deneyler Kleopatra Kapısı için elde edilen veriler üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada programlara ait algoritma tasarımları, kalibrasyon ölçümleri gibi yazılım kaynaklarına dair matematiksel sistemler kapsam dışı bırakılmış programlar sonuç odaklı kullanılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Sayısal sistem, dijital arşiv oluşturma, kolay arşivlenme, hızlı veri paylaşımı, esnek kullanım alanları olması ve sonuç ürüne çabuk ulaşma özellikleri sistemi çekici kılmaktadır.

Sayısal (dijital) fotoğraf sistemlerinin gelişmesine paralel olarak 90'lı yıllardan itibaren dijital fotoğraf, fotogrametride de kullanılmaya başlanmıştır. Bilgisayar yazılımlarının

gelişmesi ve dijital ortama aktarılabilen fotogrametrik bilgiler yardımı ile çoklu fotoğraftan 3D rekonstrüksiyon oluşumuna olanak vermiştir. Bu araştırmada, çoklu fotoğraftan 3D rekonstrüksiyon oluşturmanın hassasiyet ve süre değişkenleri açısından en doğru stratejisini bulmak amaçlanmıştır.

En doğru stratejiyi bulmanın yanı sıra; askeri, sivil havacılık, arkeoloji ve mimari gibi fotogrametri ile ilintili alanlarda 3D veri oluşturma sistemlerinin gün geçtikçe öneminin artmasına bağlı olarak:

- Bu konuda özelleşmiş yazılımların varolanı modelleme üzerindeki yeteneğinin incelenmesi,
- Farklı yöntemleri kullanan yazılımların birbirine üstünlüklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada emek yoğun rölöve çalışmalarının dijital sistemler kullanılarak hızlı bir şekilde sayısallaştırabileceği, iki boyutlu belgeleme yöntemi olan fotoğrafın, üç boyutlu olarak saklanabileceği öngörülmüştür.

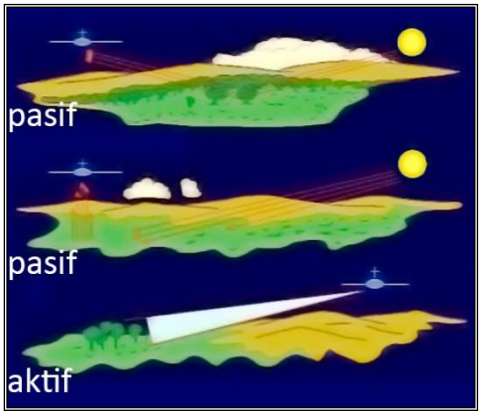
3D rekonstürksiyonun uzman kullanıcı ve pahalı ekipman ihtiyacı olan lazer taramanın yerine geçebilecek düşük maliyetli ve minimum operatör ihtiyaçlı bir sistem olacağı düşünülmektedir.

BÖLÜM 2

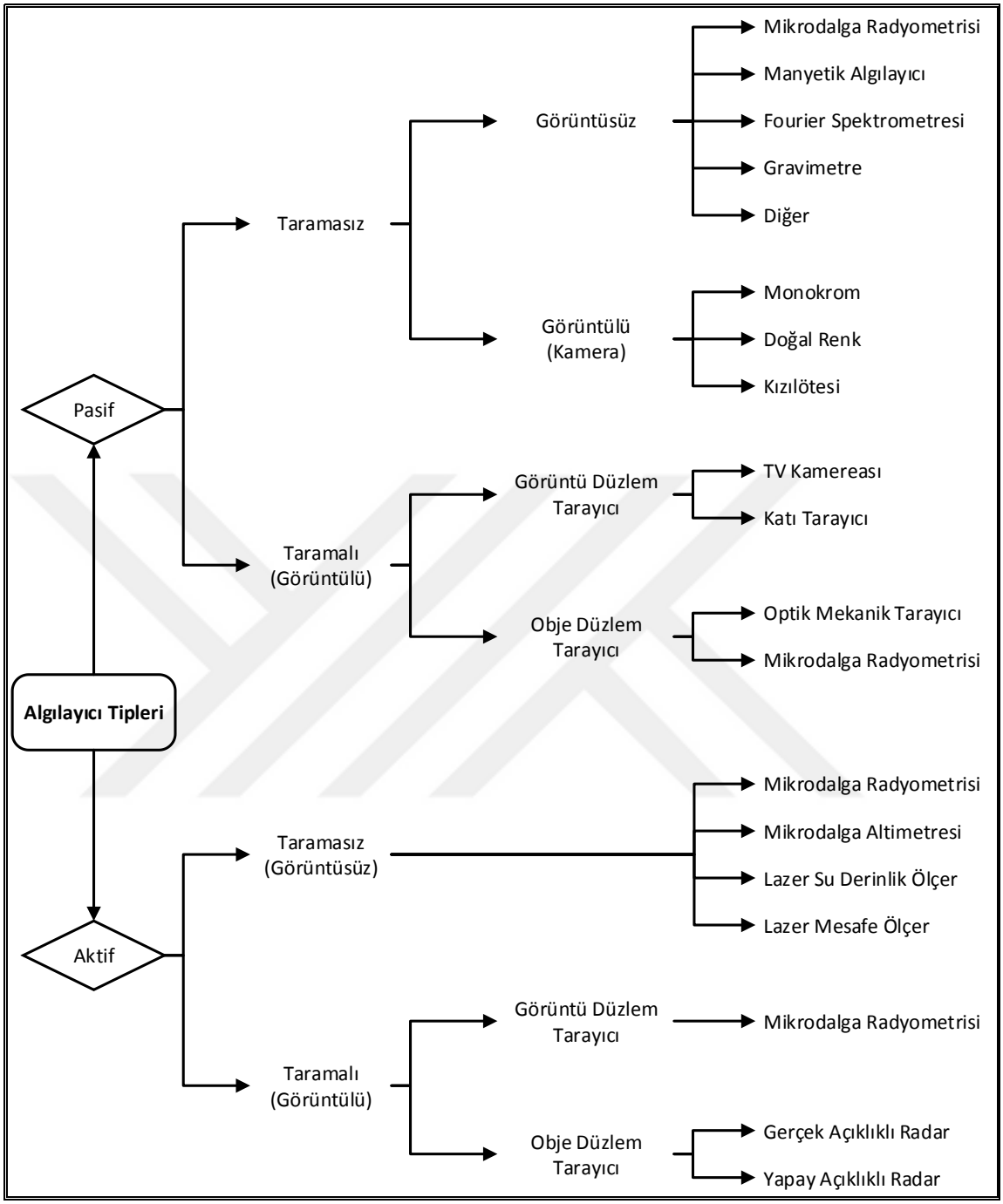
FOTOGRAMETRİ VE TARİHÇESİ

Askeri, mimarlık, inşaat, jeodezi gibi alanlarda artan üç boyutlu sayısal model ihtiyacı ile birlikte, varolanın 3D modellenmesinde bilgisayarın kullanılmasını kaçınılmaz hale getirmiştir [2]. Sayısal model oluşturma zaten bilgisayar üzerinde yapılan bir işlem olmasına rağmen varolanı modellemek için bilgisayarın ihtiyaç duyduğu veri fiziki ortamdan sağlanmaktadır. Fiziki ortamdaki veriyi sayısal ortama aktarmak için algılayıcı tipine göre pasif ve aktif sistemler kullanılmaktadır [3].

Pasif sistemler yeryüzünün enerjisini algılarlar. Bunlar doğal yayılım enerjisi veya güneş enerjisidir. Bu sistemin algılayıcıları optik, ısıl ve mikrodalga algılayıcılardır. Aktif sistemler ise kendi enerji kaynaklarını kullanırlar [4]. Hedefe elektromanyetik dalga sinyali gönderirler ve hedeften saçılan enerjiyi algılarlar. Şekil 2.1'de pasif ve aktif sistemler kullanılarak yeryüzü verisinin toplanması gösterilmiştir. Şekil 2.2'de ise algılayıcı tipine göre pasif ve aktif sistemler gruplandırılmıştır.



Şekil 2. 1 Aktif ve Pasif Sistemler [5].



Şekil 2. 2 Aktif ve Pasif Algılayıcı Tipleri [5].

Fotogrametri kelimesi, eski Yunan dilinde “photos” (ışık), “gamma” (çizim) ve “metron” (ölçme) sözcüklerinden oluşur [6]. Kelime anlamı ise resimler yardımıyla ölçmedir. Fotogrametri, resimler ile cisimlerin konum, ölçme ve bunların yorumlandığı güvenilir bir bilim dalıdır [7]. Teknik olarak cisimlerin fotoğraf üzerinden iki ya da üç boyutlu

olarak ölçülmesidir [8]. Bütün bu tanımlardan yola çıkılacak olursa bu bilim dalının en önemli özelliği ölçme işlemini doğrudan cisim üzerinden değil de ele alınan cismin fotoğrafik izdüşümü üzerinde yapmasıdır. Bu dolaylı ölçme özelliği sayesinde fotogrametri arkeoloji, inşaat mühendisliği, mimarlık, tibbi cerrahi gibi birçok değişik uygulama için kullanılmaktadır [9].

Fotogrametri bir cismin fotoğraflar yardımı ile biçim ve konumunu yeniden incelenmesini konu alır. Fotogrametrinin temel kullanım yeri harita üretimidir [10]. Bununla birlikte kullanılan tekniklerin gelişmesine paralel birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Fotogrametri; tek veya birden fazla resim kullanılarak ölçümün yapıldığı cismin ebatlarının ve konumunun hassas bir şekilde belirlenmesini amaçlar [11].

1400'lü yıllarda Leonardo da Vinci (1452-1519) ve Albrecht Dürer (1471-1528) gibi sanatçıların uzayın düzlem perspektifler ile üç boyutlu resimlerin yeniden oluşturulması ile fotogrametrinin matematik temelini atmıştır [12].

Fotogrametrinin hala kullanılan analitik ve geometrik ilkelerini S. Finsterwalder ve öğrencileri tarafından 1800'lü yıllarda ortaya konulmuştur [12].

1827 yılında J. Niepcehore Niepce'nin fotoğrafı buluşu ardından Niepce ile birlikte çalışan L. J. Mande Daguerre, Niepce'nin ölümü ardından 1837 yılında fotoğrafın resmetme tekniğinin yeni bir yöntemi olan dagerrotipiyi buldu [13].

İlk fotogrametrik araç ve yöntemler 1849 yılında Fransız Binbaşı Aime Laussedat tarafından yersel fotogrametri olarak kullanılmıştır. Laussedat'ın "iconometry" olarak adlandırdığı bu teknik Yunanca "icon" (görüntü) ve "metry" (ölçme tekniği ve bilimi) kelimlerinden oluşur [14]. Laussedat 1859 yılında Paris Bilim akademisinin bir komisyonunda iki resimden uzaysal önden kestirme ile cismin koordinatlarının nasıl bulunacağını göstermiştir [14]. Yöntem, 1858 yılında Alman Mimar Meydenbauer tarafından mimarlık ölçmelerinde kullanılmasıyla mimarlık fotogrametrisinin temellerini atmıştır. Alman mimar, elde ettiği resimler üzerinden ölçme sağlayarak Şekil 2.3'te görülen kilise kulesinin onarımını gerçekleştirmiştir. Fotogrametrinin ilk kurucularından sayılan Meydenbauer 1883 yılında Berlin kültür yapıtlarının belgeleneceği ilk ulusal fotogrametrik belgeleme merkezi olan Prusya Resim Örgütü'nü kurmuştur [15].



Şekil 2. 3 Meydenbauer tarafından onarılan Wetzler Katedrali [16]. (Düşmeye yakın kulesini işaretlemiştir)

Fotogrametrik çalışmalara yönelik ilk hava fotoğrafı 1855 yılında Gaspard Felix Tournachon tarafından Paris'te 262 feet yükseklikten balonla çekilmiştir. Bu yüksekliğin fotogrametrik işlemler için elverişli olmadığı görülmüş ve 1868 yılında yine balon kullanılarak birkaç yüz feet yükseklikten Paris'in havadan fotoğrafını çekmiştir [17].

Balondan sonra uçurtma kullanılarak 1880 yılında M. Arthur Batut tarafından Fransa'nın Labruguiere bölgesinin havadan fotoğrafını çekmiştir [18].

1885 yılında Persopolis harabeleri ilk kez fotogrametrik yöntemle belgelenmiştir [19].

1901 yılında Carl Zeiss Jena tarafından, C. Pulfrich'in modelini tasarladığı Sterocomparator'u üretmiştir. Bu araç yardımıyla, resim çiftleri bir araya getirilerek harita üretimine başlanmıştır [20].

1903 yılında Theodor Scheimpflug ilk optik düşeye çevirme aletini icat etmiştir [21].

1968 yılında tarihi eserlerin fotogrametri tekniği ile belgelenmesi üzerine ilk konferans Paris'te yapılmıştır [22].

1980'li yıllarda dijital görüntüleme cihazlarının ortaya çıkması ve bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle sayısal fotogrametri kavramı oluşmuş, 1990'lı yıllardan

itibaren değerlendirme ve yöntemlerde sayısal fotogrametri kullanlmaya başlanmıştır [23].

2000'li yıllarda, Lazer tarayıcılar, Lidar uygulamaları ve dijital hava kameralarının kullanımı yaygınlaşmıştır [24].

2004 yılında Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği'nin (ISPRS) 20. Kongresi İstanbul'da gerçekleştirmiştir [24].

Günümüzde, fotoğrafi sistemler diğer algılayıcı sistemlerin kullanılamadığı alanlarda uygulanabilmesiyle ve düşük maliyet özelliği ile avantaj sağlarlar. Sistemin sağladığı temel avantajları şu şekilde sıralanmaktadır:

- Ölçüm fotoğraf çekim işleminden bağımsız olup her an yapılabilir.
- Objeye temas etmeden fotoğraf üzerinden ölçüm yapılabilir.
- Karmaşık yapılar ve hareket halindeki objelerin şekil ve davranışları belirlenebilir.
- Fotoğraflar belge niteliğinde olduğu için istenildiğinde sonradan incelenip ihtiyaç olması durumunda tekrar kullanılabilir.
- Gözle görülemeyen ışınlardan belirli oranlarda yararlanılabilir [24].

Fotogrametri farklı birçok şekilde sınıflandırılmakla birlikte fotoğraf çekilen konuma göre ikiye ayrılır. Bunlar;

- Hava fotogrametrisi,
- Yersel fotogrametri [25].

Hava fotogrametrisi genel olarak harita çeşitlerinin üretilmesinde (topoğrafik, tematik,vb.) ve sayısal arazi modellerinin üretilmesinde kullanılır. Yersel fotogrametri ise mimarlık, inşaat mühendisliği, arkeoloji, tıbbi terrahi ve kriminoloji gibi bilim dallarında kullanılmaktadır. Fotogrametri bu açıdan bir çok alanda kullanıldığı için 5 farklı kategoride sınıflandırılmıştır [25]. Çizelge 2.1'de fotogrametrinin sınıflandırılmala gösterilmiştir. Yersel fotogrametri uygulamalarının büyük bir çoğunluğu mimarlık fotogrametrisi ile ilgilidir.

Çizelge 2. 1 Fotogrametri Sınıflandırılmaları [26].

Fotogrametri Sınıflandırmaları	
Resmin Çekildiği Konuma Göre	Yersel Fotogrametri
	Hava Fotogrametrisi
Obje Büyüklüğüne Göre	Mikro Fotogrametri
	Makro Fotogrametri
Değerlendirmede Kullanılan Resim Sayısına Göre	Tek Resim Fotogrametrisi
	Çift Resim Fotogrametrisi
Değerlendirme Yöntemine Göre	Grafik (Plançete) Fotogrametri (1850-1900)
	Analog Fotogrametri (1900-1980)
	Analitik Fotogrametri (1970-1990)
	Sayısal (Dijital) Fotogrametri (1990-)
Uygulama Alanlarına Göre	Foto-Yorumlama
	Metrik Fotogrametri
	Topoğrafik Fotogrametri
	Topoğrafik Olmayan Fotogrametri
	Kadastro Fotogrametrisi
	Jeodezik Fotogrametri
	Endüstri Fotogrametrisi
	Mimarlık Fotogrametrisi
	Ortofotografi

2.1 Sayısal Fotogrametri

Dijital fotoğraflardan 3D rekonstrüksiyon oluşturma işlemi elde edilen 2 boyutlu veriler üzerinden ölçüm yapılıp 3 boyutlu veri oluşturma işlemidir. Bu bağlamda sayısal görüntü kavramının iyi anlaşılması gereklidir.

Çeşitli tekniklerle sayısal ortama aktarılmış görüntüler, sanal ortamda çeşitli yazılımlar yardımı ile üretilmiş çizim ve tasarımlar sayısal görüntü olarak adlandırılmaktadır. Sayısal görüntüler isminden de anlaşılacağı üzere sayılarla ifade edilen görüntülerdir. Bilgisayarın temelini oluşturan ikili sayı sistemi kullanılarak oluşturulurlar [27].

Sayısal görüntünün temel bileşeni piksellerdir. Dolayısıyla sayısal görüntü y x d (yatay x düşey) piksellerden oluşan matristir. Bir piksel bünyesinde iki farklı bilgi taşır. Bunlar radyometrik bilgi ve geometrik bilgidir.

- Radyometrik bilgi; pikselin algılandığı elektromanyetik spektrumdaki gri değeridir. Dolayısıyla renkli görüntülerde bu gri değerler her bir renk için belirlenerek bu değerlerin üst üste birleştirilmesi sonucu oluşturulan renk karışımlarıdır. En yaygın renk uzayı RGB (Red Green Blue) yani kırmızı, yeşil ve mavi renkler için belirlenen gri değerlerin üst üste çakıştırılmasıyla oluşturulur [28].
- Geometrik bilgi; pikselin görüntü matrisinde yer aldığı koordinatlardır.

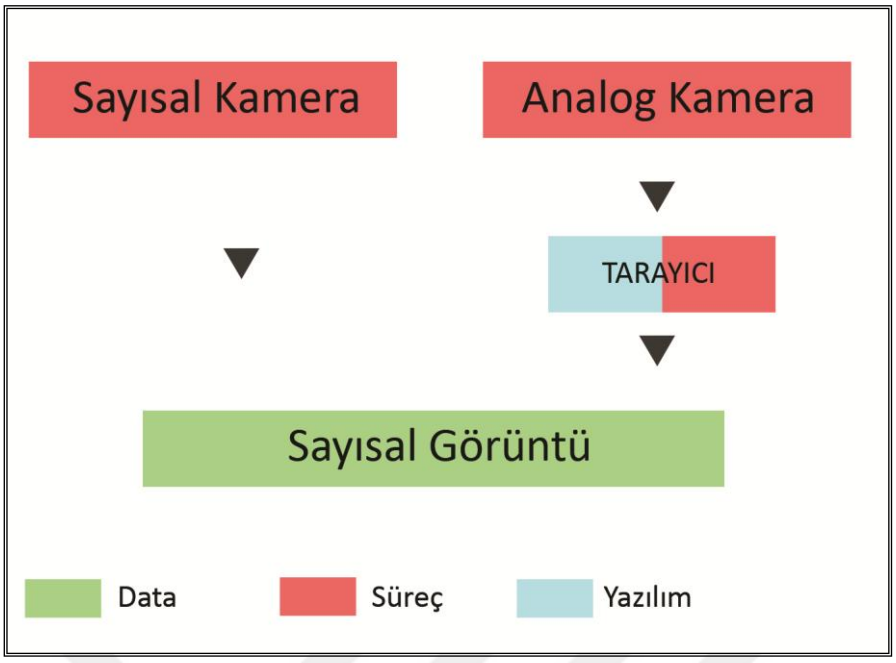
Bilgisayar, piksellerin radyometrik bilgilerini ve geometrik bilgilerini bir araya getirerek sayısal görüntüyü oluşturur. Bir görüntünün bünyesindeki piksel sayısı arttıkça her bir pikselin o görüntü içerisinde temsil ettiği alan küçülür, yani görüntünün çözünürlüğü artar. Çözünürlük sayısal görüntüler için y x d matrisinin her bir satır ve sütununun birim uzunluğunda yer alan piksel miktarı olarak tanımlanır, PPI (pixel per inch) birimi ile ölçülendirilir. Bir sayısal görüntüden okunabilecek detaylar görüntünün çözünürlüğüne paralel olarak artar [28].

Çözünürlük, görüntünün elde edilmesinde kullanılan sayısal kamera sensörünün üzerinde yer alan fotoreseptörlerin sayısına bağlıdır.

İlk deneysel renkli fotoğraf ise James Clerk Maxwell tarafından 1861'de çekilmiştir. Dijital olarak ışık algılama fikri 1961 yılında bir uzay araştırma konferansında önerilmiş, önerilen mantıktaki bir ışık algılama paneli 1968'de üretilmiştir. İlk dijital fotoğraf makinesi ise 1975 yılında Steven Sasson adındaki bir mühendis tarafından Kodak bünyesinde tasarlanmıştır. Ağırlığı 3.6 kg olan ve 23 saniyede 0.01 megapiksel çözünürlüğünde renksiz fotoğraf çekebilen bu kamerada uzay araştırmaları için 1973 yılında üretilmiş bir Charge Coupled Device (CCD) algılayıcı kullanılmıştır [29].

2.1.1 Sayısal Görüntü Elde Etme Yöntemleri

Sayısal görüntüler analog görüntülerin taranmasıyla ya da sayısal kameralar ile doğrudan oluşturulabilirler [26]. Şekil 2.4'de sayısal görüntü elde etme yöntemleri gösterilmiştir.



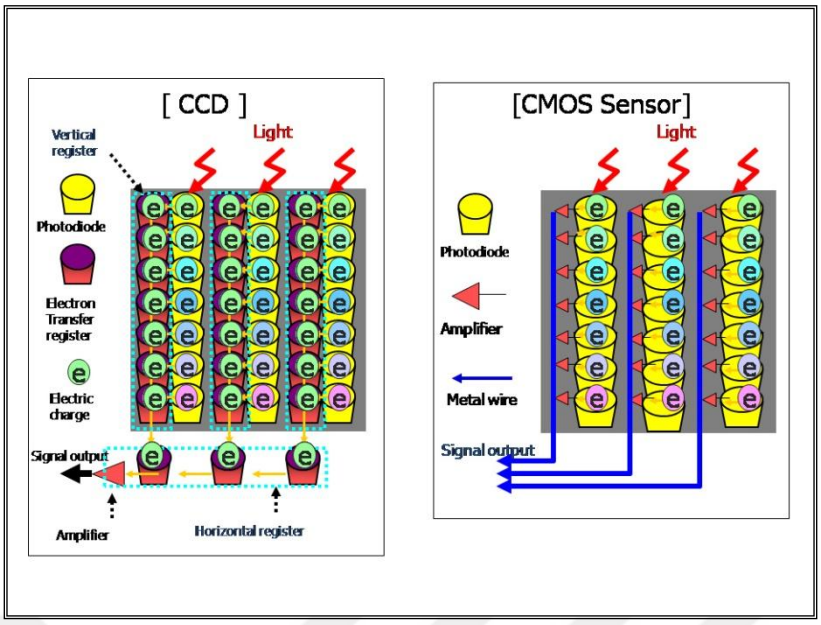
Şekil 2. 4 Sayısal Görüntü Elde Etme Yöntemleri

- Tarayıcılar ile; tarayıcı, bir objenin görüntüsünü yakalayan ve görüntüyü bilgisayar işlemleri için sayısal ışık-yoğunluk haritasına dönüştüren araçtır. Objeler, yazılı bir döküman, fotograf veya slayt olabilir. Tarayıcılar, sürücü yazlılımlarına ve kendisini yöneten uygulama programlarına ve donanımlara sahiptir [30].

- Sayısal Kameralar ile; analog kameralarda ışığa duyarlı olan gümüş tuzları ile ışık algısı elde edilirken sayısal kameralarda bunun yerine ışığa duyarlı sensörler kullanılır. Bunlar CCD (Charge Coupled Device) ve CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) sensörlerdir. İki algılayıcı arasındaki en büyük fark CCD çiplerin genel olarak CMOS çipten daha kaliteli görüntü oluşturabilmesine rağmen pahalı bir sistem olmasıdır [31]. Çizelge 2.2'de CCD ve CMOS sensörlerinin temel farkları gösterilmiştir.

Çizelge 2. 2 CCD ve CMOS Sensör Arasındaki Temel Farklar [32].

	CCD	CMOS
Fiyat	Daha Pahalı	Ucuz
Grenlenme	Az	Daha Çok
Güç Tüketimi	Daha Çok	Az



Şekil 2. 5 CCD ve CMOS Sensör Karşılaştırması [33].

2.1.2 Sayısal Görüntü İşleme

Sayısal görüntü işleme, görüntülerin farklı yorumlamalar için hazır edilmesi işlemidir [34]. Görüntü işlemenin temel adımları kullanılan algoritma fonksiyonuna göre çeşitlilik gösterir. Farklı görevler için farklı algoritmalar oluşturulur. Bununla birlikte görüntü işlemenin temellerini 3 ana adımdan oluşur. Bunlar, görüntü ön işleme, görüntü segmentasyonu ve analiz, görüntü anlama ve yorumlamadır.

Görüntü ön işleme; tutarlı bir veri eldesi için görüntünün ön işlemlerden geçirilmesi adımıdır. Bunlar görüntünün geometrik ve radyometrik olarak düzeltilmesi, görüntü onarımı ve görüntü iyileştirme tekniklerdir.

Görüntü segmentasyonu ve analiz; burada nesneler gruplandırılır. Burda nesne spesifikasyonları yapılır. Objeler birbirinden ayrılır ve gruplandırılır. Segmentasyon, görüntü işlemenin en zor basamağıdır. Bütün sonuçlarda bir hata oranı vardır.

Görüntü anlama ve yorumlama; akışın en son kısmıdır. Bu aşamada görüntü içindeki nesne veya bölge belirnenen tanımlamaya göre etiketlendirilir [26].

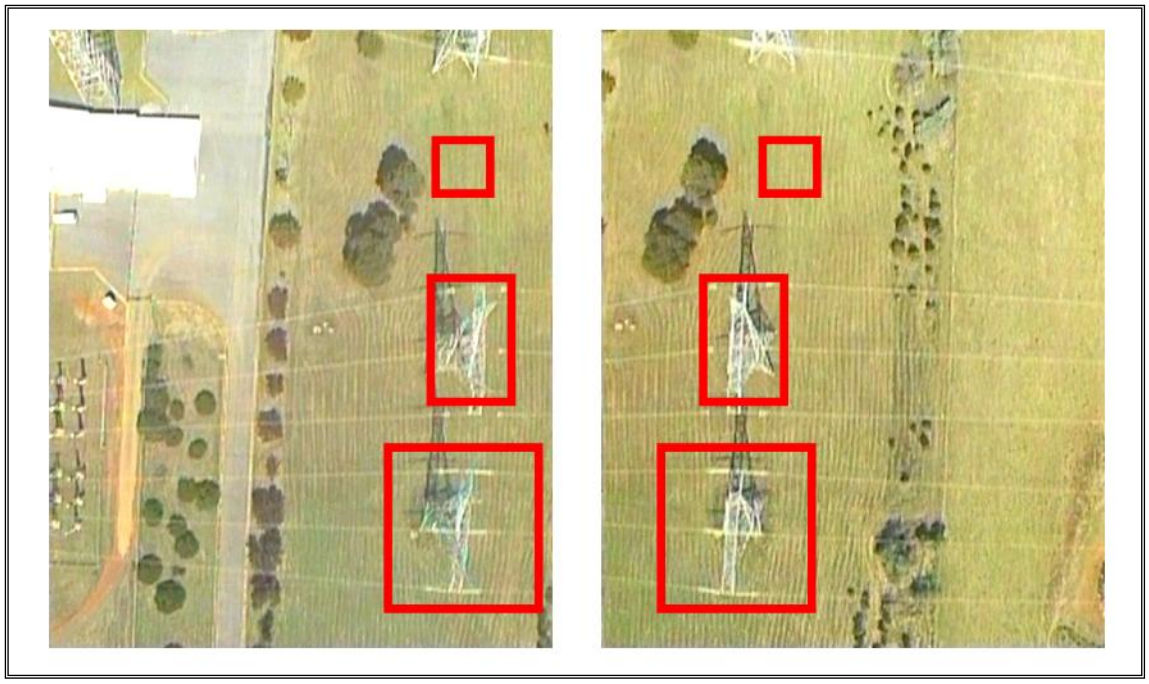
2.1.3 Sayısal Görüntü Eşleme

Modelin oluşturulabilmesi için görüntüdeki bir alanın, bir şeklin ya da bir noktanın diğer görüntüde de yerinin araştırılması gereklidir. Bu araştırma işlemine görüntü

eşleme denir. Temel elemanlar, görüntülerden çıkarılan detaylar veya gri değer pencereleri olabilir [26].

Görüntü eşlemenin temel prensibi görüntüler arasındaki eşlenik alanları bulmaktır. Çoğunlukla ilk aşamada ortak alanlar şekle dayalı görüntü eşleme yöntemiyle kaba bir eşleme ile belirlenir. İkici aşamada ise alana dayalı görüntü eşleme prensipleri kullanılır.

- Şekle dayalı görüntü eşleme; yöntem, iki görüntüden belirli şekillerin çıkartılıp çakıştırılmasıdır. Karmaşık algoritmalar gerektirmesi ve zayıf sınırlama yapması yöntemin kötü taraflarıdır. Her ne kadar hassas çalışırsa çalışsın alana dayalı görüntü eşleme hassasiyetine ulaşamamaktadır.
- Alana dayalı görüntü eşleme; alana dayalı görüntü eşleme yönteminin temeli, fotoğraftaki gri değerlerinin okunup ortak alanların üst üste getirilmesidir. Eşlemede fotoğrafın bütünü kullanılır, büyük veri hacmi ihtiyacı yöntemin kötü bir tarafıdır.
- İlişkisel eşleme yöntemi diğer yöntemlerden farklı olarak sadece geometrik kriterlere bağlı değildir. Fotoğrafın çekildiği yere ve morfolojik özelliklere göre eşleme yapar [35].



Şekil 2. 6 Görüntü Eşlemede Kullanılacak Ortak Alanlar [36].

2.2 3D Rekonstrüksiyon Oluşturmada Kullanılan Teknikler

Üç boyutlu rekonstrüksyon oluşturmak için hedef nesne yüzeylerinden edinilen nokta koordinat bilgilerinin sayısal ortama aktarılması gerekmektedir. Bu maksatla Şekil 2.1'de bahsedilen sistemlerden yararlanılmaktadır.

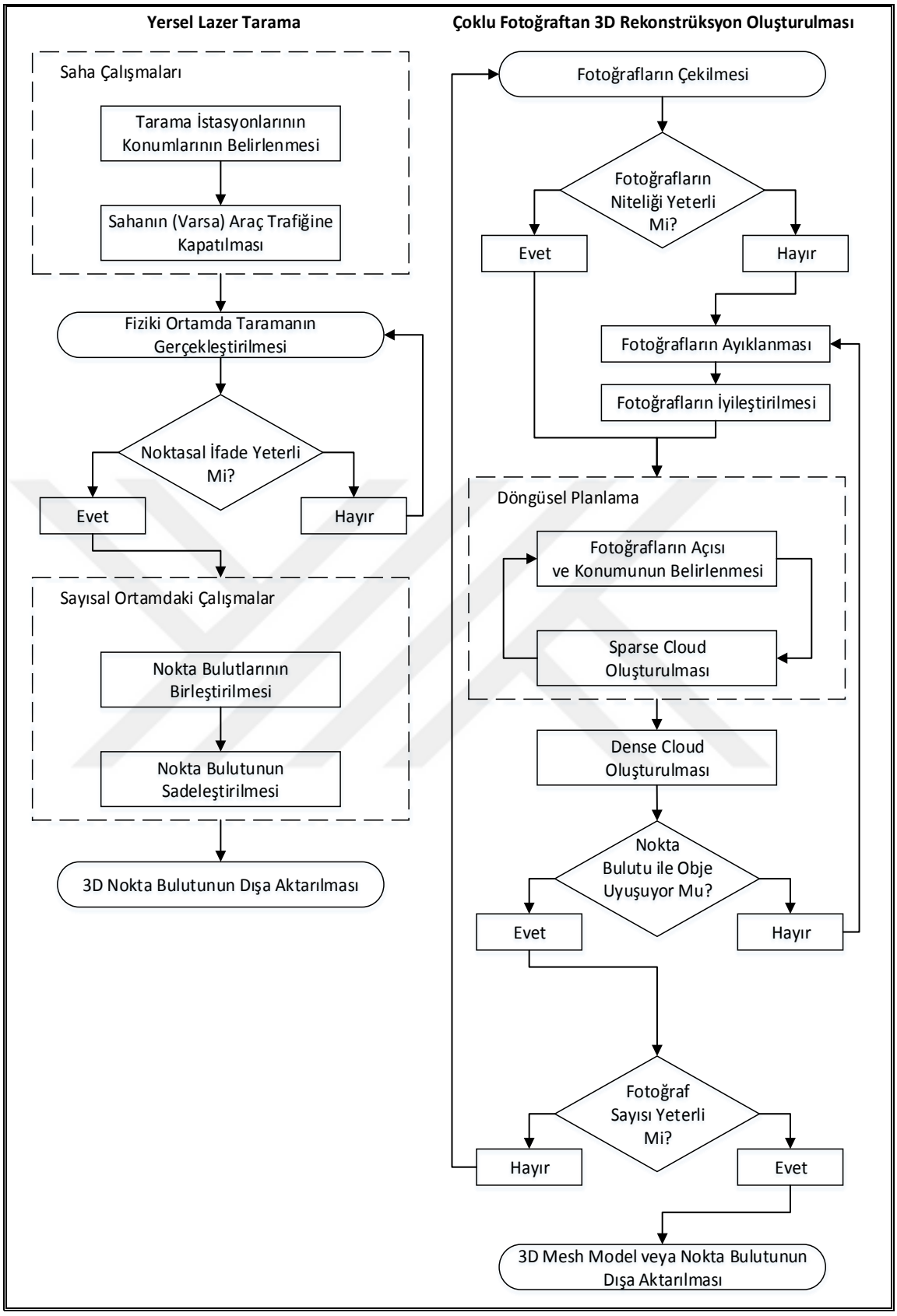
Bahse konu teknikler arasındaki ve bu araştırma kapsamında kullanılan yersel lazer tarama ve çoklu fotoğraf ile üç boyutlu rekonstrüksiyon oluşturma yöntemleri bu bölümde irdelenmektedir. Şekil 2.7'de yersel lazer tarama ve çoklu fotoğraftan yararlanılarak üç boyutlu rekonstrüksyon oluşturma diagramatik olarak açıklanmaktadır.

2.2.1 Yersel Lazer Tarama

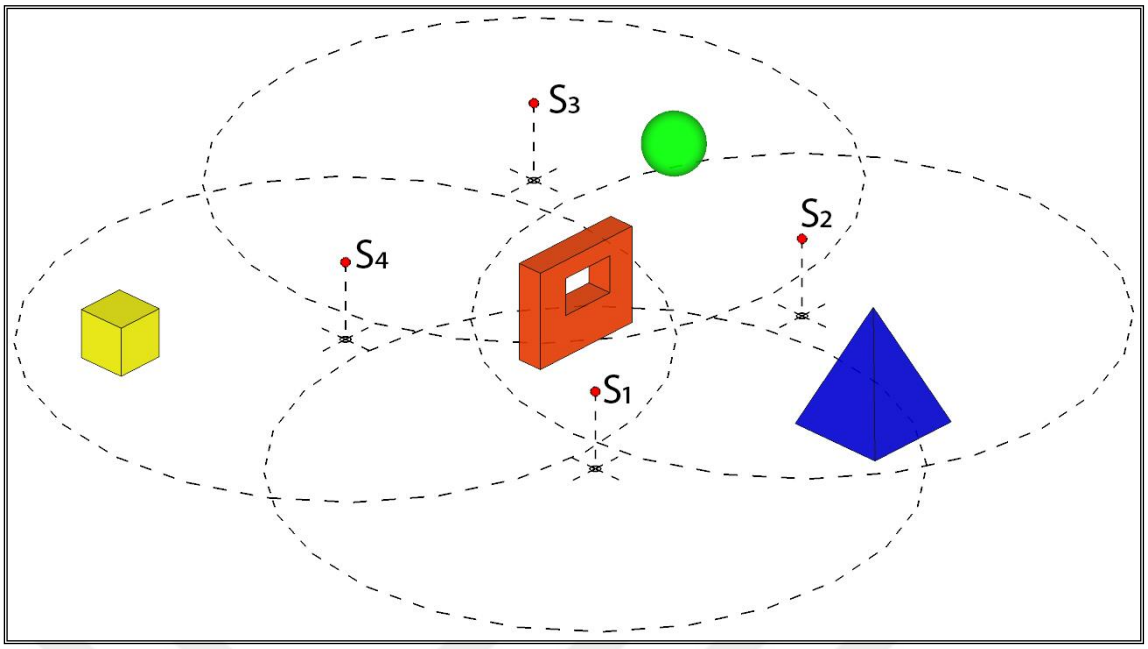
Yersel lazer tarama yöntemi nesnelerin doğrudan, hassas ve otomatik olarak üç boyutlu yüzey nokta koordinatlarının elde edilmesini sağlayan bir teknolojidir [37]. Nesnenin rekonstrüksiyonu üç aşamada gerçekleştirilir. Bunlar; fiziki ortamda tarama, nokta bulutlarının birleştirilmesi ve sahnenin sadeleştirilmesidir.

2.2.1.1 Fiziki Ortamda Tarama

Lazer tarayıcı koordinat verilerinin elde edilmesinde optik üçgenleme metodunu kullanır. Buna göre lazer ışını cihaz tarafından nesne yüzeylerine ard arda ve belirli aralıklarla gönderilir, nesne yüzeyinden yansıyan lazer ışını yine cihaz üzerinde bulunan CCD sensör tarafından toplanır. Lazerin çıktığı nokta döndüğü nokta ve nesne arasında oluşan üçgen kullanılarak nesne yüzeylerinin koordinat bilgileri hesaplanır. İşlem yatay ve düşey eksende 360° açı ile art arda tekrarlanarak küresel bir hacim içerisinde nokta bulutu oluşturulur. Yöntemin olumsuz tarafı ise tüm ölçüm boyunca cihazın hareketsiz kalması, dolayısıyla hedef nesneyi sadece bir açıdan görebilmesidir [38]. Şekil 2.8'de S1, S2, S3, S4 istasyonları ile temel lazer tarama stratejisi gösterilmiştir.

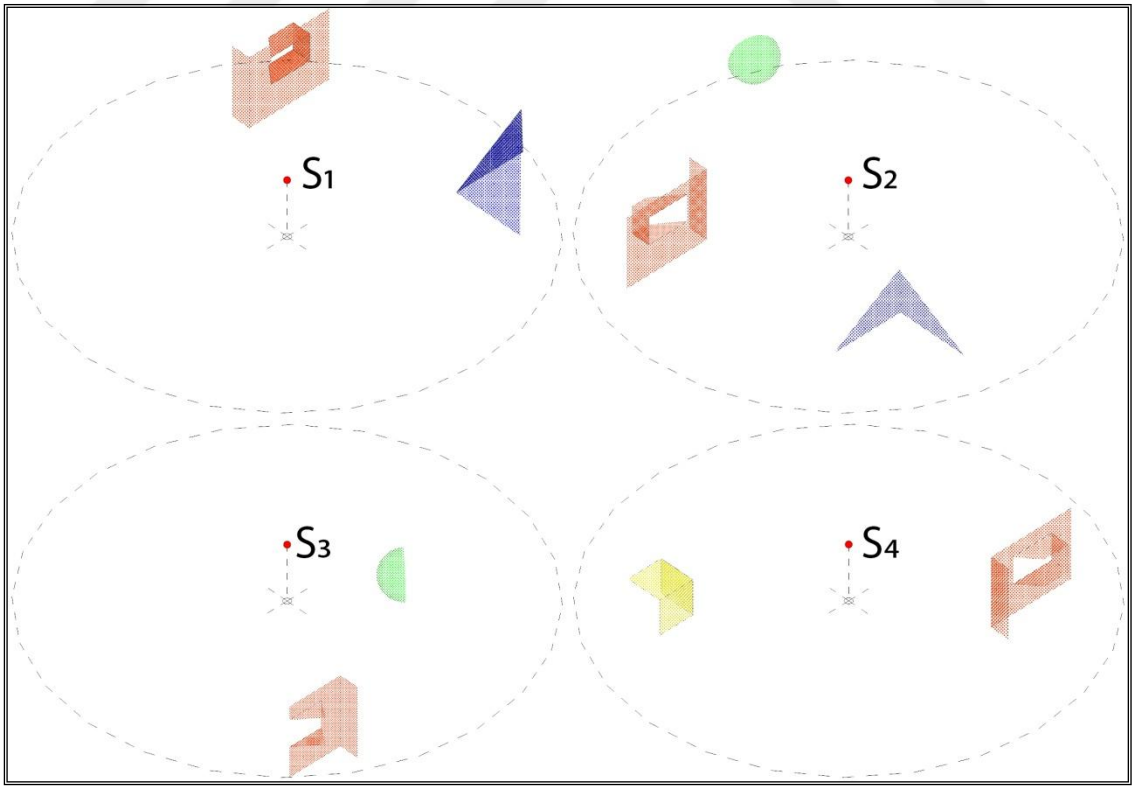


Şekil 2. 7 Görüntü Değerlendirme Aşamaları



Şekil 2. 8 Temel Lazer Tarama Stratejisi

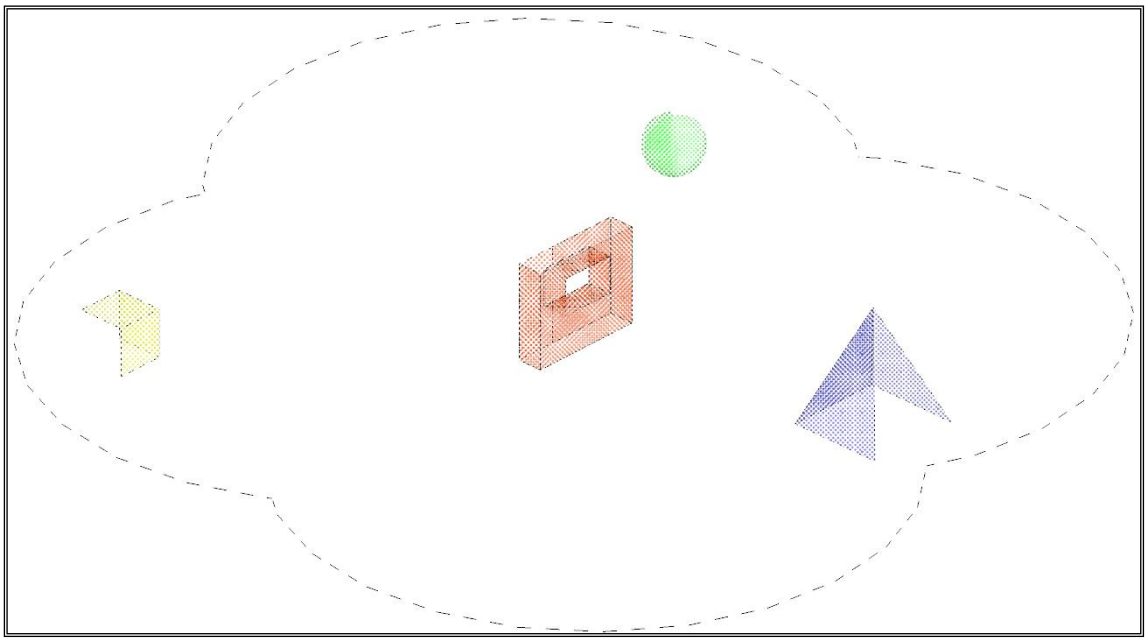
Objenin tamamını taramak için ise lazer tarama cihazı sahada önceden belirlenmiş istasyonlara kurularak istenilen detaya göre çoklu ölçümler gerçekleştirir. Yine de cihaza oranla çok yüksek nesnelerin tepe noktalarının bu yöntemle ölçümleri mümkün olamamaktadır.



Şekil 2. 9 İstasyonlardan Elde Edilen Nokta Bulutu Verileri

2.2.1.2 Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi

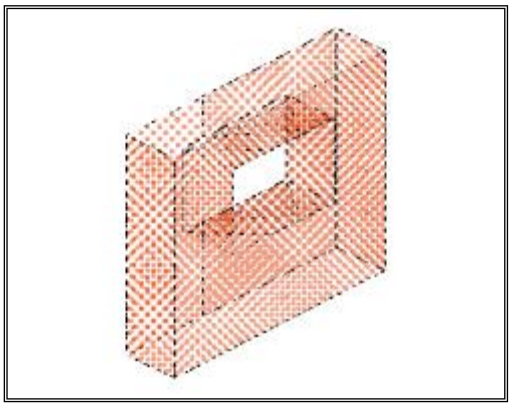
Farklı istasyonlardan elde edilen nokta bulutları bilgisayar ortamında bir araya getirilir. Bunun için iki farklı yöntem kullanılır. İlk yöntemde operatör taramalardaki ortak nokta kümelerini seçerek bilgisayar programından bunları birbiri ile eşlemesini ister. Farklı programlar noktaları farklı eşleştirme algoritmaları kullanarak optimum eşleştirmeyi sağlar. Diğer yöntemde ise lazer tarayıcı nokta bulutları için GPS ve yön verisini kaydeder, bilgisayar programı bu verileri okuyarak otomatik eşleşme sağlar [39].



Şekil 2. 10 Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi

2.2.1.3 Sahnenin Sadeleştirilmesi

Lazer tarama cihazları hassas ölçümlerde kullanılmak üzere kalibre edilmiştir. Bu durumda mimari öğeler gibi geniş hacim kaplayan nesnelerin taranması sırasında sahada olumsuz durumlar oluşabilir. Lazer tarayıcı ölçüm sırasında havadaki toz zerreleri, yağmur damlaları, tarayıcının önünden geçen hareketli nesneler, lazer ışınını yansıtan dalga boyundaki ışık huzmeleri nokta bulutunun içinde yer alarak sahneyi kirletebilir. Nesne yüzeyinde yer almayan bu ve benzeri noktalar operatör tarafından sayısal ortamda sahneden çıkartılarak sahne sadeleştirilir.



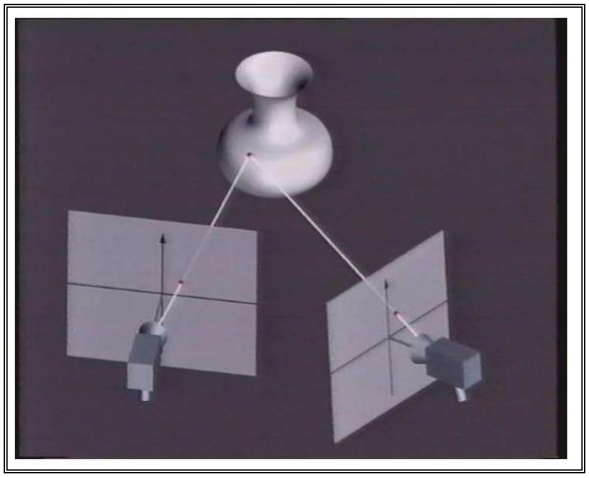
Şekil 2. 11 Sahnenin Sadeleştirilmesi Sonucu Elde Edilen Veri

Yersel lazer tarama yöntemiyle oluşturulan üç boyutlu rekonstrüksyonun sonuç ürünü koordinatlar ile tanımlanmış nokta bulutu kümesidir.

2.2.2 Çoklu Fotoğraftan Üç Boyutlu Rekonstrüksiyon Oluşturulması

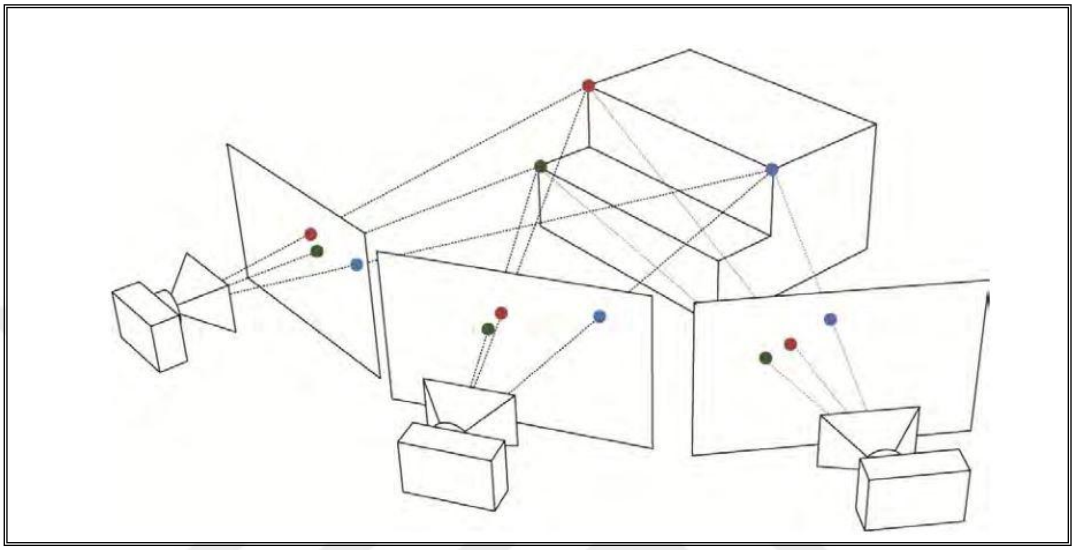
İki boyutlu düzlemdeki derinlik bilgisinin ortaya çıkartılması için ana ilke olan üçgenleme ilkesinin anlaşılması gerekmektedir. Bu ilke çeşitli SfM (Structure from Motion) algoritmaları ile oluşturulur [40].

İki boyutlu görüntüden üç boyutlu görüntüye ulaşmak için bir dizi fotogrametrik ölçüm yapılmalıdır. Veriler nesnelerin konumları ile kamera arasındaki ölçümleri içerir. Bu ölçüm verileri SfM (Structure from motion) denilen yapıyı kullanır. Sfm bir dizi resmin seri olarak algoritmalar ile eşleştirilmesi ve poziyonlarının üçgenleme ile seri olarak tespit edilmesidir [41]. Şekil 2.12'de üçgenleme ile bulunan örnek bir nokta şematize edilmiştir.



Şekil 2. 12 2 Fotoğraftan Nokta Oluşumu [42].

Temel SfM, iş akışı iki veri kümesi oluşturur. Bunlar sparse cloud (seyrek nokta kümesi) ve dense cloud'dur (yoğun nokta kümesi). Sparse cloud verileri trigonometrik ölçümlerin sonucu oluşturulur. Fotoğrafları hizalamaya yardım etmek için kullanılır. Tüm kameralar hizalandıktan sonra algoritmalar ölçülen noktaların sayısını artırmak için kullanılır ve dense cloud verileri oluşur [43].



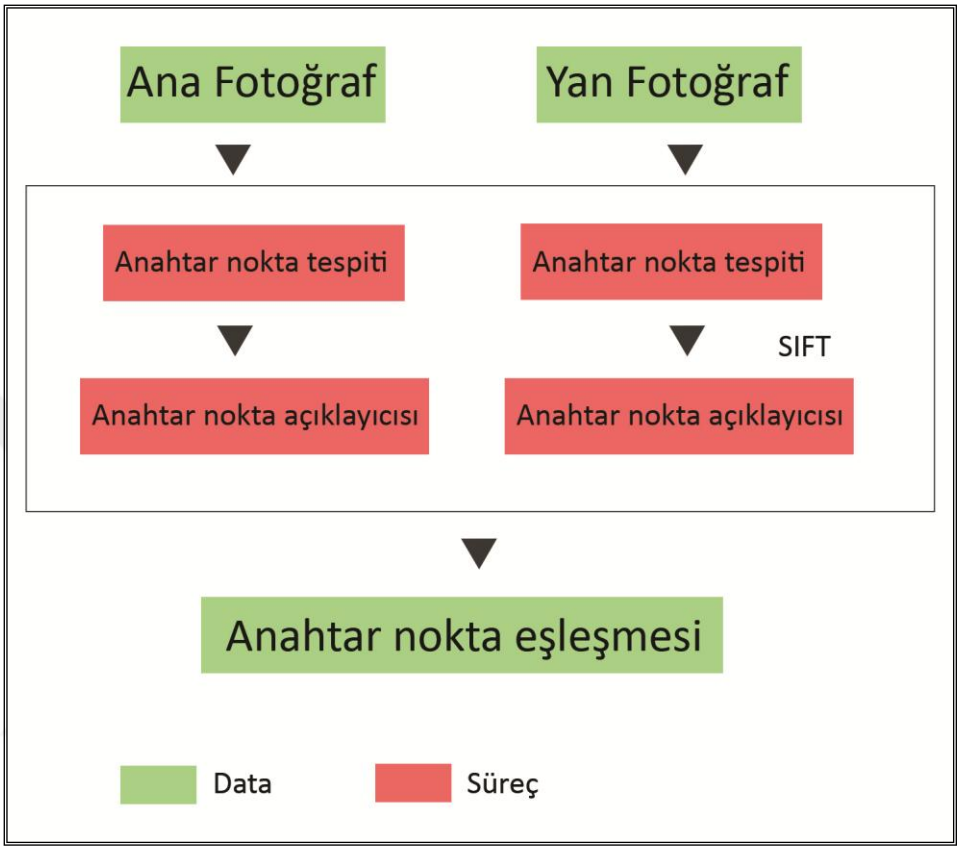
Şekil 2. 13 2 Fotoğraftan Nokta Oluşumu [43].

SfM'in bir sahneyi yeniden şekillendirmesinin en büyük dezavantajı raslantısal bir koordinat sisteminde oluşturmasıdır. Kamera konumları arasındaki tüm uzaklıklar ve 3D noktalar arasındaki uzaklıklar kendi içinde tutarlıdır fakat bu ölçüler metrik değildir. Metrik ölçümler yapmak için zemin kontrol noktasına ihtiyaç duyar.

Eşleştirme işlemi, görüntü eşleme sürecinde stabil anahtar noktalarına ihtiyaç duyar. SIFT anahtar noktaları bunun için tek çözümdür. David Lowe tarafından geliştirilen SIFT (Scale Invariant Feature Transform) farklı fotoğraflar üzerindeki stabil noktaları bulabilen bir algoritmadır. Geleneksel yöntemler, görüntülerin yüksek kontrastlı bölgelerindeki köşeleri çıkartır. Eşleşecek görüntüler üzerinde aydınlatma, bakış açısı, ölçek kaydırması, görüntünün döndürülmesi gibi faktörleri SIFT başarılı bir şekilde çözmektedir. Sfm sistemlerinin kendilerine ait algoritmaları olsa da hepsinin temel teorisi benzerdir [44]. Şekil 2.14'de çoklu fotoğraflar üzerinde SIFT anahtar nokta oluşumu şematize edilmiştir.

Bir pasif stero sistem olan iki boyutlu fotoğraf verisinden üç boyutlu model verisinin temeli olan nokta koordinatlarını oluşturmak için bilgisayar programları fotoğrafları

inceler ve en az iki farklı fotoğraf üzerindeki aynı noktayı tespit eder. Bu işlemi seri bir şekilde art arda farklı fotoğraflar ile yaparak üç boyutlu modelin temel iskeleti olan nokta bulutu elde edilir. Elde edilen noktaları yine program birbirine bağlayarak mesh modeli oluşturur.



Şekil 2. 14 SIFT Oluşum Diyagramı

Farklı SfM sistemlerinin farklı algoritmaları olmasına karşın temelde yatan prensip aynıdır. Günümüzde kullanımı devam eden açık kaynak kodlu veya ticari amaç için hazırlanmış birçok programı bulabiliriz. SfM programlarını temelde web arayüzü kullanımlı ve masaüstü kullanımlı olarak ikiye ayırabiliriz. Çizelge 2.3'de web arayüzlü ve masaüstü kullanımlı programların farkları gösterilmiştir.

Tez kapsamında 87 adet 3D rekonstrüksiyon yazılımı bulunmuştur. Bu programların listesi Ek-A'da sunulmuştur. Bulunan bu yazılımlar arasından Agisoft Photoscan, Microsoft Photosynth, Visual SFM ve CMPMVS ikili program çifti, Autodesk 123D catch ve Autodesk Remake incelenmiştir.

Çizelge 2. 3 SfM Web Servisleri ve Masaüstü Uygulamaları Arasındaki Farklar [43]

SfM web servisleri	Özel bir donanım gereksinimi yoktur.
	Yerel hafızayı veya işlemciyi kullanmaz.
	Farklı kütüphaneleri ve programlama dillerini kullanmanıza gerek yoktur.
	Kişisel bilgisayarınızdan hızlıdır.
	Erişim yayıncı firmanın kontrolü altındadır.
SfM masaüstü	Dışa aktarım veri kalitesi kontrolünüz altındadır.
	Zaman kullanımı kontrolünüz altındadır.
	Süreçler opsiyoneldir.
	Her zaman erişim sağlanabilir.

2.2.3 Çoklu Fotoğraftan 3D Rekonstrüksiyon Oluşturulmasında Örnek Çalışmalar

2011'den bu yana SfM sadece bir dijital görselleştirme tekniği olmaktan öteye geçerek, günümüzde düşük maliyetli ve yüksek üç boyut çözünürlüklü modellerin oluşturulması maksadıyla akademik alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [41].

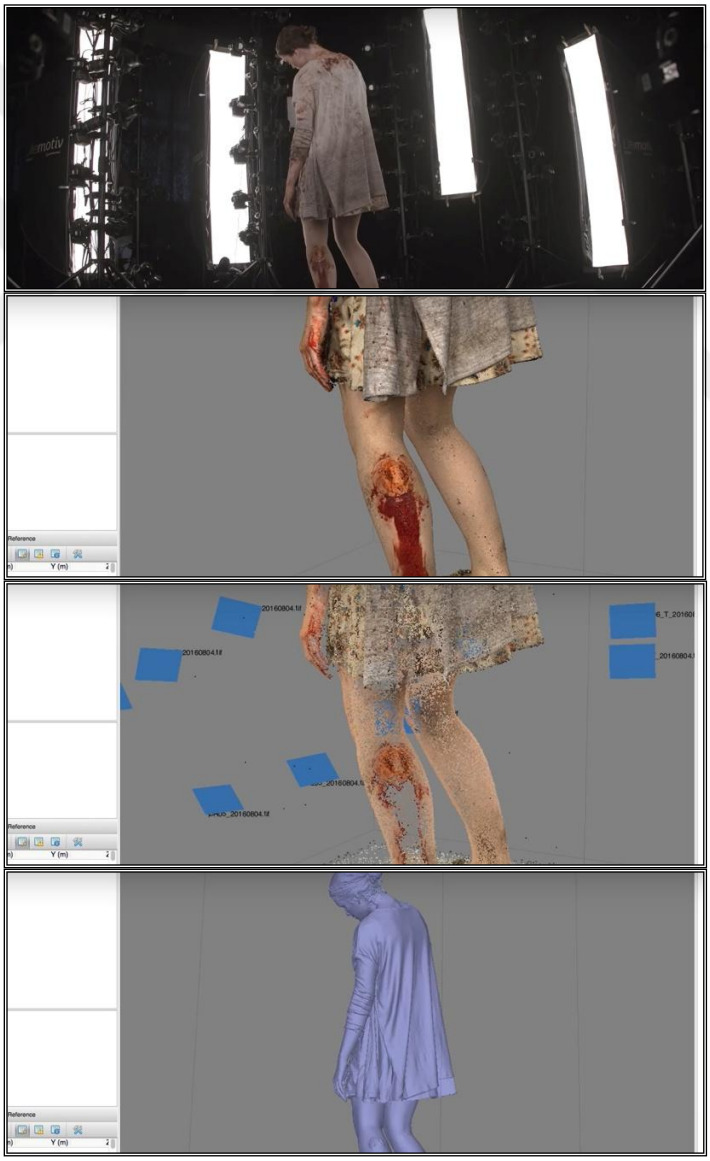
Jeomorfoloji alanında Mark A. Fonstad, James T. Dietrich, Brittany C. Courville, Jennifer L. Jensen, Patrice E. Carbonneau tarafından 2013 yılında yapılan araştırmada helikite kullanarak fotoğraflar çekilmiş ve Pedernales nehri yapısı incelenmiştir [45]. 2012 yılında ise M. R. James ve N. Varley'in, 2011 yılında patlayan Colima yanardağının kontrolü için DEM (sayısal yükseklik modeli) oluşturmuştur. Yanardağ patlamasından önce oluşacak kubbe oluşumu ve oluşumun sürecini incelemektedir [46]. 2013 yılında yayınlanan araştırmaları Jonathan P. Dandois ve Erle C. Ellis'in ormancılık üzerine üç boyutlu haritalama üzerinedir. Ekosistem ve orman dinamikleri üzerine 3 alanda araştırma yapmışlardır. Sfm verilerini GPS noktaları ile birleştirip üç boyutlu harita oluşturmuşlardır [47].

3D rekonstrüksiyonun akademik kullanımının yanında ticari kullanım alanları da vardır. Reklamcılıkta görsel işitsel tanıtımların popülerleşmesiyle; ürünlerin fotogrametri kullanılarak oluşturulan üç boyutlu modelleri bu amaçlarla kullanılmaya başlanmıştır. Bu kapsamda Nike firması 20 adet ayakkabısını tanıtım maksadıyla modelini hazırlatmıştır. Şekil 2.50'de Diego Viedas tarafından üretilen nokta bulutu ve üç boyutlu model gösterilmektedir.



Şekil 2. 15 Diego Viedas tarafından üretilen üç boyutlu model [48].

Sinema endüstrisine yönelik olarak SnapTank Stüdyosu gerçek karakterlerin fotogrametrik taramalarını filmlerde kullanmak üzere modele dönüştürerek zombi karakterleri elde etmiştir. Şekil 2.51'de fotoğrafların çekim sahnesi ve oluşturan model gösterilmektedir.



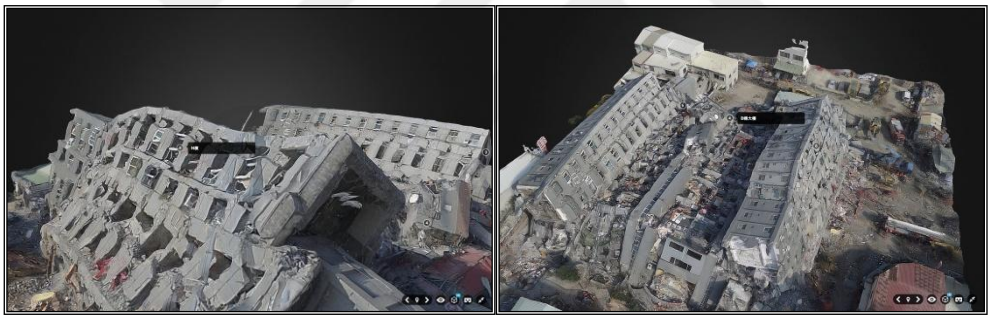
Şekil 2. 16 SnapTank firması tarafıdan 150 kamera ile üretilen örnek zombi modeli [49].

2016 yılında gerçekleşen ve Güney Tayvan'ı etkileyen 6,4 büyüklüğündeki depremde; Tayvan Ulusal Cheng Kung Üniversitesi'nden Dean Hosp yıkılan Welguan Binası ve çevresinin hava fotoğraflarından oluşturduğu fotogrametrik modeli kullanarak binanın yıkılma sebebini incelemiştir. Şekil 2.52'de yıkılan binanın görüntüleri görülmektedir.



Şekil 2. 17 Yıkılan Welguan Binası [50].

Şekil 2.53'te oluşturulan üç boyutlu modelin sanal gerçeklik şekline dönüştürülmüş hali görülmektedir. Yıkıntıların arasında sanal bir tur yapılması sağlanmıştır.



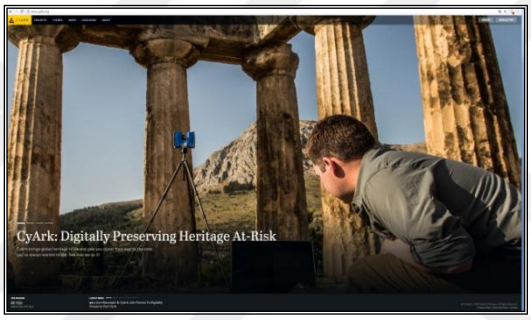
Şekil 2. 18 Yıkılan Welguan Binası'nın 3D Rekonstrüksiyonu [50].

Diğer disiplinlerin yanında mimari ve arkeolojide 3D rekonstrüksiyon önemli bir belgeleme ve rekonstrüksiyon aracı olarak öne çıkmaktadır. Maurizio Forte'nin 2014'te yayınlanan çalışmasında; Çatalhöyük'te yer alan 25 m² alana sahip neolitik evin kalibre edilmemiş SLR kamera ile çekilen fotoğraflardan oluşturdukları modelde 4-5 mm hassasiyet payı olduğundan bahsedilmektedir [51]. Şekil 2.54'de oluşturulan model görülmektedir.



Şekil 2. 19 Çatalhöyük'ün Oluşturulan Modeli [51].

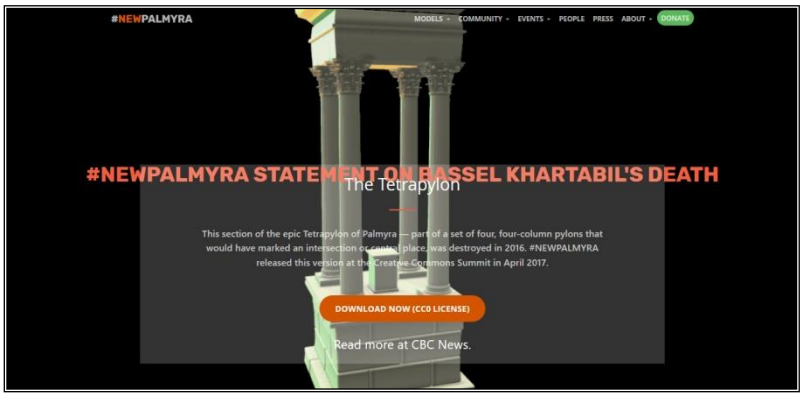
CyArk; doğal afetler, savaş ve zamana bağlı deformasyonlar sebebiyle yok olmadan önce; dünya kültür mirasında yer alan yapıtların fotogrametrik tarama sonucu elde edilen modellerine çevrimiçi kütüphanesinde ücretsiz olarak erişim sağlamaktadır [52]. Şekil 2.55'de Cyark internet sayfası gösterilmektedir.



Şekil 2. 20 CyArk Websitesi [52].

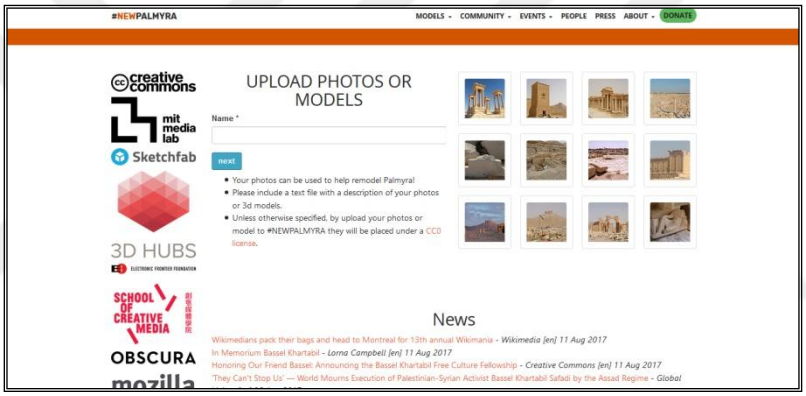
Özellikle savaş ortamında taşınabilir ve taşınamaz kültür varlıklarını çatışma durduğunda belgelemek uzun zamandır kullanılan bir metoddur. Bu yöntem fiziki bütünlüğü tehlikede olan eserlerin gelecek nesillere aktarılmasını sağlamaktadır. Birçok müze yok olmuş eserlerin kayıtlarını fotoğraf albümleri ile tutmaktadır. Fotogrametri; tarihi eserlerin bu yöntemle belgelenmesinde; kısıtlı zamanda keskin, işlenebilir veriler sunarak yok olmuş eserleri geleceğe taşımakta etkili çözüm sunmaktadır.

2015 yazında DAEŞ'in "Temple of Bel, Temple of Baalshamin" ve Dünya Kültür Mirası envanterinde yer alan Palmira antik kentinde birçok mozoleyi kasıtlı olarak yıkmıştır [53]. Bu yıkımdan sonrasına başlatılan #Newpalmyra (Yeni Palmira) projesi 3D rekonstrüksiyon kullanarak kısa zamanda alanın dijital üç boyutlu modelin oluşturması hedeflemiştir. Şekil 2.56'da Newpalmyra projesinin internet sayfası gösterilmektedir.



Şekil 2. 21 #NEWPALMYRA projesi web sitesi [54].

Sistemde gönüllüler tarafından çekilen fotoğraflardan yanı sıra turistler tarafından çekilen fotoğraflar da sisteme yüklenip bu açık projeye katkıda bulunması amaçlanmıştır. Şekil 2.57'de fotoğrafların yükleneceği arayüz gösterilmektedir.

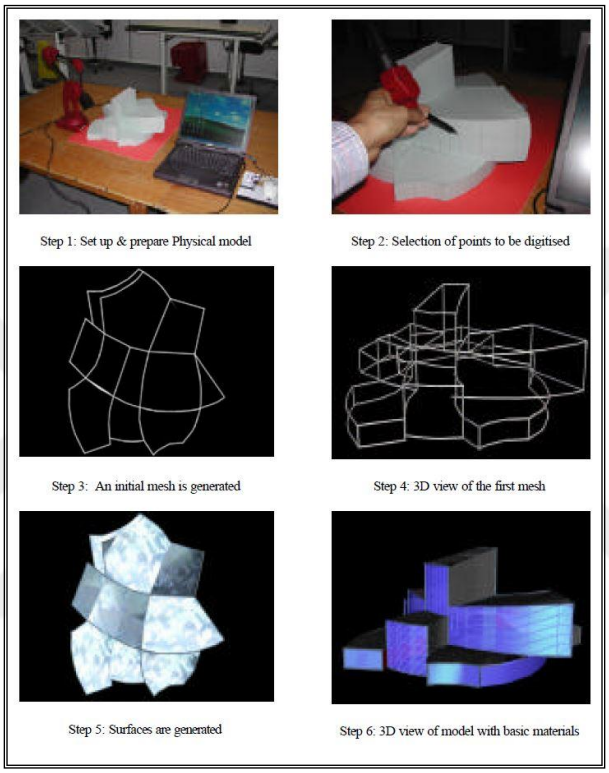


Şekil 2. 22 #NEWPALMYRA projesi turist fotoğrafı ekleme arayüzü [54].

Örneklerde anlatılan birçok bilim dalının ortak kulanım alanına sahip olan sayısal fotogrametrik yöntemin gelişmesi için bilim dalları birbirleri arasında işbirliği içerisinde girmiştir ve birlikte çalışmalar yapılmaktadır. Bu konuda CIPA (International Committee of Architectural Photogrammetry) mimari fotogrametri adına iyi bir yaklaşımdır. Bir ICOMOS (International Council on Monuments and Sites) ve ISPRS (International Society of Photogrammetry and Remote Sensing: Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği) işbiliği olan bu komitenin ana amacı kültürel miras ve kültürel mirasın içinde bulunduğu alanı bütünüyle gelecek nesillere doğru bir şekilde aktarılmasını amaçlamıştır.

Karim Hadjri, mimari tasarım stüdyosunda maket ile çalışmanın bilgisayar ortamına aktarılması için mekanik bir sistem kullanmıştır [55]. Şekil 4.1'de model üretimine dair

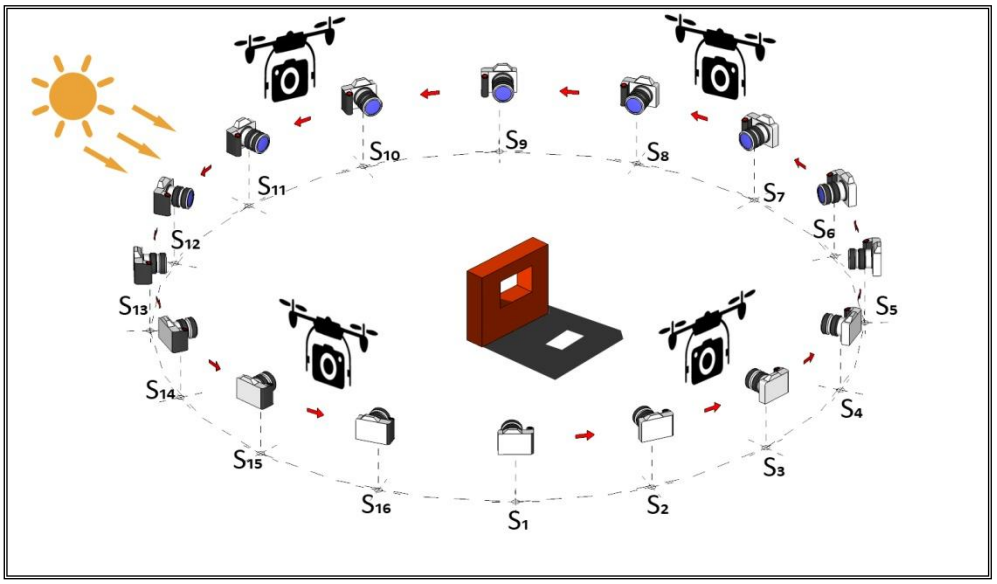
aşamalar görülmektedir. Fotoğraflar üzerinden model üretme sistemi geliştikçe her daim yanımızda bulunan akıllı telefonların kameraları sayesinde yazılımların mimari tasarımın ön konsept aşamasında kullanılacaktır. Sayısal fotogrametri yazılımların bu hızlı gelişimi ile konsept maketlerin dijitize edilmesi sağlanacaktır. Üretilecek bu yazılım geliştirilip basitleştirildikçe öğrencilerin hizmetine sunulacaktır. Bu yazılım fikri bu araştırmada yapılacak en üst düzey öngörüdür.



Şekil 2. 23 Kaotik Geometrik Formun Dijital Ortama Aktarılması [55]

2.2.4 Çoklu Fotoğraftan 3D Rekonstrüksiyon İçin Optimum Fotoğraf Çekim Stratejisi

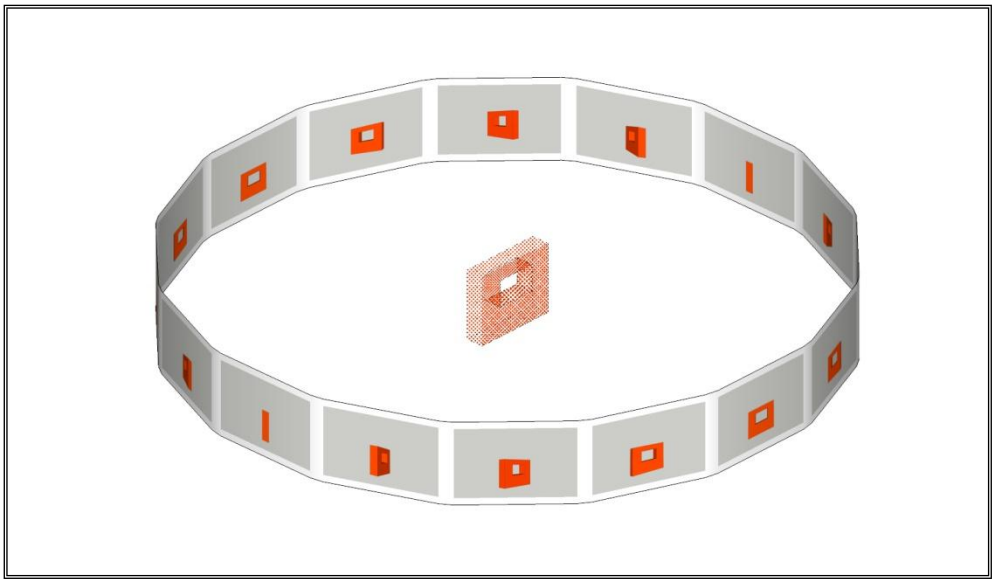
Fotoğraf verisinin elde edilmesinde ve oluşturulan verilinin nokta bulutu oluşturma etkisi incelenmiştir. Çoklu fotoğraftan üç boyutlu rekonstrüksyon oluşturulmasında temel veri kaynağı çekilen fotoğraflardır. Dolayısıyla kullanılan fotoğrafın niteliği ve niceliği oluşturulan modelin hassasiyeti ve oluşturma süresinde belirleyici faktörlerdir. Şekil 2.15'de örnek fotoğraf çekim stratejisi gösterilmektedir.



Şekil 2. 24 Açık Havada Temel Fotoğraf Çekimi Stratejisi

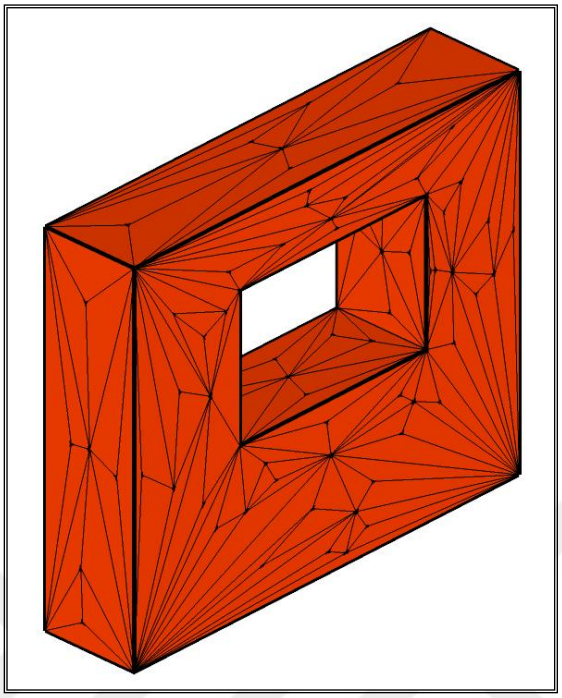
Bu yöntemin lazer tarama yöntemine kıyasla sağladığı en büyük avantaj ise farklı cihazlar ile çekilmiş fotoğrafların veya video karelerinin model oluşturmak için beraber kullanılabilmesidir.

Şekil 2.16'da, Şekil 2.15'de oluşturulan sahneden elde edilen fotoğrafların yazılım aracılığı ile birbirlerine göre konumlanışı ve bu fotoğrafların ortak alanlarının belirlenmesi sonucu oluşan nokta bulutu tasvir edilmektedir.



Şekil 2. 25 Elde Edilen Fotoğraflar

Şekil 2.17’de, şekil 2.16’da oluşturulan nokta bulutunun sonuç ürünü olan mesh modele dönüştürülmüş hali gösterilmektedir.



Şekil 2. 26 Üretilen Model

Fotoğraf çekim koşulları ve fotoğraf sayısının, oluşturulacak 3D rekonstrüksiyon hassasiyetinine ve nokta bulutu oluşturma süresine etkisini gösteren birtakım deneyler yapılmıştır. Bu başlık altında;

- Kamera çeşitleri ve fotoğraf sayısı,
- Sahnenin aydınlık düzeyi,
- Çekim açısı,
- Fotoğraf çözünürlüğü,
- EXIF bilgisi,
- Gün ışığı yönünün,

3D rekonstrüksiyon oluşturmaya katkı ve etkileri deneyler yoluyla incelenmiştir. Benzer bir çalışma 2013 yılında Pei Zhang tarafından yapılmıştır. Zhang’ın deneylerinde köşeli ve basit bir form kullanılırken bu çalışmada karmaşık ve SIFT oluşumunu zorlaştıracak formlar üzerinde deneyler yapılmıştır [43]. Çizelge 2.4’te deneyde fotoğraf çekmek için

kullanılan cihazlar belirtilmiştir. Deneydeki fotoğraflar Çizelge 2.5'te özellikleri verilen bilgisayar ile nokta bulutu oluşumu için kullanılmıştır.

Çizelge 2. 4 Deneyde Kullanılan Akıllı Telefon ve DSLR Kamera Özellikleri

Teknik Özellikler	Iphone 6S	Canon 450D
Cinsi	Smartphone (akıllı telefon)	DSLR
Çözünürlük	12 MP	12.2 MP
Sensör Tipi	CMOS	CMOS
Flaş	Var	Var
Fotoğraflara GPS Verisi Ekleme	Var	Yok
Görüntü Stabilizasyonu	Var	Var
Otomatik Netleme	Var	Var

Çizelge 2. 5 Deneyde Kullanılan Bilgisayar Özellikleri

Marka	Lenovo
İşletim Sistemi	Windows 10 64 bit
İşlemci	Inter Core i5-3210M CPU 2.50 GHZ
RAM	6.00 GB
Grafik Kartı	Nvdia Geforce GT 635M 2048 MB Toplam Bellek

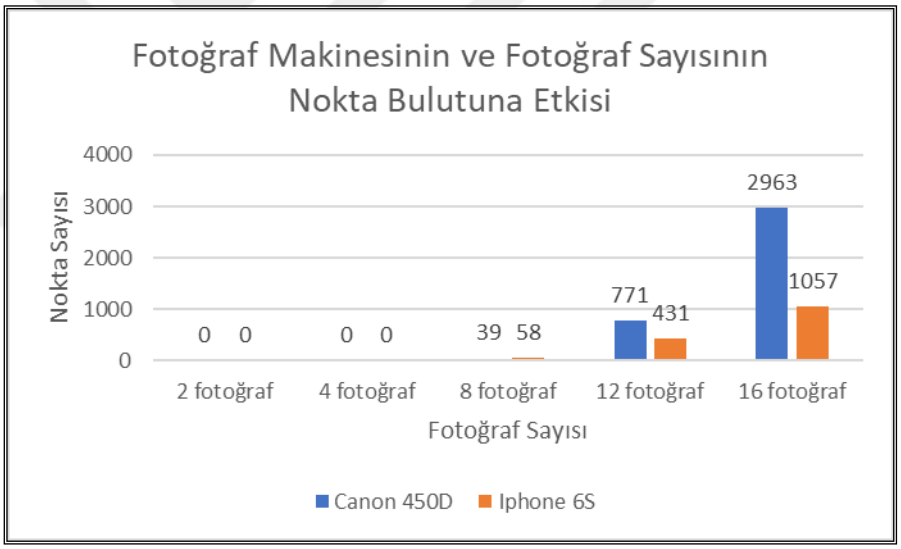
2.2.4.1 Kamera Çeşitleri ve Fotoğraf Sayısı

Bu deney için Etiler Sanatçılar Parkı'nda yer alan Kız ve Kurt heykeli kullanılmıştır. Gün ışığı altında ve açık hava koşullarında fotoğraf çekimi gerçekleştirilmiştir. Bu deney için akıllı telefon ve DSLR fotoğraf makinesi ile hedef obje etrafında tam tur dönerek, aynı açılardan 16'şar fotoğraf çekilmiştir. Fotoğraf çekimi esnasında etrafta hareketli nesne olmamasına ve hedef objenin kadrajın merkezinde yer almasına dikkat edilmiştir. Şekil 2.18'de akıllı telefon ve DSLR makine ile çekilen örnek fotoğraflara yer verilmiştir.



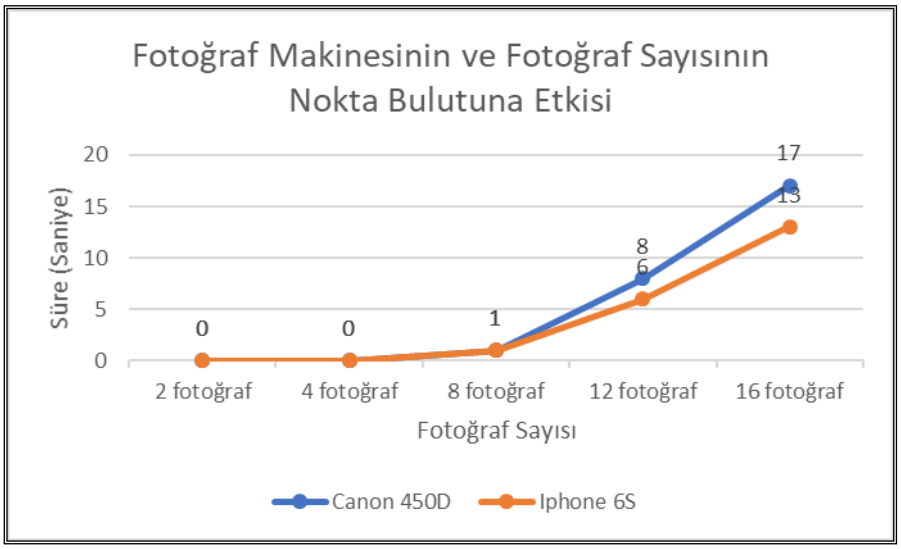
Şekil 2. 27 (sol) Canon 450D (sağ) Iphone 6S

Yapılan deneylerde görülmüştür ki, DSLR makine ile çekilen fotoğraflar akıllı telefona göre daha çok nokta oluşturarak yüksek hassasiyette nokta bulutu üretmiştir. Şekil 2.19'da çekilen fotoğrafların oluşturuduğu nokta sayısı görülmektedir.



Şekil 2. 28 Fotoğraf Makinesinin ve Fotoğraf Sayısının Nokta Üretme Sayısına Etkisi

Akıllı telefon ise nispeten düşük hassasiyetli model oluşturmasına karşın sonuç ürünü daha kısa sürede üretmiştir. Şekil 2.20'de akıllı telefon ve DSLR makinenin tükettiği süreler gösterilmiştir.



Şekil 2. 29 Fotoğraf Makinesinin ve Fotoğraf Sayısının Nokta Üretme Süresine Etkisi

Ayrıca, 8 fotoğrafa kadar Visual Sfm yazılımı nokta bulutu oluşturamamıştır. 8 fotoğrafta oluşturulan nokta bulutu objeyi tanımlayacak hassasiyete sahip olmadığı için başarısız kabul edilmiştir. 8'den fazla fotoğraf kullanıldığı durumlarda ise fotoğraf sayısı arttıkça, oluşturulan nokta bulutunun içerdiği nokta sayısı artmaktadır. Artan nokta sayısına parallel olarak nokta bulutu oluşturma süresi uzamaktadır.

Bu veriler ışığında, hassasiyetin önemli olduğu ölçüme dayalı çalışmalarda akıllı telefon yerine DSLR makinenin tercih edilmesinin yararlı olacağı görülmüştür. Sürenin hassasiyete tercih edilebileceği görselleştirme gibi çalışmalarda ise akıllı telefonlar tercih edilebilir.

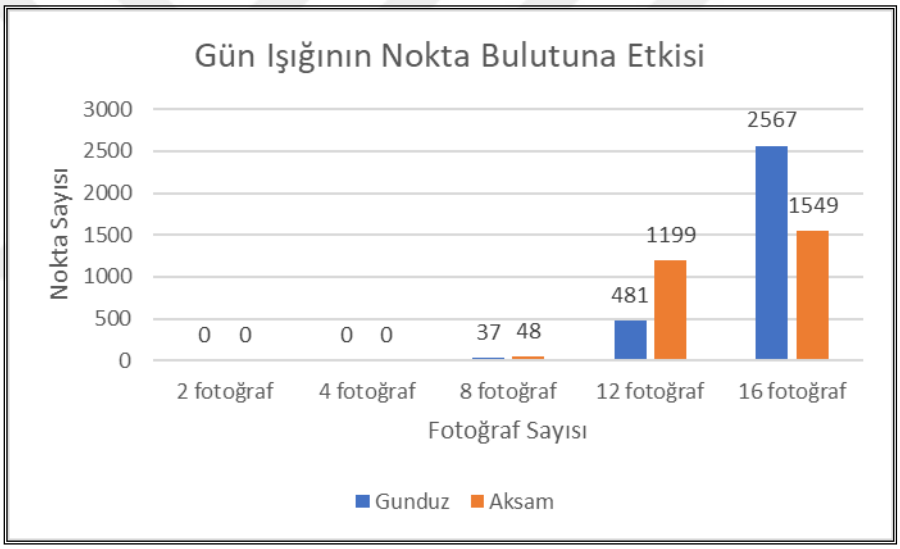
2.2.4.2 Sahnenin Aydınlık Düzeyi ve Fotoğraf Sayısı

Bu deney için Etiler Sanatçılar Parkında yer alan Yastık heykeli kullanılmıştır. Gün ışığı altında ve güneş battıktan hemen sonra fotoğraf çekimleri yapılmıştır. Bu deney için akıllı telefon ile hedef obje etrafında tam tur dönerek 16'şar fotoğraf çekilmiştir. Fotoğraf çekimi sırasında etrafta hareketli nesne olmamasına, çekilen noktaların aynı olmasına ve hedef objenin kaynağın kadrajın merkezinde olmasına dikkat edilmiştir. Şekil 2.21'de gün ışığı ve akşam saatinde çekilen örnek fotoğraflar görülmektedir.



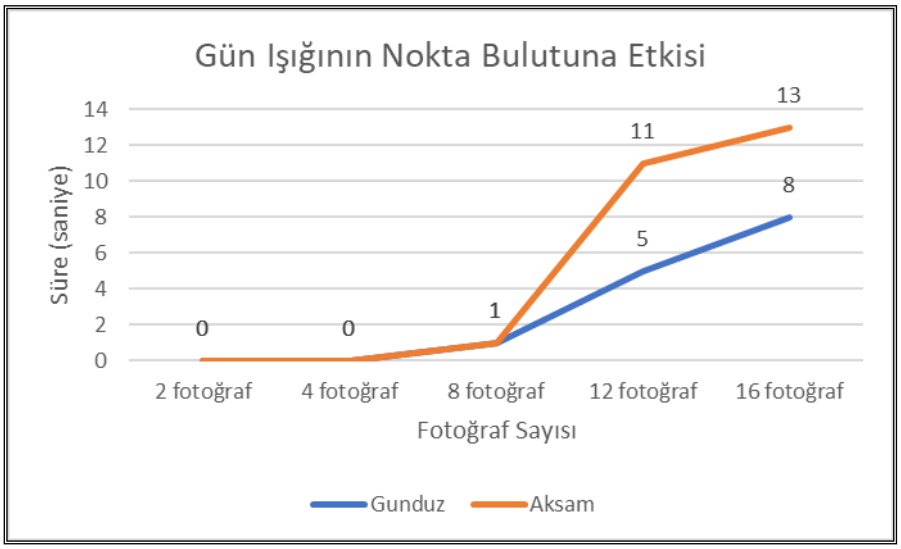
Şekil 2. 30 (sol) Gündüz (sağ) Akşam

Yapılan deneylerde, gündüz fotoğraf çekimi, akşam fotoğraf çekimine göre daha yüksek hassasiyette nokta bulutu oluşturmuştur. Şekil 2.22'de gündüz ve akşam çekimlerinde oluşan nokta sayısı görülmektedir.



Şekil 2. 31 Gün Işığının Nokta Üretme Sayısına Etkisi

Gündüz fotoğrafları ile yapılan deneylerde, akşam fotoğraflarının kullanıldığı deneylere nazaran daha yüksek nokta oluşturması ile birlikte fotoğrafların eşlenmesi de bilgisayar tarafından daha hızlı sonuçlanmıştır. Şekil 2.23'de gunduz ve akşam fotoğraflarının tükettiği süreler görülmektedir.



Şekil 2. 32 Gün Işığının Nokta Üretme Süresine Etkisi

Bu verilerle birlikte, 8 fotoğrafa kadar Visual Sfm yazılımı nokta bulutu oluşturamamıştır. 8 fotoğrafta oluşturulan nokta bulutu objeyi tanımlayacak hassasiyete sahip olmadığı için başarısız kabul edilmiştir. 8'den fazla fotoğraf kullanılan durumlarda ise fotoğraf arttıkça oluşturulan nokta bulutunun içerdiği nokta sayısı artmaktadır. Artan nokta sayısına parallel olarak nokta bulutu oluşturma süresi uzamaktadır.

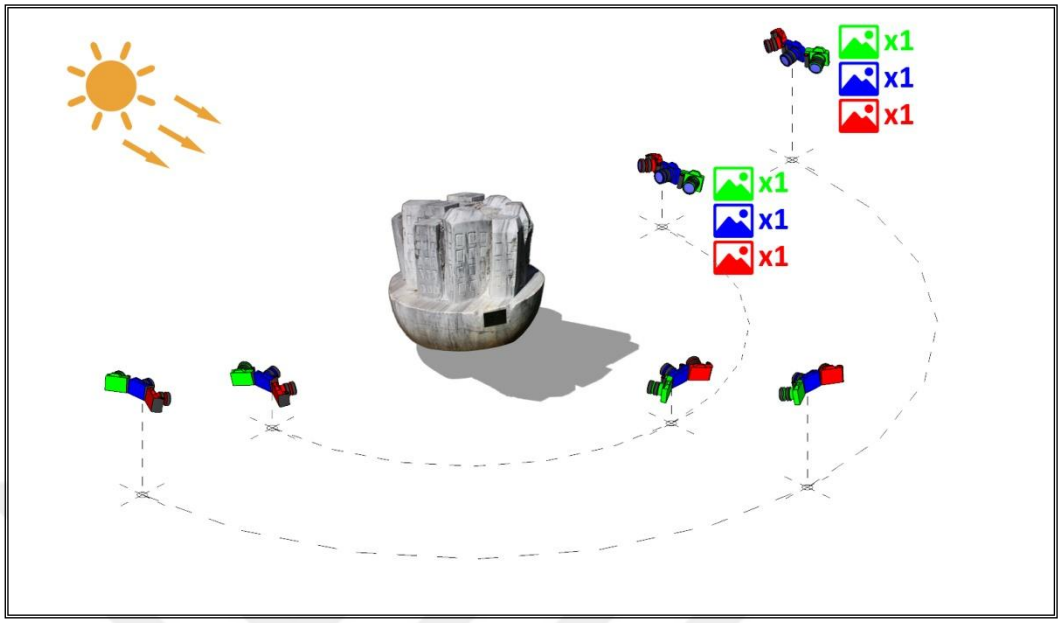
Gündüz çekilen fotoğraflardaki sert gölgeler, güçlü bir kontrast oluşturarak daha çok ve daha kısa sürede nokta bulutu oluşturmuştur. Elde edilen bu veriler ışığında, 3D rekonstrüksiyon oluşturmak için çekilecek fotoğrafların gün ışığı altında gerçekleştirilmesinin daha doğru sonuçlar ortaya koyacağı anlaşılmıştır.

2.2.4.3 Çekim Açısı

Bu deney için Etiler Sanatçılar Parkında yer alan Bina Siluetleri heykeli kullanılmıştır. Gün ışığında ve açık hava koşullarında fotoğraf çekimi gerçekleştirilmiştir. Fotoğraf çekimi için DSLR makine kullanılmıştır.

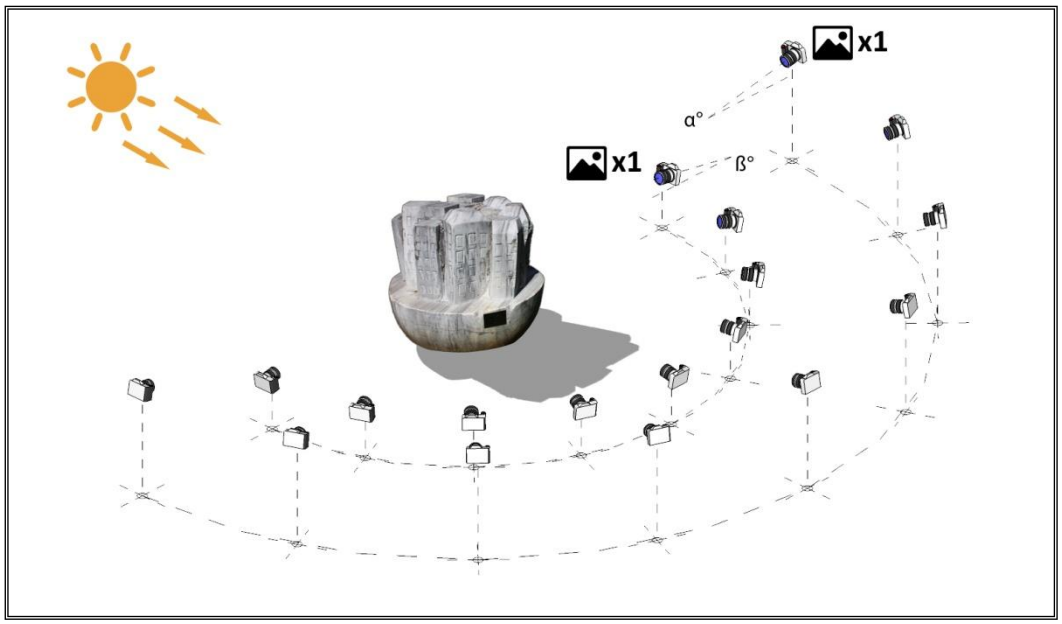
Çekim açısının nokta bulutu oluşumuna etkisinin incelendiği bu deneyde iki farklı strateji benimsenmiştir. İlk çekim stratejisi odaksal çekim olup, hedef obje 6 nokta belirlenmiş ve her noktadan 3'er fotoğraf olmak üzere toplamda 18 fotoğraf çekilmiştir. Şekil 2.24'te, odaksal çekim stratejisi şematize edilmiştir. Çekilen

fotoğraflardan 3 adet örnek şekil 2.26'da görülmektedir. Obje, fotoğraf karesinin sağında, ortasında ve solunda yer almaktadır.



Şekil 2. 33 Odaksal Çekim

İkinci fotoğraf çekim stratejisi ise obje etrafından çevresel çekimler ile olmuştur. 18 farklı noktadan, fotoğraf karesinin merkezinde yer alan birer fotoğraf çekimi yapılmıştır. Şekil 2.25'te çevresel çekim stratejisi şematize edilmiştir. Çekilen 3 adet örnek fotoğraf şekil 2.27'de görülmektedir.



Şekil 2. 34 Çevresel Çekim

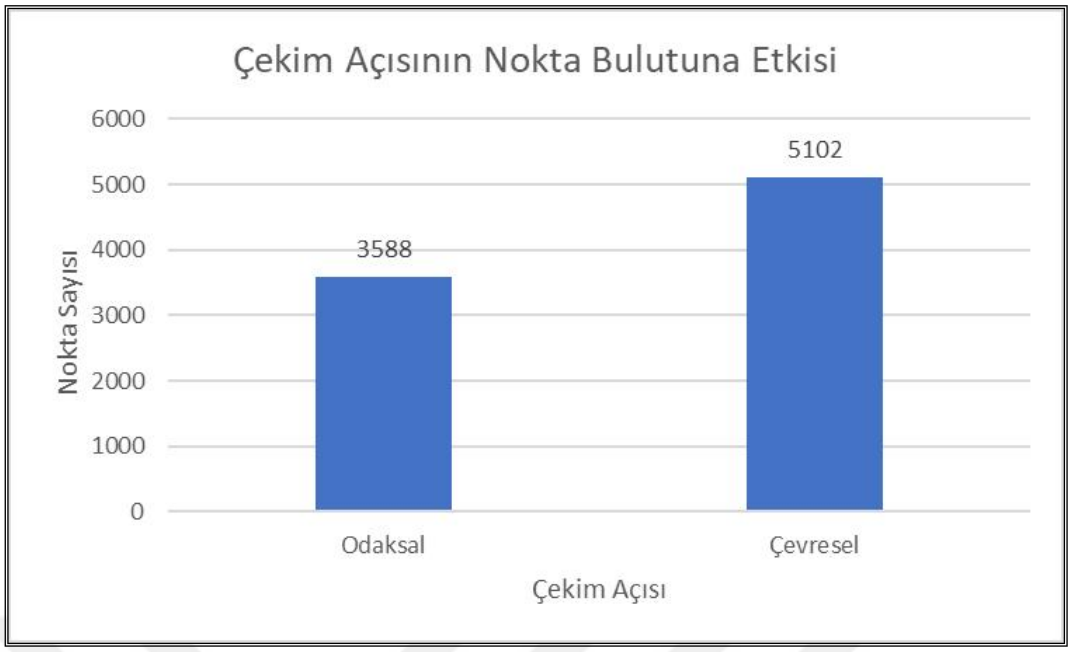


Şekil 2. 35 Odaksal Çekilen Fotoğraflardan 3 Örnek

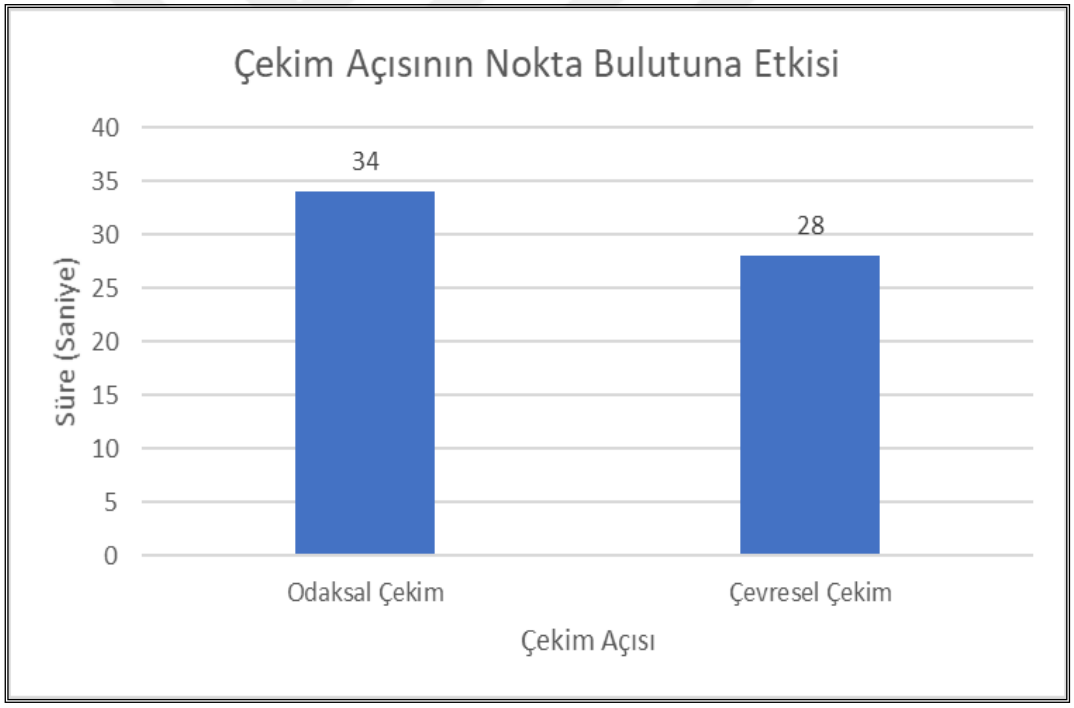


Şekil 2. 36 Çevresel Çekilen Fotoğraflardan 3 Örnek

Çevresel çekim stratejisinin, odaksal çekim stratejisine göre daha fazla nokta üretmesine rağmen daha kısa sürede nokta bulutu ürettiği gözlemlenmiştir. Şekil 2.29'da nokta bulutu üretme süreleri belirtilmiştir.



Şekil 2. 37 Odaksal ve Çevresel Çekimin Nokta Üretme Sayısına Etkisi



Şekil 2. 38 Odaksal ve Çevresel Çekimin Nokta Üretme Süresine Etkisi

Elde edilen verilerden, nokta bulutu oluşumunda çevresel fotoğraf çekim stratejisinin odaksal fotoğraf çekim stratejisine üstünlüğü görülmektedir. Bu veriler bağlamında fotoğraf makinesinin obje çevresinde dönmesi, 3D rekonstrüksiyon oluşumu için daha hassas nokta bulutu oluşturacağı görülmüştür.

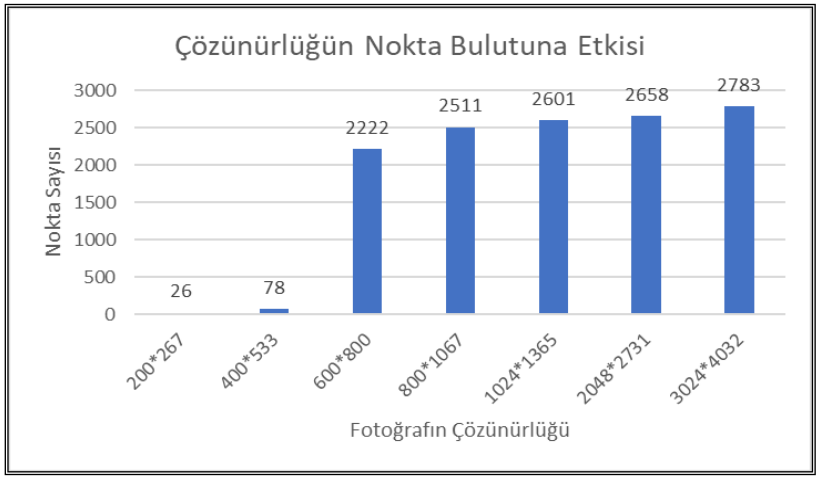
2.2.4.4 Fotoğraf Çözünürlüğü

Bu deney kapsamında 2.2.3.1'de akıllı telefon ile çekilen fotoğrafların çözünürükleri, Adobe Photoshop yazılımı ile fotoğrafların en boy oranı sabit tutularak düşürülmüştür. Farklı fotoğraf çözünürlüklerindeki 16'şar fotoğraf kullanılarak, fotoğraf çözünürlüğünün nokta bulutu üretimine etkisi incelenmiştir. Şekil 2.30'da deneyde kullanılan 200*267 piksel çözünürlüğündeki fotoğraf ve 3024*4032 piksel çözünürlüğündeki fotoğraflar görülmektedir.



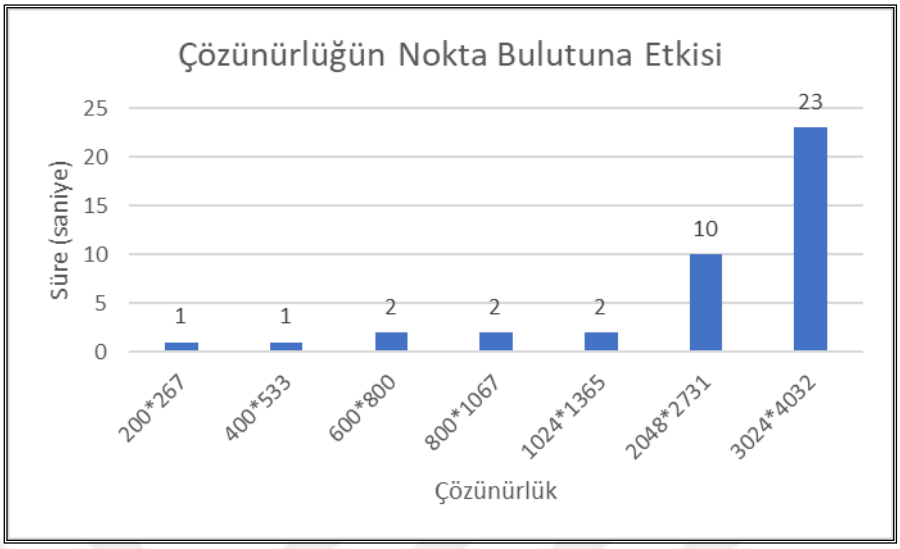
Şekil 2. 39 (sol) 200*267 px (sağ) 3024*4032 px Çözünürlüklerinde İncelenen Fotoğraflar

Şekil 2.31'de görüldüğü üzere fotoğraf çözünürlükleri arttıkça üretilen nokta bulutundaki hassasiyet de artmaktadır. Bununla birlikte 1024*1365 piksel fotoğrafların oluşturduğu hassasiyet ile 3024*4032 piksel fotoğrafların oluşturduğu hassasiyet arasında yüksek bir fark görülmemiştir.



Şekil 2. 40 Fotoğraf Çözünürlüğünün Nokta Üretme Sayısına Etkisi

Çözünürlüğün nokta bulutu oluşturma süresine etkisi şekil 2.32'de görülmektedir. Buna göre yüksek çözünürlüklü fotoğraflar daha uzun sürelere ihtiyaç duymaktadır.



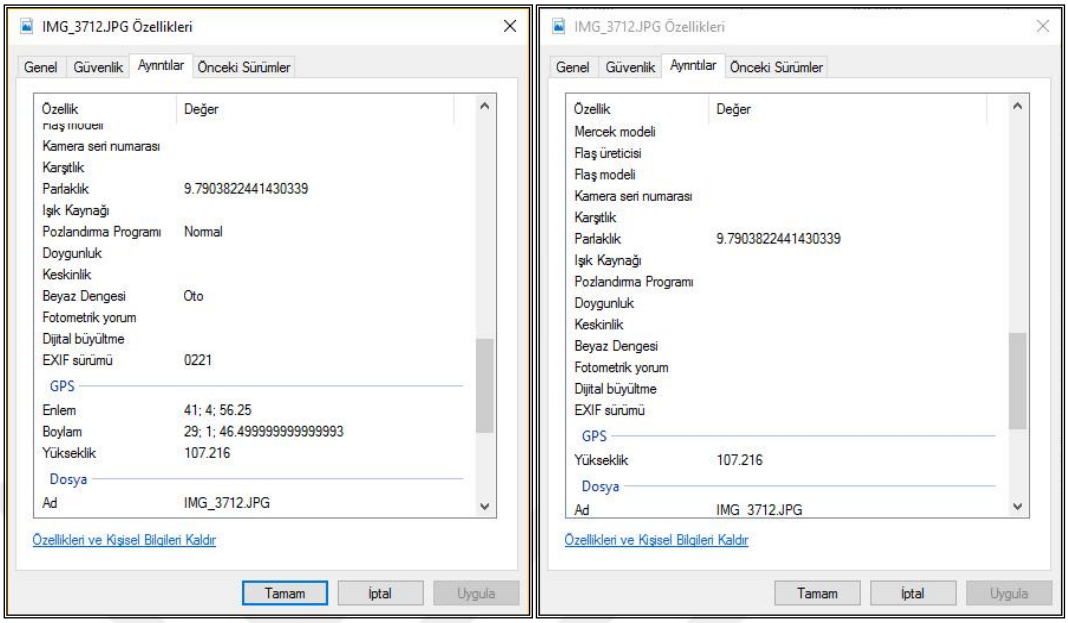
Şekil 2. 41 Fotoğraf Çözünürlüğünün Nokta Üretme Süresine Etkisi

Elde edilen veriler bağlamında, yüksek hassasiyet için yüksek çözünürlüklü fotoğraf tercih edilmesinin yararlı olacağı uygun görülmüştür. Bununla birlikte çözünürlük artışı nokta bulutu hassasiyetini her ne kadar artırsa da bu artış kayda değer olmamıştır. Yüksek çözünürlüklü veriler daha yüksek veri depolama alanı ve daha uzun sürelere ihtiyaç duymaktadır. Hassasiyetin maksimum olması istenmediği çalışmalarda, optimum fotoğraf çözünürlükleri kullanılarak veri depolama alanı ve süreden tasarruf edilebilir.

2.2.4.5 EXIF Bilgisi

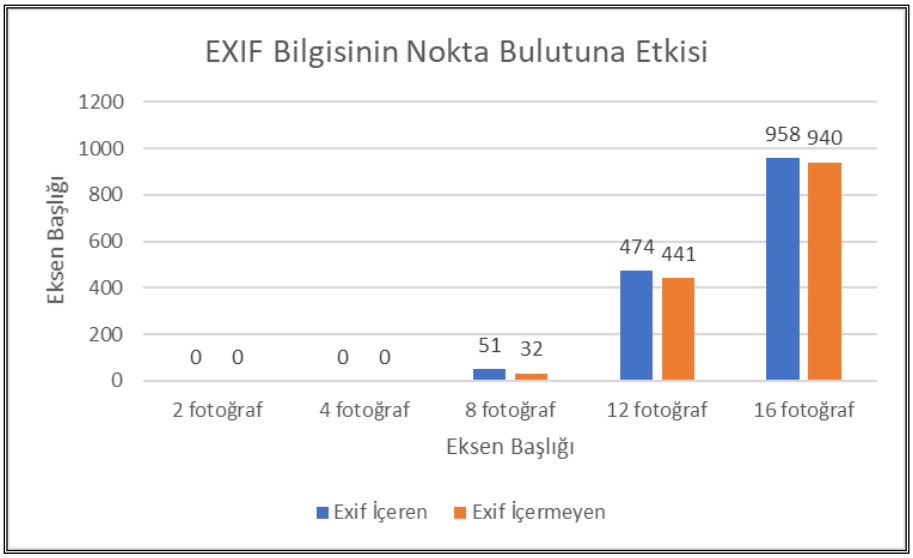
EXIF tanımı için veri hakkında veri denilebilir. Örnek verilecek olursa bir Microsoft Word dosyası, yazar adı içerebilir. Bu yazar adı bir veridir. Fotoğraflar için de EXIF (Exchangeable data format) bir veri hakkında veridir. EXIF fotoğraf hakkındaki verileri bünyesinde tutar ve bu fotoğraf dosyasının içinde gömülüdür. Günümüzde dijital fotoğraf makinesi fotoğraf hakkında EXIF verilerini otomatik olarak saklar [56]. Saklanan bu veriler fotoğraf adı, fotoğraf makinesinin adı, çekim özellikleri gibi bilgileri içerir. Bu deney için 2.2.3.1'de kullanılan, akıllı telefon ile çekilmiş fotoğraflar kullanılmıştır. Akıllı telefon, GPS (global positioning system) verisi dahil birçok veriyi

fotoğraf bünyesinde gömmüştür. Şekil 2.33'de çekilen fotoğraflara ait EXIF verileri ve temizlendikten sonraki hali görülmektedir.



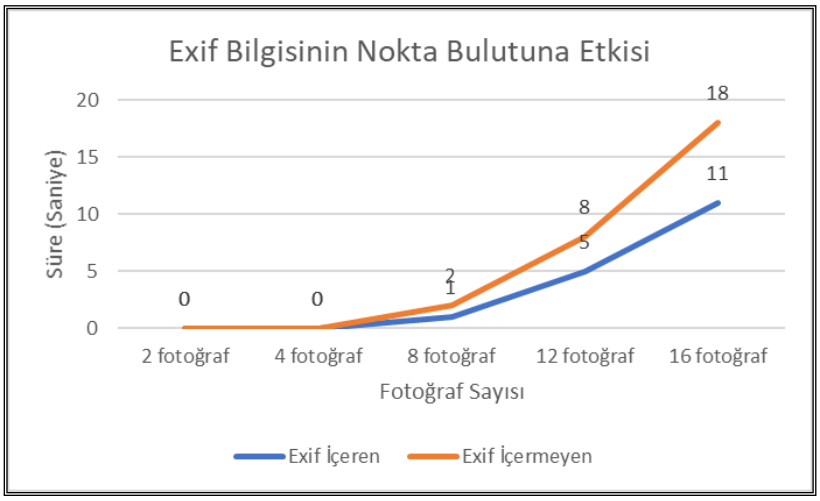
Şekil 2. 42 (sol) EXIF Bilgisi İçeren Fotoğraf (sağ) EXIF Bilgisi Temizlenen Fotoğraf

Deneyde EXIF bilgileri içeren ve EXIF bilgileri içermeyen fotoğraflar hemen hemen aynı sayılarda nokta oluşturmuştur. Şekil 2.34'de EXIF bilgisinin nokta bulutuna etkisi görülmektedir.



Şekil 2. 43 EXIF Bilgisinin Nokta Üretme Sayısına Etkisi

Şekil 2.35'de, EXIF bilgisi içeren fotoğrafların, EXIF bilgisi içermeyen fotoğraflara göre daha hızlı şekilde nokta bulutu oluşturulduğu görülür. Fotoğraf sayısı arttıkça kullanılan süre de artmıştır.

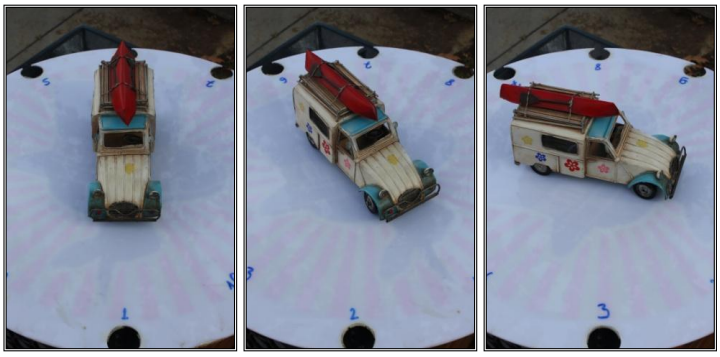


Şekil 2. 44 EXIF Bilgisinin Nokta Üretme Süresine Etkisi

Bu sonuçlar ile EXIF bilgisi içermenin nokta bulutunun hassasiyetine kayda değer bir fark gözlemlenmemiştir. Fakat, içerdiği GPS verileri ve kamera özellikleri nokta bulutu oluşturmada, fotoğrafların daha hızlı bir şekilde hizalanmasını sağlamıştır. Yüksek sayıda fotoğrafların kullanılacağı, hassas model oluşumu için EXIF bilgileri içeren fotoğraf makineleri kullanmak süre açısından tasarruf sağlayacaktır.

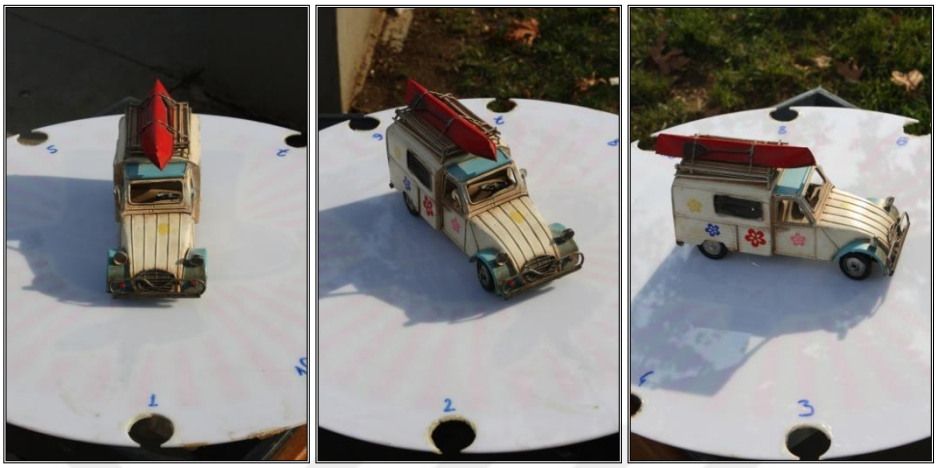
2.2.4.6 Gün Işığı Yönü

Bu deneyde Bebek Parkında yer alan bir beton kitlenin üzerine 10 eşit açıya ayrılmış olan tabla konulmuş ve gün ışığı altında, DSLR ile 10 adet fotoğraf çekimi gerçekleştirilmiştir. Objenin kadrajın merkezinde bulunmasına dikkat edilmiştir. İki kişi kullanılarak üretilen çekimlerde ilk olarak, fotoğrafı çeken kişi sabit durmuş tabla 10 eşit açıda kendi merkezi etrafında döndürülerek 10 adet fotoğraf çekilmiştir. Şekil 2.36'da tablanın kendi ekseni etrafında döndürüldüğü 3 fotoğraf görülmektedir.



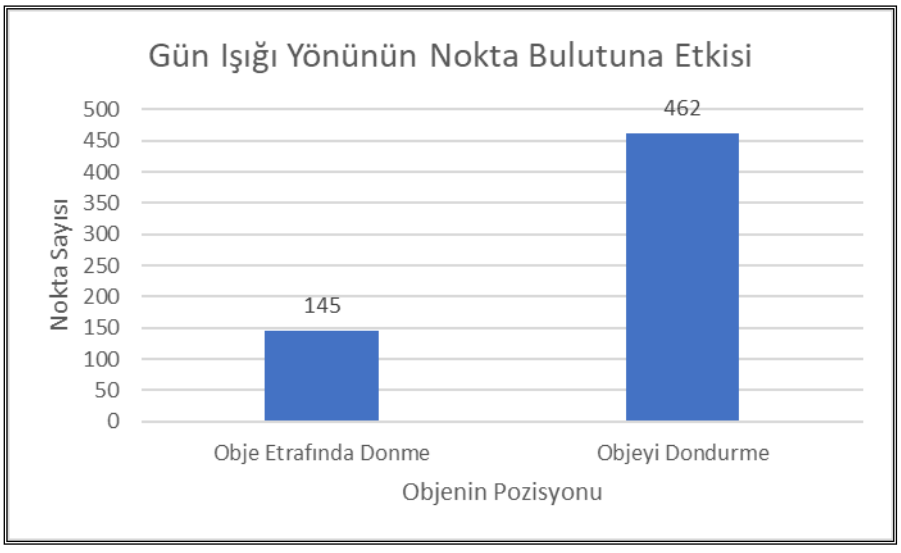
Şekil 2. 45 Sabit Gün Işığı Koşullarında Objenin Döndürülmesi 1. Çekim, 2. Çekim, 3. Çekim

İkinci fotoğraf çekimlerinde, tek kişi kullanılmış olup tabla etrafında 10 eşit mesafede hareket edip, tabla merkezli dönerek 10 fotoğraf çekmiştir. Şekil 2.37'de, tabla etrafında dönülüp çekilen 3 fotoğraf yer almaktadır.



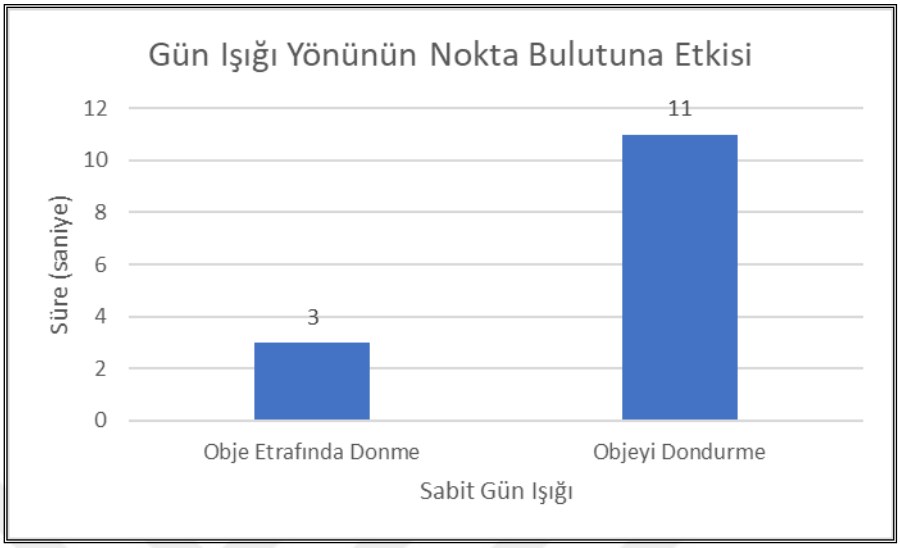
Şekil 2. 46 Sabit Gün Işığı Koşullarında Objenin Etrafında Dönülmesi 1. Çekim, 2. Çekim, 3. Çekim

Yapılan deneyde objenin dönmesinin, obje etrafında dönmesinden daha fazla nokta oluşturduğu gözlemlenmiştir. Şekil 2.38'de üretilen nokta sayıları görülmektedir. Fakat objenin dönmesi bütünü ile tutarsız noktalar oluşturmuştur. Üretilen nokta bulutu objeye benzememektedir. Obje etrafında dönerek çekilen fotoğraflar, nokta bulutunu başarı ile oluşturmaktadır.



Şekil 2. 47 Obje ve Kamera Hareketinin Nokta Üretime Etkisi

Şekil 2.39'da nokta bulutu oluşturma süreleri verilmiştir. Objenin kendi ekseni etrafında dönerek çekildiği fotoğraflar, tutarsız bir nokta bulutu kümesi oluşturmakla birlikte, süreyi de uzun kullanmıştır.



Şekil 2. 48 Obje ve Kamera Hareketinin Nokta Üretimi Süresine Etkisi

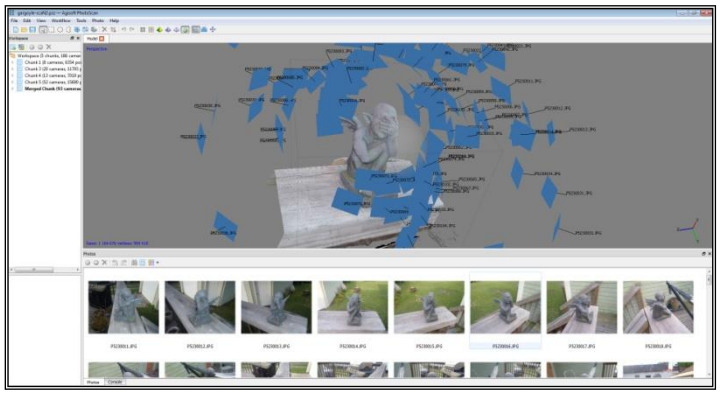
Bu tutarsızlık sebebi ile fotoğraflardan nokta bulutu oluşturulurken, obje hareketi değil, fotoğraf çekenin hareketi tercih edilmelidir.

2.2.5 Çoklu Fotoğraftan 3D Rekonstrüksiyon Kapsamında İncelenen Programlar

3D rekonstrüksiyon yazılımları, birden fazla fotoğrafta ortak noktaların hesaplanıp koordinatlarının tespitine dayanan algoritmalar içerir. Bu temel prensip üzerinden son yıllarda çok çeşitli pratik programlar ve program eklentileri üretilmiştir. Fotoğraflar üzerinden sayısal modellerin geometrisine uygun dokular atanıp foto gerçeklikte modeller üretilmektedir. Tez kapsamında Agisoft Photoscan, Visual SfM ve CMPMVS kollaborasyonu, Autodesk Remake, Autodesk 123D catch ve Microsoft Photosynth incelenmiştir.

2.2.5.1 Agisoft Photoscan

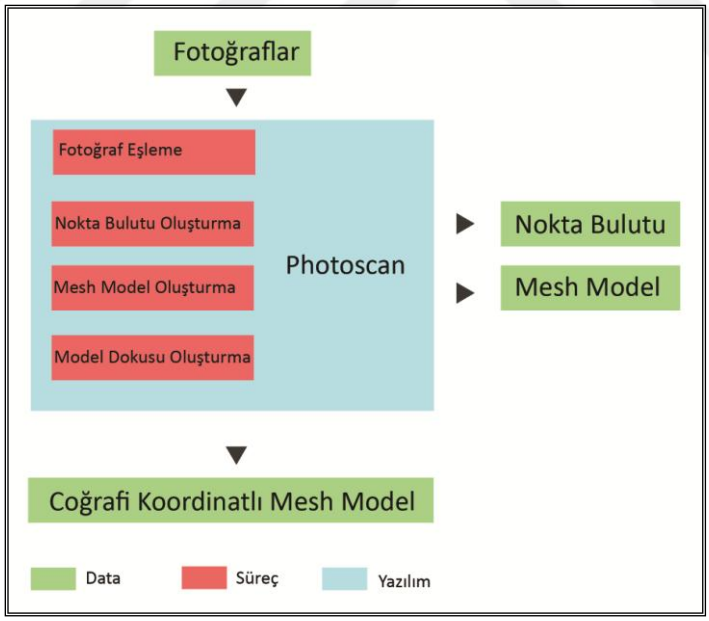
Photoscan programı (Şekil 2.40), Agisoft tarafından, fotoğfralar üzerinden, dense point clouds (yoğun nokta bulutu), textured polygonal model (dokulu çokgensel model), ortofoto, Dsm/Dtm üretimi için stand-alone kullanıma yönelik üretilmiş bir yazılımdır. Binlerce fotoğrafı bilgisayarınızın kapasitesi ölçüsünde işleyebilmektedir [57].



Şekil 2. 49 Agisoft Photoscan Arayüzü

Programın iş akışı istenilen detay ayarlamaları yapıldıktan sonra otomatikleştirilebilir ya da her aşamada incelenerek ilerlenebilir. Yazılım, koordinatlandırma görevini yerine getirmek için fotoğrafların kamera ile ilişkilendirilmiş GPS koordinatlarını kullanır. Kamera kalibrasyonu yazılım tarafından hesaplanır.

Agisoft Photoscan, Jpeg, Tiff, Png gibi bir dizi fotoğraf formatını destekler. Program, GeoTiff, xyz, Google KML, Wavefront OBJ, VRML, Collada ve Pdf gibi fotogrametrik analiz için çıkış formatlarını sağlar.

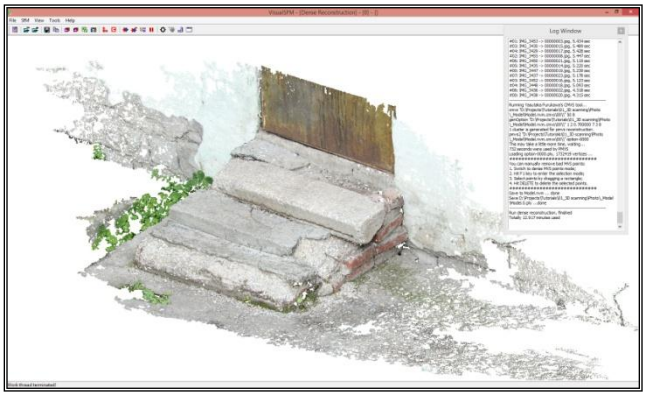


Şekil 2. 50 Agisoft Photoscan İş Akışı

2.2.5.2 VisualSFM ve CMPMVS Kollaborasyonu

VisualSfM (Şekil 2.42), Sfm sistemini kullanarak 3D rekonstrüksiyonun temeli olan nokta bulutunu üretmek için kullanılan grafik arayüzlü ücretsiz bir uygulamadır. Yazılım

Changchang Wu tarafından geliştirilmiştir. Fotoğrafların hizalanması ve nokta bulutu Visual SfM tarafından üretilir [58].



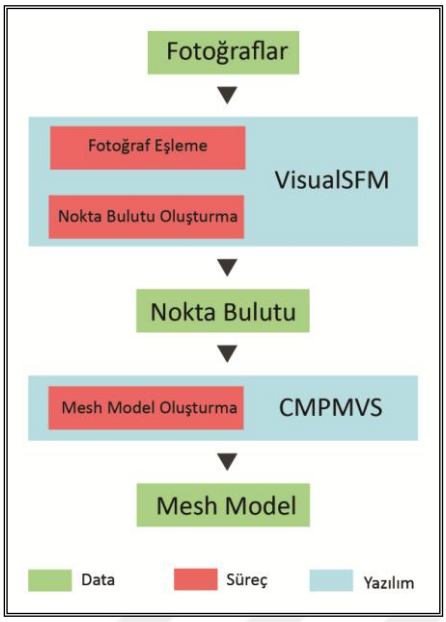
Şekil 2. 51 VisualSFM Arayüzü

CMPMVS (Şekil 2.43), yazılımı üretilen nokta bulutunu mesh yüzeyler ile örer ve dokulu modeli oluşturur. Grafik arayüzü olmayan CMPMVS ile çalışmak için temel Dos bilgisi gereklidir. Bu bilgi günümüzde birçok kullanıcıda varolmadığı için programın kullanımı zor ve hataya meyillidir [59].



Şekil 2. 52 CMPMVS arayüzü

Sitemin temel iş akışı Visual SfM'in nokta bulutunu oluşturup CMPMVS'e vermesidir (Şekil 2.44). Visual Sfm tarafından üretilmiş nokta bulutunu iskeletini CMPMVS yüzey ile örer ve modeli oluşturur.



Şekil 2. 53 Visual SfM ve CMPMVS kollabarsyonu İş Akışı

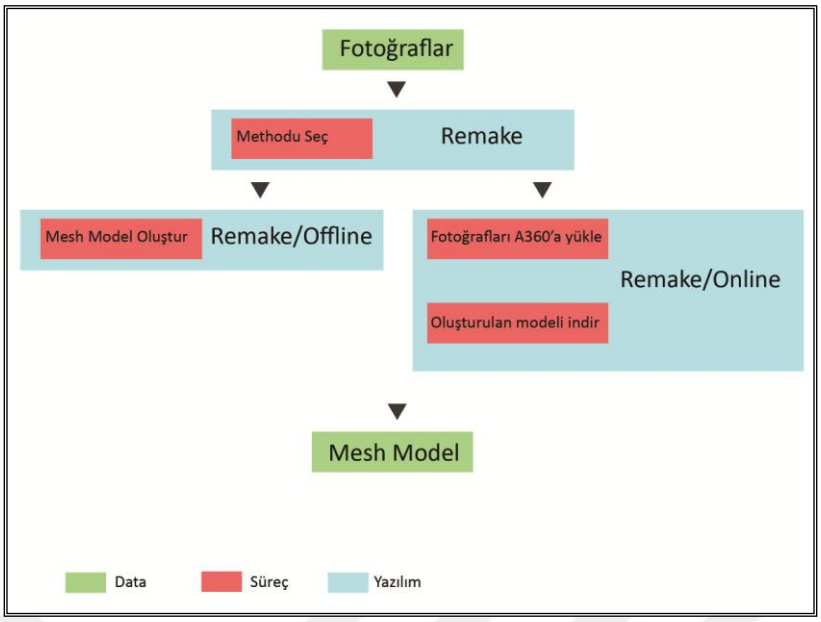
2.2.5.3 Autodesk Remake

Remake (Şekil 2.45), Autodesk tarafından üç boyutlu mesh yüzeyler üretmek için hazırlanmış olan bir yazılımdır. Fotoğrafların sisteme alınmasından sonra model üretilene kadar bütün işlemi kendi bünyesinde yürütür. Sistem en fazla 250 fotoğrafa izin vermektedir. Bu da mimari yapı rekonstrüksiyonunda yüksek detay seviyesine ulaşmaya engeldir. Basit arayüzü sayesinde mesh modeli olarak çıkartmakta uzman bir kullanıcı gerekmemektedir [60].



Şekil 2. 54 Autodesk Remake Arayüzü

Yazılım online ve stand-alone olarak kullanılabilmektedir. Kullanılacak fotoğraflar yazılım ile ya kişisel bilgisayar üzerinden ya da Autodesk web sunucuları üzerinden çalışmaya olanak sağlamaktadır (Şekil 2.46).



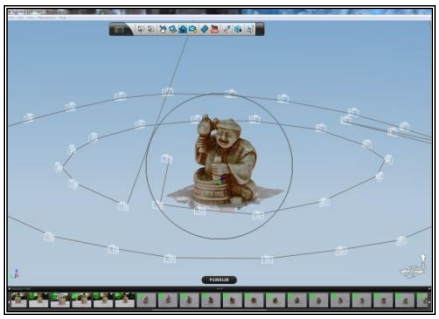
Şekil 2. 55 Autodesk Remake İş Akışı

2.2.5.4 123D Catch

123D Catch, Autodesk tarafından tarafından üretilmiş 3D model üretimi ve modifikasyon için bir dizi özellik içeren bi yazılımdır. Yazılım akıllı telefon ve bilgisayar versiyonu içerir. Oluşturduğu nokta bulutu ve mesh modeli doğrudan üretebilir. Photoscan'a kıyasla daha az profesyonel ve hassasiyettedir. Bütün bu özelliklerine karşın yazılımın Autodesk tarafından kullanımı bitirilmiştir. Günümüzde kullanılamamaktadır [61].



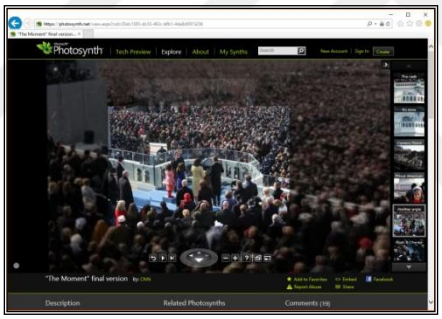
Şekil 2. 56 123D Catch Iphone Arayüzü



Şekil 2. 57 123D Windows İşletim Sistemi Arayüzü

2.2.5.5 Photosynth

Photosynth, Microsoft Live Lab ve Washington Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. Fotoğraf turizmi projesine dayalıdır. Başarılı bir web uygulaması haline dönüştürülmüştür. Fotoğraflar Microsoft'un sunucularına yüklenir ve nokta bulutunu sunucudan alır. Tüm bu süreç bir kara kutu gibidir ve işlem prosedürüne erişim yoktur. Yayıncı firma tarafından programa erişim sonlandırılmıştır [62].



Şekil 2. 58 Photosynth Arayüzü

BÖLÜM 3

ÇOKLU FOTOĞRAFTA 3D REKONSTRÜKSİYON KAPSAMINDA KLEOPATRA KAPISI İNCELENMESİ

3.1 Kleopatra Kapısı

Kleopatra Kapısı, Mersin'in Tarsus ilçesinde yer alan, adını Mısır Kraliçesi VII. Kleopatradan alan bir şehir kapısıdır. Evliya Çelebi Seyehatnamesinde İskele Kapısı olarak geçer. Bizans döneminde yapıda horasan harcı kullanılmıştır. Kapı at nalı biçimli ve yüksekliği yerden 6.17 m derinliği ise 6.18 m'dir [63].



Şekil 3. 1 # Restorasyondan Önce Kleopatra Kapısı [64]

Adana Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu tarafından 25.06.1992 tarihinde aldığı karar doğrultusunda Kleopatra Kapısı'nın restorasyon kararı alınmıştır. Adana Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğünce ihalesi yapılmış olan kapı 1993 yılında restorasyon geçirmiştir [65].



Şekil 3. 2 # Restorasyondan Sonra Kleopatra Kapısı [66]

3.2 Kleopatra Kapısı Verilenin Elde Edilmesi

Bu bölümde Kleopatra Kapısı hakkında edinilen veriler ve bunların elde ediliş biçimleri üzerinde durulacaktır. 2 farklı yöntemle veri elde edilmiştir. Bunlardan ilki yüksek hassasiyetli lazer tarama ile oluşturulan nokta bulutudur. İkincisi ise fotoğraflar üzerinden oluşturulan nokta bulutu ve 3D rekonstrüksiyon modelidir.

3.2.1 Lazer Tarama

Şekil 3.3'te görülen Z+F lazer tarayıcı için, öncelikle yapıyı iyi gören bir başlangıç noktası belirlenmiştir. Ardından lazer tarayıcı ile çalışma başlamıştır. Tarama istasyonları birbirlerini görecek şekilde eşkenar üçgen geometrisinde kurulmuştur. Taranacak alanların yaklaşık olarak %60-70 oranında ortak olmasına dikkat edilmiştir. Çizelge 3.1'de kullanılan lazer tarayıcının konfigürasyonu belirtilmiştir.



Şekil 3. 3 Z+F 5010 Lazer Tarayıcı Görüntüsü [67]

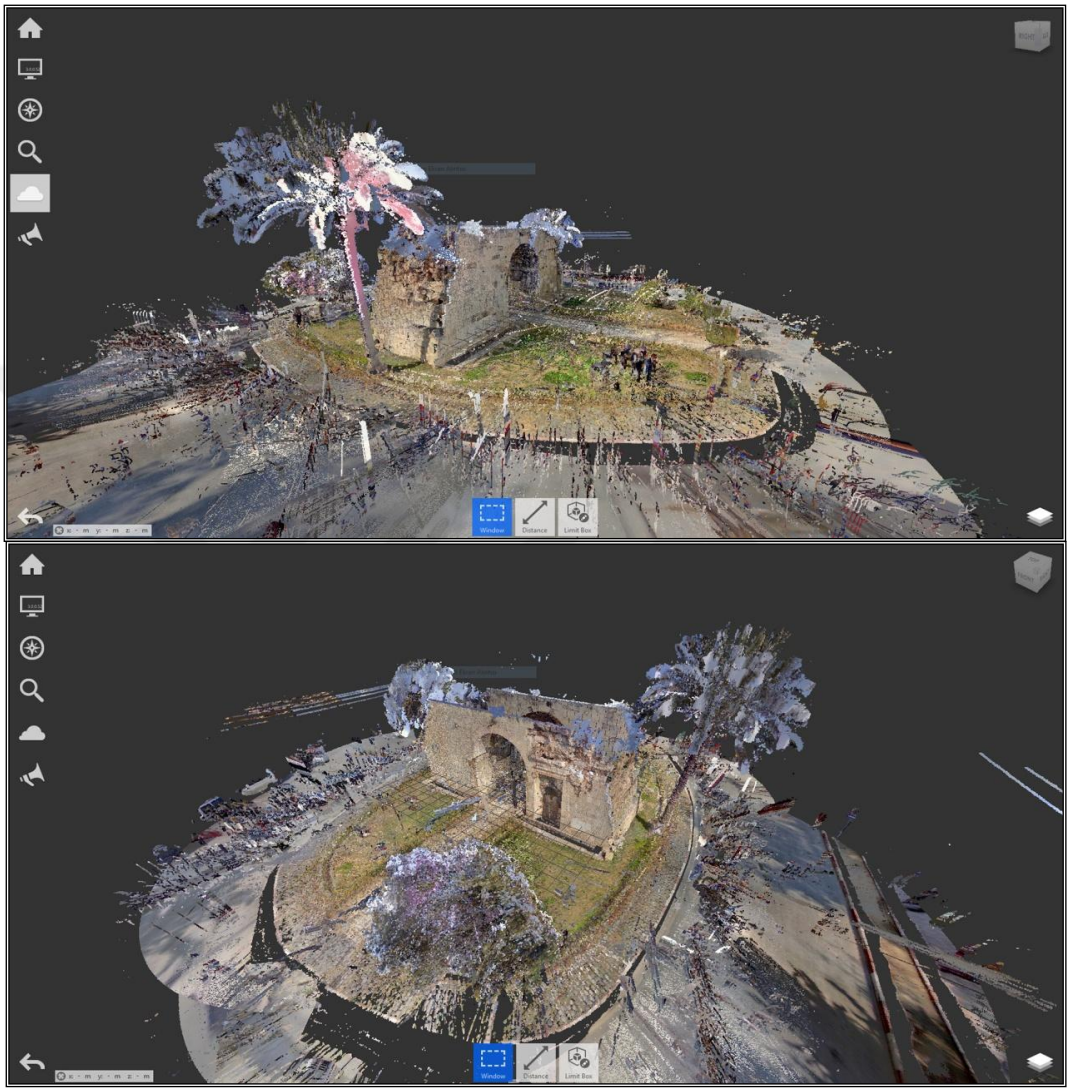
Yapılan taramadaki çözünürlük 3mm'dir. 8 oturumda yapılan taramalar, 1cm'in altında "birleşme hassasiyeti ile Autodesk Recap yazılımında birleştirilmiştir. Şekil 3.4'te birleştirilmiş lazer tarama verisi Autodesk Recap arayüzünde görülmektedir.

Çizelge 3. 1 Lazer Tarayıcı Özellikleri [67]

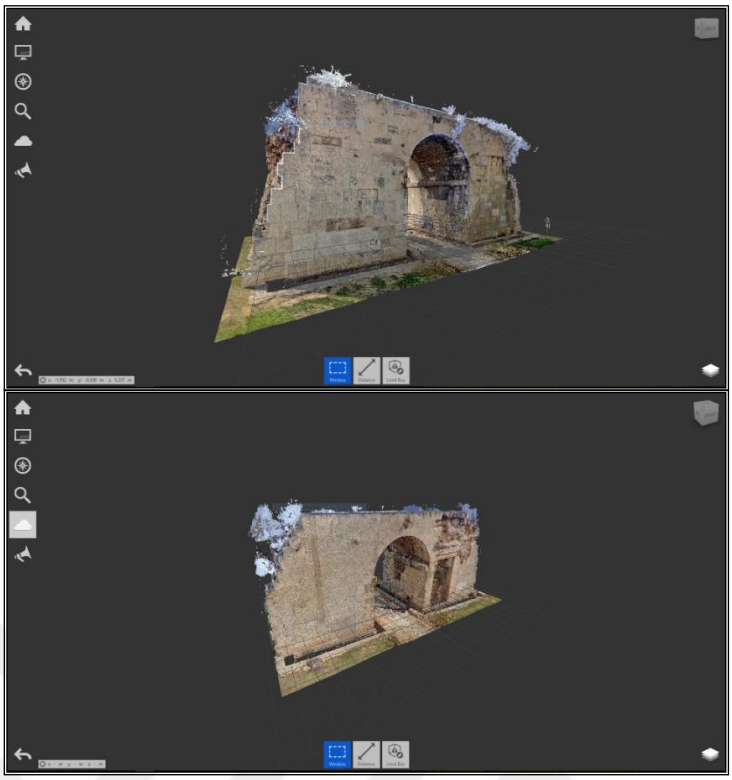
Lazer Tarayıcı Özellikleri	
Menzil	187 m
Lazer Sınıfı	Class 1
Ölçüm Hızı	Saniyede 1.016.000 nokta
Görüş Açısı	320° x 360°
Kompansatör	Çift Eksen

Birleştirilen taramalarda tarayıcının direk ışın gönderemediği yüzeylerde nokta bulutu oluşturamadığı gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra direkt ışın gönderdiği Kleopatra Kapısı

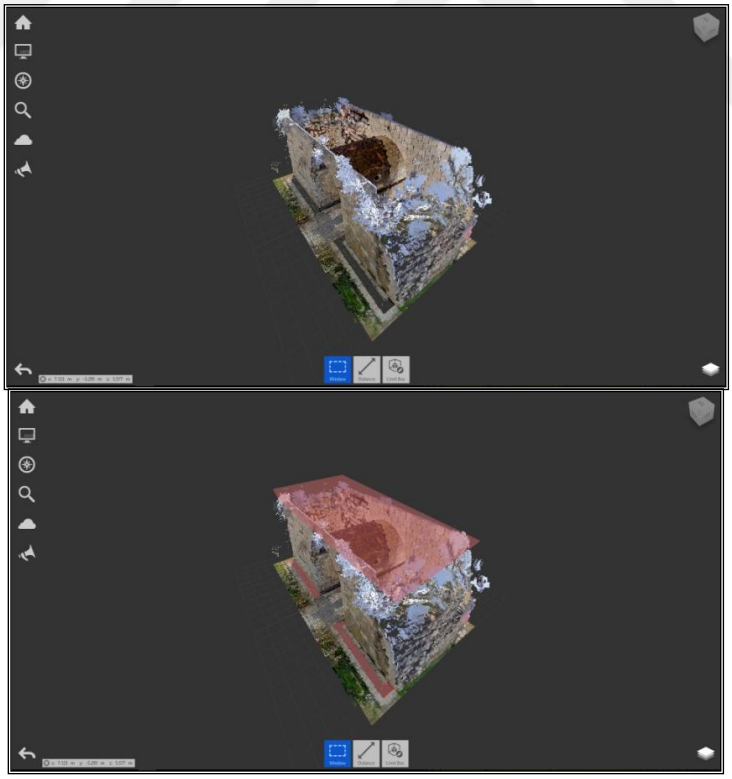
harici bölgelerde gereksiz nokta bulutu oluşturmuştur. Oluşan bu noktalar Autodesk Recap üzerinde temizlenmiştir. Şekil 3.5'te tarama alanına giren gereksiz noktalar temizlendikten sonra elde edilen hali görülmektedir. Şekil 3.6'da lazerin ulaşamadığı noktalar kırmızı renk ile ifade edilmiştir.



Şekil 3. 4 Recap Ortamında Birleştirilen Nokta Bulutu



Şekil 3. 5 Gereksiz Noktaların Temizlenmesi Sonucu Elde Edilen Görüntü



Şekil 3. 6 Lazerin Ulaşamadığı noktalar

3.2.2 Drone İle Fotoğraf Çekimi

Drone ile yapılan bu çalışmada, fotoğraf çekimi için otomatik pilot kullanılmıştır. Pix4D programında çalışma yapılacak alan belirlenip uçuş alanı, hızı, yüksekliği, ard arda çekilecek fotoğrafların çakışma oranı ve kamera açısı belilenmiştir. Şekil 3.7'de kullanılan Dji Inspire 1 görülmektedir. Kullanılan drone'un konfigrasyonu çizelge 3.2'de belirtilmiştir.

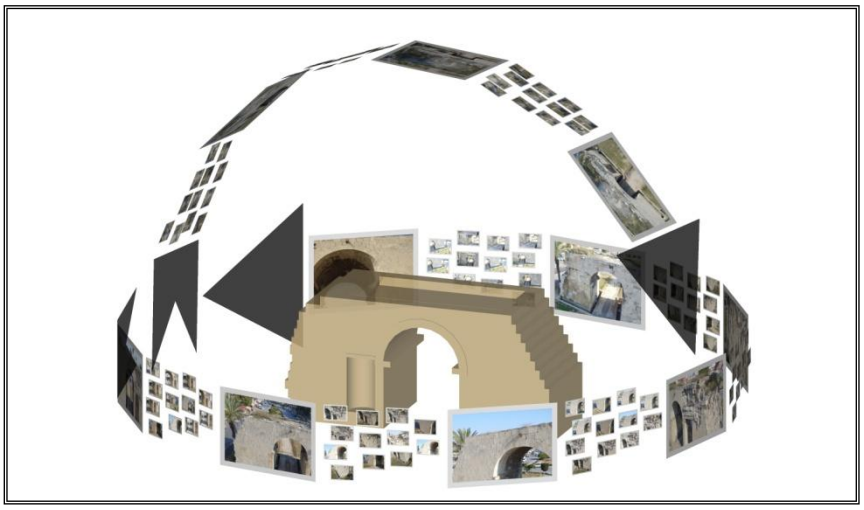


Şekil 3. 7 Çeken Dji Inspire 1 Görselleri [68]

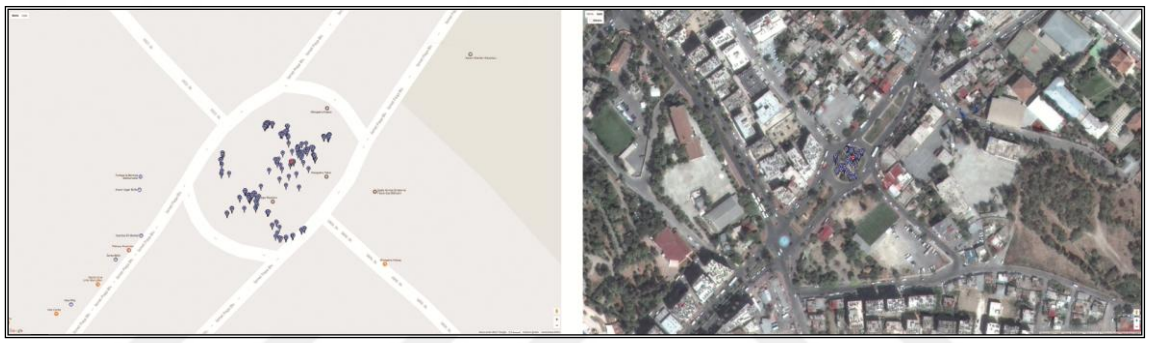
Drone otomatik pilotta kalkışını gerçekleştirmiş ve 262 başarılı fotoğraf çekimi yapılmıştır. Çekimin ardından drone otomatik pilot ile inişini gerçekleştirmiştir. Şekil 3.8'de temel drone fotoğraf çekimi stratejisi gösterilmiştir. Drone'un uçma kabiliyeti ile yapının sadece yan yüzeyleri değil ist yüzeyinin de fotoğrafları çekilmiştir. Şekil 3.9'da fotoğraf çekimi yapılan noktalar işaretlenmiştir. Fotoğraflar .jpg formatında alınmıştır. Fotoğraflar GPS koordinatı, odak uzaklığı gibi bilgileri de EXIF datası olarak içermektedir. EK-B'de çekilen fotoğraflara ait konumlar belirtilmiştir. Şekil 3.10'da fotoğrafların çekildiği konumlar şematize edilmiştir.

Çizelge 3. 2 Drone Özellikleri [68]

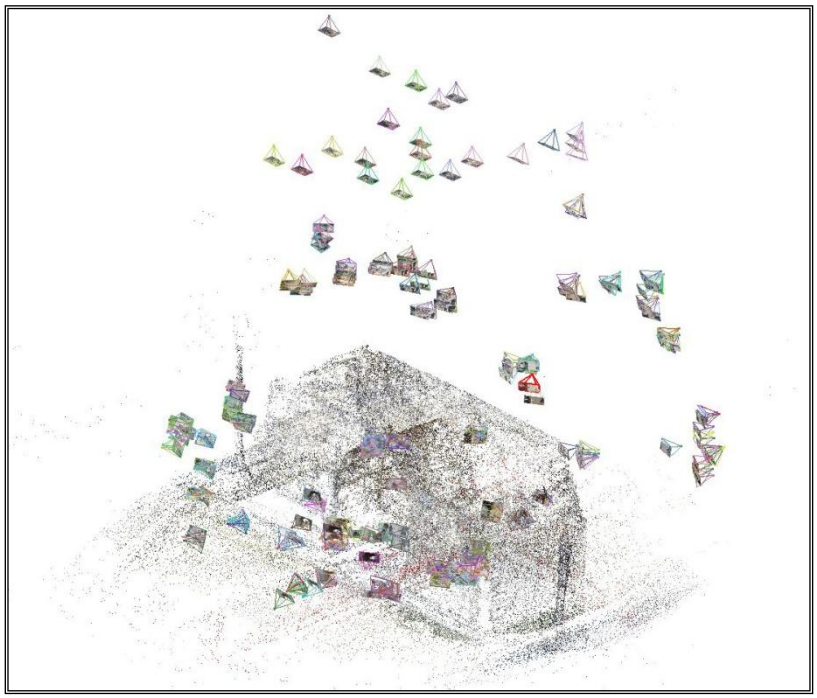
Drone Özellikleri	
Fotoğraf	12 MP RAW
Video	4K
Menzil	2 km
İrtifa	500 m



Şekil 3. 8 Fotoğrafları Çekim Stratejisi Diyagramı



Şekil 3. 9 Fotoğrafların Çekim Noktaları



Şekil 3. 10 Fotoğrafların Çekim Stratejisi

3.3 Kleopatra Kapısı Fotoğraflarının Çekilmesi

Tez kapsamında Kleopatra Kapısı bölüm 3.2.2'de fotoğraf çekimleri olan fotoğraflar ile 3D rekonstrüksiyonu oluşturulmuştur. Agisoft Photoscan, Autodesk Remake, VisualSFM ve CMPVS kolobrasyonu kullanılarak üretilmiş olan dokulu modeller Meshlab ortamında incelenmiştir. Yüzey sayısı ve dikmeler hakkında bilgi edinilmiştir. Meshlab açık kaynak kodlu bir yazılımdır [69]. Yazılım tamamiyle ücretsiz olup mesh model oluşturma ve düzenleme aracıdır. Sahip olduğu kompleks algoritmalar ile yüksek yüzey sayılı modellerde işlem yapmayı kolaylaştırmaktadır. Çizelge 3.3'te deneyde kullanılan bilgisayarın konfigürasyon bilgileri verilmiştir.

Çizelge 3. 3 Deneyde Kullanılan Bilgisayar Özellikleri

Marka	Lenovo
İşletim Sistemi	Windows 10 64 bit
İşlemci	Inter Core i7-6700 CPU 3.40 GHZ
RAM	8.00 GB
Grafik Kartı	Nvdia Geforce 930A 6074 MB Toplam Bellek

3.3.1 Agisoft Photoscan İle Üretilen 3D Rekonstrüksiyon

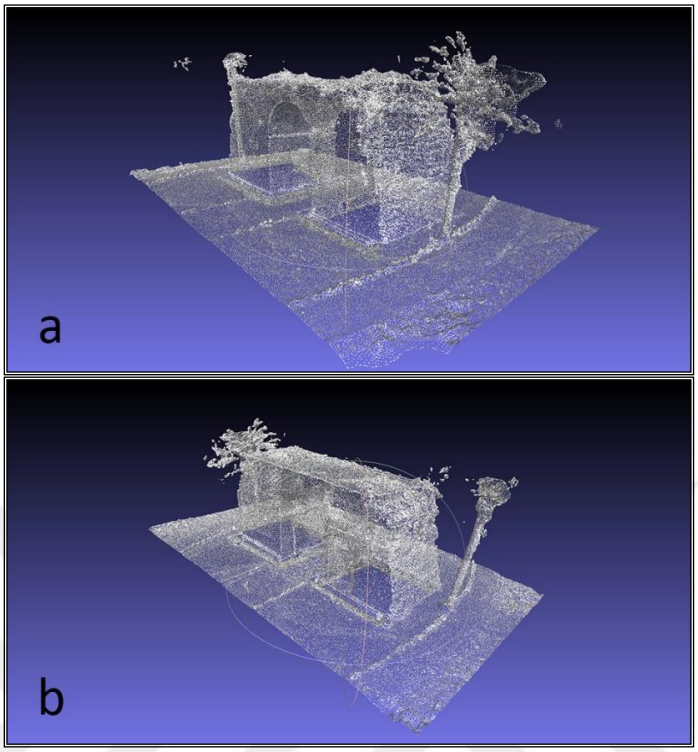
Kleopatra Kapısı'nın 3D rekonstrüksiyonunun oluşturulması için drone ile çekilen 262 adet fotoğrafın tamamı Agisoft Photoscan yazılımına yüklenmiştir. İlk aşamada yazılımdan en yüksek hassasiyette fotoğraf eşlenmesi ve model oluşumu istenmiştir. Yazılım bunu gerçekleştirmeye çalışsa da donanımsal bir engel olan işlemci bunu karşılayamamıştır. İkinci denemede yazılımdan orta hassasiyette bir model oluşturulması istenmiştir. Yazılım tekrar çalıştırıldıktan 36 saat sonra model ve modele ait dokulu tekstür oluşturulmuştur.

44.959 KB boyutunda .obj farmatında dışarı aktarılan model incelemek için meshlab yazılımına alınmıştır. Model incelendiğinde kapıda bulunan kemer önünde ve bitkilenmenin olduğu bölgelerde yazılım tutarsız yüzeyler üretmiştir. Çizelge 3.4'te oluşturulan modelin, dikme ve yüzey sayıları verilmiştir.

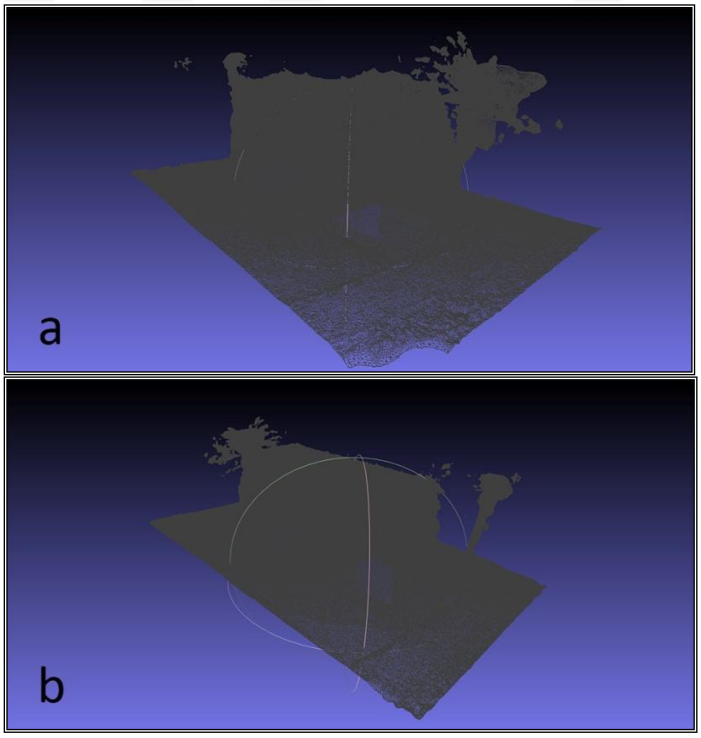
Çizelge 3. 4 Meshlab Üzerinde İncelenen Agisoft Photoscan Rekonstrüksiyonu

PROGRAM	BİÇİM	BOYUT	NOKTA	YÜZEY
AGISOFT PHOTOSCAN	OBJ	44.959 KB	354.696	706.378

Şekil 3.10’da oluşturulan noktalar beyaz renkte görülmektedir. Şekil 3.11’de , Şekil 3.10’da görülen noktaları birbirine bağlayan dikmeler görülmektedir.

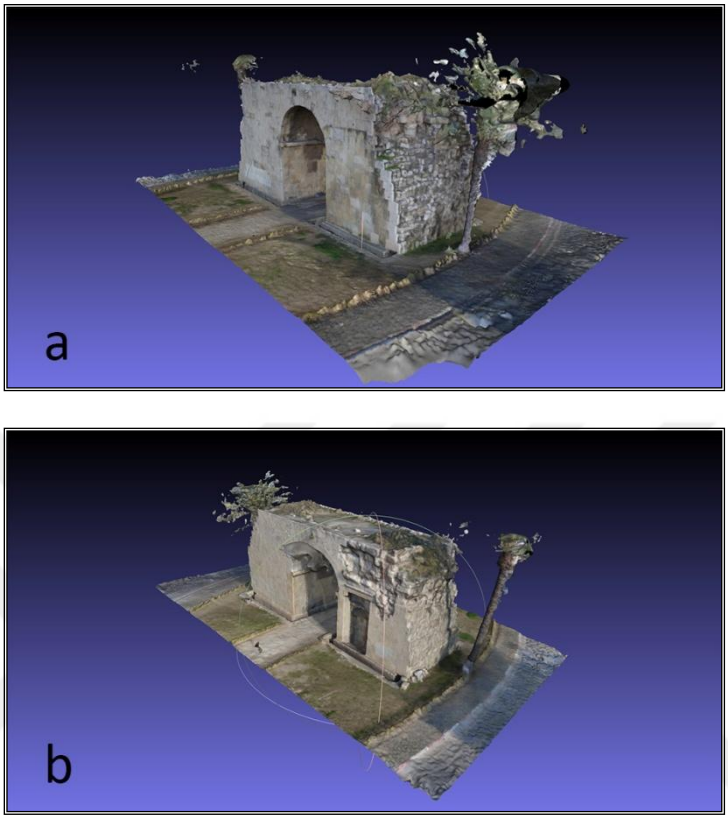


Şekil 3. 11 Agisoft Photoscan’in Ürettiği Nokta Bulutu Verisi



Şekil 3. 12 Agisoft Photoscan’in Ürettiği Dikmeler Verisi

Şekil 3.12'de yazılımın ürettiği dokulu model görülmektedir. Yazılımda otomatik kırpma özelliği bulunur. Bu özellik fotoğraf kadrajına girip model ile ilgisi olmayan zemin bölgelerini kırpmıştır.



Şekil 3. 13 Agisoft Photoscan'in Ürettiği Dokulu Model Verisi

3.3.2 VisualSFM ve CMPMVS Kollaborasyonu İle Üretilen 3D Rekonstrüksiyon

Visual Sfm ve Cmpmvs yazılımları kullanılarak, Kleopatra Kapısının 3D rekonstrüksiyonun oluşturulduğu bu sistemde bölüm 2.2.4.2'de anlatılan akış şemasına göre hareket edilmiştir. Öncelikle 262 fotoğraf Visual Sfm yazılımı ile hizalanıp nokta bulutu oluşturulmuştur. Üretilen nokta bulutu Dos tabanlı çalışan CMPMVS yazılımına alınmıştır. Visual Sfm tarafından oluşturulan nokta bulutu, dosya adında boşluk karakteri içeren bir klasör içine kaydedildiğinden Cmpmvs hata vermiştir. Klasör ismi düzeltilerek Cmpmvs ile çalışılmaya başlanmıştır. Program 14 saat sonra rekonstrüksiyonu oluşturmuştur.

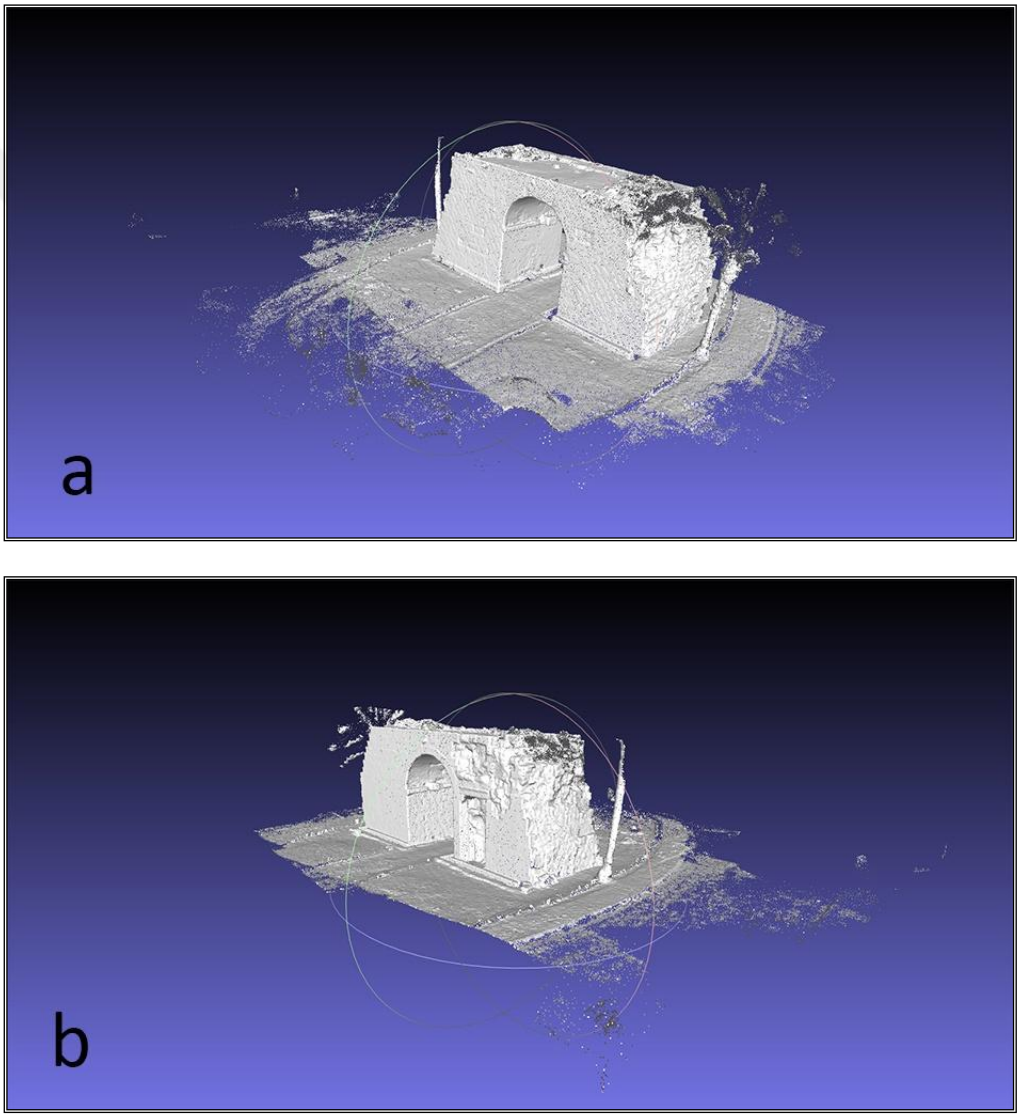
38.583 kb boyutunda ve .ply formatında dışarı aktarılan model incelenmek için Meshlab yazılımına alınmıştır. Model incelendiğinde Kleopatra kapısının çevresinde

tutarsız bölgeler oluştuğu gözlemlenmiştir. Çizelge 3.5'de oluşturulan nokta ve dikme verisi verilmiştir.

Çizelge 3. 5 Meshlab Üzerinde İncelenen VisualSFM ve CMPMVS Kolaboroasyon Rekonstrüksiyonu

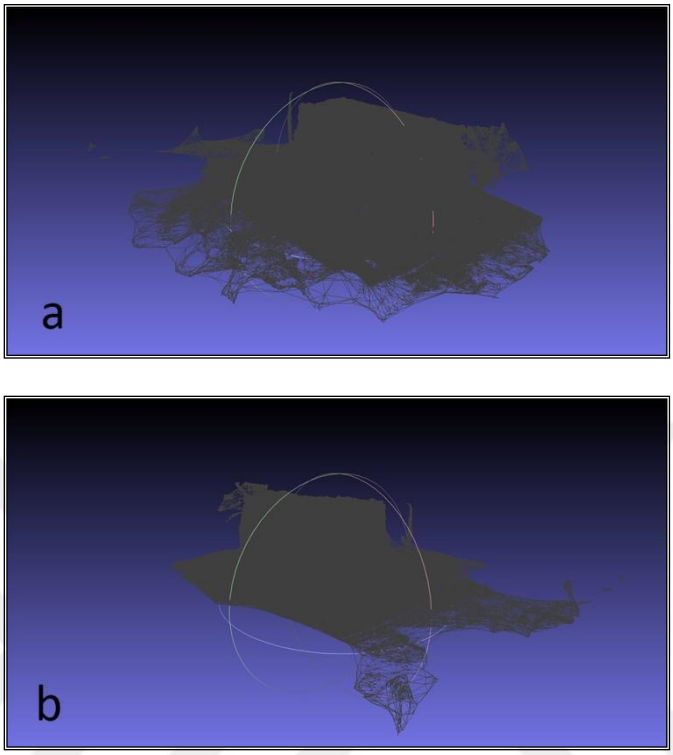
PROGRAM	BİÇİM	BOYUT	NOKTA	YÜZEY
VISUAL SFM + CMPMVS	PLY	38.583 KB	940.707	1.881.265

Şekil 3.13'de oluşturulan noktalar beyaz renkle gösterilmiştir. Şekil 3.14'te, Şekil 3.13'te belirtilen noktaların birbirine bağlayan dikmeler görülmektedir.

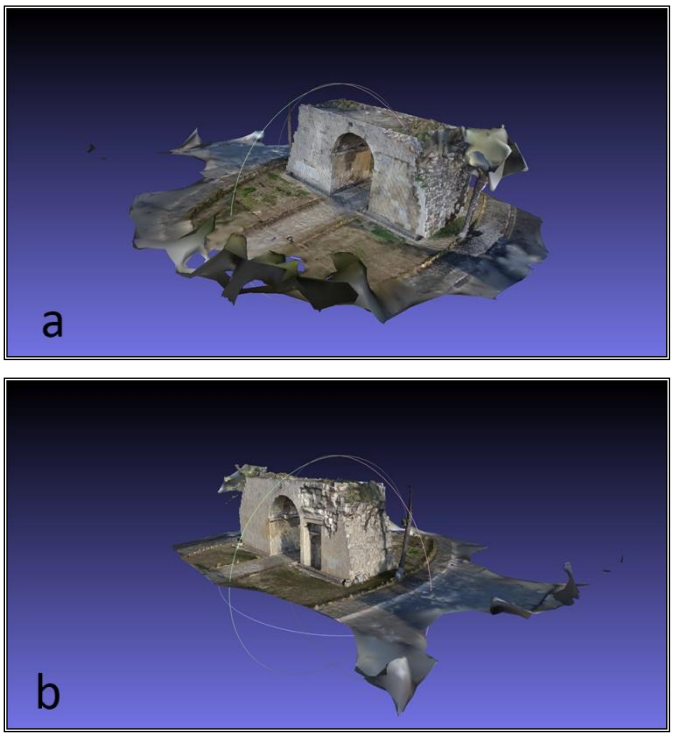


Şekil 3. 14 Visual Sfm'in Ürettiği Nokta Bulutu Datası

Fotoğraf karesine giren her bölgeyi modellemeye çalışan Cmpmvs, Şekil 3.15'te görüldüğü gibi tutarsız model alanları üretmiştir. Fotoğraf merkezinden uzaklaştıkça nokta sıklığı azalmıştır ve dikme uzunluğu artarak bozuk zemin oluşturmuştur.



Şekil 3. 15 CMPMVS'in ürettiği Dikmeler Verisi



Şekil 3. 16 CMPMVS'in ürettiği Dokulu Model Verisi

3.3.3 Autodesk Remake İle Üretilen 3D Rekonstrüksiyon

Autodesk Remake ile 3D rekonstrüksiyon oluşumu için yazılımın akış diyagramı 2.2.4.3'te verilmiştir. Yazılım hem internet üzerinden, hem de kişisel bilgisayar üzerinden model üretimi gerçekleştirebilmektedir. Daha hızlı model üretimi için Autodesk Remake'in internet servisleri tercih edilmiştir. Kleopatra Kapısına ilişkin 262 fotoğraf çekilmesine karşın Autodesk Remake, maksimum 250 fotoğrafı desteklemektedir. 250 fotoğraf yazılım üzerinden Autodesk Remake serverına aktarıldıktan 3 saat sonra dokulu model oluşturulmuştur. Kullanılan diğer yazılımların aksine Autodesk Remake işlem yaparken kapalı bir kutu gibidir. Hizalanan fotoğrafları veya oluşan nokta bulutu aşaması görülmemiştir.

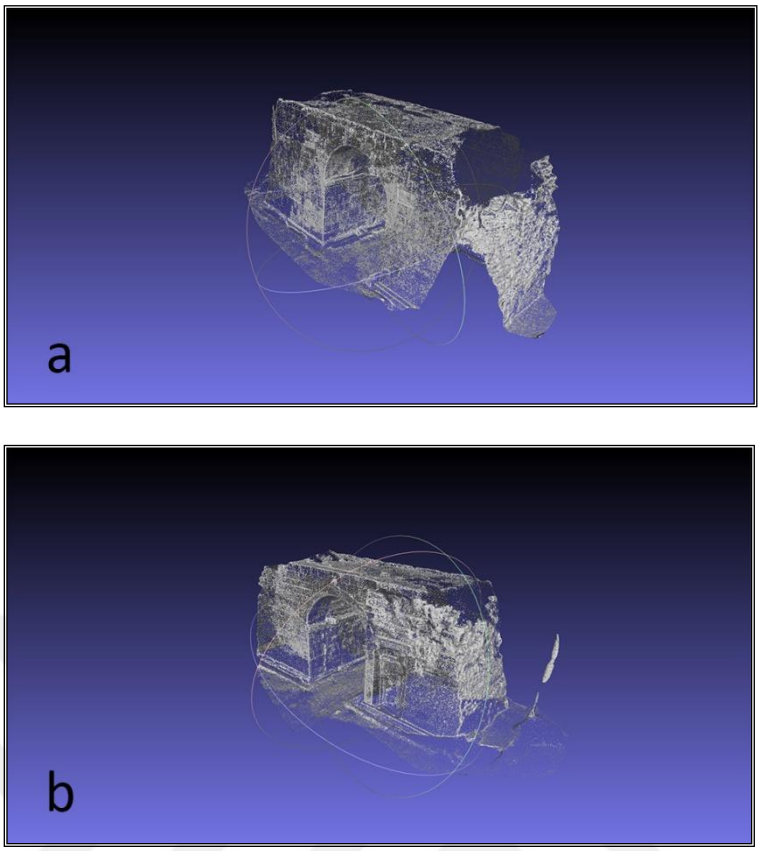
56.818 kb boyutunda .obj formatında dışarı aktarılan model incelemek için meshlab yazılımına alınmıştır. Model incelendiğinde fotoğrafların yüklenmediği bölgelerde ve Kleopatra Kapsısı zemininde modelde boşluklar oluşmuştur. Çizelge 3.6'da oluşturulan nokta ve dikme verisi görülmektedir.

Çizelge 3. 6 Meshlab Üzerinde İncelenen Agisoft Photoscan Rekonstrüksiyonu

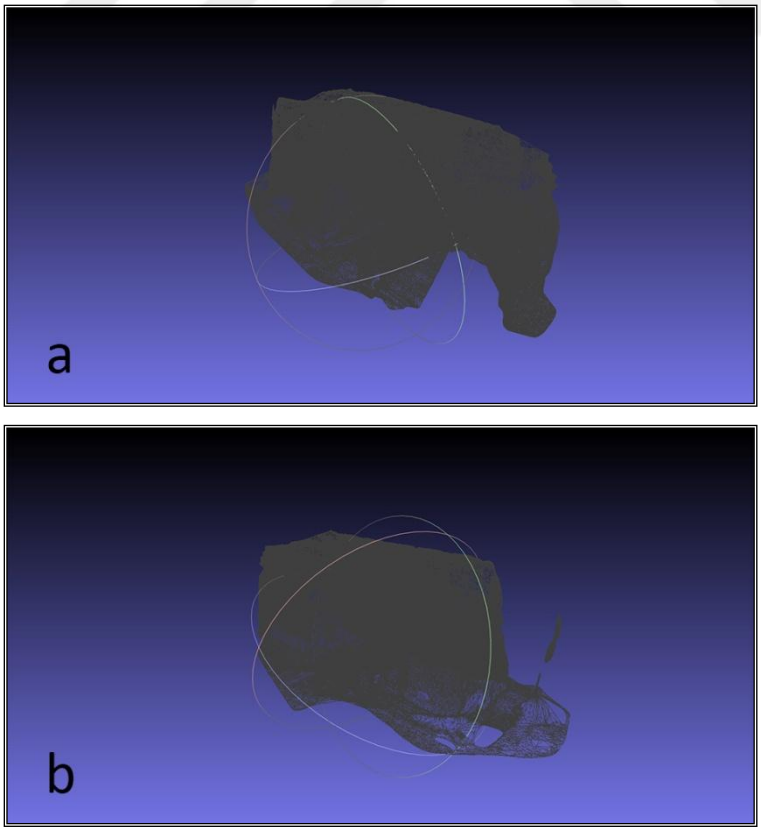
PROGRAM	BİÇİM	BOYUT	NOKTA	YÜZEY
AUTODESK REMAKE	OBJ	56.818 KB	272.619	544.257

Şekil 3.16'da oluşturulan noktalar beyaz renkte ifade edilmiştir. Şekil 3.17'de, Şekil 3.16'da görülen noktalar birbirine bağlayan dikmeler gösterilmiştir.

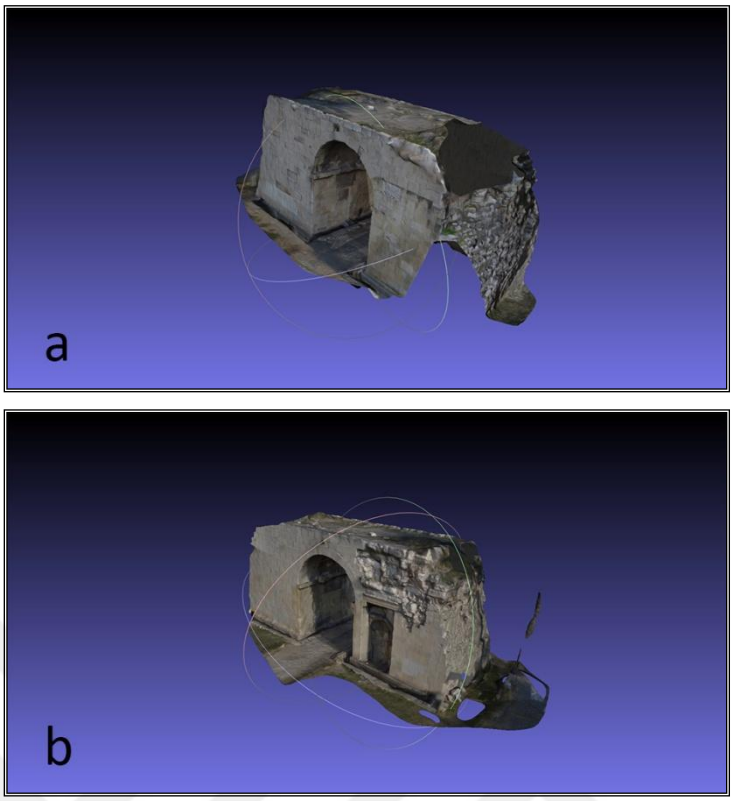
Şekil 3.18'de oluşturulan dokulu model görülmektedir. Yazılım, model üretemediği bölgelerde yama olarak model tamiri yapabilmektedir. Fakat oluşturulacak bu yamanın nokta bulutu temelli olmayışı sebebiyle tercih edilmemiştir.



Şekil 3. 17 Autodesk Remake'in Ürettiği Nokta Bulutu Verisi



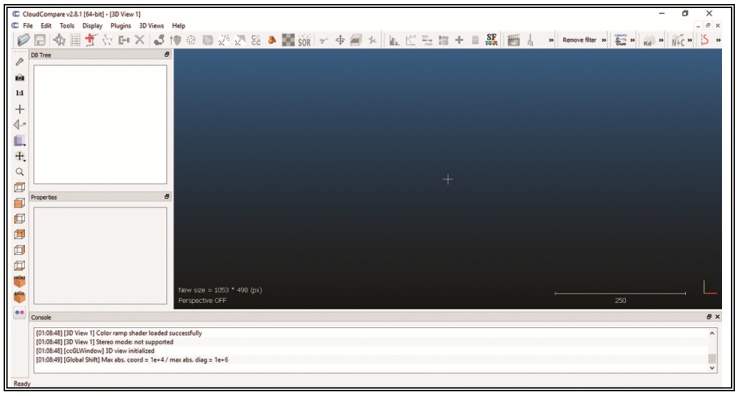
Şekil 3. 18 Autodesk Remake'in Ürettiği Dikmeler Verisi



Şekil 3. 19 Autodesk Remake'in Ürettiği Dokulu Model Verisi

3.4 Kleopatra Kapısı Verilenin Lazer Tarama Verileri İle Karşılaştırılması

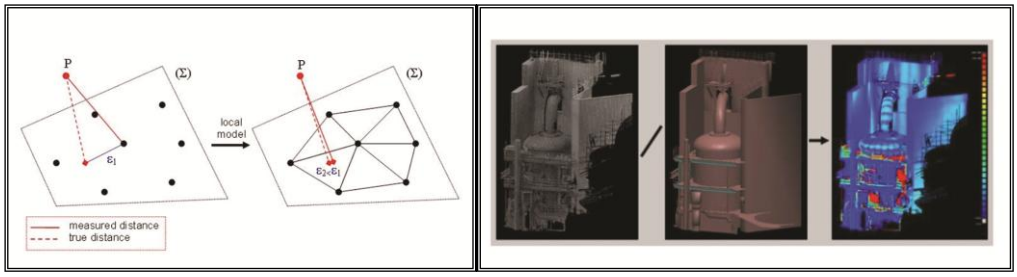
Bu karşılaştırma kapsamında tutarlılığı CloudCompare yazılımı yüksek olan lazer taramanın ürettiği nokta bulutu kümesi ile 3D rekonstrüksiyon yazılımlarının ürettiği mesh model tutarlılıklarını incelemek amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 3. 20 CloudCompare Arayüzü [70]

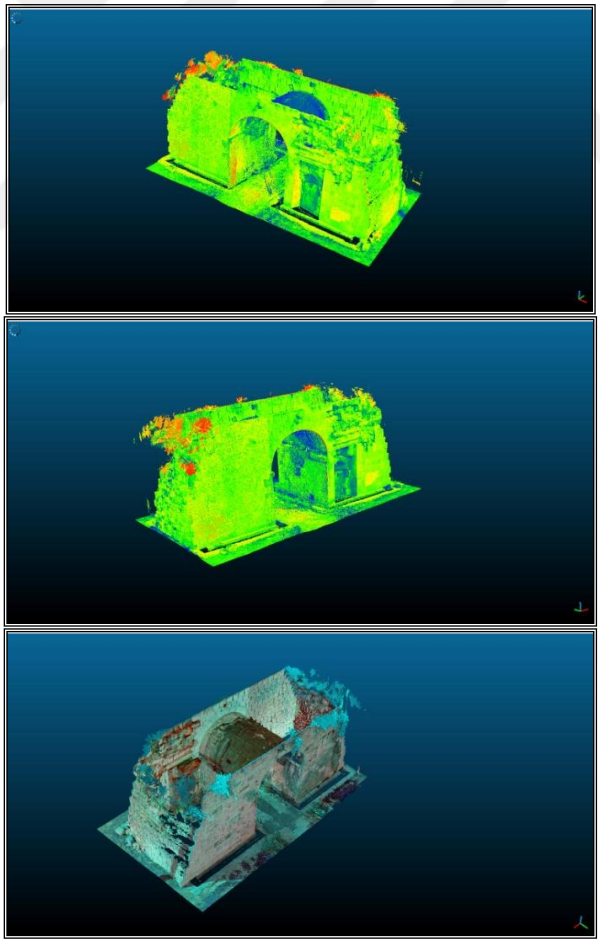
Daniel Girardeu tarafından yazılmış olan CloudCompare açık kaynaklı bir yazılımdır. Yazılımın temel amacı farklı şekillerde elde edilmiş olan verilerin kıyasıdır. Bu kıyas

nokta bulutu ve başka bir nokta bulutu arasındaki farklılıkların ya da nokta bulutu ve mesh model arasındaki farklılıklarla ilgilidir [70].



Şekil 3. 21 CloudCompare Hesaplaması [70]

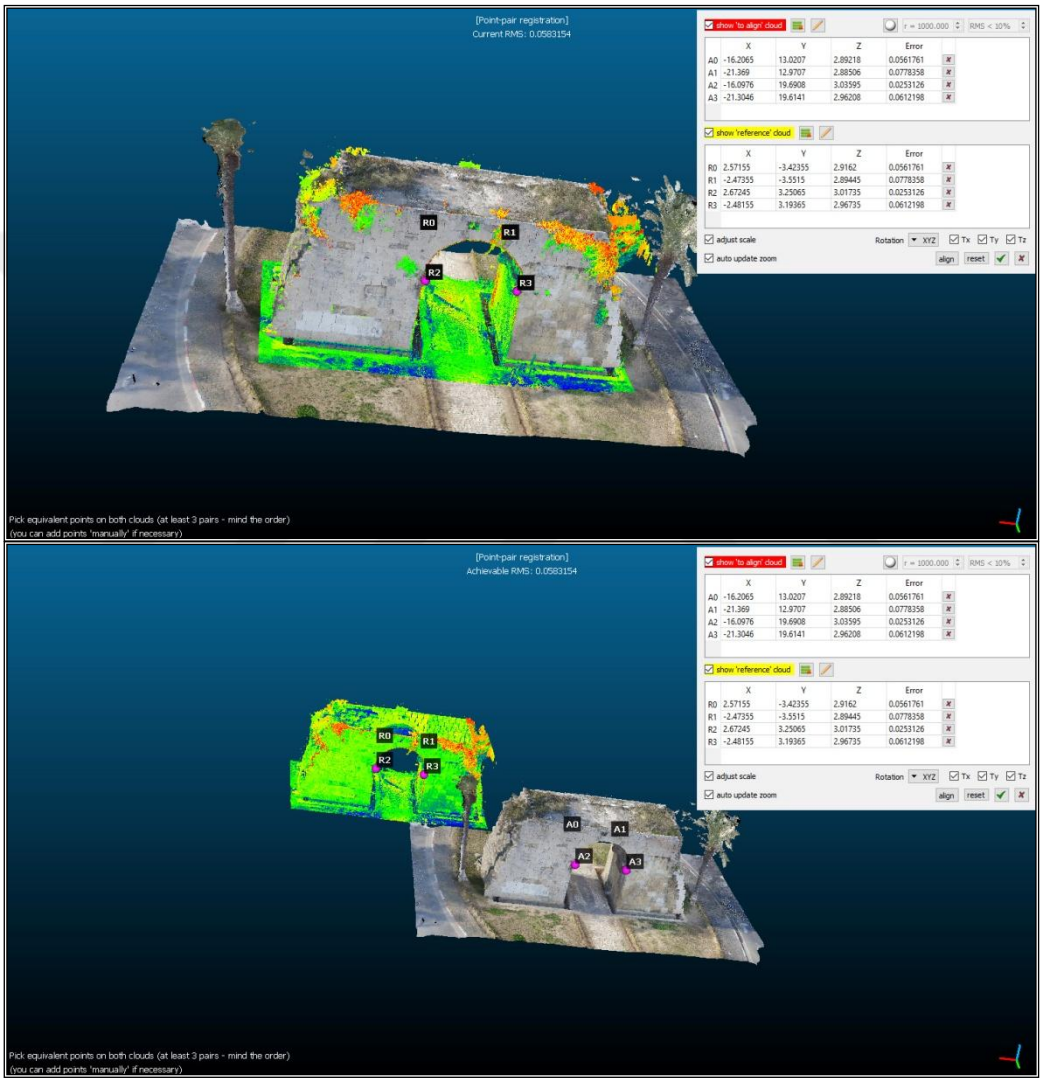
Remake, Photoscan ve VisualSfm + Cmpmvs ile üretilen mesh modellerin Cloudcompare üzerinde hizalanıp aralarındaki mesafe bilgisini almak bize program tutarlılığını gösterecektir. Lazer taramasının sisteme alınması ve farklı açılardan görselleri Şekil 3.21'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 22 CloudCompare Ortamına Alınan Lazer Tarama Verilerinin Farklı Açılardan Görünüşleri

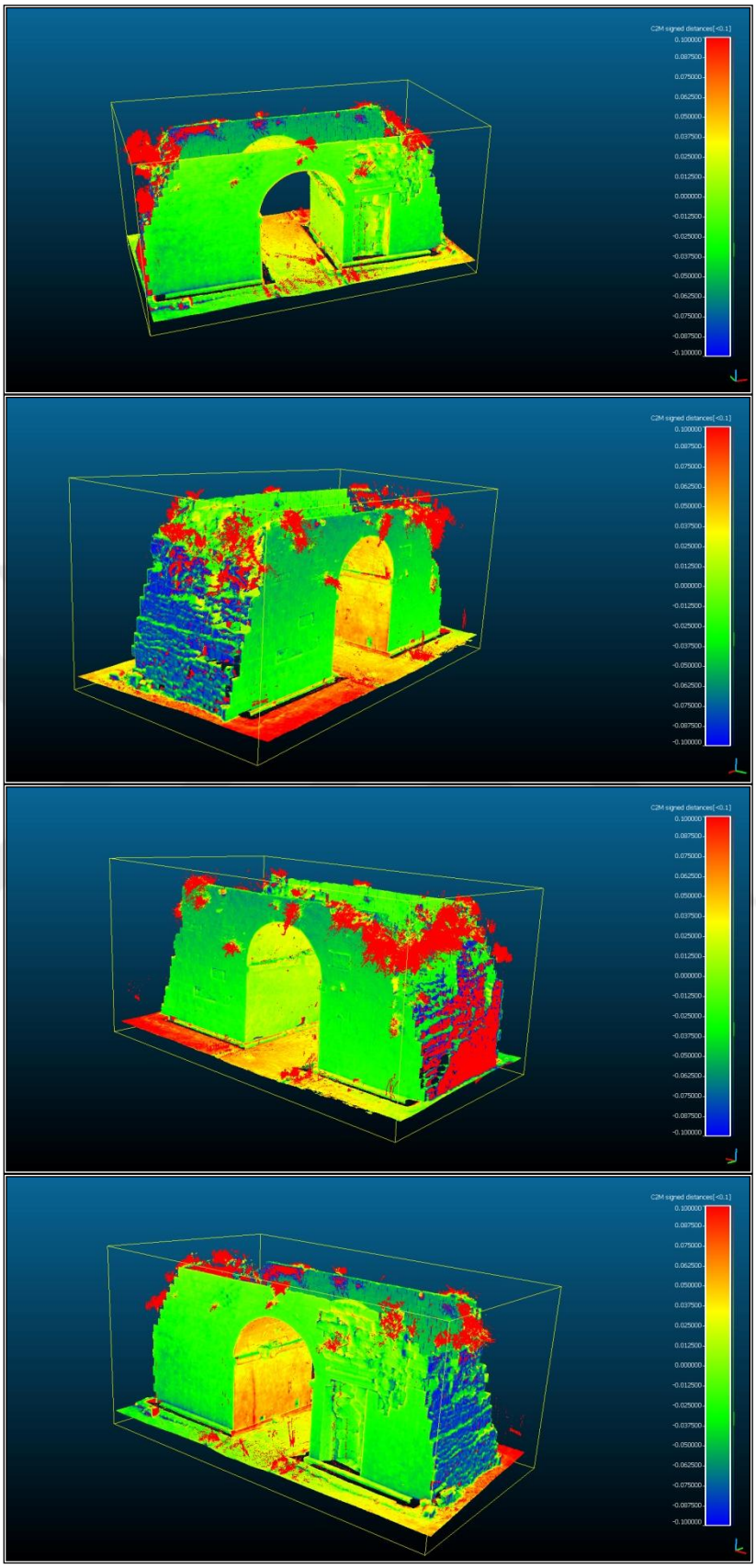
3.4.1 Agisoft Photoscan ve Lazer Verisi Karşılaştırılması

Bölüm 3.2.1'de Autodesk Recap üzerinde temizlenen, lazer tarama dosyası Cloudcompare yazılımına alınmıştır. Bölüm 3.2.2.1'de Meshlab üzerinde analiz edilen Agisoft Photoscan yazılımında üretilen model de Cloudcompare yazılımına alınmıştır. Lazer verisi sabit tutularak, model Şekil 3.22'de görülen noktalar üzerinden çakıştırılmıştır.



Şekil 3. 23 CloudCompare Ortamında Photoscan ve Lazer Tarama Verileri Hizalanması

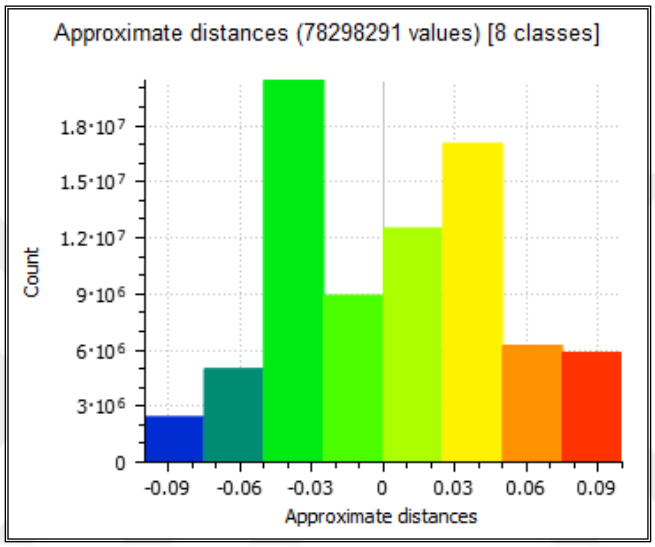
Çalışma presibi bölüm 3.2.3'te açıklanan Cloudcompare yazılımına 10 cm'e kadar olan sapmaları göstermesi istemiştir. Şekil 3.23'te modelin lazer taramaya ilişkin sapmaları görülmektedir. Diyagramda görüntülenen renk skalasında kırmızı renk ile görüntülenen bölgeler yaklaşık 10 cm kadar dışarı çıkmaktadır. Mavi renk ile gösterilen bölgeler ise 10 cm kadar içeri sapma vardır. Yeşil bölge maksimum tutarlılığın olduğu alandır.



Şekil 3. 24 CloudCompare Ortamında Photoscan ve Lazer Tarama Verileri Karşılaştırılması

Photoscan yazılımı yapı cephesinin güneş alan yüzeylerini yüksek doğrulukla modellemiştir. Kemer içinde yer alan ve güneş görmeyen kısımlarda sapmalar görülmüştür. Yapının üst yüzeyi lazer ile taranamadığı için değerlendirme dışı bırakılmıştır.

Şekil 3.24'te nokta bulutunun mesh model ile uzaklık miktarı (approximate distances) ve count (nokta sayısı) ifade edilmektedir. Hatalar +5 cm ve – 5 cm hata arasında yoğunlaşmıştır.

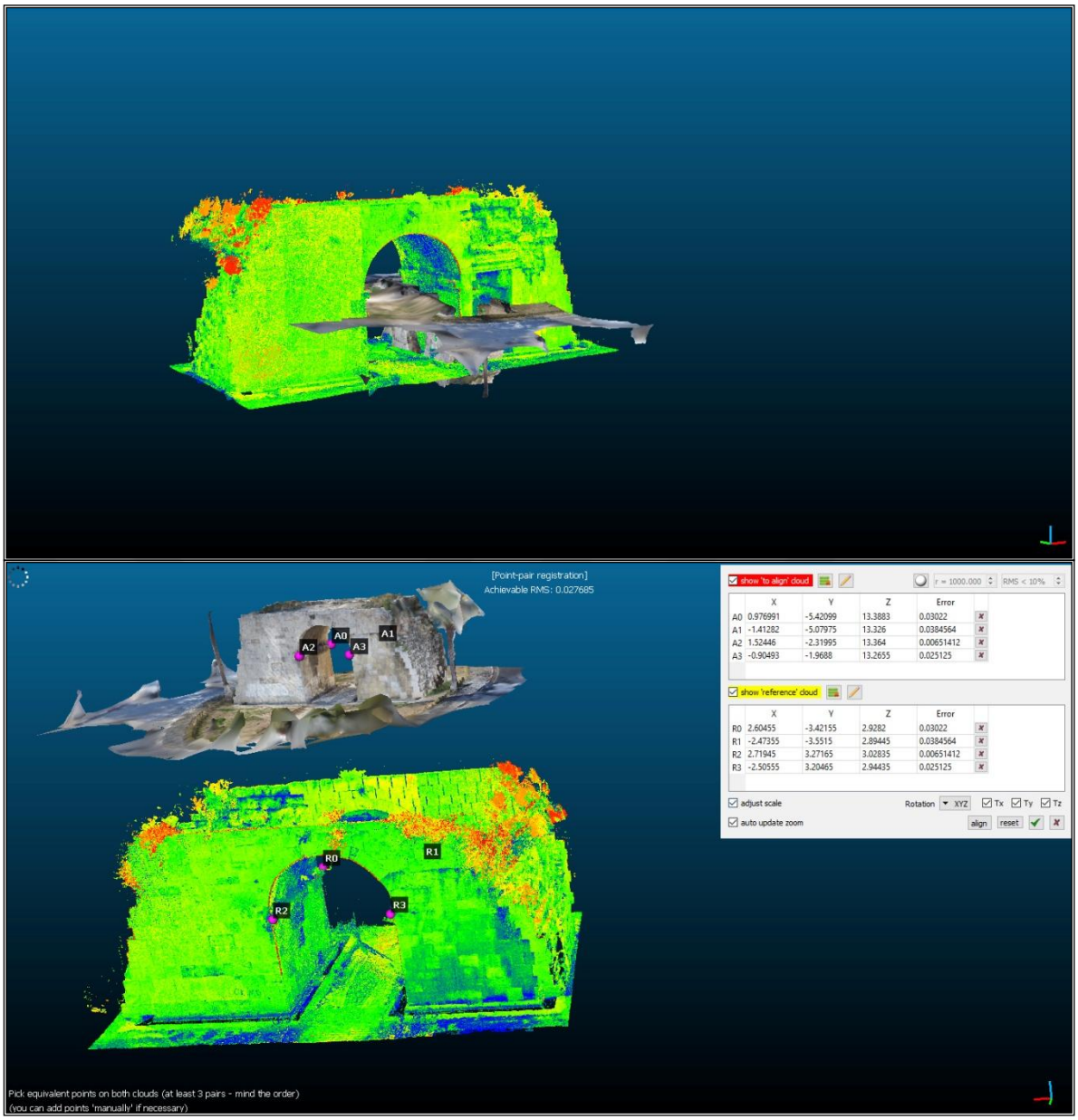


Şekil 3. 25 CloudCompare Ortamında Photoscan ve Lazer Tarama Verileri Karşılaştırılması Grafiği

3.4.2 Visual Sfm ve CMPMVS Kolobrasyonu ve Lazer Verisinin Karşılaştırılması

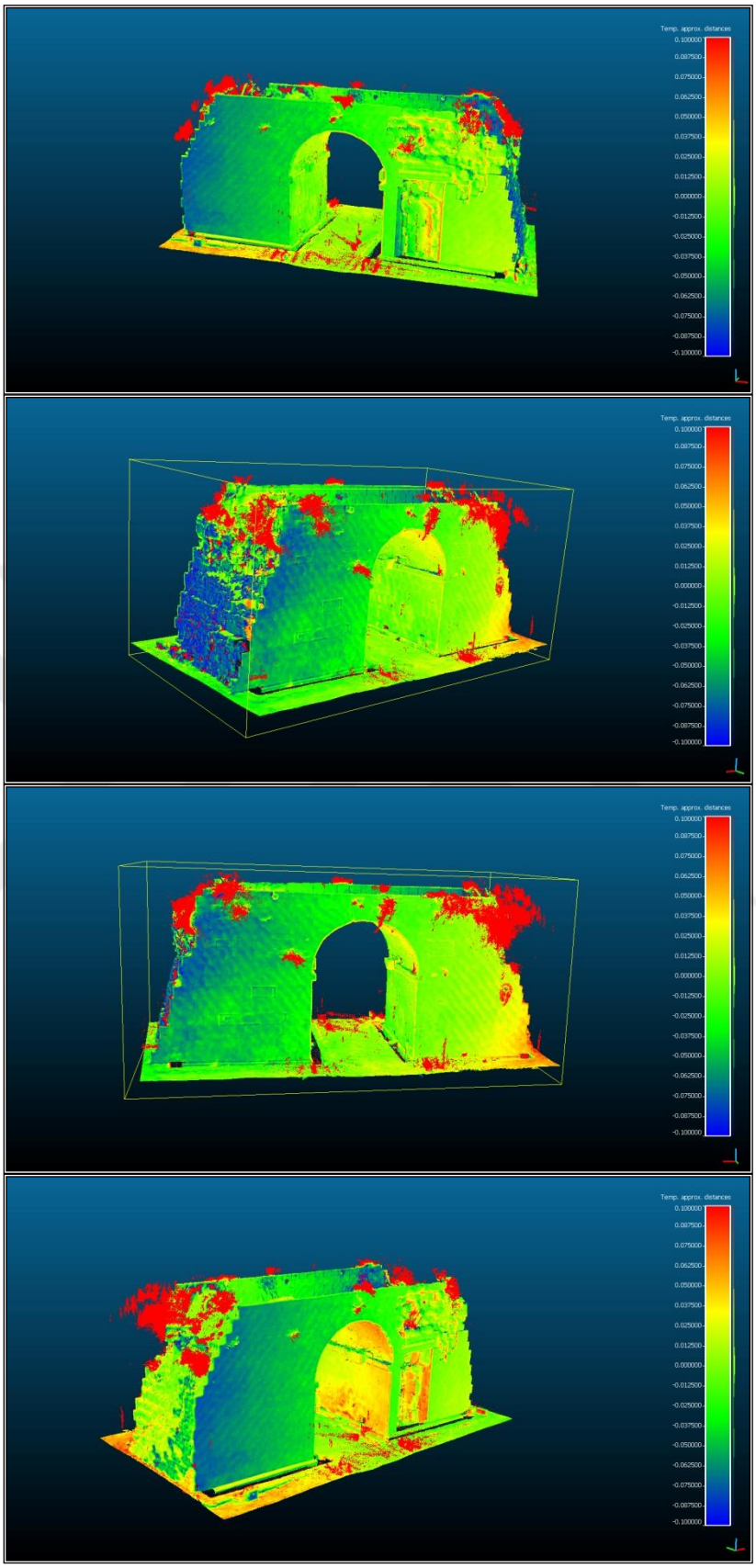
Bölüm 3.2.2'de Autodesk Recap üzerinde temizlenen lazer tarama dosyası Cloudcompare yazılımına alınmıştır. Bölüm 3.2.2.2'de Meshlab üzerinde analiz edilen Cmpmvs yazılımında üretilen model de Cloudcompare yazılımına alınmıştır. Lazer verisi sabit tutularak, model Şekil 3.25'te görülen noktalar üzerinden çakıştırılmıştır.

Çalışma prensibi 3.2.3'te açıklanan Cloudcompare yazılımına 10 cm'e kadar olan hata sapmalarını göstermesi istenmiştir.



Şekil 3. 26 CloudCompare Ortamında CMPMVS ve Lazer Tarama Verileri Hizalanması

Çalışma prensibi 3.2.3'te açıklanan Cloudcompare yazılımına 10 cm'e kadar olan hata sapmalarını göstermesi istenmiştir. Şekil 3.26'da görülen modelin lazer taramaya ilişkin sapmaları görülmektedir.

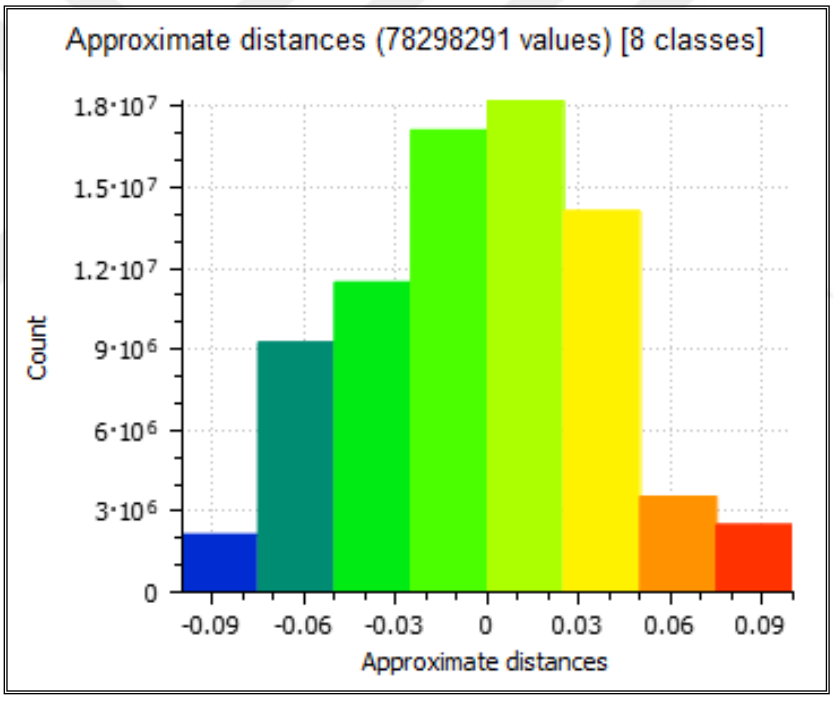


Şekil 3. 27 CloudCompare Ortamında CMPMVS ve Lazer Tarama Verileri Karşılaştırılması

Diyagramda görüntülenen renk skalasında kırmızı renk ile bölgeler yaklaşık 10 cm kadar dışarı çıkmaktadır. Mavi renk ile gösterilen bölgeler ise 10 cm kadar içeri sapma vardır. Yeşil bölge maksimum tutarlılığın olduğu alandır.

Visual Sfm ve Cmpmvs ortak çalışması yapı cephesinin güneş alan yüzeylerini yüksek doğrulukla modellemiştir. Kemer içinde yer alan ve güneş görmeyen kısımlar sapmalar görülmüştür. Yapının üst yüzeyi lazer ile taranamadığı için değerlendirme dışı bırakılmıştır.

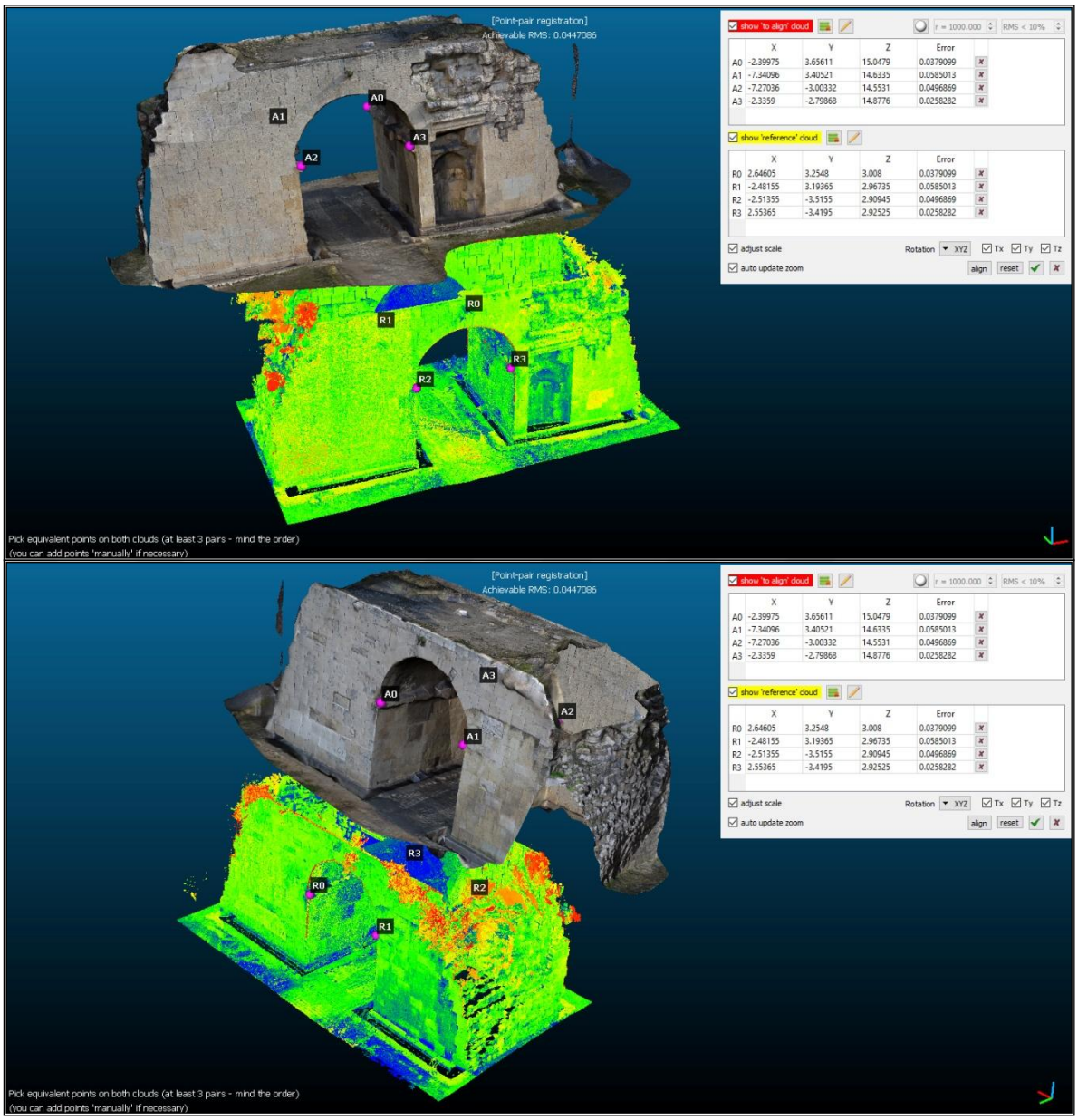
Şekil 3.27'de nokta bulutunun mesh model ile uzaklık miktarı miktarı (approximate distances) ve count (nokta sayısı) ifade edilmektedir. Hatalar +1.5 cm ve –1.5 cm hata arasında yoğunlaşmıştır.



Şekil 3. 28 CloudCompare Ortamında CMPMVS ve Lazer Tarama Verileri Karşılaştırılması Grafiği

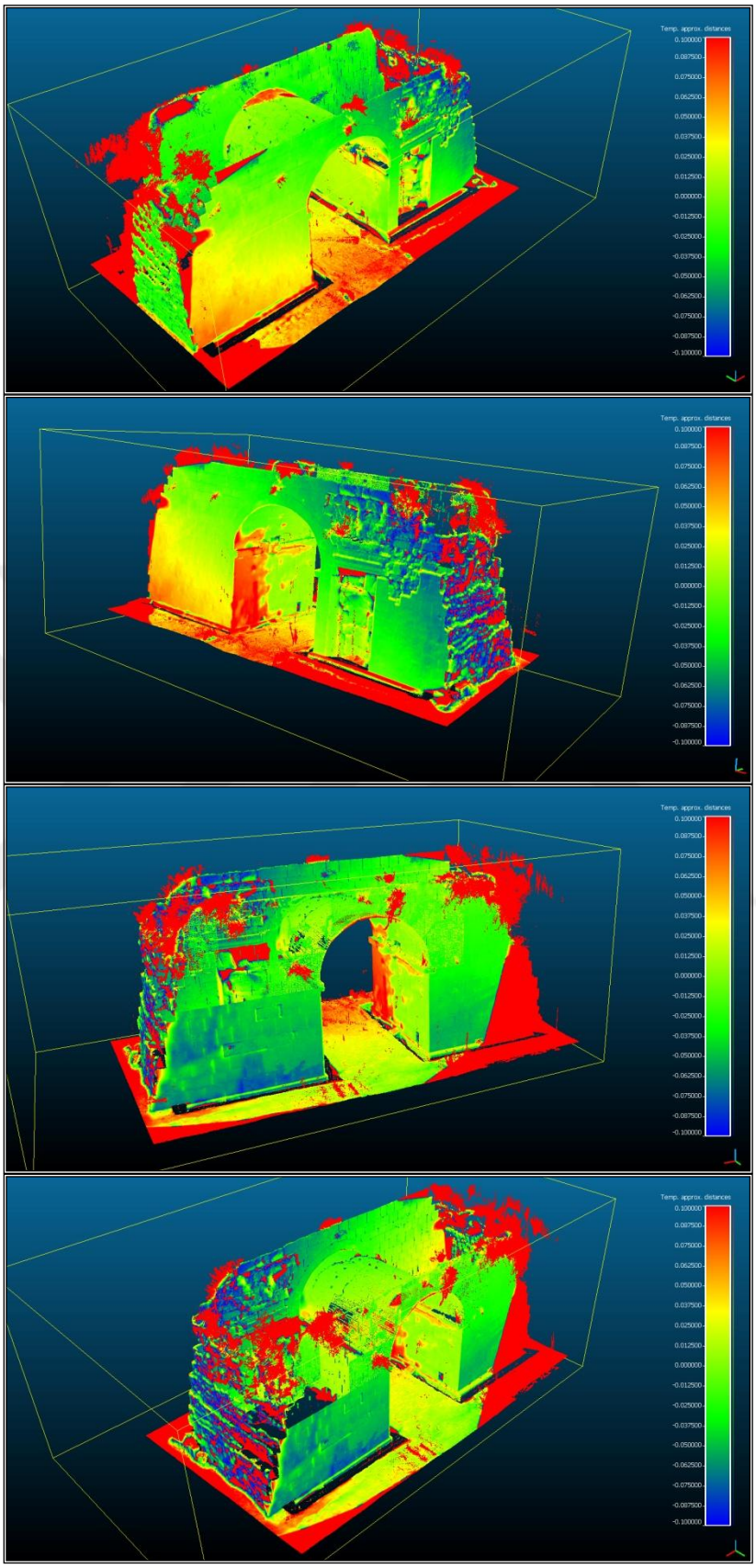
3.4.3 Autodesk Remake ve Lazer Verisinin Karşılaştırılması

Bölüm 3.2.3'te Autodesk Recap üzerinde temizlenen lazer tarama dosyası Cloudcompare yazılımına alınmıştır. Bölüm 3.2.2.3'te Meshlab üzerinde analiz edilen Autodesk Remake yazılımında üretilen model de Cloudcompare yazılımına alınmıştır. Lazer verisi sabit tutularak, Şekil 3.22'de görülen noktalar üzerinden çakıştırılmıştır.



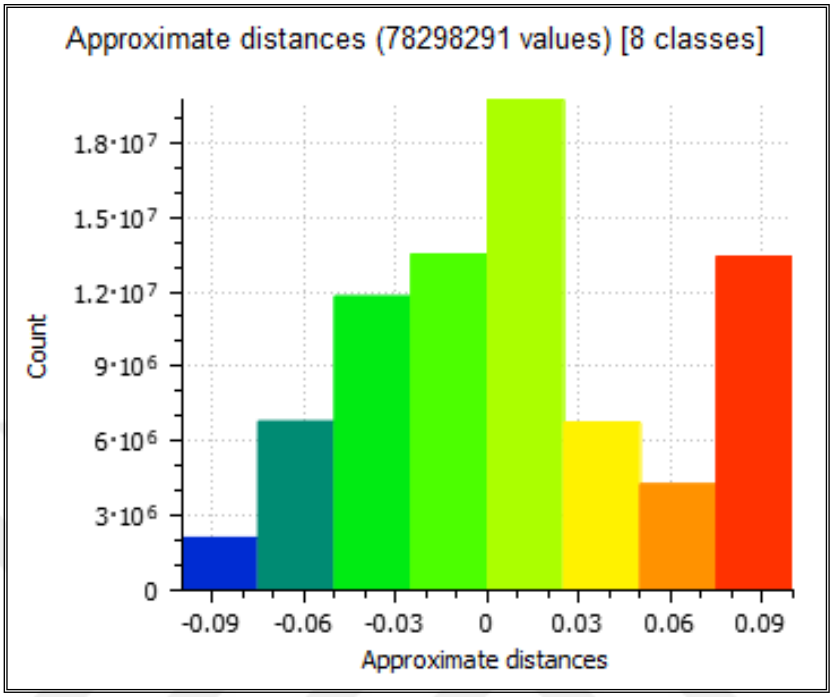
Şekil 3. 29 CloudCompare Ortamında Autodesk Remake ve Lazer Tarama Verileri Hizalanması

Çalışma prensibi bölüm 3.2.3'te açıklanan Cloudcompare yazılımına 10 cm'e kadar olan sapmaları göstermesi istenmiştir. Şekil 3.29'da modelin lazer taramaya ilişkin sapmaları görülmektedir. Diyagramda görüntülenen renk skalasında kırmızı renk ile görüntülenen bölgeler yaklaşık 10 cm kadar dışarı çıkmaktadır. Mavi renk ile gösterilen bölgeler ise 10 cm kadar içeri sapma vardır Yerşil bölge maksimum tutarlılığın olduğu alandır.



Şekil 3. 30 CloudCompare Ortamında Remake ve Lazer Tarama Verileri Karşılaştırılması

Şekil 3.30'da nokta bulutunun mesh model ile uzaklık miktarı miktarı (approximate distances) ve count (nokta sayısı) ifade edilmektedir. Hatalar +3 cm ve –3 cm arasında yoğunlaşsa da model üretemediği alanlardaki +10 cm hata oranı çok yüksektir.



Şekil 3. 31 CloudCompare Ortamında Autodesk Remake ve Lazer Tarama Verileri Karşılaştırılması Grafiği

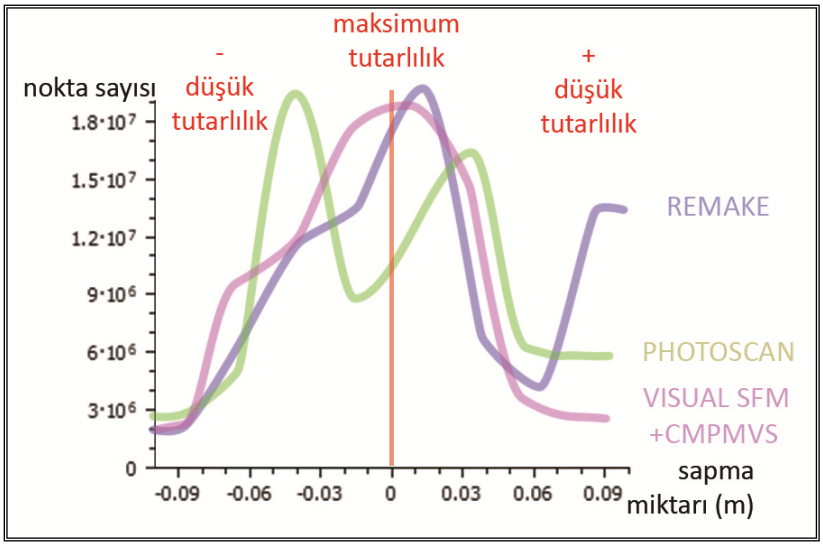
3.5 Kleopatra Kapısı Model Verilerinin Lazer Tarama Verisi İle Karşılaştırılması Sonuçları

Lazer tarama ve sayısal fotogrametrinin birbiri üstünde çeşitli üstünlükleri vardır. Çizelge 3.7'de bu farklılıklar gösterilmektedir. Konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalarda belirli sayıda nokta ve yüzey arasındaki mesafe ile hassasiyet kıyası yapılırken, bu karşılaştırmada lazer tarama ile oluşturulan bütün noktalar ile 3D rekonstrüksiyon arasındaki mesafe ile hassasiyet kıyası yapılmıştır.

Aynı fotoğraflar kullanılarak hazırlanan 3D rekonstrüksiyonlarda yazılımların ortak bir amaca yönelik çalışmasına rağmen oluşturulan sonuç ürünler arasında hassasiyet farklılıkları gözlemlenmiştir. Şekil 3.31'de Kleopatra Kapısının 3D rekonstürksiyonunu üreten yazılımların lazer tarayıcıya göre hassasiyet karşılaştırması verilmiştir. Oluşturulan modeller arasında en hassas sonucun VisualSFM ve CMPMVS kolobrasyonunun ürettiği görülmektedir.

Çizelge 3. 7 Lazer Tarama ve Sayısal Fotogrametri Arasındaki Farklar

Lazer Tarama	Sayısal Fotogrametri
Ölçüm çok hassastır.	Lazer tarama hassasiyetinde değildir.
Eğitimli operatör ihtiyacı vardır.	Geliştirilen yazılımlar ve anlaşılabilir arayüzler ile kolayca model oluşturulabilir.
Donanım ve yazılım ihtiyaçları pahalıdır.	Fotoğraf artık ucuz ve herkes tarafından elde edilebilmektedir. Kullanılan yazılımlar pahalı olmasına karşın açık kaynak kodlu eğitim yazılımlar da kullanılabilmektedir.
Obje veya obje etrafındaki hareketli nesneler lazer tarayıcı için yanıltıcıdır.	Obje hareketi veya obje etrafındaki harekete lazer kadar duyarlı değildir. Önemli olan fotoğrafların eşleşmesidir.
Görüntü yoktur, noktalar vardır.	Nokta ve görüntüler vardır.
Tarayıcının ölçüm kabiliyeti sınırlıdır. Belirli bir poziyonda durmak zorundadır.	Serbest el ile rastlantısal çekilen fotoğraflar ve uçabilen dronelar sayesinde ışığın bulunduğu her yerde fotoğraf çekilebilmektedir.
Yazılımlar tutarlıdır	Yazılımlar tutarsızdır.



Şekil 3. 32 Kleopatra Kapısını'nın 3D rekonstrüksiyonunu oluşturan yazılımların karşılaştırılması

Bu hassasiyet doğrultusunda Çizelge 3.8'de görülen ölçeklerde, belirtilen hata payları içerisinde 3D rekonstürksiyon yazılımlarının mimari rölöve ve dijital bir arşiv için kullanılabilir olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. 8 Proje Ölçeği ile Hata Payı Arasındaki İlişki [71]

Ölçek	*Kabul Edilebilir Hata Payı*
1:10	+/- 5mm
1:20	+/- 6mm
1:50	+/- 15mm
1:100	+/- 30mm
1:200	+/- 60mm
1:500	+/- 150mm

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırmanın ilk bölümünde fotogrametrinin tarihi üzerinde durulmuştur. Sistemin ortaya çıkışından, günümüze gelindiğinde ulaştığı noktalar görülmektedir. Büyün bu gelişim incelenmesinden ortaya çıkan sonuç teknolojinin gelişmesine paralel olarak fotogrametrik sistemler de gelişmiş ve kendi içerisinde sınıflandırılmıştır.

Fotogrametrinin tarihinin incelenmesinin ardından, sayısal fotogrametrinin temelleri üzerinde durulmuştur. Sistemin temel çalışma prensipleri incelenmiştir. Sayısal fotogrametrinin temel ihtiyacı olan fotoğraf dizisinin en doğru şekilde nasıl çekileceği üzerinde deneyler yapılmıştır. Fotoğraf dizisini oluşturmak için optimum stratejiler ortaya konulmuştur.

Sayısal fotogrametri temelleri üzerinde durulduktan sonra, birçok bilim dalı ve endüstri ile nasıl bir etkileşim içinde olduğu üzerinde literatür taraması yapılmıştır. İncelenen örnekler arasında var olanı modelleyerek üzerinde analizler yapılmasına olanak verdiği görülmüştür.

Sayısal fotogrametrinin, mimarlık fotogrametrisi üzerindeki model üretme potansiyeli son yıllarda yapılan çalışmalardan görülmektedir. Mimari fotogrametriden günümüzde;

- Mimari rölöve ve cephelerin çıkarılmasında,
- Tarihi ve arkeolojik sit alanlarının belirlenmesi ve tespitinde,
- Şekil ve yapı araştırmalarında,
- Koruma imar planlarının yapım ve uygulanmasında,

- Kültür varlıklarının koruma, bakım veonarımı amacıyla yapılan belgeleme çalışmalarında,
- Yapılarda eğilme, bükülme, kayma ve çökme hareketlerinin, deformasyonların ve yapıda eğer varsa hareket büyüklüğü hakkındaki parametrelerin belirlenmesinde
- Onarım sonrası yapının olması gerektiği gibi olup olmadığının kontrolünde
- Şehir ve bölge Planlama çalışmalarında,
- Maket, büst, endüstri modellerinin yapılmasında,
- Önemli tarihi binaların ve yapıların cephe ve iç düzenlerinin kayıt edilmesinde, ya da herhangi bir amaçla eski bir yapının yenileştirilmesinde kullanılmaktadır. [72]

Bir sonraki bölümde araştırmanın asıl amacı olarak, 3D rekonstrüksiyon yazılımlarının mimari nesnelerin modellemesi ile ilgili performansı araştırılmıştır. Bölümde 3D rekonstrüksiyon yazılımlarının sonuç ürünleri ile lazer tarama verileri karşılaştırılmıştır. Çıkan sonuçlar doğrultusunda performans analizleri yapılmıştır.

Görüntü işlemeye dayalı sayısal fotogrametik yöntem temelde veri işlemede operatör kaynaklarında tasarruf edilmesine yardımcı olduğu görülmüştür. Bununla birlikte doğruluk ve veri güvenilirliğinin yüksek fakat kesin olmadığı görülmüştür. Bu nedenle üretilen rekonstrüksiyonların doğrulukları ve güvenilirlikleri dikkatle değerlendirilmelidir. Üzerinde çalışılan Kleopatra Kapısı üç farklı yazılımın farklı sonuçlar vermesi bunun en açık örneğidir. Kullanılan 3D rekonstrüksiyon sistemleri kendi içerisinde tutarlı nokta bulutu ve modeli üretebilmektedir.

İncelenen programlar ve Ek [A]'daki fotogrametrik programlara bakıldığında ülkemiz fotogrametri yazılımı üretmede dünyanın gerisindedir. Sayısal fotogrametrik sistemlerin kullanım alanlarındaki genişlik ve fotoğraf teknolojisindeki ilerlemeler sistemin sürekli gelişeceğinin göstergesidir.

KAYNAKLAR

[1] Sheppard, R., (2004). National Geographic Türkiye, Dijital Fotoğraf Rehberi – Temel Dijital Fotoğrafçılık Bilgileri, Doğuş Grubu İletişim Yayıncılık ve Ticaret A.Ş., İstanbul.

[2] Paris, S., (2006), Methods For 3D Reconstruction From Multiple Images MIT Computer Science and Artificial İntelligence Laboratory, https://people.csail.mit.edu/sparis/talks/Paris_06_3D_Reconstruction.pdf. 10 Mart 2013.

[3] Kavak, K.Ş., (1998). "Uzaktan Algılamanın Temel Kavramları ve Jeolojideki Uygulama Alanları", Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 52:62,63.

[4] İstanbul Üniversitesi Jeofizik Kulubü, Uzaktan Algılama, Uzaktan Algılama Tarih Teknolojisi ve Gelişimi, https://iujfk.files.wordpress.com, 20 Mayıs 2016.

[5] Marangoz, M.A., (2013), Uzaktan Algılama Görüntülerinden Detay Çıkarımı, Bülent Ecevit Üniversitesi-Fotogrametri Anabilim Dalı Sunuları, http://jeodezi.beun.edu.tr/marangoz, 10 Mayıs 2016.

[6] Gürbüz, H., (1984), Fotogrametriye Giriş, S.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi, 16, Konya.

[7] Güleç, S., A., (2007). Yersel Fotogrametri Yöntemi İle Rölöve Alım Tekniğinin Taç Kapılarda Uygulanışı Konya Örnekleri, Bitirme Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

[8] Akyol O., Tarihi Eserlerin Yersel Dijital Fotogrametrik Yöntemle Belgelenmesi, Bitirme Tezi, İTÜ, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 2008.

[9] Sönmez, E. ve Şeker, D.Z., (2014). "İzmir Havagazı Fabrikası 4 No'lu İdari Binasının Yersel Fotogrametri Yöntemiyle Modellenmesi", Uzaktan Algılama Sempozyumu , 14-17 Ekim 2014, İstanbul.

[10] Özbalmumcu, B., (2015). Fotogrametrik Yöntemle Ortofoto Harita Üretiminin Temel Esasları, Ortofotonun Yararları ve Kullanım Alanları, http://www.tufuab.org.tr/images, 13 Eylül 2015.

[11] Asri, İ. ve Çorumluoğlu, Ö., (2007). “Büyük Objelerde Tarihi Dökümantasyon ve Tanıtım Amaçlı GPSSİT Destekli Dijital Fotogrametrik 3B Modelleme”, Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği IV. Teknik Sempozyumu, 5-7 Haziran 2007, İstanbul.

[12] Doyle, F.J., (1963). “The Historical Development of Analytical Photogrammetry”, ASPRS Semi-Annual Meeting, Eylül 1963, New York.

[13] Scribd, History Of Photogrammetry, The Center for Photogrammetric Training, https://tr.scribd.com/document/58309381/History-of-Photo-Gramme-Try, 20 Mayıs 2015.

[14] Birdseye, C.H., (1939). “Stereoscopic Phototopographic Mapping”, Annals Of The Association Of American Geographers, 11:109-110

[15] Verlag, W., (2007). “The Origin of the Term Photogrammetry”, Photogrammetry Week, 1 Ağustos 2007, Heidelberg.

[16] Albertz, J., (2001), “Albrecht Meydenbauer – Pıoneer Of Photogrammetrıc Documentatıon Of The Cultural Herıtage”, Proceedings 18th International Symposium CIPA 2001, 18-21 Eylül 2001, Potsdam (Germany).

[17] Tatar,Y., (2011). “Uzaktan Algılama Tarihçesine Genel Bir Bakış”, Biga Yarımadası’nın Jeolojisi Sempozyumu, 1 Aralık 2011, Balıkesir.

[18] Bilgi, S., (2007). “Fotogrametri ve Uzaktan Algılamada Veri Elde Etme Yöntemlerinin Gelişimi ve Kısa Tarihçeleri”, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 96:32-39.

[19] Bacaksız, P., (2010). Fotogrametride Küresel Yüzeyli Objelerin Resim Çekim ve Değerlendirme Teknikleri Üzerine Deneysel Bir Uygulama , Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

[20] Krahman, H., (2008). “The Evolution of Stereo Phorogrammetry”, Visualisation Technical- PoisonIT, 6:59-61.

[21] Erdkamp,J.,(2012). “Theodor Scheimpflug”, Photographica World, 3:29-38.

[22] Kraus, K., (1993). Photogrammetry, 1, Fundamentals and Standard Processes, Dümmler, Bonn.

[23] Özağaç, S., (2006). Cumhuriyet Dönemi Türk Haritacılık Tarihi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Türk İnkılap Tarihi Enstitüsü, Ankara.

[24] Aydar, U., (2007). Cephe Değerlendirmelerinde Fotogrametrik ve Görselleştirme Yöntemlerinin Kıyaslanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[25] Karslı, F., (2015), Fotogrametriye Giriş , http://aves.ktu.edu.tr/fkarsli/, 18 Şubat 2016.

[26] Yaşayan, A., Uysal,M., Varlık,A. ve Avdan,U., (2011). Fotogrametri, 1, Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayınları, Eskişehir.

[27] Karsan Erbaş, S., (2011). "Sayısal Görüntü ve Sayısal Görüntü İşlemenin Tasarım Eğitimine Etkisi", 2nd International Conference on New Trends in Education and Their Implications, 27-29 Nisan 2011, Ankara.

[28] Gonzales, R.C. ve Woods, R.E., (2008). Digital Image Processing, 3, Pearson Prentice Hall, New Jersey.

[29] Yıldız, N., (2010). "Görüntü İşlemenin Dünü, Bugünü ve Geleceği", Elektrik Mühendisliği Dergisi, 440:11-16, İstanbul.

[30] Yakar, M., (2002). Fotogrametrik Amaçlı Kullanılan Tarayıcıların Radyometrik ve Geometrik Doğruluğunun Araştırılması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

[31] Milli Eğitim Bakanlığı, (2012). Bilişim Teknolojileri-Görüntü İşleme Cihazları, 481BB0018, Ankara.

[32] Ergün. B., (2016), Sayısal Fotogrametri, https://gtu.edu.tr/personel/bahadr-ergn, 5 Ocak 2016.

[33] Ingenio Triana, CCD ve CMOS sensör diyagramı görseli, http://ingenio-triana.blogspot.com.tr/p/blog-page_22.html, 20 Ocak 2016.

[34] Avşar, E.Ö., (2006). Tarihi Köprülerin Dijital Fotogrametri Tekniği Yardımıyla Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[35] Varlık, A., Uysal, M., Karalar,F. ve Can, Z.C., (2009). "Dijital Fotogrametride Alana Dayalı Görüntü Eşleme Yöntemleri", Harita Teknolojileri Elektornik Dergisi, 1:21-33.

[36] Çavdaroğlu, G.Ç. ve Bayram, B., (2014), Görüntü Eşleme, http://www.yildiz.edu.tr/~bayram/sgi, 22 Ocak 2016.

[37] Reshetyuk, Y., (2009). Self-Calibration and Direct Georeferencing in Terrestrial Laser Scanning, Doktora Tezi, Royal Institute of Technology, Stockholm.

[38] Safkan, S., Hamarat, H., Duran, Z., Aydar, U. ve Çelik, M.F., (2014). "Yersel Lazer Tarama Yönteminin Mimari Belgelemede Kullanılması", V.Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 14-17 Ekim 2014, İstanbul.

[39] Altuntaş, C. ve Yıldız, F., (2008). "Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi", Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 98:20-27.

[40] Collins, R., (2005), Stereo Reconstruction, http://www.cse.psu.edu/~rtc12/CSE486, 16 Mart 2017.

[41] Dietrich, J.T., (2014). Applications Of Structure-From-Motion - Photogrammetry To Fluvial Geomorphology, Doktora Tezi, Departmenf Of Geography and the Graduate School of The University of Oregon, Oregon.

[42] Moons, T., Vergauwen, M. ve Van Gool, L., (2008). 3D Reconstruction From Multiple Images, Part One, Second Edition, Now The Essence Of Knowledge, Delft.

[43] Zhang, P., (2013)., 3D Modeling and Visualization of Archeological Data, Yüksek Lisans Tezi, Technische Universitat München Fakültat für Bauningenieur- und Vermessungswesen, Münih.

[44] Lowe, D.G., (2004). "Distinctive Image Features From Scale-Invariant Keypoints", International Journal of Computer Vision, 60:91-110.

[45] Fonstad, M.A., Dietrich, T.J., Courville, B.C., Jensen, J.L. ve Carbonneau, P.E., (2011). "Topographic Structure From Motion: A New Development In Photogrammetric Measurement", Earth Surface Processes and Landforms, Durham, 38:421-430.

[46] James, M.R. ve Varley, N., (2012). "Identification Of Structural Controls In An Active Lava Dome With High Resolution DEMs: Volcan de Colima", Geophysical Research Letters, 39:220-225.

[47] Dandois, J.P. ve Ellis, E.C., (2013). "High Spatial Resolution Three-Dimensional Mapping Of Vegetation Spectrel Dynamics Using Computer Vision", Remote Sensing Of Environment, 10:32-36.

[48] Viedas, D., (2015), Nike, http://diegoev.com, 13 Şubat 2016.

[49] Snaptank, (2015). Snaptank Zombies, http://snaptank.com, 14 Şubat 2016.

[50] Irevolutiouns, Yıkılan Welguan Binası, https://irevolutions.org/2016/02/07/aerial-robotics-virtual-reality/, 10 Nisan 2017.

[51] Forte, M., (2014). "3D Archaeology-New Perspectives and Challenges- The Example Of Catalhoyuk", Near Eastern Archeology, 1:1-30.

[52] Cyark, About Cyark, https://www.cyark.org, 12 Nisan 2017.

[53] BBC,Palmyra, http://www.bbc.com/turkce/haberler/2015/08/150825_isid_palmyra_goruntu, 10 Haziran 2016.

[54] Newpalmyra, Palmyra Model, http://www.newpalmyra.org, 10 Haziran 2016.

[55] Hadjri, K., (2010). "Bridging The Gap Between Physical and Digital Models in Architectural Design Studios", Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 34:5-10.

[56] Alvarez, P., (2004). "Using Extended File Information (EXIF) File Headers in Digital Evidence Analysis", International Journal of Digital Evidence, 3:1-5.

[57] Agisoft, About Agisoft, http://www.agisoft.com/,19 Haziran 2016.

[58] VisualSFM, Working Principles, http://ccwu.me/vsfm/, 20 Haziran 2016.

[59] CMPMVS, Working Principles, http://ptak.felk.cvut.cz/sfmservice/websfm.pl?menu=cmpmvs, 20 Haziran 2016.

[60] Autodesk Remake, Remake Info, https://remake.autodesk.com, 01 Temmuz 2016.

[61] 123D Catch, About 123D Catch, https://3dscanexpert.com/autodesk-photogrammetry-review-123d-catch/, 01 Temmuz 2016.

[62] Photosynth, Photoshynth Images, https://www.photosynth.net, 01 Temmuz 2016.

[50] Kleopatra Kapısı, Kleopatra Kapısı Tarihi, https://yoldaolmak.com/kleopatra-kapisi-tarsus.html, 02 Temmuz 2017.

[64] Kleopatra Kapısı, Kleopatra Kapısı Restorasyon Öncesi Fotoğrafı, https://www.pinterest.jp/pin/476677941785555801/, 02 Temmuz 2017

[65] TBMM, Yazılı Soru Önergesi, T.C. Kültür Bakanlığı Planlama ve Koordinasyon Kurulu Başkanlığı Araştırma, 30.3.1994, B.16.0.APK.0.12.00.01.940, 181.

[66] Tarsus Belediyesi, Kleopatra Kapısı Fotoğrafı, http://www.tarsus.bel.tr/images/kulturel-yapi/kleopatra.jpg, 02 Temmuz 2017.

[67] ZF Laser, Kullanılan Cihazın Özellikleri, http://www.zf-laser.com, 05 Ağustos 2017.

[68] Dji Drone, Kullanılan Drone'un Özellikleri, https://www.dji.com/inspire-1, 05 Ağustos 2017.

[69] Meshlab, Meshlab Info, http://www.meshlab.net/, 20 Temmuz 2016.

[70] CloudCompare, CloudCompare Software Information, http://www.danielgm.net/cc/, 20 Temmuz 2017.

[71] Brayn, P., Blake, B. ve Bedford, J., (2009). Metric Survey Specifications for Cultural Heritage, English Heritage, Londra.

[72] Yılmaz H.M., Yakar M., Güleç S.A. ve Dülgerler O.N., (2007). "Importance of Digital Close-Range Photogrammetry in Documentation of Cultural Heritage", Journal of Cultural Heritage, 8:428-433.

3D REKONSTRÜKSİYON YAZILIMLARI

Yazılım	Lisans	Platform	Kendi başına / Plugin	Otomatik modelleme	Ölçeklenirlik	Fotogrametri tipi	Veri girişi	Çıkış tarihi	Yayıncı firma	Ücreti	Çevirimiçi hizmet	Ücretsiz kullanım / denem süresi
Görüntütation	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, uydu, askeri	Görüntü	1980	Hexagon Geospatial	Bilinmiyor		
INPHO	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, uydu, askeri	Görüntü	1980	Trimble	Bilinmiyor		
Geomatica	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, uydu	Görüntü	1982	PCI Geomatics	Bilinmiyor		
ELCOVISION 10	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Kendi başına / Plugin	Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü	1986	PMS AG, Leica Geosystems	2		
Delta	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, uydu	Görüntü	1987	GeoSystem	Bilinmiyor		
Summit Evolution	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows	Kendi başına	Hayır	Evet, çoklu görüntü	Havadan, yakın mesafe, uydu	Görüntü	1987	DAT/EM	Bilinmiyor		
PHOTOMOD	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, uydu, askeri	Görüntü	1994	Racurs	Bilinmiyor	Hayır	Evet
PhotoModeler	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows	Kendi başına	Yarı otomatik	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü	1994	Eos Systems - PhotoModeler	$1,145		
EnsoMOSAIC	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, askeri	Görüntü	1995	MosaicMill	$900		
PhoTopoL Atlas	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows	Kendi başına	Hayır	Evet, çoklu görüntü	Havadan	Görüntü	1995	Topol	Bilinmiyor		
Australis	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe, askeri	Görüntü	1997	Photometrix	US$10,100		
Vr Mapping	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows	Kendi başına	Hayır	Evet, çoklu görüntü	Havadan	Görüntü, lidar	2000	Cardinal Systems	Bilinmiyor		

Yazılım	Lisans	Platform	Kendi başına / Plugin	Otomatik modelleme	Ölçeklenirlik	Fotogrametri tipi	Veri girişi	Çıkış tarihi	Yayıncı firma	Ücreti	Çevirimiçi hizmet	Ücretsiz kullanım / denem süresi
metigo MAP	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows	Kendi başına	Hayır	Evet, çoklu görüntü		Görüntü	2001	fokus GmbH Leipzig	Bilinmiyor		
e-foto	GNU GPL	Linux	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, askeri	Görüntü	2002	Bilinmiyor	Ücretsiz		
Orbit Softcopy	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows, Linux	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, yakın mesafe, askeri	Görüntü	2002	Orbit	Bilinmiyor		
Correlator3D	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, uydu, askeri	Görüntü	2003	SimActive Inc.	Bilinmiyor		
iWitness / iWitnessPRO	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü, video	2003	Photometrix	$995–1,995	Hayır	Evet, talep doğrultusunda
3D pup-up	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Kendi başına	Hayır	Hayır, tek görüntü		Görüntü	2005	Carnegie Mellon Üniversitesi	Ticari değil		
ARC3D	Bilinmiyor	Web-tabanlı	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü	2005	KU Leuven	Ücretsiz		
Micmac	CeCILL-B	Linux, OS X, Microsoft Windows	Kendi başına	Yarı otomatik	Evet, çoklu görüntü		Görüntü	2005	IGN	Ücretsiz		
APS	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, uydu, askeri	Görüntü	2006	Menci Software	Bilinmiyor		
Linearis3D Photogrammetry	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü, video	2007	Linearis3D	€995'dan başlayan fiyatlarla		
AU4	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows	Kendi başına	Hayır	Evet, çoklu görüntü	Havadan, uydu	Görüntü	2008	Cartodata	Bilinmiyor		
Cognitech AutoMeasure	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Hayır	Evet, çoklu görüntü	Havadan, yakın mesafe, askeri	Görüntü, video	2008	Cognitech Inc.	Bilinmiyor		
Enwaii	Bilinmiyor	Linux, OS X, Microsoft Windows	Kendi başına / Plugin (Maya)	Hayır	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü, video, lidar	2008	Banzai Pipeline Ltd	Bilinmiyor		
PhotoModeler Scanner	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü	2008	Eos Systems - PhotoModeler	$2,495		
Photosynth	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Hayır	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü	2008	Microsoft Live Labs, Washington Üniversitesi	Ücretsiz		
GörüntüModeler	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Kendi başına	Hayır	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü	2009	Autodesk	Abonelik		

Yazılım	Lisans	Platform	Kendi başına / Plugin	Otomatik modelleme	Ölçeklenirlik	Fotogrametri tipi	Veri girişi	Çıkış tarihi	Yayıncı firma	Ücreti	Çevirimiçi hizmet	Ücretsiz kullanım / denem süresi
IMAGINE Photogrammetry	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows	Kendi başına	Yarı otomatik	Evet, çoklu görüntü	Havadan, uydu, askeri	Görüntü	2009	Hexagon Geospatial	Bilinmiyor		
PHOTOMOD Lite	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Hayır, 40 görüntü only	Havadan, uydu, askeri	Görüntü	2009	Racurs	Ücretsiz	Hayır	Evet
Hypr3D (Cubify Capture)	Bilinmiyor	Web-tabanlı	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü		Görüntü, video	2010	Viztu Teknolojileri	Ücretsiz		
My3DScanner	Bilinmiyor	Web-tabanlı	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü	2010	My3DScanner	Ücretsiz		
PhotoScan	Bilinmiyor	Linux, OS X, Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, askeri	Görüntü	2010	Agisoft	$179–3,499 Eğitim $59–549, Sınırlı Versiyon $0		Evet 30 gün tam sürüm deneme
PHOV	Bilinmiyor	Web-tabanlı	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü	2010	XLAB	Ücretsiz		
StereoScan	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Kendi başına	Evet	Hayır, 2 görüntü		Görüntü	2010	Agisoft	Ücretsiz		
TcpStereo	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Hayır	Evet, çoklu görüntü	Havadan	Görüntü	2010	Aplitop	Bilinmiyor		
VI3DIM	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, video	Yakın mesafe	Video	2010	Vi3Dim	$20–395		
123D Catch	Şahsi Kullanım	Android, iOS, Microsoft Windows, Web-tabanlı	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü	2011	Autodesk	Ücretsiz		
DroneMapper	Şahsi Kullanım	Web-tabanlı, Desktop	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, meyilli, askeri	Görüntü	2011	DroneMapper	Ücretsiz	Evet	Evet
Pix4Dmapper Discovery	Bilinmiyor	Microsoft Windows, Web-tabanlı	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, yakın mesafe, askeri	Görüntü	2011	Pix4D SA	Ücretsiz		
Pix4Dmapper Pro	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows, cloud computing, OS X, Linux	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, yakın mesafe, askeri	Görüntü, video	2011	Pix4D SA	Aylık ve yıllık aboneliğe göre değişken	Evet	Evet 15 gün deneme
Pix4Dmodel	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows, MacOS, Cloud	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, yakın mesafe, askeri	Görüntü	2011	Pix4D SA	Satın alım ve aboneliğe göre değişken		
CONTEXTCAPTURE	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, yakın mesafe, askeri	Görüntü, video	2011	BENTLEY SYSTEMS	$3,750		

Yazılım	Lisans	Platform	Kendi başına / Plugin	Otomatik modelleme	Ölçeklenirlik	Fotogrametri tipi	Veri girişi	Çıkış tarihi	Yayıncı firma	Ücreti	Çevirimiçi hizmet	Ücretsiz kullanım / denem süresi
VideoTrace	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Tethered Beta	Hayır	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü, video	2011	Australian Center for Visual Technologies(AVCT), PunchCard	Beta Sürüm		
Yodel	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Kendi başına	Sınırlı	Evet, çoklu görüntü		Görüntü	2011	Lidar Pacific Corporation	$499		
3Dsurvey	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, askeri	Görüntü	2012	Modri Planet	Pro €3,000 Eğitimci €300 Öğrenci €0		
4e Software	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü	2012	4e Software	$1,000		
DatuSurvey	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe, askeri	Görüntü	2012	Datumate	Aylık ve yıllık aboneliğe göre değişken	Evet	Evet, ücretsiz deneme sürümü
DataMapper	Şahsi Kullanım	Web-tabanlı	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Askeri	Görüntü	2012	DataMapper	Ücretsiz	Evet	Evet
Mementify	Bilinmiyor	iOS	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü		Görüntü	2012	Tretja dimenzija, XLAB	Ücretsiz		
metigo 3D	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows	Kendi başına	Hayır	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü, lazer tarama	2012	fokus GmbH Leipzig	Bilinmiyor		
RapidStation	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, askeri	Görüntü	2012	PIEneering Ltd.	Bilinmiyor		
ReCap 360	Bilinmiyor	Web-tabanlı		Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe, askeri	Görüntü, lazer tarama	2012	Autodesk	Yıllık abonelik $300	Evet	Evet
Trimble Business Center	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Askeri	Görüntü	2012	Trimble NV	Bilinmiyor		
WebDLT	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Kendi başına	Hayır	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü	2012	B. Molnar, BME FMT	Ücretsiz		
3DF Zephyr	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe, askeri	Görüntü, video	2013	3DFLOW	US$149-US$4,200		
DroneDeploy	Şahsi Kullanım	Web-tabanlı	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Askeri	Görüntü	2013	DroneDeploy	Ücretsiz	Evet	Evet
Skycatch	Bilinmiyor	Web-tabanlı	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Askeri	Görüntü	2013	Skycatch	Bilinmiyor	Evet	Evet 30 gün deneme

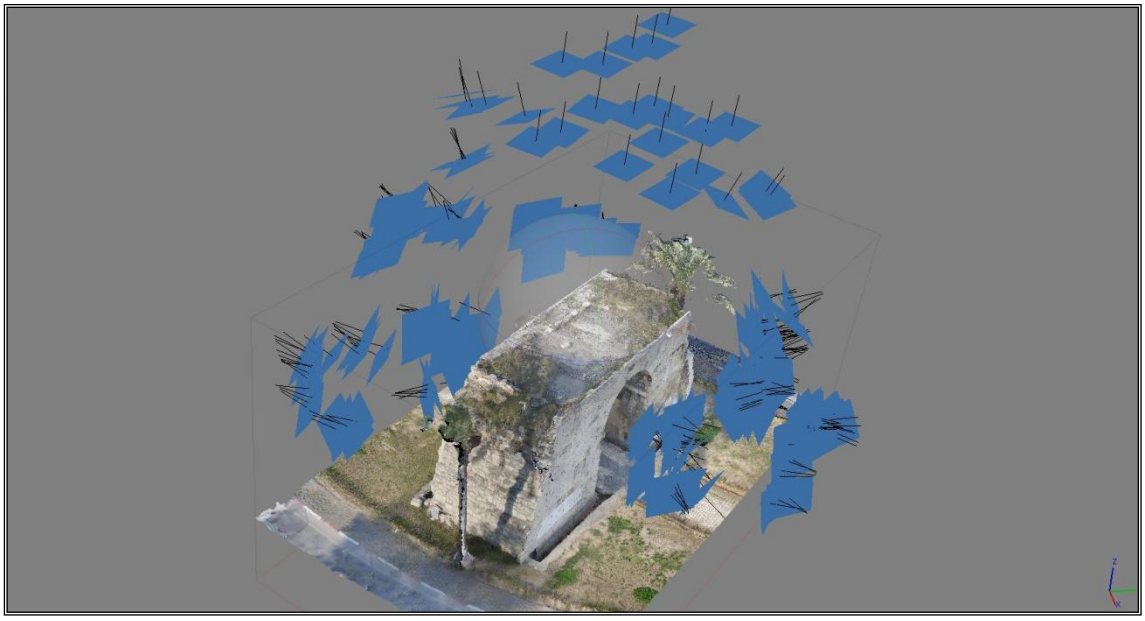
Yazılım	Lisans	Platform	Kendi başına / Plugin	Otomatik modelleme	Ölçeklenirlik	Fotogrametri tipi	Veri girişi	Çıkış tarihi	Yayıncı firma	Ücreti	Çevirimiçi hizmet	Ücretsiz kullanım / denem süresi
SURE	Bilinmiyor	Microsoft Windows, Linux	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, yakın mesafe, askeri	Görüntü	2013	nFrames GmbH	Bilinmiyor		
askeriMaster	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Askeri	Görüntü	2013	Trimble	Bilinmiyor		
RealityCapture	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, yakın mesafe, askeri	Görüntü, lazer tarama	2014	Capturing Reality	€99-15000		
REDcatch	Bilinmiyor	Web-tabanlı		Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe, askeri	Görüntü	2014	REDcatch			
UnlimitedHavadan	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Hayır	Evet, çoklu görüntü	Havadan, askeri	Görüntü	2014	Holistic Imaging	Bilinmiyor		
Altizure	Şahsi Kullanım	Web-tabanlı	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe, havadan, askeri	Görüntü	2015	Everest Innovation Teknoloji	US$59 / 416 4K Görüntü	Evet	Evet, ücretsiz kota kullanımı
Autodesk Remake	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü	2015	Autodesk	Bilinmiyor		
COLMAP	GNU GPL v3	Microsoft Windows, Linux, OS X	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Havadan, yakın mesafe, askeri	Görüntü	2015	Johannes L. Schönberger	Ücretsiz		
openMVG	Mozilla Açık Kaynak Versiyon 2.0	Linux, OS X, Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü		Görüntü	2015	Pierre Moulon	Ücretsiz		
openMVS	GNU AFFERO Açık Kaynak Versiyon 3.0	Linux, OS X, Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü		Görüntü	2015	CDC Seacave	Ücretsiz		
PHOTOMOD askeri	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Askeri	Görüntü	2015	Racurs	$4900	Hayır	Evet
PhotoModeler askeri	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe, askeri	Görüntü	2016	Eos Systems - PhotoModeler	$3,495		
3D VIA	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Kendi başına	Hayır	Evet	Yakın mesafe	Görüntü	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Bilinmiyor		
3dsom	Bilinmiyor	Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü, lazer tarama	Bilinmiyor	CDSL	Bilinmiyor		
Ames Stereo Pipeline	Apache 2	Linux, OS X	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Uydu	Görüntü	Bilinmiyor	NASA	Ücretsiz		
Match Photo	Bilinmiyor	SketchUp ile beraber çalışmakta	Plugin / (SketchUp)	Hayır	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü	Bilinmiyor	Trimble Navigation	Bilinmiyor		
PhotoSculpt	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Kendi başına	Evet	Hayır, 2 görüntü	Yakın mesafe	Görüntü	Bilinmiyor	Hippolyte Mounier	$99		

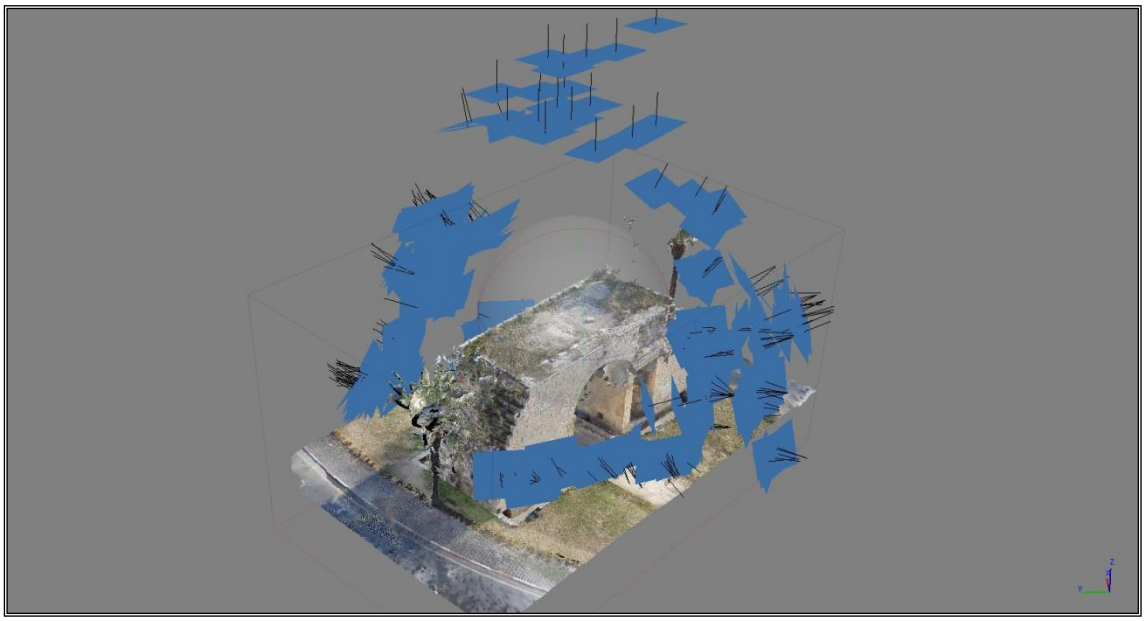
Yazılım	Lisans	Platform	Kendi başına / Plugin	Otomatik modelleme	Ölçeklenirlik	Fotogrametri tipi	Veri girişi	Çıkış tarihi	Yayıncı firma	Ücreti	Çevirimiçi hizmet	Ücretsiz kullanım / denem süresi
PhotoSketch	Şahsi Kullanım	OS X, Microsoft Windows	Plugin (SketchUp)	Bilinmiyor	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü	Bilinmiyor	Brainstorm Teknoloji LLC	$100		
PixProcessing	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe, askeri	Görüntü	Bilinmiyor	PixProcessing	Bilinmiyor		
Python Photogrammetry Toolbox	Bilinmiyor	Linux, OS X, Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü		Görüntü	Bilinmiyor	Arc-Team	Ücretsiz		
RhinoPhoto	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Plugin (Rhino)	Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü	Bilinmiyor	Qualup SAS	$1,100		
Metrology Engine	Bilinmiyor	Web-tabanlı	Kendi başına	Hayır	Hayır, 2 görüntü		Görüntü	Bilinmiyor	VisualSize	Ücretsiz		
VisualSFM	Bilinmiyor	Linux, OS X, Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü	Bilinmiyor	Changchang Wu	Ücretsiz		
OpenDroneMap	GPL v3	Linux, OS X, Microsoft Windows	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Askeri	Görüntü			Ücretsiz		
Paracosm		Web-tabanlı	Kendi başına	Evet	Evet, çoklu görüntü	Yakın mesafe	Görüntü		Paracosm			
SOCET SET	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows	Kendi başına	Hayır	Evet, çoklu görüntü	Havadan, yakın mesafe, uydu	Görüntü		BAE Systems	Bilinmiyor		
Summit askeri	Şahsi Kullanım	Microsoft Windows	Kendi başına	Hayır	Evet, çoklu görüntü	Askeri	Görüntü		DAT/EM	Bilinmiyor		

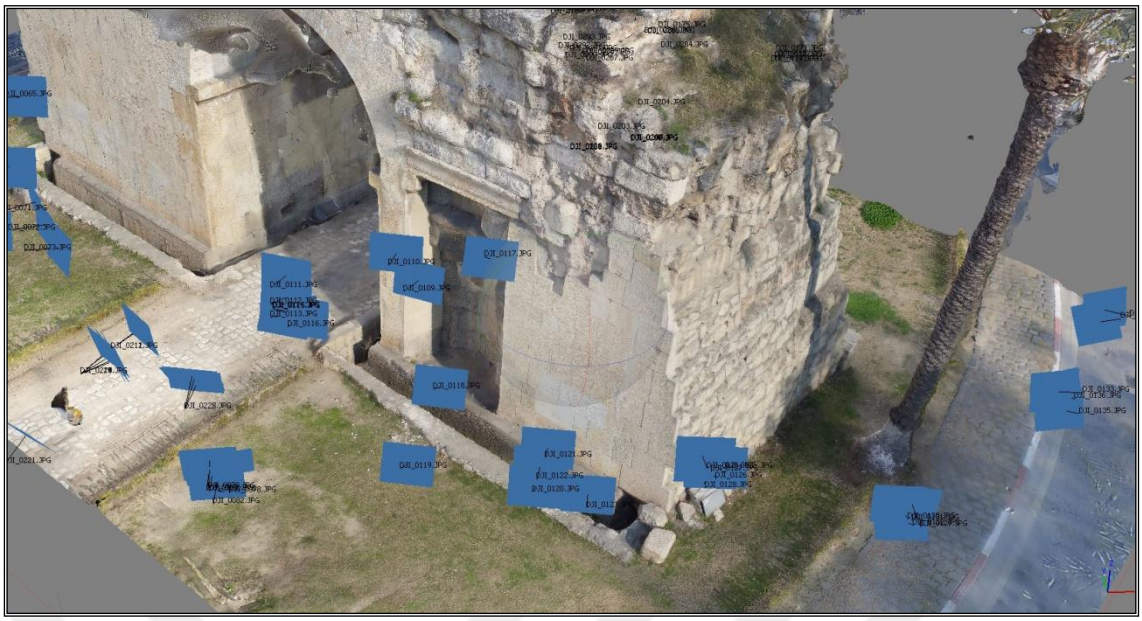
[1] Wikipedia.com üzerinden comparison of photogrammetry software başlığından yararlanılmıştır.

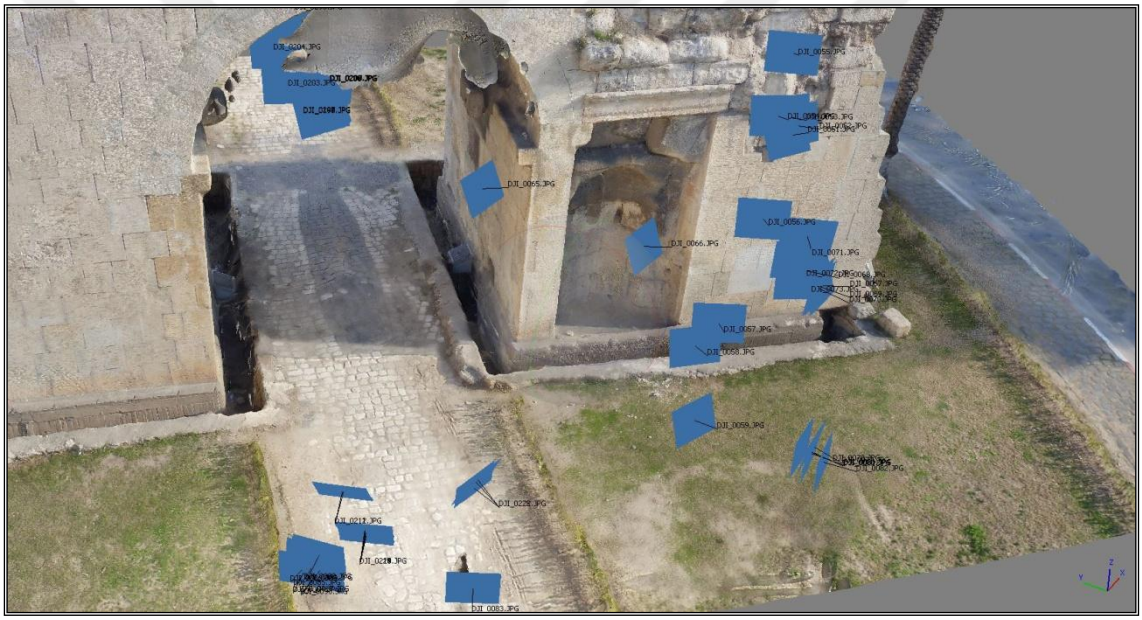
EK-B

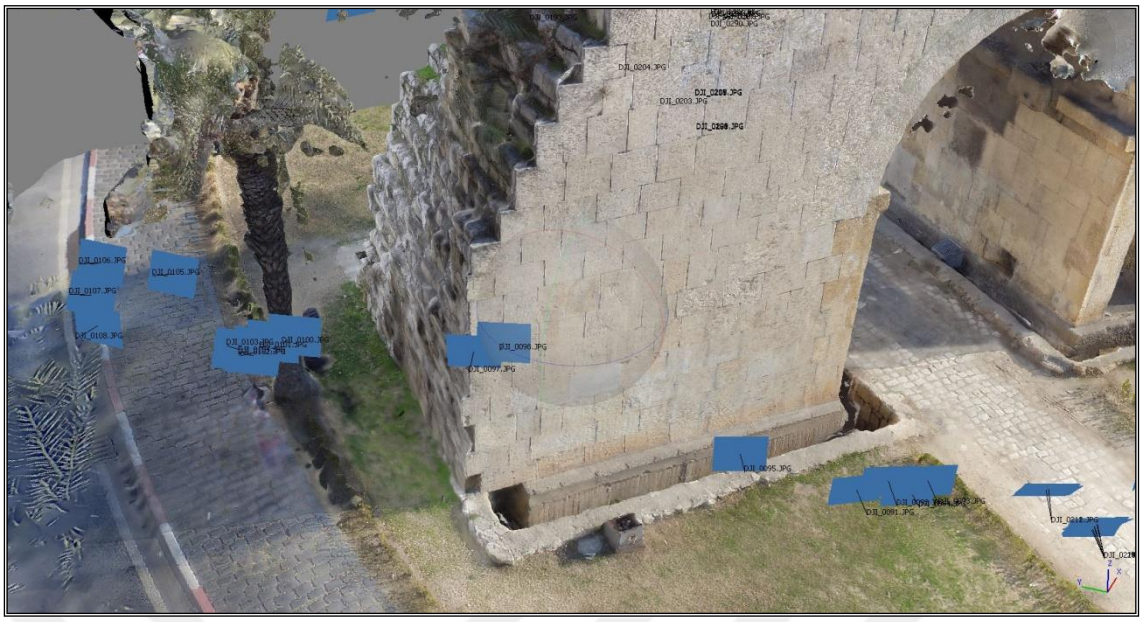
KLEOPATRA KAPISI FOTOĞRAFLARININ ÇEKİM KONUMLARI

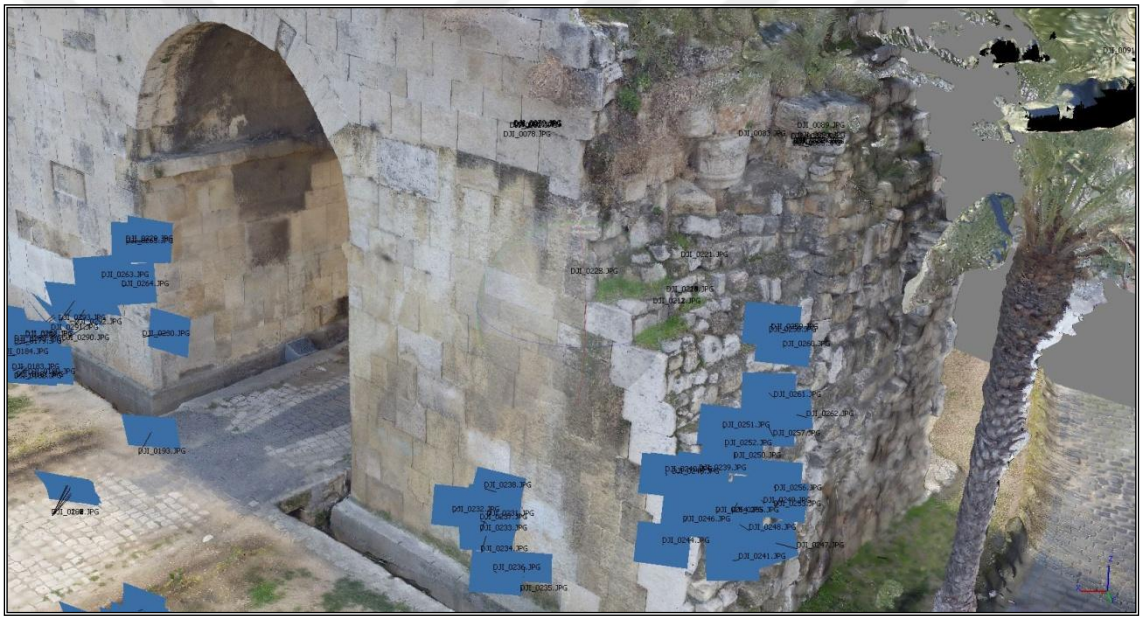


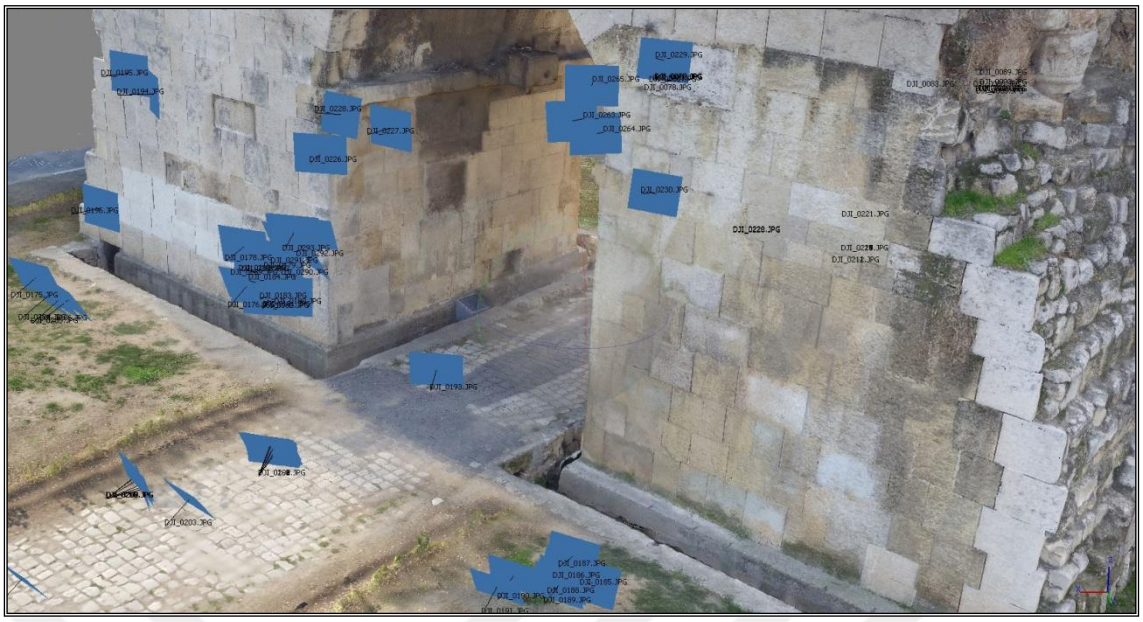


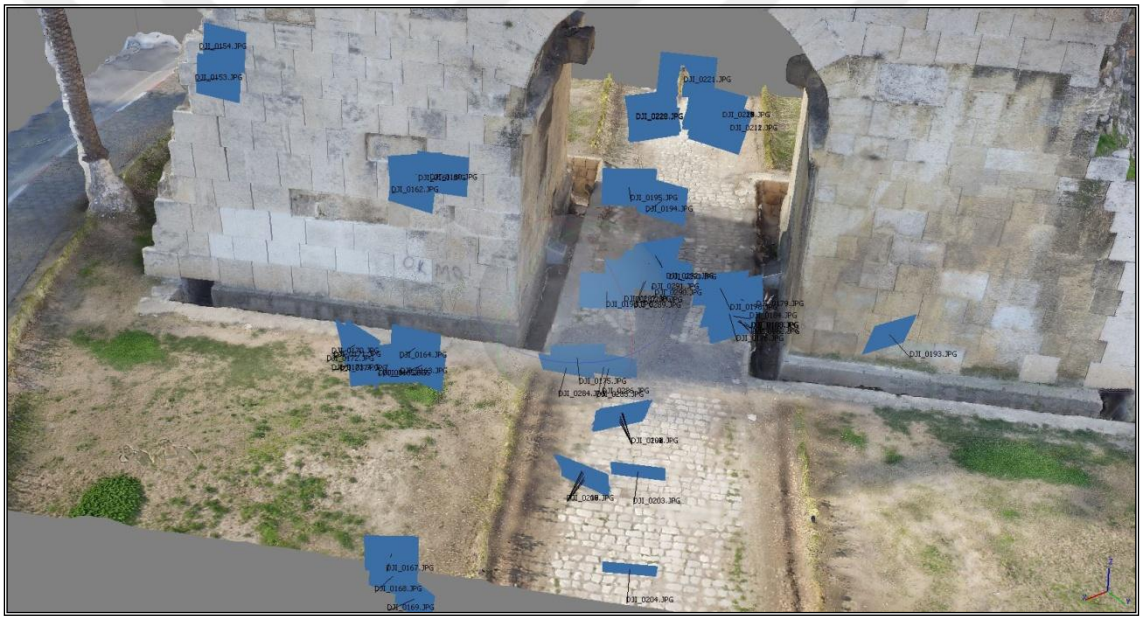
















ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ozan ŞAHİN

Doğum Tarihi ve Yeri : 04.09.1990 Kayseri

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : mimarozansahin@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Mimarlık	Yıldız Teknik Üniversitesi	2013
Lise	Sayısal	Sami Yangın Anadolu Lisesi	2008

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2013-Aktif	Sabri Paşayiğit Architects	Proje Lideri
2012-2013	Proxy Projects	Mimar

YAYINLARI

Bildiri

1. Şahin O., Tong T., Uzunel Ö., (2017). Internatıonal Conference On Conservatıon Of Architectural Heritage And Urban History Architectural Heritage '17, 3D Reconstruction From Multıple Images Case of Cleopatra’s Gate, İstanbul.

ÖDÜLLERİ

1. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Etkinlik Alanı Tasarımı Ulusal Öğrenci Yarışması (2. Ödül)
2. Akçansa Betonik Fikirler Öğrenci Yarışması (Finalist)
3. Adana Sucuzade Mahallesi Ulusal Kentsel Dönüşüm Yarışması (Mansiyon)
4. Nef Bahçelievler Mixed Use Project International Invited Competition (1. Ödül)
5. Oman Office International Invited Competition (1. Ödül)