



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN  
ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**GÖRÜNTÜLERDEN 3 BOYUTLU YÜZEY  
OLUŞTURULMASI YÖNTEMLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Yağmur DARICI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Ekim-2021  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır**

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## GÖRÜNTÜLERDEN 3 BOYUTLU YÜZEY OLUŞTURULMASI YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Yağmur DARICI

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Abdullah VARLIK

2021, 96 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Murat UYSAL  
Dr. Öğr. Üyesi Abdullah VARLIK  
Doç. Dr. Hüseyin Zahit SELVİ

Teknolojik gelişmelerin en başında gelen fotogrametri disiplininin yöneldiği yeni bir alan olan 3 boyutlu yüzey oluşturma yöntemleri, insanların bilgisayarlı görü sistemleri içerisinde yer alan iki boyutlu nesnelere algılamakta zorlanması sonucu ihtiyaç olarak ortaya çıkmıştır. Kişiler yeterli bilgi ve tecrübeye sahip olsalar dahi, bir yüzeyi üç boyutlu algılaması neredeyse imkansızdır. Bu nedenle 3 boyutlu yüzey oluşturmak için çok sayıda yöntem geliştirilmiş ve kullanılmıştır.

Bu tez çalışması farklı disiplinler arasında sürekli araştırılan 3 boyutlu yüzey oluşturma tekniklerinin detaylandırılmasının yanı sıra oluşturulan yüzey modellerinin gerçeğe uygunluğunun araştırılması ve model detaylarının doğruluğunun incelenmesini konu almaktadır.

3B yüzey modeli oluşturma teknikleri aktif ve pasif sistemler olarak ikiye ayrılır. Bu çalışmada pasif sistemler içerisinde yer alan tek görüntüden şekil ve hareketten nesne oluşturma yöntemleri ile ilgili uygulamalar yapılmış, Matlab yazılımı kullanılarak üretilen modellerin karşılaştırılmasına yer verilmiştir. Tüm bunların ışığında tek görüntüden nesne oluşturma yöntemi yansıma özellikleri kullandığından değişkendir, SFM için kullanılan iki görüntü sayısı yetersizdir ve bu doğrultuda çalışmalara devam edilmelidir.

**Anahtar Kelimeler:** 3B, Gölgeden Şekil, SFM, Tek Resimden Şekil.

**ABSTRACT**

**MS THESIS**

**EXAMINATION OF METHODS 3D SURFACE RECONSTRUCTION FROM  
2D IMAGES**

**Yağmur DARICI**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN GEOMATIC ENGINEERING**

**Advisor: Asist. Prof. Dr. Abdullah Varlık**

**2021, 96 Pages**

**Jury**

**Assoc. Prof. Murat UYSAL**

**Asist. Prof. Dr. Abdullah VARLIK**

**Assoc. Prof. Hüseyin Zahit SELVİ**

The discipline of photogrammetry is at the forefront of technological developments directed towards a new field called 3D surface creating procedures and that field emerged as a result of people having difficulty understanding two-dimensional objects in computer vision systems. Even for the persons who have enough experience, it's almost impossible to perceive a surface as three-dimensional. That's why to create 3-dimensional surfaces a lot of methods have been developed and used.

This thesis work is about detailing the continuously researched interdisciplinary 3-dimensional surface creation techniques and besides that checking and researching the accuracy of the created surfaces and model details.

3-dimensional model creation techniques are divided into active and passive systems. In this work, applications have been made that relating to the techniques to create a shape from single images and objects from motion, and by using Matlab software those created models compared. In the light of all the facts mentioned above the creating shape from single images technique is show differences because of its reflexivity and using two images for SFM is inadequate so working in this direction should be continued.

**Keywords:** 3D, SFM, Shape from Shading, Shape from Single Images.

## ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim boyunca bilgisinden ve tecrübesinden faydalandığım, çalışmalarında yer almaktan onur duyduğum, tez çalışma konumun belirlenmesinde yardımlarını esirgemeyen, her konuda rehberlik eden sevgili hocam Dr. Öğr. Üyesi Abdullah Varlık'a teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca her konuda desteklerini hep hissettiğim, gayretimi hırsla harmanlamama sebep olan canım aileme sonsuz teşekkür ederim.

Her tökezlediğimde "Sen bunun da üstesinden gelirsin, yaparsın, az daha gayret." sözleriyle elimden tutan tüm arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Yağmur DARICI  
KONYA-2021

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER</b> .....	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>3</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>10</b>
3.1. Görüntülerden 3 Boyutlu Yüzey Modellerinin Oluşturulması .....	10
3.2. Aktif Yöntemler .....	11
3.2.1. Lazer Tarama (Üçgenleme) .....	11
3.2.2. Time Of Flight (Lidar İnterferometri vs.) .....	13
3.2.3. Yapılandırılmış Işık (İnterferometri) .....	15
3.2.4. Aktif Stereo .....	17
3.2.5. Konoskopik Holografi .....	18
3.3. Pasif Yöntemler .....	19
3.3.1. Fotometrik Stereo .....	20
3.3.2. Tek Görüntüden Şekil (Shape From Single Images) .....	21
3.3.3. Stereodan Şekil (Shape From Stereo) .....	27
3.3.4. Gölgeden Şekil (Shape From Shading) .....	28
3.3.5. Siluetten Şekil (Shape From Silhouette).....	30
3.3.6. Fotogrametri.....	31
3.3.7. Odak/Odak Dışı Derinlik (Depth From Focus/Defocus) .....	33
3.3.8. Hareket ile Nesne Oluşturma (Sturcture From Motion) .....	34
<b>4. UYGULAMA</b> .....	<b>44</b>
4.1. Tek Görüntüden Şekil (Shape From Single Images) .....	46
4.1.1. Yersel Tek Görüntü .....	47
4.1.2. İHA Görüntüsü .....	50
4.2. Hareket İle Nesne Oluşturma (SFM) .....	52
4.2.1. Yersel Görüntü Çifti .....	53
4.2.2. İHA Görüntü Çifti .....	58
4.3. Bulgular .....	64

<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	<b>71</b>
5.1 Sonuçlar .....	71
5.2. Öneriler .....	73
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	<b>75</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>85</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Kısaltmalar

<b>2B</b>	İki Boyutlu
<b>3B</b>	Üç Boyutlu
<b>CH</b>	Konoskopik Holografi
<b>DEM</b>	Digital Elevation Model
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite Systems
<b>GPU</b>	Grafik İşlem Ünitesi
<b>IR</b>	Kızıl Ötesi
<b>ISPRS</b>	Uzaktan Algılama ve Fotogrametri Birliği
<b>İHA</b>	İnsansız Hava Aracı
<b>MC</b>	Marching Cubes
<b>LİDAR</b>	Işık Algılama ve Mesafe Ölçme
<b>RGB</b>	Blue-Green-Red
<b>RSM</b>	Rotasyonel Siluet Haritaları
<b>RTK</b>	Real Time Kinematic
<b>SAfS</b>	Yansıtılan Gölgeden Şekil
<b>ToF</b>	Time Of Flight
<b>SFM</b>	Hareket İle Nesne Oluşturma
<b>SfS</b>	Gölgeden Şekil
<b>SFS</b>	Siluetten Şekil
<b>SIFT</b>	Ölçek Değişmez Özellik Dönüşümü
<b>SYM</b>	Sayısal Yüzey Modeli
<b>YKN</b>	Yer Kontrol Noktası

## ŞEKİLLER

Şekil 3.1. 3B Yüzey Modeli Oluşturma Yöntemleri	11
Şekil 3.2. Lazer Üçgenleme Sensörünün Çalışma Prensibi	12
Şekil 3.3. ToF Kameraların Çalışma Prensibi	14
Şekil 3.4. Yapılandırılmış Işık Yönteminin Çalışma Prensibi	16
Şekil 3.5. Aktif Stereo Yönteminin Çalışma Prensibi	18
Şekil 3.6. Konoskopik Holografi Yönteminin Çalışma Prensibi	19
Şekil 3.7. Fotometrik Stereo	20
Şekil 3.8. Tek bir RGB Görüntüsünden Oluşturulan 3 Boyutlu Yüzey	21
Şekil 3.9. Gradyan Vektörü	22
Şekil 3.10. Uzamsal Görüntü Gradyanı	24
Şekil 3.11. Görüntü Gradyanı Uygulanmış Fotoğraf (Orijinal Görüntü(Sol), İşlenmiş Görüntü(Sağ))	24
Şekil 3.12. Tek Görüntüden Tahmini Yüz Albedosu	26
Şekil 3.13. Stereodan Şekil Yöntemi Çalışma Prensibi	27
Şekil 3.14. SfS ile Elde Edilmiş 3B Model	29
Şekil 3.15. SFS ile Elde Edilmiş 3B Model ve İyileştirmeleri	31
Şekil 3.16. Yersel Fotogrametride 3B Görüntünün Elde Edilmesi	32
Şekil 3.17. Çok Odaklı (Sol) ve Yakın Odaklı (Sağ) Elde Edilen Görüntü	33
Şekil 3.18. 3B Yüzey Modeli (Sol) ve Gri Değerle Oluşturulmuş Tahmini Yüzey Görüntüsü (Sağ)	34
Şekil 3.19. SFM Yöntemi Çalışma Prensibi	35
Şekil 3.20. SFM Değerlendirme Aşamaları	37
Şekil 3.21. Düzensizlik Haritası	38
Şekil 3.22. Düzensizlik Haritası (Sol) ve Derinlik Haritası (Sağ)	39
Şekil 3.23. İlinti Noktaları	40
Şekil 3.24. SGM için Uygun Konumun Bulunmasında Yararlanılan 8 Arama Yönü	42
Şekil 3.25. SGM Örneği	43
Şekil 4.1. DJ Phantom IV İHA	44
Şekil 4.2. Yersel Olarak Elde Edilen Atlas Titan Biblosu	46
Şekil 4.3. Renkli Yersel Fotoğraf (Sol) ve Gri Değer Aralıklı Yersel Fotoğraf (Sağ)	47
Şekil 4.4. Tek Resimle Üretilen 3B Model	48
Şekil 4.5. Tek Resimle Üretilen 3B Modelin Yersel Görüntüsüyle Aynı Düzlemdeki Görseli	49
Şekil 4.6. Tek Resimle Üretilen 3B Modelin Kesiti	49
Şekil 4.7. Renkli İHA Fotoğrafı (Sol) ve Gri Değer Aralıklı İHA Fotoğrafı (Sağ)	50
Şekil 4.8. Tek Resimle Üretilen 3B Model	51
Şekil 4.9. Tek Resimle Üretilen 3B Modelin İHA Fotoğrafıyla Aynı Düzlemdeki Görseli	51
Şekil 4.10. Tek Resimle Üretilen 3B Modelin Kesiti (İHA Fotoğrafı)	52
Şekil 4.11. Yersel fotoğraflar (Sol ve Sağ Görüntü)	53

<b>Şekil 4.12.</b> Birleştirilmiş Yersel Görüntü Çifti	<b>54</b>
<b>Şekil 4.13.</b> Yersel Görüntü Çiftinden Sol ve Sağ Görüntüdeki İlinti Noktalarının Çıkartılması	<b>55</b>
<b>Şekil 4.14.</b> Yersel fotoğraflarda Sol ve Sağ Görüntüdeki Eşleşen Muhtemel Noktalar	<b>56</b>
<b>Şekil 4.15.</b> Düzeltilmiş (Rektife Edilmiş) Modeller (Sol ve Sağ)	<b>57</b>
<b>Şekil 4.16.</b> Düzensizlik Haritası ve SGM (Yersel Görüntü Modeli)	<b>58</b>
<b>Şekil 4.17.</b> İHA Görüntü Çifti (Sol ve Sağ Görüntü)	<b>59</b>
<b>Şekil 4.18.</b> Birleştirilmiş İHA Görüntü Çifti	<b>59</b>
<b>Şekil 4.19.</b> İHA Görüntü Çiftinden Sol ve Sağ Görüntüdeki İlinti Noktalarının Çıkartılması	<b>61</b>
<b>Şekil 4.20.</b> İHA Fotoğraflarında Sol ve Sağ Görüntüdeki Eşleşen Muhtemel Noktalar	<b>62</b>
<b>Şekil 4.21.</b> Düzeltilmiş (Rektife Edilmiş) Modeller (Sol ve Sağ)	<b>63</b>
<b>Şekil 4.22.</b> Düzensizlik Haritası ve SGM (İHA Görüntü Modeli)	<b>64</b>
<b>Şekil 4.23.</b> Yersel Görüntü Çifti Seyrek Nokta Bulutu	<b>65</b>
<b>Şekil 4.24.</b> İHA Görüntü Çifti Seyrek Nokta Bulutu	<b>66</b>
<b>Şekil 4.25.</b> Yersel Görüntü Çifti Yoğun Nokta Bulutu	<b>66</b>
<b>Şekil 4.26.</b> İHA Görüntü Çifti Nokta Bulutu	<b>67</b>
<b>Şekil 4.27.</b> Rektife Edilmiş Yersel Görüntü Çifti	<b>67</b>
<b>Şekil 4.28.</b> Rektife Edilmiş İHA Görüntü Çifti	<b>68</b>
<b>Şekil 4.29.</b> Yersel Görüntü Çiftinden Oluşturulmuş SYM	<b>68</b>
<b>Şekil 4.30.</b> İHA Görüntü Çiftinden Oluşturulmuş SYM	<b>69</b>
<b>Şekil 4.31.</b> Yersel Görüntü Çiftinden Oluşturulmuş 3B Katı Model	<b>69</b>
<b>Şekil 4.32.</b> İHA Görüntü Çiftinden Oluşturulmuş 3B Katı Model	<b>70</b>

## 1. GİRİŞ

Gelişen teknolojinin beraberinde getirdiği ve gün geçtikçe çalışmalarda kendine yer bulan görüntüleme cihazları; dünya yüzeyinin haritalanması ve fotoğraflanması için çeşitli alternatifler sunmaktadır. Geçmiş senelerle kıyaslandığında doğru sonuç vermesi ve sürekli güncellenmesi popülerliğini de hızla arttırmaktadır. Bu gelişmeler ışığında insanlarda da bu teknolojinin en iyisini ve en kalitelisini kullanabilme arzusu oluşmaktadır. Bir nesne ya da objeyi üç boyutlu temsil edebilmek için kullanılacak verilerin yüksek çözünürlüğe sahip ve güncel olması oldukça önemlidir. Sonuç ürün için kullanılması planlanan görüntülerin ekonomik olarak elde edilmesi, elde edilecek ürünün de detaylı ve yüksek doğrulukta olması da oldukça önem arz etmektedir. Tüm bu beklentilerin karşılanması için farklı yöntemler geliştirilmiştir (Erdönmez, 2018).

Fotogrametri bu yöntemlerden biridir. Bu yöntem özel kameralar aracılığıyla farklı konumlardan çekilen fotoğrafların çeşitli yöntemlerle değerlendirilmesi sonucunda yeryüzü hakkında bilgi edinmeyi sağlar. Bu fotoğraflarla yeryüzü daha anlaşılır hale gelir. Fotogrametrinin özellikleri göz önünde bulundurulduğunda olumlu ve olumsuz özelliklere sahiptir. Bu yöntemle toplanan veriler, üretilen haritalar hatta üç boyutlu modeller yüksek doğruluğa sahip olmasına karşın yapılan işlemlerin süresi uzun ve maliyeti yüksektir (Seydanlıoğlu, 2017).

Genel olarak iki boyutlu görüntüleri üç boyutlu modellere dönüştürmek için birden çok sebep olabilir. Gerçek dünyadaki nesnelere değerlendirirken iki boyutlu görüntülerden bu nesnelere anlamaya çalışmak oldukça güç ve zordur. Bu noktada, üç boyutlu modeller oluşturmak için çeşitli algoritmalar geliştirilmiş ve algoritmaların çözümlenmesi sonucunda oluşturulan üç boyutlu modellerin doğruluğu, maliyeti, zaman tasarrufu sağlanması ve çıktı modelinin detaylı olması gibi unsurlar önem kazanmıştır (Isawi, 2016).

Çok farklı disiplinler tarafından üzerinde çalışılan üç boyutlu yüzey modeli oluşturma, bu çalışmalarında sonucu olarak çeşitli teknik ve yöntemlerin gelişmesini sağlamıştır. Üç boyutlu yüzey modeli oluşturma yöntemlerini, pasif ve aktif yöntemler olarak iki başlık altında toplayabiliriz. Pasif yöntemlerde yalnızca objeye ait renkli görüntüler kullanılarak üç boyutlu modeller oluşturulmaktadır. Aktif yöntemlerde ise, obje üzerine yansıtılan ek bir kaynak sayesinde elde edilen görüntülerden derinlik bilgisi çıkarılabilir (Karkınlı, 2011).

Üç boyutlu yüzey oluşturulması yöntemlerinde, modellenecek obje ya da yüzeyin görüntüleneceği ortam ve koşullar, yöntem seçiminde, yöntemin başarılı olmasında en önemli koşuldur. Algoritmaların çözümlenmesi, kullanılacak yazılım bu koşullara bağlı olarak çalışmanın planlama aşamasında belirlenmelidir (Yıldırım ve ark., 2006).

Tek görüntüden şekil yöntemi, diğer modelleme yöntemleri gibi doğrudan modeli tahmin etmeye çalışır ve bu tek bir görüntü üzerinden derinlik bilgisi elde eder. Görüntü sayısı bir tane olduğu için çok sayıda farklı nesne ya da yüzeyin modeli üretilebilme olanağına sahiptir. Bu nedenle zorlu çözüm gerektiren büyük algoritmalara ihtiyaç duyması dezavantajlarından sayılabilir (Godard ve ark., 2017).

3B model üretimi için yapılan araştırmalarda SFM yöntemi kolay anlaşılır, zaman açısından hızlı olma ve mevcut görüntülerle çalışma imkânı sağlama, bunun yanı sıra ucuz bir yöntem olma gibi özellikleriyle dikkat çekicidir. Model yüzeyi oluşturma yöntemleriyle karşılaştırıldığında detaylı ve yüksek kaliteli modeller oluşturmasıyla yaygın olarak kullanmaya başlanmıştır (Seydanlıoğlu, 2017). SFM'nin olanakları araştırıldığında, yapılan çalışmalarla sınırsız alanda kaliteli sonuçlar verdiği görülmektedir (Westoby ve ark., 2012).

Bu tez çalışmasının amacı; gelişen teknolojinin beraberinde getirdiği 3B yüzey oluşturma yöntemlerinin kullanım alanları hakkında bilgiler vererek oluşturulan modellerin mevcut objeyle kıyaslanmasını kapsamaktadır. Tüm bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmektedir. Sadece görüntüler kullanılarak yüzey modeli oluşturma işlemi düşünüldüğünde diğer yöntemlerden ayrılan yorumlamaya dayalı tek resimden şekil yöntemi ve görüntülerden doğru, güvenilir sonuçlar elde etmeye dayanan hareketten nesne oluşturma yöntemleriyle ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

Tez çalışmasının 2. bölümünde literatürde 3B yüzey oluşturma yöntemleriyle ilgili çalışmalara yer verilmiştir. 3. bölümde 3B yüzey oluşturma yöntemleri için kullanılan materyal ve yöntemler detaylandırılarak anlatılmıştır. 4. bölümde tek görüntüden şekil ve hareketten nesne oluşturma ile ilgili yapılan çalışmalara yer verilmiş, son bölümde ise uygulama sonuçlarından bahsedilerek önerilerde bulunulmuştur.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Vouzounaras ve ark. (2010) çalışmalarında, tek bir RGB görüntüsünden üç boyutlu bir model üretmek için geometrik yapılar üzerine dayanan ortogonal bir algoritma geliştirmişlerdir. Görüntüsü alınan duvar vb. yüzeyler kullanılarak binanın bütünü yeniden yapılandırılmıştır. Ancak bu geliştirilen algoritma çok büyük nesnelere üzerinde etkili olamamıştır.

Movafeghi ve ark. (2015) çalışmalarında, İran'a ait Lorestan eyaletinde bulunan yaklaşık 3500 yıllık zarar görmüş bir pirinç tepsinin eski tasarımının elde edilmesi için radyografi ve gölgeden şekil çıkarma (SFS) yöntemini kullanmışlar ve radyografik görüntüsü üzerine uygulanan SFS yönteminin sanat eserlerinin tasarımında kullanılabilirliğini bildirmişlerdir.

Fanello ve ark. (2016) çalışmalarında, yapılandırılmış ışık sensörleri ile derinlik bilgisini öğrenmek için HyperDepth (karar ağaçları) algoritmasına benzer yeni bir algoritma geliştirmişlerdir, kızıl ötesi (IR) görüntüsü üzerinde bir referans noktası (c) tahmin eden algoritma çalıştırılmış, sınıflara ayrılan görüntü ile gerçek görüntü ayrıştırılmıştır. Parçalanmış bir kâğıt bardak, hızlı hareket eden bir el ve raket üzerinde sektirilen bir pinpon topu üzerinde yapılan uygulamalarda geliştirilen algoritmanın kullanılabilirliği ortaya konulmuş, diğer derinlik teknolojileriyle karşılaştırıldığında doğruluğunun daha yüksek olduğu bildirilmiştir.

Jensen ve Mathews (2016) çalışmalarında, Edwards platosunun 15 hektar büyüklüğündeki bir bölümünde SFM ile elde edilen görüntüleri kullanmışlardır. Görüntülerin üst üste bindirilerek kesiştirilmesini sağlamak ve çalışma alanında yeterli kapsamanın sağlanması için bölgeye ait 1166 görüntü elde edilmiştir. Bu görüntülerden nokta bulutu üretimi Agisoft PhotoScan yazılımı ile otomatik olarak yapılmıştır. Agisoft PhotoScan yazılımı ile üretilen nokta bulutları koordinatsız ve ölçeksiz olduğundan nokta bulutunun koordinatları bilinen YKN'ları yardımı ile manuel olarak coğrafi referanslandırılması gerçekleştirilmiştir. Aynı çalışmada, SFM ve LiDAR verisinden SYM üretmek amacı ile doğal komşuluk kullanılmış ve üretilen modeller karşılaştırılmıştır. LiDAR verisinden elde edilen noktalar çalışma bölgesine eşit olarak dağılım gösterirken SFM veri setindeki noktalar ise yüksek yoğunlukta kümelenmiş olup çalışma bölgesinin büyük bir bölümünde bulunmamaktadır. Nokta yüksekliklerinin tahmininde SFM verilerinin, LiDAR verilerine göre iki kat daha fazla hata içerdiği tespit edilmiştir. Model tahminleri arasındaki farklar ile LiDAR ve SFM verileri

arasında hesaplanan hatalar ise çok küçük tespit edilmiştir. SFM ile elde edilen nokta bulutu verisinin bitki örtüsü olan bazı bölgelerde yüksek doğrulukla SYM üretiminde kullanılabilceği, kapalı sığınak bölgelerinde ise çok iyi sonuç vermediği bildirilmiştir.

Dubbini ve ark. (2016) çalışmalarında, İHA kullanarak elde edilen görüntüleri SFM algoritması ile değerlendirerek Roma Dönemine ait askeri kamp alanı ve yerleşimindeki arkeolojik kalıntıların sayısal yüzey modelini üretmişler ve RTK-GNSS ölçümleri aracılığıyla üretilen yüzeyi karşılaştırmışlardır.

Nawaf Isawı (2016) tez çalışmasında, tek kalibreli kamera ve aynı sahnenin sadece iki görüntüsüne dayanan bir algoritma kullanarak SFM tekniği ile iki görüntünün bileşen noktalarını tespit etmeye çalışmıştır. MATLAB ile hesaplanan deneysel sonuçlara göre birinci aşamada, yumuşak yüzeyli sahne kullanılmış, algoritmanın performansı yetersiz bulunmuştur. İkinci aşamada, daha fazla detayı olan sert yüzeyli nesnelere kullanılmış, birinci aşamaya göre algoritma sonuçları daha yüksek doğruluk gösterdiği belirlenmiştir. Üçüncü aşamada ise, ilk deneysel sahneye daha fazla detay eklenerek gerçekleştirilmiş ve sonuçların ilk deneyden daha büyük bir doğruluk oranına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Park ve ark. (2017) çalışmalarında, iki boyutlu stereo görüntülerdeki eşitsizlikleri gidererek maliyeti azaltacak yeni bir algoritma geliştirmişler, geliştirilen algoritmayı değerlendirmek için Middlebury web sitesi ve KITTI adı verilen standart veri kümelerinden yararlanmışlardır. Çalışma iç ve dış mekanlar için değerlendirilmiş, yeniden yapılandırılmış üç boyutlu görüntülerde yol gibi görüntü alımında paralel görüntülenemeyen nesnelere için başarısız olduğunu, kaldırım gibi alçak alanlarda iyi sonuçlar verebileceğini bildirmişlerdir.

Warrick ve ark. (2017) çalışmalarında, yeterli bindirme oranlarına sahip fotoğrafları kullanarak SFM tekniği ile kıyı şeritlerinin topoğrafik yapısını tespit etmişlerdir. 6 ya da daha fazla yer kontrol noktası ile SFM ve lidar verisi arasındaki karşılaştırmaların karesel ortalama hatası 30 cm'den daha az olarak belirlenmiştir. SFM tekniği, lidar tekniğine göre nokta bulutunun kapsamı, düşey ve farklı kesitlerden alınan 10-100 kata kadar daha fazla nokta yoğunluğuna sahip olmasından dolayı daha avantajlı olduğunu bildirmişlerdir.

Hu ve ark. (2017) çalışmalarında, Extended Yale B, CMU-PIE, Texas 3DFRD ve LFW olmak üzere dört farklı yüz tanıma veritabanı modeli kullanmışlardır. Üç boyutlu görüntü elde etmek için üç boyutlu tarama cihazından elde edilmeyen daha az sayıda RGB görüntüsüyle insan yüzünü tanımayı amaçlamışlardır, sonuçta üretilen

insan yüzü modelindeki kaba detayların küresel şekil için bilgi kaynağı olabileceğini ve bazı bireysel detayların yakalanabileceğini bildirilmişlerdir. Ancak yeniden yapılandırma doğruluğu için gölgelendirme ve yüz şekillerinin dahil edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Önal ve ark. (2017) çalışmalarında, İzmir’de bulunan Roma Dönemine ait hamam yapısının SFM tekniği ile 3B modellemesini yaparak daha sonra yapılacak restorasyon çalışmalarında kullanılacak mevcut durumun belirlenmesini amaçlamışlardır. SFM tekniğinin tarihi yapıların modellemesinde kullanımına ilişkin çıkarımlarda bulunmuşlardır.

Tercan (2017) çalışmasında, GNSS-IMU destekli bir İHA ve SFM algoritmasını kullanarak 700 metrelik karayolu koridorunun 4,9 cm mekânsal çözünürlüklü ortofoto görüntüsü ve nokta bulutunu elde etmiştir. Elde edilen nokta bulutuna cloth simulation filtering ve gaussian filtreleme yöntemleri uygulandıktan sonra test karayolu koridorunun sayısal arazi modeli oluşturulmuştur. İHA sistemlerinin fotogrametrik ölçümlere engel bir detay içermeyen düz arazi yapılı karayolu koridorlarında ortofoto görüntü ve sayısal arazi modeli üretiminde oldukça etkili olduğu bildirilmiştir.

Tercan (2017) bir başka çalışmasında, GNSS-IMU ve otopilot destekli İHA kullanılarak antik kent ve kervan yolunun 80 metre uçuş yüksekliğinde bindirmeli olarak elde ettiği görüntülerden, SFM algoritması ile işlenmiş, sit alanının 2.1 cm mekânsal çözünürlüklü ortofoto görüntüsü ve 8.4 cm çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli üretilmiştir. Sonuçlardan, antik kentler ve kervan yollarının belgelenmesinde, İHA fotogrametri sistemlerinin detaylı ve hassas 3B veri elde etmek için uygun bir yöntem olduğu bildirilmiştir.

Phothong ve ark. (2017) çalışmalarında, siluetten şekil çıkarma (SFS) algoritmasını kullanarak üçgen model oluşturmuş, oktree yapımı ve ızgaralama yöntemi (MC- marching cubes method) yöntemiyle karşılaştırmıştır. 6 obje üzerinde yapılan bu karşılaştırmada SFS algoritması ile oluşturulan üçgen modellerin daha doğru ve hızlı olduğu ortaya konulmuş ve oluşturulan üçgenlerin yüzey kalitesinin yeteri kadar iyi olmadığı gözlemlenmiştir, e-ticaret uygulamalarında kullanılması için görsel olarak doku haritalama tekniğinin geliştirilebileceği bildirilmiştir.

Polat (2018) tez çalışmasında, lidar sistemi ve İHA ile elde edilmiş hava fotoğraflarından SFM tekniği ile üretilen nokta bulutu verilerini kullanarak 4 farklı alanda bina tespiti ve bina izdüşümü alanı çıkarımı yapmıştır. Binaların yükseklikleri

sebebiyle oluşturduğu dokuların diğer objelerden farklı olduğu ve bu durumun bina tespitinde kullanılabileceği bildirilmiştir.

Gaol ve ark. (2018) çalışmalarında, SFM tabanlı bir yazılım olan Agisoft PhotoScan ile klasik fotogrametrik tabanlı bir yazılım olan Erdas Imagine yazılımlarını karşılaştırmışlardır. Photoscan ile elde edilen sonuçların Erdas ile elde edilenlere göre daha az kararlı dolayısıyla doğruluğunun daha düşük tespit edildiği bildirilmiştir.

Burns ve Delparte (2018) çalışmalarında, mercan kayalıklarının 3B rekonstrüksiyonunu ticari SFM yazılımları Agisoft Photoscan Pro ve Pix4Dmapper Pro 3.1 ile modelleyerek sonuçları karşılaştırmıştır. Agisoft yazılım paketi, üç uzamsal ölçeğin tümü için görüntülerin% 90'ından fazlasını tutarlı bir şekilde hizalarken Pix4D yazılımında uzamsal ölçek arttıkça görüntü hizalamada bir azalma görüldüğü bildirilmiştir.

Quan ve ark. (2018) çalışmalarında, rotasyonel silüet haritaları (RSM) adı verilen, silüeti kullanarak yerel şekil geometrisini geliştirmeyi amaçladıkları yeni bir özellik oluşturmuşlardır. Özelliğin üstünlüklerinin belirlenebilmesi için Visual kullanılmıştır. RSM ile mevcut 9 üç boyutlu yerel özellik tanımlayıcısı farklı kriterler kullanılarak karşılaştırılmış yapılan deneyler sonucunda RSM'in tüm kriterlerde ayırt edici, sağlam ve genel olarak daha üstün olduğu bildirilmiştir.

Quéau ve ark. (2018) çalışmalarında, gölgeden şekil çıkarma (SFS) yöntemi için sayısal bir çözüm ortaya koymuşlardır. Lagrange yöntemi kullanılarak elde edilen PDE formüllerinin grad cinsinden hesaplamalarına olanak sağlayan, 1970 lere dayanan ADMM algoritmasına bağımlı bir çözümle Matlab üzerinden yapılan çalışmalarda RGB görüntüsünden üç boyutlu modellerin hızlı bir şekilde oluşturulabileceği, harita iyileştirme ve tamamlama için kullanımının uygun olacağı bildirilmiştir.

Wang ve Yang (2018) çalışmalarında, çizgi deseni kalibrasyon ızgarasına yansıtılarak tek bir görüntü elde etmişlerdir. Görüntü işleme adımlarından sonra bilinen görüntü koordinatlarını elde etmek ve sistem parametrelerini öğrenmek için faz haritasını elde etmişler, kullanılan ızgara ile olması gereken nesne yer değiştirilerek tek bir görüntüden üç boyutlu nesne oluşturmuşlardır. Bu yaklaşımın deforme edilmiş nesnelere ve hareketli nesnelere için uygulanabileceği bildirilmiştir. Doğruluğu diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında rekabet edebilecek düzeyde olduğu gözlemlenmiştir.

Liu ve ark. (2018) çalışmalarında, ay yüzeyinin DEM verilerini üretmek için fotometrik stereo üzerine gölgeden şekil çıkarma (SfS) ve yansıtılabilen gölgeden şekil çıkarma (SAfS) yöntemlerini karşılaştırmışlardır. İki görüntü üzerinden yapılan

çalışmalarda SAfS yöntemiyle elde edilen eğim hatasının, aydınlatma açısının yanı sıra görüntü yoğunluğuyla alakalı olduğunu gözlemlemişler, sağladığı üç boyutlu noktaların doğru olduğunu belirtmişlerdir. Fotometrik stereonun iki veya daha fazla görüntü ile çalışırken SAfS için tek bir görüntünün yeterli olabildiği, sonucunda fotometrik stereonun görüntü eşleştirme de SAfS yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişler ve SAfS daha az detay içeren yüzeylerde etkili olabileceğini belirtmişlerdir. SAfS algoritması, hata modeli ve yönteminin ay yüzeyinin yeniden boyutlandırılması için önemli olduğu bildirilmiştir.

Karmacharya ve ark. (2019) çalışmalarında, hidrolik laboratuvarında, 1/40 ölçeğinde tasarlanan yaklaşık 3 m boyutunda olan nehrin fiziksel hidrolik modelini kullanmışlardır. Bu model üzerinde 8 YKN belirlemişlerdir. Görüntüler farklı açılardan çekilmiş, YKN larını da içine alan, varsa gölgelenmiş, parlak ve karanlık olanların filtrelendiği fotoğraflar üzerinden nokta bulutlarını oluşturmuşlardır. Özellik eşleştirme için Meshroom ve ReCap yazılımlarını, nokta bulutu oluşturmak için Meshlab yazılımını kullanmışlardır. Doğruluğunu belirlemek için manuel olarak model üzerinden ölçümler yaparak kontur grafiklerini oluşturmuşlar, yazılım üzerindeki en kesit profilleriyle karşılaştırmışlardır. Manuel ölçümlerle karşılaştırıldığında SfM'nin daha hızlı ve iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. SfM için kullanılan açık kaynaklı yazılımların değerlemesini yapmak için yine ticari yazılımlar kullanılması gerektiği bilinmekte olup daha kaliteli üç boyutlu görüntü oluşturmak için fotoğraf kalitesinin de yüksek olması gerektiği bildirilmiştir.

Ji ve ark. (2019) çalışmalarında, bir veya iki görüntü kullanarak insan vücudunun üç boyutlu modellenmesini amaçlamıştır. Bu çalışmada yaklaşık 800 farklı iki boyutlu insan modeli kullanılmıştır. Çalışmada doğru duruşu yakalamanın ve çözünürlüğü yüksek görüntülerin kullanılmasının önemli olduğu belirtilmiş ve CNN tabanlı bir regresyon ağı tasarlanmıştır. Üretilen üç boyutlu insan vücudu modelinde gürültüden ve eksikliklerden kaynaklı hataların olduğu bildirilmiştir.

Çelik ve ark. (2020) çalışmalarında Mersin'de bulunan Gözne Kalesinin belgelendirmesi amacıyla kullanılan üç farklı uçuş tekniğiyle elde edilen katı (mesh) model ve doku (texture) modeli üzerinden karşılaştırma yapmışlardır. Çalışma alanında 5 YKN belirlenmiş, uçuş planlaması Pix4Dcapture üzerinden üç farklı (grid, double grid ve circular) uçuş yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Yapılan uçuş değerleri yöntemine göre farklılık göstermiş, uçuş mesafesi her yöntem için 30 m olarak belirlenmiştir. Çekilen görüntüler üzerinden üç boyutlu model elde etmek için SfM tabanlı Agisoft Photoscan

kullanılmıştır. Grid mission tekniğinin diğer uçuş teknikleriyle karşılaştırıldığında daha geniş bir alanda sonuç verdiği için kale hakkında daha detaylı bilgi elde edildiği gözlemlenmiş, iki boyutlu harita üretiminde kullanımının uygun olacağı öngörülmüştür. Double grid mission yöntemi diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha çok görüntü elde edildiğinden üç boyutlu model için daha uygun olduğu, harita üretiminde ise grid mission tekniğinden daha uygun olabileceği bildirilmiştir. Circular mission tekniği ise kalenin yan yüzeylerini de görüntüleme imkânı tanıdığından üç boyutlu model oluşturmada daha kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

Sefercik ve ark. (2020) çalışmalarında, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Çaycuma Kampüsü'nde insansız hava aracı (İHA) ile elde edilen görüntüleri kullanmışlar, çalışma alanında 17 YKN belirlemişlerdir. Nokta bulutu oluşturmak için SfM tabanlı VisualSFM, Agisoft ve Pix4D yazılımlarını, oluşturulan nokta bulutlarını filtrelemek için Microstation TerraScan modülünü ve DYM üretimi için LISA ve Surfer yazılımlarını kullanmışlardır. Üretilen DYM'lerin koordinat sistemi, yatay ve düşey datum değerleri aynı olması sağlanmış, yatay kayıklıklar alan tabanlı çapraz korelasyon ile giderilmiştir. Elde edilen nokta bulutları karşılaştırıldığında Agisoft ve Pix4d aynı sayıda nokta üretirken VSFM nin nokta sayısının daha az olduğu gözlemlenmiş, Agisoft ile üretilen nokta bulutunun gözle görülen yüzeye daha yakın sonuçlar verdiği bildirilmiştir. Pix4d ve VSFM ile üretilen DYM'ler de gürültüleri olduğu, başka bir deyişle Agisoft'a göre daha fazla görüntünün kullanılması gerektiği tespit edilmiştir. Agisoft referans alınarak yapılan istatistiksel değerlendirmede Pix4d'in Agisoft ile uyumlu olduğu da belirtilmiştir.

Cândido ve ark. (2020) çalışmalarında, Brezilya'nın Lavras kentinde bulunan üç farklı erozyon alanındaki değişimleri değerlendirmek amacıyla Haziran 2016-Nisan 2018 tarihleri arasında İHA ile manuel olarak yedi uçuş gerçekleştirmişlerdir. 14 yer kontrol noktası kullandıkları bu çalışmada SfM yazılımı olan Agisoft Photoscan kullanarak nokta bulutu elde etmişler ve nokta bulutları Surfer16 yazılımına aktarıldıktan sonra en yakın komşu methoduyla taramalı DEM verilerini üretmişlerdir. DEM verileri üzerinden yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda SfM'nin diğer geleneksel erozyon izleme yöntemlerinden daha düşük maliyetli, yüksek doğrulukta, taşınabilir ve kolay olduğu gözlemlenmiş, bu yöntemin yalnızca toprak erozyonu değil aynı zamanda su erozyonu içinde alternatif olabileceği bildirilmiştir.

Wang ve ark. (2020) çalışmalarında, birden fazla doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklem kullanarak birleşik gölgeden şekil çıkarma (SFS) yöntemi ortaya

koymuşlardır. Bu çalışmayı üç aşamada gerçekleştirmişlerdir. İlk olarak farklı yansıtma yüzeylerine sahip SFS görüntüsü, ikinci olarak kısmi dereceden diferansiyel görüntü ışınması (PDII) denkleminin oluşturulmasını ve son olarak PDII denkleminin çözümünü ve sayısal şema oluşturmayı gerçekleştirmişlerdir. PDII denklemini oluşturmak için Lambertian, Oren-Nayar ve Blinn-Phong modellerini kullanmışlar, PDII denkleminin çözümünde ise Newton-Raphson yöntemi yardımıyla PDII denklemlerini PDE lere dönüştürmüşlerdir. PDE çözümünde ise Godunov tabanlı şemadan oluşan doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklemlerden yararlanmışlardır. Matlab kullanılarak yapılan sentetik ve gerçek görüntülerdeki karşılaştırmalarda daha az sürede daha yüksek doğrulukta üç boyutlu görüntülerin oluşturulduğu bildirilmiştir.

Xiao ve ark. (2020) çalışmalarında, ters fotoğraf ile üç boyutlu yapılandırılmış ışık yönteminin kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Yersel fotogrametri ve yapılandırılmış ışık yöntemi birlikte kullanılmış, Matlab 7.2 ile üretilen üç boyutlu nesnenin doğruluğu arttırmak için Kalman filtresi eklenmiştir. Büyük ölçekli nesnelerin boyutlandırılması nedeniyle yapılacak olan ölçüm yönünün ayarlanabilmesi ve belirlenen faz kalitesine ulaşabilmesi için daha büyük bir LCD seçilmesi gerektiği bildirilmiştir.

Sun ve ark. (2020) çalışmalarında, stereo görüntülerden üç boyutlu nesne algılaması için Disp R-CNN adını verdikleri yeni bir sistem geliştirmişlerdir. Bu sistemle nesnenin görüntüsündeki piksel uyumsuzlukları önceden tahmin edilerek nokta bulutu oluşturmadan, mevcut veri tabanı içerisinde yer alan şekiller yardımıyla üç boyutlu nesne oluşturmaktadır. Veri tabanı içerisinde yer almayan nesneler için CAD modellerinden şekiller sisteme dahil edilmiştir. KITTI veri seti üzerinden yapılan karşılaştırmalarda özellikle Lidar görüntüsü kullanılmadan yapılan işlemler için iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiş, oluşturulacak yeni hareketli nesneler için geçerli olabileceği bildirilmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, üç boyutlu yüzey modellerinin oluşturulması yöntemleri ile ilgili genel bilgilere yer verilmiş ve bu yöntemler sınıflandırılarak açıklanmıştır.

#### 3.1. Görüntülerden 3 Boyutlu Yüzey Modellerinin Oluşturulması

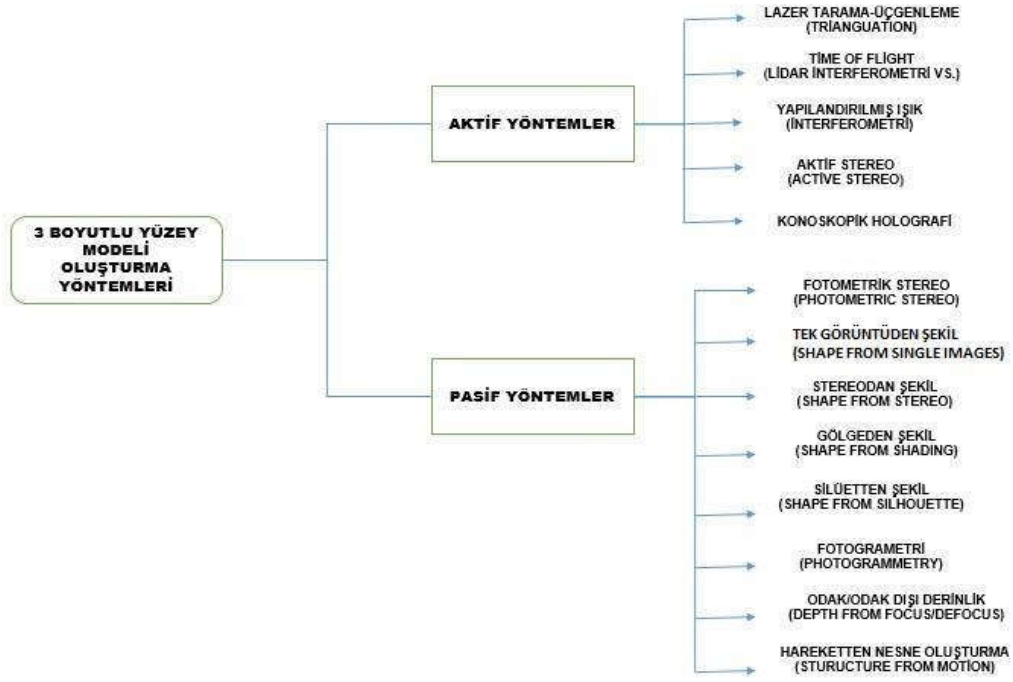
Gelişen teknolojiyle beraber üç boyutlu nesnelere duyulan ihtiyaç artmaktadır. Nesnelere iki boyutlu görsellerinin yerine üç boyutlu olarak sunulması fotogrametri ve bilgisayarda görme biliminin en önemli araştırma konusudur. Üç boyutlu modeller daha anlamlı ve ayrıntılı olması sebebiyle tercih edilmektedir. Bunun için çok sayıda yöntem geliştirilmektedir (Tercan, 2012). Çalışmanın amacına bağlı olarak sonuç ürünün kalitesi belirlenmekte, yöntem ve teknikler de yapılacak çalışmadaki bilgi ve birikime göre çeşitlilik göstermektedir (Efe, 2007).

Üç boyutlu modeller genellikle birden çok görüntü yerine tek bir nesnenin temsil edilmesini ifade eder. Üç boyutlu model oluşturulurken aydınlatma koşulları, kamera parametre tahminlerindeki belirsizlikler vb. nedenler görüntülerin eksik anlaşılmasına sebep olabilmektedir (Grum ve Bors, 2008).

Üç boyutlu yüzey modellerinin oluşturulması iki bölüme ayrılır. Bunlar: Aktif modelleme yöntemi ve pasif modelleme yöntemi olarak isimlendirilir. Aktif modelleme yöntemleri pasif modelleme yöntemlerine göre daha güvenilir derinlik bilgisi sağlayan; yapılandırılmış ışık sistemi, derinlik kamerası, lazer tarayıcı cihazlarla kullanılır. Pasif yöntemlerde ise üç boyutlu görüntü RGB kameralarla elde edilmiş iki boyutlu fotoğraflar üzerinden oluşturulur. Aktif yöntemler, pasif yöntemlere göre maliyetli ve uzmanlık gerektirir (Jang ve Ho, 2010).

Aktif ve pasif modelleme yöntemleri incelendiğinde kendi içerisinde farklı uygulamalarla farklı isimler aldığı görülmektedir. Başlıca pasif yöntemlerin bazıları; gölgeden (shape from shading), çift resim bilgisinden (shape from stereo), hareketten (shape from motion), siluetten (shape from silhouette) şekil çıkarımı olarak sınıflandırılabilir. Pasif modelleme yöntemlerinde, nesnelere renkli görüntüleri genellikle özel donanımlarla yeniden boyutlandırılır (Karkınlı, 2011).

Şekil 3.1.'de üç boyutlu yüzey modeli oluşturma yöntemlerinin sınıflandırılması gösterilmektedir.



Şekil 3.1. 3B Yüzey Modeli Oluşturma Yöntemleri

### 3.2. Aktif Yöntemler

Bu yöntemler, özellikle çok küçük boyuttaki nesnelere ölçmek için kullanılabilir. 3B yüzey oluşturma yöntemleri, objenin fiziksel yapısını bozmadan, hızlı bir şekilde sonuç veren ve obje hakkında çok fazla sayıda bilgi sahibi olmaya yardımcı olan vb. özelliklere sahiptirler. Bu ölçümlerin toplanmasında avantajdır. Aktif yöntemler bir çeşit ışık yaymakta ve bir objeyi ya da mekânı boyutlandırmak için nesneden geçen ışığın yansımalarını kullanmaktadırlar (Özbay, 2018).

#### 3.2.1. Lazer Tarama (Üçgenleme)

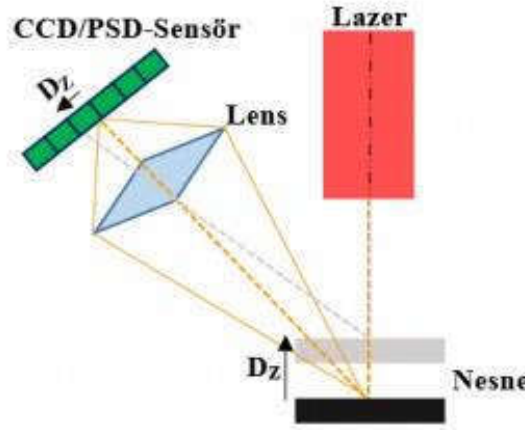
Üçgenleme yöntemi olarak da adlandırılan lazer tarama yöntemi özellikle pürüzsüz yüzeyler oluşturmak için kullanılmaktadır. Üçgenlemenin teorik temeli Thessen poligonudur ve genellikle iki aşamada gerçekleştirilir; önce uygun bir üçgen ızgara elde edilir, ardından üçgen ızgara iyileştirilir (Choi ve ark., 1988).

Üçgenleme aktif yöntemlerin hesaplanmasında genellikle yardımcı düzlemler kullanılır. Yapılan çalışmalarda yaygın olarak birbirine dik olarak tanımlanmış düzlemler referans alınmış ve tarayıcılar geliştirilmiştir. Çalışmada bir ve birden fazla referans yüzeyi kullanıldığı durumlarda, yüzeylerin koordinatlandırılması yüzeyler arasındaki açının 90 derece alınmasıyla sağlanır. Çalışmada tek referans yüzeyinin mevcut olduğu durumlarda ayrıca ışık kaynağının kalibre edilmesi zorunludur (Karkınlı, 2011).

Üçgenleme yalnızca üç boyutlu olarak gerçekleştirilmez. İki boyutlu olarak gerçekleştirilen üçgenleme de alanın bir bölümü modellenirken üç boyutlu olarak gerçekleştirilen üçgenleme de alanın topolojik özellikleri de yer alır. Mühendislik çalışmalarında yüzeylerin modellenmesinde giriş verileri olarak kullanılan noktalar genellikle koordinat ölçme cihazlarıyla elde edilmiş üç boyutlu noktalardır (Choi ve ark., 1988).

Üçgenleme tabanlı üç boyutlu lazer tarayıcılar, lazer noktasının yerini bulmak için üçgenleme lazeri üzerinden bir ışın yayar. Işının yansıtıldığı yerden mesafesindeki değişiklikler kameranın yansıtılan görüntüsündeki yerinin değişmesine neden olur. Bu yöntem üçgenleme olarak adlandırılır. Yönteme üçgenleme denilmesinin asıl nedeni, lazer nokta, kamera ve lazer yayıcı bir üçgenden oluşmasıdır. Kamera ile lazer yayıcının oluşturduğu ağda oluşan üçgenin yalnızca bir kenar uzunluğu ve lazer vericiye ait köşesinin açısı da bilinmektedir. Kamera köşesinin açısı sonradan belirlenebilmektedir. Bu bilgiler ışığında üçgenin şekli ve boyutu öğrenilebilmekte ve üçgenin lazer nokta köşesinin konum bilgisi tespit edilebilmektedir. Veri toplama işleminin daha hızlı gerçekleştirilmesi için lazer şeridi kullanılmaktadır.

Şekil 3.2.'de lazer üçgenleme sensörünün çalışma prensibi gösterilmiştir (Özbay, 2018)



Şekil 3.2. Lazer Üçgenleme Sensörünün Çalışma Prensibi

Lazer tarama yönteminde, nesneye yansıtılan ve farklı biçimleri öne çıkaran doğrular halinde lazer ışığına ihtiyaç vardır. Başka bir deyişle lazerin tam eşlemesini sağlayarak nesnenin ayrıntılı bir görüntüsüne ulaşılır. Lazer yardımıyla taraması tamamlanan nesnenin üzerindeki detaylardan yansıyan ışık sensörlere ulaşarak

görüntüyü anlamlı kılar. Sensörler ile tarayıcı arasındaki mesafe bilindiğinden yansıma açısı hesaplanarak doğruluğu yüksek üç boyutlu görüntüler kaydedilir.

Lazer tarama yöntemi ile elde edilen görüntülerin çözünürlüğü ve doğruluğu yüksektir. Burada bahsedilen doğruluk onlarca mikrometre hassasiyetini anlatır. Bu doğruluğun 3B modelleme, belgeleme, görselleştirme gibi uygulamalar için yeterli seviyede olduğu bilinmektedir (Varlık,2018). Ancak bu yöntem kullanılarak elde edilecek modelin doğruluğunun yüksek olabilmesi için kamera, lazer ve cismin eşkenar üçgene yakın bir geometride olması gereklidir. Bu sistemi kullanarak oluşturulacak olan modelin bütün görüntülenmesi için genellikle 6 ila 20 farklı perspektiften tarama yapılması gereklidir.

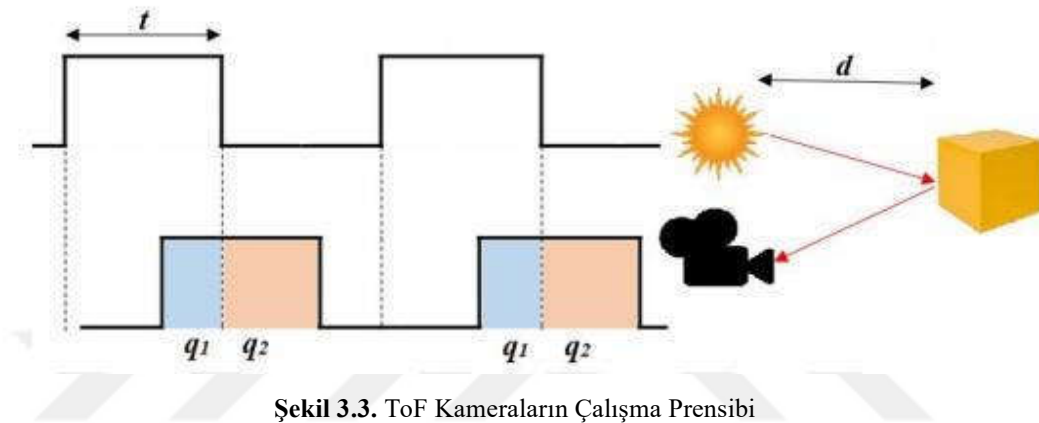
Işıklandırma ve kameranın ışık ayarları modelin kalitesini belirleyen diğer parametrelerdir. Bu sistem için loş ya da karanlık ortam tercih edilmelidir. Bu sayede siyah zemin üzerine düşen lazer çizgisinin görüntüsü keskin bir şekilde görüntülenebilir. Ancak karanlık ya da loş bir ortamda fotoğraf çekimi neredeyse imkânsız olduğundan modellerin fotoğraflarla çevrelenmesi de olanaksızdır. Bu koşullarda çalışmak gerekirse sisteme ek bölgesel aydınlatma düzeneği eklenmelidir. Bu sayede lazer tarama ve doku kaplama işlemleri aynı adımda yapılabilir. Bazı durumlarda cisim kaynaklı etkenler taramayı güçleştirebilmektedir. Cismin yapı malzemesi lazer ışığını kırabilir, yansıtabilir ya da dağıtabilir. Bu nesne yüzeyleri sistemin çalışmasını olumsuz etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Kısaca bu sistemler parlak ve şeffaf yüzeyler için kullanıma uygun değildir. Koyu renkli nesnelere için de bu durum geçerlidir. Bu sorunun önüne geçebilmek için lazer tarama işlemi yapılmadan önce nesne yüzeyi kaplanmalıdır ve lazer ışığı şiddeti ayarlanabilir olmalıdır (Akyol, 2011).

### **3.2.2. Time Of Flight (Lidar İnterferometri vs.)**

“Uçuş zamanı (TOF) olarak adlandırılan bu yöntem, akustik bir ortam aracılığıyla elektromanyetik bir ışın yayılımı ile onun seyahat süresinin hesaplanması, ayrıca diğer dalga için gereken süreyi ölçmek çeşitli yöntemler uygulanması şeklinde açıklanır.” Belirli bir ortamda, hız ve mesafeyi hesaplamak için belirlenen süre içerisinde gerçekleştirilen bir ölçümü kapsar. Hareketli obje doğrudan veya dolaylı olarak ölçülebilir (Özbay, 2013). Doğrudan ToF (dToF) sensörün doğru bir zaman tabanı aracılığıyla objeye doğrultulmasından bu ismi almıştır. Kısa mesafedeki doğruluk, çok kısa zaman dilimlerinde küçük değişikliklerden etkileneceği için orta veya uzun mesafeler (100 m den küçük ) için üretilmiştir. Doğrudan ToF elektronığı karmaşık olduğundan yüksek çözünürlüklerde doğru ölçeklenemez. Çözüm olarak

tarama teknikleri geliştirilmiştir. Dolaylı ToF (iToF) sensörü periyodik olarak bir referans sinyali ile nesneden yansıyan kızıl ötesi dalga arasındaki faz kaymasını ölçer. Burada küçük değişikliklerden etkilenme daha azdır. Bu sebeple kısa mesafeler için uygundur (URL-4).

ToF kameralar ışın gönderme esasına göre çalışmaktadır. Sensör bu ışınlar sayesinde çok kısa süreli ışın darbeleri oluşturur. Bu ışık darbeleri yansıtılan yüzeyden geri yansıyarak alıcıya yönelir. Işının yöneltildiği nokta ile yüzey arasındaki uzaklığa göre ışın darbelerinin detektöre ulaşmasında bir zamansal farklılıklar gözlenebilir. Bu durum gönderilen ve gelen ışın arasında faz farkı oluşturur. Aradaki uzaklık faz farkıyla hesaplanabilmektedir (Yıldırım ve Böcekçi, 2020).



Şekil 3.3. ToF Kameraların Çalışma Prensibi

Şekil 3.3.'de ToF kameraların çalışma prensibi gösterilmiştir. Burada mesafe,  $d = c \cdot t / 2, q_2 / q_1 + q_2$  formülüyle hesaplanır. Formülde yer alan  $c$  ışık hızını,  $t$  ışık uzunluğunu,  $q_1$  ışıklı alanda pikselde biriken yükü ve  $q_2$  ışıksız alanda biriken yükü ifade etmektedir (Özbay, 2018).

Time-of-flight (TOF) yönteminin en önemli özelliği, elde edilen her görüntüye ait piksel mesafesini ölçebilme yeteneğine sahip olmasıdır. Her bir piksele ait her bir bilgi için kameranın genliği ve ölçümleri kullanılabilir (Özbay ve Çınar,2015).

Oldukça küçük boyutlu olan TOF kamerada görüntü, iğne deliği kamera modeline göre oluşturulur. Ölçme mesafesi maksimum 10 m civarındadır. Farklı modülasyon frekansları ile saniye de 60 kare sayısına ulaşabilir. Yakın kızılötesi bölgede ölçme yaparken 850 nm dalga boylu ışınlar kullanılır (Altuntaş, 2021).

ToF kameralar ışınlar yardımıyla derinlik bilgisini elde eder. Hızlı ve masrafsız olması bu kameraların avantajlı gibi görünmesine neden olsa da görüntü kalitesi yetersizdir (Duran ve Kaya, 2018). Çünkü geliştirilen bu teknoloji piksellerin renk ve konum değerlerinin hesaplanmasında ve uzak mesafeden elde edilen görüntülerden

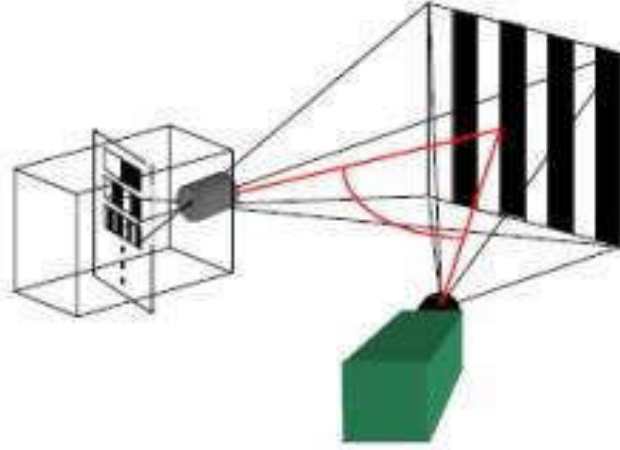
derinlik bilgisi elde edilmesinde sorunlar yaşamaktadır (Özbay ve Çınar,2015). Dış mekân ölçmelerinde yansıyan güneş ışınları kamera sensörü üzerinde sinyal gürültü oranını artırmaktadır. Bu nedenle açık alan ölçmeleri için de uygun bir yöntem değildir. Bunun yanı sıra mesafe ve hacim hesaplarında, iç mekân navigasyonunda, hareket tanıma sensörlerinde ve nesne izleme gibi çalışmalarda tercih edilmektedir. Aynı zamanda 3 boyutlu modelleme ve artırılmış gerçeklik (AR) deneyimlerinin iyileştirilmesinde de yardımcı olabileceği düşünülmektedir (Altuntaş, 2021).

### **3.2.3. Yapılandırılmış Işık (İnterferometri)**

Yapılandırılmış ışık sistemi temel olarak üç boyutlu objenin oluşturulması için kullanılır. Kameralardan birinin, objeyi bilinen bir desenle aydınlatmasına bağlı olarak aktif bir ışık kaynağıyla değiştirmesi en önemli özelliği sayılmaktadır. Bu özellik işlem sırasında oluşacak sorununu hızlı bir şekilde çözümler (Akca ve ark, 2007). Genel olarak bu yöntemle yazılım işlemleri en aza indirgenir ve yoğun nokta bulutları otomatik olarak asıl nesne üzerinde elde edilir. Bir kamera ve bir yansıtıcı kullanılarak direk olarak yüzeyin modelini oluşturmak için obje ya da nesnenin üzerine herhangi bir özel ışık yansıtılması esastır (Scharstein ve Szeliski, 2003). Yapılandırılmış ışık sistemleri uzaysal ve zamansal olarak ikiye ayrılır. Uzaysal yapılandırılmış ışık sistemleri, stereoya benzer algoritmalar kullanarak mekânsal tek bir modelden yararlanır. Zamansal yapılandırılmış ışık sistemleri ise her piksel içinde zaman içinde değişerek kodu çözümleyen doğrudan bir algoritma kullanır (Fanello ve ark., 2016).

Bu yöntem bir veya birden daha çok dijital kamera ve tek bir aydınlatıcı kullanarak üç boyutlu obje oluşturmayı amaçlar (Özbay, 2013). Zaman serileriyle elde edilen kodlanmış desenler, bir yansıtıcı ile obje üzerine odaklandırılır. Bu uygulama sonunda elde edilen desenler herhangi bir kamerayla kayıt altına alınır. Kamera sistemi ve yansıtıcının kalibrasyonu önceden tamamlandığı için oluşan desen üzerindeki derinlik hataları kolayca hesaplanır. Objenin üç boyutlu modellenmesi böylece gerçekleşmiş olur.

Şekil 3.4.'de sistemin çalışma şekli şematik olarak gösterilmiştir (Yosmaoğlu ve ark., 2013).



**Şekil 3.4.** Yapılandırılmış Işık Yönteminin Çalışma Prensibi

Beyaz ışıkla tarama yöntemi adıyla ortaya çıkan bu yöntem, 3 boyutlu sayısallaştırma ve kalite kontrol amaçları ile kullanılmaya devam etmektedir. Bunun yanı sıra başta otomotiv olmak üzere, havacılık, arkeoloji, doğa bilimleri ve medikal uygulamalarda da kullanılmaktadır (Ören ve ark, 2014).

Yapılandırılmış ışık yöntemi, modellenmemiş yüzeyler üzerinde kullanım kolaylığı sağladığı ve uzun mesafeden görüntü alabilmesi sebebiyle tercih edilmektedir. Genel olarak bir kamera ve bir yansıtıcı arasında üçgen oluşturarak derinlik bilgisini elde eder, tarayıcı sistemlerde üçgenleme açısı genellikle 30 derece civarındadır ve doğruluğu en çok etkileyen parametre budur (Fanello ve ark., 2016). Yapılandırılmış ışıklı üç boyutlu tarayıcılar hızlı olması ve sonuç ürünlerin kalitesinin yüksek olması sebebiyle avantajlıdır. Işık tarayıcılar yardımıyla birden fazla noktayı veya bütün yüzeyi bir defada tarayarak işlem tekrarının önüne geçer, bu şekilde yüzbinlerce nokta ile milyonlarca nokta aralığında yoğun nokta bulutu yaratabilmektedir. (Özbay, 2018). Genelde yapılandırılmış ışıklı üç boyutlu tarayıcılar, saniyede 10–30 kare hızında obje ya da yüzey okuyabilmektedir (Yüksel ve Bulut, 2019).

Yapılandırılmış ışık tarayıcıları hassas ve yüksek çözünürlük sunar (Varlık, 2018). Çözünürlüğü sınırlandıran gölge etkisi faktörüdür. Gölge etkisi ifadesiyle anlatılmak istenen yüzey üzerinde bulunan derin delik ya da ceplerin sistem tarafından görüntülenemiyor olmasıdır. Çözünürlük arttıkça piksel boyutu küçülecek ve gürültü seviyesi artacaktır. Bu nedenle gürültüyü azaltmak için özel kalibrasyon metotları geliştirilmektedir. Optik bir yöntem olmasından dolayı gün ışığı bile bazı durumlarda bu yöntemin kullanılabilirliğini kısıtlamaktadır. Optik temelli bu sistem çevredeki ışık seviyesi, görüş açısı, parlaklık gibi özelliklerden etkilenmektedir. Ayrıca beyaz ışığın

temeline dayanan bu yöntem beyaz ışık kullanımında problem yaratmazken gelişen teknolojiyle farklı renklere yansıtılan ışık kaynağı kullanan sistemlerde objenin rengi de önem kazanmaktadır. Bu yöntemin parlak veya saydam cisimler üzerinde uygulanabilmesi için modelin üzeri beyaz ince bir tabaka halinde titanyum oksit tabanlı bir solüsyon ile kaplanması gerekmektedir. Bu işlemi yapan kişinin tecrübesine bağlı olarak oluşturulan model üzerinde ölçüm belirsizliğine yol açan prosesler oluşabilmektedir (Ören ve ark, 2014).

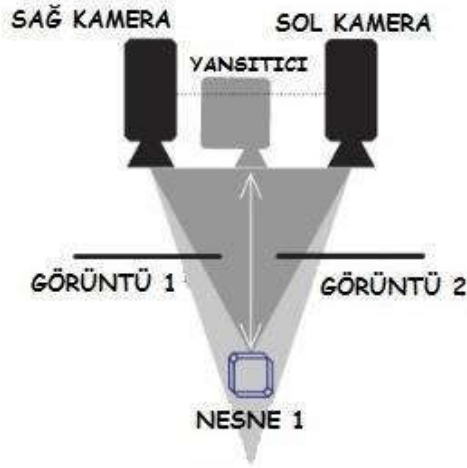
#### **3.2.4. Aktif Stereo**

Stereo yöntemler, objelerin belirli bir uzaklıktan iki kamera aracılığıyla elde edilmiş görüntülerinden üç boyutlu model oluştururlar (Karkınlı, 2011).

Üretilen modelin kalitesi, öncelikle kullanılan algoritmanın eşleşmesi için görsel olarak ayırt edilebilen noktaların yoğunluğuna bağlıdır. Stereo sistemlere ek olarak kullanılan yansıtıcı genellikle kızılötesi ışınları yardımıyla görünür yüzeyin ardında kalan gözle algılanamayan bölge yüzeyinde doğal veya yapay dokuları da algılayarak doğruluğu önemli ölçüde artırmayı amaçlar. Bu haliyle homojen alanlarda derinlik noktaları elde etmenin çözümünü sunar. Bu nedenle, kullanılan yansıtıcı bir doku projektörüne dönüşür. Bu yaklaşıma aktif stereo denir (Posner, 2019).

Stereo yöntemler, detayı olmayan yüzey ya da objelerde başarılı olamaz. Aktif stereo yönteminde, nesnelerin üzerine yansıtılan ışık en az iki kamera tarafından kayıt altına alınır (Kuzu, 2004). Bu yöntemle, stereodan model oluşturma pasif yöntemlerinde yaşanan doku ve detay kayıplarını engellemek veya azaltmak için obje yüzeylerinde yapay dokular oluşturabilecek ilave ışık kaynakları kullanılır. Kullanılan bu ışık kaynağının oluşturulan modelin doğruluğunu yükseltilmesi beklenir. Objenin üç boyutlu modelinin görüntüsü dışında geleneksel stereo uygulamalarında yaşanan yazışma sorunlarını da yapay dokular büyük ölçüde çözümler (Jang ve ark., 2013).

Şekil 3.5.'de sistemin çalışma şekli grafiksel olarak gösterilmiştir (Posner,2019).



Şekil 3.5. Aktif Stereo Yönteminin Çalışma Prensibi

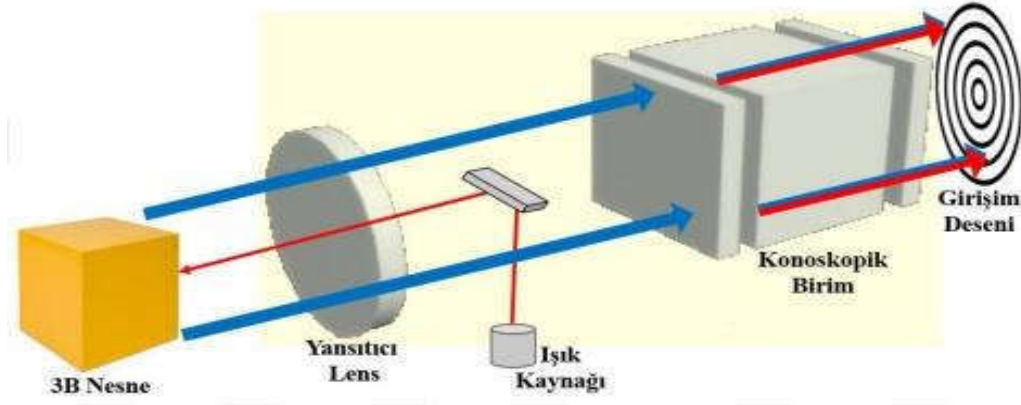
Aktif stereo yöntemlerin çıktısı verisi yoğun nokta bulutudur. Bu nedenle pasif stereo yöntemlerinde oluşturulan vektör verilere kıyasla daha doğru ve güvenilir bilgi elde edilmektedir. Ancak bu yöntemde kullanılan doku projektörü kaydedilen renkli görüntüyü bozmaktadır. Çözümü yansıtılan kızıl ötesi ışının saniyenin onda biri gibi kısa bir süre kadar sürmesi ile üçgenleme yapılarak derinlik bilgisinin alınmasıdır. Model bu işlem sonunda oluşturulmalıdır (Jung ve ark., 2017).

### 3.2.5. Konoskopik Holografi

Konoskopik holografi (CH) yöntemi, özellikle yüksek yansıtıcı yüzeylerin doğrudan ölçülmesinde kararlı bir sistem olarak kullanılabilir. Sistem her ölçümde sadece bir nokta okuyabildiğinden elde edilen üç boyutlu görüntünün verimli olması ihtimali düşüktür (He ve ark., 2018).

CH yönteminde yansıtıcıda tek bir nokta hedef alınarak ölçülecek yüzeye ışın gönderilir. Gönderilen bu ışığın bir kısmı yüzeyden yansıtıcıya geri dönerek nesnenin üç boyutlu modeli oluşturulmak için konoskopik ünitesine yöneltilir. Mesafe bilgisini edinmek için görüntü oluşturulduktan sonra sinyal işleme algoritmaları çözümlenir. Tüm bu aşamalar ölçülen yüzeye olan mesafeyi belirlemek için frekans analizi yapılabilen bir kırınım modeli oluşturulması süreci olarak ifade edilebilir.

Şekil 3.6.'da CH yönteminin çalışma şekli şema üzerinde gösterilmiştir (Özbay, 2018).



Şekil 3.6. Konoskopik Holografi Yönteminin Çalışma Prensibi

CH yöntemleri çok farklı endüstri kollarında kullanılabilir. Buna tersine mühendislik hizmetleri, sağlık sektörü, kalite denetlemeleri ve ürünlerin kalite incelemeleri örnek gösterilebilir.

Konoskopik holografinin en önemli avantajı, ölçüm için yalnızca tek bir ışın yolunun yeterli olmasıdır. Böylece çok ince bir şekilde delinmiş bir deliğin derinliğini ölçmek yani modelini oluşturmak bile mümkün hale gelmiştir. Ancak CH yönteminin kalitesi çözünürlük, nesne yüzeyindeki yakın noktaları bulma yeteneği gibi çok farklı nedenlerden etkilenmesi olumsuz yönüdür. Kaliteyi etkileyen bu faktörler yüzey üzerindeki noktalar arasındaki uzaklık ve yansıtıcıdan çıkan ışığın boyutu ile ilgili olabilmekte uzaklık kısaltılarak ve gönderilen ışığın boyutu yükseltilerek gerçek nesneye birebir benzeyen üç boyutlu model oluşturulabilmektedir (Patino ve ark., 2018). Ayrıca bu yöntemin mesafe ölçümünde kullanılan lazer ışığını alma ve gönderme işlemlerini eş doğrusal yapmasının yanı sıra sisteminde var olan ışık konisi sayesinde diğer aktif yöntemlere göre daha kararlı olduğunu söylemek mümkündür ve bu ışık konisi sayesinde kesin sonuçlar elde edilebilmektedir. (Burgner ve ark., 2013).

### 3.3. Pasif Yöntemler

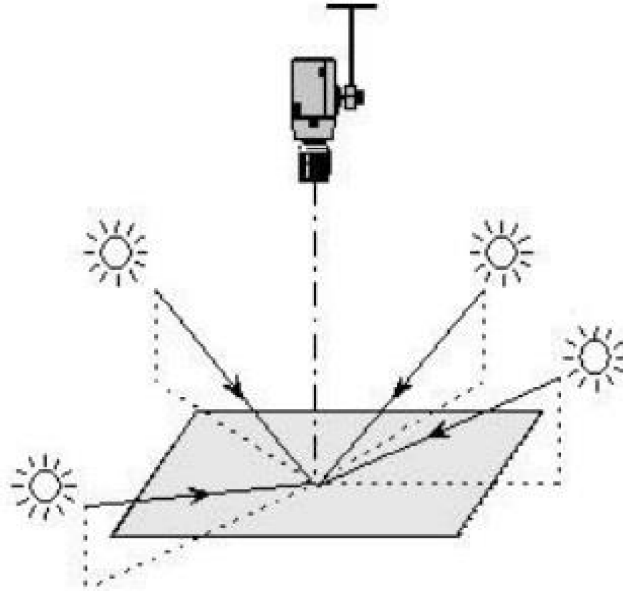
Bu yöntemlerde, görüntüleme işlemlerinde yansıtılan ışın yayılımı bulunmaz. Ortamda bulunan ışık kaynaklarının tespitiyle objeyi üç boyutlu modellemek mümkündür. Bundan yola çıkarak yöntemin, ortamda görünen ışıkla kolay çözüm üretebildiği söylenebilir, gerekli görülmesi halinde kızılötesi ışınım vb. kaynaklarda yöntemin bir parçasını oluşturabilir. Bu yöntemin genellikle kamera dışında donanıma ihtiyacı olmadığından uygun maliyetli olarak bilinmektedir (Özbay, 2018).

### 3.3.1. Fotometrik Stereo

Fotometrik sistemlerde farklı aydınlatma koşullarında tek bir kamerayla birden fazla görüntü elde edilir. Oluşacak her görüntüdeki bir pikselde yüzey oluşumunu sağlamak için ilk görüntüyü tersine çevirmek esastır. Yöntemi basitçe tanımlayacak olursak sabit duran herhangi bir obje farklı açılardan aydınlatılarak gerçek objeye yakın görüntüye ulaşmak için hesaplamaların yapılmasını sağlayan algoritmalar içerir (Özbay, 2018).

Bu yöntem diğer stereo yöntemlerinden farklı olarak bir kamera ve çoklu ışık kaynağı kullanmaktadır. Kamera sabittir ve bilgisayar değişik ışık kaynağı altında elde edilen görüntüleri birleştirerek üç boyutlu yüzey modelini elde eder.

Şekil 3.7.'de fotometrik stereonun ışık kaynağına duyduğu ihtiyaç grafiksel olarak gösterilmiştir (Karaman, 2009).



Şekil 3.7. Fotometrik Stereo

Fotometrik stereoda sağlıklı bir görüntü elde etmek ve mevcut objeye benzeyen bir üç boyutlu model üretebilmek için obje üzerinde dağınık olarak bulunan ışık kaynakları kontrol edilebilir. Elde edilen görüntünün bir önceki görüntüdeki kaynakla uyumlu olmaması gerekmektedir (Özbay, 2018).

Fotometrik stereo teknikleri gerçek zamanlı görüntü işlemede, bir sahnedeki nesnelerin derinliğini belirlemek amacıyla kullanılabilir. Ayrıca tarihsel arşiv için fotoğraflardan elde edilen görüntüler sayesinde nesnelerin doğru ve güvenilir üç boyutlu yüzey modellerinin oluşturulması için de kullanılabilir (Türköz, 2009).

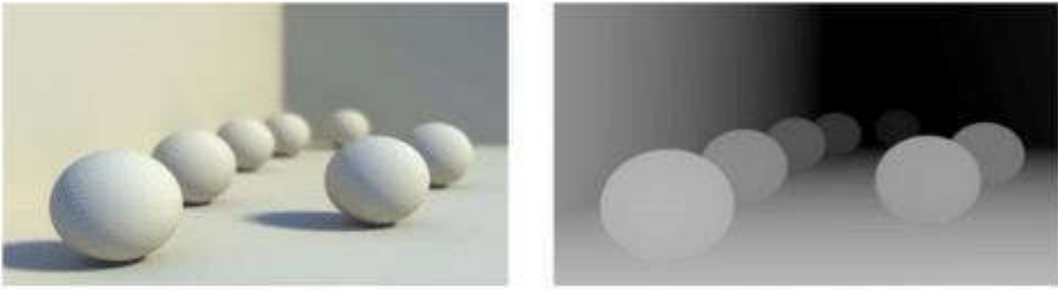
Fotometrik stereo yalnızca nesne yüzeyindeki eğimleri hesaplamaz aynı zamanda ışık kaynaklarını da iyileştirir. Işık kaynağının tersinde kalan alanlarda oluşan gölgenin derinliği ve yoğunluğu gibi faktörler, yüzey üzerindeki derinlik bilgisini belirlemeye yardımcı olur. Parlak bir yüzey fotometrik stereo için ölçülmesi en kolay olan alandır. Objenin ya da bulunan ortamın yüzeyinin düz olması uygulanabilmesi için bir koşul değildir. Her görüntü için ayrı ayrı yüzey eğimleri hesaplanmaktadır. Yalnızca ışığın geldiği doğrultunun bilinmesi gerektiğinden maliyeti düşük bir yöntemdir (Karaman, 2009).

### 3.3.2. Tek Görüntüden Şekil (Shape From Single Images)

Tek görüntüden şekil yöntemi bir görüntüdeki her bir piksel için derinlik değeri elde etmeyi amaçlar (Artacho ve ark., 2020). RGB adı da verilen bu yöntem bir nesnenin şeklini belirlenmek için görünür ışığa ihtiyaç duyar (Santala, 2012).

Tek görüntüden 3 boyutlu yüzey oluşturulması temel olarak 3 farklı şekilde gerçekleştirilmektedir. İlkinde sentetik veriler ya da epipolar geometri kullanılarak bilinen yer kontrol noktası yer almayan görüntülerden model oluşturulmasıdır. İkincisi derin öğrenme tekniklerinden ya da geliştirilmiş algoritmalarla yararlanarak daha çok denetimli ve daha hassas 3 boyutlu yüzey oluşturmayı hedefleyen çalışmaları kapsamaktadır. Son olarak piksellerin sıralı ilişkilerinden faydalanarak doğa üzerinde yer alan gidilmemiş veya görülmesi mümkün olmayan alanlar için yüzey modeli oluşturulması için yapılmaktadır (Mertcan, 2018).

Şekil 3.8.'de tek bir RGB görüntüsünden yararlanılarak elde edilmiş 3 boyutlu yüzey modeli gösterilmiştir (Sing ve Saleh, 2020).



**Şekil 3.8.** Tek bir RGB Görüntüsünden Oluşturulan 3 Boyutlu Yüzey

Bir nesnenin üç boyutlu yüzey modelini oluşturmak için nesnenin dokusu, derinlik bilgisi, kameranın poz süresi ve odak uzaklığı gibi ek bilgilere ihtiyacı olduğu bilinmektedir. Bu yöntem tüm bu geometrik bilgilerin tek bir görüntüden ek bilgi olarak

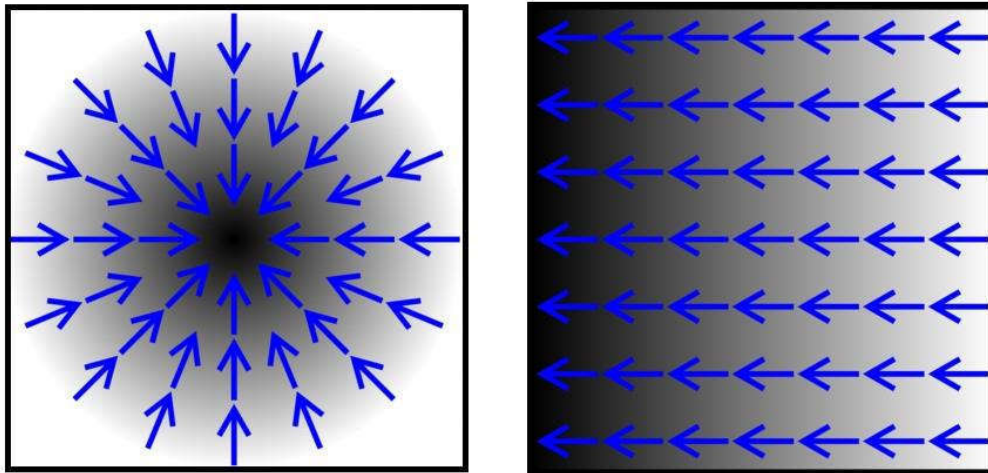
çıkarılmasını amaçlamaktadır. Bu nedenle doğrudan görüntü özelliklerini kullanarak derinlik bilgisini ve geometriyi tahmin etmeye çalışır (Liu ve ark., 2010).

Bu yöntemle kesin bir derinlik haritası elde etmek oldukça zor ve karmaşıktır. Bu nedenle RGB temelli pasif yöntemlerde derinlik bilgisini elde etmek için yeni bir algoritma geliştirilmesi şarttır. Yöntem gerekli koşullar sağlansa dahi ek yazılım ve donanıma ihtiyaç duyduğundan oluşturulan üç boyutlu yüzey modeli gerçek nesneye uygun olmayabilir (Özbay, 2013).

### 3.3.2.1. Görüntü Gradyanı

Görüntü işaretlerinin bozulmasındaki en temel neden gürültüdür. Gürültülerden dolayı görüntü yüzeyi oluşturmada (kenar belirleme, nesne tanıma, özellik çıkarma, görüntü sıkıştırma vb. uygulamalarında) başarı oranı düşmektedir. Bu nedenle modellenecek yüzey üzerinde yüksek doğrulukta analizler yapılabilmesi için filtreleme işlemlerinin öncelikli olarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Çelik ve ark., 2015). Sınır tabanlı bir şekil betimleyicisi olan gradyan süzgeci, görüntü rengi gri değer aralığında olan görüntülerin detay sınırlarını keskinleştirerek görüntü gürültülerini gidermektedir (Çapar ve Gökmen, 2011). Görüntü gradyan vektörünün yönü açıktan koyuya doğrudur.

Şekil 3.9.'da görüntü gradyan vektörü şematik olarak gösterilmiştir (Anonim,2021).



Şekil 3.9. Gradyan Vektörü

Bir nesne modelinin başarısını etkileyen en önemli unsurlardan biri olan görüntü gradyanı, birinci dereceden türevle çeşitli yönler için hesaplanma ve bunların birleştirilmesinde rol almaktadır (Şenel, 2005).

Görüntü gradyanı bir ön işleme adımudur. Temel olarak; arazi farklılıklarını, eşyükselti eğrilerini, eğimin dikliği gibi yeryüzündeki farklılıkları algılamamıza, matematiksel olarak; teğet düzlemi, vektörel kavramları ve eğrilik bilgilerini, gradyan vektörü yardımıyla da kısmi türevlerin vektörlerini hesaplamamıza olanak sağlar.

Görüntü gradyanı tek boyutlu, iki boyutlu, zamansal ve uzamsal olarak farklı nesnelere için kullanıma uygundur ve her biri için farklı algoritmalar geliştirilmektedir, temel işlev cebirsel değil sayısaldır. Bu nedenle sayısal türevlerle ifade edilmektedir (Collins, 2007).

Uzamsal görüntü gradyanının hesaplanması için renkli görüntü gri değer aralığında görüntüye dönüştürülür. Gri seviyeli görüntüde türev algoritmaları kullanılarak yatay görüntü gradyanı ve dikey görüntü gradyanı hesaplanır. Çok dereceden uygulanan türev algoritmaları sistem performansını düşüreceğinden birinci dereceden türev algoritmaları yeterli görülmektedir. Görüntü gradyanı aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmaktadır.

$$f_x(x, y) = I(x + 1, y) - I(x - 1, y) \quad \forall x, y \quad (3.1)$$

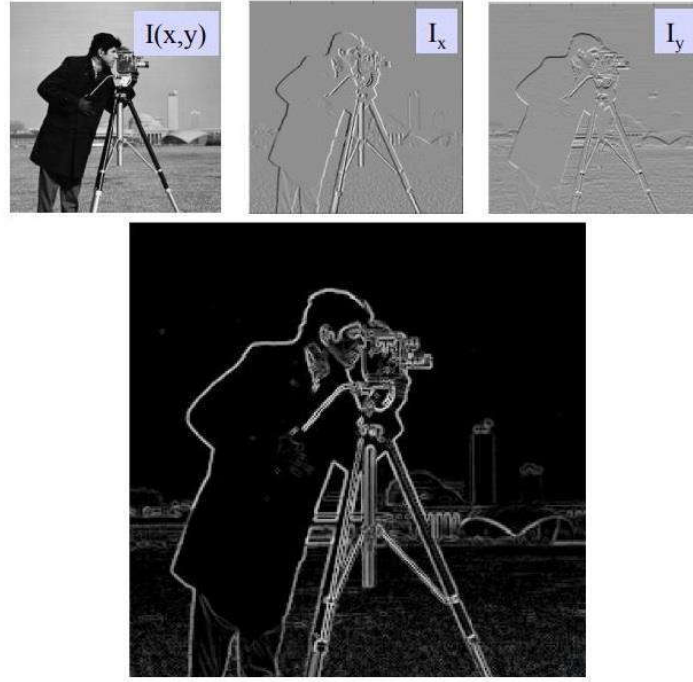
$$f_y(x, y) = I(x, y + 1) - I(x, y - 1) \quad \forall x, y \quad (3.2)$$

Burada yer alan  $f_x$  ve  $f_y$  eşitlikleri sırasıyla görüntünün yatay ve düşey gradyanının ifade etmektedir.  $I$  ile yatay ve düşey gradyan noktalarındaki piksel yoğunluğunu göstermektedir.  $m(x, y)$  ile görüntü gradyanının büyüklüğü ve  $\theta(x, y)$  ile görüntü gradyanının yönelimleri hesaplanmaktadır. 0'dan küçük olan görüntü gradyan yönelimine 180 eklenir (Alpaslan, 2013).

$$m(x, y) = \sqrt{f_x(x, y)^2 + f_y(x, y)^2} \quad (3.3)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \left( \frac{f_y(x, y)}{f_x(x, y)} \right) \quad (3.4)$$

Şekil 3.10.'da uzamsal görüntü gradyanı gösterilmiştir. Sırasıyla soldan sağa gri değer aralıklı fotoğraf, x düzlemindeki piksel yoğunluklu fotoğraf, y düzlemindeki piksel yoğunluklu fotoğraf ve son görselde görüntü gradyanı işlenmiş fotoğraf yer almaktadır (Collins, 2007).



Şekil 3.10. Uzamsal Görüntü Gradyanı

Böyle bir ön işleme adımı stereo görüntü çifti kullanılmadığı durumlarda hata olasılığını önemli derecede azaltmaktadır. Piksel derinliği hesaplanırken görüntü çiftleri üzerinde yer almayan derinlik farklılıkları yani birbirine yakın değerlere sahip görüntü kontrast değerleri belirginleştirilerek giderilmiş olur.

Şekil 3.11.'de görüntü gradyanı uygulanmış fotoğraf gösterilmiştir (Kotyuzhansky, 2012).



Şekil 3.11. Görüntü Gradyanı Uygulanmış Fotoğraf (Orijinal Görüntü(Sol), İşlenmiş Görüntü(Sağ))

Görüntü gradyanının maliyetinin düşük olması ve gerçek zamanlı çalışması avantajları arasında yer alırken renkli görüntülerde kullanılamaması, nesnenin şekil ve dokusunu dikkate almaması da önemli dezavantajları içinde yer alır.

### 3.3.2.2. Albedo

Albedo, yansıtılabilirlik adını da almaktadır. Latince ‘‘albus’’ kelimesinden türeyen, Türkçe de beyaz anlamına karşılık gelen bu kelime, bir yüzeyin üzerine düşen elektromanyetik enerjiyi yansıtma kapasitesi, daha yalın haliyle yüzeylerin ışığı yansıtma gücü olarak ifade edilmektedir. Güneşten gelen ışınlar dünya atmosferine çarparken bir kısmı uzaya geri gönderilir, geri kalan kısmı ise atmosfere girer. Atmosfere giren enerji %100 olarak değerlendirildiğinde, bir kısmı atmosferde, bir kısmı ise yerden tekrar uzaya yansır, yansıyan bu %35lik enerji albedo’dur (Vurarak ve ark, 2019).

Bir nesne gelen ışınımın büyük bir kısmını yansıtıyorsa, açık renk tonlarında görüntülenerek yüksek albedo değerine sahip olduğunu gösterir. Albedo değeri, matematiksel olarak en yalın haliyle aşağıdaki eşitlikle ifade edilir (Hacıağaoğlu, 2014).

$$Albedo = \frac{cisimden\ yansıyan\ ışınım}{cisme\ gelen\ toplam\ ışınım} \cdot 100 \quad (3.5)$$

Bu çalışmada, Albedo için geliştirilen birçok yöntem içerisinde en yaygın olarak kullanılan Lambertian modeli tercih edilmiştir ve matematiksel ifadesi Eşitlik 3.6’daki gibidir.

$$R_{(p,q)} = \eta \frac{\cos \gamma - p \cos \Gamma \sin \gamma - q \sin \Gamma \sin \gamma}{\sqrt{1+p^2+q^2}} + \theta_0 \quad (3.6)$$

Buradaki  $\eta$  tek bir aydınlatma kaynağı için bileşik albedoyu ifade eder ve sabittir.  $(x, y, z(x, y))$  pozisyonundaki yüzey normaleri ise Eşitlik 3.7’deki gibi ifade edilir.

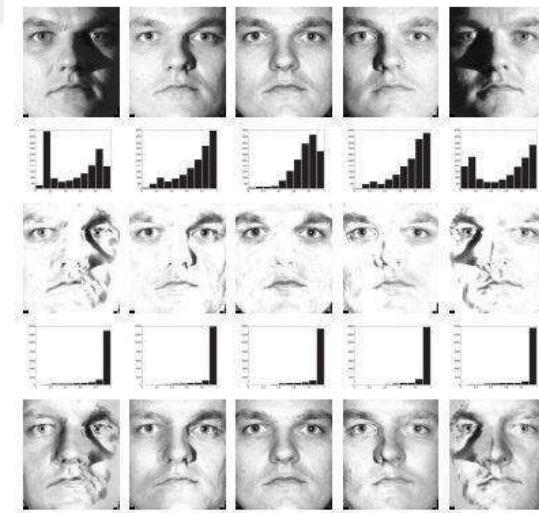
$$\vec{N} = (-p, -q, 1)/\sqrt{1+p^2+q^2} \quad (3.7)$$

Eşitlik 3.8’deki  $\vec{L}$  ise albedoyu hesaplamak için gerekli olan görüntünün eğiklik ve dönüklüklerinin giderilmesi için gerekli gerekli yön tahmin edicisidir.

$$\vec{L} = \cos \Gamma \sin \gamma, q \sin \Gamma \sin \gamma, \cos \gamma \quad (3.8)$$

Bilinen albedo için geliştirilen çoğu yöntem yön tahmini ile uyumlu çalışmamaktadır. Gölgenin hesaba katılmaması, sahnenin büyük ve karmaşık olması, sahne içerisinde yer alan küçük nesnelerin algılanamaması en büyük nedendir (Zheng ve Capella, 1991). Bu yöntemle azimut açılarının doğru olduğu varsayılsa bile nesnelerin yeniden aydınlatma kaynağı olan kutup açılarının tahmini hatalı olacaktır. Bunun asıl nedeni, görüntü üzerindeki gölgelerin ve görüntünün düşük albedoya sahip olduğu noktaların aynı şekilde karanlık algılanmasıdır. Her iki durumda da bölgeler ışık kaynağına ters yönde eğim oluşturacaktır. Bununla birlikte, temelde yansıma değişikliklerinin gölgeleme etkilerinden kurtulmak için yeniden bir ışık kaynağı eklemek yerine çok daha güçlü görüntü gradyanları kullanılarak makul sonuçlara ulaşıldığı bilinmektedir. (Worthington, 2005) .

Şekil 3.12.'de değişken aydınlatma koşulları altında tek görüntüden elde edilen yüz albedosu tahminleri gösterilmiştir. İlk satırda giriş görüntüleri, ikinci satırda ise giriş görüntülerine karşılık gelen gri seviyeli grafikler, üçüncü satırda tahmini albedo haritaları, dördüncü satırda tahmini albedo haritalarına karşılık gelen albedo grafikleri ve beşinci satırda ön aydınlatma işlemi sonucunda elde edilmiş görüntüler yer almaktadır.



Şekil 3.12. Tek Görüntüden Tahmini Yüz Albedosu

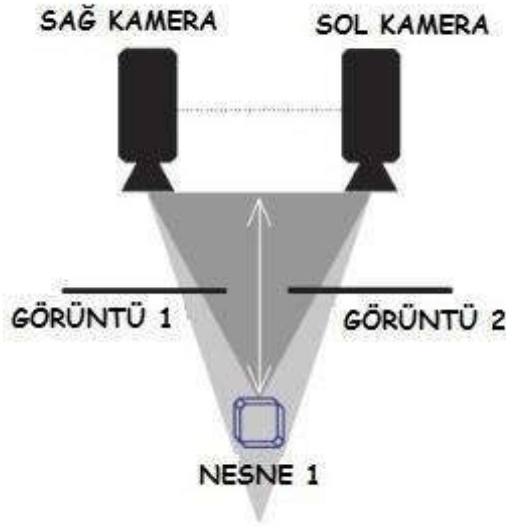
Görüntüler üzerinde gölgelerin neden olduğu hatalar görülmektedir. Bunun yanı sıra sentezlenmiş görüntüler, aydınlatmadaki büyük değişiklikleri düzeltirken bile iyi kalite sağlamaktadır. Lambertian modeli kullanılarak oluşturulan tahmini yüz albedosu kaş, dudak gibi belirgin yüz detayları üzerinde de oldukça başarılıdır (Smith ve Hancock, 2006).

### 3.3.3. Stereodan Şekil (Shape From Stereo)

Stereodan nesne oluşturma yöntemi, derinlik bilgisinin algoritmalarla çözümlenerek belirlenebileceği iki görüntü kullanır. Bu yöntemde, bir nesneye ait iki farklı kamera konumundan nesneye ait görüntüler alınır. İki görüntü üzerinde nesnenin konumu tespit edilir.

Stereo çiftlerinden nesne oluşturmak için temel üç algoritma mevcuttur. Bunlar; özellik tabanlı yaklaşımlar, alan tabanlı yaklaşımlar ve çeşitli yaklaşımlar olarak sınıflandırılabilir. Özellik tabanlı yöntemlerde, derinlik bilgisi genellikle görüntünün kenar noktalarındaki ortak özelliklerin çözümüyle elde edilir. Alan tabanlı yöntemlerde derinlik bilgisi görüntüdeki her piksel için ayrı ayrı hesaplanır. Bu yöntemin konumsal yapı olmayan, neredeyse düz bir alan ya da yüzeylerde, çok benzer özellikler barındıran objelerde kullanımı oldukça zordur. Derinlik bilgisini üretirken hızlı bir şekilde yüzey dokusu giydirilmemiş objeler oluşturulur (Cryer ve ark., 1995).

Şekil 3.13.'de yöntemin çalışma şekli grafiksel olarak gösterilmiştir (Posner, 2019).



Şekil 3.13. Stereodan Şekil Yöntemi Çalışma Prensipleri

Stereodan şekil yönteminde, 3 boyutlu yüzey iki farklı noktadan görüntülenmiş nesnelere üzerindeki eşleşen noktalar yardımıyla oluşturulmaktadır (Özenç ve ark., 2015). Bu sistem insanların görme yeteneğinden yola çıkarak geliştirilmiştir. Çift görme sistemlerinde geometrik ve fiziksel özellikler üçüncü boyutun kolay anlaşılmasını mümkün kılmaktadır (Tercan, 2012).

Stereo şekil yöntemi, ölçüm doğruluğunu artırmak ve gerçek zamanlı mesafe ölçümüne katkı sağlamak için endüstrinin çeşitli kollarında, geliştirilen sürücüsüz araçlarda, trafik ve araç takip sistemlerinde, akıllı şehir uygulamalarında kullanılmaktadır.

Bir obje ya da yüzeyin detayları mevcutsa, başka bir deyişle yüzey dokusu belirginse stereodan nesne oluşturma pasif yöntemiyle detaylı görüntüler elde edilir. Ancak insan derisi gibi yüzey dokusu belirgin olmayan objelerde görsel olarak eksiklikler oluşacaktır. Bu sebeple üç boyutlu nesneye benzerliğini ölçmek güçleşecek, mevcut objeyi temsili oldukça düşük olacaktır (Jang ve ark., 2013). Bu yöntemle yaklaşık derinlik bilgisi elde edilebilir, ancak detaylar görünmez ya da gösterilen detaylar yetersizdir (Cryer ve ark., 1995). Bunun yanı sıra yapılan son çalışmalarda mesafeyle ilgili hata payının yüzde üçlere kadar gerilediği görülmüştür. Bu bazı uygulamalar için yeterli görülmektedir. Oluşturulan model kusurlarının en aza indirgenmesi için yüksek çözünürlüklü kameraların kullanılması önerilmektedir (Sub ve ark, 2020).

#### **3.3.4. Gölgeden Şekil (Shape From Shading)**

Gölgeden şekil (SfS) yöntemiyle yapılan ilk çalışma 1970'li yıllarda Horn isimli bilim insanına aittir (Tercan, 2012).

Objelerin şekli tek bir görüntüden oluşturulabilir. Bir objenin yüzeyine yöneltilen ışık objenin farklı yüzeylerini aydınlattığından farklı parlaklık değerlerine sahiptirler. Gölgeleme yöntemi obje yüzeyindeki bu değişiklikleri hesaplamak için mekânsal parlaklık değişimini kullanır (Kuzu, 2004).

Gölgelendirmeye dayalı çalışmalar genel olarak dört işlem adımıyla gerçekleşir;

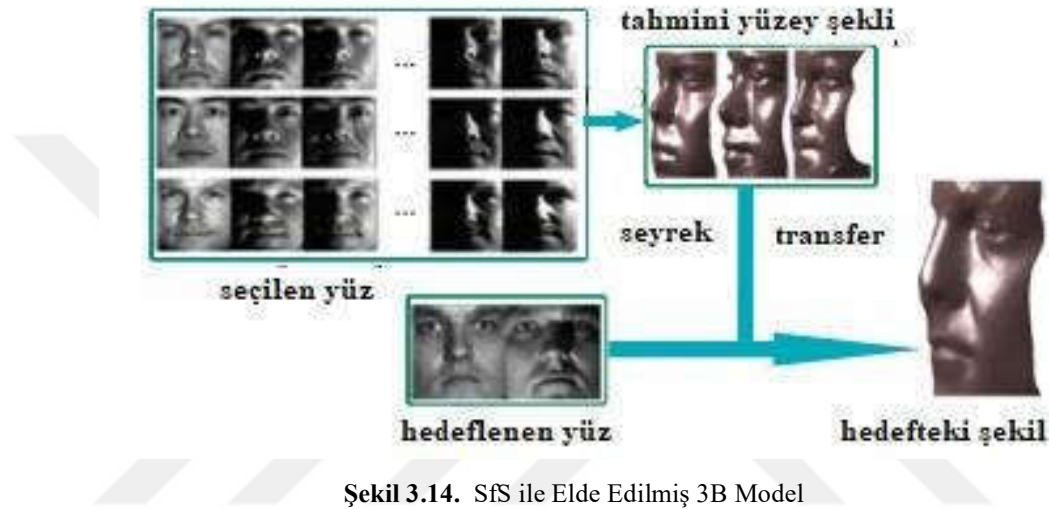
1. adımda doğru bir referans yüzeyi oluşturulur,
2. adımda modellenecek obje üzerinde yansıyan ışık modellenir,
3. adımda görüntülerdeki ışık yönü tahmin edilir ve
4. adımda hedefteki objenin modeli oluşturulur.

Son işlem adımı için yapılandırılan gölgelendirme yönteminin asıl görüntüye benzemesi için yapılır ve ilk görüntü referans alınır (Hu ve ark, 2017).

Gölgeden şekil yöntemleri; evrensel yaklaşımli ve bölgesel yaklaşımli olarak iki grupta incelenebilir. Evrensel yaklaşımli gölgeden nesne oluşturma yöntemleri de kendi içerisinde küresel küçültme yaklaşımları ve küresel yayılma yaklaşımları olarak iki gruba ayrılabilir. Derinlik bilgisini öğrenmek için, enerji algoritmasını en küçük değere azaltarak çözümü elde edebilen küresel küçültme yaklaşımları iken obje yüzeyi

üzerinde bilinen noktalardan görüntüdeki tüm noktaların çözümlenmesini sağlayan küresel yayılma yaklaşımıdır. Bölgesel yaklaşımlar adından da anlaşılacağı gibi küçük bir yüzeyde gri değerlerinden üç boyutlu modellemeyi amaçlar ve tek başına yeterli değildir. Evrensel yayılma yaklaşımı ise çok yüksek yoğunluğa sahip noktalar üzerinden yüzey eğrileri oluşturarak dışarıya doğru yayılır, yayılımın fazla olduğu durumlarda şekil enterpolasyonu gerektirir (Zhang ve Tsai, 1994).

Şekil 3.14.'de SfS yöntemi kullanılarak az görüntüyle elde edilmiş üç boyutlu model gösterilmiştir (Hu ve ark., 2017).



Şekil 3.14. SfS ile Elde Edilmiş 3B Model

Gölgeden şekil yönteminde asıl amaç, iki boyutlu görüntülerden üç boyutlu görüntüler elde etmektir. SfS yöntemi, görüntülerdeki belirgin aydınlık farklılıklarıyla nesne yüzeyindeki uyumu sağlayarak nesne şeklinin üç boyutlu olarak algılanmasını sağlar. Sadece nesne değil, boyutlandırılmak istenen yüzeyler içinde eğim ve derinlik bilgisi sağlayan bu yöntem sürekli gelişmektedir (Movafeghi ve ark., 2015)

Gölgeden şekil yöntemi, yüzey ve yüzeyin aydınlatma yönü arasındaki ilişkiye dayanır. Bu ilişkiyi kullanmak için, genellikle bilinen veya tahmin edilen tek bir aydınlatma yönünün varlığını kabul eder. Başka bir deyişle çok fazla ışık kaynağı mevcutsa kullanılması mümkün olmayan bu yöntem için kontrollü bir ortam sağlamak zorunludur. Bu yöntemde aydınlatma yönü, değerlendirilen şekil özelliklerine eşit ya da daha küçük ölçeklerde değişirse modelde bozulmaların olmaması kaçınılmazdır (Wilder ve ark, 2019).

Bu yöntem obje üzerindeki ışıklandırmanın kontrol altında tutulabildiği ortam ya da aydınlatma değişimlerinin gözlemlenebileceği durumlarda uygulanabilmektedir.

Yani, çöl ve orman gibi alanlarda stereo yöntemleri uygulanamayacaksa bu yöntemle bölgenin sayısal yükseklik modeli oluşturulabilir (Tercan, 2012).

### 3.3.5. Siluetten Şekil (Shape From Silhouette)

Siluet görüntülerinden üç boyutlu ölçüm yapma düşüncesini ilk defa ortaya atan ve bu konuda çalışmalar yapan kişi Baugman'dır (Beşdok, 2006).

Siluetten nesne oluşturma (SFS) yöntemi, nesne silueti görüntülerini kullanarak nesnenin modelini tahmin etme esasına dayanır. Sayısal iki boyutlu görüntülerin alınmasını ve işlenmesi SFS'nin temel aşamalarındandır. Objeler döndürülerek farklı açılardan görüntüler elde edilir. Bu işlemin doğru sonuç vermesi için kullanılacak olan sayısal kameranın kalibre edilmesi gerekir. Görüntüler, kalibre edilmiş sayısal kameralarla sıralı olarak çekilmesi zorunludur. Kullanılacak yazılım ise iki boyutlu görüntülerin siluetlerinin oluşturulması, objenin üç boyutlu noktalarının hesaplanması için algoritmanın çözümlenmesi, üç boyutlu hesaplanan noktalardan üçgen bir model elde edilmesi ve tematik haritaların oluşturulması işlemlerini gerçekleştirir (Phothong ve ark., 2017).

SFS yöntemi duran ya da hareketli nesnelere için kullanılabilir. Voxel Coloring, Visual Hull ve Space Carving gibi çok farklı siluet bazlı yöntem mevcuttur. Voxel Coloring yönteminde objeyi kaplayan yapay bir küp hesaplanır, bir sonraki işlem adımında bu küp daha küçük küpler haline getirilir. Bu yöntemde çözünürlük önemlidir. Nesnenin modelinin oluşması için küp renginin belirgin olması gerekir, herhangi bir renge sahip olmayan küp nesneye ait değildir. Visual Hull yönteminde ise cismin silueti görüntünün bütününden ayrılır, farklı açılardan çekilen diğer görüntülerin üst üste bindirilmesiyle model oluşturulur. Objenin geometrik doğruluğu kullanılan fotoğraf sayısı arttıkça yükselir ve görüntü üzerindeki detaylar daha rahat modellenmiş olur. Ancak yöntem girintili detaylar için yetersizdir (Karkınlı, 2011).

Siluetten şekil yöntemi üzerinde sürekli çalışılan bir yöntemdir. Siluetten şekil yönteminin amacı görsel kesiştirme ismi verilen bir uygulamadır. Bu uygulama için kamera kalibrasyonu uygun olan bir yöntemle nesne görüntülerinin karşılıklı yönelmelerini sağlayarak siluet konilerini oluşturup görsel zarfı ortaya çıkarmaktır. Bu yöntemle oluşturulan modellerin doğruluğu yüksektir (Beşdok ve ark., 2016).

Şekil 3.15.'de kısmi kontrollü bir ortamda elde edilen görüntüler yardımıyla siluetten şekil çıkarma yöntemi kullanılarak oluşturulmuş bir objenin üç boyutlu modeli gösterilmiştir. Bu model ikili görüntüleme ile iyileştirilmiş, üzerine yüzey dokuları da eklenerek objeye çok benzeyen bir model oluşturulmuştur (Yılmaz, 2003).



**Şekil 3.15.** SFS ile Elde Edilmiş 3B Model ve İyileştirmeleri

SFS yöntemi, birden daha çok görüntüden sınır yüzeylerini çözümleyerek objenin üç boyutlu modelini oluşturduğu için obje gerçeğine benzerdir. Üç boyutlu model algoritmalarının çözümü için farklı yazılımlar gerekirse de sonuçta hızlı şekilde işlenmiş gerçek objeye uygun üç boyutlu model elde edilir. E-ticaret uygulamalarında kullanılabileceği düşünülmekte, bunun yanı sıra üç boyutlu model oluşturma da etkili bir yöntem olduğu bilinmektedir (Phothong ve ark., 2017).

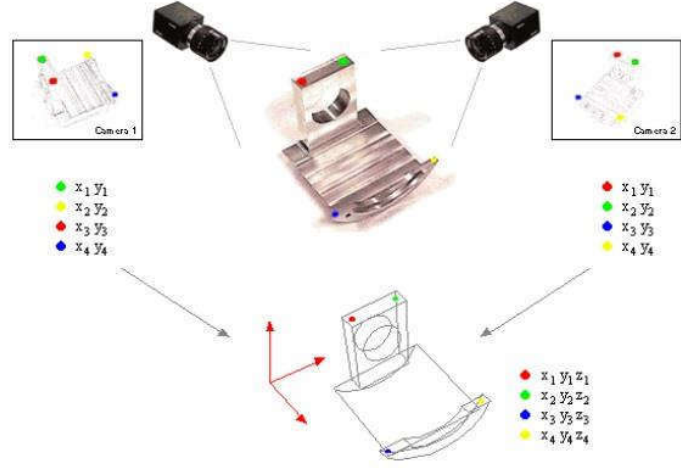
### 3.3.6. Fotogrametri

“Fotogrametri, fiziksel cisimler ve oluşturdukları çevreden yansıyan ışınların şekillendirdiği fotogrametrik görüntülerin ve yaydıkları elektromanyetik enerjilerin kayıt, ölçme ve yorumlama işlemleri sonucu güvenilir bilgilerin elde edildiği bir teknoloji, bilim ve sanat dalıdır.” şeklinde tanımlanabilir (Marangoz, 2002).

Fotogrametrik yöntemler; görüntüler ve diğer verilerden yararlanarak noktaların göreceli konumlarını belirlemek için hassas ölçümler yapmayı temel alan yöntemlerdir. Objelerin uzaklıklarını, açılarını, alanlarını, hacimlerini, yükseltilerini, boyut ve şekillerini kolayca bulabilme imkânı sağlamaktadır (Çelik, 2016).

Fotogrametrik yöntemler resimlerin çekim yerlerine göre yersel fotogrametri, hava fotogrametrisi ve uzaktan algılama olarak üç sınıfta toplanmaktadır. Yersel fotogrametride cisimlerin yer üzerinden resimleri elde edilirken hava fotogrametrisinde uçaktan ya da benzeri bir araçta bulunan kameralardan çekilmiş olan resimleri, uzaktan algılamada ise uydu görüntülerinden alınan resimler değerlendirilir (Kıvanç, 2019).

Şekil 3.16.’da yersel fotogrametride nesnenin üç boyutlu modelini oluşturmak için görüntünün nasıl elde edileceği gösterilmiştir (Marangoz, 2002).



Şekil 3.16. Yersel Fotogramtride 3B Görüntünün Elde Edilmesi

Fotogrametri çalışmalarında, mobil haritalamanın kullanıma başlanmasıyla birlikte yeni bir bakış açısı getirilmiş, böylece fotogrametrinin yalnızca sabit nesnelere için değil, hareketli nesnelere içinde modelleme yapılabileceği görülmüştür (Kaya ve ark., 2019). Geleneksel fotogramtride üç boyutlu yüzey modellemesi için kamera ve kontrol noktalarının hassas şekilde elde edilen üç boyutlu konum ve yönlendirme bilgilerine ihtiyacı vardır (Önal ve ark., 2017).

Fotogrametrik yöntemlerle elde edilen enine ve boyuna bindirilmiş görüntülerde başlangıç ve bitiş noktalarına yakın nirengi noktaları olması zorunludur. Yöntemin uygulanmasında kullanılacak paftaların, uçuş yönü ve tesis edilen yer kontrol noktalarının da bulunduğu uçuş planı hazırlanmalıdır. Değerlendirme için elde edilen görüntülerin enine ve boyuna görüntülerde başlangıç ve bitiş noktalarına denk gelmesi sağlanacak en az iki kontrol noktasının olması gerekir. Boyuna bindirilmiş görüntülerden ise bu yer kontrol noktalarının koordinat değerleri (X,Y,Z) ya da yükseklik (Z) değerlerinden kontrolleri yapılır (Akdeniz ve Erdoğan, 2005).

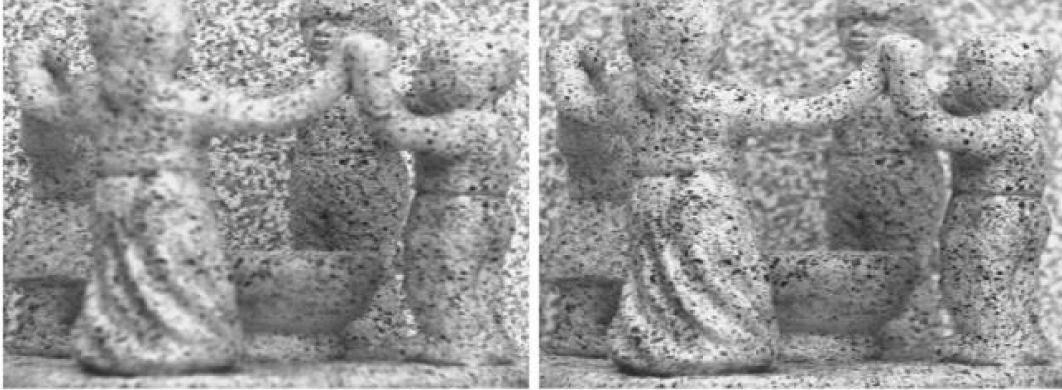
Bu yöntemle elde edilen sonuçların sayısal olması, belgeleme, modelleme, üç boyutlu modeli görselleştirme olanağı sağladığı için mimarlık, astronomi, tıp, biyoloji ve balistik gibi çok farklı alanlarda kullanılmaktadır.

Üç boyutlu yüzey modeli oluşturulması içerisinde yer alan sayısal arazi modellerinin hazırlanması da fotogrametrinin konusudur. Fotogrametri çalışmalarıyla elde edilen görüntüler üzerinden çeşitli yazılımlarla yapılan uygulamalar sonucunda sayısal arazi modelleri oluşturulabilmektedir. Kısa sürede, hassasiyeti yüksek modeller elde etmeye yarayan bu yöntem, maliyet açısından da uygundur (Ergün, 2016).

### 3.3.7. Odak/Odak Dışı Derinlik (Depth From Focus/Defocus)

Odaktan ve odak dışı derinlik yöntemi bir veya daha fazla görüntüden nesne ya da yüzeyin üç boyutlu modellenmesini amaçlar. Kullanılacak görüntüler aynı açıdan kameranın parametre değerleri (genel olarak görüntü eksen konumu ya da kamera odak ayarı) değiştirilerek elde edilir.

Şekil 3.17.'de aynı yüzeye ait iki farklı odak ayarıyla elde edilmiş görüntüler gösterilmiştir (Favaro, 2002).

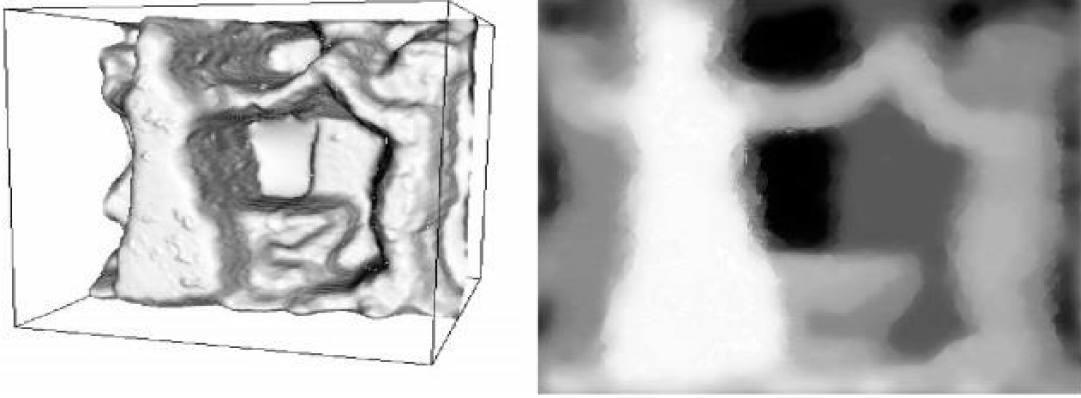


Şekil 3.17. Çok Odaklı (Sol) ve Yakın Odaklı (Sağ) Elde Edilen Görüntü

Odaktan derinlik yönteminin amacı; kamera değişkenlerinin, yani görüntü düzlemi mesafesi( $v$ ), odak uzunluğu( $F$ ) ya da görüntü alınan noktanın düzlem arasındaki yarıçapı( $r$ ) değerleri değiştirilerek farklı odak seviyelerine ulaşmaktır. Bu yöntemin dezavantajı ise, görüntü elde etmek için geçen süredir. Uygulama da doğruluk seviyesi yüksek bir model elde etmek için on veya daha fazla görüntü kullanmak gereklidir (Namboodiri ve Chaudhuri, 2007).

Odaktan derinlik yöntemi aramaya dayalıdır; yüzeyin modeli, obje görüntüsü üzerindeki noktaya odaklanarak oluşturulabilir. Ancak odak dışı derinlik yöntemi model sistemlidir; modellenecek yüzey ya da obje, kamera ve kenar bilgilerine göre bulanıklaştırma algoritmalarının tersi hesaplanarak oluşturulabilir. Her iki yöntemin bulanıklıklarını gidermek için pencere tabanlı algoritmalar kullanılır (Asada ve ark., 1998). Odaktan derinlik ve odak dışı derinlik yöntemleri arasındaki en temel farklardan biri de odaktan derinlikte kamera değerleri değiştirilebilirken odak dışı derinlikte bunu yapmak olanaksızdır.

Şekil 3.18.'de odak dışı derinlik yöntemi kullanılarak elde edilmiş modeller gösterilmiştir (Favaro, 2002).



Şekil 3.18. 3B Yüzey Modeli (Sol) ve Gri Değerle Oluşturulmuş Tahmini Yüzey Görüntüsü (Sağ)

### 3.3.8. Hareket ile Nesne Oluşturma (Structure From Motion)

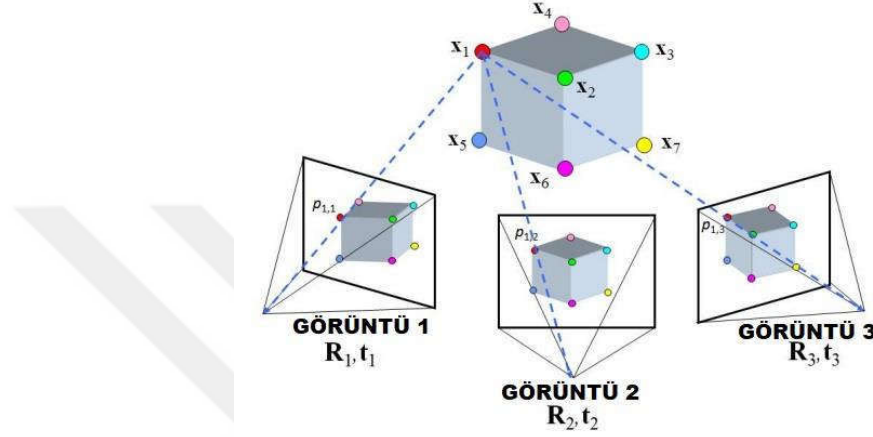
Hareket ile Nesne Oluşturma; sıralı bir dizi olarak çekilmiş iki boyutlu görüntüler kullanılarak üç boyutlu yapıların (arazi, binalar, yeryüzü şekilleri vb.) dijital modellerinin oluşturulmasını sağlayan bir fotogrametri tekniğidir. Bu teknik, insanların ve diğer canlıların çevrelerindeki üç boyutlu dünyayı, insan gözüne yansıyan iki boyutlu görüntülerden algılamasına karşılık gelmektedir. Özellikle son yıllarda kullanımı artan, yüksek çözünürlüklü veriler üzerinde çalışmayı mümkün kılan, devrimsel nitelikte olduğu düşünülen, maliyeti düşük ve kullanıcı dostu bir yöntemdir (Sarıtürk ve Şeker, 2017).

SFM terim olarak Türkçe 'de tam karşılık bulamamıştır. Ancak 'Hareket Tabanlı Yapısal Algılama' ya da 'Hareket ile Nesne Oluşturma' anlamlarını taşımakta ve bu tanımlamalar kullanılabilir. SFM, bindirmeli olarak çekilmiş görüntüler üzerindeki ortak noktaları belirleyen, görüntünün görüntüleme anındaki koordinatlarını ve yönelimini tespit etmeye yarayan bir yöntemdir (Tanrıku,2019).

Bu yöntem, hareketli görüntülerden üretilen çoklu konumdan veya adından da anlaşılacağı gibi, hareketli bir kamerayla üretilen görüntülerin benzer üç boyutlu yapısını yakalayan, sık ve üst üste binen görüntü setlerinin kullanımına en uygun olanıdır (Westoby ve ark., 2012).

Hareket, bilgisayarla görmede zaman olarak nitelendirilen yeni bir bilgi olarak kullanılabilir, bu bilgi sayesinde elde edilen görüntülerden zamana bağlı tüm bilgiler öğrenilebilir. Modeli yeniden boyutlandırmak için, kameranın hareketini duran yüzeyde farklı konumlardan elde edilen görüntüler olarak değerlendirebiliriz. Bu yöntem, stereo ile elde edilen görüntülere benzer bir yapıya sahip olmasına karşın çoklu görüntüleri zaman değişkenine bağlı olarak üretir. Bu özelliğinden faydalanarak elde edilecek olan

derinlik bilgisi bindirmeli elde edilen obje ya da yüzeyin ortak özellikleri kesiştirilerek bulunur. Kamera hızının ve yönün bilinmesi zorunludur. Görüntüler kalibre edilmiş veya edilmemiş kameralarla, genel olarak video şeklinde elde edileceğinden üzerindeki eşitsizlikler oldukça azdır. 3B modeller video üzerindeki noktalar ya da çizgiler yardımıyla takip edilerek oluşturulur. Hareketli olarak elde edilen görüntünün kalitesi yüksek olmasına karşın değerlendiren kişiye bağımlı bir yöntem olduğundan, doğruluğu kişiye bağlıdır (Kuzu, 2004).



Şekil 3.19. SFM Yöntemi Çalışma Prensipleri

Şekil 3.19.'da Hareketten Nesne Oluşturma (SFM) yönteminin çalışma şekli grafiksel olarak gösterilmiştir. SFM ile elde edilecek obje ya da yüzey burada küp şeklindedir. Burada  $(P_{1,1}, P_{1,2}, \dots)$  piksel konumlarını,  $(x_1, x_2, \dots)$  objenin ortak özelliklerini,  $(R_1, t_1, R_2, t_2, \dots)$  kamera hareketini ve objenin üç boyutlu modelini ifade eder (Yılmaz ve Karakuş, 2013).

Birçok fotogrametrik ölçüm tekniklerine alternatif olarak ortaya çıkan optik temelli SFM tekniği, hızlı, basit ve ucuz olmasının yanı sıra diğer yöntemlere göre kısa çalışma süresi ve yüksek seviyede görsel detay sağlamasından dolayı giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır (Önal ve ark., 2017). Hareket ile nesne oluşturma yeniden modellemeyi amaçladığından yalnızca harita üretimi için değil, daha çok üç boyutlu görselleştirme çalışmaları için tercih edilmektedir (Seren ve Demirel, 2016).

SFM geliştirilen birçok nokta bulutu oluşturma modülüyle daha popüler hale gelmiştir. Bir yüzeyin modelini oluşturmak için kullanıcı tarafından yüklenen ya da kendi veri altyapısı içinde yer alan fotoğrafları kullanabilen bu modüller, bu görüntüler aracılığıyla otomatik olarak seyrek ya da yoğun 3B nokta bulutları oluşturabilirler (Westoby ve ark., 2012).

### 3.3.8.1. Hareket ile Nesne Oluşturma (SFM) Modelleme ve Süreci

Hareket tabanlı yapısal algılama tekniği isminden de anlaşılacağı üzere hareketli bir kamera ile modellenecek nesnenin farklı açılardan bindirmeli olarak elde edilmiş görüntülerinin analiz edilmesi ile bu fotoğraflardaki yer kontrol noktalarının koordinatlandırılması esasına dayanmaktadır. Dolayısı ile alınan görüntülerin belirli oranda birbiriyle ortak noktaları içinde barındıran nitelikte olması gerekmektedir (Önal ve ark., 2017).

Genellikle SFM fotogrametrisi ile elde edilen bir 3B model, başlangıçta keyfi bir referans sisteminde yakalanır. Coğrafi referanslama ile bu keyfi verinin önceden belirlenen koordinat sistemine dönüştürülmesi sağlanır. Doğrudan coğrafi referanslama ile fotoğrafların bilinen dış yönelimleri kullanılarak ya da fotoğraflarda yer alan yer kontrol noktaları koordinatlandırılarak bu sağlanabilir (Sanz-Ablanedo ve ark., 2018).

SFM ile yer kontrol noktalarından yararlanılarak 3B model oluşturma süreci detaylandırılırsa; obje ya da yüzey belirlenmeli iç yöneltme parametrelerini üretmek için kamera kalibrasyonu yapılarak kameranın distorsiyon hataları giderilmelidir. Yer kontrol noktaları görüntü alımından önce planlanmalıdır. Planlanan görüntüleme için bindirme oranları hesaplanmalı ve bu şekilde çoklu görüntüler elde edilmelidir. Elde edilen görüntüler üzerinden özellikli noktalar eşleştirilerek bağlama noktaları otomatik olarak üretilir. Kameranın çekim anında elde ettiği koordinatlar, iç ve dış yöneltme parametreleri görüntüler üzerine işlenir. Bu işlem adımına yöneltme işlemleri de denilebilir. Yöneltme işlemi tamamlanan görüntüler üzerinden YKN belirlenerek modelin referans koordinat sistemi tanımlanır. Koordinatlandırılan model üzerinden yoğun nokta bulutu üretilir. Nokta bulutları katı model, dokunun giydirilmesi, 3B modelin oluşturulması ve son olarak ortomozaik görüntü oluşturulmasının yanı sıra sayısal yüzey modelinin de oluşturulması için kullanılır (Özemer, 2017).

Elde edilen görüntülerden ortomozaik görüntü ve sayısal yüzey modelinin oluşturulma süreci grafiksel olarak Şekil 3.20.'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.20.** SFM Değerlendirme Aşamaları

SFM tekniğiyle daha önce elde edilen herhangi bir koordinat ya da poz bilgisi olmadan farklı açı ve mesafeden elde edilen görüntüler kullanılabilir. Yer yüzeyinden ya da daha önce elde edilmiş fotosetleri kullanılarak da görüntüler elde edilebilir (Varlık, 2019).

SFM ile oluşturulan 3B modellerinde deformasyonlar veya sistematik hatalar olabilir. Otomatik SFM yöntemleriyle dikey görüntüler işlendiğinde hata yüzeyi oluştuğu gözlemlenmiştir. Oluşan bu deformasyonlar yer kontrol noktası kullanılarak azaltılabilmektedir. Ancak deformasyon tam olarak ortadan kalkmayacaktır. İkinci ve daha karmaşık olan yöntem görüntüler üzerinde bulunan yer kontrol noktalarının kullanılarak 3B modelin yeniden şekillenmesidir. Bu, yalnızca 3B dönüşümleri değil, aynı zamanda kameralar arasındaki göreceli konumu ve uyumunu değiştirerek kamera kalibrasyonu iyileştirmelerini de gerçekleştirebilir. Bilinen yer kontrol noktalarına ait koordinatların güvenilirliği ve doğruluğu yüksek olmalıdır, aksi takdirde 3B modele ait şeklin deforme olması kaçınılmazdır. Hızlı statik bir RTK ile elde edilen yer kontrol noktalarına güven duyulabilir. Yanlış ya da eksik koordinatların verilmesi, ilk deformasyonu azaltmanın aksine daha karmaşık bir hata yüzeyi ortaya çıkaracaktır (Eltner ve ark., 2016).

### 3.3.8.2. Düzensizlik Haritası (Disparity Map)

Stereo kameralar ile elde edilen görüntüler derinlik bilgisi elde etmek amacıyla işlenir. Ancak işleme sırasında görüntüler içerisindeki uyumsuzluk ve farklılıkların giderilmesi gerekmektedir. Düzensizlik haritaları, yatay olarak üst üste bindirilen görüntülerdeki karşılıklı gelen pikselleri ifade etmektedir (Hamzah ve Ibrahim, 2016).

“Eşleşen her piksel çifti için derinlik bilgisi, eşleşen piksellerin yer aldıkları görüntülerdeki konumları arası yatay uzaklık kullanılarak hesaplanmaktadır. Elde edilen yatay uzaklık, düzensizlik (derinlik) değeri olarak isimlendirilir ve  $d$  ile gösterilir. Böylece, sol görüntüde  $(x, y)$  konumunda yer alan pikselle eşleştirilen pikselin sağ görüntüdeki konumu  $(x - d, y)$  ifadesi ile hesaplanabilir. Burada  $x$  ve  $y$  sırasıyla görüntünün yatay ve dikey ekseninde yer alan piksel konumlarını belirtmektedir. Eşleştirilen pikselin üç boyutlu (3B) düzlemdeki derinlik değeri ( $z$ ) ise Eşitlik 3.9 kullanılarak hesaplanmaktadır.” (Emlek ve Peker, 2020)

$$z = f\left(\frac{B}{d}\right) \quad (3.9)$$

Eşitlik 1’deki  $z$  pikselin 3B düzlemdeki derinlik değerini,  $f$  kameralarının odak uzaklığını ve  $B$  terimi ise kamera merkezleri arasındaki uzaklığı ifade eder.

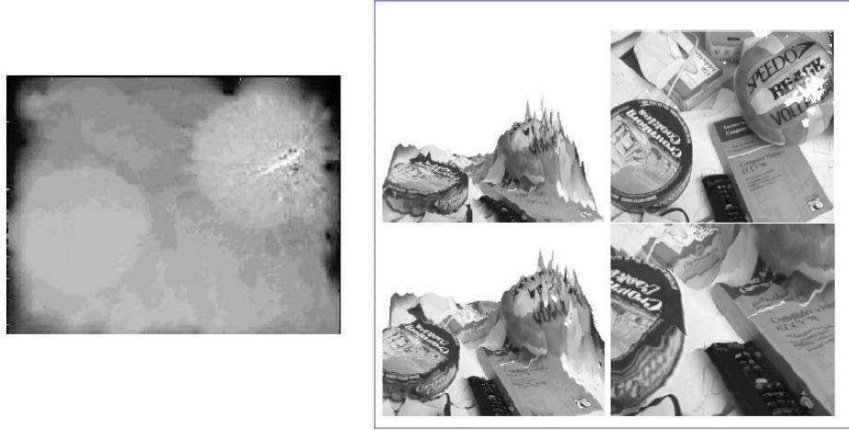
Şekil 3.21.’de sol (left) ve sağ (right) görüntüden oluşturulmuş bir düzensizlik haritası gösterilmiştir (Hamzah ve Ibrahim, 2016).



Şekil 3.21. Düzensizlik Haritası

Eşitlik 3.10’da anlaşıldığı gibi derinlik ile düzensizlik ters orantılıdır. Düzensizlik değerlerinden genellikle piksel kodları okunabilirken derinlik haritalarında eşleşen doku görünümü elde edilmektedir. Bu nedenle düzensizlik haritaları ve derinlik haritaları birbirinden ayrı düşünülemez.

Şekil 3.22.’de düzensizlik haritası piksel kodları (sol) ve eşleşen doku düzeylerinden derinlik haritası (sağ) gösterilmiştir (Collins, 2007).



Şekil 3.22. Düzensizlik Haritası (Sol) ve Derinlik Haritası (Sağ)

Stereo görüntülerde eşlenik çiftlerin saptanması, sol görüntüdeki her nokta için sağ görüntüde karşılık gelen noktayı belirlemek olarak bilinir (Barnard ve Thompson, 1980). Başka bir ifadeyle; görüntü eşleme olarak ifade edilen eşlenik çiftlerinin saptanması, stereo görüntülerde eşlenik noktaların bulunmasını amaçlayan, bu sebeple bir eleme algoritması tanımlanarak iki ya da daha fazla görüntü setinde uygulanan bir yöntem olarak da tanımlanabilmektedir.

Bir görüntünün tamamında her piksel için eşleştirme işlemi uygulamak uzun zaman alan, bunun yanı sıra görüntü içerisinde tekrarlı olan gri piksel değerlerinin anlaşılma gücü yaratabilmesi ya da görüntünün sahip olduğu gürültünün piksellerle benzerlik göstermesi sorunlarını da beraberinde getirmesinden zorlu bir süreç olarak ifade edilebilmektedir (Varlık, 2020). Görüntü üzerinde bulunan noktalar, diğer piksellerden farklılık gösteren noktalardan oluşmalıdır. Bu nedenle benzer özellik gösteren noktaların seçimi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemler alan bazlı ve özellik bazlı olarak iki ana gruba ayrılabilir. Alan bazlı yöntemler, mesafe ölçüsü olarak gri değer aralıklı görüntülerin piksel yoğunluklarını kullanırken özellik bazlı yöntemler benzerlik noktalarını, görüntünün kenarlarını ya da görüntü üzerindeki bölgeleri kullanarak düzensizlik haritası oluşturur. (Georgoulas ve ark., 2008).

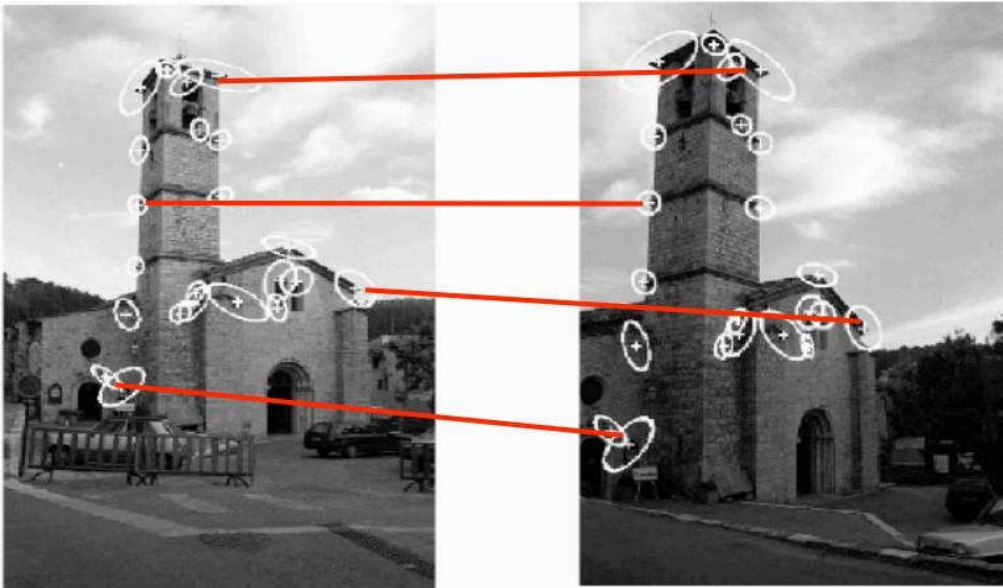
Alan bazlı yöntemler; bir pikselin tek başına anlam karmaşası oluşturacağı bilindiğinden komşu piksellerin eşleştirilmesine dayanılarak yapılır. Alan bazlı yöntemlerde genellikle bir görüntü içerisinde bir parça seçilerek bir şablon elde edilir. Bu şablon diğer görüntüde aranır. Arama alanı içerisinde yer alan şablonun her konumu için bir benzerlik ölçümü yapılır. Bu benzerlik ölçüsüne göre sonuca gidilir ve bu sonucun kabul edilip edilmeyeceğini belirleyen bir eşik değeri tanımlanır. Alan bazlı

yöntemler; korelasyon, en küçük kareler, görüntü mesafesi ve ortak bilgi olmak üzere dört alt sınıfa ayrılır.

Özellik bazlı yöntemler üç adımda yapılır; ilk adım görüntüdeki detayların (kenarlar ve bölgeler) ayrı ayrı seçilmesidir, ikinci adım seçilen benzerlik ölçümüne göre eşleşen detay çiftlerinin bir aday listesinin oluşturulmasıdır ve son adım nesne modeliyle uyumlu detay çiftlerinin listesinin oluşturulmasıdır. Özellik bazlı yöntemler; ilinti operatörleri, kenarlar ve bölgeler (regions) olmak üzere dört sınıfa ayrılır. (Çavdaroğlu ve Bayram, 2003).

Bu yöntemde eşleşen noktaların tespiti için ilinti noktaları tercih edilmektedir. İlinti noktalarının genel özellikleri; ayırt edebilirlik, görüntü distorsiyonlarına karşı değişmezlik, herhangi bir görüntü içerisinde seçilebilme, tekrarlayan pikseller içerisinde çakışma göstermeme, yorumlanabilirlik şeklinde sıralanabilir. İlinti noktaları her eşleşen görüntü için; görüntüdeki karakteristik parametrelerin belirlenmesi ve belirlenen parametrelerin değerlerinin belirlenen eşik değerleri ile karşılaştırılması olarak iki aşamada gerçekleşir (Varlık,2020).

Şekil 3.23.'de ilinti noktaları gösterilmiştir (Collins, 2007).



Şekil 3.23. İlinti Noktaları

İnsan görme sistemi düşünüldüğünde, özellik bazlı yöntemlerin, alan bazlı yöntemlere kıyasla daha iyi bir seçenek olduğu bilinmektedir. Ancak özellik bazlı yöntemlerin çözümü güç olan kötü pozlanması, sınırı olmayan araştırma uzayı

problemleri, eşleşme biriminin benzersizliği, eşleşme birimlerinin geometrik distorsiyonları gibi problemleri mevcuttur.

Yapılan çalışmalarda düzensizlik haritaları 640x480 piksel çözünürlüklü stereo görüntüler için saniyede 275 kareye ulaşabilecek yüksek hıza sahiptir (Georgoulas ve ark., 2008).

### 3.3.8.3. Semi-Global Matching (SGM)

Görüntü eşleme sonrasında eşleşen piksellerin 3 boyutlu koordinatlarının hesaplanması için kameranın iç ve dış yöneltme elemanları kullanılır. Burada problemin karmaşık olmasının yanı sıra eşlemenin kaliteli sonuç vermesi birçok nedene bağlı olduğundan çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu amaçla yoğun nokta bulutu üretilerek elde edilen sayısal yüzey modelinin yer örnekleme aralığına eşit olduğu SGM (Semi Global Matching) en yaygın kullanılan yöntem olarak bilinmektedir (Öztürk ve ark., 2017). Başka bir deyişle, stereo görüntüler üzerindeki maksimum benzerlik ile eşleme işlemi yapılır. Ancak görüntülerin eğiklik ve dönüklüklerinin farklı olması, arazinin düz olmaması, arazinin topolojik yapısındaki farklılıklar, ani renk değişimleri, görüntünün renk, parlaklık, kontrast gibi çeşitli özelliklerinin farklı olması eşleme işlemlerinin kalitesinin azaltır. Bu sebeple görüntü eşlemesi yerine piksellerin eşlemesi için SGM tercih edilebilmektedir. SGM eşleme sırasında tanımlanan “cost” fonksiyonunun çözümüne dayanır (Yastıklı ve Bayraktar, 2014).

Sayısal fotoğraflar kullanılarak yapılan görüntü eşleme işlemi yüksek bindirme oranlarına sahip olduğundan iç doğrulukları arttırmaktadır. Fotogrametrik nirengi dengelemesinde iç doğruluk değeri  $\sigma_0$  değeri ile ifade edilmektedir. Yapılan çalışmalar ışığında sayısal hava kameraları ile elde edilen yüksek çözünürlüklü ve bindirme oranı yüksek olan hava fotoğraflarının fotogrametrik nirengi dengelemesi sonucunda iç doğruluk değeri olan  $\sigma_0$  in  $\pm 1 \mu\text{m}$  olarak hesaplandığı ispatlanmıştır (Varlık, 2020).

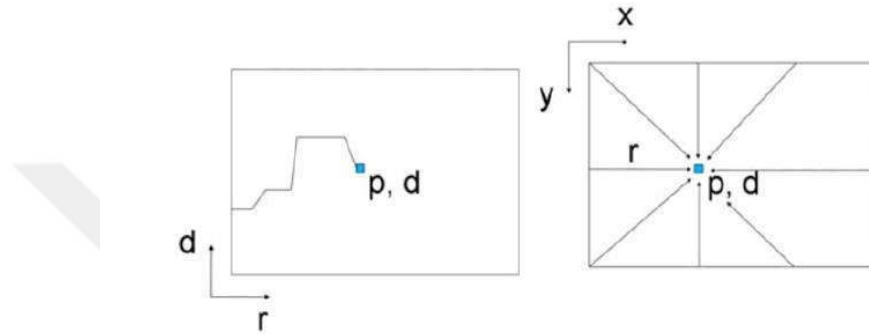
SGM, gerçek süreksizliklerden farklı genellikle eğimli yüzeylerin parçası olan küçük eşitsizlik adımlarını değiştirerek Eşitlik 3.10'da gösterildiği gibi küresel maliyet fonksiyonu ile tanımlanır.

$$E(D) = \sum_p (C(p, D_p) + \sum_{q \in N_p} P_1 T[|D_p - D_q| = 1] + \sum_{q \in N_p} P_2 T[|D_p - D_q| > 1]) \quad (3.10)$$

Bu fonksiyonla beraber eşitsizliklere sahip komşuları olan tüm pikseller için bir düzeltme eklenir. Bu şekilde, piksel bazında eşleşme sağlanırken dokuda bir süreksizlik mevcutsa bunların görüntülenmesine devam edilir. Bu fonksiyonla tüm pikseller dolaylı olarak birbirine bağlanır ve işlev global hale getirilir (Hirschmüller, 2011).

Bu yaklaşımda en dikkat çeken özellik, her bir piksel için yapılacak eşleme işleminde eşlemeye konu olan piksele komşu bütün yönlerde uygulanmasıdır.

Şekil 3.24.'de SGM için uygun konumun bulunmasında yararlanılan 8 arama yönü şematik olarak gösterilmiştir (Hirschmüller, 2011).



Şekil 3.24. SGM için Uygun Konumun Bulunmasında Yararlanılan 8 Arama Yönü

İki fotoğraf görüntü düzleminin tam olarak hizalanması gürültü ve radyometrik farklılık değerlerini hesaplamak için gereklidir. Bu işlem sonucunda iki görüntü üzerinde yer alan piksel satırlarının hizalanması stereo eşleme işlemi daha gerçekçi ve hesaplanabilir kılmaktadır. Böylece eşleştirilecek karşılıklı piksellerin aranması işlemi aynı yatay düzlemde tek boyutlu bir piksel aramasına dönüşecektir (Varlık,2020).

Bu yaklaşımın çok büyük hafızaya ihtiyaç duyması bilinen en önemli dezavantajıdır (Hirschmüller ve ark., 2012). Bu dezavantaj görüntü eşleme işlemi SGM algoritmalarına esas çalışan çoklu bilgisayarlarda gerçekleştirerek çözümlenebilmektedir. Büyük alanlar için oluşturulan sayısal yüzey modeli üretiminde eşleme işleminin süresini kısaltmak için grafik işlem ünitesi (GPU) de kullanılmaktadır. Eşleme işleminin gerçekleştirileceği yazılımın da GPU'ları aktif bir biçimde kullanılabilecek çoklu bilgisayarda çalışmaya uygun olarak tercih edilmesi gereklidir. Yüksek çözünürlüğe sahip sayısal yüzey modeli üretmek için, SGM yaklaşımı esas alan yoğun görüntü eşleme algoritmaları için %80 boyuna ve %60 enine bindirme oranları önerilmektedir (Hirschmüller ve ark., 2010).

Bu yöntem için geliştirilen algoritmalar kullanılarak üretilen çok sık nokta bulutları ile görüntülerin yer örnekleme aralığı eşit olabilmektedir. Bunun yanı sıra

stereo görüntülerdeki renk, ton, ölçek değişimleri veya görüntü üzerinde yer alan ağaçlık alan, kentsel alan gibi sürekli tekrarlayan detayların yer aldığı normlarda da görüntü eşleme işlemi başarılıdır (Yastıklı ve Bayraktar, 2014).



Şekil 3.25. SGM Örneği

Şekil 3.25.'de Hirschmüller ve Bucher'ın (2010) çalışmalarında 8 cm/piksel zemin örnekleme mesafesi ile DGPF UltraCam-X görüntülerinden otomatik dokusuz ve dokulu olarak ürettikleri SGM örneği gösterilmiştir. SGM'nin güçlü olduğu bir başka alan ise kentsel manzaraların havadan görüntülerinde gösterilebilir. Özellikle görüntü çiftlerinde yeterli miktarda görüntü çakışması mevcutsa çok hassas sayısal yükseklik modeline ulaştığı bilinmektedir. Pahalı olan lazer teknikleriyle karşılaştırıldığında rakip olabilecek nitelikte olduğu yapılan çalışmalarla doğrulanmıştır (Wenzel ve ark., 2013).

#### 4. UYGULAMA

Bu bölümde tez çalışmasının konusunu oluşturan üç boyutlu pasif yüzey oluşturma yöntemlerinden tek resimden şekil ve hareketten nesne oluşturma ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

Çalışmalar aşağıda özellikleri belirtilen standart bir bilgisayar ile gerçekleştirilmiştir.

Özellikler:

Sistem Türü: 64 bit işletim sistemi, x64 tabanlı işlemci

Sürüm: Windows 10 Pro

İşlemci: Intel(R) Core(TM) i5-7400 CPU @ 3.00GHz 3.00 GHz

RAM: 8.00 GB

Bu çalışmalar için yüksek performanslı bir teknik programlama dili olan Matlab R2020b yazılım dili kullanılmıştır. Matlab kelimesi matris laboratuvarı anlamına gelen ‘‘MATrix LABoratory’’ den türetilmiştir ve anlaşılacağı gibi boyutlandırma gerektirmeyen matrisler yardımıyla amaca yönelik kullanıma uygundur (Uzunoğlu ve Onar, 2003).

Yapılan tüm uygulamalar hem yersel hem İHA ile elde edilen görüntüler üzerinde uygulanmıştır. İHA fotoğrafları DJI Phantom IV insansız hava aracı ile elde edilmiştir. Şekil 4.1.’ de kullanılan DJI Phantom IV İHA gösterilmiştir (URL-2).



Şekil 4.1. DJI Phantom IV İHA

Ürüne ait bazı özellikler;

4K, HD, 1080p, 1/2.3" CMOS effective pixels 12.4M kamera,

3-axis (pitch, roll, yaw) gimbal,

28 minutes mak. uçuş süresi,  
 1380 gr ağırlık,  
 20 m/s mak. hız,  
 10 m/s mak. rüzgar hızı direnci,  
 0°- 40° çalışma sıcaklığı,  
 GPS + GLONASS açık konumlandırma modülü,  
 0.1 m V, 0.3 m H (Vision); 0.5 m V, 1.5 m H (GPS) konumlandırma doğruluğu,  
 4000 x 3000 görüntü boyutu,  
 8 - 1/8000 s elektronik deklanşör hızı,  
 FOV 94° 20 mm (35 mm format equivalent) f/2.8 focus at ∞ lens özellikleri,  
 5 km kullanım mesafesi şeklinde sıralanabilir (URL-2).

İnsansız hava aracı ile elde edilen görüntüler, Konya ili Meram ilçesinde yer alan Necmettin Erbakan Üniversitesi Köyceğiz yerleşkesine aittir. TÜİK 2020 verilerine göre Meram 344549 kişilik nüfusuyla Konya'nın 3. kalabalık ilçesi olma özelliğine sahiptir.

Köyceğiz Yerleşkesinde Mühendislik ve Mimarlık fakültesi, Uygulamalı Bilimler fakültesi ve Havacılık ve Uzay Bilimleri fakültesi olmak üzere üç fakülte yer alır. Modern yapısı ve bulunduğu konum açısından sakin oluşuyla dikkat çeken çalışma bölgesi mimarisiyle de göz doldurmaktadır.

Yersel fotoğraflar ise Iphone XR marka telefon kamerasıyla elde edilmiştir. Kamera ya ait bazı özellikler;

12 MP çözünürlüklü geniş kamera,  
 F1.8 diyafram açıklığı,  
 26 mm odak uzaklığı,  
 5 kata kadar dijital zoom,  
 Gelişmiş bokeh efektine ve Derinlik Denetimi'ne sahip Portre modu,  
 Optik görüntü stabilizasyonu,  
 Altı bileşenli lens,  
 Focus Pixels özelliğine sahip otomatik netleme,  
 Fotoğraflar için Akıllı HDR,  
 Otomatik görüntü stabilizasyonu,  
 Seri çekim modu,  
 Fotoğraflara konum bilgisi ekleme şeklinde sıralanabilir (URL-3).

Elde edilen yersel görüntüler Yunan mitolojisinde önemli bir yere sahip olan Atlas Titan biblosuna aittir. Şekil 4.2.'de kullanılan yersel görüntü gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Yersel Olarak Elde Edilen Atlas Titan Biblosu

Hareketten nesne oluşturma yönteminin değerlendirmesini yapmak için elde edilen yersel ve İHA görüntüleri Agisoft Photoscan yazılımı ile yeniden modellenmiş ve katı modeller elde edilmiştir. Photoscan, fotoğraflar üzerinden; dense point clouds (yoğun nokta bulutu), textured polygonal model (dokulu çokgensel model), ortofoto, Dsm/Dtm üretimi için kullanıma uygun olarak üretilmiş bir yazılımdır. Photoscan dijital görüntülerin fotogrametrik işlenmesini gerçekleştiren ve CBS uygulamalarında, kültürel miras dokümantasyonunda ve görsel efekt üretiminde ve çeşitli ölçeklerdeki nesnelerin dolaylı ölçümlerinde de kullanılmaktadır (URL-1).

#### 4.1. Tek Görüntüden Şekil (Shape From Single Images)

Teknolojinin mevcut durumuna bakıldığında tek bir fotoğraftan üç boyutlu yüzey oluşturulması oldukça zorlu bir süreçtir. Hedef nesne, çok sayıda karmaşık bilgi içerdiğinden, 3 boyutlu pozlama, şekil ve yapılarının bilinmesine ihtiyaç duyar (Cengiz, 2019). Bu yöntem diğer modelleme yöntemlerinde olduğu gibi doğrudan modeli tahmin etmeye çalışarak tek bir görüntüde yer alan her bir pikselin derinliğini hesaplamaya çalışır (Godard ve ark., 2017). Tek bir renkli görüntü, sonsuz sayıda farklı 3 boyutlu

yüzeyden ya da nesneden üretilebilir. Bu birçok belirsizliği de beraberinde getirir. Bu nedenle geliştirilen standart yöntemlerin yanı sıra, istatistiksel olarak anlamlı nesne konumu, perspektif ve doku bilgisi vb. özelliklerden yararlanılabilecek yöntemler oluşturulmuş, bir çok derin öğrenme tabanlı yöntemde geliştirilmiştir (Ren ve ark., 2019).

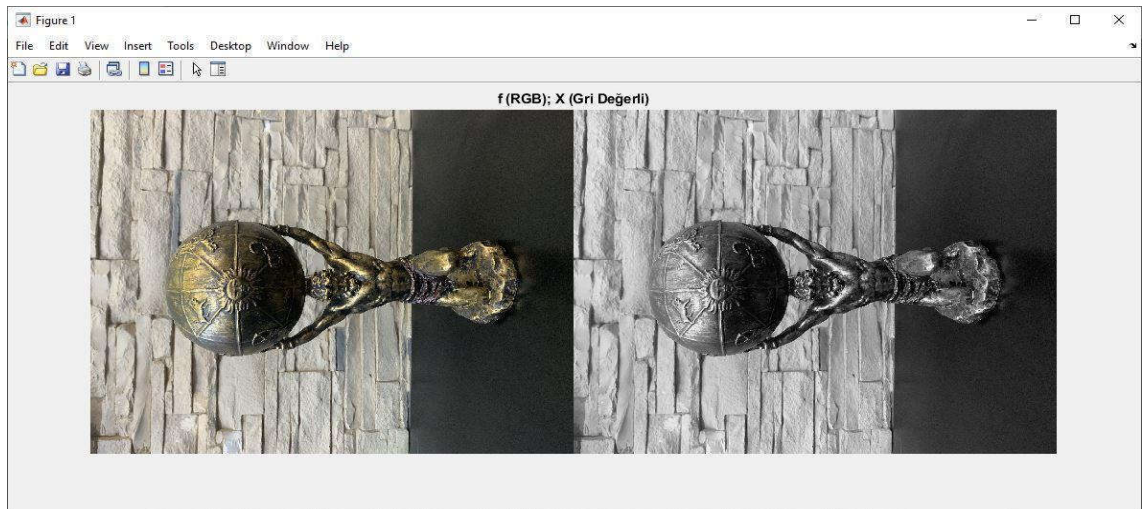
Bu yöntemle elde edilen 3 boyutlu yüzey modelleri göz önüne alındığında, oluşturulan model üzerindeki piksellerin (görüntüleme düzlemi üzerindeki renk ve yoğunluklarının) dünya üzerindeki herhangi bir koordinat sisteminde tanımlı metre cinsinden kalibre edilmiş benzer örnekleri olduğunu söylemek mümkündür. Ancak şu an ki gelişmeler gerçek zamanlı uygulamalar için yeterli olmadığını göstermektedir (Shotton ve ark., 2012).

Literatürde genellikle yüz tanıma için oluşturulan modellerde kullanılan albedo bu tez çalışması kapsamında hava fotoğrafı ve yersel fotoğraf için uygulanmıştır. Sınır tabanlı gradyan görüntü filtresi uygulanan görüntüler üzerine bu uygulama için oluşturulan tahmini albedo fonksiyonu işlenmiştir.

#### 4.1.1. Yersel Tek Görüntü

Görüntüyü alım merkezi yer üzerinde herhangi bir noktada olması durumunda elde edilen görüntüye yersel görüntü denilmektedir. Bu uygulama içerisinde bir objeye ait tek bir yersel fotoğraf kullanılmaktadır.

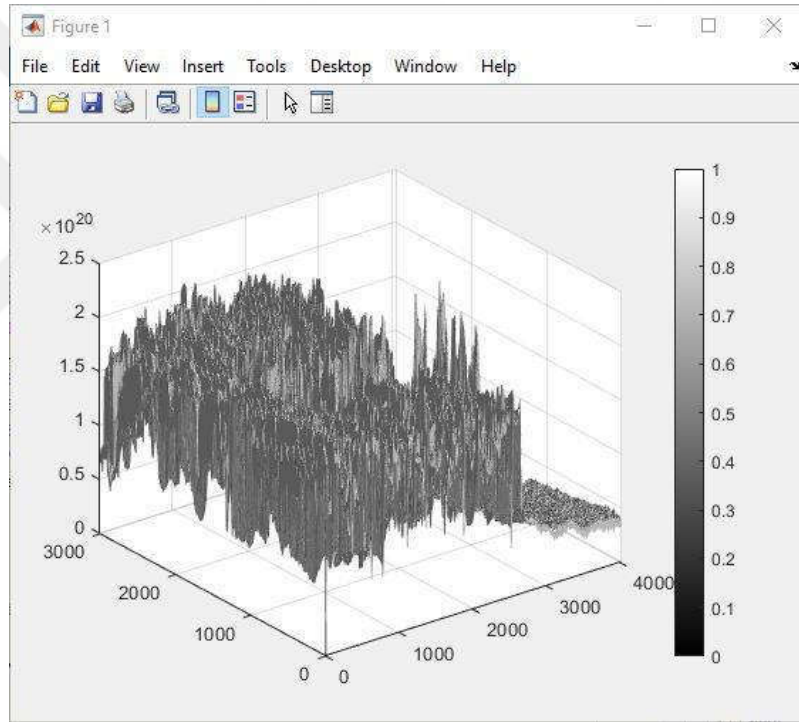
Renkli olarak elde edilen yersel görüntü gri değer aralığına getirilmiştir. Şekil 4.3.'de kullanılan renkli yersel fotoğraf (sol) ve gri değer aralıklı yersel fotoğraf (sağ) gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Renkli Yersel Fotoğraf (Sol) ve Gri Değer Aralıklı Yersel Fotoğraf (Sağ)

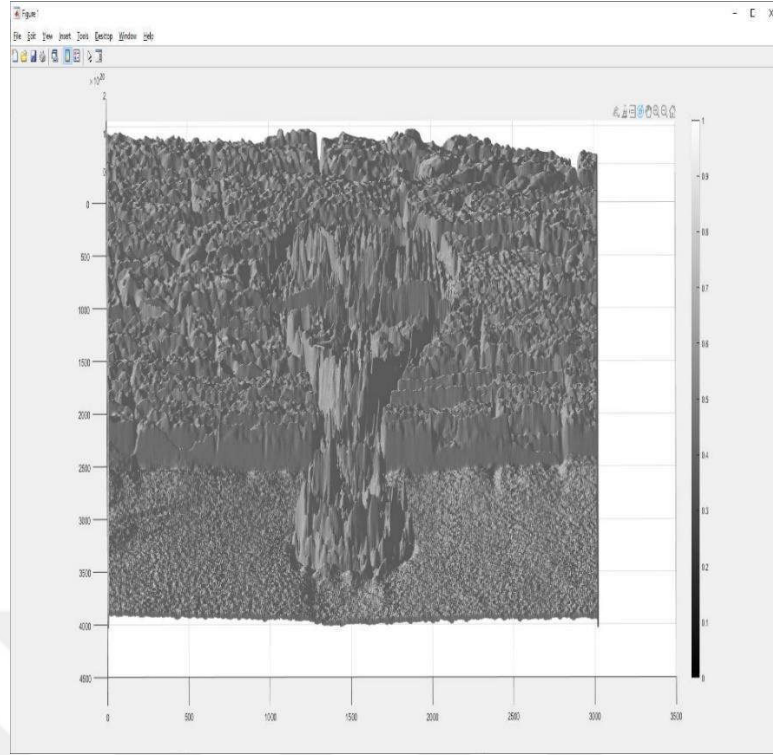
Gri değer aralıklı yüzey üzerinde fonksiyon çalıştırılarak, görüntü gradyanı oluşturulur. Yüzey albedosu hesaplandıktan sonra, yüzey normalleri hesaplanır. Yüzey normalleri, yeni oluşturulan yüzey üzerinden türevlenir. Düzlem üzerinde yer alan normalleştirilmiş aydınlatma yönleri hesaplanarak daha önce hesaplanılan albedo ve görüntü gradyanıyla yansıma haritası hesaplanır.

Tüm değerlerin pozitif olması için iterasyon yapılması gerekir. Aksi durumda min. değerlerin sıfır değerinde olması sağlanır. Hesaplanan görüntünün sapması olan  $f$  fonksiyonu da yeniden hesaplanır. Hesaplanan sapma değerine göre yüzey yeniden oluşturulur.  $x$  ve  $y$  düzlemine göre yüzey normalleri hesaplanarak yüzey düzleştirilir. Yersel tek görüntüyle oluşturulan 3 boyutlu yüzey modeli Şekil 4.4.'de Matlab'ın sonuç ürünü olarak gösterilmiştir.



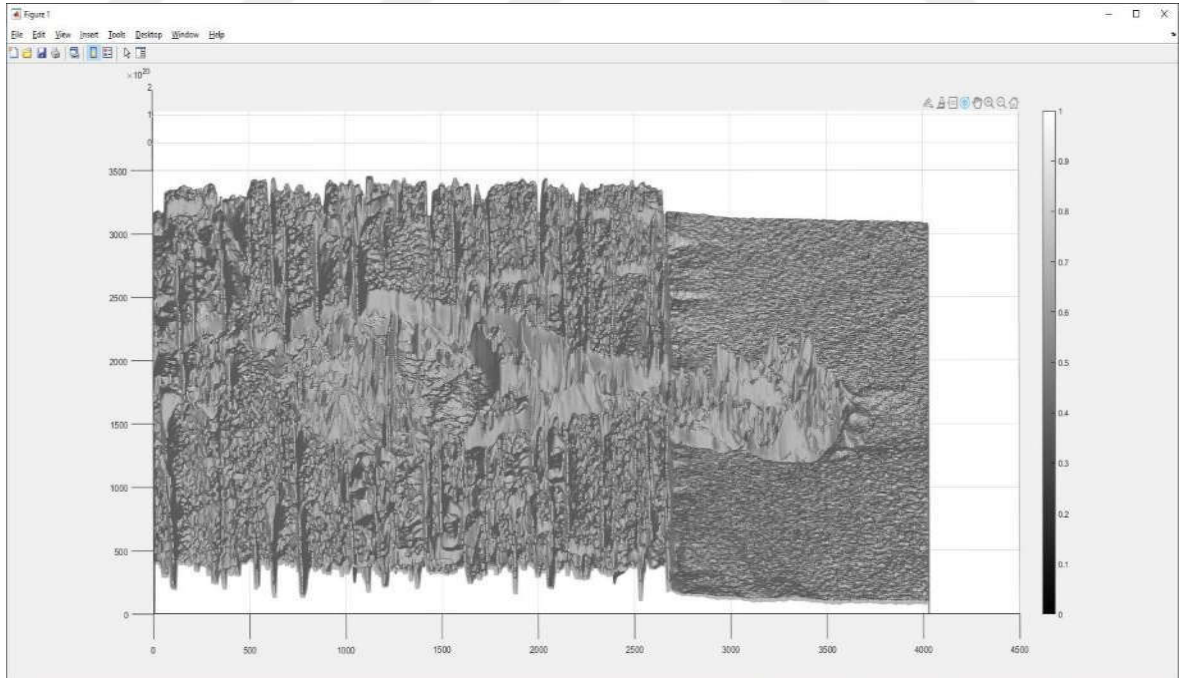
Şekil 4.4. Tek Resimle Üretilen 3B Model

Oluşturulan 3B model değerlendirme kolaylığı açısından, modellenecek görüntüyle aynı düzleme getirilmiş ve Şekil 4.5.'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.5.** Tek Resimle Üretilen 3B Modelin Yersel Görüntüsüyle Aynı Düzlemdeki Görseli

Tek yersel görüntüyle oluşturulan yüzey modelinin kesiti Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.

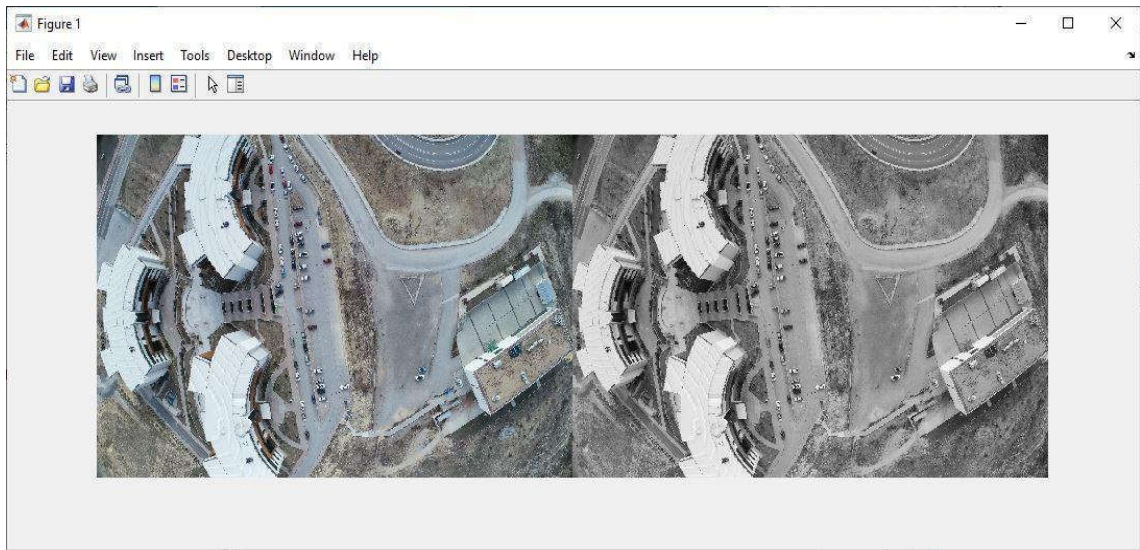


**Şekil 4.6.** Tek Resimle Üretilen 3B Modelin Kesiti

#### 4.1.2. İHA Görüntüsü

Mevzuatta İHA; ‘‘Aerodinamik kuvvetler aracılığıyla sürekli uçuş yapma yeteneğinde olan, üzerinde pilot bulunmaksızın uzaktan İHA pilotu tarafından kontrol edilerek veya otonom operasyonu İHA pilotu tarafından planlanarak uğurulan ya da havada kalabilen hava aracı’’ olarak tanımlanmaktadır (SHGM, 2019). Bu araçlar kullanılarak elde edilen fotoğraflara İHA görüntüsü denilmektedir. Bu uygulama içerisinde bir objeye ait tek bir İHA görüntüsü kullanılmaktadır.

Renkli olarak elde edilen İHA görüntüsü gri değer aralığına getirilmiştir. Şekil 4.7.’de kullanılan renkli İHA fotoğrafı (sol) ve gri değer aralıklı İHA fotoğrafı (sağ) gösterilmiştir.

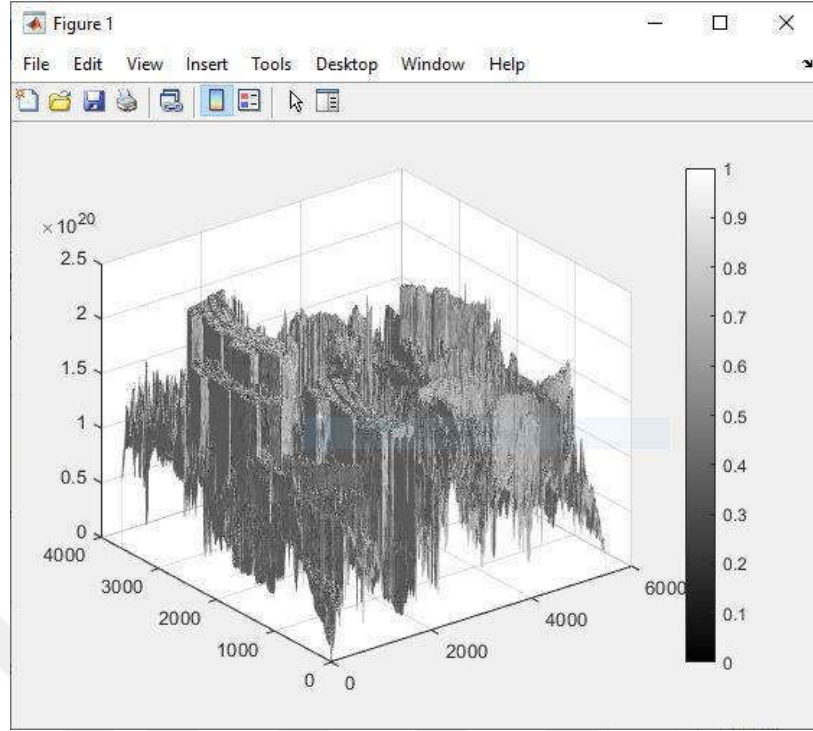


Şekil 4.7. Renkli İHA Fotoğrafı (Sol) ve Gri Değer Aralıklı İHA Fotoğrafı (Sağ)

Gri değer aralıklı yüzey üzerinde fonksiyon çalıştırılarak görüntü gradyanı oluşturulur. Yüzey albedosu hesaplandıktan sonra, yüzey normalleri hesaplanır. Yüzey normalleri, yeni oluşturulan yüzey üzerinden türevlenir. Düzlem üzerinde yer alan normalleştirilmiş aydınlatma yönleri hesaplanarak daha önce hesaplanılan albedo ve görüntü gradyanıyla yansıma haritası hesaplanır.

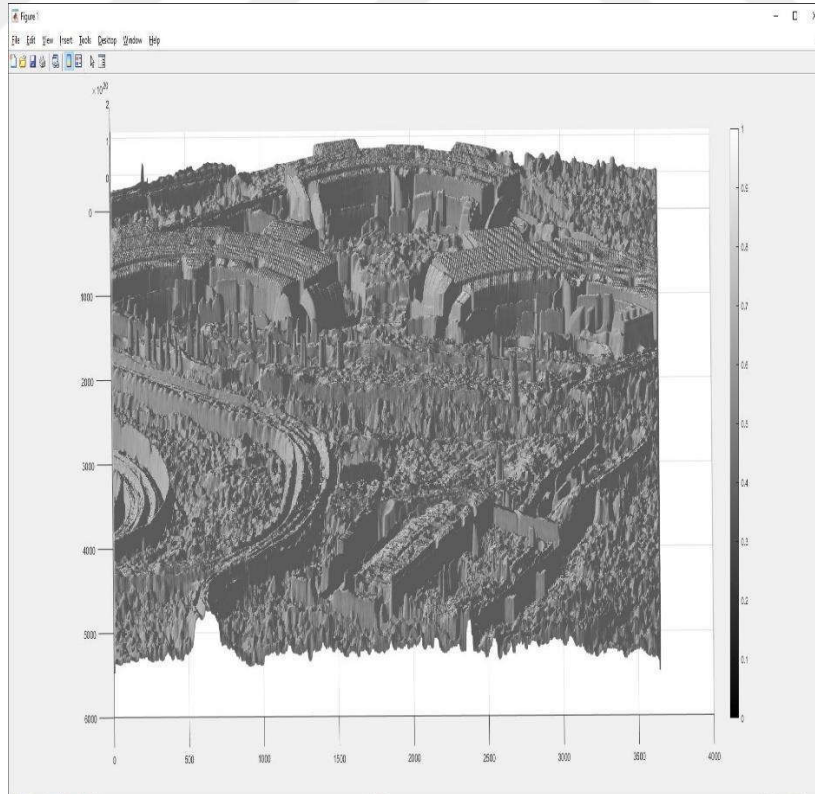
Tüm değerlerin pozitif olması için iterasyon yapılması gerekir. Aksi durumda min. değerlerin sıfır değerinde olması sağlanır. Hesaplanan görüntünün sapması olan  $f$  fonksiyonun yeniden hesaplanır. Hesaplanan sapma değerine göre yüzey yeniden oluşturulur.  $x$  ve  $y$  düzlemine göre yüzey normalleri hesaplanarak yüzey düzleştirilir.

İHA görüntüsüyle oluşturulan 3 boyutlu yüzey modeli Şekil 4.8.’de Matlab’ın sonuç ürünü olarak gösterilmiştir.



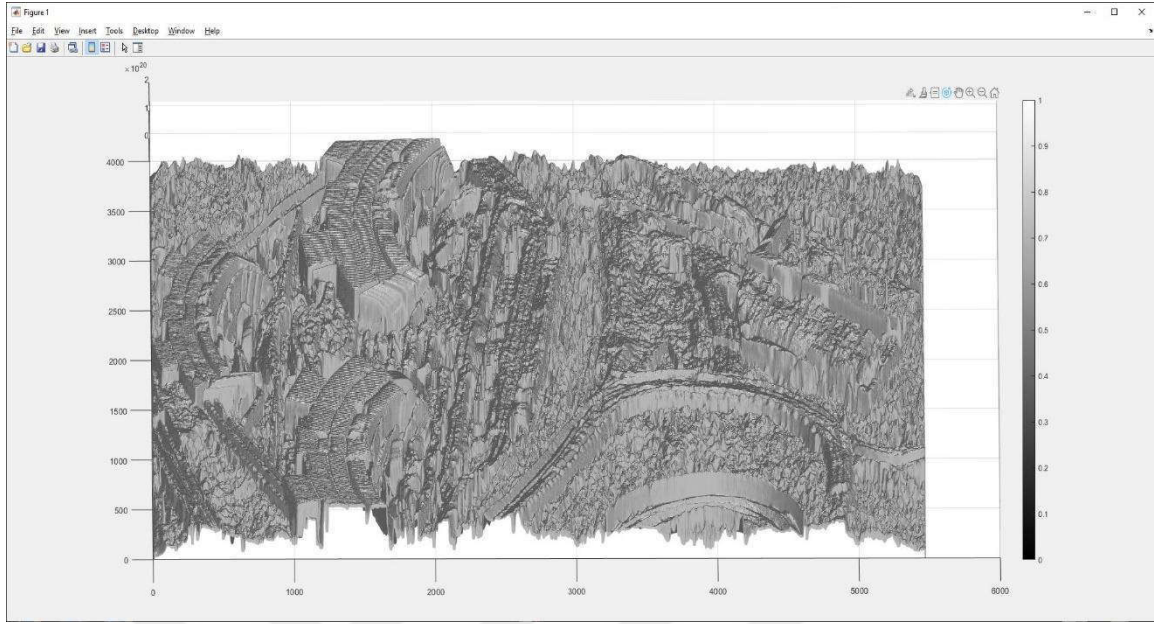
Şekil 4.8. Tek Resimle Üretilen 3B Model

Oluşturulan 3B model değerlendirme kolaylığı açısından, modellenecek görüntüyle aynı düzleme getirilmiş ve Şekil 4.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Tek Resimle Üretilen 3B Modelin İHA Fotoğrafıyla Aynı Düzlemdeki Görseli

Tek İHA görüntüyle oluşturulan yüzey modelinin kesiti Şekil 4.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Tek Resimle Üretilen 3B Modelin Kesiti (İHA Fotoğrafi)

#### 4.2. Hareket İle Nesne Oluşturma (SFM)

SFM, bindirmeli olarak elde edilen görüntülerden herhangi bir nesne ya da yüzeyin üç boyutlu modellenmesi için ucuz bir yöntemdir (Mlambo ve ark., 2017). SFM tekniğinin uygulanabilmesi için, farklı açılardan elde edilen, ortak noktalara dayanan, üst üste bindirmeli fotoğraflara ihtiyaç vardır. Temel koşulu ortak belirlenen özellik noktasının en az iki fotoğrafta olması gerektiğidir. Ancak çok fazla görüntüyle yapılan çalışmalarda bu koşulun zorunlu olmadığı gözlemlenmiştir (Tanrikulu, 2019). SFM’de asıl amaç yeniden oluşturmaktır. Bu nedenle üç boyutlu modelleme için kullanımı yaygınlaşmaktadır (Varlık, 2019).

Son 20 yılda oldukça gelişen “resimlerden 3B model üretme” ve “yerel öznitelikler” gibi bazı bilgisayarla görü tekniklerinin, lokalizasyon için kullanımı yeni bir ivme kazanmıştır. Bilgisayar ile görüdeki gelişmeler, 3B model üretimi için farklı yaklaşımların kullanılmasına sebep olmaktadır. Bunlardan en sık olarak kullanılan Hareket ile Nesne Oluşturma-Structure From Motion (SFM) yöntemidir. Bu yöntemdeki amaç yeniden oluşturmaya dayanmakta olduğu için haritalama için değil daha çok 3B görselleştirme için kullanılmaktadır

SFM, çok çeşitli zamansal ölçeklerine (saniyeden on yıllara kadar) ve uzaysal ölçeklere (milimetreden kilometreye kadar) ve ayrıntı düzeyi yüksek çözünürlüklere uygulanabilir. Yeryüzü üzerindeki değişim ve gelişim süreçlerinin 4B (3 uzamsal ve bir

zamansal) yeniden yapılandırılmasında da kullanıma uygundur. Ayrıca, havadan ya da yersel olarak elde edilen görüntüleri kullanan SFM çok işlevli, ulaşılabilir olanak sağlamayan çok uzak ve hızla değişen alanlarda da uygulanabilirliğiyle büyük avantaja sahiptir (Eltner ve ark., 2016).

Hareketten nesne çıkarma ile ilgili yapılan bu çalışma çalışmada SFM'nin stereo fotogrametriye benzerliğinden yararlanılarak değerlendirilecektir. Stereo fotogrametride oluşturulan üçgenleme, nesnelerin 3 boyutlu konumlarını (x, y, z) stereo çiftlerinden hesaplamak için kullanılır.

#### 4.2.1. Yersel Görüntü Çifti

Yersel olarak elde edilen görüntüler bu uygulama da en çok özelliği bulunan iki görüntüden yararlanılarak 5 aşamada gerçekleştirilmiştir.

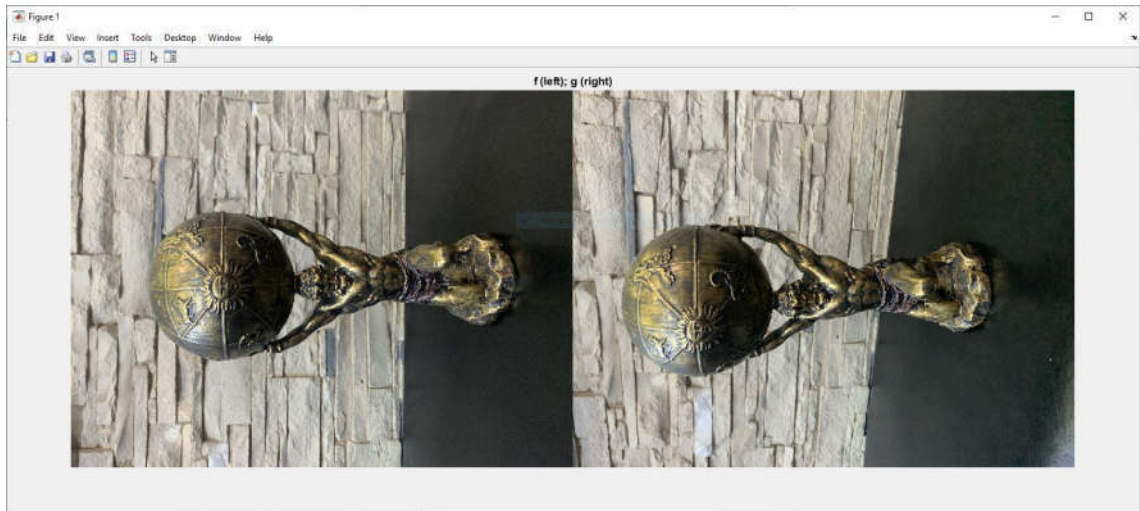
1.Aşama:

SIFT algoritmasını kullanarak öznelik çıkarılmasıdır.

SIFT (Ölçek Değişmez Özellik Dönüşümü), ölçek ve bakış açısından büyük değişimlerde, değişen aydınlatma koşullarında vb. durumlarda bile karşılık gelen özellikli noktaların (özelliklerin) eşleştirilmesine izin veren bir algoritmadır.

Bu özellik ile kamera görüntü düzleminde d, d' arasındaki mesafeleri ölçerek değişen mesafelere rağmen karşılık gelen özellikleri eşleştirir.

Şekil 4.11.'de yersel olarak elde edilen stereo görüntü çiftleri gösterilmiştir.

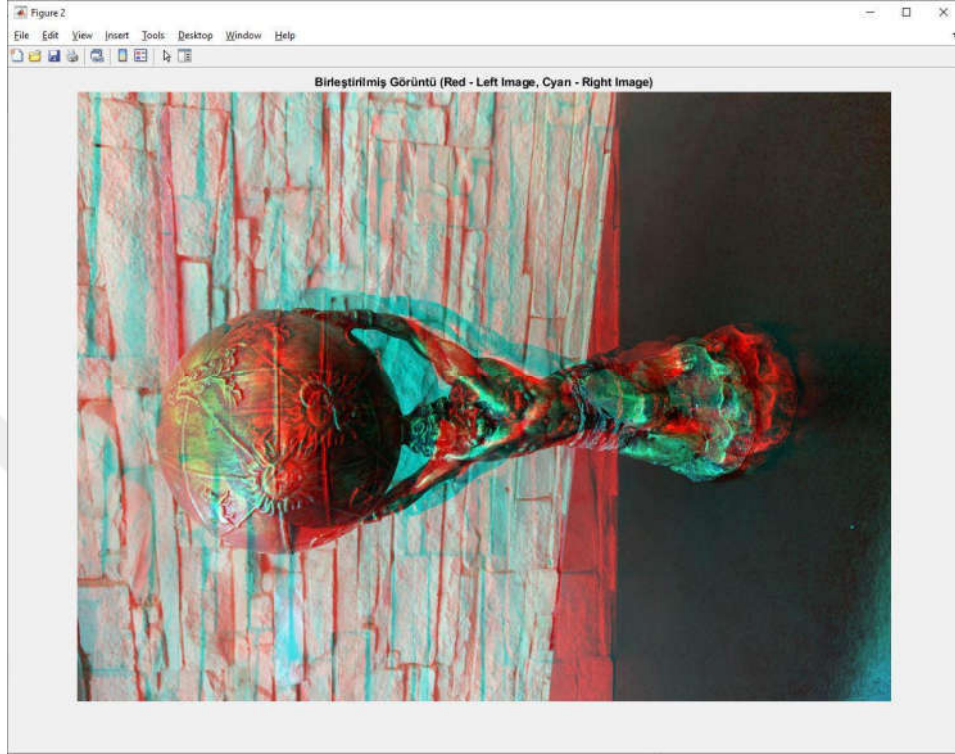


Şekil 4.11. Yersel Fotoğraflar (Sol ve Sağ Görüntü)

2.Aşama

Görüntülerin birleştirilmesidir. İki ya da daha fazla görüntü üzerinde eşleşen noktaların konumlarına ulaşmak için genellikle tercih edilen tek bir matematiksel çözüm vardır. Hareketin yapısı teriminin geldiği yer olan "paket ayarı" olarak da bilinen

bu birleştirme sayesinde görüntülerin kendilerine ait kamera konumları ( $x,y,z, x', y', z'$ ), yönleri ( $i, i'$ ), asal uzaklıkları ( $f, f'$ ), göreceli konumları ( $b,h$ ) hesaplanabilir. Elde edilen görüntülere kırmızı mavi gözlüklerle bakıldığında 3b algılanabilir. Şekil 4.12.'de birleştirilmiş stereo görüntü çiftleri gösterilmiştir.

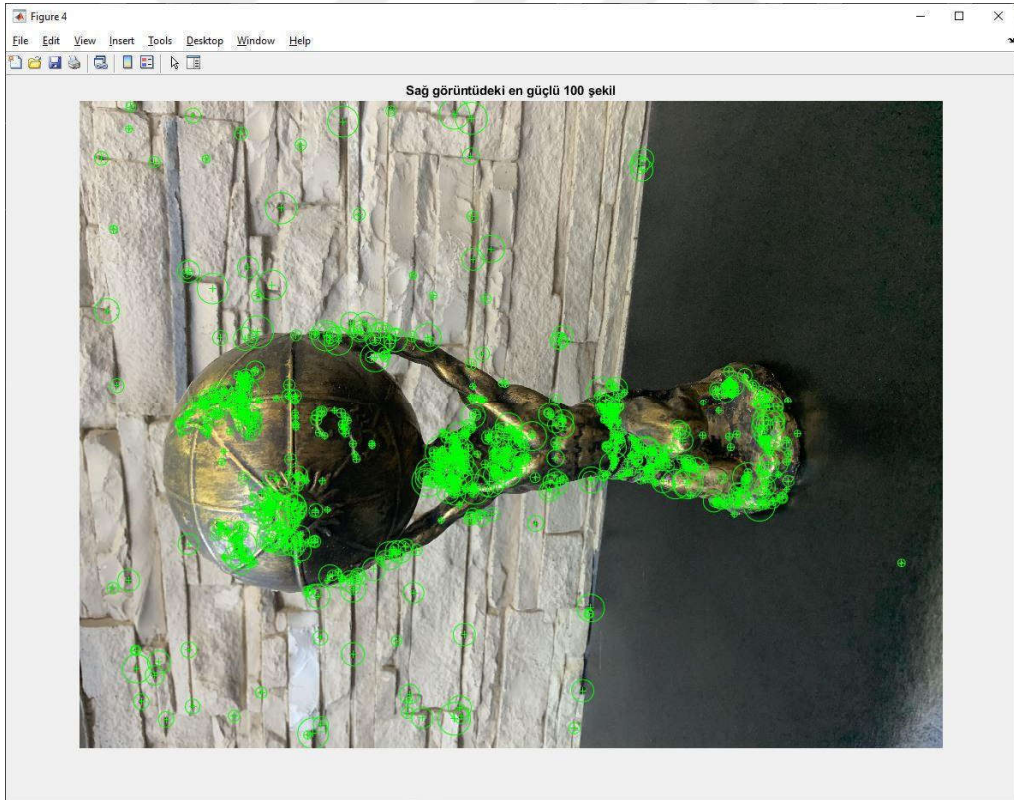
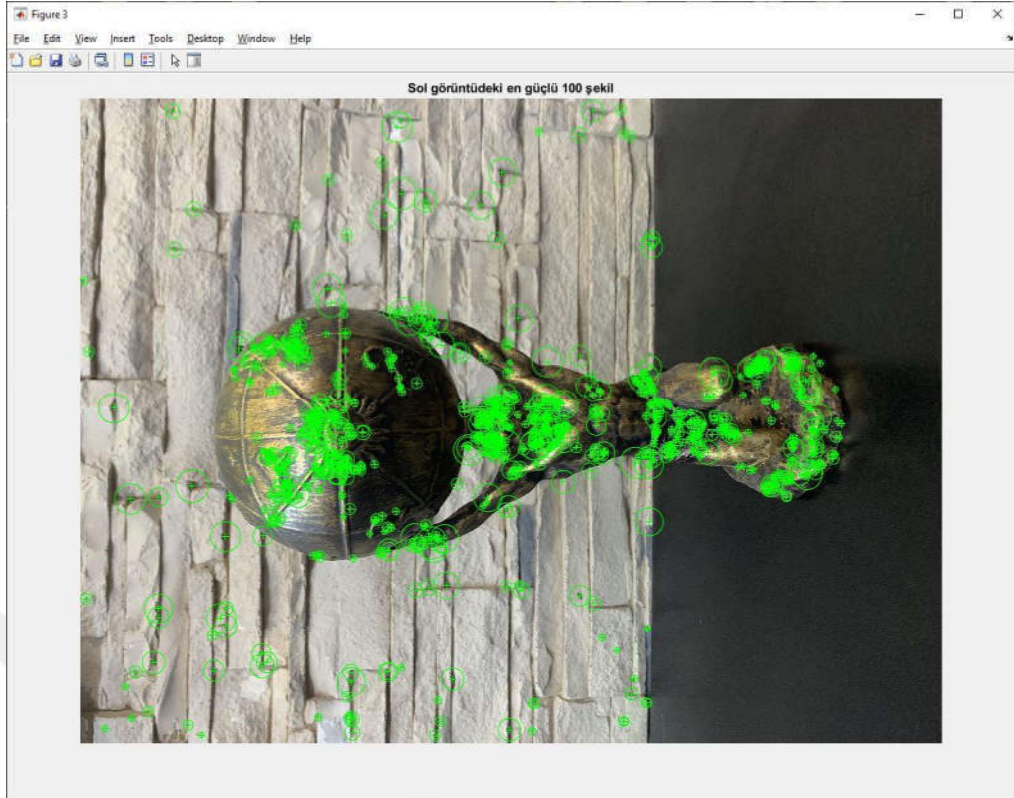


Şekil 4.12. Birleştirilmiş Yersel Görüntü Çifti

### 3.Aşama

2 boyutlu görüntüler üzerinde diğer piksellerden ayrılan özellikli noktalar belirlenir. Bu işlem aşamasında bilinen kamera parametreleri ve SFM noktaları yer kontrol noktası olarak kullanılır ve ilintili noktalar oluşturur. İlintili noktalar, konum bilgisine sahip noktalardır. Bu noktalar nokta bulutunu oluşturur ve 3B yüzey belirlenir. Görüntü üzerindeki tüm piksel değerleri kullanılır. Bu sebeple yüksek çözünürlükteki tek bir görüntüye minimum 100 nokta atanmıştır. Bu işlem adımına “çoklu görüntü stereo eşleştirme” adı verilmektedir.

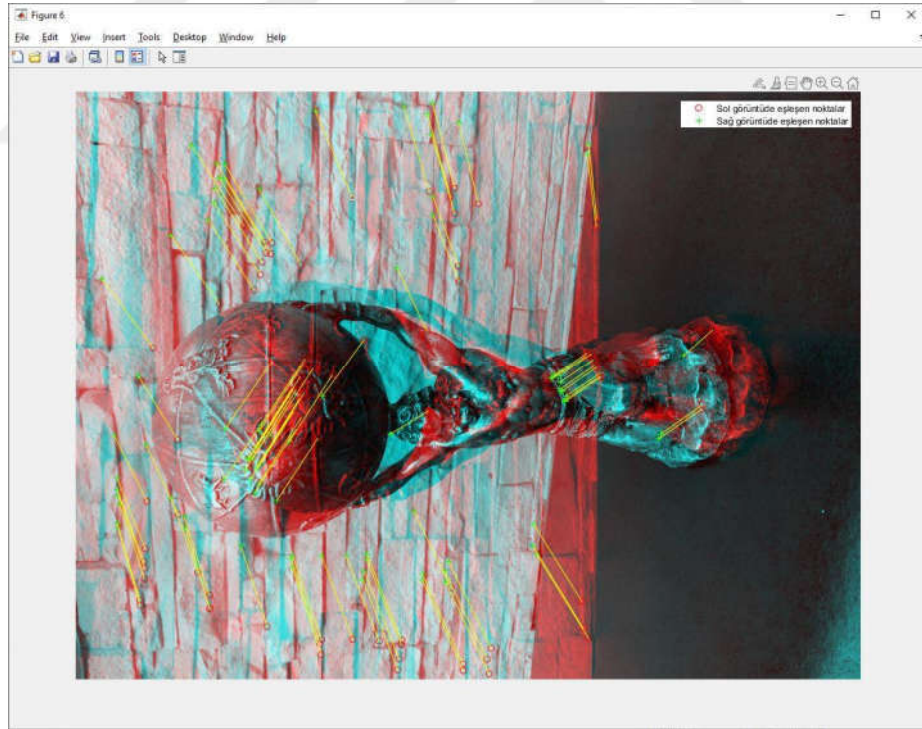
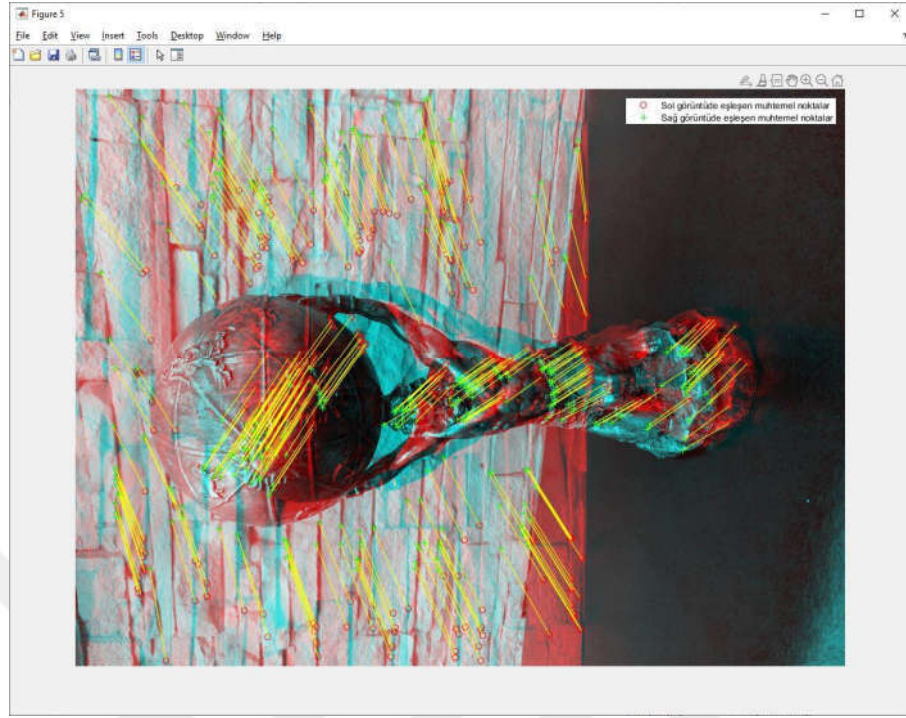
Şekil 4.13.'de solda ve sağda bulunan görüntülerde eşleşen noktalar gösterilmiştir.



**Şekil 4.13.** Yersel Görüntü Çiftinden Sol ve Sağ Görüntüdeki İlinti Noktalarının Çıkartılması

Daha sonra görüntüler üzerinde yer alan ortak koordinatlı noktalar belirlenir. Bu şekilde görüntülerin dönüklüklerini giderilmiş ve görüntü ölçeklendirilmiş olur. Şekil

4.14.'ün ilk görüntüsünde soldan sağa ilintili noktalar, ikinci görüntüsünde sağdan sola ilintili noktalar gösterilmiştir.



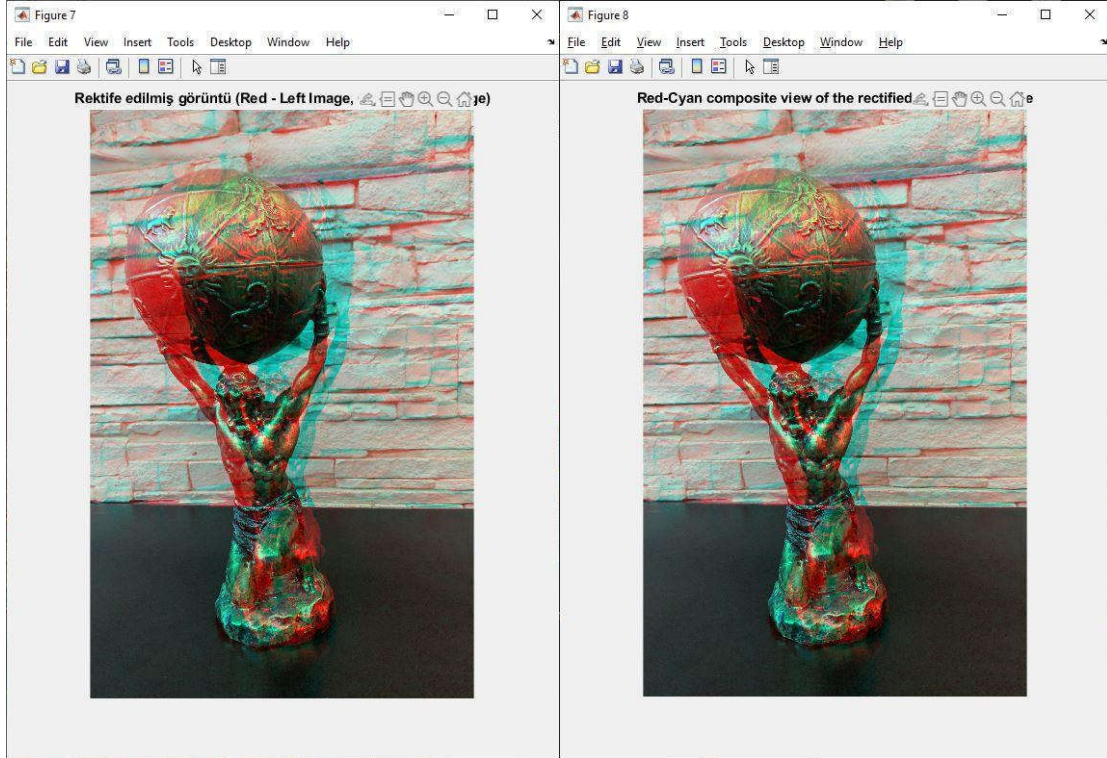
Şekil 4.14. Yersel Fotoğraflarda Sol ve Sağ Görüntüdeki Eşleşen Muhtemel Noktalar

#### 4.Aşama

Görüntülerin epipolar (stereo görüşün geometrisi) içerip içermediğine bakılır. Epipolar içeren görüntüler düzeltilir. Sonucunda keyfi bir koordinat sisteminden

coğrafi koordinat sistemine dönüştürülmüş model ortaya çıkar. Bu kamera konumu, odak uzaklığı bilgileriyle ya da daha önce diferansiyel GPS kullanılarak elde edilmiş yer kontrol noktası koordinat bilgileriyle gerçekleştirilebilir.

Şekil 4.15.'de düzeltilmiş modeller gösterilmiştir.

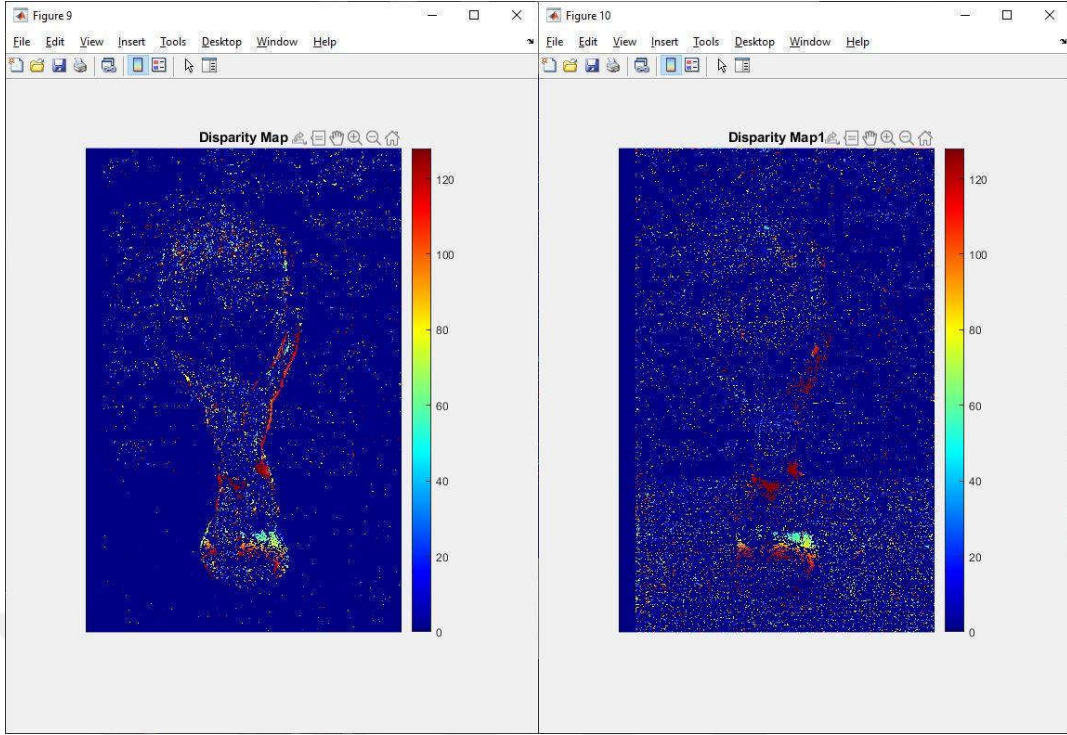


Şekil 4.15. Düzeltilmiş (Rektife edilmiş) Modeller (Sol ve Sağ)

##### 5. Aşama

İsteğe bağlı olarak gerçekleştirilen işlem adıdır. Bu uygulama için; düzensizlik haritaları ve SGM haritaları üretilmiştir.

Şekil 4.16.'da yersel fotoğraf çiftiyle elde edilen modelden üretilen düzensizlik haritaları ve SGM gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Düzensizlik Haritası ve SGM (Yersel Görüntü Modeli)

#### 4.2.2. İHA Görüntü Çifti

İnsansız hava aracı ile elde edilen görüntülerden bu uygulama için en çok özelliği bulunan iki görüntüden yararlanılarak 5 aşamada gerçekleştirilmiştir.

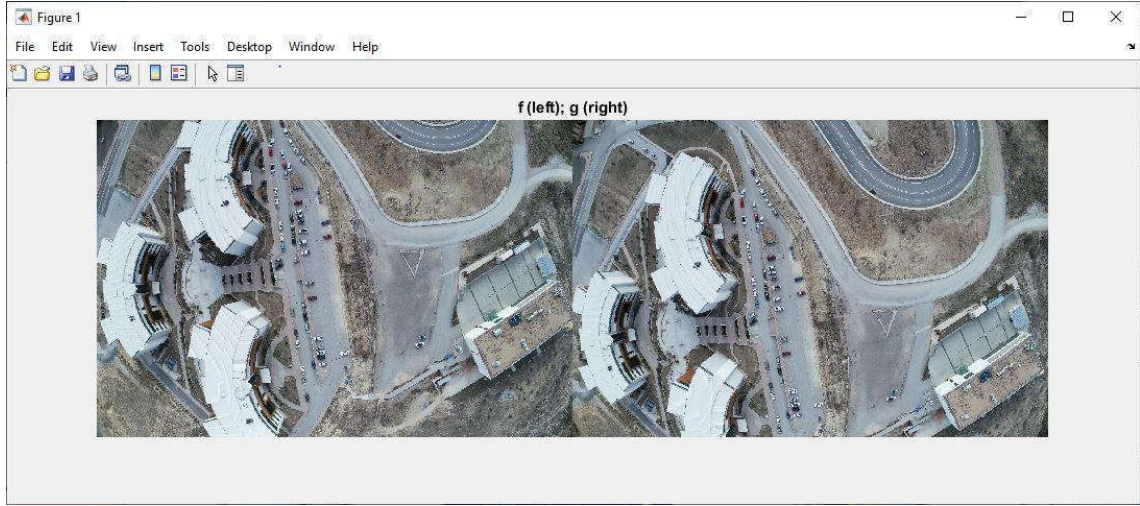
1.Aşama:

SIFT algoritmasını kullanarak öznitelik çıkarılmasıdır.

SIFT (Ölçek Değişmez Özellik Dönüşümü), ölçek ve bakış açısından büyük değişimlerde, değişen aydınlatma koşullarında vb. durumlarda bile karşılık gelen özellikli noktaların (özniteliklerin) eşleştirilmesine izin veren bir algoritmadır.

Bu özellik ile kamera görüntü düzleminde  $d$ ,  $d'$  arasındaki mesafeleri ölçerek değişen mesafelere rağmen karşılık gelen özellikleri eşleştirir.

Şekil 4.17.'de İHA aracı kullanılarak olarak elde edilen stereo görüntü çiftleri gösterilmiştir.

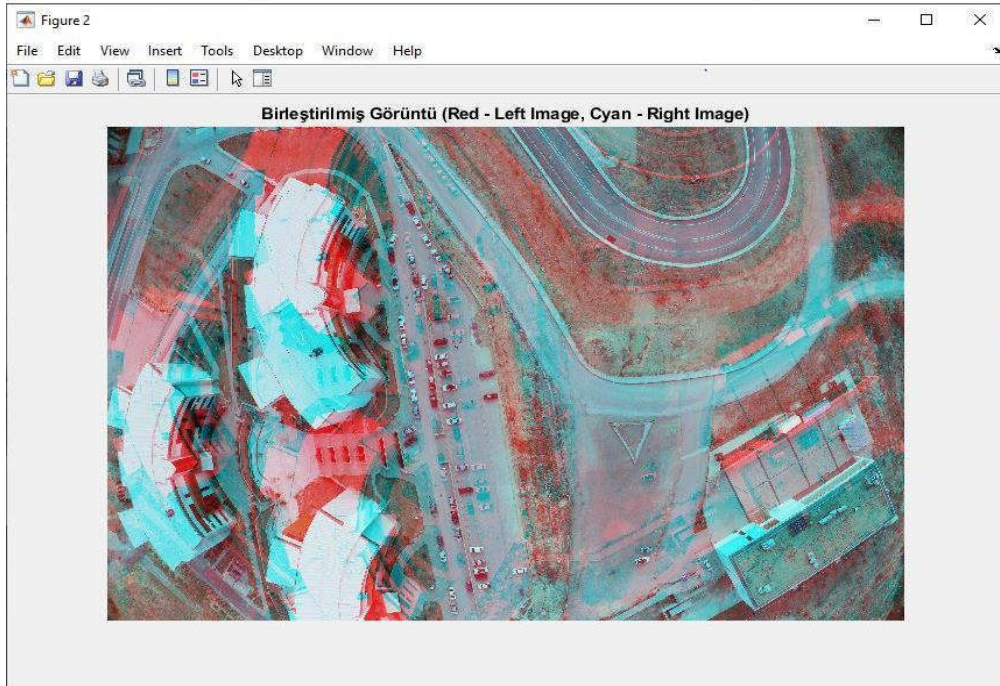


Şekil 4.17. İHA Görüntü Çifti (Sol ve Sağ Görüntü)

## 2.Aşama

Görüntülerin birleştirilmesidir. İki ya da daha fazla görüntü üzerinde eşleşen noktaların konumlarına ulaşmak için genellikle tercih edilen tek bir matematiksel çözüm vardır. Hareketin yapısı teriminin geldiği yer olan "paket ayarı" olarak da bilinen bu birleştirme sayesinde görüntülerin kendilerine ait kamera konumları ( $x, y, z, x', y', z'$ ), yönleri ( $i, i'$ ), asal uzaklıkları ( $f, f'$ ), göreceli konumları ( $b, h$ ) hesaplanabilir. Elde edilen görüntülere kırmızı mavi gözlüklerle bakıldığında 3b algılanabilir.

Şekil 4.18.'de birleştirilmiş stereo görüntü çiftleri gösterilmiştir.

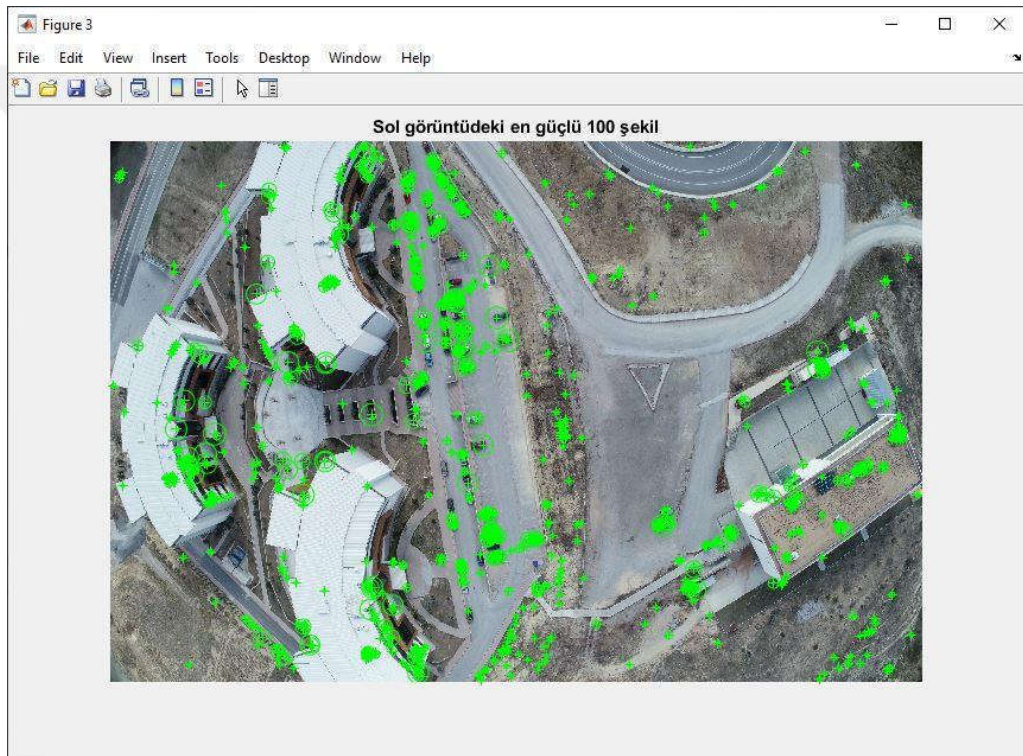


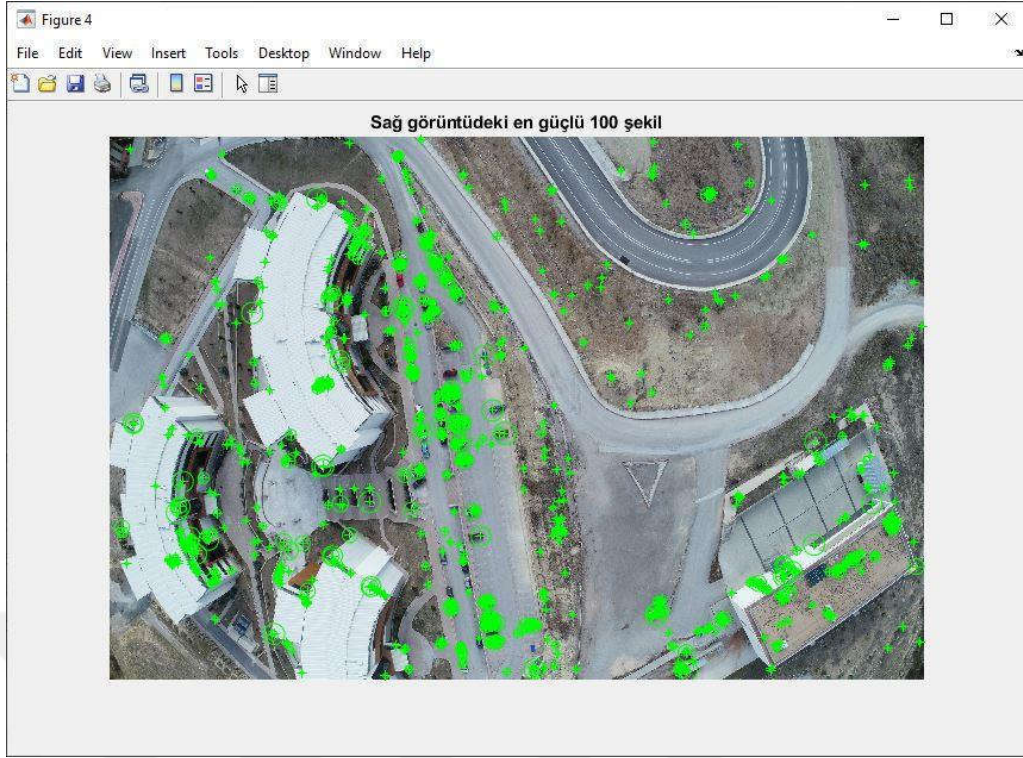
Şekil 4.18. Birleştirilmiş İHA Görüntü Çifti

### 3.Aşama

2 boyutlu görüntüler üzerinde diğer piksellerden ayrılan özellikli noktalar belirlenir. Bu işlem aşamasında bilinen kamera parametreleri ve SFM noktaları yer kontrol noktası olarak kullanılır ve ilintili noktalar oluşturur. İlişkili noktalar, konum bilgisine sahip noktalardır. Bu noktalar nokta bulutunu oluşturur ve 3B yüzey belirlenir. Görüntü üzerindeki tüm piksel değerleri kullanılır. Bu sebeple yüksek çözünürlükteki tek bir görüntüye minimum 100 nokta atanmıştır. Bu işlem adımına “çoklu görüntü stereo eşleştirme” adı verilmektedir.

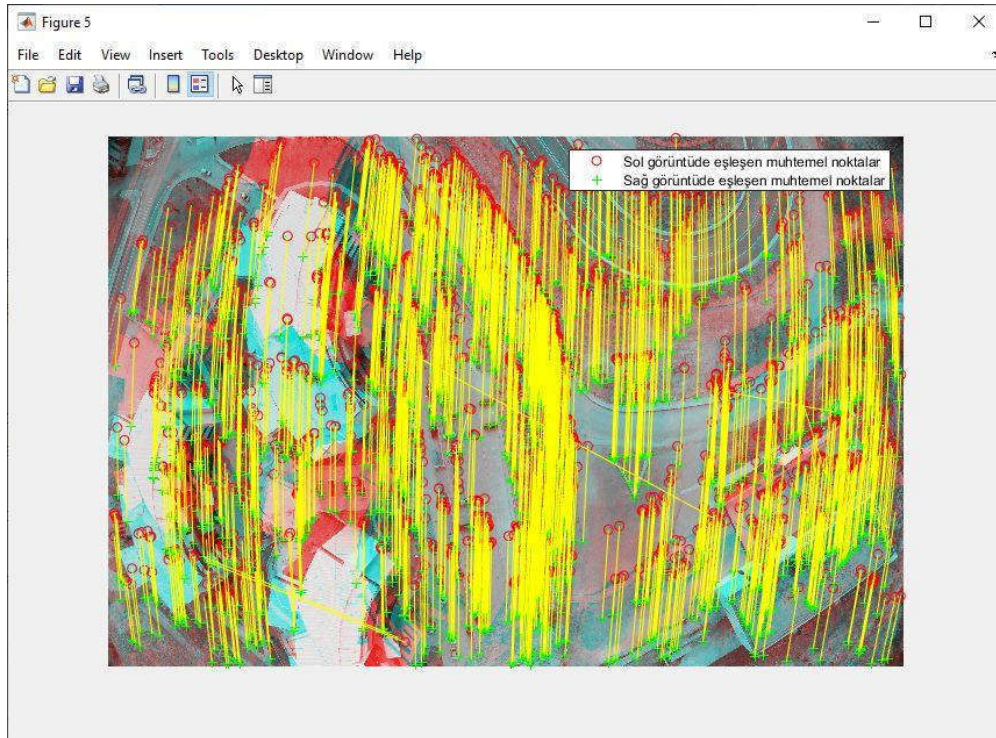
Şekil 4.19.'da solda ve sağda bulunan görüntülerde ilişkili noktalar gösterilmiştir.

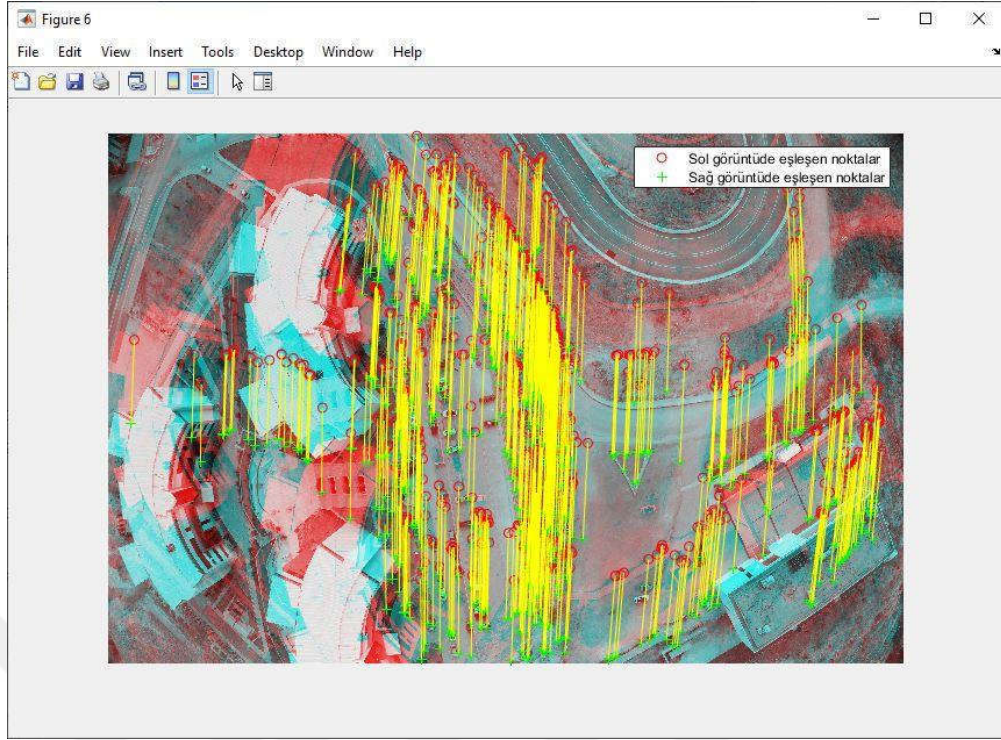




Şekil 4.19. İHA Görüntü Çiftinden Sol ve Sağ Görüntüdeki İlinti Noktalarının Çıkarılması

Daha sonra görüntüler üzerinde yer alan ortak koordinatlı noktalar belirlenir. Bu komut görüntülerin dönüklüklerini gidermek ve ölçeklendirmek amacıyla uygulanır. Şekil 4.20.'nin ilk görüntüsünde soldan sağa eşleşen noktalar, ikinci görüntüsünde sağdan sola eşleşen noktalar gösterilmiştir.

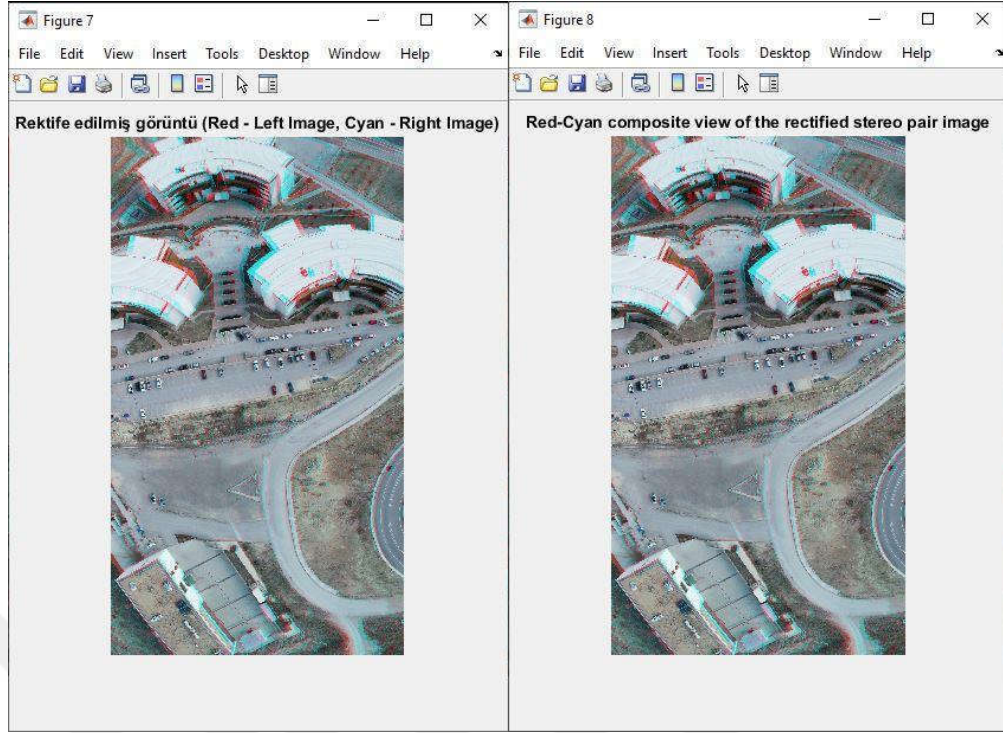




**Şekil 4.20.** İHA Fotoğraflarında Sol ve Sağ Görüntüdeki Eşleşen Muhtemel Noktalar

#### 4.Aşama

Görüntülerin epipolar (stereo görüşün geometrisi) içerip içermediğine bakılır. Epipolar içeren görüntüler düzeltilir. Sonucunda keyfi bir koordinat sisteminden coğrafi koordinat sistemine dönüştürülmüş model ortaya çıkar. Bu kamera konumu, odak uzaklığı bilgileriyle ya da daha önce diferansiyel GPS kullanılarak elde edilmiş yer kontrol noktası koordinat bilgileriyle gerçekleştirilebilir. Şekil 4.21.'de düzeltilmiş modeller gösterilmiştir.

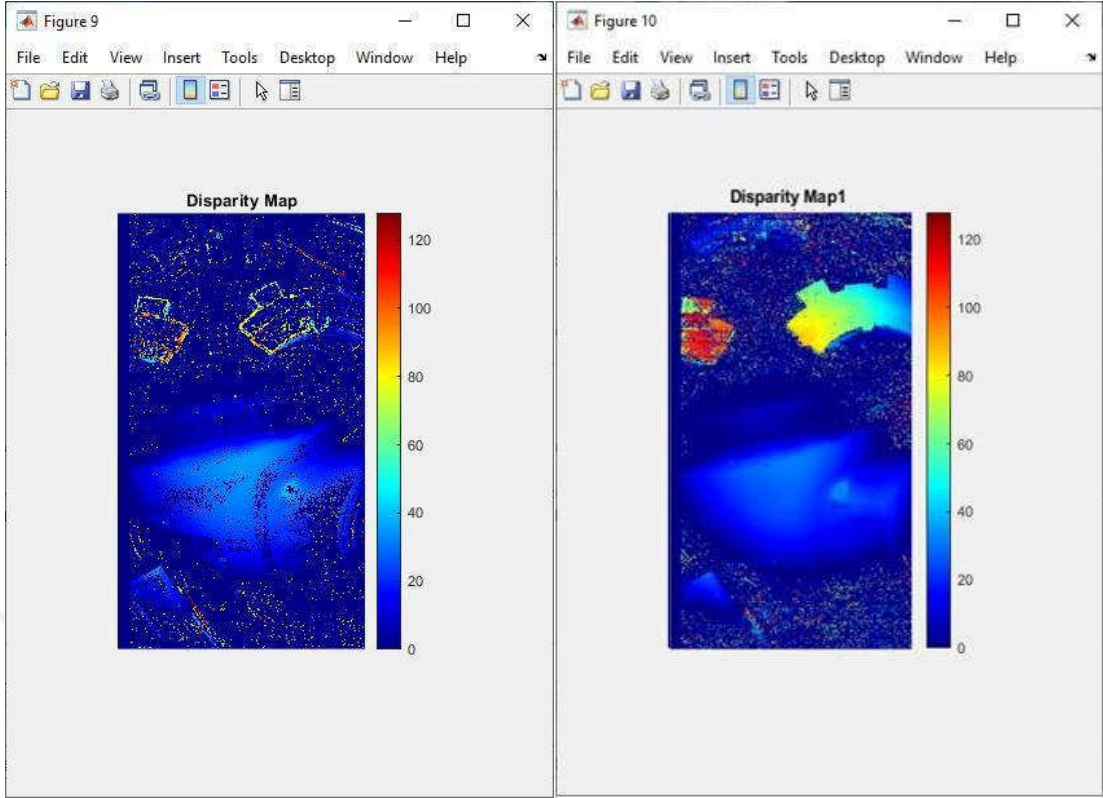


Şekil 4.21. Düzeltilmiş (Rektife Edilmiş) Modeller (Sol ve Sağ)

#### 5. Aşama

İsteğe bağlı olarak gerçekleştirilen işlem adıdır. Bu uygulama için; düzensizlik haritaları ve SGM haritaları üretilmiştir.

Şekil 4.22.'de İHA fotoğraf çiftiyle elde edilen modelden üretilen düzensizlik haritaları ve SGM gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Düzensizlik Haritası ve SGM (İHA Görüntüsü Modeli)

### 4.3. Bulgular

Albedo tahmini tek bir görüntü için yetersiz ve sınırlandırılmış bir problemdir. Yapılan çalışmalar yansıma değişikliklerinden elde edilen görüntülerin çok güçlü bir görüntüye model oluşturduğuna dayalıdır. Ancak görüntü gradyanı kullanılarak elde edilen modeller yüz tanıma konusunda daha başarılıdır, yine de gerçek nesneyi algılama da yeterli başarıya sahip olmadığı bu çalışmayla da gözlemlenmiştir. Bu çalışmada tek renkli görüntüden görüntü gradyanı eklenmiş görüntü yüzeyinin albedosundan yararlanılarak model üretilmiştir. Buradaki amaç, tek bir görüntüyle nesneyi ne kadar modelleyebildiğimizle ilgilidir. Bu yaklaşımla üretilen model kendi uzamsal düzleminde metrik olarak bilgi edinebileceğimiz görsel bir ürün sunar. Yersel görüntü ve İHA görüntüsü için grafiklere bakıldığında ortalama yükseltinin her ikisi içinde 1,5 m üzerinde olduğu açıktır. Gri değer aralıkları incelendiğinde yersel fotoğraftan oluşan model kesitinin 1,8 değer aralığında daha yakın olduğu, İHA görüntüsü için bu değer 1,3 değer aralığında değiştiği de gözlemlenmiştir. Özellikle elde edilen görüntünün kapalı alanda yansıtılan ışığın az olduğu yerlerde daha koyu renkli oluşacağı açıktır.

SFM yöntemi için çalışma içerisinde sayısal bilgiler yer almadığından görsel olarak yorum yapmak mümkündür. Bu sebeple önceden yapılan çalışmalar ışığında bu çalışma kapsamında kullanılan görüntüler, çok daha fazla nokta bulutu üreten Agisoft

Photoscan ile yeniden modellenmiş ve karşılaştırmalar bu değerler üzerinden yapılmıştır. Photoscan yazılımın işlem adımları sırasıyla;

Fotoğrafların yazılıma tanıtılması,

Fotoğrafların hizalanması,

Seyrek nokta bulutunun oluşturulması,

Yoğun nokta bulutunun oluşturulması,

Rektife edilmiş modellerin elde edilmesi,

Derinlik haritasının çıkarımı,

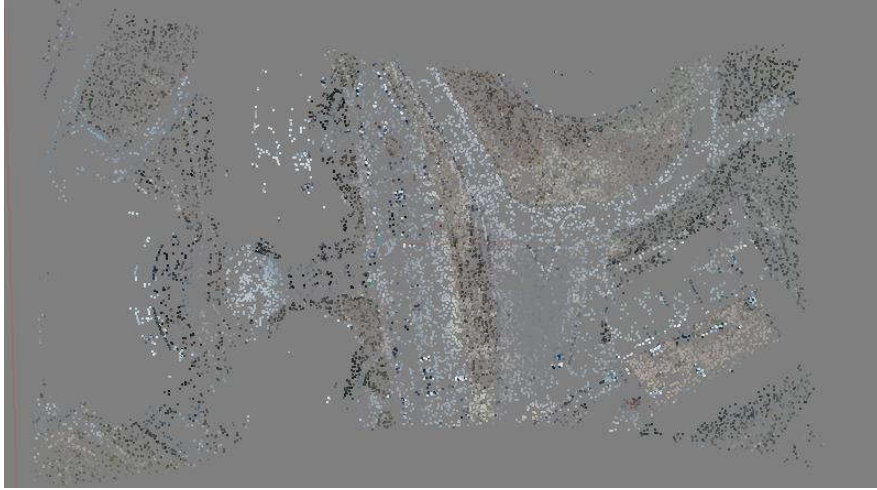
3 boyutlu katı modelin elde edilmesi şeklindedir.

Seçilen fotoğraflar yazılıma yüklendikten sonra PhotoScan yazılımı ilintili noktalarına benzer şekilde fotoğraflar üzerinde yer alan ortak noktaları otomatik olarak aramakta ve eşleştirmektedir. Her resim için fotoğraf çekim anındaki kameranın konumunu hesaplamaktadır. Seyrek nokta bulutu oluşturulur. Fakat üretilen bu nokta bulutu oluşturulacak 3 boyutlu model üretimi için yeterli olmayacaktır.

Şekil 4.23.'de yersel görüntü çiftinden elde edilmiş seyrek nokta bulutu ve Şekil 4.24.'de İHA görüntü çiftinden elde edilmiş seyrek nokta bulutu gösterilmiştir.



**Şekil 4.23.** Yersel Görüntü Çifti Seyrek Nokta Bulutu



**Şekil 4.24.** İHA Görüntü Çifti Seyrek Nokta Bulutu

Nokta bulutları yardımıyla nesnelere ya da yüzeylerle ilgili gözlemler yapılabilmektedir. PhotoScan yazılımı, tahmini kamera konumlarından yararlanarak ve resimler üzerindeki eşleşen noktaları da kullanarak yoğun nokta bulutu üretebilmektedir. 3 boyutlu yüzey modeli oluşturabilmek için gerekli olan yoğun nokta bulutu yazılımın bu özelliği kullanılarak oluşturulmuştur. Şekil 4.25.'de yersel görüntü çiftinden elde edilmiş yoğun nokta bulutu ve Şekil 4.26.'da İHA görüntü çiftinden elde edilmiş yoğun nokta bulutu gösterilmiştir.



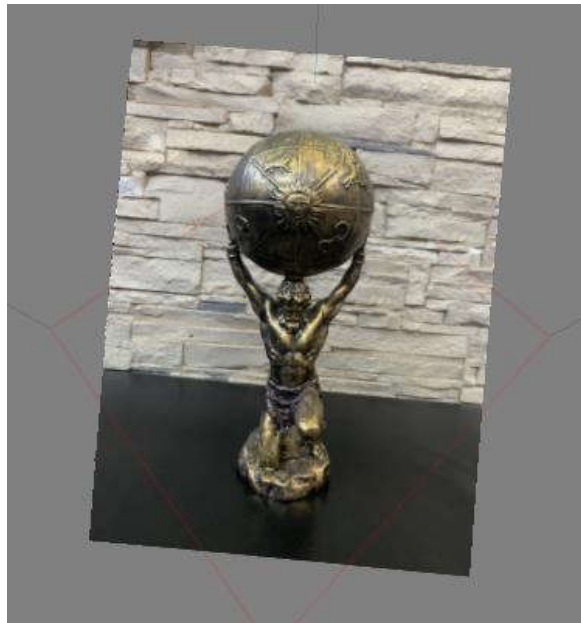
**Şekil 4.25.** Yersel Görüntü Çifti Yoğun Nokta Bulutu



**Şekil 4.26.** İHA Görüntü Çifti Yoğun Nokta Bulutu

Elde edilen yoğun nokta bulutundan sonra model yüzeyinin yükseklik değerlerini düzenli bir grid halinde temsil eden sayısal yükseklik modeli oluşturulur. Oluşturulan sayısal yüzey modeli yoğun nokta bulutunu temel alan ve nesne yüzeyini temsil eden bir 3B çokgen yüzey olarak düşünülebilir.

Şekil 4.27.'de yersel görüntü çiftinin rektife edilmiş görüntüsü ve Şekil 4.28.'de İHA görüntü çiftinin rektife edilmiş görüntüsü gösterilmiştir.



**Şekil 4.27.** Rektife Edilmiş Yersel Görüntü Çifti



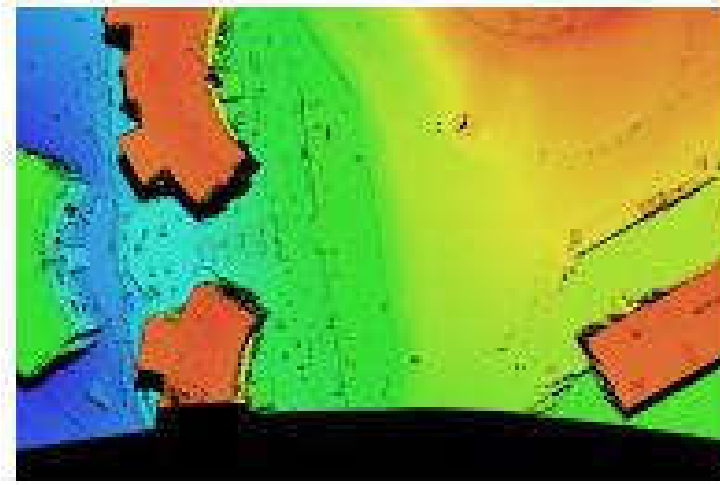
**Şekil 4.28.** Rektife Edilmiş İHA Görüntü Çifti

Yazılım iki görüntüyle dem verisi üretememektedir. Bu nedenle fotoğraf üzerinde bulunan ortak noktalardan üçü esas alınarak markerlar eklenir. Böylece görüntünün ortak noktaları kullanılarak yükseklik bilgileri tanımlanmış olur. Buradaki markerlar YKN işlevi görür ve aslında görüntü üzerindeki piksel benzerliklerini esas alır.

Şekil 4.29.'da yersel görüntü çiftinden elde edilmiş SYM ve Şekil 4.30.'da İHA görüntü çiftinden elde edilmiş SYM gösterilmiştir.



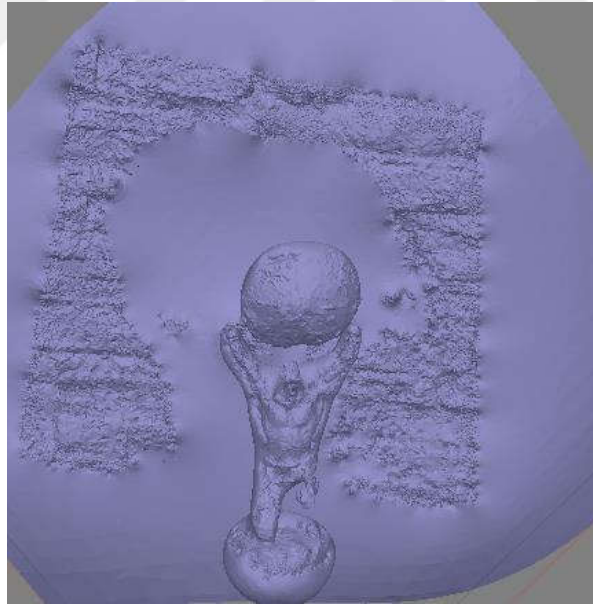
**Şekil 4.29.** Yersel Görüntü Çiftinden Oluşturulmuş SYM



**Şekil 4.30.** İHA Görüntü Çiftinden Oluşturulmuş SYM

SYM'ler derinlik bilgisi içerir bu nedenle oluşturulan bu verilere derinlik haritaları da denilebilmektedir. Derinlik bilgisi elde edilen bu görüntülerden nesne yüzeylerinin temsili olan 3B katı modelleri üretilmiştir.

Şekil 4.31.'de yersel görüntü çiftinden elde edilmiş 3B katı model ve Şekil 4.32.'de İHA görüntü çiftinden elde edilmiş 3B katı model gösterilmiştir.



**Şekil 4.31.** Yersel Görüntü Çiftinden Oluşturulmuş 3B Katı Model



**Şekil 4.32.** İHA Görüntü Çiftinden Oluşturulmuş 3B Katı Model

Tüm bu işlem adımları için yüksek kalite bilgisi girilmiştir. Photoscan ile elde edilen seyrek nokta bulutu; yersel görüntü çiftinde 2391 noktadan, İHA görüntü çifti için 3822 noktadan oluşmuştur. Yoğun nokta bulutu için yersel ve İHA görüntü çiftleri sırasıyla 5763401 ve 25266928 noktadan oluşmuştur.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

3B modeller çok çeşitli kullanım seçenekleriyle modern yaşamın bir parçası haline gelmiştir. Gerek mühendislik gerek teknoloji gerek uzay ve daha birçok farklı disiplin bu konuda araştırmalar yapmakta ve günlük hayatta insanların ihtiyaç duyduğu her şeyi görerek alma çabasıyla da her anımızda var olmayı başarmaktadır. Bu tez çalışmasında tüm bu ihtiyaçlara en kısa sürede en doğru sonucu vermek için kullanılabilir yöntemlerle ilgili çeşitli uygulamalar yapılmıştır.

Aktif ve pasif olarak ikiye ayrılan yüzey modelleri incelendiğinde; aktif yöntemlerin, lazer, radar, kızılötesi ışınlarını kullanılmasından dolayı pahalı olduğu bilinmektedir. Bu ışınların yansımaları sayesinde derinlik bilgisi elde etmesinden dolayı da yansıyan, parlak ya da şeffaf nesnelere üzerinde kullanımı oldukça güçtür. Bu yöntemler genellikle yüksek çözünürlüğe sahip yüzey modelleri oluşturmaktadır ve veri hataları sebebiyle tekrar ölçüm ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır.

Aktif yöntemler karşılaştırıldığında, lazer tarama yönteminin karanlık ve loş ortamlarda görüntü elde etmek için uygun olduğu söylenebilir, ToF kameralar ile oluşturulacak modellerin ise sistemin gün ışığından etkilenmesinden dolayı kapalı alanlar içerisinde seçilmesi önem arz etmektedir. Yapılandırılmış ışık sistemleri de ToF kamera sistemlerinde olduğu gibi bazı durumlarda gün ışığından etkilenmesinin yanı sıra ışık seviyesi, görüş açısı, parlaklık gibi özelliklerden de etkilenmektedir. Bu nedenle bu sistemi kullanacak kişinin bu konuda bilgi ve tecrübesi önem kazanmaktadır. Özellikle kalite kontrol, otomotiv ve havacılık sektöründe kullanılmasının nedeni çok yoğun nokta bulutu oluşturmada sağladığı kolaylıktır. Aktif stereo sistemler ise pasif stereo sistemlere ek olarak ortaya çıktığı düşünüldüğünde diğer aktif yöntemlere kıyasla doğruluğu düşük bir yöntemdir. Kullandığı doku projektöründen kaynaklı model üzerinde bozulmalara sebep olmaktadır. Konoskopik holografi yöntemi tıp dahil çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır ve çok ince bir iğne deliğini bile modelleyebilmektedir.

Pasif yöntemler genellikle kameradan elde edilen görüntüleri kullandığından gün ışığı yeterli sistemlerdir. Bu nedenle kullanımı kolay ve maliyeti düşüktür. Ancak bu yöntemlerin kullanılabilmesi için sürekli algoritmalar geliştirilmekte ve çözümler üretilmektedir.

Pasif yöntemler karşılaştırıldığında; fotometrik stereo yöntemi için en kolay alanın aktif yöntemlere tezat şekilde parlak yüzeye sahip alanlar olduğunu söylemek mümkündür. Tek resimden şekil yöntemi tek görüntüden ek bilgi olarak ihtiyaç duyulan kameranın poz süresi gibi bilgileri elde etmeye çalışır, çözümü güç algoritmalar oluşturulduğundan elde edilen model gerçek nesneyle benzerlik göstermeyebilir. Ancak bir görüntü üzerinden yorum yapmaya yeterli olduğu bu tez çalışması kapsamında yapılan uygulamayla da ispatlanmıştır. Stereodan şekil yönteminde çok fazla görüntü elde edilir. Bu değerlendirme süresini uzatmaktadır ve pürüzsüz yüzeyler için oluşturulan modellerin gerçek nesneyle benzerliğini ölçmek güçleşecektir. Bu yöntem yaklaşık derinlik bilgisi elde etmek için kullanılabilir ya da aktif sistemlere ek olarak kullanıldığında doğruluğu yüksek, güçlü modeller elde etmek için tercih edilebilir. Gölgeden şekil yöntemi, kontrollü ışıklandırmanın bulunduğu ortamlarda kullanıma uygundur. Çöl gibi çok düz ya da tam zıttı ormanlık alanlarda stereo yöntemlerden herhangi biri uygulanamayacaksa bu yöntem kullanılarak sayısal yüzey modeli oluşturulabilmektedir. Siluetten şekil yöntemi döner bir sistem üzerine kurulu nesnelerin farklı açılardan elde edilen görüntülerini kullandığından gerçek nesneye oldukça benzer modeller oluşturur. Ancak kullanılan kameranın işleme başlamadan kalibre edilmiş olması en önemli koşuldur. Fotogrametri yöntemi görüntülerin elde edilmiş şekline göre şekillenen geniş bir disiplindir. Özellikle sayısal arazi modeli oluşturma konusunda üstünlüğü bilinmektedir. Ancak model oluşturmak için ek yazılım gerektirmekte ve görüntü elde etme şekline göre model oluşturma süresinde farklılıklar gözlemlenmektedir. SFM tekniği ise gelişen teknolojiye en çok yararlanan yöntemdir. Uzun süre boyunca da bu konuda popüler olmayı başaracağı düşünülmektedir. Hareketli bir kamera ile elde edilen görüntüler pasif yöntemler içerisinde gerçek nesneye en çok benzeyen ve doğruluğu yüksek olan modelleri üretmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında derinlik bilgisi hakkında yorum yapmak amacıyla tek görüntüden resim yöntemi kullanılarak oluşturulan model ve SFM tekniği kullanılarak keyfi bir koordinat sisteminde tanımlı ve ölçeksiz olarak edilen modellerle ilgili olarak yapılan çıkarımlar aşağıdaki gibidir.

Literatürde genellikle yüz tanıma, araç takip gibi çalışmalarda kullanılan tek resimden yüzey oluşturma yöntemi yersel ve İHA fotoğraflarından model oluşturmak için kullanılmıştır. Görüntü gradyanı üzerinden hesaplanan albedoyla model metrik anlamda da boyut kazanmış ve oluşturulan yüzeyler daha anlaşılır hale gelmiştir. Elde edilen yüzey modelleri karşılaştırıldığında İHA fotoğrafının daha açık renkli olduğu ve

daha anlaşılır olduğu gözlemlenmiştir. Ancak yersel olarak elde edilen görüntünün arkasında yer alan duvar nesne modelinin anlaşılmasını engellemiş ve hatta kapalı alanda elde edildiği için yansımanın az oluşundan nesne modelinin algılanmasını zorlaştırmıştır. İHA fotoğrafının boyutunun büyük olması ve elde edilen görüntü pikselinin kaliteli olması model oluşturma süresini uzatmıştır.

SFM yöntemi için havadan ve yersel olarak elde edilen görüntüler modellenmiş ve değerlendirmek amacıyla düzensizlik haritaları ve SGM'ler oluşturulmuştur. İHA fotoğraflarının boyutlarının büyük olması değerlendirme süresinin uzun ancak oluşturulan modelin daha doğru olduğunu açıkça ortaya koymuştur. İHA fotoğraflarıyla elde edilen model için; blok eşleşme yöntemini kullanan düzensizlik haritalarının, tek bir piksel için farklı yönlerden eşleme yaparak model konumunu tahmin etmeye yarayan SGM yöntemine göre daha az anlaşılır olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra İHA görüntüsüyle elde edilen düzensizlik haritalarında özellikle yol bulunan bölgelerde yumuşama olduğu açıktır. SGM de ise hem yersel görüntü çifti hem de İHA görüntü çifti için ince ayrıntıların yok olduğu gözlemlenmiştir. Tüm bunların ışığında hareket ile nesne oluşturma yönteminin büyük alanlar için kullanımının uygun olduğunu söylemek mümkündür. Nitekim yersel fotoğraflar ile oluşturulan modelin birleştirilmiş görüntüyle benzerliği da bunu desteklemektedir.

Agisoft Photoscan ile elde edilen nokta bulutları karşılaştırıldığında parlaklığın fazla olduğu bölgelerde eşleşme sağlanamadığından nesne modelinin görüntüsü tamamlanamamıştır. Derinlik haritaları karşılaştırıldığında İHA görüntüsüyle elde edilen SYM üzerindeki derinlik farklılıklarının açıkça görüldüğü ortadadır. Ancak 2 görüntüyle oluşturulan 3B katı modellerin gerçek nesne ile olan ilişkisine bakıldığında model üzerindeki eksikliklerin nesneyi algılamakta zorluk çıkardığı da açıkça gözlemlenmiştir. Oluşturulan noktaların çokluğu piksel kalitesiyle doğru orantılıdır. Bunun yanı sıra SFM için kullanılacak görüntülerin yüksek kalitede elde edilmesi gerekmektedir.

## 5.2. Öneriler

Tek bir görüntüden 3B yüzey oluşturmak ve albedo bilgisini elde etmek, eksik tanımlanmış bir matematiksel problemdir. Bu nedenle görüntü sınırlarını belli edecek algoritmalar geliştirerek bu problemin önüne geçilebilmektedir. Ancak daha pürüzsüz yüzeyler için çalışmalara devam edilmeli ve yansıma değerleri yüksek olan nesnelere tercih edilmemelidir. Gün ışığı altında yansıma değişiklikleri daha anlaşılır olacağından elde edilecek görüntülerde bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

SFM, stereo fotogrametri ile karşılaştırıldığında; stereo fotogrametrinin uydu, uçak gibi daha pahalı ve ulaşımı zor nesnelere görüntü elde etmesi ve sabit nesnelere üzerinde uygulanabilmesi, fotoğraf elde etme açılarına ihtiyaç duyması gibi tüm zorlu süreçleri en aza indirdiğinden daha üstün olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda ucuz ve uygulanabilirliği kolay olduğu için stereo fotogrametri yerine kullanılabilirliği öngörülmüştür, bunun için çalışmalara devam edilmesi gerekmektedir. Sonraki yapılacak çalışmalar için stereo görüntü çiftlerini anlamlı kılmanın yanı sıra yazılımların kabul ettiği minimum 3 görüntünün kullanılmasının daha sağlıklı sonuçlar ortaya koyacağı düşünülmektedir.



## 6. KAYNAKLAR

- Akca, D., Gruen, A., Breuckmann, B., & Lahanier, C., 2007, High definition 3D-scanning of arts objects and paintings, *Optical 3-D measurement techniqies VIII, 2*, 50-58.
- Akdeniz, H. ve Erdoğan, M., 2005, Uydu Görüntüleri ve Hava Fotoğraflarındaki Gelişmelerin Harita Üretim Sürecine Yansımaları, *10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, 28, 18-19.
- Akyol, O., 2011, Düşük Maliyetli Lazer Tarayıcı Sistemi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 91.
- Alpaslan, N., 2013, Gradyan tabanlı heterojen öznelik çıkarma yöntemlerine yeni yaklaşımlar, Yüksek Lisans Tezi, *İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 91.
- Altuntaş, C., 2021, Uçuş Zamanlı Üç Boyutlu Ölçme Teknikleri ve Flash LiDAR, *18. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Anonim, 2020, Nesne Tanıma Uygulaması: Faster R-CNN Nedir [online], <https://www.muhendisbeyinler.net/nesne-tanima-uygulamasi-faster-r-cnn-nedir/> [Ziyaret Tarihi: 10 Eylül 2021].
- Artacho, B., Pandey, N., Savakis, A., 2020, Efficient multilevel architecture for depth estimation from a single image. *Electronic Imaging, 2020(14)*, 377-1.
- Asada, N., Fujiwara, H., Matsuyama, T., 1998, Edge and depth from focus, *International Journal of Computer Vision*, 26(2), 153-163.
- Barnard, S. T., Thompson, W. B., 1980, Disparity analysis of images. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, (4), 333-340.
- Beşdok, E., Özkan, C., Palancıoğlu, H. M., 2006, Fotogrametrik Siluet İmgelerinden 3D Model Geri-Çatımı. *Akademik Bilişim ve Bilgi Teknolojileri Kongresi, Denizli*.
- Burgner, J., Simpson, A. L., Fitzpatrick, J. M., Lathrop, R. A., Herrell, S. D., Miga, M. I., & Webster III, R. J., 2013, A study on the theoretical and practical accuracy of conoscopic holography-based surface measurements: toward image registration in minimally invasive surgery. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 9(2), 190-203.
- Burns, J. H. R., Delparte, D., 2018, Comparison Of Commercial Structure-From-Motion Photogrammetry Software Used For Underwater Three-Dimensional Modeling of Coral Reef Environments, *3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures*, 1–3 Mart 2017, Yunanistan, 127-131
- Cândido, B. M., Quinton, J. N., James, M. R., Silva, M. L., de Carvalho, T. S., de Lima, W., ... & Eltner, A., 2020, High-resolution monitoring of diffuse (sheet or interrill) erosion using structure-from-motion, *Geoderma*, 375, 114477.

- Cengiz, Ş., 2019, 3D Fountain Modeling from Single Image , Doctoral dissertation, *Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 79.
- Choi, B. K., Shin, H. Y., Yoon, Y. I., & Lee, J. W., 1988, Triangulation of scattered data in 3D space, *Computer-aided design*, 20(5), 239-248.
- Collins, R., 2007, *CSE/EE486 Computer Vision I, Introduction to Computer Vision*, CSE Department [online], Penn State University, <http://www.cse.psu.edu/~rtc12/CSE486> [Ziyaret Tarihi: 10.09.2021].
- Cryer, J. E., Tsai, P. S., Shah, M., 1995, Integration of shape from shading and stereo. *Pattern recognition*, 28(7), 1033-1043.
- Çapar, A., Gökmen, M. ,2011, Gradyan temelli şekil bölütleme ve tanıma, *İTÜDERGİSİ/d*, 10(3).
- Çavdaroğlu, G. Ç., Bayram, B., 2003, Görüntü İşleme Sunusu, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- Çelik, F. M., 2016, Köprü Ayağı Modeli Etrafındaki Oyulma ve Birikme Desenlerinin Fotogrametri ve Yersel Lazer Tarama Yöntemleri ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 85.
- Çelik, K., Sayan, H. H., Demirci, R., 2015, Gradient adaptive Gaussian image filter. In *2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 879-882). IEEE.
- Çelik, M. Ö., Yakar, İ., Hamal, S. N. G., Oğuz, G. M., & Kanun, E., 2020, Sfm Tekniği ile Oluşturulan 3B Modellerin Kültürel Mirasın Belgelenmesi Çalışmalarında Kullanılması: Gözne Kalesi Örneği, *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 22-27.
- Dubbini, M., Curzio, L.I., Campedelli, A. 2016, Digital Elevation Models from Unmanned Aerial Vehicle Surveys for Archaeological Interpretation of Terrain Anomalies: Case Study of the Roman Castrum of Burnum (Croatia), *Journal of Archaeological Science*, 8, 121-134.
- Duran, F., Kaya. A., ,2018, Duruş ve Hareket Algılama Teknolojileri: Stereo, Time Of Flight ve Yapısal Işık Algılayıcılar, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 11(1), 57-73.
- Efe, P., 2007, Arkeolojik Yerleşimlerin Sayısal Olarak Modellenmesi ve Etkileşimli Sanal Çevrede Görselleştirme Yöntemleri:" Bodrum Pedasa Örneği", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 178.
- Eltner, A.; Kaiser, A.; Castillo, C.; Rock, G.; Neugirg, F.; Abellán, A. Image-based surface reconstruction in geomorphometry-merits, limits and developments. *Earth Surf. Dyn.* 2016, 4, 359–389.

- Emlek, A., Peker, M., 2020, Evrişimli Sinir Ağı Tabanlı Derinlik Haritası İyileştirme, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(2), 722-729.
- Erdönmez, M., 2018, Yapılaşmış Alanlarda İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Eğik Resim Fotogrametrisi Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 134.
- Ergün, B., 2016, Üç Boyutlu Modelleme ve Animasyon Teknikleri Ders Notları, *Gebze Teknik Üniversitesi*, Kocaeli, 20.
- Fanello, S. R., Rhemann, C., Tankovich, V., Kowdle, A., Escolano, S. O., Kim, D., & Izadi, S., 2016, Hyperdepth: Learning depth from structured light without matching, In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 5441-5450.
- Favaro, P., 2002, Depth from focus/defocus, *document dated*.
- Gaol, Y. A. L., Murtiyoso, A., Nugroho, B. H., 2018, Investigations On The Bundle Adjustment Results From SFM-Based Software For Mapping Purposes, *ISPRS TC II Mid-term Symposium "Towards Photogrammetry 2020"*, 4-7 Haziran 2018, İtalya, 623-628.
- Georgoulas, C., Kotoulas, L., Sirakoulis, G. C., Andreadis, I., & Gasteratos, A., 2008, Real-time disparity map computation module. *Microprocessors and Microsystems*, 32(3), 159-170.
- Godard, C., Mac Aodha, O., Brostow, G. J., 2017, Unsupervised monocular depth estimation with left-right consistency. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 270-279.
- Grum, M., & Bors, A. G., 2008, Multiple image disparity correction for 3-D scene representation. In *2008 15th IEEE International Conference on Image Processing*, 209-212.
- Hacıağaoğlu, B., 2014, Uydu Görüntüleri İle Peyzaj Tiplerinin Belirlenmesinde Mekansal Çözünürlüğün Etkisi, Doctoral dissertation, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, 83.
- Hamzah, R. A., & Ibrahim, H., 2016, Literature survey on stereo vision disparity map algorithms, *Journal of Sensors*.
- He, W., Zhong, K., Li, Z., Meng, X., Cheng, X., Liu, X., & Shi, Y., 2018, Accurate calibration method for blade 3D shape metrology system integrated by fringe projection profilometry and conoscopic holography, *Optics and Lasers in Engineering*, 110, 253-261.
- Hirschmüller, H., Bucher, T., 2010, Evaluation of Digital Surface Models by Semi-Global Matching, *DGPF 2010*, 01-02 July 2010, Vienna, Austria.

- Hirschmüller, H. 2011, Semi-Global Matching – motivation, developments and applications, *In Photogrammetric Week 11, Fritsch, D. (ed), Wichmann, Heidelberg*, pp. 173–184.
- Hirschmüller H., Buder M., Ernst I., 2012, Memory Efficient Semi-Global Matching, *SPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume I-3, August 2012 in Melbourne, Australia.
- Hu, J. F., Zheng, W. S., Xie, X., & Lai, J., 2017, Sparse transfer for facial shape-from-shading. *Pattern Recognition*, 68, 272-285.
- Isawı, N. Y. M., 2016, Structure from Motion Using a Single Camera, Yüksek Lisans Tezi, *Çankaya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 74.
- Jang, W., Je, C., Seo, Y., Lee, S. W., 2013, Structured-light stereo: Comparative analysis and integration of structured-light and active stereo for measuring dynamic shape, *Optics and Lasers in Engineering*, 51(11), 1255-1264.
- Jang, W. S., & Ho, Y. S., 2010, 3-D object reconstruction from multiple 2-D images. *3D Research*, 1(2), 1-5.
- Jensen, J. L. R., Mathews A. J., 2016, Assessment of Image-Based Point Cloud Products to Generate a Bare Earth Surface and Estimate Canopy Heights in a Woodland Ecosystem, *Remote Sensing*, 8 (50), 1-13.
- Ji, Z., Qi, X., Wang, Y., Xu, G., Du, P., Wu, X., & Wu, Q., 2019, Human body shape reconstruction from binary silhouette images, *Computer Aided Geometric Design*, 71, 231-243.
- Jung, K., Kim, S., Im, S., Choi, T., & Chang, M., 2017, A photometric stereo using re-projected images for active stereo vision system. *Applied Sciences*, 7(10), 1058.
- Karaman, M., 2009, İki Boyutlu Görüntülerden Üç Boyutlu Şekil Elde Etme, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 86.
- Karkınlı, A. E., 2011, Çizgi Lazer Tabanlı 3D Tarayıcı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 63.
- Karmacharya, S. K., Bishwakarma, M., Shrestha, U., & Rüther, N., 2019, Application of ‘Structure from Motion’(SfM) technique in physical hydraulic modelling, *In Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1266, No. 1, p. 012008), IOP Publishing.
- Kaya, F. Z., Akçay, Ö., Avşar, E. Ö., Aydar, U., 2019, Su altı fotogrametrik belgelemede güncel uygulamalar, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 17. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*.
- Kıvanç, H., 2019, Kültürel Miras Belgeleme Çalışmalarında Fotogrametrik Yöntem İle Yersel Lazer Tarama Yönteminin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya, 109.

- Kotyuzhansky L. A., 2012, Вычисление карты глубины стереоизображения на графическом процессоре в реальном времени, *Фундаментальные исследования*, 2(6).
- Kuzu, Y., 2004, Volumetric Object Reconstruction by Means of Photogrammetry, Faculty of Civil Engineering an Applied Geosciences, Division of Photogrammetry and Cartography, Berlin Tecnical University, Ph.D Thesis, Germany,131pp.
- Liu, B., Gould, S., Koller, D., 2010, Single image depth estimation from predicted semantic labels. In *2010 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 1253-1260). IEEE.
- Liu, W. C., Wu, B., & Wöhler, C., 2018, Effects of illumination differences on photometric stereo shape-and-albedo-from-shading for precision lunar surface reconstruction, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 136, 58-72.
- Marangoz, A. M., 2002, Sayısal Kameralarla Tarihsel Yapıların Rölevelerinin Çıkarılması Olanakları, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 95.
- Mertan, A., 2020, Application and analysis of deep learning techniques on the problem of depth estimation from a single image, Doctoral dissertation, *Institute of Science And Technology*.
- Mlambo R., Woodhouse I. H., Gerard F., Anderson K., 2017, Structure From Motion (SfM) Photogrammetry With Drone Data: A Low Cost Method For Monitoring Greenhouse Gas Emissions From Forests İn Developing Countries, *Forests*, 8(3): 68.
- Movafeghi, A., Yahaghi, E., & Mohmmadzadeh, N. 2015, Design detection in cultural heritage Lorestan plate using the shape-from-shading method, *Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, 57(10), 576-579.
- Namboodiri, V. P., Chaudhuri, S. ,2007, On defocus, diffusion and depth estimation. *Pattern Recognition Letters*, 28(3), 311-319.
- Önal, O., Bozdağ, Ö., Ersoy, A., 2017, İzmir Agorası'ndaki Roma Dönemine Ait Hamam Yapısının SFM Tekniği ile 3 Boyutlu Katı Modelinin Oluşturulması, *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, 2-3-4 Kasım 2017,
- Ören, S., Yasa, E., Uğur, E., Poyraz, Ö., Akbulut, G., Pilatin, S., 2014, Havacılık Sektöründe Optik Ölçüm Yöntemlerinin Yeri ve Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi Üzerine Bir Çalışma, *Engineer & the Machinery Magazine*, 654.

- Özbay, E., 2013, Nesnelerin Üç Boyutlu Modellenmesi için Kinect Tabanlı Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 64.
- Özbay, E., Çınar, A., 2015, Gerçek Nesnelerin RGB Görüntüleri Üzerine Kinect-Nokta Bulutlarının Uyarlanması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(1), 9-14.
- Özbay, E., 2018, Nokta Bulutu Verilerinden Nesne Ayırt Etme, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 97.
- Özemir I., 2017, İnsansız Hava Aracı ile Fotogrametrik Veri Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 156.
- Özenç, U., Taştan, O., & Güllü, M. K., 2015, 3D object modeling by structured light and stereo vision. In *2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, (pp. 2466-2469).
- Öztürk, O., Bilgilioğlu, B. B., Çelik, M. F., Bilgilioğlu, S. S., & Raşit, U., 2017, İnsanz Hava Aracı (İHA) Görüntüleri İle Ortofoto Üretiminde Yükseklik Ve Kamera Açısının Doğruluğa Etkisinin Araştırılması, *Geomatik Dergisi*, 2(3), 135-142.
- Park, J. M., Song, G. Y., & Lee, J. W., 2017, Shape-indifferent stereo disparity based on disparity gradient estimation, *Image and Vision Computing*, 57, 102-113.
- Patiño, H., Zapico, P., Rico, J. C., Fernández, P., Valiño, G., 2018, A Gaussian filtering method to reduce directionality on high-density point clouds digitized by a conoscopic holography sensor, *Precision Engineering*, 54, 91-98.
- Phothong, W., Wu, T. C., Lai, J. Y., Wang, D. W., Liao, C. Y., & Lee, J. Y. 2017, Fast and accurate triangular model generation for the shape-from-silhouette technique, *Computer-Aided Design and Applications*, 14(4), 436-449.
- Polat, N., 2018, 3B Nokta Bulutlarından Bina Tespiti, Doktora Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 158.
- Posner, E., 2019, *ActiveStereoNet: Aktif stereo sistemler için ilk derin öğrenme çözümü* [online], HearBeat, <https://heartbeat.fritz.ai/activestereonet-the-first-deep-learning-solution-for-active-stereo-systems-f52ed2c6cd2> [Ziyaret Tarihi: 2 Ocak 2021].
- Ren, H., El-Khamy, M., Lee, J., 2019, Deep Robust Single Image Depth Estimation Neural Network Using Scene Understanding, In *CVPR Workshops*.
- Quan, S., Ma, J., Ma, T., Hu, F., & Fang, B., 2018, Representing local shape geometry from multi-view silhouette perspective: A distinctive and robust binary 3D feature, *Signal Processing: Image Communication*, 65, 67-80.
- Quéau, Y., Mérou, J., Castan, F., Cremers, D., & Durou, J. D., 2017, A variational approach to shape-from-shading under natural illumination, In *International*

*Workshop on Energy Minimization Methods in Computer Vision and Pattern Recognition*, Springer, Cham, 342-357.

- Santala, M., 2012, 3D Content Capturing and Reconstruction Using Microsoft Kinect Depth Camera.
- Sanz-Ablanedo, E., Chandler, J. H., Rodríguez-Pérez, J. R., Ordóñez, C., 2018, Accuracy of unmanned aerial vehicle (UAV) and SfM photogrammetry survey as a function of the number and location of ground control points used, *Remote Sensing*, 10(10), 1606.
- Sarıtürk, B., Şeker, D. Z., 2017, SFM Tekniği ile 3B Objeler Modellenmesinde Kullanılan Ticari ve Açık-Kaynak Kodlu Yazılımların Karşılaştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 126-131.
- Scharstein, D., & Szeliski, R., 2003. High-accuracy stereo depth maps using structured light. In *2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Proceedings*. (Vol. 1, pp. I-I).
- Sefercik, U. G., Tanrikulu, F., & Atalay, C., 2020, SFM Tabanlı Yeni Nesil Görüntü Eşleştirme Yazılımlarının Fotogrametrik 3B Modelleme Potansiyellerinin Karşılaştırılması, *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 39-45.
- Seren, A. M., Demirel, H., 2016, Açık Alanda Bulunan Büyük Objelerin 3 Boyutlu Modellenmesi: Güncel Geomatik Mühendisliği Yöntemlerinin Karşılaştırılması, 8. *Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 19-21.
- Seydanlıoğlu, A., 2017, Belediye Hizmetlerinde Kullanılan Harita Üretimlerinin Temel Ölçütlerle Kıyaslanması, Doktora Tezi, *İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 178.
- SHGM, 2019, İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı (SHT-İHA), Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü İnsansız Hava Aracı ve Pilot Kayıt Sistemi.
- Shotton, J., Girshick, R., Fitzgibbon, A., Sharp, T., Cook, M., Finocchio, M., Blake, A., 2012, Efficient human pose estimation from single depth images, *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 35(12), 2821-2840.
- Singh, S., Saleh, M. S. S., 2020, Prediction of Depth Maps using Semi-Supervised Learning.
- Smith, W. A., Hancock, E. R., 2006, Estimating facial albedo from a single image. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 20(06), 955-970.
- Sun, J., Chen, L., Xie, Y., Zhang, S., Jiang, Q., Zhou, X., & Bao, H., 2020, Disp r-cnn: Stereo 3d object detection via shape prior guided instance disparity estimation, In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 10548-10557).

- Şenel, H. G., 2007, Kenar Bulma İçin Topolojik Gradyan İşleçleri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(2), 135-158.
- Tanrikulu, F., 2019, SFM Tabanlı Yeni Nesil Görüntü Eşleştirme Yazılımlarının Ortomozaik ve 3B Topoğrafik Model Performanslarının Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 85.
- Tercan, E., 2012, Sanal Model Ölçme ve Canlandırma, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 81.
- Tercan, E., 2017, İnsansız Hava Aracı Kullanılarak Antik Kent ve Tarihi Kervan Yolunun Fotogrametrik Belgelenmesi: Sarıhacılar Örneği, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5 (3), 633-642.
- Tercan, E., 2017, Karayolu Ölçmelerinde İnsansız Hava Araçlarının Kullanılması: Okurcalar Şehir Merkezi Örneği, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7 (2), 649-660.
- Türköz, Ç., 2009, Dijital ortodontik modeller. *Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 26(3), 181-187.
- Varlık, A., 2018, Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Teknikleri ile 3 Boyutlu Modelleme Sunusu, *Necmettin Erbakan Üniversitesi*, Konya.
- Varlık, A., 2019, Hareket ile Nesne Oluşturma-Structure From Motion (SFM) Sunusu, *Necmettin Erbakan Üniversitesi*, Konya.
- Varlık, A., 2020, Görüntü Eşleme (Image Matching) Ders Notları, *Necmettin Erbakan Üniversitesi*, Konya.
- Vouzounaras, G., Perez-Moneo Agapito, J. D., Daras, P., Stryntzis, M. G., 2010, 3D reconstruction of indoor and outdoor building scenes from a single image, In *Proceedings of the 2010 ACM workshop on Surreal media and virtual cloning* (pp. 63-66).
- Vurarak, Y., Çıkman, A., Bilgili, M. E., Gözübüyük, Z., 2019, Toprak İşlemede Yeni Yaklaşımlar: Albedo Etkisi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 15(3), 83-90.
- Wang, G., Zhang, X., & Cheng, J., 2020, A Unified Shape-From-Shading Approach for 3D Surface Reconstruction Using Fast Eikonal Solvers, *International Journal of Optics*, 2020.
- Wang, Z., & Yang, Y., 2018, Single-shot three-dimensional reconstruction based on structured light line pattern, *Optics and Lasers in Engineering*, 106, 10-16.
- Warrick, A. J., Ritchie, A. C., Adelman, G., Adelman, K., Limber, P. W., 2017, New Techniques to Measure Cliff Change from Historical Oblique Aerial Photographs and Structure from Motion Photogrammetry, *Journal of Coastal Research*, 33 (1), 39-55.

- Wenzel, K., Rothermel, M., Haala, N., Fritsch, D., 2013, SURE–The ifp software for dense image matching. In *Photogrammetric week* (Vol. 13, pp. 59-70).
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., Reynolds, J. M., 2012, ‘Structure-from-Motion’ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications, *Geomorphology*, 179, 300-314.
- Wilder, J. D., Adams, W. J., & Murray, R. F., 2019, Shape from shading under inconsistent illumination. *Journal of vision*, 19(6), 2-2.
- Worthington, P. L., 2005, Re-illuminating single images using albedo estimation. *Pattern Recognition*, 38(8), 1261-1274.
- Xiao, Y. L., Wen, Y., Li, S., Zhang, Q., Zhong, J., 2020, Large-scale structured light 3D shape measurement with reverse photography, *Optics and Lasers in Engineering*, 130, 106086.
- Yastıklı, N., Bayraktar, H., 2014, Yoğun Görüntü Eşleme Algoritmaları İle Yüksek Çözünürlüklü Sayısal Yüzey Modeli Üretimi, 5. *Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (UZAL-CBS 2014)*, 14-17.
- Yıldırım, C., Böcekçi, V. G., 2020, Low Cost Hand Gesture Recognition System Design, *European Journal of Science and Technology*, (18), 675-682.
- Yıldırım, İ., Demir, B., Ertürk, S., 2006, E-Devlet İçin Kültür Varlıklarının 3-Boyutlu Modellenmesi ve Gösterimi, 14. *IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU'2006)*.
- Yılmaz, O., Karakus, F., 2013, Stereo and kinect fusion for continuous 3D reconstruction and visual odometry, In *2013 International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)* (pp. 115-118), IEEE.
- Yılmaz, U., 2003, İnternet’te Üçüncü Boyut ve Üç Boyutlu Model Üretimi, *TMMOB EMO Dergisi*, (418).
- Yosmaoğlu S., Yaraş M. C., Çark Y., Özkan T., Erk S., Bayram B., 2013, Optik Lazer Tarayıcılar ile 3 Boyutlu Yüzey Modelleme ve Doğruluk Analizi, *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu (TUFUAB'2013)*, Trabzon.
- Yüksel H., Bulut M.O., 2019, Üç Boyutlu Tarama Sistemleri, *Tekstil ve Mühendis*, 26: 116, 406-414.
- Zhang, R., Tsai, P. S., 1994, Analysis of shape from shading techniques, In *1994 Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 377-384), IEEE.

Zheng, Q., Chellappa, R., 1991, Estimation of illuminant direction, albedo and shape from shading, 1991 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.

URL-1, < <https://www.agisoft.com/> > , Ziyaret tarihi: 25.08.2021.

URL-2, < <https://www.dji.com/phantom-4> > , Ziyaret tarihi: 10.08.2021.

URL-3, < <https://support.apple.com/tr-tr/HT210571> > , Ziyaret tarihi: 10.08.2021.

URL-4, < <https://www.melexis.com/en/tech-talks/why-choose-time-of-flight-for-your-automotive-3d-sensing-applications> > , Ziyaret tarihi: 01.09.2021.

