

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NESNELERİN İKİ BOYUTLU GÖRÜNTÜLER KULLANILARAK ÜÇ
BOYUTLU MODELLENMESİ VE ÜRETİMİ

Orhan TOSUN

Danışman
Prof. Dr. Ramazan ŞENOL

DOKTORA TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2024



© 2024 [Orhan TOSUN]

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1. Üç Boyutlu Yazıcı Alanında Yapılan Çalışmalar	5
2.2. Üç Boyutlu Modelleme Alanında Yapılan Çalışmalar	8
2.3. Üç Boyutlu Analiz Alanında Yapılan Çalışmalar	12
2.4. İnceleme Sonuçları	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	16
3.1. Üç Boyutlu Yazıcılar ve Üç Boyutlu Üretim.....	16
3.1.1. Üç Boyutlu Yazıcıların Çalışma Şekillerine Göre Sınıflandırılması	16
3.1.1.1. Tarayarak Işıklı Kütleme Yöntemiyle Çalışan Cihazlar	17
3.1.1.2. Eriyik Yığarak Modelleme Yöntemiyle Çalışan Cihazlar	19
3.2. Görüntü İşleme	21
3.2.1. Erozyon	22
3.2.2. Genişleme	22
3.2.3. Kenar Tespit Algoritmaları.....	23
3.2.4. CCTAG (Concentric Circle Tag) Algoritması	24
3.2.5. SIFT (Scale Invariant Feature Transform) Algoritması	24
3.2.6. AKAZE (Accelerated KAZE) Algoritması	24
3.2.7. RANSAC (Random Sample Consensus) Algoritması	25
3.2.8. U ² -Net Yapay Zekâ Modeli	27
3.2.9. DiffImg Kütüphanesi.....	27
3.3. 3B Modelleme ve Bilgisayar Destekli Yazılım ile Model Geliştirilmesi	27
3.4. Görüntü Eldesinden 3B Yüzey Modellerinin Meydana Getirilmesi	30
3.4.1. Fotogrametri ile Model Üretimi	31
3.4.1.1. Hareket Kullanarak Nesne Çıkarma (Structure From Motion) ..	34
3.4.2. Nokta Bulutu	35
3.5. Nesnenin 3B Modellenmesi	36
3.5.1. Nesnenin 3B Modelinin CAD/CAM ile Manuel Olarak Üretilmesi	36
3.5.2. Fotoğraf Yoluyla Üç Boyutlu Modelin Üretilmesi	37
3.5.2.1. Kamera Entegrasyonu	39
3.5.2.2. Özellik Çıkarımı	40
3.5.2.3. Özellik Eşleştirme	41
3.5.2.4. Görüntü Eşleştirme	43
3.5.2.5. Hareket Kullanarak Nesne Çıkarma	44
3.5.2.6. Derinlik Haritası Oluşturulması	45
3.5.2.7. Modelin Oluşturulması	46
3.5.2.8. Modelleme Adımlarının Çalışmada Uygulanması	47
3.6. 3B Modellemesi Tamamlanan Nesnelerin Üretim Süreci	50
3.6.1. Üretim Esnasında Kullanılan Yazıcılar	51

3.6.1.1. Üretim Esnasında Kullanılan FDM Yazıcı	51
3.6.1.2. Üretim Esnasında Kullanılan SLA Yazıcı	52
3.6.1.3. Nesnelerin Yazıcılar ile Üretilmesi	53
3.6.2. CAD ve Fotoğraf Yoluyla Modelleme ile Üretim Denemeleri	56
3.6.2.1. Nesne 1 Deneyi	56
3.6.2.2. Nesne 2 Deneyi	59
3.6.2.3. Nesne 3 Deneyi	61
3.6.2.4. Nesne 4 Deneyi	64
3.6.2.5. Nesne 5 Deneyi	66
3.6.2.6. Nesne 6 Deneyi	68
3.6.4. Sadece Fotoğraf Yoluyla Modelleme ve Üretim Denemeleri.....	69
3.6.4.1. Nesne 7 Deneyi	69
3.6.4.2. Nesne 8 Deneyi	71
3.6.4.3. Nesne 9 Deneyi	73
3.6.4.4. Nesne 10 Deneyi.....	74
3.6.4.5. Nesne 11 Deneyi.....	75
3.6.4.6. Nesne 12 Deneyi.....	76
3.6.4.7. Nesne 13 Deneyi.....	77
3.7. Üretimleri Tamamlanan Modellerin Analiz Süreci	78
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	81
4.1. Üretilen Modellere Göre Elde Edilen Bulgular	81
4.1.1. Nesne 1 Deneyi Bulguları.....	82
4.1.1.1. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular	82
4.1.1.2. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular	83
4.1.2. Nesne 2 Deneyi Bulguları.....	84
4.1.2.1. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular	84
4.1.2.2. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular	85
4.1.3. Nesne 3 Deneyi Bulguları.....	86
4.1.3.1. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular	86
4.1.3.2. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular	88
4.1.4. Nesne 4 Deneyi Bulguları.....	90
4.1.4.1. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular	90
4.1.4.2. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular	91
4.1.5. Nesne 5 Deneyi Bulguları.....	92
4.1.5.1. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular	92
4.1.5.2. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular	93
4.1.6. Nesne 6 Deneyi Bulguları.....	94
4.1.6.1. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular	94
4.1.6.2. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular	95
4.1.7. Bilgisayar Destekli Çizimi Yapılamayan Nesnelerin Deney Bulguları	96
4.1.8. Nesne 11 Deneyi Bulguları.....	96
4.1.8.1. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular	96
4.1.8.2. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular	98
4.1.9. Nesne 12 Deneyi Bulguları.....	99
4.1.9.1. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular	99
4.1.9.2. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular	101
4.1.10. Nesne 13 Deneyi Bulguları	102
4.1.10.1. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular.....	102
4.1.10.2. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular	103

4.1.11. FDM Yazıcı İçin Tüm Nesnelerin Bulguları.....	104
4.1.12. SLA Yazıcı İçin Tüm Nesnelerin Bulguları	105
4.1.13. Orjinal Nesnelerin FDM ve SLA Ürünleri ile Bulguları.....	105
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	107
KAYNAKLAR	110
ÖZGEÇMİŞ.....	118



ÖZET

Doktora Tezi

NESNELERİN İKİ BOYUTLU GÖRÜNTÜLER KULLANILARAK ÜÇ BOYUTLU MODELLENMESİ VE ÜRETİMİ

Orhan TOSUN

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ramazan ŞENOL

Üç boyutlu yazıcıların yaygınlaşması ile hem yazılım hem de üretim sektöründe üç boyutlu modelleme ile üretim konularında akademik ve endüstriyel çalışmalar hız kazanmıştır. Üç boyutlu yazıcılardan herhangi bir üretim yapabilmek için bir modele sahip olmak gerekmektedir. Hemen hemen üretimin yapıldığı her sektörde üç boyutlu yazıcıları görmek mümkün hale geldiği için üç boyutlu modelleme de aynı oranda yaygınlaşmaktadır. Üç boyutlu modelleme alanının gelişmesi ve ilerlemesiyle modelleme yöntemleri de çeşitlilik kazanmaktadır. Yazılım sektöründe ortaya çıkan yenilikler sayesinde nesnelere tarama veya fotoğraf yoluyla üç boyutlu modellerinin elde edilmesi her geçen gün daha verimli bir hale gelmektedir. Üç boyutlu modelleme, nesnelere dijital bir ortama üç boyutlu olarak aktarılmasını sağlayan bir süreç olduğundan bu alandaki yaşanan gelişmelerin pek çok farklı sektöre yansımaları olmaktadır. Mevcut durumda üç boyutlu tarama profesyonel cihazlara ihtiyaç duyan, maliyetli ve uzmanlık isteyen bir süreç olarak bu alanda yer edinmektedir.

Bu çalışma, günümüzde hızla ilerleyen teknolojik gelişmeler bağlamında üç boyutlu modelleme ve üç boyutlu yazıcılar gibi yenilikçi teknolojilere odaklanmaktadır. Çalışma kapsamında oldukça yaygın olan cep telefonu kamerası veya basit düzeyde görüntü elde etme araçları ile elde edilen görüntülerden üç boyutlu bir modelin oluşturulması ve üç boyutlu yazıcı ile üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla farklı geometrik şekillere sahip objeler seçilmiştir. Bunlardan temel seviyede çizim becerisiyle çizilebilir olanlar gerçek ölçülerinde çizilerek modelleri oluşturulmuştur. Aynı zamanda bu objeler için çalışma kapsamında geliştirilen yazılım aracılığı ile üç boyutlu modelleri elde edilmiştir. Objelerin çizimi için ileri düzey çizim becerisi gerektiren ya da çizimi oldukça zor olan nesnelere ise sadece çalışma kapsamında geliştirilen yazılım aracılığı ile üç boyutlu olarak modellenmiştir. Elde edilen modeller FDM ve SLA tipi yazıcılar aracılığıyla üretilmiştir. Üretilen bu nesnelere çizimi ile üretilen ürün ile veya orijinal nesne ile karşılaştırılabilmesi için görüntü işleme tekniklerinden faydalanılmıştır.

Elde edilen ürünler çizimleri ile değerlendirildiğinde yaklaşık %95,17 benzerlik oranı tespit edilmiştir. Orijinali ile aynı boyutta üretilen nesnelere orijinali ile

değerlendirilmesi sonucunda ise yaklaşık %94,38 benzerlik oranı tespit edilmiştir. Tüm değerlendirmelerin sonunda ise ortalama oran yaklaşık %94,77 olarak hesaplanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: 3B Modelleme, Görüntü İşleme, Modelden Nesne Üretimi.

2024, 118 sayfa



ABSTRACT

Ph.D. Thesis

THREE DIMENSIONAL MODELING AND PRODUCTION USING TWO DIMENSIONAL IMAGES OF OBJECTS

Orhan TOSUN

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Computer Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Ramazan ŞENOL

The widespread adoption of 3D printers has accelerated academic and industrial research in both software and manufacturing sectors, focusing on 3D modeling and production. To produce any item using 3D printers, a model is required. As it has become possible to see three-dimensional printers in almost every sector where production is carried out, three-dimensional modeling is also becoming widespread at the same rate. The advancement and progress in the field of 3D modeling have resulted in increased diversity in modeling techniques. Innovations in the software industry have made the process of obtaining 3D models of objects through scanning or photography increasingly efficient. 3D modeling is a process that involves digitally transferring objects into a three-dimensional environment, and the developments in this field have diverse implications for various industries. Currently, 3D scanning is positioned as a process that requires professional equipment, incurring high costs and demanding expertise.

This study focuses on innovative technologies such as 3D modeling and 3D printers in the context of rapidly advancing technological developments. The aim of the study is to create a three-dimensional model from images obtained through commonly used tools like a mobile phone camera or basic image acquisition devices and subsequently produce the model using a 3D printer. For this purpose, objects with different geometric shapes were selected. Those that could be drawn with basic drawing skills were manually drawn to create the models with accurate dimensions. Additionally, advanced drawing skills or objects with challenging drawings were modeled in three dimensions using software developed within the scope of this study. The obtained models were then produced using FDM and SLA type printers. In order to assess the similarity between the drawn models and the produced objects, image processing techniques were employed.

Upon evaluating the products based on their drawings, an approximate similarity rate of 95.17% was determined. When comparing the produced objects with the original ones, a similarity rate of approximately 94.38% was identified. The

average similarity rate calculated at the end of all evaluations is approximately 94.77%.

Keywords: 3D Modeling, Image Processing, Object Production from Model

2024, 118 pages



TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni ynlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrbesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Ramazan ŞENOL' a teŐekkrlerimi sunarım. Tezimin ilerlemesinde bana yardımcı olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Bekir AKSOY' a, projedeki teknik detaylarda yardımlarını esirgemeyen Abdullah Burak KEŐKEKİ hocama teşekkür ederim.

Tezimin zorlu aşamalarında bana moral ve motivasyon sağlayan değerli arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan değerli aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Orhan TOSUN
ISPARTA, 2024

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. SLA Teknolojisi Çalışma Prensipleri.....	18
Şekil 3.2. Baskı İşlemi Sonrası SLA Yazıcı Baskı Zeminini.....	19
Şekil 3.3. Eriyik Yığarak Modelleme Temsili Çalışma Şekli.....	20
Şekil 3.4. Eriyik Yığarak Modelleme ile Üretilmiş Nesne Örneği.....	21
Şekil 3.5. Erozyon Örneği.....	22
Şekil 3.6. Genişleme Örneği.....	23
Şekil 3.7. Kenar Bulma Algoritma Sonucuna Bir Örnek.....	23
Şekil 3.8. Örnek Bir 3B Model.....	29
Şekil 3.9. Fotogrametri ile Nesnenin Üç Boyutlu Modelini Oluşturma Aşamaları.....	32
Şekil 3.10. Aksaray Kızıl Kilise Üzerine Bir Fotogrametri Çalışması.....	33
Şekil 3.11. Model Üretim Şeması.....	36
Şekil 3.12. Modellenmek Üzere Nesne 1'in Çekilen Örnek Fotoğrafları.....	37
Şekil 3.13. Özellik Çıkarımı.....	40
Şekil 3.14. Özellik Çıkarımı Uygulanmış İki Fotoğraf.....	41
Şekil 3.15. Özellik Eşleştirme Uygulanan İki Fotoğraf.....	42
Şekil 3.16. Görüntü Eşleştirme Çalışma Prensipleri.....	43
Şekil 3.17. Hareketten Yapı Çıkarımı.....	44
Şekil 3.18. 3B Modeli Hedeflenen Cismin Nokta Bulutu.....	45
Şekil 3.19. Nesnenin Derinlik Haritası Örneği.....	46
Şekil 3.20. Kullanılan Nesnenin Modeli.....	47
Şekil 3.21. Nesnenin Nokta Bulutu ve Üç Boyutlu Modellenmiş Hali.....	49
Şekil 3.22. Nesnenin Nokta Bulutu ve Üç Boyutlu Modellenmiş Hali.....	50
Şekil 3.23. GEEETech Prusa i3 Pro B.....	52
Şekil 3.24. Elegoo Saturn 3 Ultra 12K.....	53
Şekil 3.25. Octoprint Yazılımı Arayüzü.....	54
Şekil 3.26. Elegoo Satürn 3 Ultra 12k ve Üretim Seti.....	56
Şekil 3.27. Nesne 1' in Orjinali, Bilgisayar Destekli Çizim ile Üretilen Modeli ve Fotoğraf Yolu ile Elde Edilen Modeli.....	57
Şekil 3.28. FDM Yazıcıdan Manuel Çizim ile Üretilen 3B Model ve Fotoğraf Çekimi ile Üretilen 3B Model.....	57
Şekil 3.29. SLA Yazıcıdan Manuel Çizim ile Üretilen 3B Model ve Fotoğraf Çekimi ile Üretilen 3B Model.....	58
Şekil 3.30. Nesne 1' e Ait FDM Yazıcı ile Üretim Aşamaları.....	58
Şekil 3.31. Nesne 1' in Orjinali ve Üretilmiş Hallerinin Görselleri.....	59
Şekil 3.32. Nesne 2' nin Orjinali, Bilgisayar Destekli Çizim ile Üretilen Modeli ve Fotoğraf Yolu ile Elde Edilen Modeli.....	60
Şekil 3.33. Nesne 2' nin FDM Üretim Aşamaları.....	60
Şekil 3.34. Nesne 2' nin Orjinali ve Üretilmiş Hallerinin Görselleri.....	61
Şekil 3.35. Nesne 3' ün Orjinali, Bilgisayar Destekli Çizim ile Üretilen Modeli ve Fotoğraf Yolu ile Elde Edilen Modeli.....	62
Şekil 3.36. Nesne 3' e Ait Üretim Aşamaları.....	62
Şekil 3.37. Nesne 3' ün Orjinali ve Üretilmiş Hallerinin Görselleri.....	63
Şekil 3.38. Nesne 3' ün Orjinali ve Üretilmiş Hallerinin Görselleri.....	63
Şekil 3.39. Nesne 5' in Orjinali, Manuel Çizim ile Üretilen Modeli ve Fotoğraf Yolu ile Elde Edilen Modeli.....	64

Şekil 3.40. Nesne 4' e Ait Üretim Aşamaları.....	64
Şekil 3.41. Nesne 4' ün SLA Yazıcı ile Üretim Aşamaları	65
Şekil 3.42. Nesne 4' ün Orjinali ve Tüm Üretimler.....	65
Şekil 3.43. Nesne 6' in Orjinali, Manuel Çizim ile Üretilen Modeli ve Fotoğraf Yolu ile Elde Edilen Modeli	66
Şekil 3.44. Nesne 5' e Ait Üretim Aşamaları	66
Şekil 3.45. Nesne 5' in SLA Yazıcıdaki Üretim Aşamaları.....	67
Şekil 3.46. Nesne 5' in Orjinali ve Tüm Üretimler	67
Şekil 3.47. Nesne 6' nın Orjinali, Manuel Çizim ile Üretilen Modeli ve Fotoğraf Yolu ile Elde Edilen Modeli	68
Şekil 3.48. Nesne 6' nın Ait Üretim Aşamaları.....	68
Şekil 3.49. Nesne 6' nın Orjinali ve Tüm Üretimleri.....	69
Şekil 3.50. Nesne 7' nin Orjinali ve Modeli.....	70
Şekil 3.51. Nesne 7' ye Ait Üretim Aşamaları.....	70
Şekil 3.52. Nesne 7' ye Ait FDM ve SLA Yazıcı Baskıları	71
Şekil 3.53. Nesne 8' in Orjinali ve Modeli	71
Şekil 3.54. Nesne 8' e Ait Üretim Aşamaları	72
Şekil 3.55. Nesne 8' e Ait FDM ve SLA Yazıcı Baskıları.....	72
Şekil 3.56. Nesne 9' un Orjinali ve Modeli.....	73
Şekil 3.57. Nesne 9' a Ait Üretim Aşamaları	73
Şekil 3.58. Nesne 9' a Ait FDM ve SLA Yazıcı Baskıları.....	74
Şekil 3.59. Nesne 10 Orjinali ve Modeli.....	74
Şekil 3.60. Nesne 10' a Ait FDM ve SLA Yazıcı Baskıları	75
Şekil 3.61. Nesne 11 Orjinali ve Modeli.....	75
Şekil 3.62. Nesne 11' e Ait FDM ve SLA Yazıcı Baskıları.....	76
Şekil 3.63. Nesne 12 Orjinali ve Modeli.....	76
Şekil 3.64. Nesne 12' ye Ait FDM ve SLA Yazıcı Baskıları.....	77
Şekil 3.65. Nesne 13 Orjinali ve Modeli.....	77
Şekil 3.66. Nesne 12' ye Ait FDM ve SLA Yazıcı Baskıları.....	78
Şekil 3.67. U ² -Net Uygulanış Aşamasına Bir Örnek.....	79
Şekil 3.68. Diffing Kullanımına Bir Örnek.....	79
Şekil 3.69. Diffing Sonucu Olarak Oluşan Bir Fark Görseli	80
Şekil 4.1. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli	82
Şekil 4.2. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli	82
Şekil 4.3. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli	83
Şekil 4.4. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli	83
Şekil 4.5. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli	84
Şekil 4.6. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli	85
Şekil 4.7. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli	85
Şekil 4.8. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli	86
Şekil 4.9. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	

c) Fark Görseli	87
Şekil 4.10. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	87
Şekil 4.11. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	87
Şekil 4.12. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	88
Şekil 4.13. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	89
Şekil 4.14. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	89
Şekil 4.15. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	90
Şekil 4.16. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	90
Şekil 4.17. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	91
Şekil 4.18. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	91
Şekil 4.19. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	92
Şekil 4.20. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	92
Şekil 4.21. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	93
Şekil 4.22. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	93
Şekil 4.23. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	94
Şekil 4.24. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	94
Şekil 4.25. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	95
Şekil 4.26. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	95
Şekil 4.27. a) Orijinal Nesne b) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	97
Şekil 4.28. a) Orijinal Nesne b) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	97
Şekil 4.29. a) Orijinal Nesne b) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	97
Şekil 4.30. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	98
Şekil 4.31. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	98
Şekil 4.32. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	99
Şekil 4.33. a) Orijinal Nesne b) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	99

Şekil 4.34. a) Orijinal Nesne b) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	100
Şekil 4.35. a) Orijinal Nesne b) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	100
Şekil 4.36. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	101
Şekil 4.37. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	101
Şekil 4.38. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	102
Şekil 4.39. a) Orijinal Nesne b) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	103
Şekil 4.40. a) Orijinal Nesne b) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	103
Şekil 4.41. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	104
Şekil 4.42. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün	
c) Fark Görseli	104

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. RANSAC Algoritması Temel Adımları	26
Çizelge 3.2. FDM Yazıcıda Kullanılan Filamentin Teknik Özellikleri	54
Çizelge 3.3. SLA Yazıcıda Kullanılan Reçine Teknik Özellikleri	55
Çizelge 4.1. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürünlerin Fark ve Benzerlik Oranı Tablosu	105
Çizelge 4.2. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürünlerin Fark ve Benzerlik Oranı Tablosu	105
Çizelge 4.3. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürünlerin Orijinal Nesne ile Fark ve Benzerlik Oranı Tablosu	106
Çizelge 4.4. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürünlerin Orijinal Nesne ile Fark ve Benzerlik Oranı Tablosu	106



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene
AKAZE	Accerelated KAZE
CAD	Computer Aided Design
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CAM	Computer Aided Manufacturing
CCTAG	Concentric Circle Tag
CH	Konoskopik Holografi
CJP	Color Jet Printing
CNC	Computer Numerical Control
CNN	Convolutional Neural Network
CT	Computed Tomography
CUDA	Compute Unified Device Architecture
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
ERIC	Education Resources Information Center
FDM	Fused Deposition Modeling
GPU	Graphics Processing Unit
MIMICS	Materialise's Interactive Medical Image Control System
PLA	Polylactic Acid
RANSAC	Random Sample Consensus
RGB	Red Green Blue
SIFT	Scale Invariant Feature Transform
SFM	Sturcture From Motion
SLA	Stereo Lithography Apparatus
STL	Stereolitografi
VR	Virtual Reality
3B	Üç Boyutlu

1. GİRİŞ

Teknoloji geliştikçe sanal ortamların kullanımı artmıştır. Videolar, filmler ve oyunlarda kullanıcılar daha çok gerçeğe yakın formları tercih etmektedirler. Bu sebeple araştırmacılar ve geliştiriciler sanal ortamların kalitesini artırmaya yönelmişlerdir. Çok büyük bir pazar haline gelen sanal ortamlar ülkeler açısından da ciddi bir ekonomik getiri olarak ön plana çıkmaktadır. Özellikle pandeminin etkisiyle insanlar sanal ortamlara daha fazla yönelmiş ve gerçeklik oranı yüksek olan sanal ortamlar daha fazla ilgilerini çekmiştir. Teknolojideki ilerlemenin açtığı yolla üç boyutlu turizm seyahatlerine, üç boyutlu oyunlara, üç boyutlu belgesellere ve daha nicelerine ulaşmak mümkün hale gelmiştir. Bu sektör modelleme alanında da kendini göstermiş ve görsel efektler ile oyunlarda da üç boyutlu modellemeler önemli yer edinmiştir.

Üç boyutlu yazıcılar ise bir üç boyutlu modeli üretebilmeyi sağlayan cihazlar olarak günümüz teknolojisinde yerini almıştır. Üç boyutlu yazıcılar, bilgisayar destekli tasarım programları aracılığıyla veya başka yöntemlerle oluşturulan dijital modelleri fiziksel nesnelere dönüştürebilen üretim cihazlarıdır. Modeli elde edilmiş bir dijital nesne bu teknoloji sayesinde ürün haline gelebilmektedir. Bu teknolojik araçlar, çeşitli endüstrilerde farklı amaçlarla kullanılmaktadır.

Günümüzde eğitim, havacılık ve uzay, medikal, gıda, tekstil, inşaat ve mimari, savunma sanayisi, kuyumculuk ve süs eşyaları, otomotiv gibi pek çok sektörde 3 boyutlu yazıcı teknolojilerinden faydalanılmaktadır. Medikal alanında 3 boyutlu yazıcılar bireyin anatomik uygun protezlerin tasarlanması ve üretilmesi, yapay dokuların ve organların tasarımı ve üretimini gibi önemli uygulamalara olanak sağlamaktadır. 3 boyutlu modelleme çalışmaları ile cerrahi müdahale öncesi operasyon planlamaları için organların detaylı bir şekilde 3 boyutlu modellenmesi gibi çalışmalar ile müdahalelerin başarısını artırmaya yönelik çalışmalara yapılabilmektedir. Ayrıca medikal alanında son yıllarda 3 boyutlu yazıcılar özellikle ağız ve diş sağlığı alanında kullanılmaktadır. Ağız içi 3 boyutlu tarayıcılar ile diş hekimleri hem tarama yapmakta hem de hastaya uygun olan ürünleri 3 boyutlu yazıcılar ile üretebilmektedirler. İnşaat sektöründe 3 boyutlu

yazıcılar, binaların inşasını kolaylaştırmanın yanı sıra, karmaşık geometriye sahip yapıların inşasını da mümkün kılmaktadır. Bu, inşa sürecini optimize etmekte ve özellikle güç tasarımların başarıyla gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Otomotiv sektöründe 3 boyutlu yazıcılar ile yedek parça üretiminin yanında araçların iç dekoruna entegre edilebilen kolaylaştırıcı ürünler üretmek amacıyla kullanılabilir. Bunun ile araç kullanıcılarının hem performans hem de araç kullanımı alanında hayatlarının bu teknoloji ile kolaylaştığı söylenebilir. Gıda sektöründe 3 boyutlu yazıcılar, pasta, çikolata üretimi ve kahve köpüğüne desen oluşturmanın gibi dekoratif işlemlerin yanında, yapay et üretimi gibi farklı alanlarda çalışmayı da mümkün kılmaktadır. Bu, gıda endüstrisinde yaratıcılığı ve üretim süreçlerini çeşitlendirmeyi sağlamaktadır. Kuyumculuk ve süs eşyaları alanlarında 3 boyutlu yazıcılar, kişiye özel tasarımların gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Tekstil sektöründe ise giysilerin tek parça üretimi ve farklı örme teknikleri kullanılarak yeni modellerin oluşturulması gibi uygulamaları desteklemektedir. Havacılık ve uzay sektöründe 3 boyutlu yazıcılar, uçak motorları dâhil olmak üzere karmaşık parçaların üretiminde kullanılarak hafif ve dayanıklı uçak gövdeleri ve motorlarının tasarlanmasını sağlamaktadır. Bu, hava araçlarının ağırlığı konusunda avantaj sağlamakta ve parçaların karmaşık geometrisine uygun üretim imkânı tanımaktadır. Savunma sanayisinde 3 boyutlu yazıcılar, yerli üretim araçları ve parçaların üretilmesine olanak sağlamakta ve üretimlerin özgün olmasını sağlayarak bu alanda önemli bir mesafe kat edilmesine katkı sunmaktadır (Akbaba, 2021). 3 boyutlu yazıcıların dâhil oldukları sektör sayısı arttıkça gerek ekonomik boyuttaki ticaret hacmi de artmaktadır. Daha çok ve farklı tipte imalatların yapılması gerektikçe 3 boyutlu yazıcılara olan yatırım da artmaktadır. Bu durumun hem 3 boyutlu üretim teknolojisinin ilerlemesine hem de bu konudaki araştırmaların artış göstermesine sebep olmaktadır.

Üç boyutlu baskı üretimi, günümüz ekonomisinin önemli bir unsuru olarak öne çıkmakta ve ülke ekonomisinde giderek artan bir paya sahip olmaktadır. Bu üretim yöntemi, verimliliği artırarak ekonominin parametrelerini değiştirirken, endüstriyel olarak büyümeye destek vererek şirketlerin ve bölgelerin rekabet gücünü artırmaktadır. Aynı zamanda, özgün üretim ve tasarım esnekliği sunarak

pazarlama stratejilerine yenilikçi ve dönüşümsel katkılar sağlamaktadır. Üç boyutlu baskının bu şekilde ekonomik kalkınmaya sağladığı katkılar, yerel üretimi destekleme, ithalata olan bağımlılığı azaltma ve endüstriyel süreçleri daha sürdürülebilir ve çeşitlendirilmiş bir hale getirme yoluyla ortaya çıkmaktadır (Yıldırım, 2021). Hubs tarafından yayımlanan bir rapora göre, 3B baskı pazarı, pandemi nedeniyle başlangıçta yaşanan düşüşten sonra tekrar büyümeye başlamıştır. Rapora göre, teknoloji pazarı 2021 yılında yaklaşık %20 oranında büyümüş ve 15,1 milyar dolarlık gelire ulaşmıştır. 2026 yılına kadar ise pazarın yaklaşık %24 oranında büyüyerek 44,5 milyar dolar civarında bir büyüklüğe ulaşması öngörülmektedir (Hubs, 2022).

Tüm bu veriler ışığında bir nesnenin düşük maliyet ve yüksek kalitede üç boyutlu olarak modellenerek üretiminin yapılmasının önemini bizlere göstermektedir. Gerekli teknik bilgisi ve beceriye sahip olan kişiler özel programlar kullanarak üç boyutlu modellemeler üretebilmektedirler. Bu süreç oldukça zahmetli ve uzun bir çalışma gerektirmektedir. Bu emek yoğun süreç sonunda elde edilen modellerin doğruluk seviyeleri de çoğu nesne için düşük kalmaktadır. Özellikle geometrik yapısı gereği modellenmesi zor olan nesnelerin doğruluğu bu kapsamda ele alınabilir. Ancak bu bilgi ve yeterliliğe sahip olmayan kişiler için nesnelerin modellenip üretilmesi ise daha da zor bir hal almaktadır. Nesnelerin modellenmesi konusundaki yaşanan bu ve benzeri zorluklar sebebiyle 3 boyutlu yazıcılar ile üretilen objelerin çeşitlilik kapsamının dar kaldığı görülmektedir. Bu olumsuzlukları engelleyebilmek adına gelişim aşamasında olan üç boyutlu tarayıcılar öne çıkmaktadır. Üç boyutlu tarayıcılar özel aydınlatma ile tarama yöntemleriyle hedeflenen bir ortamın modelini üretebilir ve belirli uzantılara sahip şekilde modeli kullanıcıya sunabilir. Ancak bu tarayıcılar hem ekonomik olarak ulaşımı zor olması hem de yüksek maliyetli tarayıcıların dışındaki tarayıcılar ile elde edilen model doğruluklarının çok yüksek değerlere sahip olmamaları bu tez çalışmasının hayata geçirilmesinde önemli bir rol oynamıştır.

Bu tez çalışmasında bir nesnenin fotoğraf yolu ile üç boyutlu modellenin elde edilmesi ve üretiminin yapılması amaçlanmıştır. Modelleme için gerekli olan veri seti, bir cep telefonu kamerası aracılığıyla oluşturulmuştur. Fotoğrafların elde

edilmesi esnasında aydınlatmanın homojen olduğu bir ortam tercih edilmiştir. Yapılan test ve deneylerde modelleme öncesi fotoğraflar için cismin her yönden yaklaşık olarak aynı seviyede ışık almasının daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Homojen ışık alan bir ortamda farklı açılardan tüm nesneyi kapsayacak şekilde elde edilen fotoğraflar çalışma kapsamında geliştirilen yazılım aracılığıyla üç boyutlu modele dönüştürülmüştür. Elde edilen model mevcut olan ücretsiz programlar yardımıyla dilimlenerek üç boyutlu yazıcıya gönderilmiş ve üretimi yapılmıştır. Ayrıca çizimi yapılabilen nesnelere ise CAD yazılımları aracılığıyla çizilerek modelleri elde edilmiştir. Oluşturulan her iki yöntemdeki modellerin dilimlemeleri yapılarak 3B yazıcılara gönderilerek üretimleri tamamlanmıştır. Elde edilen nesnelere gerçek nesnelere ve çizimi yapılan nesnelere ile benzerlik oranları tespit edilmiştir. Çizimi yapılmasına uygun olmayan nesnelere ise yine çalışma kapsamında geliştirilen yazılım ile modellenmiş ve üretimleri sağlanmıştır. Bu üretimler de nesnenin orijinali ile kıyaslanarak benzerlik oranı tespit edilmiştir. Benzerlik tespit çalışmaları için görüntü işleme yöntemlerinden faydalanılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Günümüzde üç boyutlu modelleme ve üç boyutlu yazıcılar hakkında araştırma ve uygulama olmak üzere çok fazla çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar genellikle anket, araştırmainsceleme ve sektörler üzerine etki vb. olmak üzere genellikle sözel kaynaklıdır. Mühendislik ve tıp alanlarında ise nesne üretimine ve uygulamasına yönelik çalışmalar göze çarpmaktadır. Üretim uygulamalarında üretilmek istenen cisimler ya da parçalar tespit edilerek bilgisayar destekli yazılımlarla çizim yapılarak modellenerek üretim aşamasına geçtiği görülmektedir. Yapılan çalışmalarda genel olarak modelleme, üretme ve analiz çalışmalarının bir arada olduğu çalışmalara çok fazla rastlanmamaktadır. Yapılan tez çalışmasında hem modelleme aşaması hem üretim aşaması hem de analiz aşaması bulunmaktadır. Modelleme aşamasında da fotoğraf kullanımı farklılık arz etmektedir. Aşağıda üç boyutlu modelleme, üç boyutlu üretim, üç boyutlu üretim analizi gibi konularda yapılan çalışmalar incelenecektir.

2.1. Üç Boyutlu Yazıcı Alanında Yapılan Çalışmalar

Ho vd. (2015) çalışmasında katmanlı üretimin veya 3B baskının, cerrahi modeller, araçlar, takım ekipmanları ve tıbbi cihazlar gibi tıbbi uygulamalarda önemli bir yer edindiğini öne sürmektedir. Yazarın özellikle odaklandığı biyoimplantlardır. Çeşitli biyoimplantların 3B baskı kullanılarak üretildiğini ifade etmektedir. Yazar çalışmasında, biyoimplantların üretilmesinde kullanılan çeşitli katmanlı üretim teknolojilerini ve süreçlerini tanımlamayı, katmanlı üretim ile üretilmiş farklı biyoimplant türlerini açıklamayı ve 3B baskı biyoimplantlar için bazı zorlukları ve gelecekteki gelişmeleri tartışmayı amaçlamaktadır.

Gökçearslan (2017) çalışmasında, yazar ilk olarak üç boyutlu yazıcı teknolojisinin tanımını yapmış ve tarihsel süreç içindeki evrimini detaylı bir şekilde incelemiştir. Ayrıca, bu teknolojinin olumlu ve olumsuz yönlerini belirleyerek, çeşitli meslekleri nasıl etkilediğini ve bu etkileri ürün örnekleri ile açıklamıştır. Üç boyutlu yazıcıların grafik tasarım disiplini üzerindeki etkisini açıklarken,

mevcut başarı örneklerine odaklanmış ve gelecekte bu alanda yapılabilecek potansiyel gelişmeler hakkında çeşitli öngörülerde bulunmuştur.

Yıldıran (2017) çalışmasının odak noktasını, üç boyutlu yazıcıların kumaş üzerinde alternatif yüzey tasarımları yapma yeteneği ve moda sektöründeki çeşitli kullanım biçimlerinin analizi oluşturmaktadır. Yazar, tekstil ve moda tasarımı alanında kullanılan üç boyutlu yazıcı türlerini detaylı bir şekilde ele alarak, bu teknolojinin özelliklerini ve tasarım sürecine olan etkilerini incelemiştir. Ayrıca, üç boyutlu yazıcılarla üretilmiş giysi örnekleri ve kullanılan hammaddelerle ilgili bilgiler de çalışmanın içeriğini zenginleştirmektedir. Yazar, bu teknolojinin moda dünyasında nasıl uygulandığını analiz etmiş ve bu yenilikçi yaklaşımların uygulama boyutuna nasıl taşındığını detaylı bir şekilde göstermiştir.

Prince (2014)' e göre 3B baskı, 1980'lerden bu yana ortaya çıkan bir teknoloji kavramıdır. Pratik kullanımlarının, onu imalat, sanat, tıp ve ev alanında öne çıkarmakta olduğunu ifade etmektedir.

Çevik (2018) çalışmada yazar büyük veriler, özerk robotlar, simülasyon, sistem entegrasyonu, nesnelerin interneti, siber güvenlik, bulut bilişimi, artırılmış gerçeklik ve katmanlı (katkılı/eklemeli) imalat gibi dokuz temel teknolojinin birbirleriyle etkileşimlerini ve üretim sistemlerine olan etkilerini detaylı bir şekilde incelemiştir. Sanayi 4.0'ın önemli bir bileşeni olan eklemeli imalatta kullanılan 3B yazıcıların çalışma prensiplerini, kullanım amaçlarını, uygulama alanlarını, tercih edilen sektörleri ve yapılan araştırmaları üzerinde kapsamlı bir araştırma gerçekleştirmiştir.

Gürbüz (2014) çalışmasında, yazar üç boyutlu yazıcıların tarihsel gelişimini inceleyip, özellikle animasyon sektöründeki önemine ve neden tercih edildiğine odaklanmıştır. Üç boyutlu yazıcı teknolojisinin kullanılmasıyla yapılan animasyonlarda dikkat edilmesi gereken konuları, örnek bir olay çalışması üzerinden açıklamıştır. Çalışmasında örnek olay tarama modelini kullanarak, üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle üretilen bir değirmen modeli animasyonunu ele

almıştır. Bu örnek olay üzerinden hareketle, üç boyutlu yazıcı kullanımı ve üç boyutlu animasyon yapım aşamalarını, kullanılan programlarla birlikte ele almıştır.

Dick vd. (2019) çalışmalarında, 3B yazma teknolojisinin et işleme için potansiyel uygulamalarını ve 3B baskı yapılmış et ürünlerinin baskı özelliklerini ve son işlem uygunluğunu etkileyen temel yönleri analiz etmektedirler. Besin değeri dengeli malzemelerin ve yeni iç yapıların birleşiminin, örneğin çiğneme ve yutma zorlukları gibi özel bireysel ihtiyaçları karşılayan çoklu malzeme içeren bir 3B model olarak üretilmesinin faydalı olacağı görüşündedirler.

Polat vd. (2019) çalışmalarında yazarlar günümüzdeki 3B modelleme sürecinin nasıl oluşturulduğunu incelemiş ve bu modelleme yönteminin grafik tasarım alanında reklam görseli oluşturmak konusundaki kolaylık ve sürdürülebilirlik özelliklerini araştırmışlardır. Tasarım sürecinde 3B modellemenin önemine odaklanarak, bu yöntemin tasarım süreçlerindeki etkisini ele almışlardır.

Aydın vd. (2019) tarafından çalışma faaliyetinde gerçekleştirilen ön testlerde, 3B yazıcı ile üretilecek lokum ve çikolata gibi gıdaların sıcaklık ve basınç değişkenlerine bağlı olarak ihtiyaç duyulan değerleri belirlemek amacıyla testler yapılmıştır. Elde edilen optimal değerlere dayanarak, 3 boyutlu yazıcılardan şekillerin oluşturulması için uygun sıcaklık ve basınç verilerini belirleyerek bu değerlere uygun bir sistem geliştirilmesi hedeflendiği görülmüştür. Bu süreçte, lokum ve çikolatadan oluşan 3B gıdaların üretimi için optimal koşulların belirlenmesi amaçladıklarını belirtmişlerdir.

Jiang ve Zhao (2015) çalışmalarında, bu 3B baskı teknolojisinin kaya mekaniği uygulamalarındaki potansiyelini araştırmışlardır. Baskı malzemesi olarak polilaktik asit (PLA) kullanmışlardır. Örneklerini, eritme birleştirme modelleme (FDM) teknolojisini kullanan "3D Touch" adlı bir yazıcı ile geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, PLA ile FDM 3B baskının kaya doğrudan simülasyonu için uygun olmadığını tespit etmişlerdir.

Şahin vd. (2018) çalışmasında 3 boyutlu yazıcılarda kullanılan çeşitli teknolojileri ayrıntılı bir şekilde sınıflandırarak, üretim süreçlerini ve kullanılan ham maddeleri karşılaştırma amacıyla incelemişlerdir. Aynı zamanda, Türkiye'deki 3 boyutlu yazıcı teknolojilerine yönelik oluşan ve önemli buldukları gelişmeleri araştırarak, bu alandaki ilgi çekici konulara odaklanmışlardır.

Kaya vd. (2018) araştırmalarında, yazarlar 3 boyutlu modelleme yönteminin nöroşirürji pratiğinde cerrah ve hasta için sunduğu 3B avantajları göstermeyi hedeflemişlerdir. 3B baskı tekniklerinin cerrahi planlama, simülasyon, eğitim, doku mühendisliği implantları ve hastaya özel modellerin üretilmesi gibi pratik ve anatomik açıdan doğru yöntemler olduğu sonucuna vararak, bu teknolojinin nörocerrahi alanında çeşitli noktalardaki gelişmelere katkı sağlayabileceğini ifade etmişlerdir.

Yıldırım vd. (2019) yapılan araştırma, 3B yazıcıların mevcut durumunu ve eğitim amaçlı kullanımını belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu kapsamda, 2003-2017 yılları arasında Web of Science veritabanındaki 3B yazıcılarla ilgili yapılan çalışmalarını inceleyerek mevcut durumu değerlendirmişlerdir. Aynı zamanda, eğitim alanındaki 3B yazıcı çalışmalarını değerlendirmek için ERIC veritabanındaki kaynakları da analiz etmişlerdir. Derinlemesine bilgi elde etmek amacıyla içerik analizi yöntemini kullanarak gerçekleştirilen çalışmanın sonuçlarına göre, son yıllarda 3B yazıcılarla ilgili yapılan çalışmaların sayısında artış yaşandığı, özellikle sağlık ve mühendislik alanlarında bu teknolojinin yoğun bir şekilde kullanıldığını ifade etmişlerdir. Ancak, eğitim alanında beklenen düzeyde çalışmaların gerçekleştirilmediği verisine ulaşmışlardır.

2.2. Üç Boyutlu Modelleme Alanında Yapılan Çalışmalar

Remondino ve El-Hakim (2006) çalışmalarında karasal görüntü verilerinden 3B modelleme için yöntem araştırması yapmışlardır. Farklı yaklaşımlar göz önüne almakta ve süreçteki tüm adımları analiz etmektedirler.

Kantar vd. (2016) araştırmalarında, hastaların taramaları Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakóltesi Hastanesi'nde bulunan Toshiba Aquilion BT cihazıyla gerçekleştirilmiş olduklarını belirtmişlerdir. Tarama işlemine, DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) d¼zleminde gerçekleştirmiş olup, elde edilen ham verilerin 512x512 piksel çözünürlüğe sahip olduğunu belirtmişlerdir. Toplamda ortalama 700 kesit elde etmiş ve bu kesitler üzerinden detaylı bir tarama gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir. Hastaların BT çekimleri, görsele dönüştürme ile segmentasyon aşamaları için Materialise's Interactive Medical Image Control System (MIMICS) yazılımını kullanmış elde edilen ham veri dosyalarını DICOM formatında ürettiklerini ifade etmişlerdir. Elde edilen DICOM formatındaki ham verileri, tıbbi görüntüleme sistemlerini kullanarak işlemiş ve istenen tibia platosu modellerini şeklinde katı modellere dönüştürme işlemine gerçekleştirmişlerdir. Oluşturdukları süreç, temel olarak geniş bir veri tarayarak genel bir model oluşturmayı amaçlamaktadır.

Livesu vd. (2017) 3B modelin imalata hazırlanması sürecinde her bir adımın, geometriyi analiz eden ve çeşitli amaçlar için geometri ile makine talimatlarını optimize eden bir dizi yöntemle sahip olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, bu durumu sınıflandırmakta ve her bir algoritmanın model hazırlığı sürecinde istenen hedeflerle olan ilişkisini ortaya koymaktadırlar.

Kılıç vd. (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sanatçılar ve eğitimcilerin üç boyutlu yazıcı teknolojisine yönelik görüşlerine odaklanmış ve bu teknolojinin uygulamadaki başarısını test etmek amacıyla üç farklı uygulama gerçekleştirmişlerdir. Bu uygulamalar arasında dört ayaklı vazo, rölyefli vazo ve amorf vazo bulunmaktadır. Dört ayaklı vazunun tasarımı FUSION360 programı kullanılarak yapmış, diğer iki uygulama için ise açık kaynaklı dijital platformlardan modeller seçtiklerini belirtmişlerdir. Sonrasında, bu tasarımları Tripedia şirketinin ti-bot Venus Seramik Yazıcısı ile Eskişehir'de ürettiklerini ifade etmişlerdir.

Rivers vd. (2010) Eskiz tabanlı modelleme yaklaşımını sunduklarını belirtmişlerdir, bu yaklaşımda modeller farklı görünümlerden 2B siluetlerini

çizerek tasarlanmaktadır. Bu çalışmanın temel fikrinin, girişi 2B silüetlere sınırlayarak, 3B elemanları açıkça oluşturma veya konumlandırma ihtiyacını ortadan kaldırmak olduğunu ifade etmişlerdir.

Sinekli vd. (2015) tarafından yürütülen çalışma, eş zamanlı konum belirleme ve haritalama tekniğini kullanarak hareket halindeki bir robotun, içinde bulunduğu ancak bilmediği ortamın haritasını oluşturmalarını ve kendisini bu haritaya göre konumlandırmasını hedeflemiştir. Çalışma, robotun sürekli olarak edindiği yeni bilgilerin haritada uygun noktalara yerleştirilmesi gerekliliğini öngörerek, bu işlemi yapabilecek genellikle tarama eşleştirme algoritmalarının kullanıldığı bir yazılım geliştirmiştir. Hem test ortamından hem de gerçek ortamdan alınan lazer tarama verileri üzerinde çalışarak, açık kaynaklı bir bilgisayar yazılımı geliştirmiş ve bu yazılımı kullanarak verileri eşleştirmiştir.

Grabner vd. (2018) yaptıkları çalışmada ilk olarak, nesne kategorileri için Pascal3D+ üzerinde bir 3B poz tahminleme yaklaşımı sunmaktadırlar. İkinci olarak, tahmin edilen pozları kullanarak RGB görüntülerdeki nesnelerin geometrisini doğru bir şekilde temsil eden 3B modelleri elde etmek için bir önceki yaklaşımı kullandıklarını belirtmişlerdir. 3B modellerden elde ettikleri pozları kullanarak derinlik görüntülerini üretmekte ve ardından RGB görüntülerin görüntü tanımları ile üretilen derinlik görüntülerinin tanımları arasında CNN tabanlı bir çoklu görüntü metrik öğrenme yaklaşımı kullanarak eşleştirmeler gerçekleştirdiklerini ifade etmişlerdir.

Canter vd. (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, üç boyutlu modellemenin ve baskının tıp alanındaki önemi ve katkısı üzerine araştırma yapmışlardır. Yazarlar, CAD/CAM tasarım platformlarının yaygınlaşmasını bekleyerek, tasarım sürecinde hayal gücüne vurgu yapmışlardır.

Tiryakoğlu vd. (2016) tarafından yürütülen çalışmada, Ahmet Necdet Sezer Kampüsü'nün son verilere göre hazırlanan haritası üzerinde denemeler yapmış, kampüs içindeki bütün binaları 3B olarak modellemiş ve gerçeğe uygun renk ve dokularla kaplamışlardır.

Caumon vd. (2009) yaptıkları çalışmada, seyrek verilerden etkili bir şekilde yapılmış bir yapı modeli oluşturmak için genel prosedürler ve yönergeler sunmayı amaçlamışlardır. Ardından, üçgenleştirilmiş yüzeylere dayalı tipik bir 3B yapı modelleme iş akışı oluşturmuş ve açıklamışlardır.

Çetin vd. (2011) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise, yersel fotogrametri yöntemleri kullanılarak bir aracın 3B modellemesi amaçlanmıştır. Otomobilin ölçüleri, yerel koordinat sisteminde ölçülen noktaların koordinatlarına dayanarak gerçekleştirilmiş, Photomodeler yazılımı desteğiyle modelleme gerçekleştirildiği ifade edilmiştir.

Yakar vd. (2018) yaptıkları çalışmadaki medresenin fotogrametrik ölçümleri sayısal yersel fotogrametri metoduyla yapmışlardır. Bu yöntem ile röleve çalışmalarının yüksek sermaye gerektirmeden ve kabul edilebilir süre içinde tamamlandığını öne sürmüşlerdir. Tarihi ve kültürel mirasların sayısal ortamda arşivlenebildiğini ve üç boyutlu modellerinin elde edilebildiğini belirtmişlerdir.

Çolak vd. (2023) geliştirdikleri sistematik ile Aksaray Müzesinde gösterimi devam eden Asklepios ve Kartal heykellerinin üç boyutlu modellerini oluşturmuşlardır. Gelişmiş çözünürlükte modellenen eserlerin arşivlenmesi ve restorasyon/konservasyon araştırmaları için 3B veri imkânı sunduklarını ifade etmişlerdir. Eserlerin, internet ortamında sergilenmesi, incelenmesi, dijital görsel efektler oluşturmasını hedeflediklerini belirtmişlerdir. Bu amaca yönelik olarak Agisoft Mehasape programını kullanarak eserlerin gerçek ölçeklerinde boyut kazanmalarını sağlayarak 3B modelleri üretmişlerdir. Gelişmiş çözünürlükte orijinal görüntü ile kaplama yapılan eserlerden görünüm oluşturmuşlardır. Ortaya konan modellerin obj. formatında dışarıya aktarımını yaparak farklı program ile uygulama çeşitlerinde görüntülenmesi ve kullanılmasını uygun hale getirdiklerini ifade etmişlerdir.

Sung & Beebe (2014) yaptıkları çalışmada mikroakışkan 3B kanser modellerindeki ilerlemeleri, faydalarını ve temel kanser biyolojisi, ilaç tarama ve ilaç keşfine dair geniş uygulamalarını araştırmaktadırlar.

Gül vd. (2014) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak Őehir içindeki ağaçların bireysel özelliklerini içeren bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanının kullanımı, analizi ve CBS ortamında üç boyutlu gösterimini başarıyla gerçekleştirdiklerini ifade etmişlerdir.

Polat vd. (2021) araştırmalarında, Harran ren Yeri kazı alanında bulunan zarar görmüş bazı kabartma yazı örneklerini üç boyutlu olarak modellemiş ve bu yazılar için sayısal yüzey modeli oluşturarak okunabilir harf ve rakamları belgelediklerini ne sürmüşlerdir.

Kaçarlar vd. (2021) araştırmalarında, Mersin ilindeki tarihi değeri bulunan Soli Pompeopolis Antik Kenti'nde yer alan taş blokları yersel lazer tarayıcı ile tarandıklarını ifade eden Polat ve ekibi, tarama verilerini ticari bir yazılım kullanarak birleştirmiş ve kültürel mirasa ait üç boyutlu bir model oluşturmuşlardır.

2.3. Üç Boyutlu Analiz Alanında Yapılan alışmalar

Şahin vd. (2018) yapılan araştırma çerçevesinde, 3 boyutlu yazıcılarda kullanılan teknolojilerin yanı sıra üretim süreçleri ve ham maddelerin sınıflandırılması yapılarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca, Türkiye'de gelişmekte olan ve ilgi çeken 3 boyutlu yazıcı teknolojilerini incelediklerini belirtmişlerdir.

Aslantaş vd. (2004) alışmaları kapsamında, eksenel yüke maruz kalan bir cıvata-somun sisteminde oluşan temas gerilmeleri için bir 3 boyutlu model geliştirmişlerdir. Analiz yapılacak cıvata-somun sisteminin katı modelini Mechanical Desktop kullanarak oluşturmuşlar ve ardından bu modeli ANSYS sonlu elemanlar paket programına aktarmışlardır. Vida yüzeyleri arasındaki temas noktalarında özel temas elemanları kullanarak farklı sürtünme değerleri için çözüm uyguladıklarını ifade etmişlerdir.

Algın vd. (2019) araştırmalarında, Viyana'daki Donau-City (DC) kuleleri olarak bilinen Avrupa'nın en uzun gkdelenlerinden birinin temel sistemlerini detaylı

bir şekilde modellemişler ve bu kulelerin birbirleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışma kapsamında geliştirdikleri üç boyutlu sonlu elemanlar modelleri aracılığıyla, baret kazıklı radyelerin oturma analizlerini, komşu kazık sistemleriyle birlikte analiz ederek ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır.

Symes vd. (2012) yaptıkları çalışma kapsamında, düşük maliyetli bir 3B yazıcı ve açık kaynaklı tasarım yazılımı kullanılarak organik ve inorganik sentezler için reaksiyon malzemeleri ürettiklerini ifade etmişlerdir. Bu malzemeler arasında yazdırılmış katalizörler ve elektrokimyasal ile spektroskopik analizler için yazdırılmış bileşenler bulunmakta olduğunu belirtmişlerdir. Böylece, belirli bir süreç için farklı reaksiyon malzemesi mimarileri taranabileceğini ve cihaz optimizasyonu için dijital bir geri bildirim mekanizması kullanılabileceğini söylemişlerdir.

Demir vd. (2017) yapılan araştırmada, çatlaklı oluşumların mod-I kırılma dayanıklılığını belirlemek için kullanılan standart compact tension numunesine eğik çatlak yerleştirilerek mod-I dış yüklemesi altında çatlağın 3B modellemesini ve çatlak durumu simülasyonlarını gerçekleştirmişlerdir. Kırılma ve çatlak durumundaki analizleri Fracture and Crack Propagation Analysis System programı kullanarak oluşturmuşlardır.

Aydoğdu vd. (2023) yaptıkları araştırmada, Decentraland arazi alanında farklı koordinat noktalarında bulunan markalara ait altı adet üç boyutlu yapı, tasarım öğelerine göre betimsel analiz yöntemiyle incelenmişlerdir. Yapılan incelemeler sonucunda, tasarımlar fiziksel dünyadaki tasarım biçimine ve metaverse platformundaki sanal ortamın özelliklerine göre değerlendirilmiş, elde edilen bulgular iki farklı tasarım üslubuna yönelik, gerçekçi ve gerçeküstü tasarım unsurlarıyla ilgili önemli bilgiler ortaya koymuşlardır.

Umetani vd. (2013) önerdikleri kesitsel yapı analizi tekniğinin, 3B nesne içerisindeki kritik stresleri etkili bir şekilde tespit etmesini amaçladığını belirtmişlerdir. Bu teknikte, nesne kesitlere ayrıldığını ve eğilme momentum

dengelemesine dayalı olarak stresin hesaplandığını ifade etmişlerdir. Geleneksel sonlu eleman yöntemlerine kıyasla, yöntemlerinin, hacimsel bir ağ veya lineer sistem çözümü gerektirmediğini, bunun da etkileşimli analiz hızını artırdığını öne sürmüşlerdir. Bu yaklaşım ele alındığında, bir nesnenin 3B baskı ile üretildiğinde mekanik dayanıklılığını artırmak için nesnenin yönlendirmesinin optimize edildiği tespitini öne sürmüşlerdir.

Kalaycı vd. (2011) yaptıkları araştırmada, göz hareketlerini inceleme yöntemi kullanarak 3-boyutlu ortamların uygunluk analizini yapmışlardır. Bu kapsamda, Hacettepe Üniversitesi Beytepe Yerleşkesi'ndeki kütüphanesinde Active Worlds ortamında tasarlanan "3-Boyutlu Kütüphane Oryantasyonu" sistemine odaklanılmıştır. Göz hareketlerinin izlenmesi için ODTÜ İnsan-Bilgisayar Etkileşim Laboratuvarı'nda bulunan göz izleme cihazı kullanılmıştır. Göz izleme cihazı ile kullanıcıların görev tamamlama sürecinde ekran üzerinde odaklandıkları noktalar, dikkat çeken ve çekmeyen öğeler gözlemlenmiştir. Veriler, Tobii Studio programında analiz edilmiştir. Çalışma sonuçları, 3-boyutlu dijital alanlarda göz izleme işleminin kullanımına dair özellikleri ortaya koymakta olup, gelecek çalışmalar için öneriler sunmaktadır.

Akpek vd. (2018) çalışmanın amacının yapay bir kalp kapakçığı oluşturmak olduğunu ifade etmişlerdir. Stereolitografi yönteminin, gelişmiş çözünürlükte ve ileri seviye mekanik bileşenlere sahip yapılar üretme yeteneği ile biyoyazıcılar arasında önemli bir konumda değerlendirilmediğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmada, stereolitografi yöntemi kullanılarak üretilen kalp kapakçıklarının biyoyuymululuk özelliklerini başarıyla analiz ettiklerini ifade etmişlerdir.

2.4. İnceleme Sonuçları

İncelenen literatür araştırmasında üç boyutlu yazıcılar üzerine yapılan çalışmaların genellikle araştırma üzerine odaklandığı gözlemlenmektedir. Genellikle tezlerde ya da makalelerde üç boyutlu yazıcıların sektörler üzerinde, endüstri üzerinde yaptığı etkilere odaklı çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Çoğunlukla materyal kullanımı ve nesneye odaklı çalışmaların tıp alanında

olduğu gözlemlenmiştir. Bu tip çalışmalarda tıp alanında hastaya yardımcı olacak nesnelere üretilmeye çalışıldığı ve çeşitli şekillerde test edildiği görülmüştür. Bu parçaların modellenmesi konusunda ise özel programları kullandıkları gözlemlenmektedir. Diğer alanlarda yapılan çalışmaların ise genellikle inceleme üzerine olduğu anlaşılmaktadır. Modelleme çalışmalarında ise model alınan arkeoloji açısından, tarih açısından, millet açısından ya da çeşitli nedenlerle manevi önem yüklenen nesnelere programlar yardımıyla modellerinin çizildiği ve genel olarak model düzeyinde çalışmaların son bulduğu görülmektedir. Fotoğraf kullanarak veri ya da model üretme işlemleri ise genellikle coğrafya veya jeoloji gibi alanlarda kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bu alanlarda ise veriye odaklı çalışmaların yapıldığı gözlemlenmektedir. Analiz çalışmalarında ise modellenen nesnelere mesleki açıdan geçerliliklerinin test edildiği ve çeşitli yöntemlerle kontrol edildiği görülmektedir.

Yapılan tez çalışmasında üç boyutlu modelleme, modellenmesi yapılan cismin üretilmesi ve orijinal nesneye bağlı olarak yapılan çizim ile kıyaslanarak analizi yapılmıştır. Üç boyutlu modelleme kısmında bir cismin modellenmesi endüstride olduğu gibi üç boyutlu tarayıcılar ile değil geliştirilen yazılım ile cismin farklı açılardan alınan fotoğrafları kullanılarak yapılmıştır. Bu modellemenin en büyük katkısı cep telefonu ya da herhangi bir kamera ile yapılabilir olmasıdır. Böylece araştırmacı ya da kullanıcı yüksek sermayelere ihtiyaç duymadan herhangi bir nesneyi basit bir telefon kamerası ile modelleyebilecektir. Üretilen modelin dilimlenmesi sağlanarak üç boyutlu yazıcıya gönderilerek üretilmesi sağlanmıştır. Daha sonra test için modellenen nesnelere el ile paket program yardımıyla modellenmiştir. Burada çizilen modeller de üç boyutlu yazıcı ile üretilmiştir. Üretilen bu iki nesne kıyaslanarak başarı oranı test edilmiştir. Yapılan tez çalışmasında kullanılan fotoğraf ile üç boyutlu modelleme, üretilen modelin üç boyutlu yazıcı ile üretilmesi ve üretilen modelin doğruluk analizinin yapılması alanları ve kullanılan yöntemler akademik alandaki boşlukları doldurarak literatüre yeni ve özgün katkılarını sunmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Son yıllarda çok sayıda teknolojik gelişme meydana gelmektedir. Geliştirilen yeni teknolojilerle birlikte yeni çalışma alanları ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu teknolojiler daha sonraki aşamada belirli üretim veya tüketim alanlarına dâhil olarak sektörlerde kendilerine yer bulmaktadır. Şüphesiz üç boyutlu yazıcılar da son yıllarda üretilen en önemli teknolojilerden biridir. Üç boyutlu yazıcılar ortaya çıktıktan sonra çok geniş bir kullanım yelpazesine dâhil olmuşlardır. Bu durum üç boyutlu yazıcıların üretim kalitelerinin de incelenmesine ve üzerinde detaylı çalışmalar yapılmasına da sebep olmuştur.

Üç boyutlu yazıcıların yaptığı temel işlev olan bir modeli üretmek ele alındığında modellemenin de önemi ortaya çıkmaktadır. Modelleme için elle model çizme opsiyonu çok olmakla beraber, üç boyutlu tarayıcılar da önemli bir alan kaplamaktadır. Üç boyutlu tarayıcılar bir nesneyi ya da alanı modelleyebilmektedirler. Ancak kullanmak için teknik bilgi gerektirmesi ve çok yüksek maliyet sebebiyle çok yaygın kullanıldığı söylenememektedir. Bu tez çalışmasında 2 boyutlu fotoğraflar kullanılarak nesnelere 3 boyutlu modellenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.1. Üç Boyutlu Yazıcılar ve Üç Boyutlu Üretim

Üç boyutlu yazıcılar, dijital bir modeli kullanarak katman katman malzemeleri birleştirerek üç boyutlu nesnelere üreten bir üretim teknolojisidir. Bu teknoloji, genellikle bilgisayar destekli tasarım yazılımları kullanılarak oluşturulan dijital modelleri fiziksel nesnelere dönüştürmek için kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında 2 farklı tipte 3B yazıcı kullanılmıştır.

3.1.1. Üç Boyutlu Yazıcıların Çalışma Şekillerine Göre Sınıflandırılması

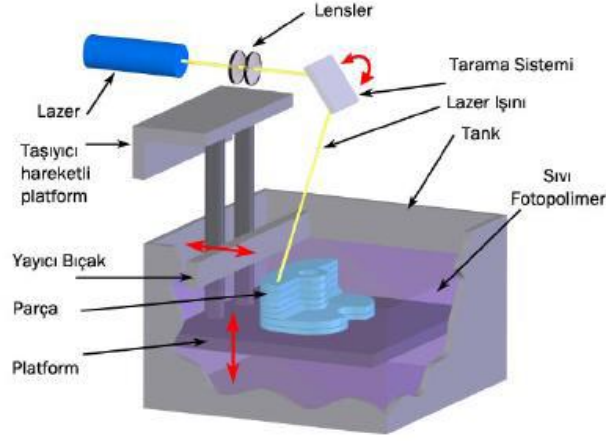
Üç boyutlu yazıcıların farklı çalışma prensiplerine sahip olmalarına rağmen, ortak bir özellikleri vardır. Bilgisayar destekli tasarım ortamlarında oluşturulan üç boyutlu nesnelere katmanlar halinde üretilmesi. Bu nesnelere genellikle STL

(Stereolithography) formatında kaydedilir. Ancak, üretim teknikleri arasındaki farklılıklar, kullanılacak malzemenin türüne ve hedeflenen tasarıma bağlı olarak çeşitlenir. Üç boyutlu baskı teknolojileri arasında; Stereo Lithography Apparatus (SLA) olarak bilinen Tarayarak Işıklı Kütleme Teknolojisi, Layered Object Manufacturing (LOM) olarak adlandırılan Tabakalı Cisim Üretimi Teknolojisi, Selective Laser Sintering (SLS) olarak adlandırılan Toz Bağlama Teknolojisi ve Fused Deposition Modeling (FDM) olarak anılan Eriyik Yığarak Modelleme Teknolojisi olmak üzere dört temel başlık altında sınıflandırılabilir (Özgüven, 2017). Bu tez çalışmasında SLA ve FDM tipi yazıcılar kullanılmıştır.

3.1.1.1. Tarayarak Işıklı Kütleme Yöntemiyle Çalışan Cihazlar

SLA yazıcılar olarak bilinen bu yazıcı tipi 1986 yılında Charles Hull tarafından geliştirilmiştir. Kızıl ötesi ışıkla sertleşebilen fotopolimer malzemenin bilgisayar tabanlı tasarım verilerine bağlı olarak katman katman üretilmesini sağlayan bir temele dayanmaktadır (Demirbaş ve Arlı, 2017).

Üretim sırasında, tasarım verilerine göre belirlenen x ve y ekseninde doğru bir lazer ışını, bir malzeme havuzundaki fotopolimer malzemeye uygulanır. Bu süreçte, ürünün tabaka yüksekliği belirlenen değerde olup, z ekseninde boyunca aşağı doğru bir hareketle ürün katman katman oluşturulur. Bu yöntem, dijital tasarımın fiziksel bir karşılığını oluşturarak üç boyutlu nesnelerin üretimini mümkün kılan bir teknik olarak öne çıkar (Demirbaş ve Arlı, 2017). SLA teknolojisinin çalışma prensibinin temsili görseli Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. SLA Teknolojisi Çalışma Prensibi (Çelik vd., 2013)

SLA teknolojisinin uygulanışı sırasında, gereken bölgelerde destek materyaller kullanılmaktadır; baskı işlemi tamamlandığında ise model, sıvı reçinenin içinden çıkarılarak destek materyallerinden ayrılır (Aslan, 2017).

Bu teknolojiyi kullanan cihazlarda, hızlı bir katman oluşturmak ve maliyeti düşürmek amacıyla düşük güçlü ısı kaynakları, örneğin lazerler, kullanılmaktadır. Ancak, parçanın tam olarak kür olması için yeterli enerji sağlanmamaktadır. Bu nedenle, yüzde yüz kür seviyesine ulaşmak için parçaya daha sonra "post-cure" adı verilen ek bir işlem uygulanır. Bu işlemde, yarı kür verilmiş parçalar, kızıl ötesi ışıkların bulunduğu bir kabinde bekletilir. Işıkla kürlenme teknolojisi, ışığın nasıl yönlendirildiğine ve kontrol edildiğine bağlı olarak "tarama" ve "maskeleme" olmak üzere iki ana başlığa ayrılmaktadır (Özgüven, 2017).

SLA teknolojisi, farklı veya benzer geometrik şekillere sahip birden çok parçayı aynı anda üretebilme yeteneği sunar. Bu parçalar, prototip veya kalıp olabileceği gibi ince detaylara sahip ve farklı kullanım amaçlarına yönelik objeler de olabilir. Üretilen parçalar, dayanıklılık açısından hava basınçlı kalıplama, ısıl şekillendirme ve metal döküm süreçlerinde kullanılacak kadar sağlamdır (Demirbaş ve Arlı, 2017). Şekil 3.2'de, SLA yazıcının baskı zemini hakkında görsel sunulmuştur.



Şekil 3.2. Baskı İşlemi Sonrası SLA Yazıcı Baskı Zemini (Ege, 2020)

SLA teknolojisinin uygulanması sırasında belirli alanlarda destek materyallerinin kullanımına ihtiyaç duyulur. Baskı işlemi tamamlandığında, model dikkatlice sıvı reçinenin içinden çıkarılır ve destek materyalleri modelden ayrıştırılır (Aslan, 2017).

3.1.1.2. Eriyik Yığarak Modelleme Yöntemiyle Çalışan Cihazlar

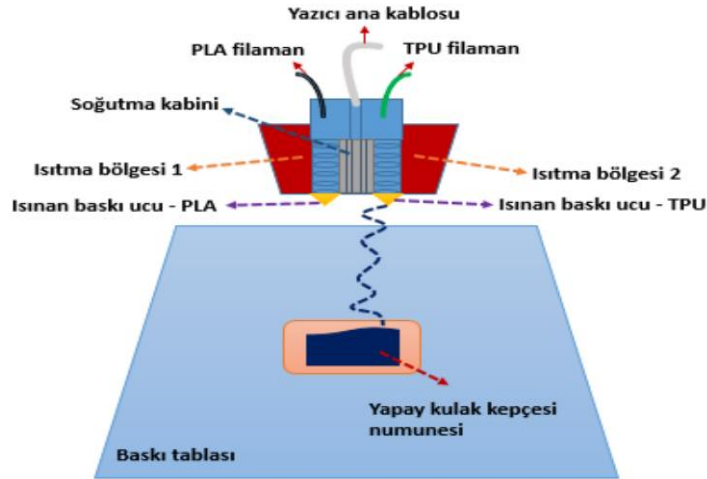
FDM yazıcı olarak bilinen bu yazıcı tipi eriyik yığarak modelleme teknolojisi olarak adlandırılmaktadır. Sıvılaştırılmış veya plastik malzemenin püskürtücü vesilesiyle üst üste katmanlar şeklinde oluşturulmasına dayanmaktadır. Bu teknoloji genellikle malzemenin bilgisayar kontrollü bir nozul aracılığıyla akıtılması veya püskürtülmesi prensibine dayanır ve iki yönteme ayrılmaktadır (Özgüven, 2017).

Püskürtmeli harç yığma yöntemi, akışık hale getirilmiş yapı malzemesinin bilgisayar kontrollü bir ya da daha fazla meme yardımıyla damlacıklar şeklinde yüzeye püskürtülerek oluşmasını içermektedir. Genellikle memeden çıkma aşaması öncesinde ve sonrasında ısınan malzemeler kullanılmaktadır. Malzeme daha sonra soğur ve sertleşir. Bu yöntemle baskı oluşmaktadır (Özgüven, 2017).

Erimiş malzemenin akıtıldığı üretim prensibi, termoplastik malzemenin (filament) ekstrüder üzerindeki sıcak baskı ucu ile eritilerek sıvı veya macun kıvamına getirilmesini içerir. Doğru kıvama gelen malzeme, bilgisayarda tasarlanan objenin verilerine uygun olarak belirli noktalara akıtılır. Her katman, ekstrüderden akan malzemenin sertleşmesiyle bir önceki katmana yapışır ve bir sonraki katman için uygun zemini oluşturur (Çelik vd., 2013).

Eriyik yığarak modelleme teknolojisi, diğer teknolojilerden farklı olarak objenin inşası sırasında destek materyallerine ihtiyaç duyar, çünkü obje zemin üzerinde katmanlar halinde oluşurken çökmeden ayakta durabilmesi için ek desteklere ihtiyaç duyar (Özgünoğdu, 2014).

Bu teknolojiyi diğerlerinden ayıran önemli bir özellik, kullanıcının aynı katman içinde farklı bölgelerde, kimyasal ve mekanik özellikleri farklı malzemeleri aynı anda kullanabilme yeteneği sunmasıdır. Bu özellik, çoklu malzemelerin aynı ürün üzerinde entegre edilmesine olanak tanır (Özgüven, 2017). Bu tip yazıcıların çalışma prensibini özetleyen görsel Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Eriyik Yığarak Modelleme Temsili Çalışma Şekli (Aydın vd., 2019)

Eriyik yığarak modelleme teknolojisini kullanan yazıcılar, yalnızca termoplastik malzemelerle değil, aynı zamanda seramik, çimento, metal kil, çikolata ve hamur gibi çeşitli materyallerle de üretim yapma yeteneğine sahiptir (Özgünoğdu,

2014). Şekil 3.4'te Eriyik Yığarak Modelleme ile üretilmiş örnek bir nesne gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Eriyik Yığarak Modelleme ile Üretilmiş Nesne Örneği (Treatstock, 2023)

3.2. Görüntü İşleme

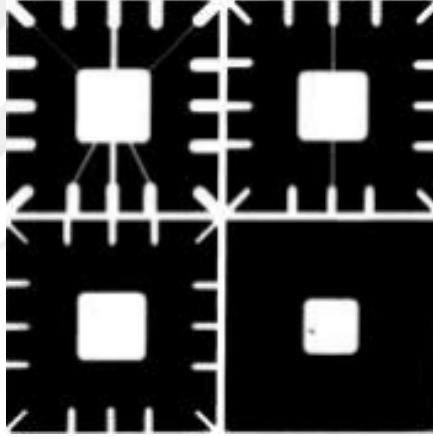
Görüntü işleme, genellikle yazılım araçları kullanılarak dijital görüntü verilerini değiştirme veya dönüştürme sürecini ifade etmektedir. Bu süreç, genellikle kaydedilmiş görüntü verileri üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bu dijital çalışmaların odak noktası, elde edilmiş fotoğraflar veya grafikler üzerinde düzenleme, iyileştirme veya değerlendirme amacını taşımaktadır.

İnsanlar, özellikle mobil uygulamalarda sıkça görüntü işleme tekniklerini benimsemektedirler. Örneğin, fotoğraf filtreleri bu alandaki en yaygın kullanılan özelliklerden biridir. Fotoğraflara veya videolara eklenen çeşitli efektler, temelde görüntü işleme yöntemleri kullanılarak hazırlanan çalışmalara örnek teşkil etmektedir. Robot teknolojileri ve drone kameralar gibi ürünlerle birlikte kullanılan süpürge gibi cihazlarda da görüntü işleme yazılımları farklı amaçlara hizmet etmek üzere sıklıkla kullanılmaktadır. Bu sayede, görsel içeriklere estetik

ve işlevsellik katmak amacıyla geniş bir yelpazede görüntü işleme uygulamaları görülmektedir (Tosun, 2022).

3.2.1. Erozyon

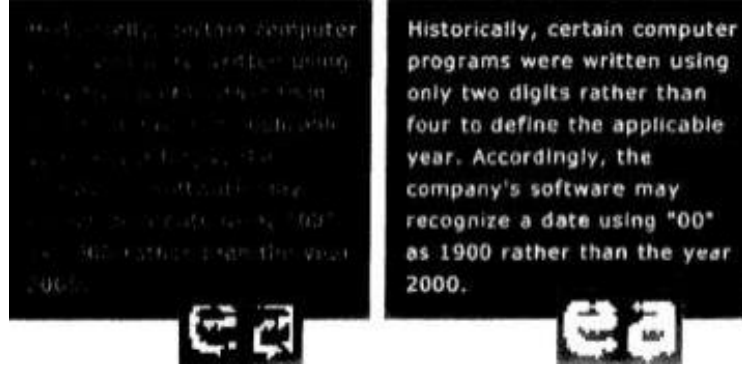
Erozyon, özellikle siyah-beyaz (binary) görüntülerde kullanılan bir işlemdir. Temel amacı, görüntüdeki beyaz bölgeleri zayıflatmaktır. Belirlenen bir oranda, görüntü üzerindeki beyaz alanlarda kesme işlemi uygulamaktadır. Erozyon tekniğinin uygulanma yöntemi, Şekil 3.5'te gösterildiği gibidir (Gonzalez & Woods, 2002). Bu yöntem, beyaz bölgeleri küçültmek veya inceltmek için kullanılarak, görüntü üzerindeki detayları vurgulamak veya istenmeyen gürültüleri azaltmak amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 3.5. Erozyon Örneği (Gonzalez & Woods, 2002).

3.2.2. Genişleme

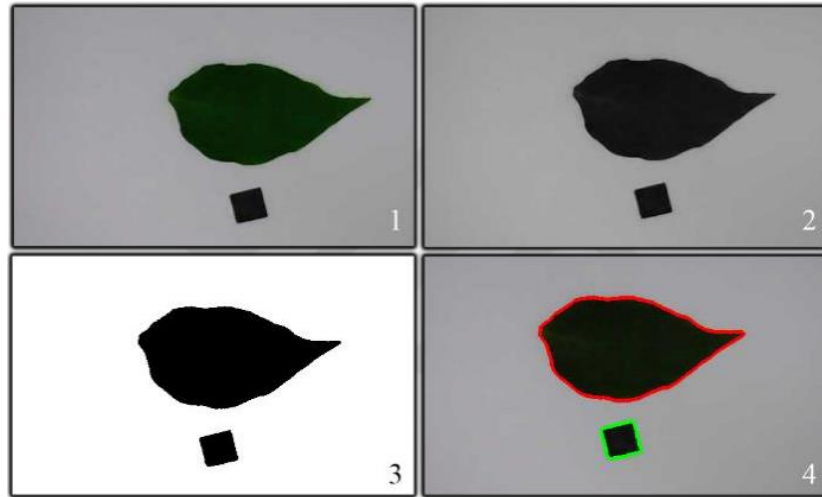
Genişleme, erozyon gibi binary (siyah-beyaz) görüntülerde kullanılan bir işlemdir. Bu yöntemin temel amacı, görüntüdeki beyaz bölgeleri genişletmektir. Belirlenen bir oranda, görüntü üzerindeki beyaz bölgeleri büyütmektedir. Dilation, genişleme işleminin tersi olarak düşünülebilir. Özellikle Şekil 3.6'da gösterildiği gibi, dilation, daha fazla okunması zor olan yazı tiplerini içeren görüntülerde kullanılabilir (Gonzalez & Woods, 2002).



Şekil 3.6. Genişleme Örneği (Gonzalez & Woods, 2002).

3.2.3. Kenar Tespit Algoritmaları

Kenar tespit algoritmaları, bilgisayar biliminde temel bir konu olarak kabul edilmekte ve dijital görüntülerdeki belirgin parlaklık değişimlerini tespit ederek nesnelerin sınırlarını belirleyen yapılar olarak çalışmaktadır. Görüntü içindeki nesnelerin kenarlarına dair bilgi üreten bu algoritmalar, yoğunluktaki ani değişiklikleri analiz etmektedir. Bu değişiklikler, bir görüntüdeki kenarların varlığını belirleyen faktörler arasında yer almaktadır. Çeşitli kenar algılama algoritmaları mevcut olup yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Datta, 2013). Şekil 3.7'de örnek bir kenar bulma algoritması çalışması gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Kenar Bulma Algoritma Sonucuna Bir Örnek (Tosun, 2015)

3.2.4. CCTAG (Concentric Circle Tag) Algoritması

CCTAG bir işaret sistemidir. Bu sistem, daire şeklinde bir işaret üzerine dayanmaktadır. İşaret, farklı yarıçaplara sahip üç konsantrik daireden oluşur (Patru, 2023). Bu kütüphane, iç içe geçmiş dairelerden oluşan CCTag işaretçilerinin tespitini sağlamayı amaçlar (Calvet, 2016). CCTag işaretçileri, görüntüde konumlandırma yapan bir sistemdir. Genellikle bilgisayarlı görü işleme, artırılmış gerçeklik uygulamaları ve robotik sistemlerde kullanılmaktadır. Özellikle konumlandırma, takip ve benzeri görevlerde kullanılmak üzere tasarlanmışlardır (CCTAG, 2020).

3.2.5. SIFT (Scale Invariant Feature Transform) Algoritması

SIFT, ölçek-uzayına dayalı bir görüntü yerel özellik tespit algoritmasıdır. Güçlü eşleme yeteneğine sahip olduğu için SIFT, görüntü geri alma, görüntü birleştirme ve makine görüşü gibi farklı alanlarda birçok uygulamaya sahiptir (Wu vd., 2013).

SIFT aynı zamanda, görüntü merkezli bir tanıma ve eşleştirme yapmayı hedefleyen bir tanımlama biçimidir (Tareen, 2018). SIFT algoritmasının 4 aşamadan oluştuğu söylenebilmektedir. Bunlar, ölçek uzayı tepe seçimi, anahtar noktaları yerelleştirme, oryantasyon atama ve anahtar nokta tanımlayıcıdır (Eskicioğlu, 2022). SIFT tanımlayıcısı, açı değişikliklerine, görüntü hacmine, görüntü bulanık oranına, görüntü gürültü oranına ve kontrast değişikliklerine karşı dirençli olması ile bilinmektedir (Çelik, 2015). SIFT algoritması, görüntüde yer alan parazit bölgeye ya da gürültü içeren bölgeye karşı net bir filtreleme yapabilmektedir (Bellavia, 2022).

3.2.6. AKAZE (Accelerated KAZE) Algoritması

AKAZE (Accelerated KAZE) algoritması, çok ölçekli 2B özellik algılama ve tespit algoritmasıdır. Bu algoritma, lineer olmayan ölçek uzaylarında kullanılmaktadır. AKAZE, özellikle görüntü birleştirme gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Örneğin, AKAZE özellikleri, ağırlıklı ortalama birleştirme algoritması ile

birleştirilerek, görüntü birleştirme algoritması olarak kullanılabilir (Sharma, 2020).

AKAZE'nin en önemli özelliklerinden birinin nesne sınırlarını koruyarak doğrusal olmayan ölçek uzayı meydana getirebilmesi olduğu belirtilmektedir (Ulutaş, 2018).

3.2.7. RANSAC (Random Sample Consensus) Algoritması

RANSAC (Random Sample Consensus), 1981 yılında Fischler ve Bolles tarafından önerilen bir parametre tahmin yaklaşımıdır. Bu algoritma, bir ana görüntüdeki anlamsız noktaları ve bölgeleri ortadan kaldırmak için tasarlanmıştır. RANSAC, özellikle eşleşen nokta çiftlerinden elde ettiği dönüşüm matrisini kullanarak noktaların üst üste gelip gelmediğini kontrol etmektedir. Aynı zamanda, iki görüntüyü birbiriyle ilişkilendiren (3x3) homografi matrisini kullanarak dönme, ötelenme ve bozulma kaynaklı değişkenleri belirleyebilmektedir (Konstantinos, 2010).

RANSAC algoritması, işlemleri sırasında en doğru sonuca ulaşmak için çeşitli örneklemleri kullanır ve bu örneklemlerden elde edilen dönüşüm matrislerini değerlendirir. Aykırı eşleşmeleri tespit etmek için dirençli bir yaklaşım benimser ve en uygun nokta çiftlerini belirleyerek bu aykırı eşleşmeleri ortadan kaldırmaktadır. RANSAC, eşleşen noktalar arasındaki doğru dönüşümü bulmak ve bu dönüşümü ile iki görüntüyü başarılı bir Şekilde ilişkilendirmek için kullanılan bir algoritmadır (Konstantinos, 2010).

RANSAC algoritması, çok sayıda aykırı değeri ele alabilme kapasitesine sahiptir. Öte yandan, bir çizgi modelinin aykırı değerlerini belirlemek için genellikle iki noktaya ihtiyaç duyulurken, homografi modelinde dört nokta eşleniğine ihtiyaç duyulmaktadır. İzdüşüm matrisi tanımı, iki boyutlu görüntüleri birbirleriyle ilişkilendirmek için kullanılan homografi matrisini ifade etmektedir. RANSAC algoritması, aykırı değerlere karşı dirençli olması nedeniyle modelleme işlemlerinde güvenilir bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. izgi ve homografi

modellerindeki nokta gereksinimleri arasındaki farklar, bu modellerin spesifik uygulamalarda nasıl kullanılabileceği konusunda önemli bir rol oynamaktadır. İzdüşüm matrisi, görüntüler arasındaki ilişkiyi belirleme sürecinde temel bir araçtır ve bu matrisin dört nokta eşleşimiyle belirlenmesi, iki boyutlu görüntüler arasında hassas bir dönüşüm elde etmek için gerekli hale gelmektedir (Kaymak, 2006).

Yaygın tekniklerden farklı olarak geliştirilen RANSAC, model parametrelerinin tahmininde daha farklı bir yaklaşım benimsemektedir. Bu örnekleme tekniği, en az sayıda işlemle model parametrelerini tahmin ederek sonuçları üretmektedir. Geleneksel örnekleme yöntemleri genellikle mümkün olan en büyük miktardaki veriyi kullanarak başlangıç çözümü elde etmeye odaklanmakta ve ardından aykırı noktaları temizlemektedir. Ancak, RANSAC, modelin temel parametrelerini belirlemek için mümkün olan ve tutarlı veri noktalarını içeren en küçük küme üzerinden çalışmaktadır. Temel algoritma adımları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. RANSAC Algoritması Temel Adımları

RANSAC Algoritması Temel Adımları
1. RANSAC, rastgele bir örneklem seçer.
2. Seçilen örneklemin üzerinde modelin parametrelerini tahmin eder.
3. Tüm veri noktalarını, tahmin edilen modeli kullanarak kontrol eder ve modelle tutarlı olan noktaların sayısını belirler.
4. Belirlenen tutarlı noktaların sayısı, belirli bir tolerans sınırdan fazla mı değil mi kontrol edilir.
5. Eğer belirlenen noktaların sayısı belirlenen tolerans sınırdan fazlaysa, bu noktaları kullanarak modelin parametrelerini günceller.
6. Belirli bir iterasyon sayısına veya belirli bir başarı kriterine ulaşıncaya kadar bu işlemi tekrarlar.

Bu şekilde, RANSAC, model parametrelerini aykırı verilere karşı hassas bir şekilde tahmin etmekte ve örnekleme yaklaşımı kullanarak tutarlı sonuçlar üretmektedir (Varol, 2014 ; Konstantinos, 2010).

3.2.8. U²-Net Yapay Zekâ Modeli

U2-Net, doğal sahnelerin bölütlenmesi için tercihe edilebilen bir yapay zekâ modelidir (Kaya, 2023). Bu model, evrimsel sinir ağı tabakalarının bir araya getirilmesi ile oluşturulmuştur. Görüntü bölütleme, görüntü tamamlama ve nesne tanıma gibi farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Ayrıca, U2-Net açık kaynak kodlu bir modeldir, bu da kullanıcıların modeli özelleştirmelerine ve geliştirmelerine olanak tanımaktadır. Model, 2022 yılında Ye vd. tarafından ortaya konmuştur. Shao vd. tarafından 2022 yılında da farklı çalışmalarda kullanılarak geliştirilmiştir. U2-Net'in esnek yapısı ve açık kaynak kodlu olması, çeşitli görüntü işleme işlemlerinde geniş bir kullanım alanı sağlamaktadır (Ye vd., 2022; Shao vd., 2022).

3.2.9. DiffImg Kütüphanesi

DiffImg'in temel fonksiyonları, arama görüntülerini derin bir referans görüntüsüne hizalama, piksel bazında çıkarım yapma ve ardından çıkarılan görüntüyü önemli pozitif tespitler açısından inceleme gerçekleştirme işlemlerini sağlamaktır. (Kessler vd., 2015).

3.3. 3B Modelleme ve Bilgisayar Destekli Yazılım ile Model Geliştirilmesi

3B modelleme, nesnenin dijital bir alanda gerçek ölçü ve derinlik haliyle meydana geldiği bir görsel oluşturma yöntemidir (Polat, 2019).

1990 yılında piyasaya sürülen 3B Studio, animasyon alanında yeni bir dönemi başlattı. Bu tarihe kadar mevcut olan birkaç animasyon programı ya sınırlı özelliklere sahipti ya da oldukça maliyetliydi, bazen de her ikisiyle de başa çıkmak zorundaydı. 3B Studio, makul bir fiyatla sunulan profesyonel ve verimli bir render ve animasyon deneyimiyle, bilgisayar kullanıcılarına yeni olanaklar sağlamıştır (Elliott ve Miller, 1997).

3B, genellikle yükseklik, genişlik ve derinlik olmak üzere üç boyutlu bir ortamı tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Dijital platformlarda bu üç boyutlu alan içinde, poligonlar aracılığıyla nesnelere oluşturularak sanal bir dünya yaratılmaktadır (Gümölcine, 2022).

Üç boyutlu modelleme, dijital ortamda bulunan poligonları kullanarak bir nesneyi veya kavramı genişlik, derinlik ve uzunluk bağlamında şekillendirme sürecidir (Südor, 2019).

Üç boyutlu modellemelerin yapılabilmesi için farklı yöntemler mevcuttur, Mouse kullanarak çizim yapılabilirdiği gibi, tablet vb. bir araç ile dokunmatik çizimler de yapılabilir. Önemli olan çizimin yapılacağı ortamda "z" boyutu olarak belirtilen düzlemin de yer almasıdır. Üç boyut kavramı genellikle uzayı tanımlamak ve nesnelerin konumlarını belirtmek için kullanılmaktadır. 3 boyutlu bir uzay, üç temel boyuta sahiptir; uzunluk (x eksen), genişlik (y eksen) ve yükseklik (z eksen). Uzunluk (X Eksen); Bir nesnenin bir noktadan diğerine olan uzaklığını belirtmektedir. X eksen genellikle yatay bir çizgi olarak düşünölmektedir. Genişlik (Y Eksen); Bir nesnenin genişliğini belirtmektedir. Y eksen de genellikle yatay bir çizgi olarak düşünölür, ancak uzunluktan farklı bir yönde yer almaktadır. Yükseklik (Z Eksen); Bir nesnenin yüksekliğini belirtmektedir. Z eksen dikey bir çizgi olarak düşünölmektedir. 3 boyutlu uzay, bu üç eksen de değişiklik gösteren nesnelerin tam bir konumunu tanımlayabilmektedir. Örneğin, bir küpün pozisyonunu belirlemek için x, y ve z değerlerini kullanabilmektedir (Gümölcine, 2022).

Üç boyutlu modellemede temel işlem aslında var olan ya da hayal edilen bir nesneyi sanal ortama aktararak orada grafiksel anlamda bir gerçeklik kazanmasıdır. Üç boyutlu modelleme, nesnelerin veya sahnelerin üç boyutlu bilgisini temsil etmek için kullanılan bir süreci ifade etmektedir. Bu modeller genellikle matematiksel ifadeler veya dijital veri setleri olarak bilgisayar sistemlerine aktarılmaktadır (Gümölcine, 2022).

Teknolojinin ve grafiklerdeki üç boyutlu algının ilerlemesiyle gerek ücretli gerek ücretsiz olarak pek çok üç boyutlu modelleme aracı üretilmiştir. 3DMax gibi programların öncülük ettiği paket programlara bugün yadsınamayacak sayıda program eşlik etmektedir. Bu programlar ile üç boyutlu model üretebilmek için gerekli teknik bilgiye sahip olmak gerekmektedir. Şekil 3.8’de elle modellenen örnek bir nesne gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Örnek Bir 3B Model (Stachu, 2018)

SolidWorks, bir CAD/CAE/CAM/PDM masaüstü sistemidir ve SolidWorks şirketi tarafından geliştirilen Windows üzerindeki ilk 3B mekanik CAD yazılımıdır. Ürün düzeyinde otomatik tasarım araçları sunmaktadır (Liu ve Ren 2005).

Solidworks, bilgisayar destekli tasarım (CAD) alanında kullanılan bir yazılım programıdır. Profesyonel tasarımlar için özel olarak geliştirilen bu yazılım, 2 boyutlu ve 3 boyutlu tasarımların oluşturulması için kapsamlı bir paket sunmaktadır. Solidworks, bir projenin uygulanmasında üç temel aşamada kullanılabilir. İlk aşamada, planlama, görsel fikir oluşturma, temel modelleme, sonuç değerlendirmesi, örnek prototip oluşturma ve proje yönetimi gibi işlemler gerçekleştirilebilir. İkinci aşamada, tasarımın temel elemanları olan mekanik ve yazılım için başlangıçlar yapılabilir. Üçüncü aşamada ise daha çok yönetim odaklı çalışmalar yapılabilir.

Solidworks kullanılarak ayrıntılı 3B obje dizaynı, ayrıntılı 2 boyutlu nesne dizaynı, ürün geliştirme süreçlerinin kurulması, dosya tasarımlarının kapsamlı bir şekilde kontrol edilmesi, oluşturulan 3 boyutlu dosyaların etkili bir şekilde depolanması ve güvenliğinin sağlanması, 3 boyutlu nesne tasarımlarının görselleştirilmesi ve animasyona dönüştürülmesi, 3 boyutlu nesnelerin üretim maliyetlerinin önceden tahmin edilmesi, devre kartı modelleme ve dönüştürme işlemleri, tasarım döngüsüne hazırlık, elektrik bileşenlerinin gerçek zamanlı senkronizasyonu gibi birçok önemli işlem gerçekleştirilebilmektedir.

Yapılan tez çalışmasında objenin örnek modelinin oluşturulması için üretilen üç boyutlu çizimler SolidWorks paket programı ile gerçekleştirilmiştir.

3.4. Görüntü Eldesinden 3B Yüzey Modellerinin Meydana Getirilmesi

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, üç boyutlu nesnelere olan talep artmıştır. Nesnelerin iki boyutlu görsellerinin yerine üç boyutlu olarak sunulması, fotogrametri ve bilgisayarda görme biliminin önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. 3B modeller, daha anlamlı ve ayrıntılı oldukları için tercih edilmektedir. Bu bağlamda, çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Tercan, 2012). Çalışmanın amacına bağlı olarak, üretilen üç boyutlu modelin kalitesi belirlenmekte, kullanılan yöntemler ve teknikler de çalışmada bulunan bilgi ve birikime göre çeşitlilik göstermektedir (Efe, 2007). 3B modeller genellikle tek bir nesnenin birden çok görüntü yerine temsil edilmesini ifade etmektedir. Ancak, üç boyutlu model oluşturulurken aydınlatma koşulları, kamera parametre tahminlerindeki belirsizlikler gibi faktörler, görüntülerin eksik anlaşılmasına neden olabilmektedir (Grum ve Bors, 2008).

3B yüzey modellerinin oluşturulması iki ana kategoride incelenir: Aktif modelleme yöntemi ve pasif modelleme yöntemi. Aktif modelleme yöntemleri, derinlik bilgisini daha güvenilir bir şekilde sağlamak için yapılandırılmış ışık sistemi, derinlik kamerası ve lazer tarayıcı gibi ekipmanlar kullanır. Öte yandan, pasif modelleme yöntemleri, üç boyutlu görüntüleri RGB kameralar aracılığıyla elde edilen iki boyutlu fotoğraflar üzerinden oluşturur. Aktif yöntemler,

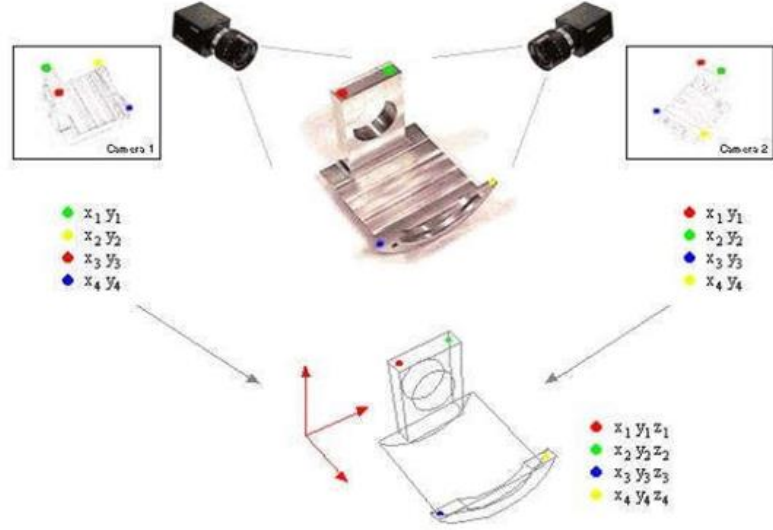
genellikle pasif yöntemlere göre daha maliyetli ve uzmanlık gerektiren bir yaklaşım benimser (Jang ve Ho, 2010). Aktif ve pasif modelleme yöntemleri, çeşitli uygulamalara ve isimlendirmelere sahip iki temel kategoriye içermektedir. Temel pasif yöntemlerden bazıları şunlardır; gölgeden çıkarım (shape from shading), çift resim bilgisiyle şekil çıkarımı (shape from stereo), hareketten şekil çıkarımı (shape from motion), silüetten şekil çıkarımı (shape from silhouette). Pasif modelleme yöntemlerinde, nesnelerin renkli görüntüleri genellikle özel donanımlar kullanılarak ölçeklendirilir (Karkınlı, 2011).

3.4.1. Fotogrametri ile Model Üretimi

Fotogrametri, nesnelerin çevreleriyle etkileşiminde ortaya çıkan fotogrametrik görüntülerin ve yaydıkları elektromanyetik enerjilerin kaydedilmesi, ölçülmesi ve yorumlanması süreçleri yoluyla güvenilir bilgiler elde edilen bir teknoloji, bilim ve sanat dalı olarak tanımlanabilir (Marangoz, 2002).

Fotogrametrik yöntemler, görüntüler ve diğer veriler kullanılarak noktaların göreceli konumlarını hassas bir şekilde belirlemeyi amaçlayan yöntemlerdir. Bu yöntemler, objelerin uzaklıkları, açıları, alanları, hacimleri, yükseklikleri, boyutları ve şekillerini kolayca tespit etme imkânı sunar (Çelik, 2016).

Fotogrametrik yöntemler genellikle çekilen resimlerin kaydedildiği yerlere göre üç ana sınıfa ayrılır: yersel fotogrametri, hava fotogrametrisi ve uzaktan algılama. Yersel fotogrametride, cisimlerin yerden çekilmiş resimleri kullanılarak üç boyutlu modeller elde edilir. Hava fotogrametrisinde ise uçak veya benzeri araçlardan çekilen resimler değerlendirilir. Uzaktan algılama ise genellikle uydu görüntüleri aracılığıyla elde edilen resimleri içerir (Kıvanç, 2019). Şekil 3.9.'da yersel fotogrametri kullanılarak nesnenin üç boyutlu modelini oluşturmak için görüntünün nasıl elde edilebileceği gösterilmiştir (Marangoz, 2002).



Şekil 3.9. Fotogrametri ile Nesnenin Üç Boyutlu Modelini Oluşturma Aşamaları (Marangoz, 2002)

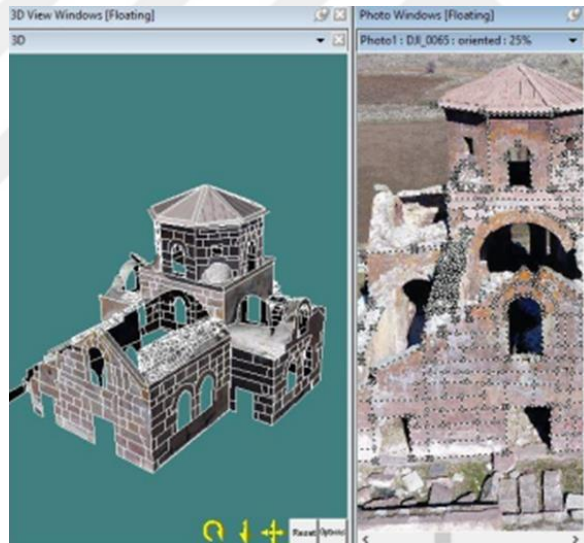
Fotogrametri, temelde çekilen fotoğraflara dayanarak doğru ölçümler yapan bir üç boyutlu tarama teknolojisi olarak kabul edilir. Bu pasif tarama türü, yansıtılan ortam ışığına dayanır ve bilgi elde etme sürecinde aktif bir kaynak kullanmaz (Ivanov, 2017).

Kökenini "fotoğraf" ve "geometri" kelimelerinden alan fotogrametri, kullanıcının nesnenin çevresinde çektiği çeşitli fotoğrafları bilgisayar ortamında analiz edip birleştirerek üç boyutlu geometri oluşturan bir teknolojidir (Mongeon, 2015).

Fotogrametri, özellikle yüzey noktalarının tam konumlarını belirlemek amacıyla fotoğrafları kullanarak ölçüm yapmaya olanak sağlayan, bilgisayar vizyonu ve geometrik algoritmaları temel alan bir veri teknoloji alanıdır. Çalışma prensibi, statik bir nesnenin farklı açılardan çekilen birden fazla fotoğrafını incelemek ve aynı fiziksel noktaya karşılık gelen pikselleri tespit etmek üzerine kuruludur. Tarama işlemi gerçekleştirebilmek için kullanıcının kameranın odak uzaklığı ve mercek gibi parametrik verilere ihtiyacı bulunmaktadır. Bu üç boyutlu tarama teknolojilerinin temel görevi, bir dizi fotoğrafı ve çokça noktayı yüksek doğrulukla analiz etmektir. Bu sebeple fotogrametri algoritmalarını harekete geçirmek için standart üstü bir bilgisayar donanımı gerekmektedir. Fotogrametri, uzak ve yakın taramalar için kullanılabilir. Üç boyutlu model geliştirmek için

gerekli araçlar sadece kamera ve yazılımlardan ibarettir. Kamera kalitesi, tarama sonrasında oluşturulan modelin kalitesi ve detaylarıyla doğru orantılıdır (Mongeon, 2015).

Fotogrametri tabanlı 3B tarama teknolojisinin sunduğu birçok avantaj arasında, nesnelere oldukça hassas ve detaylı bir şekilde tarayabilme yeteneği bulunmaktadır. Bu teknoloji hem yerden hem de havadan çekilen fotoğrafları kullanarak çeşitli ölçeklerdeki nesnelere yeniden oluşturma kabiliyetine de sahiptir. Ancak, fotogrametri teknolojisinin bazı dezavantajları da mevcuttur. Bu dezavantajlar arasında, kullanılan fotoğrafların çözünürlüğüne duyulan hassasiyet ve algoritmaların çalıştırılması için gereken zamanın uzunluğu bulunmaktadır. Şekil 3.10'da bir fotogrametri çalışmasının ekran görüntüsü verilmiştir (Yakar vd., 2020).



Şekil 3.10. Aksaray Kızıl Kilise Üzerine Bir Fotogrametri Çalışması (Yakar vd., 2020)

Mobil haritalamanın fotogrametri çalışmalarına entegre edilmesi, fotogrametrinin sadece sabit nesnelere sınırlı olmadığını, aynı zamanda hareketli nesnelere de modellemesinin mümkün olduğu yeni bir bakış açısı sunmuştur (Kaya vd., 2019). Geleneksel fotogrametri yöntemlerinde üç boyutlu yüzey modellemesi için kamera ve kontrol noktalarının hassas bir şekilde elde edilmiş üç boyutlu konum ve yönlendirme bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır (Önal vd., 2017).

Fotogrametrik yöntemlerle elde edilen enine ve boyuna bindirilmiş görüntülerde, başlangıç ve bitiş noktalarına yakın nirengi noktalarının bulunması gereklidir. Yöntemin uygulanması için kullanılacak paftaların, uçuş yönünün ve yer kontrol noktalarının da bulunduğu uçuş planı önceden hazırlanmalıdır. Elde edilen görüntülerin değerlendirilmesi için en az iki kontrol noktasının başlangıç ve bitiş noktalarına denk gelmesi sağlanmalıdır. Boyuna bindirilmiş görüntüler üzerinden bu kontrol noktalarının koordinat değerleri (X, Y, Z) ya da yükseklik (Z) değerleri kullanılarak kontroller gerçekleştirilir (Akdeniz ve Erdoğan, 2005).

Bu metotla elde edilen sonuçların sayısal formatta olması, mimarlık, astronomi, tıp, biyoloji ve balistik gibi farklı disiplinlerde kullanılmakta ve belgeleme, modelleme ve üç boyutlu görselleştirme imkanları sunmaktadır (Darıcı, 2021).

Fotogrametri, sayısal arazi modellerinin oluşturulmasıyla ilgili bir alanı da kapsar. Fotogrametri çalışmaları, elde edilen görüntüler üzerinden çeşitli yazılımlar aracılığıyla yapılan uygulamalar sayesinde sayısal arazi modellerinin hızlı ve yüksek hassasiyetle oluşturulmasını sağlar. Bu yöntem, maliyet açısından da avantajlı olup kısa sürede detaylı modeller elde etmeyi mümkün kılar (Ergün, 2016).

3.4.1.1. Hareket Kullanarak Nesne Çıkarma (Structure From Motion)

Hareketle Nesne Oluşturma, ardışık bir dizi halinde çekilmiş iki boyutlu görüntülerin kullanıldığı bir fotogrametri tekniğidir. Bu teknik, arazi, binalar, yüzey formları gibi üç boyutlu yapıların dijital modellerinin oluşturulmasına olanak tanır. İnsanların çevrelerindeki üç boyutlu dünyayı algılamak için kullandığı yaklaşıma benzer şekilde, bu teknik, iki boyutlu görüntülerin kullanılmasıyla üç boyutlu yapıları oluşturur. Özellikle son yıllarda kullanımı artan, yüksek çözünürlüklü veriler üzerinde çalışmayı mümkün kılan, maliyeti düşük ve kullanıcı dostu bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Sarıtürk ve Şeker, 2017).

SFM terimi Türkçe'de tam karşılık bulmasa da 'Hareket Tabanlı Yapısal Algılama' veya 'Hareket ile Nesne Oluşturma' anlamlarını taşımaktadır ve bu tanımlamalar kullanılabilir. SFM, örtüşen görüntülerdeki ortak noktaları tanımlayan bir yöntemdir. Bu yöntem, görüntünün çekildiği anki koordinatlarını ve yönelimini belirlemek amacıyla kullanılır (Tanrıku, 2019).

Bu metot, hareket eden görüntü tiplerinden elde edilen birden fazla konumdan ya da isminden de farkedileceği gibi, hareket eden bir kamera ile elde edilen görüntülerin benzer 3B yapısını ayarlayan, sık ve üst üste katlanan görüntü topluluklarının kullanımına en uyumlu olan şeklidir (Westoby vd., 2012).

Hareket, bilgisayarla görmede, zamanı içeren yeni bir bilgi olarak değerlendirilebilir. Bu bilgi, ele alınan görüntülerden zamana bağlı tüm bilgilerin öğrenilmesine olanak tanır. Modeli yeniden boyutlandırabilmek için, kameranın hareketini sabit bir yüzeyde farklı konumlardan edinilen görüntüler olarak düşünmek doğru olacaktır. Bu yöntem, stereo görüntülerle benzer bir yapıya sahip olmasına rağmen, çoklu görüntüleri zaman parametresine bağlı olarak üretmektedir. Bu özellikten faydalanarak elde edilen derinlik bilgisi, bindirmeli olarak elde edilen obje veya yüzeyin ortak özellikleri kesiştirilerek elde edilir. Kamera hızı ve yönü bilinmesi gereklidir. Görüntüler, genellikle kalibre edilmiş veya edilmemiş kameralarla elde edileceği için üzerindeki eşitsizlikler oldukça az olacaktır. 3B modeller, video üzerindeki noktalar veya çizgiler kullanılarak takip edilerek oluşturulur. (Kuzu, 2004).

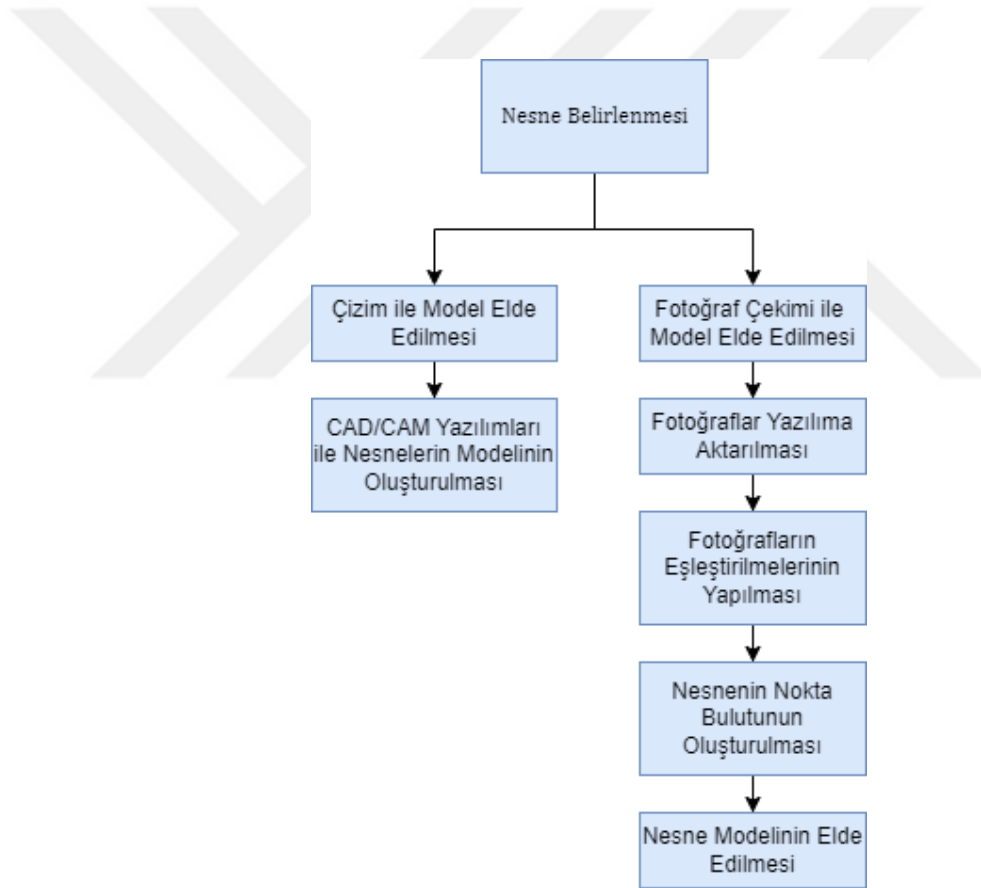
3.4.2. Nokta Bulutu

3b model oluşturulması, nesne özelliklerinin çıkarılması, nesne tanıma ve nesne bulma gibi birçok uygulamada yaygın olarak kullanılan yöntemler içerisinde, Point Cloud (Nokta Bulutu) giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu teknik, fiziksel nesnelerin üç boyutlu ortamdaki temsilini sağlamakta ve genellikle bilgisayar ortamındaki sayısal karşılıklarını içermektedir. Bu nokta bulutları, nesnelerin fiziksel varlıklarını, uzaysal düzlemde kapladıkları alanların kütesel koordinat bilgilerini ifade eder (Guo vd., 2015).

Nokta bulutları, iki boyutlu resim veya görüntü üzerinde gerçekleştirilen işlemleri daha karmaşık bir üç boyutlu sayısal ortama taşınmasına olanak tanmaktadır. Nokta bulutları, fiziksel nesnelerin üç boyutlu modellerinin oluşturulmasında ve analizinde temel bir rol oynamaktadır (Bischoff et al. 2002).

3.5. Nesnenin 3B Modellenmesi

Tez çalışması Şekil 3.11’de verilen esaslara göre planlanarak 13 farklı nesne için modelleme gerçekleştirilmiştir. Nesnelerin modellenmesi için 2 farklı yöntemden faydalanılmıştır. Bunlar CAD/CAM tasarım programları ile manuel olarak ve fotoğraf yoluyla model üretimidir. Bu yöntemler aşağıda ele alınmıştır.



Şekil 3.11. Model Üretim Şeması

3.5.1. Nesnenin 3B Modelinin CAD/CAM ile Manuel Olarak Üretilmesi

Tez çalışmasında üretilmesi hedeflenen nesneler belirlendikten sonra bir CAD/CAM yazılımı olan Solidworks ile çizimleri yapılmıştır. Çizimler yapılırken

cisimlerin geometrilerine dikkat edilmiş ve kumpas ile hassas ölçümler yapılarak model üretimleri tamamlanmıştır. Çalışmadaki model üretim yöntemlerinden bir tanesi olan yazılım destekli çizim yönteminin en yaygın 3B model üretimi şekli olduğu söylenebilir. Yapılan tez çalışmasında en yaygın yöntem olan bilgisayar destekli yazılımlar ile model üretimi ile tez çalışması kapsamında geliştirilen yazılım ile üretilen model analiz edilmiştir. Buradaki hedef en yaygın üretim şekline en yakın doğruluktaki modeli üretmektir. Çizimi gerçekleştirilmeyen ancak nesnenin orijinali ile aynı boyutta üretilen nesneler ise modellenen nesnenin orijinal hali ile kıyaslanarak değerlendirilmiştir.

3.5.2. Fotoğraf Yoluyla Üç Boyutlu Modelin Üretilmesi

Yöntemin ilk aşamasında homojen ışık alan ortamlarda nesnelerin fotoğrafları çekilmiştir. Şekil 3.12’de ilk olarak belirlenen nesnenin fotoğraf çekimlerinden örnek görüntüler bulunmaktadır. Fotoğraftaki nesnenin modelinin oluşturulması için 95 adet farklı açılardan fotoğraf çekimi yapılmıştır. Örnek teşkil etmesi açısından 4 fotoğraf seçilmiştir.



Şekil 3.12. Modellenmek Üzere Nesne 1’in Çekilen Örnek Fotoğrafları

Burada fotoğraflar herhangi bir kamera ile alınabilmektedir. Özel bir kamera gerekmemektedir. Çalışmada Iphone 11, Iphone 12, Samsung Galaxy S10e gibi

cep telefonu kameraları ile görüntü elde edilmiştir. Bu fotoğraflar bilgisayar ortamına geçirildikten sonra geliştirilen sistem tarafından import edilmektedir. Daha sonra fotogrametri işlemi başlatılarak proje yazılım aşamasına geçmektedir.

Yapılan tez çalışmasında Python programlama dili ile bir 3B model üretme yazılımı geliştirilmiştir. Fotoğraf yolu ile modelleme işlemi yapılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında geliştirilen yazılımda 2B fotoğraflar kullanılarak 3B bir nesne modellemesi oluşturma işlemi yapılmıştır. Modelleme aşamasında Alicevision kütüphanesinden yararlanılmıştır (Alicevision, 2023). Bu başlık altında fotoğraf yolu ile model üretimi adı verilen bu yöntemde kullanılan adımlardan bahsedilmektedir.

Öncelikle çekilen fotoğrafların standart üstü bir kalite ile homojen aydınlatılmış bir ortamda ve net çekilmesi gerekmektedir. Çekilen fotoğraflar kontrol edildikten sonra gerçekleştirilen yazılım içerisine aktarılması gerekmektedir. Fotoğraflar aktarılarak modelleme aşaması başlatıldığında ise bir dizi temel aşamadan geçerek fotoğraflara dayalı olarak nesnenin modeli oluşturulacaktır. Bahsedilen aşamalar ve algoritma aşağıdaki gibidir;

Kamera Entegrasyonu

- Bu aşamada, fotoğrafların özgün unsurları ve parametreleri belirlenmektedir.
- Görüntü bilgileri analiz edilmektedir.
- Her görüntü için kamera parametreleri belirlenmektedir.

Özellik Çıkarımı ve Eşleştirmesi:

- Fotoğraflardan özellik noktaları tespit edilmektedir. Bu noktalar, görüntülerin benzersiz bölgelerini temsil etmektedir.
- Özellik noktaları, eşleştirme için kullanılmaktadır.

Görüntü Eşleştirme:

- Özellik noktaları eşleştirilmekte ve görüntüler arasındaki benzerlikler belirlenmektedir.
- Görüntüler arasındaki kamera hareketleri belirlenmektedir.

Hareketten Yapı Çıkarımı:

- Görüntülerin 3B konumları ve kamera hareketleri bu aşamada hesaplanmaktadır.
- 3B nokta bulutu bu aşamada oluşturulmaktadır.

Derinlik Haritası ve Filtresi:

- Görüntülerin derinlik haritalarının oluşturulduğu aşamadır.
- 3B nokta bulutu hassaslığı geliştirilir.

Model Oluşturma:

- 3B nokta bulutundan yüzey ağı oluşturulmaktadır.
- Bu aşamada 3B modelin yüzeyi belirlenmektedir.

3.5.2.1. Kamera Entegrasyonu

İlk olarak fotoğrafların üzerinde ön tahminler yapılmaktadır. Bu tahminler, kameranın başlangıç konumunu ve yönelimini belirlemeye yöneliktir. Kameranın iç ve dış parametreleri, genellikle fotoğrafların üzerinde belirgin özelliklerin bulunması ve eşleştirilmesi yoluyla belirlenir. Bu aşamada, başlangıç noktasını oluşturan görüntülerin görüntü verilerini tespit ederek içsel özellikleri ve parametreleri kullanarak veri oluşturulmaktadır.

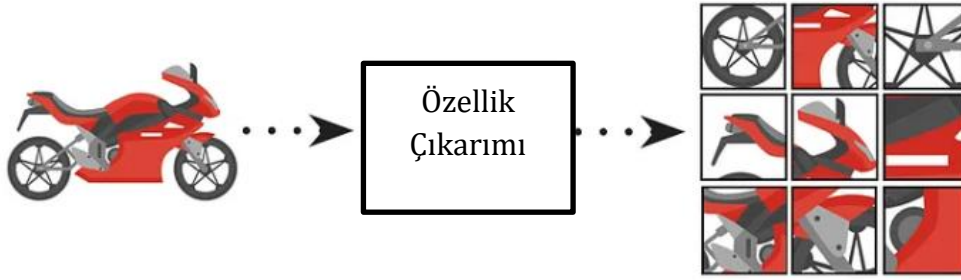
İlerleyen aşamalarda fotoğraflar arasındaki benzer özelliklerin (noktalar, desenler, ayırım noktaları vb.) tanımlanması ve eşleştirilmesi gerçekleşecektir. Bunlar Hareket Kullanarak Nesne Çıkarma metodunun temel adımlarındandır. Bu özellikler bu aşama için kameranın hareket akışını tahmin etmek için kullanılmaktadır. Tahminler ve özellik eşleştirmeleri kullanılarak, kamera

parametreleri optimize edilerek devam edilmektedir. Kameranın başlangıç parametreleri hakkında veriler düzenlenmektedir.

Bu aşamanın en temel amacı nesnenin konumunun tespit edilmesi ve kamera ile nesne arasındaki bağlantılara ulaşılmasıdır.

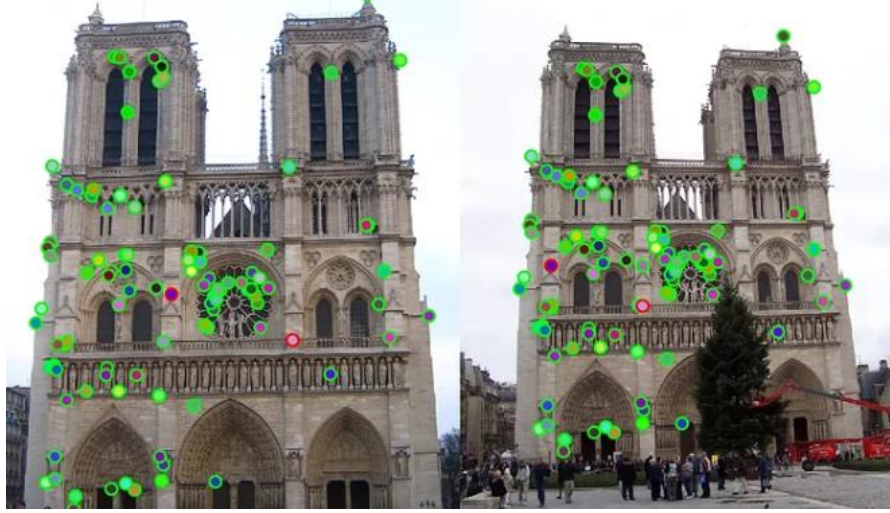
3.5.2.2. Özellik Çıkarımı

Bu aşamada, özellik çıkarma sürecine belirli bölgeleri vurgulamak veya filtrelemek amacıyla maskeler eklenmektedir. Farklı özellik çıkarma yöntemleri kullanılabilir. Şekil 3.13'te özellik çıkarımını temsil eden bir görsel verilmiştir.



Şekil 3.13. Özellik Çıkarımı (Gomede, 2023)

Özellik çıkarma sürecini kişiselleştirmek için çeşitli parametreleri ayarlanmaktadır. Örneğin, maksimum özellik sayısı, çıkarma kalitesi ve kontrast filtreleme yöntemleri belirlenmektedir. Renk uzayı seçeneği, işlemin gerçekleştirildiği renk uzayını tespit etmektedir. Şekil 3.14'te özellik çıkarımı uygulanan iki adet fotoğraf gösterilmiştir. Bu aşama, özellik ve tanımlayıcıları içermektedir.



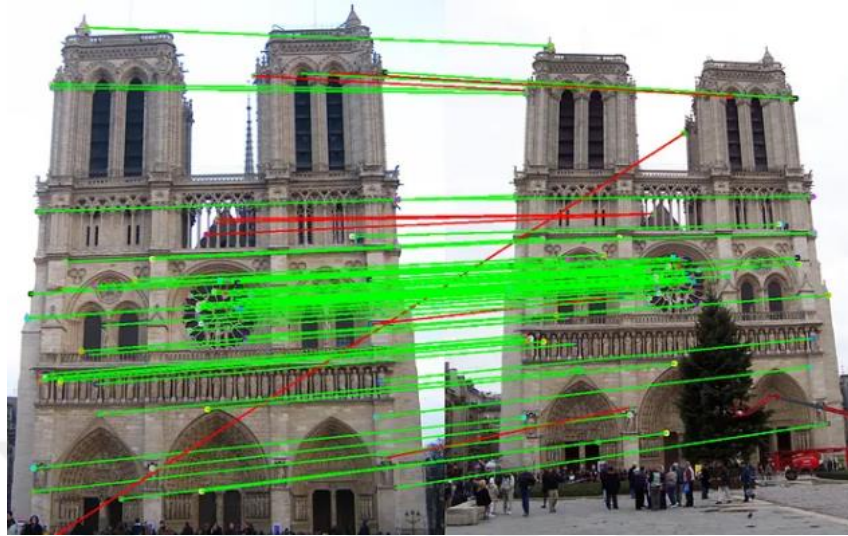
Şekil 3.14. Özellik Çıkarımı Uygulanmış İki Fotoğraf (Tyagi, 2019)

Yapılan tez çalışmasında CCTAG, SIFT ve AKAZE algoritmalarından faydalanılarak nesnenin özellikleri çıkarılmıştır. Bu algoritmalar nesnenin tespit edilmesi, özelliklerinin belirlenmesi açısından önem arz etmektedir. Sonrasında gerçekleşen tez çalışmasının akışına uygun olarak bu özellikler değerlendirilmiştir. Bu özelliklere anahtar nokta (keypoint) ismi de verilmektedir. Bu noktaların tespiti ile nesne etrafından çekilen fotoğraflardaki ortak noktalar tespit edilebilecek ve ilerleyen aşamalarda birleşebilecektir. Bu aşamada önemli olan nokta hareketten yapı çıkarımı aşamasına geçiş sürecinde tüm fotoğraflarda ortak olan özellikleri tespit etmektir. Bu aşamadaki özellik tespiti tüm fotoğraflar için uygulanmış ve veriler daha sonraki adım için hazırlanmıştır.

3.5.2.3. Özellik Eşleştirme

Farklı görüntülerdeki benzer özellikleri belirleyerek, bu özelliklerin birbirleriyle eşleştirilmesini sağlayan süreçtir. Bu aşamada ilk olarak, her bir görüntüden çıkarılan özelliklerin tanımlayıcı vektörleri kullanılarak benzer özellikler belirlenmektedir. Bu tanımlayıcılar, genellikle görüntüdeki belirgin noktaların çevresindeki bilgileri içermektedir. Belirlenen özellikler arasında benzerlikleri ölçen bir eşleştirme yapılarak, farklı görüntüler arasındaki karşılıklı özellik

eşleştirmeleri gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.15'te örnek olarak özellik eşleştirme uygulanan iki fotoğraf ve eşleştirme işlemi gösterilmektedir.



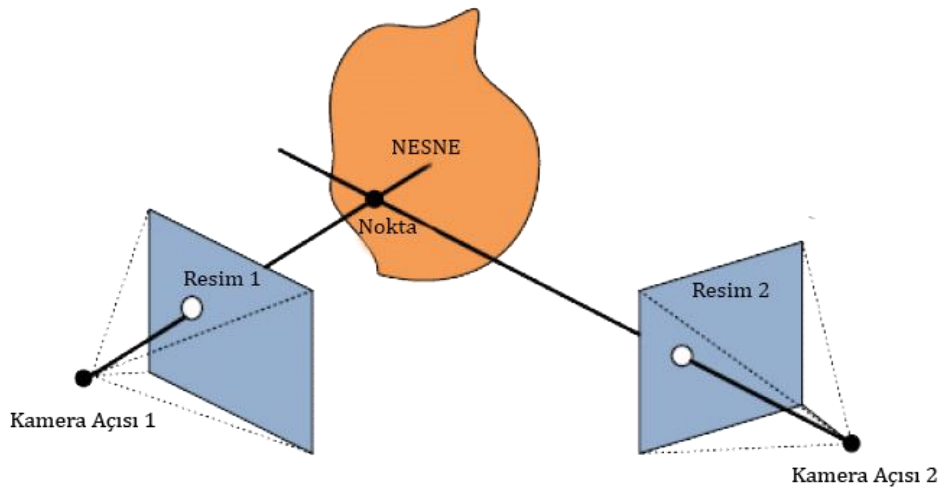
Şekil 3.15. Özellik Eşleştirme Uygulanan İki Fotoğraf (Tyagi, 2019)

Bu süreç, genellikle doğruluk ve güvenilirlik kriterlerine dayanarak en iyi eşleştirmeleri seçmeye dayanmaktadır. Örneğin, özelliklerin karşılıklı eşleşmesi, benzerliğin belirli bir eşiği aşması veya belirli geometrik kriterlere uyması gibi kurullarla filtrelenmektedir. Özellik eşleme aşamasının sonucunda, her bir özellik çifti için bir eşleştirme ilişkisi belirlenmektedir. Bu eşleştirmeler, sonraki aşamada 3B modelleme için kullanılacak kamera pozisyonlarını belirlemede önemli bir rol oynamaktadır. Özellik eşleme, farklı görüntülerdeki benzer özelliklerin birbirleriyle ilişkilendirilmesini sağlayarak, 3B modelleme sürecinde temel bir veri oluşturmaktadır.

Nesnelerin çekilen tüm fotoğrafları arasında bu işlem devam eder ve tüm resimlerdeki ortak özelliklere erişilir. Erişilen özellikler eşlenerek tüm fotoğraflardaki ortak yapı temeli oluşturulmuş olacaktır. Bu özelliklerin bulunmasında ve eşleşmesinde RANSAC algoritması da kullanılmıştır. Yapay zekâ altyapısına da sahip olan RANSAC fotoğraflar arasındaki en iyi uyum kriterini yakalamayı ve fotoğraflardaki ortak özellikleri tespit etmeyi kolaylaştırmaktadır.

3.5.2.4. Görüntü Eşleştirme

Yapılan tez çalışmasının bu aşamasında, görüntüler arasında özelliklerin eşleştirilmesi işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler yapılarak 3B modelleme sürecinde kullanılmak üzere kamera pozisyonları belirlenebilmektedir. İlk adım, önceki aşamada çıkarılan özelliklerin (noktaların) eşleştirilmesini içermektedir. Bu eşleştirmeler, aynı nesne veya özelliklerin farklı görüntülerdeki konumlarını birbirine bağlamaktadır. Özelliklerin eşleştirilmesi, farklı görüntülerden elde edilen nesnelerin doğru bir konumda hizalanmasını sağlamak amacıyla gerçekleştirilmektedir. Bu aşama, bir eşleştirme matrisi oluşturarak, her görüntü çifti için kamera pozisyonlarını belirlemektedir. Sonuç olarak, görüntü eşleme aşaması, 3B modelleme sürecinin temel adımlarından birini oluşturmaktadır. Bu aşamada, farklı görüntülerdeki sahnenin uygun bir şekilde birleştirilmesi ve hizalanması sağlanmaktadır. İki görüntü arasındaki özellikler arasında eşleştirmeler gerçekleştirilmektedir. İlk görüntüdeki her bir özellik tanımlayıcısı için, ikinci görüntüdeki en yakın iki tanımlayıcı arasında bir ilişki kurulmaktadır. Bu ilişki, bir göreceli eşik değeri kullanılarak belirlenir. Şekil 3.16'da görüntü eşleştirmenin temel çalışma prensibi gösterilmektedir.



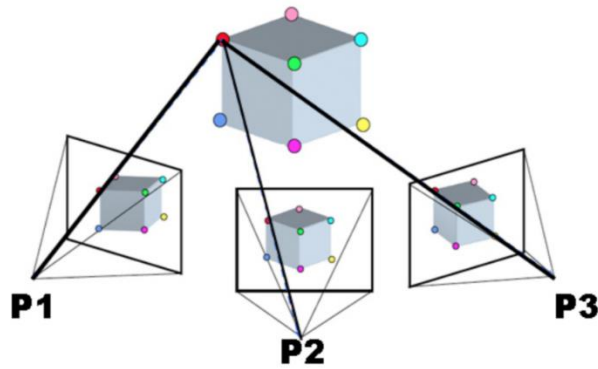
Şekil 3.16. Görüntü Eşleştirme Çalışma Prensibi (GIM, 2016)

Çalışmada bir nesne etrafında fotoğraflar toplanması ile model eldesi amaçlandığı için çekilen tüm fotoğraflardaki ortak yapının tespit edilmesi

amaçlanmaktadır. Bu aşamada ve önceki aşamalarda özellik ve görüntü açısından tüm fotoğraflarda bulunan ortak görüntüler tespit edilmektedir. Bunun için öncelikle nesne özellikleri tespit edilmiştir. Özellik tespitlerinden sonra tüm fotoğraflardaki özelliklerden ortak olanlar belirlenmiştir. Ortak özellikler eşlendikten sonra da ortak görüntüler bu aşamada eşlenerek sahne yapısının temeli atılmıştır.

3.5.2.5. Hareket Kullanarak Nesne Çıkarma

Bu adıma kadar yapılan işlemlerin amacının bu aşama olduğu söylenebilir. Çünkü bu aşama ile 2B görüntülerden 3B model oluşturma süreci başlamaktadır. Bu aşamada öncelikle kamera parametrelerini ayarlamak için kamera kalibrasyonu yapılmaktadır. Sonrasında önceki aşamalarda elde edilen veriler ışığında görüntü eşleme çalışması bu aşamada tamamlanır 3B bir görüntü yapısı elde edilir. Bunun sonucunda eşleştirilen özellik noktalarıyla 3B sahnedeki yapısal özellikler belirlenmektedir. Kamera Pozisyonları ve Yönelimleri de bu aşamada belirlenerek her kamera açısı için pozisyon ve yönelim bilgileri elde edilmekte, 3B sahnenin farklı bakış açılarından nasıl görüldüğünü tasarlamaktadır. Netice itibariyle nesnenin 3B uzayda nasıl bir görünüm kazanacağını temsil eden parametreleri belirlenmektedir. Şekil 3.17’de basit simgelerle hareketten yapı çıkarımı resmedilmiştir.



Şekil 3.17. Hareketten Yapı Çıkarımı (Spaceport, 2023)

Bu aşamada ulaşılmak istenen sonuç nokta bulutudur. Çıkarılan tüm özellikler ve veriler bir araya getirilerek nesnenin 3B uzayda oluşturacağı koordinatlar belirlenir. Koordinatlar belirlendikten sonra her bir belirlenen koordinat bir

nokta ile temsil edilmektedir. Tüm noktaların bir araya getirilerek 3 boyutlu uzayda noktalanması sonucunda tüm fotoğraflarda ortak olan nesnenin nokta bulutu meydana gelmektedir. Bir nokta bulutu oluşturulduğunda, sahnenin 3B geometrisinin ayrıntılı bir temsili sağlanmaktadır. Şekil 3.18’de 3B modeli çıkarma çalışması yapılan bir nesnenin nokta bulutu gösterilmektedir.



Şekil 3.18. 3B Modeli Hedeflenen Cismin Nokta Bulutu

Bu aşama, 3B modelin derinlik nokta bulutunu elde etmeye yönelik bir adımdır. 2B görüntülerin 3B sahne koordinatlarına doğru bir şekilde eşlenmesini sağlanmıştır. Her bir kamera pozisyonundan elde edilen 2B görüntüler arasında eşleştirmelerin gerçekleştirilmiştir. Bu eşleştirmeler sonucunda bir nokta bulutu oluşturulmaktadır. Bu süreçte, görüntüler arasındaki ilişkiler analiz edilmekte ve 3B sahnenin yapısı elde etmek amaçlanmaktadır. Nokta bulutu oluşturma aşaması tamamlandıktan sonra elde edilen nokta bulutu biraz daha optimize edildikten sonra model oluşturma aşamasına geçilmiştir.

3.5.2.6. Derinlik Haritası Oluşturulması

Bu aşamada, sahne modeli için derinlik haritası oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu harita, her pikselin sahnedeki uzaklığını temsil etmektedir. Ayrıca, derinlik haritası, önceki aşamalardan elde edilen bilgilerle birleştirilmekte ve geometrik uyumsuzluklar düzeltilmektedir. Bu aşamada, haritanın optimize edilmesi ve düzeltilmesi sağlanmaktadır. Şekil 3.19’da üretmiş olduğumuz modellerden biri

için kullanılan fotoğraflardan bir tanesinin elde edilen derinlik haritası gösterilmektedir.



Şekil 3.19. Nesnenin Derinlik Haritası Örneği

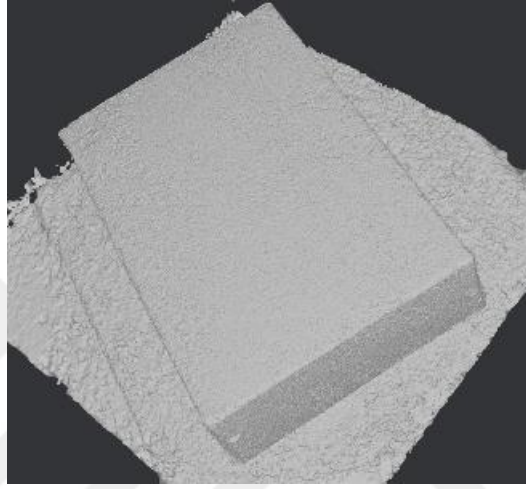
Optimizasyon süreci, derinlik haritasındaki bilgilerin orijinal görüntülerle uyumlu hale getirilmesini içermektedir. Böylece modellemenin doğru bir şekilde gerçekleşmesi ve elde edilen 3B modelin daha doğru elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Derinlik haritası oluşturma aşamasının amacı nesnenin kamera ile arasındaki uzaklık ölçülerinin tespit edilerek sahnedeki yerinin sağlanmasıdır. Bu şekilde, görüntüler arasındaki derinlik ilişkilerini doğru bir şekilde belirleyerek 3B sahne modelinin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır. Bu aşamada, tüm fotoğraflar için derinlik haritası oluşturularak nesnenin sahne içinde doğru konumda olup olmadığı kontrol edilmiştir. Burada uygulanan filtre ile nokta bulutu optimize edilmiştir.

3.5.2.7. Modelin Oluşturulması

Bu aşama yani “meshing” aşaması, bir 3B modelin fiziksel yapısını temsil eden bir ağın (mesh) oluşturulduğu kısımdır. Bu süreç, önceki aşamalardan elde edilen kamera pozları ve derinlik haritası bilgilerini kullanarak oluşturulan nokta bulutunu kullanmaktadır. Oluşturulan nokta bulutu, 3B uzaydaki yüzeyin

üçgenlerle ifade edilen bir temsilini içeren bir mesh modeline dönüştürülmüştür. Burada yapılan en önemli işlem nokta bulutu halinde koordinatlarca şekli belirlenen nesnenin 3 boyutu ifade eden üçgenlere dönüştürülmesidir. Bu işlem sonucunda nesnenin modeli 3B uzay içinde kendine bir yer edinmiş olacaktır. Yapılan tez çalışmasında oluşturulan bir model Şekil 3.20’de gösterilmektedir. Meshing sürecinin, 3B model oluşturulmasını sağlayan son adım olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 3.20. Kullanılan Nesnenin Modeli

3.5.2.8. Modelleme Adımlarının Çalışmada Uygulanması

Tez çalışmasında gerçek bir nesnenin, cep telefonu ya da basit bir kamera ile düşük maliyetli ve uzmanlık istemeyen bir şekilde modellenmesi için bir uygulama geliştirilmiştir. Uygulamada hedeflenen nesnelerin farklı açılardan fotoğrafları elde edilerek aşama aşama yazılım ve gerekli görsel işlemlere tabi tutularak 3B modelinin üretilmesi sağlanmıştır. Uygulama geliştirilmesiyle birlikte özel 3B modelleme programlarıyla hedeflenen nesnelerin 3B modelleri manuel olarak çizilmiştir. Elde edilen her iki model de 3B yazıcılar ile üretilerek oluşturulan ürünler karşılaştırılarak tez çalışması sonuçlandırılmıştır.

Modellerin manuel olarak çizilmesi işlemi bilgisayar ortamında SolidWorks programı aracılığıyla yapılmıştır. Kumpas kullanılarak hassas şekilde ölçümler yapılarak daha sonra çizim gerçeğe en uygun olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Burada elle çizimin yapılmasının amacı nesnenin modeline dair bir referans model üretmektir. Şekil olarak çizime yakın olarak modellenen bir nesne başarılı kabul edilmektedir.

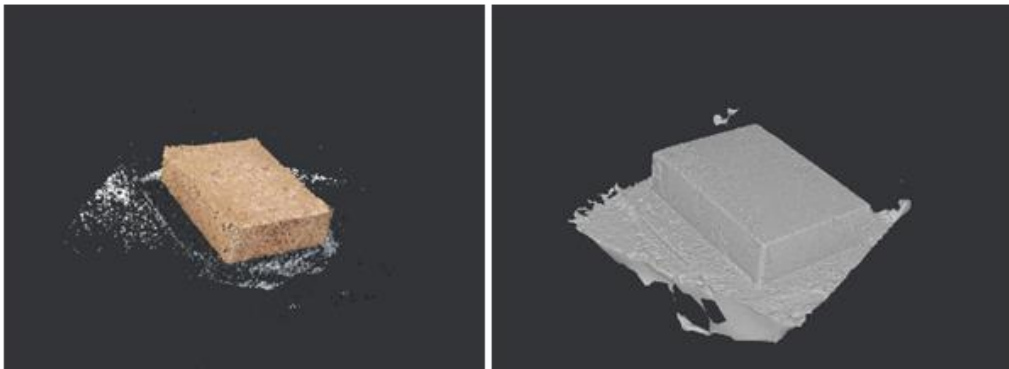
Uygulama için öncelikle fotoğrafların elde edilmesi gerekmektedir. Fotoğraflar günlük kullanımda kullanılan cep telefonları ile alınabilir. Bu çalışmada Samsung Galaxy S10e ve Iphone 12 cihazlarının kameraları ile fotoğraf çekimi yapılmıştır. Fotoğraf çekiminde önemli olan ortam aydınlatmasıdır. Homojen bir ortam aydınlatmasında sonuçlar daha doğru olacaktır. Bu çalışmada fotoğraflar hem stüdyo ortamında hem de güneşli bir günde güneşin doğrudan görmediği alanlarda çekim yapılarak alınmıştır. Çekilen nesneye göre değişiklik gösterse de bir nesnenin tüm açılarından fotoğraf çekimi yaklaşık 15 dakika sürmektedir.

Fotoğrafların hazırlanmasıyla birlikte bilgisayar ortamına aktarılması gerekmektedir. Uygulamanın başarılı ve sürdürülebilir şekilde çalışabilmesi için bilgisayar özelliklerinin uygun olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Yapılan işlemler grafik tabanlı olduğu için uygulamanın çalıştırılacağı bilgisayarın grafik kartının güçlü ve GPU entegresine sahip olması gerekmektedir. GPU, Grafik İşlem Birimi, bilgisayar sistemlerinde grafik işlemlerini gerçekleştirmek üzere tasarlanmış özel bir donanım birimidir.

GPU'lar, özellikle grafik yoğun işlemlerde yüksek performans sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. İşlevsel olarak, GPU'lar öncelikle 2B ve 3B grafiklerin oluşturulması, görüntülerin işlenmesi, oyun grafikleri, video kodlama ve şifreleme gibi grafik yoğun görevlerde kullanılmaktadır. Modern GPU'lar, yüzlerce hatta binlerce paralel işlem birimine sahiptir ve bu, aynı anda birçok görevin hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. GPU'lar, genelde bilgisayar oyunları, film düzenleme, bilimsel hesaplamalar, yapay zekâ ve derin öğrenme gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca, GPU'lar, genel işlem gücü gerektiren uygulamalarda da kullanılabilir, bu nedenle genel amaçlı GPU'lar giderek popülerlik kazanmaktadır. Bu tür GPU'lar, özellikle NVIDIA'nın CUDA ve AMD'nin OpenCL gibi programlama araçları ile genel hesaplamalarda kullanılabilir (Microsoft, 2023).

Gerçekleştirilen uygulama yoğun grafiksel işlem ve ardışık hesaplamalar içerdiği için GPU entegresine sahip bir ekran kartı olan “NVIDIA GeForce RTX 3050 Ti” bileşenine sahip bir bilgisayar üzerinden deneyler yapılmıştır. Yaklaşık 100 resim içeren bir modelleme çalışması 60-80 dakika arası bir zaman almaktadır. İşlemin başlangıcında ışık olarak bozukluk içeren ya da nesnenin bütünlüğüne zarar veren fotoğraflar işlem içerisine dâhil edilmemektedir. Sonrasında Materyal ve Metot Aşamasında bahsedilen aşamalar sırayla çalışmaktadır. Çalışmanın tamamlanması ile uygulama sonucunda obj uzantılı bir dosya üretilmektedir. Üretilen dosyada mesh adı verilen modelin son hali bulunmaktadır. Ancak çevredeki değişkenlerin de belli kısımlarının modellenmesi sebebiyle nesnenin etrafının temizlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Blender ve Meshmaker isimli farklı program yardımıyla nesnenin çevreden ayrıştırılması sağlanmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda fotoğrafların tüm aşamaları tamamlaması ile gerçeğe uygun olarak bir 3B nesne modeli üretilmiştir. Şekil 3.21’de nesne fotoğraflarının yazılım yardımı ile modellenmesinde geçtiği aşamalardan olan yapı çıkarımı ve modellenmiş hali (mesh) gösterilmektedir. Yapı çıkarımı olarak adlandırılan aşama aslında önceki aşamalarla birlikte nesnenin nokta bulutunun oluşturulması aşamasıdır. Yukarıda yazılımın algoritmasının anlatımında bahsedildiği gibi tüm aşamalar sırayla ve birbirine katkıda bulunacak şekilde çalışarak nihai sonuca doğru ilerlemektedir.

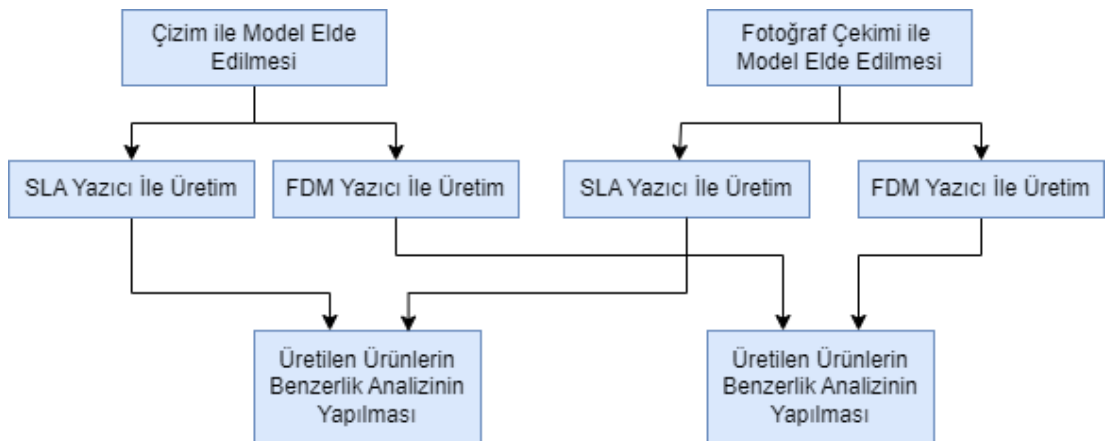


Şekil 3.21. Nesnenin Nokta Bulutu ve Üç Boyutlu Modelenmiş Hali

3.6. 3B Modellemesi Tamamlanan Nesnelerin Üretim Süreci

Nesne modeli yazılım ile üretildikten sonra Meshmaker, Blender vb. programlar kullanılarak model arkaplandan kurtarılarak basıma hazır hale getirilmiştir. Aynı nesne CAD/CAM yazılımları ile kumpas vb. ölçüm aygıtlarıyla hassas ölçümler yapılarak orjinaline bağlı kalarak manuel olarak modellenmiştir. SolidWorks ile çizilen nesne ile fotoğraflar alınarak yazılım ile üretilen nesne üretim aşamasına taşınmıştır. Böylece nesnenin 2 farklı 3B modeli üretilmiştir. Bu modeller “stl” uzantılı olarak kaydedilmiştir. Sonrasında dilimleme işlemi yapılarak son halini almıştır. Bu iki nesnenin üretimi için yukarıda bahsedilen Elegoo Satürn 3 ultra 12k ve GEEETech Prusa i3 Pro B modeli iki farklı 3B yazıcı ile üretilmiştir. Tez çalışmasında bu şekilde üretilen 13 farklı nesne bulunmaktadır. Bu nesnelere 7 tanesine ait 2 farklı model bulunmaktadır. Bu modellerin de 2 farklı yazıcı ile üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen nesnelere ise üç boyutlu yazıcı üretim kalitesi ve model başarısı açısından kıyaslanmıştır.

Tez çalışması aşağıdaki esaslara göre planlanarak 13 farklı nesne için modelleme, üretim ve değerlendirme işlemleri yapılmıştır. Bunlardan 7 tanesinin çizimleri yapılarak da modelleri üretilmiştir. Sabit geometriye sahip olmayan diğer nesnelere ise sadece fotoğraf yoluyla modellemeleri yapılmıştır. Deneylerin genel akış şeması Şekil 3.22’de gösterilmektedir.



Şekil 3.22. Nesnenin Nokta Bulutu ve Üç Boyutlu Modellenmiş Hali

3.6.1. Üretim Esnasında Kullanılan Yazıcılar

Yapılan tez çalışmasında “GEEETech Prusa i3 Pro B” modeli üç boyutlu yazıcı ve “Elegoo Satürn 3 ultra 12k” yazıcıları ile üretim yapılmıştır. GEEETech Prusa i3 Pro B modeli FDM yazıcı türlerindedir. Elegoo Satürn 3 ultra 12k ise SLA yazıcı türlerindedir.

3.6.1.1. Üretim Esnasında Kullanılan FDM Yazıcı

Yapılan tez çalışmasında “GEEETech Prusa i3 Pro B” modeli üç boyutlu yazıcı ve “Elegoo Satürn 3 Ultra 12k” yazıcıları ile üretim yapılmıştır. GEEETech Prusa i3 Pro B modeli FDM yazıcı türlerindedir. Elegoo Satürn 3 ultra 12k ise SLA yazıcı türlerindedir. GEEETech Prusa i3 Pro B, Prusa i3 tasarımına dayanan ve geniş bir popülerliğe sahip olan bir 3B yazıcı kitidir. Tasarım ve yapı açısından, Prusa i3 Pro B, açık kaynaklı Prusa i3 tasarımına dayanmakta ve genellikle alüminyum profil çerçeve kullanmaktadır. Açık çerçeve tasarımı, kullanıcıların yazıcıya kolayca müdahale etmelerine ve geliştirmeler yapmalarına olanak tanımaktadır. Genellikle 200 x 200 x 180 mm gibi bir baskı alanına sahiptir, ancak çift ekstrüzyon seçenekleri gibi özellikler modelin belirli bir sürümüne bağlı olarak değişebilmektedir (Geeetech, 2023).

Extruder ve hotend (ısıtıcı bölme) bileşenleri, filamentin eritilip katmanlar halinde birleştirilmesini sağlamaktadır. GEEETech Prusa i3 Pro B, genellikle açık kaynaklı yazılımlarla uyumludur ve popüler 3B yazıcı kontrol yazılımları olan Marlin veya Repetier gibi seçenekleri kullanabilmektedir. Bağlantı seçenekleri arasında USB veya SD kart üzerinden iletişim bulunmaktadır (Geeetech, 2023). Şekil 3.23'te GEEETech Prusa i3 Pro B cihazına ait bir görüntü paylaşılmıştır.



Şekil 3.23. GEEETech Prusa i3 Pro B (Geetech, 2023)

3.6.1.2. Üretim Esnasında Kullanılan SLA Yazıcı

Elegoo Saturn 3 Ultra 12K, yüksek kaliteli baskılar için tasarlanmış son derece hassas bir 3B yazıcıdır. 10 inç 12K mono LCD'si ve 19x24 mikron XY çözünürlüğü ile 12K baskı kalitesi sunmaktadır. 218,88x122,88x260 mm³ yapı hacmi ve 150 mm/saate kadar baskı hızı ile çalışabilmektedir. Ayrıca, Elegoo Saturn 3 Ultra 12K, tüm-metal bir makine gövdesine sahiptir ve yeni bir renk şemasına sahiptir. Z ekseninde entegre bir bilyalı vida ve çift doğrusal kılavuz rayı bulunur ve daha kararlı ve ayrıntılı model baskısı için 0,01 mm Z eksen doğruluğuna sahiptir (Eleego, 2023).

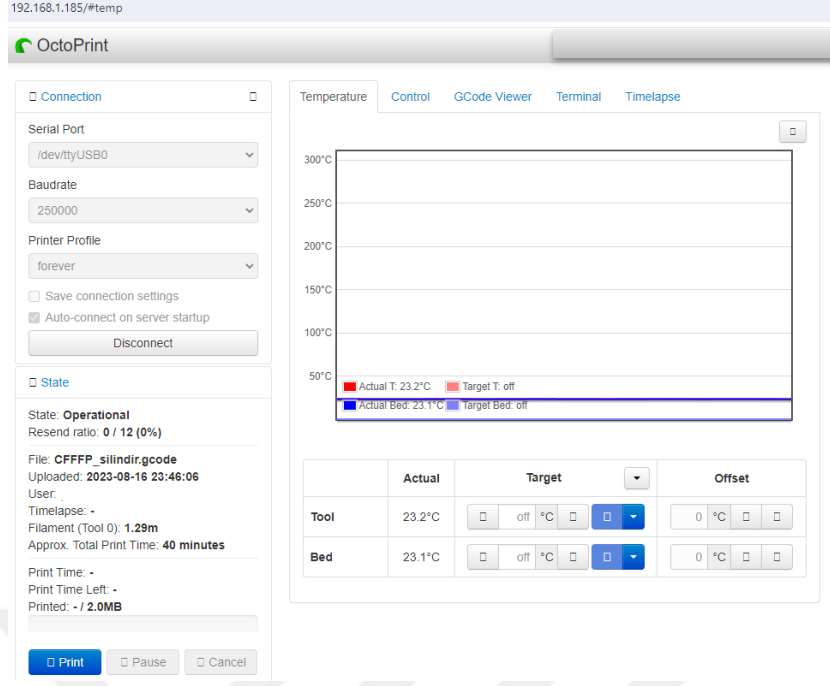
Saturn 3 Ultra, 4G RAM'li yeni bir Linux işletim sistemi tarafından desteklenmektedir. Bu, dosya transferi ve daha hızlı hesaplama açısından fayda sağlamaktadır. Kablosuz Dosya Aktarımını destekleyen yazıcı, 6-10Mbps transfer hızlarına sahip Wi-Fi ile uyumludur ve bilgisayardan veya mobil cihazdan dosya aktarımında esneklik sağlamaktadır (Eleego, 2023). Şekil 3.24'te Elegoo Saturn 3 Ultra 12K yazıcısına ait bir görsel sunulmuştur.



Şekil 3.24. Elegoo Saturn 3 Ultra 12K (Eleego, 2023).

3.6.1.3. Nesnelerin Yazıcılar ile Üretilmesi

3B yazıcıların üretim yapabilmesi için dilimleme işleminin yapılması gerekmektedir. Dilimleme işlemi 3B yazıcıya dair tüm parametreleri içerir. Fan çalışma hızı, maddenin içinin doluluk oranı, püskürtülen maddenin inceliği vb. tüm özellikler dilimleme ile kontrol edilmektedir. Bu çalışmada ücretsiz bir uygulama olan Cura ile dilimleme işlemi yapılmış ve modelin g-code' u oluşturulmuştur. G-kod oluşturulduktan sonra açık kaynak kodlu bir uygulama olan Octoprint ortamına yüklenmiş ve yazma işlemi başlatılmıştır. Raspberry Pi cihazına bir işletim sistemi olarak kurulan Octoprint ara yüzüne herhangi bir tarayıcı ile ulaşılabilir. Octoprint ortamından bir ekran görüntüsü Şekil 3.25'te verilmiştir. Yazma işlemi de nesneden nesneye göre değişmekle beraber çalışmada kullanılan objelerin üretilmesi her bir nesne için yaklaşık 4 saat sürmüştür.



Şekil 3.25. Octoprint Yazılımı Arayüzü

Bu yazılım ile basım aşamasını başlatma, duraklatma ve iptal etme gibi kontrolleri yapmak mümkün hale gelmiştir. Burada geliştirilen deney ortamı ile yazıcıya gönderilen modeller GEEETech Prusa i3 Pro B yazıcısı ile üretilmiştir. Üretimde püskürtücü sıcaklığı 200 °C derece olup yatak sıcaklığı ise 60 santigrad derecedir. Üretimin yapıldığı filamentin teknik özellikleri Çizelge 3.2'de belirtilmiştir. Üretimde nozzle sıcaklığı 200 °C olup yatak sıcaklığı ise 60 °C derecedir.

Çizelge 3.2. FDM Yazıcıda Kullanılan Filamentin Teknik Özellikleri
(3dFilamex, 2023)

Çap	1,75 mm
Çap Hassasiyeti	±0,01 mm
Eksen Daireselliği	±0,01 mm
Baskı Sıcaklığı	190-220 °C
Tabla Sıcaklığı	0-80 °C

Sonrasında Elegoo Satürn 3 ultra 12k yazıcısı ile de modellerin çıktılarını elde edilmiştir. Elde edilen tüm ürünler değerlendirme kriterlerine tabi tutularak incelemeleri yapılmıştır. Modellenmek istenen bir nesnenin 2 farklı modeli ve 2 farklı yazıcı ile üretimi sağlanmış ve modeller kıyaslandığında şekil olarak çok yüksek bir benzerliğin yakalandığı tespit edilmiştir.

Ürün yazıcıdan çıktıktan sonra alkolde 5 dakika bekletildikten sonra 405 nanometre ışında kürlenerek hazır hale gelmektedir. Çizelge 3.3'te SLA yazıcı için kullanılan Anycubic UV HD reçinenin teknik özellikleri belirtilmektedir.

Çizelge 3.3. SLA Yazıcıda Kullanılan Reçine Teknik Özellikleri

(3d3teknoloji, 2023)

Yüzey Sertliği	84 HS
Çekme Mukavemeti Sertliği	36-52 MPa
Büzülme	%3,72 - %4,24
Uv Dalga Uzunlukları	355 - 410 nm
Kür Hızı	1,5-2,5 sn
Yıkama	IPA (İzopropil Alkol)

Elegoo Satürn 3 Ultra 12k yazıcısı kapalı olarak çalıştığı için anlık fotoğraf çekimi mümkün olmamaktadır. Şekil 3.26'da üretim, alkolde bekletme ve kürlenmenin yapıldığı cihazlar gösterilmektedir. Böylece 2 farklı yolla üretilen iki farklı model, çalışma prensipleri ve kullandıkları malzemelerin farklı olduğu iki yazıcı ile de üretilmiştir. Üretim aşamasında Elegoo şirketinin kendi arayüzü kullanılmaktadır.



Şekil 3.26. Elegoo Satürn 3 Ultra 12k ve Üretim Seti

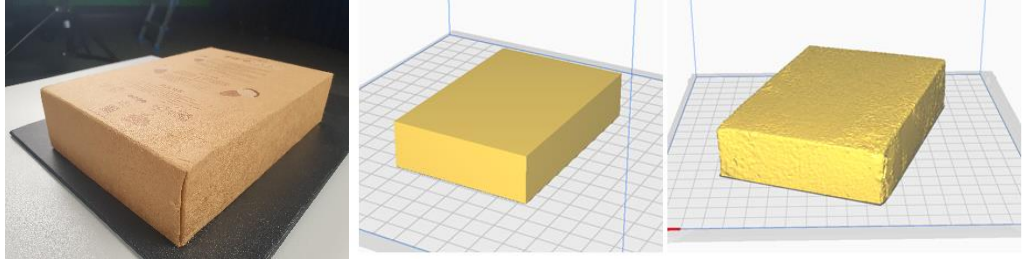
Bu sistematik takip edilerek 13 farklı üretim deneyi yapılmıştır. Ürünler farklı tip yazıcılarla üretildikleri için baskının görünüm ve kaliteleri farklı olarak gözükmemektedir. Basım tamamlandıktan sonra üretilen ürünlerin geometrileri görüntü işleme metotlarıyla analiz edilmiş ve sonuçları paylaşılmıştır.

3.6.2. CAD ve Fotoğraf Yoluyla Modelleme ile Üretim Denemeleri

Bu çalışma kapsamında aşağıda verilen toplam 13 nesne için modelleme ve üretim işlemleri gerçekleştirilmiştir.

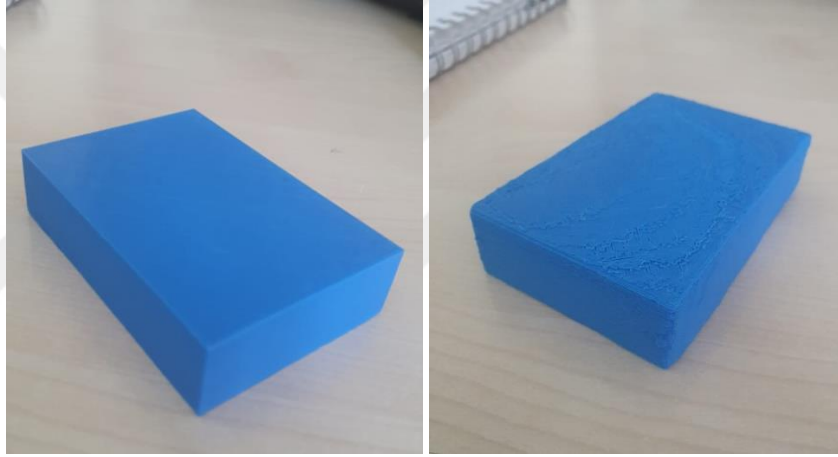
3.6.2.1. Nesne 1 Deneyi

Bu deneyde nesnenin manuel olarak ve fotoğraflarına uygulanan işlemler ile 3B modeli oluşturulmuştur. Nesnenin orijinali, çizim ile üretilen model ve fotoğraflar üretilen model Şekil 3.27'de gösterilmektedir. Nesnenin 95 adet fotoğrafı çekilmiştir. Nesnenin fotoğrafları Samsung Galaxy S10e modeli mobil telefon ile çekilmiştir. Telefonun kamerası 12 MP ve Ekran Çözünürlüğü 1080x228 pikseldir.



Şekil 3.27. Nesne 1' in Orjinali, Bilgisayar Destekli Çizim ile Üretilen Modeli ve Fotoğraf Yolu ile Elde Edilen Modeli

FDM yazıcı ile üretilen modellerin ürünleri Şekil 3.28'de gösterilmektedir. GEEETech Prusa i3 Pro B yazıcısı ile üretilen her iki modelin üretim süresi yaklaşık 4 saattir.



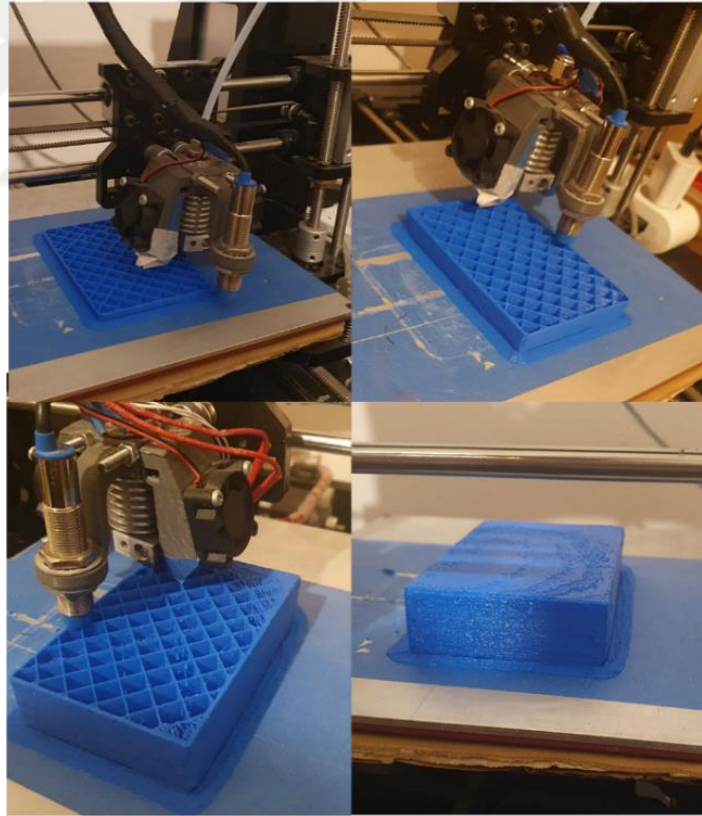
Şekil 3.28. FDM Yazıcıdan Manuel Çizim ile Üretilen 3B Model ve Fotoğraf Çekimi ile Üretilen 3B Model

İlk olarak manuel olarak üretilen modelin üretimi tamamlanmıştır. Daha sonra aynı model Elegoo Satürn 3 ultra 12k yazıcısı ile de üretilmiştir. SLA yazıcıda üretim yapıldıktan sonra 5 dakika alkol içerisinde bekletilmiş ve sonrasında 405 nanometre ışın ile kürlenmiştir. Nesnelerin SLA yazıcı ile üretilmiş sonuçları Şekil 3.29'da gösterilmektedir.



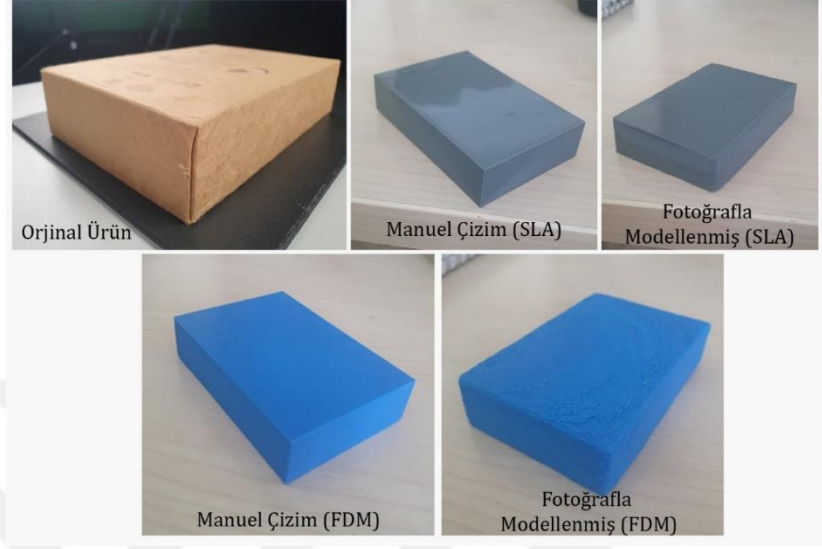
Şekil 3.29. SLA Yazıcıdan Manuel Çizim ile Üretilen 3B Model ve Fotoğraf Çekimi ile Üretilen 3B Model

Aynı şekilde fotogrametri ile üretilen model de yukarıdaki 2 yazıcı ile üretilmiştir. Şekil 3.30'da nesnenin FDM yazıcı ile üretiminden örnek görüntüler sunulmuştur.



Şekil 3.30. Nesne 1' e Ait FDM Yazıcı ile Üretim Aşaması

Şekil 3.31’de nesnenin orijinal hali, çizim ile oluşturulan 3B modelden elde edilen sonucu ve fotogrametri ile modellemeden elde edilen 3B modelin sonucuyla birlikte gösterilmiştir.

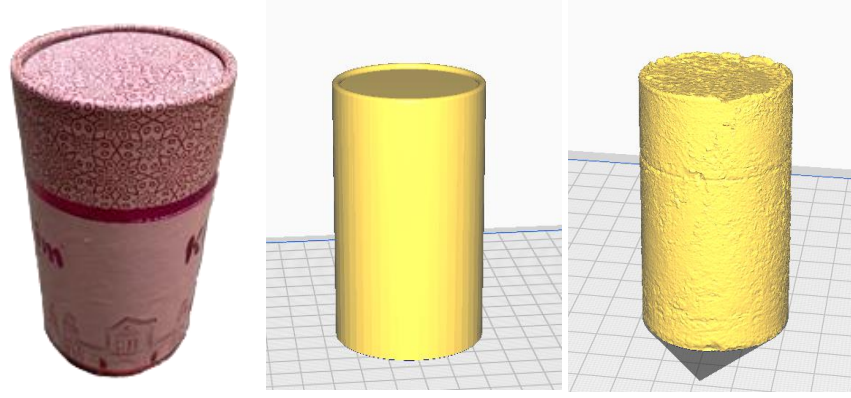


Şekil 3.31. Nesne 1' in Orijinali ve Üretilmiş Hallerinin Görselleri

Üretimler tamamlandıktan sonra ürünler farklı açılardan fotoğrafları çekilerek geometrik uyumları kıyaslanarak analiz edilmiştir.

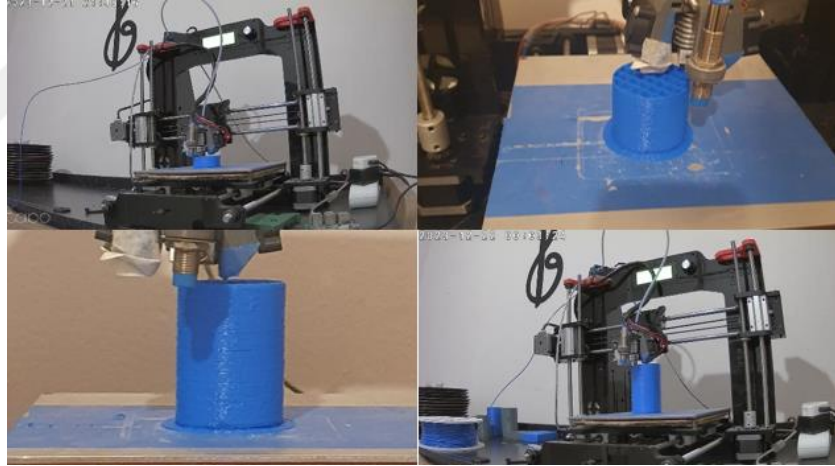
3.6.3.2. Nesne 2 Deneyi

2. Deneyde ise nesnenin manuel çizim ve fotoğraf ile modelleme olmak üzere 2 farklı modeli tasarlanmıştır. Nesnenin 124 adet fotoğrafı çekilmiştir. Nesnenin fotoğrafları yukarıdaki deneyde olduğu gibi Samsung Galaxy S10e mobil telefonuyla çekilmiştir. Bu nesne için 124 farklı fotoğraf kullanılmıştır. Nesnenin orijinal görüntüsü ve elde edilen modeller Şekil 3.32’de gösterilmektedir.



Şekil 3.32. Nesne 2' nin Orjinali, Bilgisayar Destekli Çizim ile Üretilen Modeli ve Fotoğraf Yolu ile Elde Edilen Modeli

Modellerin üretilmesinden sonra modeller dilimleme yazılımlarıyla üretime hazır hale getirilmiştir. Dilimleme yapıldıktan sonra yukarıda anlatıldığı gibi FDM yazıcı için Octorpint yazılımı kullanılarak basım işlemi başlatılmıştır. Üretim aşamasından belirli zamanlara ait görüntüler Şekil 3.33'te gösterilmektedir.



Şekil 3.33. Nesne 2' nin FDM Üretim Aşamaları

Üretimler tamamlandıktan sonra ise analiz işlemlerine geçilmiştir. Nesnenin orjinali ve yapılan tüm üretimler Şekil 3.34'te gösterilmektedir.

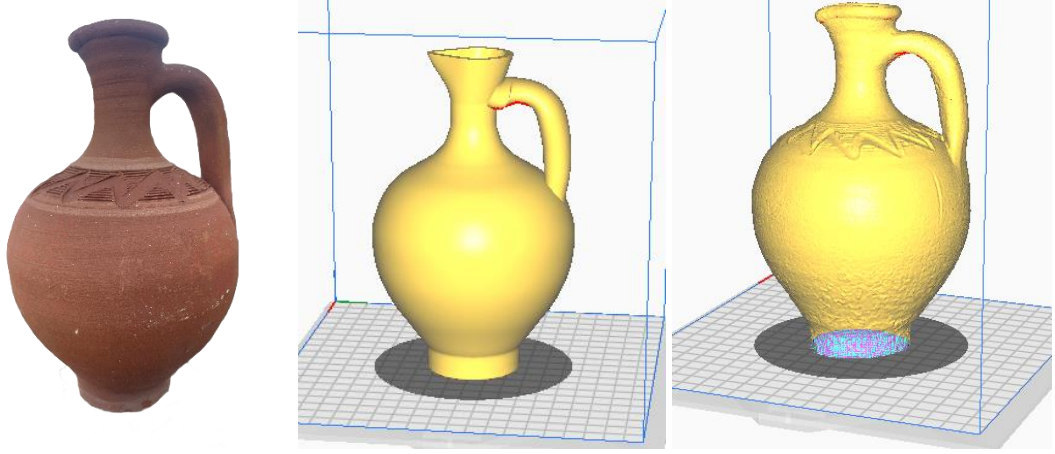


Şekil 3.34. Nesne 2' nin Orjinali ve Üretilmiş Hallerinin Görselleri

Üretim aşamaları tamamlandıktan sonra 3.8.2.1 numaralı başlıkta olduğu gibi SLA yazıcı ile üretilen ürünler kendi aralarında FDM ile yazıcı ile üretilen ürünler kendi aralarında analiz edilmiştir.

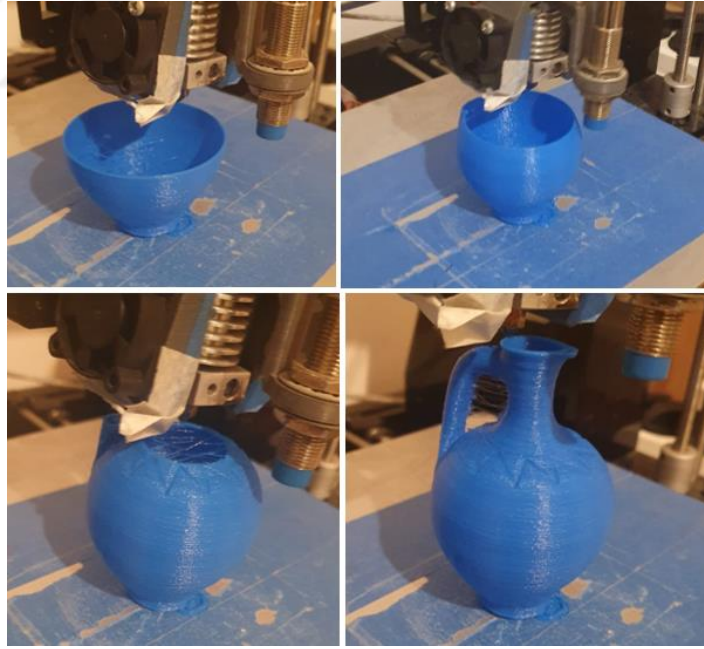
3.6.3.3. Nesne 3 Deneyi

3. Deneyde nesnenin manuel çizim ile elde edilen ve fotoğraf ile elde edilen 2 farklı modeli tasarlanmıştır. Nesne bir tripod üzerine yerleştirilerek etrafında gezmek suretiyle fotoğrafları çekilmiştir. Nesnenin 254 adet fotoğrafı çekilmiştir. Bu nesnenin fotoğrafları Iphone 12 mobil telefonunun kamerası ile çekilmiştir. Iphone 12' nin kamerası 12 MP olup çözünürlüğü ise 2532x1170 pikseldir. Nesnenin orijinal görüntüsü ve elde edilen modeller Şekil 3.35'te gösterilmektedir.



Şekil 3.35 Nesne 3' ün Orjinali, Bilgisayar Destekli Çizim ile Üretilen Modeli ve Fotoğraf Yolu ile Elde Edilen Modeli

Model üretimi tamamlandıktan sonra modellerin dilimlemesi yapılmıştır. Üretime hazır hale gelen modellerin FDM yazıcı ile Octoprint yazılımı aracılığıyla basım işlemi yapılmıştır. Üretim aşamasından belirli aralıklara ait görüntüler Şekil 3.36'da gösterilmektedir.



Şekil 3.36. Nesne 3' e Ait Üretim Aşamaları

Şekil 3.37'de ise ürünün SLA yazıcı ile üretimine ait görseller yer almaktadır. SLA yazıcı için kütleme işlemi olduğu için ve üretim tablası FDM yazıcıya göre ters olarak yapıldığı için aşağıdaki görseller ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.37. Nesne 3' ün Orjinali ve Üretilmiş Hallerinin Görselleri

Üretimler tamamlandıktan sonra ise analiz işlemleri başlatılmıştır. Nesnenin orijinali ve yapılan tüm üretimler Şekil 3.38'de gösterilmektedir.

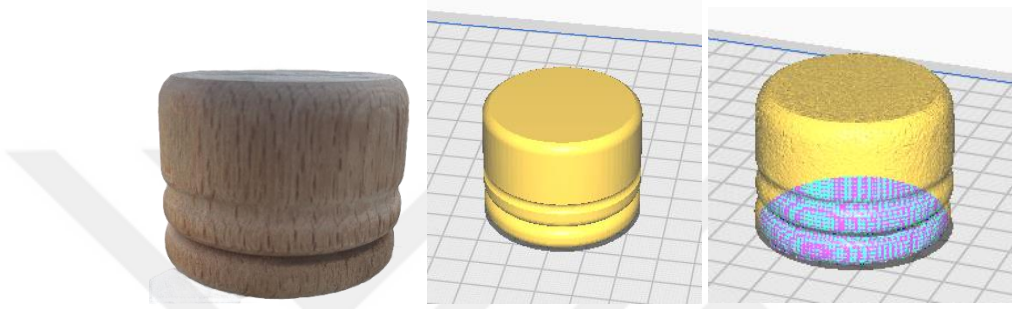


Şekil 3.38. Nesne 3' ün Orjinali ve Üretilmiş Hallerinin Görselleri

Üretim aşamaları tamamlandıktan sonra 3.8.2 numaralı başlıkta olduğu gibi SLA yazıcı ile üretilen ürünler kendi aralarında FDM ile yazıcı ile üretilen ürünler kendi aralarında olmak üzere görüntü işleme metotlarıyla analiz edilmiştir.

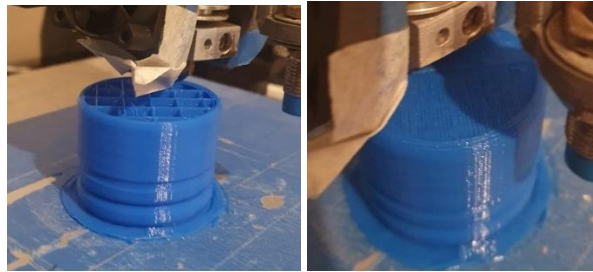
3.6.3.4. Nesne 4 Deneyi

4. Deneyde nesne manuel çizim ile ve fotoğraf yoluyla elde edilen 2 farklı model meydana getirilmiştir. Nesne bir tripod üzerine koyulmuştur ve fotoğrafları alınmıştır. Nesnenin 165 adet fotoğrafı çekilmiştir. Nesne fotoğrafı çekimi işlemleri Iphone 12 mobil telefonunun kamerası ile alınmıştır. Nesnenin orijinal görüntüsü ve elde edilen modeller Şekil 3.39'da gösterilmektedir.



Şekil 3.39. Nesne 5' in Orjinali, Manuel Çizim ile Üretilen Modeli ve Fotoğraf Yolu ile Elde Edilen Modeli

Manuel çizim ile ve fotoğraf yoluyla model elde edilmesi işlemlerinden sonra modellerin yazdırılmaya hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Bu aşama için dilimleme işlemleri yapılmıştır. Dilimleme tamamlandıktan sonra FDM yazıcı ile baskı yapılması amacıyla Octorpint yazılımının arayüzü kullanılmıştır. Sonrasında basım işlemi tamamlanmıştır. Üretim aşamasından belirli zamanlara ait görüntüler Şekil 3.40'ta gösterilmektedir.



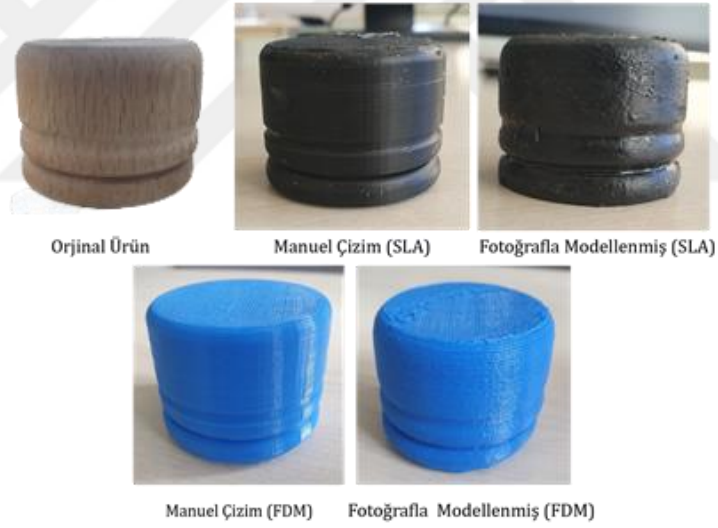
Şekil 3.40. Nesne 4' e Ait Üretim Aşaması

Şekil 3.41’de ise nesnenin SLA yazıcı ile üretimine dair görseller bulunmaktadır. SLA yazıcıdan alınan ürün için kürleme işlemi uygulanmıştır. Aynı şekilde model sonucunun tabla üzerindeki hali de şekilde görüntülenmektedir.



Şekil 3.41. Nesne 4’ ün SLA Yazıcı ile Üretim Aşamaları

Üretimler tamamlandıktan sonra ise analiz işlemleri yapılmıştır. Nesnenin orijinali ve tüm üretimler Şekil 3.42’de gösterilmektedir.

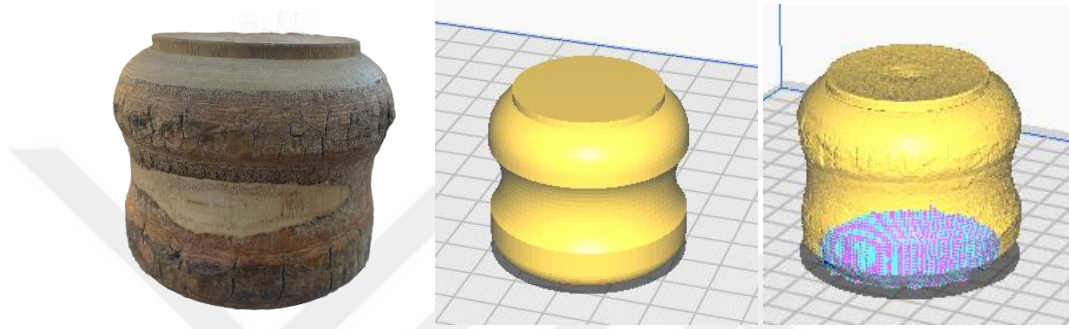


Şekil 3.42. Nesne 4’ ün Orjinali ve Tüm Üretimler

Nesnenin üretim aşamaları tümüyle sona erdiğinde analiz çalışmalarına geçiş yapılmıştır. SLA ve FDM yazıcılar ile üretilen fotoğraf eldesi ile oluşturulan modeller ile manuel çizim yoluyla üretilen ürünler benzerlik yönünden görüntü işleme metotlarıyla analiz edilmiştir.

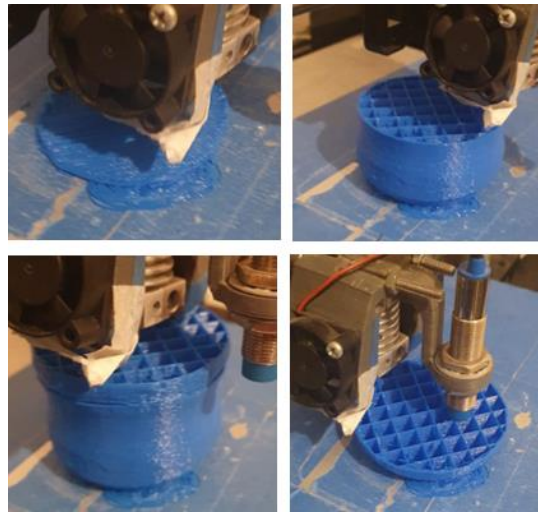
3.6.3.5. Nesne 5 Deneyi

5. Deneyde ise nesneye manuel çizim ile elde edilmiştir. Ayrıca fotoğraf çekimi yolu ile de elde edilen modeller üretilmiştir. Bu nesnenin fotoğrafları Iphone 12 mobil telefonunun kamerası ile çekilmiştir. Nesnenin 126 adet fotoğrafı çekilmiştir. Nesnenin orijinal görüntüsü ve elde edilen modeller Şekil 3.43'te gösterilmektedir.



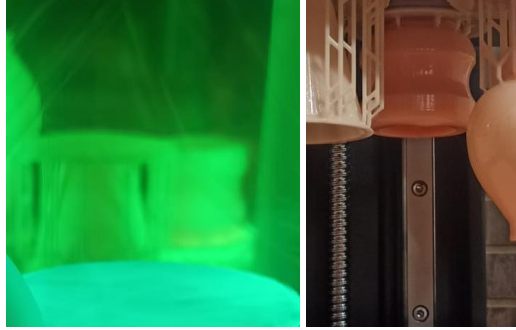
Şekil 3.43. Nesne 6' in Orjinali, Manuel Çizim ile Üretilen Modeli ve Fotoğraf Yolu ile Elde Edilen Modeli

Modellerin üretildikten sonra dilimleme işlemleri tamamlanarak üretime aşaması için hazırlanmıştır. Dilimleme işlemleri tamamlandıktan sonra FDM yazıcı ile baskı almak için Octoprint yazılımı kullanılmıştır Yazılımın arayüzü ile üretim başlatılmıştır. Üretim tamamlandıktan sonra işleme son verilmiştir. Üretim aşamasından belirli görüntüler Şekil 3.44'te gösterilmektedir.



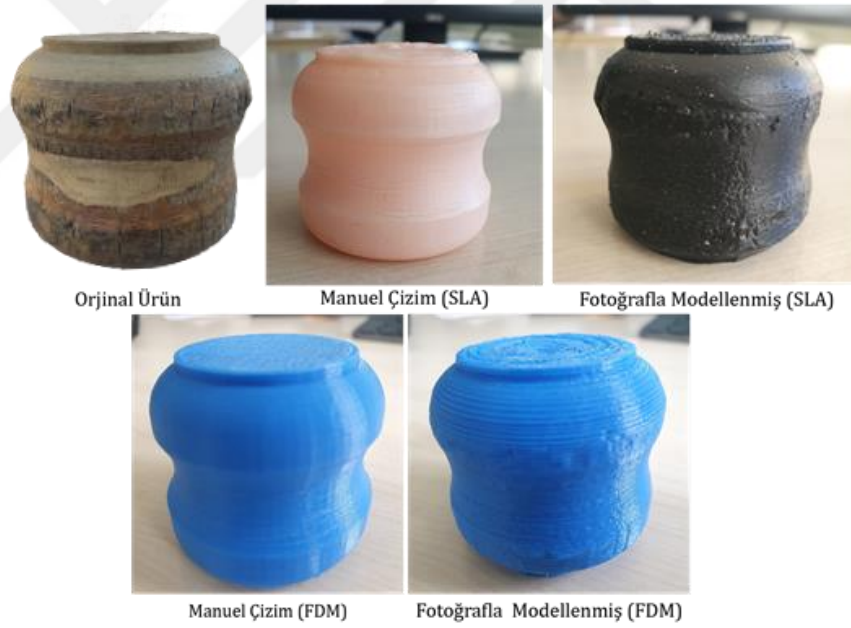
Şekil 3.44. Nesne 5' e Ait Üretim Aşamaları

Şekil 3.45'te ise ürünün SLA yazıcı ile üretimine dair görseller gösterilmektedir. SLA yazıcıdan kürleme alanında ve üretimin sonundaki görüntüleri bu fotoğraflarda görmek mümkündür.



Şekil 3.45. Nesne 5' in SLA Yazıcıdaki Üretim Aşamaları

Nesnenin orijinali ve tüm üretimler Şekil 3.46'da verilmiştir.

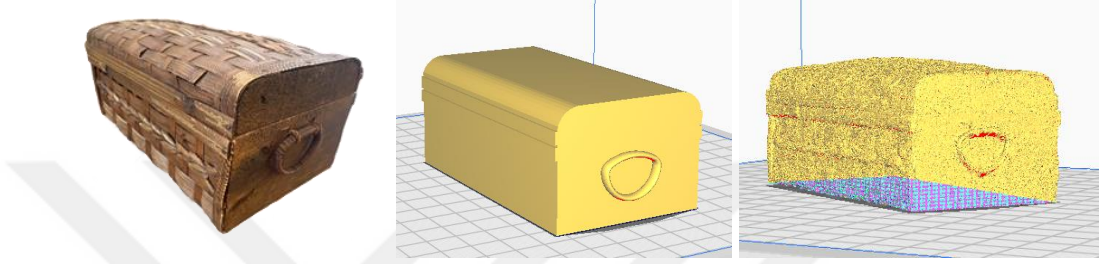


Şekil 3.46. Nesne 5' in Orjinali ve Tüm Üretimler

Üretim aşamaları tamamlandıktan sonra üretilen nesneler üretildikleri yazıcıya uygun olarak manuel model ve fotoğraf ile elde edilen modeller arasındaki benzerlik oranları görüntü işleme metotlarıyla analiz edilmiştir.

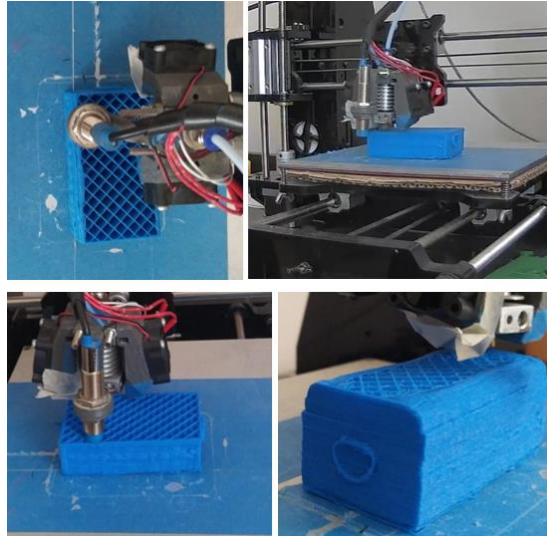
3.6.3.6. Nesne 6 Deneyi

6. Deneyde ise nesnenin biri manuel çizim ile biri fotoğraf yoluyla model elde etme yöntemleri olmak üzere 2 farklı yöntem ile 2 farklı model elde edilmiştir. Fotoğraf yolu ile model elde etmek için nesnenin fotoğrafları Iphone 12 mobil telefonunun kamerası ile çekilmiştir. Nesnenin 328 adet fotoğrafı çekilmiştir. Nesnenin orijinal görüntüsü ve elde edilen modeller Şekil 3.47'de gösterilmektedir.



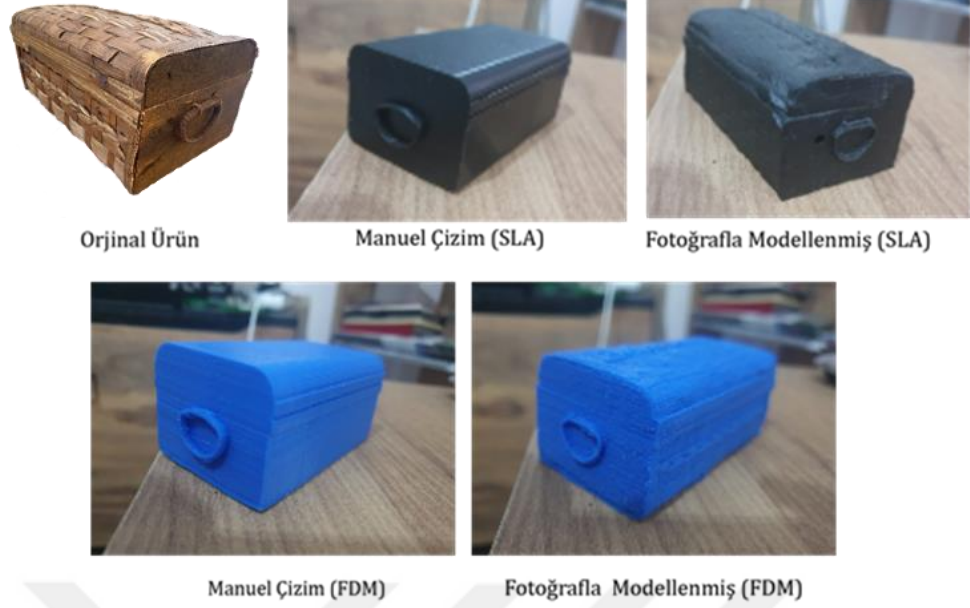
Şekil 3.47. Nesne 6' nın Orijinali, Manuel Çizim ile Üretilen Modeli ve Fotoğraf Yolu ile Elde Edilen Modeli

Modellerin üretim aşaması tamamlandıktan sonra 3B yazıcıda basılabilmesi için gerekli adımlar yerine getirilmiştir. Öncelikle dilimlemeleri yapılmıştır. Sonrasında oluşan g-code 3B yazıcıya gönderilerek çıktısı alınması sağlanmıştır. FDM yazıcı ile üretimi aşamasından belirli görüntüler Şekil 3.48'de paylaşılmıştır.



Şekil 3.48. Nesne 6' nın Ait Üretim Aşamaları

Nesnenin orijinali ve tüm üretimler Şekil 3.49'da gözlemlenmektedir.



Şekil 3.49. Nesne 6' nın Orjinali ve Tüm Üretimleri

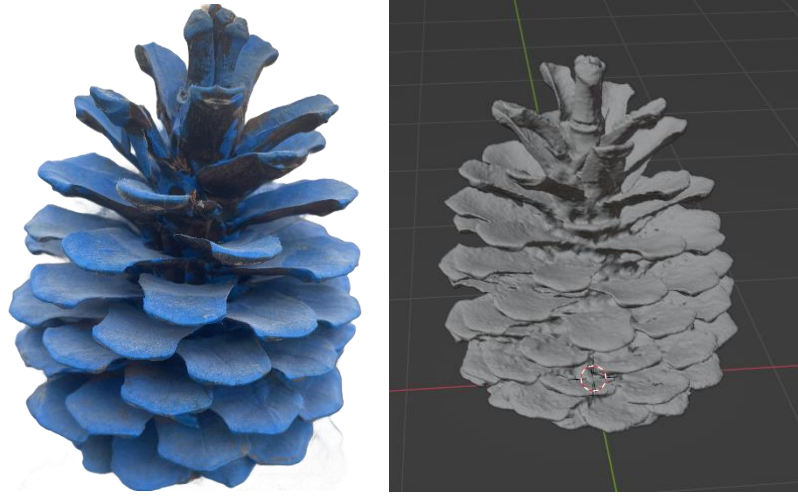
Nesnenin üretim aşamasının sona ermesiyle birlikte analiz aşamasına geçilmiştir. Nesnenin FDM ile üretilen 2 modeli ve SLA ile üretilen iki modeli görüntü işleme metotlarıyla değerlendirilmiştir. Değerlendirme işleminde fotoğraflar arasındaki benzerlik oranı tespit edilmiştir.

3.6.4. Sadece Fotoğraf Yoluyla Modelleme ve Üretim Denemeleri

Çalışmanın bu bölümünde bilgisayar destekli çizimi ve modellemesi mümkün olmayan ya da çok profesyonel tasarım bilgisi gerektiren objeler için çalışma kapsamında kullanılan fotoğraf temelli modellemeden faydalanılarak objelerin modellenmesi ve üretimi yapılmıştır. Bu kapsamda aşağıdaki nesnelere için modelleme ve üretim çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

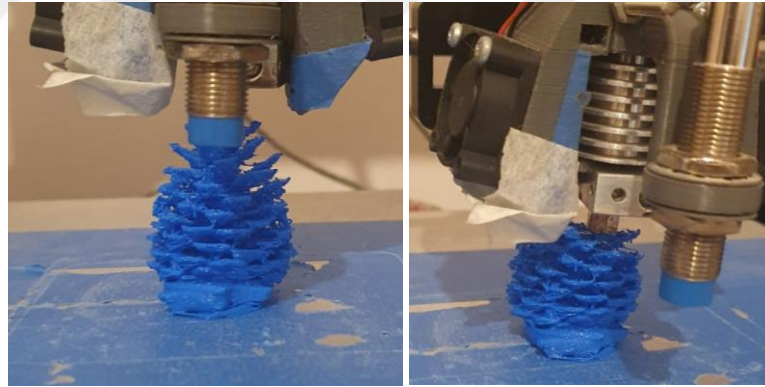
3.6.4.1. Nesne 7 Deneyi

Bu aşamadaki ilk deneyde ise nesnenin fotoğrafları çekilerek model üretimi sağlanmıştır. Bu nesnenin fotoğrafları Iphone 12 mobil telefonunun kamerası ile alınmıştır. Nesnenin 255 adet fotoğrafı çekilmiştir. Nesnenin orijinal görüntüsü ve elde edilen modeli Şekil 3.50'de verilmiştir.



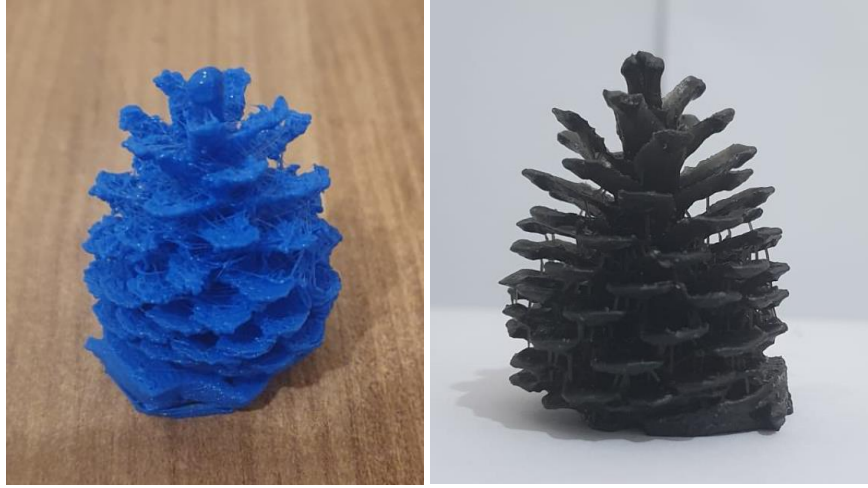
Şekil 3.50. Nesne 7' nin Orjinali ve Modeli

Model üretildikten sonra dilimleme işlemi tamamlanarak üretim aşaması için hazırlanmıştır. Octoprint arayüzü ile FDM yazıcısı için üretimi başlatılmıştır. Üretim tamamlandıktan sonra işleme son verilmiştir. AÜretim aşamasından belirli görüntüler Şekil 3.51'de gösterilmektedir.



Şekil 3.51. Nesne 7' ye Ait Üretim Aşamaları

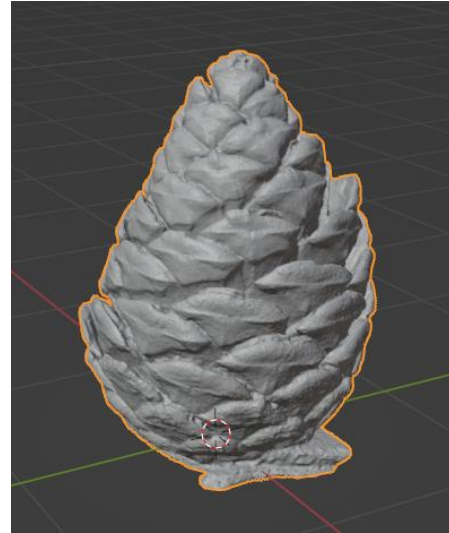
Aynı model SLA yazıcı ile de üretilmiştir. Nesnenin üretimi tamamlandıktan sonraki FDM ve SLA yazıcı ile alınan görüntüleri Şekil 3.52'de gösterilmektedir. Mavi renki olanlar FDM, siyah renktekiler ise SLA yazıcı ile üretilmiştir. Üretilen baskıların orijinal nesne ile uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 3.52. Nesne 7' ye Ait FDM ve SLA Yazıcı Baskıları

3.6.4.2. Nesne 8 Deneyi

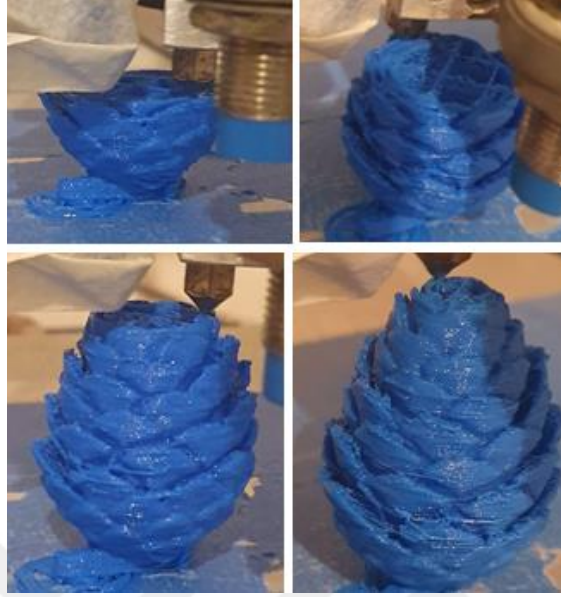
8. deneyde nesnenin fotoğrafları yoluyla model oluşturulmuştur. Nesnenin fotoğrafları Iphone 12 mobil telefonunun kamerası ile çekilmiştir. Nesnenin 245 adet fotoğrafı çekilmiştir. Nesnenin orijinal görüntüsü ve elde edilen modeli Şekil 3.53'te verilmiştir.



Şekil 3.53. Nesne 8' in Orjinali ve Modeli

Model üretimi tamamlandıktan sonra dilimleme aşamasına gelinmiştir. Dilimleme işlemi yapılarak modelin 3B yazdırma işlemine hazır hale gelmesinden

sonra Octoprint arayüzü kullanılarak FDM yazıcı ile üretimi yapılmıştır. Üretim aşamasından belirli görüntüler Şekil 3.54'te gösterilmektedir.



Şekil 3.54. Nesne 8' e Ait Üretim Aşamaları

Aynı model SLA yazıcı ile de üretilmiştir. Nesnenin FDM ve SLA yazıcılar ile üretilen görselleri Şekil 3.55'te paylaşılmıştır. Mavi renki olanlar FDM, siyah renktekiler ise SLA yazıcı ile üretilmiştir. Elde edilen ürünün geometrisinin nesnenin orijinal halinin geometrisiyle uyumlu olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 3.55. Nesne 8' e Ait FDM ve SLA Yazıcı Baskıları

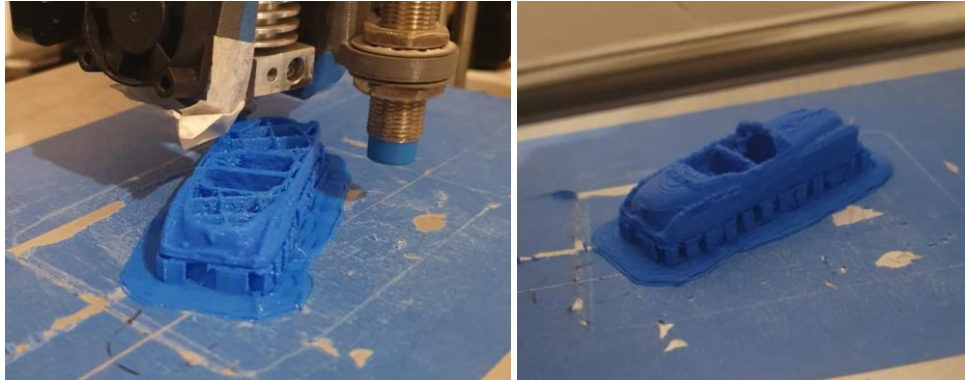
3.6.4.3. Nesne 9 Deneyi

9. deneyde nesnenin fotoğrafları üzerinden model üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu nesnenin fotoğrafları önceki çalışmalarda olduğu gibi Iphone 12 mobil telefonunun kamerası ile elde edilmiştir. Nesnenin 296 adet fotoğrafı çekilmiştir. Nesnenin orijinal görüntüsü ve elde edilen modeli Şekil 3.56'da verilmiştir.



Şekil 3.56. Nesne 9' un Orjinali ve Modeli

Dilimleme işlemi yapıldıktan sonra tarayıcı üzerinden Octoprint arayüzü ile FDM yazıcı ile üretimi yapılmıştır. Üretim aşamasından belirli aralıklar ile alınan görüntüler Şekil 3.57'de gösterilmektedir.



Şekil 3.57. Nesne 9' a Ait Üretim Aşamaları

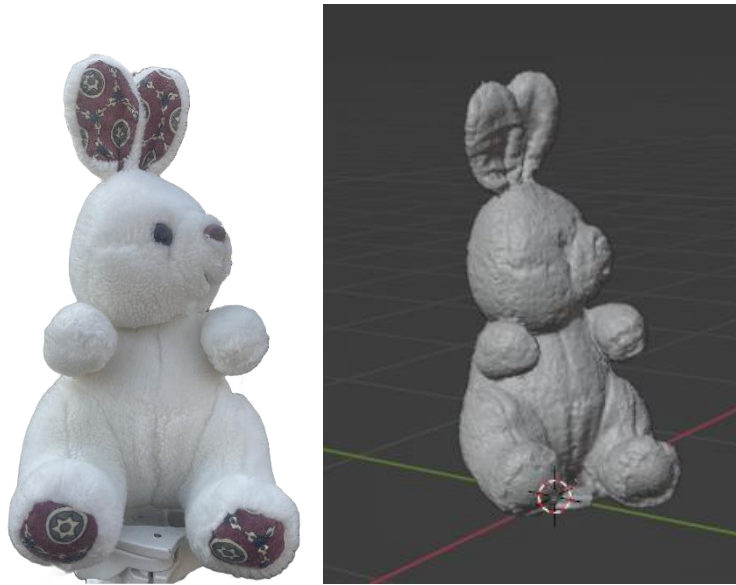
Aynı model SLA yazıcı ile de üretilmiştir. Üretimler tamamlandıktan sonra ürünlerin görünümünlerine ait görseller Şekil 3.58'de gösterilmektedir. Üretilen baskı ile elde edilen ürün geometrisinin orijinal ürünle tutarlılığı görülmektedir.



Şekil 3.58. Nesne 9' a Ait FDM ve SLA Yazıcı Baskıları

3.6.4.4. Nesne 10 Deneyi

10. deneyde nesnenin fotoğrafları kullanılarak bir model üretilmiştir. Bu nesnenin fotoğrafları önceki çalışmalarda olduğu gibi Iphone 12 mobil telefonunun kamerası ile elde edilmiştir. Nesnenin 296 adet fotoğrafı çekilmiştir. Nesnenin orijinal görüntüsü ve elde edilen modeli Şekil 3.59'da verilmiştir.



Şekil 3.59. Nesne 10 Orjinali ve Modeli

Üretilen modelin dilimleme işlemleri tamamlanarak üretim aşamasına geçilmiştir. FDM ve SLA yazıcılar ile üretimleri tamamlanmıştır. Üretimler gerçekleştirildikten sonra elde edilen baskıların görüntüleri Şekil 3.60'da paylaşılmıştır. Tamamlanan ürün ile orijinal nesnenin geometrik olarak uyumlu olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 3.60. Nesne 10' a Ait FDM ve SLA Yazıcı Baskıları

3.6.4.5. Nesne 11 Deneyi

11. deneyde nesnenin fotoğrafları kullanılarak bir model üretilmiştir. Bu nesnenin fotoğrafları önceki çalışmalarda olduğu gibi Iphone 12 mobil telefonunun kamerası ile elde edilmiştir. Nesnenin 291 adet fotoğrafı çekilmiştir. Nesnenin orijinal görüntüsü ve elde edilen modeli Şekil 3.61'de verilmiştir.



Şekil 3.61. Nesne 11 Orjinali ve Modeli

Üretilen modelin dilimleme işlemleri tamamlanarak üretim aşamasına geçilmiştir. Tarayıcı üzerinden Octoprint arayüzü vasıtasıyla FDM yazıcı ile

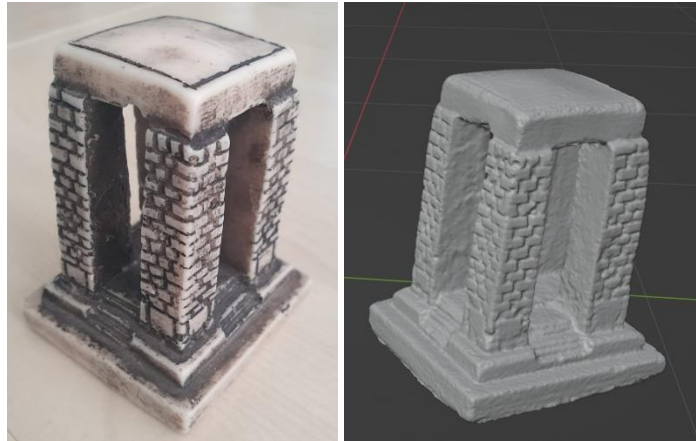
üretimi tamamlanmıştır. Daha sonra aynı model SLA yazıcı ile de üretilmiştir. Tamamlanan ürün ile orijinal nesnenin geometrik olarak uyumlu olduğu gözlemlenmektedir. Üretimler gerçekleştikten sonra elde edilen baskıların görüntüleri Şekil 3.62’de paylaşılmıştır.



Şekil 3.62. Nesne 11’ e Ait FDM ve SLA Yazıcı Baskıları

3.6.4.6. Nesne 12 Deneyi

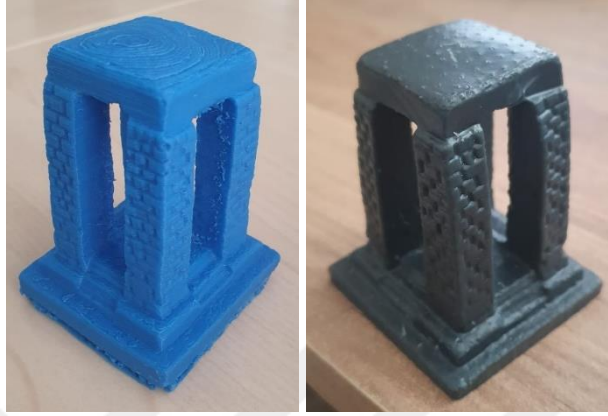
12. deneyde nesnenin fotoğrafları kullanılarak modelinin üretilmesi gerçekleştirilmiştir. Nesnenin fotoğrafları Iphone 12 mobil telefonunun kamerası ile edinilmiştir. Nesnenin 334 adet fotoğrafı çekilmiştir. Nesnenin orijinal görüntüsü ve elde edilen modeli Şekil 3.63’te verilmiştir.



Şekil 3.63. Nesne 12 Orjinali ve Modeli

Üretilen modelin dilimleme işlemleri tamamlanarak üretim aşamasına geçilmiştir. Tarayıcı üzerinden Octoprint arayüzü vasıtasıyla FDM yazıcı ile

üretimi tamamlanmıştır. Aynı model SLA yazıcı ile de üretilmiştir. Üretimler gerçekleşikten sonra elde edilen baskıların görüntüsü Şekil 3.64'te paylaşılmıştır. Tamamlanan ürün ile orijinal nesnenin geometrik olarak uyumlu olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 3.64. Nesne 12' ye Ait FDM ve SLA Yazıcı Baskıları

3.6.4.7. Nesne 13 Deneyi

13. deneyde nesnenin fotoğrafları ile modelinin üretilmesi işlemi yapılmıştır. Nesnenin fotoğrafları Iphone 12 mobil telefonunun kamerası ile alınmıştır. Nesnenin 270 adet fotoğrafı çekilmiştir. Nesnenin orijinal görüntüsü ve elde edilen modeli Şekil 3.65'te verilmiştir.



Şekil 3.65. Nesne 13 Orjinali ve Modeli

Üretilen modelin dilimleme işlemleri tamamlanarak üretim aşamasına geçilmiştir. Tarayıcı üzerinden Octoprint arayüzü vasıtasıyla FDM yazıcı ile üretimi tamamlanmıştır. Aynı model SLA yazıcı ile de üretilmiştir. Üretimler

gerçekleştikten sonra elde edilen baskıların görüntüsü Şekil 3.66'da paylaşılmıştır. Tamamlanan ürün ile orijinal nesnenin geometrik olarak uyumlu olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 3.66. Nesne 12' ye Ait FDM ve SLA Yazıcı Baskıları

3.7. Üretimleri Tamamlanan Modellerin Analiz Süreci

Yapılan tez çalışmasında deneyler sonrası ürün üretimi tamamlanmıştır. Çizimi yapılabilen nesnelerin modellerinin üretimleri ile fotoğraf yoluyla elde edilen modellerin ürünleri görüntü işleme metotları yardımıyla değerlendirilmiş ve sonuca ulaşılmıştır. Analiz aşamasında ilk olarak üretilen ürünlerin geometrik şeklini yansıtacak farklı açılardan fotoğraları çekilmiştir. FDM ve SLA yazıcılar ile üretilen ürünler kendi aralarında ayrı ayrı değerlendirmeye alınmış ve sonuçları belirtilmiştir. Görüntülerin hatalı sonuç vermemesi için öncelikle çekilen tüm fotoğrafların arka planları U²-net kütüphanesi kullanılarak temizlenmiştir. Temizlenme işlemi tamamlandıktan sonra ise farklı ürünlerin aynı açılardan çekilen resimleri diffimg kütüphanesi kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda elde edilen veriler kaydedilerek ortalama değere ulaşılmıştır.

U²-Net kütüphanesinde 3 temel morfolojik görüntü işleme adımı bulunmaktadır. Bunlar erozyon, genişleme ve kenar bulma adımlarıdır. Bu adımlar belirli bir hiyerarşi ve kontrol ile uygulanmaktadır. Şekil 3.67'de bu adımların uygulandığı kod bloğu gösterilmektedir.

```
python

thresh = cv2.erode(thresh, None, iterations=x)
thresh = cv2.dilate(thresh, None, iterations=y)

contours, hierarchy = cv2.findContours(
    thresh,
    cv2.RETR_TREE,
    cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE
)
```

Şekil 3.67. U²-Net Uygulanış Aşamasına Bir Örnek

Buradaki ana hedef fotoğrafın arkaplanını temizlemek olduğu için bu şekilde de bu hedef doğrultusunda işlem yapılmaktadır. Öncelikle belirlenen sayıda erozyon işlemi yapılmakta, sonrasında belirlenen sayıda genişleme yapılmaktadır. Bu kısım tamamlandıktan sonra ise kenar bulmaya yönelik bir algoritma uygulanmaktadır. Daha sonra bu kenarlar analiz edilerek optimize edilmektedir. En iyi sonucun alınması için iterasyonlar tekrarlanarak optimal sonuç elde edilmektedir.

Arkaplan temizleme işlemi yapıldıktan sonra elde edilen fotoğraflara diffing kütüphanesi uygulanmaktadır. Diffing sonuç olarak bir farklılık oranı ve farkları gösteren bir görsel sunmaktadır. Şekil 3.68' de kod bloğunda diffing işlemine dair bir örnek sunulmuştur.

```
from diffimg import diff

[ ] diff('1.jpg', '2.jpg')

0.06954587819370173
```

Şekil 3.68. Diffing Kullanımına Bir Örnek

Şekilde gösterildiği diffing kütüphanesi import ile tanımlandıktan sonra 2 resim verilerek uygulanmaktadır. Uygulanması sonrasında ise çıkan fark oranını matematiksel olarak ifade etmektedir. Kütüphane sonrasında ise farkları ayır

renklerde gösteren bir görsel üretmektedir. Bu görsellere bir örnek olarak Şekil 3.69' da paylaşılmıştır.



Şekil 3.69. Diffing Sonucu Olarak Oluşan Bir Fark Görseli

Yukarıdaki işlemler çizim ile ve fotoğraf yoluyla modelleme sonrası elde edilen modellerin üretilmesi sonucunda meydana gelen ürünler için yapılmıştır. Her bir ürün için elde edilen sonuçlar Araştırma Bulguları ve Tartışma başlığı hakkında incelenmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Değerlendirme işlemlerinde en önemli referans noktası cismin geometrisidir. Yapılan tez çalışmasının başlıca amacı mevcut var olan 3B bir nesnenin eşit geometriyle dijital ortamda da yer alabilmesidir. Bu tez çalışmasında hassas olarak yapılan ölçümlerle geliştirilen bilgisayar tabanlı çizim ile üretilen modelin ve fotoğraf yoluyla elde edilen modelin geometrik tutarlılıkları analiz edilmiştir. Geliştirilen uygulama aşamalarında elde edilen ürünler aşağıdaki kriterlere göre analiz edilmiştir. Belirlenen kriterler ise şeklin geometrisini ortaya koyan açılardan çekilen resimler üzerine kurulmuştur. Bilgisayar tabanlı çizim ile elde edilen model ile fotoğraf yoluyla elde edilen modellerin baskılarını sabit açıdan kamera ile nesnenin farklı yüzeylerinin fotoğrafları çekilmiştir. FDM yazıcı ile üretilen ürünler kendi aralarında SLA yazıcı ile üretilen ürünler kendi aralarında değerlendirilmiştir. Çekilen fotoğrafların geometrik olarak varsa farkları ortaya konulmuştur. Benzerlik oranı tespit edilerek genel oran saptanmıştır.

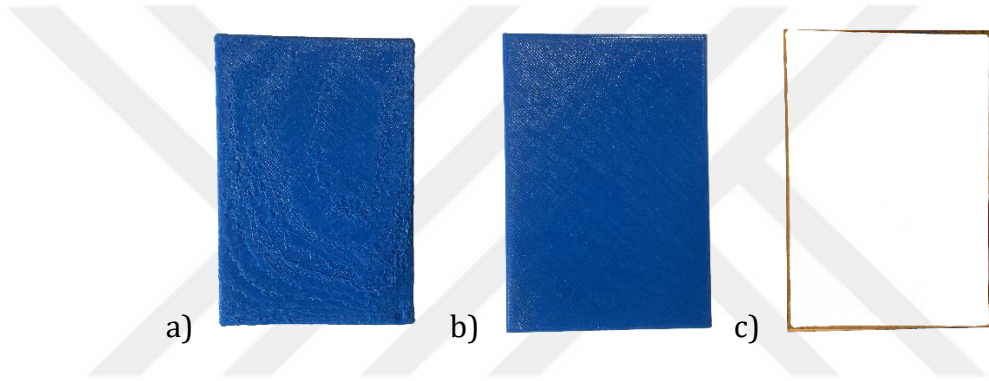
4.1. Üretilen Modellere Göre Elde Edilen Bulgular

Üretimleri ve analizleri tamamlanan nesnelere ait bulgular aşağıdaki başlıklarda değerlendirilmiştir. Bilgisayar tabanlı çizim ile gerçekleştirilen modellerin ürünleri ile fotoğraf çekimi ile gerçekleştirilen nesnelerin modelleri geometrik açıdan doğrulukları kanıtlanması amacıyla belirli açılardan fotoğrafları çekilmiştir. İlk fotoğraflar çizim ile üretilen modelin, ikinci fotoğraflar ise fotoğraf yoluyla elde edilen modelin ürünüdür. Çekilen fotoğrafların arkaplanları U²-net kütüphanesi kullanılarak temizlenmiştir (Qin, 2020). Daha sonra bu fotoğrafların benzerlik oranları tespit edilmiştir. Benzerlik oranları için ise diffimgekütüphanesinden yararlanılmıştır (Hahn, 2017).

4.1.1. Nesne 1 Deneyi Bulguları

4.1.1.1. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular

Nesneden üretilen bilgisayar tabanlı modelin baskısının ve fotoğraf yoluyla elde edilen modelin baskısının belirli açılardan fotoğrafları çekilmiştir. Çekilen fotoğrafların öncelikle “U²-net” kütüphanesiyle arkaplanları temizlendikten sonra “diffimg” kütüphanesi kullanılarak fotoğraflar arasındaki farkların yüzdesi tespit edilmiştir. FDM yazıcı ile üretilen baskılar için kullanılan görseller ve fark kısmını gösteren görsel Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,08 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %92 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



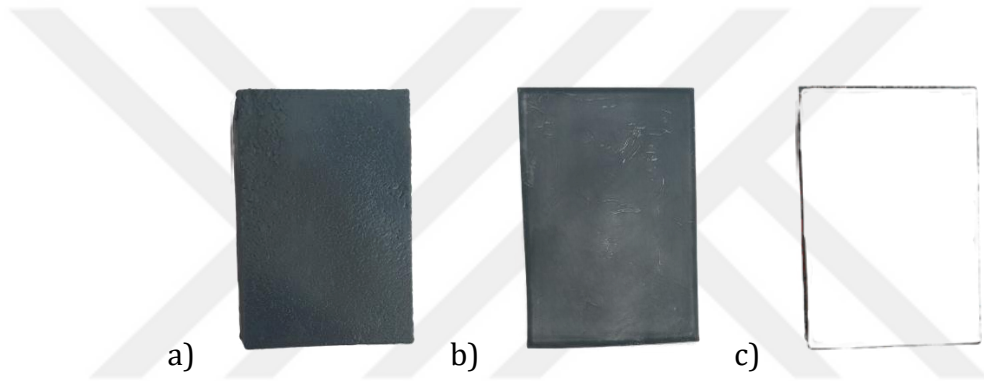
Şekil 4.2. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,03 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %97 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.

Yukarıdaki tüm görseller ele alındığında kutu kapağı nesnesinin FDM tipi yazıcı ile üretilen ürünler için hassas ölçüler ile çizilen modelin baskısı ile fotoğraf yoluyla elde edilen model baskısının benzerlik oranının ortalama yaklaşık %94,5 hesaplanmıştır. Geometrik benzerlik açısından yüksek bir oran olduğu söylenebilmektedir.

4.1.1.2. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular

FDM yazıcıdan alınan ürünler için yapılan çalışmalar SLA yazıcı ile de yapılmıştır. FDM yazıcı ile üretilen baskılar için kullanılan görseller ve fark kısmını gösteren görsel Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.3. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,06 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %94 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.4. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

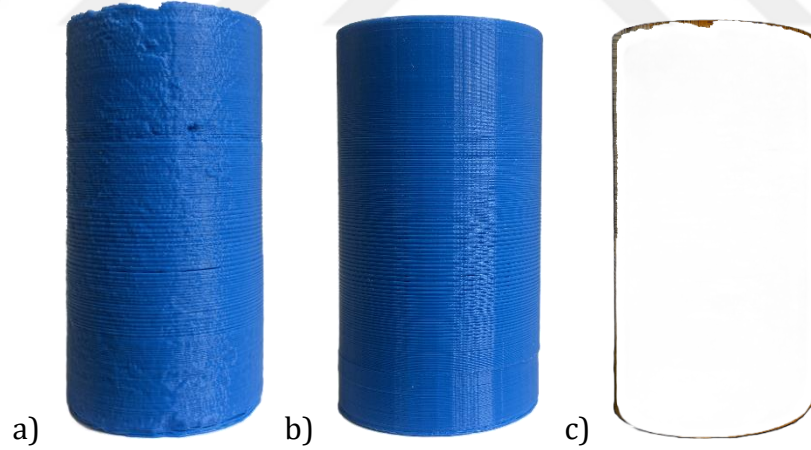
Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,07 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %93 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.

Yukarıdaki tüm görseller ele alındığında kutu kapağı nesnesinin SLA tipi yazıcı ile üretilen ürünler için hassas ölçüler ile çizilen modelin baskısı ile fotoğraf yoluyla elde edilen model baskısının benzerlik oranının ortalama yaklaşık %93.5 hesaplanmıştır. Geometrik benzerlik açısından yüksek bir oran kabul edilmektedir.

4.1.2. Nesne 2 Deneyi Bulguları

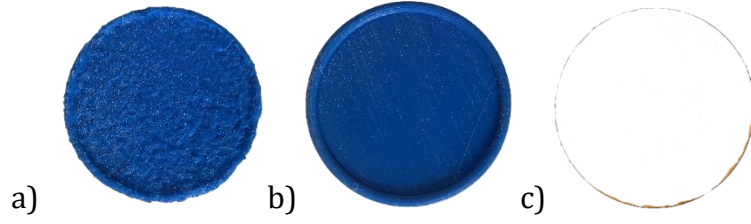
4.1.2.1. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular

Nesneden üretilen bilgisayar tabanlı modelin baskısının ve fotoğraf yoluyla elde edilen modelin baskısının belirli açılardan fotoğrafları çekilmiştir. Çekilen fotoğrafların öncelikle “U²-net” kütüphanesiyle arkaplanları temizlendikten sonra “diffing” kütüphanesi kullanılarak fotoğraflar arasındaki farkların yüzdesi tespit edilmiştir. FDM yazıcı ile üretilen baskılar için kullanılan görseller ve fark kısmını gösteren görsel Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da gösterilmektedir.



Şekil 4.5. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,05 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %95 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



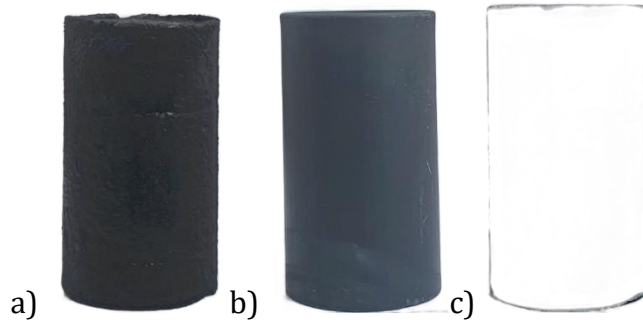
Şekil 4.6. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,05 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %95 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.

Yukarıdaki tüm görseller ele alındığında silindirik nesnenin FDM tipi yazıcı ile üretilen ürünler için hassas ölçüler ile çizilen modelin baskısı ile fotoğraf yoluyla elde edilen model baskısının benzerlik oranı yaklaşık %95 olarak tespit edilmiştir. Geometrik benzerlik açısından yüksek bir oran olduğu söylenebilmektedir.

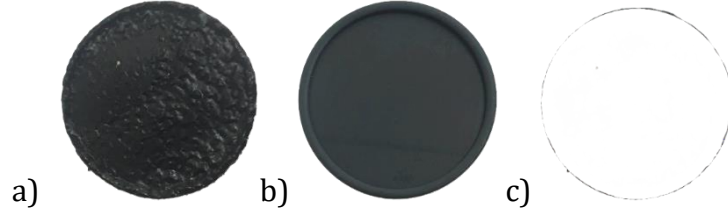
4.1.2.2. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular

FDM yazıcıdan üretilen ürünlere yapılan görüntü işleme işlemleri SLA yazıcıdan üretilen ürünler için de uygulanmıştır. SLA yazıcı ile üretilen baskılar için kullanılan görseller ve fark kısmını gösteren görsel Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de gösterilmektedir.



Şekil 4.7. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,05 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %95 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.8. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

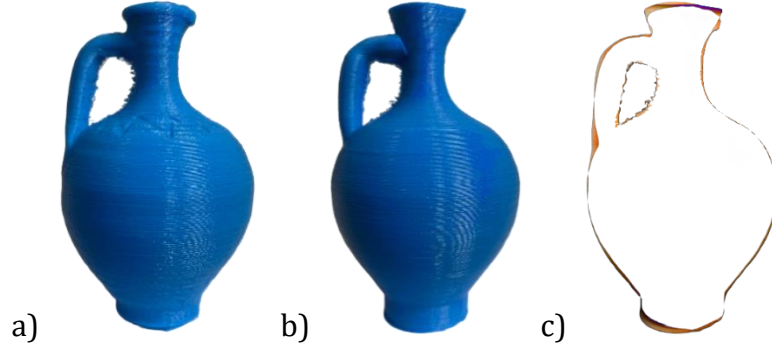
Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,04 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %96 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.

Yukarıdaki tüm görseller ele alındığında silindir nesnesinin SLA tipi yazıcı ile üretilen ürünler için hassas ölçüler ile çizilen modelin baskısı ile fotoğraf yoluyla elde edilen model baskısının benzerliği yaklaşık %95,5 hesaplanmıştır. Geometrik benzerlik açısından uygun bir oran olduğu söylenebilmektedir.

4.1.3. Nesne 3 Deneyi Bulguları

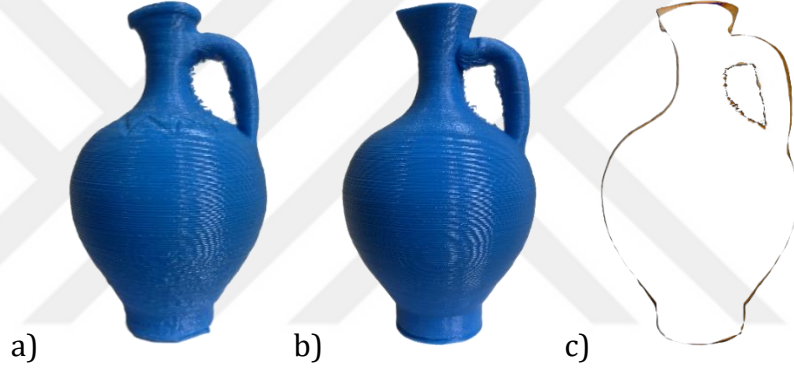
4.1.3.1. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular

Nesne 3 deneyi ile üretilen bilgisayar tabanlı modelin ürününün ve fotoğraf yoluyla elde edilen modelin ürününün belirli açılardan fotoğrafları çekilmiştir. Çekilen fotoğrafların yukarıda anlatıldığı gibi öncelikle “U²-net” kütüphanesiyle arkaplanları temizlenmiştir. Sonrasında “diffimg” kütüphanesi kullanılarak fotoğraflar arasındaki farkların yüzdesi tespit edilmiştir. FDM yazıcı ile üretilen ürünler kullanılarak yapılan değerlendirme için hazırlanan fotoğraflar fark kısmını gösteren görsel Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de gösterilmektedir.



Şekil 4.9. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,05 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %95 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.10. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,05 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %95 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



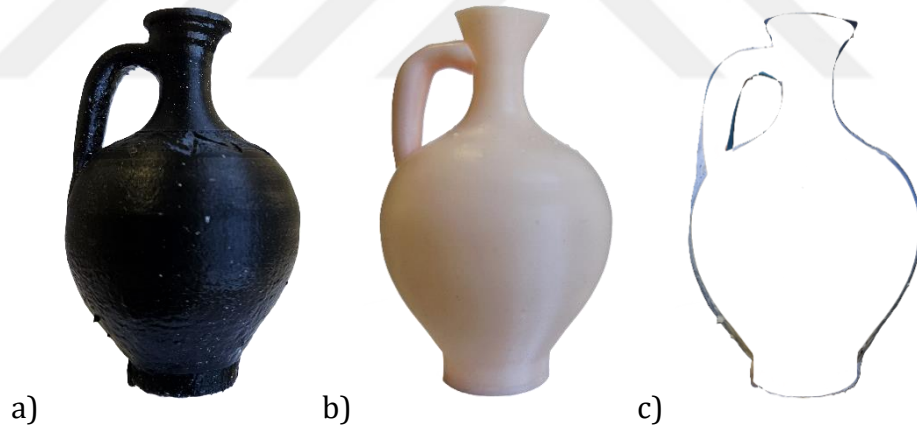
Şekil 4.11. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,07 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %93 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.

Yukarıdaki tüm görseller ele alındığında FDM tipi yazıcı ile üretilen ürünler için hassas ölçüler ile çizilen modelin baskısı ile fotoğraf yoluyla elde edilen model baskısının benzerlik oranının ortalama yaklaşık %94,3 hesaplanmıştır. Geometrik benzerlik açısından yüksek bir oran anlaşılmaktadır.

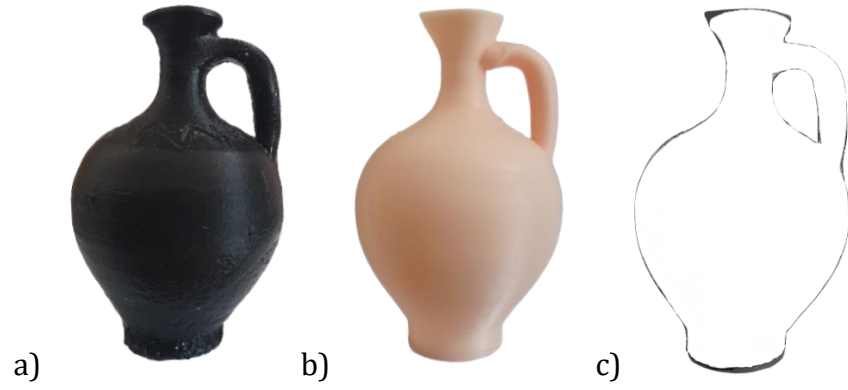
4.1.3.2. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular

SLA yazıcıdan alınan baskı ürünleri yukarıdaki hiyerarşi takip edilerek analiz edilmiştir. Burada farklı olarak üretimlerin renkleri farklı olduğu için diffing kütüphanesi kullanılmadan önce renk eşitleme yapılmıştır. SLA yazıcı ile üretilen ürünler kullanılarak yapılan değerlendirme için hazırlanan fotoğraflar fark kısmını gösteren görsel Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14' ta gösterilmektedir.



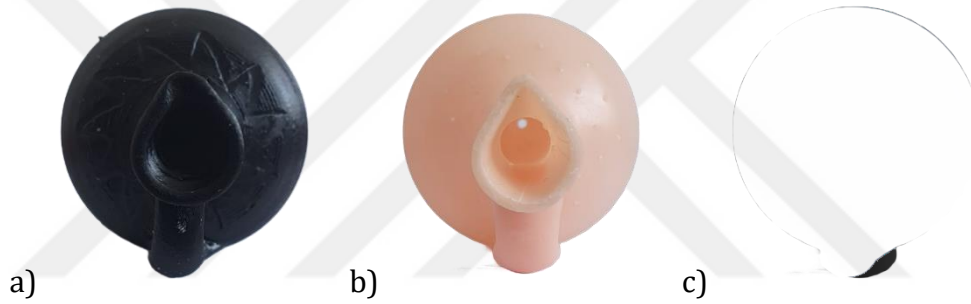
Şekil 4.12. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,06 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %94 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.13. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,06 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %94 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.14. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,03 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %97 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.

Yukarıdaki tüm görseller ele alındığında FDM tipi yazıcı ile üretilen ürünler için hassas ölçüler ile çizilen modelin baskısı ile fotoğraf yoluyla elde edilen model baskısının benzerlik oranının ortalama yaklaşık %95 hesaplanmıştır. Geometrik benzerlik açısından yüksek bir oran olduğu söylenebilir.

4.1.4. Nesne 4 Deneyi Bulguları

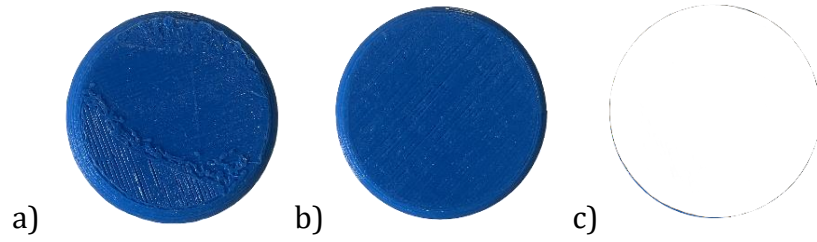
4.1.4.1. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular

Nesneden üretilen bilgisayar tabanlı modelin ürününün ve fotoğraf yoluyla elde edilen modelin ürününün belirli açılardan fotoğrafları çekilmiştir. Çekilen fotoğraflara gerekli işlemler uygulandıktan sonra “diffing” kütüphanesi kullanılarak fotoğraflar arasındaki fark oranı tespit edilmiştir. FDM yazıcı ürünleri kullanılarak yapılan değerlendirme için hazırlanan 2 farklı açıdan çekilen fotoğraflar ve fark kısmını gösteren görseller Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’ da gösterilmektedir.



Şekil 4.15. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,04 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %96 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.16. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki nesnenin üstten çekilen görselinin farklılık oranı yaklaşık 0,02 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %98 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.

Yukarıdaki görseller değerlendirildiğinde FDM tipi yazıcı ile üretilen ürünler için hassas ölçüler ile çizilen modelin baskısı ile fotoğraf yoluyla elde edilen model baskısının benzerlik oranının yaklaşık %97 olduğu görülmektedir. Geometrik benzerlik açısından yüksek bir oran olduğu söylenebilmektedir.

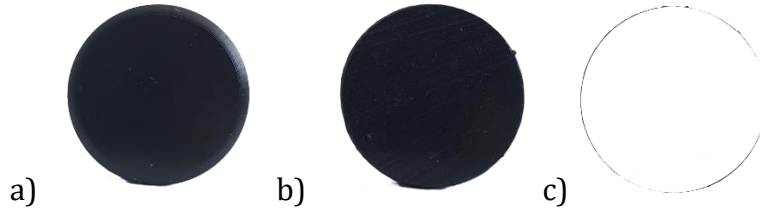
4.1.4.2. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular

SLA yazıcı ürünleri kullanılarak yapılan değerlendirme için hazırlanan 2 farklı açıdan çekilen fotoğraflar ve fark kısmını gösteren görseller Şekil 4.17' de ve Şekil 4.18' de gösterilmektedir.



Şekil 4.17. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,04 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %96 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.18. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki nesnenin üstten çekilen görselinin farklılık oranı yaklaşık 0,04 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %96 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.

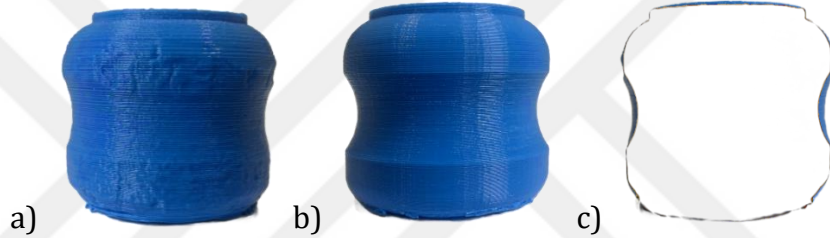
Yukarıdaki görseller değerlendirildiğinde SLA tipi yazıcı ile üretilen ürünler için hassas ölçüler ile çizilen modelin baskısı ile fotoğraf yoluyla elde edilen model

baskısının benzerlik oranının yaklaşık %96 olduğu görülmektedir. Geometrik benzerlik açısından yüksek bir oran olduğu anlaşılmaktadır.

4.1.5. Nesne 5 Deneyi Bulguları

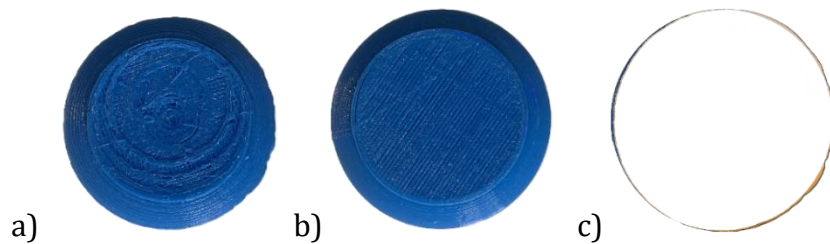
4.1.5.1. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular

Nesnenin bilgisayar tabanlı modelin ürününün ve fotoğraf yoluyla elde edilen modelin ürününün belirli açılardan fotoğrafları çekilmiştir. FDM yazıcı ürünleri kullanılarak yapılan değerlendirme için hazırlanan fotoğraflar ve fark kısmını gösteren görsel Şekil 4.19 ve Şekil 4.20' de gösterilmektedir.



Şekil 4.19. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,04 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %96 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.20. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki nesnenin üstten çekilen görselinin farklılık oranı yaklaşık 0,02 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %98 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.

Yukarıdaki tüm görseller ele alındığında FDM tipi yazıcı ile üretilen ürünler için hassas ölçüler ile çizilen modelin baskısı ile fotoğraf yoluyla elde edilen model baskısının benzerlik oranının ortalama yaklaşık %97 olarak hesaplanmıştır.

4.1.5.2. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular

Havan nesnesinden üretilen bilgisayar tabanlı modelin ürününün ve fotoğraf yoluyla elde edilen modelin ürününün belirli açılardan fotoğrafları çekilmiştir. Burada çıktuların renkleri farklı olduğu için renk eşitleme işlemi yapıldıktan sonra diğer işlemler uygulanmıştır. SLA yazıcı ürünleri kullanılarak yapılan değerlendirme için hazırlanan fotoğraflar ve fark kısmını gösteren görsel Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de gösterilmektedir.



Şekil 4.21. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0.04 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %96 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.22. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki nesnenin üstten çekilen görselinin farklılık oranı yaklaşık 0,03 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %97 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.

Yukarıdaki tüm görseller ele alındığında SLA tipi yazıcı ile üretilen ürünler için hassas ölçüler ile çizilen modelin baskısı ile fotoğraf yoluyla elde edilen model baskısının benzerlik oranının ortalama yaklaşık %96,5 olarak hesaplanmıştır.

4.1.6. Nesne 6 Deneyi Bulguları

4.1.6.1. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular

Deney 6 ile üretilen bilgisayar tabanlı modelin ürününün ve fotoğraf yoluyla elde edilen modelin ürününün belirli açılardan fotoğrafları çekilmiştir. Yukarıda belirtilen değerlendirme kriterlerine uygun şekilde işleme tabi tutulmuştur. FDM yazıcı ürünleri kullanılarak yapılan değerlendirme için hazırlanan fotoğraflar ve fark kısmını gösteren görsel Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te gösterilmektedir.



Şekil 4.23. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,08 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %92 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.24. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki nesnenin üstten çekilen görselinin farklılık oranı yaklaşık 0,07 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %93 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.

Yukarıdaki tüm görseller ele alındığında FDM tipi yazıcı ile üretilen ürünler için hassas ölçüler ile çizilen modelin baskısı ile fotoğraf yoluyla elde edilen model baskısının benzerlik oranının ortalama yaklaşık %92,5 olarak hesaplanmıştır. Geometrik benzerlik açısından yüksek bir oran olduğu anlaşılmaktadır.

4.1.6.2. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular

Kasa nesnesi için FDM üretiminden sonra SLA üretimi gerçekleştirilmiştir. SLA yazıcı ürünleri kullanılarak yapılan değerlendirme için hazırlanan fotoğraflar ve fark kısmını gösteren görsel Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da gösterilmektedir.



Şekil 4.25. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,04 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %96 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.26 a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki nesnenin üstten çekilen görselinin farklılık oranı yaklaşık 0,06 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %94 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.

Yukarıdaki tüm görseller ele alındığında FDM tipi yazıcı ile üretilen ürünler için hassas ölçüler ile çizilen modelin baskısı ile fotoğraf yoluyla elde edilen model baskısının benzerlik oranının ortalama yaklaşık %95 olarak hesaplanmıştır. Geometrik benzerlik açısından yüksek bir oran olduğu kabul edilmektedir.

4.1.7. Bilgisayar Destekli Çizimi Yapılamayan Nesnelerin Deney Bulguları

Diğer deney aşamalarında çizimi mümkün olmayan ya da teknik bilgi ve yoğun süreç gerektiren nesnelere seçilmiştir. Nesnelerin fotoğraf yoluyla modellenemediği görülmüştür. Nesnelere sabit bir geometriye sahip olmadıkları için çizimleri de bulunmadığı için ve boyut olarak da 3 boyutlu yazıcı ile üretime uygun olmadıkları için çizimi yapılmış üretimlerle analizi söz konusu olmamıştır. Ancak yukarıda modelleri ve üretim görselleri paylaşılan nesnelerin tutarlı bir geometri ve şekle sahip olduğu orijinal nesneye uygun şekilde modellendiği görülmektedir. Nesnelere üretilen ürünleri yukarıdaki “Sadece Fotoğraf Yoluyla Modelleme ve Üretim” başlığı altında verilmiştir. Bu durumda boyut olarak 3 boyutlu yazıcıdan üretililecek boyutta olan 3 farklı nesne seçilmiştir. Bu nesnelerin de yukarıda anlatıldığı gibi çizimi yapılamayan ya da çizilmesi oldukça güç olduğu için bu nesnelere modellenip üretildikten sonra üretilmiş halleri ile nesnenin orjinalleri aralarında kıyaslanmıştır.

4.1.8. Nesne 11 Deneyi Bulguları

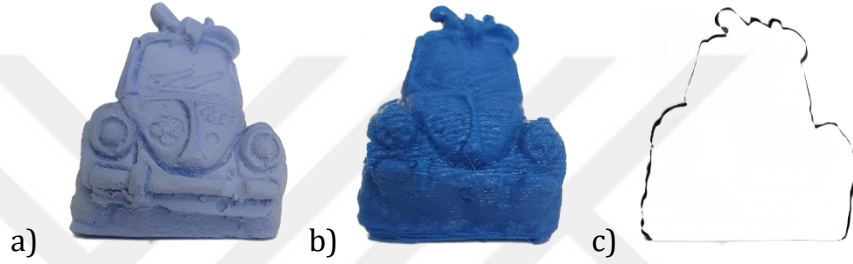
4.1.8.1. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular

Deney 11 ile üretilen, fotoğraf yoluyla elde edilen modelin ürününün belirli açılardan fotoğrafları çekilmiştir. Yukarıda belirtilen değerlendirme kriterlerine uygun şekilde işleme tabi tutulmuştur. Burada farklı olarak nesnenin orijinali ile üretim arasında renk benzeşmezliği olacağı için fotoğraflar üzerinde renk eşitlemesi yapılmıştır. Daha sonra U²-net ile düzenleme yapılmıştır. Sonrasında diffing metodu ile farklılık oranı ölçülmüştür. FDM yazıcı ürünleri kullanılarak yapılan değerlendirme için hazırlanan fotoğraflar ve fark kısmını gösteren görsel Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da gösterilmektedir.



Şekil 4.27. a) Orijinal Nesne b) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,05 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %95 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.28. a) Orijinal Nesne b) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki nesnenin ön kısımdan çekilen görselinin farklılık oranı yaklaşık 0,08 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %92 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.29. a) Orijinal Nesne b) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,06 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %94 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.

Yukarıdaki tüm görseller ele alındığında FDM tipi yazıcı ile üretilen ürün ve nesnenin orjinalinin benzerlik oranının ortalama yaklaşık %93,6 olarak hesaplanmıştır. Geometrik benzerlik açısından yüksek bir oran olduğu söylenebilmektedir.

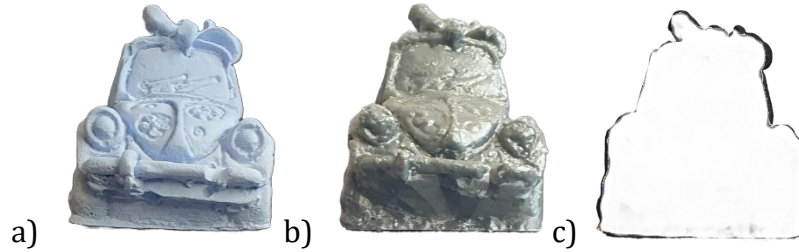
4.1.8.2. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular

SLA yazıcıdan alınan baskı ürünleri yukarıdaki hiyerarşi takip edilerek analiz edilmiştir. Üretimin ve orijinal nesnenin renkleri farklı olduğu için diffing kütüphanesi kullanılmadan önce renk eşitleme yapılmıştır. SLA yazıcı ile üretilen ürünler kullanılarak yapılan değerlendirme için hazırlanan fotoğraflar fark kısmını gösteren görsel Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de gösterilmektedir.



Şekil 4.30. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,04 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %96 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.31. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,04 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %96 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.32. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görsele

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,03 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %97 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.

Yukarıdaki tüm görseller ele alındığında FDM tipi yazıcı ile üretilen ürünler için hassas ölçüler ile çizilen modelin baskısı ile fotoğraf yoluyla elde edilen model baskısının benzerlik oranının ortalama yaklaşık %96,3 olarak hesaplanmıştır. Geometrik benzerlik açısından yüksek bir oran olduğu söylenebilmektedir.

4.1.9. Nesne 12 Deneyi Bulguları

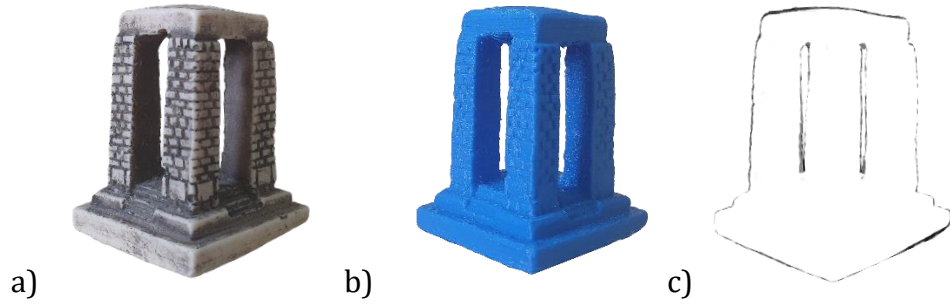
4.1.9.1. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular

Deney 12 ile üretilen, fotoğraf yoluyla elde edilen modelin ürününün belirli açılardan fotoğrafları çekilmiştir. Nesnenin orijinali ile üretim arasında renk benzeşmezliği olacağı için fotoğraflar üzerinde renk eşitlemesi yapılmıştır. Daha sonra U²-net ile fotoğrafların arkaplan temizlenmesi işlemi yapılmıştır. Sonraki adımda diffing metodu ile farklılık oranı ölçülmüştür. FDM yazıcı ürünleri kullanılarak yapılan değerlendirme için hazırlanan fotoğraflar ve fark kısmını gösteren görsel Şekil 4.33, Şekil 4.34 ve 4.35'te gösterilmektedir.



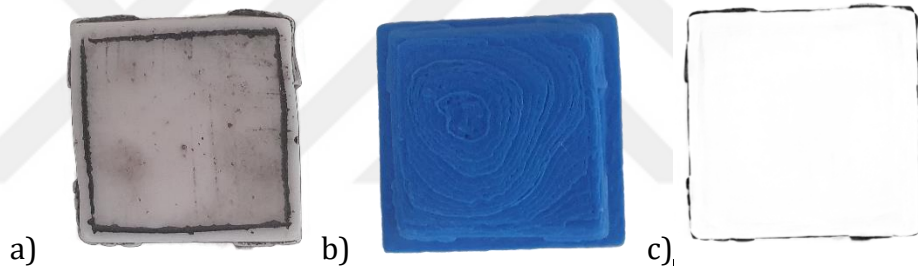
Şekil 4.33. a) Orijinal Nesne b) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün c) Fark Görsele

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,08 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %92 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.34. a) Orijinal Nesne b) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki nesnenin ön kısımdan çekilen görselinin farklılık oranı yaklaşık 0,09 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %91 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



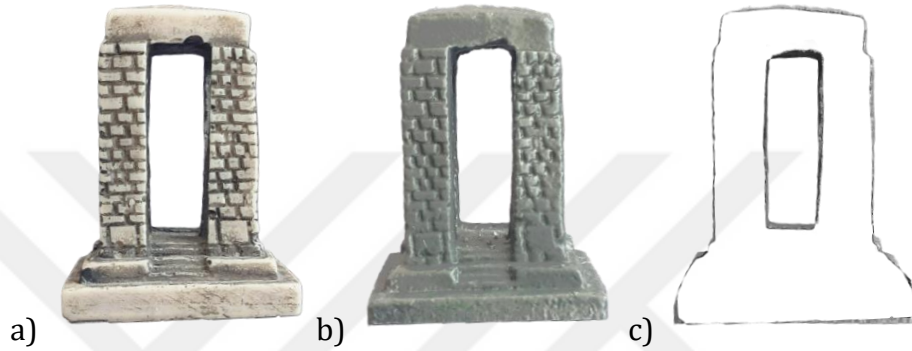
Şekil 4.35. a) Orijinal Nesne b) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,09 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %91 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.

Yukarıdaki tüm görseller ele alındığında FDM tipi yazıcı ile üretilen ürün ve nesnenin orijinalinin benzerlik oranının ortalama yaklaşık %91,3 olarak hesaplanmıştır. Geometrik benzerlik açısından yüksek bir oran olduğu söylenebilmektedir.

4.1.9.2. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular

SLA yazıcıdan alınan baskı ürünleri yukarıdaki hiyerarşi takip edilerek analiz edilmiştir. Üretimin ve orijinal nesnenin renkleri farklı olduğu için diffing kütüphanesi kullanılmadan önce renk eşitleme yapılmıştır. SLA yazıcı ile üretilen ürünler kullanılarak yapılan değerlendirme için hazırlanan fotoğraflar fark kısmını gösteren görsel Şekil 4.36, Şekil 4.37 ve Şekil 4.38' ta gösterilmektedir.



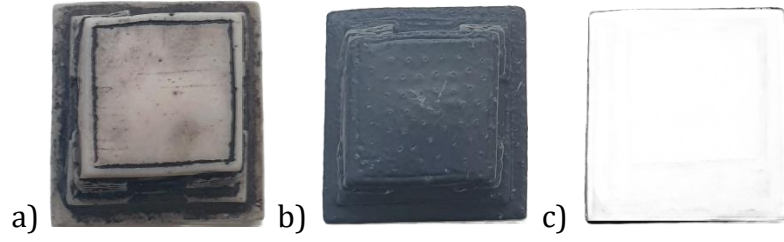
Şekil 4.36. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,09 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %91 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.37. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,08 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %92 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.38. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,04 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %96 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.

Yukarıdaki tüm görseller ele alındığında FDM tipi yazıcı ile üretilen ürünler için hassas ölçüler ile çizilen modelin baskısı ile fotoğraf yoluyla elde edilen model baskısının benzerlik oranının ortalama yaklaşık %93 hesaplanmıştır. Geometrik benzerlik açısından yüksek bir oran olduğu ifade edilmektedir.

4.1.10. Nesne 13 Deneyi Bulguları

4.1.10.1. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular

Deney 13 ile üretilen, fotoğraf yoluyla elde edilen modelin ürününün belirli açılardan fotoğrafları çekilmiştir. Yukarıda belirtilen değerlendirme kriterlerine uygun şekilde işleme tabi tutulmuştur. Burada nesnenin orijinali ile üretim arasında renk benzeşmezliği olacağı için fotoğraflar üzerinde renk eşitlemesi yapılmıştır. Daha sonra U²-net ile düzenleme yapılmıştır. Sonrasında diffing metodu ile farklılık oranı ölçülmüştür. FDM yazıcı ürünleri kullanılarak yapılan değerlendirme için hazırlanan fotoğraflar ve fark kısmını gösteren görsel Şekil 4.39 ve Şekil 4.40' ta gösterilmektedir.



Şekil 4.39. a) Orijinal Nesne b) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,04 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %96 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.40. a) Orijinal Nesne b) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,04 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %96 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.

Yukarıdaki tüm görseller ele alındığında FDM tipi yazıcı ile üretilen ürün ve nesnenin orijinalinin benzerlik oranının ortalama yaklaşık %96 olarak hesaplanmıştır. Geometrik benzerlik açısından yüksek bir oran olduğu söylenebilmektedir.

4.1.10.2. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürün İçin Bulgular

SLA yazıcıdan alınan baskı ürünleri yukarıdaki hiyerarşi takip edilerek analiz edilmiştir. Üretimin ve orijinal nesnenin renkleri farklı olduğu için diffing kütüphanesi kullanılmadan önce renk eşitleme yapılmıştır. SLA yazıcı ile üretilen ürünler kullanılarak yapılan değerlendirme için hazırlanan fotoğraflar fark kısmını gösteren görsel Şekil 4.41 ve Şekil 4.42' de gösterilmektedir.



Şekil 4.41. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,04 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %96 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 4.42. a) Fotoğraf Eldesi ile Üretilen Ürün b) Çizim ile Üretilen Ürün c) Fark Görseli

Yukarıdaki görselin farklılık oranı yaklaşık 0,04 olarak tespit edilmiştir. Bu da yaklaşık %96 benzerlik olduğunu ifade etmektedir.

Yukarıdaki tüm görseller ele alındığında FDM tipi yazıcı ile üretilen ürünler için hassas ölçüler ile çizilen modelin baskısı ile fotoğraf yoluyla elde edilen model baskısının benzerlik oranının ortalama yaklaşık %96 olarak hesaplanmıştır. Geometrik benzerlik açısından yüksek bir oran olduğu kabul edilmektedir.

4.1.11. FDM Yazıcı İçin Tüm Nesnelerin Bulguları

Çizelge 4.1'de FDM yazıcı ile üretilen nesnelerin fark ve benzerlik oranını yaklaşık olarak gösteren tablo yer almaktadır.

Çizelge 4.1. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürünlerin Fark ve Benzerlik Oranı Tablosu

Nesneler	Benzerlik Oranı
Nesne 1	%94.5
Nesne 2	%95
Nesne 3	%94.3
Nesne 4	%97
Nesne 5	%97
Nesne 6	%92.5
Nesne 7	%95.1

Tablodaki verilerden anlaşılacağı gibi yukarıdaki 7 nesnenin çizim ve fotoğraf ile üretilen modellerinin FDM yazıcı ile baskıları arasındaki benzerlik oranı %95,05'tir.

4.1.12. SLA Yazıcı İçin Tüm Nesnelerin Bulguları

Çizelge 4.2'de SLA yazıcı ile üretilen nesnelerin fark ve benzerlik oranını yaklaşık olarak gösteren tablo yer almaktadır.

Çizelge 4.2. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürünlerin Fark ve Benzerlik Oranı Tablosu

Nesneler	Benzerlik Oranı
Nesne 1	%93.5
Nesne 2	%95.5
Nesne 3	%95
Nesne 4	%96
Nesne 5	%96.5
Nesne 6	%95
Nesne 7	%96.03

Tablodaki verilerden anlaşılacağı gibi yukarıdaki 7 nesnenin çizim ve fotoğraf ile üretilen modellerinin SLA yazıcı ile baskıları arasındaki benzerlik oranı %95,3'tür.

4.1.13. Orjinal Nesnelerin FDM ve SLA Ürünleri ile Bulguları

Çizelge 4.3'te FDM yazıcı ile üretilen nesnelerin orijinal ürün ile değerlendirmelerinde fark ve benzerlik oranını gösteren tablo yer almaktadır.

Çizelge 4.3. FDM Yazıcı ile Üretilen Ürünlerin Orijinal Nesne ile Fark ve Benzerlik Oranı Tablosu

Nesneler	Benzerlik Oranı
Nesne 11	%93,6
Nesne 12	%91,3
Nesne 13	%96

Tablodaki verilerden anlaşılacağı gibi yukarıdaki 3 nesnenin orijinali ve fotoğraf ile üretilen modellerinin FDM baskıları arasındaki benzerlik oranı %93,6' dır.

Çizelge 4.4'te SLA yazıcı ile üretilen nesnelerin orijinal ürün ile değerlendirmelerinde fark ve benzerlik oranını gösteren tablo yer almaktadır.

Çizelge 4.4. SLA Yazıcı ile Üretilen Ürünlerin Orijinal Nesne ile Fark ve Benzerlik Oranı Tablosu

Nesneler	Benzerlik Oranı
Nesne 11	%96,3
Nesne 12	%93
Nesne 13	%96

Tablodaki verilerden anlaşılacağı gibi yukarıdaki 3 nesnenin orijinali ve fotoğraf ile üretilen modellerinin FDM baskıları arasındaki benzerlik oranı %95,17' dir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde animasyon, grafik tabanlı oyun ve sanal gerçeklik içerikli faaliyetlerde artış olduğunu söylemek mümkündür. Özellikle pandemi dönemi ve sonrasında sanal ortamlar ve sanal gerçekliğe olan ilginin arttığını gözlemlenmektedir. Bu durum dolayısıyla 3B modelleme çalışmalarını artırmıştır. Çünkü sanal ortam demek 3B modelleri ile üretilmiş nesne ya da ortamlar topluluğudur. Bu ortamların gerçeğe en yakın şekilde olması kullanıcıların ilgisini daha da artırmaktadır. Bir diğer açıdan fiziki şartlarda zarar görme tehlikesiyle karşı karşıya olan tarihi eser ya da önemli manevi değerlere sahip ürünleri sanal ortamda saklama ve gösterme isteğinin de 3B modelleme çalışmalarına olumlu anlamda katkı yaptığı söyleyebilmektedir. Tüm bu ve bunun gibi sebeplerle 3B modelleme çalışmaları hız kazanmıştır. 3B modelleme çalışmalarının artmasıyla, 3B model üretme tekniklerinin de arttığı gözlemlenmektedir. En çok kullanılan tekniğin bilgisayar destekli yazılımlar kullanılarak çizim yöntemi ile modelleme olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum için yeterli teknik altyapıya, yeterli teknik bilgiye sahip olma ihtiyacıyla birlikte gerekli beceriye de gerek duyulmaktadır. Bu durumda 3B modelleme yapmak isteyen insanların alternatiflere ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. 3B tarayıcılar bu ihtiyacı giderse de ekonomik olarak karşılanması zor masraflara sebep olmasıyla birlikte kullanmak için teknik bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan tez çalışmasında bu ihtiyaçlar dikkate alınarak herhangi bir kamera ile çekilen fotoğraflar kullanılarak 3B modele dönüştürülmesi işlemi yapılmıştır. Bu sayede mevcut olan herhangi bir nesne yüksek bir maliyet gerektirmeden, teknik bilgi ihtiyacı olmadan modelleme işlemi yapılabilmektedir. Böylece 3B modelleme ilgisinde ve merakında olan herhangi bir kullanıcı ya da araştırmacı aydınlatma ile perspektife dikkat ederek çekeceği fotoğraflarla, fotoğrafını çektiği nesnenin 3 boyutlu modelini üretebilecek ve kullanmak istediği herhangi bir sanal ortamda bu modeli değerlendirebilecektir. Bu model üç boyutlu yazıcı ile üretilir, herhangi bir üç boyutlu grafik ortamında değerlendirilebilir, oyun-animasyon gibi ortamlarda kullanılabilir durumda olacak ve istenirse de 3 boyutlu yazıcılar ile üretilen olacaktır. Ayrıca bu çalışmada bilgisayar tabanlı çizimler ile modeller oluşturularak model üretimi de gerçekleştirilmiştir. En yaygın metotlardan biri

olan bilgisayar tabanlı çizim programlarıyla model hazırlama işlemleri fotoğraf ile model eldesi yöntemiyle karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

Çalışma kapsamında bilgisayar çizimi ile modeli elde edilebilen nesnelerin ve bilgisayar çizimi ile model eldesi mümkün olmayan nesnelerin modelleme ve üretim işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda çalışma ikiye ayrılmıştır. İlk olarak bilgisayar yazılımları ile modellenen nesnelerin çizim yöntemi ile modelleri oluşturulmuş ve elde edilen modeller FDM ve SLA yazıcılar ile üretilmiştir. Aynı nesneler için fotoğraf yolu ile elde edilen modeller kullanılarak yine FDM ve SLA yazıcılar ile üretilmiştir.

İkinci olarak bilgisayar çizimi ile model eldesi mümkün olmayan nesnelerin üretilebilmesi için sadece fotoğraf yöntemi kullanılmış ve objelerin üretimi yine FDM ve SLA yazıcılar aracılığıyla sağlanmıştır. FDM yazıcı ile üretilen nesne ise şekil ve 3B model olarak tutarlı olsa da baskı kalitesi olarak SLA yazıcının biraz altındadır. Eritik yığıma mantığı ile çalıştığı için katmanlar arası geçişin biraz daha görünür olduğu gözlemlenmektedir.

Üretimlerin incelenmesi sonucunda 3B model çıkarmak için uygulanan yöntemin başarılı olduğu gözlemlenmektedir. Çalışmanın ilk aşaması için üretim sonuçları karşılaştırıldığında fotoğraf ile elde edilen modellerden üretilen nesnelerin çizim ile elde edilen modellerden üretilen nesnelere benzerlik oranının yaklaşık %95,17 olduğu görülmüştür. Yine aynı modeller için FDM ve SLA yazıcılar ile yapılan üretimler karşılaştırıldığında her iki model yönteminden elde edilen nesnelere de sonuçların yakın olduğu ancak SLA yazıcı ile üretilenlerde ortalama yaklaşık %0,3 daha fazla benzerlik görülmektedir.

Bilgisayar destekli model eldesi zor ya da profesyonel eğitim ile teknik bilgi gerektiren nesnelerin modellenmesi esnasında sadece fotoğraf yöntemi kullanılarak modeller elde edilmiştir. Bu modellerin gerçek objeler ile kıyaslanabilmesi için yine FDM ve SLA yazıcılar kullanılmıştır. Boyut açısından üretimi ile aynı ölçülere sahip olan nesnelerin üretimleri ile kıyaslama yapıldığında ise %94,38 benzerlik oranı tespit edilmiştir. Tüm

değerlendirmelerin sonucunda üretilen, çizilen ve orijinali ile kıyaslanan ürünlerin benzerlik oranı yaklaşık %94,77 olarak tespit edilmiştir.

Özellikle çizimi veya tasarımı zor olan objelerin model olarak oluşturulması ve üretilmesi vasat bir kullanıcı için mümkün olmamaktadır. Çalışma kapsamında geliştirilen yöntemlerin uygulanması ile fotoğrafı elde edilebilen tüm nesnelerin üretimi mümkün hale gelmektedir.

Yapılan tez çalışmasının gelecekte yapılacak 3B model çalışmalarına ilham vererek farklı bir bakış açısı sunması amaçlanmaktadır. Geliştirilen modelleme formatı üzerinden daha ileri seviye düşünceler oluşabilir. Örneğin modellenen bir nesnenin gölge kısmının kalmaması ya da çekilen fotoğraflarında perspektif kaybı yaşanmaması için nesnenin havada kalabileceği bir ortam geliştirilebilir ve çekimler drone tipi bir kamera ile alınabilir. Gelişen teknoloji ile 3B algısı geliştikçe nesnenin daha az fotoğrafı alınarak ancak daha kaliteli olacak şekilde modeller üretilir. Fotoğrafın işlenmesi ve modele dönüştürülmesi gibi işlemler için bu aşamada GPU sahibi ve yüksek özelliklere sahip ekran kartı ihtiyacı bulunmaktadır. İleride bu olumsuzlukların aşılması durumunda mobil uygulama düzeyinde ya da tarayıcıdan doğrudan çalıştırılacak uygulamalar ile 3B tarama faaliyeti çok daha basit düzeye indirgenebilir.

KAYNAKLAR

- 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.
- Akpek, A., 2018. Stereolitografi ile Üç Boyutlu (3B) Olarak Biyobaskılanmış Yapay Kalp Kapakçıklarının Biyouyumluluk Özelliklerinin Analizi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(3), 929-938.
- Algın, H. M., Ekmen, A. B., Yenmez, L., 2019. Baret Kazıklı Radye Temellerin Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Analizi. Teknik Dergi, 2019, 9443-9458.
- Alicevision, 2020. (<https://github.com/alicevision>), Erişim Tarihi: 08.02.2023
- Aslan, F., 2017. Üç Boyutlu Yazıcılarda Harç Yığılma Tekniği ile Seramik Şekillendirme. Dokuz Eylül Üniversitesi, Lisans Tezi, İzmir
- Aslantaş, K., Uzun, İ., Taşgetiren, S., 2004. Civata-Somun Bağlantı Sistemlerinde Temas Gerilmelerinin Üç Boyutlu Analizi. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2004(2), 50-55. ISSN: 1304-4141.
- Aydın, H. S., Gümüş, Ö. Y., Küçük, İ., 2019. Eriyik Yığılma Modellemesi Esaslı Üç Boyutlu (3B) Eklemeli Üretim Tekniği Kullanılarak Poliüretan Malzemeden Bir Yapay İnsan Kulak Kepçesi Üretimi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23(2), 666-672
- Aydın, H., Kılıç, A., Tekin, A., 2019. Geleneksel Türk Gıdalarının 3b Yazıcı ile Yazdırılması. International Journal Of 3d Printing Technologies and Digital Industry, 3:1, 1-10.
- Aydoğdu, B., & Toy, E., 2023. Merkeziyetsiz Metaverse Platformlarındaki Üç Boyutlu Yapıların Görsel Analizi [Visual Analysis of 3D Structures on Decentralized Metaverse Platforms]. Medeniyet Sanat- İMÜ Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 9(1), 151-173.
- Bellavia, F., 2023. SIFT Matching by Context Exposed. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 45(2)
- Bischoff, B.S., et al. 2002. Openmesh—a Generic And Efficient Polygon Mesh Data Structure. In OpenSG Symposium.
- Boyutkat, 2023. “Katmanlarla İlgili Sorunlar 3d Baskı Kalitesi Sorunları”, (<https://www.boyutkat.com/bilgi-bankasi/3d-yazici-sorunlari/katmanlarla-iligili-sorunlar-3d-baski-kalitesi-sorunlari>), Erişim Tarihi:15.12.2023
- Calvet, L., Gurdjos, P., Griwodz, C., & Gasparini, S. (2016). Detection and Accurate Localization of Circular Fiducials under Highly Challenging Conditions. In

Proceedings of the 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) s. 562–570

- Canter, H., 2019. Plastik Cerrahide Üç Boyutlu Planlama, Kişiyi Özel ve Hibrid İmplantlar. Plastik Cerrahide Yeni Ufuklar, 1. Baskı, 56-58.
- Caumon, G., Collon-Drouaillet, P., Le Carlier de Veslud, C., Viseur, S., & Sausse, J. 2009. Surface-Based 3D Modeling of Geological Structures. *Mathematical Geosciences*, 41, 927–945.
- CCTAG., 2020. CCTag Library, (<https://cctag.readthedocs.io/en/latest/>), Erişim Tarihi: 05.10.2023
- Çetin, İ., Batuk, F., Büyükdağ, F., Ceylan, T., 2011. Üç Boyutlu Araç Modelleme., Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VI. Teknik Sempozyumu.
- Çelik, İ., Karakoç, F., Çakır, M., Duysak, A., 2013. Hızlı Prototipleme Teknolojileri ve Uygulama Alanları. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 53-66.
- Çelik, G., 2015. Yüksek Çözünürlüklü Görüntülerde Mozaikleme. Kocaeli Üniversitesi, Lisans Tezi, Kocaeli
- Çelik, F. M., 2016, Köprü Ayağı Modeli Etrafındaki Oyulma ve Birikme Desenlerinin Fotogrametri ve Yersel Lazer Tarama Yöntemleri ile İncelenmesi, Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 85, İstanbul.
- Çevik, D., 2018. Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojisinin Seri ve Kesikli Üretim Sistemleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi İşletme Enstitüsü, Sakarya, 299.
- Çolak, Ş. T., & Çolak, A. T., 2023. Aksaray Müzesinde Bulunan Asklepios ve Kartal Heykelinin 3B Modellemesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(1), 01-06.
- Darıcı, Y., 2021. Görüntülerden 3 Boyutlu Yüzey Oluşturulması Yöntemlerinin İncelenmesi. Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s, Konya.
- Datta, S. (2013). Comparative Study and Analysis of Various Edge Detection Algorithms in Digital Image Processing. *SAS Journal*, 1(2), 78-90.
- Demir, O., & Ayhan, A. O., 2017. Düzlemsel Olmayan Çatlak İlerleme Problemlerinin Üç Boyutlu Analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(2), 159-175.
- Demirbaş, Y. K., & Arlı, B., 2017. Uygulamalarla Üç Boyutlu Yazıcı Yapımı ve Kullanımı. İstanbul: Abaküs Kitap Yayın Dağıtım Hizmetleri.

- 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.
- Ege, 2020. Sla ve Fdm 3d Baskı Farkı, (<https://www.dorukbaski.com/tr/blog-url/bloglar/sla-ve-fdm-3d-baski-farki#>), Erişim Tarihi: 04.12.2023
- Eleego, 2023. Saturn 3 Ultra 12K, (<https://www.elegoo.com/products/elegoo-saturn-3-ultra-resin-3d-printer-12k>), Erişim Tarihi: 01.10.2023
- Elliott, S. D. ve Miller, P. L., 1997. 3D studio release 4. (1. Baskı). (Çev: A. Türkmen, A. Halaç, L. Gözgücü), A. Halaç (Ed.), Ergin Tezer (T.D.). İstanbul: Sistem Yayıncılık.
- Ergün, B., 2016, Üç Boyutlu Modelleme ve Animasyon Teknikleri Ders Notları, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, 20.
- Eskicioğlu, Ö.C., Işık, A.H., 2022. Mozaiklemede Geometrik Bozulma Düzeltme Ve Göz Verilerinde Uygulanması, Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 14(3), 116-123.
- Geeetech, 2023. Geeetech I3 Pro, (<https://www.geeetech.com/specialpage/i3/i3.html>), Erişim Tarihi: 01.10.2023
- GIM, 2016. Dense Image Matching, GIM International, (<https://www.gim-international.com/content/article/dense-image-matching-2>), Erişim Tarihi: 03.11.2023
- Gomede, E., 2023. Feature Engineering for Computer Vision, (<https://medium.com/@evertongomede/feature-engineering-for-computer-vision-f01a76d8058c>), Erişim Tarihi: 02.12.2023
- Gonzalez, R., Woods, E., 2002. Digital Image Processing, 3rd Edition, Prentice Hall Press
- Gökçearslan, L., 2017. Üç Boyutlu Yazıcının Grafik Tasarım Alanına Yansımaları. Fine Arts (NWSAFA), 12(2), 135-148.
- Grabner, A., Roth, P. M., Lepetit, V. 2018. 3D Pose Estimation and 3D Model Retrieval for Objects in the Wild. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 3022-3031.
- Grum, M., Bors, A. G., 2008, Multiple Image Disparity Correction For 3-D Scene Representation. 15th IEEE International Conference on Image Processing, 209-212.

- Guo, Y., et al. 2015. An Integrated Framework for 3-D Modeling, Object Detection, and Pose Estimation From Point-Clouds. *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions*, 64, 683-693
- Gül, A., Topay, M., Tuğluer, M., Uzun, Ö. F., & Keleş, E., 2014. Kent Ağaçlarının CBS Ortamında Envanteri ve 3 Boyutlu Olarak Oluşturulması. III. Uluslararası Odun Dışı Orman Ürünleri Sempozyumu Bildiri Kitabı, 8-10 Mayıs 2014, Kahramanmaraş, Türkiye, s. 796.
- Gürbüz, A., 2014. Üç Boyutlu Animasyonların Hazırlık Aşamasında Üç Boyutlu Yazıcı Kullanımının Avantajları. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kütahya, 71.
- Gümölcine, A., 2022. Güzel Sanatlar Eğitiminde Üç Boyutlu Modelleme ile Maket Tasarımına Yönelik Bir Eylem Araştırması. Eskişehir Anadolu Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 360s. Eskişehir.
- Hahn, N., 2017. (<https://github.com/nicolashahn/diffimg>), Erişim Tarihi: 01.12.2023
- Ho, C. M. B., Ng, S. H., Yoon, Y. J., 2015. "A review on 3D printed bioimplants." *3D Printing and Additive Manufacturing*, 16, 1035–1046.
- Hubs., 2022. Market Changes And Technological Shifts In The 3D Printing Market, *3D Printing Trend Report 2022*, 23, 2-3.
- Ivanov, P. (2017). Three-dimensional Scanning of Objects Using a Mobile Phone: Photogrammetry Silhouette Technique. Yayımlanmamış Lisans Tezi. Helsinki: Medya Mühendisliği, Metropolia Uygulamalı Bilimler Üniversitesi.
- Jang, W. S., & Ho, Y. S., 2010, 3-D object reconstruction from multiple 2-D images. *3D Research*, 1(2), 1-5.
- Jiang, C., Zhao, G., 2015. "A Preliminary Study of 3D Printing on Rock Mechanics." *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 48, 1041–1050.
- Kaçarlar, Z., & Hamal, S. N. G., 2021. Küçük Objelerin Üç Boyutlu (3B) Modellenmesinde Yersel Lazer Tarama (YLT) Tekniği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 65-70.
- Kalaycı, E., Tüzün, H., Bayrak, F., Özdiñç, F., & Kula, A., 2011. Üç-Boyutlu Sanal Ortamların Kullanılabilirlik Çalışmalarında Göz-İzleme Yöntemi: Active Worlds Örneği. Akademik Bilişim'11- XIII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, 2-4 Şubat 2011, İnönü Üniversitesi, Malatya, 93.
- Kantar, C., 2016. Ön Çapraz Bağ Cerrahisinde Tibial Deliğın Üç Boyutlu Modelleme ile Değerlendirilmesi. Uzmanlık Tezi, Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, Kocaeli, 65.

- Karkınlı, A. E., 2011, Çizgi Lazer Tabanlı 3D Tarayıcı Tasarımı, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 63s, Kayseri
- 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.
- Kaya, İ., Aydın, H. E., Cingöz, İ. D., 2018. Nöroşirürji'de 3 Boyutlu Baskılar ve Baskılama Yöntemleri. Türk Nöroşir Derg, 28(3), 289-293.
- Kaya, Z., 2023. Eklemeli İmalat Yöntemiyle Üretilen Altı Eksenli Robot Kol İle Ürünlerin Görüntü İşleme ve Yapay Zeka Tabanlı Tasniflenmesi. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta
- Kaymak, Ç., 2016. Raspberry Pi Devre Kartı Kullanarak Nesne Bulma ve Tanıma Algoritmalarının Bir Robot Kol Üzerinde Uygulanması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 127s, Elazığ.
- Kessler, R., Marriner, J., Childress, M., Covarrubias, R., D'Andrea, C. B., Finley, D. A., ... DES Collaboration., 2015. The difference imaging pipeline for the transient search in the dark energy survey. The Astronomical Journal, 150(6), 172.
- Kılıç, N., 2019. Üç Boyutlu Yazıcılarla Tasarım. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enformatik Anabilim Dalı, İstanbul, 59.
- Kıvanç, H., 2019, Kültürel Miras Belgeleme Çalışmalarında Fotogrametrik Yöntem ile Yersel Lazer Tarama Yönteminin Karşılaştırılması, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 109, Konya
- Kuzu, Y., 2004, Volumetric Object Reconstruction by Means of Photogrammetry, Faculty of Civil Engineering an Applied Geosciences, Division of Photogrammetry and Cartography, Berlin Tecnicl University, Ph. D Thesis, 131pp, Germany.
- Livesu, M., Ellero, S., Martínez, J., Lefebvre, S., Attene, M. 2017. From 3D models to 3D prints: an overview of the processing pipeline. Computer-Aided Design, 36(2), 537-564.
- Liu, L. J., and Ren, J. P., 2005. Application of the secondary development in SolidWorks. Mechanical Management and Development, (1), 74-75.
- Marangoz, A. M., 2002, Sayısal Kameralarla Tarihsel Yapıların Rölelerinin Çıkarılması Olanakları, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95s, İstanbul

- Microsoft, 2023. Grafik İşleme Birimleri (GPU'lar) Hakkında Her Şey, (www.support.microsoft.com), Erişim Tarihi: 05.10.2023
- Mongeon, B., 2015. 3D Technology In Fine Art And Craft: Exploring 3D Printing, Scanning, Sculpting And Milling. Routledge.
- 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,
- Özgündoğdu, F., 2014. Seramik Üretiminde Çağdaş Bir Biçimlendirme Yöntemi Olarak Üç Boyutlu Yazıcılar. 8. Uluslararası Pişmiş Toprak Sempozyumu, Türkiye.
- Özgüven, S., 2017. Seramik Sanatında Dijital Uygulamalar. Ankara: Hacettepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Sanatta Yeterlilik Tezi, 177s, Ankara.
- Patru, G., Pirvan, A.-I., Rosner, D., Rughinis, R.-V., 2023. Fiducial Marker Systems Overview and Empirical Analysis of ArUco, AprilTag, and CCTag. U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 85
- Polat, E., 2019. Grafik Tasarımda Üç Boyutlu Modelleme: Reklam ve Tanıtım Görsellerinde Kullanımı. Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 92s, Eskişehir.
- Polat, N., Önal, M., Kaya, Y., Memduhoğlu, A., Kaya, N., Ulukavak, M., Mutlu, S., & Mutlu, S., 2021. Harran Ören Yeri Kazısında Bulunan Kabartma Yazıların Üç Boyutlu Olarak Modellenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 10(2), 594-601.
- Prince, J. D. 2014. "3D Printing: An Industrial Revolution." Journal of Electronic Resources in Medical Libraries, 11(1), 39-45.
- Remondino, F., El-Hakim, S., 2006. Image-based 3D Modelling: A Review. The Photogrammetric Record, 21(115), 269-291.
- Rivers, A., Durand, F., & Igarashi, T. (2010). 3D modeling with silhouettes. SIGGRAPH '10: ACM SIGGRAPH 2010, 109, 1-8.
- Qin, X., 2020. (<https://github.com/xuebinqin/U-2-Net>), Erişim Tarihi: 01.12.2023
- Sarıtürk, B., Şeker, D. Z., 2017, SFM Tekniği ile 3B Obje Modellenmesinde Kullanılan Ticari ve Açık-Kaynak Kodlu Yazılımların Karşılaştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17, 126-131.

- Shao, J., Zhou, K., Cai, Y. H., Geng, D. Y., 2022. Application of an Improved U2- Net Model in Ultrasound Median Neural Image Segmentation. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 48(12), 2512-2520.
- Sharma, S. K., Jain, K. 2020. Image Stitching using AKAZE Features. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(10), 1389-1401
- Südor, S., 2019. Üç boyutlu modelleme bilgisinin Unity programı öğrenimine katkısı. *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10 (2), 126 - 134.
- Şahin, K., Turan, B. O., 2018. Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojilerinin Karşılaştırmalı Analizi. *Journal of Strategic and Social Researches*, 2(2), 97-116. ISSN: 2587-2621.
- Sinekli, R., 2015. Eş Zamanlı Konumlandırma ve Haritalamada Kullanılmak Üzere Üç Boyutlu Tarama Eşleştirme Algoritmalarının Gerçeklenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Niğde, 64.
- Spaceport, 2023. Basis of XR and Volumetric Video: Structure From Motion, (<https://spaceport.tv/basis-of-xr-and-volumetric-video-structure-from-motion>), Erişim Tarihi: 02.12.2023
- Stachu, P., 2018. Cyberpunk Car, (<https://www.thingiverse.com/thing:3017997>), Erişim Tarihi: 09.10.2023
- Symes, M. D., Kitson, P. J., Yan, J., Richmond, C. J., Cooper, G. J. T., Bowman, R. W., Vilbrandt, T., & Cronin, L. 2012. "Integrated 3D-printed reactionware for chemical synthesis and analysis." *Nature Chemistry*, 4, 349-354.
- Tanrıkulu, 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.
- Tareen, S.A.K., & Saleem, Z., 2018. A comparative analysis of SIFT, SURF, KAZE, AKAZE, ORB, and BRISK. 2018 International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET), Sukkur
- Tercan, E., 2012, Sanal Model Ölçme ve Canlandırma, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 81.
- Tiryakoğlu, İ., Uysal, M., Erdoğan, S., Yalçın, N., Polat, A., Toprak, 2016. 3 Boyutlu Bina Modelleme ve WEB Tabanlı Sunumu: Ahmet Necdet Sezer Kampüsü Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16, 107-114.

- Tosun, O., 2015. Görüntü İşleme ile Yaprak Alanı Ölçüm Sistemi Tasarımı. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 70s, Isparta.
- Tosun, O., 2022. Görüntü İşleme ve Üç Boyutlu Derinlik Kameraları, Bilgisayar ve Elektronik Bilimlerinde Güncel Gelişmeler, 146-170.
- Treatstock, 2023. Express Guide Of FDM 3D Printing Materials, (<https://www.treatstock.com/guide/article/118-express-guide-of-fdm-3d-printing-materials>) Erişim Tarihi: 01.12.2023
- Tyagi, D., 2019, Introduction To Feature Detection And Matching, (<https://medium.com/@deepanshut041/introduction-to-feature-detection-and-matching-65e27179885d>), Erişim Tarihi: 02.12.2023
- Umetani, N., & Schmidt, R. M., 2013. Cross-sectional structural analysis for 3d printing optimization. In SIGGRAPH Asia technical briefs (pp. 5-1).
- Varol, A. H., 2014. Görüntü Mozaikleme İle Panoramik Görüntü Üretimi. Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 56s, Ankara.
- Yakar, M., & Kocaman, E., 2018. Araştırma Makalesi / Research Article. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi International Journal of Engineering Research and Development, 10(1), 133-138.
- Yıldıran, M., 2017. Üç Boyutlu Yazıcılar ile Moda Ürünlerine Yönelik Yüzey Tasarımları. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Antalya, 121.
- Yıldırım, C., Böcekçi, V. G., 2020, Low Cost Hand Gesture Recognition System Design, European Journal of Science and Technology, (18), 675-682.
- Yıldırım, Y. & Yiğitbaşı, Ö. (2021). Üç Boyutlu Yazıcıların Pazarlamanın 4p'sine Katkısı. İnönü Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi, (INIJOSS), 10(2), 276-298
- 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.
- Wu, J., Cui, Z., Sheng, V. S., Zhao, P., Su, D., & Gong, S. (2013). A Comparative Study of SIFT and its Variants. Measurement Science Review, 13(3), 122.
- 3dFilamex, 2023. (<https://www.3dfilamex.com>), Erişim Tarihi:15.12.2023
- 3d3teknoloji, 2023. (<https://3d3teknoloji.com>) Erişim Tarihi:15.12.2023