



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÜÇ BOYUTLU TASARIM VE İMALAT TEKNOLOJİLERİNİN
İMALAT İÇİN TASARIMA OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

UFUK ÇİFCİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ARİF ÖZKAN**

DÜZCE, 2018

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇ BOYUTLU TASARIM VE İMALAT TEKNOLOJİLERİNİN
İMALAT İÇİN TASARIMA OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Ufuk ÇİFCİ tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Arif ÖZKAN

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Arif ÖZKAN

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Nuri ŞEN

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim MUTLU

Kocaeli Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 02 / 07 / 2018

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

02 Temmuz 2018

Ufuk ÇİFCİ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Arif ÖZKAN'a en içten dileklerle teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Hayatım boyunca karşılaştığım tüm zorluklarda yanımda olan, her zaman bana destek ve güç veren, sevgisini hiçbir koşulda benden esirgemeyen ve bana olan inancını hiçbir zaman yitirmeyen sevgili annem Ayşe SEÇKİN'e sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışmada kullanılan baskı materyallerinin bir kısmında bana sponsor oldukları ve desteklerini esirgemedikleri için Sigma3D ve PowerABS ailesine şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmada kullanılan ölçüm ve uygulama olanakları için Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi ve Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (DÜBİT)'ne teşekkür ederim.

02 Temmuz 2018

Ufuk ÇİFCİ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
ÇİZELGE LİSTESİ	X
KISALTMALAR.....	XI
SİMGELER	XII
ÖZET	XIII
ABSTRACT	XIV
1. GİRİŞ.....	1
2. TASARIM SONRASI ÜRETİM METOTLARI.....	4
2.1. ÜRETİM METOTLARINA GENEL BAKIŞ	4
2.1.1. Talaşsız İmalat	5
2.1.1.1. Döküm	5
2.1.1.2. Plastik Şekil Verme	6
2.1.1.3. Birleştirme	7
2.1.2. Talaşlı İmalat.....	7
2.1.2.1. Alışılmış İmalat Yöntemleri	8
2.1.2.2. Alışılmamış İmalat Yöntemleri.....	9
2.2. ÜRETİM METOTLARININ TARİHSEL GELİŞİMİ	9
3. İMALAT SEKTÖRÜNDE ÇOK BOYUTLU YAZICILAR	12
3.1. TEMEL KAVRAMLAR	13
3.1.1. Çok Boyutlu Yazıcı Tipleri	17
3.1.1.1. FDM Teknolojisi	19
3.1.1.2. EBF Teknolojisi	23
3.1.1.3. SLM, DMLS ve EBM Teknolojileri	24
3.1.1.4. SHS Teknolojisi.....	25
3.1.1.5. SLS Teknolojisi	25
3.1.1.6. PP Teknolojisi.....	26

3.1.1.7. LOM Teknolojisi	26
3.1.1.8. SLA ve DLP Teknolojisi.....	27
3.1.2. Uygulama Basamakları	28
3.1.2.1. Modelleme.....	28
3.1.2.2. Dilimleme.....	30
3.1.2.3. 3D Baskı.....	32
3.1.2.4. Son İşlem.....	32
3.2. ÇOK BOYUTLU YAZICILARIN KULLANIM ALANLARI	33
3.2.1. Seri Üretimi Olmayan Kişiyi Özel Ürünler	35
3.2.2. Hızlı Prototip ve Döküm Modeli Üretimi	36
3.2.3. Makine ve Robot Üretimi.....	37
4. ÇOK BOYUTLU YAZICILARIN İMALAT İÇİN TASARIMA ETKİLERİ	39
4.1. MATERYAL VE METOT	40
4.1.1. Materyal.....	40
4.1.1.1. Çalışmada Kullanılan 3D Yazıcılar.....	40
4.1.1.2. Çalışmada Kullanılan Baskı Materyalleri	41
4.1.1.3. Çalışmada Kullanılan Ölçüm Cihazları	45
4.1.2. Metot	46
4.1.2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması	46
4.1.2.2. Yüzey Pürüzlülükleri Deneyi Numuneleri Hazırlanması	48
4.1.2.3. Destek Kayıpları Deneyi Numuneleri Hazırlanması	49
4.1.2.4. Kapalı Geçme Deneyi Numuneleri Hazırlanması	51
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	53
5.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜKLERİ DENEYİ SONUÇLARI	53
5.1.1. FDM 1 NO Yazıcı Çıktısının Yüzey Pürüzlülüğü İncelenmesi.....	55
5.1.2. 2 NO Yazıcı Çıktısının Yüzey Pürüzlülüğü İncelenmesi.....	63
5.1.3. 3 NO Yazıcı Çıktısının Yüzey Pürüzlülüğü İncelenmesi.....	67
5.2. DESTEK KAYIPLARI DENEYİ SONUÇLARI.....	70
5.2.1. FDM 1 NO Yazıcı Çıktısının Destek Kayıpları İncelenmesi.....	73
5.2.2. 2 NO Yazıcı Çıktısının Destek Kayıpları İncelenmesi.....	75
5.2.3. 3 NO Yazıcı Çıktısının Destek Kayıpları İncelenmesi.....	76
5.3. KAPALI GEÇME DENEYİ SONUÇLARI	78

5.3.1. FDM 1 NO Yazıcı Çıktısının Kapalı Geçme İncelenmesi	79
5.3.2. 2 NO Yazıcı Çıktısının Kapalı Geçme İncelenmesi	80
5.3.3. 3 NO Yazıcı Çıktısının Kapalı Geçme İncelenmesi	81
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	82
7. KAYNAKLAR.....	84
ÖZGEÇMİŞ	91



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. İlk üç boyutlu yazıcı.	1
Şekil 1.2. Eklemeli imalat teknolojisi özellikleri.....	3
Şekil 2.1. Üretim metotlarının sınıflandırılması.	4
Şekil 2.2. Kum döküm yöntemi.	5
Şekil 2.3. Haddeleme yöntemi.	6
Şekil 2.4. Kaynak yöntemi.....	7
Şekil 2.5. Tornalama yöntemi.	8
Şekil 2.6. Lazer ışını ile işleme yöntemi.....	9
Şekil 3.1. Hobi amaçlı 3D yazıcı kullanıcılarının baskı örnekleri.	15
Şekil 3.2. Çok boyutlu yazıcı harici tek parça üretimi imkansız model.	16
Şekil 3.3. Çok boyutlu yazıcı harici tek parça üretimi imkansız model 2.	16
Şekil 3.4. FDM teknolojisi çalışma prensibi.....	20
Şekil 3.5. Kartezyen tipi FDM çok boyutlu yazıcı örneği.	21
Şekil 3.6. Corexy tipi FDM çok boyutlu yazıcı örneği.....	22
Şekil 3.7. Delta tipi FDM çok boyutlu yazıcı örneği.....	23
Şekil 3.8. EBF teknolojisi çalışma prensibi.	24
Şekil 3.9. SLM ve DMLS teknolojisi çalışma prensibi.	25
Şekil 3.10. LOM teknolojisi çalışma prensibi.	27
Şekil 3.11. SLA teknolojisi çalışma prensibi.....	28
Şekil 3.12. STL verideki üçgen yüzeyler.....	29
Şekil 3.13. Dilimleme işlemi.	30
Şekil 3.14. Çok boyutlu yazdırma işlemindeki yüzey kalitesi farkları.	31
Şekil 3.15. Çok boyutlu yazdırma işlemindeki doluluk oranı farkları.....	31
Şekil 3.16. Son işlem örneği (Aseton banyosu).....	32
Şekil 3.17. Dişçilik sektöründe çok boyutlu yazdırma teknolojisi örneği.	33
Şekil 3.18. Çok boyutlu yazdırma teknolojisi ile kişiye özel üretilmiş ürün örneği.....	35
Şekil 3.19. Çok boyutlu yazdırma teknolojisi ile üretilmiş prototip örneği.	36
Şekil 3.20. Çok boyutlu yazdırma teknolojisi ile üretilmiş maket örneği.	37
Şekil 3.21. Çok boyutlu yazdırma teknolojisi ile üretilmiş drone örneği.	38
Şekil 4.1. Yüzey pürüzlülükleri deneyinde kullanılan optik profilometre.	45
Şekil 4.2. Destek kayıpları deneyinde kullanılan hassas terazi.	45
Şekil 4.3. Kapalı geçme deneyinde kullanılan fotoğraf makinesi.	46
Şekil 4.4. Yüzey pürüzlülükleri deneyi numunesi boyutları.	48
Şekil 4.5. Destek kayıpları deneyi için seçilen kapı stoperi.	49
Şekil 4.6. Destek kayıpları deneyi numunesi boyutları.	50
Şekil 4.7. Kapalı geçme deneyi numunesi boyutları.	52
Şekil 5.1. FDM 1 NO 200 µm ABS numune 1 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	55
Şekil 5.2. FDM 1 NO 200 µm ABS numune 2 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	56
Şekil 5.3. FDM 1 NO 200 µm ABS numune 3 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	57
Şekil 5.4. FDM 1 NO 200 µm ABS yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü. ..	57
Şekil 5.5. FDM 1 NO 300 µm ABS numune 1 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	58
Şekil 5.6. FDM 1 NO 300 µm ABS numune 2 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	58

Şekil 5.7. FDM 1 NO 300 µm ABS numune 3 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	59
Şekil 5.8. FDM 1 NO 300 µm ABS yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü. ..	59
Şekil 5.9. FDM 1 NO 200 µm PLA numune 1 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	60
Şekil 5.10. FDM 1 NO 200 µm PLA numune 2 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	60
Şekil 5.11. FDM 1 NO 200 µm PLA numune 3 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	61
Şekil 5.12. FDM 1 NO 200 µm PLA yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü.	61
Şekil 5.13. FDM 1 NO 300 µm PLA numune 1 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	62
Şekil 5.14. FDM 1 NO 300 µm PLA numune 2 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	62
Şekil 5.15. FDM 1 NO 300 µm PLA numune 3 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	63
Şekil 5.16. FDM 1 NO 300 µm PLA yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü.	63
Şekil 5.17. 2 NO 16 µm numune 1 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	64
Şekil 5.18. 2 NO 16 µm numune 2 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	64
Şekil 5.19. 2 NO 16 µm numune 3 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	65
Şekil 5.20. 2 NO 16 µm yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü.	65
Şekil 5.21. 2 NO 32 µm numune 1 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	66
Şekil 5.22. 2 NO 32 µm numune 2 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	66
Şekil 5.23. 2 NO 32 µm numune 3 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	67
Şekil 5.24. 2 NO 32 µm yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü.	67
Şekil 5.25. 3 NO 100 µm numune 1 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	68
Şekil 5.26. 3 NO 100 µm numune 2 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	68
Şekil 5.27. 3 NO 100 µm numune 3 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.	69
Şekil 5.28. 3 NO 100 µm yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü.	69
Şekil 5.29. FDM 1 NO ABS %20 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.	73
Şekil 5.30. FDM 1 NO ABS %50 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.	73
Şekil 5.31. FDM 1 NO ABS %80 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.	74
Şekil 5.32. FDM 1 NO PLA %20 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.	74
Şekil 5.33. FDM 1 NO PLA %50 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.	74
Şekil 5.34. FDM 1 NO PLA %80 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.	75
Şekil 5.35. 2 NO %20 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.	75
Şekil 5.36. 2 NO %50 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.	76
Şekil 5.37. 2 NO %80 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.	76
Şekil 5.38. 3 NO %20 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.	77
Şekil 5.39. 3 NO %50 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.	77
Şekil 5.40. 3 NO %80 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.	78
Şekil 5.41. FDM 1 NO ABS kapalı geçme deneyi numunesi görüntüsü.	79
Şekil 5.42. FDM 1 NO PLA kapalı geçme deneyi numunesi görüntüsü.	80
Şekil 5.43. 2 NO kapalı geçme deneyi numunesi görüntüsü.	80
Şekil 5.44. 3 NO kapalı geçme deneyi numunesi görüntüsü.	81

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 3.1. Çok boyutlu yazdırmanın avantaj ve gelişime açık yönleri.	13
Çizelge 3.2. Çok boyutlu yazdırmada kullanılan materyallerin patent sayısı.	17
Çizelge 3.3. Çok boyutlu baskı teknolojileri.	18
Çizelge 3.4. Çok boyutlu yazdırmada kullanılan teknolojilerin patent sayısı.	19
Çizelge 3.5. Çok boyutlu yazıcılarda uygulama basamakları.	28
Çizelge 3.6. Çok boyutlu yazdırma uygulama alanları patent sayısı.	34
Çizelge 4.1. PLA filamentin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri.	42
Çizelge 4.2. ABS filamentin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri.	43
Çizelge 4.3. VisiJet M3 Crystal fiziksel, mekanik ve termal özellikleri.	44
Çizelge 4.4. VisiJet C4 Spectrum fiziksel, mekanik ve termal özellikleri.	44
Çizelge 4.5. Deneysel tasarım çizelgesi.	47
Çizelge 4.6. Yüzey pürüzlülükleri deneyi numune baskı parametreleri.	49
Çizelge 4.7. Destek kayıpları deneyi numune baskı parametreleri.	51
Çizelge 4.8. Kapalı geçme deneyi numune baskı parametreleri.	52
Çizelge 5.1. Yüzey pürüzlülükleri deneyi sonuçları.	54
Çizelge 5.2. Destek kayıpları deneyi sonuçları.	71
Çizelge 5.3. Kapalı geçme deneyi numune materyal birim maliyeti.	79

KISALTMALAR

3B, 3D	Three dimension (Üç boyutlu)
ABS	Akrilonitril bütadien/stiren
AR-GE	Araştırma geliştirme
CAD	Computer aided design (Bilgisayar destekli tasarım)
CAM	Computer aided manufacturing (Bilgisayar destekli üretim)
CNC	Computer numerical control (Bilgisayarlı nümerik kontrol)
CO ₂	Karbondioksit
DFM	Design for manufacturing (İmalat için tasarım)
DIY	Do it yourself (Kendin yap)
DLP	Digital light processing (Dijital ışık işleme)
DMLS	Direct metal laser sintering (Doğrudan metal lazer sinterleme)
EBF	Electron beam freeform fabrication (Elektron ışını serbest fabrikasyon)
EBM	Electron beam melting (Elektron ışın ergitme)
FDM	Fused deposition modeling (Kaynamış birikim modelleme)
G-CODE	Geometric code (Geometrik kod)
LOM	Laminated object manufacturing (Lamine nesne imalatı)
PLA	Polilaktik asit
PP	Plaster-based 3D printing (Alçı tabanlı baskı)
RTV	Room temperature vulcanizing (Oda sıcaklığında vulkanizasyon)
SHS	Selective heat sintering (Seçici ısı sinterleme)
SLA	Stereo lithography
SLM	Selective laser melting (Seçici lazer eritme)
SLS	Selective laser sintering (Seçici lazer sinterleme)
STL	Stereo lithography

SİMGELER

dk	Dakika
g	Gram
kg	Kilogram
kJ	Kilojoule
MPa	Megapascal
Ra	Aritmetik ortalama sapma (Yüzey pürüzlülüğü değeri)
Rq	Aritmetik ortalama sapmaların karekökü (Yüzey pürüzlülüğü değeri)
Rt	Tüm ölçüm uzunluğu için maksimum yükseklik ile maksimum derinliğin toplamı (Yüzey pürüzlülüğü değeri)
Rz (JIS)	Beş tane en yüksek ve beş tane en alçak noktanın ortalaması (Yüzey pürüzlülüğü değeri)
s	Saniye
µm	Mikrometre (1 µm = 0,001 mm)

ÖZET

ÜÇ BOYUTLU TASARIM VE İMALAT TEKNOLOJİLERİNİN İMALAT İÇİN TASARIMA OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Ufuk ÇİFCİ

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Arif ÖZKAN

Temmuz 2018, 90 sayfa

Mühendislik teknolojisi, güncel teknolojiler ile tersine mühendislik uygulamaları için yöntem ve cihazlar geliştirmektedir. Bu alanda üç boyutlu tasarım ve imalat teknolojileri gerek malzeme gerekse üretim yöntemi anlamında sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bu tez çalışmasında imalat için tasarım teorisi ile çok boyutlu yazıcıların üretim verimliliği ve malzemelerin gerek mekanik özellikleri gerekse de bu geleneksel olmayan yöntemler ile üretimdeki tasarım değişkenlerine uyumu araştırılacaktır. Çok boyutlu yazıcılar ile gerek imalat teknolojisi gerekse tasarımın makine tablasına konumlama değişkenleri gibi uygulamalar ele alınacak, malzeme miktarında tasarıma uygun kıyaslamalar yapılacaktır.

Anahtar sözcükler: Çok boyutlu yazıcılar, Geleneksel olmayan imalat yöntemleri, Tasarım, Üretim metotları.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THREE DIMENSIONAL DESIGN AND MANUFACTURING TECHNOLOGIES EFFECTS OF MANUFACTURING FOR DESIGN

Ufuk ÇİFCİ

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Composite Material

Technologies

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Doc. Dr. Arif ÖZKAN

July 2018, 90 pages

Engineering technology develops with up-to-date technologies methods and devices for reserve engineering applications. This area has been used frequently in the sense of three-dimensional design and manufacturing technology, material and production method. In this research study, design theory for manufacturing and production efficiency of multidimensional printers and mechanical properties of materials are required, but it is aimed to explain these non-traditional methods and compatibility with design variables in production. With multidimensional printers, applications such as positional variables on the machine table of the design have been dealt with as well as manufacturing technology, and design comparisons have been described in the enough amount of material.

Keywords: Design, Multidimensional printers, Non-traditional manufacturing methods, Production methods.

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte üretim yöntemleri her geçen gün farklı bir boyuta ulaşmaktadır. Bunun en önemli örneklerinden biri ise üç boyutlu yazıcılar olarak göze çarpmaktadır. Çok boyutlu yazdırma teknolojisi henüz halk arasında çok popüler ve bilinen bir yöntem olmamasına karşın, bu teknoloji ile elde edilen başarılar sayesinde her geçen gün daha fazla adını duymamıza olanak sağlamaktadır. Tasarım ve imalat konusunda bize sunduğu özgür fikir ve üretim koşullarını baz aldığımız zaman, bu sektördeki yeniliklerin de bu kadar hızlı bir şekilde gelişmesi ile doğru orantılı olması hiç de sürpriz değildir.

Plastik türevleri, polimer, metal ve metal alaşımları, seramik vb. gibi geniş bir yelpaze ile bilgisayar teknolojisi eşliğinde üç boyutlu katı obje üretmeyi mümkün kılan yeni jenerasyon imalat teknolojisinin keşfi 1970'li yıllara kadar uzanmaktadır [1]. Hızlı prototipleme, bu alanda tasarımcıların ihtiyacına cevap vermektedir [2]. Bu alandaki ilk çalışma Amerikalı Charles Hull tarafından 1984 yılında yapılmış ve günümüze kadar gelişerek gelmiştir. Charles Hull, 3D Systems şirketi adı altında ilk çok boyutlu yazdırma teknolojisi patent sahibidir. Bu çok boyutlu yazıcı SLA-250 adıyla tanıtılmıştır. [3]. İlk üç boyutlu yazıcı Şekil 1.1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 1.1. İlk üç boyutlu yazıcı [4].

Bu şirket ilk ticari yazıcısını 1992 yılında üretmiştir. 1989 yılında ise Scott ve Lisa Crump tarafından kurulan Stratasys şirketi kaynamış birikim modelleme (FDM) teknolojisi ile çok boyutlu yazıcı sektörüne adım atmıştır [5].

El ve diğer üretim yöntemleri ile üretimi imkansız karmaşık formların imalatına imkan veren bu teknoloji, otomotiv, mimari, inşaat, tıp, biyoteknoloji, endüstriyel tasarım, moda tasarımı ve gıda gibi sektörleri içinde barındıran geniş bir yelpazede hizmet vermektedir [1], [2].

Üç boyutlu yazdırma, dijital ortamda hazırlanmış olan üç boyutlu verilerden üç boyutlu katı obje imalatı sürecidir. Bu imalat aşamasını gerçekleştiren makineler üç boyutlu yazıcı olarak bilinmektedir. Bu yazıcılar aracılığı ile üç boyutlu olarak tasarımı gerçekleştirilen veriler, çok kısa bir süre içerisinde elle tutulur şekilde incelenmeye olanak sağlayan objeler haline gelebilmektedir. Üç boyutlu model, amaca hizmet eden çeşitli programlar aracılığı ile bilgisayar ortamında dilimleme adı verilen işlemde geçer ve istenen hassasiyetlerde katmanlara ayrılır. Bu katmanlar üç boyutlu yazıcının kullandığı teknolojiye göre farklı işlemde geçen materyal üst üste katmanlar halinde yazdırılarak somut nesneler haline dönüşür [3]. Bu sayede oluşturduğumuz somut nesneleri amacına uygun kullanmak, gerek geliştirme konusunda, gerek maliyet konusunda bize pek çok çeşitli olanak sağlamaktadır.

Üç boyutlu yazıcıları kısaca anlatmak gerekirse; bilgisayar verisini elle tutulur katı nesneler haline getiren robottur. Bu robotlar geleneksel imalat yöntemleri kullanılarak üretilme imkanı olmayan veya üretimi maliyet ve zaman bakımından zor ve maliyetli olan karmaşık geometriye sahip parçaları kolaylıkla üretebilmeleri ile teknolojiye yeni bir devrim başlatmıştır. Günümüzde çok sayıda katkılı üretim yöntemi geliştirilmiştir ve gün geçtikçe de gelişmeye devam etmektedir.

21'inci yüzyılın başlarında bu makinelere inanılmaz sayıda talep olmuştur ancak fiyat bakımından pahalı oldukları için bu talepte bir sınırlamaya sebep olmuştur. Buna rağmen bu yazıcıların fiyatları gün geçtikçe daha makul bir hale gelmektedir. Wohlers ortaklık şirketinin 2012 yılında yaptığı bir araştırmaya göre, dünyada üç boyutlu yazıcı kullanımı ve bu alanda sağlanan faydanın ortalama geliri 2,2 milyar dolar olarak belirlenmiştir. 2011 yılında yapılan araştırmaya göre %29 bir gelişme gözükmemektedir [6]. Bu teknoloji günümüzde endüstrinin her alanında kullanılabilmemize olanak sağlamaktadır. Hatta baskı materyal ve çeşitleri o kadar gelişmiştir ki hayatımızın her

alanında bu teknolojiyi kullanmamız mümkündür. Kullanılan baskı materyali çeşitlerinin artması ve üç boyutlu yazıcıların taşınabilir, pratik ve maliyet bakımından daha uygun tasarımları ortaya çıkması ile insanların üç boyutlu yazıcılara ilgisi her geçen gün artmaktadır.

Üç boyutlu yazıcılar yeni bir ürün tasarımı ve geliştirilmesi sürecinde o ürünü elinize alıp kontrol etmenize olanak vermesi en büyük avantajı olarak görülmektedir. Bu yönleriyle üç boyutlu yazıcılar imalat sektöründe gelecek vadetmektedirler [7]. Prototip üretimi konusunda düşük maliyetli olmasının yanı sıra üreticiye zamandan da tasarruf sağlamakta olan üç boyutlu yazıcılar, daha şimdiden endüstride büyük bir öneme sahip hale gelmiştir. Üç boyutlu yazdırma teknolojisinde kullanılan çeşitli yöntem ve teknolojiler birbirine benzer olmasına karşın, oldukça çeşitlidir ve her sektöre hitap etmektedirler. Eklemeli imalat teknolojisi özellikleri örnekleri Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Eklemeli imalat teknolojisi özellikleri [8].

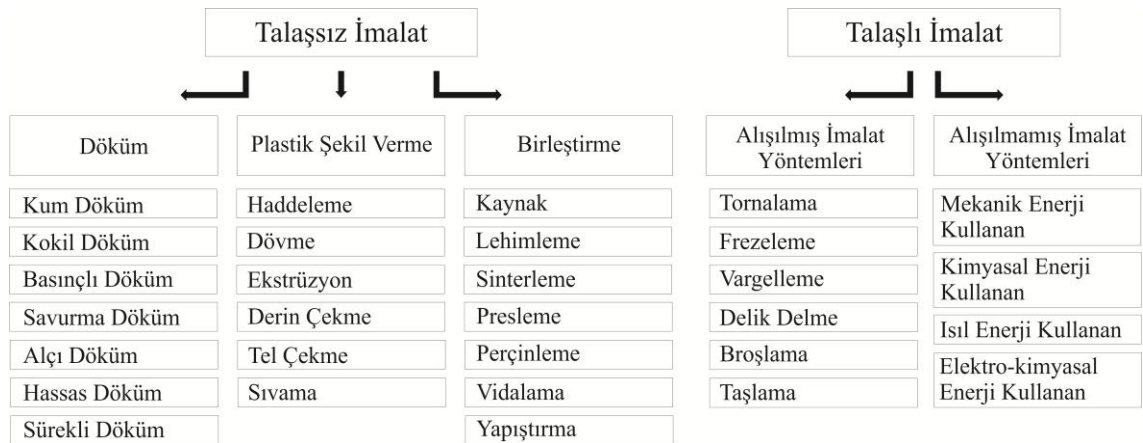
2. TASARIM SONRASI ÜRETİM METOTLARI

Üretim kelimesinin kökeni Latince'den gelmektedir ve iki kelimeden türemiş olup, manus and foctus (el ile yapma); bileşimi anlamındadır. Günümüzde kullandığımız çoğu modern üretim yöntemi, insanlar tarafından kontrolü sağlanan, mekanik ve otomatik aletler tarafından yapılmaktadır [9].

İmalat; yarı mamul halden mamul hale getirme işlemine verilen isimdir. İmal ise ham maddeyi yarı mamul hale getirmek anlamındadır [10]. İmalat süreçlerinde, çeşitli hammaddeler veya yarı mamuller yardımı ile daha farklı yarı mamul veya işlem den geçmiş ürünler elde edilebilir. Bu sebeple amaca uygun farklı üretim metotları kullanılmaktadır [11].

2.1. ÜRETİM METOTLARINA GENEL BAKIŞ

Endüstriyel imalat yöntemleri genel olarak talaşlı imalat ve talaşsız imalat olmak üzere iki grup altında sınıflandırılabilir. Talaşlı imalat, alışılmış imalat yöntemleri ve alışılmamış imalat yöntemleri olmak üzere iki gruba ayrılırken, talaşsız imalat yöntemleri döküm, plastik şekil verme ve birleştirme olmak üzere üç grupta inceleyebiliriz [12], [13]. Üretim metotları Şekil 2.1'de gösterildiği gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 2.1. Üretim metotlarının sınıflandırılması.

2.1.1. Talaşsız İmalat

Talaşsız imalat yönteminde yarı mamul çeşitli kalıp ve araçlarla şekillendirilmesi yöntemi ile uygulanır. Bu üretim metodu ile şekli üzerinde değişikliğe gidilen katı cisimlerin birçoğunda kütle ve bileşim aynı kalır. Bu yöntemde işleme tabi tutulan yarı mamuller genellikle kütük (takoz) veya sac metal olarak temin edilmektedir [11]. Bu üretim metodu çeşitleri döküm, haddeleme, bükme, dövme, plastik enjeksiyon, presleme, derin çekme, sıvama, kaynak, lehim vb. gibidir [10]. Kaynak, lehim vb. yöntemler sökülemeyen bağlantı elemanları olarak da sınıflandırılabilir [14].

2.1.1.1. Döküm

Döküm yöntemi kullanılarak ergitilen sıvı ve akıcı hale getirilmiş metal ve alaşımlarının, önceden hazırlanmış istenilen formdaki kalıplara dökülmesi yöntemi ile şekillendirilme ilkesine dayanan bir üretim metodudur. Bu üretim metodunu uygulamak amacı ile hazırlanan kalıplar, üretilecek parçanın şekline sahip boşluklar barındırmaktadır. Kalıba dökülen metaller soğuyup katılaştıktan sonra kalıplardan çıkartıldığında üretim tamamlanmış olur [11]. Döküm yöntemi günümüzde en yaygın olarak kullanılan seri üretim yöntemlerinden biridir. Döküme örnek olarak kum döküm yöntemi Şekil 2.2’de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.2. Kum döküm yöntemi [15].

2.1.1.2. Plastik Şekil Verme

Bazı kaynaklarda talaşsız imalatın bir diğer adı olarak anılan plastik şekil verme, üretime tabi tutulan malzeme veya iş parçasının, şekil veya kesitinde değişikliklere sonuçlanan kalıcı bir plastik deformasyona uğraması yöntemi ile uygulanır. Bu imalat metodunda kullanılan iş parçası çoğunlukla sac metal veya sac metalden üretilmiş yarı mamul olarak karşımıza çıkmaktadır [11].

Ayrıca plastik şekil verme ile sağlanan yüksek dayanım özelliklerine diğer üretim metotları ile ulaşabilmek; bugüne kadar mümkün olmamıştır [16]. Plastik şekil vermeye örnek olarak haddeleme yöntemi Şekil 2.3'te gösterildiği gibidir.



Şekil 2.3. Haddeleme yöntemi [17].

2.1.1.3. Birleştirme

İki veya daha fazla iş parçası veya yarı mamulün, dolgu malzemesi kullanılarak veya kullanmayarak birleştirilmesi yöntemine dayanan bu yöntem oldukça sık kullanılan bir diğer üretim metodu olarak karşımıza çıkar [11]. Birleştirme yönteminde genel yapı çelikleri, düşük karbonlu çelikler, paslanmaz çelikler, demir dışı metaller ve farklı alaşımlar kullanılabilir.

Birleştirme yolu ile imalat oldukça fazla malzeme çeşitliliği sunmasına karşın, malzeme seçimi de bir o kadar önem taşımaktadır. Bu işlem uygulanmadan önce, malzeme özellikleri, amaçlanan performansı sağlamak için yeterli olmalıdır. Birleştirmeye örnek olarak kaynak yöntemi Şekil 2.4’te gösterildiği gibidir.



Şekil 2.4. Kaynak yöntemi [18].

2.1.2. Talaşlı İmalat

Talaşlı imalatta ise talaşsız imalatın aksine kütleyi azaltma söz konusudur. Bu yöntemde istenilen formlarda talaş kaldırma yöntemi için kesici takımlar kullanılır [10].

Kesici takımların işlevlerini yerine getirme işlemi sırasında açığa çıkan ısı veya enerji sonucu yüksek sıcaklık, takımın ömrünü azaltan faktörlerin başında gelir. Talaşlı şekillendirme kesici takımları, talaşsız şekillendirme zımba ve kalıpları ile döküm kalıbı olarak kullanılan takım çelikleri göz önüne alınırsa, sıcaklığın takım özelliklerini kötü yönde etkileyerek onların aşınmalarını hızlandıran ve ömrünü azaltan önemli bir faktör olarak göze çarpmaktadır [19]–[21].

İşlemleri açısından karşılaştırdığımız zaman delik delme işlemi diğer tüm talaşlı şekillendirme işlemlerinin %40'ını oluşturmaktadır [22]. Bu yöntem imal edilen parçaların sökülebilen bağlantı elemanları aracılığı ile montaj işleminin gerçekleştirilmesi amacı ile sıklıkla kullanılmaktadır [23].

2.1.2.1. Alışılmış İmalat Yöntemleri

Alışılmış imalat yöntemleri, kesici takım ve iş parçası arasında fiziksel temas ve göreceli hareket uygulama söz konusudur. Kesici takım işlemi gerçekleştiren, iş parçası ise işleme tabi tutulan parçalardır.

İmalat sektöründe oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olan alışılmış imalat yöntemlerine tornalama, frezeleme, delik delme, raybalama, vargelleme, broşlama, taşlama gibi örnekler verebiliriz [11]. Bu yönteme örnek olarak tornalama yöntemi Şekil 2.5'te gösterildiği gibidir.



Şekil 2.5. Tornalama yöntemi [24].

2.1.2.2. Alışılmamış İmalat Yöntemleri

Alışılmamış imalat yöntemleri özellikle ikinci dünya savaşından sonra geliştirilmiş ve çağdaş teknolojiye kendisine yaygın kullanım alanı bulmuş yöntemlerdir. Bu yöntemler alışılmış yöntemlerden farklı olarak fiziksel temas ve göreceli hareket kullanmaktan ziyade amaca uygun çeşitli enerji türleri yardımı ile parça işleyen, aşındıran veya şekillendiren yöntemler olarak karşımıza çıkmaktadırlar [25].

Alışılmamış imalat yöntemlerine elektro-kimyasal işleme, su jeti işleme, elektro-erezyon işleme ve lazer ışını ile işleme örneklerini verebiliriz [10]. Bu yöntemlere örnek olarak lazer ışını ile işleme yöntemi Şekil 2.6’da gösterildiği gibidir.



Şekil 2.6. Lazer ışını ile işleme yöntemi [26].

2.2. ÜRETİM METOTLARININ TARİHSEL GELİŞİMİ

Tarih boyunca nesneleri oluşturmada daha iyi olan kültürler daha başarılıydı. Nesneleri oluşturmada daha iyi olmak; daha kullanışlı aletler ve silahlar üretmekti [27], [28].

Üretim insanlık tarihinin tamamında olduğu düşünülmektedir. M.Ö. 8000 yılları tarım

devrimi olarak öngörülmektedir. Bu tarihlerde imalat, insan ve hayvanların kas gücü ve bu gücün daha verimli kullanılabilmesi için geliştirilen aletlerle yapılmıştır. Tarım devrimi ile beraber toprak değer kazanmış ve insanlar göçebe hayattan yerleşik hayata geçiş yapmaya başlamıştır. Bu sayede kas gücü ve toprak üretim aracı olarak ön plana çıkmıştır [29]. Ağır sabanın icadı bu devirde insanlık tarihi için büyük anlam ifade etmektedir.

Sanayi, insan ve hayvan gücüne dayalı üretim tarzından, makine gücünün hakim olduğu üretim tarzına geçiştir. Sanayi devrimi (1765) insanlık tarihi adına en önemli gelişmelerden birisi olarak kabul edilir. Makinenin insan hayatında yer almaya başlamasıyla birlikte, yaşam tarzı değişmiş ve dünya yeniden şekillenmeye başlamıştır [30]. Tarıma dayalı geleneksel toplumlarda üretim genellikle evlerde, el tezgahlarında yürütülürken, sanayi devrimi sonrasında ise fabrikalarda yapılmıştır. Konut ve iş yeri birbirinden ayrılmış ve sanayideki kitlesel üretim kentleşmeyi ve kent hayatını değiştirmiştir [29]. İngiltere’de 1750 veya 1760’larda ortaya çıkan sanayi devrimi, ekonomik ve sosyal yaşamda birçok farklılığa yol açmıştır. Sanayi bölgeleri çevresinde kurulan şehirler, geniş aile tipinden çekirdek aile tipine geçiş, eğitim kurumlarının düzeni, toplumun kurum ve yapıları değişirken, bunlara paralel olarak değer, norm ve davranış kalıpları da değişmiştir [29]. Öncelikle dokuma sektöründe ortaya çıkan sanayi devrimi, daha sonrasında diğer alanlarda da aktif hale gelmiştir [31].

Sanayi devrimi, bilimi temel alan bir teknolojiye bağımsız, ustalık geleneği temelinde doğup gelişmiştir. Sanayinin bilimi temel alarak ortaya ilk çıkan ürünü, 1831 yılında elektrik motorunun icadı ile gerçekleşmiştir. Elektrik motoru, 1820-1830 yıllarında Danimarkalı bilim adamı H.C. Oersted ve İngiliz fizikçi Faraday’ın yaptıkları bilimsel buluşlar neticesinde, 1831 yılında Amerikalı fizikçi B.J. Henry tarafından yapılmıştır [29], [32], [33]. Bu olay teknoloji ve bilimin bir arada ortaya çıkmasının başlangıcı sayılmaktadır.

Sanayi konusunda İngiltere 19. yüzyılın ortalarına kadar diğer milletlere öncülük etmiş ve “Dünyanın atölyesi” olarak anılmıştır. İngiltere’yi Belçika ve Fransa izlemiş, 19. yüzyılın son 30 yılında Almanya ve ABD’de kendi sanayi devrimlerini gerçekleştirmişlerdir. 20. yüzyılın başında da SSCB ve Japonya bu ülkelere ortak olmuştur. 20. yüzyılın ortalarında ise sanayi devrimi Çin ve Hindistan gibi ülkelere de yayılmıştır [29].

19. Yüzyılın ikinci yarısında meydana gelen teknik ilerlemeler ışığında; elektrik motoru, içten yanmalı motor, elektrik ampulü, telefon, telsiz, telgraf gibi icatların keşfedilmesi önemli gelişmeler olarak insanlık tarihinde yer edinmiştir. Bu dönem ikinci sanayi devrimi olarak adlandırılmaktadır [29]. Nükleer enerji ve elektronik endüstrisi sayesinde bilgisayar ve elektronik gelişmeler ışığında bilgi teknolojileri geliştirilmiş ve bu dönem de üçüncü sanayi devrimi olarak adlandırılmıştır.



3. İMALAT SEKTÖRÜNDE ÇOK BOYUTLU YAZICILAR

İmalat birçok değişkenin belirli koşullar altında bir araya gelmesi ile sürdürülen bir süreçtir. Üretim tarzında veya bileşenlerinde meydana gelen değişimler, tarihte dönüm noktası olan anlara işaret eder. Nasıl ağır sabanın bulunması, Avrupa tarihinin gelişmesinde önemli bir yer edinmiş, buhar makinesinin icadı insanoğluna yeni bir çağın kapılarını açmışsa, 3D (üç boyutlu) yazıcıların da insanlık tarihi adına benzer bir etki göstereceği değerlendirilmektedir [34]. 3 boyutlu yazıcılar, bilgisayar kontrolü ile üç boyutlu somut nesneler üretebilen endüstriyel bir robot olarak insanlara hizmet etmektedir [35].

Üç boyutlu yazıcılar endüstri alanında kullanılan geleneksel üretim yöntemlerine kıyasla farklı teknikler kullanır. Üç boyutlu yazıcılar geleneksel üretim yöntemlerindeki gibi nesneleri keserek, bükerek veya delerek şekillendirmekten ziyade, dijital tasarımı katmanlar halinde lazer sinterleme, üst üste yığma, polimer sertleştirme gibi teknikler kullanarak nesneleri şekillendirir. Üç boyutlu baskı teknolojilerinde en yaygın olarak kullanılan yöntem katmanlı üretim yöntemleri olarak göze çarpmaktadır. Bu yöntemlerden en çok kullanılanı ise plastik malzemenin ergitilerek katı nesneler oluşturulmasını sağlayan FDM (kaynamış birikim modelleme) yöntemidir [36].

Her sektörde olduğu gibi üretim sektöründe de artan teknolojik olanaklar ile ürün geliştirme sürecinin kısaltmaya devam ettiği gözlemlenmektedir. Eklemeli imalatla alışılmamış imalat yöntemleri olarak bu gelişmelere öncülük etmektedir [37], [38]. Çok boyutlu yazdırmanın avantaj ve gelişime açık yönleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Çok boyutlu yazdırmanın avantaj ve gelişime açık yönleri [39]–[42].

Üç boyutlu yazıcıların avantajları	Üç boyutlu yazıcıların gelişime açık yönleri
-Ulaşılabilir fiyatlara kişiselleştirme, -Tasarımların kolayca paylaşılabilmesi, -Hafif, daha güçlü, daha az montaj gerektiren, daha verimli tasarımların geliştirilmesine olanak sağlaması, -Tek makine sınırsız çeşitlilikteki ürünün üretiminde kullanılabilir, -Nano ölçekli nesneler üretilebilir, -Hammadde daha verimli kullanılabilir, -Karmaşıklık için ek maliyet yoktur, -Talep üzerine oluşturulan tekli partiler, -Montaj/tüketim noktasında yazdırılabilir, -Herkes için erişilebilir imalat, -Yeni tedarik zincirleri ve perakende fırsatları, -Maliyetli aletlere veya kalıplara ihtiyaç duymaz, -Freze, yüzey işlemleri v.b. gerek duymaz, -Atık malzemeyi yeniden dönüştürme olanağı sağlar.	-Büyük hacimli yazdırmanın ekonomik olmaması, -Yazdırılabilir malzemelerin sayısının az olması, -Yazdırılabilir malzemenin maliyetlerinin yüksek olması, -Aynı yazıcıdan birden fazla malzemenin kullanımının sınırlı olması, -Çok büyük nesneleri yazdırmadaki güçlükler, -Dayanıklılığın istenilen seviyelere henüz ulaşmaması, -Standartların yetersiz olması, -Kalite güvencesi geliştirme gerekliliği, -Diğer teknolojilere göre hassasiyetinin düşük olması.

3.1. TEMEL KAVRAMLAR

Üç boyutlu yazıcı dijital ortamda hazırlanan üç boyutlu bir dosyadan (CAD çizimleri) üç boyutlu katı nesneler üretmeyi sağlayan makineler olarak adlandırılır. Bu makineler tasarım ve çalışma mantığı olarak CNC (bilgisayar destekli nümerik kontrol) sistemlere benzemektedirler. Üç boyutlu yazıcılar ile dijital ortamda tasarımı yapılmış modeller kısa süre içerisinde ele alınıp incelenmesi mümkün nesneler haline gelebilmektedir [7].

Çok boyutlu yazıcıların temel prensibi eklemeli imalattır. Eklemeli imalat, alışılmamış

imalat yöntemlerinden birisidir. Üç boyutlu geometrik verileri kullanarak malzemenin bir biri ardına katman katman eklenmesiyle, karmaşık geometrili fiziksel parçaların hızlı bir şekilde imalatını gerçekleştiren bir imalat tekniğine dayanmaktadır. Eklemeli imalatın kullanımı 90'lı yıllarda başlamış ve zaman içinde yaygınlaşmıştır. Ülkemizde henüz tam anlamıyla bilinen bir imalat metodu olmayan bu yöntem, dünya genelinde birçok ülkede artan oranlarla kullanılmaktadır [43].

Üç boyutlu yazıcılar genel olarak kasa, hareket eksenleri ve motorları, baskı tablası, nozzle ucu ve elektronik kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Kasa yazıcının motorlarını, eksenlerini, tablasını ve ısıtıcı ucunu taşıyan ana elamanıdır. Kasa kısmı yazıcının büyüklüğüne ve özelliklerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Genel olarak plastik parçalar ve bunlar ile birleştirilen alüminyum parçalardan oluşmaktadır. Günümüzde yaygın olarak yapılan rebrap yazıcı projelerinde daha çok gijonlar plastik bağlantı parçaları ve alüminyum sigma profiller ile gövdeler oluşturulmaktadır [44].

Bu teknikte baskısı alınacak model, bilgisayar destekli tasarım programları ile çizim veya üç boyutlu tarama teknolojisi ile elde edilen modellerden üretilir. Üretilen model amaca uygun kullanılan dilimleyici adı verdiğimiz bilgisayar programları sayesinde istenilen kriterlerde amaca uygun belirlenen sayıda ince katmanlara ayrılır (dilimleme) ve yazıcı baskı tamamlanıncaya kadar her bir katmanı ardışık biçimde üretmek için bu geometrik veriyi kullanır [2], [45]. Bilgisayar destekli model tasarımı yapmak ve üç boyutlu tarama teknolojisi kullanmak herkes için mümkün olmasa bile 3D model pazarları internet üzerinde oldukça kullanılır hale gelmiştir. Bilgisayar destekli model tasarımı veya üç boyutlu tarama teknolojisine sahip kişiler tarafından ücretli veya ücretsiz olarak paylaşılan üç boyutlu modeller bu pazarda insanların kullanımına sunulmaktadır.

Çok boyutlu yazıcıların bir diğer en önemli özelliklerinden birisi ise kendi yedek parçasını kendisinin üretebilmesidir. Pek çok kullanıcı ve kuruluş, ev ve masaüstü kullanımına uygun üç boyutlu yazıcılar geliştirmekte ve bunları pazara sunabilmektedir. Bu geliştirmeler çoğunlukla akademisyenler ve yazılımcıların yardımlarıyla DIY (kendin yap) benimseyen topluluklar tarafından yürütülür [35]. Hobi amaçlı 3D yazıcı kullanıcılarının baskı örnekleri Şekil 3.1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.1. Hobi amaçlı 3D yazıcı kullanıcılarının baskı örnekleri [46].

Üç boyutlu yazıcılar ile üretim hem zaman hem maliyet konusunda oldukça başarılı olmuştur. Üretilcek ürünün karmaşıklığının bir önemi kalmadan tek parça halinde üretilmesi ve montaj ekipmanlarına gerek kalmadan bu işi yapabilmesi bu durum üzerinde oldukça etkili bir hale gelmiştir. Dolayısıyla bu teknoloji hem iş gücü hem maliyet tasarrufu konusunda oldukça etkili büyük bir önem kazanmaktadır. Ayrıca üretilcek modellerin üretilmeden önce değiştirilebilmesi, özgür renk seçeneği ve yedeklenebilmesi konusunda da büyük bir öneme sahip olan bu teknoloji, kullanıcıya her türlü imkanı mümkün kılmaktadır [42], [47].

Bu teknolojinin en büyük özelliklerinden biri ise karmaşık yapıya sahip, gerek iç içe sarmal, gerek ince işlemeli modellerde bize üretim imkanı sağlamasıdır. Bu teknolojide baskısı alınacak modelin ne kadar karmaşık bir yapıya sahip olduğunun bir önemi yoktur. Tüm modelleri tek parça halinde yazdırma özelliğine sahiptir. Yazdırma işlemi sırasında modelde bulunan yapılar arasındaki boşlukları tamamlamak amacı ile destek materyal ile bu hizmeti bize sunmaktadır. Yazdırma işlemi bittikten sonra bu destek materyali modelimizden çıkarıp, istediğimiz yapıya sahip olmamızı mümkün kılar. Her türlü materyali destek materyali olarak kullanmamıza olanak vardır. Bazı yazıcılarda modelde bulunan yapılar arasındaki boşluklar toz şeklinde destekleme yapılırken, FDM gibi yazıcılarda sadece destek materyali olarak kullanılan ve suda eriyen materyal de bulunmaktadır. Tüm destek materyalleri gerekli işlemler ile temizlendikten sonra amaca uygun kullanıma gelmektedir. Çok boyutlu yazdırma teknolojisi kullanmadan tek parça halinde üretimi imkansız ve karmaşık yapıya sahip model örnekleri Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.2. Çok boyutlu yazıcı harici tek parça üretimi imkansız model [48].



Şekil 3.3. Çok boyutlu yazıcı harici tek parça üretimi imkansız model 2 [49].

Üç boyutlu yazdırma teknolojisinde kullanılan materyal çeşitliliği her geçen gün artmakla beraber, 2014 yılına kadar çok boyutlu yazdırma teknolojisinde kullanılan materyaller ile ilgili alınan patent sayıları Çizelge 3.2’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.2. Çok boyutlu yazdırmada kullanılan materyallerin patent sayısı [50].

Materyal	Adet	Materyal	Adet
Seramik	211	Çelik	39
Plastik	183	Fotopolimerler	38
Kağıt	144	Karbon fiber	37
Alüminyum	142	Naylon	33
Polietilen tereftalat	131	Poliolefin	28
Kauçuk	114	Kil	25
Epoksi	112	Polivinil Asetat	24
Titanyum	95	Metakrilik	22
Nikel	92	Paladyum	21
Polietilen	85	PLA (Polilaktik asit) plastik	19
Polikarbonat	82	Polieter eter keton (peek)	16
Balmumu	80	Melamin	14
Termoplastik	70	Polieterimit	12
Poliamid	63	Polifenilsülfon	11
Polivinil klorür	59	Poli parafenilen tereftalamid	8
Gümüş	56	Alkid	7
Polipropilen	56	Cam elyafı (fiberglass)	7
Fenolik	55	Yüksek yoğunluklu polietilen	6
ABS (akrilonitril bütadien/stiren) plastik	44	Poliamidimid	5
Elastomer (elastik polimer)	44	Furan	4
Termoset	44	Poliviniliden klorit	3
Polimid	40	RTV (oda sıcaklığında vulkanizasyon) silikon	2
Paslanmaz çelik	40		

3.1.1. Çok Boyutlu Yazıcı Tipleri

Günümüzde pek çok sayıda katmanlı imalat metodu geliştirilmiştir. SLM (selektif lazer eritme), ya da DMLS (doğrudan metal sinterleme), SLS (selektif lazer sinterleme), FDM (erimiş birikimi modelleme) gibi bazı yöntemler katmanların üretilmesi için

malzemeyi eritirken ya da yumuşatırken, diğer metotlar SLA (stereo litografi) gibi farklı gelişmiş teknolojileri kullanarak sıvı malzemeleri (reçine) birleştirmektedir [35]. Çok boyutlu yazdırmada baskı teknolojilerini genel olarak Çizelge 3.3'teki gibi sınıflandırabiliriz.

Çizelge 3.3. Çok boyutlu baskı teknolojileri [5].

Tip	Teknolojiler	Malzemeler
Ekstrüzyon	FDM (Kaynaşmış birikim modelleme)	Polilaktikasit (PLA), Akrilonitril bütadien/stiren (ABS)
Bağlama	EBF (Elektron ışını serbest fabrikasyon)	Neredeyse bütün metal alaşımlar
Granüller	DMLS (Doğrudan metal lazer sinterleme)	Neredeyse bütün metal alaşımlar
	EBM (Elektron ışın ergitme)	Titanyum alaşımları
	SLM (Seçici lazer eritme)	Titanyum alaşımları, paslanmaz çelik, alüminyum
	SHS (Seçici ısı sinterleme)	Termoplastik toz
	SLS (Seçici lazer sinterleme)	Termoplastik, metal tozları, seramik tozları
Toz yatak ve mürekkep püskürtmeli	PP (Alçı tabanlı baskı)	Alçı
Katmanlı	LOM (Lamine nesne imalatı)	Tabaka, metal folyo, plastik folyo
Işık polimerize	SLA (Stereo litografi)	Fotopolimer
	DLP (Dijital ışık işleme)	Fotopolimer

2014 yılına kadar çok boyutlu yazdırmada kullanılan teknolojiler ile ilgili alınan patent sayıları Çizelge 3.4'te gösterildiği gibidir.

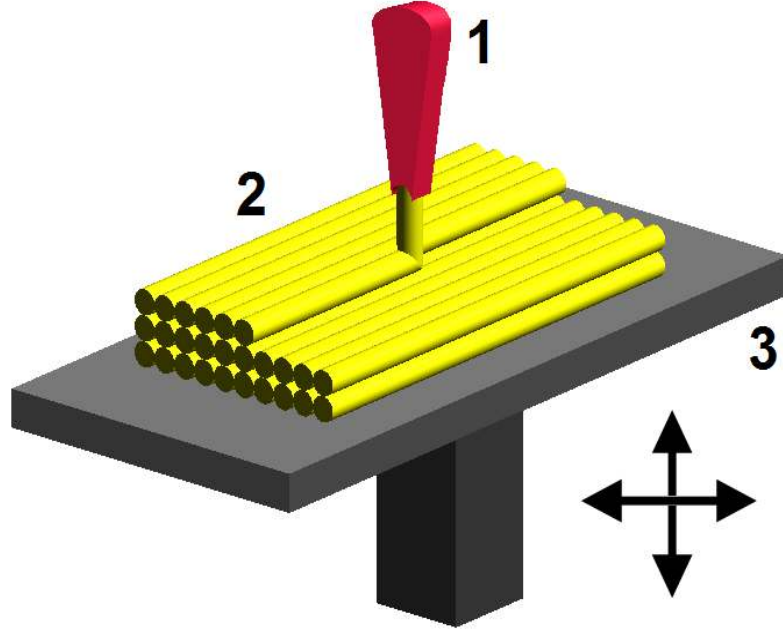
Çizelge 3.4. Çok boyutlu yazdırmada kullanılan teknolojilerin patent sayısı [50].

Teknoloji	Adet	Teknoloji	Adet
Stereo litografi	557	Katmanlı nesne imalatı	118
Lazer sinterleme	365	Lazer eritme	95
Kaynamış birikim modelleme	321	Fotolitografi	88

3.1.1.1. FDM Teknolojisi

Üç boyutlu baskı dünyasındaki en önemli gelişmelerden birisi de Scott Crump'ın FDM isimli teknoloji olarak göze çarpmaktadır. FDM günümüzde en çok kullanılan üç boyutlu yazdırma teknolojisidir. Bu teknoloji termoplastik bir malzemeyi eriterek STL (stereo lithography) dosyalarına göre katman katman bir araya getirmesiyle çalışmaktadır [51], [52]. Filament formundaki materyal belirlenen sıcaklıktaki nozzle adı verilen uç sayesinde eritilerek katmanlar halinde bir araya getirilir. Bu nozzle bilgisayar tarafından belirlenmiş kodlar yardımı ile üretilecek parçanın geometrisini oluşturacak şekilde hareket sağlar ve filament dediğimiz termoplastik materyalin üst üste yığılıp birbirine kaynaması ile beraber her bir 2 boyutlu katmanın, 3 boyutlu halinde üretim tablasında oluşturulması tekniğidir [53]. Bu teknolojiye önemli nokta, kullanılan filamentin materyal özelliklerine göre soğuma ve ısınma geçişlerinde gerekli önlemler baz alınarak kullanılmadığı takdirde nozzle denen uçta tıkanıklıklara veya üretilmek istenen parçada yazıcı tablasından kalkma, parçanın katmanları arasında belirli esnemeler sonucu ayrılma gibi bir çok hataya sebep olmaktadır ve sürekli bakıma ihtiyaç duymaktadır [7]. Bu noktada nozzle sıcaklık ayarı, kullanılan materyal kalitesi ve seçimi, tabla sıcaklığı veya üç boyutlu yazıcının bulunduğu ortam koşulları yazdırma kalitesinde etkili olabilmektedir. Sorunsuz bir üç boyutlu yazdırma için tüm koşulların istenilen kriterlere uygun olması ve yazıcıyı kullanan operatörün veya kişinin bir miktar tecrübe sahibi olması gerekmektedir. DIY olarak her insanın kullanımına uygun olarak sunulan çok boyutlu yazıcılarda, kullanıcıların biraz daha dikkatli olmaları ve yazdırma esnasında yazıcının yakınlarında bulunması önemli bir noktadır. Çok boyutlu yazıcılar

kendi işlemini gören robotlar olmasına karşın başıboş halde çalıştırılmaması gerekmektedir. Herhangi bir kablo temassızlığı ile doğabilecek yangın ihtimali sosyal medya platformlarında gün geçtikçe artarak görülmektedir. FDM teknolojisi çalışma prensibi Şekil 3.4’te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.4. FDM teknolojisi çalışma prensibi [54].

FDM teknolojisi olarak bildiğimiz yazıcılar tasarımlarına göre kendi arasında kartezyen, corexy ve delta tipi olarak 3’e ayrılmaktadır.

Kartezyen tipi çok boyutlu yazıcılar genellikle bilgisayar kontrollü xyz kartezyen platformuna bağlanmış termoplastik püskürtücüden oluşurlar. Bu yazıcıların kasa iskeletleri çelik veya sigma profillerden oluşur. Bağlantı elemanları ya geleneksel yollarla imal edilerek ya da başka bir çok boyutlu yazıcıdan imal edilerek kullanılan parçalardır. Hobi olarak en sık kullanılan tip olarak göze çarpan kartezyen tipi FDM yazıcılar, kullanıcısının kendisini geliştirmesine olanak sağlamaktadır. Bu tip yazıcılarda delta ve corexy tipine göre rijitlik çok daha önem taşımaktadır. Makineyi birleştiren kişinin ustalığı makinenin rijitliğinde önemli yere sahiptir. Diğer tiplere göre daha yavaş yazdırma dezavantajı vardır. Bunun sebebi ise tablanın sürekli hareket halinde olup, titreşime sebep olabilmesidir fakat bu durum kullanıcısının ustalığına göre giderilebilir. Kartezyen tipi FDM çok boyutlu yazıcı görseli Şekil 3.5’te gösterildiği gibidir.



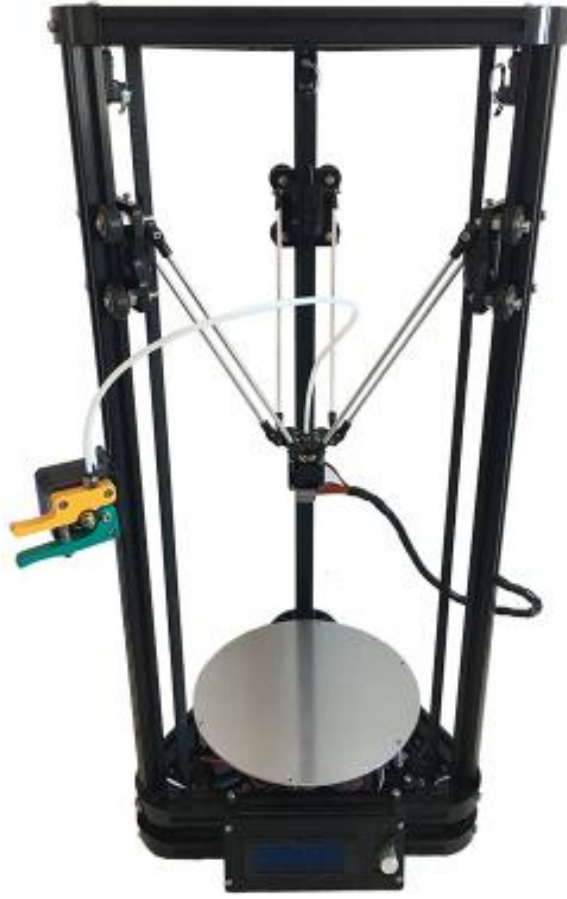
Şekil 3.5. Kartezyen tipi FDM çok boyutlu yazıcı örneği [55].

Corexy tipi FDM yazıcılarda X ve Y eksen hareketleri kayış ve kasnaklar yardımıyla yapılmaktadır. Burada eritmeyi yapan nozzle XY koordinat sistemine bağlanmıştır. Z eksen hareketi ise tablaya verilmiştir. Bu şekilde daha stabil ve kartezyen tipine göre daha hızlı yazdırma işlemi gerçekleştirmek mümkün olmaktadır. Tabla vidalı miller aracılığıyla step motorlar ile kontrol edilmektedir [3]. Kasa yine kartezyen tipi yazıcılarda olduğu gibi çelik veya sigma profillerden oluşur. Kullanım amacına uygun şekilde gerekirse kasanın etrafı ahşap, pleksi, sac metal vb. malzemeler ile örtülerek sıcaklık ve hava muhafazası elde edilebilir. Kartezyenden sonra en yaygın kullanılan FDM tipi corexy diyebiliriz. Corexy tipi FDM çok boyutlu yazıcı örneği Şekil 3.6'da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.6. Corexy tipi FDM çok boyutlu yazıcı örneği [56].

Delta tipi FDM yazıcıları diğer FDM yazıcı tiplerinden ayıran temel fark, dikey Z eksenindeki hareketi sağlamak için üç yerden birer step motor ile tahrik edilmesidir. Bunun sebebi delta yazıcıların üçgen şeklinde oluşturulmuş iskelet sistemidir [57]. Kasa olarak diğer FDM tiplerinde olduğu gibi bu yazıcıda da çelik veya sigma profiller kullanılır. Tasarımı sayesinde yazdırma hızı olarak diğer tip yazıcılara göre oldukça başarılı olabilmeleri mümkündür fakat kurulumu ve montajı aşamasında çok daha fazla teknik detay ve bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Kalibrasyonu oldukça zor olan Delta tipi yazıcılar, ilk etapta her ne kadar amatör kullanıma uygun gibi gözükse de, kullanıcısına belirli açılardan zorluklar yaratabilmektedirler. Delta tipi FDM çok boyutlu yazıcı örneği Şekil 3.7’de gösterildiği gibidir.



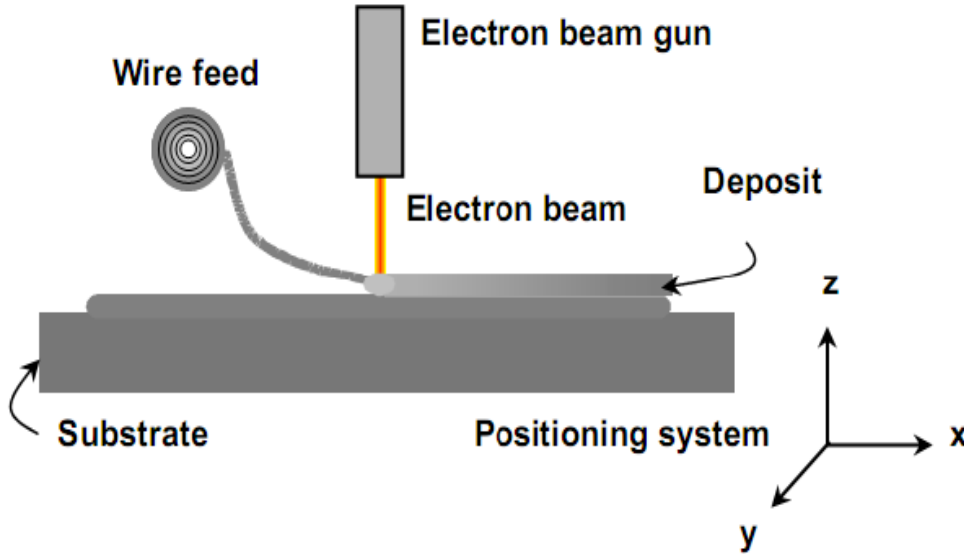
Şekil 3.7. Delta tipi FDM çok boyutlu yazıcı örneği [58].

FDM teknolojisi diğer mevcut çok boyutlu yazdırma teknolojilerine oranla mukavemet ve dayanım açısından gösterdiği performansa ve başlangıç maliyeti göz önüne alındığında daha kullanışlı ve ulaşılabilir bir durumdadır. FDM sisteminde ekstrüzyon kafası halen geliştirilmeye açık bir durumdadır ve bu parçada uygulanabilecek gelişmeler ile beraber malzeme teknolojisi yardımı sayesinde daha önemli başarıların elde edilmesi ve baskı materyali yelpazesinin genişlemesi daha mümkün hale gelecektir [59].

3.1.1.2. EBF Teknolojisi

EBF teknolojisi yerçekimsiz ortamlarda metal parçalar oluşturmak amacı ile katman biriktirme işlemi olarak adlandırılır. NASA tarafından geliştirilen ve patentli olan EBF teknolojisi, havacılık endüstrisi ile bağlantılı olarak, metalik bir tabaka üzerinde erimiş bir havuz oluşturmak için odaklanmış bir elektron ışını kullanır. Kiriş, yüzey boyunca nesnenin bir enine kesit tabakasını izler, metalik tel ise erimiş havuza beslenir. Kiriş bir alanın üzerinden geçtiğinde, tabakayı desteklemek için yeterli kuvvetle katılır. Nesne

üretimi tamamlanıncaya kadar süreç tekrar eder [60]. Bu teknoloji yaygın bir kullanıma sahip olmamakla beraber yüksek maliyeti sebebi ile çok sık karşımıza çıkmaz. EBF teknolojisi çalışma prensibi Şekil 3.8’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.8. EBF teknolojisi çalışma prensibi [61].

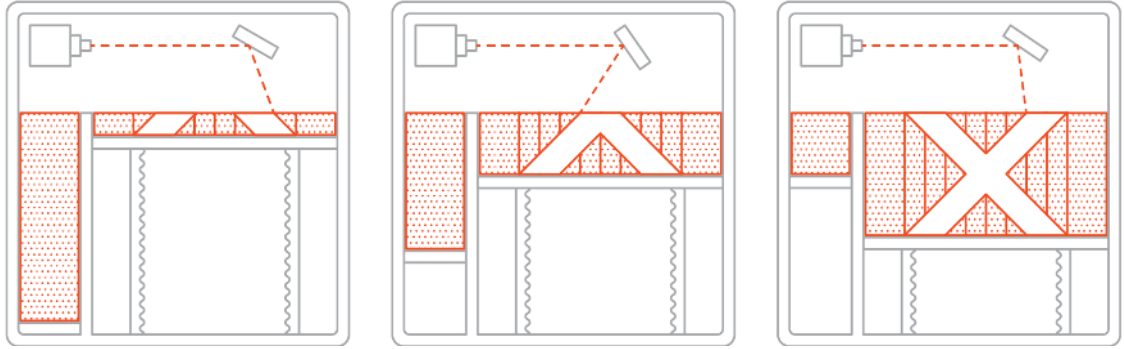
3.1.1.3. SLM, DMLS ve EBM Teknolojileri

SLM teknolojisi esasen SLS ile benzerlik gösteren bir işlemdir fakat polimerlerden ziyade metal tozun kullanılması yöntemine dayanmaktadır. SLM çok boyutlu yazıcıları metallerle kullanım üzerine uzmanlaşmıştır ve infiltre edilmesi gereken SLS teknolojisi kullanan yazıcılar ile yapılan metal parçaların aksine, tek adımda baskısı alınmış, tamamen yoğun parçaları üretebilme yeteneğine sahiptir. SLM teknolojisinde mevcut pazar lideri, Alman şirketi EOS'dur [62].

SLM ve DMLS teknolojileri, toz yatak füzyon üç boyutlu baskı ailesine ait iki metal katkı üretim prosesidir. İki teknolojinin birçok benzerliği vardır. Her ikisi de metal toz parçacıklarını taramak ve seçici olarak kaynaştırmak (veya eritmek), bunları birleştirmek ve katman katman oluşturmak için bir lazer kullanır. Ayrıca, her iki işlemde de kullanılan malzemeler, granüler bir formda bulunan metallerden oluşmaktadır. Elektron ışın ergitme (EBM) teknolojisinde ise yoğun metal parçaların üretilmesinde kullanılabilecek diğer katkı üretim süreçleri vardır [63].

SLM ve DMLS teknolojileri arasındaki farklar, partikül bağlama işleminin (ve ayrıca patentlerin) temellerine iner. SLM, tek bir erime sıcaklığına sahip metal tozları kullanır ve parçacıkları tamamen eritirken, DMLS'de toz, değişken erime noktalı malzemelerden

oluşur ve yüksek sıcaklıklarda moleküler seviyede birleştirme gerçekleştirir. SLM, tek bir metalden parçalar üretirken, DMLS ise metal alaşımlarından parçalar üretebilir [63]. SLM ve DMLS teknolojisi çalışma prensibi Şekil 3.9’da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.9. SLM ve DMLS teknolojisi çalışma prensibi [64].

3.1.1.4. SHS Teknolojisi

SHS teknolojisi katı nesneler imal etmek için yüksek güçlü lazer yerine termal yazıcı kafası kullanır. SHS çok boyutlu yazıcılar sadece termoplastik toz ile kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Bir silindir, ısıtılmış bir yapı platformu boyunca bir plastik toz tabakası uygular. Termal yazıcı kafası, tozun üst tabakasını sinterlemek için yeteri kadar ısı uygulayarak, nesnenin toz üzerinde çapraz kesit alanını izler. Katman tamamlandığında, tam bir katı nesne oluşana kadar işlem tekrarlanır. Nesneyi çevreleyen fazla toz, karmaşık şekillere ve çıkmalara destek sağlayarak modelin oluşmasında önemli rol oynar. Kullanılmayan toz ayrıca bir dahaki yazdırma işlemi için tekrar kullanılabilir. Termal baskı kafaları daha az pahalı olduğundan, SHS teknolojisi maliyeti genel olarak SLS'den daha ekonomiktir [65].

3.1.1.5. SLS Teknolojisi

SLS teknolojisinde toz halindeki malzemeyi sinterlemek veya eritmek için yönlendirilmiş bir enerji demeti kullanılır ve en geniş malzeme yelpazesini sunarak, en çok kullanılan gerçek parça ve aletler için uygulanır. İnce bir toz tabakası ilk önce tablaya yayılır. Bir CO₂ (karbondioksit) lazerin bir aynaya gönderilmesi, aynanın da hareket ederek lazerin her bir kesiti taraması sağlanarak tozu sinterlemesiyle işlem gerçekleştirilir. Platform daha sonra bir kat aşağı doğru hareket eder ve yazdırılmak istenen nesne tamamlanıncaya kadar işlem tekrarlanır. Parçalar tozdan çıkarılmadan önce bütün bölmenin soğuması gerekmektedir. Orta seviyede yüzey kalitesi elde edilen lazer sinterlemeyi ön plana çıkaran özelliği hızlı bir yöntem olmasıdır. Bu teknoloji Carl

Deckard ve Joe Beaman tarafından Texas Üniversitesi makine mühendisliği bölümünde geliştirilmiştir. Deckard ve Beaman bu teknolojisini ticarileştirmek için Nova Automation şirketini kurmuşlardır [43], [62], [66].

3.1.1.6. *PP Teknolojisi*

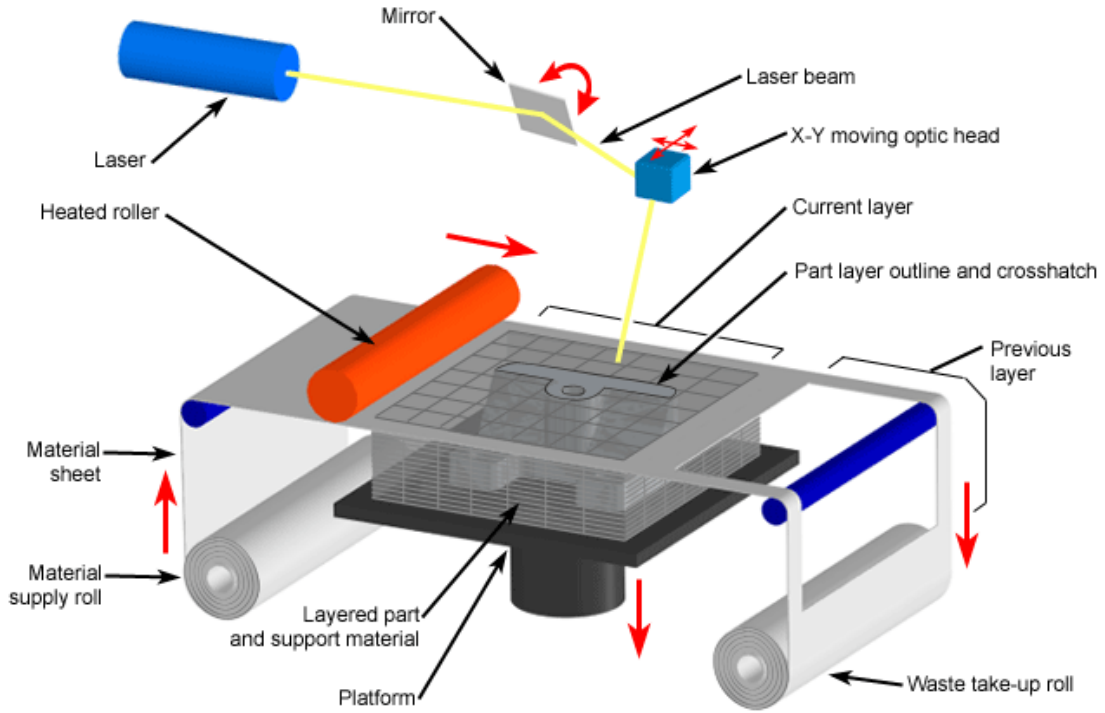
PP teknolojisinde macun oluşturmak için kuru toz ve su kullanılır. Isı ve/veya hava macunun sertleşmesi için belirli bir miktar suyu buharlaştırmak için macuna uygulanır. Bu teknoloji evimizdeki 2 boyutlu yazıcıların mürekkep püskürtme kafalarına benzer bir kafa kullanır. Baskı yatağı alçıyı tutar ve baskı kafası istenen şekildeki bir bağlayıcı malzemeyi bölümlere biriktirir. Alçı tozu daha sonra bu katman üzerine yerleştirilir ve nesne tamamlana dek bu işlem tekrar gerçekleştirilir. Nesne tamamlandığında kullanılmayan toz kaldırılır [67].

3.1.1.7. *LOM Teknolojisi*

1991 yılında Helisys, LOM adını verdikleri üç boyutlu baskı teknolojisini geliştirmiştir. Bu teknoloji arkasında katmanların birbirine kaynamasına yardımcı olması amacıyla polietilen kaplaması olan plastik ya da metal kağıt katmanlarının dijital olarak yönlendirilmiş bir lazerin kesmesi ve ardından yüksek ısıyla bir merdanenin yeni kağıt katmanını bir öncekinin üzerine eklemesi mantığı ile uygulanmaktadır [52], [68].

Bu teknik tipik olarak az miktarda büzülen, distorsiyon ve kalıntı gerilmeli parçalar yapabilmektedir. Makinenin işlem maliyeti azdır fakat kullanılan malzeme için nem emilimi ve aşırı aşınmayı önlemek amacıyla kaplama gerekir. Ayrıca bu teknoloji ile küçük ve detaylı parçalar yapmak neredeyse imkansızdır [68]–[71].

Helisys LOM-1015 isimli ürünü 85.000\$, daha büyük boyutları olan LOM-2030'u ise 140.000\$'dan piyasaya sürmüştür [52]. LOM teknolojisi çalışma prensibi Şekil 3.10'da gösterildiği gibidir.

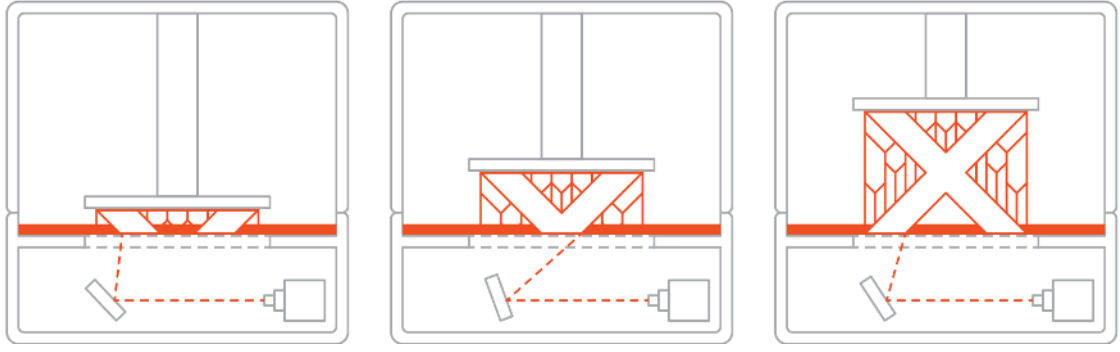


Şekil 3.10. LOM teknolojisi çalışma prensibi [72].

3.1.1.8. SLA ve DLP Teknolojisi

SLA ve DLP teknolojileri en eski bilinen üç boyutlu yazdırma yöntemi olan foto polimerizasyon tekniğini kullanır. Her iki teknoloji de, katı bir parça oluşturmak için belirli reçine bölgelerini sertleştirmek için ışık kullanır. SLA teknolojisi kullanan üç boyutlu yazıcılar bu işlemi parçanın her bir katmanının kesit alanı üzerinde dolaşan bir lazerle yaparken, DLP teknolojisi kullanan üç boyutlu yazıcılar ise her katmanın tek bir görüntüsünü tek seferde birden parlamak için bir dijital ışık projektörü kullanır [73].

SLA ve DLP yazıcıların avantajlarından biri, tek bir yapı platformunda birden fazla parça üretirken kalite kaybı olmamasıdır. Üretilen parçalar genellikle homojendir ve diğer çok boyutlu baskı teknolojilerine göre herhangi bir anizotropik sorunla karşılaşmaz [73]. Bu teknoloji hassasiyet bakımından oldukça verimlidir ve geniş kullanım alanlarına sahiptir. Ekonomik açıdan uygun olmaları sebebi ile başta biyomedikal olmak üzere kuyumculuk ve endüstride de kullanımı oldukça yaygındır. SLA teknolojisi çalışma prensibi Şekil 3.11’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.11. SLA teknolojisi çalışma prensibi [74].

3.1.2. Uygulama Basamakları

Üç boyutlu yazdırma teknolojisini kullanmak birden fazla uygulama aşamasından oluşmaktadır. Çok boyutlu yazıcılarda uygulama basamakları Çizelge 3.5’te gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.5. Çok boyutlu yazıcılarda uygulama basamakları.

3D Baskı İşlemi	
Modelleme	3D Tasarım programları yardımı ile
	3D tarama teknolojisi yardımı ile
	3D model paylaşım platformları yardımı ile
Dilimleme	Dilimleme aşaması
	G-CODE (geometrik kod) dönüşümü
3D baskı	3D üretim
Son işlem	Zımpara, boya, vernik, montaj vb.

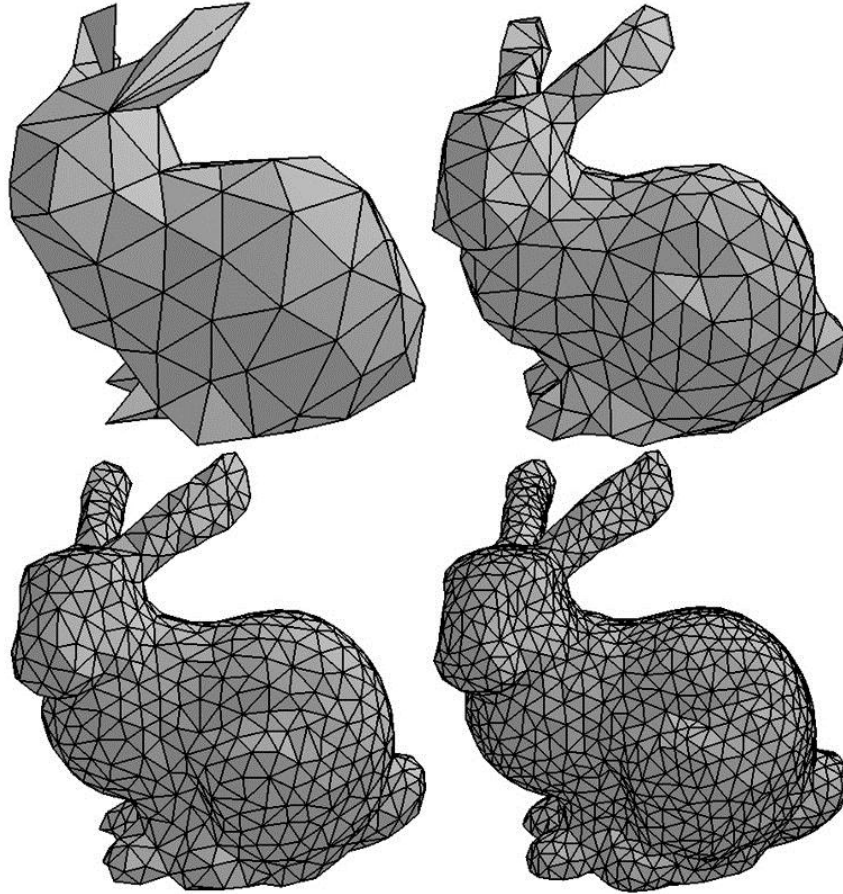
3.1.2.1. Modelleme

Modelleme; var olan veya olmayan üç boyutlu bir nesnenin tüm yüzey ve hatlarının bilgisayar ortamındaki matematiksel yansımasıdır. Modelleme yapabilmemize yardımcı olabilmek için birçok farklı program mevcuttur. Bunlardan en sık kullanılan ve en bilinenleri ise SolidWorks ve 3Ds Max’tır. 3D yazıcıdan faydalanabilmek için öncelikle elimizde yazdırmak istediğimiz nesnenin dijital ortamda çizilmiş bir modeli olmalıdır.

Baskının ilk adımı olan modellemeyi elde etmenin üç farklı yöntemi vardır. Baskısını almak istediğimiz modelleri internet üzerinden belirli siteler aracılığı ile bulunabilen hazır modellerden (ücretli veya ücretsiz), CAD (bilgisayar destekli tasarım) programları sayesinde veya 3D tarama teknolojisi yardımı ile elde edebiliriz [75].

3D model pazarları internet üzerinde oldukça yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu 3D model pazarlarına örnek vermek gerekirse; www.thingiverse.com, www.yeggi.com, www.myminifactory.com, www.youmagine.com, www.3dsky.org, www.cults3d.com en popülerleridir.

Bu elde edilen veriler ile çok boyutlu yazıcı arasında veri transferi sağlamak için bir ara yüze ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veri ara yüzü STL formatıdır. STL dosyaları, nesnenin renk, doku veya diğer öz niteliklerini temsil etmeyen, yüzey geometrisini üçgen yüzeyler kullanarak tanımlayan bir formattır [2]. STL verideki üçgen yüzeyler Şekil 3.12’de gösterildiği gibidir.



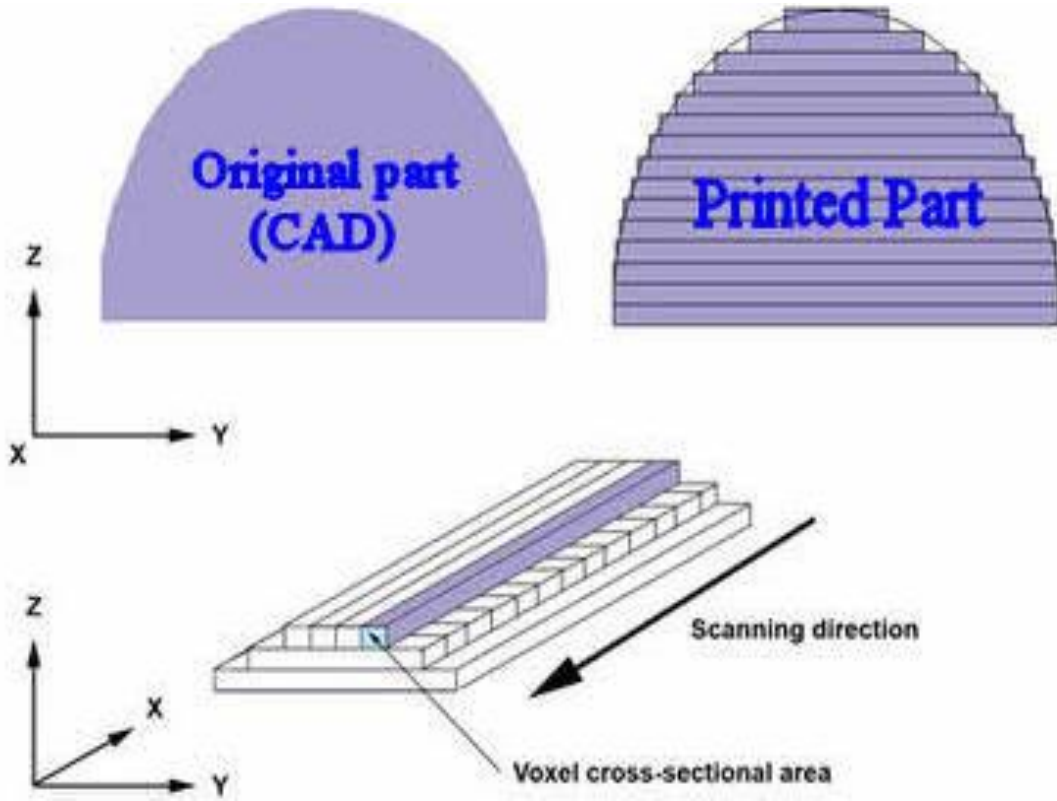
Şekil 3.12. STL verideki üçgen yüzeyler [76].

Modeller STL formatına dönüştürüldükten sonra mutlaka yüzey ve katmanlar kontrol edilmelidir.

3.1.2.2. Dilimleme

Çok boyutlu yazıcıların işleyişi CNC makinelere benzer özelliklere sahiptir ve G-CODE komutları ile işlem yapmaktadırlar. Yazdıracağımız nesnenin modelini edindikten sonra yazdırmaya uygun bir formatta kaydederek, kullandığımız program sayesinde işleyip G-CODE formatına dönüştürerek her parçanın çıktısını almak mümkündür. Modelimizi Simplfy, Cura, Repetier, Slicer, CraftWare vb. dilimleme programları yardımı ile ölçülendirebilir, belirli baskı parametreleri ışığında yazıcının baskı alabilmesine mümkün G-CODE formatında kaydedebilir ve üç boyutlu yazıcımız ile iletişim sağlayabiliriz [75].

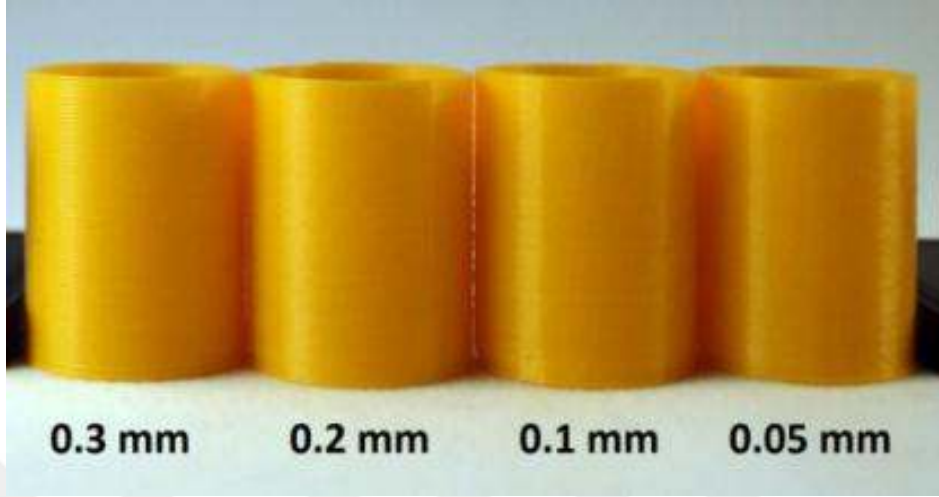
Dilimleme işlemi kullanacağımız çok boyutlu yazıcının türü ve yazdırma işlemi esnasında kullanacağımız materyalin özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Her dilim modelin ilgili kesit alanını temsil etmektedir ve baskının yüzey kalitesi iki kesit arasındaki mesafe kadardır [2]. Bu mesafe mikronlarla ölçülendirilir. Dilimleme işlemi Şekil 3.13'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.13. Dilimleme işlemi [77].

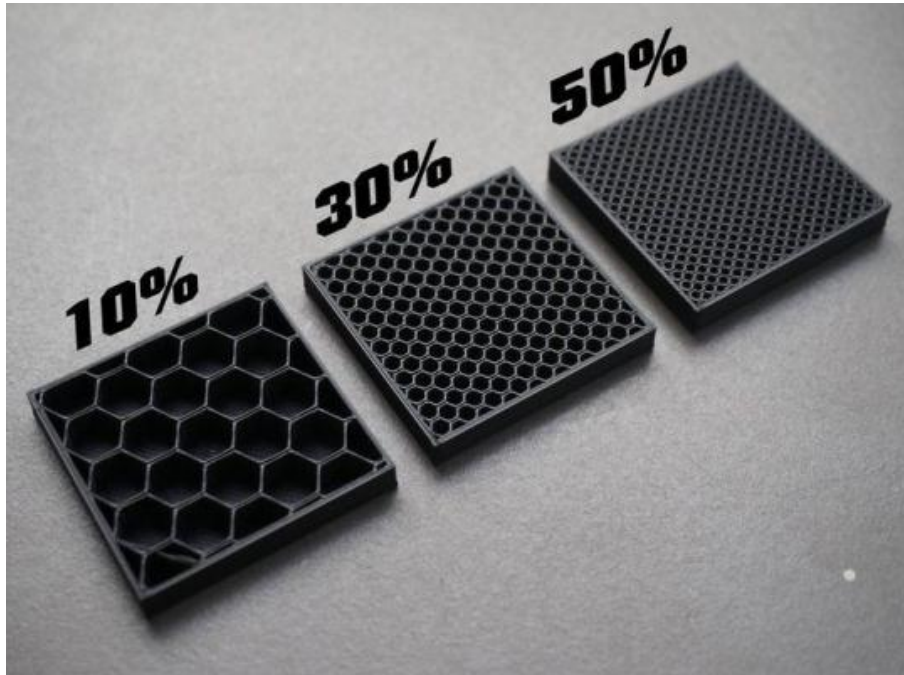
Yüzey kalitesini dilimleme programından dilediğimiz gibi yapma lüksüne sahibiz. Baskıdaki yüzey kalitesine çözünürlük de diyebiliriz. Yüzey kalitesi mikron olarak

bildiğimiz milimetrenin 1/1000'i ölçeği ile belirlenmektedir. Mikron değeri düştükçe, üretilen parçadaki baskı kalitesi de ters oranla artmış olur. Çok boyutlu yazdırma işlemindeki yüzey kalitesi farkları Şekil 3.14'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.14. Çok boyutlu yazdırma işlemindeki yüzey kalitesi farkları [78].

Çok boyutlu yazdırma teknolojisinde bir diğer önemli dilimleme etkeni doluluk oranı olarak göze çarpmaktadır. Doluluk oranı arttıkça yazdırılan parçanın sağlamlığı da artmış demektir. Doluluk oranı parçanın hacimsel olarak yüzdelik değeri ile ifade edilir ve dilimleme programı sayesinde kolayca ayarlanabilir. Çok boyutlu yazdırma işlemindeki doluluk oranı farkları Şekil 3.15'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.15. Çok boyutlu yazdırma işlemindeki doluluk oranı farkları [79].

3.1.2.3. 3D Baskı

Yazıcıdan çıkan ürüne baskı, yazdırma işlemi de baskı süreci olarak adlandırılabilir. Oluşturulan veya baskısı alınan modelin, yazdırma işleminde kullanılacak materyal türüne ve basılacak ürünün özelliklerine göre belirli sıcaklık ve ayarları yapıldıktan sonra G-CODE dosyası formatında yazıcıya bu modelin tanıtılması ile başlayan bir üretim sürecidir. Baskı süresi ve kalitesi kullanılan yazıcının özelliklerine, baskı parametrelerine ve yazdırılacak parçanın detaylarına göre değişiklik göstermektedir [75].

3.1.2.4. Son İşlem

Son işlem olarak adlandırdığımız bu süreç daha çok FDM teknolojisi kullanan yazıcılarda uygulanır. Baskısı alınan model gerektiği takdirde kullanıma uygun bir şekilde kimyasal işlemlerden veya zımparalama, boyama, vernikleme ve montaj işlemlerinden geçebilir [75]. ABS (akrilonitril bütadien/stiren) materyal kullanılarak FDM yazıcı ile baskısı alınmış parça üzerinde aseton banyosu adı verilen kimyasal tepkime sonucu meydana gelen son işlem örneği Şekil 3.16'da gösterildiği gibidir. Şekilde de açıkça görüldüğü gibi %100 saf aseton ile kimyasal tepkimeye girmiş ABS materyali, baskı esnasında oluşan katmanların birbirine kaynamasını sağlamış ve üretilen nesneye sağlamlığın yanında parlaklık da kazandırmıştır.



Şekil 3.16. Son işlem örneği (Aseton banyosu) [80].

3.2. ÇOK BOYUTLU YAZICILARIN KULLANIM ALANLARI

Fiziksel erişimin zor veya tehlikeli olduğu bölgelerde ya da uzay gibi pratik olarak müdahalenin imkansız olduğu alanlarda, gereksinim duyulan yedek parçaların veya donanımın lojistiği önemli bir sorundur. 3D yazdırma teknolojisi, uzay teknolojisi olan deniz aşırı görev güçlerine sahip ve küresel erişime ihtiyaç duyulan sektörlerde bu gereksinimlerin karşılanmasında büyük rol oynar [34]. Kullanılabilirliğinin yanı sıra belirli alanlarda imkansızı başarır, belirli alanlarda da geleneksel yöntemlere kıyasla ekonomik açıdan büyük bir üstünlük sağlar. Bunun yanında tıp, havacılık, kalıpcılık, otomotiv, dişçilik, askeri donanım, mimari, kişisel araç-gereç, heykeltçilik, kuyumculuk ve eğitim alanlarında üretilen parçalar ve ürünlerin etkin olarak kullanıldığı görülmüştür [38]. Dişçilik sektöründe 3D yazdırma teknolojisi ile kişiye özel olarak üretilmiş diş örneği Şekil 3.17’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.17. Dişçilik sektöründe çok boyutlu yazdırma teknolojisi örneği [81].

Üç boyutlu yazıcıların üretim sektöründeki kullanım alanları ile ilgili alınan patent sayılarının çoğunluğu doku mühendisliği, mekanik, basılı devre kartları, otomotiv, giysi, kalıp ve medikal olduğu saptanmıştır [39]. 2014 yılına kadar çok boyutlu yazdırma

teknolojisi uygulama alanları ile ilgili alınan patent sayıları Çizelge 3.6’da gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.6. Çok boyutlu yazdırma uygulama alanları patent sayısı [50].

Uygulama Alanı	Adet	Uygulama Alanı	Adet
Doku mühendisliği	528	Oyuncak	100
Mekanik	281	Uzay	93
Baskılı devre kartı	275	Havacılık	92
Otomotiv	264	İskele – Nano iskele	82
Giysi	234	Mücevher	81
Kalıp	214	Televizyon	61
Medikal	175	Ayakkabı	52
Telefon	163	Savunma	48
Protez	143	Mobilya	25
Robotik	117	Saat	19
Gıda sanayii	111	İnşaat	16

Sanayi sektöründe üretim için önemli olan büyük depolar, rahat üretim sahaları, yüksek maliyetli kalıplar, karmaşık tedarik sistemleri üç boyutlu yazdırma teknolojisinde sorun teşkil etmemektedir. Bu yazıcılar başlı başına bir fabrika olarak ta görülebilir. 3 boyutlu yazdırmada açık kaynaklı tasarımlar ve bu tasarımlar üzerinde her türlü değişikliklerin yapılabildiği kullanıcı dostu yazılımlar daha ilgi çekicidir [39], [82].

Halen bireysel kullanıma yönelik 3D teknolojilerinin maliyetinin pahalı olması, bu teknolojilerin kurumsal ölçekte kullanımlarının daha yaygın olmasına sebebiyet vermektedir. 2014 yılında 100 üretim firması ile gerçekleştirilen bir araştırma sonuçlarına göre bu firmaların %11’inde 3D yazdırma teknolojisi ile üretilen parçalar ve ürünlerin kullanıldığı görülmektedir [47], [83]. Fakat gelecek yıllarda üç boyutlu yazıcıların kullanımı arttıkça parça maliyetleri de bu orantıda ucuzlayacağı düşünülmektedir. Bu sayede bu teknolojilerin her eve girmesi hayal değildir [84].

Çok boyutlu yazıcıların insanlık tarihi için devrim niteliği taşıyan en önemli özelliği ise biyo-baskıdır. Canlı hücrelerin hassas bir biçimde konumlandırılması mantığı ile doku ve organ gibi karmaşık yapıların katmanlar halinde oluşturulmasına biyo-baskı denir ve

bu işlem sırasında hücrelerin canlılığını koruması büyük önem arz etmektedir [85], [86]. Biyolojik yapıların oluşturulmasında; biyomimikri, otonom birleşme ve mini doku yapı blokları gibi birkaç yaklaşım mevcuttur [86].

3.2.1. Seri Üretimi Olmayan Kişiyeye Özel Ürünler

Çok boyutlu yazıcılar hayatımıza girdiğinden beri kişiyeye özel ürün piyasası daha çok canlanmıştır. Özellikle sağlık sektöründe kullanılan kişiyeye özel baskılar, hediyelik eşya sektöründe de karşımıza her geçen gün artarak çıkmaktadır.

Çok boyutlu yazıcı teknolojisi bize kişiyeye özel hediyelik eşya sektöründe oldukça avantaj sağlamaktadır. Bilindiği gibi kişiyeye özel ürünler seri üretim yerine el emeği veya CNC teknolojisi ile satışa sunulmaktadır fakat çok boyutlu yazıcılar sayesinde bu eşyaları ev ortamında hazırlamak oldukça kolay bir hale gelmiştir. Üretilen eşyaları son işlem basamaklarından geçirdikten sonra her alanda kullanmamıza olanak sağlamaktadır [87].

3D yazdırma teknolojisi kullanılarak kişiyeye özel üretilmiş ürün örneği Şekil 3.18’de gösterildiği gibidir.

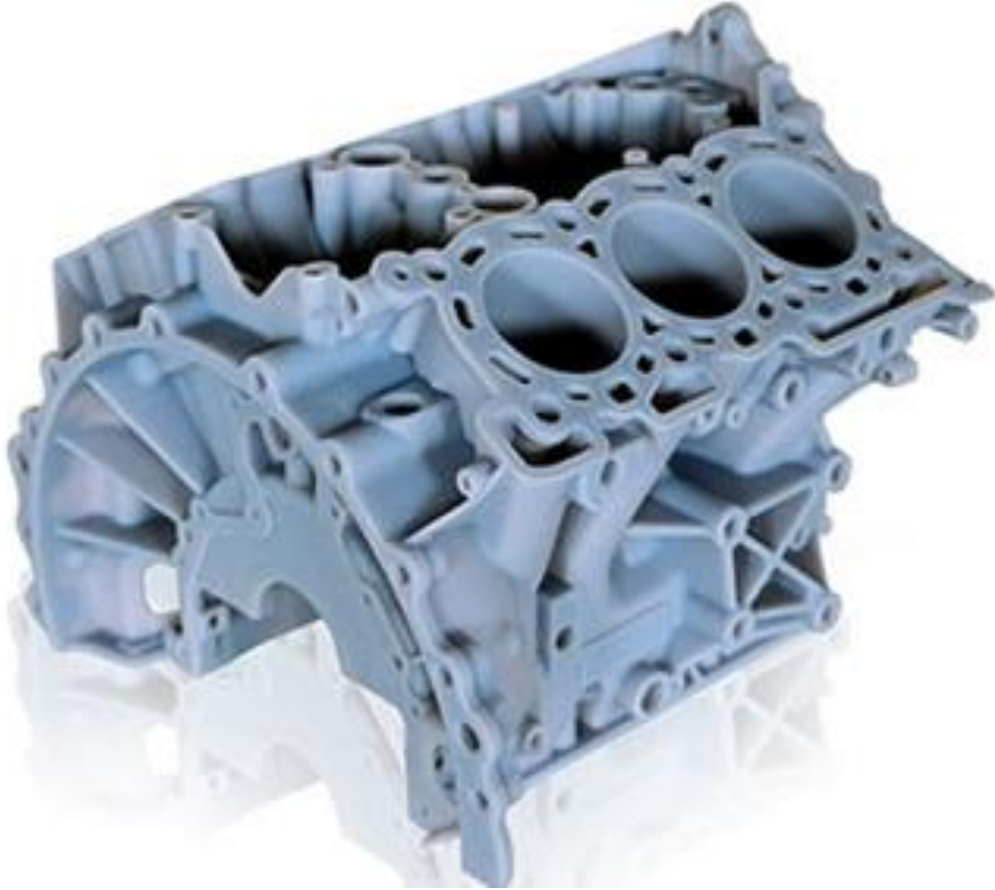


Şekil 3.18. Çok boyutlu yazdırma teknolojisi ile kişiyeye özel üretilmiş ürün örneği [88].

3.2.2. Hızlı Prototip ve Döküm Modeli Üretimi

Geleneksel yöntemleri kullanarak prototip üretmek ve test etmek, genellikle pahalı ve zaman alıcı işlemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Prototipi yapılmış ve başlangıç tasarımı test edilmiş bir tasarım sorunlar verirse bu işlem tekrarlanır ve analiz edilir. Fakat bu işlemin tekrarı ile çok büyük zaman ve para kaybı yaşanma ihtimali yüksektir. Çok boyutlu yazıcılar bu durumda devreye girmektedirler.

Çok boyutlu yazdırma teknolojileri AR-GE (araştırma geliştirme) çalışmaları sırasında meydana gelebilecek sorunları öngörmek amacı ile kullanılabilmesinin yanı sıra, seri üretime geçilecek bir objenin prototipini hazırlamanın daha kolay bir şekilde elde edilmesine olanak sağlar. Geleneksel yöntemler kullanılarak üretilen prototipler hem zaman, hem de maliyet bakımından işimizi oldukça zorlaştırabilir. Bu teknoloji sayesinde saatler içerisinde prototipi üretmek hem kolay hem de maliyeti geleneksel yöntemlere göre daha azdır. Bu da daha az maliyet ve zaman ile hızlı test edilebilir prototiplere sahip olmamıza imkan verir [89]. Çok boyutlu yazdırma teknolojisi ile üretilmiş prototip örneği Şekil 3.19’da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.19. Çok boyutlu yazdırma teknolojisi ile üretilmiş prototip örneği [90].

Düşük maliyetli prototip üretmenin yanı sıra inşaat ve mühendislik gibi sektörlerde çok boyutu yazdırma teknolojisi maket üretimi konusunda büyük öneme sahiptir. Satılacak ürünün alıcılar tarafından bilgisayar ortamındaki çizimlerle veya fotoğraflarla değil de, göze daha çok hitap edecek şekilde maketlerinin sunumuyla pazarlanması mümkündür. Çok boyutlu yazdırma teknolojisi ile üretilmiş maket örneği Şekil 3.20’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.20. Çok boyutlu yazdırma teknolojisi ile üretilmiş maket örneği [91].

3.2.3. Makine ve Robot Üretimi

Çok boyutlu yazıcıların kendileri de robot olması ile birlikte, bir 3D yazıcı ile başka bir 3D yazıcı da üretmemize olanak sağlayan bir teknolojidir. Bu teknoloji ile kendi makinemizi veya robotumuzu tasarlayıp, özel parçalarımızı 3D yazıcı ile baskısını aldıktan sonra elektronik aksam vb. parçalar ile montajlayıp her türlü makine ve robotu üretebilmemize imkan vermektedir. Örneğin; drone, RC uçak, 3D yazıcı, lazer kesim

veya markalama makinesi, kahve printer, özel üretim makineler vb. Çok boyutlu yazdırma teknolojisi ile üretilmiş drone örneği Şekil 3.21’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.21. Çok boyutlu yazdırma teknolojisi ile üretilmiş drone örneği [92].

4. ÇOK BOYUTLU YAZICILARIN İMALAT İÇİN TASARIMA ETKİLERİ

DFM (imalat için tasarım), istenilen tasarımı mevcut imalat sınırlamaları ile birlikte düşünerek en ekonomik ve en kaliteli imalatı sağlamak üzere geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu sayede ürün piyasaya daha kısa zamanda, daha kaliteli ve müşteriye memnun edecek şekilde çıkarılabilir [93]. DFM farklı üretim yöntemleri için yıllarca yapılan araştırmalar ve edinilen tecrübeler ışığında oluşmuş bir tür öneri bankası şeklindedir ve bu metot özellikle ürün tasarımı sürecinde oluşturulan eş zamanlı mühendislik grupları tarafından yürütülmektedir [94]. Birçok parça tek bir işlemde değil, ardı sıra pek çok farklı işlemde geçmektedir ve bu işlemler nihai ürünlerin tüm özelliklerini meydana getirir [93].

Bu prosesler kısaca;

- Malzeme seçimidir. Ürünün güvenilirliğini, kullanım yerine göre mekanik özelliklerini sağlayacak (dayanım, sertlik, tokluk, gerinim, sıcaklık v.b.) şekilde metal, plastik veya kompozit malzemelerden seçilmelidir,
- Montaj elemanlarında aynı türden malzeme kullanılmasına önem gösterilmelidir. Örneğin ANSI 1040 çeliği kullanılıyorsa montajın bütün parçalarında bu malzeme kullanılmalıdır,
- İşlemlerin seçimidir. Montaj şekilleri göz önünde bulundurularak, birbirine mi bağlanacağı, şekil mi verileceği yoksa makinelerden işlemde mi geçeceği belirlenmelidir,
- Montajın manuel olarak mı yoksa makinelerle mi yapılacağı ve ürünün nasıl bir işlemle tamamlanacağı belirlenmelidir,
- Modüler tasarım geliştirilmesidir. Modüler tasarım, bir sistemdeki bağımsız parçaların diğer parçalarla uyumunu sağlar. Bu nedenle ürünlerde standardizasyona gidilmelidir,
- Standart parçaların kullanılmasıdır. Standart parçaların tüm özellikleri bilindiği için daha kolay uyum sağlarlar, istenilen zamanda ve miktarda bulunabilir,

bakım ve onarımı daha kolay olmaktadır,

- Parçalar çoklu kullanım için tasarlanmalıdır,
- Farklı bağlayıcılardan kaçınmalıdır. Farklı bağlayıcılar istasyonlarda sıkışma ve ekstra istasyonlarda işlem gereksinimi ortaya çıkarılmalıdır,
- Montaj yönü asgariye indirmelidir. Tüm parçalar olabildiğince tek yönde monte edilmelidir. Farklı yön zaman kaybına neden olmaktadır [93].

Bu çalışmada, çeşitli üç boyutlu yazıcılardan çeşitli hammaddeler kullanılarak farklı katman kalınlıkları ile baskı örnekleri alınıp yüzey pürüzlülükleri incelenmiş, farklı doluluk oranları ile gerçek bir objenin kopyalanıp baskı örnekleri alınıp o obje ile ağırlık karşılaştırması yapılmış ve destek kayıpları incelenmiş, karmaşık geometriye sahip bir parçanın baskı örnekleri alınıp kapalı geçme deneyi yapılmıştır.

4.1. MATERİYAL VE METOT

Çalışmanın deneysel kısmında öncelikle deney numunelerinin baskıları alınmıştır. Ardından baskısı alınan parçaların özelliklerini saptamak amacıyla çeşitli testler uygulanmıştır. Deneylerde kullanılan malzemeler, cihazlar, üretim koşulları ve yöntemler hakkındaki bilgiler ilgili bölümler kapsamında verilmiştir.

4.1.1. Materyal

Çalışmada kullanılan materyallerin özellikleri bu bölümde incelenmiştir. Çalışmada özelliklerinin incelendiği numunelerin üretiminde kullanılan hammaddeler, ticari pazarda bulunabilen yüksek performans ve uygun maliyetli malzemelerden tercih edilmiştir. Bu bileşenlere ait özellikler bu bölümde irdelenmiştir.

4.1.1.1. Çalışmada Kullanılan 3D Yazıcılar

Çalışmada FDM 1 NO, 2 NO ve 3 NO ile kodlanan üç farklı çok boyutlu yazıcı modeli kullanılmıştır.

FDM 1 NO: Tamamen Türk tasarımı olan X marka, açık kaynaklı ve patentli, FDM tipi üç boyutlu yazıcı kullanılmıştır. FDM 3D yazıcılarında kullanılan malzeme, filament adı verilen, rulo olarak sarılmış sert bir termoplastiktir. Filament sıcak bir nozzle uçtan geçerek 0,4 mm gibi kalınlığa inceltir ve bu ince plastik ile katmanlar oluşturulur [95]. Evde kullanıma uygun olan FDM yazıcılar, geliştirmeye müsait olması ve uygun fiyatı

ile amatör kullanım için en ideal ürünlerden biri haline gelmiştir. En önemli özellikleri; sessiz çalıştığı için bürolarda kullanılabilmesi, oldukça hızlı küçük parçalar oluşturmaları, iyi mekanik özellikler elde edildiği için fonksiyonel parça üretmeye uygun olması ve birçok malzeme kullanılması vb. belirtilebilir [68].

2 NO: Dünyada en çok tercih edilen teknolojiye sahip üç boyutlu yazıcıların bulunduğu Düzce Üniversitesi Tasarım Prototipleme ve Test Merkezi (DUTAP, www.dutap.duzce.edu.tr) sanayi ve akademinin hizmetine devlet desteği kullanılarak kurulmuştur. Bu merkez bünyesinde yer alan cihazlar ile bunların üç boyutlu baskı ürünlerine erişim yoğun bir akademik destek ile verilmektedir [96]. Bu yazıcılardan biri jetting teknolojisi ile çalışan ve VisiJet materyal ile yazma işlemini gerçekleştiren profesyonel bir yazıcı çeşididir. Hassasiyet bakımından FDM yazıcılara göre oldukça üstün olan bu teknoloji, kapalı kaynak olmakla beraber maliyet bakımından da oldukça pahalıdır. Bu nedenle amatör kullanımlar için pek uygun değildir.

3 NO: Bu çok boyutlu yazıcı da yine 2 NO ile kodlu çok boyutlu yazıcı gibi yine Düzce Üniversitesi Tasarım Prototipleme ve Test Merkezi'nde (DUTAP, www.dutap.duzce.edu.tr) bulunan çok boyutlu yazıcıdır. Bu yazıcı da jetting teknolojisi ile çalışmakta ve materyal olarak VisiJet ile yazma işlevini yerine getirmektedir.

4.1.1.2. Çalışmada Kullanılan Baskı Materyalleri

FDM 1 NO ile kodlanan üç boyutlu yazıcı ile baskısı alınan numunelerin Türk markası olan X marka PLA filament ve yine bir başka Türk markası olan Y marka ABS filament olmak üzere iki çeşittir. X marka PLA filamentin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri Çizelge 4.1'de, Y marka ABS filamentin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri Çizelge 4.2'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.1. PLA filamentin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri [97].

Özellikler	Test Koşulu	Test Metodu	Birim	Tipik Değer
Özgül ağırlık		ASTM D792	g/cm^3	1,24
Döküm çekme		ASTM D955	%	0,2–0,4
Erime akış hızı	220°C/10kg	ASTM D1238	$g/10dk.$	27
Gerilme direnci	@3,2mm esneme 50mm/dk.	ASTM D638	MPa	57.859
Çekme uzaması	@3,2mm kırılma 50mm/dk.	ASTM D638	%	4
Gerilme modülü	@3,2mm 1mm/dk.	ASTM D638	MPa	3.236
Bükülme mukavemeti	@3,2mm 15mm/dk.	ASTM D790	MPa	53.936
Bükülme modülü	@3,2mm 15mm/dk.	ASTM D790	MPa	2.255
İzod darbe dayanımı 6,4mm çentikli	23°C -30°C	ASTM D256	$kg-cm/cm$ $kg-cm/cm$	16 10
İzod darbe dayanımı 3,2mm çentikli	23°C -30°C	ASTM D256	$kg-cm/cm$ $kg-cm/cm$	16 10
Rockwell sertlik	R-scale	ASTM D785		75
Vicat yumuşama sıcaklığı	5kg. 50°C/s	ASTM D1525	$^{\circ}C$	58

Çizelge 4.2. ABS filamentin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri¹ [98].

Özellikler	Test Koşulu	Test Metodu	Birim	Tipik Değer
Özgül ağırlık		ASTM D792	g/cm^3	1,032
Çekme mukavemeti	2mm/dk.	ASTM D638	MPa	10,4
Elastik modülü	2mm/dk.	ASTM D638	MPa	800
Eğme mukavemeti	1,15mm/dk.	ASTM D790	MPa	43,05
Eğme modülü	1,15mm/dk.	ASTM D790	MPa	2180
İzod darbe dayanımı		ASTM D256	kJ/m^2	30,45
Geçiş sıcaklığı tayini		ASTM D3418	$^{\circ}C$	100,59-100,08
Isıl defleksiyon (HDT)		ASTM D648	$^{\circ}C$	64,3-61,0
Shore D sertlik		ASTM D2240		78,0-89,5
Erime akış hızı (MFR)	190 $^{\circ}C$ /2,16kg.	ASTM D1238	$g/10dk.$	4,31

2 NO ve 3 NO ile kodlanan üç boyutlu yazıcıları ile baskısı alınan numunelerin materyalleri VisiJet'tir. Bu materyaller maliyet bakımından FDM teknolojisinde kullanılan materyallere göre (PLA, ABS, STH, PETG v.b.) oldukça pahalıdır. Bu çalışmada 2 NO yazıcı ile VisiJet M3 Crystal materyal, 3 NO yazıcı ile ise VisiJet C4 Spectrum materyal kullanılmıştır. VisiJet M3 Crystal fiziksel, mekanik ve termal özellikleri Çizelge 4.3'te, VisiJet C4 Spectrum fiziksel, mekanik ve termal özellikleri ise Çizelge 4.4'te gösterildiği gibidir.

¹ Tüm testler %100 doluluk oranı ile basılmış numune sonuçlarıdır.

Çizelge 4.3. VisiJet M3 Crystal fiziksel, mekanik ve termal özellikleri [99].

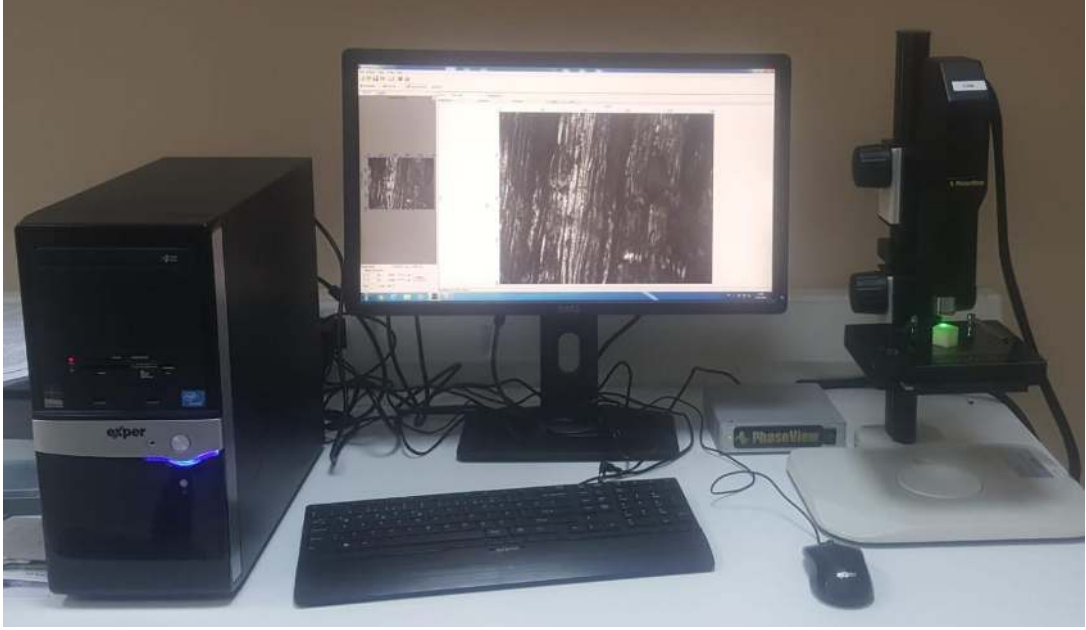
Özellikler	Test Koşulu	Test Metodu	Birim	Tipik Değer
Bileşim				UV kürlenebilir plastik
Renk				Natürel
Şişe miktarı			kg	2
Yoğunluk	@80°C (sıvı)	ASTM D4164	g/cm ³	1,02
Gerilme direnci		ASTM D638	MPa	42,4
Gerilme modülü		ASTM D638	MPa	1463
Kopma uzaması		ASTM D638	%	6,83
Bükülme mukavemeti		ASTM D790	MPa	49
Isı bozulma sıcaklığı		ASTM D648	°C	56
USP sınıfı VI onaylı				Evet
ProJet uygunluğu				SD, HD
Açıklama				Sert plastik, yarı saydam

Çizelge 4.4. VisiJet C4 Spectrum fiziksel, mekanik ve termal özellikleri [100].

Özellikler	Test Koşulu	Test Metodu	Birim	Tipik Değer
Gerilme direnci		ASTM D638	MPa	24,8
Gerilme modülü		ASTM D638	MPa	1600
Kopma uzaması		ASTM D638	%	3,6
Bükülme mukavemeti	Sünme	ASTM D638	MPa	36,5
	Son	ASTM D638	MPa	24,4
Eğilme modülü		ASTM D790	MPa	1125
Shore D sertlik		ASTM D2240		79
Isı bozulma sıcaklığı		ASTM D648	°C	57

4.1.1.3. Çalışmada Kullanılan Ölçüm Cihazları

Yüzey pürüzlülükleri deneyi, bilgisayar kontrollü, *Phase View* marka optik profilometre görüntüleme cihazında yapılmıştır. Yüzey pürüzlülükleri deneyinde kullanılan optik profilometre görüntüsü Şekil 4.1’de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.1. Yüzey pürüzlülükleri deneyinde kullanılan optik profilometre.

Destek kayıpları deneyi ölçümleri *Densi* marka *HZK-110 FA* model hassas terazisi ile yapılmıştır. Destek kayıpları deneyinde kullanılan hassas terazi görüntüsü Şekil 4.2’de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.2. Destek kayıpları deneyinde kullanılan hassas terazi.

Kapalı geçme deneyi görüntüleri *Nikon* marka *D3200* model fotoğraf makinesi ile fotoğraflandırılmıştır. Kapalı geçme deneyinde kullanılan fotoğraf makinesi görüntüsü şekil 4.3'te gösterildiği gibidir.



şekil 4.3. Kapalı geçme deneyinde kullanılan fotoğraf makinesi.

4.1.2. Metot

Deney numuneleri üç boyutlu yazdırma teknolojisi ile üretilmiştir. Farklı tipte üç boyutlu yazıcılar ve hammaddeler kullanılarak deney çeşitliliği arttırılmıştır. Böylece bu teknolojinin bize sunduğu imkanlar daha net bir şekilde gözler önüne serilmiştir.

4.1.2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması

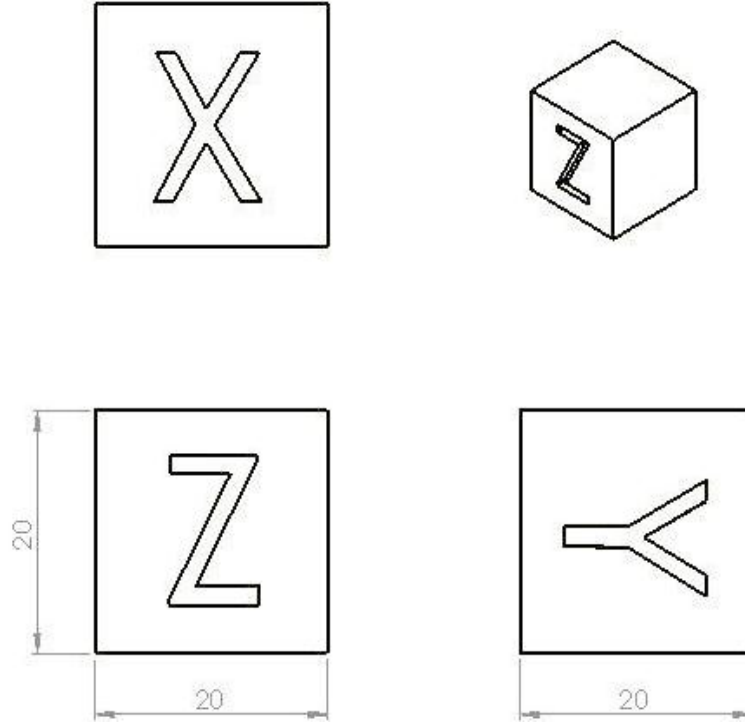
Üretilen üç boyutlu baskı numunelerine; yüzey pürüzlülükleri, destek kayıpları, kapalı geçme testleri uygulanmıştır. Deneylerde kullanılan numunelerin deneyisel tasarımı izelge 4.5'te gösterildiği gibidir. Bu testler üç boyutlu yazıcı teknolojisinin özelliklerini ortaya çıkarmak adına uygulanan testlerdir.

Çizelge 4.5. Deneysel tasarım çizelgesi.

3D Yazıcı Türü	Materyal Türü	Deney Türü									Toplam Numune
		Yüzey Pürüzlülükleri Deneyi					Destek Kayıpları Deneyi (Doluluk Oranı)			Kapalı Geçme Deneyi	
		16 µm	32 µm	100 µm	200 µm	300 µm	%20	%50	%80	Tek Parça Baskı	
FDM 1 NO	ABS	-	-	-	3	3	3	3	3	3	18
	PLA	-	-	-	3	3	3	3	3	3	18
2 NO	VisiJet	3	3	-	-	-	3	3	3	3	18
3 NO	VisiJet	-	-	3	-	-	3	3	3	3	15
Toplam Numune		3	3	3	6	6	12	12	12	12	69
Numune görüntüsü											

4.1.2.2. Yüzey Pürüzlülükleri Deneyi Numuneleri Hazırlanması

Yüzey pürüzlülükleri deneyi için numune olarak üç boyutlu yazıcı için kullanılan kalibrasyon küpü seçilmiştir. Kalibrasyon küpü olarak bilinen bu parça, makinenin gerekli baskı parametrelerini sağlamak amacıyla yazdırılan bir şekildir. Numune boyutları Şekil 4.4'te gösterildiği gibidir. Dijital olarak kaydedilen yüzey pürüzlülükleri kıyaslanmıştır.



Şekil 4.4. Yüzey pürüzlülükleri deneyi numunesi boyutları.

Yüzey pürüzlülükleri deneyi için yazdırılan numunelerin baskı parametreleri, baskısı alınan yazıcıya göre değişiklik göstermiştir. Tekrarlı üretime bağlı olarak aynı 3B (üç boyutlu) yazıcıda aynı yazdırma hassasiyeti ile üretilen numune yazdırma sürelerinde bir değişikliğe rastlanmamıştır. Yüzey pürüzlülükleri deneyi numune baskı parametreleri Çizelge 4.6'da gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.6. Yüzey pürüzlülükleri deneyi numune baskı parametreleri.

3D Yazıcı Türü	Materyal Türü	Yazdırma Hassasiyeti (μm)	Yazdırma Doluluk Oranı (%)	Yazdırma Süresi (dk.)
FDM 1 NO	ABS	200	20	24
		300	20	17
	PLA	200	20	24
		300	20	17
2 NO	VisiJet M3 Crystal	16	100	407
		32	100	407
3 NO	VisiJet C4 Spectrum	100	100	96

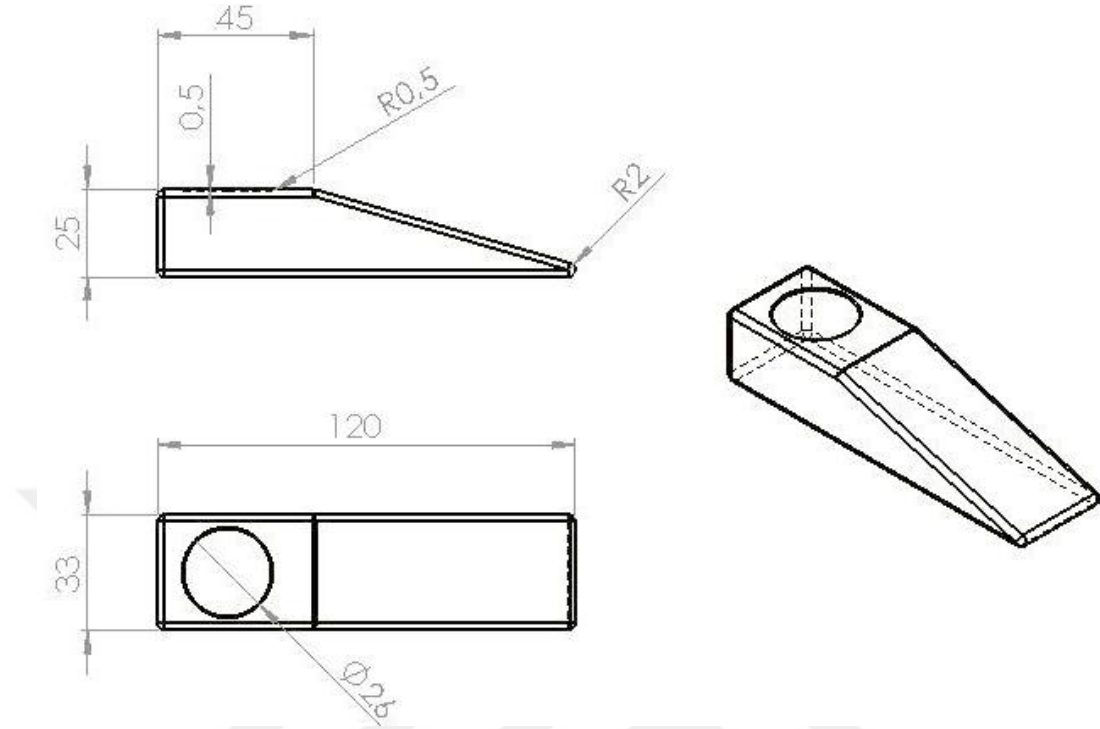
4.1.2.3. Destek Kayıpları Deneyi Numuneleri Hazırlanması

Destek kayıpları deneyi için numune olarak Bandırma/BALIKESİR’de bulunan bir imalatçının mağazasından alınan bir kapı stoperi seçilmiştir. Destek kayıpları deneyi için seçilen kapı stoperinin görüntüsü Şekil 4.5’te gösterildiği gibidir.



Şekil 4.5. Destek kayıpları deneyi için seçilen kapı stoperi.

Seçilen kapı stoperi bir plastik türevi olmakla beraber, numunenin boyutları Şekil 4.6’da gösterildiğı gibidir.



Şekil 4.6. Destek kayıpları deneyi numunesi boyutları.

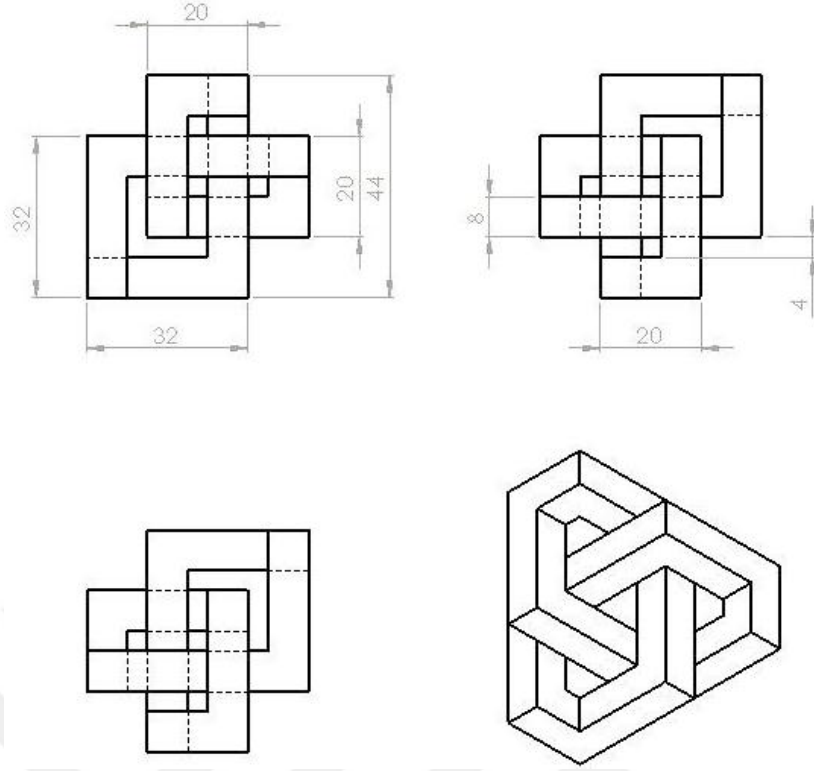
Destek kayıpları deneyi için yazdırılan numunelerin baskı parametreleri, baskısı alınan yazıcıya göre değışiklik göstermiştir. Tekrarlı üretime bağılı olarak FDM 1 NO kodlu yazıcıda aynı doluluk oranı ile üretilen ve 2 NO ve 3 NO kodlu yazıcılarda doluluk oranı bağımsız olarak numune yazdırma sürelerinde bir değışikliğe rastlanmamıştır. Destek kayıpları deneyi numune baskı parametreleri Çizelge 4.7’de gösterildiğı gibidir.

Çizelge 4.7. Destek kayıpları deneyi numune baskı parametreleri.

3D Yazıcı Türü	Materyal Türü	Yazdırma Hassasiyeti (μm)	Yazdırma Doluluk Oranı (%)	Yazdırma Süresi (dk.)
FDM 1 NO	ABS	250	20	95
			50	138
			80	181
	PLA	250	20	95
			50	138
			80	181
2 NO	VisiJet M3 Crystal	24	20	484
			50	484
			80	484
3 NO	VisiJet C4 Spectrum	100	20	125
			50	125
			80	125

4.1.2.4. Kapalı Geçme Deneyi Numuneleri Hazırlanması

Kapalı geçme deneyi için numune olarak üç halkalı zincire benzeyen, köşeli, karmaşık geometriye sahip bir model seçilmiştir. Numune modeli olarak seçilen parça, üç boyutlu yazıcı teknoloji haricinde tek parça halinde geleneksel imalat yöntemleri ile üretilme imkanı bulunmayan bir yapıya sahiptir. Bu parçanın geleneksel yöntemlerle üretimi sadece çoklu parça halinde üretilerek montaj ile birleştirme yolu ile mümkündür. Fakat geleneksel yöntemlerle üretildiğinde hem zaman hem de işçilik bakımından çok boyutlu yazdırma teknolojisine göre oldukça dezavantaja sahiptir. Kapalı geçme deneyi numunesine ait boyutlar Şekil 4.7’de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.7. Kapalı geçme deneyi numunesi boyutları.

Kapalı geçme deneyi için yazdırılan numunelerin baskı parametreleri, baskısı alınan yazıcıya göre değişiklik göstermiştir. Tekrarlı üretime bağlı olarak aynı 3B yazıcıda üretilen numune yazdırma sürelerinde bir değişikliğe rastlanmamıştır. Kapalı geçme deneyi numune baskı parametreleri Çizelge 4.8’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.8. Kapalı geçme deneyi numune baskı parametreleri.

3D Yazıcı Türü	Materyal Türü	Yazdırma Hassasiyeti (μm)	Yazdırma Doluluk Oranı (%)	Yazdırma Süresi (dk.)
FDM 1 NO	ABS	200	20	127
	PLA	200	20	127
2 NO	VisiJet M3 Crystal	16	100	789
3 NO	VisiJet C4 Spectrum	100	100	210

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada yapılan yüzey pürüzlülükleri, destek kayıpları ve kapalı geçme deneylerine ait sonuçlar bu bölümde incelenmiştir.

5.1. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜKLERİ DENEYİ SONUÇLARI

Farklı materyaller kullanılarak, farklı yüzey kalitesinde üç boyutlu baskısı alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen yüzey pürüzlülükleri deneyi sonucunda elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler ve numune materyal birim maliyetleri Çizelge 5.1’de gösterildiği gibidir. Üç boyutlu baskı sonrası elde edilen numunelerin yüzeylerine herhangi bir işlem uygulanmamıştır. Yüzey pürüzlülükleri deneyi numune materyal maliyetleri, baskısı alınan yazdırma materyaline göre değişiklik göstermiştir. FDM 1 NO kodlu yazıcıda numuneler %20 doluluk oranı ile, 2 NO ve 3 NO kodlu yazıcılarda numuneler %100 doluluk oranı ile yazdırılmıştır. Tüm yüzey hassasiyetlerinin her birine ait 3 numune bulunmaktadır ve tüm numunelerin yüzey pürüzlülükleri değerleri Z eksenine göre raporlandırılmıştır.

Çizelge 5.1. Yüzey pürüzlülükleri deneyi sonuçları.

3D Yazıcı Türü	Materyal	Yazdırma Hassasiyeti (μm)	Ra (μm)	Rz (JIS) (μm)	Rt (μm)	Rq (μm)	Numune Ağırlığı (g)	Materyal Fiyatı ² (TL/kg)	Materyal Maliyeti (TL)
FDM 1 NO	ABS	200	0,025	0,111	0,205	0,033	4,3466	80	0,34
			0,030	0,101	0,199	0,037	4,3213		0,34
			0,022	0,088	0,141	0,028	4,3181		0,34
		300	0,061	0,297	0,516	0,083	4,5270		0,36
			0,030	0,153	0,264	0,040	4,5154		0,36
			0,020	0,090	0,182	0,028	4,5105		0,36
	PLA	200	0,056	0,185	0,369	0,071	4,7643	89	0,42
			0,033	0,145	0,224	0,043	4,7696		0,42
			0,030	0,140	0,226	0,041	4,7571		0,42
		300	0,025	0,105	0,184	0,036	4,9531		0,44
			0,027	0,114	0,179	0,034	4,9662		0,44
			0,029	0,122	0,167	0,036	4,9732		0,44
2 NO	VisiJet M3 Crystal	16	0,026	0,149	0,315	0,034	8,8251	3600,35	31,77
			0,026	0,149	0,315	0,034	8,8251		31,77
			0,026	0,149	0,315	0,034	8,8251		31,77
		32	0,026	0,149	0,315	0,034	8,8844		31,98
			0,026	0,149	0,315	0,034	8,8844		31,98
			0,026	0,149	0,315	0,034	8,8844		31,98
3 NO	VisiJet C4 Spectrum	100	0,040	0,193	0,323	0,051	6,5963	2084,03	13,74
			0,040	0,193	0,323	0,051	6,5963		13,74
			0,040	0,193	0,323	0,051	6,5963		13,74

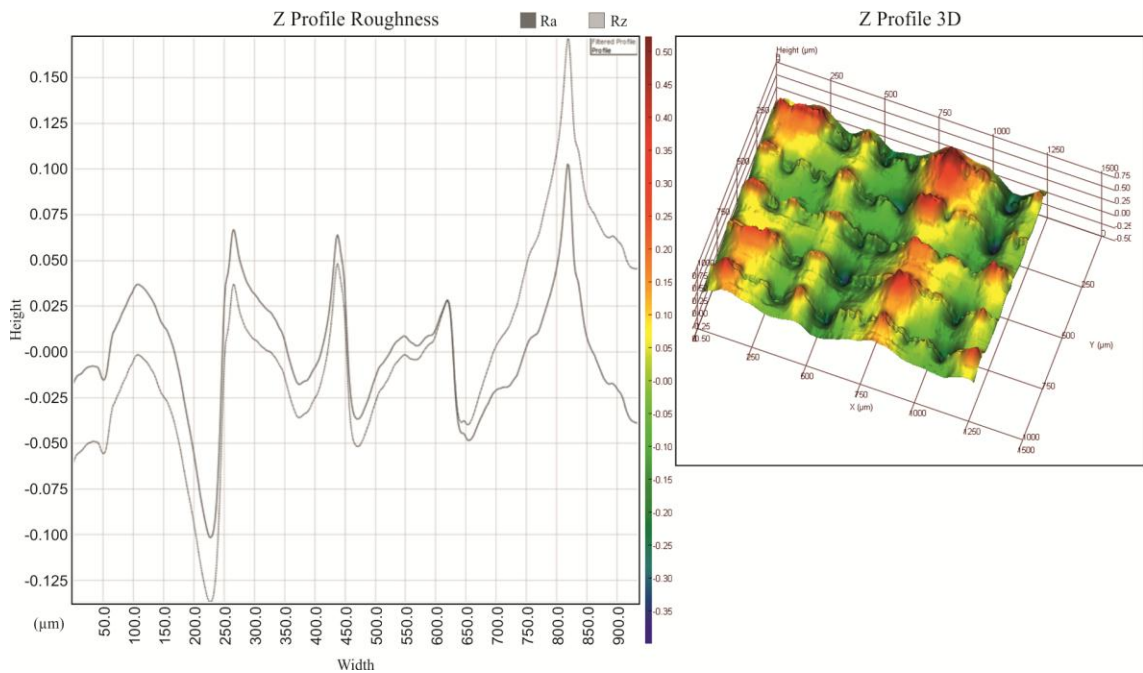
² Döviz 4,5676 TL olarak 12 Haziran 2018 tarihine göre hazırlanmıştır.

Deney sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülükleri değerlerinin yazıcının türüne ve malzeme ile ortam şartlarına bağlı olarak değiştiği, çalışmada kullanılan tüm çok boyutlu yazıcıların izin verilen ve kabul edilen kalibrasyon ayarları ile alakalı sapma ile hassasiyet problemi yaşadığı tespit edilmiştir. Fakat bu teknolojiye ürünler katmanlı imalat yöntemi ile üretildiği için yüzey pürüzlülükleri kabul edilebilir seviyededir. Kullanılan materyal türünün kürleşme ve ortam koşullarına uyum sağlama süreçlerinde bu saptmaların meydana geldiği düşünülmektedir. Ev tipi kullanıma uygun olan FDM 1 NO kodlu yazıcının gerekli kalibrasyonlar yapılması şartıyla, profesyonel kullanıma uygun olan 2 NO ve 3 NO kodlu yazıcılara kıyasla benzer yazdırma kalitesine ulaştığı fakat FDM 1 NO kodlu yazıcının aksine 2 NO ve 3 NO ile kodlanan profesyonel kullanıma yönelik çok boyutlu yazıcıların baskı kalitesinde tekrarlı üretimde istikrarlı yüzey kalitesi değerlerine ulaşabildiği sonucuna varılmıştır.

5.1.1. FDM 1 NO Yazıcı Çıktısının Yüzey Pürüzlülüğü İncelenmesi

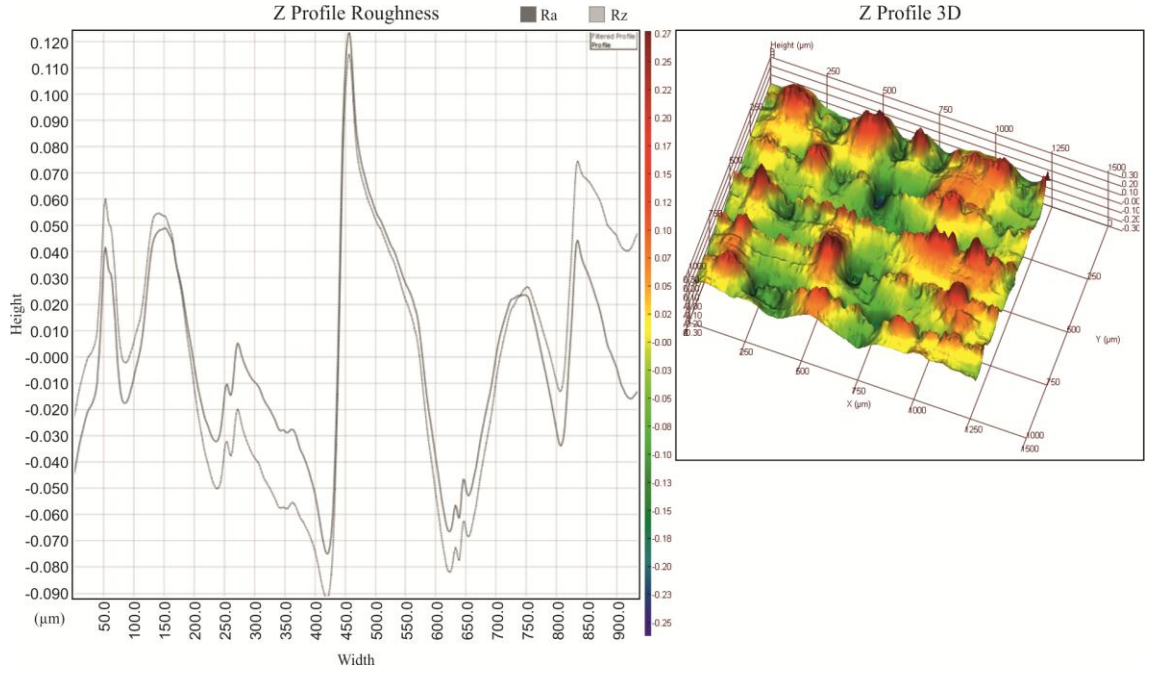
FDM 1 NO yazıcıdan ABS ve PLA materyaller kullanılarak alınan 200 μm ve 300 μm hassasiyetindeki çıktıların yüzey pürüzlülüğü deneyi görüntüleri bu bölümde incelenmiştir.

FDM 1 NO yazıcıdan ABS materyal kullanılarak 200 μm hassasiyetinde baskısı alınan numune 1 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.1’de gösterildiği gibidir.



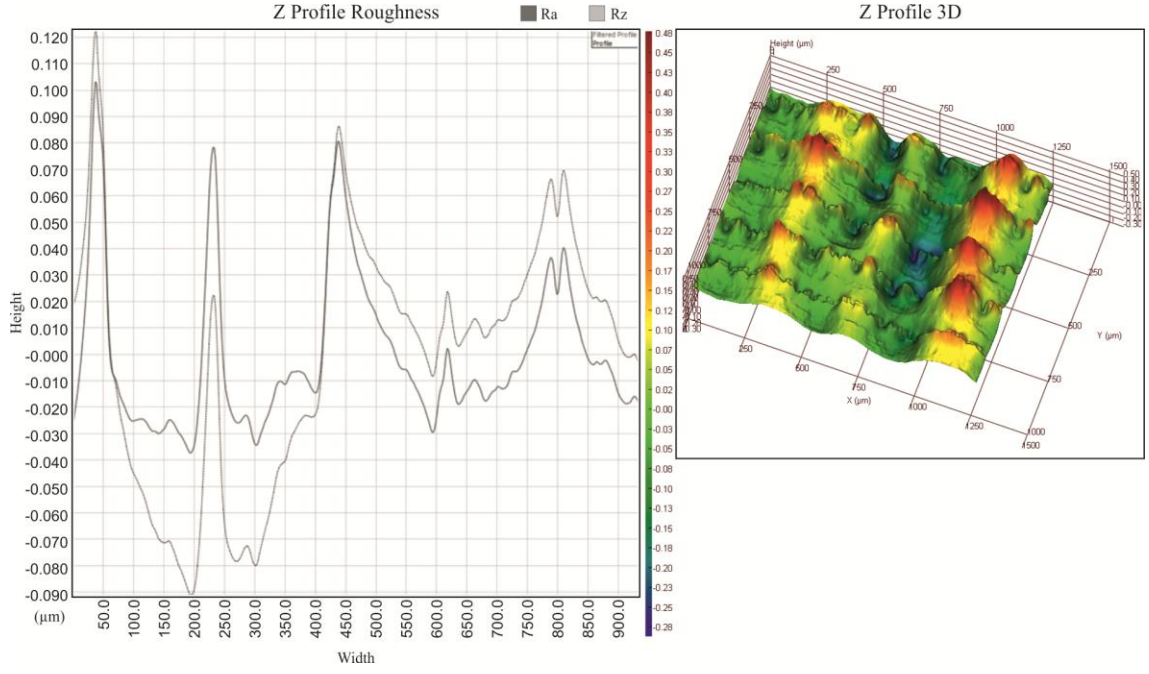
Şekil 5.1. FDM 1 NO 200 μm ABS numune 1 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

FDM 1 NO yazıcıdan ABS materyal kullanılarak 200 μm hassasiyetinde baskısı alınan numune 2 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.2’de gösterildiği gibidir.



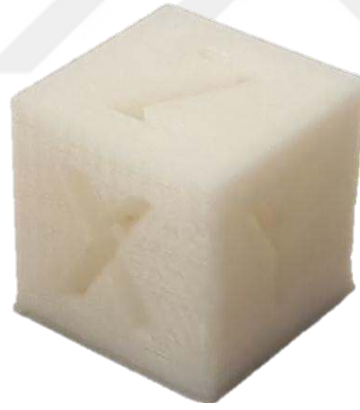
Şekil 5.2. FDM 1 NO 200 μm ABS numune 2 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

FDM 1 NO yazıcıdan ABS materyal kullanılarak 200 μm hassasiyetinde baskısı alınan numune 3 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.3’te gösterildiği gibidir.



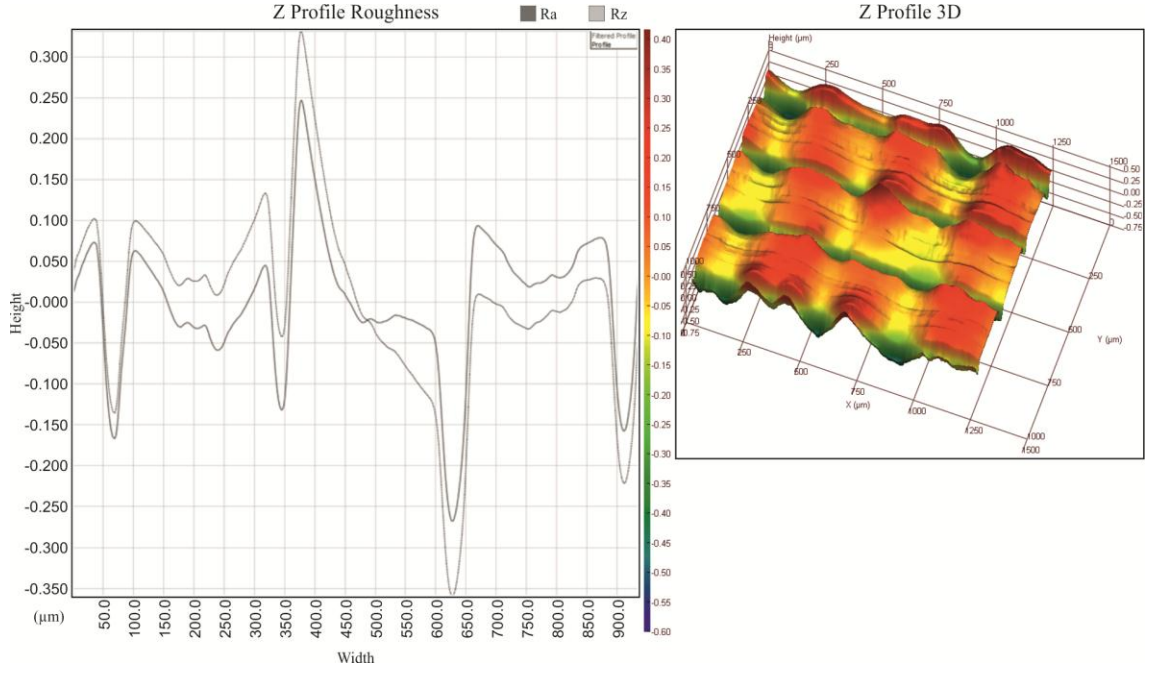
Şekil 5.3. FDM 1 NO 200 μm ABS numune 3 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

FDM 1 NO yazıcıdan ABS materyal kullanılarak 200 μm hassasiyetinde baskısı alınan yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.4'te gösterildiği gibidir.



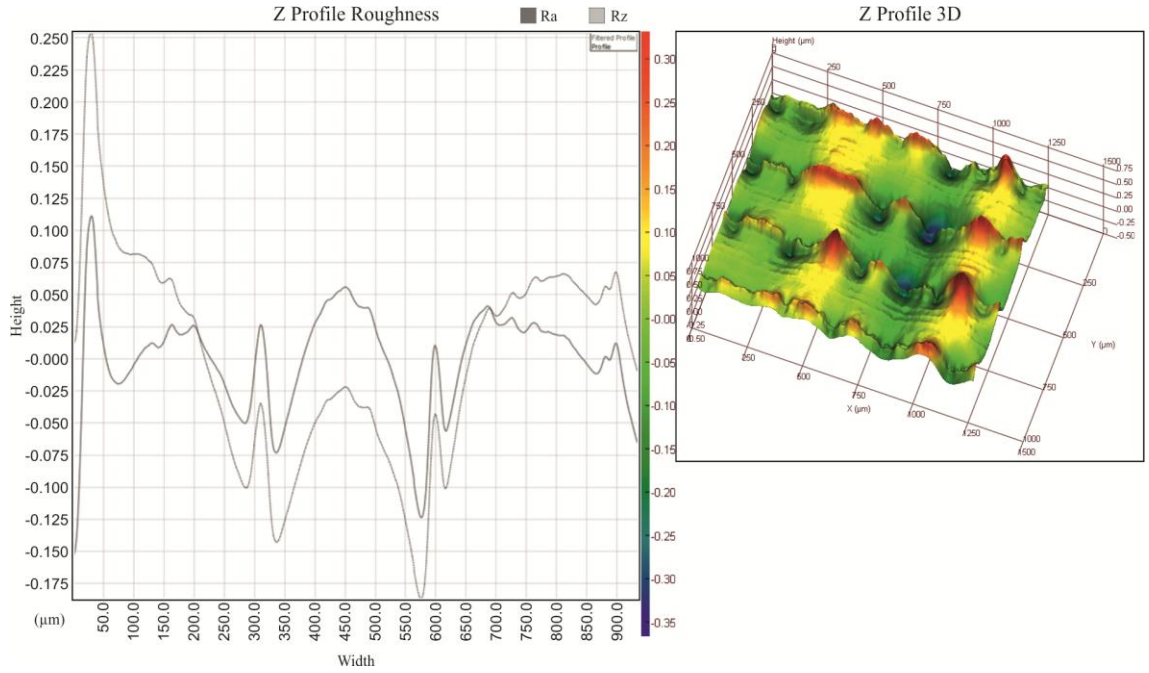
Şekil 5.4. FDM 1 NO 200 μm ABS yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü.

FDM 1 NO yazıcıdan ABS materyal kullanılarak 300 μm hassasiyetinde baskısı alınan numune 1 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.5'te gösterildiği gibidir.



Şekil 5.5. FDM 1 NO 300 µm ABS numune 1 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

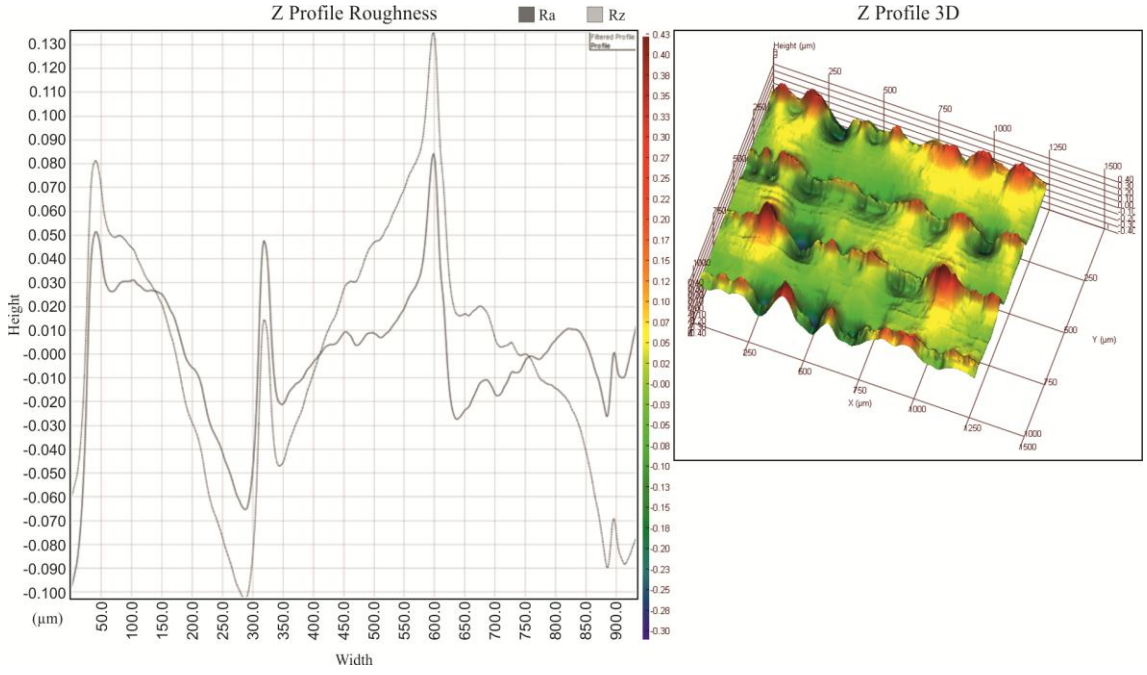
FDM 1 NO yazıcıdan ABS materyal kullanılarak 300 µm hassasiyetinde baskısı alınan numune 2 yüzey pürüzlüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.6’da gösterildiği gibidir.



Şekil 5.6. FDM 1 NO 300 µm ABS numune 2 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

FDM 1 NO yazıcıdan ABS materyal kullanılarak 300 µm hassasiyetinde baskısı alınan numune 3 yüzey pürüzlüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.7’de gösterildiği gibidir.

gibidir.



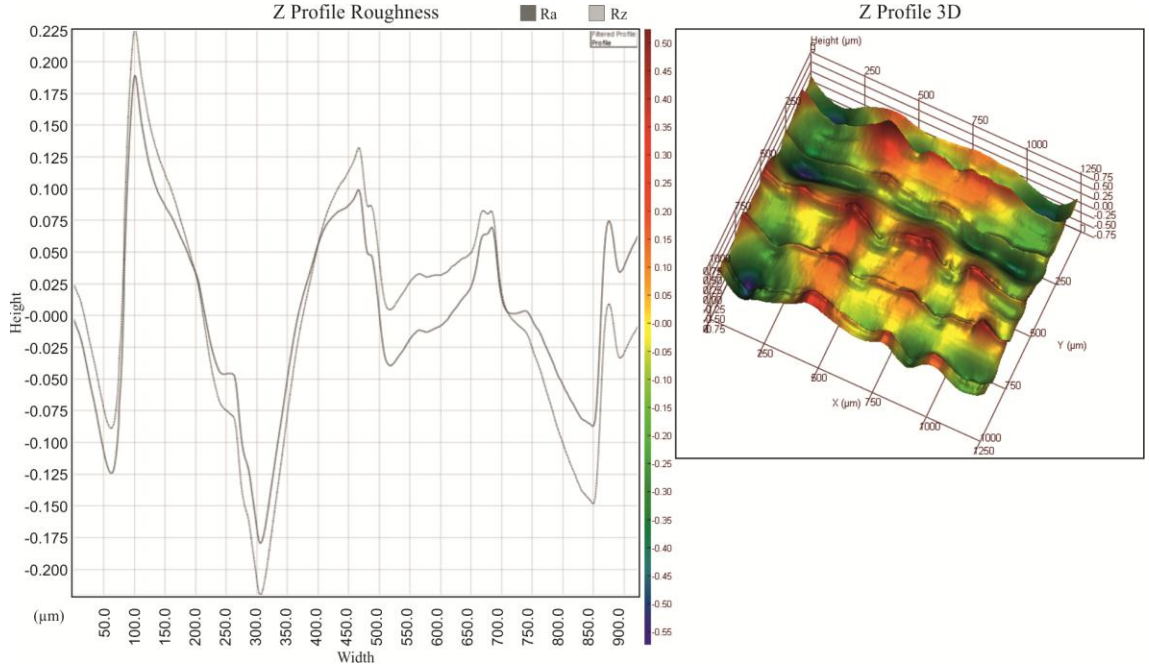
Şekil 5.7. FDM 1 NO 300 μm ABS numune 3 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

FDM 1 NO yazıcıdan ABS materyal kullanılarak 300 μm hassasiyetinde baskısı alınan yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.8’de gösterildiği gibidir.



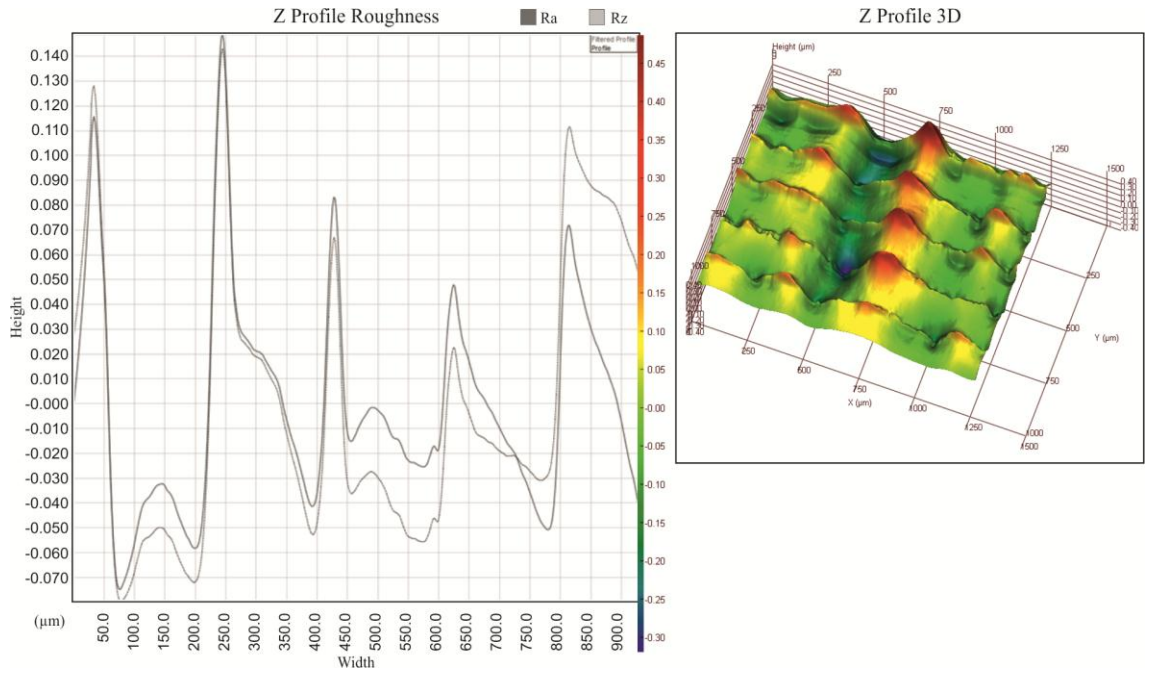
Şekil 5.8. FDM 1 NO 300 μm ABS yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü.

FDM 1 NO yazıcıdan PLA materyal kullanılarak 200 μm hassasiyetinde baskısı alınan numune 1 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.9’da gösterildiği gibidir.



Şekil 5.9. FDM 1 NO 200 µm PLA numune 1 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

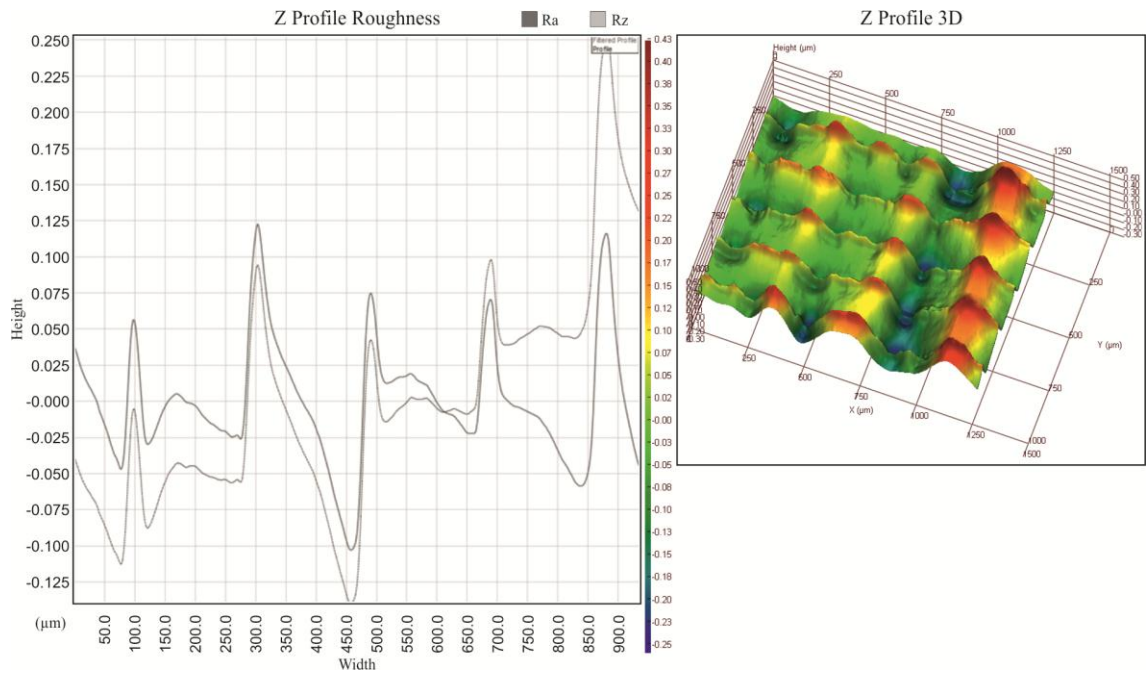
FDM 1 NO yazıcıdan PLA materyal kullanılarak 200 µm hassasiyetinde baskısı alınan numune 2 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.10'da gösterildiği gibidir.



Şekil 5.10. FDM 1 NO 200 µm PLA numune 2 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

FDM 1 NO yazıcıdan PLA materyal kullanılarak 200 µm hassasiyetinde baskısı alınan numune 3 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.11'de gösterildiği gibidir.

gibidir.



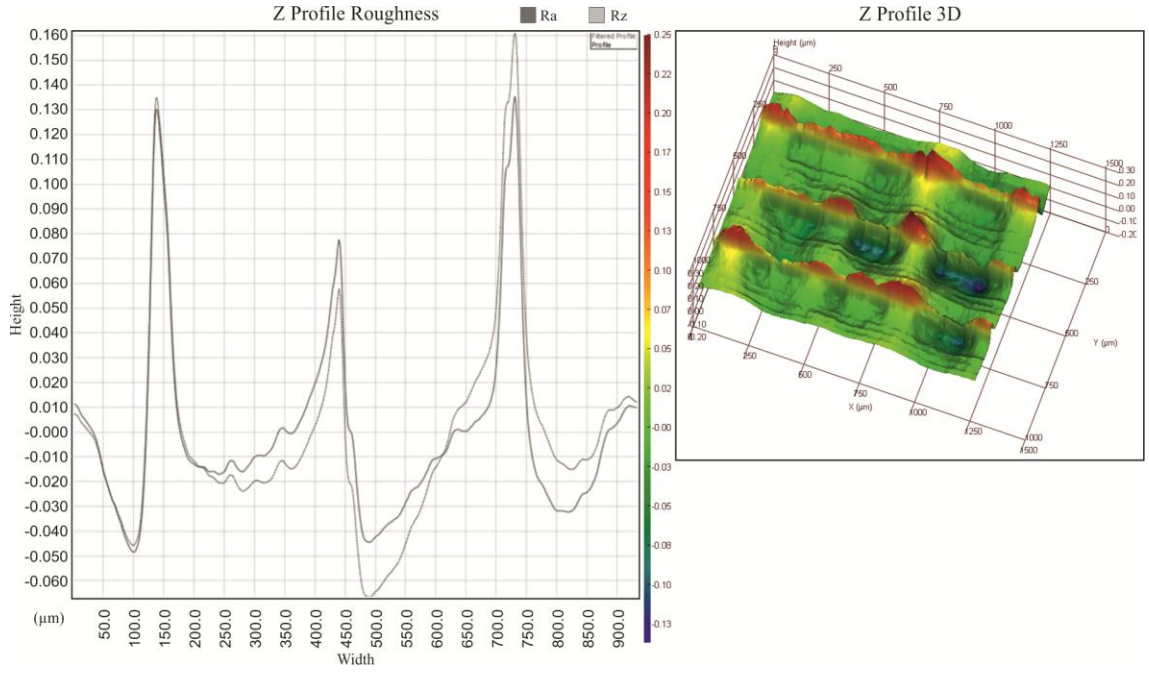
Şekil 5.11. FDM 1 NO 200 μm PLA numune 3 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

FDM 1 NO yazıcıdan PLA materyal kullanılarak 200 μm hassasiyetinde baskısı alınan yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.12’de gösterildiği gibidir. gösterildiği gibidir.



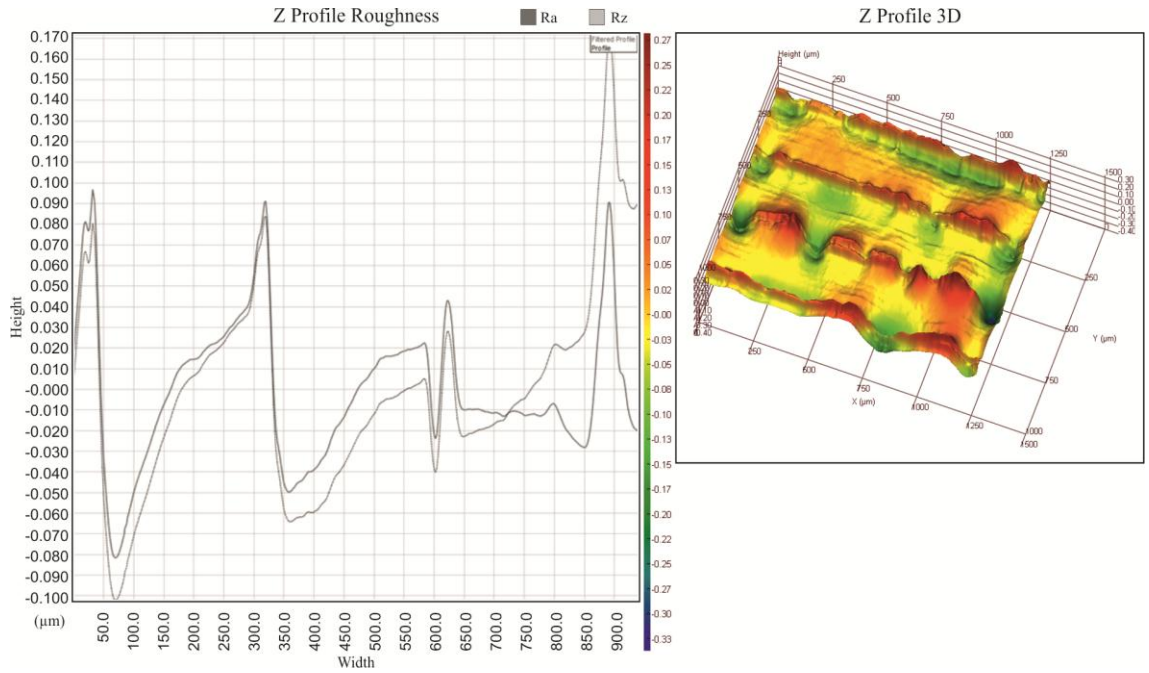
Şekil 5.12. FDM 1 NO 200 μm PLA yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü.

FDM 1 NO yazıcıdan PLA materyal kullanılarak 300 μm hassasiyetinde baskısı alınan numune 1 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.13’te gösterildiği gibidir.



Şekil 5.13. FDM 1 NO 300 µm PLA numune 1 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

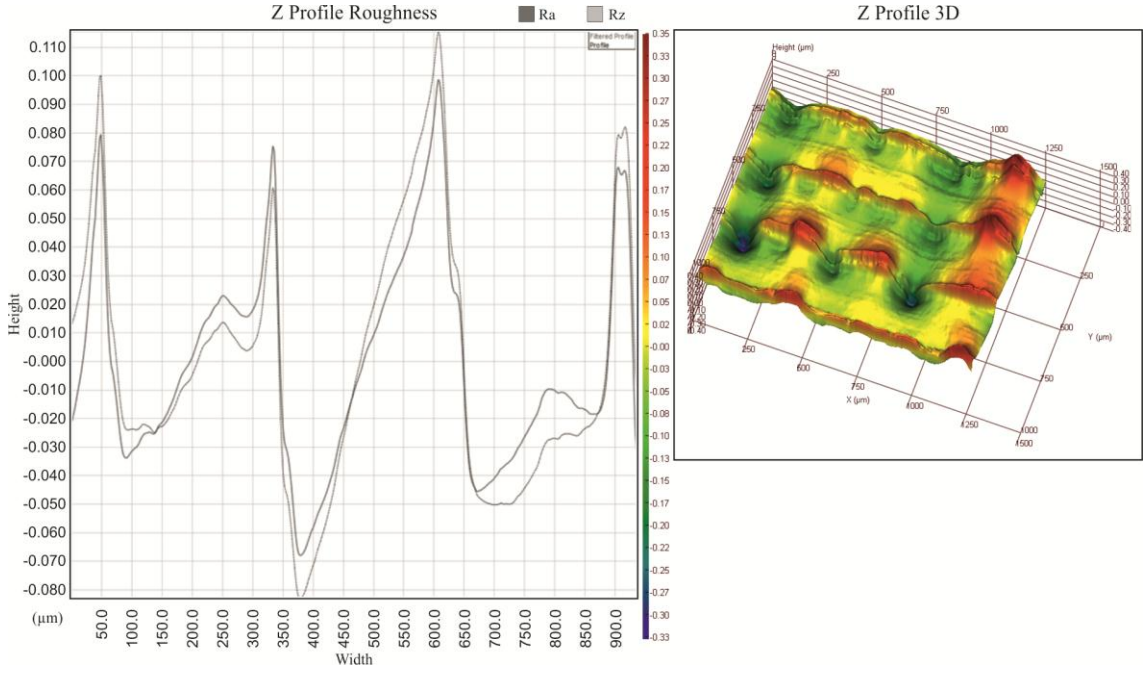
FDM 1 NO yazıcıdan PLA materyal kullanılarak 300 µm hassasiyetinde baskısı alınan numune 2 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.14'te gösterildiği gibidir.



Şekil 5.14. FDM 1 NO 300 µm PLA numune 2 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

FDM 1 NO yazıcıdan PLA materyal kullanılarak 300 µm hassasiyetinde baskısı alınan numune 3 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.15'te gösterildiği gibidir.

gibidir.



Şekil 5.15. FDM 1 NO 300 μm PLA numune 3 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

FDM 1 NO yazıcıdan PLA materyal kullanılarak 300 μm hassasiyetinde baskısı alınan yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.16’da gösterildiği gibidir.



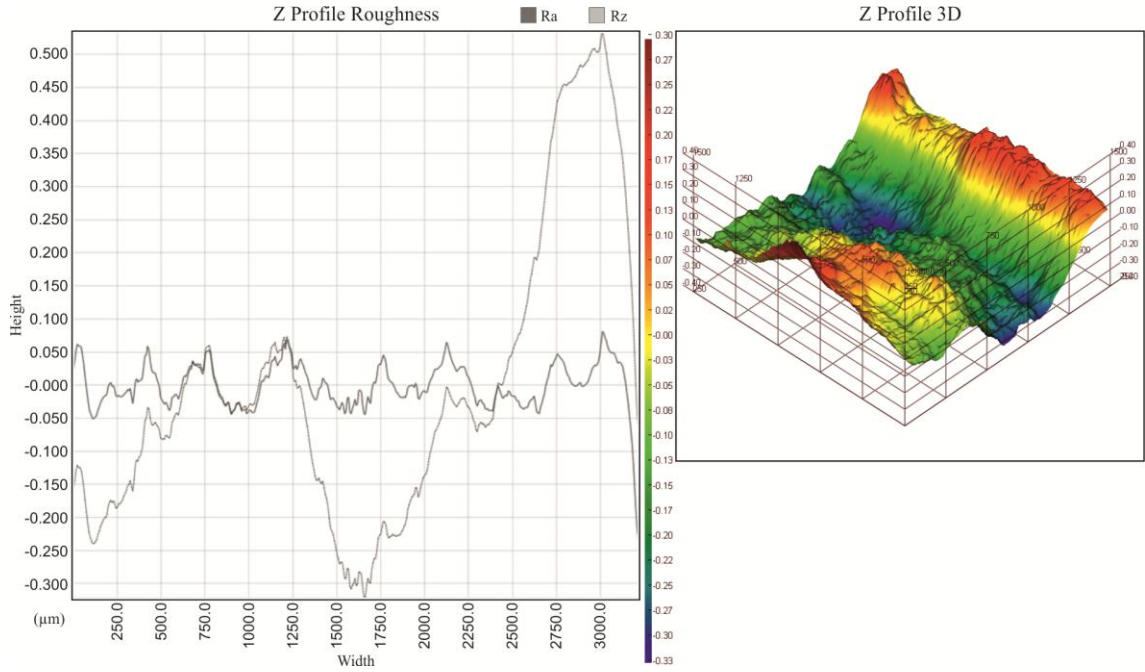
Şekil 5.16. FDM 1 NO 300 μm PLA yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü.

5.1.2. 2 NO Yazıcı Çıktısının Yüzey Pürüzlülüğü İncelenmesi

2 NO yazıcıdan VisiJet M3 Crystal materyal kullanılarak alınan 16 μm ve 32 μm hassasiyetindeki çıktılarının yüzey pürüzlülüğü deneyi görüntüleri bu bölümde incelenmiştir.

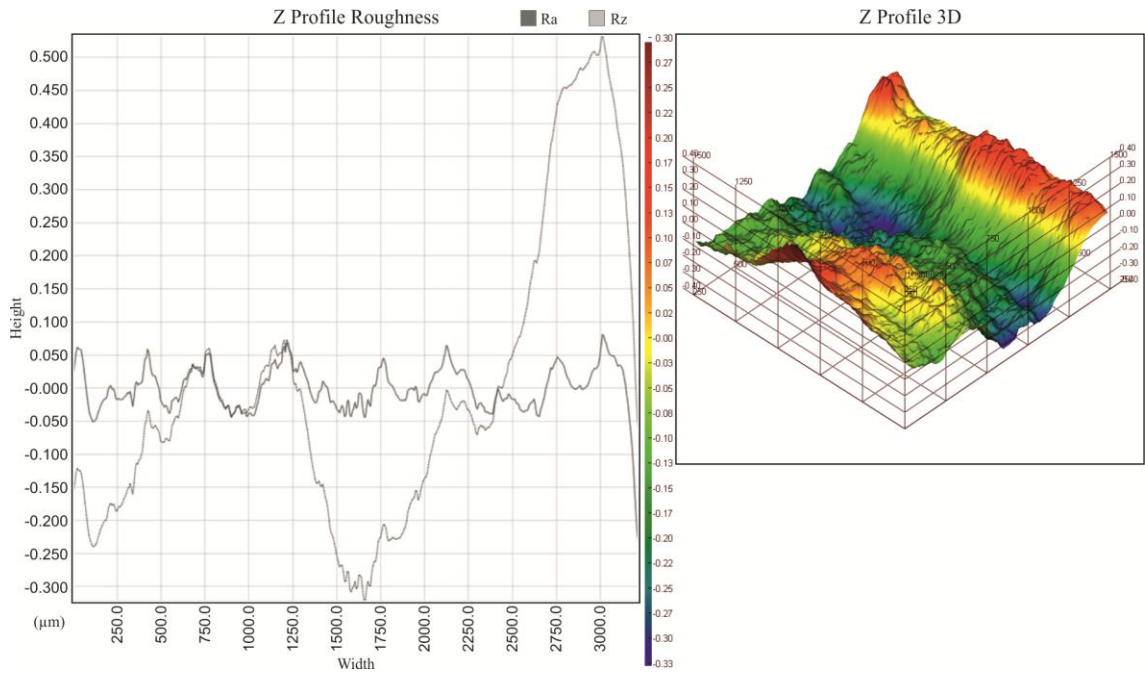
2 NO yazıcıdan VisiJet M3 Crystal materyal kullanılarak 16 μm hassasiyetinde baskısı

alınan numune 1 yüzey pürüzlüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.17’de gösterildiği gibidir.



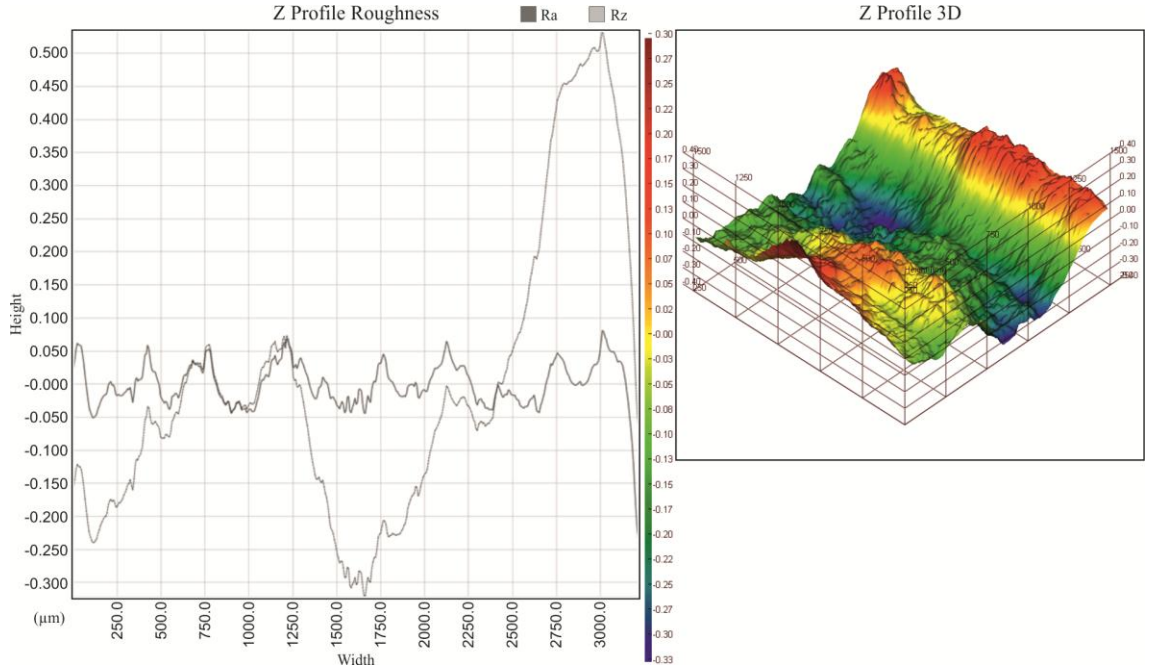
Şekil 5.17. 2 NO 16 µm numune 1 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

2 NO yazıcıdan VisiJet M3 Crystal materyal kullanılarak 16 µm hassasiyetinde baskısı alınan numune 2 yüzey pürüzlüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.18’de gösterildiği gibidir.



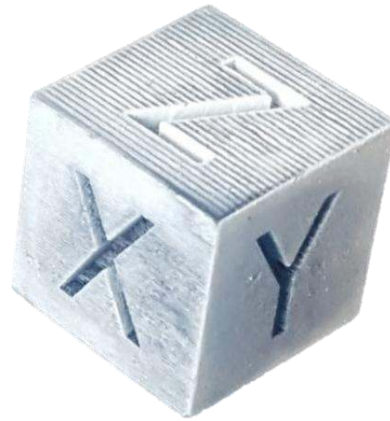
Şekil 5.18. 2 NO 16 µm numune 2 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

2 NO yazıcıdan VisiJet M3 Crystal materyal kullanılarak 16 μm hassasiyetinde baskısı alınan numune 3 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.19'da gösterildiği gibidir.



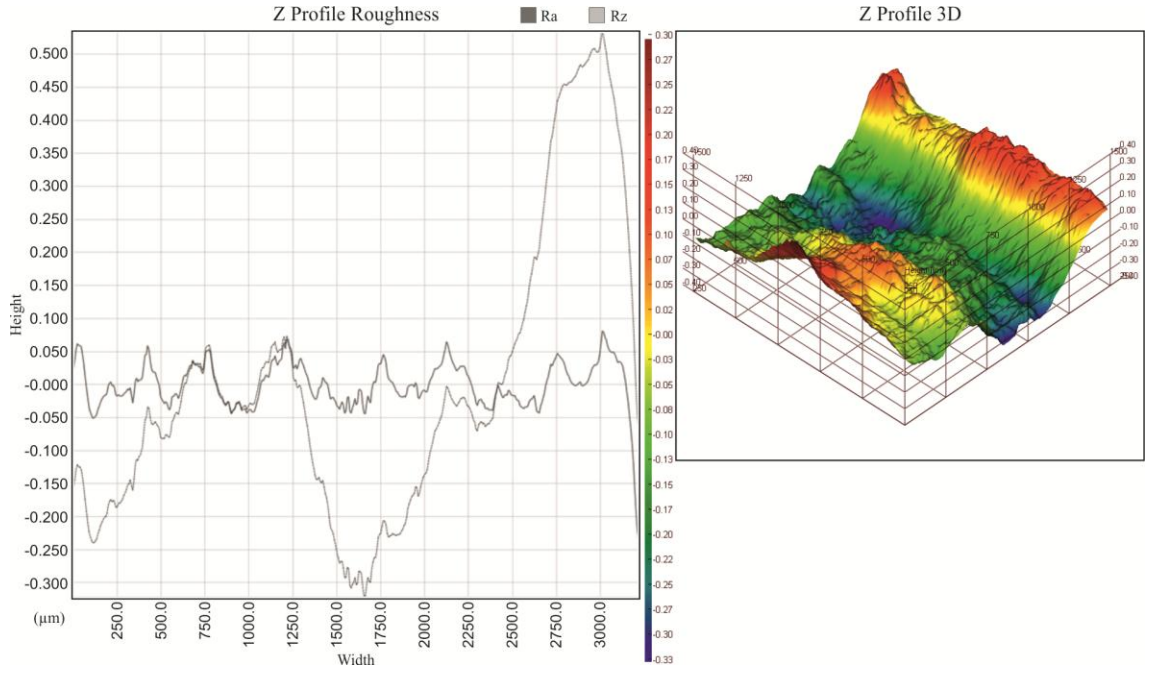
Şekil 5.19. 2 NO 16 μm numune 3 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

2 NO yazıcıdan VisiJet M3 Crystal materyal kullanılarak 16 μm hassasiyetinde baskısı alınan yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.20'de gösterildiği gibidir.



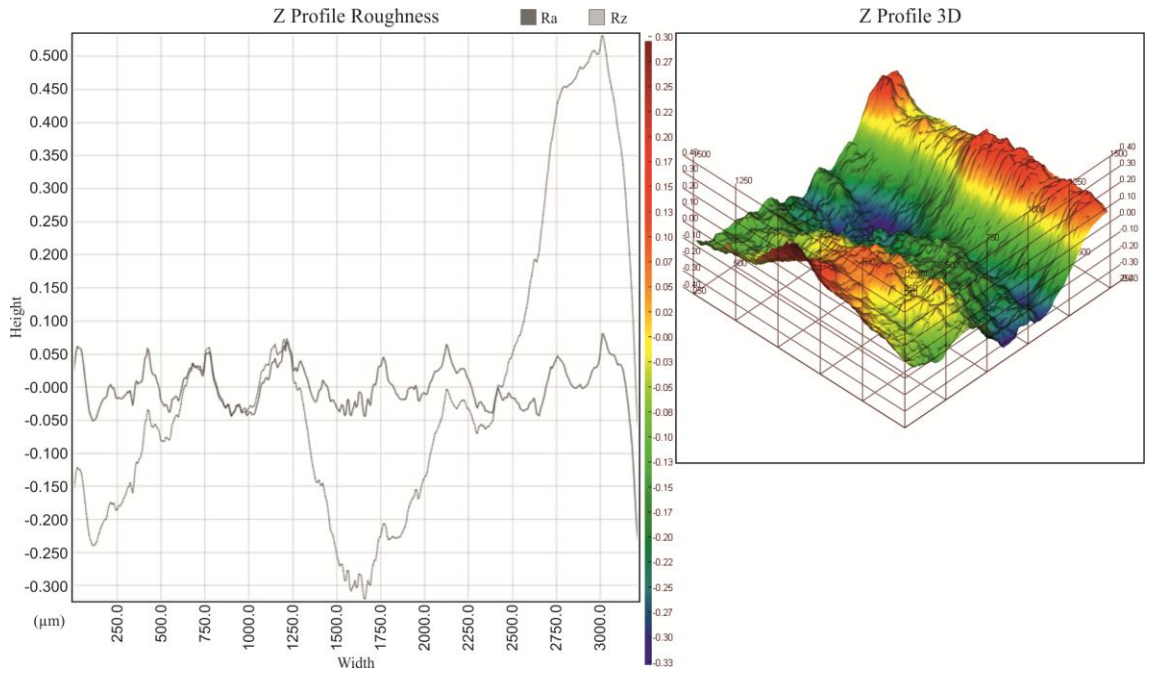
Şekil 5.20. 2 NO 16 μm yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü.

2 NO yazıcıdan VisiJet M3 Crystal materyal kullanılarak 32 μm hassasiyetinde baskısı alınan numune 1 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.21'de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.21. 2 NO 32 μm numune 1 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

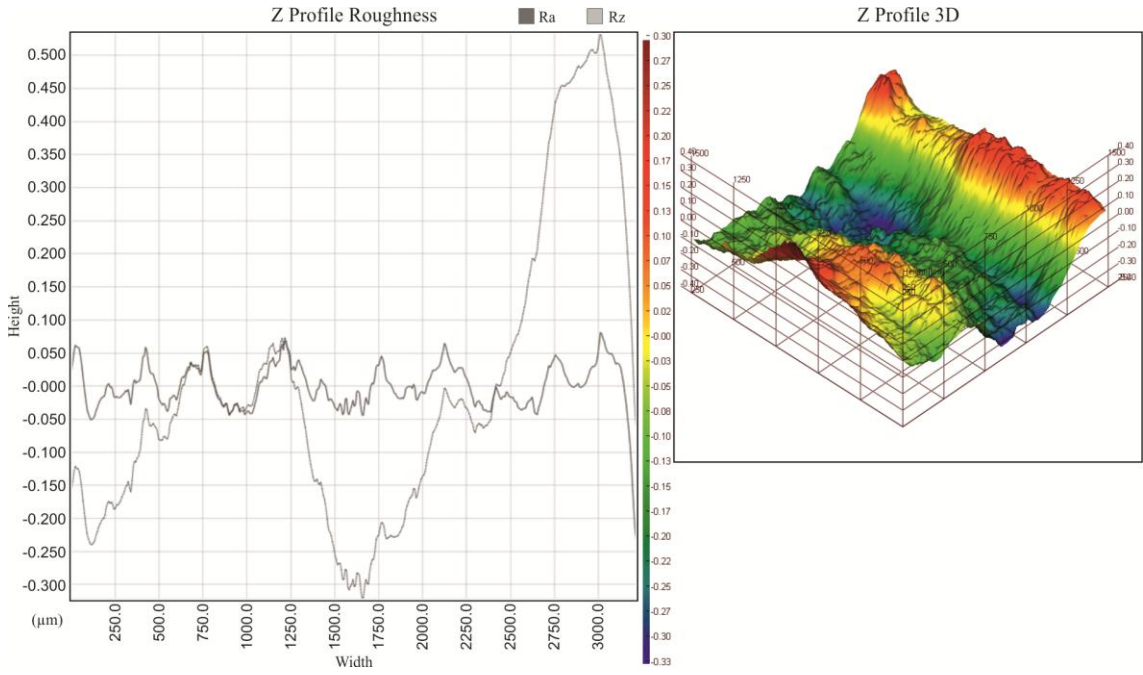
2 NO yazıcıdan VisiJet M3 Crystal materyal kullanılarak 32 μm hassasiyetinde baskısı alınan numune 2 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.22’de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.22. 2 NO 32 μm numune 2 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

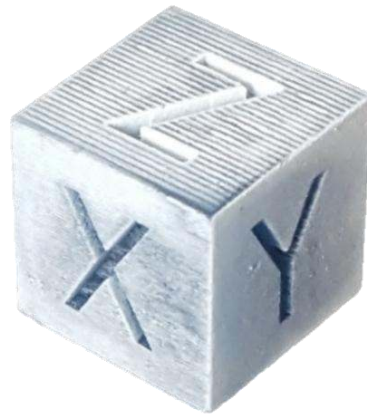
2 NO yazıcıdan VisiJet M3 Crystal materyal kullanılarak 32 μm hassasiyetinde baskısı alınan numune 3 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.23’te

gösterildiği gibidir.



Şekil 5.23. 2 NO 32 μm numune 3 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

2 NO yazıcıdan VisiJet M3 Crystal materyal kullanılarak 32 μm hassasiyetinde baskısı alınan yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.24’te gösterildiği gibidir.



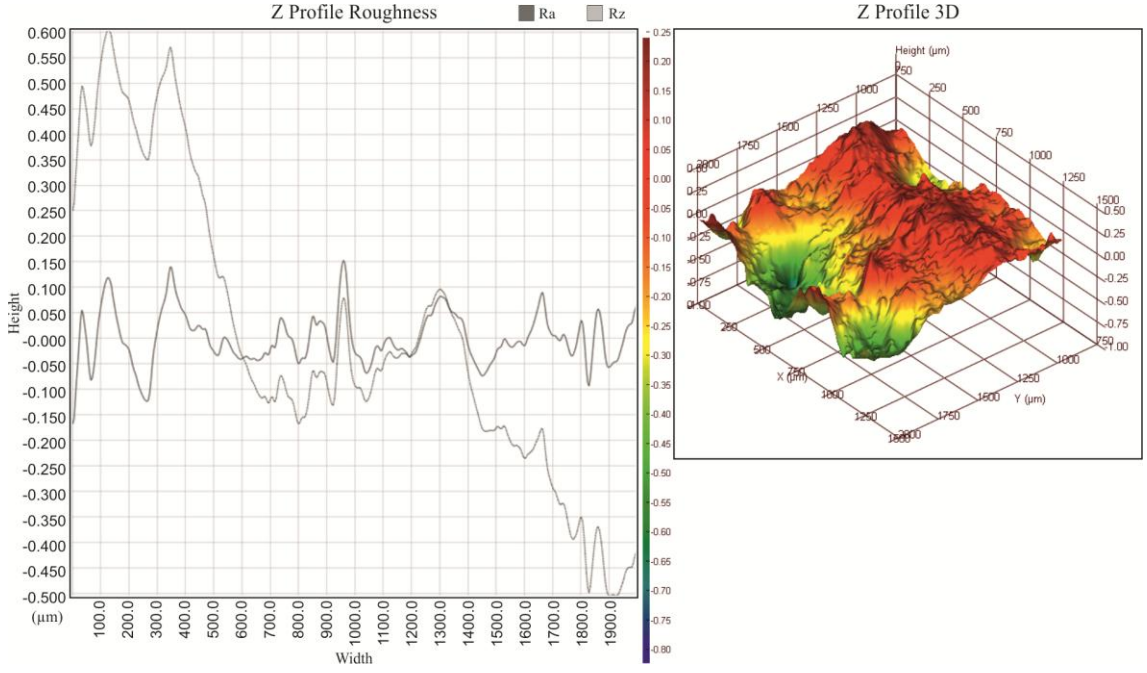
Şekil 5.24. 2 NO 32 μm yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü.

5.1.3. 3 NO Yazıcı Çıktısının Yüzey Pürüzlülüğü İncelenmesi

3 NO yazıcıdan VisiJet C4 Spectrum materyal kullanılarak alınan 100 μm hassasiyetindeki çıktıların yüzey pürüzlülüğü deneyi görüntüleri bu bölümde incelenmiştir.

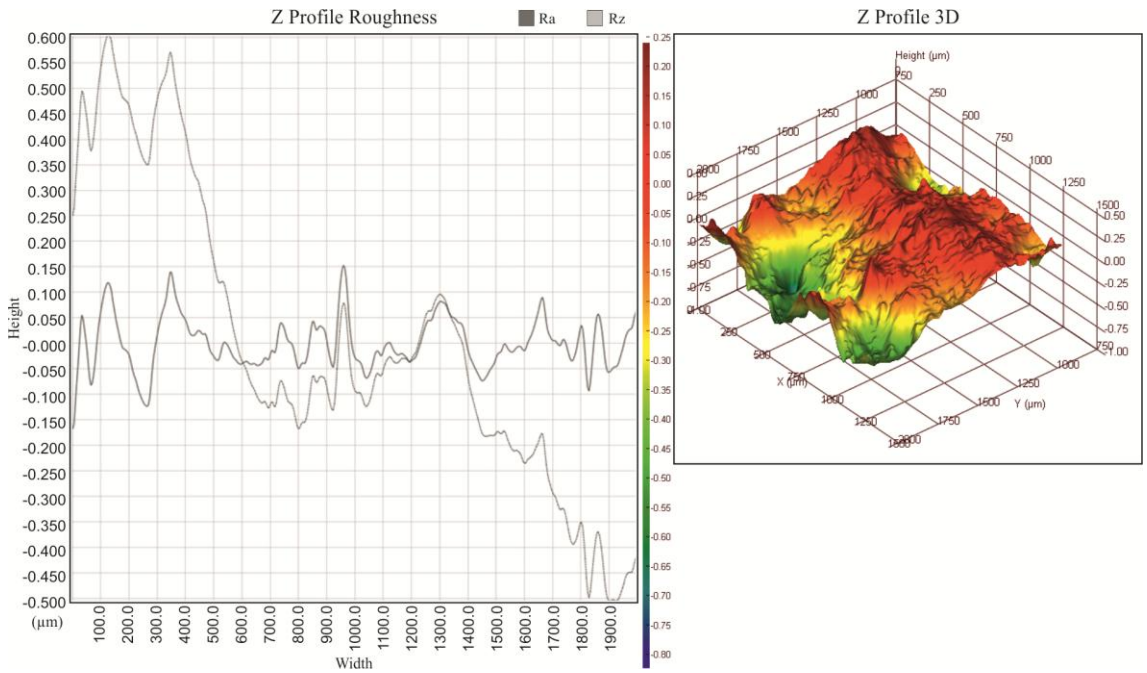
3 NO yazıcıdan VisiJet C4 Spectrum materyal kullanılarak 100 μm hassasiyetinde

baskısı alınan numune 1 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.25'te gösterildiği gibidir.



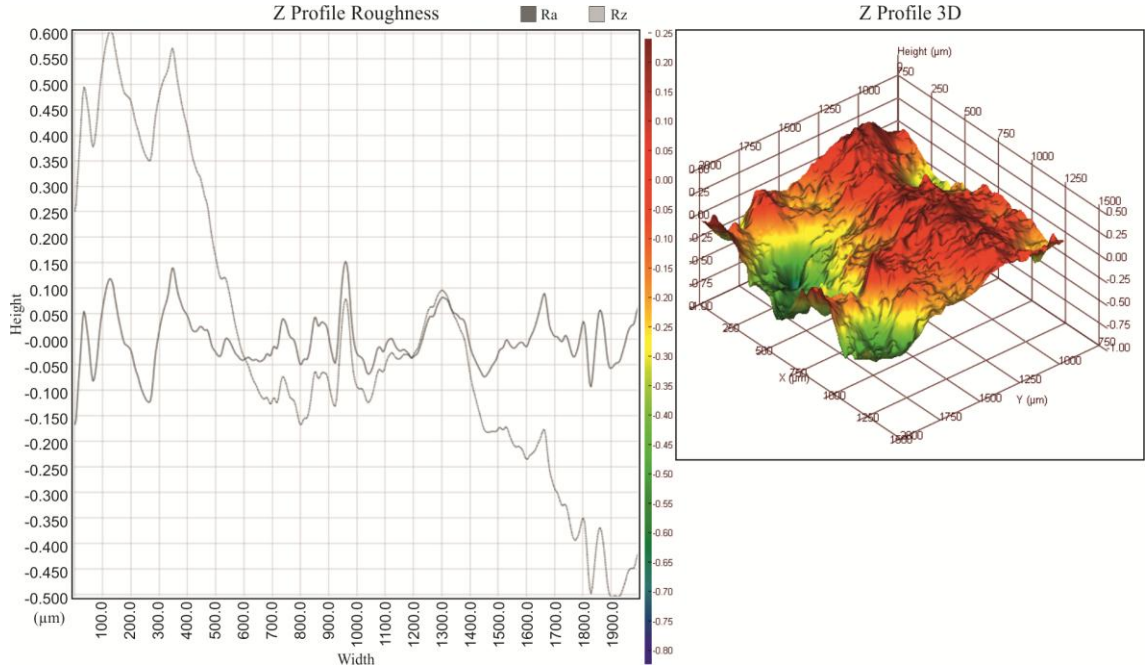
Şekil 5.25. 3 NO 100 μm numune 1 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

3 NO yazıcıdan VisiJet C4 Spectrum materyal kullanılarak 100 μm hassasiyetinde baskısı alınan numune 2 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.26'da gösterildiği gibidir.



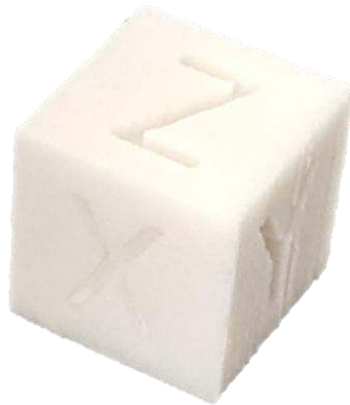
Şekil 5.26. 3 NO 100 μm numune 2 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

3 NO yazıcıdan VisiJet C4 Spectrum materyal kullanılarak 100 μm hassasiyetinde baskısı alınan numune 3 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu ve topoğrafyası Şekil 5.27’de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.27. 3 NO 100 μm numune 3 yüzey pürüzlülüğü deneyi sonucu.

3 NO yazıcıdan VisiJet C4 Spectrum materyal kullanılarak 100 μm hassasiyetinde baskısı alınan yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.28’de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.28. 3 NO 100 μm yüzey pürüzlülüğü deneyi numunesi görüntüsü.

5.2. DESTEK KAYIPLARI DENEYİ SONUÇLARI

Farklı materyaller kullanılarak, farklı doluluk oranlarında üç boyutlu baskısı alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen destek kayıpları deneyi sonucunda elde edilen verilere esas teşkil eden %20, %50 ve %80 doluluk oranlarının her birine ait 3 numune bulunmaktadır.

Deney sonucunda elde edilen numunelerin ağırlık değerlerinin baskıda kullanılan materyal türüne ve baskı kalitesine bağlı olarak değiştiği, üretimleri yapılan tüm numunelere ait materyal türlerinin, baskısı alınan parçadan daha hafif olduğu sonucuna varılmıştır.

Örnekler üzerinde gerçekleştirilen destek kayıpları deneyi sonucunda elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler ve yazdırma işlemi gerçekleştirilen her bir numunenin, numune materyal birim maliyeti Çizelge 5.2’de gösterildiği gibidir.



Çizelge 5.2. Destek kayıpları deneyi sonuçları.

3D Yazıcı Türü	Materyal	Baskı Doluluk Oranı (%)	Orijinal Numune Ağırlığı (g)	Baskı Numune Ağırlığı (g)	Ağırlık Sapması (%)	Materyal Fiyatı ³ (TL/kg)	Birim Maliyeti (TL)	
FDM 1 NO	ABS	20	70,2733	26,2664	62,62	80	2,10	
				26,3158	62,55		2,10	
				26,2909	62,59		2,10	
		50		44,7520	36,32		3,58	
				44,7432	36,33		3,57	
				44,7125	36,37		3,57	
				80	62,6120		10,90	5,00
					62,6618		10,83	5,01
					62,5849		10,94	5,00
	PLA	20		29,6950	57,74	89	2,64	
				29,6471	57,81		2,63	
				29,6070	57,87		2,63	
		50		49,1854	30,01		4,37	
				49,2827	29,87		4,38	
				48,9626	30,33		4,35	
		80		68,7421	2,18		6,11	
				68,8465	2,03		6,12	
				68,5219	2,49		6,09	
2 NO	VisiJet M3 Crystal	20	41,0333	41,61	3600,35	147,73		
			41,0333	41,61		147,73		
			41,0333	41,61		147,73		
			50	48,1726		31,45	173,43	

³ Döviz 4,5676 TL olarak 12 Haziran 2018 tarihinde düzenlenmiştir.

Çizelge 5.2 (devam). Destek kayıpları deneyi sonuçları.

2 NO	VisiJet M3 Crystal	50	70,2733	48,1726	31,45	3600,35	173,43
		80		48,1726	31,45		173,43
				60,5766	13,18		218,09
				60,5766	13,18		218,09
				60,5766	13,18		218,09
3 NO	VisiJet C4 Spectrum	20		34,0161	51,59	2084,03	70,89
		50		34,0161	51,59		70,89
				34,0161	51,59		70,89
				40,5242	42,33		84,45
				40,5242	42,33		84,45
		80		40,5242	42,33		84,45
				51,4373	26,80		107,19
				51,4373	26,80		107,19
				51,4373	26,80		107,19
				51,4373	26,80		107,19

Destek kayıpları deneyi numune materyal maliyetleri, baskısı alınan yazdırma materyaline göre değişiklik göstermiştir. FDM 1 NO kodlu yazıcıda numuneler 250 μ m hassasiyetinde, 2 NO kodlu yazıcıda numuneler 24 μ m hassasiyetinde, 3 NO kodlu yazıcıda numuneler 100 μ m hassasiyetinde yazdırılmıştır.

5.2.1. FDM 1 NO Yazıcı Çıktısının Destek Kayıpları İncelenmesi

FDM 1 NO yazıcıdan ABS materyal kullanılarak %20 doluluk oranı ile baskısı alınan destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.29’da gösterildiği gibidir.



Şekil 5.29. FDM 1 NO ABS %20 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.

FDM 1 NO yazıcıdan ABS materyal kullanılarak %50 doluluk oranı ile baskısı alınan destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.30’da gösterildiği gibidir.



Şekil 5.30. FDM 1 NO ABS %50 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.

FDM 1 NO yazıcıdan ABS materyal kullanılarak %80 doluluk oranı ile baskısı alınan destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.31’de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.31. FDM 1 NO ABS %80 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.

FDM 1 NO yazıcıdan PLA materyal kullanılarak %20 doluluk oranı ile baskısı alınan destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.32’de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.32. FDM 1 NO PLA %20 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.

FDM 1 NO yazıcıdan PLA materyal kullanılarak %50 doluluk oranı ile baskısı alınan destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.33’te gösterildiği gibidir.



Şekil 5.33. FDM 1 NO PLA %50 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.

FDM 1 NO yazıcıdan PLA materyal kullanılarak %80 doluluk oranı ile baskısı alınan destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.34'te gösterildiği gibidir.



Şekil 5.34. FDM 1 NO PLA %80 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.

5.2.2. 2 NO Yazıcı Çıktısının Destek Kayıpları İncelenmesi

2 NO yazıcıdan VisiJet M3 Crystal materyal kullanılarak %20 doluluk oranı ile baskısı alınan destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.35'te gösterildiği gibidir.



Şekil 5.35. 2 NO %20 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.

2 NO yazıcıdan VisiJet M3 Crystal materyal kullanılarak %50 doluluk oranı ile baskısı alınan destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.36'da gösterildiği gibidir.



Şekil 5.36. 2 NO %50 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.

2 NO yazıcıdan VisiJet M3 Crystal materyal kullanılarak %80 doluluk oranı ile baskısı alınan destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü 5.37’de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.37. 2 NO %80 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.

5.2.3. 3 NO Yazıcı Çıktısının Destek Kayıpları İncelenmesi

3 NO yazıcıdan VisiJet C4 Spectrum materyal kullanılarak %20 doluluk oranı ile baskısı alınan destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.38’de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.38. 3 NO %20 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.

3 NO yazıcıdan VisiJet C4 Spectrum materyal kullanılarak %50 doluluk oranı ile baskısı alınan destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.39’da gösterildiği gibidir.



Şekil 5.39. 3 NO %50 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.

3 NO yazıcıdan VisiJet C4 Spectrum materyal kullanılarak %80 doluluk oranı ile baskısı alınan destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.40’ta gösterildiği gibidir.



Şekil 5.40. 3 NO %80 destek kayıpları deneyi numunesi görüntüsü.

5.3. KAPALI GEÇME DENEYİ SONUÇLARI

Farklı materyaller kullanılarak üç boyutlu baskısı alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen kapalı geçme deneyi sonucunda elde edilen sonuçlara göre imalat için tasarım şartları 3B yazıcılar ile sağlanabilmektedir. Bu amaçla her bir materyale ait 3 numune bulunmaktadır.

Deneyler ve uygulamalar sonucunda elde edilen kapalı geçme numuneleri, deneyde kullanılan her 3B yazıcı ve materyal ile başarıya ulaşmıştır. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi sayesinde geleneksel üretim yöntemleri ile yekpare üretimi imkansız görülen tasarımların üretilebileceği deneysel olarak belirlenmiştir.

Kapalı geçme deneyi numune materyal maliyetleri, baskısı alınan yazdırma materyaline göre değişiklik göstermiştir. FDM 1 NO kodlu yazıcıda numuneler 200 µm hassasiyetinde ve %20 doluluk oranı ile 2 NO kodlu yazıcıda numuneler 16 µm hassasiyetinde ve %100 doluluk oranı ile yazdırılmıştır. 3 NO kodlu yazıcıda numuneler 100 µm hassasiyetinde ve %100 doluluk oranı ile yazdırılmıştır. Yazdırma işlemi gerçekleştirilen her bir numunenin, numune materyal birim maliyeti Çizelge 5.3'te gösterildiği gibidir.

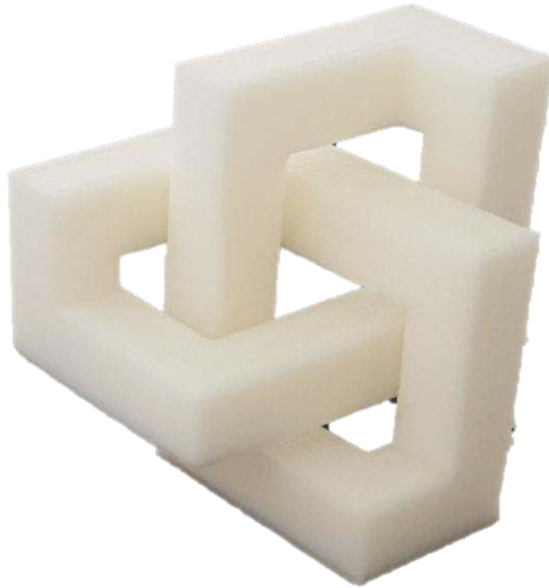
Çizelge 5.3. Kapalı geçme deneyi numune materyal birim maliyeti.

3D Yazıcı Türü	Materyal Türü	Numune Ağırlığı (g)	Materyal Fiyatı ⁴ (TL/kg)	Birim Maliyeti (TL)
FDM 1 NO	ABS	12,8505	80	1,02
		13,0224		1,04
		12,9435		1,03
	PLA	14,3097	89	1,27
		14,2994		1,27
		14,2678		1,27
2 NO	VisiJet M3 Crystal	23,1646	3600,35	83,40
		23,1646		83,40
		23,1646		83,40
3 NO	VisiJet C4 Spectrum	17,6702	2084,03	36,82
		17,6702		36,82
		17,6702		36,82

5.3.1. FDM 1 NO Yazıcı Çıktısının Kapalı Geçme İncelenmesi

FDM 1 NO yazıcıdan ABS ve PLA materyaller kullanılarak alınan çıktıların kapalı geçme deneyi görüntüleri bu bölümde incelenmiştir.

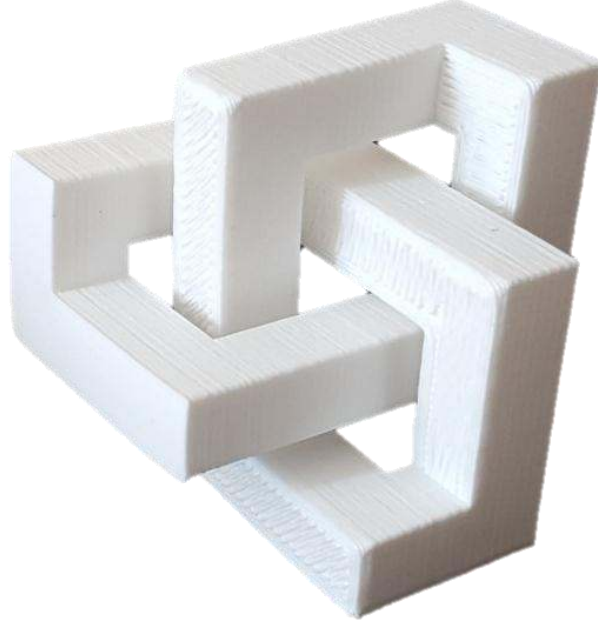
FDM 1 NO yazıcıdan ABS materyal kullanılarak baskısı alınan kapalı geçme deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.41’de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.41. FDM 1 NO ABS kapalı geçme deneyi numunesi görüntüsü.

⁴ Döviz 4,5676 TL olarak 12 Haziran 2018 tarihinde düzenlenmiştir.

FDM 1 NO yazıcıdan PLA materyal kullanılarak baskısı alınan kapalı geçme deneyi numunesi görüntüsü 5.42’de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.42. FDM 1 NO PLA kapalı geçme deneyi numunesi görüntüsü.

5.3.2. 2 NO Yazıcı Çıktısının Kapalı Geçme İncelenmesi

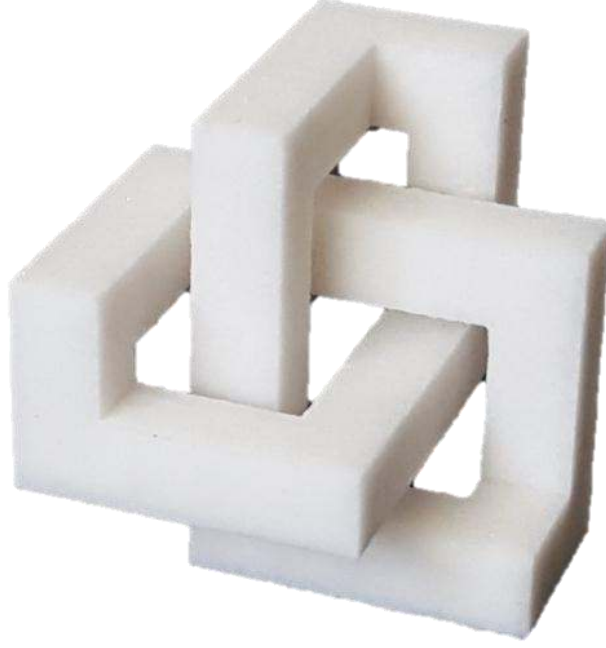
2 NO yazıcıdan VisiJet M3 Crystal materyal kullanılarak baskısı alınan kapalı geçme deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.43’te gösterildiği gibidir.



Şekil 5.43. 2 NO kapalı geçme deneyi numunesi görüntüsü.

5.3.3. 3 NO Yazıcı Çıktısının Kapalı Geçme İncelenmesi

3 NO yazıcıdan VisiJet C4 Spectrum materyal kullanılarak baskısı alınan kapalı geçme deneyi numunesi görüntüsü Şekil 5.44'te gösterildiği gibidir.



Şekil 5.44. 3 NO kapalı geçme deneyi numunesi görüntüsü.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Üç boyutlu tasarım ve imalat teknolojilerinin imalat için tasarıma olan etkilerinin incelenmesi amaçlı çalışmanın sonucunda aşağıdaki bilgiler elde edilmiştir;

1. Yüzey pürüzlülükleri değerlerinin yazıcı türüne ve yazıcının kullandığı yazdırma teknolojisine bağlı olarak değişiklikler gösterebileceği,
2. Gerekli kalibrasyonlar yapıldığı takdirde tüm yazdırma teknolojilerinin istenilen seviyede yüzey kalitesi sonuçlarına ulaşabileceği,
3. Yazdırma esnasında kullanılan materyal türünün kürleşme ve ortam koşullarına uyum sağlama süreçlerinde, katmanlı imalat teknolojisi kullanıldığı göz önünde tutularak yazdırılan parçanın yüzey pürüzlülüğüne etki ettiği,
4. FDM 1 NO kodlu çok boyutlu yazıcının baskı kalitesinde tekrarlı üretimde farklı yüzey kalitesi değerlerine ulaşabileceği fakat bu değerlerin göz ardı edilebileceği,
5. Yüksek hassasiyet sağlayan ve bu çalışmada 2 NO ve 3 NO ile kodlanan profesyonel kullanıma yönelik çok boyutlu yazıcılarda baskı kalitesinde tekrarlı üretimde aynı yüzey kalitesi değerlerine ulaşabildiği,
6. Yüzey pürüzlülükleri deneyinde tekrarlı üretime bağlı olarak aynı 3B yazıcıda aynı yazdırma hassasiyeti ile üretilen numune yazdırma sürelerinde bir değişikliğe rastlanmamıştır.
7. Profesyonel kullanıma uygun ve bu çalışmada 2 NO ve 3 NO ile kodlanan yazıcılarda, aynı materyal ile alınan aynı ürün baskılarının ağırlıklarının tekrarlı üretime uygun ve ölçü kararlılığı sunduğu,
8. FDM 1 NO kodlu 3B yazıcıda aynı ürünün ağırlıklarında çok düşük bir fark olsa da tekrarlı üretimde farklı sonuçlar verdiği,
9. 3B yazıcı teknolojisi sayesinde baskı doluluk oranını azaltarak aynı işlevi gören daha hafif ürünleri ortam bağımsız olarak imal edilebilirliği,
10. Çalışmada kullanılan tüm yazıcı ve materyal türü ile baskısı alınan numunelerin farklı doluluk oranlarında test edildiği destek kayıpları deneyinde tasarımı esas

alınan 70,2733 gr ağırlığındaki kapı stoperinden hafif olduğu,

11. Yapılan destek kayıpları deneyinde tasarımı esas alınan kapı stoperinin ağırlığına %62,62 oranla en hafif numune, %20 doluluk oranı ile FDM 1 NO kodlu yazıcıdan yazdırılan ABS materyal ile elde edildiği,
12. Yapılan destek kayıpları deneyinde tasarımı esas alınan kapı stoperinin ağırlığına %2,03 oranla en yakın numune, %80 doluluk oranı ile FDM 1 NO kodlu yazıcıdan yazdırılan PLA materyal ile elde edildiği,
13. Ev tipi kullanıma uygun FDM 1 NO kodlu yazıcı ve kullandığı materyal maliyetinin, profesyonel kullanıma yönelik 2 NO ve 3 NO ile kodlanan yazıcılara oranla maliyetlerinde büyük bir fark olduğu,
14. Yapılan destek kayıpları deneyinde tasarımı esas alınan kapı stoperinin baskısında, numune materyal birim maliyeti olarak en ucuz sonuç FDM 1 NO kodlu yazıcıdan ABS materyal kullanılarak %20 doluluk oranı ile 2,10 TL olarak elde edilmiş olup, baskı süresi 95 dakika olduğu,
15. Yapılan destek kayıpları deneyinde tasarımı esas alınan kapı stoperinin baskısında, numune materyal birim maliyeti olarak en pahalı sonuç 2 NO kodlu yazıcıdan VisiJet M3 Crystal materyal kullanılarak %80 doluluk oranı ile 218,09 TL olarak elde edilmiş olup, baskı süresi 484 dakika olduğu,
16. Destek kayıpları deneyinde tekrarlı üretime bağlı olarak FDM 1 NO kodlu yazıcıda aynı doluluk oranı ile üretilen ve 2 NO ve 3 NO kodlu yazıcılarda doluluk oranı bağımsız olarak numune yazdırma sürelerinde bir değişikliğe rastlanmamıştır.
17. Yapılan destek kayıpları deneyinde tasarımı esas alınan kapı stoperine oranla materyal birim maliyeti ve baskı süreleri göz önüne alındığı takdirde, yazdırma teknolojilerinin seri üretime uygun olmadığı, özellikle prototip üretimi, AR-GE çalışmaları ve özel üretim maket veya ürün baskılarında kullanıma daha uygun olduğu,
18. Tek parça halinde üretimi geleneksel yöntemler ile imkan bulunmayan veya vakit ve işçilik gerektiren ürünlerin tamamının her tip 3B yazıcı ve materyal ile üretilebileceği,

sonuçlarına ulaşılmıştır.

7. KAYNAKLAR

- [1] E. H. V. Martinez, E. Can, “Bilgisayar destekli seramik üretim yöntemi olarak üç boyutlu yazıcılar ve günümüz koşullarında uygulama örneği,” *Sanat Tasarım Dergisi*, c. 6, s. 1, ss. 1–14, 2016.
- [2] İ. Çelik, F. Karakoç, M. C. Çakır ve A. Duysak, “Hızlı prototipleme teknolojileri ve uygulama alanları,” *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, s. 31, ss. 53–70, 2013.
- [3] D. Çelik, “Üç boyutlu yazıcı tasarımı, prototipi ve tersine mühendislik uygulamaları,” Yüksek lisans tezi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2015.
- [4] J. Flynt. (2018, April 14). *A detailed history of 3d printing* [Online]. Available: <https://3dinsider.com/3d-printing-history/>.
- [5] G. A. Yavuz, “The production of objects with three dimensional printing technique,” Master of Science thesis, Department Mechatronics Engineering, Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey, 2014.
- [6] Y. S. Balcıoğlu, “3 boyutlu yazıcı ve sinemada kullanımı,” Yüksek lisans tezi, Sanat ve Tasarım Bölümü, Yaşar Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2014.
- [7] B. Güler, “Çift başlı kartezyen tipi 3 boyutlu yazıcı tasarım ve prototip imalatı (granülden modele),” Yüksek lisans tezi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2016.
- [8] A. Ngo. (2018, April 14). *3d printing terminology visual displays* [Online]. Available: <https://www.thingiverse.com/thing:2512390>.
- [9] A. Alsaran, Alışılmamış üretim yöntemleri, *Ders Notları*, Erzurum, 2007.
- [10] N. Boyacı, “İmalat için tasarım ve temel kurallarının incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze, Türkiye, 2010.
- [11] Ö. Poyraz, “İmalat süreçlerinin kalitesinin, verimliliğinin artırılmasına yönelik sürekli iyileştirilmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [12] İ. Coşkun, M. F. Işık, “Elektroerozyon yöntemi ile tornalama,” *Politeknik Dergisi*, c. 11, s. 4, ss. 285–291, 2008.
- [13] A. Erden, Alışılmamış imalat yöntemleri, *Ders Notları*, Ankara, 2000.
- [14] D. Ç. Özkan, B. S. Ünlü, “Kaynak cıvata ve somunlarının çeşitleri, üretimi, yöntemi ve kullanım alanları,” *Mühendis ve Makina*, c. 57, s. 678, ss. 44–52, 2016.
- [15] Foundry Management & Technology. (2018, April 14). *What, why and where for chilling large molds* [Online]. Available: <https://www.foundrymag.com/ask-expert/what-why-and-where-chilling-large-molds>.

- [16] M. E. Yurci, *Talaşsız Şekil Verme*, 7. baskı, İstanbul, Türkiye: Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi, 2008.
- [17] K. Rackham & Son Engineering Ltd. (2018, April 14). *Steel & non-ferrous sheet rolling specialists* [Online]. Available: <http://www.rackhamengineering.co.uk/rolling.php>.
- [18] Anonymous. (2018, April 14). *Cara mengelas argon yang benar* [Online]. Available: <http://arafuru.com/sipil/cara-mengelas-argon-yang-benar.html>.
- [19] M. A. Topbaş, *Isıl İşlemler*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Prestij Yayınları, 1993.
- [20] W. F. Smith, *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*, 3. baskı, İstanbul, Türkiye: Literatür Yayıncılık, 2001.
- [21] T. C. Milli Eğitim Bakanlığı, *Malzeme ve ısıt işlemler*, *Ders Notları*, Ankara, 2011.
- [22] Y. Ş. Bayraktar, “Elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin talaşlı şekillendirilebilirliği,” *1. Uluslararası Plastik ve Kauçuk Teknolojileri Sempozyumu ve Sergisi*, Ankara, Türkiye, 2013, ss. 9–18.
- [23] M. Altan, A. Uysal, “Ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilenin matkapla delinmesinde delik hassasiyetinin pratik bir yöntemle belirlenmesi,” *3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, Türkiye, 2012, ss. 153-159.
- [24] Met-Parts Engineering Ltd. (2018, April 14). *Turning* [Online]. Available: <http://www.met-parts.co.uk/turning.html>.
- [25] Y. Kul, A. Şeker, M. Yurdakul, “Bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinin alışılmamış imalat yöntemlerinin seçiminde kullanılması,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 29, s. 3, ss. 589–603, 2014.
- [26] Swift Design Automation. (2018, April 14). *Laser cutting* [Online]. Available: <http://swiftada.com/fabrication-services/laser-cutting/>.
- [27] E. Avcu, *İmalat yöntemleri*, *Ders Notları*, Kocaeli, 2015.
- [28] T. Gülmez. (2018, 14 Nisan). *İmalata giriş ve genel bakış* [Online]. Erişim: <http://web.itu.edu.tr/gulmezt/IMAL%20USULLERI/ch01-Imalata%20Giris%20ve%20Genel%20Bakis.pdf>.
- [29] D. Günay, “Sanayi ve sanayi tarihi,” *Mimar ve Mühendis Dergisi*, s. 31, ss. 8–14, 2002.
- [30] B. Pakman, “İngiltere ve Osmanlı Devleti’nde sanayi devrimi form algısı,” *Yüksek lisans tezi*, Moda Tasarımı Bölümü, Işık Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [31] M. Küçükcalay, “Endüstri devrimi ve ekonomik sonuçlarının analizi,” *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 2, s. 2, ss. 51–68, 1997.
- [32] G. Basalla, *Teknolojinin Evrimi*, 12. baskı, Ankara, Türkiye: Tübitak Yayınları, 1998.
- [33] D. Günay, “Teknolojinin ontolojik temeli,” *Elektrik Elektronik Dergisi*, s. 1, ss. 54-56, 1998.
- [34] B. Korkmaz, “3B yazıcı: Atlantik ve Avrasya rekabetinde yeni bir faktör,”

Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, c. 7, s. 2, ss. 17–30, 2014.

- [35] L. Aydın, “Üç boyutlu yazıcıyla ayak bileği ortezinin tasarımı ve geliştirilmesi,” Yüksek lisans tezi, Biyomedikal Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2014.
- [36] J. G. N. Levy, R. Schindel, “Rapid manufacturing and rapid tooling with layer manufacturing (lm) technologies,” *State of The Art Future Perspectives*, vol. 1, no. 1, pp. 1–21, 1996.
- [37] İ. Durgun, “Tabakalı hızlı prototipleme yöntemlerinin karşılaştırılması,” XIII. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu ve Sergisi'nde sunuldu, İstanbul, 2015.
- [38] K. Özsoy, B. Duman, “Eklemeli imalat (3 boyutlu baskı) teknolojilerinin eğitimde kullanılabilirliği,” *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, c. 1, s. 1, ss. 36–48, 2017.
- [39] M. H. Karaarslan, “3 boyutlu yazdırma teknolojisi: sosyo-ekonomik etkileri için yeni ufuklar,” *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi*, c. 10, s. 1, ss. 193–210, 2015.
- [40] C. Cozmei, F. Calorian, “Additive manufacturing flickering at the beginning of existence,” *Procedia Economics and Finance*, vol. 3, pp. 457–462, 2012.
- [41] CSC Business Solutions Technology Outsourcing. (2018, April 10). *3d printing and the future of manufacturing* [Online]. Available: https://assets1.csc.com/de/downloads/LEF_2012_3DPrinting_tags.pdf.
- [42] B. Berman, “3-d printing: the new industrial revolution,” *Business Horizons*, vol. 55, no. 2, pp. 155–162, 2012.
- [43] K. Çelik, A. Özkan, “Eklemeli imalat yöntemleri ile üretim ve onarım uygulamaları,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 5, s. 1, ss. 107–121, 2017.
- [44] A. Bernard, A. Fischer, “New trends in rapid product development,” *Industrial Engineering Research*, vol. 1, no. 1, pp. 1–18, 2012.
- [45] J. Giannatsis, V. Dedoussis, “Additive fabrication technologies applied to medicine and health care: a review,” *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, vol. 40, no. 1–2, pp. 116–127, 2009.
- [46] Able Office Systems Ltd. (2018, April 14). *Imagine it - 3d print it* [Online]. Available: <http://www.ableofficesystems.ie/what-we-do/prINTER-sales-and-services/3d-printing/>.
- [47] E. B. K. Demir, C. Çaka, U. Tuğtekin, K. Demir, H. İslamoğlu, A. Kuzu, “Üç boyutlu yazdırma teknolojilerinin eğitim alanında kullanımı: Türkiye’deki uygulamalar,” *Ege Eğitim Dergisi*, c. 17, s. 2, ss. 481–503, 2016.
- [48] H. Segerman. (2018, April 14). *Seifert surface for (3,3) torus link* [Online]. Available: <https://www.thingiverse.com/thing:151226>.
- [49] Pharmacie. (2018, April 14). *Joshua harker 3d printed skull / crania anatomica filigre* [Online]. Available: <https://pharmaciempls.com/products/joshua-harker-3d-printed-skull>.
- [50] Gridlogics Technologies PVT LTD. (2018, April 14). *3d printing technology insight report an analysis of patenting activity around 3d-printing from 1990-*

- current* [Online]. Available: <https://www.patentinsightpro.com/techreports/0214/Tech%20Insight%20Report%20-%203D%20Printing.pdf>.
- [51] Stratsys LTD. (2018, April 14). *What is fdm technology* [Online]. Available: <http://www.stratsys.com/fdm-technology>.
- [52] N. Sandalcı, “Türkiye’de endüstriyel tasarımcıların 3 boyutlu yazıcıları kullanımları hakkında bir inceleme,” Yüksek lisans tezi, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2016.
- [53] A. Arı, “Beş parmaklı protez robot el,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2016.
- [54] Anonymous. (2018, April 14). *File: fdm by zureks.png* [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FDM_by_Zureks.png.
- [55] Ö. Aslan. (2018, 14 Nisan). *Sigma3d printer, now here* [Online]. Erişim: <https://www.thingiverse.com/thing:817504>.
- [56] H. Arnold. (2018, April 14). *Hybercube 3d printer/cnc* [Online]. Available: <https://www.thingiverse.com/make:272257>.
- [57] B. Ekici, H. Yaltırık, “Fdm (fused deposition modeling) yöntemi ile çalışan hızlı prototip cihazlarında kullanılan abs filament telin üretilmesi,” *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, c. 11, s. 1, ss. 34-39, 2008.
- [58] Anonymous. (2018, April 14). *He3d new upgrade k200 single aluminium extrusion delta 3d printer with heat bed _support multi filaments* [Online]. Available: <https://tr.aliexpress.com/item/HE3D-New-upgrade-K200-single-extruder-delta-3D-printer-heat-bed/32794471187.html>.
- [59] N. Gershenfeld, *Fab; The Coming Revolution on Your Desktop - From Personal Computers to Personal Fabrication*, 1th ed., New York, USA: Basic Books, 2005.
- [60] Anonymous. (2018, April 14). *Electron beam freeform fabrication* [Online]. Available: <http://www.3dprinterpro.com/electron-beam-freeform-fabrication/>.
- [61] Whiteclouds. (2018, April 14). *Electron beam freeform fabrication (EBF³)* [Online]. Available: <http://ss.whiteclouds.com/3dpedia-index/electron-beam-freeform-fabrication-ebf>.
- [62] The University of Texas at Austin. (2018, April 14). *Selective laser sintering, birth of an industry* [Online]. Available: <http://www.me.utexas.edu/news/news/selective-laser-sintering-birth-of-an-industry>.
- [63] A. B. Varotsis. (2018, April 14). *Instruction metal 3d printing* [Online]. Available: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-metal-3d-printing>.
- [64] Anonymous. (2018, April 14). *Design rules for 3d printing* [Online]. Available: <https://www.core77.com/posts/74401/Design-Rules-for-3D-Printing>.
- [65] Anonymous. (2018, April 14). *Selective heat sintering service* [Online]. Available: <http://www.3dprinterpro.com/selective-heat-sintering-service/>.
- [66] A. B. Varotsis. (2018, April 14). *Hp mjjf vs sls 3d printing technology comparison*

- [Online]. Available: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/hp-mjf-vs-sls-3d-printing-technology-comparison>.
- [67] Anonymous. (2018, April 14). *Plaster based 3d printing* [Online]. Available: http://allabout3dprinting.com/types-of-3d-printing/#Plaster-based_3D_Pr.
- [68] H. R. Börklü, A. K. Yıldırım, H. K. Sezer, “Hızlı prototip oluşturmada karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri,” *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 4, s. 4, ss. 309–319, 2016.
- [69] L. Gibson, D. Rosen, B. Stucker, *Additive Manufacturing Technologies*, 2th ed., New York, USA: Springer-Verlag, 2015.
- [70] K. W. Wong, A. Hernandez, “A review of additive manufacturing,” *ISRN Mechanical Engineering*, vol. 2012, no. 10, pp. 1-10, 2012.
- [71] A. Doleno, An overview of rapid prototyping technologies in manufacturing, *Lecture Notes*, Helsinki University of Technolgy, 1994.
- [72] M. Jermann. (2018, April 14). *Laminated object manufacturing: lom* [Online]. Available: <https://www.makepartsfast.com/laminate-object-manufacturing-lom/>.
- [73] D. V. D. Steen. (2018, April 14). *Industrial sla-dlp vs desktop sla-dlp* [Online]. Available: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/industrial-sladlp-vs-desktop-sladlp>.
- [74] A. B. Varotsis. (2018, April 14). *Introduction to sla 3d printing* [Online]. Available: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sla-3d-printing>.
- [75] U. Çifci. (2018, 14 Nisan). *3d modelleme nedir* [Online]. Erişim: <http://mikrofabrika.com/modelleme/>.
- [76] Anonymous. (2018, April 14). *Hoppel, hoppel* [Online]. Available: <https://wigglyframes.wordpress.com/2012/04/05/hoppel-hoppel/>.
- [77] E. Akgün. (2018, 14 Nisan). *3d printer nedir* [Online]. Available: http://ersinakgun.blogspot.com/2014/12/3d-printer-nedir_9.html.
- [78] 3D Spectra Tech. (2018, April 14). *Which 3d printer is right for you* [Online]. Available: <https://www.3dspectratech.com/3d-printer-right/>.
- [79] Tasarımdan İmalata. (2018, 14 Nisan). *3d scanner & 3d printer profesyonel baskı hizmetleri* [Online]. Available: <https://www.tasarimdanimalata.com/anasayfa/3d-printer-baski/>.
- [80] A. Sink. (2018, April 14). *Building an acetone vapor bath for smooting 3d-printed parts* [Online]. Available: <http://sinkhacks.com/building-acetone-vapor-bath-smoothing-3d-printed-parts/>.
- [81] Anonymous. (2018, April 14). *3D printing in the dental laboratory: fabrication of temporary crowns & bridges with freeprint temp* [Online]. Available: https://www.google.com.tr/search?q=3d+printed+teeth&tbm=isch&source=iu&ic tx=1&fir=Tp6QBitBTou6UM%253A%252Cfeam76u1CBJ5rM%252C_&usg=A FrqEzewUhUof627VsvPlpU5_Abe6gwKFW&sa=X&ved=2ahUKEwiU67PExdH cAhUR_qQKHZh9B4oQ9QEwAnoECAAAQCA#imgsrc=Tp6QBitBTou6UM:
- [82] E. Forrest, Y. Cao, “Digital additive manufacturing: a paradigm shift in the production process and its socio-economic impacts,” *Engineering Management*

- Research*, vol. 2, no. 2, pp. 66–70, 2013.
- [83] R. D’Aveni. (2018, April 14). *The 3-d printing revolution* [Online]. Available: <https://hbr.org/2015/05/the-3-d-printing-revolution>.
- [84] M. Ruffo, C. Tuck, R. Hague, “Make or buy analysis for rapid manufacturing,” *Rapid Prototyping Journal*, vol. 13, no. 1, pp. 23–29, 2007.
- [85] L. Aydın, S. Küçük, H. Kenar, “Doku ve organ biyo yazdırma amaçlı 3b biyo yazıcı tasarımı ve geliştirilmesi,” *Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi*, Muğla, Türkiye, 2015, ss. 153–157.
- [86] S. V. Murphy, A. Atala, “3D bioprinting of tissues and organs,” *Nature Biotechnology*, vol. 32, no. 8, p. 773, 2014.
- [87] U. Çifci. (2018, 14 Nisan). *Kişiyi özel hediyelik eşya* [Online]. Available: <http://mikrofabrika.com/kisiye-ozel-hediyelik-esya/>.
- [88] Anonymous. (2018, April 14). *3d printed figure of person* [Online]. Available: <https://insuranceforcar.club/3d-printed-figure-of-person.html>.
- [89] U. Çifci. (2018, 14 Nisan). *Hızlı prototip ve maket üretimi* [Online]. Available: <http://mikrofabrika.com/hizli-prototip-ve-maket-uretimi/>.
- [90] 3DDrucker. (2018, April 14). *Professioneller desktop 3d farbdrucker* [Online]. Available: <https://3ddrucker.de/serie/objekt-30/>.
- [91] T. Horsfall. (2018, April 14). *Big ben* [Online]. Available: <https://www.thingiverse.com/thing:2025576>.
- [92] Mikrofabricator. (2018, April 14). *Latest 3d printed solutions manufactured by crp group and crp usa in aerospace and uav fields on display at ces 2018* [Online]. Available: <http://microfabricator.com/articles/view/id/5a4bb5553d2d2e4d4b74dc56/latest-3d-printed-solutions-manufactured-by-crp-group-and-crp-usa-in-aerospace-and-uav-fields-on-display-at-ces-2018>.
- [93] Y. Yılmaz, A. Ünüvar, “Ürün tasarımında eşzamanlı mühendislik,” *Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi’nde sunuldu*, Konya, 2001.
- [94] O. O. Çısal, “Yenilikçi-yaratıcı sorun çözme yaklaşımının (triz) imalat için tasarım (dfm) alanına uygulanması,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2005.
- [95] Anonim. (2018, 16 Şubat). *3d printing nedir 3d yazıcılar nasıl çalışır* [Online]. Erişim: <https://www.3bfab.com/bilgi-merkezi/konu/3d-printing-nedir-3d-yazicilar-nasil-calisir/>.
- [96] İ. Akgül, A. Özkan, “Seramik ve plastik malzeme kullanılarak yapılan üç boyutlu yazıcı uygulamaların hassasiyet unsuru ile yapısal karşılaştırılması,” *3D Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 2017.
- [97] ABG Enterprise. (2018, 16 Şubat). *Abg filament pla tds* [Online]. Erişim: <http://www.abgfilament.com/assets/images/PLA.pdf>.
- [98] PowerABS. (2018, 11 Mayıs). *Powerabs test sonuçları* [Online]. Erişim: <http://sigma3dprinter.com/belgeler/powerabs-test-sonuclari.pdf>.
- [99] 3DSYSTEMS. (2018, February 24). *VisiJet properties* [Online]. Available: <https://materials.ulprospector.com/en/profile/odm?tds&docid=15155>.

- [100] 3DSYSTEMS. (2018, February 24). *Visijet c4 spectrum material properties* [Online]. Available:
<https://materials.ulprospector.com/en/profile/odm?tds&docid=177226>.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ufuk ÇİFCİ
Doğum Tarihi ve Yeri : 04.09.1990 / BANDIRMA
Yabancı Dili : İNGİLİZCE
E-posta : ufuk.cfc90@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Kompozit Malzeme Teknolojileri	Düzce Üniversitesi	2018
Lisans	Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği	Düzce Üniversitesi	2015
Lise	Grafik Tasarım	Bandırma Anadolu Meslek ve Meslek Lisesi	2008