

**TASARIMI YAPILAN MODELİN HIZLI
PROTOTİPLEMEDE HARÇ YIĞMA YÖNTEMİ İLE
DOĞRULANMASI VE ELDE EDİLEN MODELİN
YAPISAL OLARAK İNCELENMESİ**

**2019
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

Okan PISIK

**TASARIMI YAPILAN MODELİN HIZLI PROTOTİPLEMEDE HARÇ
YIĞMA YÖNTEMİ İLE DOĞRULANMASI VE ELDE EDİLEN MODELİN
YAPISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Okan PISIK

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Mayıs 2019

Okan PISIK tarafından hazırlanan “TASARIMI YAPILAN MODELİN HIZLI PROTOTİPLEMEDE HARÇ YIĞMA YÖNTEMİ İLE DOĞRULANMASI VE ELDE EDİLEN MODELİN YAPISAL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Halil DEMİR

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27.05/2019

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Murat SARIKAYA (SNÜ)

Üye : Prof. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hatice EVLEN (KBÜ)

...../...../2019

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür . V.



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Okan PISIK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TASARIMI YAPILAN MODELİN HIZLI PROTOTİPLEMEDE HARÇ YIĞMA YÖNTEMİ İLE DOĞRULANMASI VE ELDE EDİLEN MODELİN YAPISAL OLARAK İNCELENMESİ

Okan PISIK

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Halil DEMİR

Mayıs 2019, 104 sayfa

Bu çalışmanın amacı, tasarımı gerçekleştirilen bir modelin hızlı prototipleme ile ürün haline dönüşmesi, bu ürünün tasarıma geri dönüşte bulunabilmesi için ölçüsel uygunluğunun araştırılarak doğru tasarımın oluşturulması ve elde edilen ürünlerin yapısal olarak analizlerini gerçekleştirerek kullanım alanlarına göre dayanım değerlerinin bilinmesidir. Bu amaçla çeşitli geometri, geometrik tolerans ve ölçülere göre tasarlanan modeller, hızlı prototipleme harç yığıma FDM yöntemi kullanılarak uç tipi ve inşa yöntemlerinin değiştirilmesi ile numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen parçaların geometrik hataları, eksikleri, ölçüsel uygunsuzluklarını göre bilmek adına her bir parça optik tarama ile parça üzerindeki bütün ölçüler ve unsurların taranarak ürünlerin tasarım ile doğrulukları değerlendirilmiştir. Parçaların kullanım alanlarına göre dayanım değerlerinin bilinmesi adına yapısal analizleri hesaplanarak dayanım değerleri belirlenmiştir. Bu deney ve analizler neticesinde

tasarımsal, geometrisel ve ölçüsel hataların üretime başlanmadan görülmesi ve bu eksiklerin giderilerek tasarımın doğrulanması için en uygun örme yöntemi hakkında bilgi verilmiştir. Yapısal analiz hesaplamaları ile dayanım değerleri belirlenerek kullanım alanlarına göre dayanım yükleri hakkında bilgi verilmiştir. Hızlı prototip harç yığıma yönteminin, tasarımsal faaliyetler ile birlikte bu yöntem ile elde edilen ürünlerin dayanım verilerinin bilinmesi neticesinde en uygun inşa yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Anahtar Sözcükler : ABS M30, hızlı prototipleme, optik tarama, yapısal analiz.

Bilim Kodu : 914.1.094



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

VALIDATION AND STRUCTURAL EXAMINATION OF A DESIGNED MODEL MANUFACTURED BY RAPID PROTOTYPING DEPOSITION METHOD

Okan PISIK

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Halil DEMİR

May 2019, 104 pages

The aim of this study is to make a product which has been designed on a 3B modelling software, by using rapid prototyping technology and to investigate the dimensional suitability before making final product. In addition, to analyze resistance values of products. For this purpose, the model designed according to various geometry, geometric tolerance and dimensions was made using rapid prototyping method by changing the nozzle type and construction methods. In order to determine the geometric errors, deficiencies and dimensional incompatibilities of the produced parts, each part was scanned by optical scanning and the accuracy of the products were evaluated. Furthermore, In order to know the resistance values of the parts according to their usage areas, structural analyzes were calculated and strength values were determined. As a result of these experiments and analyzes, design,

geometry and dimensional errors are seen before starting production. Thus some deficiencies are solved and the most appropriate method is identified. By using structural analysis calculations, resistance values were determined and information was given about resistance loads according to usage areas. As a result, thanks to design software and rapid prototyping methods, information about resistance values and data were specified and most suitable methods for construction of products were determined.

Key Word : ABS M30, rapid prototyping, optical scan, structural analysis.

Science Code : 914.1.094



TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın planlanıp, araştırılması aşamasında beni yönlendiren, yürütülmesi ve olgunlaőma sürecinde değerleri bilgi ve tecrübelerini esirgemeyerek çalıőmamı bilimsel temeller çerçevesinde oluőmasını sağlayan sayın hocam Prof. Dr. Halil DEMİR'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Çalıőmalarım süresince destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli çalışma arkadaőlarım Yaőar PAA ve Mustafa YİğİT'e teőekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca ihtiyaım olduğu süre boyunca yanımda olduğu için sevgili eőime sevgi ve Őükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
HIZLI PROTOTİPLEME	4
2.1. HIZLI PROTOTİPLEME NEDİR?.....	4
2.1.1. HIZLI PROTOTİPLEMEDE TARİHSEL SÜREÇ	6
2.1.2. HIZLI PROTOTİPLEMENİN TEKNOLOJİK GELİŞİMİ	7
BÖLÜM 3	9
HIZLI PROTOTİPLEME CİHAZLARININ ÇALIŞMA PRENSİPLERİNE GÖRE SINIFLANDIRILMASI.....	9
3.1. ISITILARAK TOZ BAĞLAMA (SLS).....	11
3.2. YAPIŞTIRILARAK TOZ BAĞLAMA.....	15
3.3. TARAYILARAK IŞIKLA KÜRLEME (SLA)	16
3.4. ERGİYİK BİRİKTİRME MODELLEME TEKNİĞİ (FUSED DEPOSITION MODELING)	18
3.4.1. FDM Yöntemi İle Üretilen Prototiplerdeki Hatalar.....	20
3.4.1.1. Kalınlıkların Düşük Olmasından Dolayı Mukavemetin Azalması .	21
3.5. KATMANLI NESNE İMALATI (LOM)	21

	<u>Sayfa</u>
3.6. ÇOK PÜSKÜRTMELİ MODELLEME (MJM)	22
3.7. LAZERLE YAPILAN NET BİÇİMLENDİRME (LENS)	23
3.8. 3B BASKI	24
3.9. EKLEMELİ İMALAT TEKNOLOJİLERİNİN GENEL BİR KARŞILAŞTIRMASI	25
3.9.1. Eklemeli İmalat Teknolojilerinin Genel Problemleri ve Çözüm Önerileri	26
BÖLÜM 4	29
HIZLI PROTOTİPLEME KULLANIM ALANLARI	29
4.1. MEDİKAL UYGULAMALAR	30
4.1.1. Doku ve Organ Üretimi	32
4.1.2. Ortez-Protez İmplant Üretimi	33
4.1.3. Cerrahi Planlama ve Radyolojik Uygulamalar	35
4.1.4. Farmakolojik Uygulamalar	35
4.1.5. Sağlık Sektöründe Eğitim Uygulamaları	36
4.1.6. Cerrahi Enstrüman Üretimi	37
4.2. MİMARLIK UYGULAMALARI	37
4.3. TEKSTİL UYGULAMALARI	39
4.4. YAPI UYGULAMALARI	40
4.5. KALIP UYGULAMALARI	42
4.6. HEYKELTIRAŞ UYGULAMALARI	43
4.7. KUYUMCULUK UYGULAMALARI	45
4.8. GRAFİK TASARIM UYGULAMALARI	48
4.9. EĞİTİM UYGULAMALARI	49
4.10. GÖRSEL SANATLAR UYGULAMALARI	50
BÖLÜM 5	52
HIZLI PROTOTİPLEMENİN TASARIMDAKİ YERİ VE ÖNEMİ	52
BÖLÜM 6	55
HIZLI PROTOTİPLEMEDE ÜRÜN GELİŞTİRME SÜRECİ	55
6.1. ÜRÜN GELİŞTİRME AŞAMALARI	56

	<u>Sayfa</u>
6.1.1. Katı ya da Yüzey Modelin Elde Edilmesi	56
6.1.2. Elde Edilen Katı Modelin “STL” Dosya Formatına Dönüştürülmesi	57
6.1.3. Katı modelin Katmanlara Ayrılması.....	57
6.1.4. Modelin 3 Boyutlu Yazıcıda Üretim Süreci	57
6.1.5. Destek Malzemesinin Temizlenmesi ve Yüzey İşlemlerinin Yapılması	57
BÖLÜM 7	59
MATERYAL VE METOD	59
7.1. DENEYDE KULLANILACAK MODELİN SEÇİLMESİ	60
7.2. DENEYDE KULLANILAN MALZEME	61
7.3. DENEYDE KULLANILAN HIZLI PROTOTİPLEME.....	62
7.4. MODEL ÖRME TEKNİKLERİ	67
7.4.1. Solid Normal (Sık Tek Yönlü Yapı) İnşa Yöntemi	67
7.4.2. Sparse (Tek Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi	68
7.5. DENEYDE KULLANILAN ÜÇ BOYUTLU OPTİK TARAMA CİHAZI..	69
7.6. DENEYDE KULLANILAN KALİTE KONTROL YAZILIM PROGRAMI.....	72
7.7. DENEYDE KULLANILAN YAPISAL ANALİZ PROGRAMI	74
7.8. ÖLÇÜMLER.....	75
7.8.1. Mekanik Özelliklerin Ölçümü	75
7.8.2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü	77
BÖLÜM 8	79
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	79
8.1. ÖLÇÜSEL UYGUNLUK	79
8.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	82
8.3. MODEL DAYANIMI VE ANALİZİ.....	84
BÖLÜM 9	94
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	94
9.1. SONUÇLAR	94
9.2. ÖNERİLER.....	96

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR	99
ÖZGEÇMİŞ	104



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Ergiyik birikimli modelleme örneği.....	10
Şekil 3.2. Eklemeli imalat teknolojilerine ait genel bir tasnif şeması	11
Şekil 3.3. Seçici lazer sinterleme (SLS)	12
Şekil 3.4. SLS makinesi ile üretilen çeşitli parçalar	13
Şekil 3.5. SLS makinesinin elemanları.....	13
Şekil 3.6. SLS makinesinin çalışma prensibi	14
Şekil 3.7. Gerilim-uzama eğrisi.....	15
Şekil 3.8. Doğrudan kabuk üretim dökümü tekniği	16
Şekil 3.9. DSPC Tekniği İle Üretilen Ürünler.....	17
Şekil 3.10. Stereolitografi.....	18
Şekil 3.11. Ergiyik Birikimli Modelleme (FDM).....	19
Şekil 3.12. FDM sisteminin çalışma prensibi ve bu yöntemle üretilen livac ürünün prototip görünümü.....	20
Şekil 3.13. 1,4 mm kalınlığında parçanın prototip üretim takım yolu.	21
Şekil 3.14. Katmanlı nesne imalatı (LOM)	22
Şekil 3.15. Çok püskürtmeli modelleme (MJM).....	23
Şekil 3.16. Lazerle yapılan net biçimlendirme (LENS)	24
Şekil 3.17. 3B baskı.....	25
Şekil 3.18. Eklemeli imalat teknolojilerini işlem hızı, hacim ve tolerans parametrelerine göre karşılaştırılması	26
Şekil 4.1 Medikal alanda hızlı prototipleme ile oluşturulan protez kol	31
Şekil 4.2. Medikal alanda hızlı prototipleme ile oluşturulan kafatası parçaları	31
Şekil 4.3. Toz plastikten lazer sinterleme yöntemi ile üretilmiş cerrahpaşa eğitim modelleri	36
Şekil 4.4. Bileşimli yığma yöntemi ile cerrahpaşa üriner sistem modelinin PLA filamentten üç boyutlu yazıcıda basılması	36
Şekil 4.5. ABS plastikten FDM baskı basılması	37
Şekil 4.6. Gehry tasarım ofisi, Zollhof kompleksi erken tasarım aşamasında eskiz üç boyutlu tarayıcı ve maket kullanımı	38
Şekil 4.7. 3B baskı ile inşa edilmiş evin perspektif, plan ve kesit görünümü.....	38

Sayfa

Şekil 4.8. Erimiş metali bir kaynak makinası gibi kullanan 6 akslı robot yazıcı	38
Şekil 4.9. Üç boyutlu yazıcı ile bütün olarak üretilen giysi	40
Şekil 4.10. Dokuma ve örme kumaşlara alternatif üç boyutlu yazıcılarla elde edilmiş yüzeyler	40
Şekil 4.11. İlk mobil üç boyutlu yazıcı ile 24 saatte 37 metrekare inşa edilen ev	41
Şekil 4.12. İlk üç boyutlu katmanlı teknolojiler ile çimento-cam yünü bazlı malzemeden yapı üretimi örneği	42
Şekil 4.13. 3B yazıcıda üretilmiş kalıp ürünler ve bu ürünlerden elde edilmiş nihai ürünler	43
Şekil 4.14. Üç boyutlu tarama sistemi ve üç boyutlu yazıcılar yardımıyla insan figürlerinden oluşan heykeller	45
Şekil 4.15. Tarama yapılmış bir heykelin aslı ve modelin hızlı prototip yöntemi ile polimerden üretilmiş kopyası	45
Şekil 4.16. Hızlı prototip ile üretilmiş yüzük	47
Şekil 4.17. Üç boyutlu yazıcı kullanarak tasarlanan yüzük	47
Şekil 4.18. Üç boyutlu kitap kapağı tasarımı	48
Şekil 4.19. Üç boyutlu yazıcı ile üretilen bilgi grafiği	49
Şekil 6.1. Ürün geliştirme süreç akışı	56
Şekil 7.1. Model esaslı üretim yöntemi ile tasarlanan model örneği	60
Şekil 7.2. Fortus 360 mc hızlı prototipleme cihazı	63
Şekil 7.3. Model uçların (tip) özellikleri ve tanımlanması	64
Şekil 7.4. FORTUS 360 mc prototip kartuş	65
Şekil 7.5. X ve Y eksenli servo motorları ve ekstrüzyon kafa şematik gösterimi	65
Şekil 7.6. Prototip inşa mekanizmalarının şematik resmi	66
Şekil 7.7. FDM 360 mc model inşa haznesi	66
Şekil 7.8. Solid normal (sık tek yönlü yapı) inşa model yapısı	67
Şekil 7.9. Sparse (tek yönlü yapı) inşa tipi	68
Şekil 7.10. Double Sparse (çift yönlü yapı) inşa tipi	69
Şekil 7.11. Ürün üzerine yansıtılan ışık	70
Şekil 7.12. Bilgisayar ortamına aktarılan nesne ve kamera görüntüsü	70
Şekil 7.13. ATOS II üç boyutlu tarama cihazı	72
Şekil 7.14. Katı model ile tarama datasının iç içe birleştirilmesi	73
Şekil 7.15. Teknik resim yardımı ile ölçülecek geometri ve ölçülerin seçilmesi	74
Şekil 7.16. Ölçüm ve analiz sonuçlarının raporlanması	74

Sayfa

Şekil 7.17. Ansys Workbench 19.0 programı arayüzü.....	75
Şekil 7.18. Çekme test numunelerinin boyutları.....	76
Şekil 7.19. Zwick/Roell Z100 test cihazı	76
Şekil 7.20. Çekme numunelerinin bağlanması	77
Şekil 7.21. MİTUTOYO SJ 310 cihazı	78
Şekil 8.1. Modellere uygulanan ölçümlerin sapma değerleri.....	80
Şekil 8.2. Ölçümü yapılan modellere göre yüzey pürüzlülük değerleri.....	83
Şekil 8.3. Yük ve sınır koşulları	85
Şekil 8.4. Sonlu elemanlar yöntemi çözüm ağı	85
Şekil 8.5. ANSYS SOLID186 elemanı	86
Şekil 8.6. Uzama gerilme grafiği.....	87
Şekil 8.7. Toplam deplasman dağılımı (mm) [T10-1, T12-1, T16-1, T20-1]	88
Şekil 8.8. Von mises gerilme dağılımı (MPa) [T10-1, T12-1, T16-1, T20-1]	88
Şekil 8.9. Maksimum asal gerilme dağılımı (MPa) [T10-1, T12-1, T16-1, T20-1]	89
Şekil 8.10. Toplam deplasman dağılımı (mm) [T10-2, T12-2, T16-2, T20-2]	89
Şekil 8.11. Von mises gerilme dağılımı (MPa) [T10-2, T12-2, T16-2, T20-2]	90
Şekil 8.12. Maksimum asal gerilme dağılımı (MPa) [T10-2, T12-2, T16-2, T20-2]	90
Şekil 8.13. Toplam deplasman dağılımı (mm) [T10-3, T12-3, T16-3, T20-3]	91
Şekil 8.14. Von mises gerilme dağılımı (MPa) [T10-3, T12-3, T16-3, T20-3]	91
Şekil 8.15. Maksimum asal gerilme dağılımı (MPa) [T10-3, T12-3, T16-3, T20-3]	92

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Laserform ST-100 malzemenin özellikleri	14
Çizelge 3.2. İncelenen eklemeli imalat teknolojilerinin çeşitli açılardan karşılaştırılması	28
Çizelge 7.1. ABS-M30 mekanik özellikleri.....	61
Çizelge 7.2. ABS-M30 termal özellikleri	62
Çizelge 7.3. ABS-M30 elektriksel özellikleri	62
Çizelge 7.4. Fortus 360 mc prototip cihazı teknik özellikleri.....	64
Çizelge 7.5. FORTUS 360 mc prototip uç parametreleri	64
Çizelge 7.6. Zwick/Roell Z100 test cihazı teknik özellikleri.....	77
Çizelge 7.7. MİTUTOYO SJ 310 cihazı teknik özellikleri.....	78
Çizelge 8.1. Ölçüsel sapma değerleri.....	80
Çizelge 8.2. Modellerin yüzey pürüzlülük değerleri.....	82
Çizelge 8.3. Çekme test sonuçları	87

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

3B	: 3 Dimension
3B	: 3 Boyut
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
ASTM	: Amerikan Malzeme ve Test Cemiyeti
SLA	: Stereolitografi Cihazı
IOM	: Tabakalı Yapıştırılmalı Parça İmalatı
MJM	: Çok Jetli Modelleme
SDM	: Şekil Birleştirme İmalatı
SLS	: Seçici Lazer Sinterleme
EBM	: Elektron Işınli Ergitme
CNC	: Bilgisayarlı Sayısal Denetim
FDM	: Ergiyik Birikimli Modelleme
SGC	: Katı Tabaka Kütleme
AR-GE	: Araştırma Geliştirme Enstitüsü
ÜR-GE	: Üretim Geliştirme Enstitüsü
PVA	: Polivinil Alkol
ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
N	: Newton (Kuvvet Birimi)
mm	: Milimetre (Uzunluk Birimi)
MPa	: Mega Pascal (Basınç Birimi)
GPa	: Giga Pascal (Basınç Birimi)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Eklemeli imalat teknolojisi, karmaşık parçaları oluşturabilme yeteneği, özel malzemeleri kullanabilmesi ve pratikliği gibi özelliklere sahiptir. Havacılık, biyomedikal alanında ve sanatsal çalışmalarda, ticari amaçlı ve endüstriyel ürünlerde kullanılmaya başlanmıştır.

Üç boyutlu baskı teknolojisi, herhangi bir şekle sahip katı bir nesnenin, dijital bilgisayar modelinden üretilmesi işlemidir. Üç boyutlu baskı teknikleri ile nesnelerin üretimi teknolojisine eklemeli üretim denmektedir. Üç boyutlu bir şeklin üretimi, 3B baskı malzemesinin birbirini izleyen katmanlar halinde eritilerek istenilen şeklin verilmesiyle oluşmaktadır. Bu üretim yöntemi, geleneksel kesme veya delme gibi malzeme işleme tekniklerinden farklı olduğu bilinmektedir.

Bu üretim yöntemi tam ölçekli prototip ürünleri hızlı bir şekilde elde edebilme imkânı sunmaktadır. Yaşam döngümüz içerisinde bu teknoloji gıda, takı, ayakkabı, endüstriyel tasarım, mimarlık, mühendislik, otomotiv, havacılık ve diğer birçok profesyonel uygulamalar ile dental ve medikal sanayi, eğitim, coğrafi bilgi sistemleri, inşaat mühendisliği gibi birçok yeni alanda da yaratıcılığımızı geliştirmemize olanak sunar. Üç boyutlu baskı alma üretim teknolojileri 1970'lerin sonunda mürekkep püskürtme yöntemi ile başlamış ve günümüze kadar gelmiştir.

Ürün tasarımcıları, bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımlarını kullanarak 3 boyutlu (3B) tasarımlar yapmaktadırlar. Genelde çok karmaşık olmayan modellerin tasarım sürecinde tasarım hataları görülebilir ve gerekli düzenlemeler ile tasarım tamamlanmaktadır. Ancak karmaşık yapıya sahip 3 boyutlu modellerin ya da montaj gruplarında montajın yapılabilmesi ve sistemin çalışabilirliği açısından 3B modellerin prototiplerini yapmak gerekmektedir [1].

Prototip üretmek ve test etme aşamasında geleneksel teknikleri kullanmak çoğu zaman pahalı ve zaman almaktadır [2]. Wohlers şirketlerinin baş danışmanı ve başkanı Terry Wohlers; “Eğer talaşlı imalat yapıyorsanız kullandığınız malzemenizin %80- 90’ını kırıntı – döküntü olarak ıskartaya çıkarmanız kadar olağan bir şey yoktur” demiş ve kıyaslamayı oldukça somutlaştırmıştır.

İmalat sanayiinde prototipleme ayrı bir yere ve öneme sahip olduğu bilinmektedir. Prototipsiz üretimlerde hatalar çıkabileceğinden dolayı firmalar maddi kayıplara uğrayabilmektedirler. Ürün kaybının yanı sıra kalıp gibi donanımların giderleri de artar ve üretimde devamlılık sağlanamaz. Bu gibi sorunlarla hızlı prototipleme yönteminde karşılaşılmamaktadır. İş dünyası, 3B baskı ile prototip veya son ürün üretimini üçüncü endüstri devrimi olarak adlandırmıştır [3]. Prototip üretiminin esas amacı üretim öncesinde tasarımın doğruluğunun, estetikliğinin ve işlevsel yönden yeterliliğinin değerlendirilmesi, montaj edilebilme ve sökülebilmeye imkanlarının değerlendirilmesi ve tasarlanan modelin üretilebilirliğidir [4]. Bu cihazlar alışılmış geleneksel imalat yöntemlerindeki gibi dolu malzemedan talaş kaldırma yöntemi ile değil, sıfırdan katman oluşturarak ve katmanları üst üste ekleyerek prototip üretmektedirler [1]. Hızlı prototipleme, 3B-CAD verisinden, metal veya plastik veya malzemelerden modeller üreten cihazların teknolojisi olarak tanımlanmaktadır.

Üç boyutlu yazıcı teknolojileri katmanları üst üste yığıma tekniği ile çalışmaktadır. Fakat bu katmanların oluşturulma yöntemleri çeşitlilik gösterebilmektedir. Farklı yöntemler içerisinde en yaygın olanı plastik bir malzemenin eritilerek üç boyutlu nesnelerin oluşturulmasıdır [2, 5].

Diş hekimliği alanında yapay diş oluşturmak için kullanılan yöntemler ve çeşitleri, üst üste katman teknolojisini kullanarak diş hekimliğinin çeşitli dallarında 3B yazıcı uygulamaları oldukça yaygın bir teknoloji olmaktadır [6]. Hızlı prototipleme teknolojisi alanındaki son gelişmeler ve yapılan son uygulamalar sistem/işlemci düzenli olarak tanıtılmıştır [7]. Hızlı prototipleme teknolojilerinin güçlü ve zayıf yönleri belirtilerek genel bir görüş sunulup, karşılaştırma verileri, tabaka kalınlığı, sistem hassasiyeti ve çalışma hızı gibi genel işlem parametreleri anlatılmıştır [8]. Çalışmanın amacı, uçak mühendisliği öğrenci projelerinin bir parçası olan rüzgar

tüneli testlerinin gerçekleştirilmesi için 3 boyutlu baskısı alınan modellerin getirdiği faydaları anlatılmıştır. 3 boyutlu baskı teknolojisi ile ilgili karşılaşılan bazı güçlükler ve sorunların ne şekilde üstesinden gelinebileceği tartışılmıştır [9]. Polimetilmetakrilat malzeme kullanan yeni bir üç boyutlu baskı işlemi ve sonucu yapılan çalışmada değerlendirilmiştir [10].



BÖLÜM 2

HIZLI PROTOTİPLEME

3B Baskı; yazıcı kullanılarak bilgisayar destekli tasarım programları vasıtasıyla tasarlanmış herhangi bir elektronik veriyi kalıp, model vb. araç ve gereç ihtiyacı duymadan 3B verisinin makineye gönderilerek kat kat malzeme ekleyerek 3 boyutlu fiziksel parça imalatını yapmaktadır. Prototipleme, üretimi yapılacak olan ürünün imal edilmeden önce modelinin oluşturulması olarak tanımlanabilir. Oluşturulan modele o ürünün prototipi denilmektedir. Prototipin çok kısa sürede jenerik teknoloji ile üretilmesine ise hızlı prototipleme denilmektedir. Hızlı prototiplemeye ekleyerek büyütme veya ekleyerek üretme (additive advances/additive manufacturing) de denilmekte olup bilim dünyasında daha çok 3B baskı (3B Printing) ifadesi tercih edilmektedir. Kısaca 3B baskı, kişisel bilgisayarlar ve yazıcılarla ilişkili olup bunlar arasında benzerlik kuran bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır. Bir grup araştırmacı, bu yöntemdeki CAD vurgusu için elektronik üretim de demektedir [3].

2.1. HIZLI PROTOTİPLEME NEDİR?

Hızlı prototipleme, bilgisayar yardımı ile hazırlanan üç boyutlu çizimlerden somut modeller üretilmesini sağlayan bir imalat yöntemidir. Hızlı prototip cihazları kendi içinde farklılıklar göstermekle beraber, genel olarak hepsi ‘modelde tabandan başlayarak katman katman yüzeylerin üst üste eklenmesi’ çalışma prensibini kullanmaktadır [11].

3B Yazıcı bilgisayar vasıtası ile tasarlanmış modelleri birçok farklı malzeme grubu kullanarak hızlı ve ekstra bir kalıp ya da fikstüre ihtiyaç duymadan üreten cihazlardır [12]. FDM teknolojisi ile çalışan 3B Yazıcılar genellikle PLA ve ABS gibi termoplastik polimer malzemeler kullanmaktadır. Filaman formundaki malzeme

yüksek sıcaklıktaki nozul yardımı ile eritilerek katmanlar halinde inşa edilmektedir [13].

Hızlı prototipleme teknolojisi, imalat uygulamalarında, medikal/dental implant yapımında, kavramsal modellemede, doğrudan döküm kalıbı ve parça üretiminde, hassas döküm tekniği ile metal parça ve prototip üretiminde, mimari uygulamalarda, uzay/otomotiv sanayisinde, hızlı kalıp imalatında, eğitim amaçlı her türlü donanımın yapımında ve takı sektörü gibi birçok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Bir hızlı prototip üretimindeki ilk adım, herhangi bir CAD yazılımı ile veya bir lazer ya da optik bir tarayıcı yardımı ile tersine mühendislik yaparak parçanın 3B CAD modelinin oluşturulmasıdır. CAD yazılımları ile hızlı prototipleme makineleri arasında veri transferini sağlamak için bir veri ara yüzüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veri ara yüzü STL (Stereo Lithography) formatındadır [14].

Hızlı prototipleme teknolojilerinin genel olarak karşılaştırılması ve bu karşılaştırma sonucunda elde edilen bulgular aşağıda sıralanmıştır [14]:

- En yaygın kullanılan teknolojinin SLA olduğu görülmektedir. Bu yöntem yüksek doğrulukta, farklı renklerde parçalar üretebilir fakat parçalarda büzülme ve çarpılma olabilmektedir. Metal model yapılamamaktadır.
- SLS, FDM, EBM ve SDM teknolojileri ise mukavemetli parçalar yapılacağına tercih edilmektedir. Özellikle SLS, EBM ve SDM teknolojileri metal model üretimini mümkün kılmaktadır.
- Büyük hacimli modeller üretileceğinde ise LOM tercih edilmektedir. Ancak bu yöntemde modellerin mekanik özellikleri iyi olmayabilir. MJM ve 3BP yöntemleri basit ve kolay kullanılabilen sistemler olup üretim hızları yüksek olmaktadır.
- MJM yöntemi ile üretilen modellerin yüzey kaliteleri daha düzgün olmaktadır. 3BP sistemleri ile renklendirme yapılabilmektedir.
- FDM, 3BP ve Polijet sistemleri ofis ortamında rahatlıkla kullanılabilir. SGC sistemleri ise kütleli olarak ağır, büyük boyutlu olup ve bakım maliyetleri yüksek olmaktadır.

- Fonksiyonel model üretiminde SLS, SLA, FDM, EBM ve SDM sistemleri avantaj sağlamaktadır.
- Hareket edebilen ve çok sayıda parçadan oluşan modellerin üretiminde ise FDM ve SGC yöntemleri ön plana çıkmaktadır [14].

2.1.1. HIZLI PROTOTİPLEMEDE TARİHSEL SÜREÇ

1890'larda topoğrafya alanında kullanılmaya başlanan hızlı prototipleme teknolojisi, endüstriyel alanda 1951'de MUNZ'un önerdiği stereolitografi teknolojisiyle başlamıştır. Yine bu alanda 1968'de SWAINSON iki lazer ışınının kesişme bölgesinde elde edilen polimerizasyon yöntemini önermiştir. CİRAUD, 1971'de modern eklemeli imalat teknolojisinin bütün özelliklerine sahip bir toz birleştirme yöntemi geliştirmiştir. 1979'da R. F. HOUSHOLDER, lazer ile toz sinterlemenin ilk tanımlamasını yapmış ve düzlemsel tabakaların sırayla biriktirilmesini ve her tabakanın katılaşmasını incelemiştir [14].

Tektaş Üniversitesi'nde 3 Boyutlu (3B) Araştırma Merkezi kurulmuş ve Oak Ridge firması ile ortak 3 boyutlu yazıcı tasarımları yapmaktadır [13]. Önümüzdeki 10 yılda 3B yazıcılardan çıkmış elektronik sistemler ve farklı malzemelerin birleştirildiği ürünlerin (yazma-basma-üretim teknolojileri) görüleceği söylenmektedir. 3B baskı üretim tekniği, 2030 yılına kadar talaşlı imalat, kalıplama ve dövme gibi geleneksel üretim yöntemlerinin yerini alabileceği düşünülmektedir. Hava-uzay şirketleri bu eğilimde en öndeki yerlerini almış durumdadırlar. ASTM (Amerikan Malzeme ve Test Cemiyeti), her ne kadar yolun başında da olsa, 3B baskı üretim tekniğine bir standart getirmeye çalışmaktadır [12].

Hızlı prototipleme yöntemleri 1980'li yıllardan sonra hız kazanmıştır ve birçok farklı yöntemle prototip imalatı yapılmaktadır. Piyasada en fazla kullanılan prototip yöntemi ergiyik biriktirme modelleme tekniğidir (Fused Deposition Modeling). Bunun dışında:

- Katı tabaka kurutma teknolojisi (SGC, Solid Ground Curing)
- Tarayarak ışıkla kütleme tekniği, stereolitografi cihazı (SLA, Stereo Lithography Apparatus)

- Polyjet teknolojisi
- Tabaka yapıştırırmalı parça imalatı (LOM, Laminated Object Manufacturing)
- Çok jetli modelleme (MJM, Multi-Jet Modelling)
- Şekil biriktirme imalatı (SDM, Shape Deposition Manufacturing)
- Seçici lazer sinterleme (SLS, Selective Laser Sintering)
- Üç boyutlu yazıcı teknolojisi (3B Printing)
- Elektron ışınli ergitme (EBM, Electron Beam Melting) yöntemleridir [12].

2.1.2. HIZLI PROTOTİPLEMENİN TEKNOLOJİK GELİŞİMİ

Hızlı prototipleme teknolojisi alanındaki son gelişmeler ve yapılan son uygulamalar sistem/işlemci düzenli olarak tanıtılmıştır [7]. Hızlı prototipleme teknolojilerinin güçlü ve zayıf yönleri belirtilerek genel bir görüş sunulup, karşılaştırma verileri, tabaka kalınlığı, sistem hassasiyeti ve çalışma hızı gibi genel işlem parametreleri anlatılmıştır [8]. Çalışmanın amacı, uçak mühendisliği öğrenci projelerinin bir parçası olan rüzgar tüneli testlerinin gerçekleştirilmesi için 3 boyutlu baskısı alınan modellerin getirdiği faydaları anlatılmıştır. 3 boyutlu baskı teknolojisi ile ilgili karşılaşılan bazı güçlükler ve sorunların ne şekilde üstesinden gelinebileceği tartışılmıştır [9]. Polimetilmetakrilat malzeme kullanan yeni bir üç boyutlu baskı işlemi ve sonucu yapılan çalışmada değerlendirilmiştir [10].

3B baskı tekniğinde bilgisayarda 3 boyutlu modeli bulunan bir tasarım 2 boyutlu katmanlar halinde yığılarak 3 boyutlu ürün elde edilmektedir. Bu süreci gerçekleştirmek ise günümüz imalat sektöründe 3 eksenli bir CNC'nin kontrolünden oluşmaktadır. Kontrol kartı ve CNC ile iletişimde olacak bir yazılım ve malzeme yığıma özelliğine sahip bir takımdır. FDM bir yazılım süreci ile baslar, yazılım STL formatındaki modelleri matematiksel olarak katmanlara ayırır ve bu katmanları üst üste inşa etmek üzere 3 eksen CNC kontrollü bir cihaza göndermektedir. Bu yöntemde genellikle termoplastik malzemeler kullanılmaktadır. Termoplastik malzemeler termosetler ile kıyaslandığında defalarca eritilebilirlikleri ve belirli sıcaklık aralığında sıvılaşabilme özellikleri olduğundan dolayı bu teknoloji için oldukça uygun malzemeler bütünüdür. Termoplastik malzemenin düzgün bir şekilde yığılabilmesi için erime sıcaklığına ısıtılmış bir nozuldan ekstrude edilmesi gerekmektedir. Bu nozul

bilgisayar tarafından kontrol edilerek parça geometrisini simule edebilecek şekilde hareket ettirilir ve termoplastik malzemenin yığılması ile beraber parça 2 boyutlu katmanlar halinde tablaya yığılması ile üretilmiş olmaktadır. Bu yöntem günümüzde en çok 3 boyutlu yazıcı alanlarında ve hızlı prototiplemede kullanılmaktadır. 3B printing, 3 boyutlu üretim, 3B yazıcı olarak da bilinmektedir [15].



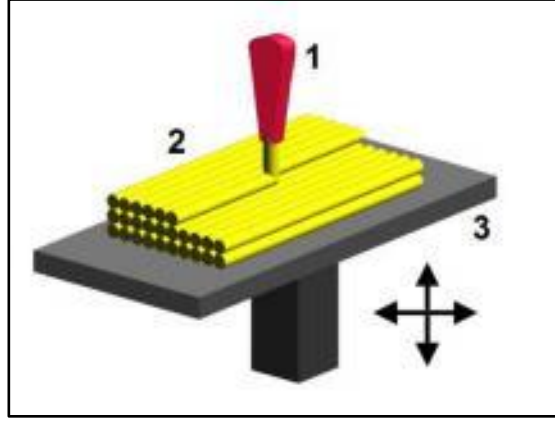
BÖLÜM 3

HIZLI PROTOTİPLEME CİHAZLARININ ÇALIŞMA PRENSİPLERİNE GÖRE SINIFLANDIRILMASI

1984 yılında literatüre giren ve son 10 yılda hızlı bir gelişme gösteren, eksiltici üretimin tersine katmanlı üretim tekniğini (additive manufacturing) kullanan hızlı prototipleme sistemleri birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Üretim yöntemlerinde yeni bir teknik olan ve geleneksel üretime göre parça sayısını azaltan hızlı prototipleme cihazları az sayıda üretim istendiğinde seri üretime göre daha ekonomik olmaktadır. Yapılan işlemi tanımlamak için “eklemeli üretim” veya “katmanlı üretim” terimlerinin kullanıldığı hızlı prototipleme teknikleri 6 başlık altında sınıflandırılmaktadır [16]. Bu teknikler;

- Stereolitografi (Stereo Lithography - SLA)
- Ergiyik Birikimli Modelleme (Fused Deposition Modeling - FDM)
- Tabakalı Parça İmalatı (Laminated Object Manufacture - LOM)
- Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering - SLS)
- Katı Tabaka Kürleme (Solid Ground Curing - SGC)
- 3 Boyutlu Püskürtmeli Baskı (3B Ink Jet Printing)

Yapılan çalışmanın konusu olan ergiyik biriktirerek modellemede 3 boyutlu nesnenin katı modeli ilk önce 2 boyutlu katmanlara ayrılmaktadır (slicing). Ardından bu katmanlar; eritici uç işlevcisi (nozül) ve kullanılan motorların hassasiyetine göre zeminden başlanarak ve yığılarak oluşturulur. İşlem sonucunda 3 boyutlu nesne elde edilmiş olmaktadır. Ergiyik biriktirme işleminin şematik gösterimi Şekil 2.1’de verilmiştir. 3 boyutlu yazdırma ile yapılan üretimde, tasarımcının istediği model bilgisayarda çizildikten sonra direk olarak üretilmektedir. Böylelikle parçaların tek tek tedarik edilmesi, montajlanması, kaynatılması, parçaların talaşlı üretime sokulması gibi geleneksel yöntemlerin tümü ortadan kaldırılmış durumda olmaktadır [17].



Şekil 3.1. Ergiyik birikimli modelleme örneği.

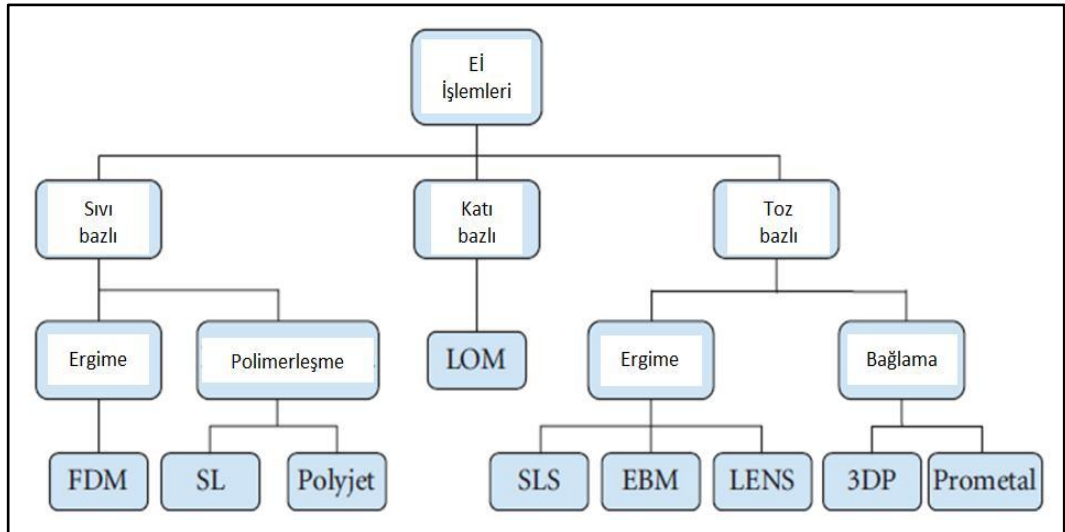
Ergiyik birikimli modelleme:

- Eritme nozulu,
- Yığılmış malzeme,
- Hareketli tezgah [17].

Hızlı prototipleme sistemlerindeki optimizasyon konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde genellikle üç veya dört farklı parametre dikkate alınarak parça üretim yönü belirlenmeye çalışılmıştır. Parça üretim yönünün parça kalitesine, üretim süresine, destek malzemesi miktarına ve maliyetlere etkisinden dolayı birçok çalışmada bu parametreler en önemli kısıtlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Model üretiminde ince katmanlar ile parçanın inşası uzun üretim süreçlerine neden olmakta, kalın katmanlar ile parçanın inşası ise basamak etkisinden (staircase effect) dolayı çok zayıf yüzey kalitesine neden olmaktadır. Bu yüzden parça geometrisine bağlı olarak katman kalınlığı ve modelin yönelimi yüzey hassasiyeti açısından çok önemli bir yere sahiptir. Model üretim yönünün bir diğer önemli etkisi ise parçanın mukavemeti üzerine olmaktadır. Üretim yönüne dik gelen bir eğme kuvveti karşısında veya üretim yönünde çekme kuvveti uygulandığında parçanın katmanlı üretimine bağlı olarak mukavemeti azalabilmekte iken diğer yönlerde mukavemeti daha güçlü olmaktadır. Dolayısıyla mukavemet de parça üretim yönünün belirlenmesinde önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir [17].

3.1. ISITARAK TOZ BAĞLAMA (SLS)

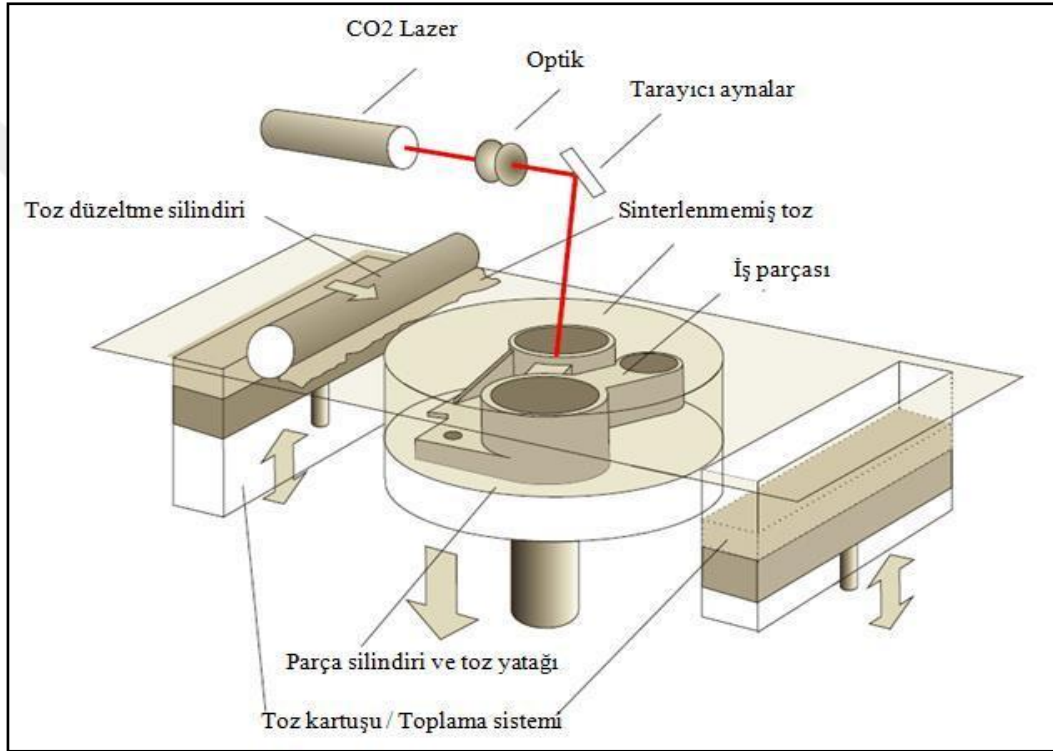
1989 yılında Teksas Üniversitesinde geliştirilen bir yöntemdir. Bu yöntem, ince tozların katman halinde bir platform üzerine serilmesinden sonra ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklığa kadar ısıtılmasına dayanmaktadır. Daha sonra ise karbondioksit lazer bu tozu biraz daha ısıtarak ergitmektedir. Bu şekilde süren ve tekrarlanan işlem ile nesne ince katmanlar halinde oluşturulmaktadır (0,10-0,15 mm kalınlıklarda). Lazer yeni tabakaya etki ettiğinde, bir önceki katmanı eriterek yapıştırmaktadır. Daha sonra üretilen parça oda sıcaklığına kadar soğutulur, fazla ve istenmeyen tozlar temizlenir, daha sonra ise nesne toz içerisinden çıkartılır ve işlem tamamlanmış olur. Parça kumlanarak sinterlenmemiş tüm partiküller temizlenmektedir. Nesnenin etrafındaki partiküller, destek görevi görür ve böylece ek bir destek yapısına gerek duyulmamaktadır. Bu yöntem ile aynı sürede daha fazla sayıda nesne oluşturulabilmektedir. Artık tozlar tekrar kullanılabilir fakat yüksek kalite elde edilebilmesi için yeni malzeme ile karıştırılması önerilmektedir. Bu yöntemde kullanılan başlıca malzemeler; genellikle naylon, cam katkılı naylon ve polyesterlerdir. Bu işlem, metal ve seramik nesnelere ile beraber takım uçları üretiminde de kullanılmaktadır. Şekil 3.2’de eklemeli imalat teknolojilerine ait tasnif şeması görülmektedir.



Şekil 3.2. Eklemeli imalat teknolojilerine ait genel bir tasnif şeması [18].

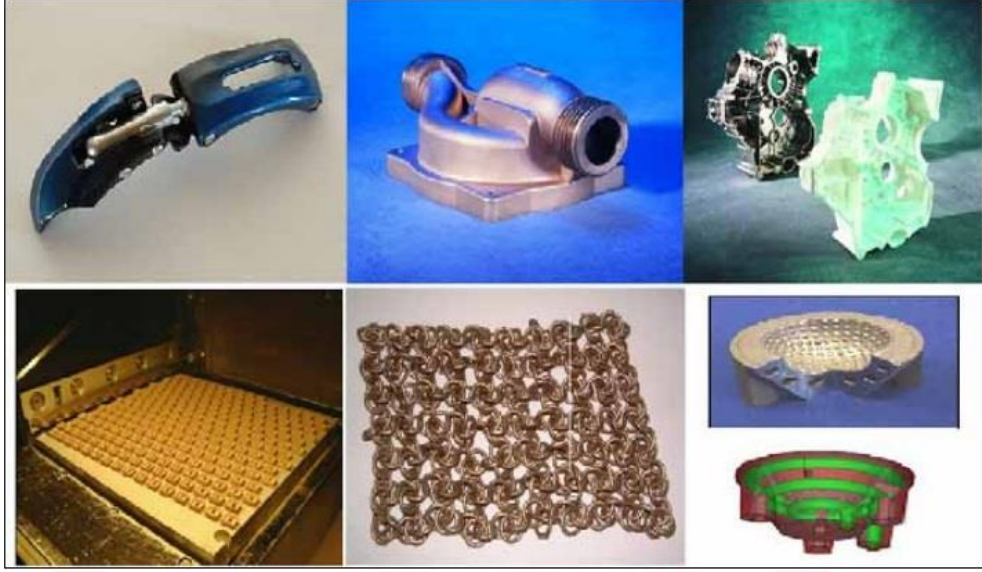
Seçici lazer sinterleme yönteminin özellikleri [19].

- Fonksiyonel parçalar üretildiğinden son malzeme kullanılır.
- İyi mekanik özelliklere sahiptir.
- Toz halinde yüzey oluşur.
- Kontrol için birçok değişken bulunur.
- Destek gerekmemektedir.



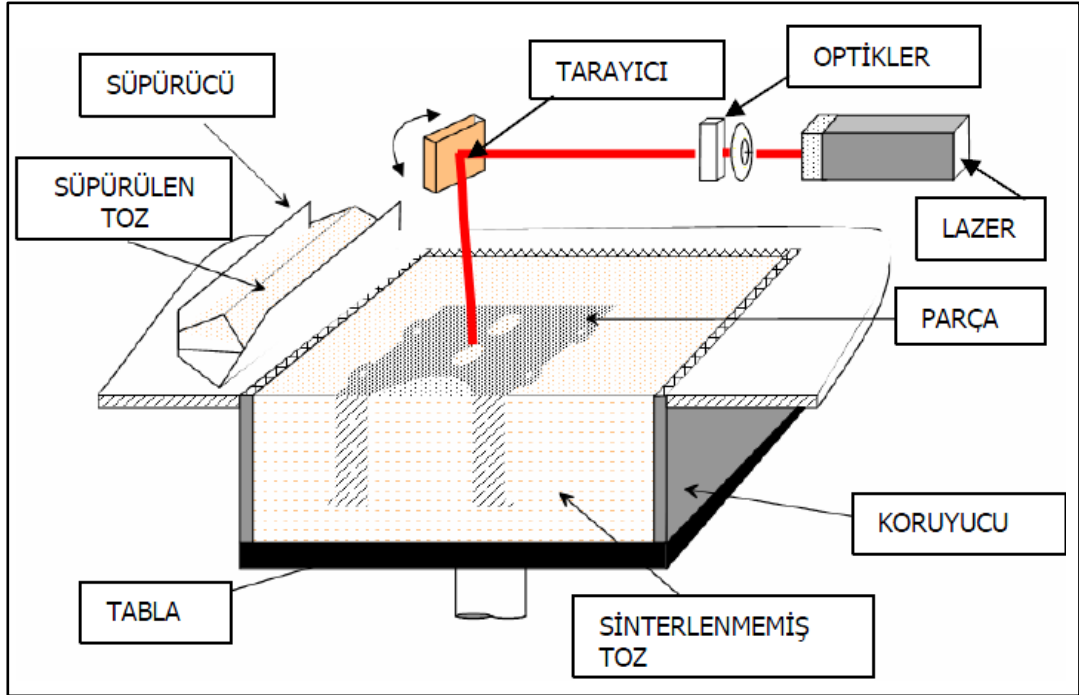
Şekil 3.3. Seçici lazer sinterleme (SLS) [19].

Günümüzde seçici lazer sinterleme yöntemi ile çeşitli metal tozları kullanılarak direkt nesne üretimine geçilmiştir. SLS yönteminin kullanım alanlarına örnekler Şekil 3.4'de verilmiştir. Şekil 3.4'den de anlaşılacağı gibi kullanım alanları oldukça fazladır [20].



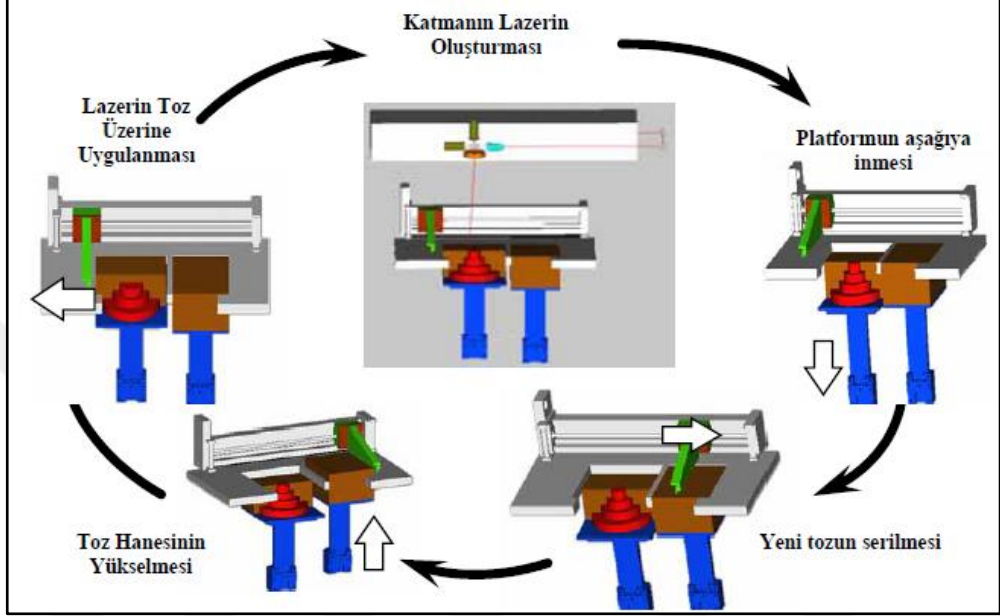
Şekil 3.4. SLS makinesi ile üretilen çeşitli parçalar [20].

Şekil 3.5’de bir SLS makinesinin hangi elemanlardan oluştuğu verilmiştir, her katmanda sinterleme yapıldıktan sonra tabla aşağı yönde bir katman kalınlığı kadar (20µm) hareket eder. Yeni toz, süpürücü aracılığı ile havuz üzerine yayılarak önceki işlemler tekrarlanır.



Şekil 3.5. SLS makinesinin elemanları [20].

Şekil 3.6’da da bir SLS makinesinin çalışma yöntemi gösterilmektedir. Burada 80W ile 200W arası güce sahip lazerin odak noktasının optikler aracılığı ile değiştirilmesi mümkündür. Bir tarayıcı sayesinde eksen hareketleri tek odaktan sağlanabildiği gibi aynalar kullanılarak da lineer motorlu sistemler bu yöntemde kullanılabilir.



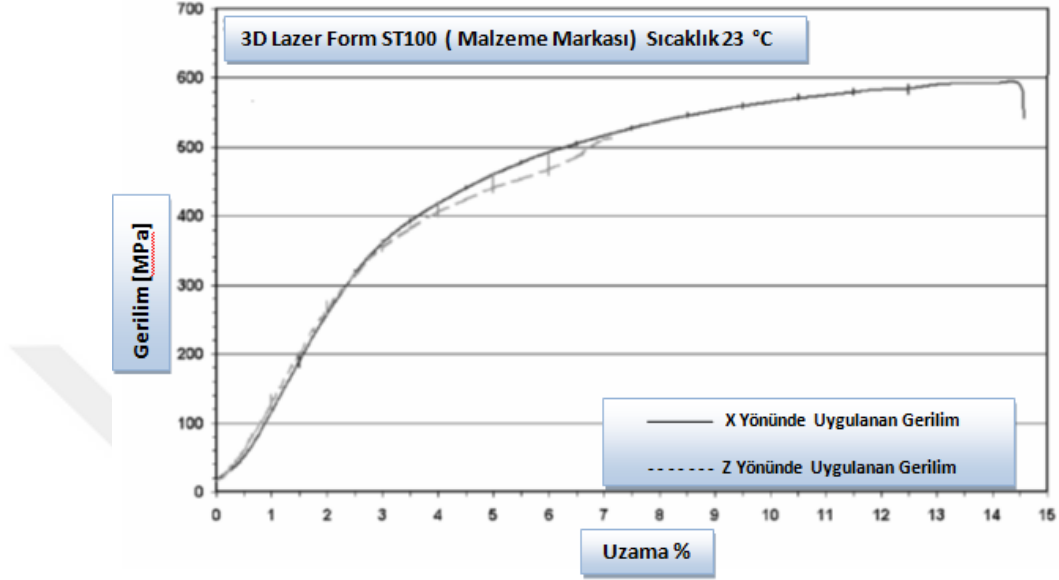
Şekil 3.6. SLS makinesinin çalışma prensibi [20].

SLS cihazlarında elde edilen yüzeyin kalitesine kullanılan malzemenin cinsinin etkisi olduğu gibi lazerin gücü ve akı çapının da büyük bir etkisi olmaktadır. Örnek olarak Çizelge 3.1’ de 3B SYSTEMS firmasının SLS cihazı için ürettiği içeriği %40 bronz %60 420 sınıfı paslanmaz çelik olan Laserform ST-100 metal tozunun gerilme ve uzama grafiği verilmiştir.

Çizelge 3.1. Laserform ST-100 malzemenin özellikleri [20].

MALZEME ÖZELLİKLERİ	BİRİM	DEĞER
Akma Gerilmesi	MPa	305
Kopma Gerilmesi	MPa	510
Uzama	%	10
Yung Modülü	MPa	137
Basma Gerilmesi	MPa	317
Sertlik Rockwell "B" Temizlenmiş	-	87
Sertlik Rockwell "B" Talaş Kaldırılmış	-	79

SLS yöntemi ile Laserform ST-100 malzemesinden üretilen numuneler ile yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen gerilme uzama grafiği Şekil 3.7'de verilmiştir.



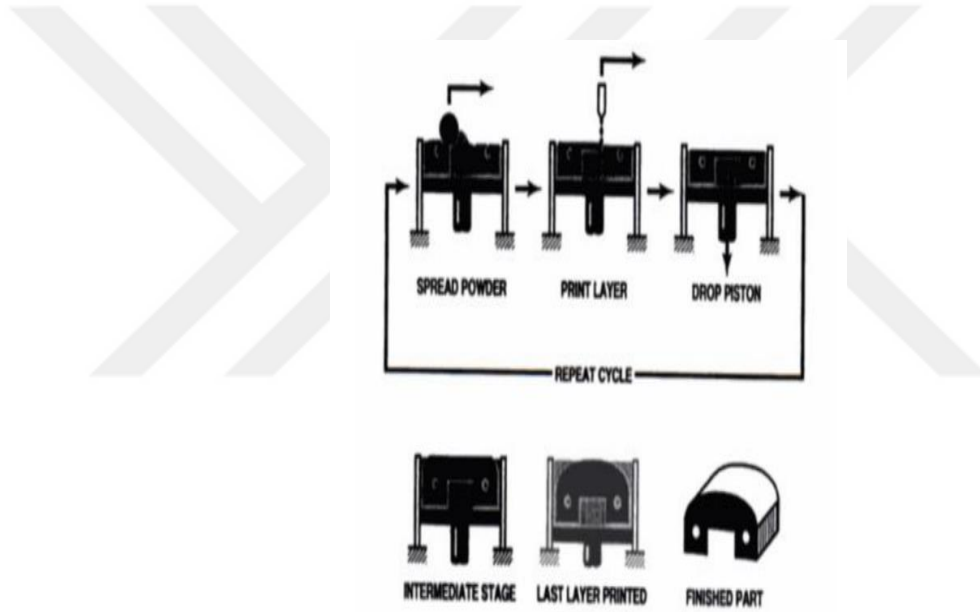
Şekil 3.7. Gerilim-uzama eğrisi [20].

3.2. YAPIŞTIRARAK TOZ BAĞLAMA

Toz haldeki hammaddenin belirlenen bölgelerine yapıştırıcı malzeme püskürtülmesiyle birbirine bağlanması yöntemine yapıştırarak toz bağlama denilmektedir. Direct Shell Production Casting (DSPC): Orijinal olarak ABD'nde Massachussets Teknoloji Enstitüsü'nde (MIT, Massachussets Institute of Technology) geliştirilen 3BP (3 Dimensional Printing) 3 boyutlu yazıcı prosesinde inşa hammaddesi olarak seramik, metal, plastik veya herhangi başka bir toz da kullanılabilir. Çok ağızlı bir memeden yapıştırıcı püskürtülerek tozlar birbirine bağlanmaktadır. Bir merdane vasıtası ile yeni katman toz yayılır. İnşa bittikten sonra, parçayı çevreleyen ve aynı zamanda destek malzemesi görevi görmüş olan tozlar temizlenmektedir. Kullanılan malzeme ve uygulamaya göre, sinterleme ve infiltrasyon gibi değişik ek işlemler de yapılabilir.

Tasarımın bir kesiti toz içerisinde lazer ile eritilir ve üzerine yeni bir katman toz ilave edilir daha sonra sıradaki katman eritilerek eklenir. Katmanların kalınlığı 20 ile 100

µm kadar olmaktadır. Yeni teknolojik uygulamalar birden fazla ve farklı güçlerdeki lazerleri soygaz ortamında kullanabilmektedir. Lazer eritme yöntemi de denilen bu yöntemde, “Selective Laser Melting (SLM)”, “Laser Curing” ve “Direct Metal Laser Sintering (DMLS)” gibi birçok farklı isimde ticari çözüm bulunmaktadır. Bununla birlikte, tümüyle vakum içinde uygulanan “Electron Beam Melting (EBM)” sistemi de kullanılan yaygın yöntemlerden biri olarak görülmektedir. Bu alanda bilinen tezgâhları ABD’de 3B-Systems, Avrupa’da ise Concept Laser, SLM Solutions, ReaLizer, EOS ve Renishaw sunmaktadır. İsveçli Arcam AB firması da, Japon Matsuura ile ortak geliştirdiği elektron ışını kullanan bir çözüm sunmuşlardır [21]. Bu çözümün şematik gösterimi Şekil 3.8’de gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Doğrudan kabuk üretim dökümü tekniği [22].

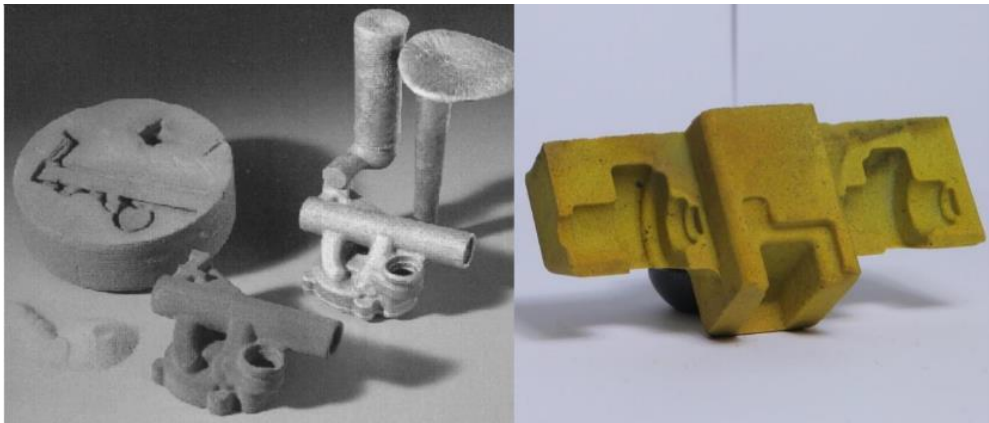
3.3. TARAYARAK IŞIKLA KÜRLEME (SLA)

Stereolitografi, 3B Systems tarafından 1987 yılında oluşturulmuş ve şimdiye kadar en çok kullanılan HPO yöntemlerinden biri haline gelmiştir. Bu yöntem; katı serbest biçim üretimi, optik üretim, foto katılaştırma, katı görüntüleme ve reçine baskı olarak da isimlendirilmektedir. Belirlenen yüzeye lazer ışınının etki ettirilmesi ile reçine banyosunda işlem yapılmaktadır (Şekil 3.10). Tabaka tamamlandıca, daha önce işleminden geçmiş olan yüzey, üzerine sıvı reçine akması için aşağı hareket etmektedir. Bir silecek üst taraftaki fazla reçineleri temizlemektedir. Bu işlem istenilen ürün

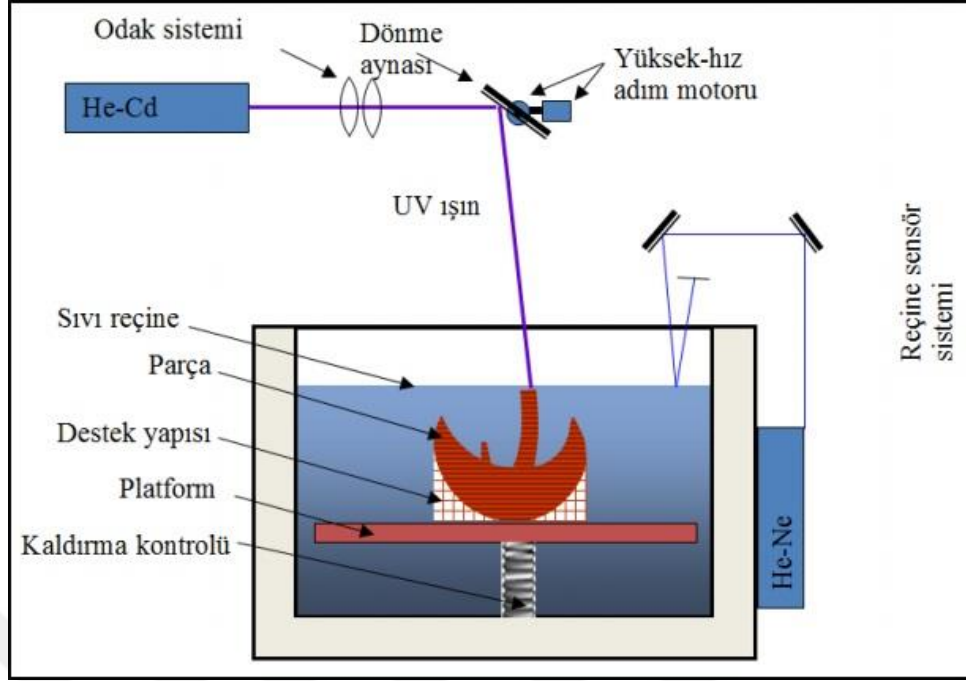
oluşana kadar devam etmektedir. Ardından da nesne sıvıdan çıkartılmaktadır, reçine süzülmemektedir ve bir çözücüde yıkanarak fazla atıklardan temizlenmektedir. Sonra nesnenin üstündeki tüm reçineler katılaşması için UV-fırına konulmaktadır. İşlem süresi, toleranslara ve yüzey kalitesi tabaka kalınlığına bağlı olmaktadır. Bu kalınlık ise 0,05 ile 0,5 mm arasında değişiklik gösterebilmektedir [1, 2]. Küp polimer oluşturma, stereolitografi ile prototip yapma işlemini ifade etmektedir. Şekil 3.10'da bir stereolitografi örneği görülmektedir. 1980'de C. Hull tarafından geliştirilerek 3B şirketi ile beraber ticari hale getirilmiştir. Küp polimer oluşturma: 1-Vektörel tarama (noktasal), 2-alan (yüzey) izdüşümü ve 3-iki fotonla polimer oluşturma (hassas nokta) şeklinde olmaktadır.

1 ve 3'üncü yöntemler, nokta tarayan lazer ışını; 2'de ise tüm katman tek bir işleme yapılmaktadır. 1 ve 2'de yeni reçine sağlama gerekmektedir; 3'de gerekmemektedir. SLA makineleri; platform, lazer ve optik kontrol sistemi ve tekrar kaplama gibi birçok çeşide ayrılabilir. Bu tekniğe ait bazı özellikler aşağıda sıralanmıştır.

- Katılaşma süresine bağlı olarak çarpıklıklar oluşabilir.
- Üretilen nesnelere kırılmalıdır.
- Destek unsurları gerekir.
- Katılaşmayan malzeme zararlı ve zehirli olmaktadır [19].



Şekil 3.9. DSPC tekniği ile üretilen ürünler [23].



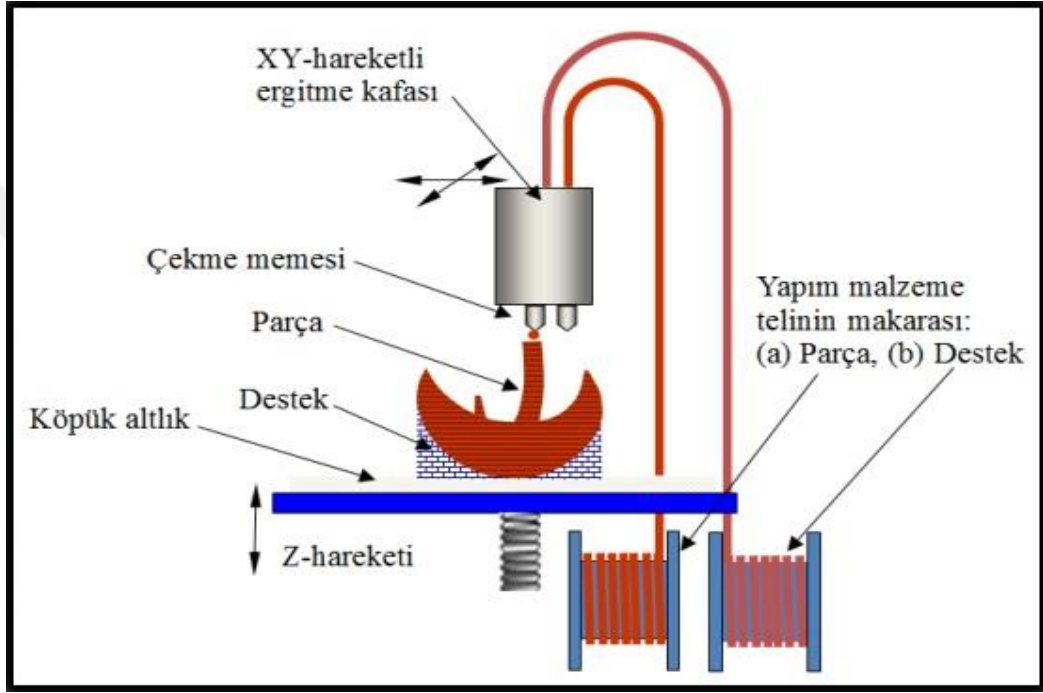
Şekil 3.10. Stereolitografi [24].

3.4. ERGİYİK BİRİKTİRME MODELLEME TEKNIĞİ (FUSED DEPOSITION MODELING)

Bir diğer en yaygın kullanılan prototip oluşturma işlemi ise ergiyik birikimli modellemedir. Bir makaradan çözölen plastik bir filament, merdane başlığına yollarır ve burada ısıtılarak küçük bir memeden çıkartılmaktadır (Şekil 3.11). Merdane başlık, numune tablasına monte edildiğinden dolayı istenilen geometri bir seferde tek tabaka olarak oluşturulabilmektedir. Erimiş plastik alt katmana yapıştıktan sonra katlaşmaktadır. Benzer şekilde destek malzemesi de diğer ekstrüzyon nozulundan yayılmaktadır. Üzerinde nesne oluşturulan düzenek, bir katman kalınlığı kadar indirilir. Bu yöntemde tüm sistem polimer camlaşma sıcaklığı üzerindeki normal bir sıcaklığa kadar ısıtılan bir fırın odasında bulundurulmaktadır. Oluşan gerilmelerin normalleşmesi için uygulanan bu durum işlemin daha iyi kontrol edilmesini sağlamaktadır. Bu yöntemde SLA yöntemindeki gibi fazlalıkların desteklenmesini gerektirmektedir. Suda çözünebilme özelliğine sahip destek malzemelerinin kullanımı son adımı kolaylaştırmaktadır. FDM işleminde kullanılan en yaygın malzemeler ABS, polikarbonat ve polisülfürdür.

FDM tekniğine ait özellikler:

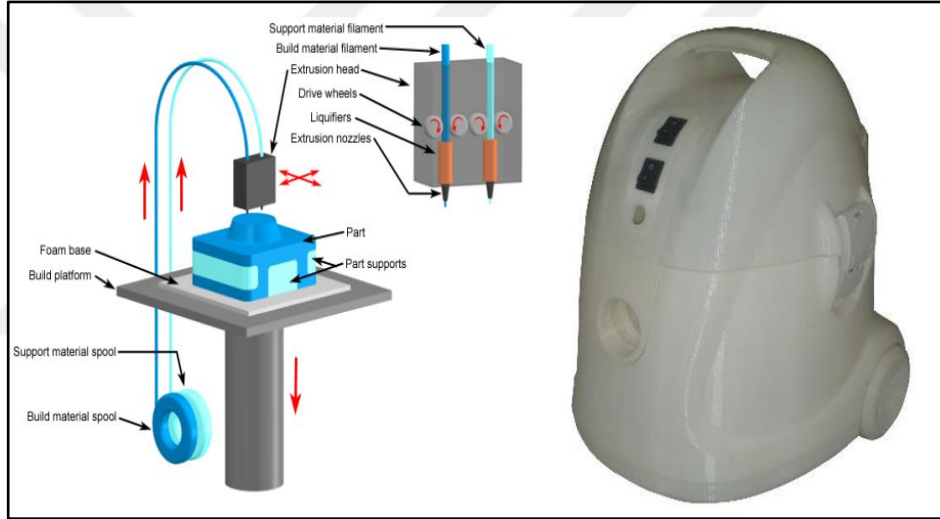
- Sessiz bir şekilde çalışmaktadır.
- Küçük parçaların oluşturulmasında oldukça hızlı bir yöntemdir.
- İyi mekanik özellikler elde edilebilir ve fonksiyonel parça üretimine uygundur.
- Birçok farklı malzeme kullanılabilir [19].



Şekil 3.11. Ergiyik birikimli modelleme (FDM) [24].

Bu yöntemde bir plastik veya mum malzeme parçanın kesit geometrisini izleyen bir meme içerisinde ekstrüzyon edilmektedir. Model malzemesi ince plastik tel (filament) şeklinde olmaktadır. Bazı durumlarda filament yerine düzenekten beslenen granül halde plastik de kullanılabilir. Meme, termoplastiğin erime noktasının üzerindeki bir sıcaklıkta tutulmasını sağlayan ısıtıcı içerir ve böylece plastik meme üzerinden kolay bir şekilde akarak katman oluşmaktadır. Termoplastik, memeden çıktıktan sonra sertleşerek aşağıdaki katmana yapışmaktadır. Bir tabaka yapıldıktan sonra platform aşağıya iner ve ekstrüzyon meme diğer bir katmanı oluşturur. Katman kalınlığı ve düşey boyut hassasiyeti ekstrüzyon meme çapına bağlı olmaktadır. Meme çapı 0,178 mm ile 0,356 mm arasında değişmektedir. XY düzleminde 0.025 mm hassasiyete ulaşılabilir. Bu teknik ile çok parçalı, hareketli sistemlerin ve

karmaşık parçaların imalatı mümkün olmaktadır. ABS, poliamid, polikarbonat, polietilen, polipropilen ve hassas döküm mumu model malzemesi olarak kullanılabilir. Bu yöntemde model üretilirken destek malzemesi kullanılır ve farklı bir destek malzemesi kullanabilmek amacıyla sisteme ikinci bir meme ilave edilmiştir. Bu yöntem ile üretilen parçaların kırılmaya, esnemeye ve bükülmeye karşı yüksek dayanımlı olması, suya ve neme karşı yüksek dirençli olması ve maliyet bakımından uygun olması önemli bir avantajdır. Bu yöntemin karmaşık yapılarıdaki fonksiyonel parçaların üretimi için uygun olduğu düşünülmektedir [12]. Şekil 3.12’de FDM sisteminin çalışma prensibi ve FDM tekniği ile üretilen ürünün örneği görülmektedir.



Şekil 3.12. FDM sisteminin çalışma prensibi ve bu yöntemle üretilen livac ürünün prototip görünümü [25].

3.4.1. FDM Yöntemi İle Üretilen Prototiplerdeki Hatalar

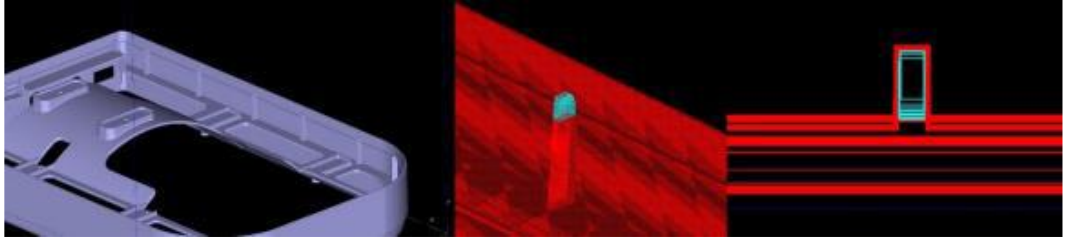
CAD programlarıyla tasarlanan parçalar FDM yöntemle üretim yapan prototip makinesinde parçanın üretimi yapılmaktadır. Prototip üretimi ve üretim sonunda birtakım sorunlarla karşılaşmaktadır. Bunlar;

- Kalınlıkları düşük olan kısımların mukavemeti az olduğunda kolay kırılmalar olmakta
- Parça yüzeyinde merdiven gibi kademelerin oluşması

- Karmaşık parçaların prototipleri üretildikten sonra destek malzemesinin çıkartılması çok zor olmaktadır.
- Destek malzemesinin çıkartılması sırasında parçanın yüzeyine zarar vermektedir [12].

3.4.1.1. Kalınlıkların Düşük Olmasından Dolayı Mukavemetin Azalması

Kalınlıkların düşük olan kısımlarda parçanın mukavemeti az olmaktadır. Ergiyen malzemenin aktığı meme çapına göre parçanın mukavemetine etki etmektedir. Parça tasarımının parçanın mukavemetini artırmak için ve başka parçalarının montajı için desteklemek amacıyla yapılan federler genelde kırılmalar kolay olmaktadır. Federler genelde ilk montaj aşamasında veya destek malzemenin çıkartılmasında kırılmaktadır. Şekil 3.13'te parça üzerindeki federin prototip makinasına atılmadan yapılan takım yolu gösterilmektedir. 1,4 mm kalınlığındaki feder, prototip makinasına üretim takım yolu Şekil 3.13'te görülmektedir [12].



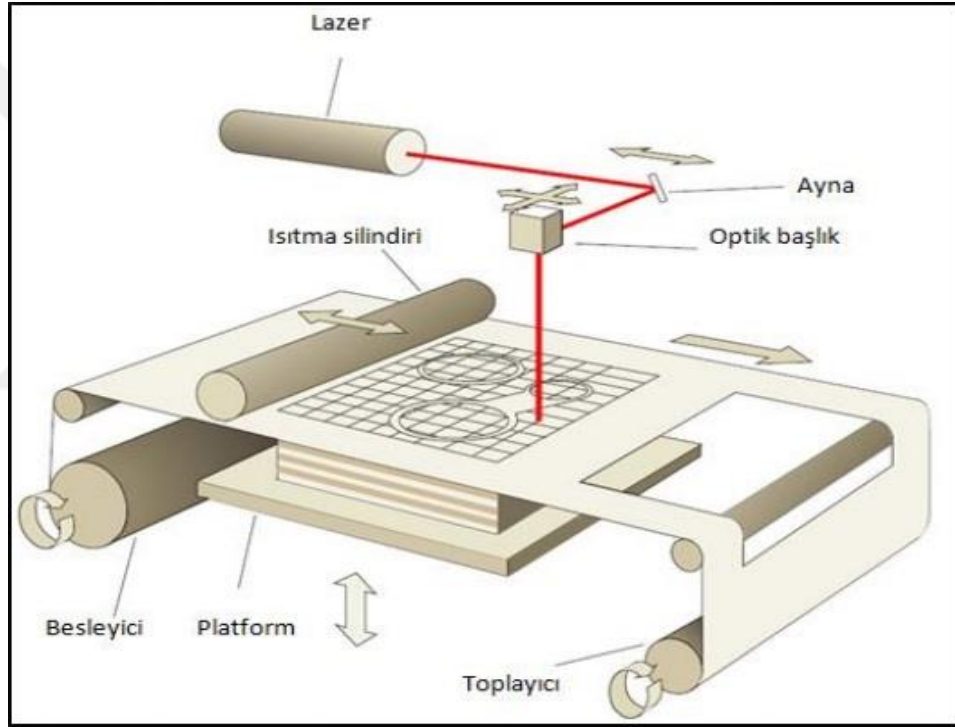
Şekil 3.13. 1,4 mm kalınlığında parçanın prototip üretim takım yolu.

3.5. KATMANLI NESNE İMALATI (LOM)

Katmanlı nesne imalatında polietilen kaplamalı rulo halinde yaprak kâğıt bir düzeneğe yerleştirilmektedir (Şekil 3.14). Bu kaplama ısıtılmış bir silindir tarafından ergitilerek kâğıdın düzeneğe yapıştırılması sağlanır. Daha sonra bir karbondioksit lazer vasıtası ile nesnenin kesit ve sınırlarını (alanını) kesilip çıkartılmaktadır. Aynı zamanda bu lazer, alan içerisindeki deseni çevreleyen tarama işaretleri veya küpleri de oluşturmaktadır. Bu küpler, model için bir destek görevi üstlenmektedir. Lazer bir katmandaki işlemleri bitirdiğinde yeni bir kâğıt yaprak devreye girer. İşlem tamamlandığında üretilmesi istenen model, bir kâğıt bloğu şeklinde elde edilmiş olur.

Modeli çevreleyen tüm küpler çıkartıldığında, bitirilmemiş parça zımparalanarak bitirilir. Bu yöntemde kâğıt malzemenin sıcaklık ve nemden etkilenerek zarar görmesi modelin kaplanması ile azaltılabilmektedir. Yüzeyin son durumu ve boyutsal hassasiyet, diğer baskı yöntemleri kadar iyi olmayabilir fakat nesnelere ağaç gibi özelliklere sahiptir ve aynı işlemlere tabi tutulabilmektedir. Bu tekniğin öne çıkan bazı özellikleri aşağıda belirtilmiştir [2, 3, 10].

- Ek katılma gerektirmez ve büyük boyutlu parçalar üretilebilir.
- Ek işlem hemen yapılmalı ve rutubete karşı sızdırmazlık gerektirmektedir [19].



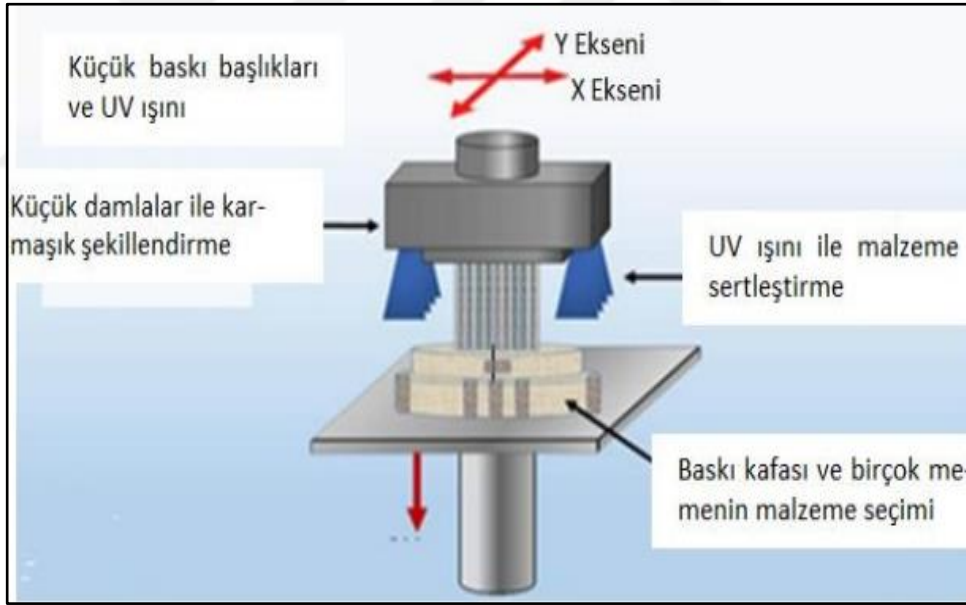
Şekil 3.14. Katmanlı nesne imalatı (LOM) [19].

3.6. ÇOK PÜSKÜRTMELİ MODELLEME (MJM)

Çok püskürtmeli modelleme yönteminde ince tabakalarda malzeme damlacığı biriktirebilecek yapıya sahip ardışık olarak birden fazla baskı başlığı kullanılmaktadır. İki önemli MJM tekniği bulunmaktadır: Termojet, 96 elemanlı bir baskı başlığı vasıtası ile mum damlacıklarını biriktirmektedir (Şekil 3.15). Üretim oldukça hızlı yapıldığından bu sistemler mühendislik ve tasarım bürolarında hızlı ve kolay

şekillendirme çalışmaları için kullanılmaktadır. Mumdam üretilen modeller hassas döküm yönteminde ana model olarakda kullanılabilir. İkinci yöntem (Invision), bir baskı başlığı iki ayrı malzeme püskürtmektedir. Bunlar; akrilik bir UV-duyarlı polietilen esaslı model malzemesi ve modele destek sağlayacak mum benzeri malzemeden oluşmaktadır. Modeller oldukça kaliteli olmaktadır. Üretim hızı oldukça yüksek olduğundan kullanım amaçları ön prototiplerden kavram öneri maketleri veya satış modellerine kadar değişmektedir. Çok püskürtmeli modelleme tekniğine ait özellikler:

- Mükemmel yüzey kalitesi elde edilebilir ve karmaşık geometri parçaların üretimi mümkündür.
- İmal edilebilirliği değerlendirmenin mümkün olmaması şeklinde belirtilebilir [19].



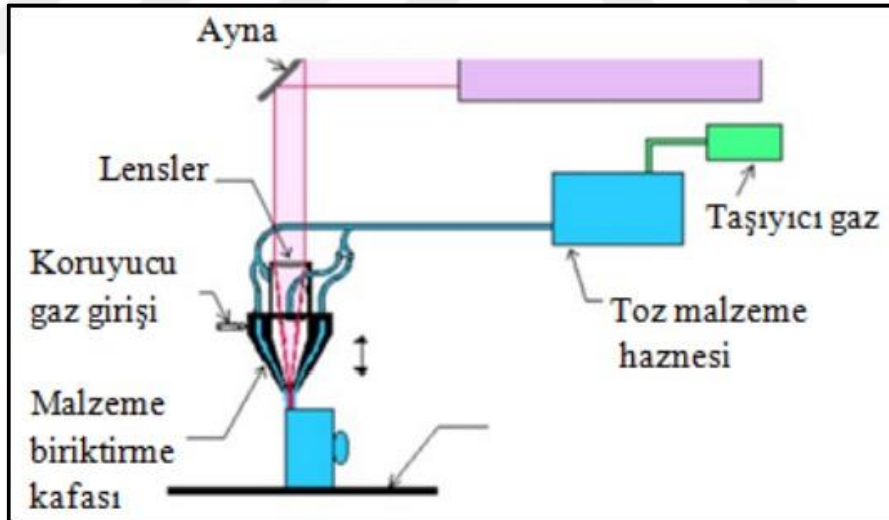
Şekil 3.15. Çok püskürtmeli modelleme (MJM) [26].

3.7. LAZERLE YAPILAN NET BİÇİMLENDİRME (LENS)

LENS’de bir lazer ışığı, üst yüzeyleri ergitmek için metal bir alt malzemeye yansıtılmaktadır. Arkasından bir biriktirme kafası, malzeme hacmini artırmak için ergiyik kısma toz veya ince tel halinde metal sağlamaktadır (Şekil 3.16). Platformun

hareket ettirilmesi ile nesneye ait her bir katman oluşturulmaktadır. Özellikleri daha iyi kontrol etmek için atmosferik oksijenden ergiyik kısmı koruyacak ve daha iyi yüzey akışkanlığı ile tabakalar şeklinde yapışma sağlayacak atıl bir gaz kullanılmaktadır. Tam olarak titanyum, alüminyum, paslanmaz çelik, bakır, krom-demir alaşımı gibi yoğun metal parçalar LENS'le yapılabilir. Hatta malzeme oluşumunu anlık olarak değiştirmek de mümkündür. Bu durum geleneksel üretim yöntemlerine göre daha üstün özellikte nesnelere oluşturulmasını mümkün kılmaktadır. Üretilen parçalar istenilen son geometriye son derece yakın olur ve genelde ek işlemlere gereksinim duyulmaktadır. Enjeksiyon kalıplarının parçaları, hava araçları parçaları bu yöntemle üretilmektedir. Bu tekniğin önemli özellikleri [19]:

- Gerçek (metal) parçaların üretilmesi ve malzeme yapısının dinamik değişmesi,
- Birçok malzeme kullanılması ve genelde ek işlem gerekmesi,
- Mekanik özelliklerin iyi ama yüzey kalitesinin kötü olması şeklinde özetlenebilir.



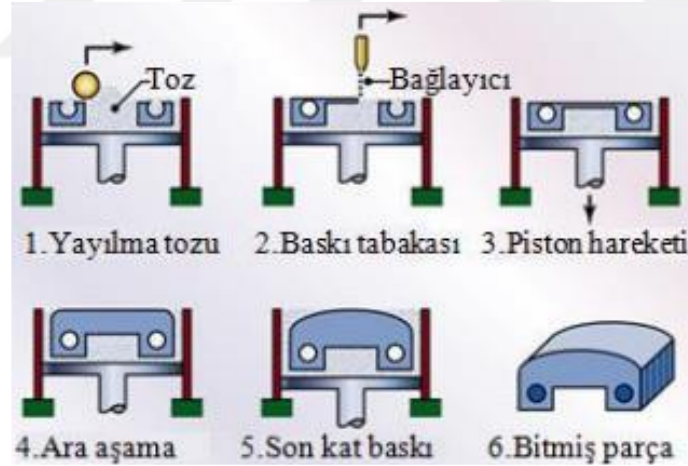
Şekil 3.16. Lazerle yapılan net biçimlendirme (LENS) [19].

3.8. 3B BASKI

Bazı kaynaklarda “üç boyutlu baskı” ifadesi tüm hızlı prototip oluşturma işlemleri için kullanılmaktadır. Bu çalışmada MIT’te uygulanan işlem üzerinde durulacaktır. Bu yöntemde toz partiküller bir platform üzerine serilir ve bu parçacıklar bir sıvı yapışkan

aracılığı ile isteğe bağlı olarak bağlanmaktadır. Bu sıvı firiden fazla kanallı püskürtme kafası vasıtası ile iki boyutlu bir modele biriktirilir. Mevcut tabaka tamamlandıktan sonra platform bir tabaka kalınlığı kadar aşağı yönde hareket ettirilerek yeni tabaka oluşturulabilir. Bu işlem, toz yatağında nesne tamamen şekillenene kadar tekrarlanmaktadır. İşlem tamamlandığında oluşturulan parça platformdan alınır ve fazla tozlar temizlenerek hassas nesne üretilmiş olmaktadır (Şekil 3.17). Nesnenin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla farklı bir malzeme emdirilerek parça kuvvetlendirilmektedir. Platform içerisindeki malzeme çevresinde bulunan toz partikülleri diğer unsurları desteklediğinden ek destekler gerektirmemektedir. Bağlayıcı malzemeye farklı renkler eklenerek nesne her renkte oluşturulabilir. 3B baskı için genelde yaygın olarak kullanılan malzemeler; alçı, seramik ve metaller, ilaç nişasta / kola olarak belirtilebilir. 3B Baskı tekniğinin özellikleri:

- Sınırlı çözünürlüğünün ve yüzey kalitesi,
- Narin nesnelere süzme ihtiyacının olması şeklindedir [19].

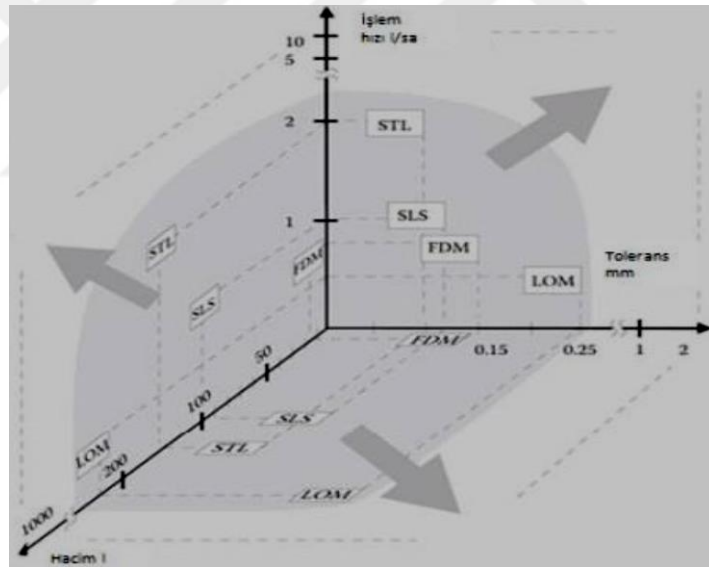


Şekil 3.17. 3B baskı [19].

3.9. EKLEMELİ İMALAT TEKNOLOJİLERİNİN GENEL BİR KARŞILAŞTIRMASI

Eklemeli imalat teknolojilerinin genel olarak sınıflandırılması Şekil 3.18'de verilmiştir. Kullanılan malzeme yapıları baz alınarak katı, sıvı ve toz bazlı olarak üç gruba ayrılmıştır. Diğer bir kıyaslama ise işlem hızı, hacim ve tolerans parametrelerine

göre yapılabilir. İşlem hızının en hızlı (litre/saat) olduğu yöntem STL, en büyük hacime sahip olan yöntem LOM ve hassas toleranslara sahip olan yöntem ise SLS ile elde edilmektedir [15-17]. İncelenen eklemeli imalat teknolojilerinin daha ayrıntılı şekilde sınıflandırılması ve karşılaştırılması ise Çizelge 3.2’de verilmiştir. Bu karşılaştırma çalışmasına göre genelde LENS metalik (belirli oranda 3B ve LOM da), diğerleri ise metal dışı malzemeler kullanmaktadır. LENS ile oluşturulan parçalarda çekme dayanımlarının en iyi olduğu görülmektedir. Çözünürlük açısından SLA, MJM ve LENS teknolojileri; ince cidarlı modeller oluşturmada ise sadece LENS en iyi teknoloji olmaktadır. İyi bir yüze kalitesi oluşturulması için genelde ek işlemler gerekmektedir. Metal malzemelerde gerçek parça üretimi SLS ve LENS yöntemi ile mümkündür. Tüm bu yöntemlerde üretim hızı hala oldukça düşüktür. Üretim maliyetleri ise düşük seviyede değildir SLA ve 3BP yöntemlerinde maliyet nispeten ucuzken LENS yönteminde ise daha pahalı olduğu bilinmektedir [19].



Şekil 3.18. Eklemeli imalat teknolojilerini işlem hızı, hacim ve tolerans parametrelerine göre karşılaştırılması [19].

3.9.1. Eklemeli İmalat Teknolojilerinin Genel Problemleri ve Çözüm Önerileri

Bu çalışma kapsamında, eklemeli imalat teknolojilerinin uygulanması sırasında birçok özel ve genel sorunlar ile karşılaşılabilir. Her bir yöntemde karşılaşılan sorunlar farklılıklar göstermektedir ve bunlar; işlem hızı, maliyet, yüzey kalitesi, ölçüsel hassasiyet, parça dayanım veya kırılabilirliği, ek veya yüzey işlemleri şeklinde

özetlenebilir. İncelenen teknolojilerden SLA, sıvı reçineden katmanlar şeklinde modeli oluşturma ve fırında sertleştirmeyi içermekte olup üretilen parça zayıf ve kırılgan olur ayrıca destek malzemesi de gerekmektedir. SLS yönteminin, zemin üzerine tozu serme, ısıtarak ergitme ve yapıştırma daha sonrasında ise soğutarak katılaştırmaya dayanmaktadır. Bu yöntem ile üretilen parçanın yüzey kalitesi iyi olmamasına karşın destek gerekmez ve birçok farklı malzeme kullanılabilir. FDM ise plastik teli ekstrüzyon nozulunda ısıtarak ergitme, bir zemin üzerine yayma ve daha sonrasında soğutarak katılaştırmayı içermektedir. Bu yöntem hızlı ve sessiz çalışır birçok malzeme kullanılabilir fakat destek gerekir. 3B’de ise toz tabaka bir platforma serildikten sonra bir yapışkanla bağlanarak desen üzerinde biriktirilir. Yüzey kalitesi iyi olmaz fakat birçok malzeme türü kullanılabilir ve geniş bir uygulama alanının olduğu bilinmektedir. LOM ise rulo halindeki kâğıt yaprağı bir platforma yerleştirdikten sonra silindir ile ısıtarak ergitme ve nihayetinde lazerle kesilen deseni oluşturma esasına dayanır. Bu yöntemde yüzey kalitesi çok iyi olmaz, ek işlem gerekir fakat büyük boyutlu parçalar yapılabilir. MJM yöntemi ise, modeli küçük damlacıklar şeklinde oluşturma ve sertleştirmeyi içermektedir. Bu yöntemde iyi yüzey kalitesi elde edilir üretim hızlı yapılır ve karmaşık modellerin üretimi mümkün olmaktadır. Son olarak LENS yönteminde ise metalik malzemeler lazer vasıtası ile ergitilmektedir. Zemine yayılıp katılaştırılmış olmaktadır. İstenilen gerçek parça üretilir birçok malzeme kullanılır ve birtakım ek işlem gerekebilir [19]. Eklemeli imalat teknolojilerinin karşılaştırılması Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge 3.2. İncelenen eklemeli imalat teknolojilerinin çeşitli açılardan karşılaştırılması [19].

Eklemeli İmalat/Hızlı Prototip Oluşturma Teknolojilerinin Karşılaştırılması							
Kriter/Teknik	SLA-1	SLS-2	FDM-3	3DP-4	LOM-5	MJM-6	LENS-7
Kullanılan Malzeme	UV işlemlili fotopolimer	Polimer, metal, seramik, alaşımlar	Plastik, ABS, PC, PPSF	Alçı toz + sıvı yapışkan	Kağıt, plastik vb.	UV işlemlili fotopolimer	Çelik, bakır, alüminyum, titanyum
Çekme Dayanımı	Vasat	Zayıf	Vasat	Zayıf	Zayıf	Vasat	İyi
Çözünürlük	İyi	Vasat	Zayıf	Vasat	Vasat	İyi	İyi
İnce cidar	Vasat	Vasat	Zayıf	Vasat	Zayıf	Vasat	İyi
Tolerans	İyi	Vasat	İyi	Vasat	Vasat	İyi	İyi
Yüzey Kalitesi	Ek yüzey işlemlili	Ek yüzey işlemlili	Sınırlı	Ek yüzey işlemlili	Ek yüzey işlemlili	Ek yüzey işlemlili	İyi
İkinci Yüzey Kalitesi	Tampon baskı Kaplama	Tampon baskı Kaplama	Tampon baskı Kaplama	İnfiltrasyon (reçine emdirme)	Kaplama	Tampon baskı Kaplama	Kaplama
İşlevsel Örnekler	Yok	Yok	Sınırlı	Yok	Yok	Yok	Yok
Tasarım Kanıtlama	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
Metale Uygulanabilme	Yok	Var	Yok	Var	Var	Yok	Var
Çok Malzemeli Parça	Yok	Yok	Yok	Yok	Var	Var	Var
Kalp Gerektirme	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Seri Üretim İşi	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Var
Üretim Günü	01.Mar	01.Mar	01.Mar	0,5-1	01.Mar	01.Mar	01.Şub
Parça Maliyeti	\$\$	\$\$\$	\$\$\$	\$\$	\$\$\$	\$\$\$	\$\$\$\$

BÖLÜM 4

HIZLI PROTOTİPLEME KULLANIM ALANLARI

Hızlı prototipleme teknolojisi, üretim alanlarındaki uygulamalarda, medikal veya dental implantların üretiminde, kavramsal modellemede, uzay/otomotiv sanayinde, doğrudan döküm kalıpları ve parça üretimlerinde, hızlı kalıp imalatında, hassas döküm yöntemi ile metal parça ve prototiplerin imalatında, mimari alanlarda, eğitim amaçlı birçok donanımların yapımında ve takı sektörü gibi birçok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır [16]. Günümüzde hızlı prototipleme teknikleri aşağıda bahsedilen alanlarda kullanılmaktadır.

Mühendislik: Doğru ve görsel karar verme mekanizması sağlamak için gerçek modelleme, prototip yapımı, kalıp tasarımı, tasarım zamanını azaltmak, ürün geliştirme, analiz, maliyeti azaltmak, mevcut ürünün özelliklerini değiştirmek, yeni ürünleri tanıtmak, tasarım ve imalatın entegrasyonunun sağlanmasında ve kompleks parçaları üretebilmek amacıyla kullanılmaktadır.

Medikal: Vücut içerisinde teşhise yardımcı olan katı görüntüleme modellerini yapmak, tomografi verilerinden model ve protez yapımında kullanılmaktadır.

Dental: Protezlerin ve implantların yapımında kullanılmaktadır.

Kuyumculuk: El ile yapımı bir hayli zor olan, zahmetli bir el işçiliği gerektiren karmaşık forma sahip mücevherlerin yapımında kullanılmaktadır.

Mimarlık: Topoğrafik modellemede kullanılmaktadır.

Sanat: El ile imalatı oldukça zor veya mümkün olmaya sanatsal eserlerin yapılmasında kullanılmaktadır.

Arkeoloji: Arkeolojik buluntuların modellerinin yapılarak sergilenmesinde kullanılmaktadır.

Matematik, Fizik, Kimya: 3B katı nesnelerin yapılması, karmaşık molekül yapılarının yapılmasında kullanılmaktadır.

Eğitim: Görsel eğitim araç gereçlerinin yapılmasında kullanılmaktadır [14].

4.1. MEDİKAL UYGULAMALAR

Türkiye’de ilk medikal kafatası ve yüz implant tasarımı, imalatı ve cerrahisi 2003’de Cadem AŞ ve Amerikan Hastanesinden Opr. Dr. Sacit Karademir iş birliği ile yapılmıştır [11]. Kafatasına ait CT veriler kullanılarak dokunsal duyulu 3B modelleme sistemi ile implant tasarımı yapılmış ve 3B yazıcı kullanılarak model üretilmiştir. Metal lazer sinterleme işleminden sonra implant, Dr. Karademir tarafından yerleştirilmiştir. Slovenya’daki Maribor Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü ve Üniversite Klinik Merkezi ile Ljubljana Üniversitesi Tıp Fakültesi öğretim üyeleri iş birliği ile kemik yapılarında kullanılabilirliği olan implantların tasarımı ve üretimi konusunda uygulama ve araştırma çalışmaları yapmışlardır [12].

Katı görüntüleme (solid imaging) yöntemi bilgisayarlı tomografi verisine bağlı olarak model ve protez imalatında, dişçilikteki implant ve protez çözümlerinde, matematikteki veya diğer sahalardaki karmaşık yüzey ve geometrilerin modellenmesinde kullanılmaktadır. Karmaşık matematiksel fonksiyonlar doğrultusunda ortaya çıkan üç boyutlu yüzeyler günümüzde artık katı olarak modellenebileceği gibi, fizik ve kimyada, bilgisayarla tasarlanmış olan karmaşık molekül yapıları da eğitim ve araştırma amacıyla üretimi mümkün olmuştur. Katı modelleme yöntemi bir çok alanda olduğu gibi sağlık alanındaki uygulamalarda hızla gelişmekte ve kullanılmaktadır. Eczacılık, ortez protez üretimi, cerrahi uygulama, medikal enstrüman, simülatör üretimi, organ ve doku üretimi gibi birçok alanlarda yeni kullanım alanları günümüzde oldukça artmaktadır. Bu çalışmada 3 boyutlu yazıcıların sağlık alanında kullanımına ilişkin örnekler verilmiş, cerrahi ve çocuk cerrahisi alanında kullanımı ile ilgili güncel veriler değerlendirilmiş ve olası kullanım alanlarına

ilişkin görüşler sunulmuştur [27]. Üç boyutlu baskı, parçaların bilgisayar modelinden üretildiği bir teknik olarak tanımlanabilir. Bu teknoloji eğitim modellerinin, implantların, takımlar ve fonksiyonel parçaların üretiminde kullanılır. 3B baskı uygulaması, klasik üretim yöntemlerine oranla daha hızlı prototipleme ve verimlilik sağlamaktadır. Çelikler, polimerler, sıvı, toz gibi malzemeler imalat maddesi olarak kullanılmaktadır. 3B baskı teknolojisi günümüzde sürekli gelişen bir alandır ve gelecekte yaygın olarak kullanılacağı düşünülmektedir [28]. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de hızlı prototipleme ile medikal alanda oluşturulan örnek ürünler gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Medikal alanda hızlı prototipleme ile oluşturulan protez kol [29].



Şekil 4.2. Medikal alanda hızlı prototipleme ile oluşturulan kafatası parçaları [29].

4.1.1. Doku ve Organ Üretimi

Üç boyutlu biyoyazıcılar, özellikle Rejeneratif Tıp ve Doku Mühendisliği alanında kullanılan ve pek çok sorun için umut vaat edici çözümler üreten ileri teknolojik biyomedikal cihazlar olarak tanımlanmaktadır. Bilinen üç boyutlu yazıcılar selektif lazer sinterleme (SLS) ve doğrudan metal lazer sinterleme (DMLS), erimiş birikimi modelleme (FDM), stereolitografi (SLA), selektif lazer eritme (SLM) gibi yöntemleri kullanarak PLA (Poli Laktik Asit), ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) gibi sentetik polimerler ile sıvı reçine ve metal tozlarından üç boyutlu yapılar oluşturabilmektedir. Bu malzemelerden üretilen doku iskelelerinin birtakım olumsuz etkileri olabilmektedir. Bu etkiler;

- Vücutta istenmeyen tepkilere yol açabilme.
- Toksikite.
- Hücrelerin kendi hücre dışı ortamlarını üretme yeteneklerinde uyumsuzluk.
- Yapısal ve mekanik özelliklerde hedef dokuya göre uygunsuzluk [30].

Rejeneratif tıp, 1990'lı yılların başında Langer ve Vacanti tarafından “doku mühendisliği” tanımı yapılmasından itibaren kullanıma girmiştir. Doku ve organların normal fonksiyonlarının insan hücrelerinden üretilmiş yeni dokular ile devam edebilmesini ifade etmektedir. Bioprint ise doku mühendisliği ile üretilmiş hücre ya da dokuların bir biyolojik iskelet üzerine oturtulması anlamına gelmektedir. Bunun için en sık kullanılan üç yöntem hakkında bilgiler verilmiştir.

Inkjet bioprinting: Bu yöntemde biyolojik mürekkep içine, damlacıklar halinde doku mühendisliği ile üretilmiş otolog hücreler eklenmektedir. Ekstrüder adı verilen başlıkta depolanmış mürekkep, termal enerji ya da piezoelektrik ile ısı kontrollü polimerize bir doku iskeleti üzerine iki boyutlu olarak yayılmaktadır. Bu tekniğin en önemli kısıtlayıcı etkeni katman oluşturulamamasıdır.

Extrusion bioprinting: Temaslı bir baskı yöntemidir. Doku iskeleti için ısı kontrollü polimerize materyal kullanılmaktadır. Temaslı bir yöntem olduğu için hücrelere zarar vermektedir. Bu nedenle doku mühendisliğinde asellüler iskeletin basımında tercih

edilmektedir. Başlık içine depolanmış substrat, temaslı bir şekilde mekanik ya da pnömotik yöntemle biyo-iskelete püskürtülmektedir.

Laser bioprinting: Pulsed bir lazer kaynağından çıkan lazer ışınları ile hücre emdirilmiş amorf doku iskeleti, kenarlarından buharlaştırılarak sanki taştan heykel yontuluyormuş gibi şekillendirilir. Yüksek çözünürlük ve hücre canlılığının yüksek oranda korunması gibi avantajlarının yanı sıra maliyet gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Üretilen dokuların avasküler, alenfatik, anervöz yapıda olması, doku katmanlarının bir arada ancak birbirleri ile etkileşimsiz olması halen önemli bir sorun olarak karşımızda durmaktadır. Buna karşın karaciğer ve böbrek üretimi ile ilgili ümit verici gelişmeler bildirilmektedir [27].

4.1.2. Ortez-Protez İmplant Üretimi

Bireyin kendi dijital görüntülerinin kullanılmasıyla kısa sürede, kişiye özel, ucuz implant ve protez üretebilme imkânı dişçilik, ortopedi, plastik cerrahi, göğüs cerrahisi ve kalp cerrahisi alanlarında oldukça popülerleşmiş ve günlük hayatta kullanılmaya başlanmıştır. Diş, kemik ve kırık yapılar bilgisayarlı tomografi (BT) ve manyetik rezonans (MR) görüntüleme herhangi bir “ince ayar” (post production-fine tuning) işleminden geçirmeye gereksinim duymadan hacimlendirilebildiğinden özellikle kemik ve kırık defektlere yönelik hızlı üretim yapılabilmektedir. Trakeobronkomalazili çocuklarda hızlı prototipleme ile üretilmiş stent uygulaması, travma, tümör ya da cerrahi sonrası oluşmuş kemik defektlerin mürekkep püskürtmeli üç boyutlu yazıcı ile üretilmiş artifisyel kemik onarımı, üç boyutlu yazıcılar ile üretilen hastaya özgü sentetik kalp kapakçıklarının kapak replasmanında kullanılması ilgi çekici ve heyecan uyandırıcı örneklerdir [27].

İmplant sözcüğü Latince in=içerisine ve planto=ekme, dikme, yerleştirme, gömme anlamına gelen sözcüklerin birleşiminden oluşmuştur. Anlam olarak ise bir fonksiyon elde etmek amacıyla, uygun bir yere yerleştirilen organik veya inorganik cisime verilen addır ve Fransızca’dan diğer dillere geçmiştir. İmplantasyon ise bu yerleştirme işlemine denilmektedir. Tıpta, implantasyon bir materyalin vücut içerisine yerleştirilmesi anlamına gelmektedir [31].

Dental implant uygulamalarında kişiye özgü implant uygulaması hasta konforunun yanı sıra sağlık personeli için de kolaylık sağlamaktadır. İmplant üreticileri tarafından hazır olarak kullanıma sunulan prefabrike dayanaklar biyolojik uyumları ve üstün mekanik özellikleri sayesinde altın standart kabul edilmelerine rağmen, estetik görüntüyü yeterince sağlayamamaları, implantın idealden uzak açılanma ile yerleştirilmeleri sonucunda yetersiz kalmaları, ideal dişeti çıkış profilini verememeleri ve hijyenin devamlılığına engel temizlenemeyen bölgeler oluşmasına neden olmaları sebebiyle yerlerini zamanla CAD/CAM teknolojisi ile ideal şekilde hazırlanabilen kişiye özel dayanaklara bırakmaktadır. Kişiye özel dayanakların hem fonksiyon hem de estetik açıdan prefabrike dayanaklara göre birçok avantajının bulunduğu çok sayıda çalışma tarafından bildirilmektedir. 1985'te klinik ortamda herhangi bir laboratuvar işlemine tabi tutulmadan şekillendirilen ve ağızda uygulanan ilk kron protezi yapılmıştır [31].

Kişiye özel implantların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. İlk olarak 1982 yılında diş hekimliği alanında ticari olarak piyasaya sunulan implantlar günümüzde tıp, biyomedikal ve sağlık alanlarında da kullanılmaya başlamıştır. Eklemeli imalat yöntemlerinde meydana gelen gelişmelerle birlikte kişiye özel tasarlanan implantların imalatı bu gelişmelere paralel olarak kolaylaşmıştır. Özellikle 3B yazıcıların imalat sektörüne girmesiyle beraber kişiye özel implant tasarımlarının üretimi hızlanmış, üretim maliyeti düşmüştür.

Kişiye özel implant tasarımı:

- Ameliyat süresinin kısılmasını sağlamaktadır,
- Detaylı, hassas çalışmalarının yürütülmesini sağlamaktadır,
- 3 boyutlu hasta geometrileri kullanılarak en uygun tedavi yöntemini seçmeyi sağlamaktadır,
- Standart implantlara göre vücuda daha fazla uyum göstermektedir,
- Gerilme dağılımı analizi yapılarak implant ömrünün artırılmasını sağlamaktadır,
- Hastanın iyileşme süresini kısaltmaktadır [33].

4.1.3. Cerrahi Planlama ve Radyolojik Uygulamalar

Özellikle travma cerrahisi, onkolojik cerrahi ve rekonstruktif cerrahide operasyon öncesi planlama, operasyona özgü kılavuz, demonstratif kopya oluşturmada ve oluşacak defektlerin ne şekilde onarılacağını planlamada faydalı olduğu bildirilmektedir. Karmaşık anatomik özelliklerin operasyon öncesi dönemde anlaşılması, olası risklerin hesaplanması, planlanan girişimin simüle edilmesi ve cerrahi ekip tarafından tartışılması gibi avantajları olduğu bildirilmektedir. SOUZAKİ ve arkadaşlarının 3 yaşında PRETEXT IV hepatoblastom olgusunda polimer küreleme ile ürettikleri karaciğer modeli üzerinde yaptıkları cerrahi planlama ve uyguladıkları cerrahi girişimin başarılı sonuçlarını bildirdikleri makale, üç boyutlu yazıcıların çocuk cerrahisi alanında cerrahi hazırlıkta kullanımı ile ilgili oldukça iyi bir örnek olmaktadır [27].

4.1.4. Farmakolojik Uygulamalar

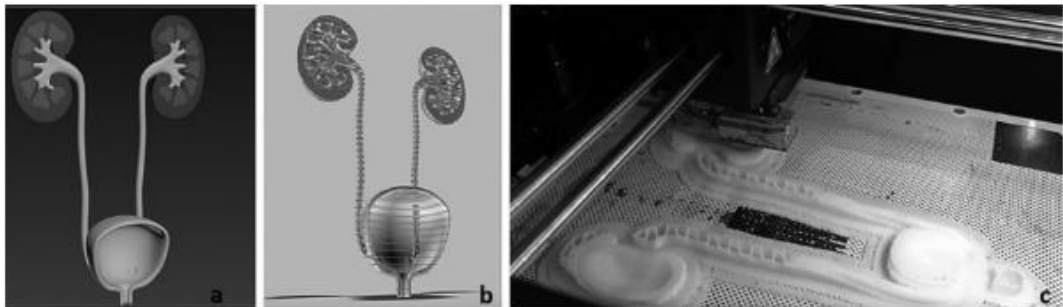
İlaç sektörü de üç boyutlu yazıcıların kullanım alanlarından biri haline gelmiştir. Bu alandaki çalışmalar kişiye özgü dozların hazırlanması, birçok ilacın aynı anda alınmasını sağlayan birden fazla katmanlı ilaç hazırlanması ile beraber ilaçların homojenize formlar halinde yapılabilmesi üzerine kurulmuştur. Biyoprinterda bulunan mürekkep damlacıkları içindeki ilaçlar sıklıkla selüloz, biyoseramik ve mikroporlu kâğıt gibi iskelet üzerine inkjet tekniği ile püskürtülmektedir. Böylece bireye özgü dozda tabletler her yerinde eşit dozda ilaç olacak şekilde üretilebilmektedir. Tek seferde birden fazla ilaç kullanılması gerektiği durumlarda aynı tablete katman katman sığdırılmış bir şekilde üretilebilmektedir. Özellikle yaşlı ve unutkan, bakım evlerindeki hastalar ya da doz ayarlaması zor olan çocuk ve organ yetmezliği olan hastalarda karşılaşılan sorunların önüne bu yöntem ile geçilmiş olmaktadır [27].

4.1.5. Sağlık Sektöründe Eğitim Uygulamaları

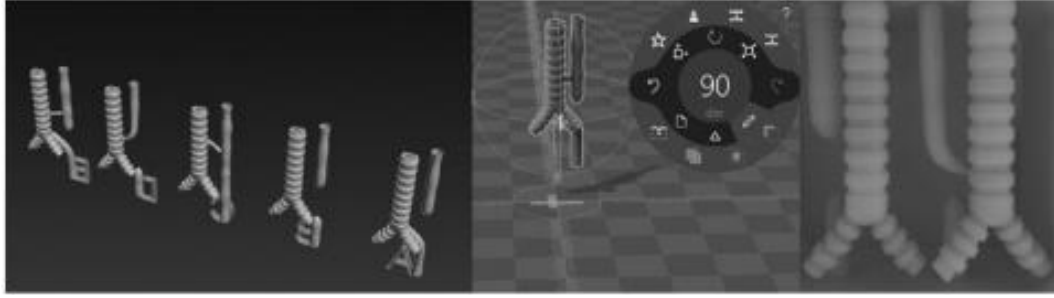
Birçok eğitim alanında olduğu gibi sağlık eğitimi alanında da gelişen bilgisayar teknolojisi ve yazılımların kullanımının yaygınlaşması ile görsel materyallerin eğitimde kullanımını artırmaktadır. Üç boyutlu görsel ve animasyonlar eğitim alanında kullanılması hastaların radyolojik görüntülerinin hacimlendirilmesi yoluyla üretilen gerçek hastalık modellerinin kullanımı hasta, öğrenci ve asistanların eğitiminde yaygınlaşmaktadır. Günümüzde hali hazırda tasarlanıp üretilen eğitim modelleri vasıtası ile uygulamalı öğrenci eğitiminin etkinliğinin ölçüldüğü randomize prospektif bir çalışma yürütülmektedir. Bu çalışmada bilgisayar destekli tasarım (CAD) programları ile hazırlanan ve “Cerrahpaşa Modelleri” ismi verilen özgün eğitim modelleri üç boyutlu yazıcılarda üretilerek eğitimde kullanılmaktadır (Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5) [27].



Şekil 4.3. Toz plastikten lazer sinterleme yöntemi ile üretilmiş cerrahpaşa eğitim modelleri.



Şekil 4.4. Bileşimli yığma yöntemi ile cerrahpaşa üriner sistem modelinin PLA filamentten üç boyutlu yazıcıda basılması [27].



Şekil 4.5. ABS plastikten FDM baskı basılması [27].

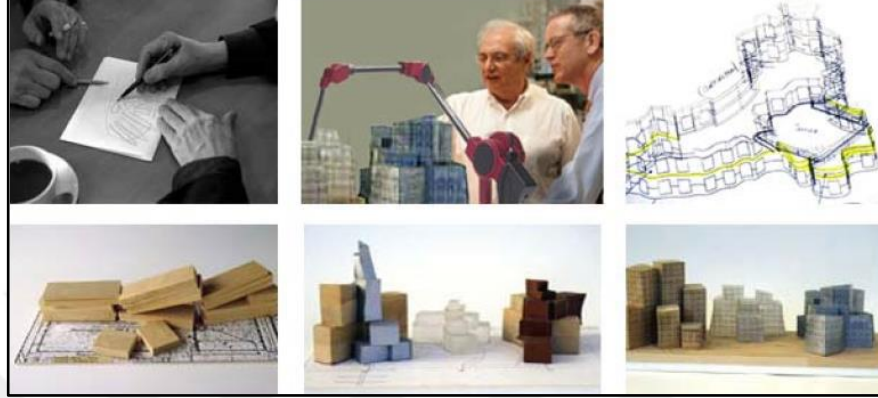
4.1.6. Cerrahi Enstrüman Üretimi

Hızlı prototipleme yöntemi sayesinde cerrahın ihtiyacını karşılamaya yönelik uygulanacak yöntem özgü, düşük maliyetli ve ergonomik materyallerin üretimi mümkün olmaktadır. Kullanılan baskı yöntemi ve malzemeye göre maliyet, baskı süresi ve parça dayanıklılığı farklılık göstermektedir. Birçok merkezde dayanıklılık ve maliyeti düşürmeye yönelik çalışmalar sürdürülmektedir. Ülkemizde ise Mammadov ve arkadaşları bu alanda ilk çalışmalarını sunmuş ve materyallerin güçlendirilmesi ve prototiplerin geliştirilmesine devam ettiklerini bildirmişlerdir [27].

4.2. MİMARLIK UYGULAMALARI

Mimarlık alanında da üç boyutlu (3B) yazıcıların kullanımının yaygınlaşması ile önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Bunların en önemlisi “test modellerinin (mock-up) nihai ürün olabilme potansiyeli” ile mimarlığın inşa etme eylemlerinde şahit olduğumuz değişimdir [34]. Yazılım teknolojilerindeki ve robotik üretimdeki gelişmeler, mimari tasarım sürecinde analiz, simülasyon ve bilgisayar destekli imalatın daha hassas, hızlı ve ucuz yapılabilmesini sağlamış ve tümünü tek bir yazılım içerisinde gerçekleştirebilme olanağını sağlamıştır. Karmaşık geometrilerin hatasız hesaplanabilmesi ve yüksek teknoloji ürünü malzemelerin üretim aşamasından önce sanal ortamda simüle edilebilmesi yepyeni bir tasarım yöntemi ve anlayışını mimari yöntemler içerisine girmesine neden olmuştur. Günümüz mimari tasarım süreci, gelişmiş karmaşık malzeme ve robotik üretim teknolojilerinin kullanımı ile endüstriyel tasarım alanında olduğu gibi bilgisayar destekli ürün geliştirme sürecine dönüşmüştür. Bilgisayar ortamında ürün geliştirme sürecinde hızlı prototip oluşturma tasarım ve

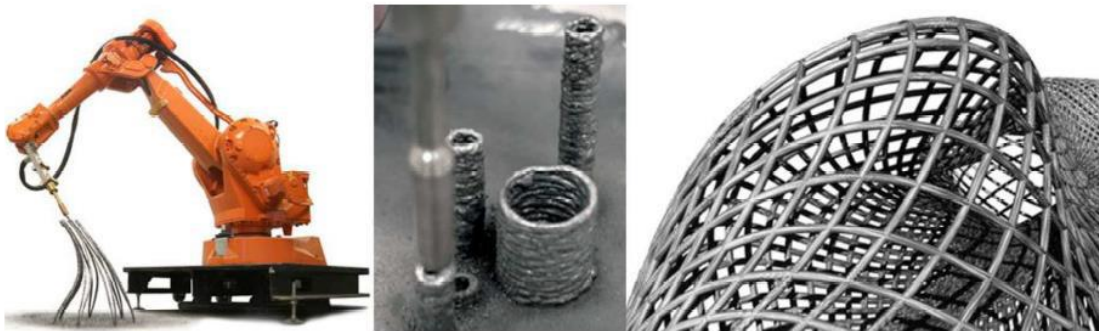
üretim yönteminin belkemiğidir. Tsarlanan yapının ölçekli protatipi üretiminin yanı sıra bire bir ölçülü üretimi de bu teknoloji sayesinde gerçekleştirilir [35]. Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de erken tasarım aşamasında üç boyutlu tarayıcı ve maket kullanımı örneği verilmiştir.



Şekil 4.6. Gehry tasarım ofisi, Zollhof kompleksi erken tasarım aşamasında eskiz üç boyutlu tarayıcı ve maket kullanımı [35].



Şekil 4.7. 3B baskı ile inşa edilmiş evin perspektif, plan ve kesit görünümü [34].



Şekil 4.8. Erimiş metali bir kaynak makinası gibi kullanan 6 akslı robot yazıcı [34].

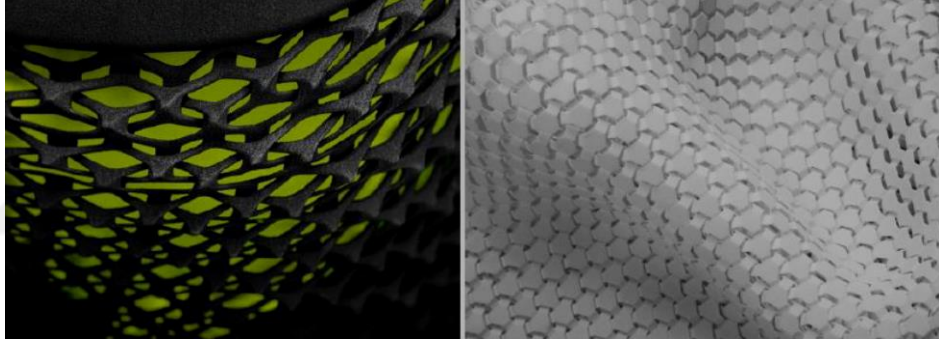
4.3. TEKSTİL UYGULAMALARI

Günümüzde endüstri alanındaki gelişmeler tasarım ve üretim yöntemlerinde değişimlere yol açmış bulunmaktadır. Değişen malzemeler ve üretim yöntemleri, tasarımı geçmişten bugüne etki etmektedir. Tasarım; bilim, teknik ve teknoloji ile yaratıcı düşünce ve estetiğin birleştiği bir alan olarak tanımlanmaktadır. Tasarım, içerisinde sanatsal değerleri barındırıp teknik donanım ve bilimsel yöntemlerle desteklenirse ortaya çıkan ürün, sanatı endüstriyel üretimle birleştirme yetisi de sergilemiş olmaktadır. Endüstrinin gelişmesinde devrim yaratabilecek teknolojiler ve bu teknolojilerin muhtemel etkileri ile ilgili çeşitli çalışmalar ve raporlar bulunmaktadır. Bu raporlarda yapay zekâ, bulut bilişim, giyilebilir cihazlar, otonom taşıtlar, ileri robot bilim, akıllı malzemeler ve üç boyutlu baskı, yeni kuşak genom bilimi gibi teknolojilere yer verilmiştir. Tekstil ve moda sektörü de bu gelişimlerin dışında kalmamıştır. Moda ve tekstil sektöründeki tasarım süreçleri de bu gelişmelerden etkilenmiş bulunmaktadır [36].

Tekstil sektöründeki son yenilikçilik alanı da 3B yazdırma teknolojisidir. 3 boyutlu prototipler moda ve tekstil tasarımcılarının yaratıcılıklarını destekleyerek, alışılan yöntemlerin aksine tasarımı soyutlaştırma aşamasında etkin olmaktadır. Numune ve kalıp maliyetlerini azaltarak tasarımcıya renk, model ve desen konusunda alternatifleri göz önünde bulundurup değerlendirme imkânı sağlamaktadır. 3 boyutlu yazıcıların her eve girmesiyle çağımızın temel üretim teknolojisi haline geleceği düşünülmektedir. Günümüzün yenilikçi teknolojilerden biri haline gelen 3B baskı teknolojisi, giyilebilir ürünlerin oluşturulmasında bir grup tasarımcı tarafından Electroloom adı verilen bir cihaz geliştirilmiştir. Dünyanın ilk tekstil baskı tezgâhı sayılan bu elektro eğirme cihaz ile istenen özelliklerde bir tişörtü tamamen bitmiş ürün olarak üretmeyi başarmıştır. Bu gelişme ile artık günümüz tekstil sektöründe 3 boyutlu kumaşların ve bitmiş hazır giyim ürünlerinin basılması ile kullanılması yakın gelecekte bizleri beklemektedir. 3B yazdırma teknolojisi, hızlı üretim, katmanlı üretim, e-üretim, serbest biçimli üretim, doğrudan dijital üretim gibi farklı şekilde adlandırılmaktadır [37]. Günümüzde 3 boyutlu yazıcıların aktif olarak kullanılması ile ayakkabı, takı, çanta ve günlük kullanımda henüz çok yaygınlaşmamış olsa bile giysiler de yapılabilmektedir [36] (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10).



Şekil 4.9. Üç boyutlu yazıcı ile bütün olarak üretilen giysi [36].



Şekil 4.10. Dokuma ve örme kumaşlara alternatif üç boyutlu yazıcılarla elde edilmiş yüzeyler [36].

4.4. YAPI UYGULAMALARI

Üç boyutlu yazıcılar ile uygun materyaller sayesinde birçok alanda sektörel ihtiyaçları karşılayacak ürünler elde etmek mümkündür. Bu yazıcıların ve materyallerinin gün geçtikçe gelişmesi ile yapı uygulamalarında da farklı çalışmalar ele alınmaktadır.

İnşaat alanında kullanma amacı ile üretilen ilk mobil 3 boyutlu yazıcı ile 24 saat içinde 37 metrekarelik bir ev inşa edilmiştir ve maliyeti yaklaşık 10 bin dolar tutmuştur. Bu şekilde yapılan evin duvarları, odaları ve cephe giydirmesi beton ile yazdırılmıştır. Kapı, cam ve mobilyalar ise sonradan yerleştirilmiştir. Yazıcıyı Apis Cor şirketi üretmiş ve Rusya'daki tesisinde 37 metrekarelik bir ev inşa etmişlerdir. Bu ev oturma

odası, mutfak, bir koridor ve banyodan oluşmaktadır. 24 saat içerisinde inşa edilen evin ömrü şirkete göre 175 yıldır. Dünyanın ilk 3B yazıcı ile üretilen yapısı ise Çin’de inşa edilmiştir. Fakat 3B yazıcı ile üretilen yapı malzemeleri, daha sonra inşaat alanına taşınmıştır. Bir başka Çin merkezli yapı firması da inşaat alanında 3B yazıcı kullanarak Şekil 4.11’de gösterilen iki katlı bir bina inşa etmiş, binanın inşası da 45 gün sürmüştür [38].



Şekil 4.11. İlk mobil üç boyutlu yazıcı ile 24 saatte 37 metrekare inşa edilen ev [38].

Bunların yanı sıra Winsun New Materials isimli firma üç boyutlu tabakalı üretim teknolojilerini çimento ile cam yünü karışımı Şekil 4.12’de gösterilen hammadde kullanarak 24 saat içerisinde 10 adet ev üretmiştir [39].



Şekil 4.12. İlk üç boyutlu katmanlı teknolojiler ile çimento-cam yünü bazlı malzemeden yapı üretimi örneği [39].

CAD-CAM yazılımları ile beraber malzeme kalitesi ve çeşitliliği arttıkça ticari amaçlı ve hobi amaçlı kullanıcılar için kullanılabilirlik, fiyat ve güvenilirlik açısından alternatifler oluştuğunda bu teknolojiler ev ve ofisler için belki de vazgeçilmez olacaktır. Kullanıcılar için tek yapılması gereken sayısal veriyi internet üzerinden indirmeleri veya kendileri tasarlamış oldukları yapının verisini oluşturduktan sonra yazıcıya göndermek ve ürünü elde etmek olacaktır. Bütün bunlar değerlendirildiğinde 3 boyutlu yazıcılar ve katmanlı üretim sistemleri çok çeşitli yeniliklere açıktır [39].

4.5. KALIP UYGULAMALARI

Üç boyutlu yazıcı ile elde edilen parçaların kullanımı ile malzeme ve işçilik maliyetlerinde önemli ölçüde iyileşmeler görülmektedir. Seri üretime geçilmeden önce veya plastik enjeksiyon kalıplarının imalatı yapılmadan alınan çıktılar sayesinde önceden montaj hattında yaşanacak sorunların görülmesi veya müşteri memnuniyetini etkileyecek parça üzerindeki desen sorunları, kalite ve dayanım sorunlarına daha hızlı çözümlerin bulunarak kalıp üretiminin bu işlemler sonrasında yapılması hem zaman hem de maliyet açısından büyük önem arz etmektedir. Her bir değişim kararı üretimi yapılmış olan kalıp üzerine işlenerek ek maliyete sebep olmaktadır. Kimi zaman üretimi yapılmış olan kalıplardaki modifikasyonlar yeni bir kalıbın yapılmasından daha pahalı olabilmektedir.

Bu gibi durumların önüne geçmek amacıyla parçaların 3 boyutlu yazıcı ile kalıbı hazırlanmadan yazdırılarak modifikasyonlarının parça üzerinde tespit edilerek nihai parçaya ulaşıldıktan sonra kalıbın hazırlanma işlemlerine başlanılması gerekmektedir [40].

Ayrıca 3 boyutlu yazıcılar ile yüksek detaylı ve fonksiyonel parçaların üretimi, konsept modeller, tasarım prototipi, hızlı kalıp ve hızlı döküm için gerekli parçaları üretmek mümkündür. Gerekirse modelden bir döküm yöntemi ile kolaylıkla ve kısa bir sürede kalıp üretilebilmektedir.

Hızlı prototip ile kalıp üretimi geniş bir ürün yelpazesine sahip olan verimli ve oldukça hızlı bir üretim yöntemidir. Prototip kalıp üretimi, maliyetlerin düşük olmasına ve çok miktarda parça üretilmesine Şekil 4.13'te gösterildiği gibi imkan sağlar [14].



Şekil 4.13. 3B yazıcıda üretilmiş kalıp ürünler ve bu ürünlerden elde edilmiş nihai ürünler [41].

4.6. HEYKELTIRAŞ UYGULAMALARI

Üç boyutlu yazıcıların sanat alanındaki kullanımı henüz çok yenidir. 3B üretimlere yönelik CAD programları vasıtası ile tasarıma ait işlevsel hatalar görülebilmektedir. İnsanın biçimlendirme ve tasvir yeteneğinin bir ürünü olan heykel sanatı, tasarımları somutlaştırmaya yardımcı olabilecek 3B yazdırma teknolojileriyle etkileşimde bulunduğu söylenebilmektedir.

Üretilmesi amaçlanan heykelin önce eskizi yapılmakta ve daha sonra eskizi referans alan kil model hazırlanmaktadır. Daha sonra ise kil modelin alçı kalıpları oluşturulabilmekte ve alçı modeller üretilmektedir. Oldukça zahmetli olup emek isteyen ve zaman alan bu aşamanın çıkış noktası endüstriyel tasarım uygulamaları ile hemen hemen benzeşmektedir. Bu nedenle kağıt üzerinde oluşturulan eskizlerin üç boyutlu hale getirilmesini amaçlayan bu aşamada sonuç almak amacıyla üç boyutlu yazıcılardan faydalanılabilmektedir.

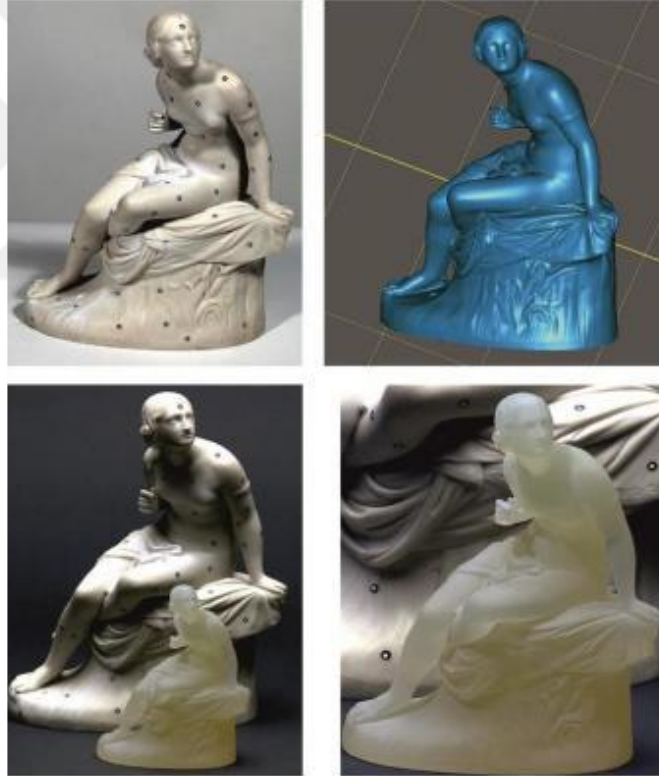
Heykel sanatında tasarımcıların tasarladığı modellerinin yapımı sırasında heykel sanatçılarının ön modelleri yapılmaları oldukça zaman almaktadır. Bu doğrultuda, seri üretimin yapılmasına olanak sağlayan bir uygulamanın var olmasına rağmen, heykeller için kalıp hazırlama ve döküm işlemlerini gerçekleştirmek için iş gücü ihtiyacı doğurmaktadır.

Bundan dolayı plastik sanatlar bünyesinde üretimde zaman kazanmaya imkan veren teknolojilere yönelmek, ön modelleme aşaması için sürecin kısalmasına sağlayabilmektedir.

CAD uygulamaları ve üç boyutlu yazıcıdan edinilen ön modellemeler, kinetik heykel çalışmalarında tasarım sürecinde, eserin niteliğini ve mekanizmalarını denetlemek adına faydalı olmaktadır. Söz konusu cihazlarla üretilen parçalar bir araya getirilerek, heykelin oluşturan mekanizmaların işlevleri sanal ortamda olduğu gibi gözlemlenebilmektedir. Buna ek olarak, heykelle ilgili sunumlarda üç boyutlu yazıcı teknolojisi sayesinde ön modeller hızla çoğaltılabilmektedir. Belirtilen teknik yaklaşımların yanında, batı ülkelerinde bazı sanatçılar bu tür yazıcıları sanat eserinin kendisini üretmek amacıyla da kullanmaktadır. Örneklendirmek gerekirse; Alman heykel sanatçısı Karin Sander, 2002 yılında üç boyutlu tarama sistemi ve üç boyutlu yazıcılar yardımıyla insan figürlerinden oluşan heykeller üretmiştir. Küçük ebatlı olan ve günlük yaşamdaki hareketlere odaklanan bu heykellerin dışında; Jo Hayes-Ward ön modelleme teknolojisini takı tasarımlarında kullanırken, Justin Marshall CAD programlarıyla hazırladığı yapıtlarını hızlı ön modelleme sistemleriyle oluşturmuştur [42] (Şekil 4.14, Şekil 4.15).



Şekil 4.14. Üç boyutlu tarama sistemi ve üç boyutlu yazıcılar yardımıyla insan figürlerinden oluşan heykeller [43].



Şekil 4.15. Tarama yapılmış bir heykelin aslı ve modelin hızlı prototip yöntemi ile polimerden üretilmiş kopyası [43].

4.7. KUYUMCULUK UYGULAMALARI

Çağımızda, kuyumculuk sektöründeki rekabetin artışı, özgün ve yaratıcı tasarımların oluşturulmasını hemen hemen gerekli kılmaktadır. 3 boyutlu hızlı prototipleme

teknolojileri, bu nedenle tasarımcıların işlerini oldukça kolaylaştıracak baş yardımcıları haline gelmişlerdir. Bu teknolojiler sadece kalıp üretimini değil aynı zamanda modellerin doğrudan üretilmesini de kolaylaştırmakta ve aynı zamanda tasarım özgürlüğünü üretim kaygıları olmaksızın artırmaktadır. Kullanıcının takı üretim sürecine dâhil edilmesini mümkün kılan 3B hızlı prototipleme teknolojileri bu sayede kullanıcı memnuniyetinin artmasında önemli bir unsur haline gelmesini sağlamıştır.

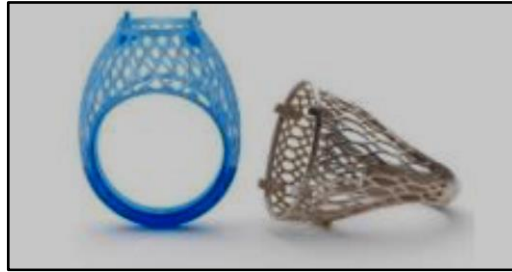
Üretim alanına baktığımızda eklemeli imalat yöntemleri yeni teknolojiler arasında ön sırada yer almaktadır. Günümüzde hızlı prototipleme teknolojileri; otomobil, havacılık, medikal, kuyumculuk, mimarlık başta olmak üzere daha birçok alanda kullanımı hızla artmaktadır.

Tasarım perspektifinden bakıldığında eklemeli imalat, geleneksel imalat teknikleri kullanılarak üretilmesi imkânsız olan formları yapmak için daha fazla tasarım özgürlüğü sağlamaktadır. Tasarımcılar, bu yeni teknolojiyi kullanarak yaratıcılıkları için herhangi bir kısıtlama olmaksızın tasarladıkları değişik varyasyonlarda prototipleri inceleyerek daha mükemmel bir tasarım ortaya koyabilir ve kendi tasarımlarını test edebilmektedirler. Diğer taraftan geleneksel yöntemlerde el işçiliği ile yapılan prototiplerde hata oranının yüksek olması ve uzun zaman alması tasarımcıyı hem işlem süresi hem de tasarım esnekliği gibi yönlerden kısıtlamaktadır. Eklemeli imalat teknolojileri bu yönüyle özellikle tasarım ve yaratıcılığın ön plana çıktığı kuyumculuk sektöründe ciddi avantajlar sağlamaktadır. Buna ek olarak bu teknolojiler kişiselleştirilmiş, sipariş üzerine tasarlanıp üretilen kuyumculuk ürünlerine yönelik yüksek piyasa talebini karşılamak için de uygun olmaktadır.

Hızlı prototipleme teknolojileri, yüksek hassasiyetleri sayesinde ve makinadan direkt döküm ve kalıplamaya farklı malzeme kullanımının imkânı sayesinde kuyumculuk sektöründe çok önemli bir yer almıştır. Her ne kadar el işçiliği üzerine kurulmuş bir meslek dalı olsada, rekabetin en çok kendini gösterdiği kuyumculuk sektöründe teknoloji, el işçiliğinden üstünlüğünü kanıtlayarak sektörde yerini almış durumda olmaktadır.

Bugün birçok tasarımın kopyalanması kolay hale gelmiştir. Özellikle kuyumculuk sektöründe kopyalanma süresi çok kısa olmaktadır. El ile kopyalanması mümkün olmayan ya da üretimi teknoloji gerektiren modellere ihtiyaç duyulmaktadır. El ile yapımı mümkün olmayan veya zahmetli el işçiliği gerektiren oldukça karmaşık geometrili mücevherlerin yapımında başarılı olan hızlı prototipleme teknolojileriyle, silikon kalıplama yöntemi ile kopyalanması mümkün olmayan karmaşık modeller kolaylıkla üretilmektedir. Bu teknolojileri kullanan tasarımcılar, ustaların yeteneğini düşünmeden özgün üretim kaygısını daha az taşıyarak kopyalanabilmesi zor, satılabilir ve müşteri odaklı modeller geliştirebilmektedirler.

Hızlı prototipleme teknolojileri, kullanıcıyı da tasarım ve üretim sürecine katarak memnuniyet oranını artırmakta olup kuyumculuk sektöründe prototip yapımında hızlı prototipleme yöntemleri direkt veya dolaylı olarak kullanılmaktadır. Sıklıkla kullanılan direkt üretim sağlayan hızlı prototipleme yöntemleri SLS ve SLM olmakla birlikte, dolaylı olarak üretimde kullanılan hızlı prototipleme yöntemleri ise FDM, SLA ve MJM olarak belirlenmiştir [44]. Hızlı prototipleme ile üretilmiş örnekler Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.16. Hızlı prototip ile üretilmiş yüzük [44].



Şekil 4.17. Üç boyutlu yazıcı kullanarak tasarlanan yüzük [43].

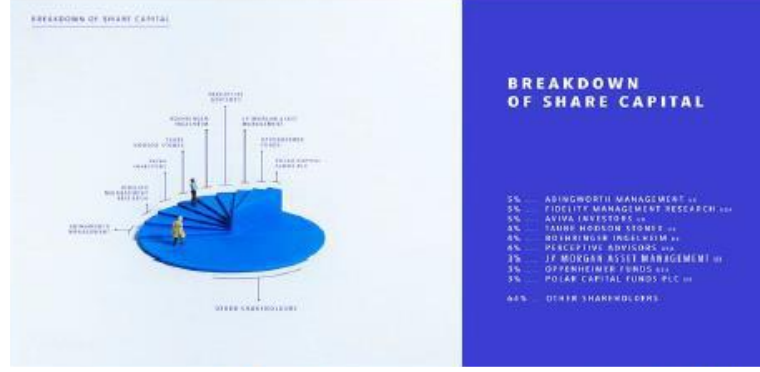
4.8. GRAFİK TASARIM UYGULAMALARI

Yeni bir teknoloji olan üç boyutlu yazıcıların kullanım ve etki alanı her geçen gün hızla artmaktadır. Grafik tasarım disiplini de üç boyutlu yazıcının etkisinin hissedildiği alanlardan biridir. Grafik tasarım disiplini üç boyutlu yazıcılar ile birçok yönden etkilenecek olup bu etkiler en çok basılı ürünler üzerinde görülecektir. Gelişmekte olan bu yeni teknolojinin sağladığı imkanlarla yeni yaklaşımlar denenebilecek ve tasarım problemlerine farklı çözümler üretilebilecektir. Grafik tasarım içinde yer alan oyun ve ambalaj tasarımı, animasyon ve oyuncak gibi ürünlerin üretiminde üç boyutlu yazıcılar kullanılabilir. Üç boyutlu yazıcı; insan vücudunun boyutları ile ilgilenen özel bir bilim dalı olan ve antropometrik adı verilen modellerin oluşturulması, stop motion'a yönelik senaryo ve karakterlere ilişkin sistemler, görme engelli bulunanlara yönelik dokunsal yapıların algılanması, ambalaj tasarımlarına yönelik yeni konseptlerin geliştirilmesi gibi tasarım problemlerinin çözümünde bir araç olarak düşünülebilmektedir.

Önümüzdeki yıllarda grafik tasarım eğitiminde 3 boyutlu tasarıma yönelik bilgisayar yazılımlarının daha fazla önem kazanacağı düşünülmektedir. Çeşitli ülkelerdeki kurum ve üniversitelerde kurulmuş olan 3 boyutlu yazıcı merkezlerinde Şekil 4.18 ve 4.19'da verilen örnek modeller gibi 3 boyutlu tasarım ve eserlerin üretimi yapılabilmektedir [43].



Şekil 4.18. Üç boyutlu kitap kapağı tasarımı [43].



Şekil 4.19. Üç boyutlu yazıcı ile üretilen bilgi grafiği [43].

4.9. EĞİTİM UYGULAMALARI

Eğitim ortamlarında 3 boyutlu yazıcıların kullanımlarına bakıldığında, öncelikli teknoloji tercihleri içerisinde bulunmadığı görülmektedir. Eğitim alanında günümüzde çok fazla tercih edilmiyor olmalarının önemli etkenlerinin başında son kullanıcı pazarına yönelik 3 boyutlu yazıcıların ortaya çıkma sürelerinin kısa olmaları gelmektedir. Buna ek olarak öğrenme-öğretme ortamlarına teknolojinin entegrasyonu konusunda da dikkat edilmesi gereken önemli bazı durumlar bulunmaktadır. Bu durumlardan birincisi ve belki de en önemlisi 3 Boyutlu yazıcı teknolojilerinin eğitim kurumlarına uygun bir şekilde kullanılabilmesi için teknik destek, yönetsel destek, yazılım ve donanım erişimi gibi okullara ait altyapı faktörlerinin uygun olması durumudur. Öğrencilerin teknolojiyi kullanarak öğrenmesi ve gerektiği yerlerde uzman desteği sağlanabilmesi bu konuya verilebilecek en güzel örnektir. Buna ek olarak güncel bir teknoloji olması sebebiyle 3 Boyutlu yazıcılara ait yazılım, donanım ve ham madde giderlerinin yüksek olması, bu teknolojilerin eğitim ortamlarında yaygın bir biçimde tercih edilememesine yol açmaktadır. Dolayısıyla 3 Boyutlu yazıcıların sınırlılık olarak nitelendirebileceğimiz maliyet faktörlerinin üstesinden gelme adına açık-kaynak teknolojilerden yararlanma imkânı bulunmaktadır. Öğrencilerin hayal gücünü geliştirebilmesi, kendi fikirlerini 3 Boyutlu yazıcılarla somut şekillere dönüştürebilmesi ile mümkündür. 3 boyutlu yazıcılar sayesinde öğrenciler tasarımını yaptıkları parçaları somutlaştırıp istenilen ölçekte maketler yaparak inceleyebilmektedir. Bu sayede birebir üretim yapabilen öğrencilerin yeni fikirler geliştirmeye daha hevesli yaklaşacağı düşünülmektedir (Brown, 2015). Yeni arayışlar içine giren öğrenciler de çevresinde var olan sorunlara çözüp üretme, yeni

tasarımlar ile daha önce yapılanları geliştirme çabaları artmaktadır. Üretimi yapılan parçalar eğitim açısından öğrencilerde tam ve kalıcı hale gelmesinde yardımcı olmaktadır.

Eskiden öğrenciler yaptıkları tasarımları maketler yaparak test edip görebilirken günümüzde 3 boyutlu yazıcılar sayesinde zamandan ve maliyetten tasarruf ederek tasarımlarını üretebilmektedir. Zamandan ve maliyetten yapılan bu tasarruf öğrencileri yeni tasarımlar yapmaya teşvik etmektedir. Bu sebeple üretkenliği artırmaya yönelik teknoloji denilebilir. 3 boyutlu yazıcılar sayısal modelden üretim yaptıkları için 3 boyutlu tasarımı yapılmadan baskı yapmak imkansızdır. 3 boyutlu tasarımlar farklı kaynaklar kullanılarak üretilir. Örnek verecek olursak CAD programları ile 3 boyutlu tasarım yapılabilir, 3 boyutlu tarayıcılar ile matematiksel model alınabilir veya basit şekilleri yazıcıya G kodları kullanılarak model oluşturulup basılabilir. (O'NEILL ve WILLIAMS, 2013). 3 boyutlu yazıcı ile basılan ürünler öğrencilere kavranması zor geometrik cisimleri göstermek için kullanılabilir (SEGERMAN, 2012).

3 boyutlu yazıcılar sayesinde mekanik parçaların minyatür modelleri üretilip proje çalışmaları yürütülebilmektedir. Maliyet ve zaman öğrencilerin kendilerini geliştirmelerinde kilit rol oynamaktadır. Düşük maliyetli basit 3 boyutlu yazıcı sahibi olan bir öğrenci tasarım konusuna hevesle yaklaşır kendini geliştirerek öğrenmesine yeni bir boyut katabilir. [45].

4.10. GÖRSEL SANATLAR UYGULAMALARI

Geliştirilmiş bilgisayar yazılımları vasıtası ile önceleri iki boyutlu tasarımlar yapılabilmekteyken, günümüzde uzun zamandan beri üç boyutlu sanal ortamda grafik, resim, fotoğraf ve heykel gibi bir çok alanda; tasarım yapma, düzeltme ve değiştirme imkanı yakalanmıştır. Sanatçılar ve tasarımcılar tasarladıkları ürünü yeni teknolojilerin sunduğu bilgisayar ek donanımları vasıtası ile iki veya üç boyutlu çıktı olarak gerçek ortamlarda sergileyebilmektedirler. Sanatçılar teknolojinin sunmuş izleyiciyi harekete geçirmek ve etkileyebilmek arayışlarında olduklarından işitsel ve görsel öğeleri birleştiren çalışmalar yapmaktadırlar.

Günümüzde birçok sanatçı bilgisayarlar vasıtası ile tasarımlarını hazırlamaktadırlar. Tasarımlarının en iyi örneğinin çıktılarını alarak olduğu gibi veya üzerinde düzeltmelerde bulunarak eserlerini hazırlamaktadır. Bu bilgisayar programları sayesinde üç boyutlu bir tasarım eklemeli üretim yöntemiyle çalışan hızlı prototip makinalarıyla veya CNC makinalarıyla üç boyutlu modellere dönüştürülebilmektedir.



BÖLÜM 5

HIZLI PROTOTİPLEMENİN TASARIMDAKİ YERİ VE ÖNEMİ

Günümüzde firmaların rakipleriyle olan rekabetlerini sürdürebilmeleri için ürünlerini kısa sürede pazara sürmeleri oldukça önemlidir. Bu sürecin kısalmasının yanı sıra, klasik üretim yöntemleri ile pahalı ve süreç isteyen parçaların imalatında kolaylık sağlanması ve pazara sunulduktan sonra sorun giderici tasarım gereksinimlerinin de minimize edilmesi hatta sıfırlanması gerekmektedir. Üreticiler arasındaki küresel rekabet ürünlerin pazardaki yaşam sürelerinin kısalmasına neden olmuş ve ürünlerin geliştirme süreçlerinin sıklaşmasına neden olmuştur. Üretim sektöründe artan teknolojik imkanlar ile ürün geliştirme sürecinin kısaltmaya devam ettiği görülmektedir. Günümüz tasarım ve üretim dünyasında müşteri odaklı ürün geliştirme artık kaçınılmaz bir gerçek olmuştur [47].

Tasarlanan ürünün birden fazla prototipi hazırlanması gerekebilir ve bu prototiplerin hazırlanması oldukça zaman almaktadır. Bu noktada 3B yazıcılar zaman kazanma konusunda bir hayli katkı sağlamaktadırlar. 3 boyutlu baskı teknolojisi çok detaylı ve karmaşık şekillerin üretiminde oldukça başarılı hale gelmişlerdir [48].

3 boyutlu yazıcılar bilgisayarda tasarımı yapılmış her türlü ürünün birebir modelini çok kısa bir içerisinde elde etme imkânı oluşturmuştur. Gelişmiş teknolojiyle prototip üretimi birden fazla farklı yöntemlerle yapılabilmektedir. Genelde çok karmaşık yapıda olmayan modellerin tasarım esnasında tasarımsal hataları görülebilir ve gerekli düzenlemeler yapılarak tasarım tamamlanmaktadır. Ancak karmaşık tasarıma sahip modellerin veya çok sayıda parçaya sahip montajlı tasarımların, sistemin çalışabilirliğinin ve montaj yapılabilirliğinin anlaşılabilmesi için prototiplerini yapmak gerekmektedir. Prototip üretiminde geleneksel yöntemlerin kullanılması genellikle pahalı ve zaman alan bir işlemdir. Prototipsiz üretimde çıkabilecek hatalar firmaları maddi kayıplara uğratmaktadır. Bu sorun hızlı

prototiplemede görülmemektedir. Prototip üretiminin temel amacı üretim öncesi tasarımın doğruluğunun, işlevsel yeterliliğinin ve estetikliğinin değerlendirilmesi ile beraber tasarlanan modelin montaj edilip sökülebilen özelliklerinin ve üretilebilirliğinin de değerlendirilebilmesidir. Bu cihazlar geleneksel üretim metodlarında olduğu gibi dolu malzemeden talaş kaldırarak değil, oluşturulan katmanları üst üste ekleyerek prototip üretebilmektedirler [12].

Bir ürünün tasarım süreci ne kadar uzun olursa o ürünün piyasaya sürülmesi de o kadar gecikir. Bu da öngörülen kârın düşmesine sebep olmaktadır. 2008 de yapılan Ürün Tasarımı ve Ürün Geliştirme anketine göre; ürünün piyasaya sürülme zamanı en kritik nokta olarak görülmektedir.

Piyasaya sürülecek ürünün üretim hızı arttığı için, firmalar ürünün tasarım sürecinde doğru ve hızlı kararlar almak zorunda kalmışlardır. Alınan bu kararlar maliyeti de etkilemektedir 3B üretim, şirketlere ürün tasarımı ve testi süreçlerinde hem zaman hem de maliyet açısından kar sağlamaktadır.

Ürünün tasarım sürecinde daha fazla prototip üretimi ile optimize edilmesi ile ürünün başarısızlık riskini en aza indirilmesi sağlanabilmektedir. 3B yazıcılar ile üretilen ürünler detaylı ve ciddi testlere dayanacak kadar mukavemetli olabildikleri için tasarımcılar işlerinden daha emin olabilmektedirler. Verilerin bütünlüğü ve güvenliği rekabetçi bir ortamda oldukça önemli görülmektedir. Güvenilir servis sağlayıcılar ile gizli STL dosyaları paylaşımı genel olarak güvenli olmakla birlikte, ofis içi prototip cihazı bu tür endişeleri ortadan kaldırmaktadır. Gerekli değişikliklerin oldukça kısa sürede yapılması üreticiye para ve zaman kazandırmaktadır. 3B üretilmiş modeller sorunların gözden kaçabilme riskini en aza indirerek, diğer yöntemlere göre tasarımcılara ve mühendislere potansiyel ürünler için de daha net bir anlayış verebilmektedir [49].

Hızlı prototipleme yöntemi ile ürün tasarımcılarının parçanın kompleksliğini artırma doğrultusunda yaptıkları değişikliklerin maliyet ve hazırlık sürecine etkilerinin oldukça azaltılmasını sağlanmaktadır. Fonksiyonel ve estetik sebeplerden dolayı daha organik ve yontulmuş şekiller elde edilebilmesinin mümkün olabileceği düşünülmektedir.

Müşterinin ihtiyaçlarına yönelik parçanın tasarımıyla ilgili istediği değişikliğe küçük sınırlamalar dahilinde gidilebilmektedir. Ek olarak geleneksel işleme yöntemi ile beraberinde gelen zayıf koşullar nedeniyle bir bütün tasarımın ayrı ayrı üretilmek zorunda olunan parçaları 3B baskı yöntemiyle tek bir parça halinde tasarlanabilir ve parça sayısı düşürülebilir. Sistemin daha az parçalara sahip olması vasıtasıyla vida delikleri detayları ve montaj resimlerine ve bağlayıcı ara komponent seçimine harcanan zaman büyük ölçüde azaltılmaktadır. Ayrıca parça tasarımında daha az engeller olacaktır. Draft açılarının seçimleri, bölümlenme çizgileri ve birçok sınırlamalar gibi etmenler azalacaktır. Makinede işleme gibi geleneksel imalat yöntemleri ile kolaylıkla üretilmeyen ve işleme esnasında malzeme sarfiyatına neden olan, sahip olduğu şekil nedeniyle makinede işleme süresi uzun olan, keskin bir şekle sahip olan ya da ince et kalınlığına sahip olan parçaların tasarımı ve üretimi 3 boyutlu baskı yöntemi ile artık mümkün olacaktır. Tasarımcılar, makinede işleme maliyetlerine karşılık, materyal kullanımını minimize ederek dayanım/ağırlık oranlarını optimize edebilecektir. Sonunda ise, zaman kaybına neden olabilecek tartışmaları en aza indirgeyere üretim imkanları hakkında hesaplamalar yapılabilecektir [50].

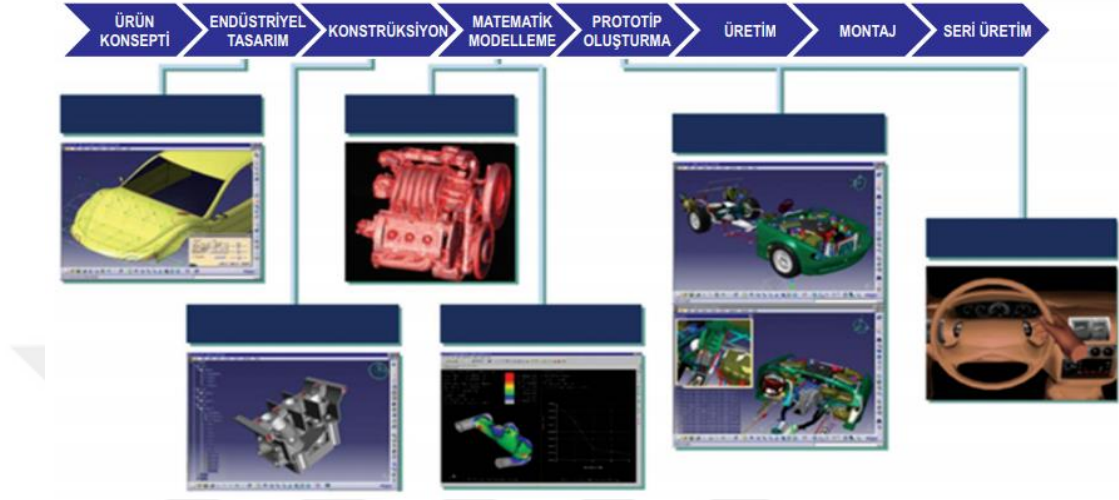
BÖLÜM 6

HIZLI PROTOTİPLEMEDE ÜRÜN GELİŞTİRME SÜRECİ

Firmaların küresel pazar ekonomisinde rekabet edebilmeleri için, üretimden eğitime birçok farklı alanda öncü olmaları gerekmektedir. Öncü olabilmek için de teknolojiyi geliştirmek, teknolojik gelişmeleri takip etmek ve uygulamak zorunlu olmuştur. Gelecekte teknolojik gelişmeleri takip ederek ve uygulayarak gerçekleşebilir. Uluslararası şirket ortaklıkları ve bilişim teknolojisindeki gelişmeler sayesinde ülkemizde de AR-GE ve ÜR-GE çalışmaları son zamanlarda hız kazanmıştır. Günümüzde ürün geliştirme süreci giderek kısalmaktadır. Ürün geliştirme sürecinin kısılması, sürecin farklı adımlarında sunulan, ürün modelleme, bilgisayar destekli tasarım ve üretim, matematik modelleme, prototip uygulamaları gibi tekniklerin etkin olarak kullanımı ile gerçekleşmektedir. Prototipleme işlemi tasarımı yapılmış olan ve imalatı yapılacak ürünün imalatından önce bir modelinin üretilmesidir. Hızlı prototipleme ise bilgisayar ortamında tasarlanmış olan 3B CAD çizimlerinden ürüne özdeş bir model elde edilmesine imkan sağlayan gelişmiş bir üretim yöntemidir.

Günümüzde prototip oluşturma bir imalatın temel aşamalarından birisi haline gelmiştir. Hızlı prototipleme sayesinde seri üretim öncesinde ürünün malzeme seçimi, geometrisi ve fonksiyonel uygunluğu incelenebilmektedir. Böylece eksik ve hatalar düzeltilir. Hızlı prototipleme sayesinde büyük geometrilerdeki ürünler belirli bir ölçek ile küçültülerek maliyet açısından avantaj sağlanırken, küçük olan ürünleri ölçekli olarak büyütürken fonksiyonellik testi yapmak mümkündür. Bilgisayar destekli tasarım teknolojilerinin gelişmesiyle üretim sürecinde değişmiştir. Böylece tasarım ve üretim süreçleri birbirini tamamlar hale gelmiştir. Kaydedilen bu gelişmeler sayesinde ürün, endüstriyel tasarım ve üretim sürecinde en baştan sağlıklı bir biçimde planlanabilmekte ve prototip uygulamalarıyla ürün geliştirme süreç adımlarında kontrol edilebilmektedir.

Ürün geliştirme sürecine bir işletmede yer alan farklı disiplinlerdeki kişilerinde katılabilmesi ve kendi süreçlerinde yaşanabilecek olası hataların giderilebilmesi prototipi alınmış ürün sayesinde kolaylaşmaktadır [51] (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Ürün geliştirme süreç akışı [51].

6.1. ÜRÜN GELİŞTİRME AŞAMALARI

Üç boyutlu tasarımı gerçekleştirilen bir modelin hızlı prototip ile üretim aşamaları aşağıda sırası ile belirtilmiştir.

- Katı veya yüzeysel tasarımın elde edilmesi,
- Elde edilen katı tasarımın “STL” dosya formatına dönüştürülmesi,
- Katı tasarımın katmanlara ayrılması,
- Modelin 3 boyutlu üretim süreci,
- Destek elemanlarının parçadan temzilenmesi ve temizleme, parlatma, boyma gibi son yüzey işlemlerinin uygulanması.

6.1.1. Katı ya da Yüzey Modelin Elde Edilmesi

Bilgisayar destekli tasarım programı ile istenilen ürüne ait CAD model oluşturulur.

6.1.2. Elde Edilen Katı Modelin “STL” Dosya Formatına Dönüştürülmesi

Bilgisayar ortamında tasarlanmış herhangi bir 3B nesnenin bilgisayar ortamında katmanlara bölünmesi yani STL formatına dönüştürülmesi gerçekleştirilir. Eklemeli imalatta genellikle STL dosya formatı kullanılmaktadır. STL dosya formatı modelin dış yüzeyini temsil eden üçgenel yüzeyler listesinden ibarettir.

6.1.3. Katı modelin Katmanlara Ayrılması

STL dosyasının tanımladığı parça profilininin kesitler halinde tabakalara ayırma işlemi gerçekleştirilir. Bu süreçte sadece tabakalara ayırma işlemi gerçekleştirilmemektedir. Aynı zamanda hem kullanılacak malzemenin akacağı nozülün x, y eksenleri boyunca yapacağı ilerlemeler hesaplanır hem de tasarımı yapılan modelin tabla üzerinde bozulmadan dik durabilmesini sağlayacak destek yapıları da hesaplanmaktadır. Aynı zamanda üretimin ne kadar süreceği, kullanılacak malzemenin ağırlığı, kaç katmana ihtiyaç duyulduğu belirlenmekte ve her katmanda nozülün yapacağı x, y eksenleri yönündeki hareketleri de katman katman görsel olarak takip edilerek izlenebilmektedir. İstenildiği takdirde parça ölçeklendirilerek küçültülüp büyütülebilmekte, üretimin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için platform üzerine konumlandırılan nesnenin yönünün de değiştirilebilme imkanı vardır.

6.1.4. Modelin 3 Boyutlu Yazıcıda Üretim Süreci

Parçanın inşasının gerçekleştiği aşamadır. Yani tasarım modeline ait elle tutulabilir katı modelin üretimi gerçekleştirilir. Üç boyutlu yazıcı, modeli kendisi otomatik olarak hiçbir müdahaleye gerek kalmaksızın üretmektedir.

6.1.5. Destek Malzemesinin Temizlenmesi ve Yüzey İşlemlerinin Yapılması

Modelin üretimi esnasında destek yapılarına ihtiyaç duyulduğundan bu yapıların üretim sonrasında parçadan kırılarak uzaklaştırılması gerekmektedir. Ancak son zamanlarda geliştirilen suda çözünebilir özelliğine sahip PVA filamentler destek yapılarının üretiminde kullanılmakta ve destek yapılarının parçadan uzaklaştırılması

işlemi parçanın suya atılması suretiyle sağlanmaktadır. Destek yapıları kırılarak parçadan alındıktan sonra dış yüzeyin görsel olarak daha etkileyici görünmesi amacıyla aseton buharına tabi tutularak parlaması sağlanabilmektedir [52].



BÖLÜM 7

MATERYAL VE METOD

Bilgisayarda tasarımı yapılan, her türlü unsura sahip modeli hızlı prototipleme cihazları vasıtası ile kısa bir süre zarfında ürün olarak meydana çıkarma imkanı doğmuştur. Hızlı prototipleme cihazları kendi içerisinde farklılık göstermelerine rağmen ürün yazma süreçleri farklılık göstermemektedir. Hızlı prototipleme teknolojisinde elde edilmek istenilen ürün; kullanılan malzemenin tabandan başlayarak katmanlar halinde üst üste eklenmesiyle oluşturulur.

Hızlı prototip teknolojisi ile diğer geleneksel imalat metotları kullanılarak üretilmesi zor ve imkansız yapılara sahip parçaların en kısa zamanda ve minimum ölçüsel sapma ile üretilme imkanı sağlanmıştır.

Bu çalışmamızda çeşitli geometrilere sahip bir modelin tasarımı gerçekleştirilip, hızlı prototip üretim uygulamalarından harç yığma tekniği kullanılarak 60° inşa açısı kullanılarak yazdırılan modellerimiz ile ölçüsel uygunluğu ve üretilen modelin yüke karşı dayanım analizleri incelenmiştir.

Harç yığma tekniği kullanılarak elde edilen modellerimizin üç boyutlu tarama cihazında taraması yapılmıştır. Tarama işleminde elde edilen veriler sanal ortama aktarılarak tasarım modeli ile karşılaştırılıp benzerlik ve ölçüsel sapmalara bakılmıştır.

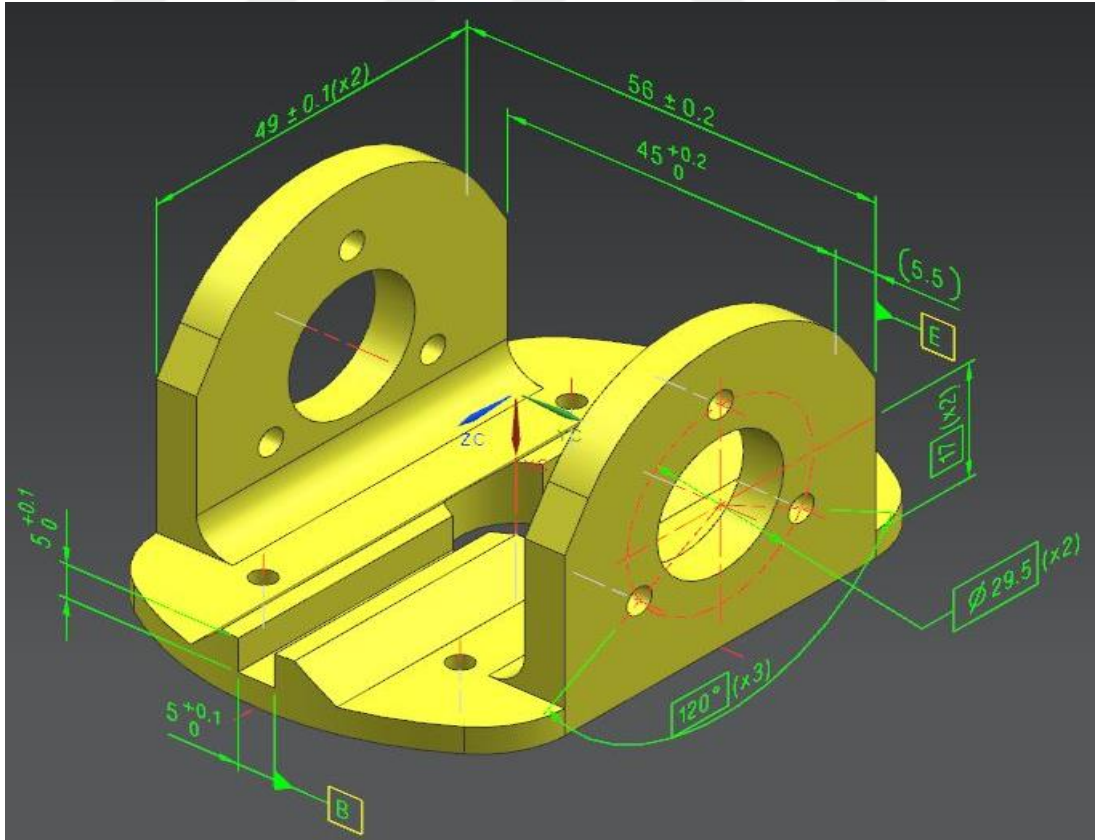
Bu kapsamda doğru verilerin elde edilmesi adına model seçimi, ölçüm cihazları, analiz programı, hızlı prototip yazılımları, hızlı prototip cihazı ve üç boyutlu tarama cihazı gibi materyal ve yöntemler kullanılmıştır.

Seçilen materyal ve yöntemler ile elde edilen veriler ışığında, hızlı prototip üretim uygulamalarından harç yığma tekniğinde değişken uçlar kullanılarak elde edilen

ürünün tasarım modeli ile benzerliği, ölçüsel uygunluğu ve modelin yüke karşı dayanımı incelenmiştir.

7.1. DENEYDE KULLANILACAK MODELİN SEÇİLMESİ

Deneyde kullandığımız model, deneyimizin isteklerini karşılayacak nitelikte olmasına dikkat edilerek seçilmiştir. Modelimiz dairesellik, uzunluk, radyüs, kanal, çap, pah, düzlemsellik, konum, diklik, açılı yüzeyler gibi çeşitli geometrik unsurlardan oluşmaktadır. Ayrıca bir teknik resim ihtiyacı olmaksızın model esaslı üretim yöntemi ile, üretimimiz katı model üzerinde belirtilen geometrik tolerans unsurları ve ölçüler kullanılarak hızlı prototip cihazında harç yığıma yöntemi ile üretilmiştir. Üretim sonrasında modelimizin üzerindeki geometrik toleranslar esas alınarak tasarımı gerçekleştirilen modele uygun üretimin kıyaslanmasında gerçek sonuçlara ulaşmamıza imkan sağlamıştır. Şekil 7.1’de model esaslı üretim yöntemi ile tasarlanan model gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Model esaslı üretim yöntemi ile tasarlanan model örneği.

7.2. DENEYDE KULLANILAN MALZEME

Deneyde ABS filament plastik malzemesi kullanılmıştır. ABS petrol ürünü olup aseton ile çözülebilmektedir. Yüksek mukavemet ve darbe direnci nedeniyle tercih edilen bir ürün olmuştur. Özellikle mukavemet gerektiren parçalarının üretilmesinde kullanılmaktadır. ABS malzemesinden hızlı prototipleme yöntemi ile ideal ürün elde etmek için baskı sıcaklığı 250°C ile 260°C arasında olması gerekmektedir. Bu malzemesinden elde edilen ürünler -20 °C ile 60°C arasında kullanılabilir. Çok yönlü kullanım için uygun dayanıklı bir plastik olmuştur. ABS malzemeler diğer imalat yöntemleri ile işlenebilir, kaplanabilir ve boyanabilir özelliklere sahiptir. ABS malzemeler yüksek mukavim, ısıya karşı dayanım, montaj edilebilir ve kolay sökülüp takılabilir özelliği sebebi ile makine, havacılık ve kalıpcılık sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır.

ABS-M30 malzeme mekanik özellikleri Çizelge 7.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. ABS-M30 mekanik özellikleri [35].

Mekanik Özellikler	Test Yöntemi	English	Metric
Gerilme Direnci (Tip1, 0,125”, 0,2”/dk)	ASTM D638	5,200 psi	36 Mpa
Gerilim Modülleri (Tip 1, 0,125”, 0,2”/dk)	ASTM D638	350,000 psi	2,400 Mpa
Gerilme Uzaması (Tip 1, 0,125”, 0,2”/dk)	ASTM D638	4%	4%
Bükülme Mukavemeti (Methot 1, 0,05”/dk)	ASTM D790	8,800 psi	61 Mpa
Bükülme Modülleri (Methot 1, 0,05”/dk)	ASTM D790	336,000 psi	2,300 Mpa
IZOD Çarpma Çentiği (Methot A, 23°C)	ASTM D256	2,6 ft-lb/in	139 J/m
IZOD Çentiksiz Darbe (Methot A, 23°C)	ASTM D256	5,3 ft-lb/in	283 J/m

ABS-M30 malzeme termal özellikleri Çizelge 7.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2. ABS-M30 termal özellikleri [35].

Isıl Özellikler	Test Yöntemi	English	Metric
Isı Sapması (HDT) @ 66 psi, 0,125" unannealed	ASTM D648	204°F	96°C
Isı Sapması (HDT) @ 264 psi, 0,125" unannealed	ASTM D648	180°F	82°C
Vicat yumuşama Sıcaklığı (Rate B/50)	ASTM D1525	210°F	99°C
Cam Geçiş (Tg)	DSC (SSYS)	226°F	108°C
Isıl Genleşme Katsayısı (Akış)	ASTM E831	4,9E-05 in/in/°F	8,82E-05 mm/mm/°C
Isıl Genleşme Katsayısı (x- akış)	ASTM E831	4,7E-05 in/in/°F	8,46E-05 mm/mm/°C

ABS-M30 malzeme elektriksel özellikleri Çizelge 7.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.3. ABS-M30 elektriksel özellikleri [35].

Elektriksel Özellikler	Test Method	Value Range
Hacim Direnci	ASTM D257	4,0x10e14 – 5,0x10e13 ohms
Dielektrik Sabiti	ASTM D150-98	2,9 – 2,7
Dağılım Faktörü	ASTM D150-98	0,0052 - 0,0049
Dielektrik Gücü	ASTM D149-09, Method A	370 - 71 V/mil

7.3. DENEYDE KULLANILAN HIZLI PROTOTİPLEME

Modellerimizi oluşturmak için FDM modelleme teknolojisini kullanan Fortus 360mc hızlı prototipleme cihazı kullanılmıştır. Fortus 360 mc zorlu uygulamalar, yüksek hassasiyetli baskı ve doğrudan dijital üretim için tasarlanmıştır. Hassas ve yüksek toleransa sahip parçalar üretebilmektedir. Fortus 360mc hızlı prototipleme cihazı

sağlamlığı ve malzeme çeşitliliği ile ihtiyaca uygun parça üretimi, işlevsel prototipleme ve imalat araçları gibi bir dizi kolaylıklar sağlamaktadır. Şekil 7.2’de Fortus 360 mc hızlı prototipleme cihazı gösterilmektedir.



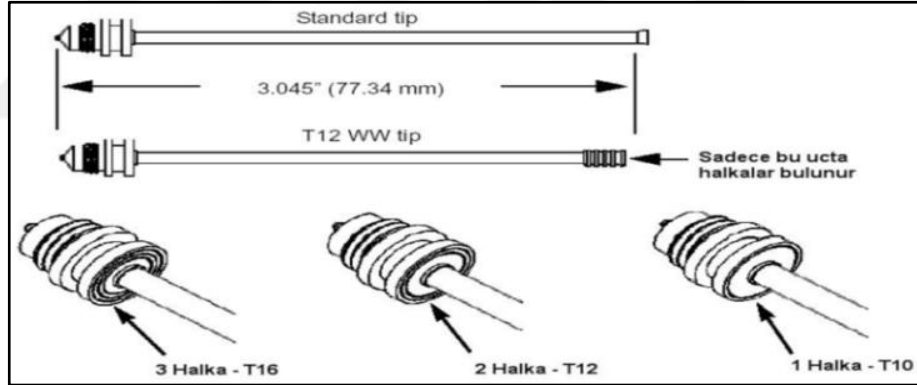
Şekil 7.2. Fortus 360 mc hızlı prototipleme cihazı.

Fortus 360 mc yenilikçi ön işleme yazılımını kullanarak, üç boyutlu tasarımı gerçekleştirilen dijital dosyalarımızı üretim için doğru şekilde STL formatına dönüştürüp modelin en kısa sürede ve esas ölçülerine uygun üretimini gerçekleştirme imkanı sağlamaktadır. FDM 360 mc tezgâhının teknik özellikleri Çizelge 7.4’te verilmiştir.

Çizelge 7.4. Fortus 360 mc prototip cihazı teknik özellikleri [42].

Üretim Boyutları	355 x 254 x 254 mm (14 x 10 x 10 inç)
Model malzemeleri	ABS-M30 PC-ABS PC
Model destek malzemeleri	SR-30 SulubleSupport
Malzeme kartuşu	1510 cc. (Canister)
Kullanılan yazılım	Insight
Parça doğruluğu (Hassasiyet)	$\pm 0,127$ mm ($\pm 0,005$ inç)

Malzeme katman kalınlıklarına göre dört farklı uç tipi bulunmaktadır. Bunlar T10, T12, T16 ve T20 şeklindedir. Uç tipleri Şekil 7.3’de görülmektedir. Malzeme katman kalınlıklarına göre uç tiplerinin sıralaması Çizelge 7.5’te verilmiştir.

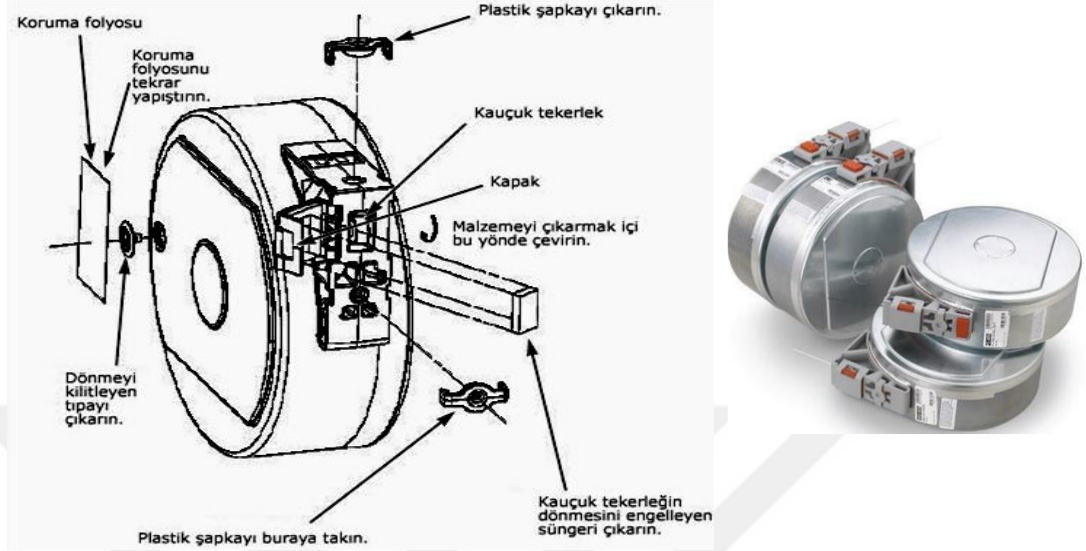


Şekil 7.3. Model uçların (tip) özellikleri ve tanımlanması [42].

Çizelge 7.5. FORTUS 360 mc prototip uç parametreleri [42].

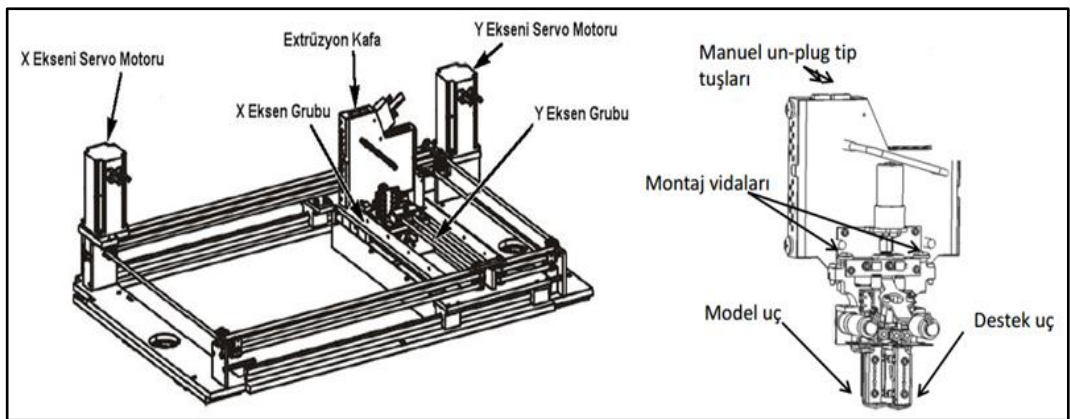
Model ucu	Destek ucu	Katman kalınlığı
T10	T12 WW	0,127 mm
T12	T12 WW	0,178 mm
T16	T12 WW	0,254mm
T20	T12 WW	0,330mm

Şekil 7.4'te FORTUS 360 mc cihazında kullanılan kartuş şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.4. FORTUS 360 mc prototip kartuş [42].

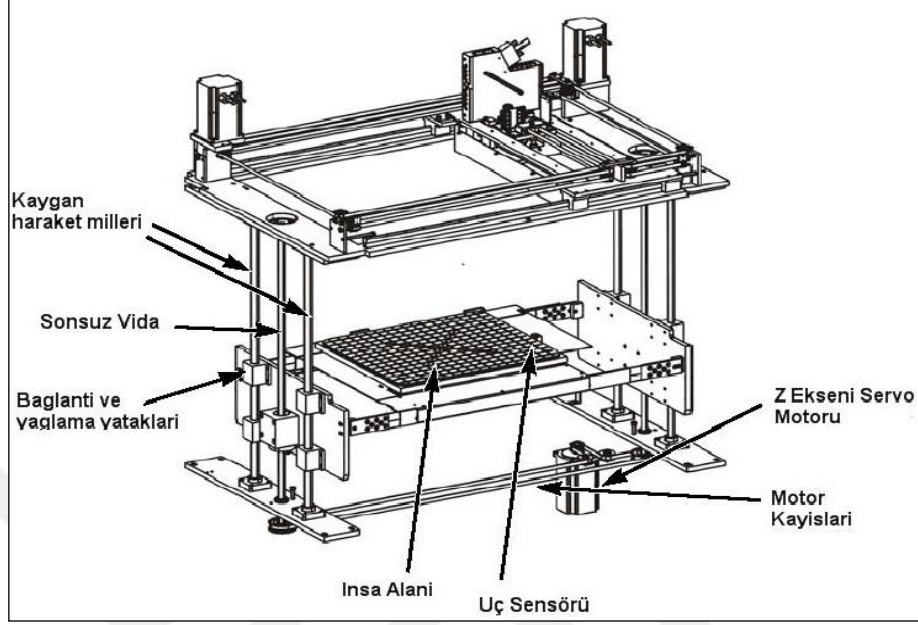
Hareket etme özelliği ile modelin örülmesini sağlayan, ekstrüzyon kafaya bağlı uçların ve bu hareketi sağlayan X ve Y eksenli servomotorlarının şematik yapısı Şekil 7.5'te gösterilmiştir. Model ve destek malzemesinin eritildiği sistem burada bulunmaktadır. Yapı yüksek sıcaklıklara dayanabilecek özelliklere sahiptir.



Şekil 7.5. X ve Y eksenli servomotorları ve ekstrüzyon kafa şematik gösterimi [42].

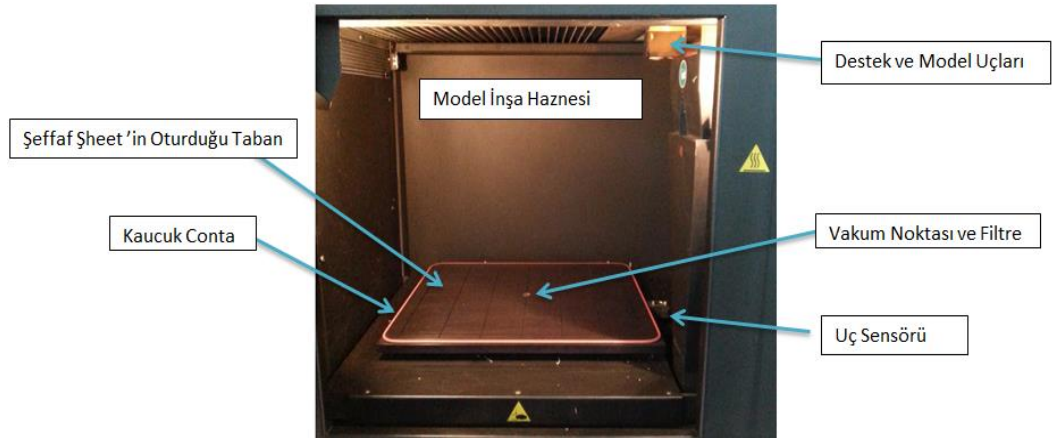
Sistem dikey hareketinin sağlandığı Z eksenli doğrultusunda aşağı yukarı hareket ederek katman katman inşa işlemini gerçekleştirmektedir. Bu hareketi sonuz vida

dişlisi ve hassas servo motor aracılığı ile gerçekleştirmektedir. Şekil 7.6’da prototip cihazın inşa mekanizmalarının şematik resmi görülmektedir.



Şekil 7.6. Prototip inşa mekanizmalarının şematik resmi [42].

Model ürünler üretim alanı üzerinde inşa edilmekte olup bu alan ısıtılmalı bir özelliğe sahiptir. İnşa edilecek katmanlar cihazın vakum ünitesi yardımıyla üretim alanı üzerine sabitlenmektedir. Vakum ünitesi çalışmadan inşa işlemi başlamamaktadır. Şekil 7.7’de FDM 360 mc hızlı prototip cihazı model inşa haznesi görülmektedir.



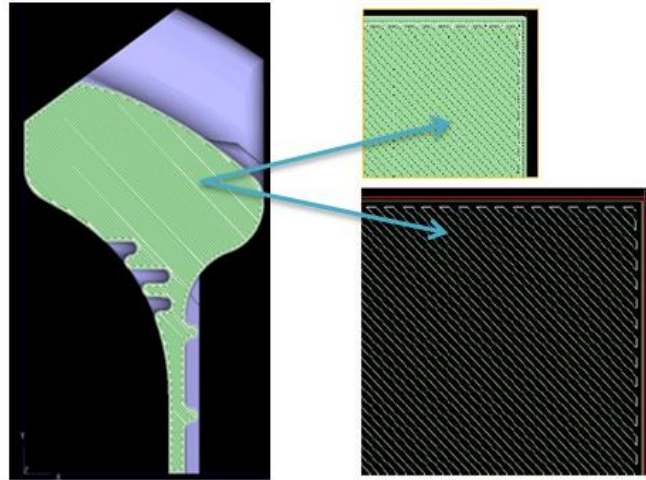
Şekil 7.7. FDM 360 mc model inşa haznesi.

7.4. MODEL ÖRME TEKNİKLERİ

Model yapısının dayanım ve maliyet unsurlarına göre üç farklı inşaa yöntemi mevcuttur. Bunlar Solid Normal (sık tek yönlü yapı), Sparse (tek yönlü yapı) ve Double Sparse (çift yönlü yapı) şeklindedir. Model örme tekniğinin seçimi ürün inşaa zamanını, harcanan malzeme miktarını, modelin ağırlığını ve maliyeti doğrudan etkilemektedir. Deneyimizde T10, T12, T16 ve T20 4 farklı model uçlarının her biri için üç inşaa yönteminde model üretimi yapılmıştır. Bu inşaa yöntemleri T10-1, T10-2, T10-3, T12-1, T12-2, T12-3, T16-1, T16-2, T16-3, T20-1, T20-2, T20-3 olacak şekilde isimlendirilmiştir. Model uçlarından sonra belirtilen 1 numara Solid Normal (Sık Tek Yönlü Yapı) İnşaa Yöntemini, 2 numara Sparse (Tek Yönlü Yapı), İnşaa Yöntemini ve 3 numara Duple Sparse (Çift Yönlü Yapı), İnşaa Yöntemini belirtmektedir.

7.4.1. Solid Normal (Sık Tek Yönlü Yapı) İnşaa Yöntemi

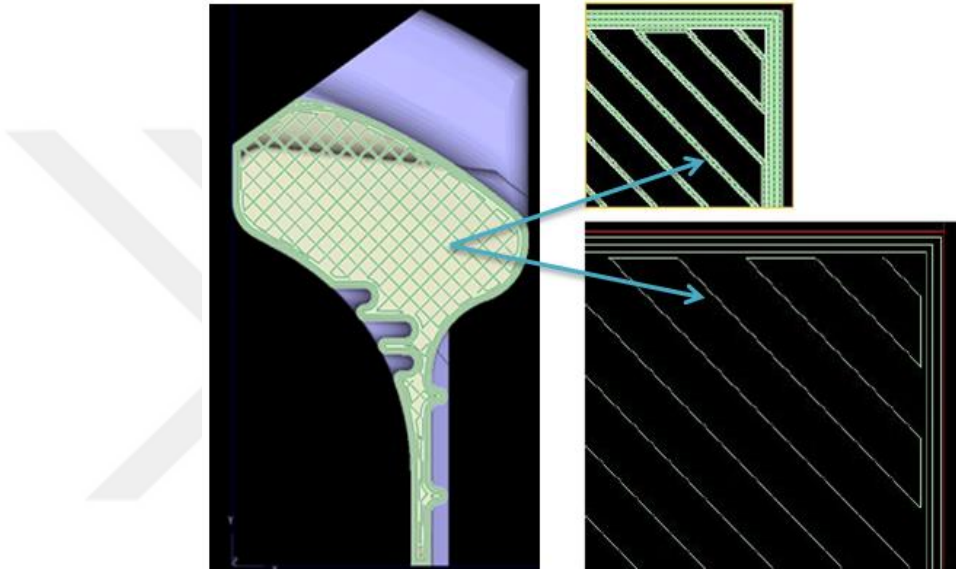
Solid normal (sık tek yönlü yapı) inşaa yöntemi modelin dış katmanında çevresel tek döngüde geçmesi ile model inşaa dolgusunu sık bir yapıdan oluşturmaktadır. Diğer bir değışle inşaa dolgusu en sık örme tekniğidir. Bu nedenle yüksek dayanımlı bir yapı ve ürün elde edilmesi aşamasında en fazla malzeme tüketimi olan yöntemdir. En fazla malzeme tüketimi ile en yüksek maliyete sahip yöntemdir. (Şekil 7.8) Solid normal (sık tek yönlü yapı) inşaa modelinin yapısı gösterilmektedir.



Şekil 7.8. Solid normal (sık tek yönlü yapı) inşaa model yapısı.

7.4.2. Sparse (Tek Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi

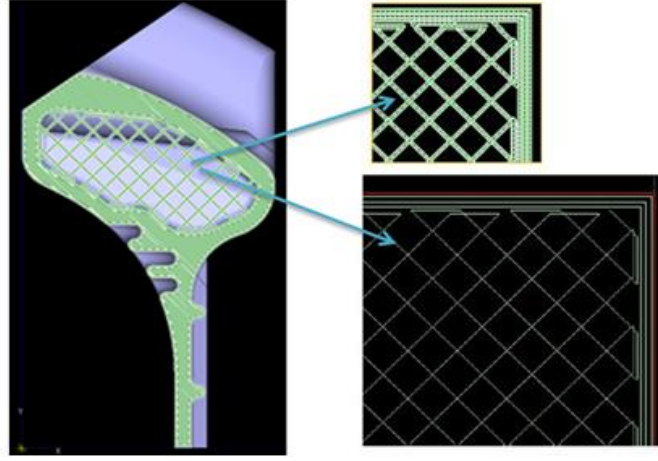
Sparse (tek yönlü yapı) inşa yöntemi modelin katmanının çevresel bir döngüde geçmesi ve yapı inşasının da tek yönde yapılmasıdır. Model dolgusal olarak içi boşluklu bir yapıya sahiptir. Bu sebeple diğer yöntemler ile elde edilen ürünlere nazaran dayanımı en düşük, malzeme miktarı az ve maliyet açısından en ucuz inşa yöntemi olmuştur. Şekil 7.9'da Sparse (tek yönlü) inşa tipi görülmektedir.



Şekil 7.9. Sparse (tek yönlü yapı) inşa tipi.

7.4.3. Double Sparse (Çift Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi

Double Sparse (çift yönlü yapı) inşa yönteminde inşa işleminin modelin dış katmanının çift döngüde geçmesi ve yapı inşasının çift yönde yapılmasıdır. Sparse (tek yönlü yapı) inşa yöntemine göre dayanım açısından daha dayanıklı bir yapı, malzeme miktarı daha fazla, maliyet açısından da daha pahalı bir yöntemdir. Zaman olarak Sparse (tek yönlü yapı) inşa yöntemine göre daha uzun sürede ürün elde edilmektedir. Şekil 7.10'da Double Sparse (çift yönlü) inşa tipi görülmektedir.

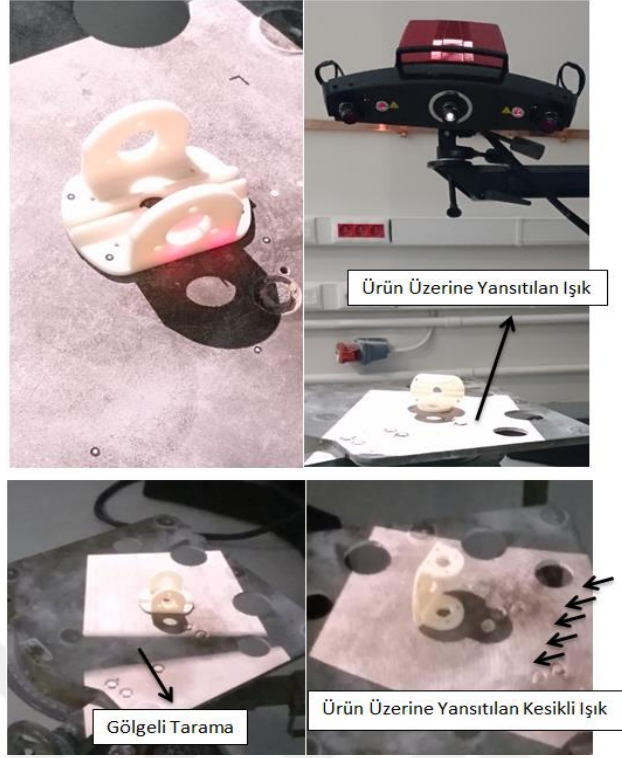


Şekil 7.10. Double Sparse (çift yönlü yapı) inşa tipi.

7.5. DENEYDE KULLANILAN ÜÇ BOYUTLU OPTİK TARAMA CİHAZI

Üç boyutlu tarama, model ya da parçaların bütün unsurlarının kamera ve lensler yardımı ile son derece hassas bir şekilde taranarak bilgisayar ortamına aktarılmasına denilmektedir. Tarama işlemi neticesinde bilgisayar ortamına aktarılan modelin bütün unsurları en ince ayrıntısına kadar görülmektedir.

Üç boyutlu optik tarama işleminde taraması gerçekleştirilecek ürün üzerine ışık yansıtılmaktadır. Işık ürünün tüm dış yüzeylerini görebilmek adına farklı açılardan kesik kesik yansıtılmaktadır. Şekil 7.11' de Ürün üzerine yansıtılan ışıklar gösterilmektedir.



Şekil 7.11. Ürün üzerine yansıtılan ışık.

Cihaz üzerindeki kamera, yansıtılan ışıkla beraber pozlar çekerek nesnenin genel hatları ile tanımlanmasını sağlamaktadır. Değişik açılardan çekilen bu pozlar ile sayısız nokta elde edilmektedir. Bu noktalar neticesinde nokta bulutları oluşur ve elde edilen nokta bulutu datası ile nesnenin bilgisayar ortamına aktarılması sağlanmaktadır. Şekil 7.12’ de Bilgisayar ortamına aktarılan nesne ve kamera görüntüsü gösterilmektedir.

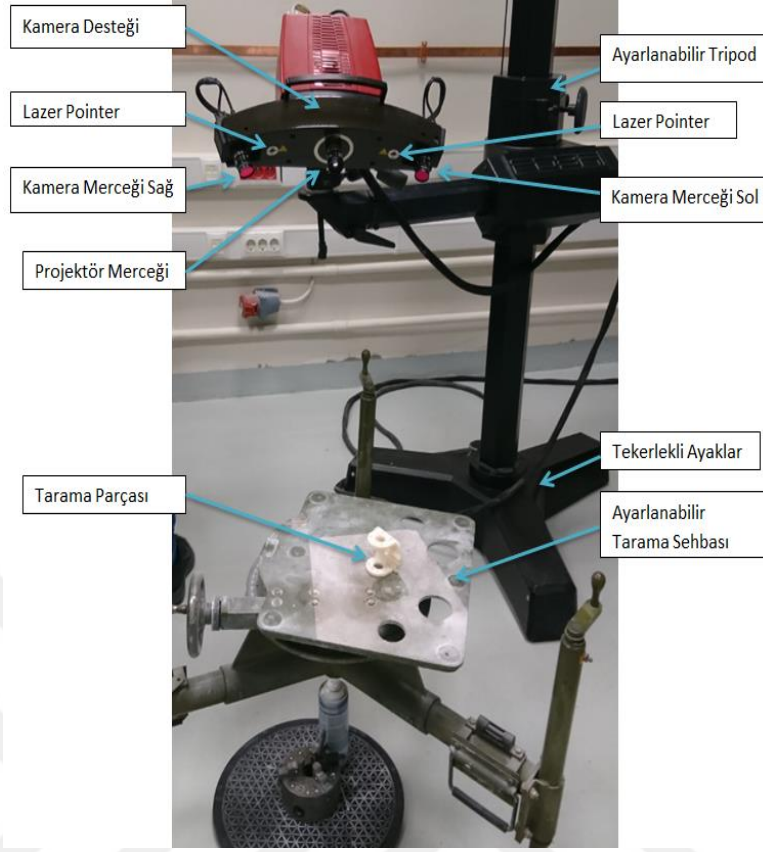


Şekil 7.12. Bilgisayar ortamına aktarılan nesne ve kamera görüntüsü.

Üç boyutlu tarama teknolojisi medikal sanayi, otomotiv sanayi, endüstri, havacılık ve imalat sanayi gibi geniş bir kullanım alanına sahip olmaktadır. Bu teknoloji ile;

- Tasarım modeli olmayan ürünün model ve ölçülerinin oluşturulması
- Teknik resim ve model üzerinde yetersiz ve eksik ölçülerin bulunması
- Tasarımda revizyon ihtiyaçlarının görülebilmesi
- Üç boyutlu modelin üretim için yeterli olmaması
- Uzun süreli kullanım ile hareketli mekanizmaların bozulma kontrolü
- Numunesi bulunan ürünün yeniden üretilmesi ve datasının çıkarılması
- Ürünün ölçüsel uygunluğunun kontrolü
- Parçaların unsurlarının kontrolü
- Ürüne ait yeni unsurların yeniden üretilme ihtiyacı
- Üretim maliyeti yüksek ürünlerin maliyetlerinin düşürülmesi
- Ürün performansını artırmak için yeni yöntemlerin geliştirilmesi çalışmalarına imkan ve olanak sağlamaktadır.

Deneyimizde ATOS II üç boyutlu tarama cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile ürünün taranması, taranan verilerin bilgisayara aktarma işlemleri sağlanmıştır. Şekil 7.13’de ATOS II üç boyutlu tarama cihazı gösterilmektedir.



Şekil 7.13. ATOS II üç boyutlu tarama cihazı.

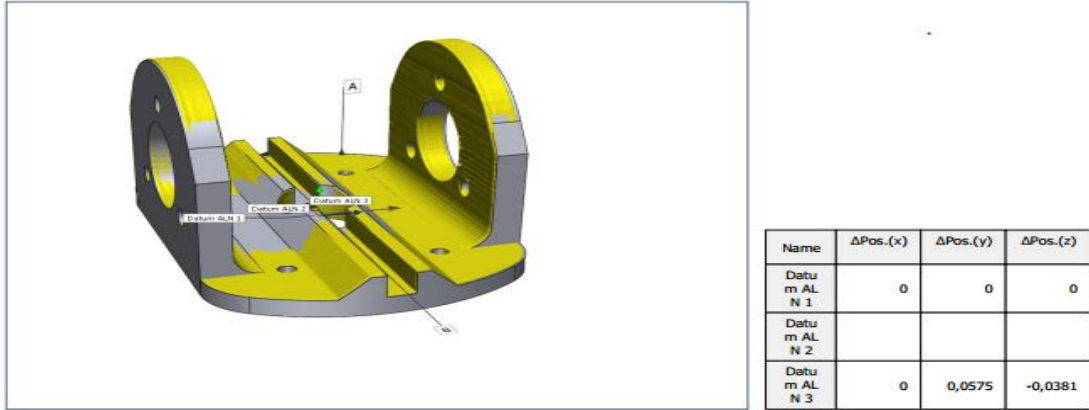
7.6. DENEYDE KULLANILAN KALİTE KONTROL YAZILIM PROGRAMI

Deneyimizde üç boyutlu tarama cihazı ile taranan modellerin kalite kontrol süreçlerini gerçekleştirebilmek için Geomagic Control X ver.8.1.1 programı kullanılmıştır. Geomagic Control X en karmaşık yapıların güçlü araçlarını basitleştirilmiş iş akışlarında sunan, kolay okunabilirlik, kullanım kolaylığı ile kapsamlı kontroller yapılabilen, tekrarlanabilir iş akışlarını canlandırabilen, hızlı ölçümler sonucu hassas veri ve analizleri bilgi açısından zengin raporlama sayesinde çıktıya dönüştürerek her türlü üretim iş akışında önemli verimlilik ve kalite kazanımları sağlayan kapsamlı bir metroloji yazılım platformudur. Birçok CAD dosya formatını destekleme özelliğine sahip olmaktadır. Model esaslı üretim ve geometrik toleranslandırma desteği ile denetim modelinizin tamamlama sürecini kısalttığı gibi doğru neticelerin hızını arttırmaktadır. Bu sonuçlar ile üretimden kaynaklanan problemlerin temel sebeplerinin daha hızlı karşılaştırılmasını, anlaşılmasını ve analiz edilmesini sağlamaktadır.

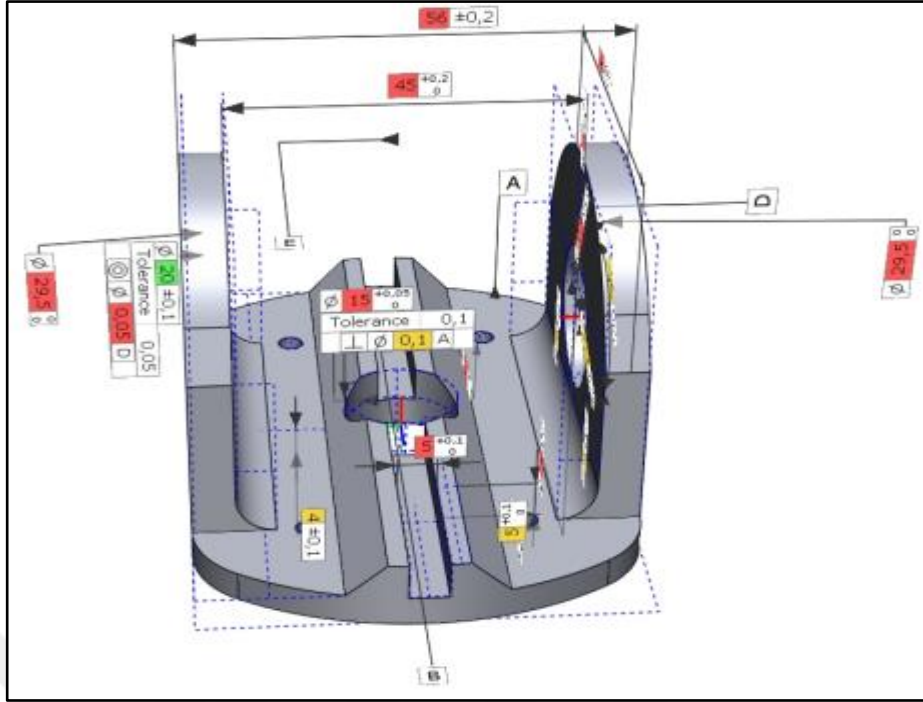
Bu analizler yapılırken işlem sırası;

- Katı model ile tarama datası Geomagic Control X programına alınır
- Katı model ile tarama datası teknik resimdeki datumlar esas alınarak iç içe geçecek şekilde birleştirilir.
- Ölçülecek ölçülerin geometrileri teknik resim çerçevesinde oluşturulur.
- Ölçüm metodları belirlenir.
- Ölçümlerin yapılması.
- Ölçüm sonuç ve analizlerinin raporlanması.

Şekil 7.14’de katı model ile tarama datasının iç içe birleştirilmesi, Şekil 7.15’te teknik resim ışığında ölçülecek geometri ve ölçülerin seçilmesi ve Şekil 7.16’da ise ölçüm ve analiz sonuçlarının raporlanması gösterilmektedir.



Şekil 7.14. Katı model ile tarama datasının iç içe birleştirilmesi.



Şekil 7.15. Teknik resim yardımı ile ölçülecek geometri ve ölçülerin seçilmesi.

Ölçü No	Referans Ölçü	Ölçülen Değer	Sapma Değeri	Tolerans	Ölçü Tipi
Ölçü 01	5	5,0153	0,0153	0 ~ 0,1	Doğrusal Ölçü
Ölçü 02	5	5,0066	0,0066	0 ~ 0,1	Doğrusal Ölçü
Ölçü 03	45	44,8975	-0,1025	0 ~ 0,2	Doğrusal Ölçü
Ölçü 04	56	55,8834	-0,1166	±0,2	Doğrusal Ölçü

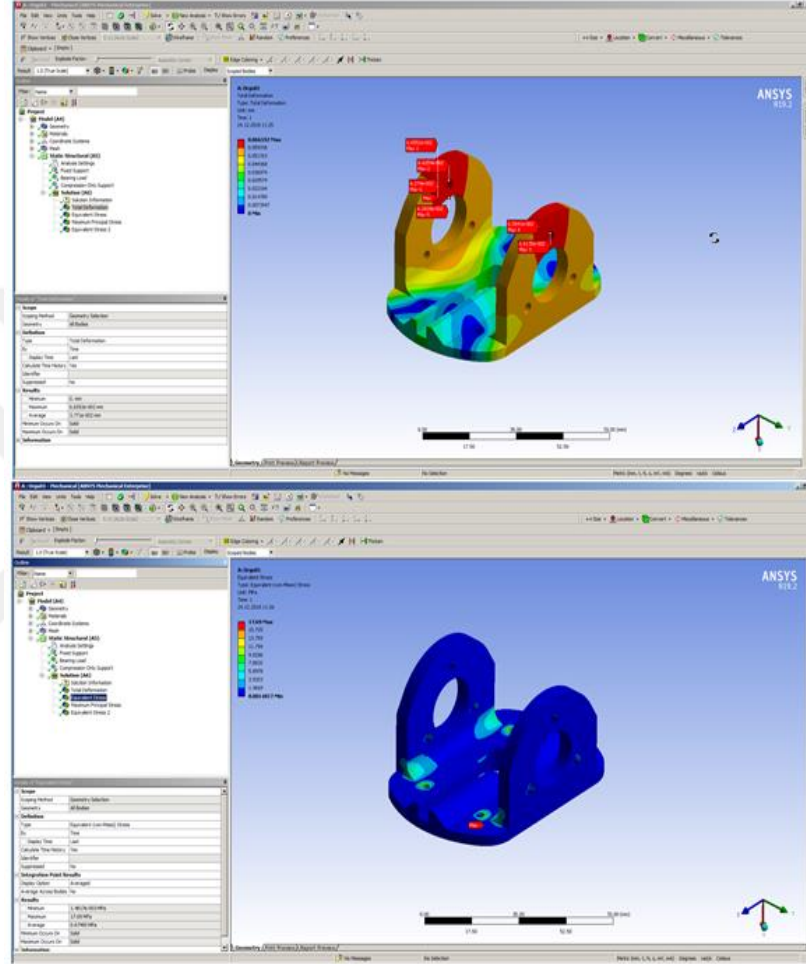
Şekil 7.16. Ölçüm ve analiz sonuçlarının raporlanması.

7.7. DENEYDE KULLANILAN YAPISAL ANALİZ PROGRAMI

Deneyimizde modellerimizin yapısal analizleri için Ansys Workbench 19.0 programı kullanılmıştır. ANSYS yazılımı, tasarlanan bir yapının ya da sistemin mukavemet, akışkanlar mekaniği, titreşim ve ısı transferi ile elektromanyetik alanlarında fiziğin tüm disiplinlerinin birbiri ile olan interaksiyonunu simule etmekte kullanılabilen genel amaçlı bir sonlu elemanlar yazılımı olarak tanımlanmaktadır.

Birçok modelin deney koşullarını sağlamak çok zor ve zaman alıcı iken, Ansys Programı sayesinde modelin üretimlerini gerçekleştirilmeden sanal ortamda test edilerek üç boyutlu simülasyonlar sonucu sistemin; mukavemeti düşük noktalarının

tespiti ve iyileştirilmesi ile ömür hesaplarının gerçekleştirilmesi ve olası problemlerin öngörülmesi mümkün olmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi ile modelin gerçekçi analizleri kısa sürede kolaylıkla yapılabilmektedir. Şekil 7.17’de Ansys Workbench 19.0 programı arayüzü gösterilmiştir.



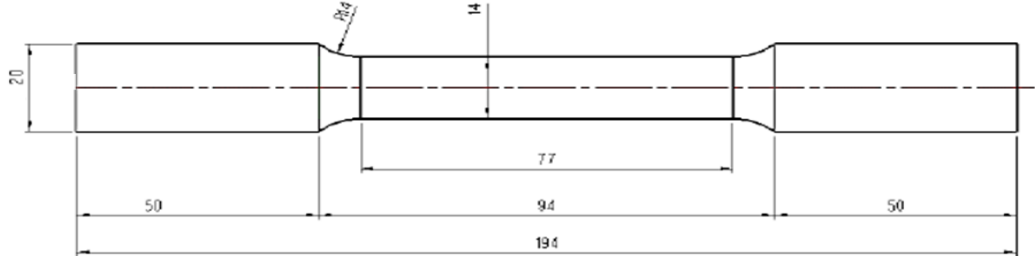
Şekil 7.17: Ansys Workbench 19.0 programı arayüzü.

7.8. ÖLÇÜMLER

7.8.1. Mekanik Özelliklerin Ölçümü

Deneyimizde çekme numunelerinin testleri Zwick Z100 çekme testi cihazında plastik malzemelerin çekme deneyi olan ASTM D638.05/2008 standardına göre 5 mm/min hızında çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme test numunelerinin boyutları Şekil 7.18’de, Zwick Z100 cihazına ait görsel Şekil 7.19’da, çekme numunelerinin test edilmek

üzere tezgaha bağlanması Şekil 7.20’de gösterilmiştir. Çizelge 7.6’da cihaza ait teknik özellikler gösterilmektedir.



Şekil 7.18. Çekme test numunelerinin boyutları.



Şekil 7.19. Zwick/Roell Z100 test cihazı.



Şekil 7.20. Çekme numunelerinin bağlanması.

Çizelge 7.6. Zwick/Roell Z100 test cihazı teknik özellikleri.

Maksimum test gücü F(N) (gerilim, sıkıştırma)	100kN
Test sıcaklığı	1200° C
Fırın sayısı	2
Sıcaklık kontrolü	Fırın haznesinde 3 termokupl
Çapraz hız	0,0005 750 mm / dak
Ayarlanan oranın doğruluğu	%0,003 V nom
0,4 ile %100 F nom aralığında kuvvetin ölçülmesi	Sınıf 1
%2 ile %100 F nom aralığındaki kuvveti ölçme	Sınıf 0,5
Ekstensometre başlangıç ölçme uzunluğu	11 - 50 mm

7.8.2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Deneyimizde modellerimizin yüzey pürüzlülüğü ölçümleri MİTUTOYO SJ 310 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Modellerimiz üzerinde 3 farklı yüzeyden ölçüm yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm parametrelerimiz Ra (μm) cinsinden 0,75 mN baskı kuvveti ile 0,5 mm/s hızında gerçekleştirilmiştir. MİTUTOYO SJ 310 cihazına ait görsel Şekil 7.21'de, cihazın teknik özellikleri Çizelge 7.7'de gösterilmiştir.



Şekil 7.21. MİTUTOYO SJ 310 cihazı.

Çizelge 7.7. MİTUTOYO SJ 310 cihazı teknik özellikleri.

Ölçüm Ucu Radyüsü	2 µm
Ölçüm Metodu	İndüksiyon yöntemi
Ölçüm Ucu	Elmas
Kızak Yarıçapı	40 mm
Ölçüm Kuvveti	0,75 mN
Arayüz	USB, Digimatic, RS-232C, Ayak Şalteri
Ekran Ünite Profilleri	Birincil ProOl (P), Pürüzlülük ProOli (R), DIN 4776, MOTIF
Gösterge Aralığı	Ra, Rq: 0,01 µm-100 µm Ry, Rz, Rt, Rv, R3z, Rk, Rpk, Rvk, R, Rp, Rx, AR, W, Ex, Wte: 0,02 µm-350 µm S, Sm: 2 µm-4000 µm HSC, Pc: 2,5/cm-5000/cm; Ppi: 6,35-12700/inch dc:-350 µm-+350 µm Lo:0.1 mm-99,999 mm mr, Mr 1, Mr 2:0-100 % A1, A2: 0-15000
Pürüzlülük Standartları	EN ISO, VDA, ANSI, JIS
Ölçüm Uzunluğu (L)	0,08 mm, 0,25 mm, 0,8 mm, 2,5 mm, 8mm veya girilen değer
Ekran	Geniş 5,7' renkli LCD ekran
Dil Seçenekleri	16 Dil (Türkçe dahil)
Kalibrasyon	Ra mastarı ile otomatik kalibrasyon
Örnekleme Sayısı	x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10 veya serbest giriş
Yazıcı	Termal Yazıcı (Yazdırma genişliği: 48 mm)
İstatistikler	Maks/Min, Ortalama değer, Standart sapma, Geçer Oranı, Frekans Dağılım Tablosu

BÖLÜM 8

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

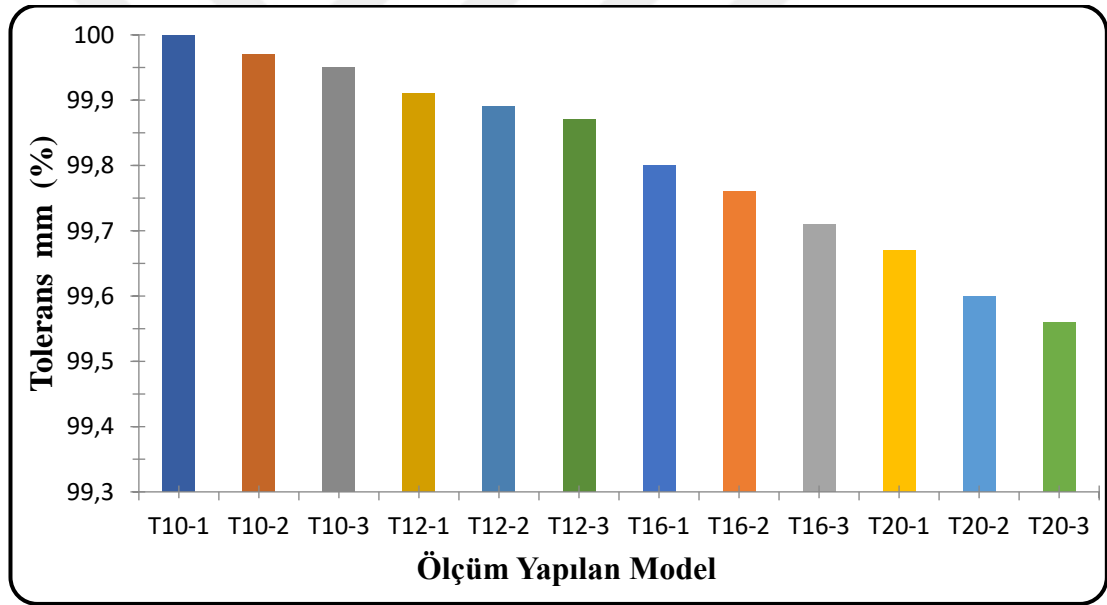
Bu bölümde inşa edilen modeller ve çekme numuneleri, üç boyutlu tarama yöntemi ile ölçüsel uygunluk ve sapma değerleri, sapmaların yüzeylere göre değişimi, yüzey kalitesi, malzeme ve model dayanımı yönünden incelenmiştir. İnceleme neticesinde elde edilen verilerin değerlendirmeleri yapılacaktır.

8.1. ÖLÇÜSEL UYGUNLUK

Deney kapsamında hızlı prototip üretim yöntemlerinden harç yığıma cihazında 60° uç açısı ile inşa edilen modellerimizin, yüksek hassasiyetli üç boyutlu tarama cihazında tarama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Geleneksel ölçüm cihazlarına nazaran daha hızlı ve bu cihazlar ile ölçülemeyen noktalara ulaşabilmek adına optik tarama cihazı ile ölçüsel uygunluk kontrolleri yapılmıştır. Tarama işlemleri, aynı laboratuvar ortamında inşa edilen 12 parça için bütün yüzeylerini ve modelimizde belirtilen bütün ölçüleri kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ölçüm ve analiz sonuçları Çizelge 8.1’de ve Şekil 8.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 8.1. Ölçüsel sapma değerleri.

Ölçüm Yapılan Model	Minimum sapma(mm)	Maksimum sapma(mm)	İç Tolerans (mm) (%)	Dış Tolerans (mm) (%)	Üst Tolerans (mm) (%)	Alt Tolerans (mm) (%)
T10-1	-0,22	0,23	100	0	0	0
T10-2	-0,23	0,24	99,97	0,03	0,02	0,01
T10-3	-0,23	0,25	99,95	0,05	0,03	0,02
T12-1	-0,22	0,30	99,91	0,09	0,06	0,03
T12-2	-0,30	0,45	99,89	0,11	0,08	0,03
T12-3	-0,43	0,51	99,87	0,13	0,05	0,08
T16-1	-0,48	0,57	99,80	0,20	0,12	0,08
T16-2	-0,50	0,60	99,76	0,24	0,15	0,09
T16-3	-0,44	0,62	99,71	0,29	0,15	0,14
T20-1	-0,59	0,66	99,67	0,33	0,14	0,19
T20-2	-0,63	0,69	99,60	0,40	0,17	0,23
T20-3	-0,60	0,72	99,56	0,44	0,19	0,25



Şekil 8.1. Modellere uygulanan ölçümlerin sapma değerleri.

Grafikteki sonuçlara bakarak değerlendirme yapıldığında ölçüsel değerler bakımından farklı uç tipi ile inşa edilen modeller arasında ölçü değerlerinde farkların olduğu görülmektedir. İnşa tekniklerine göre bakıldığında da ölçüsel olarak yine farklı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. T10, T12, T16 ve T20 uç tipleri inşa tekniklerine göre kıyaslandığında kendi içlerinde yakın ölçüm değerlerine sahip oldukları gözlenmektedir. T10 uç tipi ile inşa edilen modellerde tasarım modelimizin ölçülerine %99,97, T12 uç tipi ile inşa edilen modellerde %99,89, T16 uç tipi ile inşa edilen

modellerde %99,75 ve T20 uç tipi ile inşa edilen modellerde %99,61 oranında yakın sonuçlar elde edilmiştir. Tasarımı yapılan modelimizin ölçülerine en yakın değerler T10 uç tipi ile sağlandığı görülmektedir. Bu durum T10 uç tipinin en ince uç olması ve en ince inşa işlemini gerçekleştirmesi ile oluşmaktadır. İnşa tekniklerine göre bakıldığında T10-1 Normal (Sık Tek Yönlü Yapı) İnşa Yöntemi ile elde edilen modellerde %100 uygun sonuçlar çıktığı görülmektedir. Bunun başlıca sebebi normal (Sık Tek Yönlü Yapı) inşa yönteminin diğer örme tekniklerine göre daha sık yapıda model inşa etmesi olarak düşünülmektedir.

T10 uç tipi inşa tekniklerine göre değerlendirildiğinde T10-1 Normal (Sık Tek Yönlü Yapı) İnşa Yöntemi ile elde edilen modeller %100 oranla tasarım modelimiz ile aynı ölçülere sahip çıkmıştır. T10-2 Sparse (Tek Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi ile inşa edilen modeller 0,03 mm'lik sapma ile %99,97, T10-3 Double Sparse (Çift Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi ile elde edilen modeller 0,05mm'lik sapma ile %99,95 oranla tasarım modelimize ölçüsel yakınlık göstermiştir. T12-1 Normal (Sık Tek Yönlü Yapı) İnşa Yöntemi ile elde edilen modeller 0,09mm'lik sapma ile %99,91, T12-2 Sparse (Tek Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi ile inşa edilen modeller 0,11mm'lik %99,89, T12-3 Double Sparse (Çift Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi ile elde edilen modeller 0,13mm'lik sapma ile %99,87 oranla tasarım modelimize ölçüsel yakınlık göstermiştir. T16-1 Normal (Sık Tek Yönlü Yapı) İnşa Yöntemi ile elde edilen modeller 0.20mm'lik sapma ile %99,20, T16-2 Sparse (Tek Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi ile inşa edilen modeller 0,24mm'lik sapma ile %99,76, T16-3 Double Sparse (Çift Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi ile elde edilen modeller 0.29mm'lik sapma ile %99,71 oranla tasarım modelimize ölçüsel yakınlık göstermiştir. T20-1 Normal (Sık Tek Yönlü Yapı) İnşa Yöntemi ile elde edilen modeller 0,33 mm'lik sapma ile %99,67, T20-2 Sparse (Tek Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi ile inşa edilen modeller 0,40mm'lik sapma ile %99,60, T20-3 Double Sparse (Çift Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi ile elde edilen modeller 0,44mm'lik sapma ile %99,56 oranla tasarım modelimize ölçüsel yakınlık göstermiştir.

Ölçüm değerleri neticesinde, tasarımı gerçekleştirilen modelimizin ölçülerine en yakın değerler T10 uç tipinde en uzak değerlerde T20 uç tipinde gözlenmektedir. İnşa teknikleri ve uç tiplerinin ölçüsel sonuçlara etkisi, T10 uç tipinden T20 uç tipine doğru

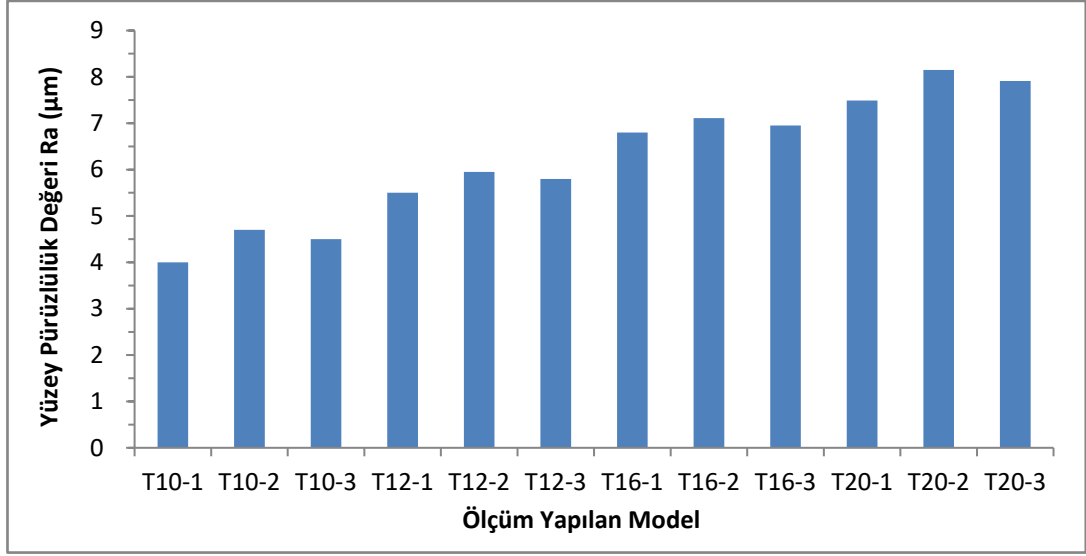
gidildikçe tasarım modelinin ölçülerinden uzaklaştığı görülmektedir. Bunun başlıca sebebi model T10 dan T20 ye doğru uçların kalınlık değerlerinin artmasıdır.

8.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Modellerimiz üzerinde her bir parça için 3 farklı referans yüzeyi seçilerek bu yüzeylerde 7 mm' lik ölçüm uzunluğunda Ra (μm) cinsinden yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Ölçümler neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 8.2'de verilmiştir.

Çizelge 8.2. Modellerin yüzey pürüzlülük değerleri.

Ölçüm yapılan model	Yüzey pürüzlülük değeri Ra (μm)
T10-1	4,00
T10-2	4,70
T10-3	4,50
T12-1	5,50
T12-2	5,95
T12-3	5,80
T16-1	6,80
T16-2	7,11
T16-3	6,95
T20-1	7,49
T20-2	8,15
T20-3	7,91



Şekil 8.2. Ölçümü yapılan modellere göre yüzey pürüzlülük değerleri.

Şekil 8.2'deki yüzey pürüzlülüğü grafiği incelendiğinde, hızlı prototip üretimi harç yığıma yöntemi ile üretilen parçalarda yüzey kalitesine etki eden iki unsursun olduğu gözlemlenmektedir. Bu unsurlar katman kalınlığı ve inşa yöntemidir. Katman kalınlığının etkisi için örnek olarak “T20 uç tipi” ile inşa edilen modeller verilebilir. Bu modellerde elde edilen ölçüm sonuçları 7,49-8,15 μm aralığında olduğu gözlenmiştir. Katman kalınlığının yüzeylerdeki pürüzlülüğe etkisi model üzerinde bulunan, açılı, pahlı, radyüs ve dairesel yüzeylerde daha net bir şekilde izlenmektedir.

Modeller üzerindeki pürüzlülük değerlerine uç tipinin etkisi, diğer faktör olan inşa yöntemine oranla daha fazladır. T10 uç tipi ile inşa edilen modellerde yüzey pürüzlülük değerleri 4,00–4,70 μm arasında değişmektedir. T12 uç tipi ile inşa edilen modellerde yüzey pürüzlülük değerleri 5,50-5,95 μm arasında değişmektedir. T10 uç tipi ile inşa edilen modellerde yüzey pürüzlülük değerleri, T12 uç tipi ile inşa edilen modellerde ki yüzey pürüzlülük değerlerine oranla %30,68 daha artmıştır. T16 uç tipi ile inşa edilen modellerde yüzey pürüzlülük değerleri 6,80-7,11 μm arasında değişmektedir. T10 uç tipi ve T16 uç tipi kullanılarak inşa edilen modeller kıyaslandığında T10 uç tipi ile elde edilen modellerin yüzey pürüzlülüğü oranı %57 daha artmıştır. T12 ile T16 uç tipi kullanılarak inşa edilen modeller kıyaslandığında T12 uç tipi ile elde edilen modellerin yüzey pürüzlülüğü oranı %20,86 daha artmıştır. T20 uç tipi ile inşa edilen modellerde yüzey pürüzlülük değerleri 7,49-8,15 μm

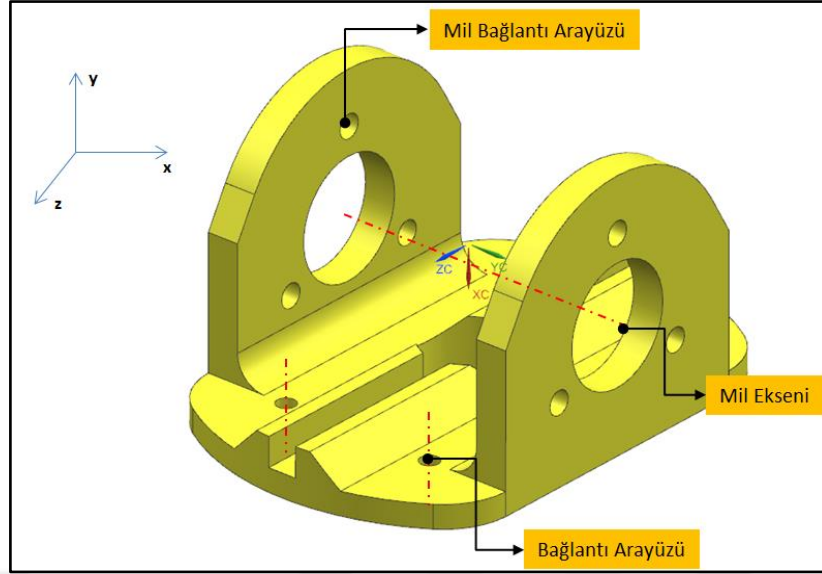
arasında değişmektedir. T20 ile T10, T12, T16 uç tipi kullanılarak inşa edilen modeller karşılaştırıldığında, T20 uç tipine kıyasla T10 uç tipi kullanılarak inşa edilen modeller %78,40, T12 uç tipi kullanılarak inşa edilen modeller %36,52, T16 uç tipi kullanılarak inşa edilen modeller %12,94 oranında daha iyi sonuçlar vermektedir.

Ölçülen veriler çerçevesinde yüzey pürüzlülük değeri açısından en uygun netice, T10 uç tipi ile inşa edilen modellerden elde edilmiş olup yüzey pürüzlülüğü açısından T10 dan T20 uç tipine doğru daha olumsuz yüzeyler ile karşılaşılmaktadır. Bunun nedeni uç tipindeki katman kalınlığının diğer uçlara nazaran daha seyrek olmasından kaynaklandığı düşünölmektedir.

8.3. MODEL DAYANIMI VE ANALİZİ

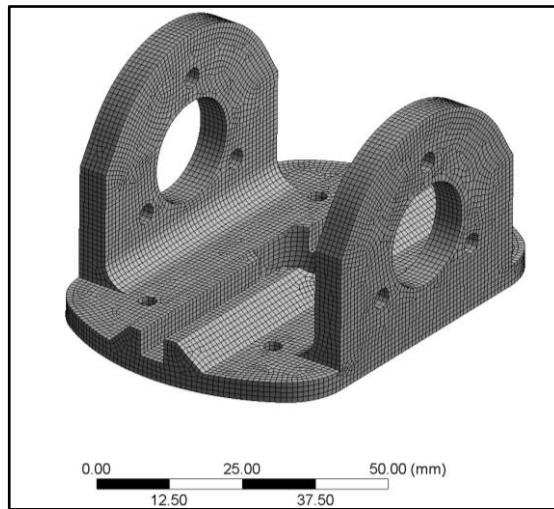
Hızlı prototip üretim yöntemleri kullanılarak inşa edilen modellerin, dayanımsal açıdan yüksek değerlere sahip olması ve işlevselliğini yerine getirmesi beklenmektedir. Hava, basınç, yük, nem, ısı ve su gibi dış etkenler karşısında göstermiş olduğu mukavemet önem arz etmektedir.

Hızlı prototip üretim uygulamalarından harç yığma tekniği kullanılarak inşa edilen modele sonlu elemanlar metodu kullanılarak dayanım hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Hesaplamaların yapılabilmesi için model üzerine uygulanan yük ve sınır koşulları Şekil 8.3'te gösterilmiştir.



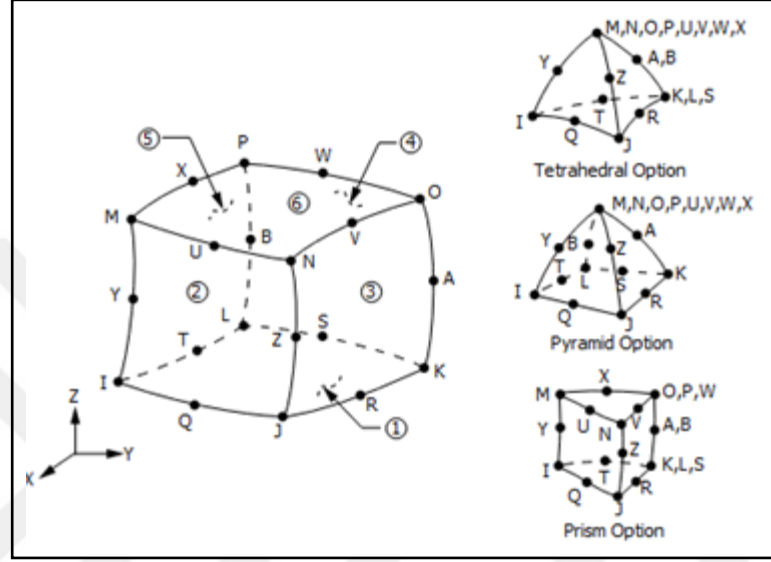
Şekil 8.3. Yük ve sınır koşulları.

Modelleme kolaylığı açısından mil, yapısal dayanım analizlerine dahil edilmemiştir. 6 Adet mil bağlantı ara yüzünden, Şekil 8.3’de gösterilen eksen takımına göre Y yönünde 250N yük uygulanmıştır. Kullanılacak olan milin çelik olduğu kabul edilmiştir. Çelik malzemenin katılık değerinin kullanılan ABS M30 malzemesinden çok yüksek olduğundan mil rijit kabul edilmiştir. Dolayısıyla parça üzerindeki bağlantı ara yüzlerinin, milin yüksek katılık değeri sebebiyle, birbirlerine göre hareketi yapısal analiz modelinde kısıtlanmıştır. Yapısal dayanım hesaplamalarının gerçekleştirilmesi amacıyla kullanılan çözüm ağı Şekil 8.4’te gösterilmiştir.



Şekil 8.4. Sonlu elemanlar yöntemi çözüm ağı.

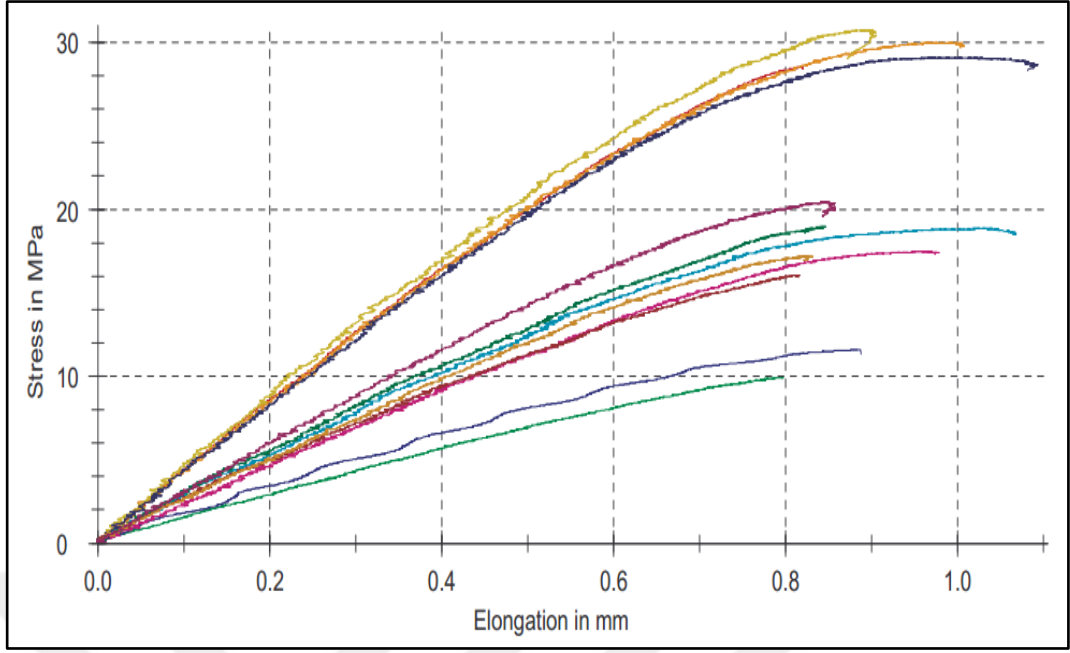
Çözüm ağı ANSYS Workbench yazılımında hazırlanmıştır ve SOLID186 elemanı kullanılmıştır. Bu eleman 2. mertebeden şekil fonksiyonuna sahiptir. Her bir düğüm noktasında UX, UY, UZ yönlerinde serbestlik derecesine sahiptir. Her bir elemanın 20 düğüm noktasına sahip olduğu bilinmektedir. Şekil 8.5'te kullanılan eleman gösterilmiştir. Modelde toplam 53845 SOLID186 elemanı kullanılmıştır.



Şekil 8.5. ANSYS SOLID186 elemanı.

Sonlu Elemanlar yöntemiyle yapılan dayanım hesaplamalarında elde edilen toplam deplasman ve gerilme dağılım sonuçları şekillerde gösterilmiştir. ABS malzeme yaklaşık %7 toplam uzamaya sahip bir yapıda olduğundan genellikle metallerde kullanılan hasar hesaplama yöntemi olan Von Mises gerilme kriterinin bu malzemede kullanılmasının uygun olduğu değerlendirilmektedir. Bu hesaplama metodunda yapı üzerinde oluşan gerilme dağılımı belirlenir ve malzemenin mukavemet değeri ile kıyaslanmaktadır. Yapı üzerinde oluşan gerilme değeri malzeme mukavemetinden büyük olduğu durumda yapının hasar aldığı görülmektedir.

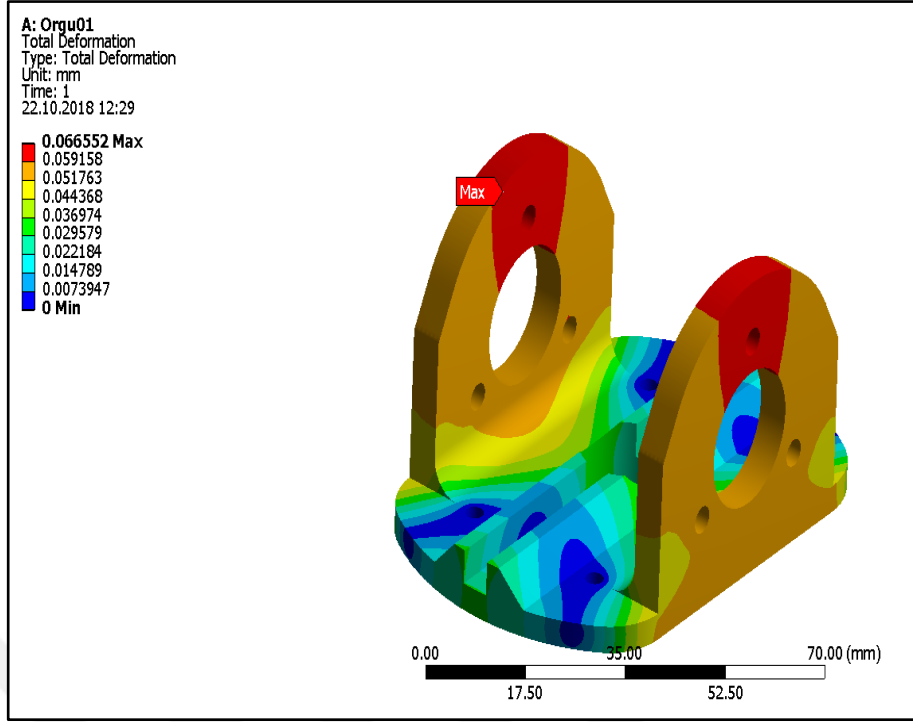
Yapının dayanım durumunun değerlendirilmesi amacıyla elde edilen gerilme dağılımlarının çekme testi sonuçlarıyla kıyaslanması gerekmektedir. Yapılan çekme testleri sonucunda elde edilen uzama gerilme değerleri grafik Şekil 8.6'da ve sonuçları Çizelge 8.3'te gösterilmiştir.



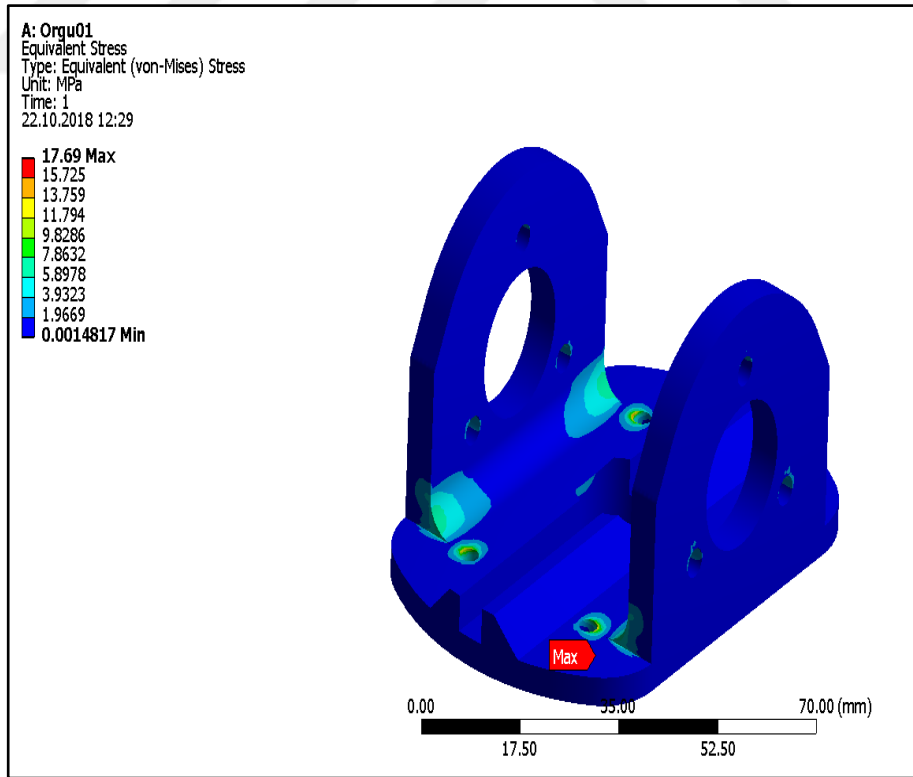
Şekil 8.6. Uzama gerilme grafiği.

Çizelge 8.3. Çekme test sonuçları.

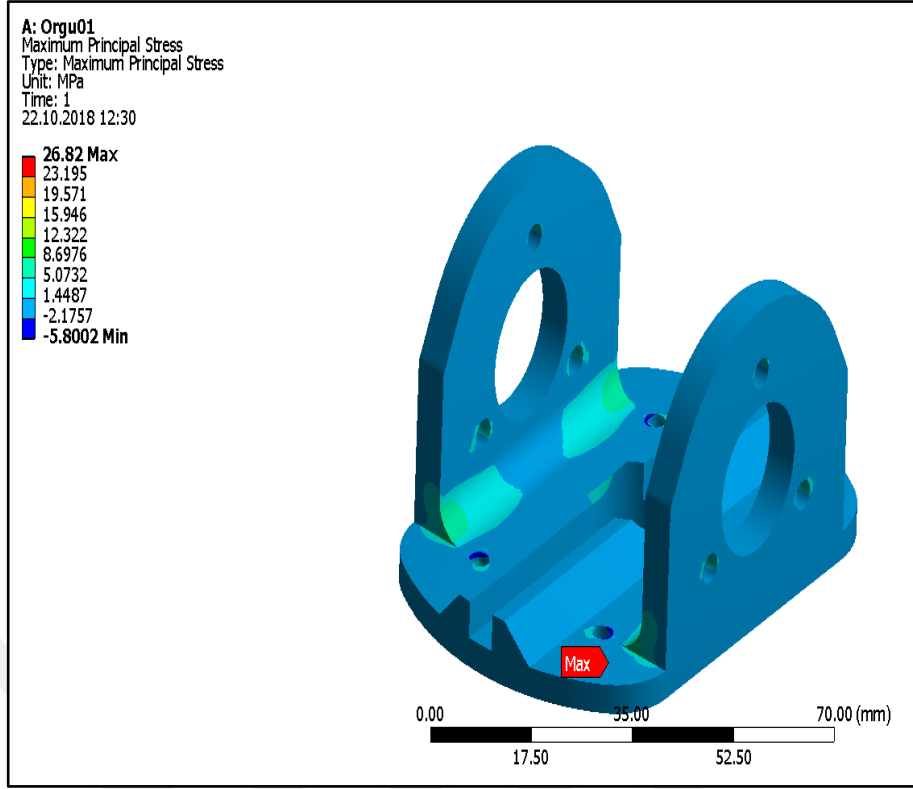
Malzeme	Ölçüm Yapılan Model	E [GPa]	Akma Dayanımı [MPa]	Kopma Dayanımı [MPa]
ABS M30	T10-1	2,19	30,20	31,40
ABS M30	T10-2	1,95	26,92	27,02
ABS M30	T10-3	1,99	28,20	29,90
ABS M30	T12-1	1,89	24,03	25,22
ABS M30	T12-2	1,88	20,95	21,56
ABS M30	T12-3	1,88	23,01	23,98
ABS M30	T16-1	1,49	19,70	20,20
ABS M30	T16-2	1,44	16,96	17,50
ABS M30	T16-3	1,48	18,42	19,22
ABS M30	T20-1	1,42	15,02	16,01
ABS M30	T20-2	1,39	13,45	14,01
ABS M30	T20-3	1,42	14,22	14,89



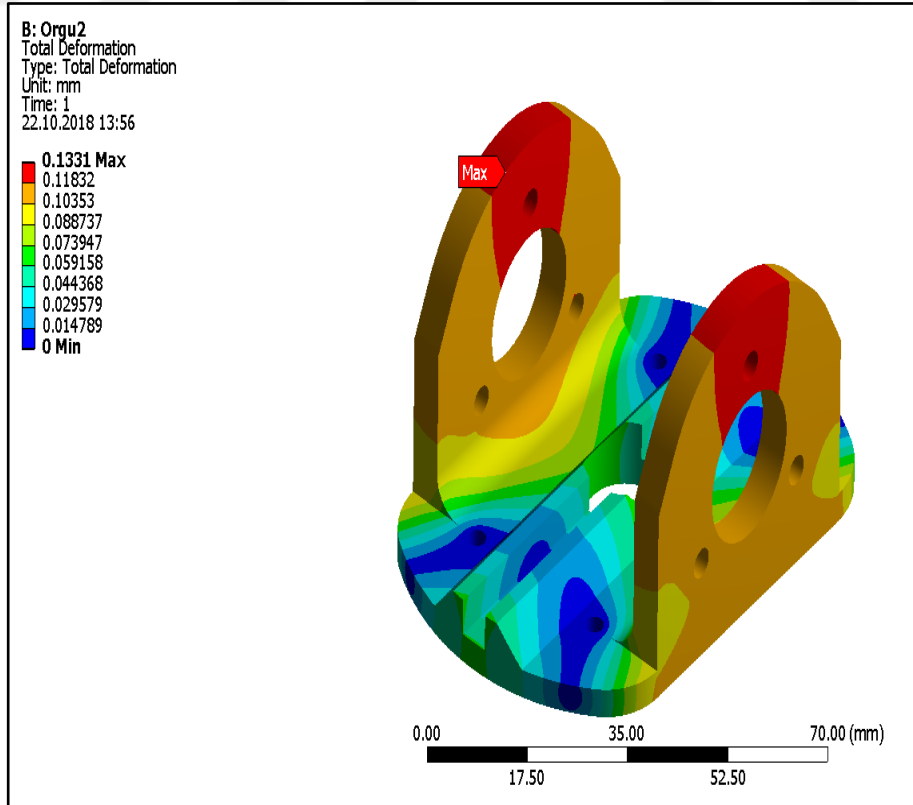
Şekil 8.7. Toplam deplasman dağılımı (mm) [T10-1, T12-1, T16-1, T20-1].



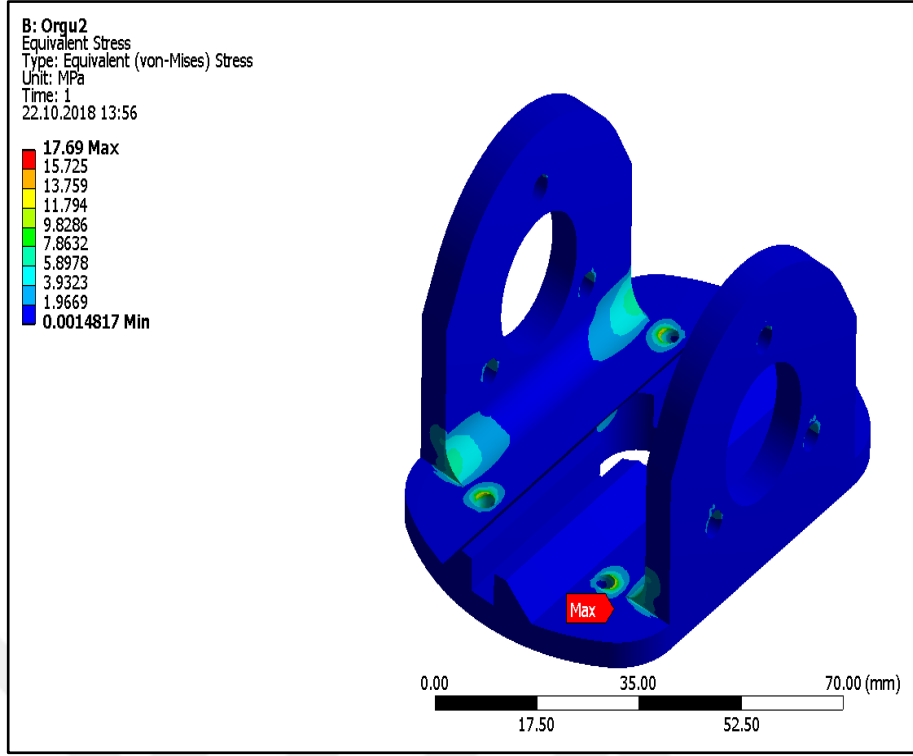
Şekil 8.8. Von mises gerilme dağılımı (MPa) [T10-1, T12-1, T16-1, T20-1].



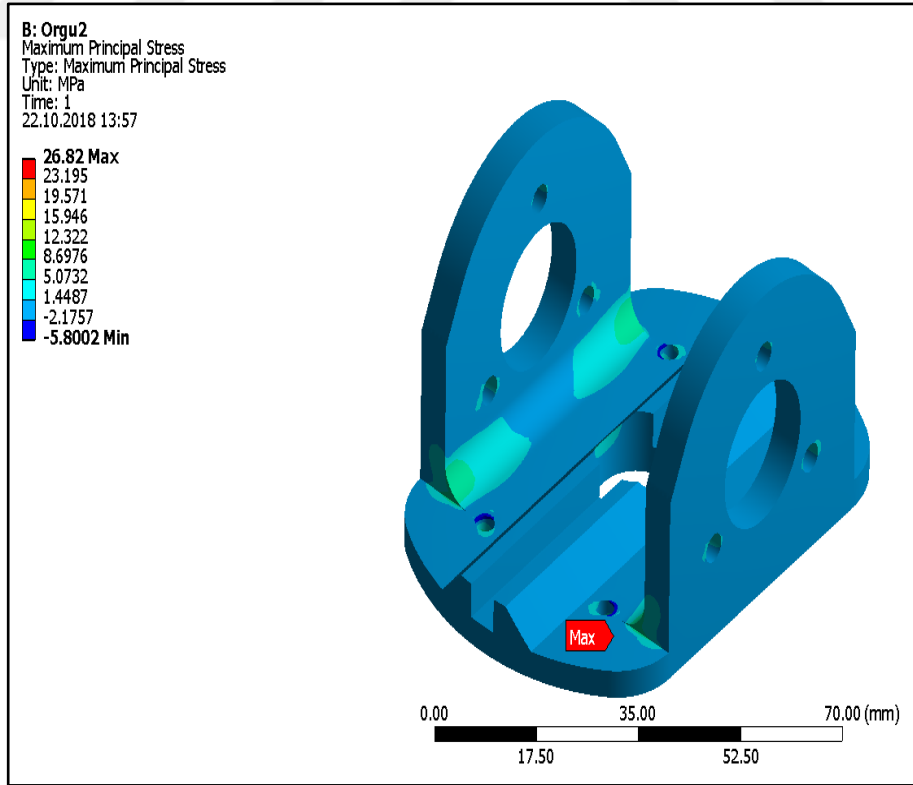
Şekil 8.9. Maksimum asal gerilme dağılımı (MPa) [T10-1, T12-1, T16-1, T20-1].



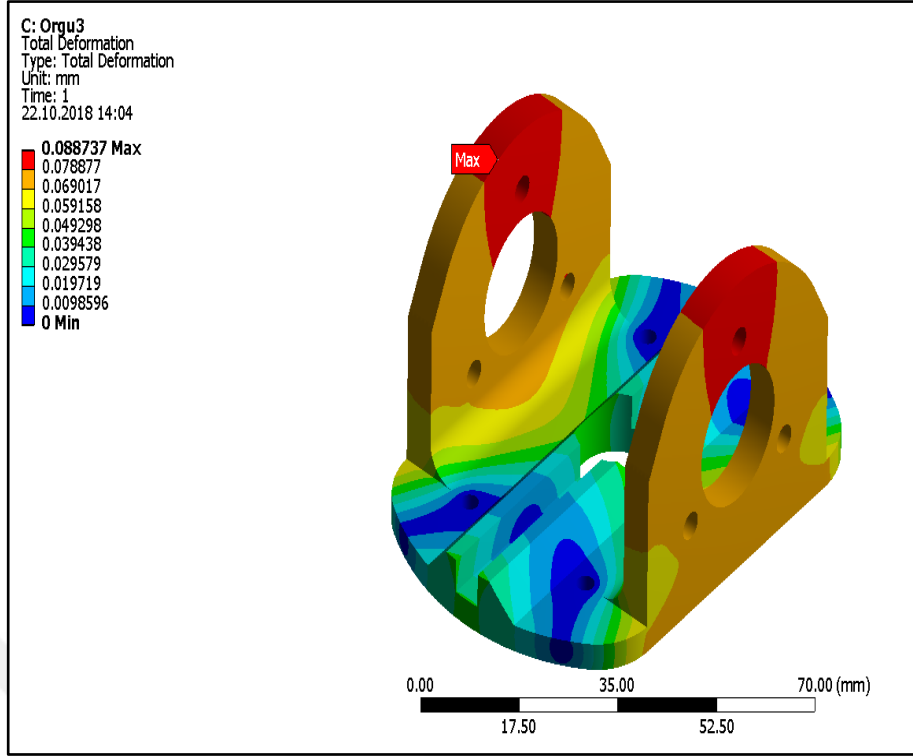
Şekil 8.10. Toplam deplasman dağılımı (mm) [T10-2, T12-2, T16-2, T20-2].



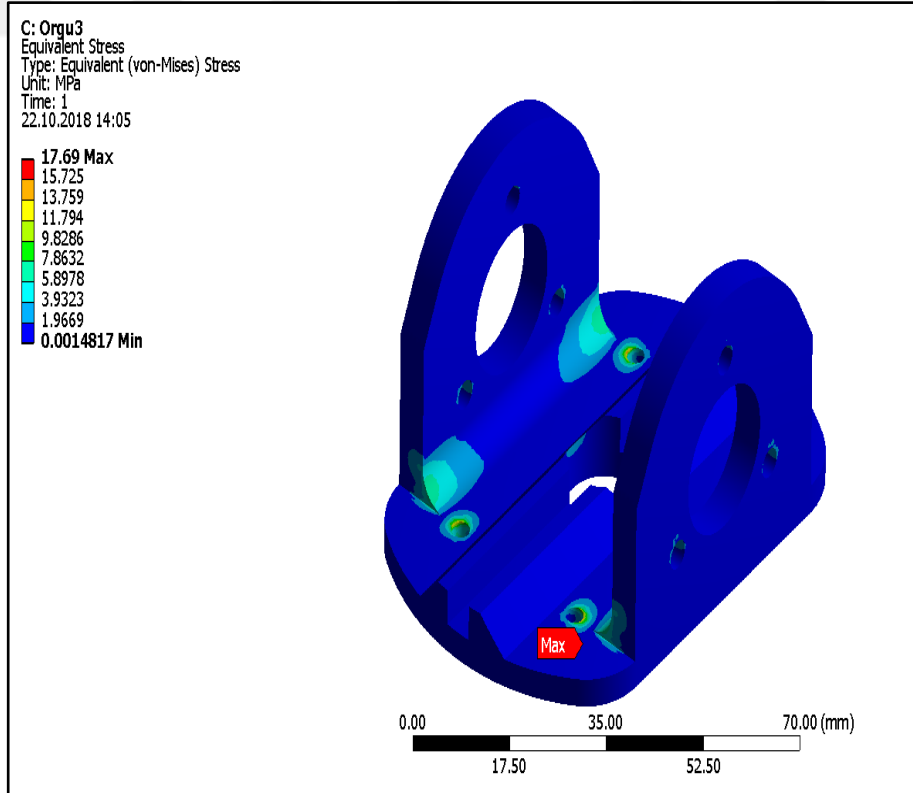
Şekil 8.11. Von mises gerilme dağılımı (MPa) [T10-2, T12-2, T16-2, T20-2].



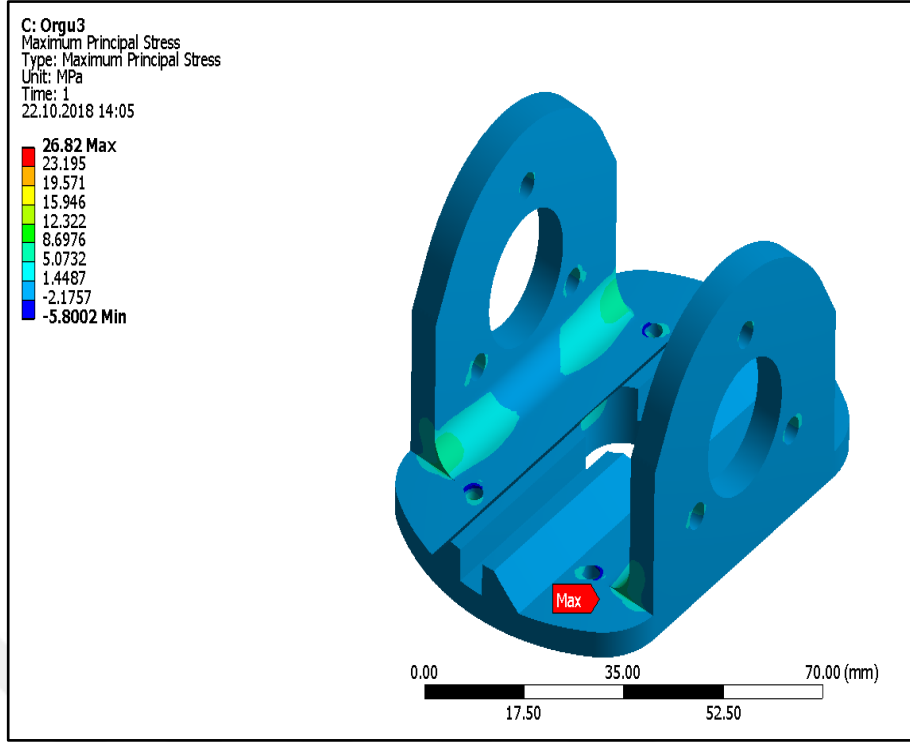
Şekil 8.12. Maksimum asal gerilme dağılımı (MPa) [T10-2, T12-2, T16-2, T20-2].



Şekil 8.13. Toplam deplasman dağılımı (mm) [T10-3, T12-3, T16-3, T20-3].



Şekil 8.14. Von mises gerilme dağılımı (MPa) [T10-3, T12-3, T16-3, T20-3].



Şekil 8.15. Maksimum asal gerilme dağılımı (MPa) [T10-3, T12-3, T16-3, T20-3].

Şekil 8.7’den Şekil 8.15’e kadar olan şekillerde farklı uç ve örme tipleri ile elde edilen analiz sonuçları gösterilmiştir. Veriler incelendiğinde Elastik Modülüs değerlerinin aynı örme biçimlerinde benzer olduğu gözlenmektedir. En yüksek dayanım değerinin 1 numaralı Solid Normal (Sık Tek Yönlü Yapı) İnşa Yöntemi ile elde edilen modellerde, en düşük dayanım değeri ise 2 numaralı Sparse (Tek Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi ile elde edilen modellerde gözlenmektedir. Analizlere girdi olan Elastik Modülüs değeri aynı tipte olan örme biçimlerinin ortamala değeri olarak alınmıştır. Ayrıca Poisson Oranı 0,35 kabul edilmiştir.

Yapılan analiz neticesinde modelimizin üst radyüs bölümünde Şekil 5.26, Şekil 5.29 ve Şekil 5.32 de gösterilen kırmızı bölgenin toplam deplasman değerinin maksimum seviyede olduğu görülmektedir. Bu bölgedeki deplasman değerleri dikkate alındığında en yüksek deplasman değerinin 0,133 mm ile 2 numaralı Sparse (Tek Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi ile elde edilen modellerde, ikinci olarak 0,088 mm ile 3 numaralı Duple Sparse (Çift Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi ile elde edilen modellerde ve en düşük uzama değeri 0,066 mm ile 1 numaralı Solid Normal (Sık Tek Yönlü Yapı) İnşa Yöntemi ile elde edilen modellerde görülmektedir.

Modellerimiz içerisinde maksimum gerilme (stres) durumu bütün modeller için parçanın alt kısmında bağlantı noktalarında oluşmaktadır.

Malzeme dayanım durumu incelenirken iki başarısızlık kriterine göre inceleme yapılmıştır. Genellikle sünek malzemelerin başarı durumunu değerlendirmek için kullanılan Von Mises Gerilme teorisinin yanı sıra kırılma malzemelerin başarı durumunun değerlendirilmesinde kullanılan Maksimum Asal Gerilme teoremi ile sonuçlar kıyaslanmıştır. Malzememiz sünek davranış göstermesinden ötürü Von Mises Gerilme yöntemi ile değerlendirme yapılması uygun görülmüştür. Von Mises Gerilme yöntemi ile yapılan analiz neticesinde, farklı uç tiplerine göre inşa edilen modellerin gerilme değerlerinin 17,69 MPa olarak aynı çıktığı gözlenmiştir. Modellerin kopma dayanımları ve Von Mises Gerilme değeri kıyaslanarak Çizelge 8.3 de gösterilmiştir. Çekme test sonuçlarına göre kopma dayanımı değerleri, 17,69 MPa altında kalan, T16-2, T20-1, T20-2 ve T20-3 uçları ile inşa edilen modeller yapısal başarısızlık göstermişlerdir. T10-1, T10-2, T10-3, T12-1, T12-2, T12-3, T16-1 ve T16-3 uçları ile inşa edilen modeller 17,69 MPa üzerinde bir kopma dayanımı değerine sahip olmalarından dolayı yapısal başarı göstermişlerdir.

BÖLÜM 9

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

9.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada çeşitli geometri, geometrik toleranslar ve ölçülerden oluşan bir modelin tasarımı yapılarak hızlı prototipleme tekniği kullanılarak harç yığıma teknolojisi ile üç boyutlu yazıcıda üretimler gerçekleştirilmiştir. Üç boyutlu yazıcıda üretimi gerçekleştirilen modeller, bütün unsurlarının değerlendirilebilmesi adına optik tarama ile taramaları gerçekleştirilip tasarımı gerçekleştirilen model ile ölçüsel uygunluğu kontrol edilmiştir. Ürünlerin yüzey pürüzlülüğü değerleri hassas ölçüm cihazları ile ölçülmüştür. Bunların yanı sıra ürünlerin model dayanımı ve dayanabileceği kuvvet değerleri özel yazılım programları ile hesaplanarak bilgisayar ortamı ve laboratuvar şartlarında test ve analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen deney ve gözlemler neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Üç boyutlu yazıcıda harç yığıma tekniği ile inşa edilen ürünlerde ölçüsel sonuçlara bakıldığında da T10 uç tipi ile inşa edilen ürünlerin en iyi sonucu elde ettiği görülmüştür. T10 uç tipi ile örülen modellerin ölçüm sonuçlarına bakıldığında da Normal (Sık Tek Yönlü Yapı) İnşa Yöntemi ile elde edilen modelin sıfır sapma %100 ölçü uygunluğu ile en uygun sonucu çıkardığı gözlenmektedir. En kötü sonuçlar ise T20 uç tipi ile inşa edilen ürünlerde gözlenmektedir. T20 uç tipi ile örülen modellerin ölçüm sonuçlarına bakıldığında da Double Sparse (Çift Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi ile elde edilen modelin 0,44mm'lik sapma ile %99,56 oranla en kötü sonuçlara sahip olduğu bulunmuştur. Bu durum T10 uç tipi katman kalınlığının daha sık olması diğerlerinin daha aralıklı olması ve Normal (Sık Tek Yönlü Yapı) İnşa Yönteminde örgü yapısının diğerlerine göre daha sık yapıda olmasıdır.

Ölçüsel sonuçlara göre maksimum ve minimum sapma değerlerinin inşa yöntemlerine göre değerlendirilmesi -0,22mm ve 0,23mm Normal (Sık Tek Yönlü Yapı) İnşa Yöntemi ile elde edilen ürünlerin sapma oranlarının en düşük olduğunu, -0,60mm ve 0.72mm Double Sparse (Çift Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi ile elde edilen ürünlerin sapma oranlarının en yüksek olduğunu göstermektedir.

Ölçüsel sonuçlara göre Over Tolerance ve Under Tolerance değerlerinin inşa yöntemlerine göre değerlendirilmesi sonucu Normal (Sık Tek Yönlü Yapı) İnşa Yöntemi ile elde edilen ürünlerin sapma oranlarının sıfır olması ile en düşük sonuç, 0,19mm ve 0,25mm Double Sparse (Çift Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi ile elde edilen ürünlerin Over Tolerance ve Under Tolerance oranlarının en yüksek olduğunu göstermektedir.

Üç boyutlu yazıcıda harç yığıma tekniği ile inşa edilen ürünler yüzey kalitesi bakımından incelendiğinde T10 uç tipi ile inşa edilen ürünlerin yüzey kalitesi olarak en iyi sonuçlara sahip olduğu gözlenmektedir. En kötü sonuçlar ise T20 uç tipi ile inşa edilen ürünlerde görülmektedir. Bu durumun sebebi de T10 uç tipinin daha ince, T20 uç tipinin daha kalın olmasından kaynaklanmaktadır.

Dayanım açısından üç boyutlu yazıcıda harç yığıma tekniği ile inşa edilen ürünler değerlendirildiğinde sırası ile dayanım değeri en yüksek olan T10 uç tipi ile inşa edilen modellerdir. Dayanım değeri en düşük olan T20 uç tipi ile inşa edilen modellerdir. İnşa yöntemlerine göre değerlendirildiğinde ise Normal (Sık Tek Yönlü Yapı) İnşa Yöntemi ile elde edilen ürünlerin en dayanıklı modeller olduğu 31.4 MPa, en zayıf ürünler ise 14.01 MPa değeriyle Sparse (Tek Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi ile elde edilen modellerde görülmektedir. Bunun sebebi malzeme oranının artmasından kaynaklanmaktadır.

Maksimum gerilme (stres) durumu inşa edilen bütün parçalar için alt kısımların da bulunan bağlantı noktalarında oluşmaktadır.

İnşa edilen parçalar üzerindeki deplasman değerleri yapılan analiz neticesinde bütün parçalar için üst bölümdeki radyüs bölgesinde (kırmızı ile belirtilen bölüm) oluştuğu

gözlenmektedir. İnşa yöntemlerine göre değerlendirildiğinde ise en yüksek deplasman değerinin 0,133 mm Sparse (Tek Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi ile elde edilen modellerde, ikinci olarak 0,088mm ile Double Sparse (Çift Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi ile elde edilen modellerde ve en düşük deplasman değeri 0,066 mm ile Solid Normal (Sık Tek Yönlü Yapı) İnşa Yöntemi ile elde edilen modellerde görülmektedir.

Yapısal başarı durumlarına göre üç boyutlu yazıcıda harç yığıma tekniği ile inşa edilen ürünler değerlendirildiğinde Von Mises Gerilme yöntemine göre kopma dayanımı 17,69 MPa altında bir değer alan modeller, yapısal başarısızlık göstermiştir. Bu durum inşa yöntemine bakılmaksızın T20 ucu ile inşa edilen bütün modellerde ve T16 Sparse (Tek Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi ile elde edilen modelde görülmektedir.

9.2. ÖNERİLER

- Hızlı prototip üretimleri, geleneksel imalat yöntemlerine göre takım, master, kalıp ve benzeri alet, gereçlere ihtiyaç duymaksızın daha hızlı ürünü meydana çıkarması sebebi ile tasarımsal faaliyetlerin eksik, noksan, geometrisel ve ölçüsel hata gibi unsurlarının tespit edilerek asıl üretime başlanmadan gerekli düzeltmelerin yapılması için harç yığıma yöntemi ile ürün inşa edilebilir.
- Birbiri ile fonksiyonel çalışan parçaların işlevselliğinin kontrolleri için hızlı prototip harç yığıma yöntemi ile ABS M30 malzemesinden inşa edilen ürünler kullanılarak kontrol edilebilir.
- Parçaların montaj edilebilirliği çalışmalarında harç yığıma yöntemi ile ürünler inşa edilebilir ve bu denemeler gerçekleştirilebilir.
- İnşaat ve mimarlık alanlarında gerçek binaların daha hızlı maketlerini üretilmesi ile müşteriye görsel sunumlar yapabilmek adına harç yığıma yöntemi ile ürünler inşa edilebilir.
- Geleneksel imalat yöntemleri kullanılarak üretimi zor parçaların üretilmesi için harç yığıma yöntemi kullanılabilir.

- Kopma dayanımı 17.69 MPa üzerindeki değerler için doğrudan son kullanım amaçlı üretilen parçalar T10-1, T10-2, T10-3, T12-1, T12-2, T12-3, T16-1 ve T16-3 uçları ile inşa edilerek kullanılabilir.
- Doğrudan son kullanım amaçlı inşa edilen 17.69 MPa ve üzeri bir değerde dayanıma sahip olması istenen parçalar T16-2, T20-1, T20-2 ve T20-3 uçları ile inşa edilerek kullanılması, dayanım değerlerinin yetersizliğinden dolayı uygun değildir.
- Ölçüsel uygunluğun önemli olduğu durumlarda tasarım modeli ile sıfır sapma değerine sahip olan T10-1 ucu Normal (Sık Tek Yönlü Yapı) İnşa Yöntemi ile elde edilen modeller tercih edilebilir.
- Tasarım modelinin, harç yığıma yöntemi karmaşık geometrilerde inşa edilen modellerin ölçüm imkanlarının sınırlı ve imkansız olduğu durumlarda optik tarama ile doğrulamaların yapılması uygundur.
- Harç yığıma yöntemi ile inşa edilerek fonksiyonel olarak kullanılan parçaların uzun süreli kullanımından dolayı ölçüsel ve fonksiyonelliklerinin kontrolleri optik tarama ile yapılması uygundur.
- Harç yığıma yöntemi ile inşa edilen parçaların yüzey sapmalarının renk skalaları ile daha net görüldüğü ve raporlandığı için kontrollerin optik tarama ile yapılması uygundur.

Bu çalışmada ele alınamayan fakat üzerinde çalışılabilecek konular:

- Üç boyutlu tasarımı ve teknik resmi olmayan bir ürünün optik tarama ile taranıp elde edilen veriler ışığında katı modeli oluşturularak bu modelin harç yığıma yöntemi ile inşa edilmesi araştırılabilir.
- Harç yığıma yöntemi ile inşa edilen parçanın optik tarama ile datalarının çıkarılarak bu datalar üzerinden mekanik üretim için katı modelinin oluşturulması ve bu model ile CAM programının yazılması araştırılabilir

- Hızlı prototipleme teknolojinin canlı görsel ürün sunumu ile eğitim alanında kullanılabilirliği araştırılabilir.
- Harç yığılma yöntemi ile inşa edilen parçaya temas edilmeden optik tarama ve temas edilerek problu tarama yöntemleri ile taramaları gerçekleştirilerek sayısallaştırma verilenin kıyaslanması çalışılabilir.



KAYNAKLAR

1. Çelik, İ, Karakoç, F, Çakır, M. K, and Duysak, A., “Rapid prototyping technologies and application areas”, *DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (31): 53-70 (2013).
2. Ashby, M. and Johnson, K., “Materials and Design”, *Elsevier*, London, 256-257 (2002).
3. Yılmaz, F., Arar, E. M. ve Koç, E., “3D baskı ile hızlı prototip ve son ürün üretimi”, *Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi*, İstanbul (2017).
4. Özüğür, B., “Hızlı prototipleme teknikleri ile kompleks yapıdaki parçaların üretilebilirliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2006).
5. Azari, A. and Nikzad, S. “The evolution of rapid prototyping in dentistry: a review”, *Rapid Prototyping Journal*, 15 (3): 216-225 (2009).
6. Hull, C., Feygin, M., Baron, Y., Sanders, R., Sachs, L., E. and Wohlers, A., T., “Rapid prototyping: current technology and future potential”, *Rapid Prototyping Journal*, 1 (1): 11-19 (1995).
7. Pham, D., T. and Gault, R., S., “A comparison of rapid prototyping technologies”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 38 (1): 1257-1287 (1997).
8. Levy, G. N., Schindel, R. and Kruth, J. P., “Rapid manufacturing and rapid tooling with layer manufacturing (lm) technologies”, *State of the art and future perspectives*, 1 (1): 1-21 (1996).
9. Polzin, C., Spath, S. and Seitz, H., “Characterization and evaluation of a PMMA-based 3D printing process”, *Rapid Prototyping Journal*, 19 (1): 37-43 (2013).
10. Anzalone, G. C., Wijnen, B. and Pearce, J. M., “Multi-material additive and subtractive prosumer digital fabrication with a free and open-source convertible delta RepRap 3-D printer”, *Rapid Prototyping Journal*, 21 (5): 506-519 (2015).
11. Kaya, B. ve Duvarcı, Z., “Döküm için EPS köpük modellerin üretilmesinde laminasyon baskı tabanlı yöntemin adaptasyonu: otomotiv endüstrisinden örnek bir kalıp üzerine uygulaması”, *3B Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu*, İstanbul, 172-179 (2016).

12. Maden, H. ve Kamber, Ö. Ş., “FDM teknoloji ile üretilen prototip parçalarının hataları ve hataların önlenmesi”, *Uluslararası 3B Yazıcı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Dergisi*, 2 (1): 40-51 (2018).
13. İlgül R. C. ve Akgünoğlu, B., “Üç boyutlu yazıcı”, Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü*, Karabük, 1-6 (2016).
14. Çelik, İ., Karakoç, F., Çakır, M. C. ve Duysak, A., “Hızlı prototipleme teknolojileri ve uygulama alanları”, *DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 31: 53-67 (2013).
15. İnternet: Moment Makine Tarihi, “Devrim Yaratan Makine: 3D Printer”, <http://www.moment-expo.com/sayi/94> (2019).
16. Bozdemir, M., “Silah kabzasının 3B yazıcılarla tasarım ve imalatı”, *Uluslararası 3B Yazıcı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Dergisi*, 2(1): 57-68 (2018).
17. Soyaslan, M., Kurt, M. ve Nart E., “Ergiyik birikimli modelleme (FDM) tekniği ile çok eksenli hızlı örnekleme platformunun geliştirilmesi”, *3B Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu*, İstanbul, 268-277 (2016).
18. Maden, H., Kamber, Ö. Ş., “Seperatörlü elektrik motoru için geliştirilen seperatör tasarımının prototiple üretim test etmek için uygun üretim yöntemi bulunması”, *Uluslararası 3B Yazıcı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Dergisi*, 2(2): 26-36 (2018).
19. Börklü H. R., Yıldırım A. K. ve Sezer H. K., “Hızlı prototip oluşturmada karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri”, *3B Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu*, İstanbul (2016).
20. Delikanlı K., Sofu M. M. ve Bekci, U., “Üretim sektöründe hızlı direkt imalat sistemlerinin yeri ve önemi”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (4): 33-39 (2005).
21. Yılmaz, D., “Katmanlı İmalat Teknolojileri ve Havacılık Uygulamaları”, *STM Mühendislik Teknoloji Danışmanlık*, 5-17 (2017).
22. İnternet: MIT News, “3-D Printing”, <http://news.mit.edu/topic/3-d-printing> (2019).
23. Chhabra, M., Singh, R., “Rapid casting solutions: A review”, *Rapid Prototyping Journal*, 17(5): 328-50 (2011).
24. İnternet: PowerShow, “Rapid Prototyping by Layered Manufacturing”, https://www.powershow.com/view/11e4b4-ZjljY/Rapid_Prototyping_by_Layered_Manufacturing_powerpoint_ppt_presentation?varnishcache=1 (2019).

25. İnternet: Custompartnet, “Fused Deposition Modeling”, <http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling> (2019).
26. İnternet: Protec3D, “3D Drucken”, <https://www.protec3d.de/3d-drucken> (2019).
27. Emre, Ş., Yolcu, M. B. ve Celayir, S., “Üç boyutlu yazıcılar ve çocuk cerrahisi”, *Çocuk Cerrahisi Dergisi*, 29(3): 77-82 (2015).
28. Demir, E. ve Toktaş, İ., “Tıp ve sağlık bilimleri eğitimi için insan vücudundaki anatomik yapıların modellenmesi ve 3 boyutlu baskısı”, *3B Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu*, 101-106 (2016).
29. İnternet: 3bfab, “Kişiyi Özelleştirilmiş Medikal Uygulamalarla Sağlık Alanında Devrim”, <https://3bfab.com/uygulamalar-saglik/> (2019).
30. Aydın, L., Küçük, S., ve Kenar, H., “Doku ve organ biyo yazdırma amaçlı 3B biyo yazıcı tasarımı ve geliştirilmesi”, *Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi*, Muğla, 153-157 (2015).
31. Kara, E., Buldum, B. B., Yılmaz, Ç. ve Özkaya, N., “3B yazıcı ile kişiyi özgü implant tasarımı”, *3B Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu*, İstanbul, 218-226 (2016).
32. Geçkili, O., Bural, C., Sönmez, E. ve Yıldız, İ., “Parsiyel dişsizliğin dental implantlar ve teleskop tutuculu protezler ile tedavisi: bir olgu sunumu”, *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 22(3): 298-305 (2012).
33. Karagöz, M. ve Cerit, A. A., “Kişiyi özel implant tasarımlarının 3 boyutlu yazıcılarla üretilmesi”, *3B Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu*, İstanbul, 311-317 (2016).
34. Tandırcıoğlu, F. E. ve Arslan Selçuk, S., “3 boyutlu yazıcılar ve geleceğin mimarlık teknolojisi”, *3B Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu*, İstanbul, 84-90 (2016).
35. Pak, B., “Dijital ortam mimari tasarım ara kesitinde bir tasarım modeli”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2-11 (2003).
36. Yıldırım, M., “Moda giyim sektöründe üç boyutlu yazıcılarla tasarım ve üretim”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Hakemli Dergisi*, (17): 155-172 (2016).
37. Gürcüm, B. H., Seçim, E., Arslan, P., Bulat, F., Kuç, E. ve Yıldırım, Ş., “Tekstil tasarımında yenilikçi malzemelerin keşfi: ahşap tekstiller”, *İdil Dergisi*, 5 (26): 1713-1742 (2016).

38. Aksu, H., “Geleceğin Evleri Sizi Sizden Daha İyi Taniyacak”, *Türkiye İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği Dergisi*, 36-37 (2017).
39. Şahin, K. ve Turan, B. O., “Üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin karşılaştırmalı analizi”, *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(2): 97-116 (2018).
40. Akçay, T., Semiz, S. ve Aykut, Ş., “3 boyutlu yazıcı tasarımı ve ürün testi”, *3B Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu*, İstanbul, 294-305 (2016).
41. Acar Yavuz, G. ve Kıral, Z., “Üç boyutlu baskı tekniği ile nesnelerin üretimi”, *3B Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu*, İstanbul, 29-39 (2016).
42. Boyraz, B. ve Dolunay, A., “Heykel sanatında ön modelleme aşaması ve üç boyutlu yazıcı uygulamaları”, *Ulakbilge Dergisi*, 2 (3): 69-80 (2014).
43. Gökçearslan, A., “Üç boyutlu yazıcının grafik tasarım alanına yansımaları”, *Fine Arts (NWSAFA)*, 12(2): 135-148 (2017).
44. Kiraz, C., Sezer, H. K. ve Şahin, İ., “Kuyumculuk sektöründe 3B baskı tasarım tekniklerinin özgürlüğünden faydalanıldığında sektöre getirileri”, *Uluslararası 3B Yazıcı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Dergisi*, 2(2): 46-58 (2018).
45. Kuzu Demir, E. B., Çaka, C., Tuğtekin, U., Demir, K., İslamoğlu, H. ve Kuzu, A., “Üç boyutlu yazdırma teknolojilerinin eğitim alanında kullanımı: Türkiye’deki uygulamalar”, *Ege Eğitim Dergisi*, 2(17): 481-503 (2016).
46. Bora, M., “Görsel sanatlar eğitiminde bilgisayar teknolojisinden yararlanma olanakları”, *İdil Dergisi*, 7(49): 1177-1189 (2018).
47. Delikanlı, K., Sofu, M. M. ve Bekçi, U., “Üretim sektöründe hızlı direkt imalat sistemlerinin yeri ve önemi”, *Makina Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (4): 33-39 (2005).
48. Baş, H. ve Yapıcı, F., “Ergonomik tasarım ve üretimde hızlı prototipleme teknolojisi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3): 199-204 (2015).
49. İnternet: Makina Tek, “Ürün Tasarımına Yeni Bakış Açısı 3D Üretim”, <http://makinatek.com.tr/uncategorized/urun-tasarımına-yeni-bakış-açısı-3d-üretim/> (2019).
50. Sandalcı, N., “Türkiye’de endüstriyel tasarımcıların 3 boyutlu yazıcıları kullanımları hakkında bir inceleme”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 27-50 (2016).
51. Kayacan, M. Y. ve Sayer, S., “Ürün Geliştirme Sürecinde Hızlı Prototip Uygulamaları”, *PAGEV Plastik Dergisi*, 122 (2014).

52. Gr, Y., “ boyutlu masa üstü yazıcı ile matematiksel bir modelden gerçek bir nesnenin dijital retimi”, *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 19(2): 237-245 (2017).



ÖZGEÇMİŞ

Okan PISIK, 1982 yılında Karabük'te doğdu; ilk, orta ve lise öğrenimini Karabük'te tamamladı. 2007 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünden mezun oldu. 2009 yılında askerlik vazifesini tamamladı. Savunma sanayi alanında başlamış olduğu iş hayatı 2011 yılında da ROKETSAN A.Ş' ye giriş kalite kontrol biriminde çalışmaya başlayarak devam etti. 2014 yılında TÜBİTAK SAGE'de mekanik üretim ve bütünleme biriminde başlamış olduğu görevine halen devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Esentepe Mahallesi Ufuk Sokak 24/2

Yenimahalle/ANKARA

Tel : (505) 564 1611

E-posta : okanpisik@gmail.com