

**3B HIZLI PROTOTİP MODELLEMEDE ÖRME  
PARAMETRELERİNİN ÜRÜN MUKAVEMETİNE  
ETKİSİ**

**2018  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**EMİR ÖMER AKBAŞ**

**3B HIZLI PROTOTİP MODELLEMEDE ÖRME PARAMETRELERİNİN  
ÜRÜN MUKAVEMETİNE ETKİSİ**

**Emir Ömer AKBAŞ**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Temmuz 2018**

Emir Ömer AKBAŞ tarafından hazırlanan "3B HIZLI PROTOTİP MODELLEMEDE ÖRME PARAMETRELERİNİN ÜRÜN MUKAVEMETİNE ETKİSİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan SUR

Tez Danışmanı, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27/07/2018

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Hakan GÜRÜN (GÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Gökhan SUR (KBÜ)

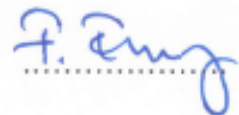


...../...../2018

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.”*

Emir Ömer AKBAŞ

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **3B HIZLI PROTOTİP MODELLEMEDE ÖRME PARAMETRELERİNİN ÜRÜN MUKAVEMETİNE ETKİSİ**

**Emir Ömer AKBAŞ**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Dr. Gökhan SUR**

**Temmuz 2018, 82 sayfa**

Bu çalışmada, günümüzde en yaygın kullanım alanına sahip olan üç boyutlu termoplastik yazıcılarda örme parametrelerinin ürün mukavemetine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Bu kapsamda farklı üretim parametreleri (inşa açısı, bölüm ızgara genişliği ve inşa genişliği) dikkate alınarak deney numuneleri üç boyutlu çizim programında modellenmiştir. Deney numunelerinin üretimi hızlı prototipleme cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Plastik hammadde olarak ABS M30 ticari isimli termoplastik filament kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada, ürün mukavemetini en çok etkileyen inşa açısı, bölüm ızgara genişliği ve inşa genişliği olmak üzere üç temel parametre incelenmiştir. Üretilen deney numuneleri ASTM D638.05/2008 standardına göre çekme testine tabi tutulmuştur.

Yapılan analizler sonucunda, üretim teknikleri, yapısal dayanım, yüzey kalitesi, ölçü tamlığı ve maliyet açısından karşılaştırılarak en uygun üretim yöntemi hakkında bilgi verilmiştir.

**Anahtar Sözcükler** : Harç yığma yöntemi, örme parametreleri, ürün mukavemeti, ABS M30 termoplastik filament, ASTM D638.05/2008 standardına göre çekme testi.

**Bilim Kodu** : 914.1.140



## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **EFFECT OF KNITTING PARAMETERS ON PRODUCT STRENGTH IN 3D RAPID PROTOTYPING**

**Emir Ömer AKBAŞ**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Dr. Gökhan SUR**

**July 2018, 82 pages**

In this study, the effect of knitted parameters on the product strength of three dimensional thermoplastic printers, which have the most common usage today, is investigated experimentally. In this scope, the test samples are modeled in a three-dimensional drawing program, taking into account the different production parameters (construction angle, section grid width and construction width). The production of the test specimens was carried out using a rapid prototyping device. ABS M30 thermoplastic filament is used as plastic raw material.

In the study, three basic parameters were examined, namely construction angle, section grid width and construction width, which most influenced product strength. The produced test specimens were subjected to tensile test according to ASTM D638.05/2008 standard.

As a result of the analyzes made, information about the most suitable production method is given by comparing production techniques, structural strength, surface quality, measurement accuracy and cost.

**Key Word** : Mortar stacking method, knitting parameters, product strength, ABS M30 thermoplastic filament, tensile test according to ASTM D638.05 / 2008 standard.

**Science Code** : 914.1.140





## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren Sayın Dr. Gökhan SUR hocama sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarını esirgemeyen Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı başkanı Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi öğretim üyesi Doç. Dr. Hakan GÜRÜN, alıőma arkadaşlarım Harun KAHYA, Mustafa BAŐALTIN, Mehmet AYTAŐ'a, çalıőmalarımda bana yardımcı olan değerli TUBİTAK SAGE çalıőanlarına ve hayat boyu desteklerini hiç esirgemeyen aileme teőekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	4
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	4
2.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI DEĞERLENDİRİLMESİ.....	8
BÖLÜM 3 .....	10
HIZLI PROTOTİPLEME ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ .....	10
3.1. HARÇ YIĞMA TEKNİĞİ.....	11
3.2. ISITARAK TOZ BAĞLAMA TEKNİĞİ .....	13
3.3. YAPIŞTIRICI İLE TOZ BAĞLAMA TEKNİĞİ.....	15
3.4. TARAYARAK IŞIKLA KÜR TEKNİĞİ .....	17
3.5. POLYJET TEKNİĞİ .....	19
3.6. TABAKALI YAPIŞTIRMALI PARÇA İMALATI .....	20
3.7. HPÜ YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI .....	22
3.8. HPÜ SİSTEMLERİN UYGULAMA ALANLARI.....	23
3.8.1. Mühendislik Uygulamaları.....	24

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.8.2. Medikal Uygulamaları.....	25
3.8.3. Kuyumculuk Uygulamaları .....	26
3.8.4. Mimarlık Uygulamaları .....	27
3.8.5. Sanat Uygulamaları .....	28
3.9. 3B YAZICILARDA KULLANILAN PLA VE ABS MALZEMELER .....	29
3.9.1. PLA Filament .....	29
3.9.2. PLA Flamet Kullanım Alanları .....	30
3.9.3. Katkılı PLA Filamentler .....	31
3.9.3.1. Ahşap Katkılı PLA.....	31
3.9.3.2. Bakır – Bronz – Katkılı PLA .....	31
3.9.3.3. Naylon Katkılı PLA .....	32
3.10. ABS FİLAMENT .....	32
BÖLÜM 4 .....	35
HPÜ TEKNOLOJİLERİNDE ÜRETİM PARAMETRELERİ .....	35
4.1. KATMAN KALINLIĞI (İNŞA DERİNLİĞİ).....	35
4.2. DOLULUK ORANI .....	36
4.3. KABUK SAYISI VE KALINLIĞI .....	37
4.4. BASKI HIZI .....	38
4.5. EXTURUDER (ISITICI BAŞLIK) SICAKLIĞI .....	38
BÖLÜM 5 .....	39
MATERYAL VE METOD .....	39
5.1. HIZLI PROTOTİP SİSTEMLERDE ÜRETİM AŞAMALARI.....	41
5.2. 3B YAZICILARDA ÜRETİM ÖNCESİ PROSES ÇALIŞMALARI.....	42
5.2.1. CAD Modelin Oluşturulması .....	42
5.2.2. CAD Modelin STL Formatına Dönüştürülmesi.....	43
5.3. DENEYDE KULLANILAN YARDIMCI CİHAZLAR .....	43
5.3.1. HPÜ Cihazı.....	43
5.3.2. Çekme Test Cihazı .....	47
5.4. MODEL İNŞA YÖNTEMLERİ.....	48
5.4.1. Saparsa (Tek Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi.....	48

	<b><u>Sayfa</u></b>
5.4.2. Duple Saparsa (Çift Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi .....	49
5.4.3. Solid Normal (Sık Tek Yönlü Yapı) İnşa Yöntemi.....	50
5.5. MODEL STL KONUMLAMA .....	50
5.6. DENEYSEL METOT .....	51
BÖLÜM 6 .....	56
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	56
6.1. BİRİNCİ GRUP DENEY (30° İNŞA AÇISI) .....	56
6.2. İKİNCİ GRUP DENEY (60° İNŞA AÇISI).....	63
BÖLÜM 7 .....	70
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	70
KAYNAKLAR .....	72
EK AÇIKLAMALAR A. ÇEKME TEST SONUÇLARI.....	76
ÖZGEÇMİŞ .....	82

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. HPÜ Teknolojilerinin katman inşa tekniğine göre sınıflandırılması.....	11
Şekil 3.2. Harç yığma yönteminin çalışma prensibi .....	11
Şekil 3.3. Harç yığma tekniği ile yapılan karmaşık modeller .....	13
Şekil 3.4. LS Yönteminin çalışma prensibi .....	14
Şekil 3.5. Isıtarak toz bağlama tekniği ile yapılan modeller .....	15
Şekil 3.6. Yapıştırıcı ile toz bağlama yönteminin çalışma prensibi.....	16
Şekil 3.7. Yapıştırıcı toz bağlama yöntemi ile yapılan modeller .....	16
Şekil 3.8. SLA Sisteminin çalışma prensibi.....	17
Şekil 3.9. SLA Tekniği ile üretilmiş parçalar .....	18
Şekil 3. 10. Zephyr sıvı yayma tekniği çalışma prensibi .....	19
Şekil 3.11. Polyjet sistemi çalışma prensibi.....	20
Şekil 3.12. Tabakalı yapıştırma sistemi çalışma prensibi .....	21
Şekil 3.13. LOM prensibi yöntemiyle üretilmiş parçalar .....	21
Şekil 3.14. Prototipleme yöntemi ile elde edilmiş modeller .....	23
Şekil 3.15. HPÜ ile elde edilmiş bir motor montajı.....	24
Şekil 3.16. HPÜ Teknolojileri ile üretilen insan uzuv modelleri.....	25
Şekil 3.17. Bioplotterimplant uygulaması iş akışı .....	26
Şekil 3.18. Mücevher tasarım ve imalat uygulamaaşamaları .....	27
Şekil 3.19. HPÜ Teknolojileri ile mimari uygulamalar .....	28
Şekil 3.20. HPÜ Teknolojileri ile sanat uygulamalar .....	28
Şekil 3.21. PLA Filament ile örülmüş örnek objeler .....	29
Şekil 3.22. PLA Filament.....	30
Şekil 3.23. Ahşap katkılı PLA modeli .....	31
Şekil 3.24. Bakır ve Bronz katkılı PLA modeli .....	32
Şekil 4.1. Katman kalınlıklarına göre yüzey pürüzlülüğü .....	36
Şekil 4.2. Doluluk oranlarının % olarak gösterimi .....	36
Şekil 4.3. Kabuk sayısı gösterimi .....	37

Şekil 4.4. Baskı hızının şekil üzerinde gösterimi.....	38
Şekil 4.5. PLA Filament için farklı sıcaklıktaki sonuçlar.....	38
Şekil 5.1. Çekme eğrisi diyagramı.....	40
Şekil 5.2. Çekme deneyinde numunenin gösterdiği davranışlar.....	40
Şekil 5.3. HPÜ Sistemi üretim aşamaları.....	42
Şekil 5.4. Prototip CAD model çizimi.....	42
Şekil 5.5. CAD modelin üçgen kafes yapı görünümü.....	43
Şekil 5.6. Fortus 360 mc hızlı prototipleme cihazı.....	44
Şekil 5.7. Model uçların (tip) özellikleri ve tanımlanması.....	45
Şekil 5.8. FORTUS 360 mc prototip kartuş.....	45
Şekil 5.9. Prototip yazıcı eksenleri şematik gösterimi.....	46
Şekil 5.10. Prototip inşa alanı şematik resmi.....	46
Şekil 5.11. FDM 360 mc model inşa alanı.....	47
Şekil 5.12. Zwick/Roell Z100 test cihazı.....	47
Şekil 5.13. Saparsa (tek yönlü yapı) inşa tipi.....	49
Şekil 5.14. Double Saparsa (çift yönlü yapı) inşa tipi.....	49
Şekil 5.15. Solid normal (sık tek yönlü yapı) inşa tipi.....	50
Şekil 5.16. STL Konumlama gösterimi.....	50
Şekil 5.17. Test numunesi CAD çizimi.....	52
Şekil 5.18. STL dilimleme.....	53
Şekil 5.19. Test numunesi.....	53
Şekil 6.1. Çekme testi deney modelleri (30° inşa açısı).....	57
Şekil 6.2. Bölüm ızgara genişliğinin akma mukavemetine etki grafiği (30°).....	58
Şekil 6.3. Bölüm ızgara genişliğinin çekme mukavemetine etki grafiği (30°).....	58
Şekil 6.4. İnşa genişliğinin çekme mukavemetine etki grafiği (30°).....	60
Şekil 6.5. İnşa genişliğinin akma mukavemetine etki grafiği (30°).....	60
Şekil 6.6. ABS-M30 malzeme kullanımı (cm <sup>3</sup> ).....	62
Şekil 6.7. Çekme testi deney modelleri (60° inşa açısı).....	63
Şekil 6.8. Bölüm ızgara genişliğinin akma mukavemetine etki grafiği (60°).....	65
Şekil 6.9. Bölüm ızgara genişliğinin çekme mukavemetine etki grafiği (60°).....	65
Şekil 6.10. İnşa genişliğinin çekme mukavemetine etki grafiği (60°).....	66
Şekil 6.11. İnşa genişliğinin akma mukavemetine etki grafiği (60°).....	67

**Sayfa**

Şekil 6.12. ABS-M30 malzeme kullanımı (cm <sup>3</sup> ). .....	69
Şekil Ek 1A Deney no 1 ve Deney no 2 çekme testi sonuç grafiği. ....	77
Şekil Ek 2A Deney no 3 ve Deney no 4 çekme testi sonuç grafiği. ....	77
Şekil Ek 3A Deney no 5 ve Deney no 6 çekme testi sonuç grafiği. ....	78
Şekil Ek 4A Deney no 7 ve Deney no 8 çekme testi sonuç grafiği. ....	78
Şekil Ek 5A Deney no 9 ve Deney no 10 çekme testi sonuç grafiği .....	79
Şekil Ek 6A Deney no 11 ve Deney no 12 çekme testi sonuç grafiği. ....	79
Şekil Ek 7A Deney no 13 ve Deney no 14 çekme testi sonuç grafiği. ....	80
Şekil Ek 9A Deney no 15 ve Deney no 16 çekme testi sonuç grafiği. ....	80
Şekil Ek 10A Deney no 17 ve Deney no 18 çekme testi sonuç grafiği. ....	81

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1. Hızlı prototipleme yöntemlerinin karşılaştırılması .....	22
Çizelge 3.2. PLA Filament avantaj ve dezavantajları .....	30
Çizelge 3.3. ABS-M30 Mekanik özellikleri .....	33
Çizelge 3.4. ABS-M30 Termal özellikleri .....	34
Çizelge 3.5. ABS-M30 Elektriksel özellikleri .....	34
Çizelge 5.1. Fortus 360 mc prototip cihazı teknik özellikleri .....	44
Çizelge 5.2. FORTUS 360 mc prototip uç parametreleri.....	45
Çizelge 5.3. Zwick/Roell Z100 test cihazı teknik özellikleri.....	48
Çizelge 5.4. Sabit parametreler. ....	51
Çizelge 5.5. Değişken parametreler. ....	52
Çizelge 5.6. Deney tasarım kombinasyonu.....	54
Çizelge 5.7. Deney parametreleri (30° İnşa Açısı) .....	55
Çizelge 5.8. Deney parametreleri (60° İnşa Açısı) .....	55
Çizelge 6.1. Çekme testi deney sonuçları (30° inşa açısı ) .....	57
Çizelge 6.2. Bölüm ızgara genişliği akma ve çekme mukavemetine oranı (%). .....	59
Çizelge 6.3. İnşa genişliği akma ve çekme mukavemetine oranı (%) .....	61
Çizelge 6.4. Malzeme ve zaman gösterimi (30° inşa açısı). ....	62
Çizelge 6.5. Çekme testi deney sonuçları (60° inşa açısı). ....	64
Çizelge 6.6. Bölüm ızgara genişliği akma ve çekme mukavemetine oranı (%). .....	66
Çizelge 6.7. İnşa genişliği akma ve çekme mukavemetine oranı (%). ....	68
Çizelge 6.8. Malzeme ve zaman gösterimi (60° inşa açısı). ....	69



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene
Ar-Ge	Araştırma ve Geliştirme
BASS	Break Away Support System
CAD	Computer Aided Design
CMM	Coordinate Measuring Machine
CNC	Computer Numerical Control
CT	Computer Tomography
DSPC	Direct Shell Production Casting
DTM	Direct Tooling Manufacture
EDM	Electrical Discharge Machining
FDM	Fused Deposition Modeling
HPÜ	Hızlı Prototip Üretimi
LOM	Laminated Object Manufacturing
MR	Magnetic Resonance
NASA	National Aeronautics and Space Administration
RP	Rapid Prototyping
RTM	Resin Transfer Method
UV	Ultra Violet
Ür-Ge	Ürün Geliştirme
SLS	Selective Laser Sintering
STL	Stereo Lithography
3D	Üç boyutlu

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Hızlı Prototipleme makineleri, üç boyutlu nesnelerin bilgisayar ortamında STL formatında katmanlara bölünerek ve tabandan başlayıp katman katman eritilen ham maddenin, üst üste gelecek şekilde basılması mantığına dayanır.

Üç boyutlu hızlı prototipleme işleminde üretim parametrelerinin doğru seçilmesi zaman, maliyet ve mukavemet açısından büyük önem arz etmektedir. Otomotiv yan sanayinde kullanılacak bir prototipin mukavemetli olması istenir. Maket sektöründe yer alan bir firmada üretimi yapılacak üç boyutlu parçalarda ise mukavemetten çok görsellik ön plana çıkmaktadır. Hızlı prototipleme makineleri (STL) formatını kullanarak üç boyutlu modelleri ürüne dönüştürme işlemi yapmaktadır.

Teknoloji ile birlikte verimlilik, üretilebilirlik, kalite, zaman ve maliyet gibi kavramlarda önemli hale gelmiştir. Teknolojide Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) ve Ürün Geliştirme (Ür-Ge) çalışmaları ile insanoğlunun ihtiyaçlarına karşılık verecek ürünler tasarlanmaktadır. Tasarlanan ürünleri üretim süresinin kısalığı, maliyet ve ihtiyaca en iyi şekilde cevap vermesi, tasarım süreçlerinin en önemli kriterleridir.

Bilimsel öğrenme yöntemleri arasında yer alan deneme-yanılma yöntemi üretim sistemlerine uyarlandığında, tasarlanan üretimin amaca uygunluğunu öğrenmek için birçok denemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Ürün denemeleri, teknolojik olanaklar çerçevesinde üretilen prototipler ile karşılanmaktadır. Prototip üretim, mevcut seri üretim teknikleri ile gerçekleştirildiğinde, üretim zamanı ve maliyet açısından verimsiz şartlar ortaya koymaktadır. Bu anlamda, gereksinimleri karşılamak için geliştirme çalışmaları devam eden ve hızlı prototip üretim (HPÜ) olarak adlandırılan teknolojiler, model üretim sistemleri içerisinde önemli bir yer almaktadır.

HPÜ teknolojilerinde üretilmesi istenilen parçaların öncelikle bilgisayar desteği ile üç boyutlu modelleri oluşturulur. Üç boyutlu tasarım, endüstriyel tasarım teknikleri ile bilgisayar yazılımları kullanılarak yapılabileceği gibi hazır bir model üzerinden üç boyutlu dijital veya optik tarayıcılar kullanılarak ta elde edilebilir. Üretilmesi istenen parçanın tasarımı modelin sınırlarını, iç ve dış yüzeylerini içermelidir. Üç boyutlu tasarım verisi STL veri formatında dönüştürülerek HPÜ tekniklerinde kullanılabilir hale getirilir. STL veri formatı model üçgenlerden oluşmuş yüzeylerden ibarettir. Üç boyutlu model dilimlere ayrıldıktan sonra sistematik bir şekilde katmanlar halinde inşa edilir.

#### Hedefler;

- 1- İmalat sektörünün gelişimde büyük bir öneme sahip olan prototip parça ihtiyaçlarının üç boyutlu yazıcılar kullanılarak yüksek mukavemetli olarak üretilmesi,
- 2- Prototip parça üretiminde geleneksel ve geleneksel olmayan yöntemlere nazaran daha hızlı ve düşük maliyetli prototiplerin üretilmesi,
- 3- Farklı işlem parametreleri kullanılarak elde edilen test numunelerin, akma, çekme, kopma ve uzama dayanımlarının test edilmesi,
- 4- Üretimde kullanılacak en uygun örme parametrelerinin belirlenmesi,
- 5- Üç boyutlu bilgisayar destekli tasarım (BDT) modelini STL dosya formatında okuyan, dilimleme ve takım yolu hesaplama işlemlerini gerçekleştiren Insight yazılımı kullanılarak, ABS-M30 malzemesinden üretilen çekme deney numunelerinin farklı üretim parametreleri (örme yapı çeşitleri vb.) kullanılarak üretilmesi ve malzemenin dayanımlarının artırılması hedeflenmiştir.

Sonuç olarak üç boyutlu yazıcılarla elde edilen ürünlerin kalitesinin artırılması amacı ile elde edilen veriler üzerine tartışılmış ve endüstriyel uygulamalar bazında önerilerde bulunulmuştur.



## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Üç boyutlu (3B) yazıcılar ilk olarak 1984 yılında stereolithography (SLA) teknolojisi kullanılarak Charles Hull tarafından geliştirilmiştir. 1993 yılında ilk olarak Massachusetts Institute of Technology (MIT), 2 boyutlu yazıcılardaki Injet teknolojisini kullanarak yeni bir teknoloji geliştirmiştir ve bu teknolojiye üç boyutlu baskı (3BP) adı verilmiştir. Bu teknoloji sayesinde 3B yazıcılarda farklı renklerde prototip baskılar elde edilmeye başlanmıştır.

Sachs ve arkadaşları HPÜ tekniğini gerçekleştiren ilk araştırmacılar olup CAD modelden doğrudan parça üretimini gerçekleştirmişlerdir. Toz halindeki malzemenin katmanlar halinde çökertilmesinde 3B yazıcı fonksiyonlarını ve tozun seçici bağlanmasında toza göre seçilen bağlayıcı malzemeyi püskürten bir jet sistemi kullanmışlardır. Bu çalışma, günümüzde kullanılan hızlı prototip üretim (HPÜ) tekniklerinin temelleri oluşturmaktadır [1].

Kruth ve Jacob, çalışmalarında HPÜ sistemlerini sıvı polimerizasyon, Harç Yığıma Yöntemi (FDM – Fused Deposition Modelling), Lamine Parça Üretim Yöntemi (LOM – Laminated Object Manufacturing), Seçici Lazer Sinterleme Yöntemi (SLS – Selective Laser Sintering) ve noktadan noktaya katılaştırma olarak sınıflandırmıştır [2].

Ippolito ve arkadaşları, beş farklı HPÜ tekniğiyle üretilmiş HPÜ modellerini yüzey kalitesi ve boyut hassasiyeti konusunda karşılaştırmış ve bir HPÜ parçasının ANSI-ISO standartlarına göre kalitesini kontrol etmek için bir tezgâh önermişlerdir [3].

Arthur, 180mm kalınlığındaki SLA numunesinin elektrolizle kaplanarak EDM (Electrical Discharge Machining) elektrotu olarak kullanılmasını araştırmıştır. 10mm kalınlığında ince bir iletken boya bakırın çökeltilebilmesi için ara yüzey olarak kullanılmıştır. Aynı zamanda SLA modellerinden elektrolizle şekil verilmiş bakır elektrotlar elde etme üzerinde çalışmışlardır. Çeşitli komponentler için elde edilmiş negatifler ve bunların boşlukları, bir SLA reçine içerisinde elektrolizle şekil vermek için master olarak kullanılmak üzere modellenmiştir [4].

Dover ve arkadaşları bir elektrolizle çökeltme prosesi ile doğrudan metal takımların üretilmesine girişmişlerdir. Bir bakır sülfat elektrolit sistemini, EDM elektrotu ve pres takımları üretmede kullanmışlardır. Çökeltmeyi istenilen alanda sınırlandırmak için yüksek hızlı seçici bir jet kullanılmıştır. Bu sistemin çalışma prensibine göre; elektrolitin küçük bir nozuldan püskürtülmesiyle nozuldan anoda doğru akış oluşturulmuştur. Elektrolitik çökeltme bu sayede katod üzerinde küçük bir alanla sınırlanır. Nozul bir SLA makinesi lazerine benzer bir şekilde hareket ederek işlemi devam ettirir [4].

Chrysler'da SLA modelleri reçine transferi ile kalıplama yöntemi (RTM – Resim Transfer Method) ile kalıp eldeki amaçlı olarak kullanılmaktadır. Karmaşık bölüm olarak tanımlanan modelin iç kısmı, SLA teknolojisi ile çok rahatlıkla oluşturulmaktadır. Örneğin Chrysler firması 2,4 litrelik bir motor bloğunu CAD tasarımını gerçekleştirmişti. Başlangıçta CAD resmine göre her şey doğru gözüküyordu buna rağmen ilk prototip SLA-500 cihazında yapıldığında anlaşıldı ki sadece 2. ve 3. silindirler arasında olması gereken bir çıkıntı 1. ve 2. silindirlerin arasına da konulmuştu. Çok sayıda mühendis ve tasarımcının gözünden kaçan bu hata HPÜ teknolojisinin kullanımı sayesinde ortaya çıkarılmıştır [4].

Jamieson, Holmer ve Ashby'nin de belirttiği gibi, özellikle ortopedi alanında HPÜ teknolojileri yaygın bir şekilde görülmektedir. Örneğin diz kapağı gibi eklem hastalıkları oldukça acı vermekte ve hastaya her zaman uygun protez seçimi yapılamamaktadır. Ancak HPÜ teknolojileri kullanılmasıyla, çok fazla denemeye gerek duyulmadan doğru eklem protezler elde etmek mümkün olmaktadır [5].

Kawata, 2 adet kızılötesi (UV – Ultra Viole) lazer ışınının kullanıldığı, STL teknolojisinin mikro seviyedeki bir uygulaması ile kırmızı kan hücresinden dahi küçük bir boğa modeli inşa etmiştir. Modelin boyu 10, yüksekliği ise sadece 7 mikrometredir (0,01 x 0,007 mm). Kawata, bu yöntem ile insan damarları içine sığacak kadar küçük, ilaç taşımada kullanılabilir medikal cihazların inşasının mümkün olabileceğini belirtmektedir [6].

İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü bünyesinde geliştirilen ve mikrostereyolitografi (microstereolithography), kısaca micro SLA olarak adlandırılan henüz ticari olmamış teknoloji ile 5-10 mikron hassasiyetle parçalar imal edilebilmektedir [7-8].

Chigago Üniversitesinde, bir kulağını kaybetmiş bir hastaya, diğer kulağının 3B tasarım verisine bağlı olarak yeniden kulak protezi yapılmıştır. Yine Chigago Üniversitesinde, kanser sebebiyle boğaz etinin bir kısmı alınmış olan hastanın kalan boşluğuna 3B Computer Tomography (CT) verisine bağlı olarak bir protez yapıp yerleştirilmiştir. Önceleri hastanın bu boşluğuna macun halinde malzeme sıkıştırılarak kalıbı alınıyordu ama macunun oluşturduğu basınç, boşluğu esneterek gerçek geometriye uygun protez yapılmasını engelliyordu. Artık 3B CT verisine bağlı olarak, hastaya dokunmadan protez tasarlanıp imal edildiği için bu problem çözülmüştür [9].

ABD Arizona'da bulunan Advanced Ceramics Research (ACR), tarafından ordu desteğiyle geliştirilen bir metotla modifiye edilmiş bir FDM cihazında inşa malzemesi olarak kalsiyum fosfatlı bir polimer kullanılarak suni kemik üretilmektedir. Kazalar veya kanser sebebiyle kaybedilen kemik parçası yerine yeni bir parça tasarlanır. Oluşan boşluğa bu implant yerleştirildiğinde kalsiyum fosfat kemik hücrelerinin büyümesi için uygun bir ortam oluşturur. Bunun için inşa sırasında implant içinde kontrollü olarak mikro boşluklar bırakılır. Uygulamadan 8 hafta sonra kemik implanta bağlanır, 18 ay sonunda ise kemik hücreleri seramik-polimer implant ile tamamıyla yer değiştirir [9].

National Aeronautics and Space Administration (NASA) bünyesinde Marshall uzay ve havacılık merkezinde A.M. Springer tarafından yüksek hız rüzgâr tüneli testi için

bir model geliştirilmiş ve bu model dört farklı HPÜ yöntemi kullanılarak inşa edilmiştir. İnşa edilen modeller yüksek hız rüzgâr tüneline test edilerek sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir [10].

Hopkinson ve Dickens 2001 yılında yaptıkları çalışmada üretilebilirlik, üretim zamanı, üretim maliyeti, malzeme özellikleri ve ürün kalitesi başlıkları altında HPÜ yöntemlerine uygun doğrudan üretimi gerçekleştirilebilecek parçaları araştırmışlardır [11].

S.ScottCrump doğrudan kullanılabilir plastik ürünlerin harç yığıma HPÜ yöntemini ile inşasında kullanılabilir inşa malzemeleri incelenmiştir [12].

Knitter ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada seramik bazlı mikro parçaların üretimi için gerçekleştirilen HPÜ süreçlerini incelemiş ve bu süreçlere bağımlı olarak inşa edilen seramik bazlı mikro parçalar üzerinde testler gerçekleştirerek sonuçlarını tartışmışlardır [13].

BrentStucker ve XiuzhiQu 2003 yılında yaptıkları bir çalışmada HPÜ sistemi ve Computer Numerical Control (CNC) sistemi kullanılarak üretilen parçalar üzerinde bu iki sistemi kapsayan son işleme stratejilerini incelemişlerdir [14].

Bellini ve Güçeri tarafından yapılan çalışma da harç yığıma HPÜ tekniği ile inşa edilmiş parçaların mekanik karakteristik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda, söz konusu tekniğin endüstride yaygınlaşabilmesi için üretim zamanı ve maliyet etkilerinin iyileştirilmesi konusunda çalışmalar yapılmasını önermiştir [15].

Evans ve Campbell tarafından gerçekleştirilen çalışmada, alışılmış imalat teknikleri ve ışıkla kür HPÜ tekniği kullanılarak üretilen endüstriyel modellerin karakteristik özellikleri ve üretilebilirlik değerleri incelenmiştir [16].

Guangchun ve arkadaşları gerçekleştirdikleri çalışmalar ile ürün geliştirme uygulamalarına yönelik bir hızlı tasarım ve üretim sistemi geliştirmişlerdir ve geliştirdikleri bu sistem bünyesinde HPÜ tekniklerinden faydalanmışlardır[17].



Mahesh ve arkadaşları gerçekleştirdikleri çalışmada HPÜ sistemleri ve işlemlerinin karşılaştırılması için karmaşık yapılara sahip unsurlar taşıyan bir model tasarlamışlar ve bu modelin dört farklı HPÜ cihazında inşa işlemini gerçekleştirmişlerdir. Sonrasında, HPÜ cihazlarından elde edilen modeller üzerinde testler yaparak tezgâh seçiminde etkili unsurları araştırmışlardır [18].

Li ve arkadaşları 2004 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada insan iç organlarına ait CT verilerini kullanarak bu organların sahip olduğu karmaşık yüzeyleri HPÜ sistemlerinde inşa edilebilir formata dönüştürmüşlerdir [19].

Zhengyu ve arkadaşları gerçekleştirdikleri çalışmada HPÜ sistemlerinde boşluklu yapıya sahip modellerin inşa süreci ve sonuçlarını inceleyerek HPÜ sistemlerinde boşluklu yapılara sahip modellerin inşası için bir yöntem geliştirmişlerdir [20].

## **2.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI DEĞERLENDİRİLMESİ**

Literatür incelendiğinde, HPÜ teknolojileri ile ilgili çalışmaların uzun yıllar önce başladığı görülmektedir. İlk çalışmalarda tasarımı tamamlanan CAD verisinin HPÜ teknolojileri ile doğrudan üretimi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda HPÜ tekniği geliştirilmiştir. Geliştirilen HPÜ teknikleri başarılı bir şekilde imalat endüstrisine sunulmuştur.

HPÜ teknolojisinin önemi; ilk defa üretimi gerçekleştirilecek olan parçaların seri üretime geçilmeden önce prototip üretimini yapılarak tasarımdan kaynaklanan hataların önceden tesbit edilmesidir. Hızlı prototipleme cihazları ile üretilen mekanik parçalar sayesinde seri üretim maliyetleri azalmış olup, yapılandırılmalar ve üretimler başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. HPÜ teknikleri ile karmaşık ve küçük yapıdaki parçaların üretimleri alışılmış imalat yöntemlerine nazaran daha hızlı ve düşük maliyet açısından tercih sebebi olmaktadır. HPÜ teknolojileri sayesinde birçok alanda önemli gelişmeler olmuştur. Tıp sektöründe protez üretiminde, sanat eserlerinin üretiminde, kuyumculuk sektöründe, matematik teorilerinin doğrulanması gibi birçok alanda etkileri olmuştur.

Son yıllarda HPÜ teknikleri ile yapılan literatür çalışmalarında HPÜ teknolojileri ile yapılan üretim yöntemi seçimi aşamasında etkili olduğu görülmektedir. Prototip üretimde uygulanacak yöntem ve seçilen yöntemin en uygun parametrelerinin belirlenmesi konusunda yapılan çalışmalar literatürde yer almaktadır. HPÜ inşa süreçlerinde harç yığıma tekniğinin en uygun parametrelerle kullanılmadığı görülmektedir. Harç yığıma tekniğinde kullanılan parametrelerinin üretim yöntemi, maliyet ve üretim zamanı açısından optimize edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, ülkemizde en çok kullanılan HPÜ teknolojisi olan harç yığıma yöntemi kullanılmıştır. Harç yığıma yönteminin parametrelerinin model üzerindeki yapısal dayanıma ve malzeme mukavemetine etkisi değerlendirilmiştir.

## BÖLÜM 3

### HIZLI PROTOTİPLEME ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ

Üç boyutlu yazıcılar ile birbirinden farklı teknolojiler kullanarak üretim yapabilmek mümkündür. Bu teknolojiler içinde en yaygın olarak bilineni ve kullanılanı Fused Deposition Modelling (FDM) ya da birleştirme yoluyla yığma teknolojisidir. Bu teknikte ısı ile şekil alabilen termoplastik PLA ve ABS malzemeler kullanılmaktadır.

Çok kullanılan diğer teknolojik yöntem ise, seçici lazer sinterleme (SLS) yöntemidir. Sinterleme genelde toz metalürjisinde kullanılan toz metallerin ısı ve basınç altında katı nesnelere dönüştürülmesini kapsayan teknolojidir. Burada lazer ışınları toz malzemenin üzerine hızlı bir şekilde yansıtılarak katmanlar meydana getirilir. Lazer teknolojisinin gücüne bağlı olarak metal, plastik ve seramik gibi birçok farklı malzeme kullanılabilir.

FDM ile SLS teknolojisi karşılaştırıldıklarında SLS teknolojisinin FDM teknolojisine göre oldukça yavaş üretim yaptığı görülmektedir. Bunun sebebi ise üç boyutlu baskı yapılırken her katman için düzgün bir toz yüzeyinin serilmesi gerekliliğidir. Tozun yüzeye düzgün serilebilmesi için serici kafa çok yavaş hareket etmek zorundadır. Yavaş hareket etmesine rağmen karmaşık geometriye sahip nesnelere rahatlıkla imal edebilmesi nedeniyle günümüz endüstrisinden tercih edilen yöntemlerden biridir.

Hızlı Prototiplime Teknolojileri Şekil 3.1'de katman inşa tekniğine göre sınıflandırılmıştır.

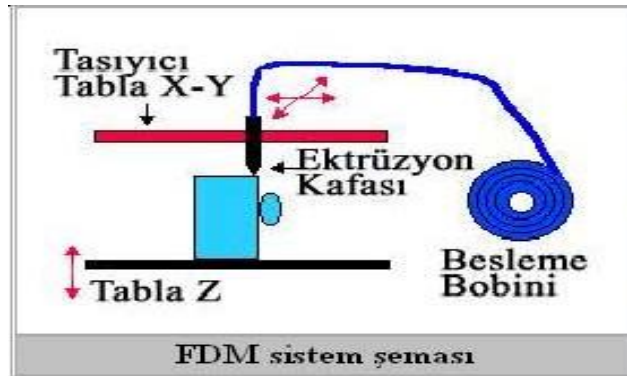


Şekil 3.1. HPÜ Teknolojilerinin katman inşa tekniğine göre sınıflandırılması [21].

### 3.1. HARÇ YIĞMA TEKNİĞİ

Harç yığıma yöntemi, HPÜ teknikleri içerisinde en çok tercih edilen hızlı prototiptekniği olarak karşımıza çıkmaktadır. Harç yığıma tekniğinde üretim yöntemlerinin farklılığı, malzeme çeşidinin fazlalığı ve maliyet etkinliğinin düşük olması model üretimi için harç yığıma tekniği olan FDM teknolojisini diğer yöntemlere nispeten cazip kılmaktadır.

FDM teknolojisinde, bir besleme bobininden verilen ve ekstrüzyon kafası ısıtılarak sıvı veya macun kıvamına gelen filament malzemesi çeşitli uç ve örme tipine göre bir memeden çıkarak tabla üzerine akmaktadır. Katman örme işlemi bittikten sonra tabla (Z) dikey yönde hareket ederek diğer katman örme işlemine başlar. Şekil 3.2’de harç yığıma yönteminin çalışma prensibi görülmektedir.



Şekil 3.2. Harç yığıma yönteminin çalışma prensibi [22].

Model malzemesi ince plastik tel (filament) şeklinde bir yapıya sahiptir. Nozulda termoplastiği erime noktasının üstünde bir sıcaklıktatutmaya yarayan bir ısıtıcı sistem bulunur, böylelikle filament malzeme nozul üzerinden eriyerek bir katman oluşturur.

Termoplastik filament nozul ucundaki memeden geçtikten sonra hızlı bir şekilde sertleşir ve alt tabakadaki malzemeye yapışır. Bir katmanın inşası tamamlandıktan sonra platform aşağıya iner ve ekstrüzyon nozulu diğer katmanın inşasına başlar. Oluşan katman kalınlığı ve düşey boyut hassasiyeti ekstrüzyon nozulunun çapına bağlıdır. Bu çap 0,178 mm ile 0,356 mm arasında değişir. X-Y düzleminde 0,025 mm çözünürlüğe ulaşılabilir.

FDM inşa teknolojisinde, hassas döküm mumu ve polyamidin malzemelerden başka ABS gibi erime sıcaklığı yüksek, insan sağlığına zararsız, filamentler inşa malzemesi olarak kullanılır.

FDM teknolojilerinde üretimi gerçekleştirilecek olan parçaların inşası esnasında ikincil bir inşa olarak destek malzemesi kullanılır. İlk FDM model üretiminde destek malzemesi olarak aynı malzeme kullanılmıştır. Hızlı prototipleme cihazları geliştirilerek farklı bir destek malzemesi kullanabilmek amacı ile ikinci bir meme cihaza ilave edilmiştir. Bu destek malzemesi, üretim sonrasında üründen kolayca ayrılacak bir kimyasal yapıya sahiptir [21].

FDM teknolojilerindeki gelişmeler sonucunda suda eriyebilen destek malzemeleri kullanılarak üretim tamamlandıktan sonra su ile destek malzemesinin çözülmesi sayede, çok parçalı ve hareketli mekanizmalar da dâhil birçok karmaşık parçanın imalatı mümkün olabilmektedir. Şekil 3.3'de harç yığma tekniği kullanılarak yapılan karmaşık modeller görülmektedir.



Şekil 3.3. Harç yığma tekniği ile yapılan karmaşık modeller [23].

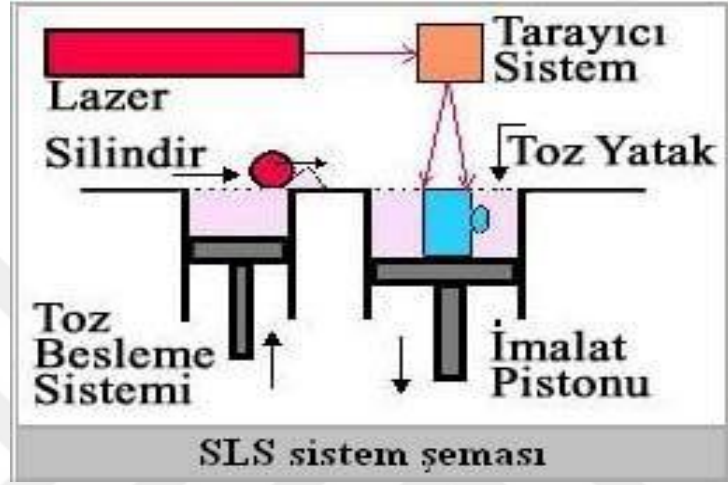
FDM cihazlarında hızlı prototipleme tekniği ile karmaşık ve hareketli mekanizmaların imalatı gerçekleştirilmektedir. FDM cihazlarında ABS, poliamid, polikarbonat, polietilen, polipropilen ve hassas döküm mummodel malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Profosyonel hızlı prototip cihazlarında harç yığma tekniği kullanılarak model inşası için çift nozullu kafalara ihtiyaç duyulmaktadır. Birinci nozulda termoplastik malzeme kullanılırken ikinci nozulda ise model inşasına yardımcı olması amacı ile destek malzemesi kullanılır. Harç yığma yöntemi HPÜ teknikleri içerisinde en çok tercih edilen hızlı prototip tekniğidir. Üretilen parçalar, yaylanmaya, kırılmaya ve uzamaya karşı yüksek dayanıma sahiptir. Su'ya ve neme karşı yüksek dirençli olması HPÜ yönteminin en belirgin özelliğidir.

### 3.2. ISITARAK TOZ BAĞLAMA TEKNİĞİ

Isıtarak toz bağlama (SLS) HPÜ teknolojisi Texas üniversitesinde Carl Deckard tarafından bir doktora çalışması çerçevesinde geliştirilmiştir. Daha sonrasında DTM-Direct Tolling Manufacture Corp. Firması tarafından 1992 yılında ticari hale gelmiştir. Isıtarak toz bağlama HPÜ teknolojisinin uygulanışında ısıtıldığında kaynaşabilen toz halindeki bir yapı malzemesi kullanılmaktadır. Bu yöntemde yapı malzemesi ince ve düzgün bir plaka halinde yayılarak, modelin inşa edileceği yüzeylere lazer ışınıyla tarama işlemi yapılmaktadır. Lazer ışınının yüzeye çarptığı noktalarda sıcaklığın yükselmesi ve bu sayede toz malzemenin eriyerek veya sinterlenerek temas halinde olduğu diğer toz taneleri ile birleşmesi sonucu inşa işlemi

gerçekleşir. Katman inşa işlemi gerçekleştikten sonra alt kısımda bulunan platform bir katman kalınlığı kadar aşağı iner. Bu işlem model hazırlama işlemi sonlandırılmasına kadar devam eder. Destek yapı olarak lazer ışın ile erimeyen ve sinterlenmeyen toz maddeler kullanılır. Bu maddeler fırça ve vakumlu emici ile ortamdan uzaklaştırılarak model üretimi gerçekleştirilmiş olur (Şekil 3.4).



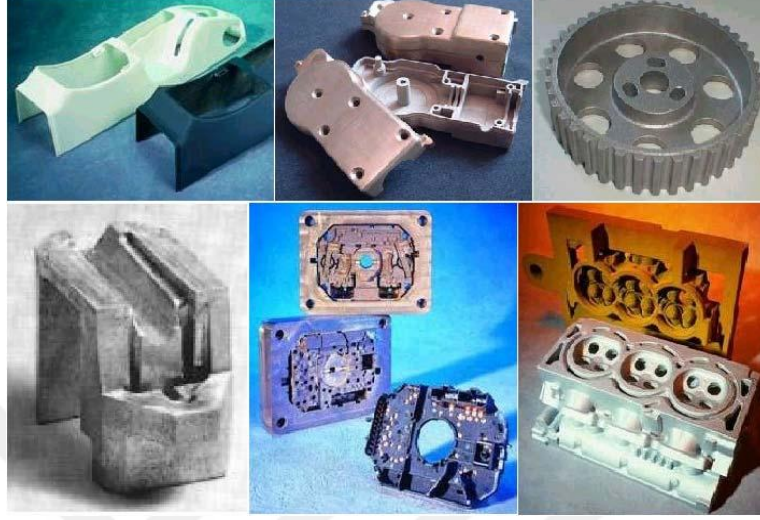
Şekil 3.4. SLS Yönteminin çalışma prensibi [23].

Lazer ışınlarının toz taneciklerini daha az enerjiyle ve daha hızlı eritebilmesi için inşa yüzeyi harici ısıtıcılarla sıcak tutulur. Metal tozları kullanıldığında toz tanelerinin erimesine engel olan oksitlenme problemlerini ortadan kaldırmak için inşa bölgesine oksitlenmeyi giderici farklı gazlar doldurulur [23].

Isıtarak toz bağlama tekniğinin avantajları;

1. Isıtarak toz bağlama tekniği oldukça verimlidir.
2. Birim zamanda yapılan iş sayısı fazladır.
3. Toz malzeme kullanılarak üretilen parçalar daha sonra ihtiyaç duyulması halinde kolay ve hassas bir şekilde işlenebilir.
4. Isıtarak toz bağlama tekniğinde malzeme olarak; mum, naylon, polikarbonatlar, plastik veya seramik tozları kullanılabilir.
5. Isıtarak toz bağlama tekniğinde parça üretimi sonlandırma işlemi minimum seviyededir.

Isıtarak toz bağlama tekniği kullanılarak inşa edilen parça örnekleri Şekil 3.5’de gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Isıtarak toz bağlama tekniği ile yapılan modeller [20].

HPÜ cihazlarında üretim malzemesi olarak plastik, metal veya seramik tozları kullanılabilceği gibi bunların karışımlarından oluşan kompozit tozlar da kullanılabilmektedir [21].

### 3.3. YAPIŞTIRICI İLE TOZ BAĞLAMA TEKNİĞİ

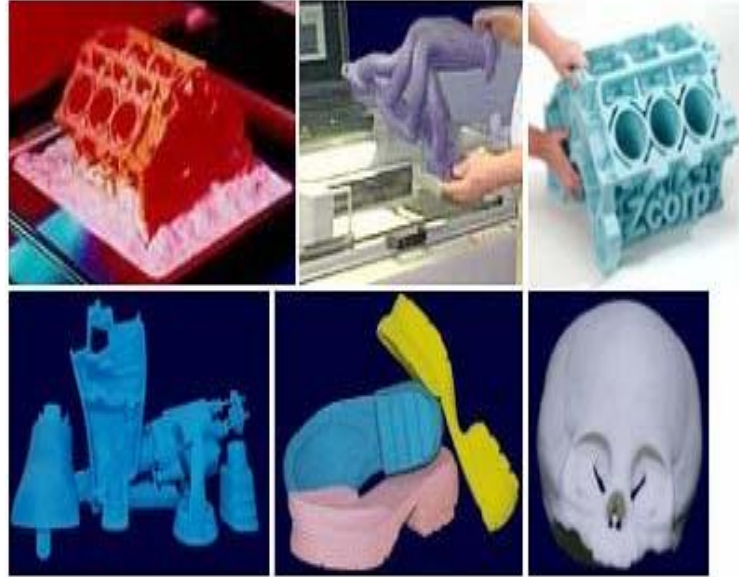
Bu yöntemnozul üzerindeki uçlardan yapıştırıcı malzeme püskürtülerek toz taneciklerinin birbirlerine yapışması prensibine göre çalışır. Merdane yardım ile yeni bir katman toz püskürtülür. Nozul uçları inşa edilecek yüzeylere yapıştırıcı malzeme püskürtür. Modelin oturduğu tablakatman kalınlığı kadar (Z) dikey yönde aşağı hareket eder. Bu işlem inşa işlemi sonuna kadar devam eder. İnşa işlemi tamamlandıktan sonra, üretilen parça üzerindeki destek malzemesi vakum temizleyici ve fırça yardımı ile model parçadan temizlenir. Yapıştırıcı ile toz bağlama yönteminin çalışma prensibi Şekil 3.6’da gösterilmektedir [21].





Şekil 3.6.Yapıştırıcı ile toz bağlama yönteminin çalışma prensibi [23].

Nişasta tabanlı tozlar, alçı ve kompozit tabanlı tozlar, elastomeric tozlar bu yöntemin başlıca inşa malzemelerini oluşturmaktadır. Kullanılan malzeme ve uygulamaya göre, infiltrasyon ve sinterleme gibi değişik ek işlemler de yapılabilir. Ayrıca bu teknik, inşa edilen prototiplerin değişik renklerde üretilmesi imkânını sağlar. Yapıştırıcı ile toz bağlama yöntemi kullanılarak yapılan modeller Şekil 3.7’de gösterilmektedir.

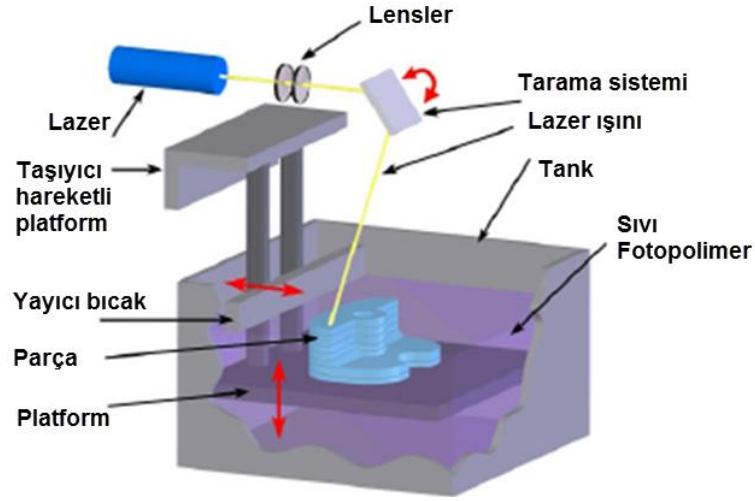


Şekil 3.7. Yapıştırıcı toz bağlama yöntemi ile yapılan modeller [24].

### 3.4. TARAYARAK IŞIKLA KÜR TEKNİĞİ

Tarayarak ışıkla kür, HPÜ teknolojileri içerisinde ilk olarak ticari başarıyı elde eden teknolojidir. Tarayarak ışıkla kür tekniği literatürde Stereolithography (SLA) adı ile yer almaktadır. Bu teknikte kullanılan sıvı polimer, mor ötesi ışığa (UV) maruz kaldığında sertleşen veya kuruyan bir fotopolimer malzemedir.

Bilgisayar destekli tarayıcılar ile sıvı reçine yüzeyinde daha önceden bilgisayar yazılımı ile dilimlenmiş kesitlere karşılık gelen noktalar, UV lazer ile katılır. Tarama işlemi tamamlandığında, tablakatman kalınlığı kadar alta iner. İnşa kalınlığı 0,025 ile 0,5 mm arasında değişmektedir. Ortaya çıkan boş hacme tekrar vakumlu bıçak ile yeni bir kat sıvı fotopolimer kaplanır. Sonraki katman bir önceki katman üzerine oluşturularak tamamlanır. Malzemenin yapışkanlığı sayesinde katmanlar birbirine yapışır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8.SLA Sisteminin çalışma prensibi [24].

Model üretim süresince parçanın alt kısmında kalan boş bölgelere üretimi gerçekleştirilecek parçanın oynamaması için destek malzemeler inşa edilir. İşlem sonrası destekler asıl parçadan ayrılırlar. Bu işlem model inşa üretimi bitene kadar devam eder. Destek yapı olarak önceden tasarlanmış modeller kullanılır. İnşa işlemi sonlandıktan sonra bu destek yapılar kırma, kesme, koparma işlemleri ile temizlenir. Modelin dayanımını arttırmak için UV ışınları altında ek olarak bir süre kürlenir [21].

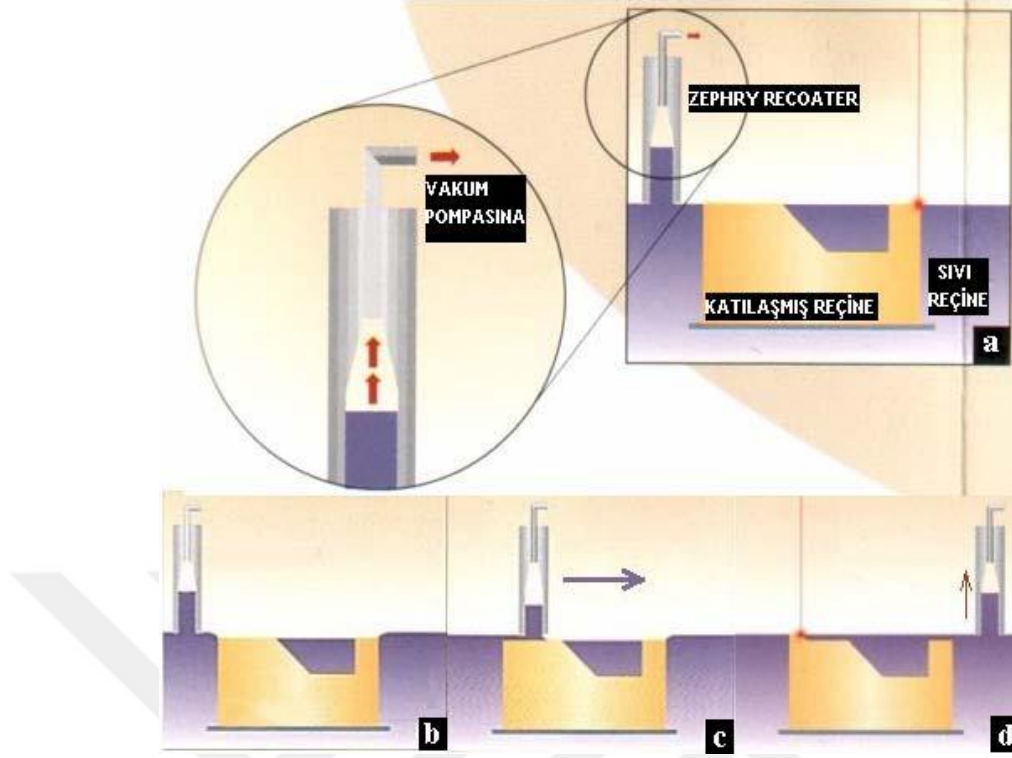
SLA, teknolojisi ile son derece yüksek dayanımda, yüzey kalitesi düzgün olan karmaşık parçalar üretebilir. Reçine esaslı malzemeler yanı sıra polipropilen, akrilik ve epoksi malzemelerde kullanılabilir. İmalat sonrası parçaların temizlik ve fırınlama işlemleri gerekmektedir. Şekil 3.9'da SLA yöntemi kullanılarak üretilmiş parçalar görülmektedir.



Şekil 3.9. SLA Tekniği ile üretilmiş parçalar [24].

Zephyr tekniğinde yüzeye fotopolimer yayan kanat içinde bir miktar fotopolimer sıvı vakum ile yüzeyden yüksek seviyede tutulmuştur. Bu, önceki modellerde kullanılan normal kanatçığa nazaran daha hızlı ve ince bir sıvı yayılabilmesini sağlamıştır. Bu sayede kapalı boşluklara sahip kesitlerde aşırı sıvı birikme problemi de ortadan kalkmıştır. Şekil 3.10'da Zephyr sıvı yayma tekniği çalışma prensibi görülmektedir.

Sarı renkte gösterilen katılaşmış reçine (inşa halindeki parça), mavi renkteki ise sıvı haldeki reçinedir (Şekil 3.10.a). Yeniden sıvı kaplama öncesi parça bir katman kalınlığı kadar aşağıya indirilir (Şekil 3.10.b). Zephyr Recoater hareket ederek parça yüzeyine ince ve düzgün bir şekilde sıvı reçineyi yayar (Şekil 3.10.c). Lazer bir sonraki katmanı katılaştırmaya başlar ve bu arada vakum ile hazneye yeniden sıvı reçine çekilir (Şekil 3.10.d).



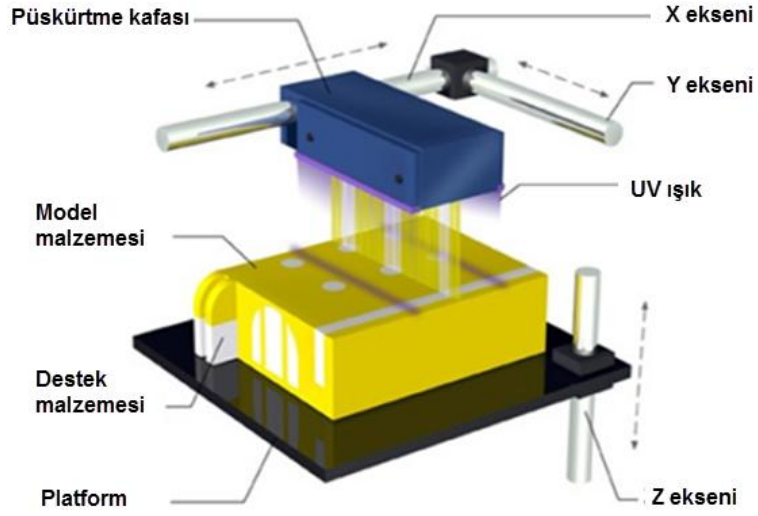
Şekil 3.10. Zephyr sıvı yayma tekniği çalışma prensibi [25].

### 3.5. POLYJET TEKNİĞİ

PolyJet, pürüzsüz, doğru parçaları, prototipleri ve kalıpları üreten güçlü bir 3B baskı teknolojisidir. Mikroskobik tabaka çözünürlüğü ve 0,1 mm'ye kadar hassasiyet ile herhangi bir teknoloji ile elde edilebilen en geniş malzeme yelpazesini kullanarak ince duvarlar ve karmaşık geometriler üretebilir.

PolyJet Teknolojisi mürekkep püskürtmeli baskı ve Stereolitografi 3B baskı tekniklerini kombine eden bir teknolojidir. Model, tabla üzerine katman katman fotopolimer reçine püskürtülerek ve UV ışığı ile kürlenerek oluşturulur. Özel kimyasal içeriklere sahip PolyJet malzemeleri UV ışığı ile çok kısa bir sürede sertleştirildiğinden modellerin hızlı bir şekilde üretimine imkân sağlamaktadır.

Pürüzsüz yüzeylere sahip hassas ve doğru modellerin en iyi şekilde üretimini sadece benzersiz PolyJet teknolojisi mümkün kılmaktadır. Şekil 3.11'de PolyJet sistemi çalışma prensibi görülmektedir.



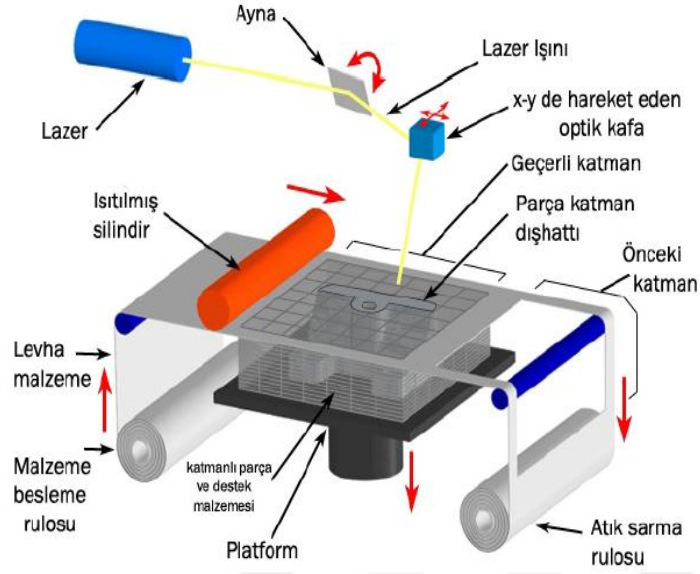
Şekil 3.11. Polyjet sistemi çalışma prensibi [26].

### 3.6. TABAKALI YAPIŞTIRMALI PARÇA İMALATI

Tabakalı yapıştırma sistemi ana bileşenleri, tabla üzerindeki ince levhayı ileri süren bir besleme mekanizması yardımı ile ince levha alt katman tabakaya, basınç ve ısı yardımı ile bağlanır. Model, lazerle kesilmiş olan yapışkan kaplanmış ince bir levhanın, bir önceki katmanın üstüne yapıştırılması yöntemi ile model inşası tamamlanır. Bir lazer, her katmanda, parçanın dış hatlarını keser, her kesim işlemi tamamlandıktan sonra platform ince levha kalınlığı kadar genellikle 0,05-0,5 mm kadar aşağıya iner ve başka bir ince levha, besleme mekanizması yardımıyla daha önceki katman üstüne ilerletilir.

Platform daha sonra hafifçe yükselir ve ısıtılmış silindir yeni katmanı yapıştırmak için basınç uygular. Lazer parça dış hattını keser. Bu işlem üretim tamamlanana kadar devam eder. Katman kesildikten sonra kalan fazla malzemeler, parçayı üretim boyunca desteklemesi için yerinde kalır (Şekil 3.12).





Şekil 3.12. Tabakalı yapıştırma sistemi çalışma prensibi [28].

LOM'da malzeme olarak kaplanmış kâğıt, plastik köpük kullanılabileceği gibi seramik veya metal tozu emdirilmiş malzemeler de kullanılabilir. Malzemenin kolay ve ucuz temin edilebilirliği yöntemi avantajlı kılmaktadır.

Tasarım ve parametrelerin doğru seçilmesiyle, her boyutta yüksek hassasiyete sahip prototip dışında yapısal ve işlevsel modeller de elde edilebilir. Büyük hacimli parçalar yüksek hızla işlenebilmektedir. Bu yöntem ile üretilen parçalar Şekil 3.13'de görülmektedir [28].



Şekil 3.13. LOM prensibi yöntemiyle üretilmiş parçalar [28].

### 3.7. HPÜ YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Hızlı prototipleme üretim yöntemlerinin karşılaştırılması Çizelge 3.1 de tablo halinde gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Hızlı prototipleme yöntemlerinin karşılaştırılması [29].

Yöntem	Çalışma Esası	Kullandığı Malzeme	Ön işlemler	Son işlemler	Çözünürlük	Mukavemet	Pürüzlülük	Transfer dosyaları	AÇIKLAMA
SLS	TozunCO2 lazer ile sinterlenmesi	Poliamid, polistren, karbon fiber ve alüminyum katkılı poliamid, polikarbonat, paslanmaz çelik, kobalt, krom, nikel, krom, titanyum, seramik		Tozun uzaklaştırılması ve soğuma için bekleme süresi	ZAYIF	İYİ	ZAYIF	STL	Geniş bir ürün yelpazesine hitap eden verimli ve hızlı bir imalat yöntemidir. Prototip kalıp üretim maliyeti düşüktür. çok miktarda parça üretebilir, malzeme değişimi zor.
SLA	Fotopolimer malzemenin UV ışını ile katılaştırma	Reçine bazlı malzemeler, akrilik, epoksi, polipropilen	Tabaka, destek oluşturma	Desteğin uzaklaştırılması	İYİ	ORTA	İYİ	STL	Yüksek doğrulukta parça üretimi için tercih edilir, Renklendirme yapılabilir, Yaygın kullanılır, parçalarda çarpılma ve bütülmeye olabilir.
FDM	Ektrüzyonla Yığılma Tekniği	ABS, poliamid, polikarbonat, polietilen, polipropilen hassas döküm mumu.	Tabaka, destek oluşturma	Desteğin uzaklaştırılması	ORTA	İYİ	ORTA	STL	Ofis ortamında kullanılabilir. Çok parçadan oluşan, hareketli fonksiyonel, elastik modeller üretmek için uygundur. Parçalar suya ve neme dayanıklı, üretim J9maliyeti düşük, hızlı.Küçük parçalarda, detay bölgelerde ve ince kesitlerde çok iyi değil.
Polyjet	Fotopolimer püskürtme ve UV ile katılaştırma	Akrilik gibi termoplastikler, (elastomerler)	Tabaka, destek oluşturma	Desteğin uzaklaştırılması	İYİ	ZAYIF	İYİ	STL	Kullanımı kolay, hızlı yüksek, kalite yüksek, ofis ortamına uygun.
LOM	Tabakaların Lazerle Kesilip Yapıştırılması	Kâğıt, plastik köpük, metal seramik tozu emdirilmiş malzemeler			ORTA	ORTA	ORTA	STL	Büyük hacimli parçalar yüksek hızda üretilebilir, parçaların mekanik özellikleri iyi değildir.
SDM	Malzemenin yığılması ve CNC işleme merkezi ile işlenmesi	Metal, plastik, seramik tozları	Ön tabakalama var	Desteğin uzaklaştırılması	İYİ	İYİ	İYİ	STL	Karmaşık fonksiyonel parça üretimi mümkün, üretim hızı ve boyut doğruluğu yüksek



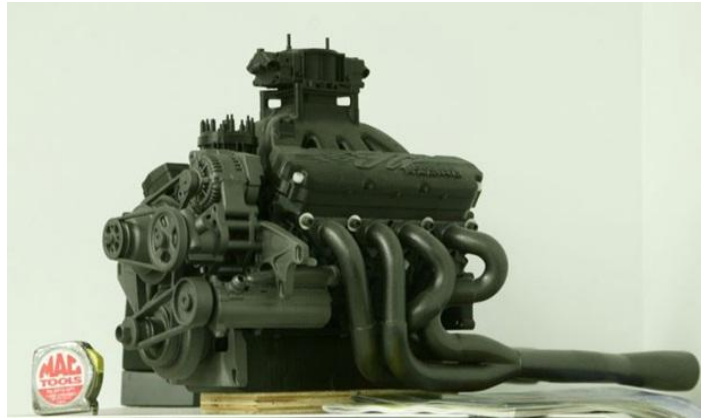


### 3.8.1. Mühendislik Uygulamaları

Doğru ve kullanılabilir ürünler elde etmek için, prototipve kalıp imalatlarının, tasarım döngüsündeki zamanını azaltmak, yeni ürünler geliştirmek, üretim maliyetini azaltmak ve mevcut ürün özelliklerini değiştirmenin yanı sıra karmaşık yapıdaki parça üretimleri için 3B yazıcılarda mühendislik uygulamalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Son kullanım ürünlerin hatalarını minimize etmek tasarım sürecini geliştirmek prototipleme yönteminin avantajlarıdır [21].

Tasarım tamamlanan prototiplerin tasarım sonrası gerçekleştirilen modellemeye kavramsal modelleme denilmektedir. Kavramsal modeller tasarım sürecinde tasarımcı, imalat sorumlusu ve pazarlamacı arasında haberleşmeyi, model üzerinde detaylı fikir vermeyi, ürünün üretiminin hatasız ve hızlı bir biçimde sürdürmeyi sağlar. İmalat öncesi üretimi yapılan prototip modeller çoğunlukla yüksek mukavemette veya hassasiyette sahip olması beklenmez. Asıl amaç, hızlı bir şekilde prototip modeli kolaylıkla inşa edebilmektir. HPÜ teknikleri diğer alışılmış veya alışılmamış üretim tekniklerine göre daha avantajlı olmaktadır [21].

Modellerin inşası ve montajı sayesinde motorun tamamında tasarım sırasında çıkan hataların ve problemlerin önceden tespit edildiği görülmektedir. Prototiplime sayesinde hem maliyet hem de üretim zamanı açısında kazanç sağlamaktadır [21]. Şekil 3.15’de Prototipleme yöntemi ile elde edilmiş bir motor montajı görülmektedir.



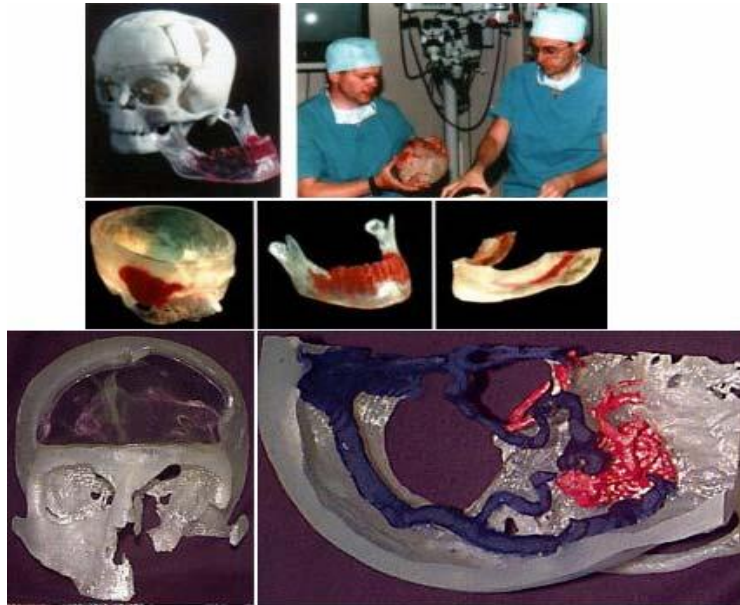
Şekil 3.15. HPÜ ile elde edilmiş bir motor montajı [21].

### 3.8.2. Medikal Uygulamaları

Medikal uygulamalarda HPÜ teknolojilerinin önemi çok büyüktür. İnsan vücudunda bulunan organ ve uzuvları bilgisayarlı tomografi (BT) veya manyetik rezonans (MR) cihazları ile üç boyutlu verisi elde edilir. Elde edilen üç boyutlu veri daha sonra STL formata çevirilir. Son olarak bu veriler kullanılarak istenilen model inşa edilir.

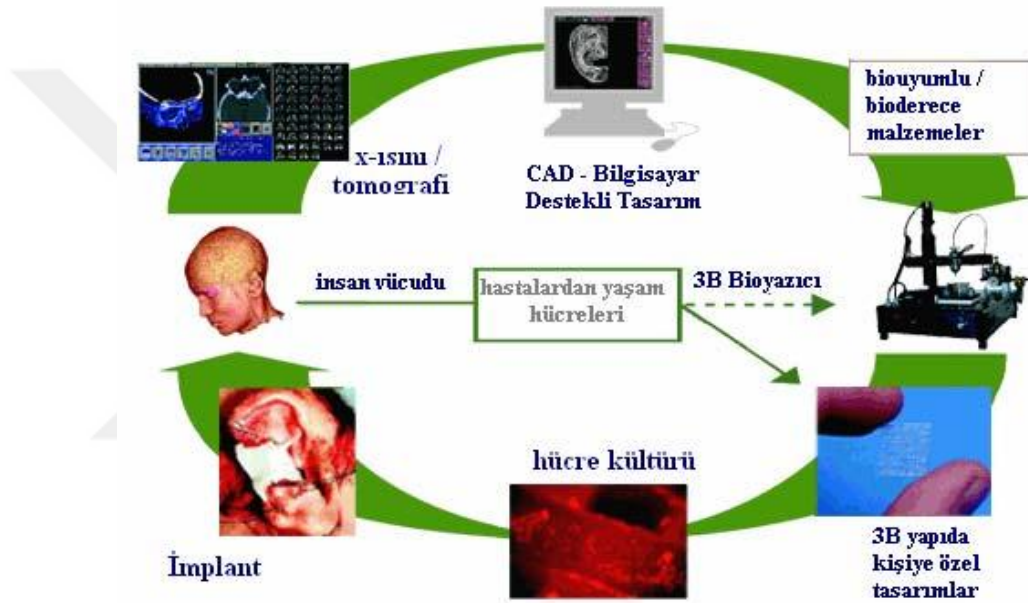
Stereocol isimli özel bir fotopolimer reçine ile medikal modellerin istenilen kısımları yüksek lazer enerjisine maruz bırakılarak renklendirilebilir. Beyine ait yumuşak dokular, tomografi verisine bağlı olarak inşa edilebilir ve değişik renklerde modellenebilirler. Bu sayede gelişmiş bir beyin ameliyatı planlaması yapılabilir.

Bioplotter adı verilen HPÜ teknolojisi ile siteril ortamda, canlı hücreler inşa malzemesi olarak kullanılarak üç boyutlu suni doku üretilebilmektedir. Sıvı olarak harç yığıma prensibine göre çalışan Bioplotter HPÜ cihazının başlıca uygulama alanlarından biri, doku kaybı olan bir uzvun estetik ameliyatı sırasında kullanılmak üzere implant üretmektir. HPÜ teknolojileri kullanılarak üretilen insan uzuv modelleri Şekil 3.16'da gösterilmektedir [22].



Şekil 3.16. HPÜ Teknolojileri ile üretilen insan uzuv modelleri [22].

Gerekli hücreler hastanın kendisinden alınabilir. Hücrelerin doğrudan inşa malzemesi olarak kullanılmasının yanı sıra, büyümelerine müsait maddelerden Bioplotter ile üretilen gözenekli bir yapıya sonradan yerleştirilerek de implant üretilir. Cihaz için gerekli 3B geometri verisi CT veya MR tarama verilerine dayanarak özel 3B tasarım yazılımlarıyla yapılmaktadır. Bunun dışında, HPÜ teknolojisinin yeni uygulamalarında suni deri imalatıyla, hastanın derisindeki yanık yaralarının daha hızlı düzelmesinde başarılı olunmuştur [22]. Şekil 3.17’de Bioplotter implant uygulaması iş akış gösterilmektedir.



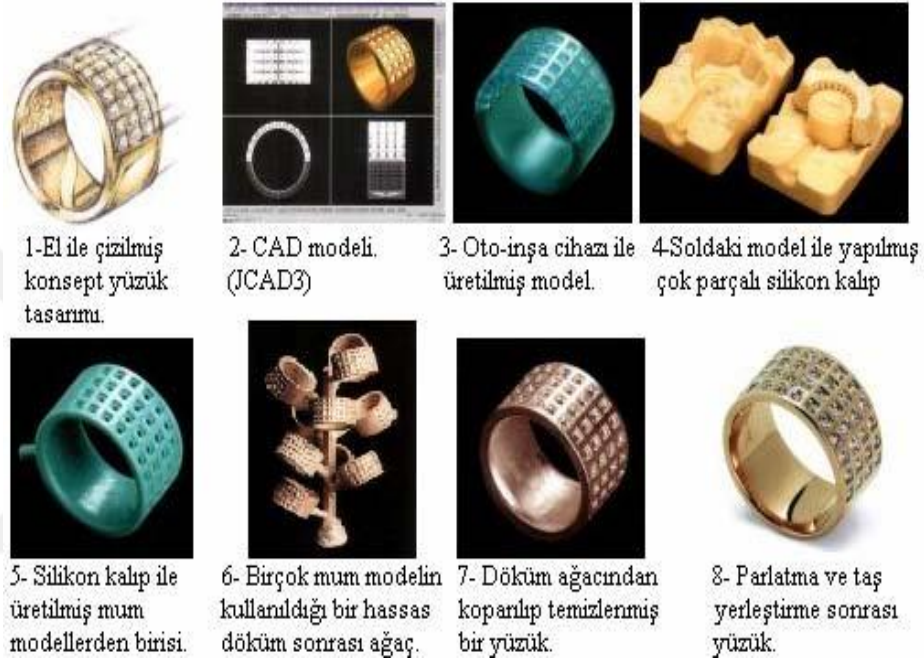
Şekil 3.17. Bioplotter implant uygulaması iş akışı [16,30].

### 3.8.3. Kuyumculuk Uygulamaları

Zahmetli el işçiliği gerektiren veya el ile yapımı mümkün olmayan karmaşık geometrili mücevherlerin yapımı hızlı prototipleme sayesinde daha hızlı ve estetik yapılarda mücevherler yapmaya imkan sağlamaktadır.

Kuyumculuk sektörü üretimlerinde HPÜ teknolojileri sayesinde çok büyük bir yol kat edilmiştir. Örneğin, birkaç hafta süre gerektiren el işçilikleri HPÜ teknolojileri sayesinde bir güne kadar indirgenmiştir. Zaman tasarrufunun yanında, el işçilikleri ile verilemeyen detaylar HPÜ teknolojileri tarafından verilmiştir.

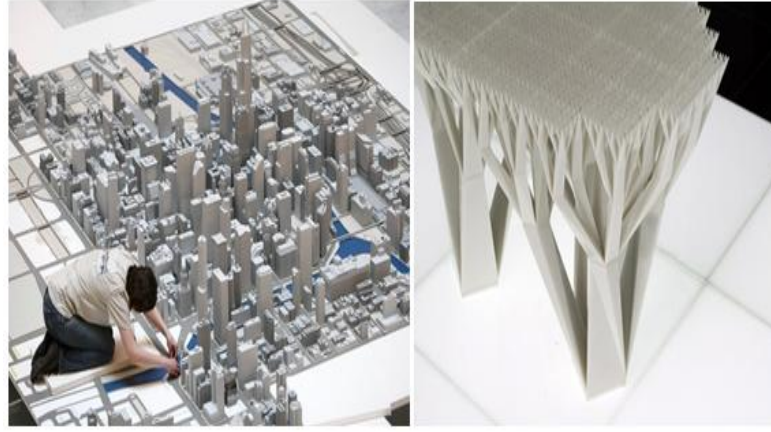
Kalite yönünden büyük ilerleme sağlanmıştır. HPÜ teknolojilerinde ziynet eşyalarının üretimleri şu yolu izlemektedir. Ziynet eşyasının tasarımı 3B bir CAD programı ile yapılmaktadır. HPÜ prototip yazıcılar sayesinde üretilen modeller hassas fanus döküm ile istenilen metalden (altın ve gümüş gibi) takılar dökülebilir. Şekil3.18’de HPÜ yöntemleri ile üretilen mücevher tasarım ve imalat uygulama aşamaları görülmektedir [31].



Şekil 3.18. Mücevher tasarım ve imalat uygulamaaşamaları [31].

### 3.8.4. Mimarlık Uygulamaları

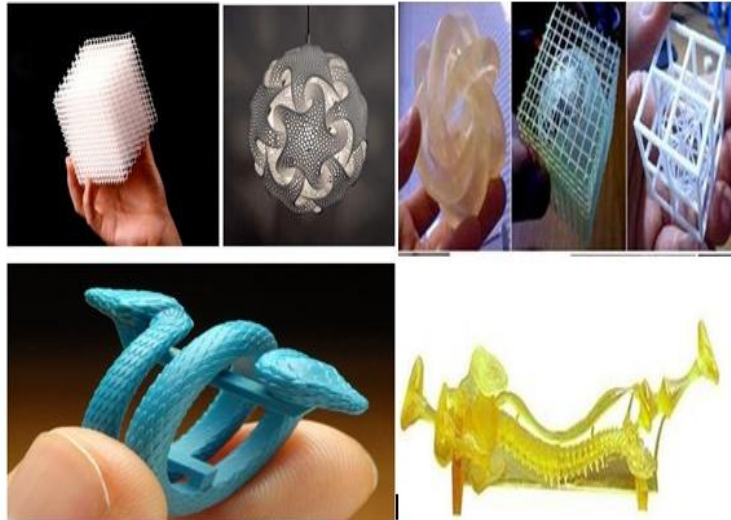
Günümüzde çok yaygın olarak kullanılan HPÜ cihazları ile mimari maketler ve topografik modeller inşa edilmektedir. Hızlı ve gerçeğe yakın çok küçük ölçekli mimari modeller HPÜ teknolojileri kullanılarak üretilmektedir. Şekil 3.19’da HPÜ yöntemleri kullanılarak üretilen mimari uygulamalar görülmektedir.



Şekil 3.19. HPÜ Teknolojileri ile mimari uygulamalar [31].

### 3.8.5. Sanat Uygulamaları

Heykel tıraşlık metotları ile üretilemeyen karmaşık sanat eserleri sanatçının zihindeki düşünceleri farklı CAD programları ile modellerini oluşturarak HPÜ teknolojileri tarafından üretimleri kolaylıkla mümkün olmaktadır. HPÜ teknolojileri sayesinde sanatçının düşünce gücü, üretilebilirlik ile sınırlandırılmamaktadır ve sanat dallarının ilerlemesine katkı sağlamaktadır. Şekil 3.20’de HPÜ teknolojileri ile üretilen sanat uygulamaları görülmektedir [31].



Şekil 3.20. HPÜ Teknolojileri ile sanat uygulamalar [31].



### 3.9. 3B YAZICILARDA KULLANILAN PLA VE ABS MALZEMELER

Katmanlı imalat teknolojisini kullanarak üretim yapan 3B yazıcılarda, hammaddeyi eriterek katmanları üst üste yığıma yöntemi ile 3B gerçek ürünler ortaya çıkarmaktadır. Gerçek objeler oluşturulurken kullanılan hammaddelere de filament adı verilmektedir.

Piyasada birbirinden farklı onlarca filament çeşitleri bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılanları PLA ve ABS filamentleridir. Bakır, Bronz, Seramik, Ahşap, Bambu hatta sıvı reçine bile hammadde olarak 3Byazıcılarda kullanılmaktadır.

#### 3.9.1. PLA Filament

Mısır nişasta bazlı olan Polilaktik Asit (PLA) filamentleri bir çeşit bioplastiktir. Sağlığa herhangi bir zararı bulunmadığından dolayı günümüzde kullanıcılar tarafından sıkça tercih edilmektedir. Bunun yanında geri dönüşümle gübre olarak da kullanılabilir. Baskı esnasında ideal işleme sıcaklığı olarak 180° ile 220° arası tavsiye edilmektedir.

Şekil3.21’de PLA filamentleri kullanılarak üretilmiş örnek resimler görülmektedir. Çizelge 3.2’de PLA filamentlerinin avantaj ve dezavantajları tablo halinde verilmiştir.



Şekil 3.21. PLA Filament ile örülmüş örnek objeler [32].

Çizelge 3.2. PLA Filament avantaj ve dezavantajları [32].

Avantajları	Dezavantajları
Çevreye dosttur.	Sıcak ortamda ve güneş ışığı altında uzun süre kaldığında deforme olabilirler.
Baskı esnasında kötü koku ortama yayılmaz.	Malzeme mukavemetleri düşüktür.
Baskı sırasında zararlı buhar yaymazlar.	Kırılgan bir yapıya sahiptir.
Baskı alma esnasında taban ısıtmasına gerek duyulmaz.	Aseton ile çözülmesi zordur.
Nihai ürün parlak ve pürüzsüz görünür.	
Baskı alma hızı yüksektir.	
Daha detaylı sonuçlar elde edilir.	

### 3.9.2. PLA Filament Kullanım Alanları

PLA daha parlak bir görüntüye sahip olduğu için göze hitap eden alanlarda ve sağlığa zararlı olmadığı için insan ile temas halinde olabilecek yerlerde kullanılmaktadır. Örneğin; oyuncaklar, mimari ölçek modeller, mutfak gereçleri, kurabiye kalıpları, saklama kapları gibi (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. PLA Filament [33].

### 3.9.3. Katkılı PLA Filamentler

PLA filament granürleri içine %30-40 oranında karıştırılmış; tahta, ağaç kabuğu, bambu, bronz, pirinç, bakır gibi sıcaklığa ve ışığa duyarlı PLA filamentleri daha çok görsellik ön planda olan ürünlerin elde edilmesinde tercih edilmektedir.

#### 3.9.3.1. Ahşap Katkılı PLA

Ahşap filament, ürünlere gerçek bir ahşap görünümü ve kokusu katmak amacı ile kullanılmaktadır. Ahşap katkıli PLA filamentler ile diğer termoplastik filamentler (ABS, PLA) gibi katman katman harç yığıma tekniği kullanılarak üretim gerçekleştirilmektedir. Baskı için gerekli işleme ısısı 175°C ile 250°C arasındadır. Şekil 3.23'de ahşap katkıli PLA filamenti ile üretilmiş modeller görülmektedir.



Şekil 3.23. Ahşap katkıli PLA modeli [34].

#### 3.9.3.2. Bakır – Bronz – Katkılı PLA

Bakır katkıli PLA filamentleri zımparalandığı zaman bakır gibi görünür ve hissedilebilir. Fakat bakır gibi iletken değildir. İçerik olarak Polyacticacid ve bakır parçacıklarının karışımında meydana gelmektedir. Ürünler üzerinde bakır görünümü vererek görsellik ön planda tutulmuştur.

Bronz katkıli PLA filamentleri, kalay ve bakır karışımından oluşmaktadır. Bu filamentler prince göre daha sert ve zor basılan bir filamentdir. Bu filamentlerle örülen modeller güzel ve kaliteli bronz görünümüne sahiptir [34].



Şekil 3.24’de bakır ve bronz katkılı PLA filamentleri ile üretilmiş modeller görülmektedir.



Şekil 3.24. Bakır ve Bronz katkılı PLA modeli [34].

### 3.9.3.3. Naylon Katkılı PLA

Dayanıklı ve güçlü olan naylon filamentleri, medikal sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan naylon filamentlere Nylon 618 ve Nylon 645 örnek olarak verilebilir. Nylon 618’de aynı ABS gibi ısıtmalı tablaya ihtiyaç vardır [34]. Şekil 3.25’de Naylon katkılı PLA filamenti ile üretilmiş model görülmektedir.



Şekil 3.25. Naylon katkılı PLAmodeli [34].

## 3.10. ABS FİLAMENT

ABS filamentleri, petrol ile petrol bazlı üretilen hammaddelerden meydana gelmektedir. Dayanıklı bir filamenttir. ABS filamenti için ısıtmalı tablaya ihtiyaç vardır. Mat bir görünüme sahip olan ABS’in ideal baskı sıcaklığı 250°C ile 260°C arasında olmalıdır. Mukavemet gerektiren imalat parçalarının üretilmesinde tercih edilmektedir. Kullanım alanları oldukça yaygın olan ABS filamentleri yüksek

mukavemete sahip imalat sanayinde, oyuncak sanayinde, araç yedek parçaları imalatında, kalıpcılık sektöründe sıklıkla kullanılan ürünler arasında yer almaktadır. Özellikleri bakımından dayanıklı ve güçlü ürünler ortaya koyduğu gibi fazla ısıya da dayanabilmektedirler. Bu özelliklerinden dolayı makine sanayinde ve birçok kalıpcılık sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır [34].

ABS-M30 malzeme mekanik özellikleri Çizelge 3.3’de, termal özellikleri Çizelge 3.4’de ve Elektriksel özellikleri Çizelge 3.5’de tablolar halinde gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. ABS-M30 Mekanik özellikleri [35].

Mechanical Properties	Test Method	English	Metric
Tensile Strength (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	5,200 psi	36 Mpa
Tensile Modulus (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	350,000 psi	2,400 Mpa
Tensile Elongation (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	4%	4%
Flexural Strength (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	8,800 psi	61 Mpa
Flexural Modulus (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	336,000 psi	2,300 Mpa
IZOD Impact, notched (Method A, 23°C)	ASTM D256	2.6 ft-lb/in	139 J/m
IZOD Impact, un-notched (Method A, 23°C)	ASTM D256	5.3 ft-lb/in	283 J/m

Çizelge 3.4. ABS-M30 Termal özellikleri [35].

Thermal Properties	Test Method	English	Metric
Heat Deflection (HDT) @ 66 psi, 0.125" unannealed	ASTM D648	204°F	96°C
Heat Deflection (HDT) @ 264 psi, 0.125" unannealed	ASTM D648	180°F	82°C
Vicat Softening Temperature (Rate B/50)	ASTM D1525	210°F	99°C
Glass Transition (T <sub>g</sub> )	DSC (SSYS)	226°F	108°C
Coefficient of Thermal Expansion (flow)	ASTM E831	4.9E-05 in/in/°F	8.82E-05 mm/mm/°C
Coefficient of Thermal Expansion (xflow)	ASTM E831	4.7E-05 in/in/°F	8.46E-05 mm/mm/°C
Melt Point	-----	Not Applicable	Not Applicable

Çizelge 3.5. ABS-M30 Elektriksel özellikleri [35].

Electrical Properties	Test Method	Value Range
Volume Resistivity	ASTM D257	4.0x10 <sup>14</sup> - 5.0x10 <sup>13</sup> ohms
Dielectric Constant	ASTM D150-98	2.9 - 2.7
Dissipation Factor	ASTM D150-98	.0052 - .0049
Dielectric Strength	ASTM D149-09, Method A	370- 71 V/mil

## BÖLÜM 4

### HPÜ TEKNOLOJİLERİNDE ÜRETİM PARAMETRELERİ

Katmanlı üretim teknolojisine sahip 3B yazıcılarda istenilen kalitede baskılar alınabilmesi için örme işleminden önce bazı parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Üç boyutlu yazıcılarda elde edilecek olan modellerin kullanım amacına göre üretim parametreleri belirlenerek örme işlemi gerçekleştirilmelidir.

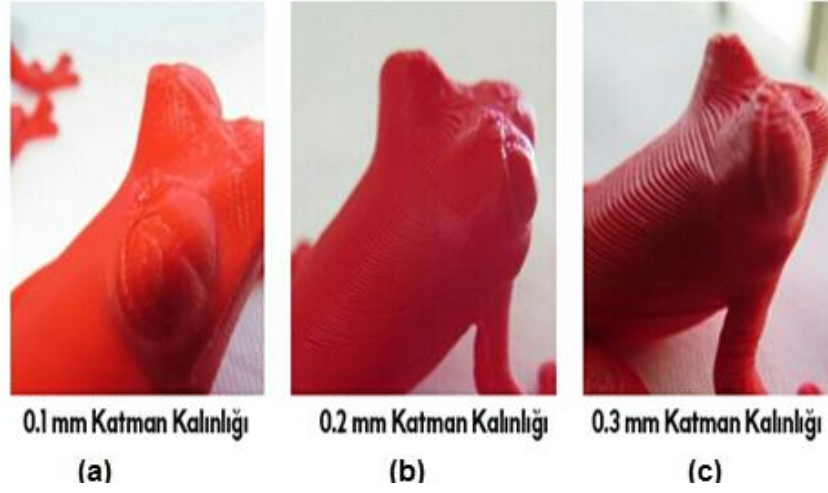
#### 4.1. KATMAN KALINLIĞI (İNŞA DERİNLİĞİ)

Katman kalınlığı, üç boyutlu yazıcılarda yüzey kalitesini belirleyen ana parametrelerden biridir. Bu parametre, daha düşük katman kalınlığı ile daha iyi yüzey kalitesine sahip ürünler elde edilmektedir.

Katman kalınlığının artırılması durumunda, yüzey kalitesinin düşmesine karşın daha kısa sürede inşa işlemi gerçekleştirilip nihai ürünler elde edilebilir. Katman kalınlığı genel olarak FDM teknolojisini kullanan yazıcılarda 50 mikron ile 400 mikron arasında değişmektedir. Kabuk kalınlığında olduğu gibi katman kalınlıklarının belirlenmesinde, 3B yazıcıların üzerinde bulunan nozulun meme çapına göre katman kalınlıkları belirlenmektedir.

Örneğin 0,5 mm çapa sahip nozul kullanılacağı zaman hız-kalite için en uygun katman kalınlığı 0,25mm olacaktır. Üç boyutlu yazıcılarda bulunan nozul uçlarını değiştirerek katman kalınlığını 0,1 mm ile 0,8 mm arasında ayarlanabilir.

Katman kalınlıklarına göre üretimi gerçekleştirilmiş olan modelin yüzey pürüzlülüğü Şekil 4.1'de görülmektedir.

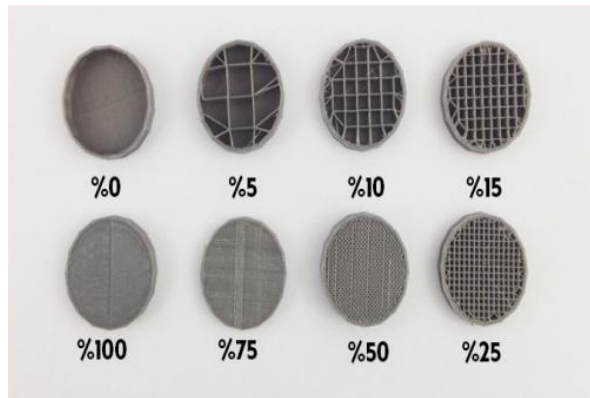


Şekil 4.1. Katman kalınlıklarına göre yüzey pürüzlülüğü [29].

- a. Yüksek yüzey kalitesi/Yavaş hızda baskı : 0.1mm
- b. Normal yüzey kalitesi/Orta hızlı baskı : 0.2mm
- c. Düşük yüzey kalitesi/Hızlı baskı : 0.3mm

#### 4.2. DOLULUK ORANI

Doluluk oranı, 3B katı modelin içini dolduracak olan materyalin oranıdır. Bu parametre doğrudan parçanın dayanıklılığını etkileyen bir faktördür. Fazla doluluk materyal maliyetini arttıracak gibi, parçanın ağırlığını ve baskı hızını da olumsuz yönde etkilemektedir. Doluluk oranları % olarak Şekil 4.2’ de gösterilmektedir [40].

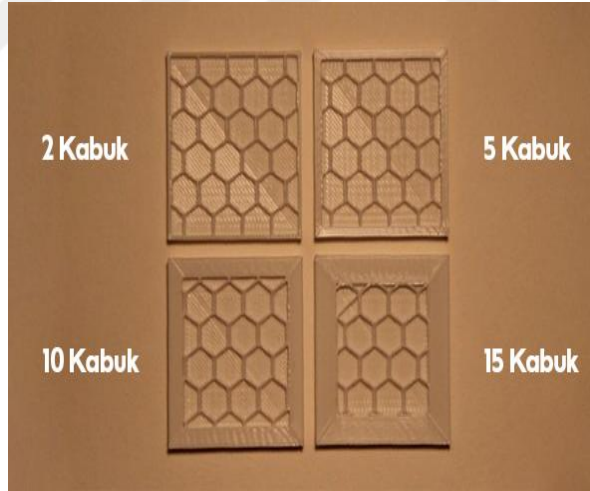


Şekil 4.2. Doluluk oranlarının % olarak gösterimi [40].

### 4.3. KABUK SAYISI VE KALINLIĞI

Kabuk sayısı katmanların dış çerçevesini oluşturan kabukların sayısıdır. Kabuk sayısı da doluluk oranında olduğu gibi parçanın mukavemetine etki eden en önemli faktörlerden biridir. Kabuk sayısını arttırmak daha mukavim parçaların üretilmesine olanak sağladığı gibi, ürünlerin yüzey kalitesinin düşük olmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden parça mukavemetini arttırmada kabuk sayısını arttırmak yerine parça doluluk oranıyla mukavemet değerini arttırmak hem yüzey kalitesi açısından hem parça mukavemeti açısından daha uygun sonuçlar verecektir.

3B yazıcıların ara yüzünde kabuk sayısı (Number of Shells) varsayılan olarak 2'ye ayarlanmıştır. Kabuk sayısı, baskı esnasında, her katmanda dıştan içe ya da içten dışa doğru atılan dış duvar sayısını ifade eder. Daha fazla kabuk, daha mukavemetli baskı demek olsa da kabuk sayısını çok fazla arttırmaktan kaçınmak gerekir. Şekil4.3'de malzeme dış ceperindeki kabuk sayıları görülmektedir [40].



Şekil 4.3. Kabuk sayısı gösterimi [40].

Kabuk kalınlığı, 3Byazıcınozul çapının katları şeklinde olmalıdır. 3B yazıcıda 0,5mm çapında bir nozul ile kabuk kalınlığı 0,5mm, 1mm ve 1,5mm gibi 0,5mm'nin katları şeklinde kabuk kalınlıkları elde edilir. Kabuk sayısı ise, kabuk kalınlığının katsayısıdır. 0,5mm kabuk kalınlığı ayarlanmış bir ara yüzde kabuk sayısı 2 ise modelinizi kabuk kalınlığı (duvar kalınlığı da denebilir) 1 mm olarak üretim yapılacaktır.

#### 4.4. BASKI HIZI

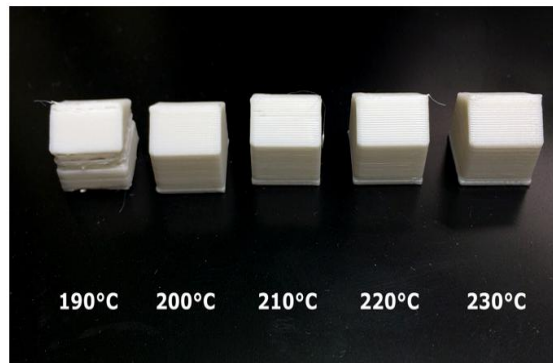
3B yazıcılarda, filamentin ekstruzyonu esnasında, yazıcı kafasının sahip olduğu hızdır. Düşük baskı hızı ile daha kaliteli ve yüzey pürüzlülüğü açısından istenen kalitede ürünler elde edilebilir. Yüksek baskı hızlarında daha hızlı fakat yüzey kalitesi düşük katmanlar arası boşlukların olduğu düşük mukavemetli parçalar elde edilir. Şekil4.4’de farklı baskı hızları ile örülmüş hayvan figürünün yüzey kalitesi görülmektedir [40].



Şekil 4.4. Baskı hızının şekil üzerinde gösterimi [40].

#### 4.5. EXTURUDER (ISITICI BAŞLIK) SICAKLIĞI

3B yazıcılarda üretimi yapılacak olan modelde kullanılacak olan filamentte göre ısıtıcı başlık basım sıcaklığı değişmektedir. PLA filamenti için 205 °C sıcaklık, ABS için de 240 °C sıcaklık uygun olacaktır. Şekil 4.5’de PLA filamentleri için farklı sıcaklıklarda inşa edilmiş numune örnekler gösterilmektedir.



Şekil 4.5. PLA Filament için farklı sıcaklıktaki sonuçlar [40].

## BÖLÜM 5

### MATERYAL VE METOD

Kavramsal modelleme ve fonksiyonel prototip imalat için, ABS-M30 malzeme ASTM D638.05/2008 standardına göre çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testi sonrasında malzemenin elastik modül, akma mukavemeti, çekme mukavemeti, çekme uzaması ve toplam uzama, gibi değişkenlerine bakılmıştır.

ABS-M30 malzeme yüksek gerilme, darbe ve eğilme mukavemeti sayesinde son kullanım için yüksek kaliteli, güçlü ve dayanıklı bir termoplastik malzemedir.

Hızlı prototip üretim tekniklerinden, harç yığıma tekniği kullanılarak yapılan bu çalışmada 3B bilgisayar destekli tasarım modellerini STL dosya formatında okuyan, dilimleme ve takım yolu hesaplama işlemlerini gerçekleştiren Insight yazılımı kullanılmıştır. ABS-M30 malzemesinden üretilen çekme deney numunelerinde farklı işlem parametreleri kullanılarak, üretilen malzeme dayanımlarının artırılması hedeflenmiştir.

Çekme deneyi, standartlara göre hazırlanmış deney numunelerinin (Z) dikey yönlü ekseninde, belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilmesidir. Deney sırasında, standart numuneye devamlı olarak artan bir çekme kuvveti uygulandığında, aynı esnada da numunenin uzaması kaydedilmiştir. Şekil 5.1’de çekme eğrisi diyağramı Şekil 5.2’de Çekme deneyinde numunenin gösterdiği davranışlar gösterilmektedir.





Şekil 5.2. (4) Boyun veren kısmın kesit alanının numunenin diğer kısımlarına göre daha küçük olması nedeniyle, numuneyi uzatmak için uygulanması gereken yük miktarı azalmaya başlıyor.

Şekil 5.2. (5) Uzama sadece boyun kısmına hapsedikten bir süre sonra numunenin kopmasıyla test sonlanmış olur.

### **5.1. HIZLI PROTOTİP SİSTEMLERDE ÜRETİM AŞAMALARI**

Hızlı Prototip sistemlerde üretilmek istenen parçaların tasarımı aşamasından tutunda en son ürünün elde edilebilmesi aşamalarına kadar birtakım işlem basamakları ve parametrelerden oluşmaktadır. Bu işlem basamakları kısaca;

1. Üretimi yapılacak olan parçaların bilgisayar ortamında CAD modelinin oluşturulması,
2. CAD modeller STL formatına dönüştürülür.
3. STL formatındaki parçanın kullanılacak olan üç boyutlu prototip yazılım programında en uygun düzleme göre (Z) dikey ekseninin belirlenip, destek yapıların oluşturulması,
4. Parça ve desteklerin belirlenen (Z) dikey ekseninde dilimlenmesi,
5. Gerekli işleme parametrelerinin seçimi,
6. Model parçanın üretimi;
7. Prototip modelin destek yapıdan ayrılması
8. Prototip için gerekli ölçümlerin yapıldıktan sonra işlevsel ürün olarak kullanım amacına göre kullanılmasıdır.

## 5.2. 3B YAZICILARDA ÜRETİM ÖNCESİ PROSES ÇALIŞMALARI

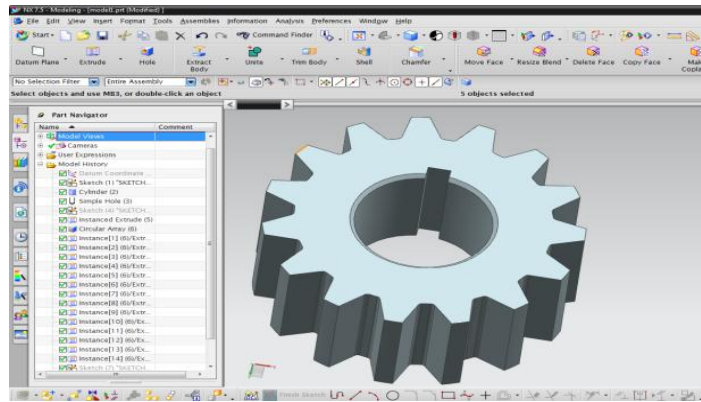
Endüstriyel tasarım programları ile bilgisayar yazılımları kullanılarak üç boyutlu nesnelerin CAD modelleri oluşturulmalıdır. Üç boyutlu tasarım verileri STL veri formatına dönüştürülerek HPÜ tekniklerini de kullanılabılır hale getirilir. STL veri formatı model üçgenlerden oluşmuş yüzeylerden ibarettir. Eldeki veri sorgulandıktan sonra dilimlere ayrılır ve dilimler sistematik bir şekilde katmanlar halinde inşa edilir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. HPÜ Sistemi üretim aşamaları [35].

### 5.2.1. CAD Modelin Oluşturulması

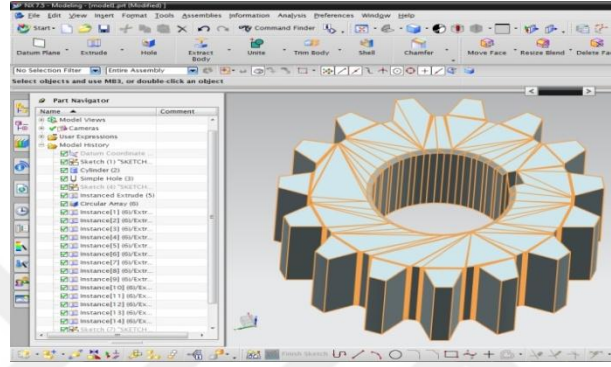
Endüstriyel tasarım teknikleri ile bilgisayar yazılımları kullanılarak oluşturulan üç boyutlu nesnelerin modelleme işlemi STL formatını destekleyen üç boyutlu tasarım programları ile yapılmaktadır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Prototip CAD model çizimi.

## 5.2.2. CAD Modelin STL Formatına Dönüştürülmesi

STL dosyaları üç boyutlu bir objeyi üçgenel olarak ifade ederler. Üç boyutlu objedeki yüzeyler mantıksal dizi içerisinde çok sayıda üçgene bölünürler. Her üçgen kendi normali ve üç nokta ile temsil edilir. Şekil 5.5’de CAD modelin üçgen kafes yapı görünümü görülmektedir.



Şekil 5.5. CAD modelin üçgen kafes yapı görünümü.

Bir “.stl dosyası“ üçgenleri oluşturan noktaların X-Y-Z koordinatlarını ve normallerini toplu olarak içerir. Bir CAD verisindeki ürünün üçgen sayısı arttıkça ürünün detay seviyesi’de artar. Bu sebeple kaliteli bir yüzey elde etmek için çok sayıda üçgene ve onların normallerine ihtiyaç vardır.

## 5.3. DENEYDE KULLANILAN YARDIMCI CİHAZLAR

### 5.3.1. HPÜ Cihazı

Fortus 360mc termoplastik malzemelerin üç boyutlu modellerini oluşturmak için FDM modelleme teknolojisini kullanmaktadır. Fortus 360mc hızlı prototipleme cihazı sağlamlığı ve malzeme seçiminin yanı sıra kavramsal modelleme, işlevsel prototipleme, imalat araçları ve son kullanılan parça üretimi gibi bir dizi kolaylıklar sağlamaktadır. Fortus 360mc hızlı prototipleme cihazı önışleme yazılımı ile birlikte kullanılmaktadır. Şekil 5.6’da Fortus 360mc hızlı prototipleme cihazı gösterilmektedir.



Şekil 5.6. Fortus 360 mc hızlı prototipleme cihazı

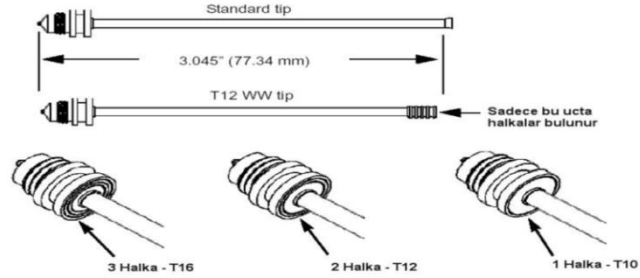
Bu sayede, önceden tasarladığımız üç boyutlu dijital dosyaları STL formatına dönüştürülerek Fortus 360 mc sistemi sayesinde modelin hızlı bir şekilde üretimini gerçekleştirilebilir.

Fortus 360mc hızlı prototipleme cihazında üretime gerekli olan destek malzemeleri elle veya bir su solüsyonuyla kolayca çıkarılarak nihai ürün elde edilir.FDM360mc tezgâhın teknik özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. 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 )

Uç tipi malzeme katman kalınlıklarına göre dört farklı tiptedir. Bunlar T10, T12, T16 ve T20 şeklindedir. Uç tipleri Şekil 5.7’de görülmektedir. Uç tiplerinin malzeme katman kalınlıklarına göre sıralaması Çizelge 5.2’de verilmiştir.

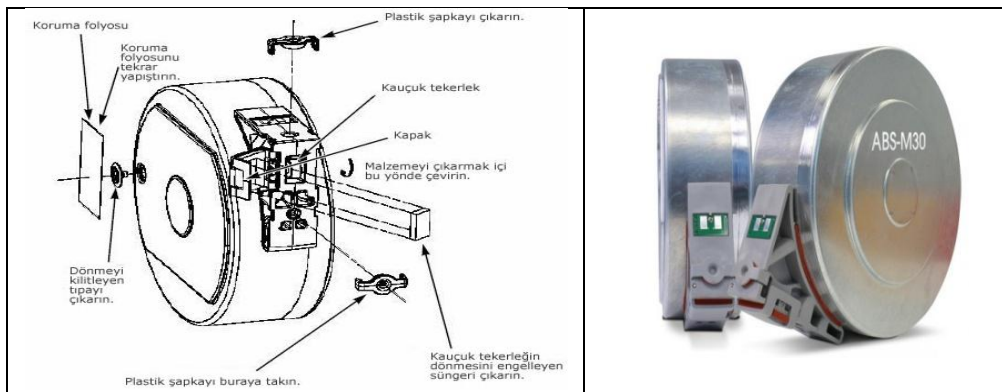


Şekil 5.7. Model uçların (tip) özellikleri ve tanımlanması [42].

Çizelge 5.2. FORTUS 360 mc prototip uç parametreleri [42].

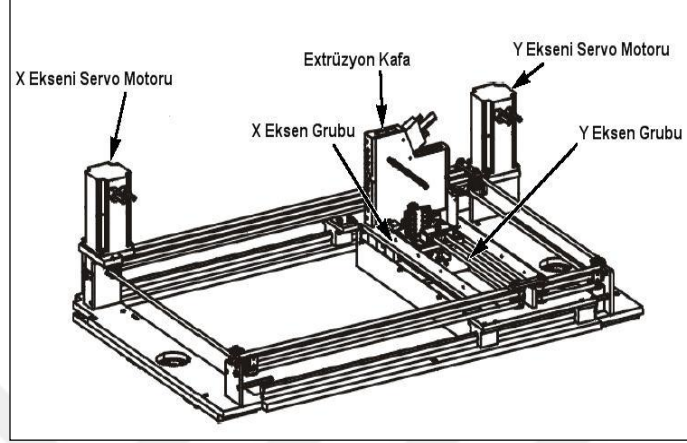
Model ucu	Destek ucu	Katman kalınlığı
T10	T12 WW	0.127 mm
T12	T12 WW	0.178 mm
T16	T12 WW	0.254mm
T20	T12 WW	0.330mm

Şekil 5.8’de FORTUS 360 mc cihazında kullanılan kartuş şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.8. FORTUS 360 mc prototip kartuş [42].

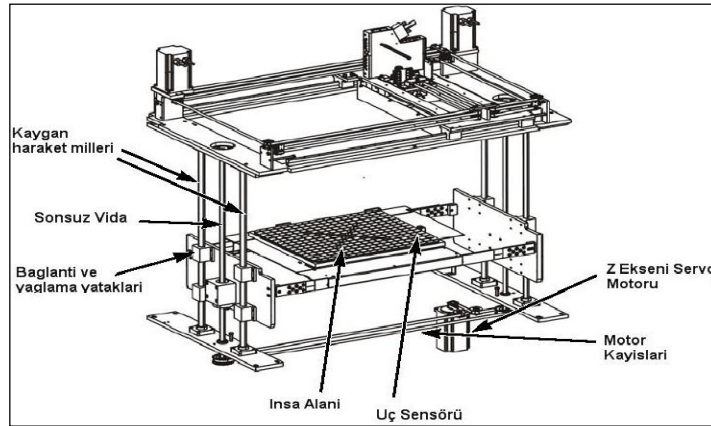
Şekil 5.9’da görülen yapı modelde ekstrüzyon kafayı hareket ettirmeye yarayan (X) eksenli servomotoru, (Y) eksenli servomotoru ve eksenleri gösteren şematik yapı yer almaktadır.



Şekil 5.9. Prototip yazıcı eksenleri şematik gösterimi [42].

Bu yapıda (Z) dikey eksen yönündeki sonsuz vida dişlisini yukarı aşağı hareket ettirilerek objelerin oluşturulması sağlanmaktadır. Katman katman harç yığıma işlemi (Z) ekseninin aşağı yöndeki hareketi ile gerçekleşir. Hareketler çok hassas servo motor sayesinde gerçekleşmektedir.

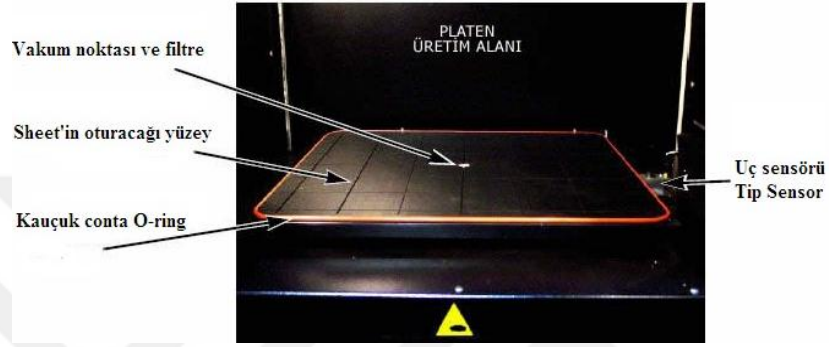
Şekil 5.10’da prototip cihazın inşa alanı taşıyan yapı şematik resmi görülmektedir.



Şekil 5.10. Prototip inşa alanı şematik resmi [42].



Üretim alanı tabandan ısıtmalı olup oluşturulacak model ürünler bu alanda inşa edilmektedir. Saydam plaka vakumlu olan tabla üzerine oturtularak tabla ısıtılıp inşa işlemine başlanılır. Vakum ünitesi çalışmadan cihaz içerisinde inşa işlemi yapılamamaktadır. Saydam plaka çevresel döngü ile yerleştirilmiş kauçuk conta üzerine oturmaktadır. Şekil 5.11’de FDM 360 mc hızlı prototip cihazı model inşa alanı görünmektedir.



Şekil 5.11. FDM 360 mc model inşa alanı [42].

### 5.3.2. Çekme Test Cihazı

Deneysel numunelerin çekme testleri için Zwick Z100 çekme testi cihazı kullanılmıştır. Kullanılan çekme testi cihazına ilişkin görsel Şekil 5.12’de, cihazın teknik özellikleri ise Çizelge 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.12 Zwick/Roell Z100 test cihazı.



Çizelge 5.3.Zwick/Roell Z100 test cihazı teknik özellikleri [43].

Maksimum test gücü FN (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 <sub>nom</sub>
0,4 ile % 100 F <sub>nom</sub> aralığında kuvvetin ölçülmesi	Sınıf 1
% 2 ile % 100 F <sub>nom</sub> aralığındaki kuvveti ölçme	Sınıf 0,5
Ekstensometre başlangıç ölçme uzunluğu	11 - 50 mm

#### 5.4. MODEL İNŞA YÖNTEMLERİ

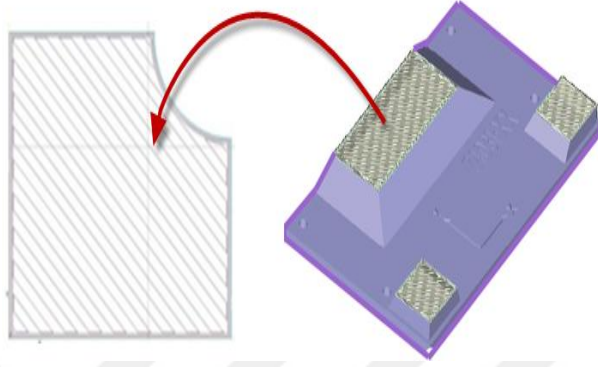
Tasarımı yapılan modellerin dayanım ve maliyet etkilerine göre üç farklı tipte örme yöntemi geliştirilmiştir. Örme yapı tipinin doğru seçilmesi oluşturulacak unsurun veya unsurların örme sürelerini, kullanılacak olan malzeme miktarını ve ürün maliyetini doğrudan etkilemektedir. Hızlı prototip yöntemi ile bir nesneyi inşa etmek için kullanılan yapı tipleri;

1. Saparsa (tek yönlü yapı),
2. Double Saparsa (çift yönlü yapı)
3. Solid Normal (sık tek yönlü yapı) şeklindedir.

##### 5.4.1. Saparsa (Tek Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi

Bu inşa yöntemi ile modelin dış katmanın çevresel bir döngüde geçmesi ve yapı inşasının da tek yönde yapılmasıdır. Yapısal sertlik olarak kafes sisteminin içi boş olduğundan dolayı bu inşa yöntemi diğer inşa yöntemlerine nazaran zayıf bir yapıya sahiptir.

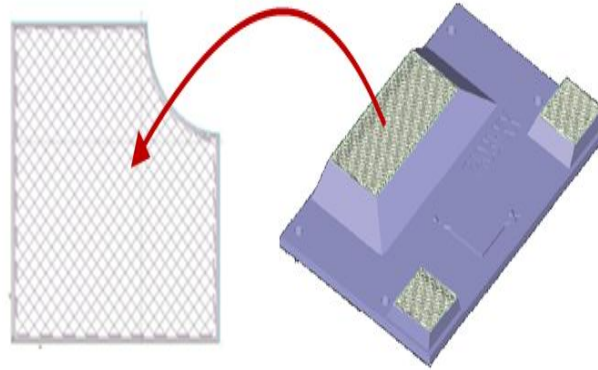
Üretimi yapılan parçanın iç yapısı boşluklu olduğundan ürünün hafif olması ve model inşası için kullanılan malzeme miktarı az olması, diğer yapılara nazaran en dayanıksız ve maliyet açısından en ucuz inşa yöntemidir. Şekil 5.13’de tek yönlü inşa tipi görülmektedir.



Şekil 5.13.Saparsa (tek yönlü yapı) inşa tipi [35].

#### 5.4.2. Duple Saparsa (Çift Yönlü Yapı), İnşa Yöntemi

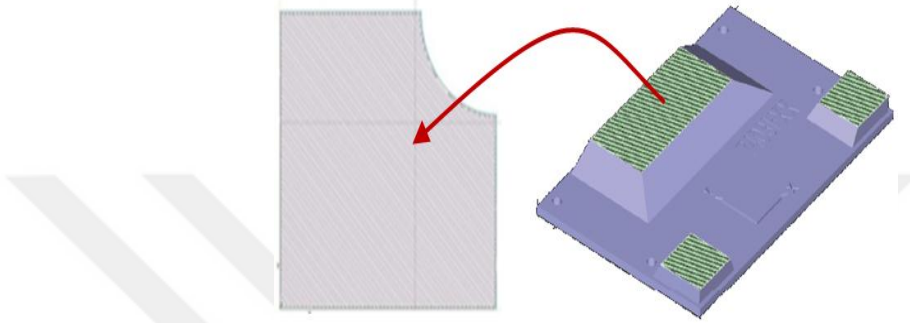
Bu İnşa işleminin modelin dış katmanının çift döngüde geçmesi ve yapı inşasının çift yönde yapılmasıdır. Tek yönlü yapı inşa yöntemine göre daha dayanıklı, kullanılan malzeme biraz daha fazla olduğundan ve inşa süresinin tek yönlü yapıya nazaran biraz daha uzun olması maliyet açısından daha pahalı bir yöntemdir. 3B prototip test numunesi üretimlerinde çift yönlü yapı tipi kullanılmıştır. Şekil 5.14’de çift yönlü yapı inşa tipi görülmektedir.



Şekil 5.14. Duple Saparsa (çift yönlü yapı) inşa tipi [35].

### 5.4.3. Solid Normal (Sık Tek Yönlü Yapı) İnşa Yöntemi

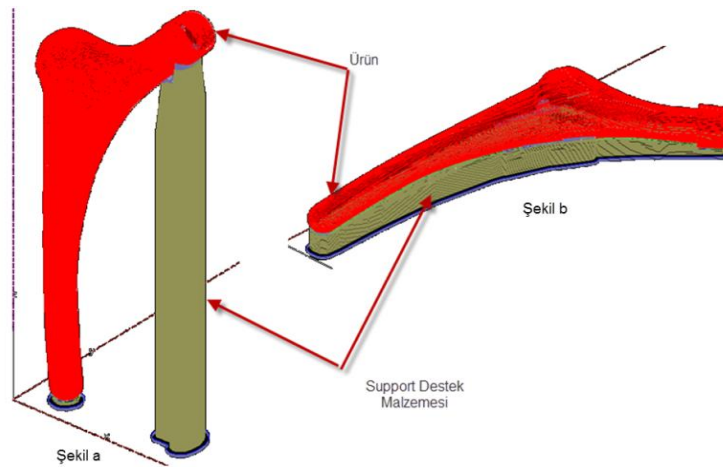
Bu inşa yöntemi sayesinde modelin dış katmanında çevresel tek döngüde geçmesi ve yapı inşası daha sık bir yapıdan oluşmaktadır. Bu yöntem sayesinde yapı dayanımı en yüksek seviyede olmakla birlikte yapının inşasında kullanılan malzeme tüketimi artmakta, inşa süresi uzamakta olup maliyet açısından en pahalı yöntemdir (Şekil 5.15).



Şekil 5.15. Solid normal (sık tek yönlü yapı) inşa tipi [35].

### 5.5. MODEL STL KONUMLAMA

Parçanın kullanım şekline göre parçanın uygun konumlanmasına karar verilir. STL parça konumlarırken estetiklik, dayanıklılık, inşa süresi, minimum destek malzemesi kriterleri dikkate alınarak parça konumlaması yapılır (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. STL Konumlama gösterimi [35].

Parça hızlı prototipleme üretim tablasına konumlama şekline göre parçanın üretim süresi uzamakta veya azalmakta, doğru seçilmeyen bir örme yöntemi ile parçanın dayanıklılığı ve estetik görünümü değişmektedir. Şekil 5.16'da Şekil a'da görüldüğü gibi parça dik olarak üretim tablasına konulduğunda 7 saat gibi bir üretim süresi gerekmekte ve destek malzemesi oranı artmaktadır. Şekil 5.16'da Şekil b'de gösterildiği gibi parça üretim tablasına yatay olarak konumlandırıldığı takdirde üretim süresi 4 saate düşmekte ve kullanılan destek malzemesi oranları azalmaktadır.

## 5.6. DENEYSEL METOT

Çizelge 5.4'te sabit parametreye değerleri, Çizelge 5.5'te değişken parametreler üç farklı seviye olmak üzere farklı inşa açısı, inşa derinliği ve bölüm ızgara genişliği parametre değerleri ile çekme numuneleri hazırlanmıştır.

Ana malzeme miktarı, destek malzeme miktarı, örme süresi (zaman) gibi maliyet arttırıcı etkenlerin incelenmesinin yanı sıra, malzemenin mukavemetini etkileyen elastik modül, akma mukavemeti, çekme mukavemeti, çekme uzaması, toplam uzama gibi malzeme mukavemetine etki ededen değerler incelenmiştir.

Çizelge 5.4. Sabit parametreler.

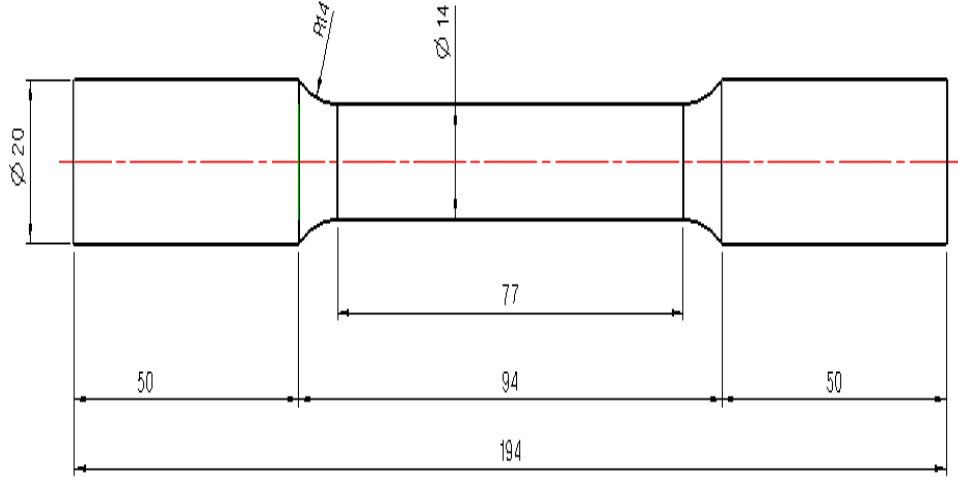
1	Malzeme	ABS M30
2	Model ucu	T16
3	Destek ucu	T12 WW
4	Katman kalınlığı	0.254mm
5	Model inşa yöntemi	Çift yönlü yapı

Çizelge 5.5. Değişken parametreler.

		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A	İnşa açısı [°]	30	60	
B	İnşa genişliği, mm	0,016	0,024	0,032
C	Bölüm ızgara genişliği, mm	0,016	0,024	0,032

Çekme numuneleri T16 model uç (0,254 mm) katman kalınlığı ile çift yönlü inşa yapısı kullanılarak test numuneleri üretilmiştir. A-B-C değişken parametre değerleri kullanılarak ABS M30 malzemesinin çekme mukavemetinin değişimi araştırılmıştır.

Şekil 5.17’de 2B teknik resmi verilen parça NX7,5 3B tasarım programı kullanılarak modellenmiş olup Şekil 5.18’de görüldüğü gibi STL formatına dönüştürülmüştür. Şekil 5.19’da 3B prototipleme cihazında üretimi gerçekleştirilen test model numuneleri görülmektedir.



Şekil 5.17. Test numunesi CAD çizimi.



Şekil 5.18.STL dilimleme.



Şekil 5.19. Test numunesi.

Çizelge 5.6’da deney tasarımı kombinasyonları verilmiştir. Insight 7.0 yazılımına Çizelge 5.7’de verilen parametre değerleri girilerek parça dilimlenmiş, takım yolları çıkarılıp FDM 360 MC tezgahında parçalar örülmüştür.

ZWICK Z100 test cihazı ile ABS-M30 malzeme, ASTM D638.05/2008 standardına göre çekme testine tabi tutulmuş olup buradan malzemenin elastik modülü, akma mukavemeti, çekme mukavemeti, çekme uzaması, toplam uzama, gibi birden fazla malzeme değişkenlerine bakılmıştır.

Çizelge 5.6. Deney tasarım kombinasyonu.

DeneyNo	A	B	C
D1	1	1	1
D2	1	2	1
D3	1	3	1
D4	1	1	2
D5	1	2	2
D6	1	3	2
D7	1	1	3
D8	1	2	3
9	1	3	3
D10	2	1	1
D11	2	2	1
D12	2	3	1
D13	2	1	2
D14	2	2	2
D15	2	3	2
D16	2	1	3
D17	2	2	3
D18	2	3	3

Çizelge 5.7. Deney parametreleri (30° İnşa Açısı).

Deney No	İnşa Açısı (°)	İnşa Genişliği (mm)	Bölüm Izgara Genişliği (mm)
D1	30	0,016	0,016
D2	30	0,016	0,024
D3	30	0,016	0,032
D4	30	0,024	0,016
D5	30	0,024	0,024
D6	30	0,024	0,032
D7	30	0,032	0,016
D8	30	0,032	0,024
D9	30	0,032	0,032

Birinci grup deney numunesi olarak 30° inşa açısı ile Çizelge 5.7’de verilen parametre değerleri ile örme işlemi gerçekleştirilmiştir. İkinci grup deney numunesi olarak 60° inşa açısı için Çizelge 5.8’de verilen parametre değerleri ile örme işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen numunelere ZWICK Z100 test cihazı ile ASTM D638.05/2008 standardına göre çekme testlerine tabi tutulmuştur.

Çizelge 5.8. Deney parametreleri (60° İnşa Açısı).

Deney No	İnşa Açısı (°)	İnşa Genişliği (mm)	Bölüm Izgara Genişliği (mm)
D10	60°	0,016	0,016
D11	60°	0,016	0,024
D12	60°	0,016	0,032
D13	60°	0,024	0,016
D14	60°	0,024	0,024
D15	60°	0,024	0,032
D16	60°	0,032	0,016
D17	60°	0,032	0,024
D18	60°	0,032	0,032



## BÖLÜM 6

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada, prototip plastik parça üretiminde örme parametrelerinin ürün mukavemetine ve dayanımına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmada inşa açısı olarak 30° ve 60° kullanılmıştır. Farklı parametre değerlerine göre 18 numune üretilmiştir. Deney sonuçlarının güvenilirliğini arttırmak amacıyla her parametreye göre prototip parça üretimi üç defa tekrarlanmıştır.

Kavramsal modelleme ve fonksiyonel prototip imalatında, gerilme, darbe ve eğilme mukavemeti yüksek, kaliteli, güçlü ve dayanıklı bir termoplastik malzeme olduğu için ABS M30 termoplastik malzeme kullanılmıştır.

Zwick/Roell marka çekme tezgâhında, termoplastik malzemelerin çekme deneyleri ASTM D638.05/2008 standardına göre yapılmıştır. Çekme testi sonucuna göre malzemelerin elastik modül, akma mukavemeti, çekme mukavemeti, çekme uzaması, toplam uzama değerleri elde edilerek, parametrelerin bu değerlere etkileri incelenmiştir.

#### 6.1. BİRİNCİ GRUP DENEY (30° İNŞA AÇISI)

Birinci grup deneyde 30° inşa açısı ile üretilen numuneler ASTM D638.05/2008 standardına göre çekme testi sonrasında elde edilen sonuç verileri incelenmiştir. Çekme numunelerine ait görseller Şekil 6.1'de gösterilmektedir. Çekme testi sonuçları tablo halinde gösterimi Çizelge 6.1'de verilmiştir.

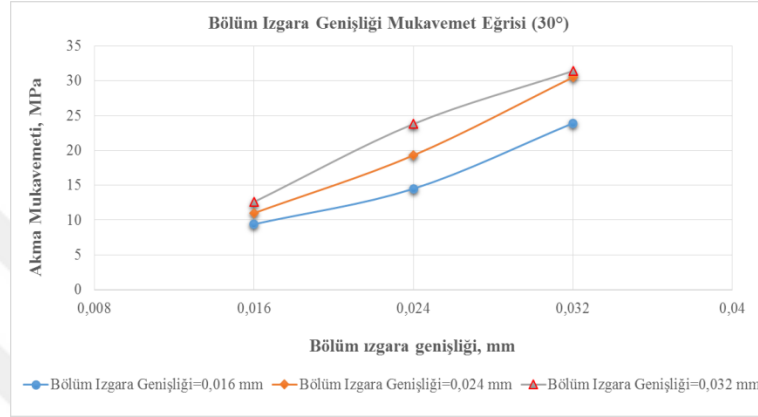


Şekil 6.1. Çekme testi deney modelleri (30° inşa açısı).

Çizelge 6.1. Çekme testi deney sonuçları (30° inşa açısı).

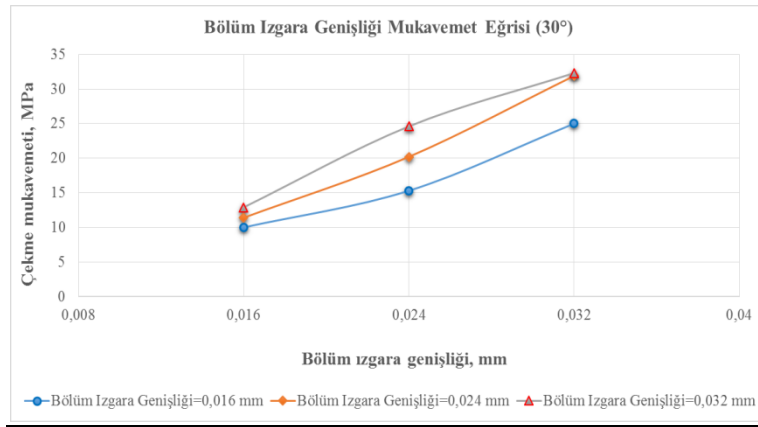
Deney No	Elastik Modül, (Gpa)	Akma Mukavemeti, (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Çekme Uzaması (%)	Toplam Uzama, (%)	Malzeme çapı(mm)
D1	0,76	9,4	10	1,3	1,6	14
D2	1,13	14,5	15,3	0,48	2,5	14
D3	1,8	23,9	25	0,45	1,5	14
D4	0,86	11	11,4	1,72	2,3	14
D5	1,52	19,3	20,2	0,48	1,9	14
D6	2,28	30,5	31,9	0,38	2,4	14
D7	1	12,6	12,9	0,43	2,1	14
D8	1,79	23,8	24,6	0,37	0,7	14
D9	2,27	31,4	32,3	0,36	0,9	14

Akma mukavemeti ve çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, en yüksek akma ve çekme mukavemetinin deney no 9’da elde edildiği görülmüştür. Deney no 9’da akma mukavemeti 31,4 MPa ve çekme mukavemeti ise 32,3 MPa olarak ölçülmüştür. Şekil 6.2’de görüldüğü gibi bölüm ızgara genişliği parametre değerlerinin artmasına bağlı olarak, malzemenin akma mukavemetinin arttığı görülmektedir.



Şekil 6.2. Bölüm ızgara genişliğinin akma mukavemetine etki grafiği (30°).

Şekil 6.2. ve Şekil 6.3.’de bölüm ızgara genişliğinin artmasına bağlı olarak akma mukavemeti ve çekme mukavemeti değerlerinin arttığı görülmektedir. Bölüm ızgara genişliği % 50 artırılarak 0,016 mm’den 0,024 mm’ye yükseltildiğinde akma ve çekme mukavemeti ~% 54 iyileşmiştir. Bu durum, bölüm ızgara genişliğinin malzeme iç yapı doluluk oranının artmasında en önemli etken olmasına bağlanmıştır.



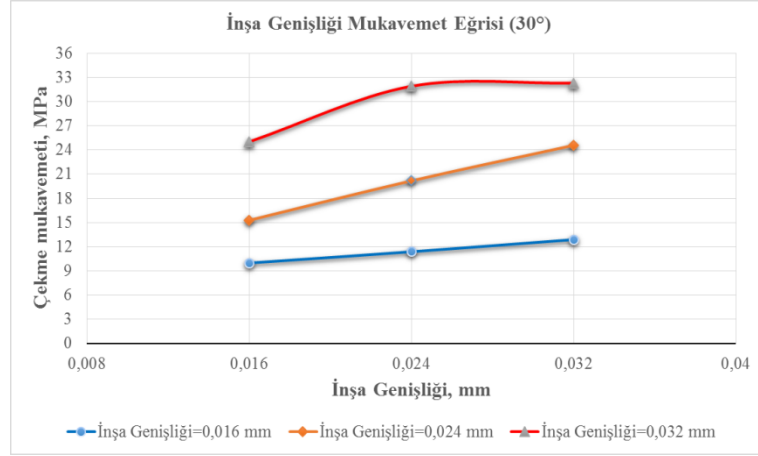
Şekil 6.3. Bölüm ızgara genişliğinin çekme mukavemetine etki grafiği (30°).

İnşa genişliği parametre değeri 0.016 mm, 0.024 mm ve 0.032 mm sabit olduğu durumlarda bölüm ızgara genişliği parametre değerlerinin artması, akma mukavemeti ve çekme mukavemetlerinin değişimine neden olmuştur. Çizelge 6.2’de bölüm ızgara genişliğinin artmasına bağlı olarak akma mukavemetinin % olarak değişim değerleri tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 6.2. Bölüm ızgara genişliği akma ve çekme mukavemetine oranı (%).

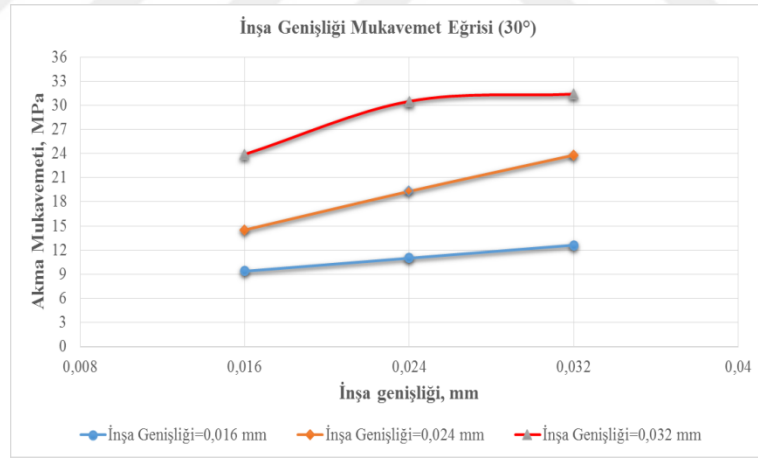
30° İnşa Açısı Deney No	İnşa Genişliği (mm)	Bölüm Izgara Genişliği (mm)	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti % Değişimi,	Çekme Mukavemet % Değişimi,
D1	<b>0,016</b>	0,016	9,4	10		
D2	<b>0,016</b>	0,024	14,5	15,3	<b>54</b>	<b>53</b>
D3	<b>0,016</b>	0,032	23,9	25	<b>65</b>	<b>63</b>
D4	<b>0,024</b>	0,016	11	11,4	<b>17</b>	<b>14</b>
D5	<b>0,024</b>	0,024	19,3	20,2	<b>33</b>	<b>32</b>
D6	<b>0,024</b>	0,032	30,5	31,9	<b>28</b>	<b>28</b>
D7	<b>0,032</b>	0,016	12,6	12,9	<b>34</b>	<b>29</b>
D8	<b>0,032</b>	0,024	23,8	24,6	<b>64</b>	<b>61</b>
D9	<b>0,032</b>	0,032	31,4	32,3	<b>31</b>	<b>29</b>

Şekil 6.4 ve Şekil 6.5’de İnşa genişliği parametre değerlerinin artmasının malzemenin akma ve çekme mukavemetlerine etkisi verilmiştir. İnşa genişliği arttıkça malzemenin akma ve çekme mukavemetleri de artmıştır.



Şekil 6.4. İnşa genişliğinin çekme mukavemetine etki grafiği (30°).

Şekil 6.4. ve Şekil 6.5.'de inşa genişliğinin artmasına bağlı olarak çekme mukavemeti ve akma mukavemeti değerlerinin arttığı görülmektedir. İnşa genişliği % 50 arttırılarak 0,016 mm'den 0,024 mm'ye yükseltildiğinde akma ve çekme mukavemeti ~% 17 iyileşmiştir.



Şekil 6.5. İnşa genişliğinin akma mukavemetine etki grafiği (30°).

Bölüm ızgara genişliği parametre değeri 0.016 mm, 0.024 mm ve 0.032 mm sabit olduğu durumlarda inşa genişliği parametre değerlerinin artmasından dolayı malzemenin akma ve çekme mukavemetleri de artmıştır. Çizelge 6.3'de inşa genişliğinin artmasına bağlı olarak çekme mukavemetinin % olarak değişim değerleri tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 6.3. İnşa genişliği akma ve çekme mukavemetine oranı (%).

30° İnşa Açısı Deneş No	İnşa Genişliği (mm)	Bölüm İzgara Genişliği (mm)	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti % Değişimi,	Çekme Mukavemet % Değişimi
D1	0,016	<b>0,016</b>	9,4	10		
D4	0,024	<b>0,016</b>	11	11,4	<b>17</b>	<b>14</b>
D7	0,032	<b>0,016</b>	12,6	12,9	<b>34</b>	<b>29</b>
D2	0,016	<b>0,024</b>	14,5	15,3	<b>54</b>	<b>53</b>
D5	0,024	<b>0,024</b>	19,3	20,2	<b>75</b>	<b>77</b>
D8	0,032	<b>0,024</b>	23,8	24,6	<b>89</b>	<b>91</b>
D3	0,016	<b>0,032</b>	23,9	25	<b>154</b>	<b>150</b>
D6	0,024	<b>0,032</b>	30,5	31,9	<b>177</b>	<b>180</b>
D9	0,032	<b>0,032</b>	31,4	32,3	<b>149</b>	<b>150</b>

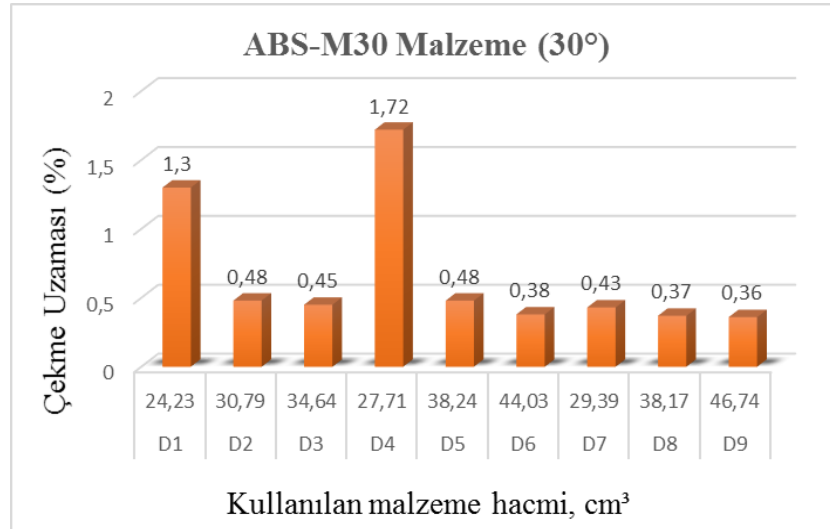
İnşa genişliği ve bölüm ızgara genişliği değerlerindeki artış miktarına bağlı olarak malzeme içyapısındaki doluluk oranının artmasından dolayı malzemenin mukavemeti artmıştır.

Bölüm ızgara genişliğinin değişimi akma ve çekme mukavemeti üzerindeki etkisi inşa genişliğine kıyasla daha etkili bir parametre olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 5.8’de verilen deney parametreleri kullanılarak üretilen numunelere ait malzeme miktarı ve üretim süresi Çizelge 6.4’de tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 6.4. Malzeme ve zaman gösterimi (30° inşa açısı).

Deney No	Kullanılan Malzeme ABS- M30 (cm <sup>3</sup> )	Üretim Süresi (dk.)
D1	24,23	69
D2	30,79	83
D3	34,64	80
D4	27,71	75
D5	38,24	91
D6	44,03	97
D7	29,39	68
D8	38,17	90
D9	46,74	107

Şekil 6.6'da kullanılan malzeme miktarının çekme uzamasına etki grafiği gösterilmiştir.

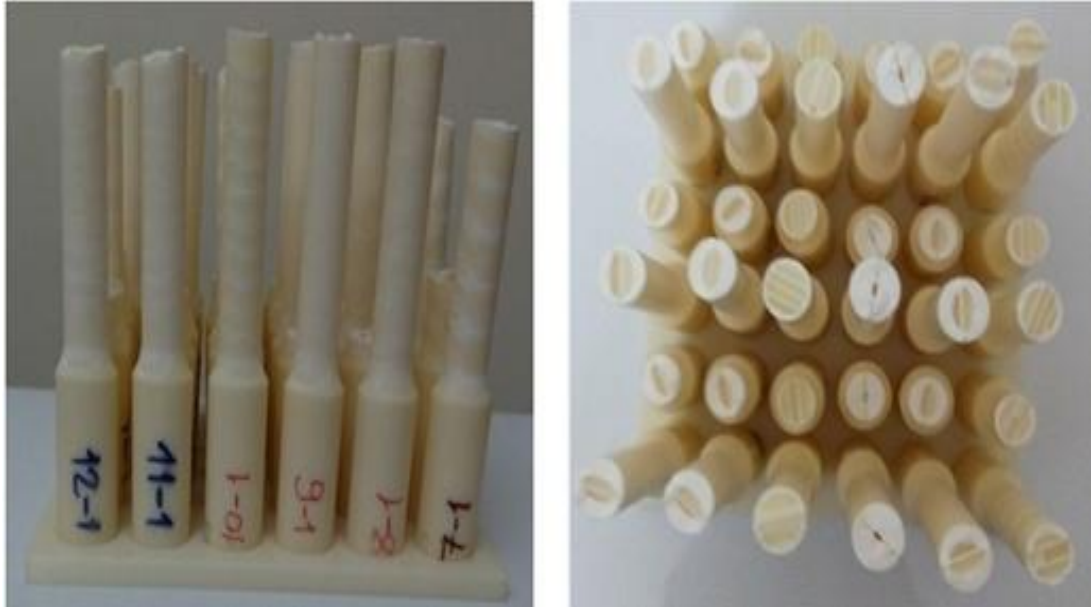


Şekil 6.6. ABS-M30 malzeme kullanımı (cm<sup>3</sup>).

Deney numunelerinde kullanılan malzeme miktarı arttıkça, numuneler üzerinde yapılan çekme deneyi sonuçlarına göre, çekme uzama miktarının azaldığı görülmüştür. Çizelge 6.1’de çekme testi sonuçlarına göre aynı geometriye sahip ürünlerde malzeme doluluk oranı arttıkça malzemenin mukavemetin arttığı, malzeme iç yapısının gevrekleştiği bunun sonucunda da çekme uzamasının azaldığı görülmüştür.

## 6.2. İKİNCİ GRUP DENEY (60° İNŞA AÇISI)

İkinci grup deneyde 60° inşa açısı ile üretilen numuneler ASTM D638.05/2008 standardına göre çekme testi sonrasında elde edilen sonuç verileri incelenmiştir. Çekme numunelerine ait görseller Şekil 6.7’de gösterilmektedir.



Şekil 6.7. Çekme testi deney modelleri (60° inşa açısı).



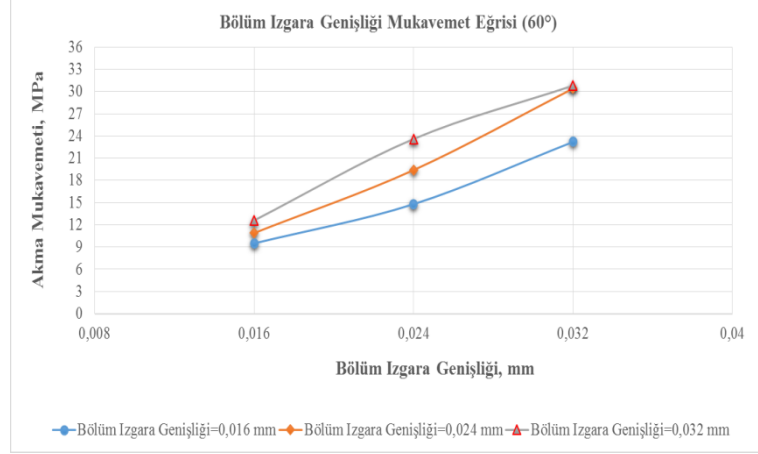
Çizelge 6.5’de 9 farklı deneye ait çekme testi sonuç verileri tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 6.5.Çekme testi deney sonuçları (60° inşa açısı).

Deney No	Elastik Modül(GPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Çekme Uzaması (%)	Toplam Uzama (%)	Malzeme çapı (mm)
D10	0,74	9,5	10,1	1,08	1,3	14
D11	1,75	14,8	17,2	0,5	2,4	14
D12	1,75	23,2	28,6	0,53	2,3	14
D13	0,83	10,9	11,5	1	1,2	14
D14	1,47	19,4	20,1	0,45	0,9	14
D15	2,22	30,4	31,7	0,41	1,7	14
D16	1,02	12,6	13,5	0,63	1,8	14
D17	1,83	23,6	24,7	0,4	0,8	14
D18	2,31	30,8	31,9	0,39	0,7	14

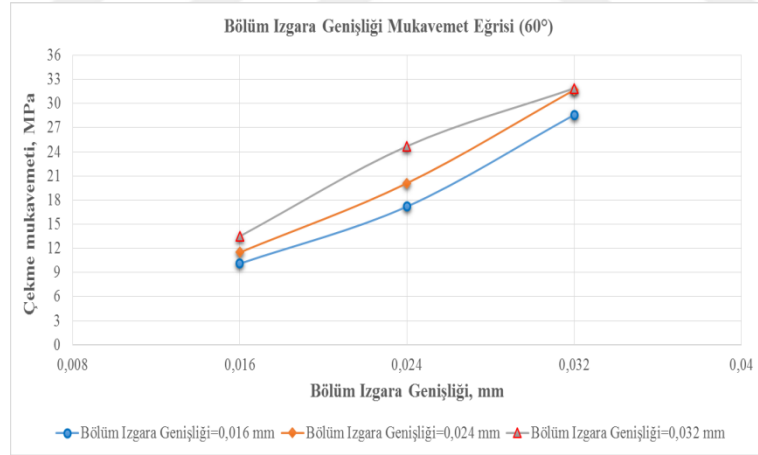
Çizelge 6.5’de 9 farklı deneylere ait akma mukavemeti ve çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, en yüksek akma ve çekme mukavemetinin deney no 18’de elde edildiği görülmüştür. Deney no 18’de akma mukavemeti 30,8 MPa ve çekme mukavemeti ise 31,9 MPa olarak ölçülmüştür.

Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’da bölüm ızgara genişliğinin artmasına bağlı olarak, akma ve çekme mukavemetlerine etki grafiği görülmektedir.



Şekil 6.8. Bölüm ızgara genişliğinin akma mukavemetine etki grafiği (60°).

Şekil 6.8’de bölüm ızgara genişliğinin artmasına bağlı olarak akma mukavemeti arttığı görülmektedir. Bölüm ızgara genişliği % 50 arttırılarak 0,016 mm’den 0,024 mm’ye yükseltildiğinde akma mukavemeti ~% 56 iyileşmiştir. Bu durum, bölüm ızgara genişliğinin malzeme iç yapı doluluk oranının artmasında en önemli etken olmasına bağlanmıştır.



Şekil 6.9. Bölüm ızgara genişliğinin çekme mukavemetine etki grafiği (60°).

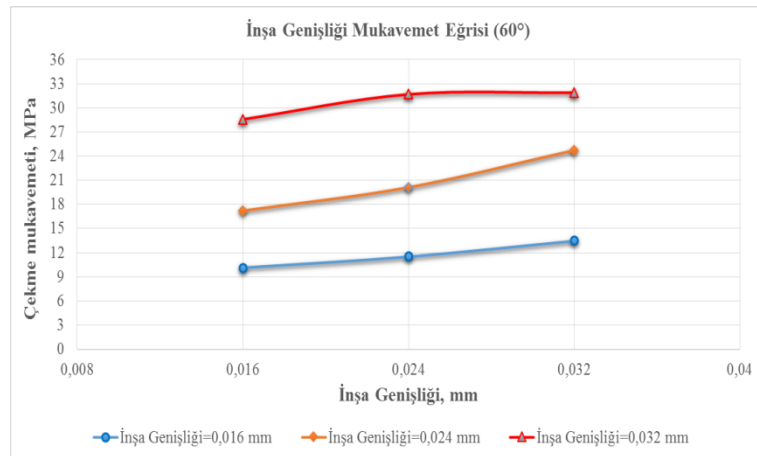
İnşa genişliği parametre değeri 0.016 mm, 0.024 mm ve 0.032 mm sabit olduğu durumlarda bölüm ızgara genişliği parametre değerlerinin artmasından dolayı çekme mukavemetinin arttığı görülmüştür (Şekil 6.9).

Çizelge 6.6’da bölüm ızgara genişliğinin artmasına bağlı olarak akma mukavemetinin % olarak değişim değerleri tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 6.6. Bölüm ızgara genişliği akma ve çekme mukavemetine oranı (%).

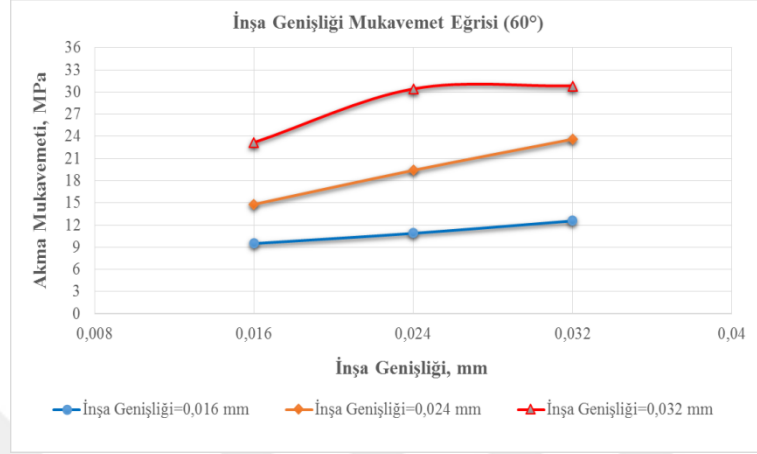
Deney No	İnşa Genişliği (mm)	Bölüm Izgara Genişliği (mm)	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti % Değişimi	Çekme Mukavemet % Değişimi
D10	<b>0,016</b>	0,016	9,5	10,1		
D11	<b>0,016</b>	0,024	14,8	17,2	<b>56</b>	<b>70</b>
D12	<b>0,016</b>	0,032	23,2	28,6	<b>57</b>	<b>66</b>
D13	<b>0,024</b>	0,016	10,9	11,5	<b>15</b>	<b>14</b>
D14	<b>0,024</b>	0,024	19,4	20,1	<b>31</b>	<b>17</b>
D15	<b>0,024</b>	0,032	30,4	31,7	<b>31</b>	<b>11</b>
D16	<b>0,032</b>	0,016	12,6	13,5	<b>33</b>	<b>34</b>
D17	<b>0,032</b>	0,024	23,6	24,7	<b>59</b>	<b>44</b>
D18	<b>0,032</b>	0,032	30,8	31,9	<b>33</b>	<b>12</b>

Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’de inşa genişliği parametre değerlerinin artmasına bağlı olarak, akma ve çekme mukavemetlerine etki grafiği görülmektedir.



Şekil 6.10. İnşa genişliğinin çekme mukavemetine etki grafiği (60°).

Şekil 6.10'da görüldüğü gibi inşa genişliği artmasına bağlı olarak malzemenin çekme mukavemeti değerlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 6.11. İnşa genişliğinin akma mukavemetine etki grafiği (60°).

Bölüm ızgara genişliği parametre değeri 0.016 mm, 0.024 mm ve 0.032 mm sabit olduğu durumlarda inşa genişliği parametre değerlerinin artmasından dolayı akma mukavemeti değerlerinin arttığı görülmektedir.

Çizelge 6.7'de inşa genişliğinin artmasına bağlı olarak çekme mukavemetinin % olarak değişim değerleri tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 6.7. İnşa genişliği akma ve çekme mukavemetine oranı (%).

Deney No	İnşa Genişliği (mm)	Bölüm Izgara Genişliği (mm)	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti % Değişimi	Çekme Mukavemet % Değişimi
D10	0,016	0,016	9,5	10,1		
D13	0,024	0,016	10,9	11,5	<b>15</b>	<b>14</b>
D16	0,032	0,016	12,6	13,5	<b>33</b>	<b>34</b>
D11	0,016	0,024	14,8	17,2	<b>56</b>	<b>70</b>
D14	0,024	0,024	19,4	20,1	<b>78</b>	<b>75</b>
D17	0,032	0,024	23,6	24,7	<b>87</b>	<b>83</b>
D12	0,016	0,032	23,2	28,6	<b>144</b>	<b>183</b>
D15	0,024	0,032	30,4	31,7	<b>179</b>	<b>176</b>
D18	0,032	0,032	30,8	31,9	<b>144</b>	<b>136</b>

İnşa genişliği ve bölüm ızgara genişliği değerlerindeki artış miktarına bağlı olarak malzeme iç yapısındaki doluluk oranının artmasından dolayı malzemenin mukavemeti artmıştır.

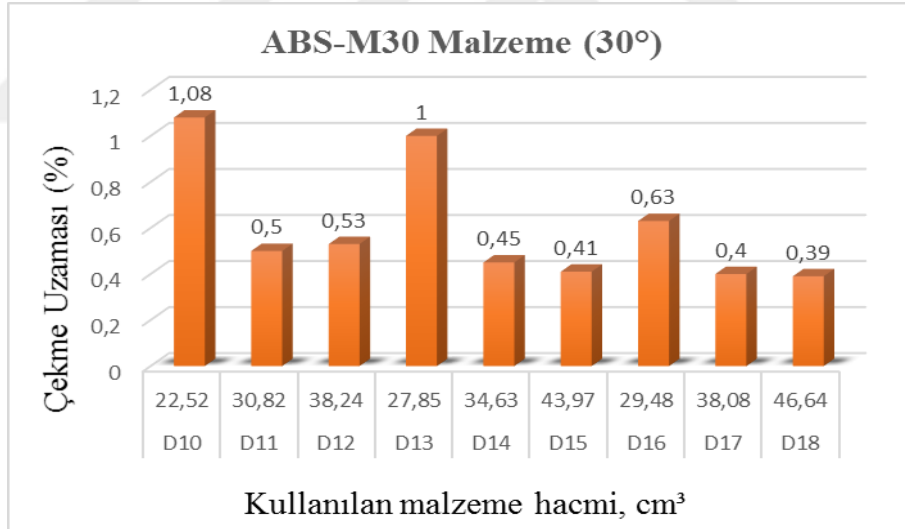
Bölüm ızgara genişliğinin değişimi akma ve çekme mukavemeti üzerindeki etkisi inşa genişliğine kıyasla daha etkili bir parametre olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.9’da verilen deney parametreleri kullanılarak örülen deney numunesine ait malzeme miktarı ve üretim süresi Çizelge 6.8’de tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 6.8. Malzeme ve zaman gösterimi (60° inşa açısı).

Deney No	Kullanılan Malzeme ABS- M30 (cm <sup>3</sup> )	Üretim Süresi (dk.)
D10	22,52	80
D11	30,82	75
D12	38,24	92
D13	27,85	72
D14	34,63	76
D15	43,97	97
D16	29,48	67
D17	38,08	73
D18	46,64	105

Şekil 6.12’de kullanılan malzeme miktarının çekme uzamasına etki grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6.12. ABS-M30 malzeme kullanımı (cm<sup>3</sup>).

Deney numunelerinde kullanılan malzeme miktarı arttıkça, numuneler üzerinde yapılan çekme deneyi sonuçlarına göre, çekme uzama miktarının azaldığı görülmüştür. Çizelge 6.2’de çekme testi sonuçlarına göre aynı geometriye sahip ürünlerde malzeme doluluk oranı arttıkça malzemenin mukavemetin arttığı, malzeme iç yapısının gevrekleştiği bunun sonucundada çekme uzamasının azaldığı görülmüştür.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, üç farklı örme parametresi (inşa açısı, inşa genişliği, bölüm ızgara genişliği) ve çift yönlü model inşa yöntemi kullanılarak ABS-M30 termoplastik malzeme ile örme işlemi gerçekleştirilmiştir. Farklı örme parametreleri ile üretimi gerçekleştirilen deney numuneleri ASTM D638.05/2008 standardına göre çekme testine tabi tutulmuş olup, malzemenin elastik modül, akma mukavemeti, çekme mukavemeti, çekme uzaması, toplam uzama gibi birden fazla malzeme değişkenlerine bakılmıştır. 3B yazıcılarda kullanılan termoplastik malzemelerin çift yönlü model inşa yöntemi ile farklı inşa açıları, inşa genişliği ve bölüm ızgara genişliğinin malzemenin mukavemetine etkisinin araştırıldığı bu çalışma sonucunda;

- 1- Termoplastik malzemelerde ürün çekme mukavemeti üzerinde en etkili parametrenin bölüm ızgara genişliği olduğu belirlenmiştir. Bölüm ızgara genişliğinin artmasına bağlı olarak malzemenin çekme mukavemetinin arttığı deney sonuçları ile tesbit edilmiştir.
- 2- İnşa açısı 30° seçildiğinde, inşa genişliği 0,016 mm sabit olduğu durumda; Bölüm ızgara genişliği parametre değerinin % 50 oranında arttırılması akma mukavemetinde ~% 54 ve çekme mukavemetinde ~% 53 oranında iyileşme sağlamıştır.
- 3- İnşa açısı 60° seçildiğinde, inşa genişliği 0,016 mm sabit olduğu durumda; Bölüm ızgara genişliği parametre değerinin % 50 oranında arttırılması akma mukavemetinde ~% 56 ve çekme mukavemetinde ~% 70 oranında iyileşme sağlamıştır.

- 4- İnşa genişliği parametre değerinin % 50 oranında arttırılması akma mukavemetinde ~% 17 ve çekme mukavemetinde ~% 14 oranında iyileşme sağlamıştır.
- 5- İnşa genişliği ve bölüm ızgara genişliği parametre değerlerinin birlikte %50 oranında arttırılması akma mukavemeti ve çekme mukavemetinde ~% 100 oranında iyileşme sağlamıştır.
- 6- İnşa açısı 30° seçildiğinde, inşa genişliği 0,032 mm ve bölüm ızgara genişliği 0,032 mm olduğu durumda; en yüksek akma mukavemeti değeri 31,4 MPa, en yüksek çekme mukavemeti değeri 32,3 MPa olarak elde edilmiştir.
- 7- Akma mukavemeti ve çekme mukavemeti değerlerinin artmasına bağlı olarak çekme uzaması değerlerinin azaldığı tesbit edilmiştir. Deney no 1’de en yüksek çekme uzaması değeri % 1,3 gelirken mukavemet değerlerinin en yüksek geldiği deney no 9’da çekme uzaması % 0,36 olarak ölçülmüştür. Bunun sonucu olarak aynı geometriye sahip ürünlerde malzeme doluluk oranı arttıkça malzemenin mukavemetinin arttığı, malzeme içyapısının gevrekleştiği ve çekme uzamasının azaldığı görülmüştür.
- 8- Doluluk oranı, 3B katı modelin içini dolduracak olan materyalin oranıdır. Bu parametre doğrudan parçanın dayanıklılığını etkileyen bir faktördür. Doluluk oranı yüksek materyal maliyeti arttıracak gibi, parçanın ağırlığını ve baskı hızını da olumsuz yönde etkilemektedir.
- 9- Malzemenin mukavemetini artıran parametrelerden birisi de kabuk sayısıdır. Kabuk sayısını arttırmak daha mukavim parçaların üretilmesine olanak sağladığı gibi ürünlerin yüzey kalitesinin düşük olmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden parça mukavemetini arttırmada kabuk sayısını arttırmak yerine parça doluluk oranıyla mukavemet değerini arttırmak hem yüzey kalitesi açısından hem parça mukavemeti açısından daha uygun sonuçlar verecektir.



## KAYNAKLAR

- 1- Sachs, E., Cima, M., Williams, P., Brancazio, D., Cornie, J, “Three Dimensional -Printing : Rapid Tooling and Prototypes Directly From a CAD Model”, *Journal of Engineering for Industry*, 114: 481-488 (1990).
- 2- Kruth, J.P., “Materials Incess Manufacturingby Rapid Prototyping Techniques”, *Annals of the CIRP*, Paris, 41 (1991).
- 3- Ippolito, R.,Luliano, L., Gatto, A., “Benchmarking of Rapid Prototyping Techniques in Terms of Dimensional Accuracyand Surface Finish”, *Annals of the CIRP*, Paris, 44 (1995).
- 4- İnternet: Türkiye'deki CAD/CAM ve imalat Teknolojileri, “Oto-İnşa Teknolojileri”,<http://www.turkcadcam.net/rapor/otoinsa/index.html> (2005).
- 5- Jamieson, R.,Holmer, B., Ashby A., “How Rapid Prototyping can Assist in the Development of New Orthopadeic products”, *Rapid Prototyping Journal*, *MCB University Press*, Edinburgh, 1(4):38-41 (1995).
- 6- İnternet : Osaka University, <http://lasie.ap.eng.osakau.ac.jp/whatslasie.html> (2001).
- 7- Bertsch, A. B, P. Vogt, C. Renaud, P. “Rapid prototyping of small size objects”, *Rapid Prototyping Journal*, *MCB UniversityPress*, Edinburgh, 6(4):259-266 (2000).
- 8- İnternet : Microstereolihography <http://dmtsun.epfl.ch/abertsch/album.html> (2000).
- 9- Burns, M ., “Automated Fabrication: Improving Productivity in Manufacturing”, ISBN 0-13-119462-3, *Prentice Hall*, Los Angeles, California, 140-369 (1993).
- 10- Springer, A.M., “Application of Rapid Prototyping Methodsto High-Speed Wind Tunnel Testing”, *Marshall Space Flight Center Director’s Discretionary Fund Final Report*, *Marshall Space Flight Center* , NASA/TP-1998-208396, 96-21 (1998).
- 11- Hopkinson, N. , Dickens, P., “Rapid Prototyping for Direcct Manufacture”, ISSN 1355-2546, *Rapid Prototyping Journal*, *MCB University Press Limited*, Edinburgh, 7(4):197-202 (2001).

- 12- Crump, S.S., “Direct Rapid Manufacturing With Real Production Plastics Using Fused Deposition Modelling (FDM)”, *Presented at the 4th annual Eurou Rapid Confrance*, Frankfurt, 354-357 (2002).
- 13- Knitter, R. , Bauer, W. Göhring, D.,Risthaus, P., “Rapid Prototyping Process Chainsfor Ceramic Microcomponents”, ISSN 1355-2546, *Rapid Prototyping Journal, MCB University Press Limited*, Edinburgh, 8(2):76-82 (2002).
- 14- Stucker, B.,Xiuzhi, Q., “A Finish Machining Strategyfor Rapid Manufactured Partsand Tools”, ISSN 1355-2546, *Rapid Prototyping Journal, MCB University Press Limited*, Edinburgh, 9(4):194-200 (2003).
- 15- Bellini, A.,Güçeri, S., “Mechanical Characterization of Parts Fabricatedusing Fused Deposition Modeling”, ISSN 1355-2546, *Rapid Prototyping Journal, MCB University Press Limited*, Edinburgh, 9(4):252-264 (2003).
- 16- Evans, A.M. Campbell, I.A. A., “Comparative Evaluation of Industrial Design Models Produced Using Rapid Prototypingand Workshop-based fabrication Techniques”,ISSN 1355-2546, *Rapid Prototyping Journal, MCB University Press Limited*, Edinburgh, 9(5):344-355 (2003).
- 17- Guancghun, W., Huiping, L., Yanjin, G., Guoqun, Z., “A Rapid Design and Manufacturing Systemfor Product Development Applications”, ISSN 1355-2546 *Rapid Prototyping Journal, Emerald Group Publishing Limited*, 10(3):200-206 (2004).
- 18- Mahesh, M.,Wong, Y.S., Fuh, Y.H., Loh, H.T., “Benchmarking for Comparative Evaluation of RP Systemand Process”, ISSN 1355-2546, *Rapid Prototyping Journal, Emerald Group Publishing Limited*, 10(2):123-135 (2004).
- 19- Li,W., Xu, S., Zhao, G., Manufactura blesurfa cerecon struction from complex contours” , ISSN 1355-2546, *Rapid Prototyping Journal, Emerald Group Publishing Limited*, 10(2):114-122 (2004).
- 20- Zhengyu, Z. Yucheng, D., Jun, H., “A New Hollowing Processfor Rapid Prototype Models” , ISSN 1355-2546 *Rapid Prototyping Journal, Emerald Group Publishing Limited*, 10(3):166-175 (2004).
- 21- Apak, S., ‘Farklı Hızlı Prototipleme cihazlarında Üretilen Parçaların Üretim Zamanı ve Maliyet Açısından Karşılaştırılması’, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Ana Bilim Dalı*, Ankara, 22-84(2010).
- 22- Özüğür, B., ‘ Hızlı Prototipleme Teknikleri İle Kompleks ve mikro Yapıdaki Parçaların Üretilbilirliklerinin Araştırılması’, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Ana Bilim Dalı*, Ankara, 32-144(2002).

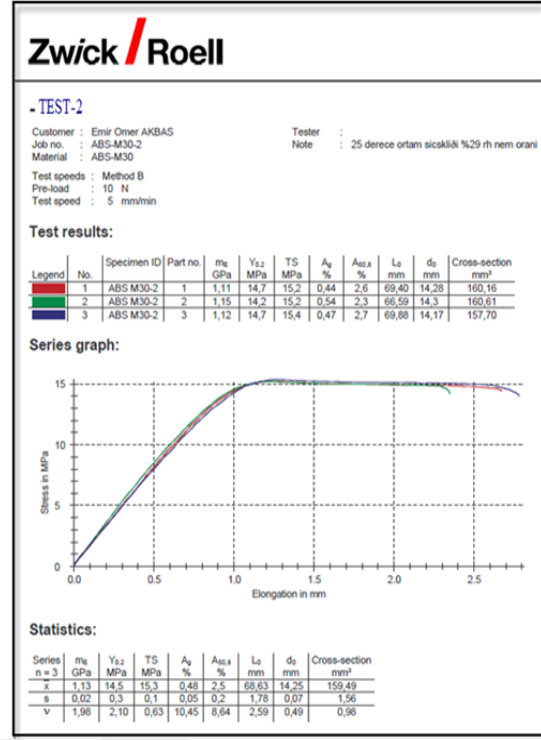
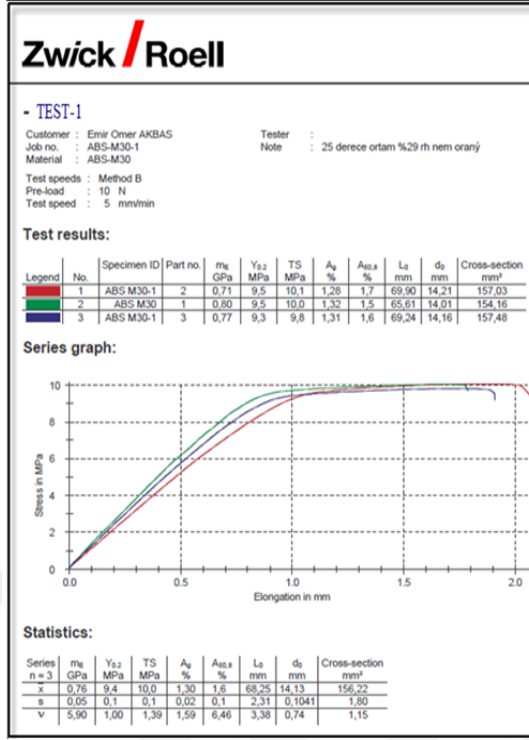
- 23- İnternet : Aslan, H “Hızlı Prototipleme “ <http://www.hamitarслан.com/hizli-prototipleme1.html> (2018).
- 24- Yurci, M.E. , Ekşi, M. ,“Silikon Kalıp İmalatında Hızlı Prototip Teknolojisi Uygulaması”,*Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi Makina Malzemesi ve İmalat Teknoloji Anabilim Dalı, MAMTEK*, İstanbul, 890-896 (2001).
- 25- İnternet:ARPTECH, “Rapid Prototyping Specifications” <http://www.arpotech.com.au/specs.htm> (2010).
- 26- M. Ermurat, “Hızlı prototip ve üretim teknolojilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2002).
- 27- Grimm, T.,“User’s Guide to Rapid Prototyping”, *Society of Manufacturing Engineers*, USA, 24-345 (2004).
- 28- C.K.Chua, K.F.Leong, C.S.Lim, “**Rapid Prototyping. Principles and Applications**”, **Third Edition, World Scientific**, (2010).
- 29- Çelik İ., ve ark, “Hızlı prototipleme teknolojileri ve uygulama alanları” *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı 31*, Ağustos (2013).
- 30- Jacobs, P. F., “Stereolithography and Other RP&M Technologies: From Rapid Prototyping to Rapid Tooling, Society of Manufacturing Engineers”, ISBN:0-87263-467-1, *American Society of Mechanical Engineers Pres*, New York, XII-392 (1996).
- 31- Özüğür, B., ‘ Hızlı Prototipleme Teknikleri İle Kompleks ve mikro Yapıdaki Parçaların Üretilebilirliklerinin Araştırılması’, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Ana Bilim Dalı*, Ankara, 32-144(2002).
- 32- İnternet:ARPTECH, “Rapid Prototyping Specifications” <http://www.arpotech.com.au/specs.htm> (2005).
- 33- İnternet:3D-yazici-filament-ozelliklerih <https://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi>
- 34- İnternet:3d-yazicilarda-kullanima-uygun-hammaddeler <http://www.3dortgen.com/blog/3d-yazici-rehberi>
- 35- Technical Application Guide: *FDM for Jigs and Fixtures*, *Stratasys*, USA, 2013.
- 36- İnternet Türkiye'deki CAD/CAM ve imalat Teknolojileri,“Oto-İnşa Teknolojileri” <http://www.turkcadcam.net/rapor/otoinsa/index.html> (2005).

- 37- İnternet Fortus 380mc, Stratasys, <http://www.stratasys.com/3d-printers/production-series/fortus-380-450mc> (Erişim: Nisan 2016).
- 38- Gral,G.,Gaz Kaynağında proses parametrelerinin optimizasyonu,**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** Yüksek Lisans Tezi Eylül, İzmir, 2003.
- 39- Gökçe G,Tağgetiren S., Kalite için Deney Tasarımı **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi” .Cilt:6,No:1** (71-83), 2009.
- 40- İnternet 3d-baski-parametreleri-nelerdir<http://www.tridi.com.tr/r>
- 41- İnternet <https://muhendishane.org/kutuphane/malzemelerin-mekanik-davranisi/gerilim-gerinim-egrisi/>
- 42- İnternet <http://www.prototip.org/3-boyutlu-yazicilar/uretim-serisi/fortus-360-400mc/>
- 43- İnternet malzeme-test-cihazları <https://www.zwick.com.tr/>

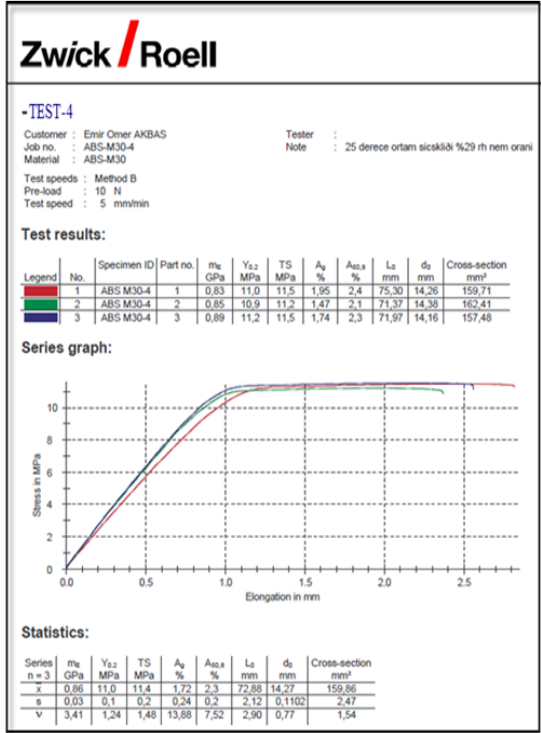
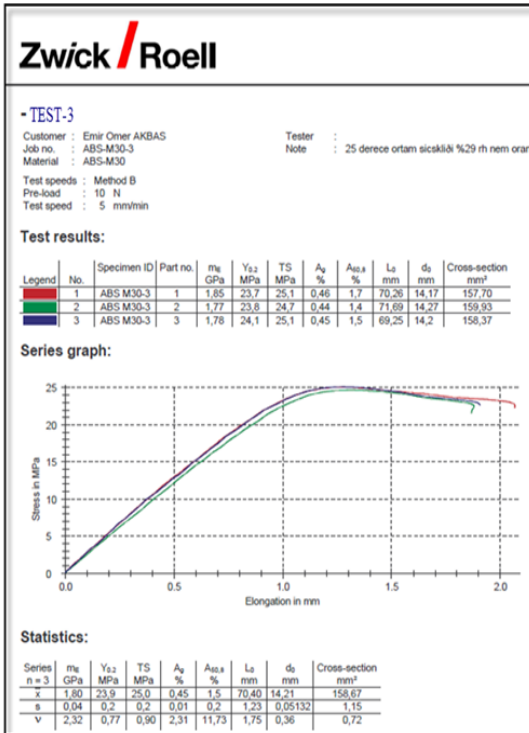


EK AÇIKLAMALAR A.

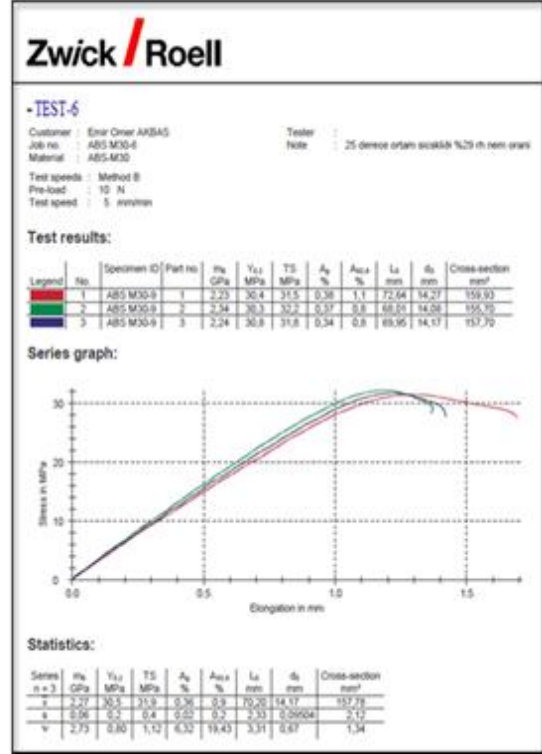
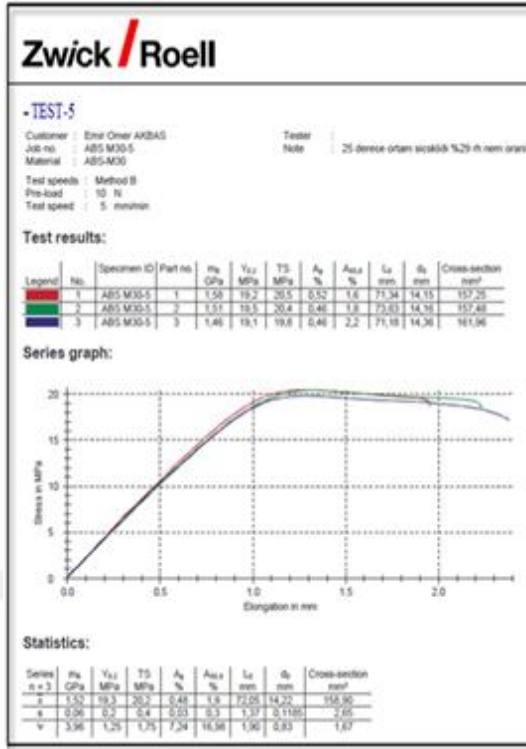
**ÇEKME TEST SONUÇLARI**



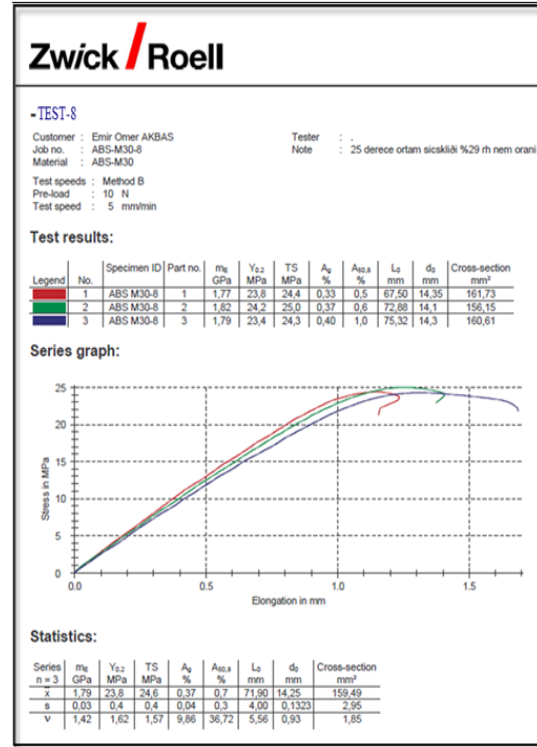
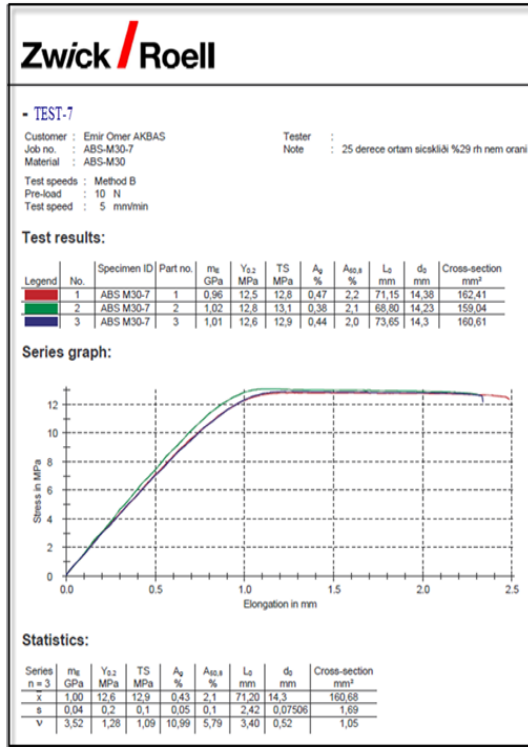
Şekil Ek 1A Deneysel no 1 ve Deneysel no 2 çekme testi sonuç grafiği.



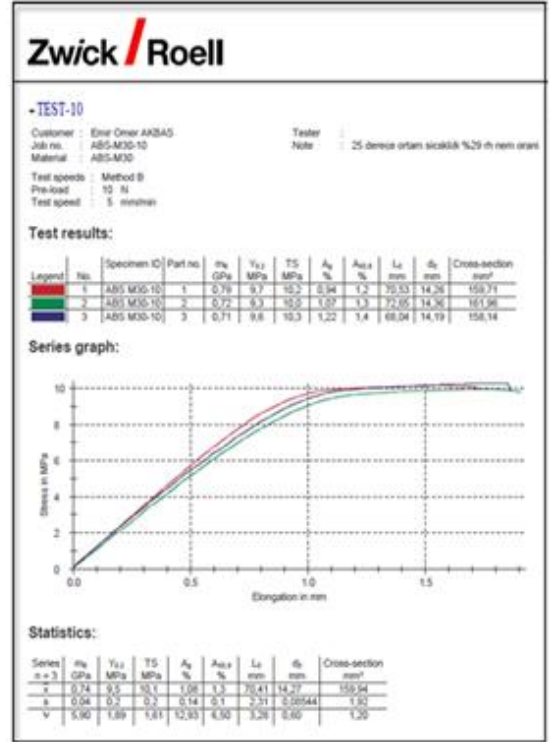
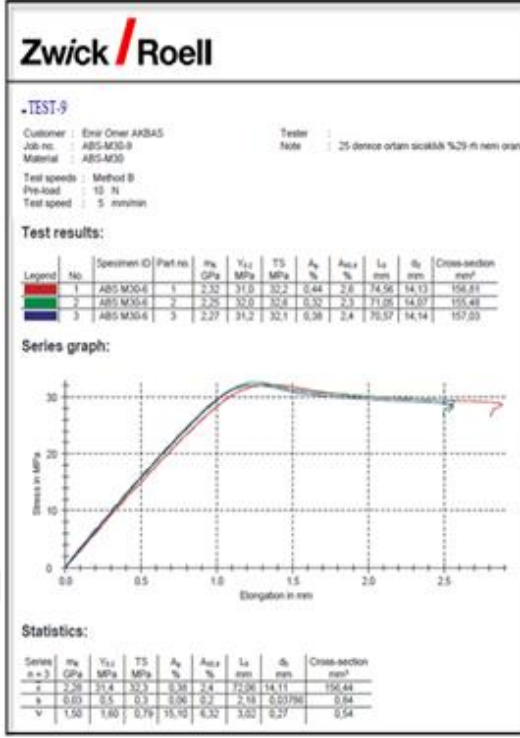
Şekil Ek 2A Deneysel no 3 ve Deneysel no 4 çekme testi sonuç grafiği.



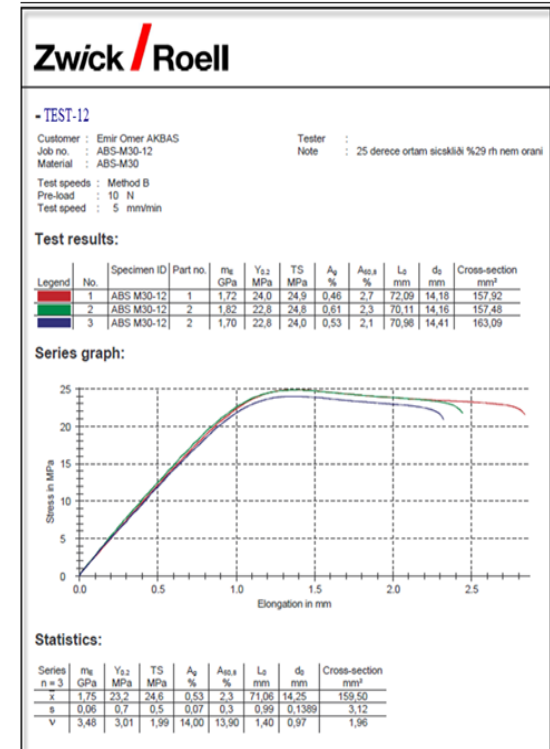
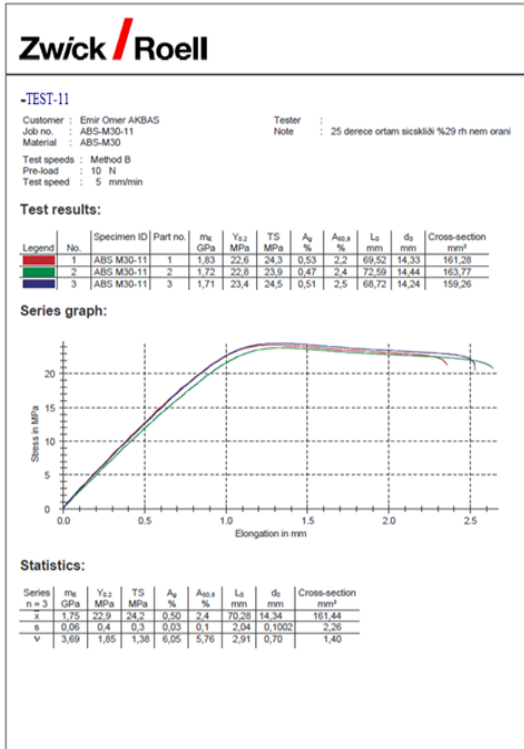
Şekil Ek 3A Deneý no 5 ve Deneý no 6 çekme testi sonuç grafiđi.



Şekil Ek 4A Deneý no 7 ve Deneý no 8 çekme testi sonuç grafiđi.

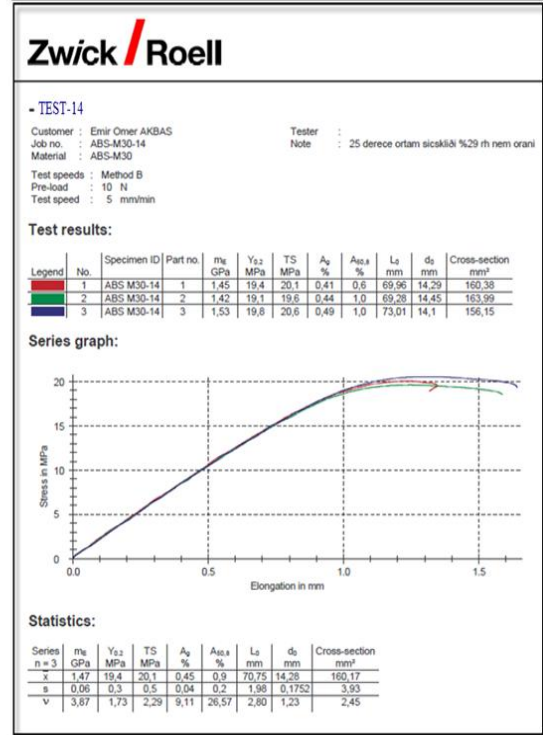
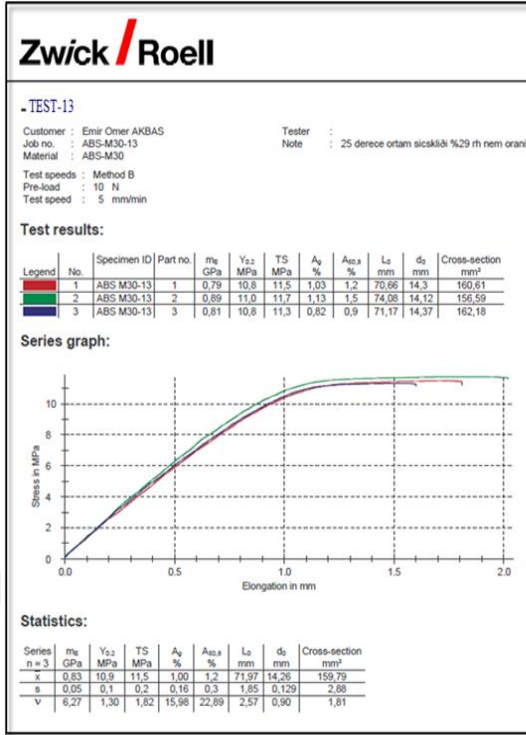


Şekil Ek 5A Deneý no 9 ve Deneý no 10 çekme testi sonuç grafiđi

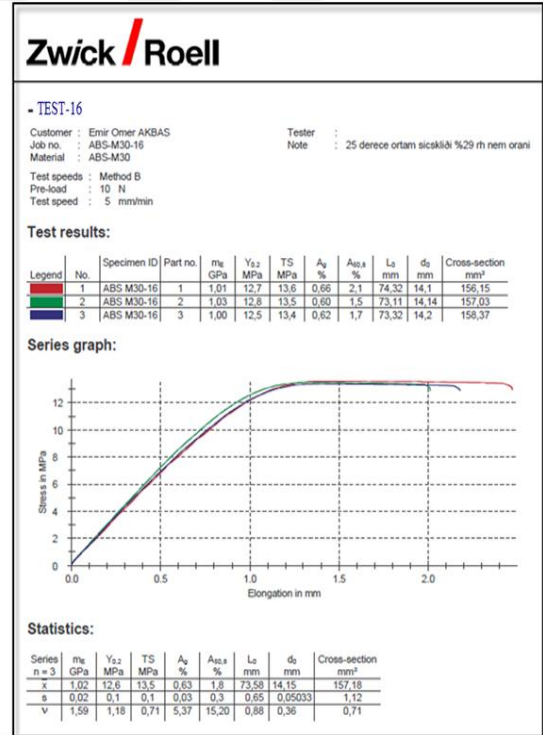
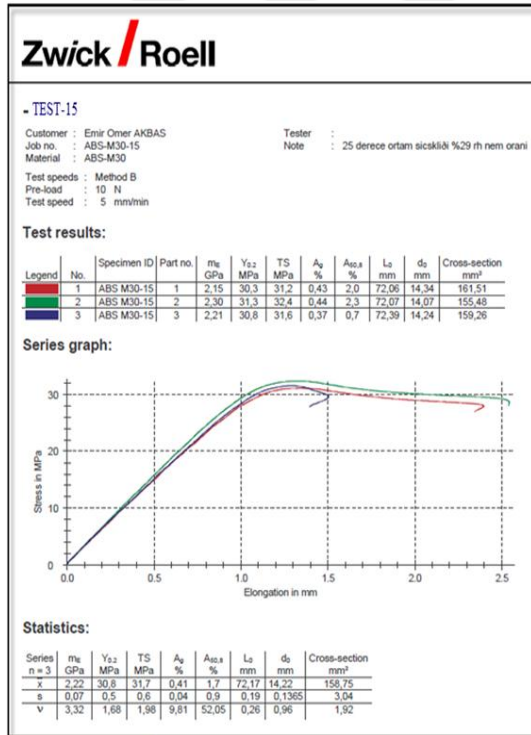


Şekil Ek 6A Deneý no 11 ve Deneý no 12 çekme testi sonuç grafiđi.

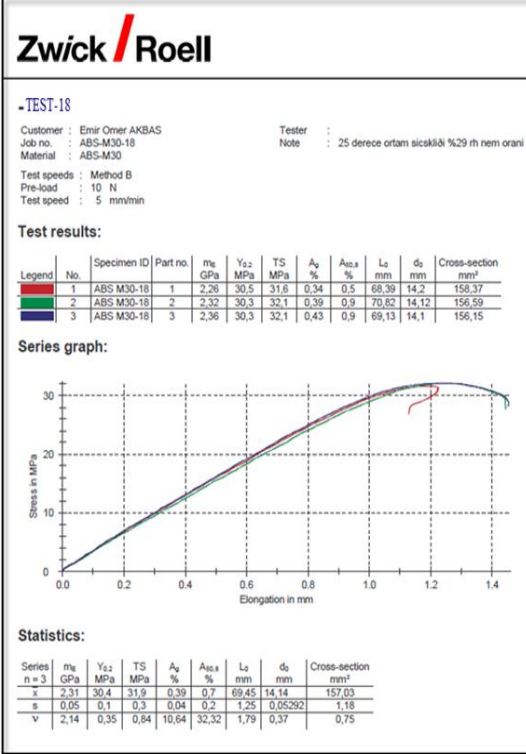
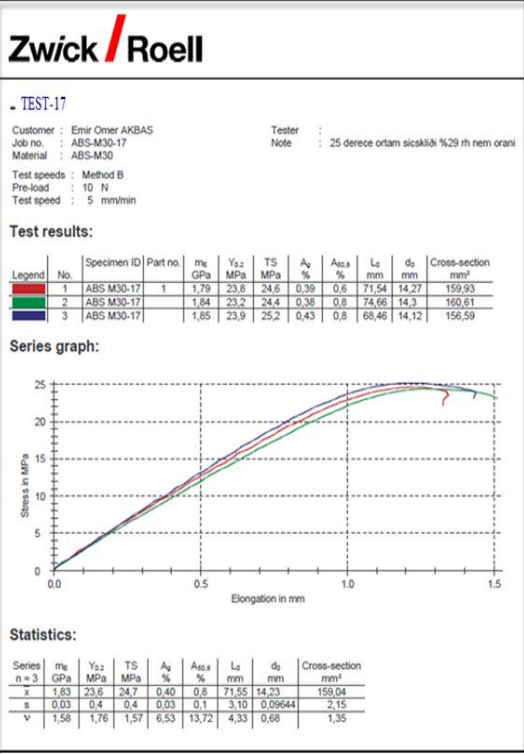




Şekil Ek 7A Deneysel no 13 ve Deneysel no 14 çekme testi sonuç grafiği.



Şekil Ek 9A Deneysel no 15 ve Deneysel no 16 çekme testi sonuç grafiği.



Şekil Ek 10A Deney no 17 ve Deney no 18 çekme testi sonuç grafiği.

## ÖZGEÇMİŞ

Emir Ömer AKBAŞ 1981 yılında Malatya’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Şehit Kemal Özalper Anadolu Teknik Lisesi CNC Bölümü’nden mezun oldu. 2001 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2005 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2006-20014yılları arasında ülkemizin önde gelen kuruluşlarından biri olan HABAŞ A.Ş. de proje ve imalat sorumluluğu görevlerini üstlendi.2014 yılından itibaren savunma sanayine yönelik Ar-Ge çalışmalarıyla ülkemizdeki birçok önemli projelere öncülük eden TUBİTAK SAGE Kurumu’nda Uzman olarak göreve başladı ve halen TUBİTAK SAGE de çalışmaya devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Yeşiltepe Mah. Akasya Sk. No:16/76  
Keçiören / ANKARA  
Tel : ( 0507 ) 202 36 14  
E-posta : emir\_akbas@hotmail.com