

**HIZLI PROTOTİPLEMEDE HARÇ YIĞMA YÖNTEMİ İLE  
KARMAŞIK PARÇALARIN ÜRETİLEBİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Harun Davut KENDÜZLER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2011  
ANKARA**

Harun Davut KENDÜZLER tarafından hazırlanan “HIZLI PROTOTİPLEMEDE HARÇ YIĞMA YÖNTEMİ İLE KARMAŞIK PARÇALARIN ÜRETİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd Doç. Dr. Kasım HABALI .....

Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ulvi ŞEKER .....

Makina Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Kasım HABALI .....

Makina Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Ahmet GÜRAL .....

Metal Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 16/02/2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU .....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Harun Davut KENDÜZLER

**HIZLI PROTOTİPLEMEDE HARÇ YIĞMA YÖNTEMİ İLE KARMAŞIK  
PARÇALARIN ÜRETİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**  
(Yüksek Lisans Tezi)

**Harun Davut KENDÜZLER**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Şubat 2011**

**ÖZET**

Bu çalışmada, günümüzde en yaygın kullanılan Hızlı Prototipleme yöntemlerinden “ Harç Yığma Yöntemi ” kullanılarak karmaşık parça üretilebilirliği araştırılmıştır. Hedeflenen kapsamın, çalışma dahilinde olabilmesi için uygun modelin tasarlanması gerekmiştir. Tasarlanan modelin piyasada en çok kullanılan FORTUS 360 MC Hızlı Prototipleme Cihazı ile üretimleri gerçekleştirilmiştir. Parça üretimlerinde Harç Yığma Yönteminin etkili olan parametreleri tarafından üretim yapılmıştır. Bu parametreler inşa işlemini yapı olarak en çok etkileyen uç tipi, inşa yapısı, bu yapıyı oluşturan inşa açısı olarak üç temel etken altında incelenmiştir. Bu parametrelerle üretilen modeller dayanım analizi, yüzey kalitesi, ölçü tamlığı ve maliyet analizlerine tabii tutulmuştur. Bu analizler sonucunda üretim tekniklerinin yapısal dayanım, yüzey kalitesi, ölçü tamlığı ve maliyet açısından karşılaştırmalı olarak yorumlanarak en uygun üretim yöntemi hakkında bilgi verilmiştir. Bu çalışma ile Hızlı Prototiplemede kullanılan Harç Yığma Yöntemi ile planlanan üretimlerin en uygun üretim tipinin seçiminin doğruluğunu arttıracak verilerin endüstrinin bilgisine sunulmuştur.

**Bilim Kodu : 708.3.028**  
**Anahtar Kelimeler : Hızlı Prototip Üretimi, Harç Yığma Yöntemi,  
Üretilebilirlik**  
**Sayfa Adedi : 101**  
**Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Kasım HABALI**

**THE INVESTIGATION OF COMPLEX PARTS MANUFACTURABILITY  
BY SOLID GRAUND CUSING IN RAPID PROTOTYPING  
(M.Sc.Thesis)**

**Harun Davut KENDÜZLER**

**GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
February 2011**

**ABSTRACT**

**In this study, Complex Parts Manufacturability by Solid Ground Cusing, that is one of the most widely used Rapid Prototyping method was investigated. The appropriate model was required to be designed in order that the intended content could be the scope of the research. The designed model was manufactured by using the most eligible Rapid Prototyping device, FORTUS 360 MC. For part production, parameters that are effective on Solid Ground Cusing Method were used. Those parameters were analyzed by three main factors which are the most massive features of the build process, namely end-type, build structure and the effective feature on that factor, build angle. During those operations, manufactured parts were evaluated as Strength Analysis, Surface Quality, Dimensional Accuracy and Cost Analysis. At the end of those analyses, the major differences between the operations of different manufacturing techniques and the effects of those techniques on the evaluation criteria were rated and the selection of the most appropriate manufacturing method was given. As a result, this research provides information about the parameters of Rapid Prototyping Method with Solid Ground Cusing in order to make the right choices according to the need during the selection of method and offers to the industry's service.**

**Science Code** : 708.3.028  
**Keyword** : Rapid Prototype Manufacture, Fused Deposition  
Modeling, Manufacturability  
**Page Number** : 101  
**Adviser** : Assoc. Prof. Dr. Kasım HABALI

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Yrd. Doç. Dr. Kasım HABALI' ya yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Prof. Dr. Ulvi ŞEKER' e, çalışmalarımda destekleri esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Sn. Mesut ÖZEL, Sn. Mustafa BAŞALTIN'na çalışmalarımda bana yardımcı olan değerli TUBİTAK-SAGE çalışanlarına ve hayat boyu desteklerini hiç esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca 07/2010-44 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Başkanlığı'na da teşekkür ederim.

**İÇİNDEKİLER****Sayfa**

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Literatür Araştırması Değerlendirilmesi.....	9
3. HIZLI PROTOTİP ÜRETİMİ TEKNOLOJİLERİ.....	11
3.1. Hızlı Prototip Üretimi.....	11
3.2. Hızlı Prototipleme Üretim Teknolojileri.....	15
3.2.1. Isıtarak toz bağlama HPÜ tekniği (SLS, Selective Laser Sintering)....	15
3.2.2. Yapıştırıcı ile toz bağlama HPÜ tekniği.....	25
3.2.3. Tarayarak ışıkla kür HPÜ tekniği ( SLA, Stereolithografi).....	27
3.2.4. Harç yığıma HPÜ tekniği (FDM , Fused Deposition Modeling).....	35
3.3. Hızlı Prototip Üretimi Teknolojileri Uygulama Sahaları.....	39
3.3.1. Kavramsal modelleme uygulamaları.....	39
3.3.2. Fonksiyonel prototipleme uygulamaları.....	40
3.3.3. Doğrudan döküm kalıbı üretimi.....	41
3.3.4. Hassas döküm tekniği ile metal parça ve prototip üretimi.....	42
3.3.5. Analiz ve test uygulamaları.....	43
3.3.6. Hızlı kalıp imalatı uygulamaları.....	45



**Sayfa**

3.3.7.Doğrudan imalat uygulamaları.....	46
3.3.8.Medikal uygulamalar.....	47
3.3.9.Matematik, fizik ve kimya uygulamaları .....	50
3.3.10.Kuyumculuk uygulamaları.....	51
3.3.11.Mimari uygulamalar.....	52
3.3.12.Sanat uygulamaları.....	53
4. MATERYAL VE METOD.....	54
4.1. Deney Kapsamında Kullanılan HPÜ Cihazı.....	54
4.2. Deney Modeli Seçimi.....	59
4.3. Deneyde Kullanılan Model İsimlendirme Yöntemi.....	61
4.4. Ölçüm Cihazları.....	61
4.5. Deneyde Kullanılan Malzeme.....	64
4.6. Deneyde Kullanılan Destek Malzemesi.....	65
4.7. Deneysel Metot.....	67
4.8. Üretim Zamanı ve Maliyetin Değerlendirilmesi.....	70
4.8.1. İnşa Aşamaları.....	70
4.8.2. Üretim zamanı.....	70
4.8.3. Toplam ürün maliyeti.....	71
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	75
5.1. Üretilebilirlik Kriterleri.....	75
5.2. Ölçü Tamlığı.....	76
5.3. Yüzey Kalitesi ve Hassasiyeti.....	80
5.4. Üretim Zamanı.....	82

**Sayfa**

5.5. Maliyet .....	85
5.6. % Uzama .....	89
5.7. Model Dayanımı.....	92
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	95
KAYNAKLAR .....	98
ÖZGEÇMİŞ .....	101

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3. 1. DuraForm PA ve GF malzemelerinin tipik karakteristik özellikleri ...	18
Çizelge 3. 2. Somos 201 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri.....	20
Çizelge 3. 3. ST 100 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri.....	21
Çizelge 3. 4. Polistiren inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri.....	22
Çizelge 3. 5. PA 2200 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri .....	24
Çizelge 3. 6. EOSINT P380 model HPÜ cihazı teknik özellikleri.....	24
Çizelge 3. 7. ZPrinter 310 model HPÜ cihazı teknik özellikleri.....	27
Çizelge 3. 8. Somos 10120 WaterClear inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri.....	30
Çizelge 3. 9. Somos 9120 WaterClear inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri.....	32
Çizelge 3. 10. RenShape SL7560 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri..	32
Çizelge 3. 11. RenShape SL7560 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri..	33
Çizelge 3. 12. RenShape SL5510 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri..	33
Çizelge 3. 13. 3D SYSTEM SLA 7000 model HPÜ Cihazı Teknik Özellikleri .....	34
Çizelge 3. 14. ABS P400 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri .....	37
Çizelge 3. 15. Dimension 3D Printer model HPÜ cihazı teknik özellikleri .....	38
Çizelge 4. 1. FORTUS 360 MC Hızlı Prototipleme Cihazının teknik özellikleri .....	55
Çizelge 4. 2. DEA GLOBAL STATUS CMM Cihazının teknik özellikleri .....	62
Çizelge 4. 3. INSTRON 1185 Test Cihazının teknik özellikleri .....	63
Çizelge 4. 4. Mahr Perthomer M1 Yüzey Pürüzlülük Cihazının teknik özellikleri...	64
Çizelge 4. 5. ABS plastik malzemenin özellikleri .....	65
Çizelge 4. 6. Destek malzemesinin özellikleri.....	66

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.7. Uç tiplerin malzeme katman kalınlıklarına göre sıralanması .....	67
Çizelge 4.8. Toplam ürün maliyetini oluşturan unsurlar [2].....	72
Çizelge 4.9. T10SN30 modelin maliyet hesabı.....	72
Çizelge 5.1. Üretilen parçaların mutlak sapma değerleri.....	77
Çizelge 5.2. Üretilen parçaların yüzey pürüzlülük değerleri .....	80
Çizelge 5.3. Üretilen parçaların üretim zamanı değerleri .....	83
Çizelge 5.4. Üretilen parçaların maliyet değerleri .....	86
Çizelge 5.5. Üretilen parçalarda kullanılan hammadde miktarları .....	87
Çizelge 5.6. Üretilen parçaların yüzde uzama değerleri .....	91
Çizelge 5.7. Üretilen parçaların dayanım değerleri .....	93

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3. 1. HPÜ sisteminde genel aşamalar .....	11
Şekil 3. 2. STL Formatına çevrilmiş bir model.....	12
Şekil 3. 3. Örnek bir STL dosyası.....	13
Şekil 3. 4. Örnek bir destek malzeme gösterimi .....	14
Şekil 3. 5. HPÜ teknolojilerinin katman inşa tekniğine göre sınıflandırılması. ....	15
Şekil 3. 6. SLS HPÜ yönteminin çalışma prensibi .....	16
Şekil 3. 7. SLS HPÜ yönteminin çalışma prensibi .....	25
Şekil 3. 8. Yapıştırıcı ile toz bağlama HPÜ yönteminin çalışma prensibi.....	26
Şekil 3. 9. Tarayarak Işıklı Kür HPÜ yönteminin çalışma prensibi.....	28
Şekil 3. 10. Zephyr sıvı yayma tekniği .....	29
Şekil 3. 11. Harç yığma HPÜ yönteminin çalışma prensibi .....	36
Şekil 3. 12. HPÜ teknolojisinin medikal uygulama safhaları .....	48
Şekil 3. 13. Bioplotter implant uygulaması iş akışı .....	50
Şekil 3. 14. Fermat'ın son teoremi ve bu teoremde $n = 5$ olduğu durumda oluşan yüzeyin SLA ile inşa edilen modeli .....	50
Şekil 3. 15. Mücevher tasarım ve imalat uygulamasının aşamaları.....	52
Şekil 4. 1. Model malzeme ve destek malzemesi uçları taşıyan yapı .....	56
Şekil 4. 2. İnşa alanı taşıyan ve hareket ettiren yapı .....	56
Şekil 4. 3. Model malzemesini taşıyan kartuş.....	57
Şekil 4. 4. Modeli taşıyan kartuş ve destek malzemesi taşıyan kartuş cihazı içindeki görüntüsü .....	58
Şekil 4. 5. Deney modelinin katı modeli.....	59
Şekil 4. 6. Deney modelinin teknik resmi.....	60

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4. 7. Model isimlendirme yöntemi.....	61
Şekil 4. 8. Model inşa etmede kullanılan uç tipi.....	67
Şekil 4. 9. Model inşa etmede kullanılan Sparse (tek yönlü yapı) inşa tipi.....	68
Şekil 4. 10. Model inşa etmede kullanılan Double Sparse (çift yönlü yapı) inşa tipi	69
Şekil 4. 11. Model inşa etmede kullanılan Solid Normal (sık tek yönlü yapı) inşa tipi.....	69
Şekil 5. 1. Deney modeli üzerinde üretilebilirlik kriterleri incelenen unsurlar.....	75
Şekil 5. 2. Mutlak sapma değerleri grafiği.....	77
Şekil 5. 3. Düzlemsel yatay yüzeylerde yüzey pürüzlülüğü değer grafiği.....	81
Şekil 5. 4. Üretim zamanı grafiği.....	84
Şekil 5. 5. Model maliyet grafiği .....	86
Şekil 5. 6. T10 uç tipi ile üretilen modellerin % uzama / dayanım grafiği.....	89
Şekil 5. 7. T12 uç tipi ile üretilen modellerin % uzama / dayanım grafiği.....	89
Şekil 5. 8. T16 uç tipi ile üretilen modellerin % uzama / dayanım grafiği.....	90
Şekil 5. 9. T20 uç tipi ile üretilen modellerin % uzama / dayanım grafiği.....	90
Şekil 5. 10. Model % uzama grafiği.....	92
Şekil 5. 11. Model dayanım grafiği.....	93

## RESİMLERİN LİSTESİ

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 3. 1. Isıtarak toz bağlama HPÜ tekniği yapılan modeller .....	17
Resim 3. 2. Z-Corp. Z310 HPÜ cihazı.....	26
Resim 3. 3. Yapıştırıcı ile toz bağlama HPÜ yöntemi ile yapılan model .....	27
Resim 3. 4. 3D SYSTEM SLA 7000 model HPÜ Cihazı.....	34
Resim 3. 5. Yapıştırıcı ile toz bağlama HPÜ tekniği yapılan kalıp modelleri.....	35
Resim 3. 6. Harç yığma HPÜ tekniği ile yapılan karmaşık model .....	36
Resim 3. 7. Dimension 3D Printer model HPÜ cihazı .....	38
Resim 3. 8. Dimension 3D Printer model HPÜ cihazı ile üretilen modeller .....	39
Resim 3. 9. Prototipleme yöntemi ile elde edilmiş bir motor montajı .....	40
Resim 3. 10. Prototipleme yöntemi ile elde edilmiş bir modeller .....	41
Resim 3. 11. Prototipleme yöntemi ile elde edilmiş kalıp modelleri .....	42
Resim 3. 12. Prototipleme yöntemi ile elde edilmiş kalıp modelleri.....	43
Resim 3. 13. Prototipleme yöntemi ile elde edilmiş türbin rotor ve kanat modeli....	45
Resim 3. 14. SONY/Mavica dijital fotoğraf makinesi prototipleri.....	46
Resim 3. 15. Specific Surface isimli bir firmanın ürettiği seramik filtreler.....	47
Resim 3. 16. HPÜ teknolojileri ile üretilen ilaç kapsülleri .....	47
Resim 3. 17. HPÜ teknolojileri ile üretilen insan uzuv modelleri .....	48
Resim 3. 18. HPÜ teknolojileri ile üretilen matematik, fizik ve kimya uygulamaları.....	51
Resim 3. 19. HPÜ teknolojileri ile üretilen yüzük modeli.....	52
Resim 3. 20. HPÜ teknolojileri ile mimari uygulamaları .....	53
Resim 3. 21. HPÜ teknolojileri ile sanat uygulamaları.....	53

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 4. 1. FORTUS 360 MC Hızlı Prototipleme Cihazı.....	54
Resim 4. 2. Model inşa alanı.....	57
Resim 4. 3. Deney modelinin resmi.....	60
Resim 4. 4. Üç boyutlu ölçüm cihazının görüntüsü.....	62
Resim 4. 5. Çekme test cihazı.....	63
Resim 4. 6. Model üzerinde uygulanmış destek malzeme görüntüsü.....	66



**SİMGELER VE KISALTMALAR**

Bu çalışmada kullanılan kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

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

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlu ihtiyaçların karşılamak için doğa ve doğal kaynakları kullanmıştır. İnsanoğlunun zamanla gereksinimleri artmış kaynaklar yetersiz gelmiştir. Bunun sonucunda yeni üretim ve imalat yöntemlerine yönelmiştir. Üretim yöntemlerinde gelişmeler ihtiyaçları daha iyi ve daha hızlı bir şekilde karşılamak için sürekli gelişmiştir. Bu gelişimeye teknoloji adı verilmektedir. Teknoloji zamanla gelişen bir kavramdır. Teknoloji ile birlikte verimlilik, üretilebilirlik, kalite, zaman, maliyet gibi kavramlar da önemli hale gelmiştir.

Teknolojide Ar-Ge (Araştırma ve Geliştirme) ve Ür-Ge (Ürün Geliştirme) alışmaları ile insanoğlunun ihtiyaçlarına karşılık verecek ürünler tasarlanmaktadır. Tasarlanan ürünleri üretim süresinin kısalığı, maliyet, 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 duyulmuştur. Bu deneme ihtiyacı, teknolojik olanaklar çerçevesinde üretilen prototipler ile karşılanmaktadır. Prototip üretimi mevcut seri üretim teknikleri ile gerçekleştirildiğinde üretim zamanı ve maliyet açısından verimsiz şartlar ortaya koymaktadır. Bu anlamda, gereksinimleri karşılamak için geliştirme çalışmaları devam eden *Hızlı Prototip Üretim Teknolojileri*, (HPÜ) olarak adlandırılan teknolojiler, model üretim sistemlerinin önemli teknolojileri arasında yer almaktadır [1].

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, i ve dış yüzeylerini içermelidir. Bu üç boyutlu tasarım verisi Stereolithography (STL) veri formatında dönüştürülerek HPÜ tekniklerinde kullanılabilir 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 [2].

Literatürde yapılan çalışmalar ve elde edilen bulgular incelendiğinde, HPÜ teknolojilerindeki ilerlemeler oldukça iyi yönlü gelişmeler ve sonuçlar göstermektedir. Bu gelişmelerin sonucu olarak parçaya ait ilk prototipin hangi sistemler kullanılarak üretileceği ilk prototipin doğru sonuçlar vermesi açısından kritik bir konum içermektedir. Bu kritik konum karşısında doğru kararlara ulaşılabilmesi ancak yapılacak olan ve bilimsel çalışmalar ışığında hazırlanan, uygun laboratuvar şartlarında üretimi gerçekleştirilip gerekli test ve analizleri yapılan, bir yönettici kaynak ile sağlanabilir. Bu gerçekler ışığında yapılan bu çalışma işte tam olarak bu amaca yönelmektedir. Bununla beraber yapılan çalışma kapsamına literatürde karşılaşılan HPÜ teknolojileri ile ilgili olarak yapılmış olan bilimsel çalışmalar eklenerek bahsedilen amaca yönelimin doğru olması sağlanmıştır [1].

Hedeflenen ve gerçekleştirilen amaçlar aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir;

i) Üzerinde üretilebilirliği zorlayıcı unsurlar bulunduran model seçimi ve tasarımının gerçekleştirilmesi. Ortaya çıkarılan modelin HPÜ cihazında inşa safhalarının gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan, modele ait ara yüzeylerin verimlilik çalışmalarının yapılması.

ii) İmalat sektöründe ve bu sektörün gelişimde büyük bir öneme sahip olan fiziksel prototip ihtiyacının geleneksel ve geleneksel olmayan yöntemlerle üretilemeyecek kriterlere sahip parça bazında doğrudan veya model olarak farklı inşa safhalarını gerçekleştirilmesi.

iii) Elde edilen modellerin farklı kullanım amaçlarına hitap edebilecek materyallere dönüşümünü sağlayacak en uygun şartlara sahip olan model dönüşüm teknolojilerinin incelenmesi. Bu amaçların gerçekleştirilmesinde ilk hedef olarak belirlenen model, üzerinde karmaşık yapılar içeren unsurları ihtiva etmektedir.

Bu unsurların üretimi literatür çalışmaları ve teknolojinin getirdiği deneyimlerden faydalanılarak incelendiğinde, alışılmış imalat yöntemleri ve bazı alışılmamış imalat yöntemleri ile bahsedilen kompleks yapılı unsurların üretilebilirliğinin oldukça zor şartlar meydana getirdiği tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında model seçimi ve tasarımı tamamlandıktan sonra bu modele ait CAD (Computer Aided Design) verisi STL formatına çevrilmiştir. STL formatı Materialise MagicsRP endüstriyel yazılımından faydalanılarak modele ait ara yüzeylerin verimlilik çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Böylece deney modeli HPÜ cihazında inşa edilebilir niteliğe sahip olmuştur.

Elde edilen modeller üzerinde gerekli analiz ve testler yapılarak günümüz imalat sektöründe aktif olarak kullanılabilecek niteliklere sahip modeller bazında değerlendirmeler yapılmıştır. Bunun sonucu olarak doğrudan kullanılabilir nitelikte model dönüşüm teknikleri çalışma kapsamında irdelenmiştir.

Sonuç olarak hedeflenen amaçlar doğrultusunda veriler elde edilerek yapılan bu çalışmanın devamında bu veriler üzerine tartışılmış ve endüstriyel uygulamalar bazında önerilerde bulunulmuştur.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sachs ve arkadaşları HPÜ tekniğini bu alandaki ilk araştırmacılar olup CAD modelden doğrudan parça üretimine girişmişlerdir. Toz halindeki malzemenin katmanlar halinde çökertilmesinde 3 boyutlu yazıcı fonksiyonlarını ve tozun seçici bağlanmasında toza göre seçilen bağlayıcı malzemeyi püskürten bir jet sistemi kullanmışlardır. Bu çalışma, günümüzde kullanılan HPÜ tekniklerinin temelleri oluşturmaktadır. Yapıştırıcı ile toz bağlama yönteminin ticari kullanıma sunulmasına etkili olmuştur [3].

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. Jacob bu çalışmaları harç yığıma yöntemini ticari kullanıma sunulmasına etkili olmuştur [4-7].

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 tezgah önermişlerdir [8].

Arthur, 180mm kalınlığındaki SLA numunesinin elektrolizle kaplanarak EDM (Electrical Discharge Machining) elektrotu olarak kullanılmasını sorgulamıştır. 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 [9].

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 bir yüksek hızlı seçici jet kullanılmıştır. Bu sistemin çalışma prensibine göre; elektrolitin bir küçük nozuldan püskürtülmesiyle nozuldan anota doğru akış oluşturulur. Elektrolitik çökeltme bu sayede katod üzerinde küçük bir alanla sınırlanır. Nozul bir SLA makinesi lazerine benzer bir şekilde hareket ederek işlemi devam ettirir [9].

Allied-Signal firması, HPÜ yöntemi ile turbo fan jet bileşenlerini imal etmiş, RP sistemi ile elde edilen parça modelleri kullanılarak STL teknolojisi ile hassas döküm modelleri doğrudan imal edilebilmiştir [9].

Gruel, fonksiyonel uygulama ve testler için bir HPÜ teknolojisi geliştirmiştir. Bu çalışmada FDM ve kaybolan modelle kalıplama proseslerinin bir kombinasyonu kullanılmıştır. Paslanmaz çelik metalik malzemelerin üretimi için Çoklu Jet Katılaştırma (MJM – Multi Jet Modelling) olarak adlandırılan bir yeni HPÜ prosesi geliştirmiştir [9].

Chrysler'da SLA modelleri reçine transferi ile kalıplama yöntemi (RTM – Resim Transfer Method) ile kalıp elde edilerek 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 RP teknolojisinin kullanımı sayesinde ortaya çıkarılmıştır [9].

Williams ve arkadaşları; Gruel'in yaptığı bu çalışmanın yapım şekline etkileri, boyutsal hassasiyet performansı gibi sonuçlarını araştırmıştır. Bütün bu prototipler SLA-250 cihazı üzerinde ve SL5170 foto polimer kullanarak gerçekleştirilmiştir [9].

Avrupa'ya ihraç edilen turbo diesel Jeep Cherokee starteri Fransızlar tarafından yeniden tasarlanmıştır. Fransız grup, tasarlanan starterin motora uyup uymayacağından emin değildi. Bu sebeple SLA yöntemi ile prototip elde etmişler ve yapılan tasarımın doğruluğunu bu prototip sayesinde anlayabilmişlerdir [9].

Uçak endüstrisinin zorlu üretim şartları, Jetliner'in jeneratör tasarımı gibi komplike parçaların tasarımı ve imalatı oldukça zor olmaktadır. Bir jeneratör 1200 komplike iç parçadan oluşmaktadır. Bu yüzden karmaşık parçaları iki hatta üç boyutlu çizimlerden canlandırmak oldukça zordur. Ancak HPÜ teknolojileri ile klasik yöntemlerle aylarca sürebilecek çalışma iki hafta içerisinde söz konusu kompleks parçaların prototipini elde etmek mümkün olmuş ve daha sonra prototip halinde parçaların montajı sağlanıp hata olup olmadığı gözlemlenebilmiştir [9].

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 deneme ve iterasyona gerek duyulmadan doğru eklem protezlerini elde etmek mümkün olmaktadır [10].

Prof. Satoshi Kawata, 15 Ağustos 2001 tarihinde, Osaka Üniversitesindeki ekibi ile 2 adet kızılötesi (UV – Ultra Viole) lazer ışımının kullanıldığı, STL teknolojisinin mikro seviyedeki bir uygulaması ile kırmızı kan hücresinden dahi küçük bir boğa modeli inşa etti. Modelin boyu 10, yüksekliği ise sadece 7 mikrometredir (0,01 mm x 0,007 mm). Kawata, bu yöntem ile insan damarları içine sığacak kadar küçük, ilaç taşımada kullanılacak medikal cihazların inşasının mümkün olabileceğini belirtmektedir [11].

İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü (Swiss Federal Institute of Technology) bünyesinde geliştirilen ve mikrosteryolitografi (microstereolithography), kısaca micro SLA olarak adlandırılan henüz ticari olmamış teknoloji ile 5-10 mikron hassasiyetle parçalar imal edilebilmektedir [12, 13].

Chigago Üniversitesinde, bir kulağını kaybetmiş bir hastaya, diğer kulağının 3B (üç boyulu) verisine bağlı olarak yeniden kulak protezi yapılmıştır. Yine Chigago Üniversitesinde, kanser sebebiyle boğaz etinin bir kısmı alınmış olan hastanın kalan boşluğuna 3B CT (Computer Tomography) 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 [14].

ABD Arizona'da bulunan Advanced Ceramics Research (ACR), Inc. tarafından ordu desteğiyle geliştirilen bir metotla modifiye edilmiş bir FDM cihazında inşa malzemesi olarak kalsiyum fosfatlı bir polimer kullanılarak suni kemik üretilebilmektedir. Kazalar veya kanser sebebiyle kaybedilen kemik parçası yerine yeni bir parça CT/MR ve 3B CAD ile 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 (micro porosity). Sonuçta kalsiyum fosfat kaplanmış mikro boşluklu polimer bir implant elde edilir. Uygulamadan 8 hafta sonra kemik implanta bağlanır, 18 ay sonunda ise kemik hücreleri seramik-polimer implant ile tamamıyla yer değiştirir. Şimdilik askeri uygulamalar için geliştirilen bu teknolojinin yakın bir zamanda sivil uygulamalarının da olacağı tahmin edilmektedir [14].

NASA (National Aeronautics and Space Administration) bünyesinde Marshall Uzay ve Havacılık Merkezinde A.M. Springer tarafından yüksek hız rüzgar tüneli testi için bir model geliştirilmiş ve bu model dört farklı HPÜ yöntemi kullanılarak inşa edilmiştir. İnşa edilen modeller yüksek hız rüzgar tüneline test edilerek sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir [15].



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 [16].

Stratatsys firmasının teknoloji ofis şefi ve başkanı olan S.Scott Crump tarafından, doğrudan kullanılabilir plastik ürünlerin Harç Yığıma HPÜ yöntemini ile inşasında kullanılabilir inşa malzemeleri incelenmiştir [17].

Knitter ve arkadaşları 2002 yılında 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 [18].

Brent Stucker ve Xiuzhi Qu 2003 yılında yaptıkları bir çalışmada HPÜ sistemi ve CNC (Computer Numerical Control) sistemi kullanılarak üretilen parçalar üzerinde bu iki sistemi kapsayan son işleme stratejilerini incelemişlerdir [19].

2003 yılında Anna Bellini ve Selçuk Güçeri tarafından yapılan çalışma ile harç yığıma HPÜ tekniği ile inşa edilmiş parçaların mekanik karakteristik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda, söz konusu tekniği endüstride yaygınlaşabilmesi için üretim zamanı ve maliyet etkilerinin iyileştirilmesi konusunda çalışmalar yapılmasını önermiştir [20].

Mark A.Evans ve R. Ian Campbell tarafından 2003 yılında gerçekleştirilen çalışmada alışılmış imalat teknikleri ve ışıkla kür HPÜ tekniği kullanılarak üretilen endüstriyel modellerin karakteristik özellikleri ve üretilebilirlik değerleri incelenmiştir [21].

Guangchun ve arkadaşları Shandong üniversitesinde gerçekleştirdikleri çalışmalar ile ürün geliştirme uygulamalarına yönelik bir hızlı tasarım ve üretim sistemi geliştirmişlerdir.

Geliştirdikleri bu sistem bünyesinde HPÜ tekniklerinden faydalanmışlardır. Bu çalışma kapsamında, HPÜ tekniklerinde üretim zamanı etkisinin önemi ayrıca vurgulanmıştır [22].

Mahesh ve arkadaşları Singapur Ulusal Üniversitesinde gerçekleştirdikleri çalışmada HPÜ sistemleri ve proseslerinin karşılaştırılması için kompleks 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 tezgah seçiminde etkili unsurları araştırmışlardır [23].

Li ve arkadaşları 2004 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada insan iç organlarına ait CT verilerini kullanarak bu organların sahip olduğu kompleks yüzeyleri HPÜ sistemlerinde inşa edilebilir formata dönüştürmüşlerdir [24].

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 [25].

Konu ile ilgili yapılan son çalışmalardan biri ise 2003 yılında Todd GRIMM tarafından “Rapid Prototyping Benchmark: 3D Printers” adı ile T.A.Grimm&Associates, Inc. Edgewood, Kentucky, USA laboratuvarlarında farklı hızlı prototipleme cihazlarının üretilebilirlik analizleri üzerine yapılmıştır [26].

## **2.1. Literatür Araştırması Değerlendirilmesi**

Litaretür incelendiğinde, HPÜ teknolojileri ile ilgili çalışmalar uzun yıllar önce başladığı görülmektedir. İlk çalışmalarda tasarımı tamamlanan CAD verisinin HPÜ teknolojileri ile doğrudan üretimi üzerine amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda 5 farklı temelde HPÜ tekniği geliştirilmiştir. Geliştirilen HPÜ teknikleri başarılı bir şekilde imalat endüstrisine sunulmuştur. Ancak daha sonraları, HPÜ teknolojilerinin doğrudan üretimden daha önemli bir yerinin olduğu tespit edilmiştir.

Bu önem ise, ilk tasarımı gerçekleştirilen parçalara ait prototip üretimini kapsamaktadır. HPÜ teknolojileri ile üretilen prototipler sayesinde birçok gelişmiş saha testleri, laboratuvar deneme ve analizleri başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Daha sonraları yapılan çalışmalar ile HPÜ teknolojileri ile karmaşık ve mikro yapıda parçaların üretimi incelenmiş ve alışılmış imalat teknolojilerinden daha verimli sonuçlar sergilediği gözlenmiştir. 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 teknolojileri ile ilgili gerçekleştirilen literatür çalışmalarında HPÜ teknolojileri uygun üretim yöntemi seçimi aşamasında gerçekleşmektedir. Modelin doğrudan üretimi veya seri üretimi için prototip üretimini yapılması aşamasında araştırmalar yapılmaktadır. Prototip üretimin hangi yöntem ile yapılmasına, seçilen yöntemi en uygun parametreleri seçilmesi aşamasında ulaşılabilecek sonuçlar arasındaki farklılıkların ne olacağı konusunda yapılan çalışmalar literatürde yer almaktadır [2].

Literatür dahilinde HPÜ inşa süreçlerinde harç yığıma tekniğinin en uygun metotla kullanılmadığı görülmektedir. Harç yığıma tekniğinin de kullanılan parametrelerinin üretim yöntemi, maliyet, üretim zamanı açısından uygun kullanılmadığı görülmektedir.

Bu çalışmada, literatür çalışmalarını destekleyici yönde ülkemizde en çok kullanılan HPÜ teknolojisi olan harç yığıma yöntemi kullanılmıştır. Harç yığıma yönteminin parametrelerinin model üzerindeki yapısal dayanımı, ölçü tamlığı, yüzey kalitesi, üretim zamanı ve maliyeti açısından değerlendirmiştir. Böylece harç yığıma HPÜ yönteminin model üretimi üzerindeki etkilerinin araştırması literatüre sunulmuştur.

### 3. HIZLI PROTOTİP ÜRETİMİ TEKNOLOJİLERİ

#### 3.1. Hızlı Prototip Üretimi

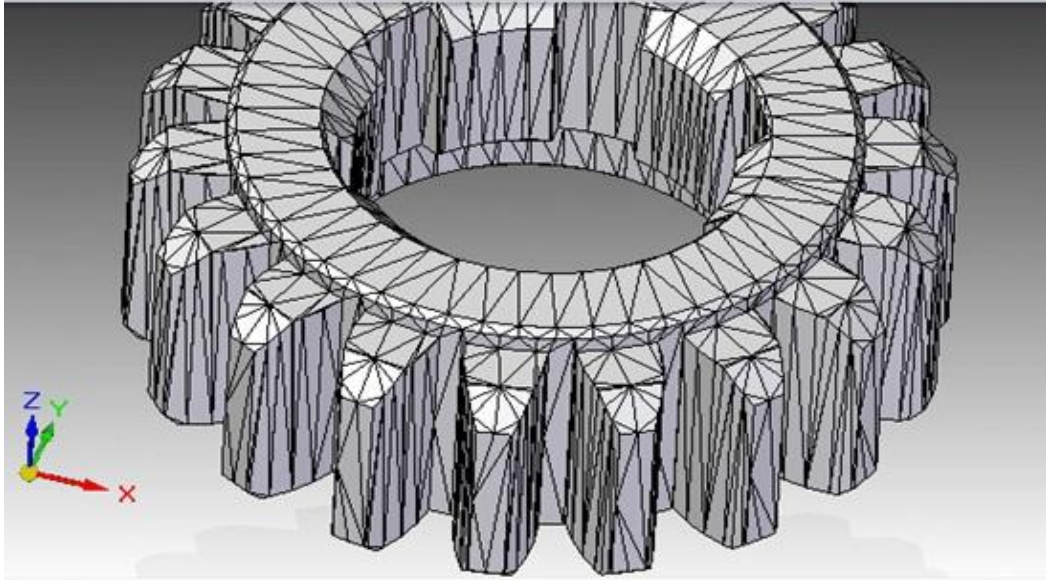
Bir HPÜ sistemi genel olarak aşağıdaki basamaklardan oluşur (Şekil 3.1) ;

1. Tasarlanan parçanın CAD modelinin oluşturulması,
2. Oluşturulan modelin STL formatına dönüştürülmesi,
3. Parçanın en uygun düzlemine göre Z ekseninin belirlenip, destek yapıların oluşturulması,
4. Parça ve desteklerin belirlenen Z ekseninde dilimlenmesi,
5. Gerekli işleme parametrelerinin seçimi,
6. Prototipin üretilmesi,
7. Prototip modelin destek yapıdan ayrılması
8. Prototipin alınıp son işlemlerin yapılması,
9. Gerekli ise çeşitli model dönüşüm teknolojileri ile daha iyi mekanik özelliklere sahip prototiplerin üretilmesi [2].



Şekil 3. 1. HPÜ sisteminde genel aşamalar [2, 9]

Tasarlanan modellerin çeşitli CAD programlarından HPÜ sistemlerine naklini sağlamada ara bir yüzeye ihtiyaç duyulmaktadır. STL formatı bütün RP sistemlerinde olmamakla birlikte çoğunda kullanılan bir standart ara yüzeydir 3D Systems Firması tarafından tasarlanan STL formatı CAD sistemi üzerindeki bir ara yüzey yoluyla CAD veritabanından elde edilir. Bu dosya modelin dış yüzeyini temsil eden sıralanmamış bir üçgen yüzey listesinden ibarettir (Şekil 3,2). STL veri formatının iki tipi vardır. Birincisi ASCII formatı ikincisi ise ikili formattır. ASCII STL dosyası ikili formattan daha fazla alan kaplamaktadır fakat okunabilirlik özelliğindedir. Bir STL veri dosyası, üçgen yüzeyleri oluşturan her üç vektör için belirtilen XYZ koordinatları ve normal vektörler tanımlanır (Şekil3.2). STL veri dosyası yüzey modeli elde edildiğinde CAD modeli de elde edilmiş olur. STL veri dosyasının en önemli eksikliği birçok ticari CAD sistemi ile uyumlu olmayışıdır. Bu nedenle STL veri formatı ile CAD sistemleri arasında sık sık sorunlarla karşılaşmaktadır. Bununla birlikte STL formatıyla çalışmanın birçok belirgin avantajı vardır. Öncelikle 3 boyutlu CAD verilerinin basit bir şekilde temsil edilmesini sağlar. İkinci olarak çoğu RP ve CAD sisteminde kullanılabilirliğidir. Bir diğer avantajı da geometrik şekillerin veri transferi için basit dosyalar sağlamasıdır [1, 2].

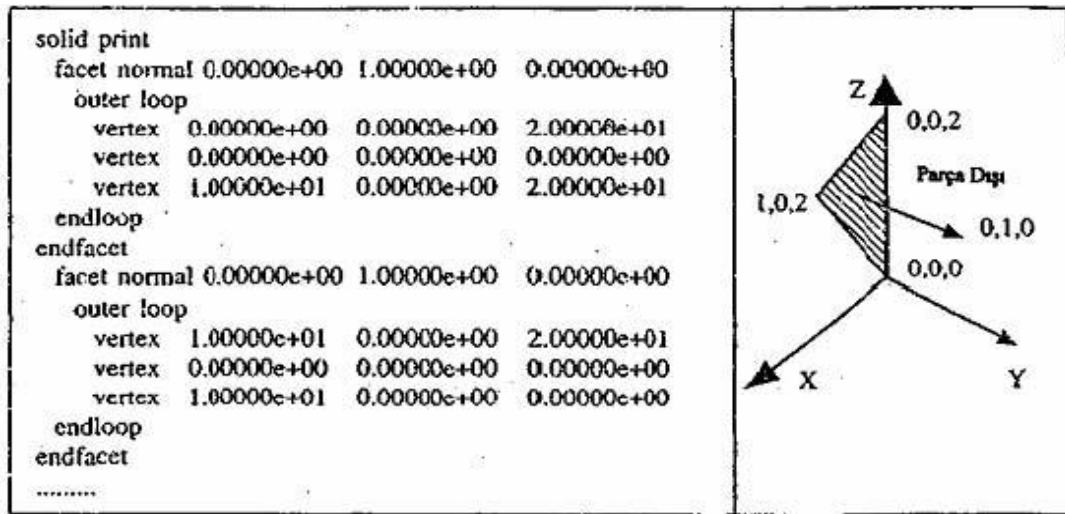


Şekil 3. 2. STL Formatına çevrilmiş bir model [2, 9]

STL veri formatının avantajlarının yanında birçok da dezavantajı vardır. Öncelikle STL formatı çoğu kez orijinal CAD veri dosyasından daha büyük yer kaplamaktadır. STL formatı çok fazla gereksiz bilgi içermektedir. İkinci olarak STL formatında geometri kusurları bulunmaktadır. Çünkü çoğu ticari CAD sağlayıcıları tarafından kullanılan dönüştürme algoritmaları günümüzde yetersiz kalmaktadır. Bu üretimi yavaşlatan kusurlar sebebiyle bir onarım yazılımına olan ihtiyaç artmaktadır. Son olarak ise büyük STL dosyalarını dilimlenmesinin saatler almasıdır [2].

STL Formatında karşılaşılan problemler [2];

- i) Boşluklar (çatlaklar, delikler), kayıp yüzeyler
- ii) Dejenere olmuş yüzeyler
- iii) Üst üste binmiş yüzeyler
- iv) Ortak noktalı yüzeyler

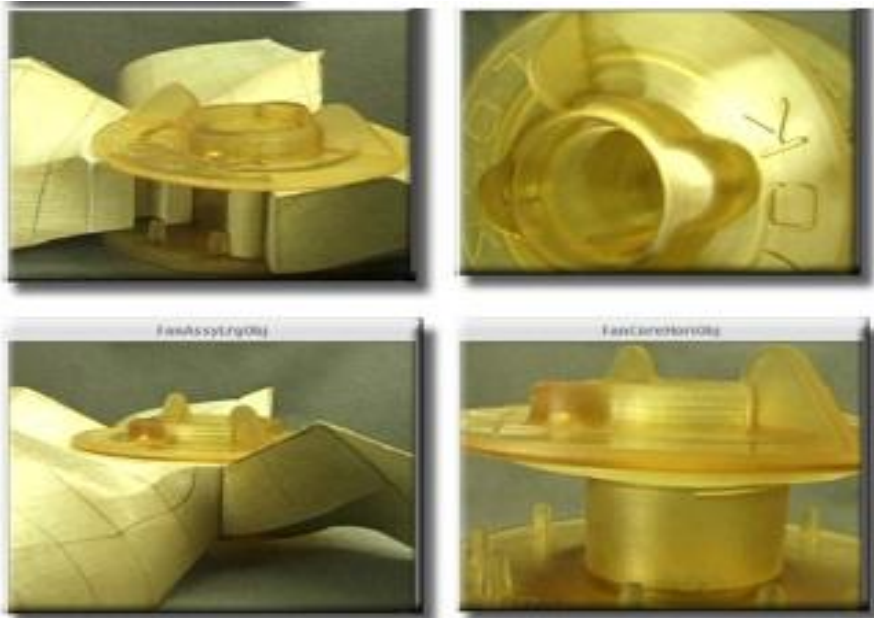


Şekil 3. 3. Örnek bir STL dosyası [2]

Yapılan çalışma kapsamında seçilen modele ait CAD datasından STL formatına dönüşüm işlemi yapılmış ve daha sonra kullanılan “MATERIALISE MAGICS RP” ticari paket programı ile yukarıda bahsedilen problemler giderilmiştir. Böylece seçilen modele ait STL datasıyla parçanın HPÜ cihazlarında inşa işlemleri sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmiştir [1,2].

HPÜ yöntemlerinde inşa işlemi gerçekleştirilen model içinde yapı olmayan boşluk alanlar destek yapılar ile inşa edilir. Bu destek yapıların amacı modelin oluşturulması sırasında parça üzerindeki temel yapıların inşa esnasında desteklenerek çevresinde bulunan boşluğa çökmesini engellemektir. Parçanın inşası sonrası bahsedilen bu destek yapıların parça yüzeyinden destek yapısının tipine göre farklı ayrışma yöntemleri ile temizlenir [1].

HPÜ teknolojilerinde genel olarak iki tip destek yapısı kullanılmaktadır: Birincisi *çevreleyici destek* yapısıdır. Çevreleyici Destek yapı yöntemi ile üretilen modelin dışındaki tüm boşluğa farklı kimyasal özelliğe sahip bir destek malzemesi doldurulur. Daha sonra bu destek malzemesi, sıcaklık veya çeşitli kimyasal sıvılara maruz bırakılarak ayrıştırılır. İkinci destek yapı yönteminde sadece gerekli kısımlara uygulanan *sütunlu destek* yapısı ile model desteklenmiştir. Bu teknikte genellikle ana inşa malzemesi kullanıldığı gibi farklı bir destek malzemesi de kullanılabilir. İnşa sonrası destek malzemesi kırılıp sökülebileceği gibi, kimyasal yolla, ısıyla eritilerek veya sıcak suda çözülerek de asıl parçadan ayrılabilir [2].



Şekil 3. 4. Örnek bir destek malzeme gösterimi [1]

HPÜ cihazlarının üretim prensibindeki örme tipi parçanın katmanlar halinde inşa edilmesidir. Katmanları oluşturma yöntemi ve inşa hammaddesi olarak farklı tip malzeme kullanılmaktadır. Malzeme özellikleri HPÜ cihazlarına göre çok farklı olabilmektedir. Buna bağlı olarak HPÜ cihazları, kullandığı teknolojiye göre, Işıklı Kür, Toz Bağlama, Harç Yığıma ve Tabaka Yığıma olarak dört ana kategori altında toplanabilir. Şekil 3.4’de görüleceği üzere her ana kategori ise kendi içinde iki alt sınıfa ayrılmıştır [2,34].



Şekil 3. 5. HPÜ teknolojilerinin katman inşa tekniğine göre sınıflandırılması [2].

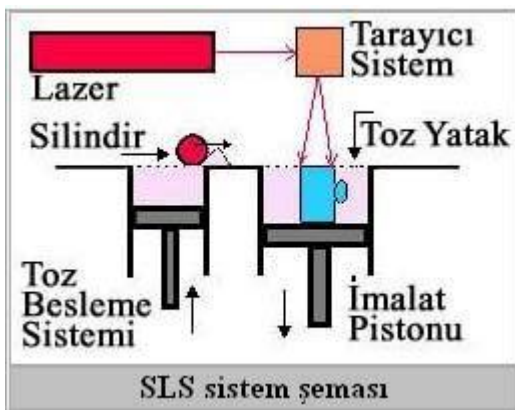
### 3.2. Hızlı Prototipleme Üretim Teknolojileri

#### 3.2.1. Isıtarak toz bağlama HPÜ tekniği (SLS, Selective Laser Sintering)

Isıtarak toz bağlama HPÜ teknolojisi Texas üniversitesinde Carl Deckard tarafından bir doktora çalışması çerçevesinde geliştirilmiştir. Daha sonrasında 1 Aralık 1987 kurulan Nova Automation adıyla kurulan DTM-Direct Tolling Manufacture Corp. Firması tarafından 1992 yılında ticari hale gelmiştir. Eylül 2001 yılında DTM firması satın alınmasıyla Isıtarak toz bağlama HPÜ tekniği(SLS, Selective Laser Sintering) 3D Systems firmasının ürün yelpazesine dahil olmuştur [9].



Isıtarak toz bağlama HPÜ teknolojisinin uygulandığında ısıtıldığında kaynaşabilen toz halindeki bir yapı malzemesi kullanılmaktadır. Bu yapı malzemesi (Heat Fusible Powder) ince ve düzgün bir plaka halinde yayılır. Daha sonrasında modelin inşa edileceği yüzeylere lazer ışınıyla tarama işlemi yapılmaktadır. Işının yüzeye çarptığı noktalarda oluşan sıcaklık sayesinde toz malzeme eriyerek veya sinterlenerek temas halinde olduğu diğer toz taneleri ile etkileşime geçer. Katman inşa işlemi gerçekleştiğinden sonra tabanda bulunan platform bir katman kalınlığı kadar aşağı çekilir. Bu işlem model hazırlama işlemi sonlandırılmasına kadar devam eder. Destek yapı olarak lazer ışın ile erimeyen sinterlenmeyen toz maddeler doğal destek malzemesi olur. Bu maddeler fırça ve vakumlu emici ile ortamdaki uzaklaştırılarak üretilen model cihazdan alınır. (Şekil 3.5).



Şekil 3. 6. SLS HPÜ yönteminin çalışma prensibi [2]

Işının tozları daha az enerjiyle ve daha hızlı kaynaştırabilmesi için inşa yüzeyi harici ısıtıcılarla sıcak tutulur. Ayrıca, metal tozları kullanıldığında kaynaşmayı engelleyici oksitlenme problemini ortadan kaldırmak için ortama oksijeni giderici farklı bir gaz doldurulur [2].

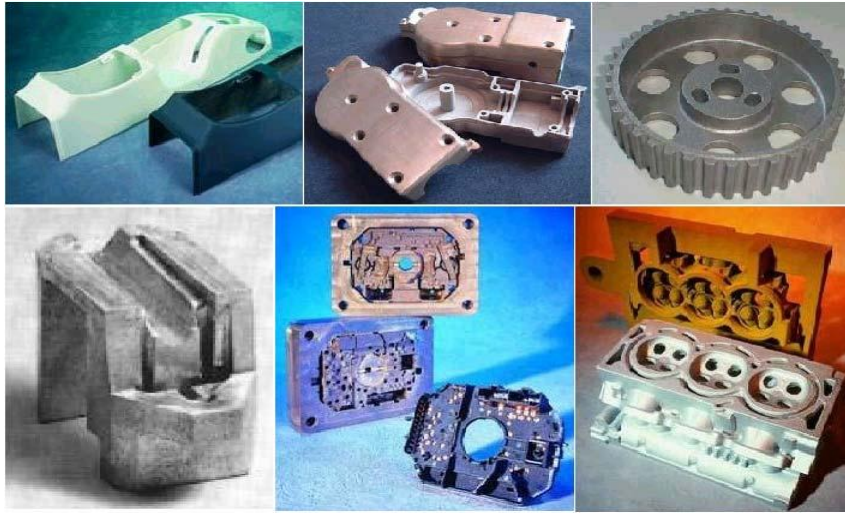
Isıtarak Toz Bağlama Tekniğinin Avantajları;

i) Isıtarak toz bağlama tekniği oldukça verimlidir. Birim zamanda yapılan iş sayısı fazladır. Toz malzeme oldukça kolay ve hassas bir şekilde işlenebildiğinden yöntem verimlidir.

ii) Isıtarak toz bağlama tekniğinde malzeme olarak; mum, naylon, polikarbonatlar, plastik veya seramik tozları kullanılabilceği gibi bunların karışımlarından oluşan kompozit tozlarında dahil olduğu geniş bir yelpaze sunar.

iii) Isıtarak toz bağlama tekniğinde parça üretimi sonlandırma işleminin minimum seviyededir [2].

Parça üretim toplama zamanına büyük katkı sağlamaktadır. Isıtarak Toz Bağlama tekniği ile inşa edilen parça örnekleri aşağıdadır.



Resim 3. 1. Isıtarak toz bağlama HPÜ tekniği yapılan modeller [2]

İnşa malzemesi olarak plastik, metal veya seramik tozları kullanılabilceği gibi bunların karışımlarından oluşan kompozit tozlar da kullanılabilir. Cam elyaf takviyeli plastik tozları veya üzeri plastik kaplı metal tozları kompozit tozlara verilebilecek örneklerdendir. Isıtarak toz bağlama sisteminde kullanılan başlıca inşa malzemeleri ve bu malzemelerin karakteristik özellikleri ile birlikte kullanım alanları aşağıda başlıklar halinde incelenmiştir [1,2].

## DuraForm Polyamide (PA) ve Glass- filled (GF) Naylon

*Malzeme Sınıfı:* Termoplastik toz

*Malzeme özellikleri:* Sağlam parçalar üretimi için ek işlemler gerekmez. Kimyasal ve ısıl dirençleri iyidir. Kaynaklanabilir, işlenebilir, kolaylıkla mekanik birleştirme yapılabilir ve yapıştırma yapılabilir. Yüzey kalitesi üst düzeydedir. Detay unsurlar çok net elde edilmektedir. Yüksek dayanım ve kararlılık sunmaktadır.

Kum döküm ve silikon kalıplama için uygun model elde edilir. Direk kullanım için model oluşturabilir. Medikal sektöründe çok kullanılmaktadır.

Isıtılarak toz bağlama HPÜ sistemlerinde kullanılan DuraForm PA ve GF malzemelerinin tipik karakteristik özellikleri Çizelge 3.1’de görülmektedir.

Çizelge 3. 1. DuraForm PA ve GF malzemelerinin tipik karakteristik özellikleri [27]

Toz Özellikleri	Birim	Test Metodu	Duraform PA	Duraform GF
Yoğunluk	gr/cm <sup>3</sup>	ASTM D4164	0,59	0,84
Ortalama Partikül Boyutu	µm	Optik Ölçüm	58	48
Partikül Ölçü Aralığı -% 90	µm	Optik Ölçüm	25 - 92	10 - 96
Spesifik Ağırlık – 20 °C		ASTM D792	0,97	1,40
Nem Alma Oranı – 23 °C	%	ASTM D570	0,41	0,30
Termal Özellikler	Birim	Test Metodu	Duraform PA	Duraform GF
Erime Noktası	°C	DSC	184	185
0,45 MPa Basınç Altında Erime Noktası	°C	ASTM D648	177	175
1,82 MPa Basınç Altında Erime Noktası	°C	ASTM D648	86	110
Mekanik Özellikler	Birim	Test Metodu	Duraform PA	Duraform GF
Gerilme Dayanımı	MPa	ASTM D638	44	38,1
Gerilme Modülü	MPa	ASTM D638	1600	5910

Çizelge 3.1.(Devam) DuraForm PA ve GF malzemelerinin tipik karakteristik özellikleri [27]

Kırılma Uzaması	%	ASTM D638	9	2
Bükülme Modülü	MPa	ASTM D790	1285	3300
Çarpma Dayanımı – Çentikli	J/m	ASTM D256	214	96
Çarpma Dayanımı – Çentiksiz	J/m	ASTM D256	428	101
Yüzey Kalitesi	Birim	Test Metodu	Duraform PA	Duraform GF
Üst Yüzey – İnşa Sonrası, Ra	µm		8,5	6,2
Üst Yüzey–Yüzey İşlemleri Sonrası, Ra	µm		0,13	1,0
Elektriksel Özellikler	Birim	Test Metodu	Duraform PA	Duraform GF
Hacimsel Direnç -22°C, %50 RH, 500V	ohm x cm	ASTM D257-93	3,1 x 10 <sup>14</sup>	2,0E x 10 <sup>14</sup>
Yüzeysel Direnç -22 °C, %50 RH, 500V	ohm x cm	ASTM D257-93	3,0 x 10 <sup>14</sup>	2,3E x 10 <sup>14</sup>
Dielektrik Sabiti - 22 °C, %50 RV, 5V 1000Hz		D150-95	2,9	3,7
Dielektrik Dayanım -22°C, %50 RV, hava ortamında, 5V V/sn	V/mm	D149-95a	1,6 x 10 <sup>4</sup>	1,5E x 10 <sup>4</sup>
Kimyasal Direnç			Duraform PA	Duraform GF
Alkalinlere, Hidrokarbonlara, Yakıcılara ve solventlere karşı kimyasal direnç gösterirler.				

### Somos 201

*Malzeme Sınıfı:* Termoplastik elastomer toz

*Malzeme özellikleri:* Kauçuk benzeri fonksiyonel ve esnek bir malzeme kullanılmaktadır. Sağlam ve kararlı bir yapıya sahiptir. Sızdırmazlığı mükemmeldir. Yüksek uzama ve mükemmel aşınma dayanımına sahiptir.

Hortum, conta ve diğer sızdırmazlık özelliği istenilen parçaların doğrudan üretimi için oldukça uygundur. Hızlı ön üretim testleri ve optimizasyon yapılabilir. Bulunabilirliği ve stoklanabilirliği kötü olması sebebi ile küçük hacimlerde ticarete sunulmuştur. Bu yüzden maliyeti çok yüksektir.

Isıtarak Toz Bağlama HPÜ sistemlerinde kullanılan Somos 201 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri Çizelge 3.2’de görülmektedir.

Çizelge 3. 2. Somos 201 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri [1,2]

Toz Özellikleri	Birim	Test Metodu	Somos 201	Filtre Edilmiş
Yoğunluk	gr/cm <sup>3</sup>	ASTM D4164	0,58	
Ortalama Partikül Boyutu	µm	Optik Ölçüm	93	
Partikül Ölçü Aralığı -% 90	µm	Optik Ölçüm	23-190	
Spesifik Ağırlık – 20 °C		ASTM D792	0,91	1,07
Termal Özellikler	Birim	Test Metodu	Somos 201	Filtre Edilmiş
Erime Noktası	°C	DSC	1,56	
Mekanik Özellikler	Birim	Test Metodu	Somos 201	Filtre Edilmiş
Gerilme Modülü	MPa	ASTM D638	15,5	15,5
Kırılma Uzaması	%	ASTM D638	110	130
% 5 Gerilmede Kırılma Uzaması Dayanımı	MPa	ASTM D638	1,8	2,2
% 10 Gerilmede Kırılma Uzaması Dayanımı	MPa	ASTM D638	2,0	2,6
Bükülme Modülü, -40 °C	MPa	ASTM D790	23	37,3
Bükülme Modülü, 23 °C	MPa	ASTM D790	13,4	14,1
Bükülme Modülü, 100 °C	MPa	ASTM D790	3	7
Birincil Yırtılma Dayanımı, 23 °C	kN/m	ASTM D624	6	23,1
Birincil Yırtılma Dayanımı, 100 °C	kN/m	ASTM D624	5,2	6
Aşınma Dayanımı, sivri CS-17 çark, 1kg yük	mg/1000/çevrim	ASTM D4060	520	0,3
Aşınma Dayanımı, sivri H-18 çark, 1kg yük	mg/1000/çevrim	ASTM D4060	870	0,5
Basma Dayanımı, 23 °C, 25mm ID x 2mm kalınlık x 300 mm uzun boru	kPa	ASTM D380	0	>160
Sertlik, 23 °C	shore	ASTM D2240	74	75

Çizelge 3.2. (Devam) Somos 201 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri [1,2]

Elektriksel Özellikler	Birim	Test Metodu	Somos 201	Filtre Edilmiş
Hacimsel Direnç -22 °C, %50 RH, 500V	ohm x cm	ASTM D257-93	1,5E +13	
Yüzeysel Direnç -22 °C, %50 RH, 500V	ohm x cm	ASTM D257-93	1,9E +13	
Dielektrik Sabiti - 22 °C, %50 RV, 5V 1000Hz		D150-95	2,9	
Dielektrik Dayanım -22 °C, %50 RV, yağ altında, 500V V/sn	V/mm	D149-95a	4,1E +13	

### Laser Form, ST 100

*Malzeme Sınıfı* : Paslanmaz çelik toz

*Malzeme özellikleri*: Malzeme maliyeti yüksektir. Yüksek dayanımlı parçalar normal talaşlı üretiminden daha kısa zamanda üretilmektedir. Mukavim metal kalıp insertleri elde edilebilir. Metal parçaların ve prototiplerin kısa süreçte ve ek işlem gerektirmeksizin elde edilmesini sağlar. Kompleks geometriler ve unsurlar kolaylıkla elde edilebilir.

Isıtarak Toz Bağlama HPÜ sistemlerinde kullanılan ST 100 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri Çizelge 3,3'de görülmektedir.

Çizelge 3. 3. ST 100 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri [27]

Toz Özellikleri	Birim	Test Metodu	ST 100
Yoğunluk, 23 °C	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D792	7,7
Termal Özellikler	Birim	Test Metodu	ST 100
Termal İletkenlik, 100 °C	W/m/ °K	ASTM E457	49
Termal İletkenlik, 100 °C	W/m/ °K	ASTM E457	56
Termal Genleşme Katsayısı x10-6, 51-150 °C	m/m/ °C	ASTM E831	12,4

Çizelge 3.3. (Devam) ST 100 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri [27]

Mekanik Özellikler	Birim	Test Metodu	ST 100
Ürün Gerilme Dayanımı, % 0,2	MPa	ASTM E8	305
Dayanıklılık	MPa	ASTM E8	510
Uzama	%	ASTM E8	10
Yaşlanma Modülü	GPa	ASTM E8	137
Basmaya karşı Eğilme Dayanımı, % 0,2	MPa	ASTM E9	317
Sertlik, Rockwell “B” , filtre edilmiş	-	ASTM E18	87
Sertlik, Rockwell “B” , işlenmiş	-	ASTM E18	79

#### Cast Form, Polistiren (Polystyrene – PS)

*Malzeme Sınıfı* : Termoplastik toz, Polistiren

*Malzeme özellikleri*: Model oluşturma işlemi hızlı ve temiz gerçekleşir. Üretim sonrasında model kolay temizlenir. Düşük yoğunluk değerine sahiptir. Atık toz içeriği minimum seviyededir.

Hassas döküm uygulamalarında çok verimli sonuçlar elde edilmiştir. Isıtarak Toz Bağlama HPÜ sistemlerinde kullanılan Polistiren inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri Çizelge 3,4’de görülmektedir [27].

Çizelge 3. 4. Polistiren inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri [27]

Toz Özellikleri	Birim	Test Metodu	Filtre Edilmiş PS
Yoğunluk	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D4164	0,46
Ortalama Partikül Boyutu	µm	Optik Ölçüm	62
Partikül Ölçü Aralığı -% 90	µm	Optik Ölçüm	25 -106
Spesifik Ağırlık – 20 °C		ASTM D792	0,86
Nem Alma Oranı – 23 °C %65 RH.	%	ASTM D570	0,06
Atık Toz İçeriği	%	ASTM D482	0,02

Çizelge 3.4. (Devam) Polistiren inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri [2,27]

Termal Özellikler	Birim	Test Metodu	Filtre Edilmiş PS
Akma Noktası Sıcaklığı, Polistiren	°C	ASTM D3418	89
Erime Noktası	°C	DSC	<63
0,45 MPa Basınç Altında Erime Noktası	°C	ASTM D648	33
1,82 Mpa Basınç Altında Erime Noktası	°C	ASTM D648	40
Alev Alma Sıcaklığı, Polistiren	°C		300
Alev Alma Sıcaklığı, Parafin	°C		>200
Otomatik Alev Alma Sıcaklığı, Polistiren	°C		410
Mekanik Özellikler	Birim	Test Metodu	Filtre Edilmiş PS
Gerilme Dayanımı	kPa	ASTM D638	2840
Gerilme Modülü	MPa	ASTM D638	1604
Çarpma Dayanımı – Çentikli	J/m	ASTM D256	11
Çarpma Dayanımı – Çentiksiz	J/m	ASTM D256	14
Yüzey Kalitesi	Birim	Test Metodu	Filtre Edilmiş PS
Üst Yüzey – İnşa Sonrası, Ra	µm		13
Üst Yüzey–Yüzey İşlemleri Sonrası, Ra	µm		3

PA 2200

*Malzeme Sınıfı* : Polyamide toz

*Malzeme özellikleri* : Ölçü tamlığı ve yüksek hassasiyete sahip karmaşık yapıdaki prototip üretimlerinde kullanılmaktadır. Yüksek mekanik şok değerleri kolaylıkla elde edilebilir. Malzemenin tipik uygulama alanı yüksek hassasiyet ve ölçü tamlığı gerektiren fonksiyonel kompleks yapıli prototiplerin üretimidir.

Isıtarak Toz Bağlama HPÜ sistemlerinde kullanılan PA 2200 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri Çizelge 3.5’de görülmektedir.



Çizelge 3. 5. PA 2200 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri [2, 27]

Toz Özellikleri	Birim	Test Metodu	PA 2200
Yoğunluk	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D4164	0,9 – 0,95
Ortalama Partikül Boyutu	µm	Optik Ölçüm	60
Hacimsel Yoğunluk	g/cm <sup>3</sup>	DIN53466	0,435 – 0,445
Termal Özellikler	Birim	Test Metodu	PA 2200
Erime Noktası	°C	DIN53736	172-180
Yumuşama Sıcaklığı B/50 -A/50	°C	DIN EN ISO 306	163 -181
Mekanik Özellikler	Birim	Test Metodu	PA 2200
Gerilme Dayanımı	N/mm <sup>2</sup>	DIN EN ISO 527	4,5±3
Gerilme Modülü	N/mm <sup>2</sup>	DIN EN ISO 527	1700±150
Kırılma Uzaması	%	DIN EN ISO 527	20±5
Bükülme Modülü	N/mm <sup>2</sup>	DIN EN ISO 178	1240±130
Çarpma Dayanımı – Çentikli, CHARPY	kJ/m <sup>2</sup>	DIN EN ISO 179	4,8±0.3
Çarpma Dayanımı – Çentiksiz, CHARPY	kJ/m <sup>2</sup>	DIN EN ISO 179	53±3.8
Çarpma Dayanımı – Çentikli, IZOD	kJ/m <sup>2</sup>	DIN EN ISO 180	4,4±0,4
Çarpma Dayanımı – Çentiksiz, IZOD	kJ/m <sup>2</sup>	DIN EN ISO 180	32,8±3,4
Sertlik, Bilye Çentik Testi		DIN EN ISO 2039	77,6±2
Sertlik, SHORE D		DIN 53505	75±2

Çizelge 3. 6. EOSINT P380 model HPÜ cihazı teknik özellikleri [2]

Teknik Özellikler	Değerler
Max. Çalışma Boyutları	340 x 340 x 620 mm (13,4 x 13,4 x 24,4 inch.)
Kullanılan Malzeme Çeşitleri	Polystyrene, Polyamide, Glass-filled polyamide
Katman Kalınlığı	0,1 – 0,15 mm (0,004 – 0,006 inch.)
İnşa Hızı	10-25 mm (0,4 -1 inch.) yükseklik/saat
Kullanılan Lazer Tipi	CO2, 50W
Tarama Hızı	5 m/saniye (197 inch./saniye)



Şekil 3. 7. SLS HPÜ yönteminin çalışma prensibi [2]

### 3.2.2. Yapıştırıcı ile toz bağlama HPÜ tekniği

Bu yöntemde çok ağızlı bir uçtan yapıştırıcı püskürtülerek tozların birbirine bağlanması prensibine göre çalışır. Merdane yardım ile yeni bir katman toz püskürtülür.

Çok ağızlı meme inşa edilecek yüzeyler yapıştırıcı püskürtür. Modelin oturduğu platform katman kalınlığı kadar z ekseninde aşağı hareket eder. Bu işlem inşa işlemi sonlana kadar devam eder. İnşa işlemi bittikten sonra, parçayı destekleyen destek malzemesi vakum temizleyici ve fırça ile temizlenir [2]

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 imkanı sağlar [2].



Şekil 3. 8. Yapıştırıcı ile toz bağlama HPÜ yönteminin çalışma prensibi [2]



Resim 3. 2. Z-Corp. Z310 HPÜ cihazı [2]

Çizelge 3. 7. ZPrinter 310 model HPÜ cihazı teknik özellikleri [2]

Teknik Özellikler	Değerler
Max. Çalışma Boyutları	203 x 254 x 203 mm (8 x 10 x 8 inch.)
Kullanılan Malzeme Çeşitleri	Yüksek Performanslı Kompozit Plastik Tozlar, Elastomerik, Nişasta ve Alçı Tabanlı Tozlar
Katman Kalınlığı	0,089 – 0,203 mm (0,0035 – 0,008 inch.)
İnşa Hızı	27-60 mm (1.063-2.362 inch.) yükseklik/saat
Jet Sayısı	1 adet 300 jetli HP

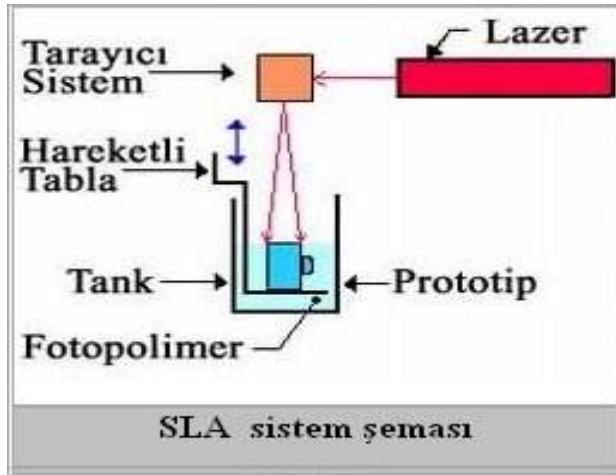


Resim 3. 3. Yapıştırıcı ile toz bağlama HPÜ yöntemi ile yapılan model [33]

### 3.2.3. Tarayarak ışıkla kür HPÜ tekniği ( SLA, Stereolithografi)

Tarayarak ışıkla kür HPÜ tekniği 1986 yılında kurulan 3D Systems firması tarafından 1988 yılında ticari piyasaya sunulmuştur. 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, morötesi ışığa (UV) maruz kaldığında sertleşen veya kuruyan bir fotopolimer malzemedir. Lazer ışını bilgisayar yardım ile modelin oluşturulacağı bölgelere noktasal olarak uygulanarak sıvı malzemenin üst bölgeleri kürlenerek katlaşır. Katman inşası bittiğinde tabla katman kalınlığı kadar aşağı indirilir. Daha sonrasında bir kanat yardımı ile sıvı malzeme katman kalınlığı kadar yayılır [2].

Bu işlem model inşa işlemi sonlana 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 [27].



Şekil 3. 9. Tarayarak Işıklı Kür HPÜ yönteminin çalışma prensibi [27]

1996'da üretilen SLA 350 den bu yana tüm modellerde "Zephyr" ticari ismiyle anılan sıvı yayma tekniği uygulanmaya başlanmıştır. Önceki modellerde ise daha yavaş çalışan sabit bir kanat (doctor blade) kullanılmıştır.

Zephyr teknikniğinde 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 [27].

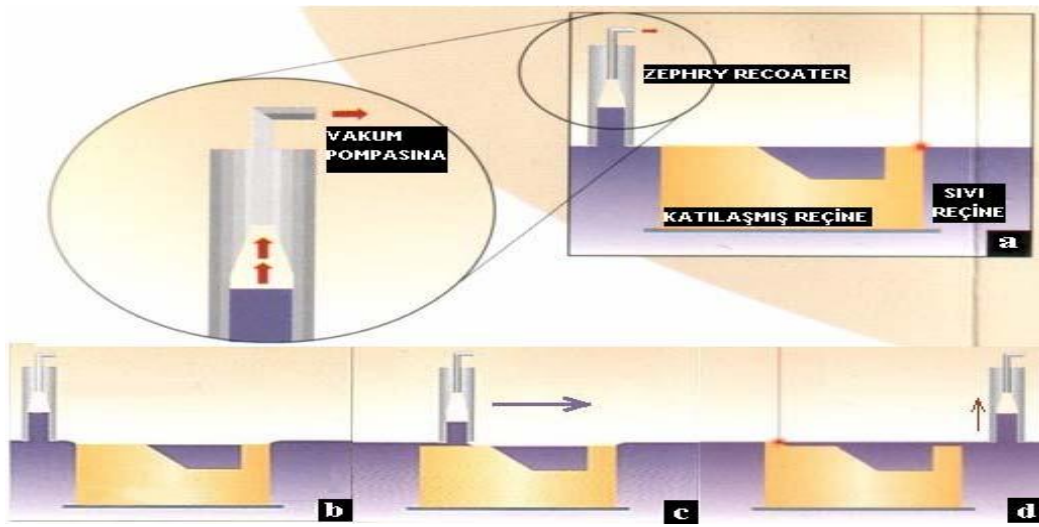
Bu sayede kapalı boşluklara sahip kesitlerde aşırı sıvı birikme problemi de ortadan kalkmıştır (Şekil 3.10).

Lazer bir katmanın katılaştırmasını bitirdiğinde, Zephyr Recoater sıvı yayma için hazırlanmıştır. Sarı renkte gösterilen katılmış 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 [6, 26]

Endüstriyel uygulamalarda SLA sisteminde kullanılan başlıca inşa malzemeleri ve bu malzemelerin karakteristik özellikleri ile birlikte kullanım alanları aşağıda başlıklar halinde incelenmiştir [29, 32, 35].

#### Somos 14120 White

*Malzeme özellikleri:* Düşük viskoziteli sıvı fotopolimer yapıda olan malzeme beyaz ve opak renkli görünümlere sahiptir. Özellik olarak plastıklere benzer bir yapı sergiler. Bu özelliğinden dolayı uygulama alanı çok yüksektir. Sağlam ve dayanıklı bir malzemedir. Su ve nem direnci yüksektir. Yüzey kalitesi açısından çok verimlidir.

Çoğunlukla otomotiv, medikal ve endüstriyel elektronik alanlarında kullanılmaktadır. Fonksiyonel prototiplerin elde edilmesinde, nem direnci gerektiren uygulamalarda, dış görünüşü önemli olan dayanıklılık ve yüksek nem direnci gerektiren uygulamalarda verimli sonuçlar sergilemektedir.

### Somos 10120 WaterClear

*Malzeme Özellikleri:* Düşük viskoziteli sıvı fotopolimer yapıda olan malzeme dayanıklı, rijit ve sağlam modeller SLA HPÜ cihazlarında şeffaf görüntülü olarak üretilebilir. Bu malzeme özellikle şeffaflık gerektiren uygulamalarda kullanıldığı görülmektedir. Örneğin sıvı akış analizi, stres analizi ve model üzerinde yapılması gereken optik analizler için verimli sonuçlar sergiler. Kırılma direncine sahip sağlam ve dayanıklı rijit modellerin üretimi için uygundur [2].

SLA HPÜ sistemlerinde kullanılan Somos 14120 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri Çizelge 3.8'de görülmektedir.

Çizelge 3. 8. Somos 10120 WaterClear inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri [2, 27]

Termal Özellikler	Birim	Test Metodu	Somos 10120
Akma Noktası Sıcaklığı	°C	ASTM E1545-00	28
0,46 MPa Basınç Altında Erime Noktası	°C	ASTM D648-98c	44,9
1,82 MPa Basınç Altında Erime Noktası	°C	ASTM D648-98c	46,8
-40 °C - 0 °C Ortam Sıcaklık Aralığında Elastikiyet Değişim	°C -1	ASTM E831-00	76 x 10-6
0 °C - 50 °C Ortam Sıcaklık Aralığında Elastikiyet Değişim	°C -1	ASTM E831-00	119 x 10-6
50 °C -100 °C Ortam Sıcaklık Aralığında Elastikiyet Değişim	°C -1	ASTM E831-00	164 x 10-6
100 °C -150°C Ortam Sıcaklık Aralığında Elastikiyet Değişim	°C -1	ASTM E831-00	159 x 10-6

Çizelge 3.8. (Devam) Somos 10120 WaterClear inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri [2, 27]

Mekanik Özellikler	Birim	Test Metodu	Somos 10120
Gerilme Dayanımı	MPa	ASTM D638M	26
Kopma Uzaması	%	ASTM D638 M	32
Eğilme Uzaması	%	ASTM D638 M	4,2
Elastikiyet Modülü	MPa	ASTM D638M	1710
Bükülme Dayanımı	MPa	ASTM D790M	39,5
Bükülme Modülü	MPa	ASTM D790M	1310
IZOD Çarpma Dayanımı, Çentikli	J/m	ASTM D256A	0,481
Sertlik, Shore D		ASTM D2240	81
Yırtılma Dayanımı	kg	ASTM D1004	372
Nem Alma Oranı	%	ASTM D570-98	1,21
Elektriksel Özellikler	Birim	Test Metodu	Somos 10120
Dielektrik Sabiti, 60 Hz		D150-98	4,2
Dielektrik Sabiti, 1 KHz		D150-98	4,0
Dielektrik Sabiti, 1 MHz		D150-98	3,5
Dielektrik Dayanım	kV/mm	D149-97a	15,4

### Somos 9120

*Malzeme Özellikleri* : Dayanıklı ve hassas ölçü tamlığına sahip modeller üreten sıvı fotopolimerdir. Kimyasal direnci oldukça yüksektir. Geniş proses süreci, mükemmel tolerans, yüksek ısı direnci ve nem dayanımı değerlerine sahiptir. Rijitlik ve fonksiyonellik arasında mükemmel bir denge sergiler. Elektronik parçaları, medikal ürünlere uygun prototip elde edilir [2].

SLA HPÜ sistemlerinde kullanılan Somos 9120 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri Çizelge 3.9’de görülmektedir.



Çizelge 3. 9. Somos 9120 WaterClear inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri [2, 27]

Karakteristik Özellikler	Birim	Test Metodu	Somos 9120
Akma Noktası Sıcaklığı	°C	DMA E	52 -61
Young Modülü	MPa	ASTM D638M	1227 -1462
Eğilme Gerilme Dayanımı	MPa	ASTM D638M	30 -32
Kopma Uzaması	%	ASTM D638	15 -25
Bükülme Dayanımı	MPa	ASTM D790	41 -46
Bükülme Modülü	MPa	ASTM D790	1310 -1455
IZOD Çarpma Dayanımı, Çentikli	J/m	ASTM D256A	48 -53
Sertlik, Shore D		ASTM D2240	80 -82

### RenShape SL7560

*Malzeme Özellikleri* : ABS tipi plastik türlerine benzer özellikte sağlam parçalar üretilebilen SLA HPÜ malzemesidir. Dayanıklı ve Rijit parçalar üretilebilir. İyi ısıl performansa ve kaliteli bir dış görünüme sahiptir. Mükemmel yan duvarlar ve hassas karmaşık yapıları unsurlar elde edilebilir. SLA HPÜ sistemlerinde kullanılan RenShape SL7560 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri Çizelge 3.10'de görülmektedir [2].

Çizelge 3. 10. RenShape SL7560 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri [27]

Karakteristik Özellikler	Birim	Test Metodu	SL7560
Akma Noktası Sıcaklığı	°C	DMA E	60
Sapma Sıcaklığı	°C	ASTM D648	56 -60
Gerilme Dayanımı	MPa	ASTM D638	42 -62
Gerilme Modülü	MPa	ASTM D638	2400 -2600
Kopma Uzaması	%	ASTM D638	6 -15
Bükülme Dayanımı	MPa	ASTM D790	83 -104

Çizelge 3. 11. (Devam) RenShape SL7560 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri [27]

Bükülme Modülü	MPa	ASTM D790	2400 -2600
IZOD Çarpma Dayanımı, Çentikli	J/m	ASTM D256	28 -44
Sertlik, Shore D		ASTM D2240	86
Yoğunluk	g/cm <sup>3</sup>		1,22

### RenShape SL5510

*Malzeme Özellikleri* : Yüksek ölçü tamlığına sahip SLA HPÜ malzemesidir. Mükemmel yan duvar kalitesi, yüksek nem direnci, düşük viskozite en belirgin özellikleridir. Doğrudan endüstriyel parçaların üretimi ve hassas döküm uygulamaları için uygun şartlara sahiptir [2].

SLA HPÜ sistemlerinde kullanılan RenShape SL5510 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri Çizelge 3.11’de görülmektedir.

Çizelge 3. 12. RenShape SL5510 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri [2]

Karakteristik Özellikler	Birim	Test Metodu	SL5510
Akma Noktası Sıcaklığı	oC	DMA E	60
Sapma Sıcaklığı	oC	ASTM D648	53 -62
Gerilme Dayanımı	MPa	ASTM D638	77
Gerilme Modülü	MPa	ASTM D638	3296
Kopma Uzaması	%	ASTM D638	5,4
Bükülme Dayanımı	MPa	ASTM D790	99
Bükülme Modülü	MPa	ASTM D790	3054
IZOD Çarpma Dayanımı, Çentikli	J/m	ASTM D256	27
Sertlik, Shore D		ASTM D2240	86
Yoğunluk	g/cm <sup>3</sup>		1,23



Resim 3. 4. 3D SYSTEM SLA 7000 model HPÜ Cihazı [2]

Çizelge 3. 13. 3D SYSTEM SLA 7000 model HPÜ Cihazı Teknik Özellikleri [2]

Teknik Özellikler	Değerler
Maksimum Çalışma Boyutları	508 x 508 x 584 mm (20 x 20 x 23 inch.)
Kullanılan Malzeme Çeşitleri	Likid epoksi fotopolimer
Katman Kalınlığı	0,025 – 0,1 mm (0,001 – 0,004 inch.)
İnşa Hızı	4-7 mm (0,15 –0,28 inch.) yükseklik/saat
Kullanılan Lazer Tipi	Nd:YVO4, 800mW
Tarama Hızı	2,54 – 9,52 m/saniye (140 - 525 ips)

Resim 3.5’de SLA HPÜ tekniği ile farklı karakteristik özelliklere sahip inşa malzemeleri ile inşa edilmiş farklı kullanım özelliklere sahip modeller, parça ve kalıp örnekleri görülmektedir. Bu örnekler incelendiğinde HPÜ cihazının ve tekniğinin getirdiği endüstriyel ürünlerin veya endüstriyel ürün imalatında kullanılabilecek sistemlerin üretim kolaylığı belirgin bir şekilde görülmektedir [2].



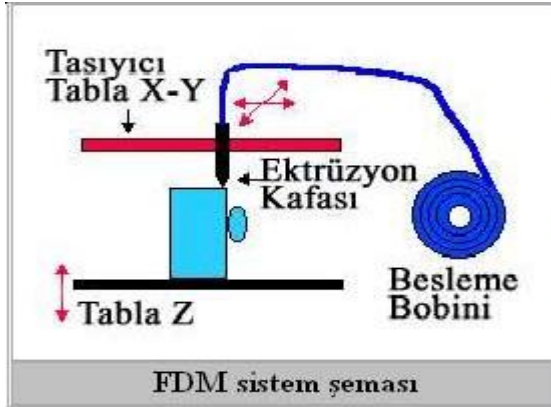
Resim 3. 5. Yapıştırıcı ile toz bağlama HPÜ tekniği yapılan kalıp modelleri [2]

### 3.2.4. Harç yığıma HPÜ tekniği (FDM , Fused Deposition Modeling)

Harç yığıma yöntemi HPÜ teknikleri içerisinde en çok tercih edilen HPÜ tekniği olarak karşımıza çıkmaktadır. Harç yığıma tekniğinde üretim yöntemlerinin farklılığı, malzeme çeşidinin fazlalığı, maliyet etkinliğinin model üretimi cazip kılmaktadır.

Bu teknikte, Bir besleme bobininden sürülen ve ekstrüzyon başlığında ısıtılarak sıvı veya macun kıvamına getirilen yapı malzemesi çeşitli uç ve örme tipine göre bir memeden çıkarak tabla üzerine akmaktadır. Katman örme işlemi bittikten sonra tabla (z) yönünde hareket ederek diğer katman örme işlemine başlar (Şekil 3.11).

FDM inşa tekniğinde, hassas döküm mumu ve polyamidin (termo plastik elastomerler) yanı sıra ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) gibi erime sıcaklığı yüksek, zehirsiz mühendislik plastik lifleri rahatlıkla inşa malzemesi olarak kullanılabilir.



Şekil 3. 11. Harç yığma HPÜ yönteminin çalışma prensibi [1]

FDM HPÜ tekniğinde yerçekimi ve diğer fiziksel etkenler ile yapı malzemesinin yanlış konumlanmaması için ikincil bir inşa gerçekleştirilir. İlk FDM modellerinde inşa ve destek amacıyla aynı malzeme kullanılıyordu. Sonraki modellere ise farklı bir destek malzemesi kullanabilmek amacıyla ikinci bir meme ilave edildi. Bu destek malzemesi, inşa sonrasında kolayca ayrılabilir bir kimyasal yapıya sahiptir (BASS-Break Away Support System, Kolay kırılabilir destek sistemi) [1].

Daha sonra geliştirilen "Water Works(suda eriyebilen)" isimli bir destek malzemesi ise inşa sonrasında su ile çözülerek ulaşılması imkansız dar aralıklardan kolayca çıkarılabilmektedir. Bu sayede, çok parçalı ve hareketli mekanizmalar da dahil birçok karmaşık parçanın imalatı mümkün olabilmektedir (Resim 3.6).



Resim 3. 6. Harç yığma HPÜ tekniği ile yapılan karmaşık model [1]

FDM sisteminde geleneksel olarak ABS inşa malzemeleri kullanılmaktadır. Bir ABS türü olan ABS P400 FDM inşa malzemesinin karakteristik özellikleri ile birlikte kullanım alanları aşağıda incelenmiştir.

### ABS P400

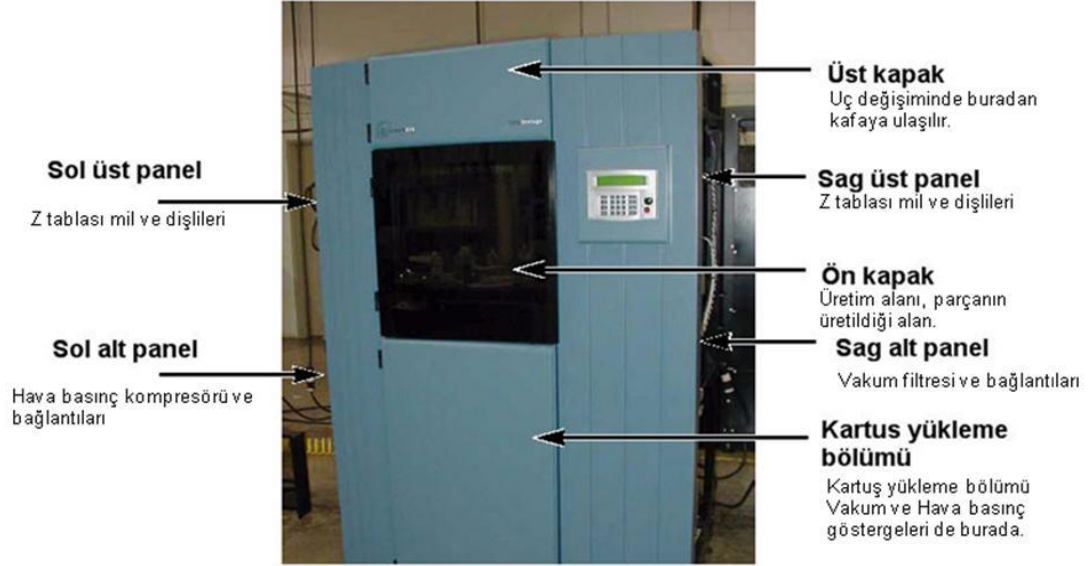
*Malzeme Özellikleri* : ABS plastik malzeme esnemeye, bükülmeye, kırılmaya ve uzamaya karşı yüksek dayanım, suya ve neme karşı yüksek direnç, uygun maliyet en belirgin özellikleridir. Geleneksel imalat yöntemleri ile işlenebilir, boyanabilir, kaplanabilir niteliğe sahiptir.

Üretim çeşitliliğinin geliştirilmesinde ve fonksiyonel gerçek ömür testlerinde verimli olarak kullanılabilir. Kolay, sağlam ve kullanışlı montajlanabilen parçalar elde edilebilir. Takılıp sökülebilmeye yeteneğine sahip yedek parça amaçlı modeller elde edilebilir. FDM HPÜ sistemlerinde kullanılan ABS P400 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri Çizelge 3.13'de görülmektedir [2].

Çizelge 3. 14. ABS P400 inşa malzemesinin tipik karakteristik özellikleri [2, 27]

Termal Özellikler	Birim	ABS P400
Ergime Sıcaklığı	°C	95
Mekanik Özellikler	Birim	ABS P400
Gerilme Dayanımı	MPa	34,45
Gerilme Modülü	MPa	2480
Elastikiyet Dayanımı	MPa	65
Elastikiyet Modülü	MPa	2618
Çarpma Dayanımı – Çentikli	J/m	1282
Çarpma Dayanımı – Çentiksiz	J/m	107
Sertlik, Shore D		78
Elastikiyet Kabiliyeti	%	>10

Bu çalışmada harç yığıma tekniği prensiplerine uygun çalışan STRATASYS Firmasının üretimi olan, Çizelge 3.13’de teknik özellikleri belirtilen Dimension 3D Printer model HPÜ cihazı ve inşa malzemesi olarak ABS türü inşa hammaddesi kullanılmıştır (Resim 3.7).



Resim 3. 7. Dimension 3D Printer model HPÜ cihazı [2]

Çizelge 3. 15. Dimension 3D Printer model HPÜ cihazı teknik özellikleri [2]

Teknik Özellikler	Değerler
Max. Çalışma Boyutları	254 x 254 x 355 mm
Kullanılan Malzeme Çeşitleri	ABS,
Katman Kalınlığı	0,254 – 0,33 mm (0,010 – 0,013 inch.)
İnşa Hızı	20 - 30 mm (0,787-1,181 inch.) yükseklik/saat
Destek Malzemesi	BASS (İkincil Malzeme Kartuşunda)

Resim 3.8’de FDM HPÜ tekniği ile inşa edilmiş çeşitli özellik ve yapıya sahip fonksiyonel modeller ve parça örnekleri görülmektedir. Bu örnekler incelendiğinde HPÜ cihazının ve tekniğinin getirdiği endüstriyel ürünlerin üretim kolaylığı belirgin bir şekilde görülmektedir.



Resim 3. 8. Dimension 3D Printer model HPÜ cihazı ile üretilen modeller [1]

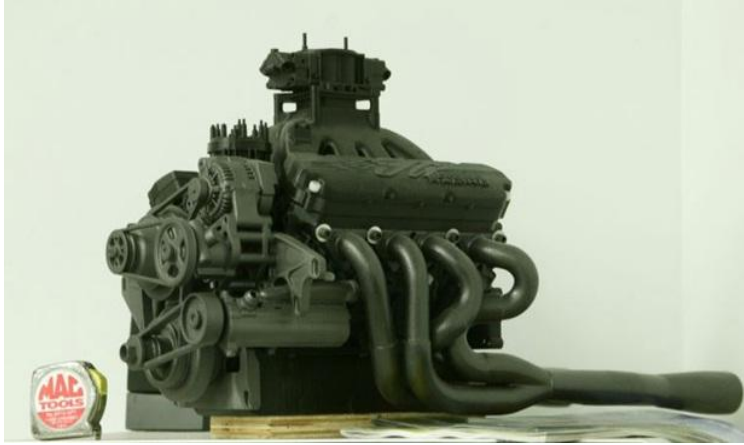
### 3.3. Hızlı Prototip Üretimi Teknolojileri Uygulama Sahaları

#### 3.3.1. Kavramsal modelleme uygulamaları

Endüstride yeni bir tasarım fikrini geliştirmek ve hızlı bir şekilde ortaya koyabilmek için prototipleme yöntemi kullanılır. Ürünün hatalarını minimize etmek tasarım sürecini geliştirmek prototipleme yönteminin avantajlarıdır. Tasarım sonrasında gerçekleştirilen bu modellemeye *Kavramsal Modelleme* (conceptual modeling) veya *Konsept Modelleme* (concept modeling) denilmektedir. Kavramsal modeller tasarım sürecinde tasarımcı, imalat sorumlusu ve pazarlamacı arasında haberleşmeyi, model üzerinde detayı fikir vermeyi, ürünün üretiminin hatasız ve hızlı bir biçimde sürdürmeyi sağlar. Bu amaçla kullanılacak modellerin çoğunlukla yüksek mukavemette veya hassasiyette sahip olması beklenmez. Asıl amaç, en kısa zamanda ofis ortamında kolaylıkla modeli inşa edebilmektir. Bu amaca yönelimi açısından HPÜ teknolojileri diğer modelleme ve üretim tekniklerine göre daha avantajlı olmaktadır.



Resim 3.9’de Prototipleme yöntemi ile elde edilmiş bir motor montajı görülmektedir. Modellerin inşası ve montajı sayesinde motorun tamamında tasarım sırasında çıkan hataların ve problemlerin önceden tesbit edildiği görülmektedir. Prototipleme sayesinde hem maliyet hem de üretim zamanı açısından kazanç sağlamaktadır [2].



Resim 3. 9. Prototipleme yöntemi ile elde edilmiş bir motor montajı [2]

### 3.3.2. Fonksiyonel prototipleme uygulamaları

HPÜ teknikleri yardım ile endüstride ürün geliştirme çalışmalarının daha hızlı ve hatasız bir süreçte yapılmasını sağlanmaktadır. Bu sayede yeni ürün geliştiren firmalar pazar daha hızlı ürün sunduğu görülmektedir. Bu durum firmaların rekabet durumlarına katkı sağlar. Bununla birlikte endüstrinin her alanında geliştirilen yeni ürünlerin prototipleri tasarım ekibi, imalat ekibi ve pazarlama ekibi arasındaki koordinasyonu ve çalışma verimliliğini artırır.

Resim 3.10’de farklı endüstrilere ait fonksiyonel modellerin farklı HPÜ teknikleri ile elde edilmiş prototipleri görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere HPÜ sistemleri günümüz endüstrisinin birçok alanında başarı ile uygulanabilmektedir [1].



Resim 3. 10. Prototipleme yöntemi ile elde edilmiş bir modeller [1]

### 3.3.3. Doğrudan döküm kalıbı üretimi

Döküm kalıbı ve maça üretimleri için HPÜ sistemlerinden yapıştırıcı ile toz bağlama tekniği kullanılmaktadır. Z-Corp firması tarafından geliştirilen bu uygulama ile alçı-seramik karışımı bir çeşit toz inşa malzemesi kullanılarak yapılmaktadır. ZCast 500 isimli bu toz inşa malzemesi ile alüminyum, çinko ve magnezyum gibi düşük ergime sıcaklığına sahip paslanmaz metallerin dökümü gerçekleştirilebilmektedir [28,29].

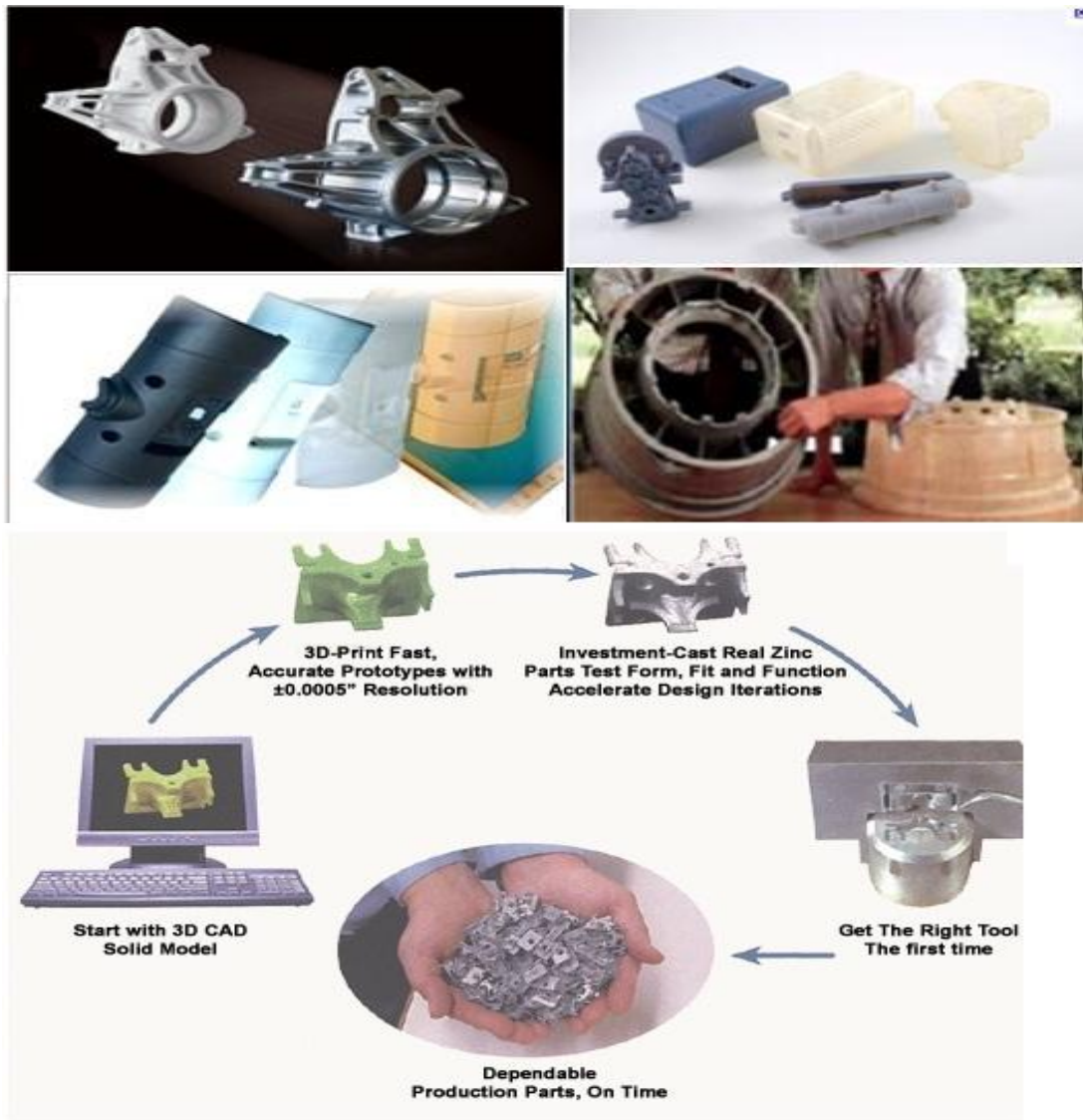


Resim 3. 11. Prototipleme yöntemi ile elde edilmiş kalıp modelleri [28,29]

### 3.3.4. Hassas döküm tekniği ile metal parça ve prototip üretimi

Model oluşturma teknolojilerinden birisi de hassas döküm tekniğidir. Bu teknikle HPÜ tekniklerinden yararlanılmaktadır. Karmaşık yapıdaki modellerin hassas döküm tekniği ile uygun malzemeler kullanılarak, metal prototiplere veya asıl parçalara dönüşümü ile üretimi gerçekleştirilebilir.

Resim 3.12’da SLA çabuk döküm (Quick Cast) yöntemi kullanılarak inşa edilmiş Mercedes’e ait bir motor gövdesi prototipi ve bu prototip kullanılarak hassas döküm tekniği ile imal edilmiş metal motor gövdesi, Ford firması için geliştirilen SLA tekniği ile inşa edilmiş prototip ve bu prototip kullanılarak hassas döküm tekniği ile A356-T6 alüminyum malzemedен dökülmüş karmaşık yapılu bir motor hava giriş manifoldu, büyük boy bir jet parçası prototipi ve dökümü, hassas döküm ile üretilmiş bir dişli kutusu ve seramik kalıp kullanılarak imal edilen hassas döküm parçaları görülmektedir [28,32,33].



Resim 3. 12. Prototipleme yöntemi ile elde edilmiş kalıp modelleri [28,32,33]

### 3.3.5. Analiz ve test uygulamaları

Mühendislik çalışmaları gerçekleştirilen çeşitli test ve analiz uygulamaları vardır. HPÜ teknikleri kullanılarak inşa edilen bazı modeller üzerlerinde taşıdıkları malzeme özellikleri bakımından foto elastik gerilim analizi, dinamik test ve optik gerilim analizi uygulamaları için kullanılabilirler.

Tarayarak ışıkla kür tekniği ile inşa edilen modeller şeffaf oldukları için foto elastik gerilim analizi yönteminde kullanılmaya müsaittirler.

Örneğin bir Alman otomobil üreticisi yeni geliştirdiği bir piston kolunu HPÜ teknolojisi ile inşa edip, polarize ışık altında gerilim dağılımını başarıyla test etmiştir. Bu sayede talaşlı imalat ile şeffaf bir plastikten model imalatına gerek kalmamıştır.

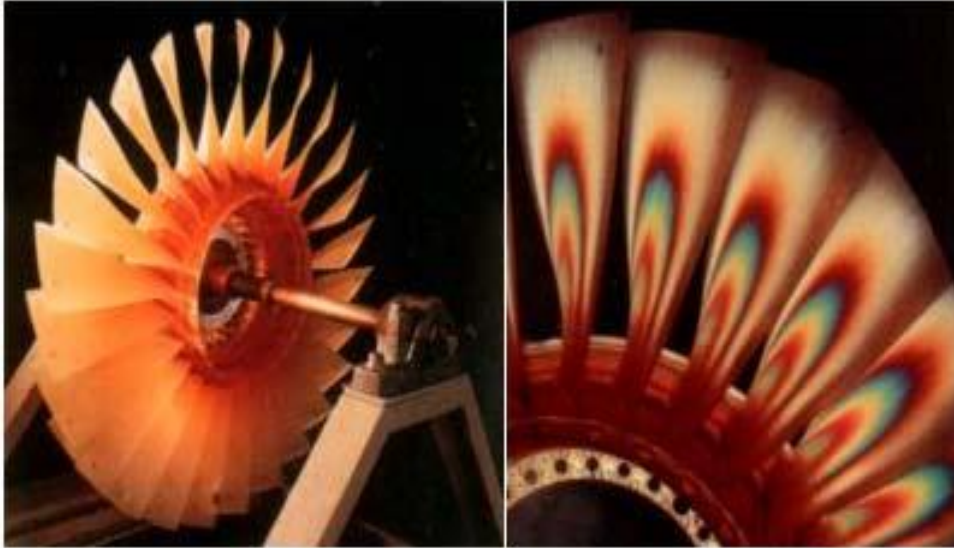
Amerika'da, Allied Signal Engines firmasında Üretilmesi düşünülen yeni bir jet motoruna ait metal türbin kanatlarının büyük ölçekli modelleri tarayarak ışıkla kür tekniği ile üretilmiş ve titreşim test cihazına bağlanarak dinamik testleri başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Optik gerilim analizi tekniklerinde kullanılacak modeller optik özelliklere sahip şeffaf fotopolimer reçinelerle hızlı, kolay ve ucuz bir şekilde doğrudan imal edilebilmektedir. Fransız uçak motoru tasarım ve geliştirme grubu Snecma (Societe Nationale d'Etude et Construction de Moteurs d'Aviation) 1992 yılında fotopolimer reçine üreticisi Ciba-Geigy (yeni adıyla Vantico) ile SL epoksi reçinelerinin optik gerilim analizi tekniklerinde uygulanması için işbirliğine başlamışlardır.

Resim 3.13'de soldaki resimde görülen 70 cm çapındaki türbin rotor ve kanat modeli 9 parça halinde 3D Systems SL cihazlarıyla CIBATOOL SL 5170 reçinesi kullanılarak imal edilmiş ve her parçanın inşası 30 saat sürmüştür. Parçaları birleştirip test için hazırlamak ise iki hafta sürmüştür. Toplam test projesi böylece bir ayda tamamlanmıştır [1].

Dokuz ay süren ve iki kat maliyeti olan eski teknikte ise öncelikle talaşlı imalatla modeller üretiliyor ve ardından silikon kalıplama ile şeffaf test parçaları üretiliyordu. Silikon kalıplama için modeller SL tekniği ile de imal edilebiliyordu ama SL modellerinin doğrudan testlerde kullanılabiliyor olması daha hızlı ve ucuz bir çözüm imkanı sunmuştur. Doğrudan SL ile model imalatı özellikle silikon kalıplama ile bile tek parça halinde üretilmesi çok zor, karmaşık yapıları parçaların üretilmesi ve testi için çok uygundur.

Resim 3.13’de sağdaki resimde ise, rüzgar tüneline yapılan testler sonrasında türbin kanatları üzerinde merkezkaç ve aerodinamik kuvvetlerden oluşan gerilimlerin dağılımı görölmektedir. Bunun için deneye, reçinenin "cam geçiş fazına" (glass transition phase) ulaşacağı yaklaşık 100°C sıcaklıktaki bir ortamda başlanır. Gerilim altında oluşan deformasyonların kalıcı olabilmesi için sıcaklık yavaşça düşürölür ve test tamamlanır. Daha sonra polarize bir ışık altında model incelendiğinde gerilim dağılımıyla orantılı oluşan gökkuşaağı renkleri kolayca görüntölenebilir. Siyah bölgeler hiç gerilimin olmadığını, sık değişen parlak renklerin olduğu bölgeler yüksek gerilimi, yumuşak renk değişimi ise düşük gerilimi gösterir [1].



Resim 3. 13. Prototipleme yöntemi ile elde edilmiş türbin rotor ve kanat modeli [1]

### 3.3.6. Hızlı kalıp imalatı uygulamaları

HPÜ teknikleri ile tasarlanmış metal ve plastik enjeksiyon kalıpları üretilmeden önce inşa edilen prototipler sayesinde metal ve plastik enjeksiyon kalıpları imalatından önce model üzerindeki hata kontrol altına alınır. Bu sayede kalıp maliyeti en aza indirgenmiş olur.

Resim 3.14’de görülen, HPÜ cihazlarıyla SCR802 isimli takviyeli fotopolimer reçinesiyle imal edilmiş kalıplar 100-200 adet ABS parçayı plastik enjeksiyon makinesinde üretebilecek dayanıma sahiptirler. Maçalı kalıp SONY/Mavica dijital fotoğraf makinesi prototiplerini basmak için üretilmiştir [28,32,33].



Resim 3. 14. SONY/Mavica dijital fotoğraf makinesi prototipleri [28]

### 3.3.7. Doğrudan imalat uygulamaları

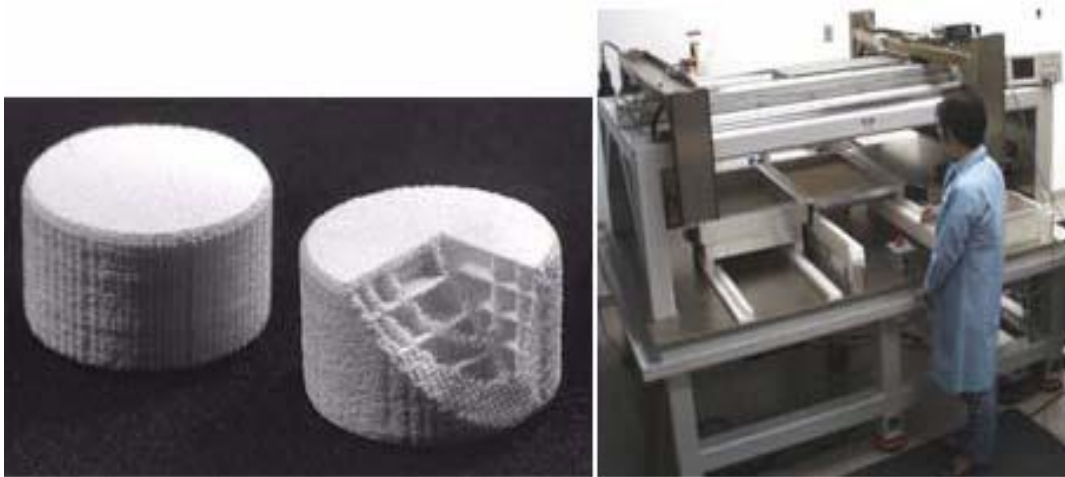
HPÜ teknolojileri, üretim zamanı ve maliyet açısından bilinen seri imalat yöntemlerine göre çok yavaş ve pahalı bir yöntemdir. Fakat az sayıda sadece bir iki adet modelin yapılacağı durumlarda HPÜ teknolojileri kullanmak uygun olabilir. HPÜ teknolojileri günlük hayatta değişik uygulamalarda doğrudan kullanılabilir. Mesela özel amaçlı bir laboratuvar deney aletinin belli plastik parçalarının üretilmesi için HPÜ teknolojisi çok uygundur [28,29,31].

Ticari olarak, HPÜ teknolojisinin doğrudan imalatta kullanıldığı en iyi örnek ABD’deki Specific Surface isimli bir firmanın ürettiği seramik filtrelerdir. 1995 yılında faaliyete geçen bu firma, 3B HPÜ teknolojisini lisanslamıştır. Bilgisayar ile tasarlanan filtreler istenilen yoğunlukta ve geometride üretilebilmektedir. Bu filtreler klasik yöntemle imal edilenlere kıyasla 10 kat daha fazla performans gösterebilmektedir [28,29,31].



Resim 3. 15. Specific Surface isimli bir firmanın ürettiği seramik filtreler [28,30]

HPÜ teknolojilerinden faydalanan ve çeşitli ilaç tozları ve bağlayıcılar kullanan sistemler kullanılarak ilaç kapsüllerinin doğrudan imalatı mümkün olmaktadır [28,30].

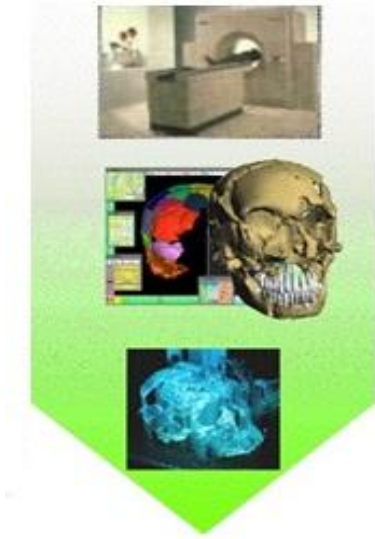


Resim 3. 16. HPÜ teknolojileri ile üretilen ilaç kapsülleri [28,30]

### 3.3.8. Medikal uygulamalar

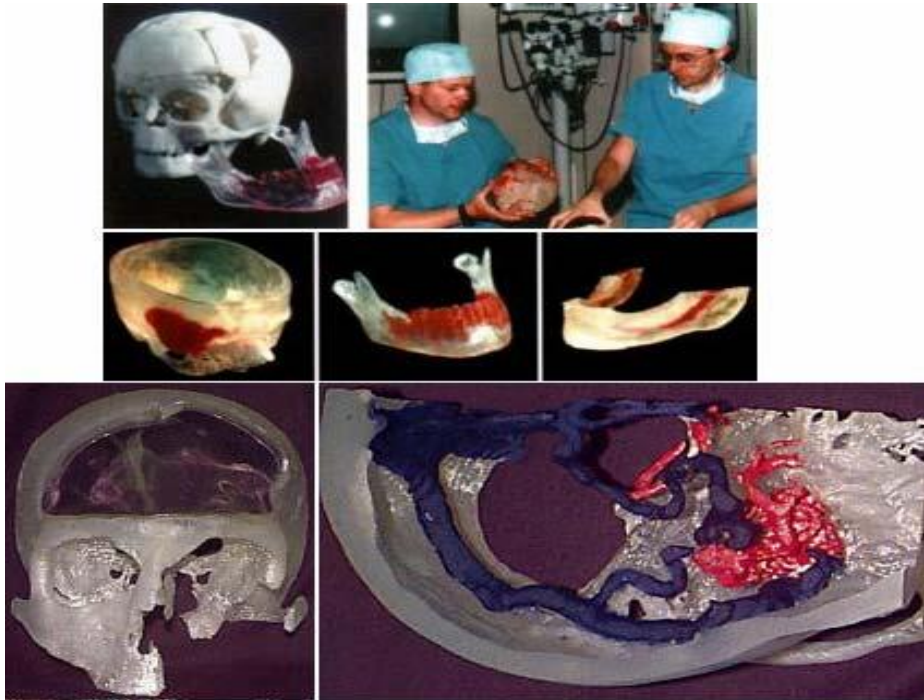
Medikal uygulamalarda HPÜ teknolojilerinin önemi çok büyüktür. İnsan vücunda bulunan organ ve uzuvları BT (Bilgisayarlı Tomografi) veya MR (Manyetik Rezonans) cihazları ile üç boyutlu verisi elde edilir. Elde edilen üç boyutlu veri daha sonra STL formata çevrilir. Son olarak bu veriler kullanılarak istenilen model inşa edilir.



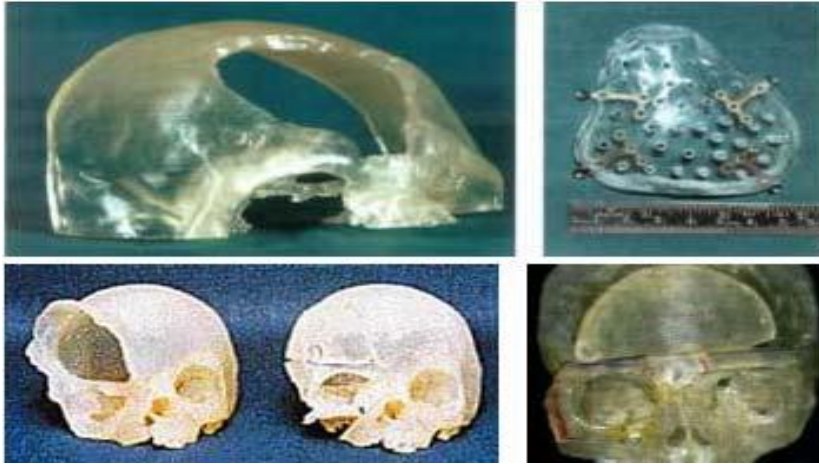


Şekil 3. 12. HPÜ teknolojisinin medikal uygulama safhaları [1, 9]

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 [1].



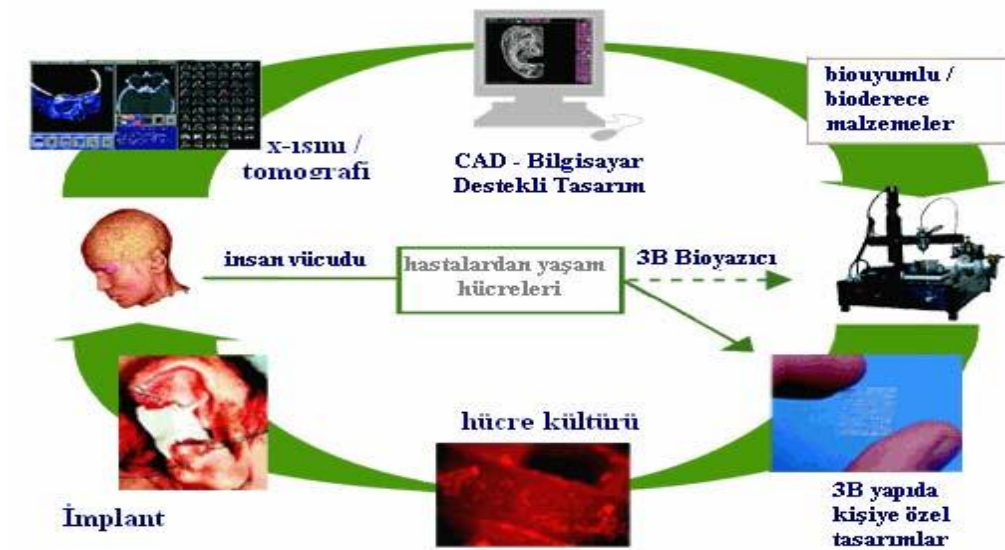
Resim 3. 17. HPÜ teknolojileri ile üretilen insan uzuv modelleri [1]



Resim 3.17. (Devam) HPÜ teknolojileri ile üretilen insan uzuv modelleri [1]

Bioplotter adı verilen HPÜ teknolojisi ile steril ortamda, canlı hücreler inşa malzemesi olarak kullanılarak üç boyutlu suni doku üretilebilmektedir. Sıvıyaarak harç yığıma prensibine göre çalışan Bioplotter HPÜ cihazının başlıca uygulama alanlarından biri, doku kaybı olan bir uzvun estetik ameliyatı sırasında kullanılmak üzere implant üretmektir [1].

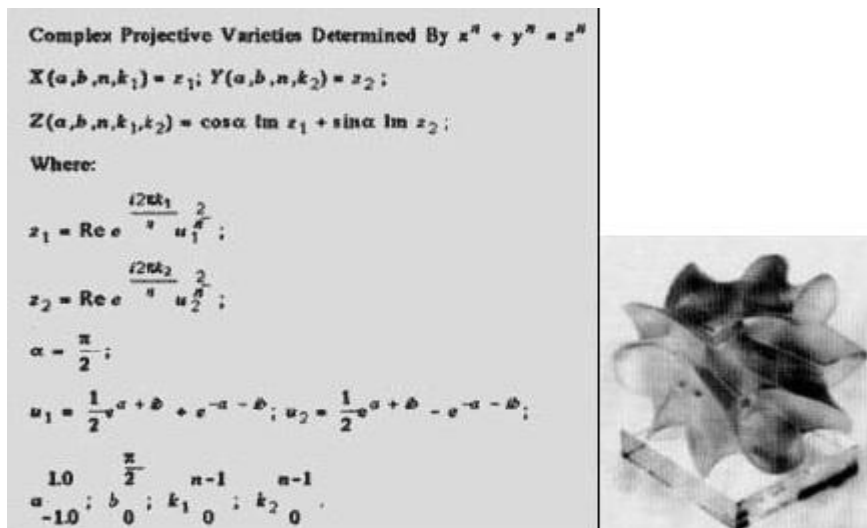
Gerekli hücreler hastanın kendisinden alınabilir. Hücrelerin doğrudan inşa malzemesi olarak kullanılmasının yanı sıra, büyümelerine müsait maddelerden Bioplotter ile üretilen gözenekli bir yapıya sonradan yerleştirilerek de implant üretilebilir. Cihaz için gerekli 3B geometri verisi CT veya MR tarama 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 [1].



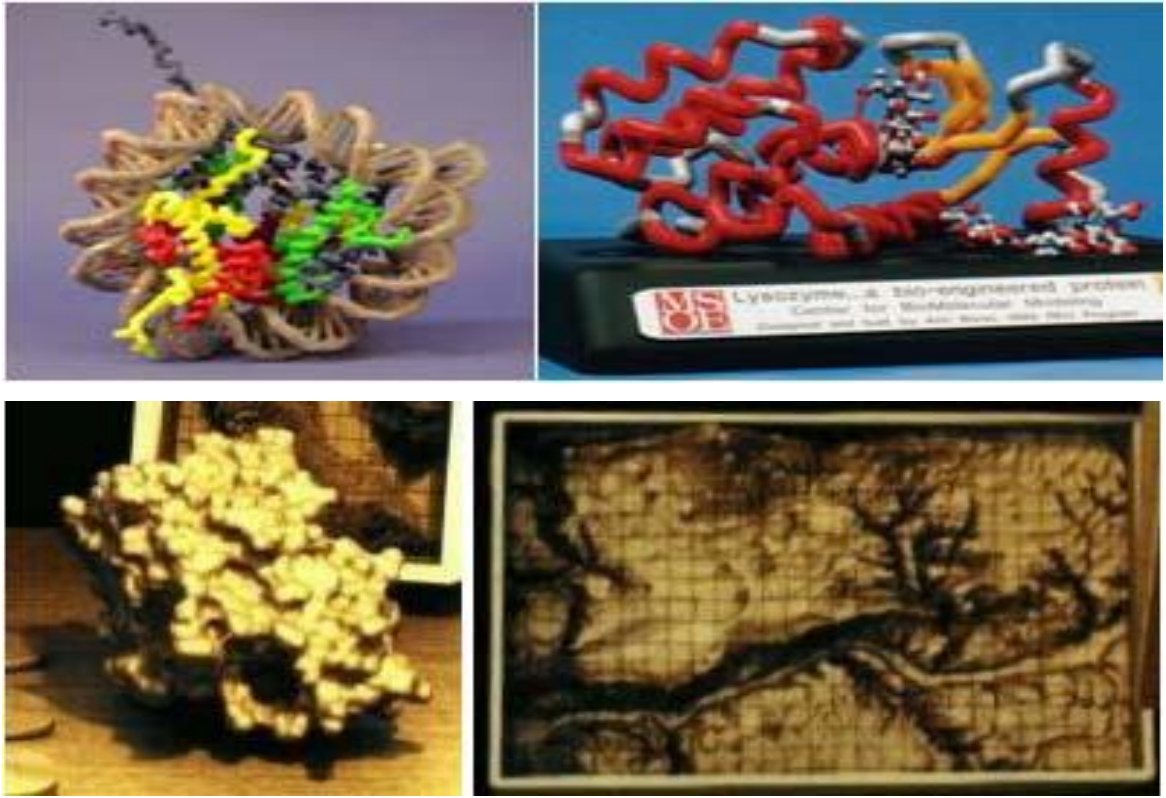
Şekil 3. 13. Bioplotter implant uygulaması iş akışı [1, 9]

### 3.3.9. Matematik, fizik ve kimya uygulamaları

Fen bilimlerinin çeşitli alanlarında HPÜ teknolojilerinden yararlanılmaktadır. Matematik, fizik ve kimya alanlarında kullanılan çeşitli modellerin, HPÜ teknolojileri tarafından üretilen modelleri Resim 3.18'de görülmektedir.



Şekil 3. 14. Fermat'ın son teoremi ve bu teoremde  $n = 5$  olduğu durumda oluşan yüzeyin SLA ile inşa edilen modeli [1, 9]



Resim 3. 18. HPÜ teknolojileri ile üretilen matematik, fizik ve kimya uygulamaları [1]

### 3.3.10. Kuyumculuk uygulamaları

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 bilgisayar ortamında bir CAD programı ile yapılmaktadır. Sonrasında, HPÜ cihazı sayesinde üretilen modeller kullanılarak *hassas fanus döküm* ile istenilen metalden (altın ve gümüş gibi) takılar dökülebilir. Resim 3.19'da HPÜ yöntemleri ile üretilen yüzük modeli görülmektedir.



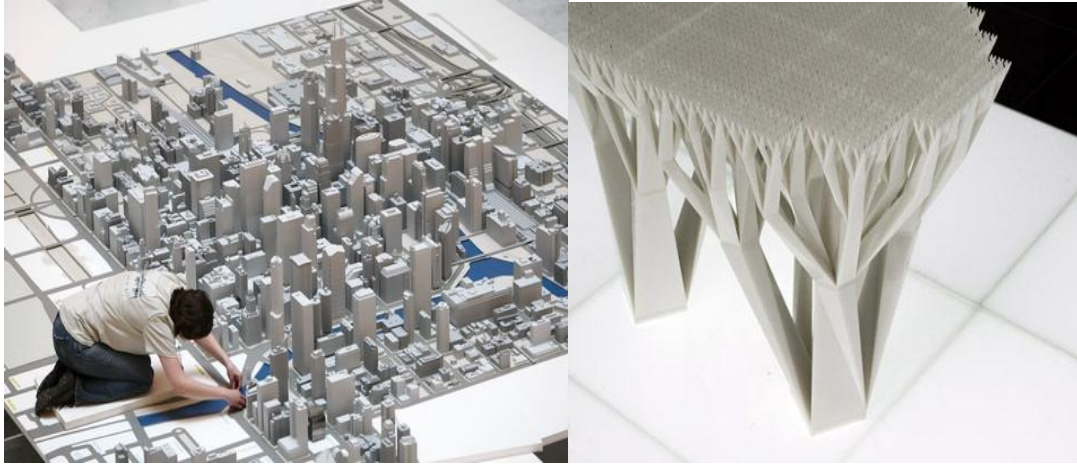
Şekil 3. 15. Mücevher tasarım ve imalat uygulamasının aşamaları [1, 9]



Resim 3. 19. HPÜ teknolojileri ile üretilen yüzük modeli [1]

### 3.3.11. Mimari uygulamalar

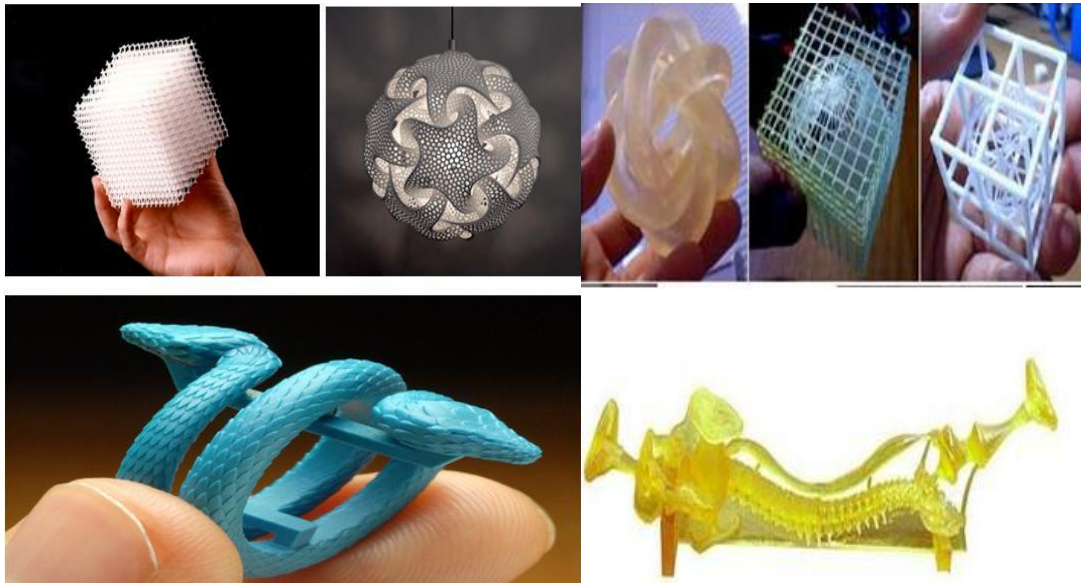
Çok yaygın olmasa da HPÜ teknolojileriyle mimari maketler ve topografik modeller inşa edilmektedir. Hızlı ve gerçeğe yakın çok küçük ölçekli mimari modeller HPÜ teknolojileri ile üretilmektedir. Resim 3.20' de HPÜ yöntemleri ile üretilen mimari uygulamalar görülmektedir.



Resim 3. 20. HPÜ teknolojileri ile mimari uygulamaları [1]

### 3.3.12. Sanat uygulamaları

Heykeltıraşlık metotları ile üretilmeyen 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. Resim 3.21 'de HPÜ yöntemleri ile üretilen sanat uygulamaları görülmektedir [1].



Resim 3. 21. HPÜ teknolojileri ile sanat uygulamaları [1]

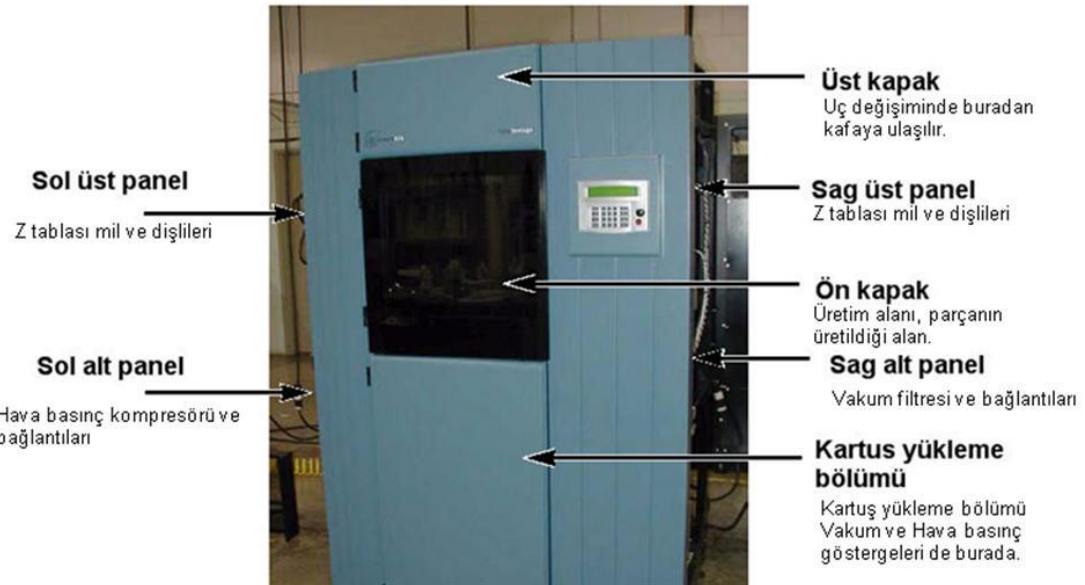
#### 4. MATERYAL VE METOD

Ülkelerin Dünya üzerindeki etkisi, imalat sektörlerindeki gelişmelerle doğru orantılıdır. İmalat sektörlerinin gelişmesi verimlilik, kalite, üretim ve AR-GE çalışmalarının gelişmesi ile sağlanmaktadır. HPÜ teknolojilerinde karşılaşılan ve en önemli kriterlerinden birisi de “ne üretilecek, ne biçimde üretilecek, nerede üretilecek ?” soruların cevaplarını vermektir.

Bu çalışmada HPÜ tekniklerinden, Harç Yığılma Tekniği kullanılmıştır. Çalışma kapsamında gerçek anlamda kıyaslama hatalarını azaltıcı özelliklere sahip model, laboratuvar şartları, ölçüm sistemleri, analiz yazılımları, HPÜ inşa cihazı gibi materyal ve yöntemlerin seçimi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında elde edilen veriler ile yukarıda bahsedilen soruların cevapları yapılan bu çalışma kapsamında incelenmiştir.

##### 4.1. Deney Kapsamında Kullanılan HPÜ Cihazı

Model örme işlemleri FORTUS 360 MC Hızlı Prototipleme Cihazı ile üretimleri gerçekleştirilmiştir (Resim 4.1).



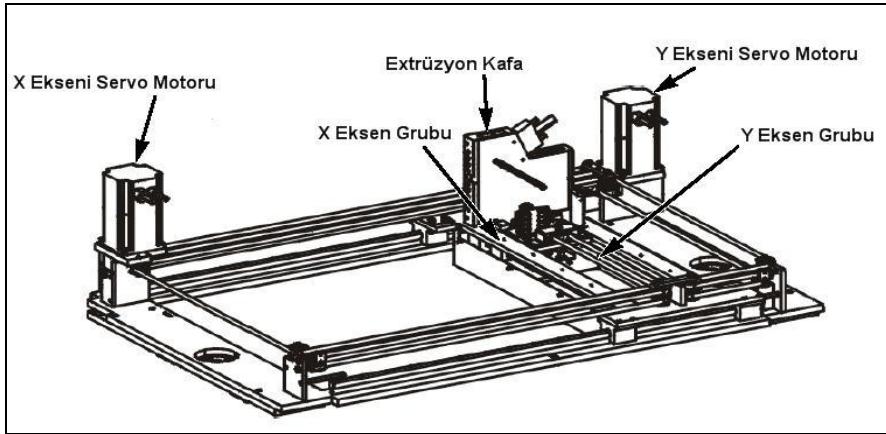
Resim 4. 1. FORTUS 360 MC Hızlı Prototipleme Cihazı

Çizelge 4. 1. FORTUS 360 MC Hızlı Prototipleme Cihazının teknik özellikleri

Üretim Boyutları	356x254x254 mm (406 x 355 x 406 mm. opsiyonel)		
Malzeme Seçenekleri	ABS-M30 PC-ABS PC		
Malzeme Yüklenmesi	2 Kartuş (4 kartuş opsiyonel)		
Kullanılan Malzemelere Göre Seçilebilir Katman Kalınlığı	ABS-M30	PC-ABS	PC
	0.127 mm	0.127 mm	0.178 mm
	0.178 mm	0.178 mm	0.254 mm
	0.254 mm	0.254 mm	0.330 mm
	0.330 mm	0.330 mm	
İşletim Sistemi Uygunluğu	Windows XP/Vista		
Operatör Gereksinimi	Yok		
Yazılım	Insight		
Destek Yapısı	Çözülebilir Destek (ABS-M30, PC-ABS) Elle Sökülen Destek (PC)		
Kullanıcı Arayüzü	Sistem Üzerinden Kontrol		
Network Uyumluluğu	TCP/IP 10/100 Base T		
Güç Gereksinimi	230 VAC ±%5 3 faz 20A/faz		
Malzeme Renkleri	ABS-M30: Naturel, Beyaz, Koyu Gri, Siyah, Kırmızı ve Mavi PC-ABS: Siyah PC: Beyaz		
Sistem Boyutları	1281x895x1962 mm		
Ağırlık	682 kg		
Özel Kullanım Gereksinimleri	Yok		
CE Belgeli	Evet		

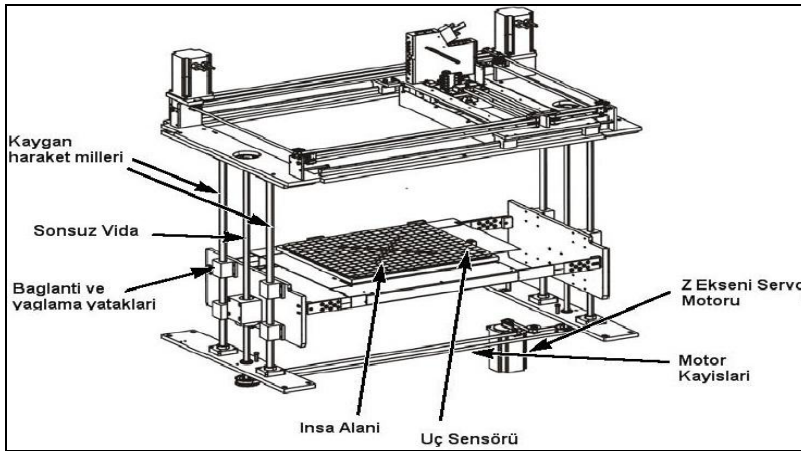


Şekil 4.1’de görülen yapı model malzemesini ve destek malzemesini kullanılmasını sağlayan uçları taşımaktadır. Model örme işlemini gerçekleştirmek için hareketli bir özelliğe sahiptir. Model inşa işleminde (x) ve (y) aksel hareketleri sağlamaktadır. Bu yapının diğer bir özelliği ise model malzemesini ve destek malzemesini ergime işlemi gerçekleştiren sistem burada bulunmaktadır. Yapı çok yüksek sıcaklıklara çıkacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 4. 1. Model malzeme ve destek malzemesi uçları taşıyan yapı

Şekil 4.2’de İnşa alanı taşıyan yapı görülmektedir. Bu yapı sonsuz vida dişlisi ile (z) yönünde yukarı aşağı hareket etmektedir. Katman inşa işlemi bittikten sonra sonsuz vida dişlisi yapıyı aşağı hareket ettirerek bir sonraki katmanın inşa işlemine hazırlamaktadır. Hareketleri çok hassas servo motor sayesinde yapmaktadır.



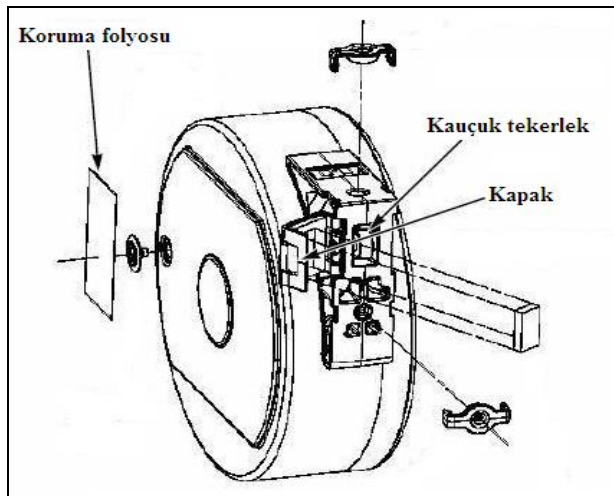
Şekil 4. 2. İnşa alanı taşıyan ve hareket ettiren yapı

Resim 4.2’de modelin inşa ortamı görünmektedir. Modelin inşa işleminde modelin inşa edileceği katman bu alan üzerine yerleştirilmektedir. Bu katmanı cihazın vakum ünitesi sayesinde vakumlanarak sabitlenmektedir. Vakum ünitesi çalışmadan cihazı içerisinde inşa işlemi yapılamamaktadır. Vakum işlemi, alanın ortasından yapılmaktadır. katman çevresel döngü ile yerleştirilmiş conta üzerine oturmaktadır.



Resim 4. 2. Model inşa alanı

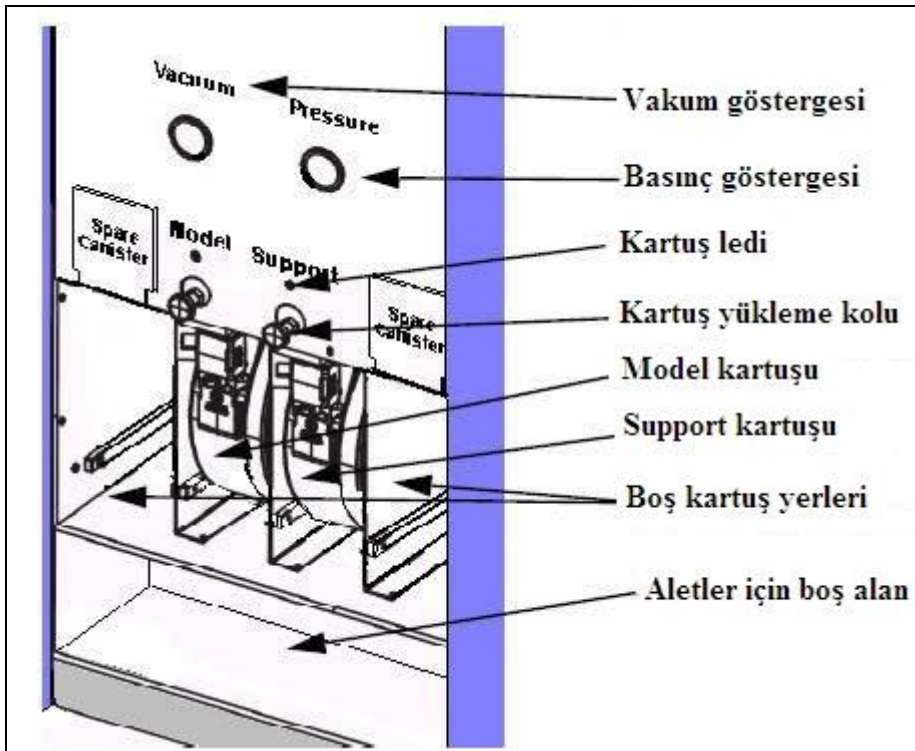
Model malzemesini ve destek malzemeyi taşıyan kartuş mekanizması Şekil 4.3’ de görülmektedir. Model ve destek malzemeleri bu kartuş içerisinde sarılmış bir şekilde bulunmaktadır. Malzeme kauçuk tekerlek yardım ile dışarıya çıkmaktadır.



Şekil 4. 3. Model malzemesini taşıyan kartuş

Model malzemesini ve destek malzemesini taşıyan kartuşların cihaz içerisindeki yerleşim Şekil 4.4’de görülmektedir. Model malzemesi ve destek malzemesi kartuş yükleme kolu ile cihazı içerisine yüklenmektedir. Yükleme işlemi yapıldıktan sonra cihaz, malzemeyi otomatik olarak kartuştan çekmektedir.

Cihazın diğer bir özelliği de kartuşun inşa işlemi sırasında bitmesi halinde yeni kartuş ile inşa işleminin kaldığı katmandan devam etmesidir.

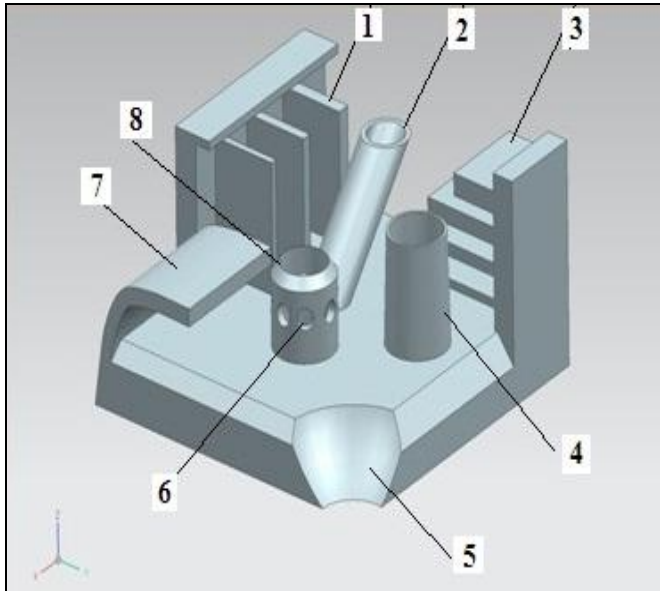


Şekil 4. 4. Modeli taşıyan kartuş ve destek malzemesi taşıyan kartuş cihazı içindeki görüntüsü

## 4.2. Deney Modeli Seçimi

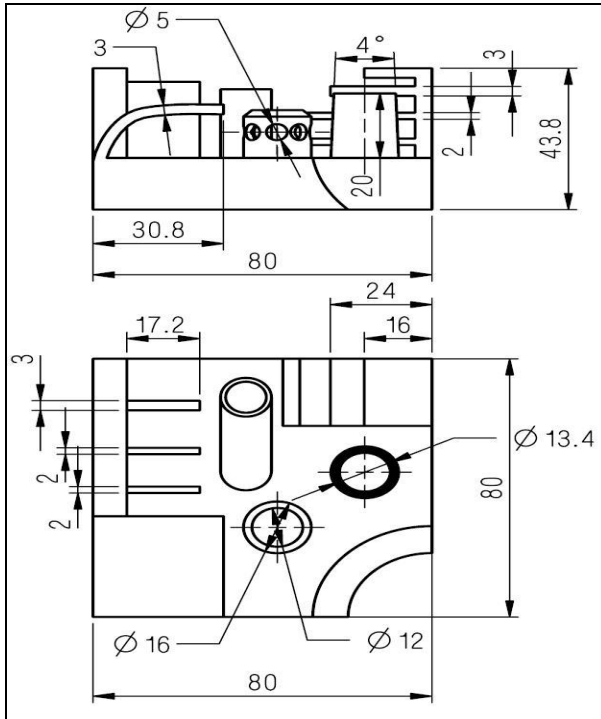
Deney modelinin tasarımı aşamasında çalışmanın kapsamını karşılayacak nitelikte olmasına önem verilmiştir. Model, üzerinde alışılmış veya alışılmamış imalat teknikleri kullanılarak imal edilebilirliği zor veya imkansız unsurlar içermektedir. Modelin klasik imalat yöntemleri ile üretilmesi ancak birkaç aşamada olmaktadır. Modelin tasarımında sadece imalat teknikleri değil şekilsel toleranslar, ölçü tamlığı, yüzey pürüzlülüğü gibi etmenler de dikkate alınmıştır.

Model HPÜ yönteminde harç yığıma yöntemi ile katmanlar halinde üretilmiştir. Model üzerinde dairesel yapılar, konik yüzeyler, formlu yüzeyler, yatay ve dikey konumlandırılmış farklı kesitler, ince cidarlı açılı yüzeyler, freeform tabir edilen serbest yüzeylere sahiptir. Bu unsurlar inşa sonrasında yöntemin, malzeme miktarının, üretim zamanının, maliyet kriterlerini kıyaslamada doğru ve yararlı sonuçlara ulaşılmasına imkan sağlamıştır. Deney model'in Şekil 4.5'de katı modeli Şekil'de 4.6 teknik resmi verilmiştir. Deney model'in görüntüsü Resim 4.3'de verilmiştir.

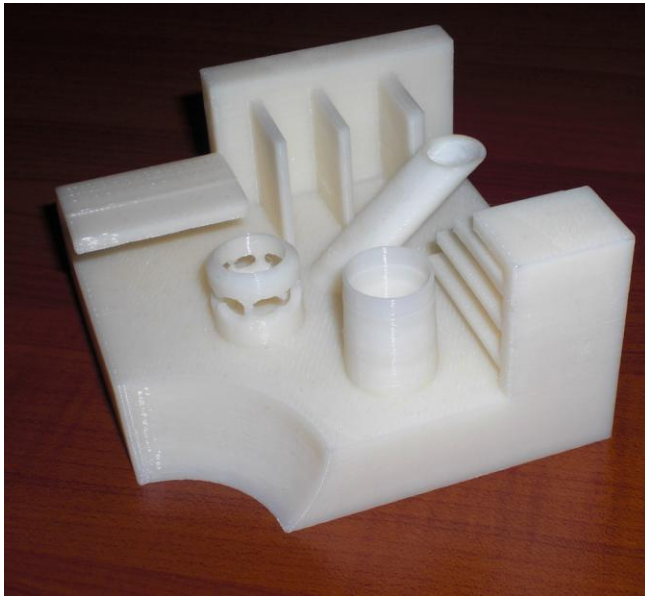


No	Unsurlar
1	Dikey konumlandırılmış farklı kesitler
2	Açılı silindirik yüzey
3	Yatay konumlandırılmış farklı kesitler
4	Konik kesitli yapı
5	Serbest formlu yüzey
6	Yatay delikler
7	Desteksiz yapı
8	Pahlı yüzeyler

Şekil 4. 5. Deney modelinin katı modeli



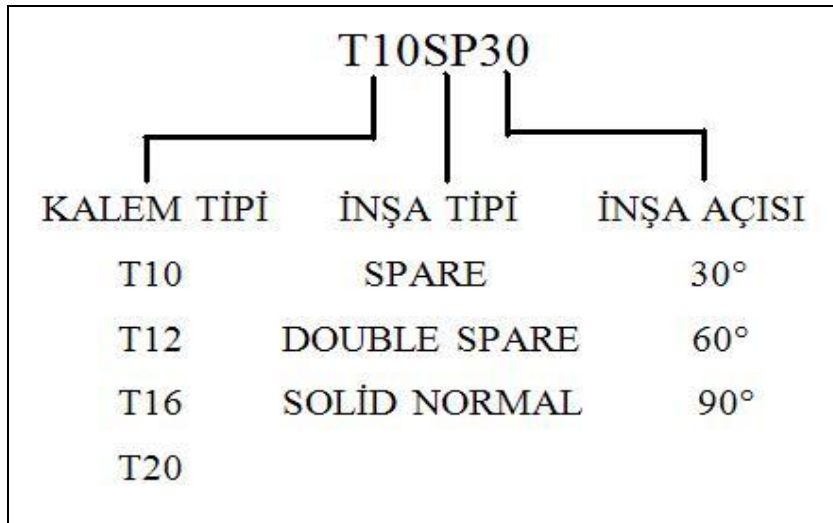
Şekil 4. 6. Deney modelinin teknik resmi



Resim 4. 3. Deney modelinin resmi

### 4.3. Deneyde Kullanılan Model İsimlendirme Yöntemi

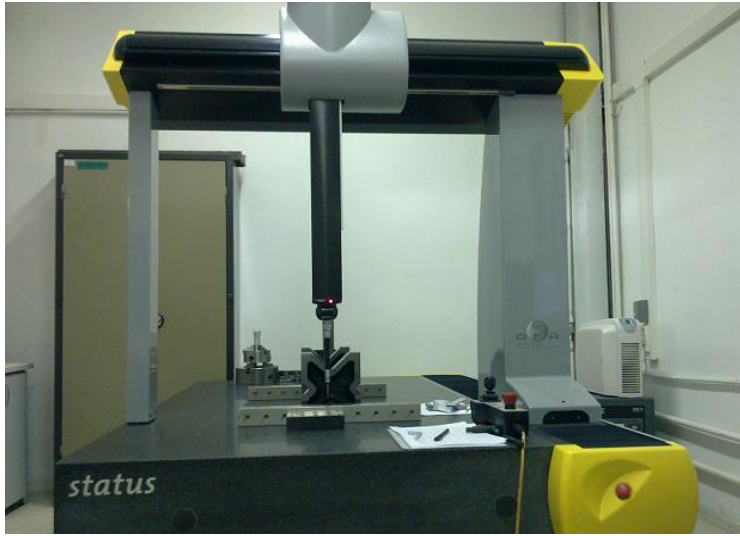
Deney kapsamında üretilen 36 adet modelin izlenebilirliğin kolaylaştırılması için model isimlendirme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle bütün modelleri üretim tiplerine göre isimlendirilmiştir. Şekil 4.7’de model isimlendirme yöntemi açıklanmıştır.



Şekil 4. 7. Model isimlendirme yöntemi

### 4.4. Ölçüm Cihazları

Modellerin ölçü tamlılıkları Resim 4.4’te görülen DEA GLOBAL STATUS marka üç boyutlu koordinat ölçüm cihazında ölçülmüştür. Çizelge 4. 2. DEA GLOBAL STATUS CMM Cihazının teknik özellikleri görülmektedir. Üç boyutlu koordinat ölçme cihazında alınan ölçüler ve ölçüdeki sapma değerlerini içerecek şekilde bir rapor hazırlanmıştır.



Resim 4. 4. Üç boyutlu ölçüm cihazının görüntüsü

Çizelge 4. 2. DEA GLOBAL STATUS CMM Cihazının teknik özellikleri

DEA GLOBAL STATUS CMM Cihazının Teknik Özellikleri	
Cihaz Boyutları	1450x2965x2966 (mm)
Cihaz Ağırlığı	2250 Kg
Ortam Sıcaklığı	18-20 °C
Kapasitesi	900x2000x800 (mm)
Max Parça Ağırlığı	1800 Kg
Hassasiyet	0,08 µm

Modeller birlikte çekme testi numuneleri üretilerek, Resim 4.5' de görülen INSTRON 1185 marka test cihazında çekme testleri uygulanmıştır. Çizelge 4. 3'de INSTRON 1185 marka test cihazının teknik özellikleri görülmektedir.



Resim 4. 5. Çekme test cihazı

Çizelge 4. 3. INSTRON 1185 Test Cihazının teknik özellikleri

INSTRON 1185 Test Cihazının Teknik Özellikleri	
Cihaz Boyutları	710x1100x2300 (mm)
Cihaz Ağırlığı	1250 Kg
Kullanılan Sıcaklık Aralığı	-50 °C/+70 °C
Kapasitesi (Çekme-Basma)	1000 Kg
Çekme-Basma Hızı	0,3 mm/dak-100 mm/dak

Çekme testleri F638-10 standardına göre yapılmıştır. Yapılan çekme testlerine göre deney numunelerinin % 8.946 ortalama uzama ve 30.238 N en yüksek çekme dayanımı sergilenmiştir. Ortalama uzama ve en büyük çekme dayanımını gösteren modeller T10SN30, T10SN60 ve T10SN90 olarak görülmektedir. Bu modellerin içyapısı ve katman kalınlığındaki sıklık sayesinde bu değerleri göstermiştir. İçyapısını ve katman kalınlığındaki sıklığı sağlayan etmenler ise uç tipi ve inşa yöntemidir.

Modeller üzerinde yüzey kalitesi ölçüm işlemi aynı laboratuvar şartlarında farklı prototipler için aynı ölçüm noktaları üzerinde MAHR marka Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4. 4'de Mahr Perthometer M1 Yüzey Pürüzlülük Cihazının teknik özellikleri görülmektedir.



Çizelge 4. 4. Mahr Perthomer M1 Yüzey Pürüzlülük Cihazının teknik özellikleri

Mahr Perthomer M1 Yüzey Pürüzlülük Cihazının Teknik Özellikleri	
Model	M1
Tarama hızı	0,5 m/sn
Tarama	0,75 mN
İğne uç yarı	2 $\mu$ m
Ölçüm	100-150 $\mu$ m
Profil	12 mm
Filtre	Gaussian
Örnekleme	0,25 - 0,8 - 2,5 (mm)
Ölçme	1,75 - 5,6 - 17,5 (mm)
Ölçülebilen	Ra, Rz, Rmax

İnşa edilen modeller üzerinde 5,6 mm lik ölçüm uzunluğunda üç referans yüzey seçilerek yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Bu referans yüzeyler, düzlemsel yatay yüzeylerdir. Elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlar ve tartışma bölümünde açıklanmıştır.

#### 4.5. Deneyde Kullanılan Malzeme

Deneyde ABS plastik malzeme kullanılmıştır. Bu malzemenin en önemli faydaları ; esnemeye, bükülmeye, kırılmaya ve uzamaya karşı yüksek dayanıma, suya ve neme karşı yüksek direnç ve uygun maliyete sahiptir. ABS plastik malzeme geleneksel imalat yöntemleri ile boyanabilir, kaplanabilir, işlenebilir nitelikleri içerisinde bulundurmaktadır.

ABS plastik malzeme kullanım alanı olarak kolay, sağlam, montaj edilebilirliği ve takılıp sökülebilmeye kabiliyeti yüksek bir malzemedir. Harç yığıma yönteminde en çok kullanılan malzeme türlerinden birisidir. ABS plastik malzemenin özellikleri Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4. 5. ABS plastik malzemenin özellikleri

Termal Özellikler	Birim	ABS P400
Ergime Sıcaklığı	°C	95
Mekanik Özellikler	Birim	ABS P400
Gerilme Dayanımı	MPa	45,7
Gerilme Modülü	MPa	1641
Elastikiyet Dayanımı	MPa	73,5
Elastikiyet Modülü	MPa	2300
Çarpma Dayanımı – Çentikli	J/m	160
0,46 MPa Basınç Altında Erime Noktası	°C	90
1,82 MPa Basınç Altında Erime Noktası	°C	90
Sertlik	Shore D	78
Nem Alma Oranı	%	0,20-0,45
Süneklik	%	10

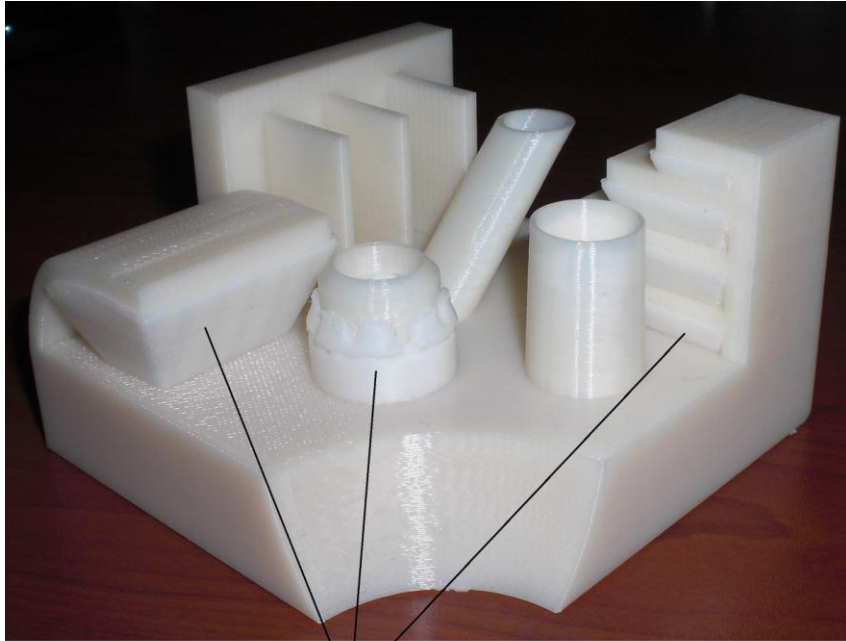
#### 4.6. Deneyde Kullanılan Destek Malzemesi

Destek malzemesi olarak "Water Works (suda eriyebilen)" destek malzemesi kullanılmıştır. Destek malzemesinin en önemli özelliği su ile çözülebilmesi ve elle ulaşılması imkansız dar aralıklarda dahi kolayca çıkarılabilmesidir. Kırılgan bir yapıya sahip olduğu için kolaylıkla kırılabilmektedir.

Bu sayede, çok parçalı ve hareketli mekanizmalar da dahil birçok karmaşık parçanın imalatı mümkün olabilmektedir. Destek malzemesinin özellikleri Çizelge 4.6'de verilmiştir. Model üzerindeki destek malzemesi görüntüsü Resim 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4. 6. Destek malzemesinin özellikleri

Termal Özellikler	Birim	PC
Ergime Sıcaklığı	°C	95
Mekanik Özellikler	Birim	PC
Gerilme Dayanımı	MPa	62,5
Gerilme Modülü	MPa	1958
Elastikiyet Dayanımı	MPa	94,2
Elastikiyet Modülü	MPa	2300
Çarpma Dayanımı – Çentikli	J/m	710
0,46 MPa Basınç Altında Erime Noktası	°C	125
1,82 MPa Basınç Altında Erime Noktası	°C	125
Sertlik	Shore D	78
Nem Alma Oranı	%	0,17
Süneklik	%	10

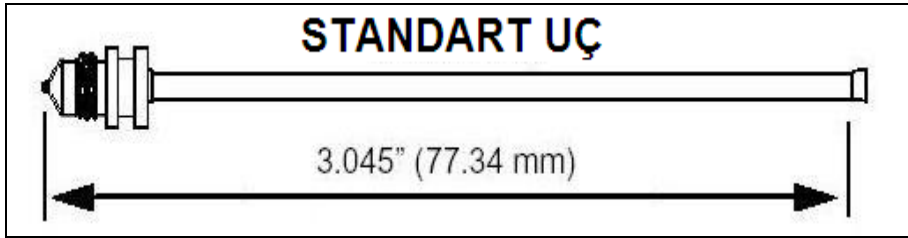
**Destek Malzemesi**

Resim 4. 6. Model üzerinde uygulanmış destek malzeme görüntüsü

#### 4.7. Deneysel Metot

Bu çalışmada HPÜ yöntemlerinden harç yığıma yöntemi kullanılmıştır. Harç yığıma yöntemi ile inşa edilen modellerin, inşa işlemlerinde en etkili olan üç parametre kullanılmıştır. Bu parametreler uç tipi, inşa yöntemi ve inşa açısıdır.

Uç tipi malzeme katman kalınlıklarına göre dört farklı tiptedir. Bunlar T10, T12, T16 ve T20 şeklindedir. Uç tipleri Şekil 4.8’te görülmektedir. Uç tiplerinin malzeme katman kalınlıklarına göre sıralaması Çizelge 4.7’de verilmiştir.



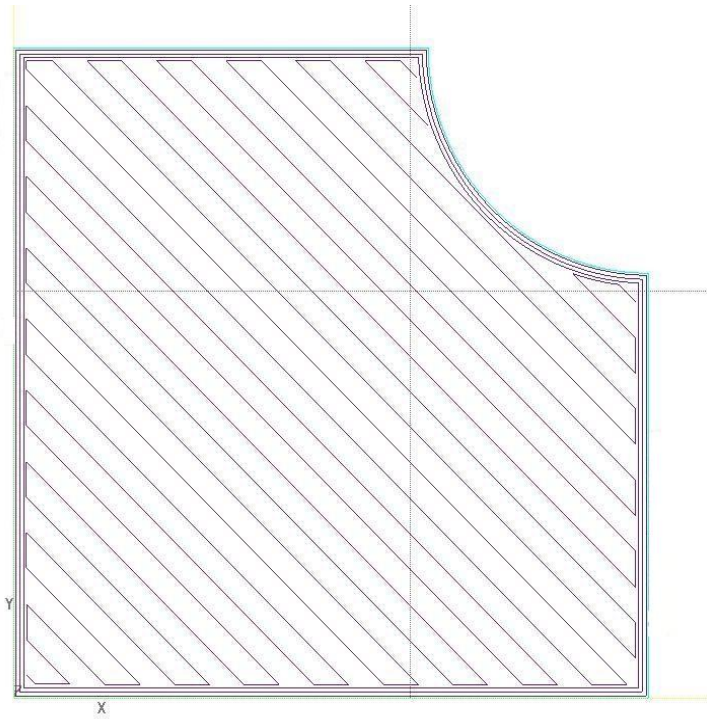
Şekil 4. 8. Model inşa etmede kullanılan uç tipi

Çizelge 4.7. Uç tiplerin malzeme katman kalınlıklarına göre sıralanması

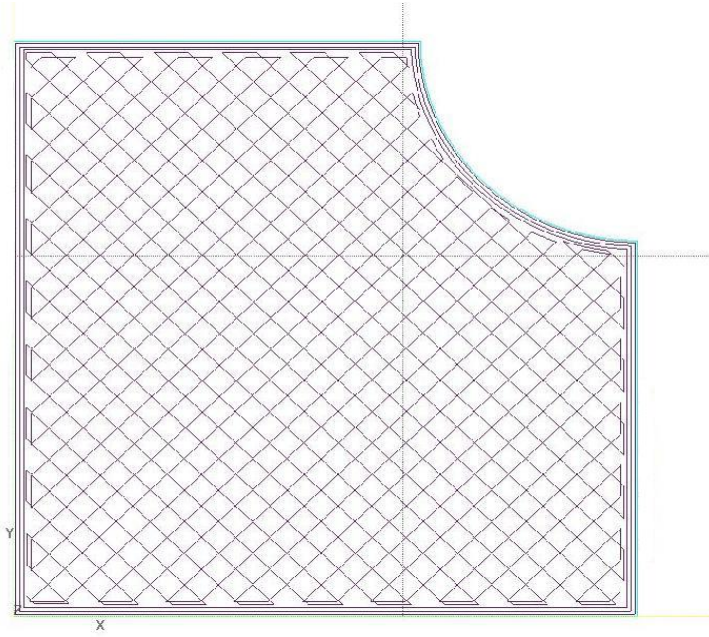
Uç Tipi	Katman Kalınlıkları
T10	0,127 mm
T12	0,178 mm
T16	0,254 mm
T20	0.330 mm

İnşa yöntemi, modellerin dayanım ve maliyet etkilerine göre üç farklı tiptedir. Bunlar Sparse (tek yönlü yapı), Double Sparse (çift yönlü yapı) ve Solid Normal (sık tek yönlü yapı) şeklindedir. Sparse (tek yönlü yapı) inşa yöntemi, modelin dış katmanının çevresel bir döngüde geçmesi ve yapı inşasında tek yönde yapılmasıdır. Bu inşa yöntemi diğer inşa yöntemlerine göre en dayanıksız ve maliyet açısından en ucuz inşa yöntemidir.

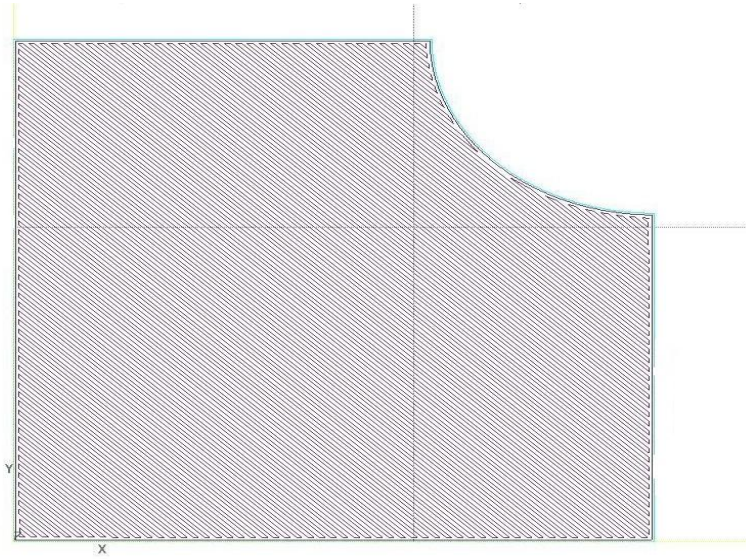
Double Sparse (çift yönlü yapı) inşa yönteminde inşa işleminin modelin dış katmanın çift döngüde geçmesi ve yapı inşasının çift yönde yapılmasıdır. Sparse (tek yönlü yapı) inşa yönteminde göre yapı daha dayanıklı, maliyet açısından daha pahalı bir yöntemdir. Solid normal (sık tek yönlü yapı) inşa yöntemi modelin dış katmanında çevresel tek döngüde geçmesi ve yapı inşa daha sık bir yapıdan oluşturmaktadır. Bu yöntem yapı dayanım en yüksek seviyede maliyet açısından en pahalı yöntemdir. Modellerdeki dayanım ve maliyet açısından incelenen değerleri grafiksel olarak irdelenmiş, deneysel sonuçlar ve tartışmalar kısmında verilmiştir. İnşa yöntemleri Şekil 4.19, Şekil 4.10, Şekil 4.11' de verilmiştir.



Şekil 4. 9. Model inşa etmede kullanılan Sparse (tek yönlü yapı) inşa tipi (SP)



Şekil 4. 10. Model inşa etmede kullanılan Double Sparse (çift yönlü yapı) inşa tipi (DS)



Şekil 4. 11. Model inşa etmede kullanılan Solid Normal (sık tek yönlü yapı) inşa tipi (SN)

Model inşa yöntemine etkili olan diğer bir etmen de inşa açısıdır. Model inşasında üç farklı inşa açısı kullanılmıştır. Bu açılar  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  olmaktadır. İnşa açısı olarak  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  seçilmesinin sebepleri; inşa işleminde en çok kullanılan inşa açıları olmaları, model üretimlerinde en etkili sonuçları vermeleri ve dayanım yönünden modele etki etmeleridir.

## **4.8. Üretim Zamanı ve Maliyetin Değerlendirilmesi**

Deneysel çalışmada kullanılan model, inşa edileceği HPÜ cihazında aşağıda belirtilen işlem basamakları dikkate alınarak üretilmiştir.

### **4.8.1. İnşa Aşamaları**

1. Hazırlık Aşaması
  - a. 3B parça tasarımının arayüz formata dönüştürülmesi
  - b. Arayüz formatının düzenlenmesi ve iyileştirilmesi
  - c. Destek yapılarının tasarlanması
  - d. İnşa parametrelerinin oluşturulması
  - e. İnşa katmanlarının oluşturulması
2. Parça İnşa Aşaması
  - a. Hızlı prototipleme cihazı ön hazırlık işlemleri
  - b. Parça inşa işlemleri
  - c. Son inşa işlemleri
3. İnşa Sonrası İşlemler
  - a. Destek yapılarının temizlenmesi
  - b. Parçanın temizlenmesi

Deney modelleri belirtilen materyal ve yöntemler doğrultusunda yukarıda belirtilen süreçler takip edilerek inşa edilmiştir [2].

### **4.8.2. Üretim zamanı**

Tasarım işlemlerinin tamamlanması ile başlayan üretim, hedef ürünün elde edilmesine kadar devam etmektedir. Bu süreçte geçen toplam süre üretim zamanı olarak değerlendirilmektedir.

Çalışmada üretim zamanı; hazırlık aşaması, inşa aşaması, inşa sonrası işlemler olarak bölümlendirilmiştir. Tüm bu bölümlerin bir arada değerlendirilmesi ile toplam üretim zamanı elde edilmiştir.

Üretime başlamak için gerekli ayarlama işlemleri, donanım ve malzemelerin kullanılabilir durumda üretim yerinde hazır edilmesi, hazırlık aşaması olarak değerlendirilmiştir. İnşa aşaması ise HPÜ cihazının gerekli ayar ve düzenlemeleri yapıldıktan sonra çalıştırılması ile başlayarak, çalışma esnasında hammadde sarfiyatının da devam ettiği, modelin ortaya çıkarılması bölümüdür.

İnşa aşamasının sonlanması ile ortaya çıkan modelin HPÜ cihazından alınması ile başlayan, tasarım uygun düzenleme, temizleme gibi sonlandırma işlemlerinin yapıldığı bölüm ise inşa sonrası işlem süreçleri olarak değerlendirilmiştir. Deneylede kronometre kullanılarak, toplam üretim zamanını oluşturan tüm bölümler ayrı ayrı ve dakika biriminden tespit edilmiştir.

#### **4.8.3. Toplam ürün maliyeti**

Toplam ürün maliyetini oluşturan parçalar; model malzeme maliyeti, destek malzemesi maliyeti, model ucu kullanım süresi maliyeti, destek ucu kullanım süresi maliyeti, modelin üzerine inşa edildiği katmanın maliyeti, işçilik maliyeti ve elektrik maliyeti olarak değerlendirilmiştir. İşletmelerin özelliklerinden dolayı değişkenlik gösteren ve hesaplanamayan maliyetler değerlendirme dışında tutulmuştur. Bunlar; vergi, kar oranı gibi maliyetlerdir. Toplam ürün maliyetini oluşturan unsurlar Çizelge 4.8'de verilmiştir. Çizelge 4.9'da T10SN30 modeline ait maliyet hesabı görülmektedir.



Çizelge 4.8. Toplam ürün maliyetini oluşturan unsurlar [2]

MODEL BİRİM MALİYET HESAPLAMA TABLOSU		
MALİYETLER		BİRİM
1	Model malzemesi maliyeti	X
2	Destek malzemesi maliyeti	Y
3	Model Ucu kullanım süresi maliyeti	A
4	Destek Ucu kullanım süresi maliyeti	B
5	Modelin üzerine inşa edildiği katman	C
6	İşçi maliyeti	D
7	Elektrik (KW)	E
Toplam Ürün Maliyeti		$X+Y+A+B+C+D+E$

Çizelge 4.9. T10SN30 modelin maliyet hesabı

T10SN30 MODELİNE AİT MALİYET HESABI				
Maliyet Girdileri		Zaman (Saat)	Fiyat (TL)	Toplam (TL)
1	Model malzemesi maliyeti	23,36	7,20	168,19
2	Destek malzemesi maliyeti	23,36	1,98	46,25
3	Model Ucu kullanım süresi maliyeti	23,36	0,40	9,34
4	Destek Ucu kullanım süresi maliyeti	23,36	0,12	2,80
5	Katman maliyet	1,00	7,00	7,00
6	İşçilik	2,00	18,00	36,00
7	Enerji	23,36	6,00	140,16
				409,75

Tabloya baktığımızda T10SN30 modelinin üretim maliyetine yedi unsur etkili olmaktadır. Model malzemesi maliyeti bir saat süresince kullanılan malzeme maliyeti olarak hesaplanmıştır. Hesaplama bir saat içerisinde kullanılan model maliyeti 7,20 TL olarak karşımıza çıkmaktadır. 23 saat 36 dakikalık üretim süresinde tamamlanan T10SN30 modelin model maliyeti 168,19 TL olarak hesaplanmıştır.

Destek malzemesi maliyeti bir saat süresince kullanılan destek malzeme maliyeti olarak hesaplanmıştır. Hesaplama bir saat içerisinde kullanılan destek malzeme maliyeti 1,98 TL olarak karşımıza çıkmaktadır. 23 saat 36 dakikalık üretim süresinde tamamlanan T10SN30 modelin destek malzeme maliyeti 46,25 TL olarak hesaplanmıştır.

Model ucu maliyeti model ucunun kullanım süresine göre hesaplanmıştır. Model ucunun 625 saat kullanım ömrü bulunmaktadır. Model ucu maliyetini toplam kullanım süresine böldüğümüzde bir saat kullanılan model ucu maliyeti hesaplanmıştır. Bir saat kullanılan model uç maliyeti 0,40 TL olarak bulunmuştur. T10SN30 modelinde kullanılan model uç maliyeti 9,34 TL olarak hesaplanmıştır.

Destek ucu maliyeti destek ucunun kullanım süresine göre hesaplanmıştır. Destek ucunun 2012 saat kullanım ömrü bulunmaktadır. Destek ucu maliyetini toplam kullanım süresine böldüğümüzde, bir saatte kullanılan destek ucu maliyeti hesaplanmıştır. Bir saat kullanılan destek uç maliyeti 0,12 TL olarak bulunmuştur. T10SN30 modelinde kullanılan model uç maliyeti 2,80 TL olarak hesaplanmıştır.

Model üzerine inşa edilen katmanın maliyeti her bir model için 7,00 TL olarak hesaplanmıştır. İşçilik ve elektrik maliyeti bir saatlik maliyeti üzerinde hesaplama yapılmıştır. İşçilik her bir model için 2 saat sürmüştür. Bir saatlik işçilik maliyeti brüt olarak 18,00 TL olarak hesaplanmıştır. Enerji maliyeti 1 saat süresi için 6,00 TL olarak hesaplanmıştır. T10SN30 modelinin üretiminde toplam enerji maliyeti 104,16 TL hesaplanmıştır.

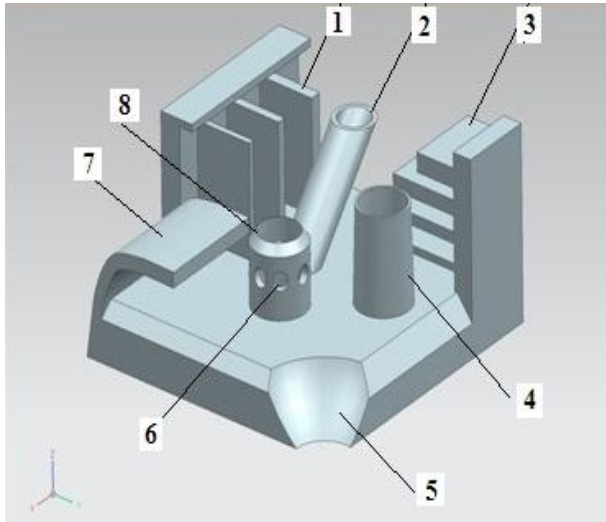
Bu değerlerin toplamı ile T10SN30 modeline ait maliyet hesabı oluşturulmuştur. T10SN30 modelin maliyeti 409,75 TL olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer modellerin maliyet hesapları tablo ve grafik şeklinde deneysel sonuçlar ve tartışmalar kısmında verilmiştir.

## 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deneylemler sonucunda, inşa edilen modeller ve çekme çubukları ölçü tamlığı, yüzey kalitesi, üretim zamanı, maliyet, model dayanım ve % uzama yönünden incelenmiştir. Bu inceleme sonrasında oluşturulan resimler ve grafiklerin sonuçları tartışılarak verilmiştir.

### 5.1. Üretilirlik Kriterleri

Şekil 5.1’de deney amaçlı geliştirilen model üzerindeki unsurlar görülmektedir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen HPÜ yöntemlerinden olan harç yığıma yöntemi ile inşa edilmiş modeller üzerinde bu unsurların üretirlik ve kalitesi incelenmiştir.



No	Unsurlar
1	Dikey konumlandırılmış farklı kesitler
2	Açılı silindirik yüzey
3	Yatay konumlandırılmış farklı kesitler
4	Konik kesitli yapı
5	Serbest formlu yüzey
6	Yatay delikler
7	Desteksiz yapı
8	Pahlı yüzeyler

Şekil 5. 1. Deney modeli üzerinde üretirlik kriterleri incelenen unsurlar

Çalışmanın kapsam ve yöntemi dahilinde modeller üzerinde yapılan ölçümler sonucu aşağıda sıralanan sonuçlara ve bu sonuçların getirdiği sebeplere ulaşılmıştır;

- Bu çalışmada; unsurların eksiksiz ve hatasız bir şekilde yüzey kalitesi, ölçü tamlığı açısından en iyi sonuç, T10SN30/T10SN60/T10SN90 no’lu modellerde, en kötü sonuç ise, T20SP30/T20SP60/T20SP90 no’lu moldelerde elde edilmiştir. Bunun sebebi olarak da, T10 uç tipinin katman kalınlığının sık olması ve Solid Normal (sık tek yönlü yapı) yapının sık inşa şekli gösterilebilir.

Bu sonuç ışığında detay yüzeyleri fazla olan ve ölçü hassasiyeti istenen modellerde T10SN30/T10SN60/T10SN90 no'lu modelleri kullanmak modelin kalitesi açısından önemlidir. Bu tip modelleri kalıp imalatında veya modelleri ve üretilen modellerin direk montaj içerisinde kullanabiliriz. Ölçüsel tamlık ve yüzey kalitesinin önemli olmadığı modellerde T20SP30/T20SP60/T20SP90 no'lu modellerin özelliklerini kullanmak model inşa süresini düşürmek maliyet açısından önemlidir. Bu tip modellere örnek olarak, prototip amaçlı ve görsel amaçlı üretilen modelleri gösterebiliriz.

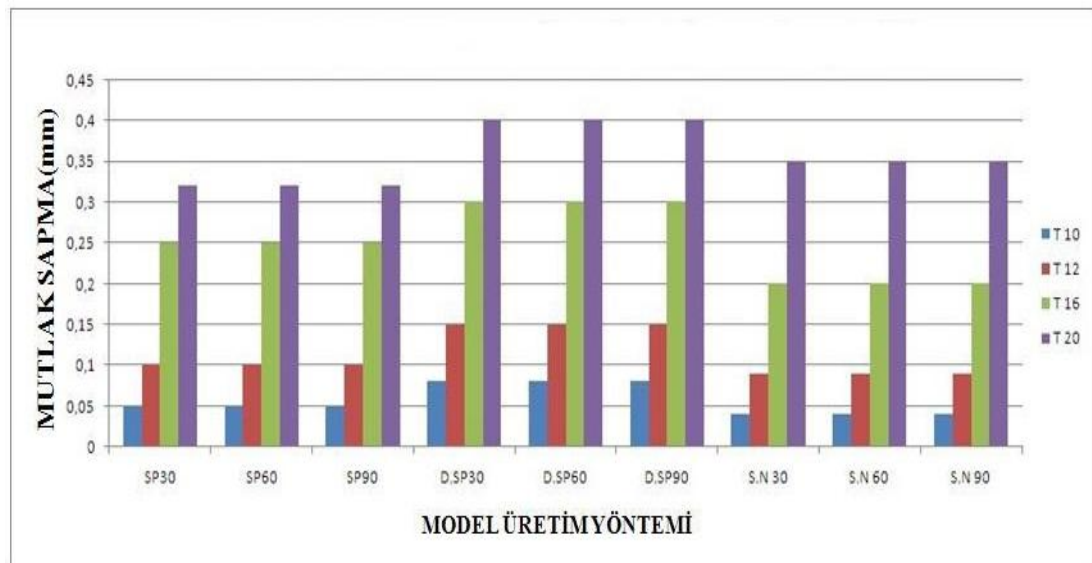
- Model üzerindeki unsurlardan yatay delikler T10SN90 modelinde en kusursuz olarak üretilmiştir. T20SP30 no'lu modelde yatay delikler birbirleri ile iç içe girmiş, aralarda boşluklar meydana gelmiştir.
- Üretim süresi, maliyet açısından T20SP30/T20SP60/T20SP90 no'lu modeller 2 saat 44 dakika ile en kısa süre üretilmiş modeller olup, maliyet açısından en ucuz modellerdir. T10SN30/T10SN60/T10SN90 no'lu modeller, 23 saat 36 dakika üretim süresi en uzun modeller olup, 409,70 TL ile en pahalı elde edilen modellerdir. Diğer modellerin üretim süresi ve maliyet değerleri bu iki model arasında yer almaktadır.

## 5.2. Ölçü Tamlığı

Çalışma kapsamında tercih edilen HPÜ yöntemlerinden olan harç yığıma cihazı ile inşa edilen modellere ait ölçüm analizleri CMM 3 Boyutlu ölçüm cihazında ve diğer yüksek hassasiyetli ölçüm ekipmanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler aynı laboratuvar şartlarında inşa edilen 36 parça üzerinde aynı ölçüm noktaları kullanılarak, ölçü tamlığının sağlanıp sağlanmadığı araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1 'de , Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Üretilen parçaların mutlak sapma değerleri

Ölçüm yapılan model	Mutlak sapma değerleri (mm)	Ölçüm yapılan model	Mutlak sapma değerleri (mm)	Ölçüm yapılan model	Mutlak sapma değerleri (mm)
T10SP30	0,05	T10SP60	0,05	T10SP90	0,05
T10DS30	0,08	T10DS60	0,08	T10DS90	0,08
T10SN30	0,04	T10SN60	0,04	T10SN90	0,04
T12SP30	0,1	T12SP60	0,1	T12SP90	0,1
T12DS30	0,15	T12DS60	0,15	T12DS90	0,15
T12SN30	0,09	T12SN60	0,09	T12SN90	0,09
T16SP30	0,25	T16SP60	0,25	T16SP90	0,25
T16DS30	0,3	T16DS60	0,3	T16DS90	0,3
T16SN30	0,2	T16SN60	0,2	T16SN90	0,2
T20SP30	0,32	T20SP60	0,32	T20SP90	0,32
T20DS30	0,4	T20DS60	0,4	T20DS90	0,4
T20SN30	0,35	T20SN60	0,35	T20SN90	0,35



Şekil 5. 2. Mutlak sapma değerleri grafiği

Bu grafikte elde edilen sonuçlara göre değerlendirme yapıldığında T10 uç tipi ve T12 uç tipi ile üretilen modellerin mutlak sapma değerleri 0,05 - 0,15 mm arasında değişmektedir. T16 uç tipi ve T20 uç tipi ile üretilen modellere ait mutlak sapma değerleri 0,2 – 0,4 mm arasında değişmektedir. T10/T12/T16/T20 uç tipleri ile üretilen modellerin inşa tiplerine göre değerlendirildiğinde mutlak sapma değerlerinde de farklılık göstermektedir. Grafiğe bakıldığında mutlak sapma değerinden en düşük sonuçları T10 uç tipi ile üretilen Solid Normal (sık tek yönlü yapı) yapıdaki modellerde görülmektedir. Bunun sebeplerinden bir tanesi T10 uç tipinin en ince katman kalınlığında örme işlemini yapması ikincisi ise Solid Normal(sık tek yönlü yapı) örme tipinin özelliği olan sık yapıda model inşa etmesidir.

Mutlak sapma grafiğinde en farklı sonuçları T20 uç tipi ile üretilen Double Sparse (çift yönlü yapı) yapıdaki modellerde görülmektedir. Mutlak sapma değeri olarak (0,4 mm) olarak görülmektedir. Diğer modellerin mutlak sapma değerleri uç tiplerine ve inşa tiplerine göre değişim göstermektedir. Ölçüsel tamlik açısından değerlendirme yapıldığında mutlak sapma değeri olarak en iyi sonuçları T10SN30/T10SN60/T10SN90 (0,05 mm) modellerinde, en kötü sonuçları mutlak sapma değerlerinde T20SP30/T20SP60/T20SP90 (0,4 mm) modellerinde görülmektedir. Bunun sebebi olarak da, uç tipine göre katman kalınlığının sık olması ve inşa yöntemine göre sık inşa şekli gösterilebilir.

Mutlak sapma değerleri / model üretim yöntemi grafiğine baktığımızda, uç tipleri ile inşa yöntemleri birlikte değerlendirildiğinde T10 uç tipi ile üretilen modellerde Solid Normal(sık tek yönlü yapı) yapıdaki modellerde (0,04 mm) mutlak sapma değeri görülmektedir. Sparse( tek yönlü yapı) yapıda (0,05 mm), Double Sparse (çift yönlü yapı) yapıda da (0,08 mm) mutlak sapma değerleri karşımıza çıkmaktadır. T10 uç tipi ile üretilen modelleri kendi içerisinde değerlendirildiğinde, mutlak sapma değerlerinde % 100'lük bir fark oluşmaktadır. Bu fark, inşa yönteminin mutlak sapmaya olan etkisi olarak gösterilmektedir. T12 uç tipi açısından değerlendirme yapıldığında en iyi mutlak sapma değeri Solid Normal(sık tek yönlü yapı) yapıdaki modellerde (0,09) mm olarak görülmektedir.

Diğer modellerde ise, sırası ile Sparse( tek yönlü yapı) yapıda (0,1 mm), Double Sparse (çift yönlü yapı) yapıda da (0,15 mm) mutlak sapma değerleri karşımıza çıkmaktadır. T12 uç tipi ile üretilen modelleri kendi içerisinde değerlendirildiğinde, mutlak sapma değerlerinde % 66'lık bir fark oluşmaktadır.

T16 uç tipi açısından değerlendirme yapıldığında en iyi mutlak sapma değeri Solid Normal(sık tek yönlü yapı) yapıdaki modellerde, 0,2 mm mutlak sapma değeri olarak görünmektedir. Diğer modellerde ise sırası ile Sparse( tek yönlü yapı) yapıda 0,25 mm, Double Sparse (çift yönlü yapı) yapıda da 0,3 mm mutlak sapma değerleri karşımıza çıkmaktadır. T16 uç tipi ile üretilen modellerin kendi içerisinde değerlendirildiğinde mutlak sapma değerlerinde % 50'lik bir fark oluşmaktadır.

T20 uç tipi açısından değerlendirme yapıldığında en iyi mutlak sapma değeri Solid Normal(sık tek yönlü yapı) yapıdaki modellerde, 0,32 mm mutlak sapma değeri olarak görünmektedir. Diğer modellerde ise sırası ile Sparse( tek yönlü yapı) yapıda 0,35 mm, Double Sparse (çift yönlü yapı) yapıda da 0,4 mm mutlak sapma değerleri karşımıza çıkmaktadır. T20 uç tipi ile üretilen modellerin kendi içerisinde değerlendirildiğinde mutlak sapma değerlerinde % 25'lik bir fark oluşmaktadır.

Mutlak sapma değerlerinin uç tipleri ve inşa yöntemleri açısından değerlendirildiğinde T10 uç tipi ile üretilen modellerden başlayarak T20 uç tipi ile üretilen modellere doğru inşa yönteminin etkisi, T10 uç tipinden % 100, T12 uç tipinde % 66, T16 uç tipinde % 50, T20 uç tipinde % 25 olarak görünmektedir. Mutlak sapma değerlerinin inşa yöntemlerinin etkisine göre değerlendirildiğinde T10 uç tipinden başlayarak T20 uç tipine doğru etkisi azalmaktadır.

Grafikte elde ettiğimiz diğer bir sonuç ise modellerin mutlak sapma değerlerin farklılıklarını model tasarım sırasında model boyutlarının mutlak sapma değeri kadar değiştirerek T20 uç tipi ile üretilen modellerin mutlak sapma değerleri T10 uç tipi ile üretilen modellerin seviyesine getirilebilir. Ancak, yüzey kalitesi değerleri aynı kalır. Bu sonuç ile yüzey kalitesinin önemli olmadığı ölçüsel tamlıkların önemli olduğu yerlerde maliyet açısından önemli kazanımlar elde edilebilir.

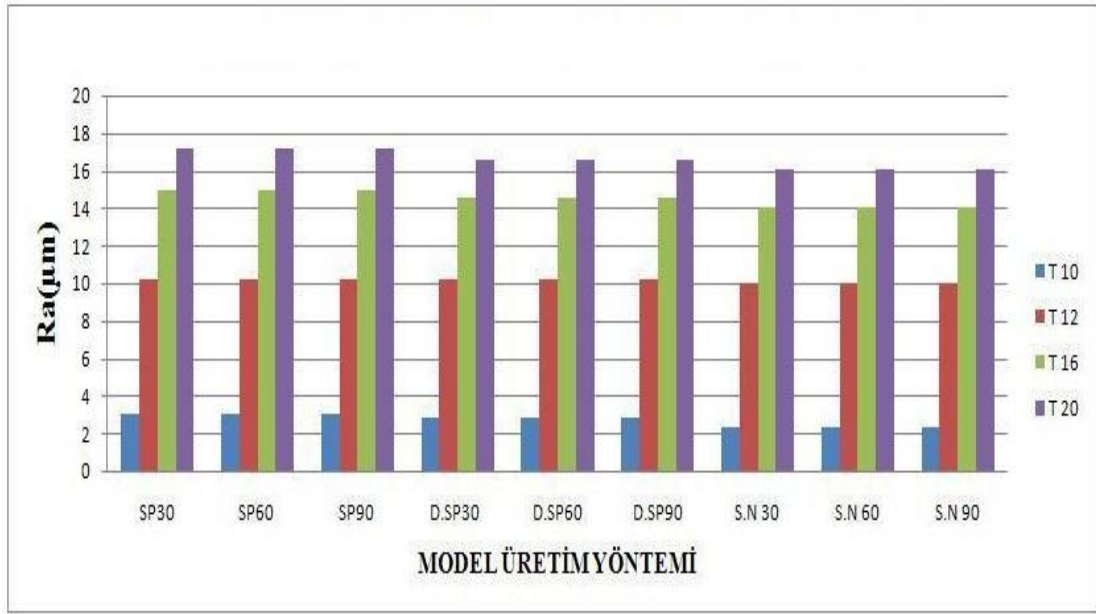


### 5.3. Yüzey Kalitesi ve Hassasiyeti

İnşa edilen modeller üzerinde 5,6 mm lik ölçüm uzunluğunda üç referans yüzey seçilerek yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Düzlemsel yatay yüzeylerden alınan değerleri, Şekil 5.3’de verilmiştir. Çizelge 5.2’de üretilen parçaların yüzey pürüzlülük değerleri görülmektedir.

Çizelge 5.2. Üretilen parçaların yüzey pürüzlülük değerleri

Ölçüm yapılan model	Yüzey pürüzlülük değeri (µm)	Ölçüm yapılan model	Yüzey pürüzlülük değeri (µm)	Ölçüm yapılan model	Yüzey pürüzlülük değeri (µm)
T10SP30	3,05	T10SP60	3,05	T10SP90	3,05
T10DS30	2,85	T10DS60	2,85	T10DS90	2,85
T10SN30	2,30	T10SN60	2,30	T10SN90	2,30
T12SP30	14,98	T12SP60	14,98	T12SP90	14,98
T12DS30	14,56	T12DS60	14,56	T12DS90	14,56
T12SN30	14,01	T12SN60	14,01	T12SN90	14,01
T16SP30	10,25	T16SP60	10,25	T16SP90	10,25
T16DS30	10,17	T16DS60	10,17	T16DS90	10,17
T16SN30	10,03	T16SN60	10,03	T16SN90	10,03
T20SP30	17,20	T20SP60	17,20	T20SP90	17,20
T20DS30	16,60	T20DS60	16,60	T20DS90	16,60
T20SN30	16,10	T20SN60	16,10	T20SN90	16,10



Şekil 5. 3. Düzlemsel yatay yüzeylerde yüzey pürüzlülük değer grafiği

Şekil 5.3’de verilen yüzeylere ait pürüzlülük değer grafiği incelendiğinde, harç yığma HPÜ tekniği ile parça üretiminde yüzey kalitesini etkileyen üç unsur bulunduğu görülmektedir.

Bu unsurlar inşa esnasındaki katman kalınlığı, inşa yöntemi ve inşa esnasında kullanılan inşa açısıdır. Katman kalınlığı etkisine, örnek olarak “T10 uç tipi” ile üretilmiş modeller verilebilir. Bu modeller üzerindeki ölçümlerde pürüzlülük değeri 2,3 - 3.05  $\mu\text{m}$  olduğu görülmektedir. Ayrıca katman kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi, açılı silindirik yüzeylerde ve pahlı yüzeylerde daha belirgin bir şekilde görülmektedir.

Yüzey kalitesi ve hassasiyete uç tipinin etkisi, inşa yöntemi ve inşa açısına göre daha fazladır. İnşa yöntemi ve inşa açısı yüzey pürüzlülük ve hassasiyet değerleri etkisi 1,0  $\mu\text{m}$  civarında olduğu görülmektedir. T10 uç tipi ile üretilen modellerde yüzey pürüzlülük değerleri 2-3  $\mu\text{m}$  arasında değişmektedir.

T12 uç tip ile üretilen modellerde yüzey pürüzlülük ve hassasiyet değerleri 10-11 µm arasında değişmektedir. T12 uç tip ile üretilen modeller ile T10 uç tip ile üretilen modeller karşılaştırıldığında, yüzey pürüzlülüğü ve hassasiyet açısından T12 uç tipi ile üretilen modeller % 20 daha kötüdür. T16 uç tipi ile üretilen modellerde yüzey pürüzlülük ve hassasiyet değerleri 14-15 µm civarında olduğu görülmektedir. T16 uç tipi ile T12 uç tipi arasındaki yüzey pürüzlülüğü ve hassasiyet değerleri açısından fark (% 10)T10 uç tipi ile T12 uç tipi arasındaki farktan (%30) daha azdır.

T20 uç tipi ile üretilen modellerde yüzey pürüzlülük ve hassasiyet değerleri 16-17 µm arasındadır. T20 uç tipi ile üretilen modeller, yüzey pürüzlülüğü ve hassasiyeti en kötü özelliğe sahiptir.

Bu veriler ışında yüzey pürüzlülük ve hassasiyet açısından en kaliteli yüzeyleri, T10 uç tipi ile elde edilmiştir. Bunu nedeni ise, T10 uç tipinin diğer uç tiplerine göre oluşturduğu katman kalınlığını daha sık olmasıdır.

Mutlak sapma grafiği ve yüzey pürüzlülüğü grafiği birlikte değerlendirildiğinde, T12 uç tipi ile üretilen modellerin ölçü tamlıkları T10 tipi ile üretilen modellere yakın iken yüzey pürüzlülüğü değerlerine bakıldığında ise, farkın yüksek olduğu görülmektedir. T12 uç tipi ile üretilen modellerin ölçü tamlık değerleri iyi sonuçlar verirken yüzey pürüzlülüğü değerleri çok iyi sonuçlar vermemektedir. T16 uç tipi ile üretilen modellerin ölçü tamlık değerleri T20 ile üretilen modellerin ölçü tamlık değerleri arasındaki fark büyük olduğu halde, yüzey pürüzlülüğü açısından daha küçük farklar göstermektedir. Ölçüsel tamlık değerlerine inşa yönteminin etkisi fazla iken, yüzey pürüzlülük değerlerine etkisinin daha az olduğu görünmektedir. Bunun nedeni ise; T20 uç tipindeki katman kalınlığının daha seyrek olmasıdır.

#### **5.4. Üretim Zamanı**

Çalışma kapsamında üretilen prototiplerin üretim zamanı parça inşa süreci, ön hazırlık ve inşa sonrası yapılan işlemler dikkate alınarak Şekil 5.4'de gösterilmiştir. Çizelge 5.3'de üretilen parçaların üretim zamanı değerleri görülmektedir.

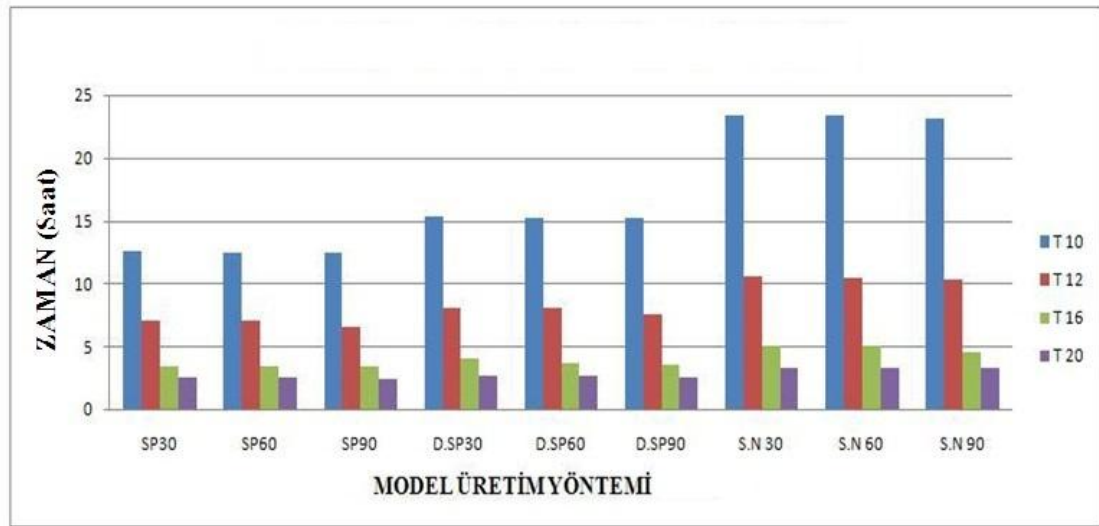
Çizelge 5.3. Üretilen parçaların üretim zamanı değerleri

Ölçüm yapılan model	Üretim zamanı değerleri (Saat)	Ölçüm yapılan model	Üretim zamanı değerleri (Saat)	Ölçüm yapılan model	Üretim zamanı değerleri (Saat)
T10SP30	12,52	T10SP60	12,50	T10SP90	12,41
T10DS30	15,27	T10DS60	15,26	T10DS90	15,14
T10SN30	23,36	T10SN60	23,32	T10SN90	23,17
T12SP30	7,04	T12SP60	7,01	T12SP90	6,54
T12DS30	8,09	T12DS60	8,07	T12DS90	7,57
T12SN30	10,54	T12SN60	10,48	T12SN90	10,36
T16SP30	3,40	T16SP60	3,39	T16SP90	3,38
T16DS30	4,00	T16DS60	3,59	T16DS90	3,57
T16SN30	5,00	T16SN60	5,00	T16SN90	4,56
T20SP30	2,46	T20SP60	2,46	T20SP90	2,44
T20DS30	2,58	T20DS60	2,58	T20DS90	2,55
T20SN30	3,31	T20SN60	3,31	T20SN90	3,31

Üretim zamanı değerlerine ait grafik incelendiğinde, en uzun işleme süresine T10SN30/T10SN60/T10SN90 modellerin sahip olduğu görülmektedir. Daha sonra sırasıyla T12 uç tipi ile üretilen modeller, T16 uç tipi ile üretilen modeller, T20 uç tipi ile üretilen modeller gelmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi farklı uç tip ve inşa yöntemi aynı model bile olsa ön hazırlık ve işleme süreleri bakımından farklılar göstermektedir.

Bu farklılığın en önemli sebepleri arasında kullanılan inşa yöntemi, katman kalınlığı, inşa açısı gibi teknik özellikleri ile beraber kullanılan HPÜ cihazına ait malzeme özellikleri yer almaktadır.

Kullanılan HPÜ cihazına ait inşa öncesi ön hazırlık safhası, inşa işlemi gerçekleştirilecek modele ait STL datası optimizasyonu ve inşa sonrası oluşan destek yapılarının modelden temizlenmesi işlemi üretim zamanını etkileyen diğer önemli faktörler arasında yer almaktadır.



Şekil 5. 4. Üretim zamanı grafiği

Şekil 5.4'deki grafik incelendiğinde, sonuç olarak karşımıza çıkan veriler de en uzun işleme süresi T10SN30/T10SN60/T10SN90 modellerinde görülmektedir. Bunun sebebi olarak modelde uç tipine göre katman sıklığı ve inşa yöntemine göre model iç yapısının sıklığı gösterilmektedir. T10 uç tipi ile Solid Normal (sık tek yönlü yapı) inşa yönteminin göre üretilen modellerin işleme süreleri yaklaşık 24 saat civarındadır. Bunun sebebi ise, modelin ölçü tamlığı ve yüzey kalitesinin çok iyi olmasının istenmesidir.

Grafik incelendiğinde T10 uç tipi ile üretilen modellerin üretim süreleri 12-24 saat arasında değişmektedir. Diğer uç tipleri ile üretilen modellerin üretim saatleri 3-11 saat arasında değişmektedir. T12/T16/T20 modellerinin üretim saatleri birbirleri arasında yakınlık göstermekte T10 uç tipi ile uzaklık göstermektedir. Buna neden olarak da katman kalınlığının sık olması ve inşa yapısının Solid Normal (sık tek yönlü yapı) yapı olması gösterilebilir.

T20 uç tipi ile T16 uç tipi arasında üretim zamanı olarak fark bir saat civarındadır. Bu sonuca bakarak T20 uç tipi ile T16 uç tipi ile üretilen modellerin üretim zamanı birbirlerine yakındır. Bu modeller kullanım alanına göre birbirinin yerine kullanılabilir. T12 uç tipi ile üretilen modellerin üretim süresi olarak 7-11 saat arasında görülmektedir. Bu uç tipi ara sınıf olarak rahatlıkla kullanılabilir.

İnşa yönteminin, model inşa sürelerine etkisi T10 uç tipinden başlayarak T20 uç tipine doğru azalmaktadır. T10 uç tipi ile üretilen modellerde kullanılan inşa yöntemlerinden Solid Normal (sık tek yönlü) inşa yönteminde model üretim süreleri 24 saat olarak görünmekte, Double Sparse (çift yönlü yapı) inşa yönteminde 15 saat, Sparse (tek yönlü yapı) inşa yönteminde de 12 saat civarında görülmektedir. İnşa yöntemlerinin üretim sürelerine etkisi çok net bir şekilde görülmektedir. Buna karşılık diğer uç tipleri ile üretilen modellerin de inşa yönteminin inşa süresine etkisinin daha az olduğu görülmektedir.

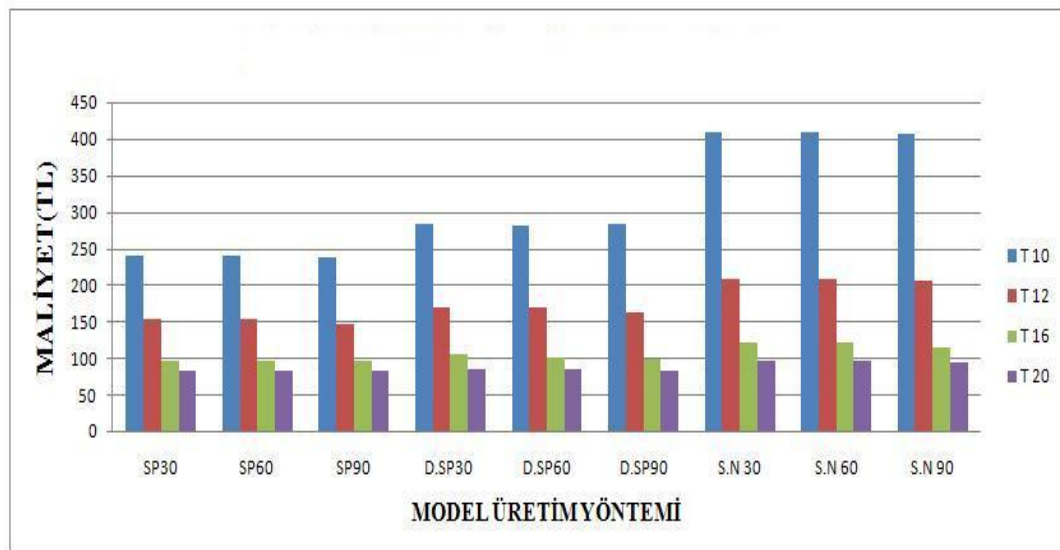
Sonuç olarak, ölçüsel tamlik ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin yüksek olduğu modellerde, üretim zamanı bir gün gibi uzun sürelerle çıkmakta, modellerin ölçüsel tamlik ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azalmasına göre üretim zamanları üç saat gibi kısa sürelerle düşmektedir. Bu tamamen üretilecek modellerin işlevi ve kullanılacağı yere göre değişim göstermektedir. Böylece hem tezgah ömrünün verimli kullanılması, hem de tezgahı üretim işlemlerinin hızlı bir şekilde yürütülmesi sağlanır.

### **5.5. Maliyet**

Çalışma kapsamında üretilen prototiplerin maliyeti; Model malzeme maliyeti, destek malzeme maliyeti, model ucu kullanım süresi maliyeti, destek ucu kullanım süresi maliyeti, modelin üzerine inşa edildiği katman maliyeti, işçilik maliyeti ve elektrik maliyetlerinin toplamı olarak hesaplanır. Çizelge 5.4'de üretilen parçaların maliyet değerleri gösterilmiştir. Bu değerler, Şekil 5.5'de model maliyet grafiğinde belirtilmiştir.

Çizelge 5.4. Üretilen parçaların maliyet değerleri

Ölçüm yapılan model	Maliyet değerleri (TL)	Ölçüm yapılan model	Maliyet değerleri (TL)	Ölçüm yapılan model	Maliyet değerleri (TL)
T10SP30	239,50	T10SP60	239,00	T10SP90	237,80
T10DS30	282,50	T10DS60	280,70	T10DS90	282,50
T10SN30	409,70	T10SN60	409,00	T10SN90	406,70
T12SP30	153,50	T12SP60	153,50	T12SP90	145,70
T12DS30	170,00	T12DS60	169,70	T12DS90	161,90
T12SN30	208,50	T12SN60	207,50	T12SN90	205,60
T16SP30	96,38	T16SP60	96,22	T16SP90	96,11
T16DS30	105,80	T16DS60	99,40	T16DS90	99,00
T16SN30	121,00	T16SN60	121,00	T16SN90	114,60
T20SP30	81,60	T20SP60	81,60	T20SP90	81,30
T20DS30	83,50	T20DS60	83,50	T20DS90	83,00
T20SN30	94,96	T20SN60	94,96	T20SN90	94,50



Şekil 5. 5. Model maliyet grafiği

Maliyet değerlerine ait grafik incelendiğinde, en yüksek maliyetli modellerin T10SN30/T10SN60/T10SN90 olduğu görülmektedir. Daha sonra sırasıyla T12 uç tipi ile üretilen modeller, T16 uç tipi ile üretilen modeller, T20 uç tipi ile üretilen modeller izlemektedir.

Buradan da anlaşılacağı gibi, farklı uç tipi ve inşa yöntemi kullanılarak aynı model inşa edilse bile, hammadde maliyetleri bakımından farklı durumlar gösterebilmektedir. T10SN30/T10SN60/T10SN90 modellerinde hammadde maliyetleri diğer modeller göre daha yüksektir. Bunun başlıca sebebi kullanılan malzeme miktarıdır. Malzeme miktarının fazla olması katman kalınlıklarının ve inşa tipini daha sık olması ile izah edilebilir. Çizelge 5.5. Üretilen parçalarda kullanılan hammadde miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 5.5. Üretilen parçalarda kullanılan hammadde miktarları

Ölçüm yapılan model	Hammadde miktarı (cm <sup>3</sup> )	Ölçüm yapılan model	Hammadde miktarı (cm <sup>3</sup> )	Ölçüm yapılan model	Hammadde miktarı (cm <sup>3</sup> )
T10SP30	45,99	T10SP60	45,99	T10SP90	45,43
T10DS30	63,58	T10DS60	63,58	T10DS90	62,72
T10SN30	126,63	T10SN60	126,64	T10SN90	126,09
T12SP30	57,72	T12SP60	57,70	T12SP90	56,91
T12DS30	77,36	T12DS60	77,36	T12DS90	76,12
T12SN30	125,87	T12SN60	125,86	T12SN90	125,04
T16SP30	58,59	T16SP60	58,57	T16SP90	57,74
T16DS30	74,91	T16DS60	74,91	T16DS90	73,40
T16SN30	125,50	T16SN60	125,50	T16SN90	124,49
T20SP30	60,31	T20SP60	60,59	T20SP90	59,02
T20DS30	73,48	T20DS60	73,50	T20DS90	71,42
T20SN30	124,37	T20SN60	124,37	T20SN90	123,71



T10SN30/T10SN60/T10SN90 modellerinde kullanılan malzeme miktarı 126 cm<sup>3</sup> civarındadır. T20SP30/T20SP60/T20SP90 modellerinde kullanılan malzeme miktarı 60 cm<sup>3</sup> civarındadır. Arada yaklaşık % 50 fark vardır. Bu durum modeller üzerindeki maliyet farkları oluşturmaktadır.

Model maliyet grafiği incelendiğinde T20 uç tipi ile üretilen modellerle T16 uç tipi ile üretilen modellerin maliyetleri birbirlerine daha yakındır. T10 uç tipi ile üretilen modellerin maliyetleri diğer uç tipleri ile üretilen modellerin maliyetlerine göre daha fazladır. Model, maliyet açısından değerlendirildiğinde T20 / T16 uç tipleri ile üretilen modeller birbirlerinin yerine tercih edilebilir.

Model maliyetinde inşa yapısının etkisi büyüktür. T10 uç tipi ile üretilen modellerin inşa tiplerine göre maliyet değerleri değişmektedir. Solid Normal (sık tek yönlü) inşa yapısı ile üretilen modellerin maliyet değerleri 410,00 TL civarında Double Sparse (çift yönlü yapı) inşa yapısı ile üretilen modellerin maliyet değerleri 280,00 TL civarındadır. Arasında % 32 lik bir fark vardır. Sparse (tek yönlü yapı) inşa yapısı ile üretilen modellerin maliyet değerleri 240,00 TL civarındadır. Solid Normal inşa yapısı ile Sparse inşa yapısı arasında % 42 lik bir fark olduğu görülmektedir. Diğer uç tiplerinde bu fark daha azdır.

Üretim zamanı grafiği ile maliyet grafiğini birlikte incelendiğinde, grafiksel değerlerin benzerlik gösterdiği görülmektedir. Üretim zamanı yüksek olan modellerin maliyeti de doğru orantılı olarak artmaktadır. Modellerin maliyetlerinin belirlenmesinde üretim zamanının etkisi büyüktür. Üretim zamanının artmasına etkili olan parametreler, uç tipi ve inşa tipi olarak karşımıza çıkmaktadır

Modellerin maliyet değerleri 2010 yılına ait olup, model üretiminde kullanılan model malzeme maliyeti, destek malzeme maliyeti, model ucu kullanım süresi maliyeti, destek ucu kullanım süresi maliyeti, modelin üzerine inşa edildiği katman maliyeti, işçilik maliyeti ve elektrik maliyetlerinin fiyatları 2010 yılındaki değerlerine göre hesaplanmıştır.

Model maliyetlerinin hesaplanmasında, model üzerinden ticari bir kar düşünülmemiş model üretimleri deneysel üretim olup sadece maliyet açısından değerlendirilmiştir.

### 5.6. % Uzama

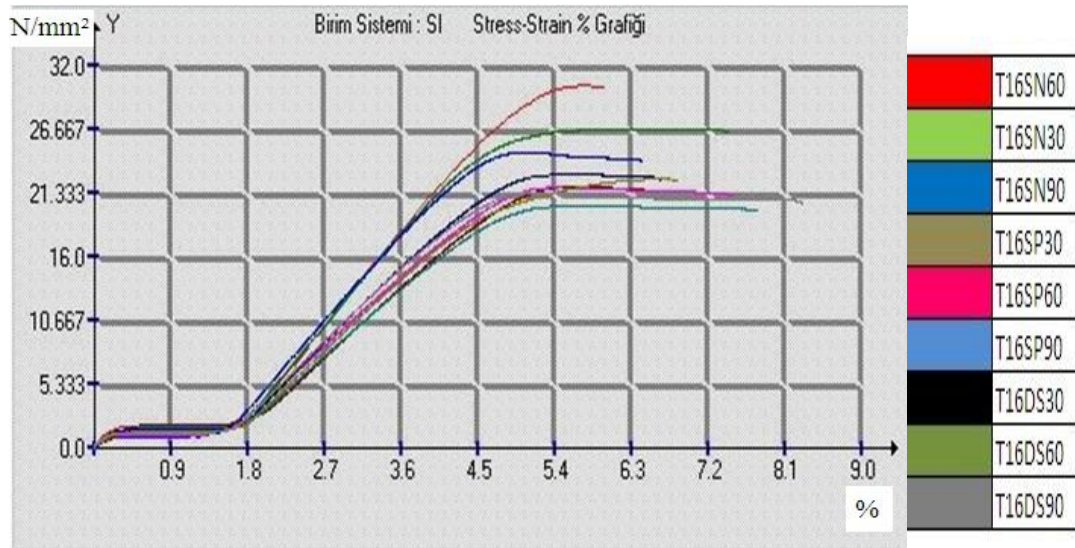
Çalışma kapsamında üretilen prototiplerin % uzama ve dayanım analizleri için her bir modele uygun çekme çubuğu üretilmiş ve çekme testlerine tabii tutulmuştur. Çekme testleri sonuçları Şekil 5.6 ,5.7 ,5.8 5.9'da % uzama dayanım grafiklerinden gösterilmiştir. Bu sonuçlarına göre, Şekil 5.10 ,5.11' de modellerin % uzama ve model dayanım grafiklerinde karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 5. 6. T10 uç tipi ile üretilen modellerin % uzama / dayanım grafiği



Şekil 5. 7. T12 uç tipi ile üretilen modellerin % uzama / dayanım grafiği



Şekil 5. 8. T16 uç tipi ile üretilen modelleri % uzama / dayanım grafiği



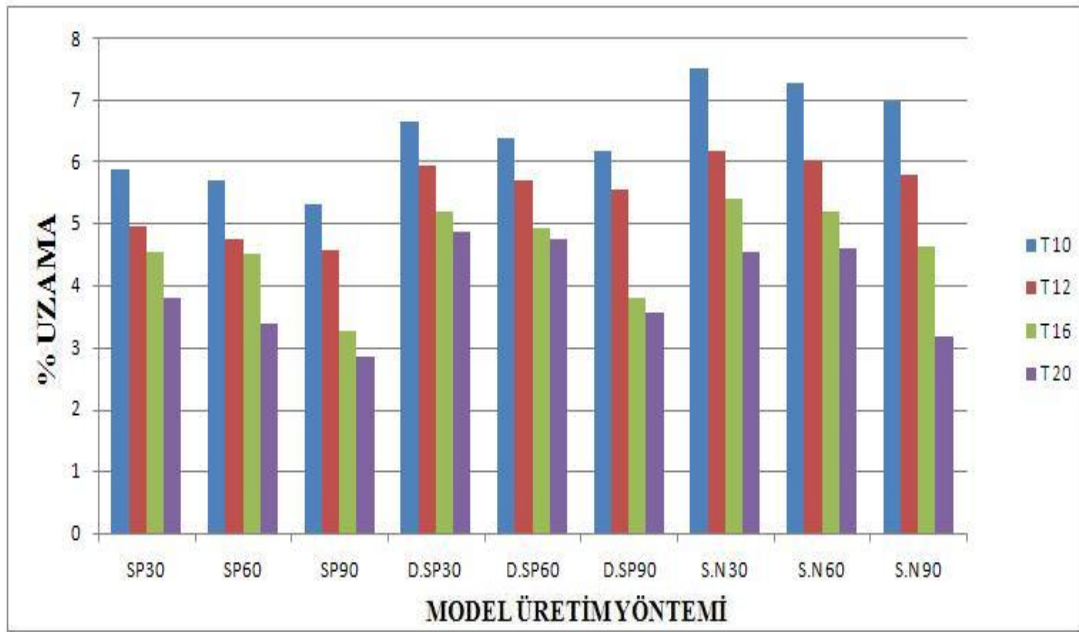
Şekil 5. 9. T20 uç tipi ile üretilen modellerin % uzama / dayanım grafiği

Şekil 5.10'daki % uzama grafiği incelendiğinde, Double Sparse (çift yönlü yapı) inşa yöntemi ile elde edilen modellerin % uzamaları, diğer inşa tiplerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Double Sparse (çift yönlü yapı) inşa yöntemi ile elde edilen modeller, diğer modellere göre daha sünek bir yapıya sahiptir.

Bu yöntemi Solid Normal (sık tek yönlü yapı) ve Sparse (tek yönlü yapı) inşa yöntemi sırası ile takip etmektedir. En yüksek uzama değeri T10SP30 (7,51) modelinde görülmektedir. En düşük uzama ise T20SP90 (3,28) modelinde görülmektedir. Sebebi ise farklı, uç tiplerinin kullanılmasıdır.

Çizelge 5.6. Üretilen parçaların yüzde uzama değerleri

Ölçüm yapılan model	Yüzde uzama (%)	Ölçüm yapılan model	Yüzde uzama (%)	Ölçüm yapılan model	Yüzde uzama (%)
T10SP30	5,90	T10SP60	5,70	T10SP90	5,32
T10DS30	6,65	T10DS60	6,40	T10DS90	6,20
T10SN30	7,51	T10SN60	7,3	T10SN90	6,98
T12SP30	4,96	T12SP60	4,76	T12SP90	4,58
T12DS30	5,94	T12DS60	5,70	T12DS90	5,56
T12SN30	6,20	T12SN60	6,03	T12SN90	5,80
T16SP30	4,53	T16SP60	4,52	T16SP90	3,28
T16DS30	5,20	T16DS60	4,95	T16DS90	3,79
T16SN30	5,40	T16SN60	5,20	T16SN90	4,64
T20SP30	3,80	T20SP60	3,40	T20SP90	3,28
T20DS30	4,86	T20DS60	4,75	T20DS90	3,57
T20SN30	4,55	T20SN60	4,62	T20SN90	3,81



Şekil 5. 10. Model % uzama grafiği

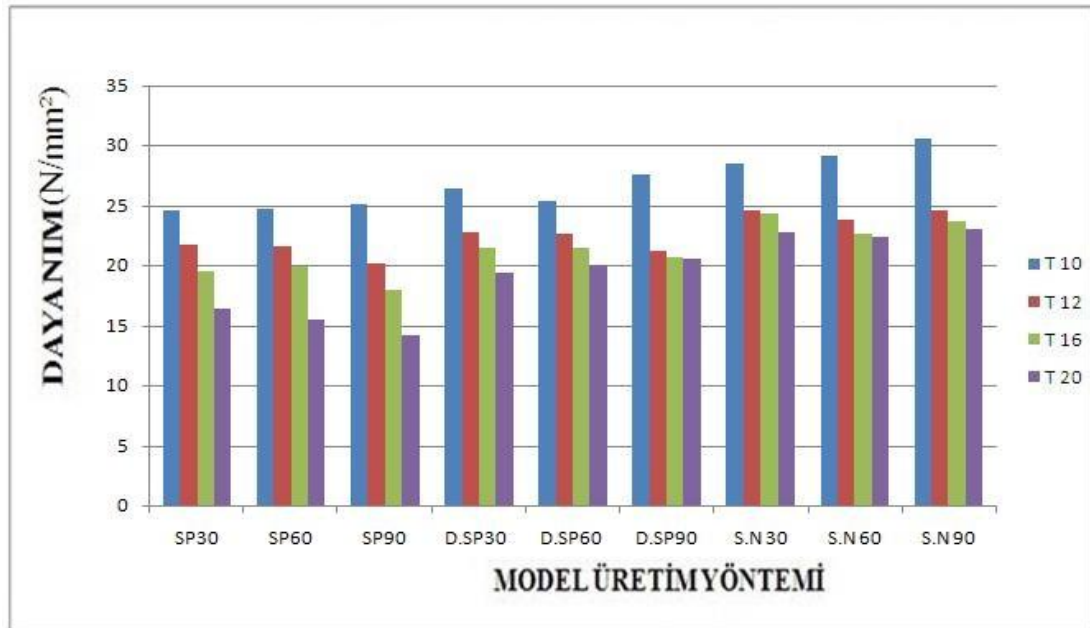
T10 uç tipi ve inşa yöntemi olarak Sparse (tek yönlü yapı) incelendiğinde, inşa açısının % uzamaya etkisi görülmektedir. Bu incelemede inşa açısı  $30^\circ$  olan modellerin % uzama değerlerine bakıldığında, diğer modellere göre % uzamasının daha yüksek görülmektedir. Bunun sebebi de uç tipi ve inşa yönteminin inşa açısına etkisi olarak gösterilebilir.

### 5.7. Model Dayanımı

HPÜ yöntemlerinde üretim süresinin hızlı olması kadar dayanımının da yüksek olması gerekmektedir. HPÜ sistemlerinde üretilen modellerin her türlü dış etkiye dayanması istenmektedir. Bunlar toz, kir, titreşim ve her türlü yük olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çizelge 5.7. Üretilen parçaların dayanım değerleri

Ölçüm yapılan model	Dayanım (N/mm <sup>2</sup> )	Ölçüm yapılan model	Dayanım (N/mm <sup>2</sup> )	Ölçüm yapılan model	Dayanım (N/mm <sup>2</sup> )
T10SP30	24,60	T10SP60	24,80	T10SP90	25,20
T10DS30	26,50	T10DS60	25,40	T10DS90	27,60
T10SN30	28,50	T10SN60	29,23	T10SN90	30,58
T12SP30	21,81	T12SP60	21,7	T12SP90	20,22
T12DS30	22,82	T12DS60	22,74	T12DS90	21,27
T12SN30	24,60	T12SN60	23,90	T12SN90	24,68
T16SP30	19,58	T16SP60	20,01	T16SP90	18,08
T16DS30	21,46	T16DS60	21,49	T16DS90	20,75
T16SN30	24,31	T16SN60	22,73	T16SN90	23,73
T20SP30	16,40	T20SP60	15,60	T20SP90	14,30
T20DS30	19,50	T20DS60	20,15	T20DS90	20,60
T20SN30	22,76	T20SN60	22,48	T20SN90	23,07



Şekil 5. 11. Model dayanım grafiği

Harç yığıma yöntemi ile üretilen modellere ait dayanım grafiği incelendiğinde, Solid Normal(sık tek yönlü yapı) inşa yapıları modellerin dayanımları diğer inşa yöntemlerine göre yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek dayanımı gösteren model T10SN90 (30,58 N/mm<sup>2</sup>) modeli olarak görünmekte en düşük dayanımı T20SP90 (14,30 N/mm<sup>2</sup>) modelinde görülmektedir. Bunun sebebi de, uç tipinin ve inşa yönteminin ve inşa açısının dayanım etkisi olarak karşımıza çıkmaktadır.

İnşa işlemlerine göre Sparse(tek yönlü yapı) dayanım en az olan modellerdir. En yüksek dayanımı gösteren modeller ise, Solid Normal (sık tek yönlü yapı) inşa yapısında görülmektedir. Bunun sebebi olarak, Solid Normal (sık tek yönlü yapı) inşa yapısının sık olması, Sparse (tek yönlü yapı) inşa yapısının daha seyrek olması gösterilebilir.

Uç tiplerinin dayanıma etkisi büyüktür. T10 uç tipi ile üretilen modellerin dayanımları yüksek sırası ile T12, T16 ve T20 uç tipine doğru azalmaktadır. T10 uç tipi ile üretilen modellerin dayanımlarının yüksek olmasının sebebi katman kalınlığının sık olması olarak gösterilebilir. Katman kalınlığı T10 uç tipinden T20 uç tipine doğru sıklığı azalmaktadır.

İnşa açısı 60° olan modeller en yüksek dayanıma sahiptir. Bunu sırası ile inşa açısı 30° ve 90° olan modeller izlemektedir. Bunun sebebi ise katman kalınlığı ve inşa yönteminin sıklığı ile izah edilebilir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, karmaşık yapıdaki parçaların üretilebilirliğinin hızlı prototipleme tekniği kullanılarak incelenmesi kapsamında, üzerinde karmaşık yapılar taşıyan bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modelin harç yığıma HPÜ teknolojisine sahip Dimension 3D Printer cihazı ile inşa işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu cihazda inşa edilen modeller üretilebilirlik, ölçü tamlığı, yüzey hassasiyeti, yüzey pürüzlülüğü, üretim zamanı, % uzama, dayanım kriterleri açısından laboratuvar şartlarında test ve analiz edilmiştir. Bu test ve analizler sonrası elde edilen bilgiler tartışılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Harç Yığıma Tekniğinde ölçü tamlığı ve yüzey kalitesinde en iyi sonuca T10 uç tipi ve Solid Normal (sık tek yönlü yapı) inşa yapısı ile ulaşılmıştır (0,04 mm. ). T20 uç tipi ve Double Sparse (çift yönlü yapı) inşa yapısı ile ölçü tamlığı ve yüzey kalitesi yönünde en kötü sonuçlara ulaşılmıştır (0,40 mm.) Bunun nedenlerinden bir tanesi, T10 uç tipi ile üretilen modellerin katman kalınlıklarının daha sık olduğu diğer uç tiplerinde ise, katman kalınlıklarının daha seyrek olduğudur. Diğer bir nedense Solid Normal(sık tek yönlü yapı) inşa yapısının diğer inşa yapılarına göre daha sık bir inşa yapısına sahip olmasıdır.
- Harç Yığıma Tekniğinin, maliyet ve işleme süresi açısından değerlendirildiğinde, işleme süresi uzun olan modellerin maliyeti de doğru orantılı olarak artmaktadır. Maliyet açısından en ucuz modeller T20 uç tipi ile üretilen modellerdir ( 80,00 TL). En pahalı maliyet ise, T10 uç tipi ile üretilen modellerde görülmektedir ( 410,00 TL). T20 uç tipi ile üretilen modellerin katman kalınlıklarının seyrek olması ve daha kısa zamanda üretiliyor olması, T10 uç tipi ile üretilen modellerin katman kalınlıklarının sık olması ve üretimin daha fazla zaman alması ile açıklanabilir.



- Harç Yığıma Tekniğinde modelin yüzey kalitesi arttıkça üretim süresi ve maliyeti de artmaktadır. Harç Yığıma Tekniği ile üretilen modelin piyasada kullanım alanına göre modelin üretim süresi ve maliyeti de değişmektedir. Tıp alanında kullanılan modellerin yüzey kalitesi yüksek olmalıdır. Bu sebeple üretim süresi ile birlikte maliyetlerin de yüksek olacağı açıktır. Mimari alanda kullanılan modellerin kalitelerinin yüksek olmasına gerek yoktur. Üretim süreleri ve maliyetlerin bu nedenle düşüktür.
- Modeller üzerindeki unsurların fazlalığı, model üretim süresini ve maliyetini arttırmaktadır. Unsurların inşası için, inşa işlemini gerçekleştiren uç tipinin daha fazla döngü yapması gerekmektedir. Bu nedenle model üretim süresi ve maliyeti unsur fazlalığına göre değişmektedir.
- Harç Yığıma Tekniği, dayanım açısından değerlendirildiğinde T10 uç tipi ve Solid Normal (sık tek yönlü yapı) inşa yöntemi en dayanıklı model inşa işlemi olarak görülmektedir (30,58 N/mm<sup>2</sup>). Dayanım açısından en zayıf modeller T20 uç tipi ile Sparse (tek yönlü yapı) inşa yöntemi ile yapılan modellerde görülmektedir (14,50 N/mm<sup>2</sup>). Bunun nedeni ise, uç tipinden dolayı katman kalınlığının( z ) sıklığı ve inşa tipinden dolayı inşa yapısının (x,y ) sıklığı olarak görülmektedir.
- Model üretim işleminde modelin ticari alanda doğrudan kullanımı veya modelin sadece tasarım yapılan sistemi denemek amacı ile yapılmasına göre dayanım özelliklerine göre inşa tipleri belirlenebilir. Ticari alanda doğrudan kullanılan modelin sürekli çalışmasından dolayı bir takım yüklere maruz kalmaktadır. Bu yüklere dayanması için modelin güçlü olması gerekmektedir. Tasarlanan sistemleri denemek için güçlü modellere gerek yoktur. Bunlar için inşa dayanımı zayıf modeller kullanılabilir.
- Üretimdeki zaman artışı, maliyet artışına da sebep olmaktadır. Üretim zamanını belirleyen model üzerindeki unsurların fazlalığı , zorluğu ve üretim tipleri çeşitleridir. Maliyeti etkileyen diğer unsurlar da üretimde kullanılan işçilik, hammadde, cihaz giderleri olarak yer almaktadır.

Deneyleerde elde edilen sonuçlara göre yapılabilecek diğer çalışmaları geliştirmek için aşağıdaki öneriler değerlendirilebilir.

- Harç Yığma Yönteminde kullanılan bilgisayar programı geliştirilerek, farklı inşa tipleri kullanılarak aynı model üzerindeki farklı inşa yapılarının üretilmesi araştırılabilir.
- Prototip üretiminde HPÜ sistemlerinin uygunluğu, kullanım alanlarına göre, değerlendirilebilir. Tıp , mimari, Sanat gibi alanlara göre hangi tip HPÜ yönteminin kullanılması gerektiğini deneyleerde değerlendirilebilir.
- HPÜ sistemlerinde model üretimini daha verimli hale getirebilmek için farklı hammadde ve destek malzemesi kullanılarak, modelin dayanımı, maliyeti, üretim süresi araştırılabilir.
- Destek malzemesi ve geometrisinin değerştirilerek daha az destek malzemesi ile modelin yapısal bütünlüğünün korunması araştırılabilir.
- HPÜ sistemlerinin girdisi olan CAD modellerinin HPÜ cihazlarına aktarımında kullanılan ara yüz formatının geliştirilmesi veya ara yüz formatının( STL-Stereo Lithography ) kaldırılarak CAD modelinin doğrudan HPÜ cihazlarına aktarımı çalışılabilir.
- Harç Yığma Yöntemi ile yapılan bu çalışmanın yanında, diğer HPÜ sistemleri ( Işıkla Kür, Toz Bağlama, Tabaka Yığma) ile karmaşık modellerin üretilbilirliği çalışılabilir.
- Harç Yığma Yönteminde kullandığımız ABS dışında diğer farklı malzemeleri ( ABSi, ABS-M30, ABS-M30i, PC-ABS, PC/PC-ISO , PPSF, Ultem 9085 ) kullanılarak, bunların modeldeki unsurların eksiksiz çıkmasına olan etkisi çalışılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Özüğür, B., ‘ Hızlı Prototipleme Teknikleri İle Kompleks ve mikro Yapıdaki Parçaların Üretilirliklerinin Araştırılması’, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Ana Bilim Dalı**, Ankara, 32-144(2002).
2. 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),
3. 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).
4. Jacobs, P. F., “Rapid Prototyping & Manufacturing: Fundamental of StereoLithography, First Edition”, ISBN:0-07-032433-6, **Society of Manufacturing Engineers McGraw-Hill Inc.**, Dearborn, Michigan, 1-434 (1992).
5. 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).
6. Kruth, J.P., “Materials Incess Manufacturing by Rapid Prototyping Techniques”, **Annals of the CIRP**, Paris, 41 (1991).
7. Renap, K., Kruth, J.P., “Recoating Issues in StereoLithography”, **Rapid Prototyping Journal, MCB University Press**, 1(3):4-16 (1995).
8. Ippolito, R., Luliano, L., Gatto, A., “Benchmarking of Rapid Prototyping Techniques in Terms of Dimensional Accuracy and Surface Finish”, **Annals of the CIRP**, Paris, 44 (1995).
9. İnternet: Türkiye'deki CAD/CAM ve imalat Teknolojileri, “Oto-İnşa Teknolojileri ”, <http://www.turkcadcam.net/rapor/otoinsa/index.html> (2005).
10. 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).
11. İnternet: Osaka University, <http://lasie.ap.eng.osaka-u.ac.jp/whatslasie.html> (2001).

12. Bertsch, A. B, P. Vogt, C. Renaud, P. “Rapid prototyping of small size objects”, ***Rapid Prototyping Journal, MCB University Press***, Edinburgh, 6(4):259-266 (2000).
13. Internet: “Microstereolithography” , <http://dmtsun.epfl.ch/~abertsch/album.html> (2000).
14. Burns, M ., “Automated Fabrication: Improving Productivity in Manufacturing”, ISBN 0-13-119462-3, ***Prentice Hall***, Los Angeles, California, 140-369 (1993).
15. Springer, A.M., “Application of Rapid Prototyping Methods to 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).
16. Hopkinson, N. , Dickens, P., “Rapid Prototyping for Direct Manufacture”, ISSN 1355-2546, ***Rapid Prototyping Journal, MCB University Press Limited***, Edinburgh, 7(4):197-202 (2001).
17. Crump, S.S., “Direct Rapid Manufacturing With Real Production Plastics Using Fused Deposition Modelling (FDM)”, ***Presented at the 4th annual EuroRapid Conference***, Frankfurt, 354-357 (2002).
18. Knitter, R. , Bauer, W. Göhring, D., Risthaus, P., “Rapid Prototyping Process Chains for Ceramic Microcomponents”, ISSN 1355-2546, ***Rapid Prototyping Journal, MCB University Press Limited***, Edinburgh, 8(2):76-82 (2002).
19. Stucker, B., Xiuzhi, Q., “A Finish Machining Strategy for Rapid Manufactured Parts and Tools”, ISSN 1355-2546, ***Rapid Prototyping Journal, MCB University Press Limited***, Edinburgh, 9(4):194-200 (2003).
20. Bellini, A., Güçeri, S., “Mechanical Characterization of Parts Fabricated using Fused Deposition Modeling”, ISSN 1355-2546, ***Rapid Prototyping Journal, MCB University Press Limited***, Edinburgh, 9(4):252-264 (2003).
21. Evans, A.M. Campbell, I.A. A., “Comparative Evaluation of Industrial Design Models Produced Using Rapid Prototyping and Workshop-based fabrication Techniques”,ISSN 1355-2546, ***Rapid Prototyping Journal, MCB University Press Limited***, Edinburgh, 9(5):344-355 (2003).
22. Guancghun, W., Huiping, L., Yanjin, G., Guoqun, Z., “A Rapid Design and Manufacturing System for Product Development Applications”, ISSN 1355-2546 ***Rapid Prototyping Journal, Emerald Group Publishing Limited***, 10(3):200-206 (2004).

23. Mahesh, M., Wong, Y.S., Fuh, Y.H., Loh, H.T., “Benchmarking for Comparative Evaluation of RP System and Process”, ISSN 1355-2546, **Rapid Prototyping Journal, Emerald Group Publishing Limited**, 10(2):123-135 (2004).
24. Li, W., Xu, S., Zhao, G., “Manufacturable surface reconstruction from complex contours”, ISSN 1355-2546, **Rapid Prototyping Journal, Emerald Group Publishing Limited**, 10(2):114-122 (2004).
25. Zhengyu, Z. Yucheng, D., Jun, H., “A New Hollowing Process for Rapid Prototype Models”, ISSN 1355-2546 **Rapid Prototyping Journal, Emerald Group Publishing Limited**, 10(3):166-175 (2004).
26. Grimm, T., “User’s Guide to Rapid Prototyping”, **Society of Manufacturing Engineers**, USA, 24-345 (2004).
27. İnternet: ARPTECH, “Rapid Prototyping Specifications” <http://www.arpotech.com.au/specs.htm> (2005).
28. Yağmur, L., “Hızlı İşleme Teknolojileri (Prototip – Kalıp Geçiş işlemleri)”, **İTÜ Makine Mühendisliği Fakültesi**, İstanbul, 1-6 (1997).
29. Uysal, H., “Hızlı Prototip Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilimdalı İmal Usulleri Programı**, İstanbul, 14-92 (2000).
30. Erten, M., Yağmur, L., ‘Hızlı Prototip Üretim Teknolojileri’, **Makine ve Metal Dergisi**, 67:76-97(1997).
31. Öztürk, O., ” Hızlı Prototipleme ve Üretim” , **DES&TECH Tasarım ve Teknoloji Dergisi**, 1:32-45(2003).
32. Ekşi, M., “Kalıplı İmalatta Hızlı Prototipleme Tekniği”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilimdalı, İmal Usulleri Programı**, İstanbul, 6-64 (2001).
33. 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).
34. İnternet: İstanbul Teknik Üniversitesi “Hızlı Prototip Üretim Teknolojileri” <http://www3.itu.edu.tr/~yagmur/makale/mak1/mak1.html> (2005).

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : KENDÜZLER, Harun Davut  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 18.05.1984 ANKARA  
Medeni hali : Evli  
Telefon : 0312 590 93 87  
e-mail : harundk@hotmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Makina Eğitimi	-
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Talaşlı Üretim Eğitimi	2005

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2008	Moonlight Aydınlatma San.Tic.A.	Cad/Cam uzmanı
2008- -	Tübitak-Sage	Uzman Yardımcısı

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, yüzme