

**T.C.
MİMAR SİNAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ ÜRÜNLERİ TASARIMI ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ ÜRÜNLERİ TASARIMI YÜKSEK LİSANS TEZİ**



**PROTOTİPLEME TEKNOLOJİLERİNİN ÜRÜN
TASARIMINA ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan AĞAR

DANIŞMAN : Prof.Dr.Cemil TOKA

Ocak 2008

**T.C.
MIMAR SINAN FINE ARTS UNIVERSTY
INSTITUTE OF SCIENCE
INDUSTRIAL DESIGN MAINCOURSE
INDUSTRIAL DESIGN SECTION MASTER DEGREE THESIS**



**THE EFFECTS OF PROTOTYPING TECHNOLOGIES ON
PRODUCT DESIGN**

Master Thesis By

Hasan AĞAR

SUPERVISOR : Prof.Dr.Cemil TOKA

January 2008

Hasan Ağar tarafından hazırlanan “PROTOTİPLEME TEKNOLOJİLERİNİN ÜRÜN TASARIMINA ETKİLERİ” adlı bu tezin tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

.....
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Anabilim dalında
..... tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Bu tez, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
KISALTIMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
TABLO LİSTESİ.....	xiv
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç.....	1
1.2 Kapsam ve Önem.....	1
1.3 Yöntem.....	2
2 PROTOTİPLEME TEKNOLOJİLERİNİN ARAŞTIRILMASI.....	3
2.1 Bilgisayarlı Prototipleme.....	4
2.1.1 Bilgisayarlı Prototipleme Teknolojilerinde Tanımlar.....	6
2.1.2 Bilgisayarlı Prototipleme Teknolojilerinin Tarihçesi.....	15
2.1.3 Bilgisayarlı Prototipleme Teknolojilerinde Rakamlar.....	17
2.2 Çalışma Prensiplerine Göre Bilgisayarlı Prototipleme Teknolojilerinin Sınıflandırılması.....	19
2.2.1 Sıvı Temelli.....	19
2.2.2 Toz Temelli.....	21
2.2.3 Katı Temelli.....	22
2.3 Bilgisayarlı Prototipleme Teknolojilerinde kullanılan malzemeler.....	23
2.3.1 Plastik.....	23
2.3.2 Metal.....	23
2.3.3 Seramik.....	24
2.3.4 Mum.....	24
2.3.5 Kağıt.....	25
2.4 Bilgisayarlı Prototipleme Teknolojilerinin Uygulama Sahaları ve Örnekler.....	26
2.4.1 Uygulama Sahaları.....	26
2.4.1.1 Ürün Tasarımı.....	26
2.4.1.1.1 Kütleli Prototip.....	26
2.4.1.1.2 Fonksiyonel Prototip İmalatı.....	28
2.4.1.2 İmalat ve Mühendislik.....	30
2.4.1.2.1 Kalıp İmalatı.....	31
2.4.1.2.2 Prototip İmalatı.....	32
2.4.1.2.3 Direkt İmalat.....	34

2.4.2	Örnekler.....	43
2.4.2.1	Endüstriyel Ürünler.....	43
2.4.2.1.1	Uçak Endüstrisi.....	45
2.4.2.1.2	Otomotiv Endüstrisi.....	47
2.4.2.1.3	Sağlık Sektörü.....	49
2.4.2.1.4	Mücevherat.....	51
2.4.2.2	Mimarlık.....	52
2.4.2.3	Sanat.....	53
3	SONUÇ.....	57
	KAYNAKLAR.....	58
	EKLER.....	60
	Ek 1 Sözlük.....	61
	ÖZGEÇMİŞ.....	62

ÖNSÖZ

Bu tezin kapsamında bilgisayarlı prototipleme teknolojileri araştırılmıştır. Tezimin konusunu oluşturan kavramlarla tanışmamı sağlayan Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi - Endüstri Ürünleri Tasarımı Yüksek Lisans programı öğretim üyelerine ve tezin hazırlanmasında çalışmalarımı özenle denetleyen, her türlü konuda yardım ve desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Cemil Toka'ya teşekkürü borç bilirim. Fikir alışverişinde bulunup bakış açımı genişleten arkadaşlarıma, tez boyunca yanımda olup destek veren eşim Kübra Ağar'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Bu çalışmada prototip imalatı ihtiyacını fonksiyonel açıdan daha etkin ve hızlı çözebilmek amacı ile geliştirilmeye başlanmış **bilgisayarlı prototipleme teknolojileri**, kullanım alanları ile birlikte ürün tasarımı kavramı açısından araştırılacaktır. Ürün tasarım sürecinde uygunluk testleri ve iyileştirme çalışmaları prototip modeller üzerinden yapılmaktadır. Pazara sunulan ürünlerin birbirinden farklı kullanıcılar tarafından değişik şartlar altında sağlıklı şekilde hizmet etmesi beklenir. Ürün geliştirme sürecinde, **prototipler** kullanılarak yapılan iyileştirme çalışmaları ve uygunluk testleri, kitlesel üretim mevcut olduğundan beri vazgeçilmez bir aşamadır. **Bilgisayarlı prototipleme teknolojileri**, bitmiş ürüne yakın fiziksel özellikler gösterebilen prototiplerin hızlı bir şekilde üretilebilmesi ihtiyacına cevap verebildiği için ortaya çıkmış ve hızla yayılan yeni sayılabilecek bir tekniktir.

Bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinin ilk patent örnekleri 1980 yılından itibaren ortaya çıkmıştır. Gelişen **bilgisayar teknolojileri** ve **malzeme bilimi** ile beraber 1990'lı yılların başlarından itibaren bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinin gelişimini kısıtlayan engeller hızlı bir biçimde ortadan kalkmaya başlamıştır. Sürekli gelişen hammadde teknolojisi ile plastik, seramik, metal ve alçılar gibi geniş bir malzeme yelpazesi kullanılabilir. Karmaşık yapıları geometrilerin, uygun teknik şartları karşılayabilen malzemeler ile tek aşamada üretilebilmesini sağlayan bilgisayarlı prototipleme teknolojileri, **prototip**, **üretim araçları** ve **nihai ürün üretimi** için kullanılmaktadır. Bu teknoloji ürün geliştirme sürecini hızlandırmakta ve dolaylı olarak maliyetleri aşağıya çekmektedir. Ayrıca karmaşık geometrik yapılardaki formları üretebilme yeteneği sayesinde, ürün tasarımı kavramı açısından yeni açılımlar doğurmaktadır.

Bu çalışmada bugün için en yaygın kullanılan **bilgisayarlı prototipleme teknolojileri** örnekleri, çalışma mantıkları açıklanarak incelenmektedir. Farklı tekniklerin, hangi uygulama sahalarında, ne amaçla kullanıldığı örnekleri ile beraber gözlemlenmektedir. Bu çalışmadan çıkan sonuçlar doğrultusunda, henüz yeni sayılabilecek bu teknolojinin **ürün tasarımına etkileri** tespit edilmiştir.

ABSTRACT

In this study computer aided prototyping technology; which has been developed to find a functional and efficient solution for the prototype manufacturing demand; will be examined with its application areas and product design concept. In the product design process compatibility tests and upgrade studies are being implemented on the prototype models. Reliable service of the products are being expected through the usage of those products in the market by the different consumers under different circumstances. Since the beginning of the mass production, compatibility tests and upgrades, which are done through prototypes, has become an indispensable phase. Computer aided prototyping technologies emerged as a result of the necessity of the production of the prototypes that show resemblance to the finished products and this technology can be considered as a rapidly growing and new technology.

The first patent samples of the computer aided prototyping technologies emerged in 1980. With the evolution of computer technologies and material science at the beginning of the 90's the obstacles that limit the development of the computer aided prototyping technologies has increasingly diminished. With the help of the constant developments in the raw material technology, wide range raw materials such as plastic, ceramic, metal and plaster can be used.

Computer aided prototyping technologies, which provides the production of the complex geometric shapes with the appropriate materials single stage; are used for prototypes, production tools and final production. This technology accelerates the product design process and lowers the costs indirectly. In addition to this, with its capability of manufacturing complex geometrical forms, this technology provides different aspects for product design concept .

In this study, computer aided prototyping technologies samples are being explained with their application. Different techniques application areas and their application purposes are observed with their examples. The results of this study point out the effects of this relatively new technology to the product design.

KISALTMA LİSTESİ

ABD		Amerika Birleşik Devletleri
ABS	<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>	Akrilonitrilin Butadien Stiroil
AR-GE		Araştırma Geliştirme
BDT		Bilgisayar Destekli Tasarım
CAD	<i>Computer Aided Design</i>	Bilgisayar Destekli Tasarım
CNC	<i>Computer Numerical Control</i>	Bilgisayarlı Nümerik Kontrol
EBM	<i>Electron Beam Melting</i>	Elektron Işınımla Eritme
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>	Eritilmiş Malzeme Yığma
HP	<i>Hewlett-Packard</i>	
LOM	<i>Laminated Object Manufacturing</i>	Katmanlı Obje Yapımı
PLT	<i>Paper Lamination Technology</i>	Kağıt Tabaka Teknolojisi
SCS	<i>Solid Creation System</i>	Katı Yaratma Sistemi
SGC	<i>Solid Ground Curing</i>	Katı Alan Kurutma
SL	<i>Stereolithography</i>	Stereolitografi
SLA	<i>Stereolithography Apparatus</i>	Stereolitografi Cihazı
SLS	<i>Selective laser sintering</i>	Seçici Lazer Sinterleme
SSM	<i>Slicing Solid Manufacturing</i>	Dilimli Katı Üretim
UV	<i>Ultraviolet</i>	Morötesi
MEM	<i>Melted Extrusion Modeling</i>	Eriterek Eksiltme Modellemesi
M-RPM	<i>Multi-Functional RPM Systems</i>	Çok Fonksiyonlu Hızlı Prototip Üretim Sistemleri
MIM	<i>Metal Injection Moulding</i>	Metal Enjeksiyon Kalıplama
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>	Massachusetts Teknoloji Enstitüsü
MJM	<i>Multi-Jet Modeling System</i>	Çok Püskürtmeli Modelleme Sistemi
3DP	<i>3D Printing</i>	Üç Boyutlu Yazma

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 2.1	Klasik ve bilgisayarlı prototipleme yöntemlerinin üretim sürecindeki safhalarının karşılaştırması (Chua, 1997)	3
Şekil 2.2	Graptec firmasına ait XD700 model Bilgisayarlı Prototipleme makinesi ile tek seferde imal edilmiş bir İngiliz anahtarı (Dean, 2004)	5
Şekil 2.3	Carl R. Deckard tarafından SLS prensibi için alınan ilk patent (Patent no: 4863538) [2]	7
Şekil 2.4	SLS tekniği [2]	7
Şekil 2.5	Scott Crump tarafından FDM prensibi için alınan ilk patenti (Patent no: 5121329) [2]	8
Şekil 2.6	FDM tekniğini anlatan şema [2]	9
Şekil 2.7	Charles W. Hull tarafından SLA prensibi için alınan ilk patent (Patent no: 4575330) [2]	10
Şekil 2.8	Stereolitografi [2]	10
Şekil 2.9	LOM tekniğini anlatan şema [2]	11
Şekil 2.10	LOM prensibi ile üretilmiş bir kütleli prototip ve destek parçalarının temizlenme safhası [20]	12
Şekil 2.11-a	3D CAD verisi [20]	12
Şekil 2.11-b	Katmanlar halinde elektron ışınıyla inşa yöntemi [20]	12
Şekil 2.11-c	Bu yöntemle inşa edilmiş metal parça [20]	13
Şekil 2.12	MIT'ne ait 3DP prensibi için alınan ilk patenti (Patent no: 5204055) [2]	13
Şekil 2.13	3DP tekniğini anlatan şema [2]	14
Şekil 2.14-a	Bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinin kullanım amaçlarına göre rakamsal karşılaştırmaları [22]	17
Şekil 2.14-b	2004 senesinde ülkelere göre satılan ve kurulan bilgisayarlı prototipleme makineleri [22]	17
Şekil 2.14-c	1998 ve 2003 yılları arasında bilgisayarlı prototipleme makineleri ile üretilmiş parça sayıları [22]	18

Şekil 2.15	25 yıllık periyot arasında ürün karmaşıklığı ve üretim süreci arasındaki bağıntı (Chua ,1997)	18
Şekil 2.16	3D Systems firması tarafından ticari olarak sunulan ilk SLA sistem [20]	20
Şekil 2.17-a	Yeni geliştirilen bir telefon cihazı [20]	20
Şekil 2.17-b	Veri üzerinden üretilmiş fonksiyonel bir prototip parça gövdesinin bilgisayar görüntüsü [20]	20
Şekil 2.17-c	Destek malzemelerin temizlenme işlemi [20]	20
Şekil 2.18	SLA teknolojisi ile üretilmiş bir örnek [6]	20
Şekil 2.19-a	Mum malzemeden imal edilmiş bilezik [20]	25
Şekil 2.19-b	Gümüş döküm sonrasındaki hali [20]	25
Şekil 2.19-c	Beyaz altından dökülen bilezik [20]	25
Şekil 2.20	Kağıt yığma teknolojisi ile üretilmiş bir örnek [20]	25
Şekil 2.21	Arçelik firmasından Telve isimli ürün için alınmış Stratasys Dimension firmasının FDM prensibi ile çalışan Bilgisayarlı Prototipleme teknolojisi ile alınmış bir kütleli prototip örneği [20]	26
Şekil 2.22	Telve isimli ürün için daha ilerki safhalarda alınmış bir prototip örneği [20]	27
Şekil 2.23	3D Systems firmasına ait FDM prensibi ile üretim yapan In Vision serisi bir makine ile üretilmiş prototip örneği [15]	27
Şekil 2.24	Fonksiyonel bir alışveriş arabası prototipi [15]	28
Şekil 2.25	Zcorp firması tarafından 3DP tekniği ile direkt renkli üretilmiş kütleli bir prototip demosu [23]	28
Şekil 2.26-a	Fonksiyonel bir parça, Firma: Bell & Howell [15]	29
Şekil 2.26-b	Ürün üzerinde takılmış ve kullanıma hazır FDM ile üretilmiş, Firma: Bell & Howell [15]	29
Şekil 2.27	Alligator Lopper, Firma: Black & Decker [15]	29
Şekil 2.28-a	Bir el süpürmesine ait prototip parçaları, Firma : Black & Decker [15]	30
Şekil 2.28-b	Süpürgenin kendisi , Firma : Black & Decker [15]	30
Şekil 2.29-a	Aracın kendisi, Firma : Shiyuki Hayashi [15]	30
Şekil 2.29-b	Aracın fren lambası Firma : Shiyuki Hayashi [15]	30
Şekil 2.30-a	Karmaşık soğutma kanallarına sahip elektrik süpürgesi kalıp bilgisayar verisi [8]	31

Şekil 2.30-b	Elektrik süpürgesi kalıbı ve bu kalıptan üretilmiş plastik parça [8]	31
Şekil 2.31-a	Bilgisayarlı prototip makinası ile üretilmiş metal kalıplardan örnekler, Firma: EOS [15]	32
Şekil 2.31-b	SLS sistemi ile üretilmiş bir kalıp ve bu kalıptan çıkmış plastik parça, Firma: EOS [15]	32
Şekil 2.32-a	Bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinde kullanılan malzemelerin ısıl sapma testleri [15]	33
Şekil 2.32-b	Bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinde kullanılan malzemelerin ısıl genleşme testleri [15]	33
Şekil 2.33	Altı silindirli bir motor prototipine ait egzoz manifoldu [15]	34
Şekil 2.34	BMW marka araca ait M3 model logosunun, montaj sırasında hızlı ve doğru yere takılabilmesi için üretilmiş bir el aracı [9]	35
Şekil 2.35	Umicar şirketine ait güneş enerjisi ile çalışan araç [15]	35
Şekil 2.36	Tekerleklerde kullanılan FDM ile üretilmiş kapaklar [15]	36
Şekil 2.37	FDM ile üretilmiş tekerlek yuvaları [15]	36
Şekil 2.38	Oturma elemanı [15]	36
Şekil 2.39	Testler uygulanırken bir sporcu [15]	37
Şekil 2.40	Aydınlatma elemanı, fiyat 739 € (Quin Sconce, MGX) [14]	38
Şekil 2.41	Dekorasyon elemanı, fiyat 341 € (Black Honey, MGX) [14]	38
Şekil 2.42	Aydınlatma elemanı, fiyat 500 € (Chaos, MGX) [14]	38
Şekil 2.43	Dekorasyon elemanı, fiyat 1.183 € (MGX) [14]	38
Şekil 2.44	MGX stand fotoğrafı [14]	39
Şekil 2.45	Taşınabilir müzik çalar için çanta [10]	39
Şekil 2.46	Karmaşık geometrili bir aydınlatma [10]	40
Şekil 2.47	Tekstil ürünleri için dokuma yapısı çeşitleri [10]	40
Şekil 2.48	Çanta [10]	41
Şekil 2.49	Çantalar için zincir aksesuarı [10]	41
Şekil 2.50	Boşlukta parmak uçlarıyla hayali çizgiler oluşturan tasarımcılar [11]	42
Şekil 2.51	Hacimli çizgilerden oluşan sonuç obje çıktıları [11]	42
Şekil 2.52-a	Yangın dedektörünün bitmiş hali [13]	43
Şekil 2.52-b	Yangın dedektörünün açınım görünümü [13]	43
Şekil 2.53	Çim kesme makinesine ait fonksiyonel prototip parçaları, Firma: Bosch [15]	44
Şekil 2.54-a	Hyundai konsol prototipi [19]	44
Şekil 2.54-b	Hyundai konsolun bitmiş hali [19]	44

Şekil 2.55	Boeing firmasına ait uçuş simülatörü kontrol kolu parçaları [15]	45
Şekil 2.56	Askeri hava aracı kanal parçaları [15]	45
Şekil 2.57	Bir savaş uçağında kullanılan FDM teknolojisi ile üretilmiş parçaları gösteren illüstrasyon [15]	46
Şekil 2.58	Bir arayüz parçası [15]	46
Şekil 2.59	EBM tekniği ile üretilmiş fonksiyonel titanyum parçalar [15]	46
Şekil 2.60	Bazı fonksiyonel metal parçaları SLS yöntemi ile üretilmiş VW firmasına ait spor araç prototipi [15]	47
Şekil 2.61	Direkt metal sinterleme yöntemi ile üretilmiş vites kolu [15]	48
Şekil 2.62	Polikarbonat malzemedan üretilmiş motor prototipi [15]	48
Şekil 2.63-a	STL'den önceki santrifüj örneği [15]	49
Şekil 2.63-b	STL ile üretilmiş santrifüj örneği [15]	49
Şekil 2.64	FDM parçalara sahip bir başka santrifüj makinesine örnek [17]	49
Şekil 2.65-a	İlaç kapsülleri [20]	50
Şekil 2.65-b	3DP tekniği ile çalışan ilaç kapsülleri üretim makinesi [20]	50
Şekil 2.66-a	Macun model [12]	50
Şekil 2.66-b	Sayısal model [12]	50
Şekil 2.66-c	Bitmiş ürün [12]	50
Şekil 2.67	Mum malzemedan hazırlanmış yüzük modelleri [21]	51
Şekil 2.68	%20 mum içeren malzeme üretilmiş yüzük modelleri mum döküm ağacına ve hassas döküm ile elde edilmiş sonuç ürün [20]	51
Şekil 2.69	3DP teknolojisi ile üretilmiş mimari proje örnekleri [15]	52
Şekil 2.70	SLA teknolojisi ile üretilmiş mimari proje örneği [15]	52
Şekil 2.71	SLS teknolojisi ile üretilmiş mimari proje örneği [15]	52
Şekil 2.72	SLS teknolojisi ile üretilmiş mimari proje örneği [1]	53
Şekil 2.73	Bathsheba Grossman'a ait Antipot heykeli [4]	53
Şekil 2.74	Bathsheba Grossman'a ait Nexus heykeli [4]	54
Şekil 2.75	Bathsheba Grossman'a ait matematiksel geometrik formu anlatan The Gyroid heykeli [4]	54
Şekil 2.76	David Morris'e ait Little Napoleon isimli çalışma [16]	55
Şekil 2.77	Brian Taylor'a ait Rustboy isimli karakter [24]	55
Şekil 2.78-a	Bir bilgisayar verisi [5]	56
Şekil 2.78-b	Verinin FDM ile üretilmiş parçaları [5]	56
Şekil 2.78-c	Bu parçaların birleştirilmiş hali [5]	56
Şekil 2.78-d	Bronz kaplama uygulanmış hali [5]	56

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 2.1	Bilgisayarlı Prototip üst başlığı altında bahsedilen teknikler [21]	6
Tablo 2.2	Bilgisayarlı prototipleme ve ilgili teknolojilerin tarihsel gelişimi (Koren, 1983), (Hecht, 1992), (Taraman, 1982)	16
Tablo 2.3	<i>Motor Company</i> tarafından aynı parçanın klasik ve bilgisayarlı prototipleme yöntemleri ile üretiminin zaman ve mali karşılaştırması (Hilton, Jacobs, Dekker, 2000)	19

1. GİRİŞ

1.1 Amaç

Bu araştırmanın amacı ürün tasarım, geliştirme ve üretim süreçlerinde son yıllarda yaygın bir biçimde kullanılan, kapsam olarak **bilgisayar destekli eklemeli yapım** olarak kısıtlandırılarak, "**bilgisayarlı prototip**" sistemlerini incelemektir. Bilgisayarlı prototip teknolojileri endüstri için yeni sayılabilecek birçok sistem içermektedir. Bu sistemlerin birçoğu benzer işler için kullanılsalar bile, teknik olarak birbirlerinden oldukça farklıdır. Ancak hepsi temelde **katmanlı üretim** mantığı çerçevesinde işlemektedirler. Son yıllarda hızlı bir şekilde kullanım oranları ve alanları artan bu yeni sayılabilecek teknolojiler için birçok tanım ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada en çok kullanılan ve tercih edilen tanımlardan bahsedilmiştir.

Yaygın bir biçimde kullanılan kabul görmüş olan prototip sistemlerinin çalışma prensiplerini ve kullanılan malzeme çeşitleri araştırılmıştır. Bilgisayarlı prototip sistemlerinin, diğer prototip tekniklerine nazaran fayda ve avantajlarını ürün tasarım sürecindeki prototip ve kalıp ihtiyacına yönelik olarak nasıl kullanıldığını, teknolojileri ve sonuç örnekleri ile birlikte incelenmiştir.

Araştırmanın amacı, 18 sene gibi kısa bir geçmişe sahip olmasına rağmen bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinin bugün endüstrilerde kendine yaygın bir yer edinmiş olmasının sebeplerini; teknolojilerini ve uygulama sahalarını detaylı bir şekilde inceleyerek örneklerle tespit etmektir. Bu tespitler doğrultusunda **ürün tasarım ve geliştirme** süreçlerine olan faydalarını ortaya çıkartmak amaçlanmıştır.

1.2 Kapsamı ve Önem

Araştırmanın kapsamı katı bir bilgisayar modelinden aldığı dijital datalar doğrultusunda **katmanlı üretim** prensibi ile fiziksel olarak modeli direkt oluşturan **bilgisayarlı prototipleme sistemleridir**. Bu sistemler hakkındaki yaygın tanımları ve kavramları "**Bilgisayarlı Prototipleme Teknolojilerinde Tanımlar**" başlığı altında incelenmiştir.

Bu araştırma boyunca katmanlı üretim prensibi ile çalışan sistemleri, **bilgisayarlı prototipleme sistemleri** olarak tanımlanmaktadır. El işçiliğiyle katmanlı prensipte üretilen prototip teknikleri ve ürünün geometrik yapısını bir bilgisayar modeline bağlı olarak, oyarak veya delerek üreten CNC sistemler çalışmamızın dışında kalacaktır.

Bilgisayarlı prototip üretim metodunun direkt ürün veya kalıp üretimi konusunda kullanılan örnekleri hakkında "**eklemeli yapım**" tanımını kullanılmaktadır.

Bu araştırma; yeni sayılabilecek bu teknolojinin, kendine imalat sektöründe hızla yer bulması açısından ve gelecekte başlıbaşına ayrı bir olası imalat tekniği olabileceğinin sebepleri ve nedenlerini gösteren örneklerin tek bir araştırma kapsamı altında toplanması ve **ürün tasarımına etkilerinin** incelenmiş olması açısından önem teşkil etmektedir.

1.3 Yöntem

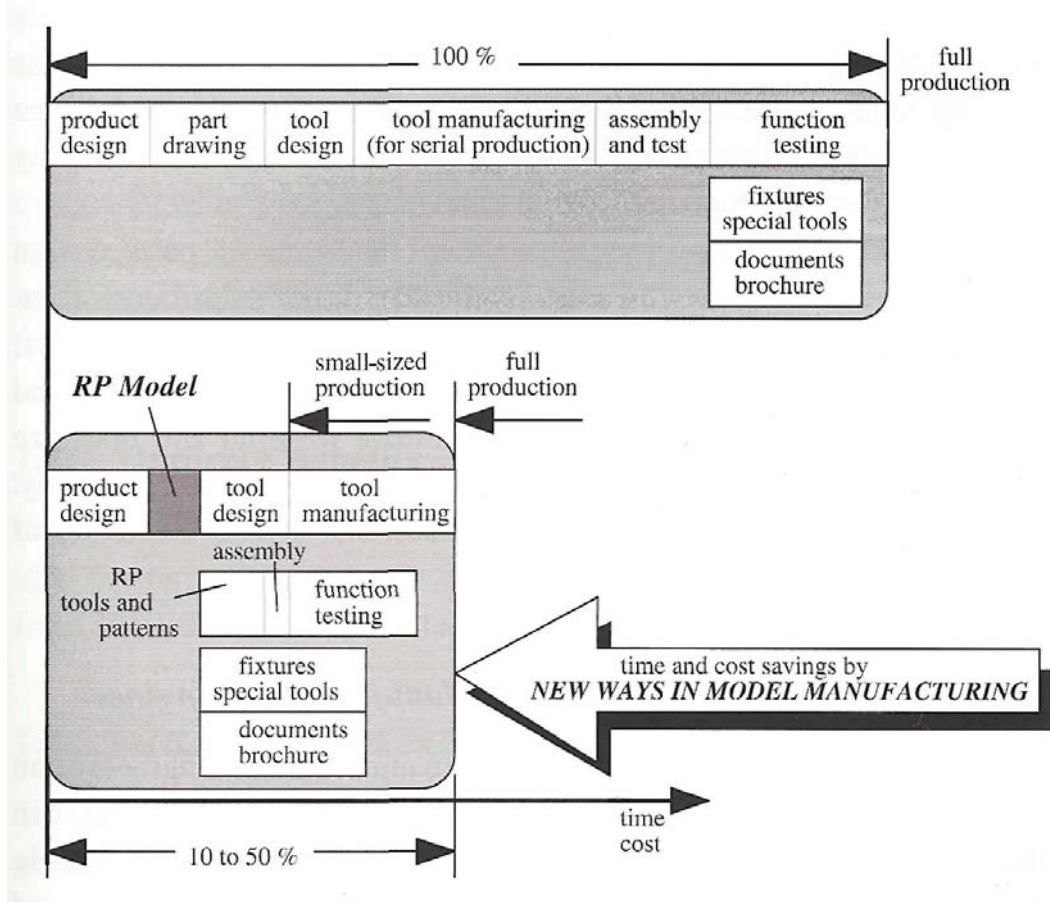
- Öncelikle konu ile ilgili **tanımlar** araştırılmış, **uzman görüşlerine** başvurulmuş ve konunun incelenebileceği örnekler bulunarak araştırmalara başlanmıştır. Araştırma sırasında kullanılan terimler tanımlanarak sınırlandırılmıştır.
- Literatür ve İnternet taramaları sonucunda bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinin bugün endüstrilerde kendine yaygın bir yer edinmiş olduğu saptanmış ve bununla ilgili gerekli teknolojik araştırmalar yapılmıştır.
- Bu **teknolojide kullanılan malzemeler** araştırılmış, internet taramaları yapılmış **uygulama sahaları** incelenmiştir.
- Konuyla ilgili genel çerçeveyi çizecek olan; **bu hizmetleri veren firmalara** bizzat gidilerek bilgi edinilmiştir. Toplanan bilgiler belirli bir hiyerarşi ile sunulacak ve en sona doğru verilen **örneklerle** pekiştirileceği düşünülmüştür.
- Bütün bu araştırma konusunda ortaya konan veya tespit edilen çıkarımlar ürün tasarımı ve geliştirme kapsamı altında yorumlanacaktır.

2. PROTOTİPLEME TEKNOLOJİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Prototip: 1. İlk örnek, 2. Model. [18]

Prototip, yeni veya olan bir ürünün ilk orjinal örneğidir. Bir model veya ön uyarlamadır. Bu çok genel tanım ürün geliştirme sürecinde yapılan bütün türleri kapsar.

Ürün geliştirme sürecinde prototipler; fonksiyonel, kütleli ve teknik prototipler olarak üç farklı amaç için sınıflandırılabilir. Nihai üretime geçmeden önce bütün kusurların giderilmesi ve teknik olarak ürünün uygun fonksiyonları yerine getirebilmesi için testler uygulanması gerekmektedir. Bilgisayarlı prototip sistemlerinde üretilen prototipler, direkt katı bilgisayar modeli verisine bağlı kalarak birebir üretilebildiklerinden dolayı fonksiyonel testlerdeki tepkileri ve geometrik biçimleri son ürüne çok yakındır. Bu imkan ürün geliştirme süreci için ardarda uygulanan safhaları azaltmakta, süreci kısaltmakta ve dolaylı olarak maliyetleri düşürmektedir. Fiziksel prototipler, ürün gelişme sürecinin önemli ve hayati bir parçasıdır (Chua, 1997).



Şekil 2.1 Klasik ve bilgisayarlı prototipleme yöntemlerinin üretim sürecindeki safhalarının karşılaştırması (Chua, 1997)

Gelişen malzeme ve işleme teknolojisi ile beraber prototipleme sistemleri bugün direkt imalatta kullanılabilecek kalıp üretimi için yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Kalıp imalatında dolaylı veya direkt olarak iki şekilde kullanımı mevcuttur. Bilgisayarlı prototipleme sistemleri ile parçaya ait fiziksel model üretilerek, o model üzerinden kalıp çıkartılabilir veya kalıp direkt üretilir.

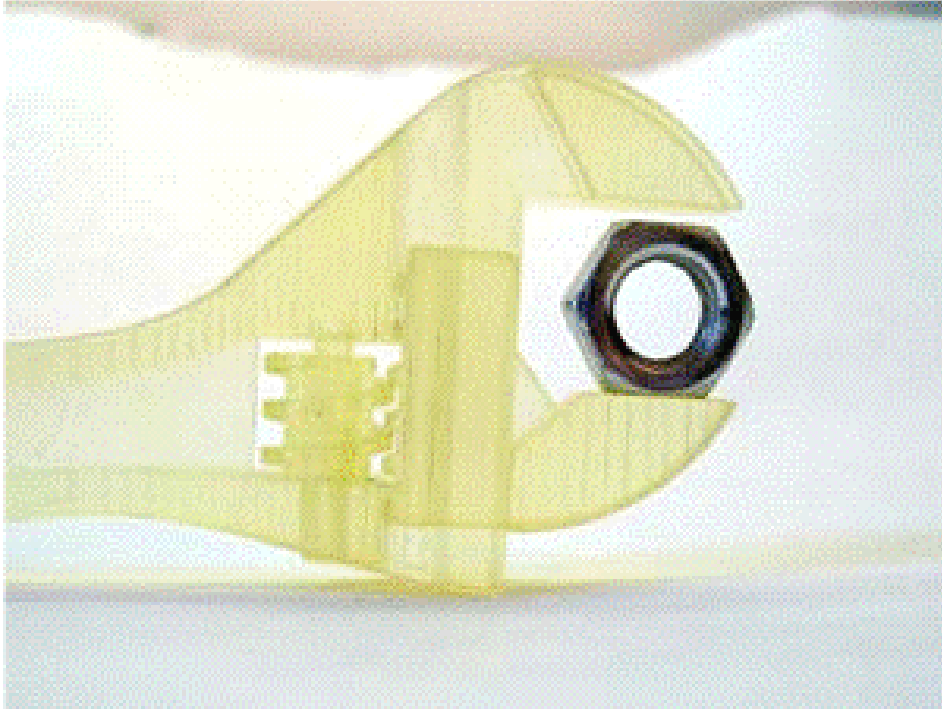
Bilgisayarla prototipleme teknolojileri rijit ve fonksiyonel malzemeler ile düşük sapma oranlarına sahip bitmiş ürün olarak kullanılabilecek karmaşık geometrilili formları tek seferde üretebilmektedir. Şuan için az sayıda olmasına rağmen direkt bu makineler ile imal edilmiş ve bitmiş ürün olarak piyasaya sürülen örnekler mevcuttur. Bazı firmalar kendi ürün geliştirme departmanlarında geliştirme sürecinde kullanmak üzere az sayıda gerekli olabilecek araçları, bilgisayarlı prototipleme makineleri ile üreterek direkt kullanmaktadırlar. Düşük adetli ürünlerde mekanik parçaların bir kısmı metal malzeme üretebilen bilgisayarlı sistemlerle uygulanmakta ve gerçek parça olarak kullanılabilmektedir. Aynı şekilde plastik malzeme ile çeşitli bağlantı elemanları, kanallar gibi iç parçalar ve kullanım yüzeyi ilişkisi içinde olan bazı dış yüzey parçaları da örnekler arasındadır. Bu konularla ilgili mevcut örnekleri "2.4 Bilgisayarlı Prototipleme Teknolojilerinin Uygulama Sahaları ve Örnekler" başlığı altında incelenecektir.

80'li yılların ortalarında ilk uygulamaları ortaya çıkmaya başlayan bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinin gelişimi 90'lı yılların ortalarında bilgisayar ve malzeme teknolojilerinin hızlı gelişimi ile beraber ivme kazanmıştır. Günümüzde küresel rekabetin artması, artan ürün çeşitliliği ve ürünlerin pazardaki yaşam sürelerinin kısalması sonuçlarını doğurmaktadır. Müşteri odaklı ürün geliştirme anlayışında firmaların rekabetçi üstünlüklerini koruyabilmeleri veya arttırabilmeleri için ürün geliştirme süreçlerini hızlandırmaları gerekmektedir. Bilgisayarlı prototipleme teknolojileri, bu süreçleri hızlandırdığı ve maliyetleri aşağıya çekerek firmaların ürün gamlarını geniş tutabilmeleri konusunda diğer tekniklerin yanında en başarılı sonuçları verdikleri için son 10 senelik zaman diliminde artarak rağbet görmektedirler. Bu konuda yapılan araştırma geliştirme yatırımları her sene katlanarak artmakta ve bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinin büyük bir ivmeyle gelişimini sağlamaktadır.

2.1 Bilgisayarlı Prototipleme

Bilgisayar ortamında gerekli bilgisayar destekli tasarım (BDT) programları ile oluşturulmuş dijital verileri referans alarak prototip modelini üreten sistemleri, ***bilgisayarlı prototip teknolojileri*** olarak tanımlamaktayız.

Bilgisayarlı prototipleme sistemleri katı bir bilgisayar modelini, dijital verileri doğrultusunda fiziksel modelini direkt oluşturan sistemlere verdiğimiz bir üst tanımdır. CNC (Bilgisayarlı Nümerik Kontrol) makinelerinin tersine oyma veya traşlama işlemleri ile eksiltme yöntemi kullanmadan sıvı veya ergitilmiş katı hammaddeyi, veriler doğrultusunda katmanlar halinde işleyerek ürünün geometrisini birebir tek seferde imal eder. Bilgisayarlı prototip makinaları birçok değişik prensip ve hammadde kullansalar da, bugüne kadar mevcut olan bütün imalat yöntemlerinden, farklı bir üretim süreci mantığı ile ayrılırlar. Bu üretim mantığı daha çok büyük yapıların oluşturulmasında kullanılan **inşa etmek** tanımına benzer. Bu üretim mantığı ile içerisinde birden çok birbirinden bağımsız kütlenin bulunduğu, içiçe veya geçmeli yapıya sahip ürünler tek seferde direkt çalışır halde üretilmek mümkündür.



Şekil 2.2 Graphtec firmasına ait XD700 model Bilgisayarlı Prototipleme makinesi ile tek seferde imal edilmiş bir İngiliz anahtarı (Dean, 2004)

Bu sistemler üretim teknolojileri prensiplerine göre farklı tanımlara sahiptirler. Bu araştırmada “Bilgisayarlı Prototip” üst başlığı altında bahsedilen teknikler aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Bilgisayarlı Prototipleme Teknolojileri	Temel Malzemeler
Seçici Lazer Sinterleme (SLS) (Selective laser sintering)	Termoplastikler, Metal tozları
Eritilmiş Malzeme Yığılma (FDM) (Fused Deposition Modeling)	Termoplastikler, Düşük sıcaklıkta eriyen metaller (ötektik metaller)
Stereolitografi Cihazı (SLA) (Stereolithography Apparatus)	Fotopolimer
Katmanlı obje yapımı (LOM) (Laminated Object Manufacturing)	Kağıt
Elektron ışınıyla eritme (EBM) (Electron Beam Melting)	Titanyum alaşımları
Üç boyutlu yazma (3DP) (3D Printing)	Çeşitli malzemeler

Tablo 2.1 Bilgisayarlı Prototip üst başlığı altında bahsedilen teknikler [21]

Yukarıda listelenmiş tanımların çalışma prensipleri bir sonraki tanımların açıklandığı bölümde anlatılmıştır. Araştırmanın sonraki aşamalarında daha ayrıntılı ve teknik olarak örnekler verilecektir.

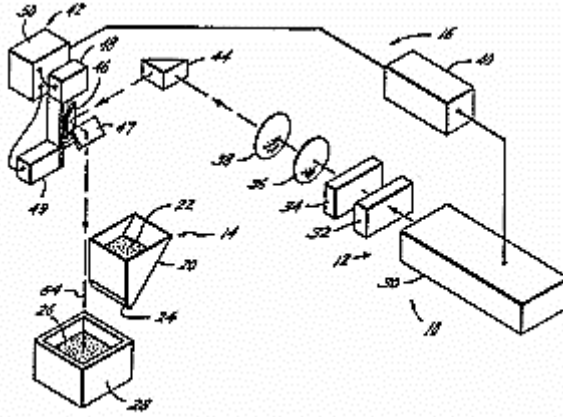
2.1.1 Bilgisayarlı Prototipleme Teknolojilerinde Tanımlar

Bilgisayarlı prototipleme teknolojileri, ilk olarak 1986 yılından itibaren ABD'nde ticari olarak sadece hızlı model ve prototip imalatı amacıyla geliştirilip kullanılmaya başlandıkları için "**hızlı prototipleme**"; bazı modellerinin çalışma prensipleri ise mürekkep püskürtmeli yazıcılar ile benzerlik taşıdıkları için "**üç boyutlu yazıcı**" olarak yaygın bir biçimde isimlendirilirler. Ancak bu isimlendirmeler teknolojiye çok, teknolojinin kullanımı üzerine yapılmış tanımlardır [2].

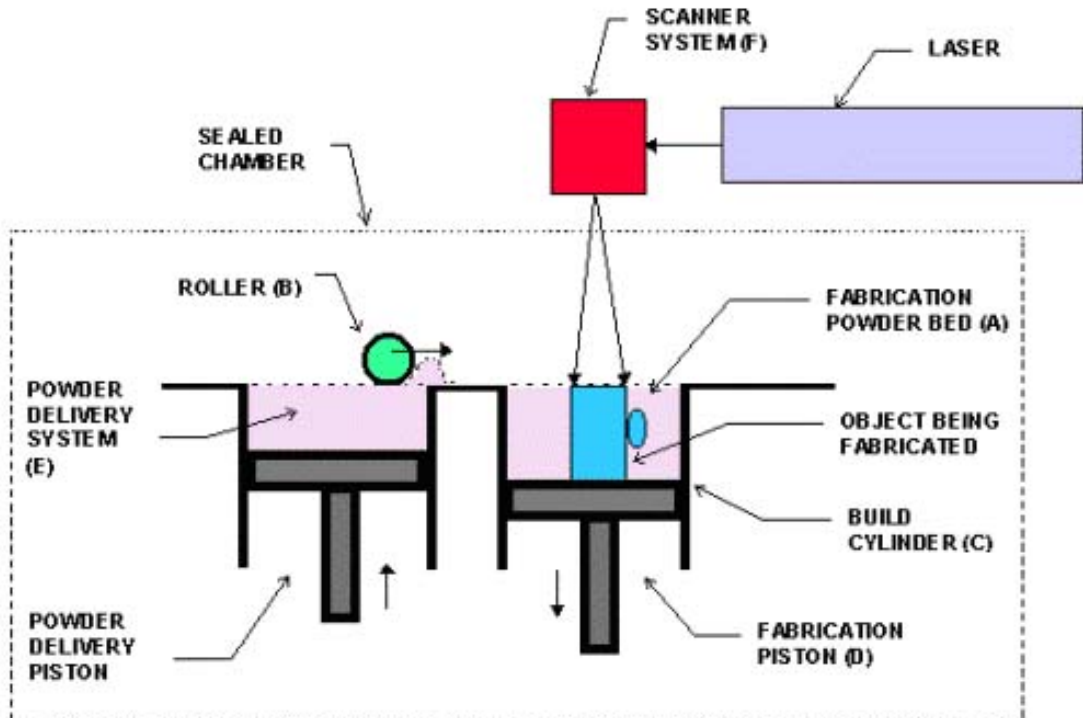
Bu çalışmada, Tablo 2.1'de listelenmekte olan teknolojilerin hepsi için **bilgisayarlı prototipleme teknolojileri** tanımı kullanılacaktır.

Bilgisayarlı prototip teknolojilerinde çalışma prensipleri üzerine tanımlanmış, firmalara kayıtlı patent ismine göre temel tanımlardan yaygın olanları aşağıda açıklamalarıyla anlatılmaktadır:

Seçici Lazer Sinterleme (SLS): Texas Üniversitesi'nden Carl R. Deckard tarafından bir doktora çalışması olarak 1986 yılında geliştirilen bu sistem bir sene sonra *DTM* isimli bir firma tarafından ticari hale getirilmiştir. 1992 yılında firma ilk makinesini satmıştır. *DTM*, 2001 yılında *3Dsystems* isimli bir firma ile birleşmiştir (Chua, 1997).



Şekil 2.3 Carl R. Deckard tarafından SLS prensibi için alınan ilk patent
(Patent no: 4863538) [2]

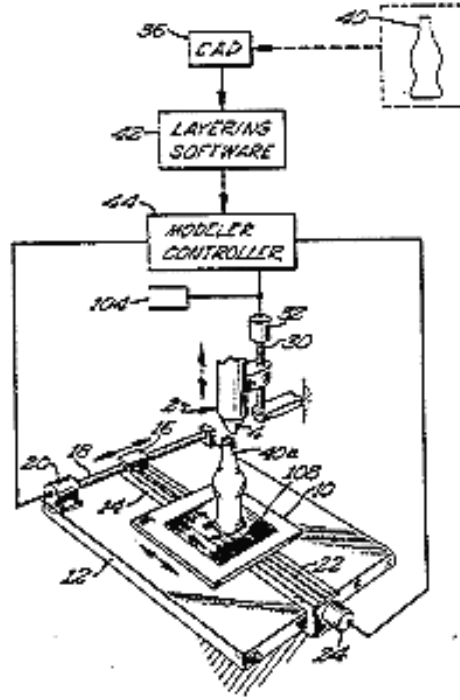


Şekil 2.4 SLS tekniği [2]

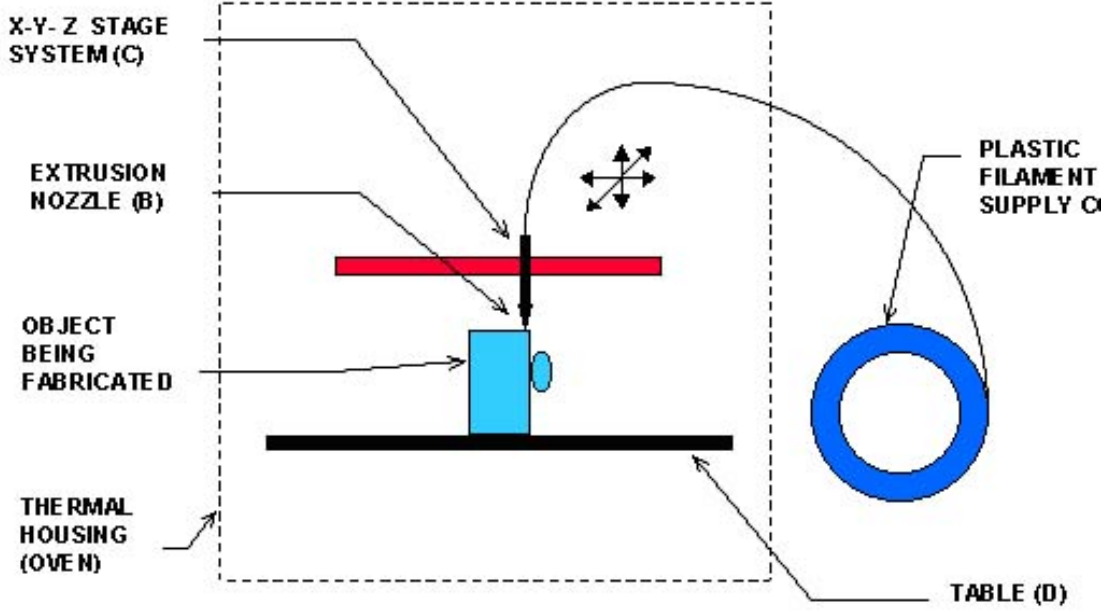
Bu tekniğin ana prensibinde, yeterli ısıya maruz kaldığında eriyebilen toz yapıdaki hammaddenin, lazer ışınları ile noktasal olarak ısıtılarak kontrollü bir biçimde kaynaştırılması yatmaktadır. Modelin üretildiği havuzda bulunan toz yapıdaki hammadde, bir lazer sayesinde bilgisayar verileri referans alınarak katmanlar halinde kaynaştırılmaktadır. Süpürücü sistem her katmanın oluşturulma işlemi bittikten sonra, yeni bir tabakayı üretim havuzuna homojen bir kalınlıkta süpürür. Modelin oluşturulduğu platform süpürülen katman kalınlığı kadar aşağıya doğru kayar. Bu şekilde tekrar eden aşamalar sonucu **fiziksel model** üretilmiş hale gelir. Sadece lazerin çarptığı noktalarda hammadde kaynaşmış olduğu için, üretim bittikten sonra toz hammadde dolu havuzun içerisinden fiziksel model çıkartılır.

Bu teknikte; **plastik, metal** veya **seramik tozları** hammadde olarak kullanılabilir. Bu malzemelerin karışımlarından oluşan hammaddeler, örneğin cam elyafı takviyeli plastik tozları veya plastik kaplı metal tozlar gibi malzemelerde kullanılabilir (Chua, 1997).

Eritilmiş Malzeme Yığma (FDM): 1991 yılında Scott Crump tarafından kurulan Stratasys isimli firma FDM sisteminin patent sahibidir. Kurucusu kendi çocuğunun oyun hamurlarıyla oynamasından etkilenerek bu sistemi geliştirmiştir [2].



Şekil 2.5 Scott Crump tarafından FDM prensibi için alınan ilk patenti
(Patent no: 5121329) [2]



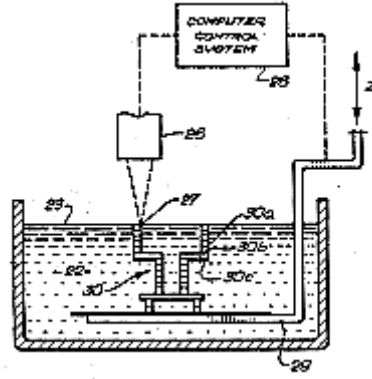
Şekil 2.6 FDM tekniğini anlatan şema [2]

Eritilmiş malzeme yığıma tekniğinde bir meme içerisinde rezistanslar ile ısıtılarak erimiş plastik malzeme yüzeye ince bir tabaka halinde sıvanarak katmanlar oluşturulur.

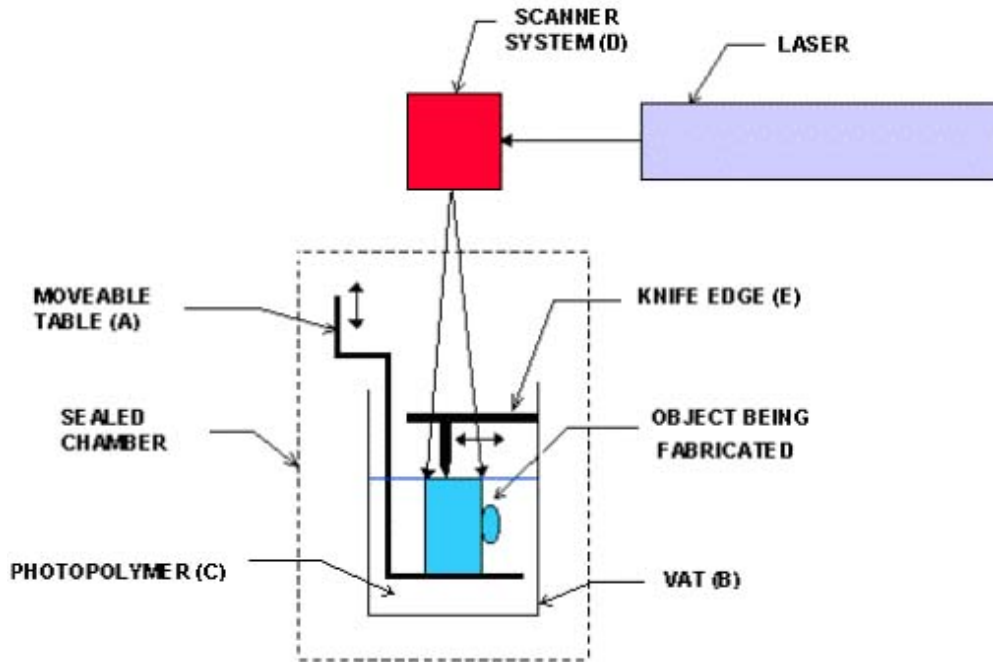
Hammadde bir makaraya sarılmış halde kesintisiz olarak memeyi besler. Referans bilgisayar modelini katmanlara ayıran bilgisayar programı makinenin memesini her katmanı oluşturmak için 2 eksenle kontrol eder. Her bir katmanın oluşturulması bittikten sonra, modelin konumlandırıldığı platform katman kalınlığı kadar aşağıya indirilir. Bu şekilde model fiziksel olarak bitene kadar aşamalar tekrar edilir. İlk versiyonlarının aksine şimdiki modellerde destek malzemesi denilen bir malzemeyi de yığabilen ek bir başlık daha mevcuttur. Destek malzemeleri boş bir platformda oluşan modelin ayakta durabilmesi veya çok parçalı modellerde parça arası boşlukları destekleyebilmek için kullanılmaktadır. Yığıma bittikten sonra su tabanlı bir sıvı içerisinde banyo edilen modelin üzerindeki destek malzemeleri eriyerek gider. Sonuçta ortaya bitmiş bir fiziksel model çıkar.

FDM teknolojisi kullanılarak Polikarbonat ve Akrilonitrilin butadien stiro (ABS) malzemedен prototipler üretmek mümkündür.

Stereolitografi cihazı (SLA): 1986 yılında Charles W. Hull ve Raymond S. Freed tarafından patenti alınmıştır. İlgili patent aşağıdaki şekilde görülmektedir. Stereolitografi, matbaacılıkta uzun zamandır kullanılan litografi tekniğinin üç boyuta uyarlanmış halidir (Chua, 1997).



Şekil 2.7 Charles W. Hull tarafından SLA prensibi için alınan ilk patent
(Patent no: 4575330) [2]



Şekil 2.8 Stereolitografi [2]

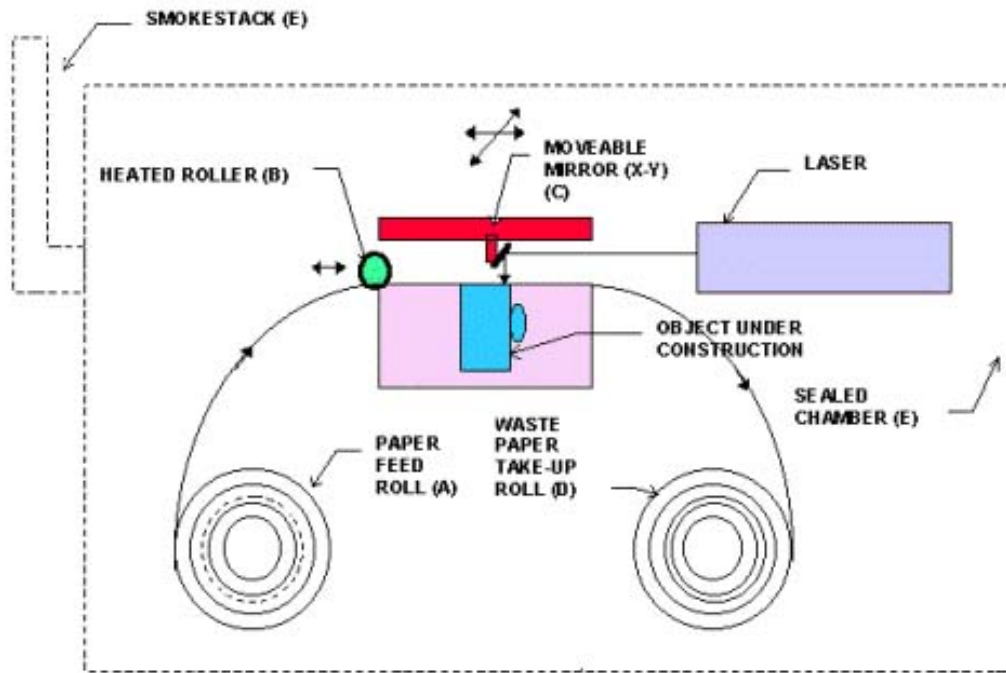
Bu teknikte bir havuzcuk içerisinde bulunan fotopolimer reçine, lazer ışınları ile istenen noktalarda kür edilerek sertleştirilir. Her bir katmanın dış çeperleri bilgisayar modeline bağlı kalarak kür edildikten sonra, modelin bulunduğu havuz bir katman aşağıya iner. Bir kanat yardımı ile yüzeye yeni bir sıvı katmanı kaplanır. Bu yöntemle tabaka tabaka sertleştirilen reçine en son model havuzundan çıkartılır. Üretim süresini hızlandırmak için çeperleri sertleştirilmiş reçinenin iç bölgelerinde kalan sıvı haldeki kısımları ayrı bir fırınlanma prosesi ile kür edilir. Model bu yöntemle tamamlanmış olur.

Yüksek yüzey hassasiyeti sayesinde hassas döküm için parça imalatı, hem görsel hem de fonksiyonel testlerde kullanılmasına imkan sağlayan şeffaf parçalar, yüksek mukavemet ve

sıcaklık dayanımına sahip test amacıyla kullanılacak prototipler ve hatta seri üretim seviyesinde yüzeysel ve dayanım özellikleriyle son kullanıcıya ulaşan parçalar üretilebilir.

SLA teknolojisi ile fotopolimer reçineler ve ABS plastik türevi dayanım ve özellik gösterebilen bazı reçineler üretilebilmektedir.

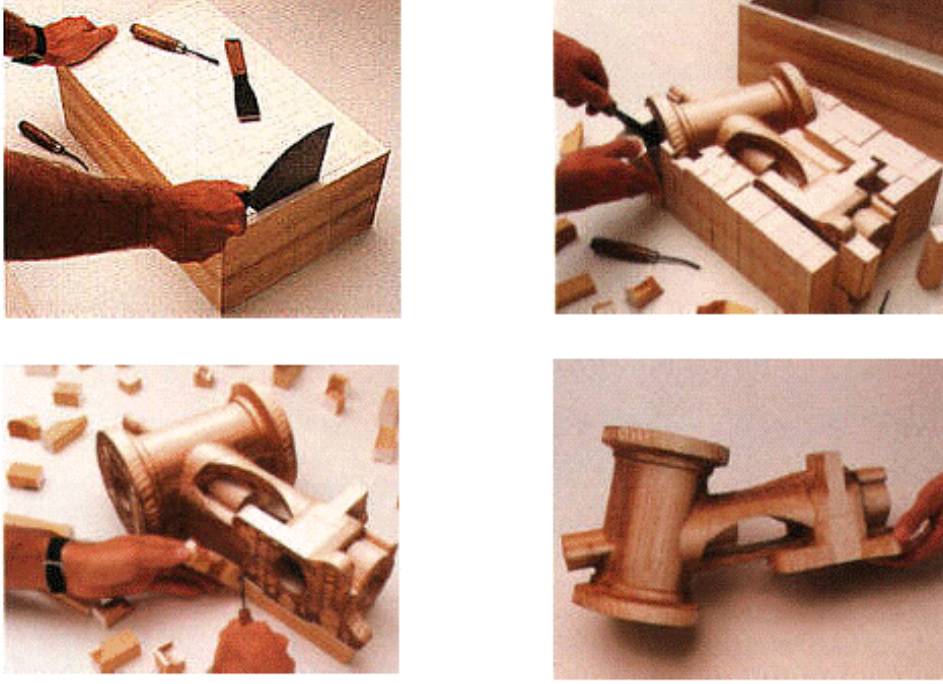
Katmanlı obje yapımı (LOM): 1985 yılında Michael Feygin tarafından kurulan *Helisys* isimli firma bu tekniğin patentine sahip olmuştur. Firma, 1991 yılında ilk ticari cihazını üretmiştir. 2000 yılında ise *Cubic Teknolojileri* isimli firma tarafından, tekniğin geliştirilmesi ve cihazların satış sonrası desteği sürdürülmektedir (Chua, 1997).



Şekil 2.9 LOM tekniğini anlatan şema [2]

Bu sistemde tabaka halinde bulunan kağıt, plastik veya kompozit malzemeler kullanılabilir. Büyük rulolar halinde alınan malzeme, işleme alanının bir ucundan diğer ucuna doğru kaydırılarak her seferinde yüzeye yeni bir malzeme katmanı gelmesi sağlanır.

Yüzeye yeni bir katman getirildikten sonra bir merdane yardımı ile bu katman alt yüzeye yapıştırılır. Yapışma malzemenin alt yüzeyinde bulunan polimer malzemenin erimesi ile gerçekleşir. Lazer, yapışmış yeni katmanı model verisinden aldığı katman bilgileri doğrultusunda sınırlarından keser. Katmanın dış alanına denk gelen artık malzemeyi, daha sonra rahat parçalayıp ayıklayabilmek için parçalara bölünecek şekilde ufak dilimler halinde keser (Jacobs, 1996).



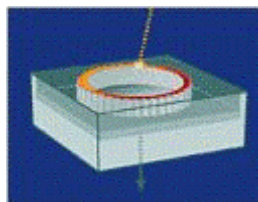
Şekil 2.10 LOM prensibi ile üretilmiş bir kütleli prototip ve destek parçalarının temizlenme safhası [20]

Bu tip sistemlerle kütleli prototipler, kısıtlı fonksiyonel prototipler, hassas döküm kalıpları üretmek için kullanılabilir parçalar, büyük heykel veya figürler gibi uygulamalar yapılabilir. Malzemenin kesilip daha sonradan yapıştırıldığı varyasyonları da bulunmaktadır. Sadece kesimin bilgisayarla, yığma işleminin el ile yapıştırmak sureti yapıldığı çeşitleri de mevcuttur (Jacobs, 1996).

Elektron ışınıyla eritme (EBM): *Arcam* isimli firma tarafından elektron ışınıyla eritme olarak isimlendirilen bu teknikte toz halindeki metal hammadde modelin oluşturulduğu havuza katman katman süpürülür. Çalışma prensibi olarak SLS ile aynıdır. Fakat lazer yerine elektron ışını kullanılarak toz malzeme kaynaştırılır [20].



Şekil 2.11-a 3D CAD verisi [20]



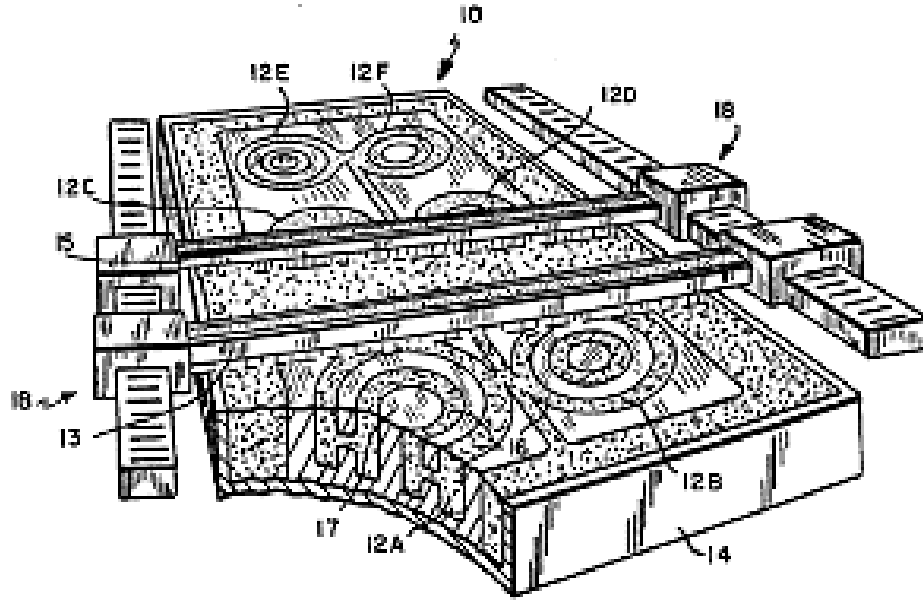
Şekil 2.11-b Katmanlar halinde elektron ışınıyla inşa yöntemi [20]



Şekil 2.11-c Bu yöntemle inşa edilmiş metal parça [20]

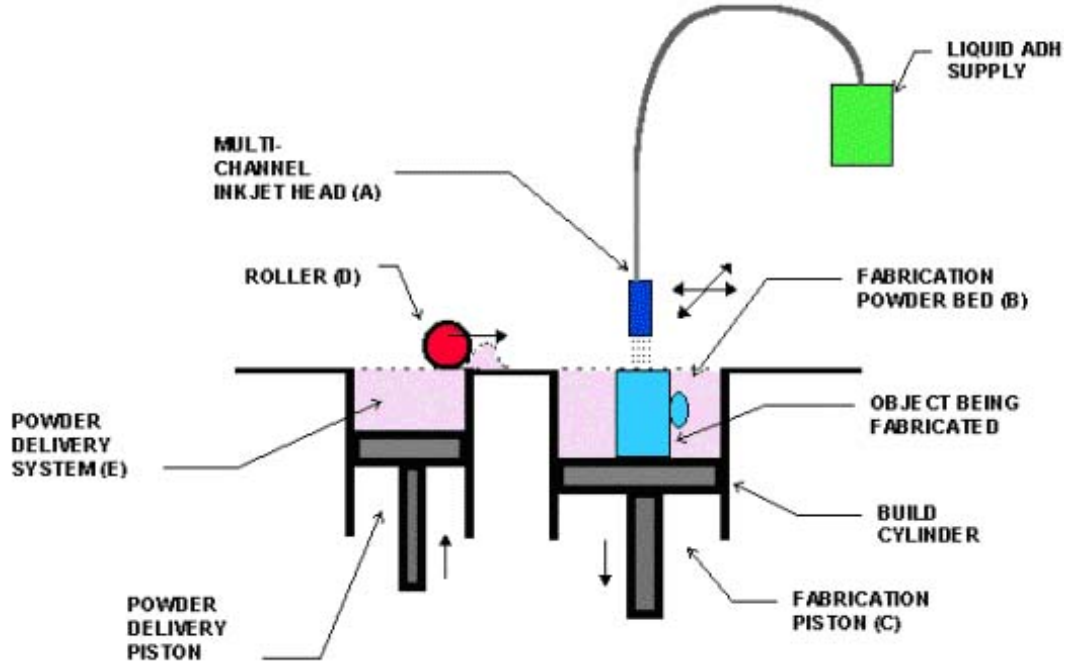
Bu teknik ile metal ve metal alaşımları gibi malzemeler kullanılabilir. Bu parçalar fonksiyonel prototip parçaları, direkt kalıp imalatı gibi alanlarda kullanılabilir.

Üç boyutlu yazma (3DP): 1994 yılında Dr. Walter Bornhost ve Marina I. Hatsopoulos tarafından *Zcorp* isimli firma kurulmuş ve 1997 yılında üç boyutlu yazma makinesi ticari olarak piyasaya sunulmuştur. Üç boyutlu yazma patenti 1993 yılında MIT tarafından alınmış, ticari hakları ve geliştirmesi *Zcorp* şirketine devredilmiştir [2].



Şekil 2.12 MIT'ne ait 3DP prensibi için alınan ilk patenti
(Patent no: 5204055) [2]

İlk ticari cihaz, nişasta tozundan oluşan hammaddenin su bazlı yapıştırıcı ile katman katman yapıştırılması yöntemi ile çalışmaktaydı. Parça üretildikten sonra genelde japon yapıştırıcı emdirilerek mukavemeti arttırılmaktaydı. Şu an alçı, kompozit alçı ve nişasta tabanlı malzemeler ile üretim yapabilmektedirler [2].



Şekil 2.13 3DP tekniğini anlatan şema [2]

Çalışma prensipleri ise masa üzeri mürekkep püskürtmeli yazıcılarla benzerdir. Hatta kullandığı püskürtme başlığı HP marka yazıcıların kullandığı bir başlıktır. Normal yazıcılara ek olarak tozu yeni katman için yüzeye ince ve homojen bir katman halinde süpüren bir rulo mekanizması, her katmanın oluşturulmasından sonra modelin olduğu kabı katman kalınlığı kadar aşağıya indiren bir asansör mekanizması vardır.

Yapıştırıcı püskürten kafa, bilgisayar modelinden aldığı katman verileri doğrultusunda uygun bölgelere yapıştırıcı püskürtür. Katman tam olarak tamamlandıktan sonra asansör katman kalınlığı kadar aşağıya iner. Yeni katman için rulo, malzemeyi yüzeye süpürür. Bu süreç model tamamlanana kadar tekrarlanır. Süreç bittiğinde kabın içinde sadece modelin geometrik formuyla birebir oluşturulmuş fiziksel model toz havuzunun içinde yapıştırılmış ve sertleşmiş halde durmaktadır. Model çıkartılarak hava püskürtmeyle tozlardan arındırılır ve sertleşmesi için sıvı yapıştırıcı emdirilir.

Katmanlara yapıştırıcı püskürtülürken başka bir kafada mürekkep ile istenilen renkleri püskürterek, prototipi istediğimiz renklerde üretebilmemizi sağlar.

Bu teknik ile üzerinden hassas kalıbı çıkartılabilen modeller üretilebilir. Alçı ve seramik karışımı bir hammadde ile düşük adet baskı yapabilme kapasitesine sahip kalıplar, direkt üretilebilmektedir (Rudgley, 2001).

Bilgisayarlı prototipleme teknolojileri, direkt üretim amacı ile kullanılmaktadır. Yerli ve yabancı kaynaklarda bu yeni üretim teknolojisi bazı farklı tanımlarla adlandırılmaktadır. Bu tanımlardan en çok kullanılanlar şunlardır:

Hızlı prototipleme (*rapid prototyping*)

Üç boyutlu yazıcı (*three dimensional printer*)

Eklemele üretim (*additive fabrication*)

Serbest şekilli üretim (*free form fabrication*)

Katmanlı üretim (*layered manufacturing*)

Otomatikleştirilmiş üretim (*automated fabrication*)

Direkt Dijital Üretim (*direct digital manufacturing*)

Hızlı üretim (*rapid manufacturing*) : Son kullanıcı ürünlerini eklemeli üretim yöntemi ile direkt üretmek (Rudgley, 2001).

2.1.2 Bilgisayarlı Prototipleme Teknolojilerinin Tarihçesi

Prototip üretme ihtiyacı, kitlesel üretim var olduğundan beri mevcuttur. Önceleri prototip parçaları, mekanik olarak makinalar yardımı ile veya el ile üretiliyordu. Bilgisayarlı prototip teknolojileri 1980'lerin başında gelişen bir kavramdır. İlk üretim mantığı, tekniklerinin düşünülmesi ve patentlerin alınmaya başlanması bu tarihlerde gerçekleşmiştir. 1990'ların başından itibaren bilgisayar ve malzeme teknolojilerindeki gelişimler, bilgisayarlı prototipleme sistemlerini yüksek bir ivme ile tetiklemiştir. 1995'lerden sonraki bugüne kadar geçen dönemde endüstriler içerisinde bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinin kullanımı yaygınlaşmıştır.

Aşağıdaki tabloda bilgisayarlı prototipleme ve ilgili teknolojilerin tarihsel gelişimi anlatılmaktadır:

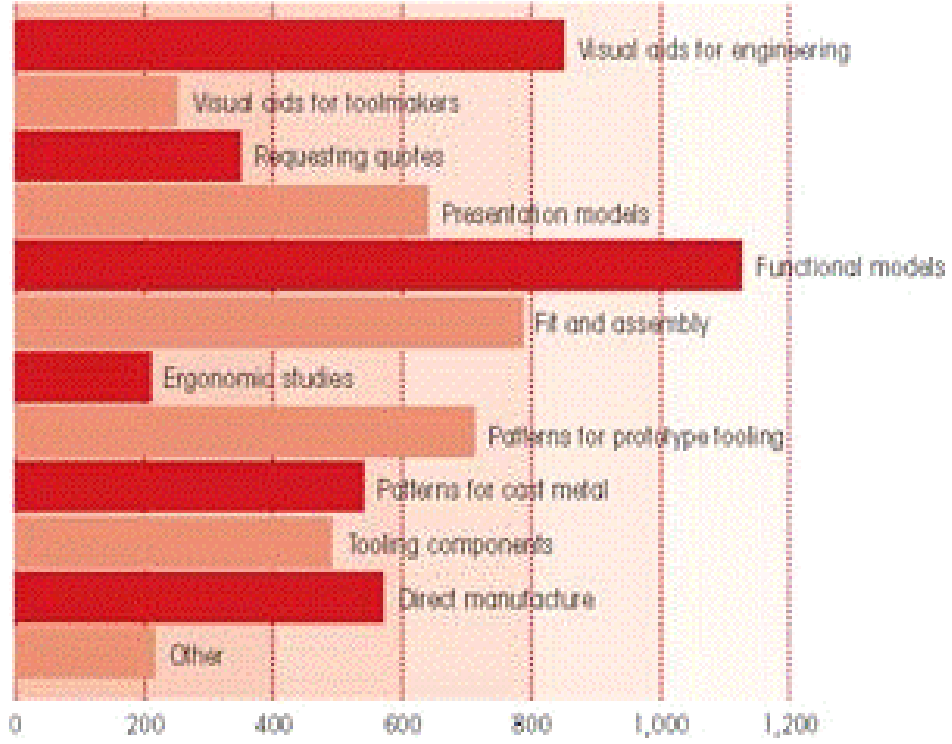
Başlangıç yılı	Teknoloji
1770	Makineleşme (Koren,1983)
1946	İlk bilgisayar
1952	İlk nümerik kontrol (NC) makina donanımı
1960	İlk ticari lazer (Hecht, 1992)
1961	İlk ticari robot
1963	İlk inter aktif grafik sistemi (bilgisayar destekli dizaynın ilk versiyonu (Taraman,1982))
1988	İlk ticari hızlı prototipleme sistemi

Tablo 2.2 : Bilgisayarlı prototipleme ve ilgili teknolojilerin tarihsel gelişimi

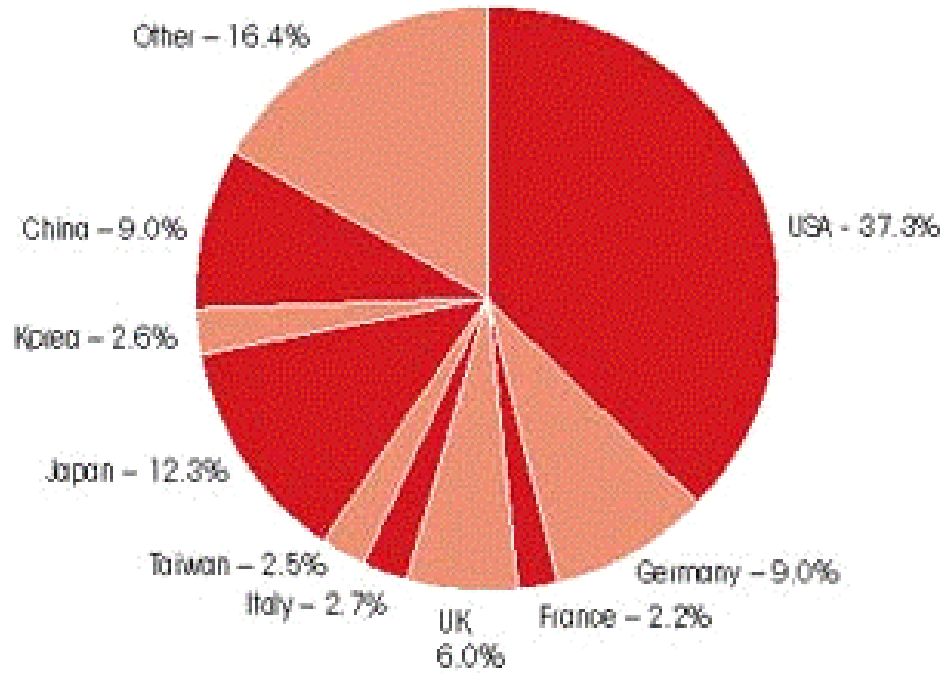
Bilgisayarlı prototipleme sistemleri kütleli veya fonksiyonel prototip imalatı, kalıp imalatı, kalıp imalatı için gereken model veya araçların üretimi, bitmiş ve kullanıma hazır ürün imalatı gibi konularda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanımı bugün sanattan otomobil endüstrisine, sağlık sektöründen mimarlığa kadar çok geniş bir alana yayılmıştır. Özellikle malzeme teknolojisi geliştikçe, bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinin önündeki engel kalkmaktadır. Örneğin; metal enjeksiyon kalıplama (MIM) teknolojisi; metal parçaların plastik enjeksiyon üretim mantığı ile basılabilmesini sağlayan, metal ve plastik tozları karışımından oluşan hammaddenin geliştirilmesi sayesinde ortaya çıkmıştır. MIM teknolojisi, aslında önceden bilinen toz metalürjisi ve plastik enjeksiyon teknolojilerinin bir arada kombine edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Ancak MIM'in bir üretim metodu olarak uyarlanması ve ticari olarak kullanılmaya başlanması 1990'lara dayanmaktadır. Bilgisayarlı prototipleme sistemlerinin gelişim zamanları MIM teknolojisi gibi teknolojilerle kesişmektedir. Bu hammadde direkt kalıp imalatı yöntemini mümkün kıldığından, bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinin endüstride yayılma hızını arttırmıştır. [20]

2.1.3 Bilgisayarlı Prototipleme Teknolojilerinde Rakamlar

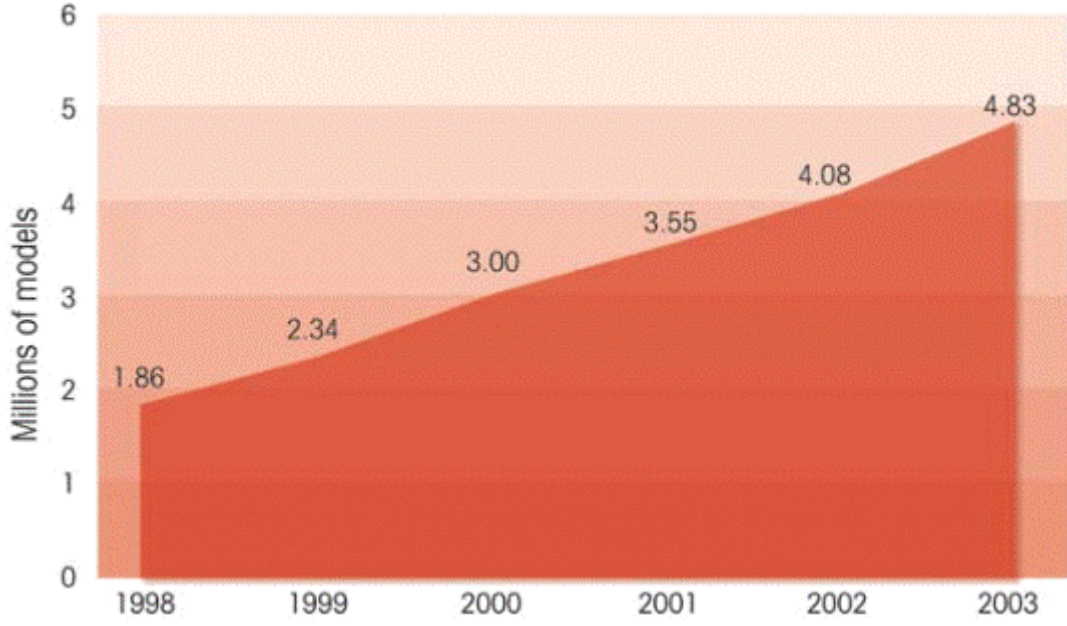
Bu bölümde bilgisayarlı prototipleme teknolojileri ve kullanıldıkları alanlar ile ilgili istatistikler verilecektir.



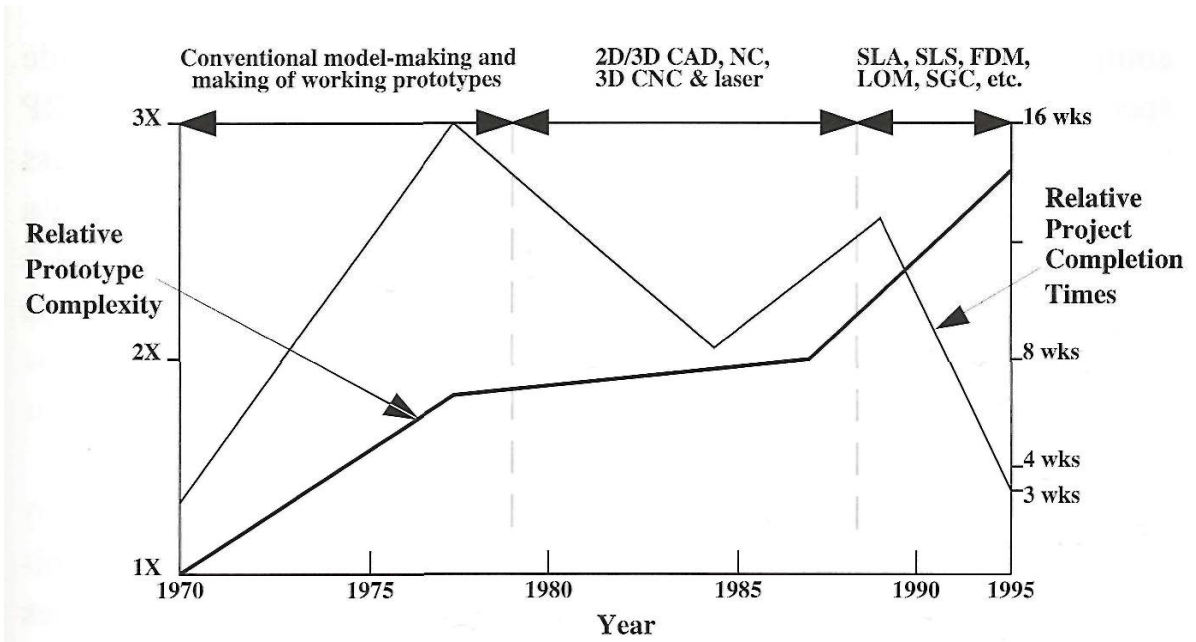
Şekil 2.14-a Bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinin kullanım amaçlarına göre rakamsal karşılaştırmaları [22]



Şekil 2.14-b 2004 senesinde ülkelere göre satılan ve kurulan bilgisayarlı prototipleme makineleri [22]



Şekil 2.14-c 1998 ve 2003 yılları arasında bilgisayarlı prototipleme makineleri ile üretilmiş parça sayıları [22]



Şekil 2.15 25 yıllık periyot arasında ürün karmaşıklığı ve üretim süreci arasındaki bağıntı (Chua ,1997)

Part Manufacturing Cost Elements				
	Tooling Cost	Tooling Development Time	Tooling Life	Cost per part
Traditional Injection molding	\$ 60,000	16 - 18 weeks	250,000 parts	\$ 0,24
Rapid Tool Injection molding	\$ 20,000	6 - 7 weeks	5,000 parts	\$ 4,00

Note: Illustradet data from Antony Anderson, Ford Motor Company

Tablo 2.3. Ford Motor Company tarafından aynı parçanın klasik ve bilgisayarlı prototipleme yöntemleri ile üretiminin zaman ve mali karşılaştırması (Hilton, Jacobs, Dekker, 2000)

2.2 Çalışma Prensiplerine Göre Prototipleme Teknolojilerinin Sınıflandırılması

2.2.1 Sıvı Temelli

Sıvı temelli sistemlerde sıvı halde bulunan reçine tabanlı hammaddeler kullanılmaktadır. Sıvı hammadde, bilgisayar modeli verilerine bağlı olarak katman katman kürleştirilerek model oluşturulmaktadır. Kürleştirme işlemi için **lazer** veya **ultraviyole** ışık kaynakları kullanılır. Işık kaynağı hammaddeye noktasal olarak, aynı bilgisayar hafızasındaki pikseller gibi uygulanır, örülmek istenen katmanın her bir noktası sıra ile kürleştirilerek model ortaya çıkartılır. Ya da ışık kaynağı, katmanın kesitine uygun bir maske arkasından bütün yüzeye belirli bir süre uygulanır. Işık kaynağının cinsi, uygulama yöntemi ve hammaddenin yapısı makineler arasında farklılık gösterebilir. Fakat bütün sıvı temelli bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinde temel mantık aynıdır.

Bu prensiple çalışan makinelerin çıkarttığı modellerin ısı dayanımı düşük olmaktadır. Bazı modellerde model makinede inşa edildikten sonra, bir fırın içerisinde bütün kürleştirme işlemi uygulanır. Kürleştirme işlemi sırasında malzemedeki kaynaklı çekmeler, hacim ufalmaları olabilmektedir.

Bu teknikle ortaya çıkartılan modeller, malzeme çeşitliliğine bağlı olarak kütleli veya fonksiyonel parçalar olarak kullanılabilirler. Silikon kalıp uygulaması ile düşük adet prototip amaçlı parça imalatı da yapılabilir.

Bu teknikle prototip veya parça imal eden makinelerden bazıları aşağıda açıklamaları ile verilmiştir:

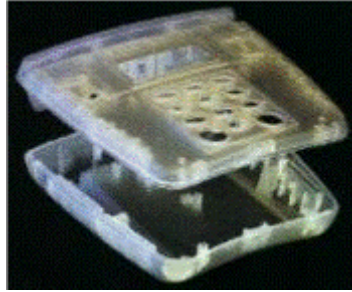
Stereolithography Apparatus (SLA) : Charles Hull tarafından 1986 yılında kurulan *3D Systems* isimli firma, prototipleme teknolojisi sahasında dünyadaki ilk ticari ürünü 1988 yılında çıkaran firmadır [20].



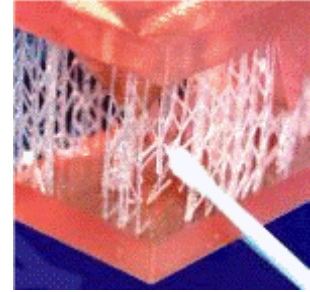
Şekil 2.16 3D Systems firması tarafından ticari olarak sunulan ilk SLA sistem [20]



Şekil 2.17-a
Yeni geliştirilen bir
telefon cihazı [20]



Şekil 2.17-b Veri üzerinden
üretilmiş fonksiyonel bir prototip
parça gövdesinin bilgisayar
görüntüsü [20]



Şekil 2.17-c
Destek malzemelerin
temizlenme işlemi [20]



Şekil 2.18 SLA teknolojisi ile üretilmiş bir örnek [6]

Stereolitografi sistemleri için birçok farklı mekanik, optik ve kimyasal özelliklere sahip fotopolimer reçineler mevcuttur. 3D Systems, Vantico ile olan işbirliğinin sonlanması ve İsviçre tabanlı reçine üreticisi RPC isimli firmayı satın almasının ardından 23 Nisan 2002 tarihi itibarı ile SLA sistemleri için fotopolimer reçineleri Accura markası altında satışa başlamıştır. Bunun yanında Vantico ve DSM Somos' isimli bir firmanın da çeşitli reçineleri

mevcuttur. Örneğin, *DSM Somos* firmasının geliştirdiği *WaterClear* markalı fotopolimer reçine ile SLA sistemlerinde cam benzeri şeffaf modeller direkt olarak üretilebilmektedir (Şekil 2.18) [20].

Sıvı temelli üretim yapan diğer makineler şunlardır :

Cubital isimli firmaya ait **Solid Ground Curing (SGC)**

D-MEC isimli firmaya ait **Solid Creation System (SCS)**

CMET isimli firmaya ait **Solid Object Ultraviolet-Laser Printer (SOUP)**

Teijin Seiki isimli firmaya ait **Soliform System**

Autostrade isimli firmaya ait **E-Darts**

Meiko isimli firmaya ait **Rapid Prototyping System for the Jewelry Industry**

2.2.2 Toz Temelli

Toz temelli bilgisayarlı prototipleme teknolojileri arasında hammadde olarak toz haline getirilmiş metaller, plastikler, nişasta tabanlı, alçı ve kompozit alçı gibi malzemeler ile üretim yapabilen farklı modeller bulunmaktadır. Malzemeyi işlemek için lazer gibi ışık kaynakları, elektron ışınımı veya yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Mürekkep püskürtmeli yazıcı mantığı ile çalışan 3DP makineler nişasta tabanlı veya alçı gibi malzemeleri katman katman yapıştırıcı püskürtmek sureti ile fiziksel modeli oluşturmaktadır. Bu teknik ile üretilmiş prototipler görsel veya kütleli teknik testler için kullanılabilir. Hassas döküm için ilk model olarak kullanılabilir veya yine hassas döküm için kalıplar direkt üretilebilmektedir.

Metal tozu ile üretim yapan sistemler ile üretilen parçalar, prototipler için bitmiş ürün özelliklerinde yedek parça olarak kullanılabilir. Yüksek adet plastik enjeksiyon basım kalıpları, karmaşık yapıya bir şekilde rahatlıkla üretilebilmektedir.

Toz temelli üretim yapan makineler şunlardır:

3D Systems isimli firmaya ait **Selective Laser Sintering (SLS)**

EOS isimli firmaya ait **EOSINT** Sistemi

Z Corporation isimli firmaya ait **Three-Dimensional Printing (3DP)**

Optomec isimli firmaya ait **Laser Engineered Net Shaping (LENS)**

Soligen isimli firmaya ait **Direct Shell Production Casting (DSPC)**

Fraunhofer isimli firmaya ait **Multiphase Jet Solidification (MJS)**

Acram isimli firmaya ait **Electron Beam Melting (EBM)**

Aeromet Corporation isimli firmaya ait **Lastform Technology**

Generi isimli firmaya ait **RP Systems (GS)**

Therics Inc. isimli firmaya ait **Theriform Technology**

Extrude Hone isimli firmaya ait **Prometal™ 3D Printing Process**

2.2.3 Katı Temelli

Katı temelli bilgisayarlı prototipleme sistemlerinde hammadde katı halde bulunur. Bu sınıfa LOM ve FDM tipi cihazlar girmektedir. LOM mantığı cihazlarda, kağıt ve ince plastik hammaddeler kullanılmaktadır. Hammadde kağıt formunda rulo halinde makineye yerleştirilir. Bu sistem mimari ve peyzajda kullanılan ve elle uygulanan, katman katman kartonların veya başka bir tabaka malzemenin, uygun şekillerde kesilerek oluşturulması ile ortaya çıkarılan yeryüzü şekilleri maketleri yapım tekniği ile benzerdir. Bu tekniğin otomatikleştirilerek, kesim kafası ve yığma işlemlerinin bilgisayar tarafından yapılan versiyonudur.

Katı temelli prototipleme sistemlerinde bir başka örnek FDM tipi makinelerdir. Bu makinelerde hammadde uzun sicim halinde makaraya dolanarak depolanmış bir şekilde makineye verilir. Uygulama anında ergitilerek bilgisayar verisine bağlı istenilen kordinatlara yığılarak model oluşturulur.

LOM prensibindeki makinelerde kağıt veya plastik hammaddeler kullanılabilir. Model makineden çıkartıldıktan sonra yüzey traşlama, düzeltme veya kaplama gibi işlemler uygulanabilir. FDM prensibinde ise termoplastikler kullanılmaktadır. ABS plastik hammadde kartuşları ile beraber üretilen prototipler fonksiyonel olabilmektedir. Hatta bu prensip ile üretilen modeller birebir kullanılabilir. Mum malzemenin ergitilerek hassas biçimde püskürtülmesi ile oluşturulan modeller, kuyumculuk sektöründe hassas döküm için ilk model olarak kullanılmaktadır. Bu konuyla ilgili örnekler “2.4.2 Örnekler” başlığı altında mevcuttur. FDM prensibinde de çıkartılan nihai model yüzey iyileştirme, oyma, delme, kaplama gibi işlemlere tabi tutulabilir.

Katı temelli teknikle prototip veya parça imal eden makineler şunlardır:

Cubic Technologileri isimli firmaya ait **Laminated Object Manufacturing (LOM)**

Stratasy isimli firmaya ait **Fused Deposition Modeling (FDM)**

Kira isimli firmaya ait **Paper Lamination Technology (PLT)**

3D Systems isimli firmaya ait **Multi-Jet Modeling System (MJM)**

*Beijing Yinhu*a isimli firmaya ait **Slicing Solid Manufacturing (SSM)**

Melted Extrusion Modeling (MEM) ve **Multi-Functional RPM Systems (M-RPM)**

2.3 Bilgisayarlı Prototipleme Teknolojilerinde Kullanılan Malzemeler

Bugüne kadar üretilmiş birçok farklı bilgisayarlı prototipleme makineleri için, bu makinelerin üretim süreçlerine bağlı olarak birbirinden farklı birçok malzeme tipi mevcuttur. İhtiyaca göre yalnızca bir kütle prototipinden, bitmiş ürünün mekanik özellikleri veya yüzeysel yapıları gibi fiziksel özelliklere sahip olabilen modellere kadar, geniş bir aralıkta kullanılabilmesine izin verebilecek malzeme çeşitliliği mevcuttur. Bu malzemeler; plastik, metal, seramik, mum, kağıt vb. gibi malzemelerdir [20].

2.3.1 Plastik

Termoplastikler dayanıklı plastik parçalar ve formlar ya da sert işlev testleri için test amaçlı parçalarda kullanılabilir. Sıcaklık ve kimyasallara karşı dayanıklı, mükemmel bir dış yüzey bitimi sağlar. İşlenebilir ve kaynatılabilir, mekanik olarak ya da yapıştırıcılar ile bağlanılabilir.

Polikarbonat, ABS ve polifenilsulfon dayanıklı, yüksek güçte, işlevsel prototiplerin testi, bitmiş tasarım onaylaması, kalıp sistemi şekillerinin yaratılması, kaplama ve spray-metal kalıp sistemi uygulamaları esasları içindir. Fiziksel özellikleri, yüksek darbe direnci, sertlik, sıcaklık dengesi ve rijiditedir. Yağ, yakıt ve asitler gibi aşındırıcı unsurlara karşı kimyasal dayanıklılık gösterir. Prototipler birebir işleyen mekanizmalara sahip olabilir, denenebilir, kullanılabilir, boyanabilir, yapıştırılabilir ve kumlanılabilir.

Elastomerler esnek, kauçuk benzeri prototipler ve parçalar içindir. Yüksek elongasyon, su geçirmezlik, ısıtma, abrasyon ve kimyasal dayanıklılık özelliklerine sahiptir.

Fotopolimerik ve polipropilin-benzeri reçineler, prototip cihazından direkt son kullanım plastik prototipler üretmek için uygundur. İnce yapılar için dayanıklılık, snap-back hafıza, yarısaydamlık, yüksek termal performans ve neme karşı dayanıklılık dahil olmak üzere birçok özelliğe sahiptir [20].

2.3.2 Metal

Toz metaller kompleks metal kalıp sistemi ve enjeksiyon kalıplama için dayanıklı metal kalıplar ve direkt olarak metal parçaların üretilmesi için yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Yüksek termal iletkenliğe sahiptir ve kaplama uygulanabilir, işlenebilir ve işletilebilir. Toz

metal hammaddeler imalat çeliğinin yoğunluk oranlarına çok yaklaşmıştır. Artık yüksek adet basım yapabilen kalıplar prototipleme makineleri ile direk üretilebilmektedir .

2.3.3 Seramik

Ticari olarak, seramik malzemenin bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinde direkt imalatta kullanıldığı en iyi örnek ABD'deki *Specific Surface* isimli bir firmanın ürettiği seramik filtrelerdir. 1995 yılında faaliyete geçen bu firma MIT'de geliştirilen 3DP otonom teknolojisini lisanslamıştır. Bilgisayar ile tasarlanan filtre istenilen yoğunlukta ve geometride üretilebilmektedir. Bu filtreler klasik yöntemle imal edilenlere kıyasla on kat fazla performans gösterebilmektedirler [20].

SFF yöntemlerinin ileri seramik işleme teknolojisine adaptasyonunu ile bileşen geometrisindeki kısıtlamalar ortadan kaldırılarak, CAD ortamında tasarlanan herhangi bir karmaşık geometri seramik parçanın gerçek veya gerçek geometrisine yakın olarak fabrikasyonunu mümkün kılınacak, katı serbest model teknolojisinin sağladığı bütün avantajların seramik fabrikasyonuna kazandırılması mümkün olacaktır. Bu şekilde, seramik bileşenlerin fabrikasyonunda iç ve dış mimari özelliklerinin 100 ile 1000µm kadar hassas bir şekilde kontrolü mümkün olabilmektedir.

Bu teknoloji ile makina, elektrik-elektronik, tıp, askeri, uçak/uzay alanında sürdürülen veya yapılması planlanan araştırmalarda ihtiyaç duyulan fakat geleneksel fabrikasyon tekniklerindeki sınırlamalardan dolayı imalatı mümkün olmayan karmaşık mimarili seramiklerin fabrikasyonu mümkün hale gelmekte ve böylece yeni araştırma olanaklarına imkan tanınacağından bu araştırmalara yeni bir boyut kazandırılabilir. Örneğin; seramik tabanlı malzemelerden milimetre boyutlarında içten yanmalı motorlar, gaz türbinleri, yüksek sıcaklıkta kullanılabilen milimetre-altı basınç sensörleri, debi ölçerler vs. üretmek mümkün olabilmektedir (Ergun, Özdemir, 2006).

2.3.4 Mum

Döküm parafin ufak hacimli hassas döküm parçaları ya da kalıp sistemi olmaksızın kompleks şekillerin yaratılması içindir. Döküm parafinler metal alaşımlarını hassas kalıp metodu ile üretebilmek için kullanılabilir. Özellikle kuyumculuk sektöründe, düşük adetler ile kaliteli döküm gerektiği için çok tercih edilmektedir.



Şekil 2.19-a
Mum malzemeden
imal edilmiş bilezik [20]



Şekil 2.19-b
Gümüş döküm
sonrasındaki hali [20]



Şekil 2.19-c
Beyaz altından
dökülen bilezik [20]

Yukarıda mum malzemeden imal edilmiş 400 taşlı bilezik ve yüzük modelleri mum döküm ağacına bağlanmış olarak görülmektedir (Şekil 2.19-a). Daha sonraki aşamada bilezik gümüş döküm sonrasında henüz yollukları temizlenmeden haldeki görülmektedir (Şekil 2.19-b). Son aşama olarak beyaz altından dökülen bileziğin yolluklar temizlendikten sonraki hali görülmektedir (Şekil 2.19-c) [6].

2.3.5 Kağıt

Kağıt hammadde ile daha çok kütleli prototip amaçlı imalat yapılmaktadır. Kağıt malzeme ağaç benzeri bir görünüm sergilemektedir. Yapısal olarak kararlı bir sağlamlığa sahip değildir. Nadir olarak kum döküm işlemi için kullanılmaktadır .



Şekil 2.20 Kağıt yığma teknolojisi ile üretilmiş bir örnek [20]

2.4 Bilgisayarlı Prototipleme Teknolojilerinin Uygulama Sahaları ve Örnekler

Bu bölümde bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinin uygulama sahaları, ve uygulanmış örnekler incelenecektir.

2.4.1 Uygulama Sahaları

Bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinin uygulama sahalarını “ürün tasarımı” ve “imalat ve mühendislik” olarak iki gruba ayırabiliriz.

2.4.1.1 Ürün Tasarımı

Ürün tasarımı alanında prototip kullanımı kütleli ve fonksiyonel olarak ikiye ayrılabilir.

2.4.1.1.1 Kütleli Prototip

Bilgisayar ortamında model çalışmaları hazırlanmış bir ürün tasarımı, bilgisayarlı prototipleme teknolojileri ile çok kısa bir sürede birebir fiziksel modele dönüştürebilir. Bu sayede el modelciliği gibi yöntemlere nazaran, geometrik olarak tam doğru prototipleri çok daha kısa zamanda sonuçlandırabiliriz. Ürün tasarımcıları için kısalan prototip üretim süreci, belirlenen üretim çemberi sürecinde daha fazla sayıda model üretilebilmesini sağlar. Bu sayede ürün iyileştirme sürecinde yapılan test sayıları ve sonuçta ulaşılabilecek iyileştirme sayıları artmaktadır.

Arçelik firmasının 2004 yılında pazara sunduğu Türk kahvesi makinesi “Telve” isimli ürünün geliştirme aşamasında FDM teknolojisinden yararlanılarak kütleli prototipleri üretilmiştir. Bu prototipler ürünün kütle hacim bilgilerini, ağırlık dengelerini, kullanım ilişkilerini test edebilmek için çok faydalı olmaktadır [20].



Şekil 2.21 Arçelik firmasından Telve isimli ürünü için *Stratasys Dimension* firmasının FDM prensibi ile çalışan Bilgisayarlı Prototipleme teknolojisi ile üretilmiş bir kütleli prototip örneği [20]



Şekil 2.22 Telve isimli ürün için daha ilerki safhalarda üretilmiş prototip örneği [20]

Bilgisayarlı prototipleme teknolojisi ile tasarım sürecinde Telve isimli ürünün kullanım örneği sadece kütleli ve ergonomik olarak test edilmek amacı ile sınırlı kalmıştır. Prototip üretme süresini, karmaşık geometri kısıtlaması olmadan hızlı bir şekilde sonuçlandırabilen bu teknoloji sayesinde, ardarda fonksiyonel prototipler üreterek, ürün geometrik formlarının ergonomik olarak daha doğru olması ve estetik açıdan farklı ve yenilikçi arayışların bulunabilmesi gerekir .

İtalyan tasarım stüdyosu *Alessi* firmasına ait ürün için plastik malzemeden üretilmiş bu prototip örneği, bitmiş ürünün birebir parçaları ile ağırlık dengeleri, tutma ve kullanım açıları hakkında tasarımcılara bilgi vermektedir (Şekil 2.23) [15].



Şekil 2.23 3D Systems firmasına ait FDM prensibi ile üretim yapan *In Vision* serisi bir makine ile üretilmiş prototip örneği [15]

2004 yılında *ARRK* firması tarafından, parçalarında SLS ve FDM teknikleri kullanılarak şekildeki alışveriş arabasının fonksiyonel bir prototipi 3 hafta içerisinde tamamlanmıştır (Şekil 2.24) [15].



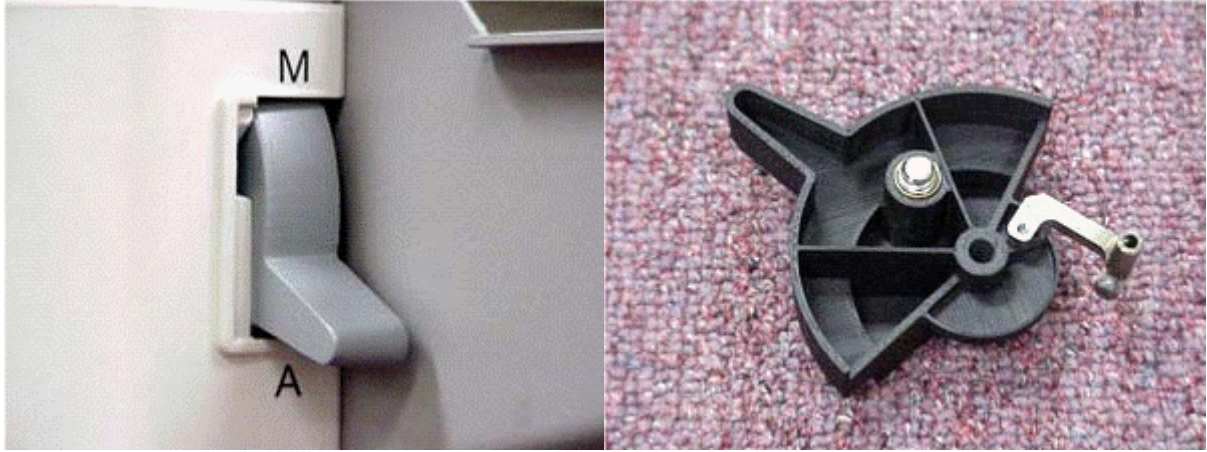
Şekil 2.24 Fonksiyonel bir alışveriş arabası prototipi [15]



Şekil 2.25 *Zcorp* firması tarafından 3DP tekniği ile direkt renkli üretilmiş kütleli bir prototip demosu [23]

2.4.1.1.2 Fonksiyonel Prototip İmalatı

Bilgisayarlı prototipleme teknolojileri ile ABS plastik özelliklerine çok yakın termoplastikler kullanılarak parçalar yapılabilmektedir. SLS gibi prensipler ile metallerin birçok farklı alaşım tipleri işlenebilmektedir. Bu makineler ile tasarladığımız ürüne ait farklı parçaları uygun teknolojileri kullanarak birebir çalışan fonksiyonel prototipler yapabilmekteyiz.



Şekil 2.26-a Fonksiyonel bir parça,
Firma: *Bell & Howell* [15]

Şekil 2.26-b Ürün üzerinde takılmış ve
kullanıma hazır FDM ile üretilmiş,
Firma: *Bell & Howell* [15]

Black & Decker firmasına ait Alligator Lopper isimli bir kesme el aletinin tasarım sürecini, firmanın kendi bünyesine kattığı bilgisayarlı prototipleme makinesi sayesinde oldukça hızlanmış. Örnek olarak kendi bünyelerinde böyle bir makine yok iken prototip büroları ile beş günde hazırlayabildikleri prototip parçaları, aşağıdaki üründe yalnızca beş saat içerisinde hazırlayabilmişlerdir. Bu parçalar ile fonksiyonel prototip oluşturulmuş ve üretim öncesi testleri gerçekleştirebilmek için kullanılmıştır [15].



Şekil 2.27 Alligator Lopper, Firma: *Black & Decker* [15]



Şekil 2.28-a Bir el süpürgesine ait prototip parçaları, Firma : *Black & Decker* [15]



Şekil 2.28-b Süpürgenin kendisi , Firma : *Black & Decker* [15]

Yukarıda görülen el süpürgesi katlanan vakum ucu gibi, mekanik parçalara sahiptir. Böyle bir ürünün geliştirme sürecinde, fonksiyonel parçalarla prototipinin üretilebilmesi oldukça önemlidir (Şekil 2.28-a, Şekil 2.28-b) .

Shiyuki Hayashi firması özel yapım spor arabalar üzerine çalışmaktadır. Şekil 2.29-b'de görülen araca ait fren lambaları FDM teknolojisi kullanılarak ABS plastikten imal edilmiş, daha sonra iç yüzeyine metal kaplama etkisi verecek bir kaplama ve boya uygulanarak kullanıma hazır hale getirilmiştir [15].



Şekil 2.29-a Aracın kendisi
Firma : *Shiyuki Hayashi* [15]

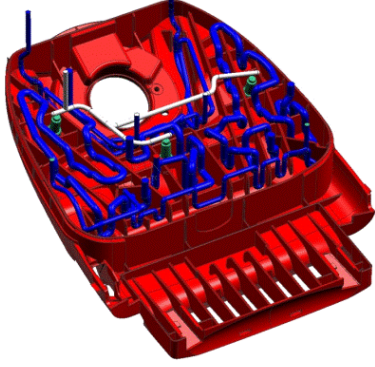


Şekil 2.29-b Aracın fren lambası
Firma : *Shiyuki Hayashi* [15]

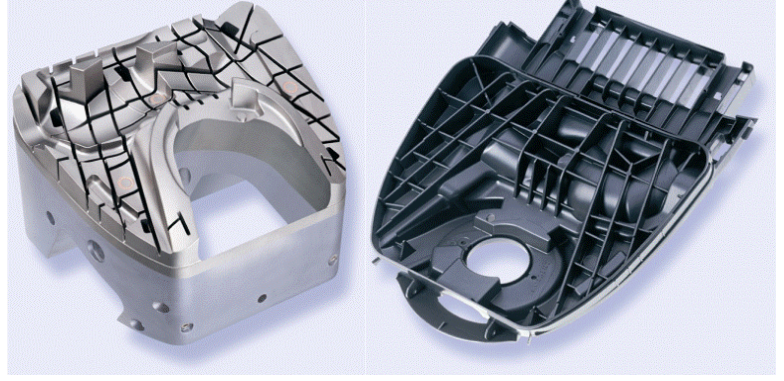
2.4.1.2 İmalat ve Mühendislik

Bilgisayarlı prototip teknolojileri, serbest şekilli üretim mantığına dayandıklarından dolayı, geometrik formların esnek bir biçimde istenilen şekilde rahatça üretilebilmesine izin vermektedirler. Bundan dolayı bu teknolojiler üretim sürecinin her safhasına girmiştir. Kalıp imalatı konusunda direk metal sinterleme yöntemleri ile çalışan makineler yaygın bir biçimde kullanılmaktadırlar.

2.4.4.2.1 Kalıp İmalatı



Şekil 2.30-a Karmaşık soğutma kanallarına sahip elektrik süpürgesi kalıp bilgisayar verisi [8]



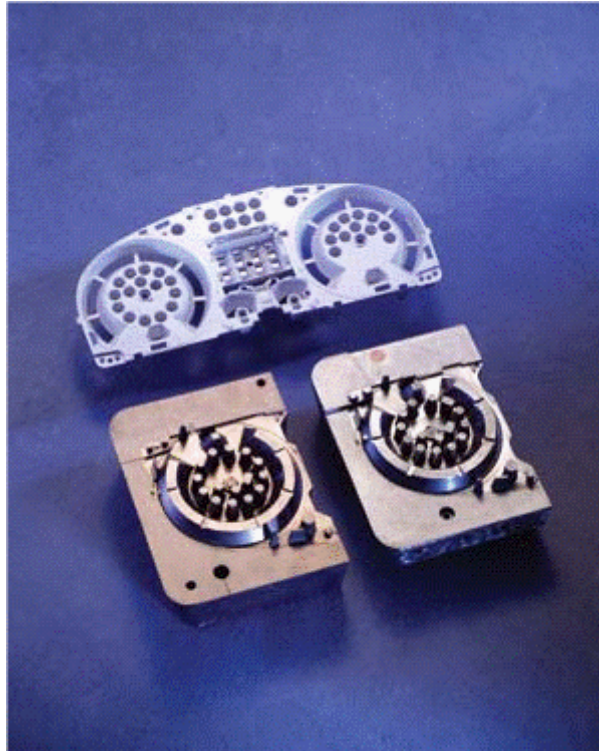
Şekil 2.30-b Elektrik süpürgesi kalıbı ve bu kalıptan üretilmiş plastik parça [8]

Şekil 2.30-b'de gördüğümüz gibi iç destek yapıları veya hava akış kanalları gibi karmaşık geometriler içeren parçaları üretebilmek için hazırlanan kalıplar, bilgisayarlı prototipleme sistemlerinin direk üretim mantığı sayesinde karmaşık geometrilere sahip olabilmektedir. Soğutma kanallarının kalıp içerisinde istenildiği gibi oluşturulabilmesi, soğuma sürecinin sağlıklı kontrol edilebilmesini sağlamaktadır. Bu ürün tasarımı ve üretimi sürecinde bir dizi avantajlar sağlar. Parçaların iç destek yüzeyleri daha az malzeme ile daha rijit olabilir. Bundan dolayı dış yüzeyde formlar destek çizgilerinden arınabilir.

Talaş kaldırma yöntemleriyle mümkün olmayan karmaşık soğutma kanallarını sayesinde, plastik parçaların üretim süresi büyük oranda kısaltılabiliyor. Soğutma kanalları yüzeyin 1mm'den yakınına kadar konumlandırılabilmesi ile plastik parçanın soğuma süresini yüzde %60'lara varan oranlarda azaltabilmektedir. Böylece parçaların üretim hızı %20 civarında hızlanabilmektedir. Bu da kalıpcılara ve plastik parça üreticilerine yüksek kalite ve fiyat avantajları sağlamaktadır. Parça hassasiyetleri büyük parçalarda en fazla +/-100µm küçük parçalarda +/-50µm olmaktadır. Kalıp parçalarında ulaşılmış yoğunluk ek sinterleme yöntemleri ile birlikte bugün için %99,5 dir. [20]



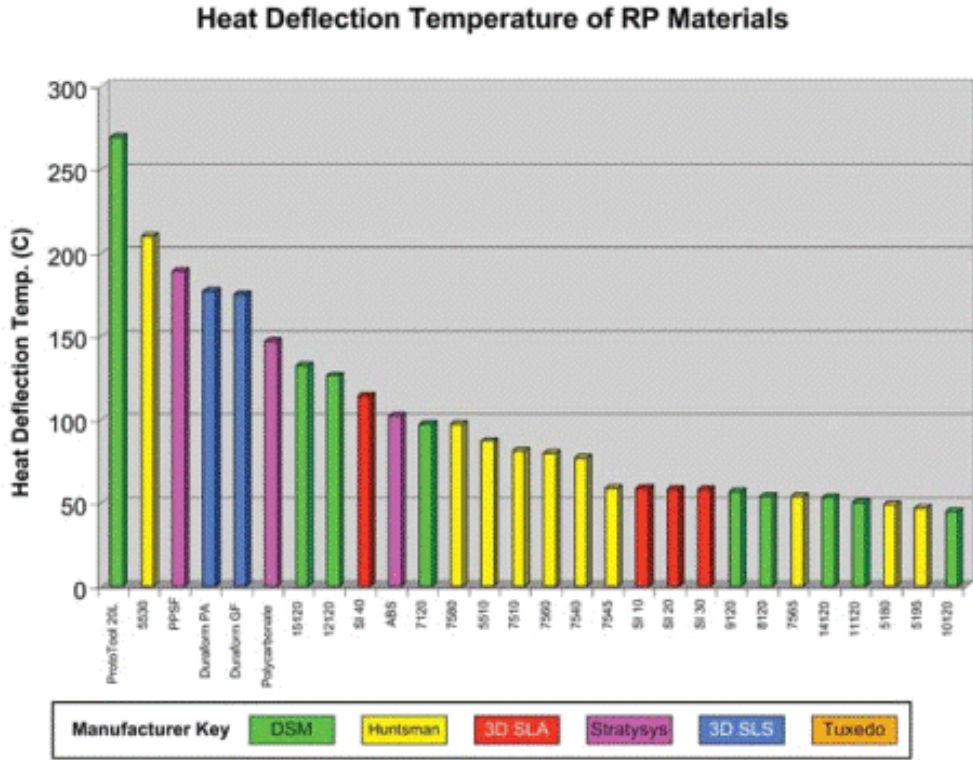
Şekil 2.31-a Bilgisayarlı prototip makinası ile üretilmiş metal kalıplardan örnekler,
Firma: EOS [15]



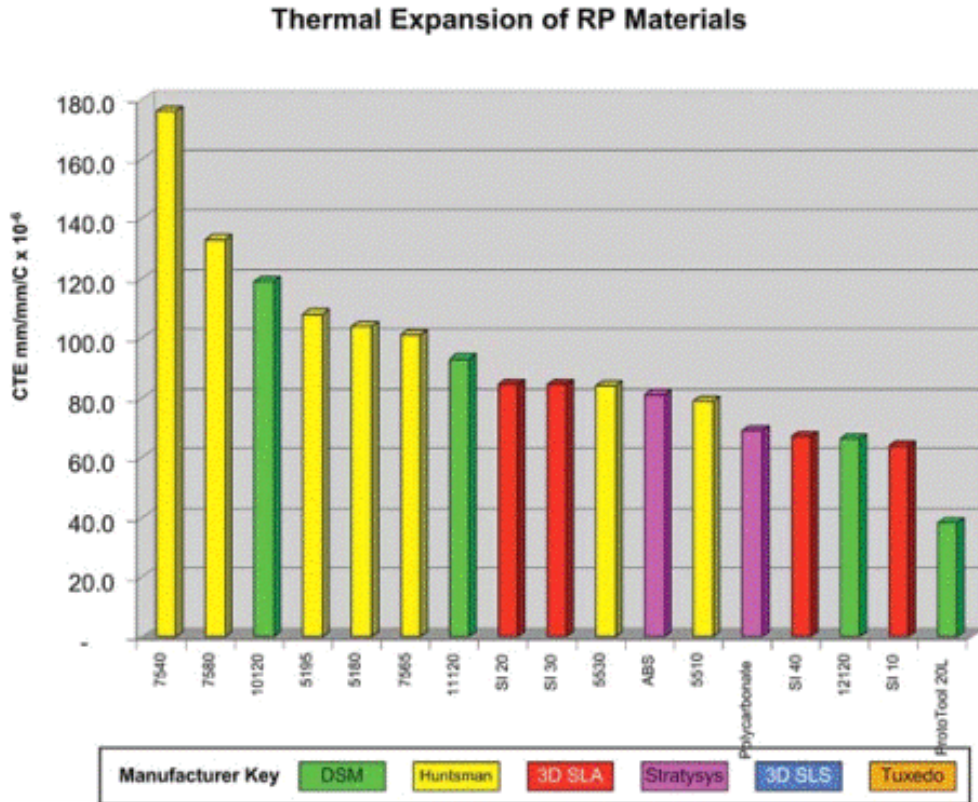
Şekil 2.31-b SLS sistemi ile üretilmiş bir kalıp ve bu kalıptan çıkmış plastik parça,
Firma: EOS [15]

2.4.4.2.2 Prototip İmalatı

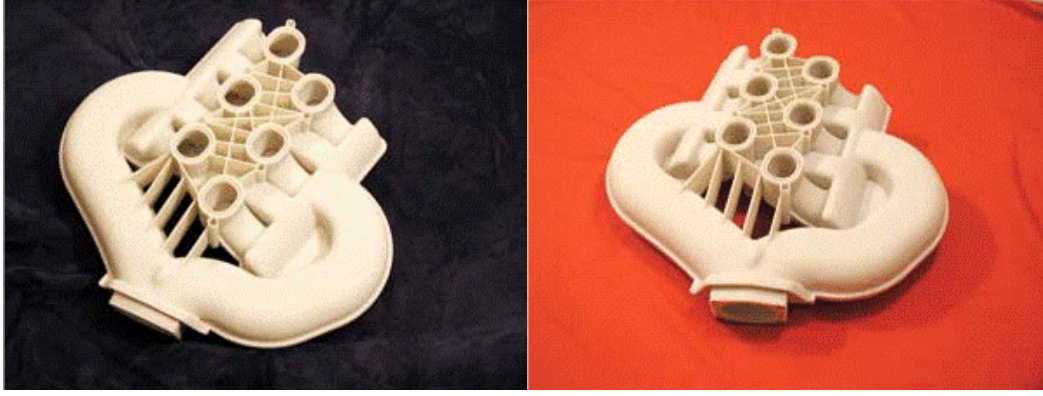
Bilgisayarlı prototipleme teknolojileri, bitmiş parça üretimine yakın hassaslıkta ve fiziksel özellikler sağlayan malzeme çeşitlilikleri ile, ürün geliştirme sürecinde mühendislik testleri içinde kullanılmaktadır. Bu testlere ölçekleme akış analiz testi, stres analizi, form ve uyum testi, hava akımı testi gibi örnekler verilebilir.



Şekil 2.32-a Bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinde kullanılan malzemelerin ısıl sapma testleri [15]



Şekil 2.32-b Bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinde kullanılan malzemelerin ısıl genişleme testleri [15]



Şekil 2.33 Altı silindirli bir motor prototipine ait egzoz manifoldu [15]

Şekil 2.33’de örnek olarak gördüğümüz parça, direk motor üzerine yerleştirilebilecek fiziksel özelliklerde üretilmiştir. Prototipi olarak üretilen motor çalıştırılarak dinamometre testlerine sokulacaktır [15].

2.4.4.2.3 Direkt İmalat

Az sayıda üretim için bilgisayarlı prototipleme teknolojileri iki yöntemde kullanılmaktadır. Birinci yöntem bu makineler ile plastik, metal, seramik gibi malzemelerden üretilebilen direkt üretim yaparak çıkan modeli son ürün olarak kullanmaktır. İkinci yöntem bilgisayarlı prototipleme makinelerinden elde edilen modeli, silikon kalıplama veya hassas döküm gibi kalıp süreç maliyetleri yüksek olmayan bir yöntemle düşük sayıda çoğaltmaktır. Bugün için bu üretim şeklinin örnekleri az sayıda bulunmaktadır.

BMW firması montaj ve testlerde kullanılmak üzere bazı özel araçları hızlı prototipleme teknolojisi ile üreterek direkt kullanmaktadır. Şekil 2.34’de görülen örnek parça, *BMW* marka otomobilin model uzantısını belirleyen logonun tam yerine hizalanarak yerleştirilmesi için tasarlanmış ve FDM prensibinde çalışan bir bilgisayarlı prototipleme makinesiyle ABS plastik olarak üretilmiştir [9].



Şekil 2.34 BMW marka araca ait M3 model logosunun, montaj sırasında hızlı ve doğru yere takılabilmesi için üretilmiş bir el aracı [9]

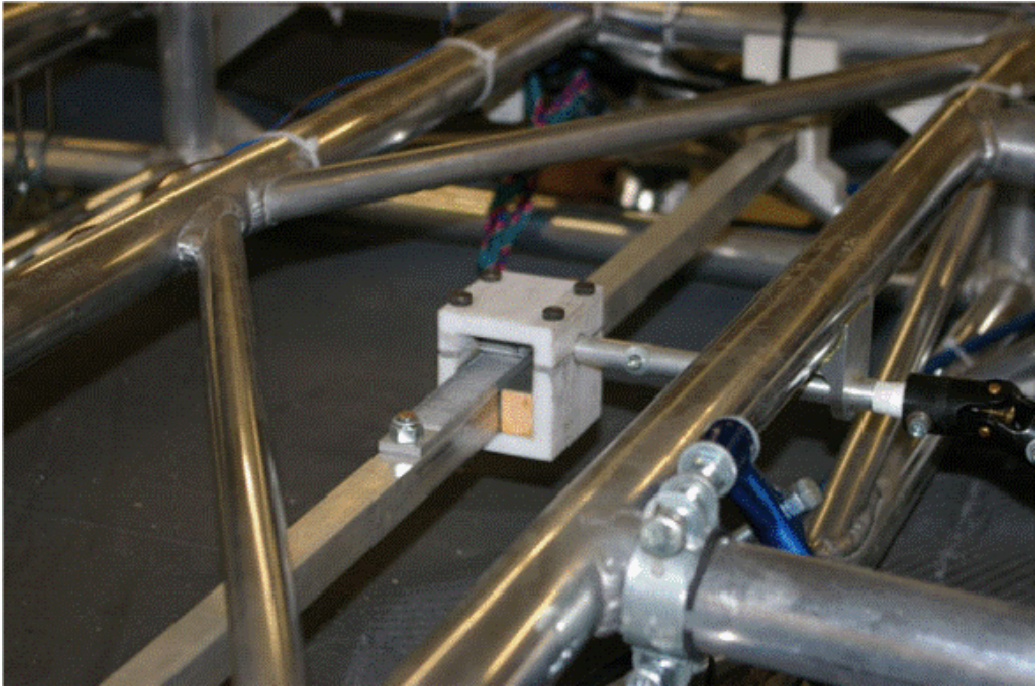
Düşük adet üretim yapan firmalar oluşturdukları ürünlerde endüstri standardı olan parçaları kullanmak yerine, bu tip teknolojiler ile ürünlerine özelleşmiş fonksiyonel parçaları üretebilmekte ve kullanabilmektedirler. Umicar isimli firma yarışmalar için güneş enerjisi ile çalışan araçlar üretmektedir. Bu araçların her bir parçası özel olarak üretilmektedir. Enerji kaynağının kısıtlı olmasından dolayı bu araçlar için her gramın önemi vardır. Her bir parçanın ürünün bütününe uygun bir şekilde tasarlanması ve üretilmesi, en verimli sonuca ulaşmak için avantaj sağlamaktadır [3].



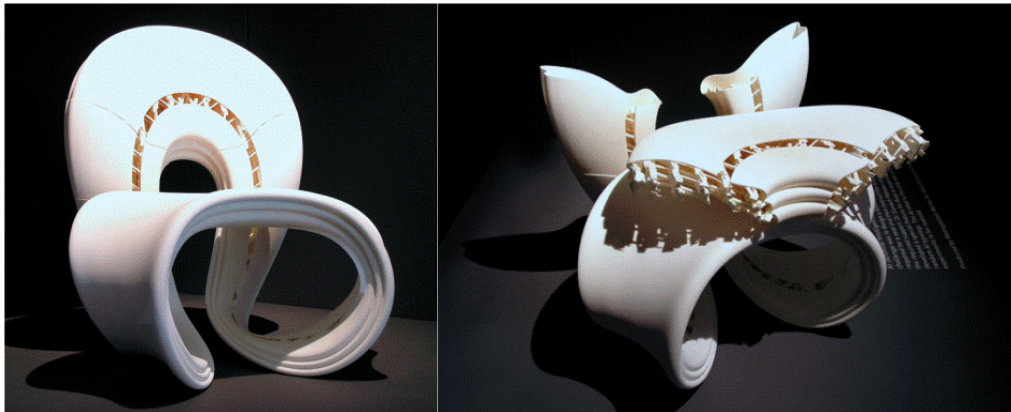
Şekil 2.35 Umicar şirketine ait güneş enerjisi ile çalışan araç [15]



Şekil 2.36 Tekerleklerde kullanılan FDM ile üretilmiş kapaklar [15]



Şekil 2.37 FDM ile üretilmiş tekerlek yuvaları [15]



Şekil 2.38 Oturma elemanı [15]

Assa Ashuach tarafından tasarlanan yukarıdaki örnekteki oturma elemanı, başka üretim teknikleri ile neredeyse üretimi imkansız bir iç geometriye sahiptir. Ürünün iç geometrisi malzemenin esneme payları hesaplanarak ergonomik bir oturma sağlaması için

oluşturulmuştur. *EOS* firmasına ait plastik sinterleme teknolojisi kullanan bir bilgisayarlı prototipleme makinesi ile birkaç geçmeli parça şeklinde üretilmiştir. Bu örnek bize, ürün geometrilerinin malzeme özellikleri paralelinde uygun bir biçimde tasarlanması sonucunda, malzemeden daha yüksek verim alabileceğimiz sonucunu gösterir. Malzemeyi masif olarak kullanmak yerine, gerilim ve dirençleri hesaplayarak karmaşık geometri iç yapıları bu teknik ile üretebiliriz. Aynı fiziksel dayanımı veya istenen esneme paylarını koruyarak daha az malzeme kullanabilmemiz mümkündür.

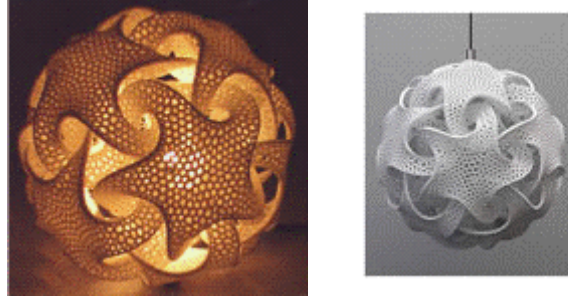
İngiliz bisiklet yarış takımı bisikletçilerinden optimum verimi alabilmek için, her sporcuya kendi ölçülerine özel parçaları, bilgisayarlı prototipleme teknolojileri ile üretme yöntemini kullanmaktadır. Fiziksel dayanıklılık isteyen bisiklet sporunda, sporcuların fizyolojik özelliklerine uygun açı ve mesafeler sağlanarak, enerjilerinin daha az kayıpla işe dönüşebilmesi sağlanmaya çalışılmıştır [15].



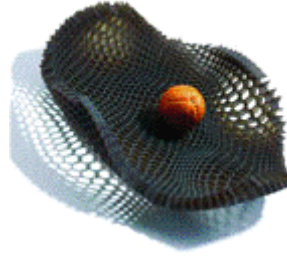
Şekil 2.39 Testler uygulanırken bir sporcu [15]

Londra'da *100% Design Show*'da sergilenmiş olan *Materialise* şirketine ait MGX serili ürün grubu, tamamen bilgisayarlı prototipleme makineleri ile üretilmiş ve internet mağazaları üzerinden satışa sunulmuştur. Aydınlatma, dekorasyon ve oturma elemanı olarak üç kategoride farklı ürünler mevcuttur. Bu ürünler ile gösterilmek istenen, seri üretim ürün maliyetlerine yakın rakamlar içerisinde kalarak, prototip teknolojilerinin çok karmaşık geometrileri bir seferde çıkartabilmesi ve pazara direkt sürülebilecek üretimler yapılabileceği

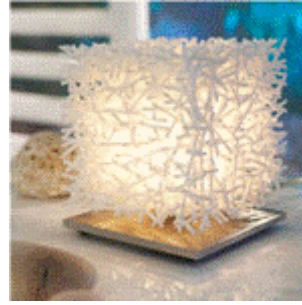
iddiasıdır. STL ve SLS yöntemleri ile kalıplı imalatta yapılması neredeyse imkansız gibi gözükken ürün örnekleri aşağıdadır [14]:



Şekil 2.40 Aydınlatma elemanı, fiyat 739 € (Quin Sconce, MGX) [14]



Şekil 2.41 Dekorasyon elemanı, fiyat 341 € (Black Honey, MGX) [14]



Şekil 2.42 Aydınlatma elemanı, fiyat 500 € (Chaos, MGX) [14]



Şekil 2.43 Dekorasyon elemanı, fiyat 1.183 € (MGX) [14]

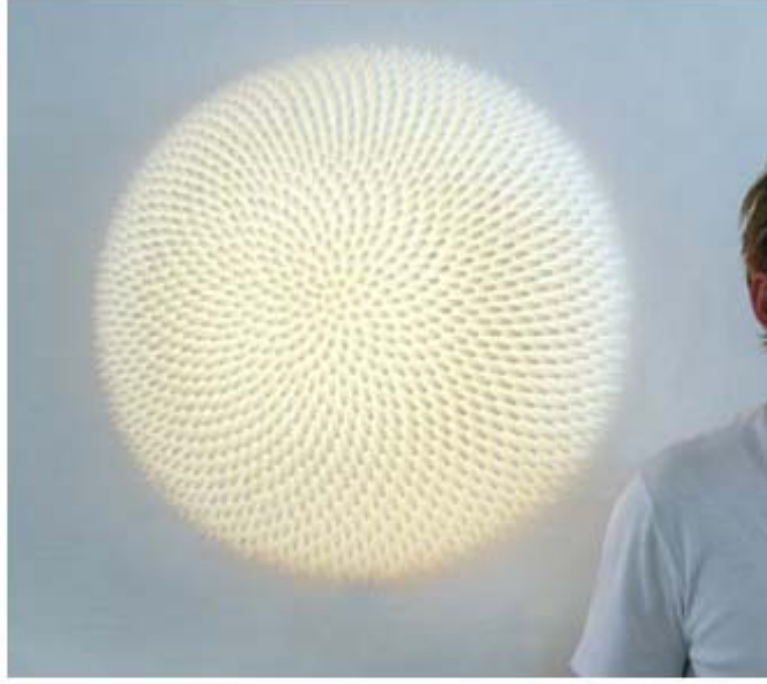


Şekil 2.44 MGX fuar standı [14]

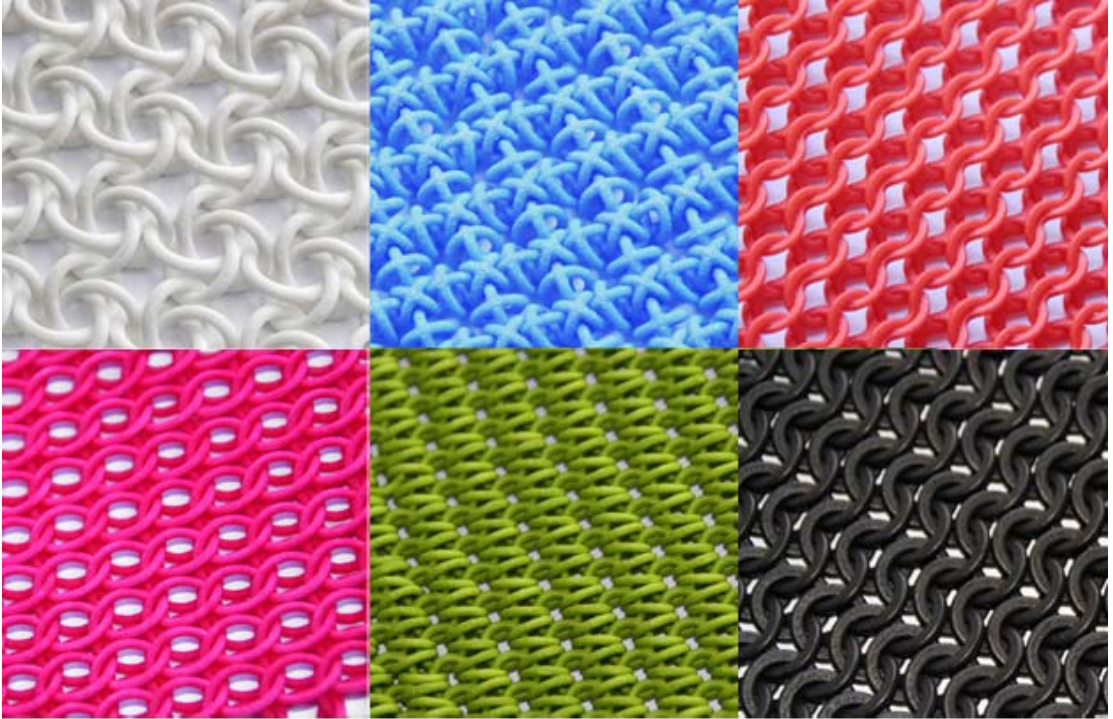
Hollanda'da bulunan Freedom Of Creation (FOC) isimli firma, FDM tekniğini kullanarak tasarımlarını üreterek direkt satmaktadır. Ürün yelpazesinde aydınlatma, tekstil ve aksesuar başlıkları bulunmaktadır. Aydınlatma ürün gamı altında düzenli bir yapı sergileyen karmaşık modelleri mevcuttur. Tekstil başlığı özellikle çok dikkat çekicidir. Zincir yapısı gibi içiçe geçmiş halkalardan oluşan geometrilerin, FDM tekniği ile bir seferde direkt üretilmesi sağlanmıştır.



Şekil 2.45 Taşınabilir müzik çalar için çanta [10]



Şekil 2.46 Karmaşık geometri bir aydınlatma [10]



Şekil 2.47 Tekstil ürünleri için dokuma yapısı çeşitleri [10]



Şekil 2.48 Çanta [10]



Şekil 2.49 Çantalar için zincir aksesuarı [10]

Şekil 2.49’da görülen zincir örneğinin birbiri içinden geçerek bağlanmış halkaları FDM üretim yöntemi ile tek seferde üretilebilmektedir. Montaj işlenimine gerek duyulmaz ve bitmiş ürün olarak direkt kullanılabilir.



Şekil 2.50 Boşlukta parmak uçlarıyla hayali çizgiler oluşturan tasarımcılar [11]

Newyork'ta bulunan *Art Basel Miami Tasarım* ofisinden Barry Friedman'a ait deneysel bir çalışma. Bu çalışmada kişiler parmaklarının ucu ile havada çizdikleri objeleri, hareket yakalama sistemi ile yakalayarak bilgisayar hafızasına geçirerek, bu datalar doğrultusunda havada oluşturulan üç boyutlu çizgilerin bir CAD programı yardımı ile çizgi kalınlıkları artırılmıştır. Bu aşamaların sonucunda eldeki hacimli çizgilerden oluşan sandalye, masa ve aydınlatma gibi objeler bilgisayarlı prototipleme teknolojisi ile fiziksel modele dönüştürülmüştür (Şekil 50) [11].



Şekil 2.51 Hacimli çizgilerden oluşan sonuç obje çıktıları [11]

2.4.2 Örnekler

2.4.2.1 Endüstriyel Ürünler

Endüstriyel ürün tasarımı ve geliştirme sürecinde prototip modeller birçok farklı amaç için kullanılır. Topladığımız örneklerle ilgili ürün geliştirme sürecinde bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinin ne gibi avantajları olduğunu inceleyelim.

Endüstriyel bir yangın dedektörü tasarım ve geliştirme sürecinde bilgisayarlı prototipleme teknolojisi kullanılarak ürünün birebir çalışan prototipi üretilmiştir. Ürün bir sistem denetçisi ve bir dedektörden oluşmaktadır. Dedektör sistem denetçisine düzenli aralıklarla lazer sinyal göndermektedir. Yangın durumunda bu ışın kesintiye uğrar ve alarm devreye girer. Çevresel koşullar altında sapma olup olamayacağı ve bu sapmanın ürünü nasıl etkileyebileceğini görmek için fonksiyonel prototipler üretilmiş ve testlere tabi tutulmuştur. Bütün parçalar SLS yöntemi ile birebir gerçek tasarıma uygun olarak imal edilmiş ve montajı yapılmıştır [13].

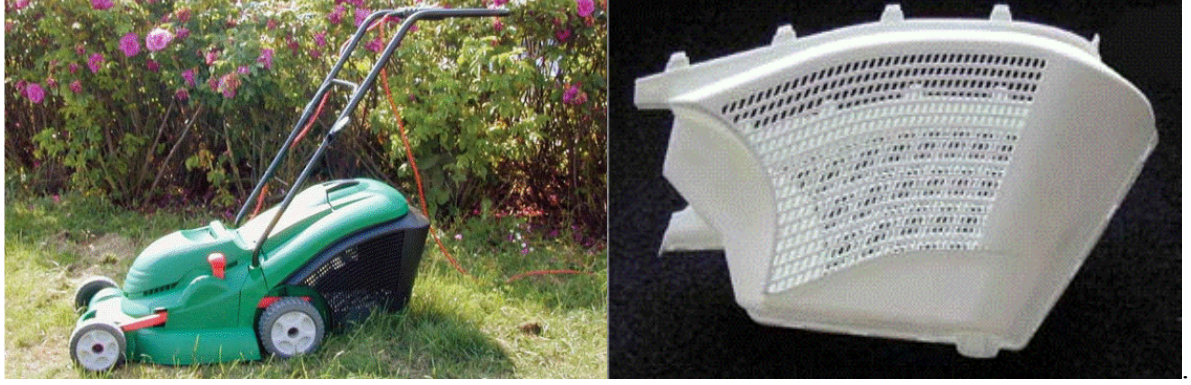


Şekil 2.52-a Yangın dedektörünün bitmiş hali [13]



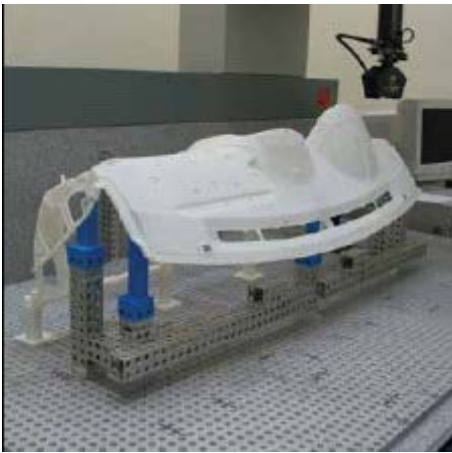
Şekil 2.52-b Yangın dedektörünün açınım görüntüleri [13]

Bosch firması Şekil 2.53'de görülen çim biçme makinesi için ürün geliştirme sürecinde, bilgisayarlı prototipleme teknolojileri ile çalışmıştır. Ürünün dış gövde parçaları sadece yedi gün içerisinde imal edilmiştir. Modeller tek parçadan oluşacak şekilde direkt makinelerden çıkartılmıştır. Ürün 18.000 devir dönebilen 1800 Wattlık bir motora sahiptir. Mevsimsel olarak satış grafikleri değişen çim kesme makinelerinin, sezon başında yeni modellerle hazır bulunması gerekmektedir [15].



Şekil 2.53 Çim kesme makinesine ait fonksiyonel prototip parçaları (Firma: *Bosch*) [15]

Hyundai Mobis firması, aralarında Hyundai ve Kia'nın da dahil olduğu, otomotiv sektörünün birçok firmasına yan sanayi alanında hizmet veren bir şirkettir. Otomobil konsolu tasarım sürecinde FDM tekniği ile konsolun birebir prototipini üretirler. 1382 mm genişliğe sahip olan prototip parça yerine monte edilir ve testler yapılır. Parçadaki sapma oranı 0.75 mm olarak belirlenmiştir. Mobis araştırma baş mühendisi Mr. Byun, tasarım sürecinde konsol prototipi testleri ile 80 adet tasarım hatasını tespit ettiklerinin vurgulamaktadır [19].



Şekil 2.54-a Hyundai konsol prototipi [19] **Şekil 2.54-b** Hyundai konsolun bitmiş hali [19]

Burada önemli olan bilgisayarlı prototipleme teknolojisi ile prototip maliyet ve süreçlerinin kısaltılmasıdır. Süreçten yapılan tasarruf, hızlı bir şekilde yeni bir prototip daha yapılarak adım adım olabilecek bütün hataların mümkün olduğunca düzeltilmesini sağlamaktadır.

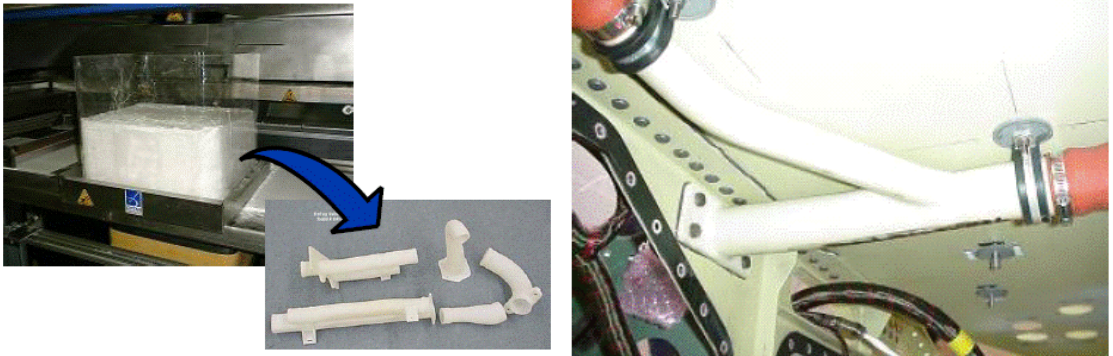
Uçak Endüstrisi

Uçak endüstrisi gibi alanlarda, özel parçaların düşük adet üretim gereksinimi maliyetleri arttırmaktadır. CNC veya başka yöntemlerle üretilmeyecek karmaşık parçaların, bilgisayarlı prototipleme teknolojileri ile fonksiyonel özelliklerde üretimi artarak başvurulan bir yoldur.

Boeing firması uçaklarında metal veya plastik tabanlı malzemeler ile birebir kullandığı fonksiyonel parçaları üretmek için FDM, SLS ve EBM teknolojilerini kullanmaya başlamıştır [7].



Şekil 2.55 *Boeing* firmasına ait uçuş simülatorü kontrol kolu parçaları [15]



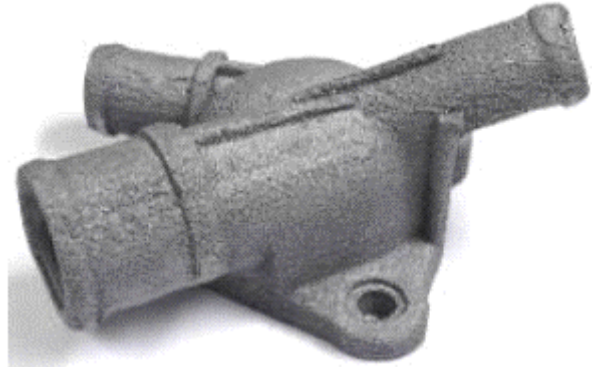
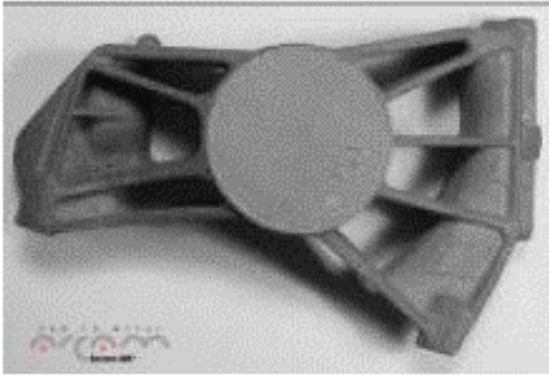
Şekil 2.56 Askeri hava aracı kanal parçaları [15]



Şekil 2.57 Bir savaş uçağında kullanılan FDM teknolojisi ile üretilmiş parçaları gösteren illüstrasyon [15]



Şekil 2.58 Bir arayüz parçası [15]



Şekil 2.59 EBM tekniği ile üretilmiş fonksiyonel titanyum parçalar [15]

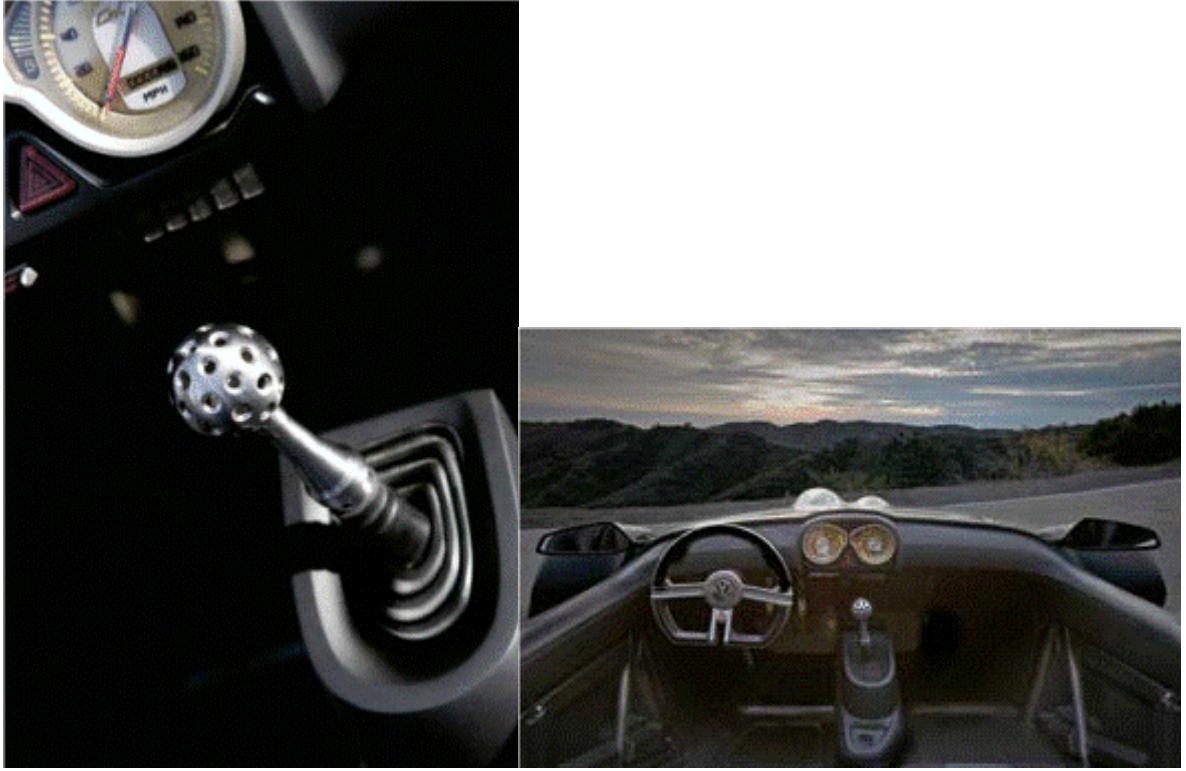
2.4.2.1.2 Otomotiv Endüstrisi

Otomotiv endüstrisinde ürün geliştirme sürecinde üretilen prototiplerde, çalışan makine parçalarından organik plastik yüzeylere kadar birçok parça üretimine ihtiyaç duyulmaktadır. Birbirinden farklı birçok parçanın bilgisayarlı prototipleme teknolojileri sayesinde hızlı ve daha düşük maliyetle üretilebilmesi mümkündür.



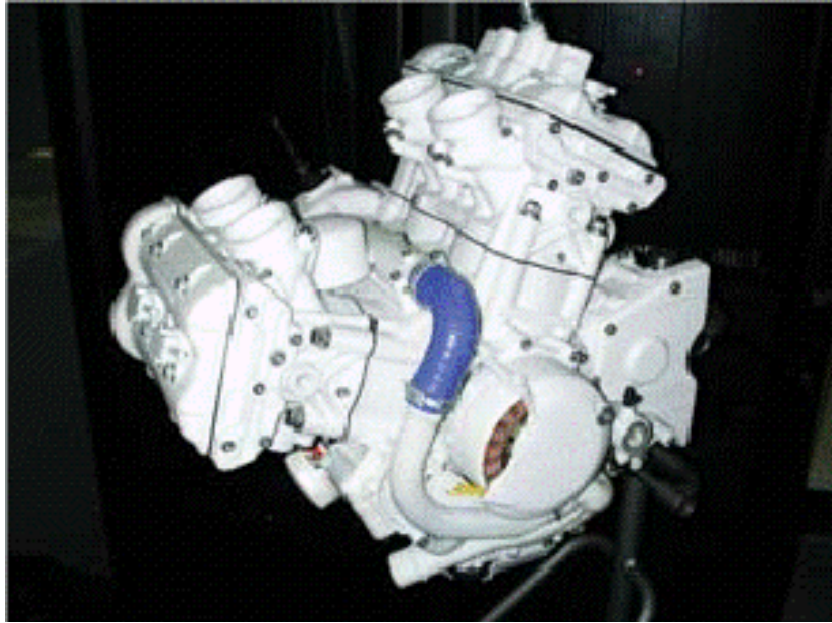
Şekil 2.60 Bazı fonksiyonel metal parçaları SLS yöntemi ile üretilmiş VW firmasına ait spor araç prototipi [15]

Volkswagen firmasına ait iki kişilik üç tekerlekli GX3 araç prototipi, Los Angeles Otomotiv Fuarı için hazırlanmıştır (Şekil 2.60). Metal vites topuzunun, aracın mekanik gücünü kullanıcıya ileten bir obje gibi tasarlanması istenmiştir. Tasarlanan form CNC gibi bir üretim tekniğiyle hızlı ve sağlıklı bir biçimde üretilemez. Tasarımcılar, vites topuzu modelini SLS tekniği ile paslanmaz çelikten ürettikten sonra, yüzey parlatma işlemi ve montaj için gereken yuvayı açmışlar ve prototip araca montajını tamamlamışlardır. Yalnızca bir vites topuzu, üretimin ufak bir parçası gibi gözükabilir (Şekil 2.61). Fakat bu aracın fuarda aldığı olumlu talepler gösteriyor ki; kullanıcılar için özelleştirilebilen, herbiri tek ve farklı üretilebilen ürünler ufak bir detayla büyük avantajlar yakalayabilirler [15].



Şekil 2.61 Direkt metal sinterleme yöntemi ile üretilmiş vites kolu [15]

Ducati motor geliştirme sürecinde, FDM teknolojisi ile tamamıyla polikarbonat malzemeden oluşan parçalar ile prototip üreterek, normalde 28 ay olan geliştirme sürecini 8 aya indirebilmiştir. Birebir formda üretilmiş prototip, mühendisler tarafından fiziksel analizlerinin hızlı bir biçimde yapılarak, kusurların düzeltilmesini sağlamıştır (Şekil 2.62) [15].



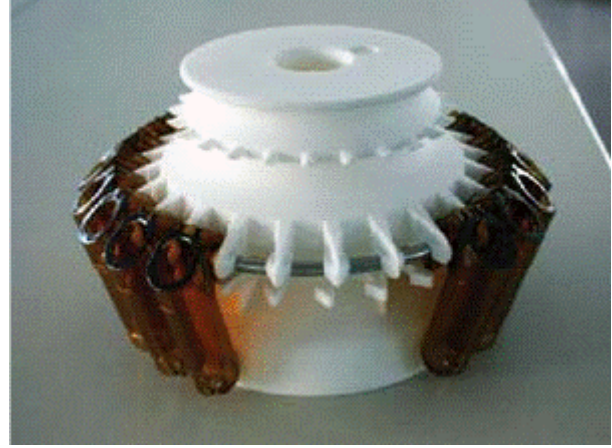
Şekil 2.62 Polikarbonat malzemeden üretilmiş motor prototipi [15]

2.4.2.1.3 Sağlık Sektörü

Sağlık sektörü gibi düşük adetli üretime ihtiyaç duyan endüstriler, bilgisayarlı prototipleme teknolojileri ile yoğun biçimde çalışmaktadırlar.



Şekil 2.63-a STL'den önceki santrifüj örneği [15]



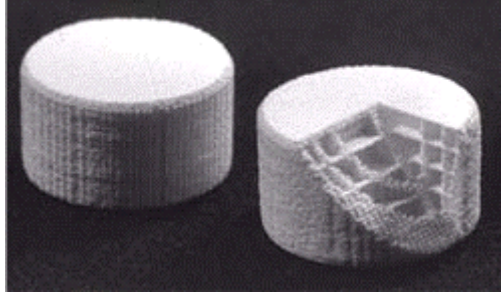
Şekil 2.63-b STL ile üretilmiş santrifüj örneği [15]

Hettich Zentrifugen isimli firma, laboratuvarlara yönelik düşük adet satış rakamına sahip santrifüj sistemlerinde bazı parçaların STL yöntemi ile üretilerek satışa sunulmasına başlamıştır [15].



Şekil 2.64 FDM parçalara sahip bir başka santrifüj makinesine örnek [17]

Amerikan *Therics* firması, orijinal olarak MIT'de geliştirilen 3DP teknolojisinin ilaç kapsülü yapımında kullanılması konusundaki lisansını almıştır. Kapsüllerin yapımında hammadde olarak çeşitli ilaç tozları ve bağlayıcılar kullanılmaktadır [20].



Şekil 2.65-a İlaç kapsülleri [20]



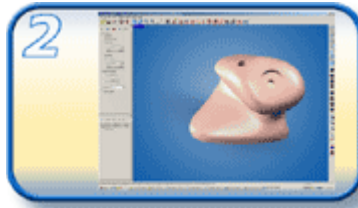
Şekil 2.65-b 3DP tekniği ile çalışan ilaç kapsülleri üretim makinesi [20]

Şekil 2.65-b'de *Theriform 3100* cihazı görülmektedir. Bu cihaz 32 memeden malzeme püskürtebilmektedir. Ayrıca saatte 60,000 adet tablet üretme kapasitesine sahiptir.

Artık bilgisayarlı prototipleme teknolojileri ile, kulak içi duyma cihazlarının, kulak içerisine giren geometrik yapıları kişiye özel olarak üretilebilmektedir.



Şekil 2.66-a
Macun model [12]



Şekil 2.66-b
Sayısal model [12]



Şekil 2.66-c
Bitmiş ürün [12]

Hastanın kulak içinden macun ile alınan model üç boyutlu sayısallaştırma sistemi ile taranır. Tarama verisi ilgili yazılıma aktarılır. Burada elektronik devrenin yerleşmesi için gerekli kabuk tasarımı program aracılığı ile yapılır. Bilgisayarlı prototipleme teknolojileri ile kişiye özel işitme protezi gövdesi üretilir ve montaj sonrası hastaya teslim edilir [12].

2.4.2.1.4 Mücevherat

Mücevher endüstrisinde ürün gamının geniş tutulması ve sürekli yenilenmesi gerekmektedir. Büyük ve küçük üreticilerin bulunduğu bu sektörde her bir modelin satış rakamları düşük, ürün gamı ise geniştir. Tasarlanan ürünün ilk modelleri bilgisayarlı prototipleme teknolojileri kullanılmadan önce el ile zanaat şeklinde oluşturulmakta ve bu modelden kalıp alınarak hassas döküm yöntemi ile üretime geçilmekteydi. Fakat bugün bilgisayarlı prototipleme teknolojileri sayesinde tasarım dijital ortamda yapılmaktadır. Tasarım ortamındaki veri doğrultusunda mum veya reçine malzemeler ile ilk model üretilebilmektedir. Daha sonra bu ilk modeller kullanılarak hassas kalıp yöntemi ile üretime direkt geçilebilmektedir. Mücevher endüstrisinde FDM ve SLA teknolojileri kullanılmaktadır.



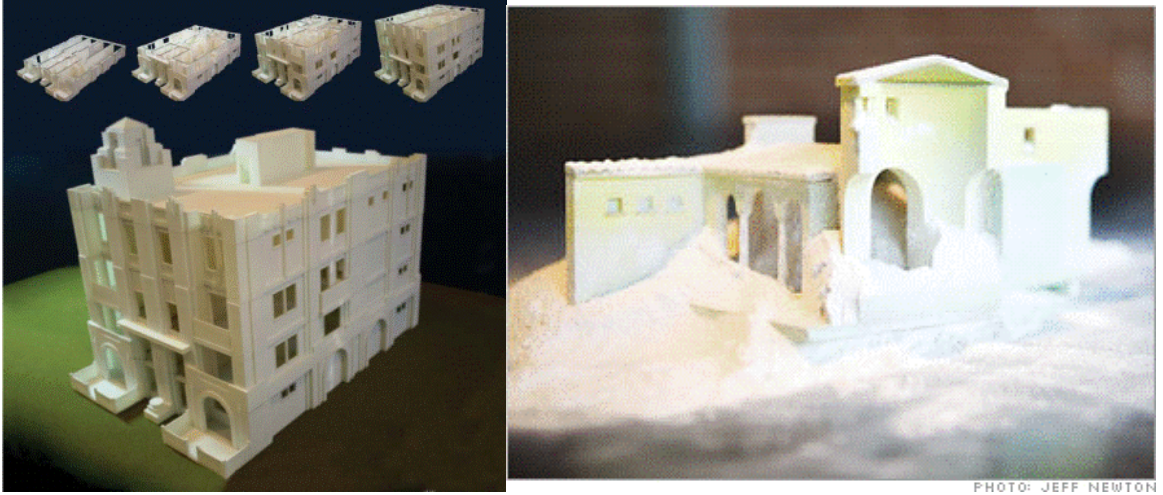
Şekil 2.67 Mum malzemeden hazırlanmış yüzük modelleri [21]



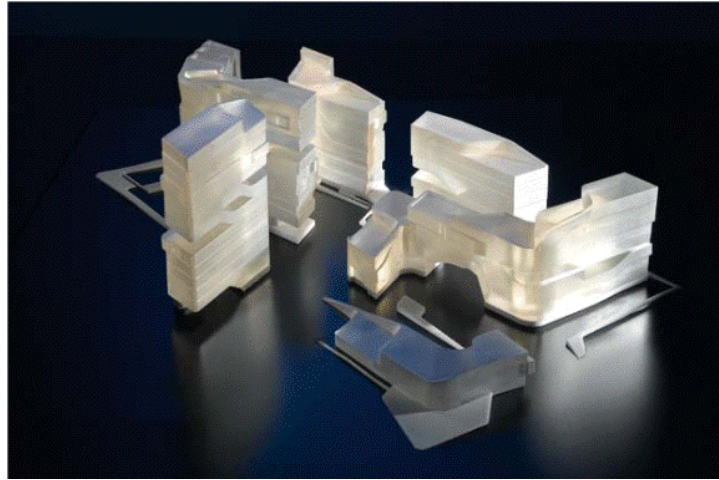
Şekil 2.68 %20 mum içeren malzeme üretilmiş yüzük modelleri mum döküm ağacına bağlanmış hali ve hassas döküm ile elde edilmiş sonuç ürün [20]

2.4.2.2 Mimarlık

Mimari uygulamalarda tasarım süreci içerisinde en önemli aşamalardan biri sunumlardır. Bilgisayar ortamında birebir ölçülerle tasarlanan mimari yapının hızlı ve orjinaline sadık orantılarda sunumlara dönüştürülebilmesi bilgisayarlı prototipleme teknolojileri ile mümkündür.



Şekil 2.69 3DP teknolojisi ile üretilmiş mimari proje örnekleri [15]



Şekil 2.70 SLA teknolojisi ile üretilmiş mimari proje örneği [15]



Şekil 2.71 SLS teknolojisi ile üretilmiş mimari proje örneği [15]



Şekil 2.72 SLS teknolojisi ile üretilmiş mimari proje örneği [1]

2.4.2.3 Sanat

Bilgisayarlı prototipleme sistemleri hayalde canlandırılan geometrik formları, hızlı bir biçimde istenilen malzemedен fiziksel modele dönüştürebilme kapasitesi sayesinde, sanatsal çalışmalarda kendine yer bulmaya başlamıştır. Bu araştırma işin sanatsal boyutundan bahsetmeyecektir. Aşağıda metal ve alaşımları direkt veya hassas döküm yöntemi ile heykellerinde kullanan sanatçıların örnekleri görülmektedir:



Şekil 2.73 Bathsheba Grossman'a ait *Antipod* heykeli [4]



Şekil 2.74 Bathsheba Grossman'a ait *Nexus* heykeli [4]



Şekil 2.75 Bathsheba Grossman'a ait matematiksel geometrik formu anlatan
The Gyroid heykeli [4]



Şekil 2.76 David Morris'e ait *Little Napoleon* isimli çalışma [16]

Film veya bilgisayar oyunu gibi sektörler içerisinde, karakter tasarımcıları yaptıkları bilgisayar modellerini fiziksel model olarak üretebilmektedirler. Bu şekilde yaptıkları sunumlar, müşterilerinin işin sonucunu birebir görerek daha net algılayabilmelerini sağlamaktadır.



Şekil 2.77 Brian Taylor'a ait *Rustboy* isimli karakter [24]

Gil Bruvel isimli sanatçı eserini bilgisayar ortamında oluşturmuş, FDM teknolojisi ile modelini çok parçalı olarak üretmiş ve birleşmiştir. Yapılan bronz kaplama ile beraber eser metal görünümüne kavuşturulmuştur.



Şekil 2.78-a Modelin bilgisayar verisi [5]



Şekil 2.78-b Verinin FDM ile üretilmiş parçaları [5]



Şekil 2.78-c Bu parçaların birleştirilmiş hali [5]



Şekil 2.78-d Bronz kaplama uygulanmış hali [5]

SONUÇ

Bu araştırmada incelenen uygulama sahaları ve ürün örnekleri dahilinde bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinin, tasarım ve üretim süreçlerinde yaygın bir şekilde kullanıldığı sonucunu gözlemlemekteyiz.

Bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinde bugün için metal, seramik, reçine ve mum gibi malzemelerden üretilen parçaların yüzey hassaslığı ve fiziksel malzeme özellikleri, birçok uygulamada kullanılmak için yeterli performansa ulaşmıştır. Plastik malzemeler ile üretimde yüzey ve malzeme yapısı yeterli bir performansa henüz ulaşamamış olsada, direkt üretim konusunda bazı örneklere rastlamaktayız. Bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinin klasik üretim yöntemlerine göre en önemli avantajı, karmaşık geometrileri tek bir aşamada hızlı bir biçimde üretebilmesidir. Prototipleme veya kalıp imalatı gibi tek veya az sayıda üretimin yapıldığı süreçlerde, bilgisayarlı prototipleme teknolojileri diğer tekniklere kıyasla daha ekonomik ve hızlıdır. Dünya çapında birçok firmanın ve üniversitenin yürüttüğü araştırma çalışmalarından dolayı, bilgisayarlı prototipleme teknolojilerinde makine, malzeme ve işletme maliyetleri sürekli olarak aşağıya çekilmektedir.

Bu avantaj ve yeteneklerinden dolayı bilgisayarlı prototipleme teknolojileri tasarım ve üretim süreçlerine birçok aşamada dahil olmaktadır. Bilgisayarlı prototipleme teknolojileri bu araştırmada da incelediğimiz üzere, tasarım sürecinde kütleli ve fonksiyonel prototiplerin üretimi, üretim sürecinde ise kalıp üretimi, fonksiyonel parça üretimi, mühendislik prototip örnekleri ve bitmiş ürün üretimi için kullanılmaktadır.

Bilgisayarlı prototipleme teknolojileri üretim sürecini kısaltmakta, üretim araçlarının sayısını ve maliyetlerini düşürmektedir.

Klasik yöntemlerde kalıp üretimi için gereken çok adımlı süreçlerin birçok aşamasını eleyerek süreci hızlandırmakta ve maliyetleri düşürmektedir. Kalıp maliyetleri aşağıya çekildiğinde, birim ürün başına yansıyan maliyette düşmektedir. Bu sayede ürün çeşitliliği artırılabilir. Kullanıcıların ve pazarların özellikleri doğrultusunda daha çok tipte özelleşmiş ürün ekonomik olarak üretilebilir. Karmaşık geometrik yapıya sahip gelişmiş kalıpların üretilebilmesi sayesinde, enjeksiyon kalıp metoduyla üretilen plastik parçaların, kalıp içerisinde soğuma süreleri kısaltılabilmektedir. Parçanın binlerce adet üretiminde, her bir parçadaki üretim süresinin kısalması toplamda ciddi

miktarda zaman tasarrufu ve dolaylı olarak maliyetin azalmasını sağlar. Soğutma kanallarının veriminin artması, üretilen parçaların fiziksel dayanımlarının da artmasını sağlayabilmektedir.

Fonksiyonel prototiplerin üretiminde süreç ve maliyetlerinin aşağıya çekilmesinden dolayı, ürün geliştirme süreci içerisinde daha fazla sayıda prototip kullanılabilmesi mümkün olabilmektedir. Her bir prototipin hatalarının tespiti ve yapılan iyileştirmeler ile yeniden üretilerek testlere tabi tutulabilmesi sayesinde daha sorunsuz ve rasyonel ürünlere ulaşabilmek mümkündür.

Ürün tasarımı sürecinde test etme ve imalata hazırlık aşamalarındaki zamansal kısılmalardan dolayı, tüketici eğilimleri daha yakın süreçlerde gözlemlenebilir ve piyasalara olan tepki süresi hızlandırılmış olur. Örneğin bir ürün için geliştirme süreci bir yıl ise gelecek yılın tüketici eğilimlerinin bir yıl önceden tahmin edilmesi gerekir. Fakat ürün geliştirme süreci 3 aya çekilebilirse, daha yakın bir tarih için daha sağlıklı tahminler yürütülebilir.

Karmaşık kalıpların üretilmesi sayesinde, ürün parçalarının iç yüzeylerinde daha etkili mühendislik çözümleri uygulanabilmekte ve malzeme ya da üretim yönteminden doğan kısıtlamalar, tasarımcılar için azalmaktadır. Ürün tasarım sürecinde ulaşılabilecek form serbestliği ve esnekliği bu sayede artmaktadır. Kalıp maliyetlerinin düşmesi sayesinde, ürünün kullanıcı ile birebir ilişkide olan kısımları ergonomik ve estetik açıdan, farklı kullanıcı gruplarına özelleşmiş formlarda alternatifli olarak, kitlesel üretim maliyetleri içerisinde üretilir.

Sonuç olarak bilgisayarlı prototipleme teknolojileri yüksek adetli üretimlerde maliyetleri düşürmekte ve süreçleri kısaltmaktadır. Bazı düşük adetli üretimlerde ise direkt üretim yöntemi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yakın bir tarihi olmasına rağmen hızla yayılması ve ivmeli bir şekilde gelişmesi göstermektedir ki; üretim ve tasarım süreçlerinde etkinliği artarak kullanılmaya devam edilecektir. Gelecekte bilgisayarlı prototipleme teknolojileri ile; uygun fiziksel özelliklere sahip ürünleri düşük maliyetler çerçevesinde üretebilme ve tek parça içinde değişik kısımlarda farklı malzemeler ile üretim yapabilme yeteneğine ulaşılabildiği zaman, ürün tasarımı ve üretimi açısından bugünün koşullarına göre çok daha farklı kavramlar ve açılımlar ortaya çıkacaktır.

EKLER

Ek 1 **Sözlük**

SÖZLÜK

Additive Fabrication	Eklemeli fabrikasyon
Automated Fabrication	Otomatikleştirilmiş fabrikasyon
Solid Ground Curing	Katı alan kurutma
Electron Beam Melting	Elektron ışınıyla eritme
Fused Deposition Modeling	Eritilmiş malzeme yığma
Free Form Fabrication	Serbest şekilli fabrikasyon
Laminated Object Manufacturing	Katmanlı obje yapımı
Layered Manufacturing	Katmanlı imalat
Selective laser sintering	Seçici lazer sinterleme
Stereolithography	Stereolitografi
Stereolithography Apparatus	Stereolitografi cihazı
Solid Creation System	Katı yaratma sistemi
Snap-Back	Form hafızası
Rapid Manufacturing	Hızlı imalat
Rapid Prototyping	Hızlı prototipleme
Thermoplastic	Termoplastik
Three Dimensional	Üç boyutlu yazıcı
3D Printing	Üç boyutlu yazma

KAYNAKLAR

KİTAP KAYNAKLARI

Chua, C.K., (1997), Rapid Prototyping: Principles and Applications, 2.Baskı, s:111, s:178

Jacobs, P.F., (1996), Stereolithography and other RP&M technologies: from rapid prototyping to rapid tooling, Dearborn, Michigan , “Society of Manufacturing Engineers in Cooperation with the Rapid Prototyping Association of SME”, ASME Yayınevi, New York, s:368

Rudgley, M., (2001), Rapid manufacturing - the revolution is beginning; Proceedings of the uRapid 2001, Mayıs 2001, Amsterdam, Hollanda, s: 441-444

Koren, Y., (1983), Computer Control of Manufacturing Systems, McGraw Hill, Singapur

Hecht, J., (1992), The Lazer Guidebook, 2.Baskı, McGraw Hill, NewYork

Taraman, K., (1982) CAD/CAM: Meeting Today’s Productivity Challenge, Computer and Automated Systems Association of SME, Michigan

Hilton, P.D., Jacobs, P.F., Dekker, M., (2000), Rapid Tooling - Technologies and Industrial Applications, Newyork

Ergun, C., Özdemir, E., (2006), “Mühendislik Seramik Parçaların İleri Fabrikasyon Yöntemleri” Makalesi, İTÜ Makina Fakültesi, Makina Malzemesi ve İmalat Teknolojisi

SÜRELİ YAYINLAR

Dean A., (2004), “Graptec XD700” Makalesi, Prototype magazine Sunday, 05 Aralık 2004

İNTERNET ADRESLERİ

[1] <http://www.architectureweek.com>

[2] <http://home.att.net/~castleisland>

[3] <http://www.autofieldguide.com>

[4] <http://www.bathsheba.com>

[5] <http://www.bruvel.com>

- [6] <http://www.cadem.com.tr>
- [7] <http://www.cmet.co.jp/en/>
- [8] <http://www.concept-laser.de/>
- [9] <http://www.designnews.com>
- [10] <http://www.freedomofcreation.com>
- [11] <http://www.frontdesign.se>
- [12] <http://www.geomagic.com>
- [13] <http://www.oglemodels.com>
- [14] <http://www.proformshop.com/de/cgi>
- [15] <http://www.prototypemagazine.com>
- [16] <http://www.rpsculpture.org>
- [17] <http://www.rtejournal.de>
- [18] <http://www.tdk.gov.tr>
- [19] <http://www.thefreelibrary.com>
- [20] <http://www.turkcam.net>
- [21] <http://www.wikipedia.org>
- [22] <http://www.wohlersassociates.com>
- [23] <http://www.zcorp.com/imagesets/44/show.aspx>
- [24] <http://www.3darttopart.com>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	15.03.1978	
Doğum yeri	Antalya	
Lise	1988-1995	Üsküdar Anadolu Lisesi
Lisans	1995-2004	Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Endüstri Ürünleri Tasarımı
Yüksek Lisans	2004-2007	Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Ürünleri Tasarımı Anabilim Dalı