

ÖZET

Hızlı Prototip ve Üretim Teknolojileri, üretim sektöründe özellikle son yıllarda, bir ürünün pazara giriş sürecini ve yeni ürünlerin geliştirilmesi için gerekli maliyeti azaltmayı basarmanın essiz bir stratejisi olarak kabul edilmistir.

Üç boyutlu fiziksel modellerin herhangi bir geleneksel imalat islemi kullanılmadan, hızlı ve otomatik olarak üretilebilmesini sağlayan Hızlı Prototip ve Üretim Teknolojileri, ürün tasarimindaki yanlışlıkların mümkün olan en kısa zamanda fark edilmesine ve tasarlanan model üretilmeden önce tasarimin çok az bir uğrasi ile düzeltilmesine yardımcı olur. Tasarlanan modeli gerçekte canlandırabilmek ve çeşitli işlevsel testler yapabilmek için çok hızlı bir şekilde prototip üretimi ve Hızlı Kalıp uygulamaları için ise örnek model ve kalıp üretimi yapabilen çeşitli Hızlı Prototip ve Üretim sistemleri geliştirilmiştir. Son yıllarda özellikle lazer, malzeme, mekanik-elektronik, sayısal kontrol ve bilgisayar teknolojilerinde görülen gelişmeler sayesinde Hızlı Prototip ve Üretim sistemleri ile üretilen ürünlerin direk olarak parça veya kalıp olarak kullanılabilmesi sağlanmıştır.

Bu tez çalışmasında Hızlı Prototip ve Üretim teknolojilerinin üretim sektöründeki rolü ve önemi incelendikten sonra, özellikle su anda ticari olarak faaliyet gösteren sistemler detaylı olarak incelenerek birbirleri arasında belirli kriterler çerçevesinde avantaj ve dezavantajlar tartışılmıştır. Ayrıca mevcut sistemlerde bulunan bir takım eksikliklerin iyileştirilmesi için bazı çözüm önerileri getirilmiştir.

SUMMARY

Rapid Prototyping and Manufacturing Technologies have been recognized as a unique strategy to achieve the reduction of the time-to-market and cost for the development of new products for the manufacturing industry for the last years.

Providing 3D physical models rapidly and automatically without using any traditional methods Rapid Prototyping and Manufacturing Technologies, help to caught errors in the part design as possible as rapidly and requires little effort to correct design before produce the model designed. Various Rapid Prototyping and Manufacturing systems have been developed to produce prototypes rapidly for model visualization and functional testing and master models or molds as for Rapid Tooling applications. With the help of developments especially as in laser, material, mechanical-electronic, numerical control and computer technologies, it could be now provided that parts produced by Rapid Prototyping and Manufacturing systems can be used as a final product or as a mold insert.

In this thesis, the role and significance of the Rapid Prototyping Technologies for the manufacturing companies have been explored. After that, almost all commercial and some important developing Rapid Prototyping and Manufacturing systems have been investigated. These systems are compared with each other according to their advantages and disadvantages based on some criteria. Some modifications and improvements have been recommended for some current systems.

TESEKKÜR

Tez alısmam süresince hiç bir konuda destegini esirgemeyen Sayın Do. Dr. Fehmi Erzincanlı'ya, beni anlayis ve sabırla destekleyen sayın Do.Dr. Ümit Kocabiak ve Yrd. Doç. Dr. Babür Özçelik'e, Tasarım ve İmalat Mühendisligi Bölümü'ndeki diğeri hocalarım sayın Yrd. Doç. Dr. A. Zafer Senalp ve Yrd. Doç. Dr. Hasan Kurtaran'a ve bölümde bulunan değerli tüm mesai arkadaşlarıma katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca, değerli annem, babam ve kardeşlerime bana göstermiş oldukları sonsuz sabir ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	IV
SUMMARY	V
TESEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	X
SEKİLLER DİZİNİ	XII
TABLolar DİZİNİ	XV
1. GİRİS	1
2. TEKNOLOJİK GELİSİM	5
2.1. Bilgisayar Destekli Teknolojiler	5
2.2. Bilgisayarlı Bütünleşik İmalat (BBI)	9
3. HIZLI PROTOTİP TEKNOLOJİSİ	12
3.1. Ürün Gelistirme Süreci	12
3.2. Prototip Üretiminin Önemi ve Prototip Süreci	12
3.3. Prototip Üretiminin Evreleri	14
4. HIZLI PROTOTİP TEKNOLOJİLERİNİN ÜRETİM SEKTÖRÜNDEKİ ROLÜ VE ÖNEMİ	18
4.1. Ürün Gelistirme Zamani ve Ürünün Pazardaki Yasam Zamani	18
4.2. Pazara Giriş Zamani	20
4.3. Eszamanlı Mühendislik Sistematiği	22
4.4. Hızlı Prototip Teknolojisinin Ürün Gelistirme Sürecinde İşletmeye Katkisi	24

4.5. Hızlı Prototip Teknolojilerinin Üretim Sektörüne Sağladığı Stratejik Faydalari	25
4.6. Eszamanlı Mühendislik Stratejisi Çerçevesinde Hızlı Prototip Teknolojileri	25
5. HIZLI PROTOTIP TEKNOLOJISININ GELİSİMİ	28
5.1. Tarihsel Gelişim	28
5.1.1. Hızlı Prototip İmalatinin Eski Tarihi	28
5.1.2. Önceki Serbest Form Kati İmalatı Örnekleri	33
5.2. Hızlı Prototip Teknolojisi	37
5.2.1. Doğusu ve Kullanılan Tanımları	37
5.2.2. Tarihsel Süreci	39
5.2.3. Üretimde Uygulanan İmalat Yöntemleri ve Hızlı Prototip Sistemlerinin İmalat Şekilleri	41
5.2.4. Hızlı Prototip Teknolojisi Prosesi	43
5.2.4.1. Üç Boyutlu Modelleme	44
5.2.4.2. Veri Transferi ve Çevrimi	44
5.2.4.3. Kontrol ve Hazırlama	47
5.2.4.4. İnşa Etme	66
5.2.4.5. Son İşlem Uygulama	67
6. HIZLI PROTOTIP SİSTEMLERİNDE KULLANILAN BİLGISAYAR DOSYA FORMATLARI	68
6.1. Transfer Dosya Formatları	68
6.2. Proses Dosya Formatları	83
7. HIZLI PROTOTIP VE ÜRETİM SİSTEMLERİ	85
7.1. Sıvı Malzeme Kullanılan Sistemler	87
7.1.1. Sıvı Fotopolimer malzeme kullanılan sistemler	87
7.1.1.1. Mor ötesi (Ültraviyole) lazerle kür etme sistemi	88
7.1.1.2. Maskeli Foto Kür sistemi	111
7.1.1.3. İki Adet Lazerle Eszamanlı Kür Etme Sistemi	121

7.1.1.4.	DMD (Digital Micromirror Device) Araciyla Görünür Isikla Kür Etme Sistemi	124
7.1.1.5.	UV Lamba Ile Kombine Ink-Jet Teknigiyle Kür Etme Sistemi (Melez)	125
7.1.2.	Elektrik Ileten Sivi (Elektrolit)	128
7.1.2.1.	Elektrokimyasal Üretim (Electroplating) (Electrochemical Fabrication - EFAB)	128
7.1.3.	Su	129
7.1.3.1.	Hizli Su Dondurma Prototip Sistemi	129
7.2.	Toz Malzeme Kullanilan Sistemler	131
7.2.1.	Tozun Eritilmesi Metoduyla Kati Model Elde Edilen Sistemler	131
7.2.1.1.	Lazerle Sinterleme Metotlari	131
7.2.1.2.	Lazerle Eritme (Yigma) Metotlari	143
7.2.2.	Tozun Yapistirilmasi Metoduyla Kati Model Elde Edilen Sistemler	153
7.2.2.1.	Üç Boyutlu Yazici ProMetal Sistemi	158
	Diger Üç Boyutlu Yazici Uygulamalari	159
	Üç Boyutlu Yazici Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajlari	159
7.3.	Kati Malzemeler	160
7.4.	Levha-Tabaka Yapili Malzemeler	164
7.4.1.	Lazerli Kesme Yöntemi Kullanilan Sistemler	164
7.4.2.	Biçakli Kesme Yöntemi Kullanilan Sistemler	166
7.5.	Gazlar ve Atomlar	166
8.	SONUÇLAR	168
9.	ÖNERILER	169
	KAYNAKLAR	170

SIMGELER VE KISALTMALAR DIZINI

Simgeler	Açıklama
yy.	Yüz yıl
Ar&Ge	Arastırma ve Gelistirme
SK	Sayısal Kontrol
BDT	Bilgisayar Destekli Tasarım
BDI	Bilgisayar Destekli İmalat
BDM	Bilgisayar Destekli Mühendislik
BSK	Bilgisayarlı Sayısal Kontrol
BDKK	Bilgisayar Destekli Kalite Kontrolü
HP	Hızlı Prototip
BDPP	Bilgisayar Destekli Proses Planlama
ÜP&K	Üretim Planlama ve Kontrol
BBİ	Bilgisayarlı Bütünleşik İmalat
EM	Eszamanlı Mühendislik
TÜ	Tepkisel Üretim
ÇÜ	Çevik Üretim
YÜ	Yalın Üretim
UV	Ultraviole
CNC	Computer Numeric Control
STL	STereoLithography
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
STEP	Standard for Exchange of Product Model Data
VRML	Virtual Reality Modeling Data
HP/GL	Hewlett-Packard Graphics Language
OFF	Object File Format
STY	Saatın Tersi Yönünde
CT	Computerized Tomography
MRI	Magnetic Resonance Imaging
Slc	Sliced Contour
Sli	Slice
Cli	Common Layer Interface

Simgeler**Açıklama**

SLA

Stereolithography Apparatus

MEMs

Micro Electro Mechanics

RMPD

Rapid Micro Product Development

LCD

Liquid Crystal Display

DMD

Digital Micromirror Device

EFAB

Electrochemical Fabrication

SLS

Seçmeli Lazer Sinterleme

DMLS

Direk Metal Lazer Sinterleme

POM

Precision Optical Manufacturing

KW

Kilo watt

mm

Milimetre

nm

Nanometre

mW

Mili watt

LENS

Laser Engineered Net Shaping

MIT

Massachusetts Institute of Technology

FDM

Fused Deposition Modeling

SEKILLER DIZINI

Sekil	Sayfa
2.1 Bir Üretici Kurulus Bünyesindeki Tek Basina Çalışan Üniteler	10
2.2 Bilgisayar Destekli Teknolojilerin BBI Felsefesinde Gösterimi	11
4.1 Üretim Endistrisi İçin Yillara Göre Degisen Zorunluluklar	19
4.2 Bir Ürünün Ortalama Yasam Süresine Karsilik Ortalama Ürün Gelistirme Zamani	19
4.3 Pazar Girisi Gecikmesi Ile Olusan Kazanç Kaybi	20
4.4 Hizli Prototip Sistemleri Eszamanli Mühendisligi Hizlandirir	26
5.1 Misir Piramitlerinin Yapim Sekli	28
5.2 Katmanli Kabartma Haritasi Kalibi	29
5.3 Istiflenmis Tabakalarla Katmanli Kalip	30
5.4 Plastik Nesnelerin Olusturulmasi Prosesi	32
5.5 Kabartma Üretimi İçin Bir Proses	32
5.6 Bir Nesnenin 3 Boyutlu Yeniden Üretimi	33
5.7 Kesisen Lazer Isinlari Kullanilarak Foto-Heykeltiraslik	34
5.8 Toz Lazer Prosesi	34
5.9 Üç Fotopolimer Sisteminin Sematik Gösterimi	35
5.10 Fotopolimer Proses	36
5.11 İlk Üretilen Parçalar	36
5.12 Hizli Prototip ve Üretim Sistemlerinin Proses Zinciri	43
5.13 Kati model örneği	45
5.14 Tam kapali olmayan bir yüzey modeli	45
5.15 Stereolithography (STL) Dosya Formatina Dönüştürülmüs Bir Modelin Tel Kafes Görüntüsü	46
5.16 Stereolithography (STL) Dosya Formatina Dönüştürülmüs Bir Modelin Yüzey Model Görüntüsü	46
5.17 Merdiven Yapisi Etkisi	48
5.18 Bir Modelin Iki Farkli Sekilde Konumlandirilmesi	49
5.19 Iki Farkli Sekilde Konumlandirilan Modelin Katman Yapisinin Olusumu	49
5.20 Farkli Yönlendirme Stratejisi Ile Destek Yapisinin Elimine Edilmesi	51
5.21 Destek Yapisi Sekilleri	53

Sekil	Sayfa
5.22 Sarkma Büyüklüğüne Göre Destek Yapısı İhtiyacının Belirlenmesinin Gösterimi	54
5.23 Sapma Çikintisi Miktarına Göre Destek Yapısı İhtiyacının Belirlenmesinin Gösterimi	54
5.24 Üç Yapının Çapraz Kesisimi İle Elde Edilen Nokta Tipi Destek Yapısı	55
5.25 Çizgi Tipi Destek Yapısı	55
5.26 Salkım Yapılı Model ve Üçgensel Tip Destek Yapısı	56
5.27 Üçgensel Tip Destek Yapılarının Farklı Kullanım Şekilleri	56
5.28 Salkımlı Bir Yapının Blok Tipi Destek Yapısıyla Desteklenmesi	58
5.29 Desteklenmemiş Bir Bölgenin Blok Tipi Destek Yapısıyla Desteklenmesi	58
5.30 Blok Tip Destek Yapısı Örneği	58
5.31 Kontur Tip Destek Yapısı Örneği	59
5.32 İnce Cidarlı ve Keskin Köseli Unsurların Tekil Ağ Tipi Destek Yapısı İle Desteklenmesi	59
5.33 Ağ Tipi Destek Yapısı Görünüşü	60
5.34 Ağ Tipi Destek Yapısı Örneği	60
5.35 Dilimlere Bölünmüş STL Dosyanın Görünüşü	62
5.36 Dilimlere Bölünmüş STL Dosyanın Dilimlerinin Ayrılmış Bir Şekilde Gösterilmesi	62
5.37 Bütün Dilimlerin Kesit Alan Görünüşleri	63
5.38 Uyarlamalı Dilimleme Örneği	64
6.1 STL Dosyadaki Köşegen Noktalarının Çakışması Kuralının Gösterimi	69
6.2 Küçük Üçgen Yüzeyin Yönlendirilmesi	70
6.3 ASCII Stl Dosya Formatı Yapısı	71
6.4 Üçgen Yapılı Bir Cismin STL Dosya Formatında Görüntüsü	71
6.5 Üçgen Yapılı Bir Cismin ASCII STL Dosyası	72
6.6 Binary STL Dosya Formatı Yapısı	73
6.7 STL Dosyadaki Komsu Yüzeylerin Kenarlarının Kesismemesi Problemi	76
6.8 Onarılmış Bir STL Dosyası	76
6.9 Kürenin Gerçek Görüntüsü ve Farklı Hassasiyetlerdeki STL Dosyalarının Görüntüsü	77
6.10 STL Dosyanın Oluşturulması Esnasında Hassasiyeti Etkileyen Parametre	77

Sekil	Sayfa
6.11 OFF Dosya Formatı Yapısı	81
6.12 Sıc Dosyadaki Bir Kesit Alanın Tanımı	84
7.1 Stereolitografi Prosesi	91
7.2 Kür derinliği ve kür genişliği arasındaki ilişki	96
7.3 Lazer isini kesit alanı	97
7.4 Asiri kür miktarı	98
7.5 Derin Dalis Prosesi	99
7.6 Zephyr Prosesi	100
7.7 ACES Tipi Insa Sitalı	104
7.8 QuickCast Insa Sitalı	105
7.9 Farklı Bir Stereolitografi Prosesi	108
7.10 Mikrolitografi Prosesi	109
7.11 Maskeli Foto Kür Sistemi, Çoklu Parça İnsası	113
7.12 Kati Zemin Kür Etme Sistemi (Cubital, SGC)	115
7.13 Microstereolithography Prosesi	117
7.14 Microstereolithography Sistemi ile Yapılmış Olan Modellerin Resimleri	117
7.15 Çoklu Mikro Stereolitografi Parça Üretimi	120
7.16 Isın Kesim Katılastırma	122
7.17 EFAB Prosesi	129
7.18 Hızlı Su Dondurma Prototipleme	130
7.19 SLS Prosesi	133
7.20 DMLS Prosesinde Bir Katmanın Oluşturulması	138
7.21 DMLS Prosesi	139
7.22 Lazerli Eklemeli Üretim Prosesi	146
7.23 Üç Boyutlu Yazıcı Prosesi	154
7.24 FDM Prosesi	161
7.25 Katmanlı Nesne İmalatı Prosesi	164

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo		Sayfa
4.1	Aylık Gecikmelerin Sebep Olduğu Kâr Oranındaki Yüzde Kayıpları	21
7.1	3D Systems firmasının ürettiği SLA sistemlerinin özellikleri	93

1. GIRIS

Günümüz 21.yy. küresel pazar ekonomik yapısında, rekabet gücü üreticilerin yasamlarini sürdürebilmeleri için çok önemli bir güç haline gelmiştir. Rekabet gücünü elinde bulunduran üreticiler müsterilerin isteklerini mümkün olan en kısa süre içerisinde karsilayabildikleri derecede rekabette sürekli basarili olabilirler. 21.yy. üreticileri yüksek kaliteli, düşük maliyetli ve daha islevsel ürünler üretmek zorunlulugundadır. Dahasi, üreticiler müsterilerinin isteklerini, daha kısa süre içerisinde çevik bir sekilde ve müsterilerden gelen ürünle ilgili eleştiriler dogrultusunda daha tepkisel olarak karsilamak zorundadirlar. Çünkü, bugünkü pazar; istedigii özelliklere sahip ürünlerin hizli bir sekilde eline geçmesini istemektedir. Bu da kısa ürün geliştirme zamanini zorunlu kildigindan, yüksek kaliteli ürünlerin müsterinin istegi özellikler dogrultusunda çok kısa süre içerisinde pazara sunulmasi üretici kuruluşlar için hayati önem tasimaktadır [Gunasekaran, 1999; Nagalingam, and Lin Grier, 1999; Ciptono and Ismulyaty, 2000; Ermurat and Erzincanli, 2002].

Küresellesmenin etkisiyle piyasada ürün çeşitliliğinin ve üretici markaların artması ve teknolojik gelişmelerin etkisiyle daha estetik, islevsel ve yüksek kaliteli ürünlerin üretilebilir hale gelmesi, üreticileri diğerlerine karsi sürdürdüğü rekabette basarili olabilmesi için bir takım teknolojik tedbirleri göz önünde bulundurmaya ve bazı üretim ve yönetim stratejilerini işletmelerine adapte etmeye zorlamaktadırlar [Ermurat and Erzincanli, 2002].

Üreticiler tarafından üretilen yüksek kaliteli, daha estetik ve islevsel ürünler insanların bu tip ürünleri daha çok kullanmasına ve tüketmesine neden olmaktadır. İnsanların gün geçtikçe değişen yaşam stillerine ve standartlarına hitap ederek üretilen daha yeni nesil ürünlere olan talep bu nedenlere ek olarak gösterilebilir. Fakat bu gelişmeler çerçevesinde üretilen yeni ürünler hem daha fazla seçenekli ve çeşitli olmakta, hem de daha karmaşık yapıda olmakta ve dolayısıyla ürün geliştirme zamanları artmaktadır. Bununla beraber, özellikle çok çeşitli versiyonlara sahip ürünlerin ve insanların çok farklı isteklerine hitap eden ürün çeşitliliğinin artması, bir ürünün pazardaki yaşam süresini olumsuz yönde etkilemektedir.

Global pazardaki artan rekabet, üretici kuruluşları sık sık ürün yaşam süresini kesmeye zorlamaktadır [Klocke *et al.*, 1995]. Bunun yanı sıra, ürünlerin yeni versiyonlarının da ürün yaşam süresini etkilemesi diğer bir unsurdur [EOS GmbH, 2001].

Bütün bu bahsedilen ürün yaşam süresini olumsuz yönde etkileyerek ürün geliştirme zamanının da artmasına sebep olan parametrelerden dolayı, üreticilerin sadece müşterinin istediği şekilde bir ürün üretmesinin daha da ötesinde, ürünü çok kısa süre içerisinde müşteriye sunabilmesi gerekmektedir.

Üretici firmaların piyasaya sürdüğü ürün bir çok süreçten geçmektedir. Bu süreçlerin bazı planlamalar, düzenlemeler ve teknolojik yenilikler yapılarak hızlandırılması firma sahipleri için rekabet açısından hayati önem taşımaktadır. İşte bu gereksinimden doğan teknolojik yeniliklerin bir tanesi de bir ürünün tasarım aşamasını hızlandırıp, üretim aşamasına hızlı bir şekilde geçebilmesine imkan tanımaktadır. Hızlı Prototip (Rapid Prototyping) teknolojileri olarak adlandırılan bu sistemler sayesinde tasarımı yapılmış olan ürün herhangi bir geleneksel imalat işlemi uygulanmadan otomatik bir şekilde direk olarak tasarım bilgisini kullanarak fiziksel kati modelin üretilmesine olanak tanımaktadır.

Üç boyutlu katmanlı üretim tekniğini kullanan Hızlı Prototip teknolojileri bu günkü pazarda önemi giderek artan bir teknolojidir. Tasarım ve prototip sürecinin çok erken aşamalarında çok hızlı bir şekilde prototip sağlayarak tasarımcının erken karar vermesini sağlayan Hızlı Prototip sistemleri sayesinde orijinal bir tasarımın sağlanmasının yanı sıra optimum kalıp ve üretim yöntemlerinin seçiminde de çok önemli bir rol oynamaktadır.

Bünyesinde özellikle Bilgisayar, Malzeme, Makine, Elektronik ve ilgili bir çok bilim dalını bulundurarak çok disiplinli bir yapıya sahip olan Hızlı Prototip sistemleri sayesinde yüzlerce insanın aylarca sürebilecek bir çalışma, günümüzdeki özellikle bilgisayar teknolojilerinde yaşanan ilerlemeler ışığında saatlerle ve hatta dakikalarla ifade edilebilecek bir zaman diliminde yapılabilmektedir.

Birkaç saat gibi çok kısa bir süre içerisinde tasarladığı ürünü kati bir fiziksel model olarak eline alan bir tasarımcı gerçek parça üzerinde daha gerçekçi değerlendirmeler yaparak daha orijinal tasarımlar ortaya koyabilmektedir. Çünkü tasarımcı, tasarladığı ürünü çok kısa bir süre içerisinde eline alabildiğinden dolayı hem düşüncelerini daha doğru bir şekilde değerlendirebilmekte ve onun sonucunu hemen alabilmekte hem de eğer varsa eksikliklerini ve hatalarını gerçek bir model üzerinde inceleyerek hızlı bir şekilde düzeltebilme imkanı bulmaktadır.

Bu teknolojiyi dikkate alarak işletmelerine adapte eden üreticiler, hem daha kaliteli, fonksiyonel, estetik ve orijinal yapıları üretebilme kabiliyetine sahip olmakta hem de bu başarıyı çok kısa süre içerisinde gerçekleştirebilmektedir. Bu sebeple rakiplerine oranla çok daha kısa süre içerisinde ürününü pazara çıkarmayı basaran bir üretici rekabet gücünü eline almış olmaktadır.

İçerisinde barındırdığı teknolojilerde görülen gelişmeler neticesinde daha sağlam yapıları ve daha uzun ömürlü parçaların üretilabilir olmasıyla bu sistemlerle üretilen ürünlerin son ürün olarak kullanılabilir hale gelmesi bu sistemlerin Hızlı Üretim (Rapid Manufacturing) olarak adlandırılmasını sağlamıştır [Erzincanlı and Ermurat, 2002].

Bu tez çalışmasında, ilk olarak üretim sektöründeki Bilgisayar Destekli Teknolojilerdeki gelişmeler hakkında tarihsel bir özet yapılarak üretim sektörüne sağladığı faydalar ele alınacak. Daha sonra Hızlı Prototip ve Üretim Teknolojilerinin ortaya çıkmasının nedenleri ve tarihsel gelişim serüveni incelenecektir. Bu çerçevede Hızlı Prototip ve Üretim teknolojilerinin üretim sektöründeki üstlendiği görevi ve rolü hakkında detaylı bir bilgi verdikten sonra bu perspektifte Hızlı Prototip ve Üretim teknolojilerinin üretim sektörü için taşıdığı önemden bahsedilecektir.

Hızlı Prototip ve Üretim teknolojilerinin ortaya çıkmasında ve geliştirilmesinde büyük emekleri olan insanların bir takım bilim dallarında daha önce gerçekleştirilen hangi çalışmalardan etkilendiklerinden bahsedilecek. Daha sonra Hızlı Prototip ve Üretim teknolojileri hakkında çok detaylı bir literatür çalışması yapılması amaçlanmıştır. Bu literatür çalışmasında, Hızlı Prototip ve Üretim teknolojilerinin özellikle şimdiye kadar geliştirilmiş ve halen ticari olarak varlığını

sürdüren ve bir zamanlar kullanılmış ama artık hem ticari olarak kullanılmayan ve hem de üzerinde yapılan ciddi çalışmaların sona erdiği bir takım çalışmalardan da bahsedilerek incelenen sistem yelpazesi geniş tutulacaktır. Diğer yandan henüz düşünce veya proje aşamasında olan ve Hızlı Prototip ve Üretiminin nano-teknoloji boyutuna taşınarak geleceğe yön vereceği tahmin edilen sistemlere de değinilmiştir. Mevcut sistemler arasında belli kriterler ve sınıflandırmalar dikkate alınarak çeşitli karşılaştırmalar yapıp Hızlı Prototip ve Üretim Teknolojilerinin hangi alanlarda ne gibi çalışmaların daha ileri düzeyde yapılabilmesi tartışılacaktır.

Bu doğrultuda henüz Türkiye’de Hızlı Prototip ve Üretim Teknolojileri hakkında Ar&Ge kapsamında ciddi bir çalışmanın da yapılmadığı göz önüne alınarak finansal kaynak bulunduğu Enstitümüzde yapılması düşünülen bir sistem üzerinde çalışarak o sistemin teorik alt yapısının kurulması sağlanacaktır. Bu yönden, bu tez Hızlı Prototip ve Üretim Teknolojileri hakkında bir altyapı niteliğini de taşıyacaktır.

Diğer yandan Hızlı Prototip kavramında Hızlı Üretim kavramına doğru geçiş yapan ve bu doğrultuda çeşitli ilerlemeler kaydedilen mevcut sistemlerde görülen bir takım eksikliklerden bahsedilerek bu eksiklikler ve yapılması gerekli iyileştirmeler doğrultusunda hem araştırma aşamasında olan bir takım çalışmalardan bahsedilecek hem de bu eksikliklerin niteliği hakkında bilgi verilerek olabilecek bazı yaklaşımlardan söz edilecektir.

2. TEKNOLOJİK GELİŞİM

2.1. Bilgisayar Destekli Teknolojiler

Günümüzde yaşanan bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak diğer mühendislik teknolojilerinde de çok büyük gelişmeler yaşanmaktadır. Bilgisayarların diğer mühendislik alanlarındaki çeşitli uygulamalarda başarılı bir şekilde kullanılması bu gelişmeyi sağlayan önemli bir sebeptir.

Modern bilim çerçevesinden bakıldığında bilgisayar teknolojisinin diğer bilim dallarında başarılı uygulamaları görülebilir. Yüzlerce insanın aylarca sürebilecek bir çalışma günümüzdeki bilgisayar teknolojileriyle saniyelerle ifade edilebilecek bir zaman diliminde yapılabilmektedir. Bunun yanı sıra bilgisayar teknolojilerinin bu denli gelişmesini sağlayan etkenlerin başında hiç kuşkusuz diğer mühendislik alanlarındaki teknolojik gelişmeler gelmektedir. Elektronik, elektrik, makina, malzeme ve bunun gibi bir çok mühendislik alanı örnek olarak verilebilir. Bilgisayarlar bu teknolojilerin başarılı uygulamaları sonucu olarak gittikçe daha yüksek hızlara ve daha düşük boyutlara erismektedir.

Diğer yandan, otomasyon, üretimde yıllardır kullanılmakta ve yüksek kaliteli ürünlerin hızlı bir şekilde tüketicilere ulaşmasında önemli rol oynamaktadır. Otomasyon 1952 yılında geliştirilen Sayısal Kontrol (SK - Numeric Control, NC) sistemleri ile güç kazanmıştır. Özellikle bilgisayar teknolojisinde yaşanan gelişmeler ışığında bilgisayarın bir çok alanda ve özellikle üretim sektöründeki işletmelerin hemen hemen tüm birimlerinde yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bunun sonucu olarak da daha kısa süreli üretimlere, üretimde ve ekonomik anlamda mali verimin artmasına ve daha yüksek kaliteli ürünlere imkan tanıyan çeşitli teknolojik olanaklar ortaya çıkmıştır.

Teknolojik anlamda İleri İmalat Teknolojileri olarak da adlandırılabilen Bilgisayar Destekli Teknolojiler ve Organizasyonel (Yönetsel) anlamda planlama ve yönetim olarak sınıflandırılabilen bu sistemler şu şekilde gruplandırılabilir.

a) Teknolojik Sistemler

- Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT - Computer Aided Design, CAD)
- Bilgisayar Destekli Imalat (BDI - Computer Aided Manufacturing, CAM)
- Bilgisayar Destekli Mühendislik (BDM - Computer Aided Engineering, CAE)
- Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (BSK – Computer Numeric Control, CNC)
- Bilgisayar Destekli Kalite Kontrolü (BDKK – Computer Aided Quality Control, CAQ)
- Hızlı Prototip (HP – Rapid Prototyping, RP)
- Bilgisayar Destekli Proses Planlama (Üretim planlama) (BDPP – Computer Aided Process Planning, CAPP)

b) Organizasyonel Sistemler

- Üretim Planlama ve Kontrol (ÜP&K - Production Planning and Control, PP&C)
 - o İmalat kaynak planlama (Manufacturing resource Planning)
 - o Malzeme ihtiyaç planlama
 - o Miktar belirleme & Zaman süreci (Lot sizing & Time phase)
 - o Teklif Düzenleme (Order Release)
 - o İmalat Kontrolü (Manufacturing Control)

Özellikle işletmelerin üretim sahalarına bakıldığında makinaların kontrolü artık bilgisayarlara devredilmiştir. Daha önceleri SK'li (Sayısal Kontrol) makinalar üretim sahasında iş yapmaktaydı. Fakat bunlara kod hazırlamak ve bu hazırlanan kodları yeniden tezgaha okutma zorlughundan dolayı üreticiler bilgisayarlı sistemlere ilgi göstermişlerdir.

Kontrol uygulamalarında bilgisayarların kullanılması devrimsel nitelik taşıyan başarıları beraberinde getirmiştir. Bunun önemli bir ürünü olarak da üretim sahasında kullanılan BSK'li (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol) makinalar gösterilebilir. Bir modelin üretilmesi için hazırlanan kodların defalarca kullanılabilir olması, daha hızlı, esnek ve hassas işleme gibi kabiliyetlere sahip olan BSK sistemleri SK sistemlerine karşı üstünlük sağlamışlar ve endüstride onların yerini almışlardır.

BSK teknolojisi sayesinde üretim hızı ve kalitesinde ve dolayısıyla verimde çok büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Fakat tüketicilerden gelen talepler doğrultusunda ve rakip firmalara karşı mücadele etme gereksinimi üreticinin daha kaliteli, daha estetik ve daha hızlı üretme ihtiyacını doğurmuştur. Bu noktada BSK tezgahları yetersiz kalmaktaydı, çünkü bu tezgahlarda üretilen ürünler insanlar tarafından kâğıt üzerinde tasarlanmakta ve o ürünü üretecek kodlar yine kâğıt üzerinde çeşitli hesaplar yapılarak hazırlanmaktaydı. Bundan dolayı üretilen ürünler çok sade olmak zorundaydı. Bu nedenle hem fazla işlevsel olamamakta hem de estetik yapıda olamamaktaydı.

Bunun sonucu olarak da çok karmaşık ve estetik yapıdaki tasarımların bilgisayar ortamında yapılabilirdiği BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) programları ve bu programlarda yapılan tasarımlar üzerinde sanal bir imalat işleminin gerçekleştirildiği, dalma ve çarpma olaylarını kontrol edebilen ve operasyon, takım ve tezgah tabla simülasyonu gerçekleştirebilen ve BSK tezgahlarında kullanılacak kodları otomatik olarak çok hızlı bir şekilde hazırlayabilen BDI (Bilgisayar Destekli İmalat) programları geliştirilmiştir.

Bütün bu özelliklerin yanı sıra BDI programları, tamamen bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiş olan çeşitli imalat işlemlerinin sonucunda sanal olarak üretilmiş olan ürün ile referans olarak kullanılan BDT modelinin geometrik olarak karşılaştırılmasına olanak sağlayarak üretilen ürün henüz üretilmeden doğruluğu hakkında bir takım kriterler çerçevesinde bilgi sahibi olma imkanını sağlamaktadırlar.

Bütün bu teknolojilerin endüstriyle tanışmasıyla üretici kuruluşlar arasındaki rekabetin de etkisiyle daha kaliteli, daha estetik dolayısıyla daha karmaşık yapıları ürünlerin tasarlanabilmeleri mümkün olmuş ve bu tasarlanan ürünlerin ve kalıplarının üretimleri yine bilgisayar ortamında yapılarak üretim simülasyonlarının yapılması ve bilgisayar kontrollü tezgahlarda üretilabilmeleri mümkün hale gelmiştir.

Diğer yandan BDM teknolojileri sayesinde ise, henüz tasarım aşamasında olan bir ürün gerçek platformda ne gibi davranışlar göstereceği hakkında bir takım

bilgiler elde edilebilir. Bu tip teknolojiler arasında, ürün üretildikten sonra ürünün karsi karsiya kalacagi bir takim sartlarin modellenebildigi ve o sartlar çerçevesinde yapisal, isisal, akiskan dinamigi ve elektromanyetik analizlerinin yapilabildigi bilgisayar programlarinin yani sira çesitli kalip islemleriyle üretilecek olan ürünlerin kalip proseslerinin de analizinin yapilmasina olanak sunarak çesitli simülasyonlar ile destekleyen bilgisayar programlari da vardir. Bu bilgisayar programlarından elde edilen bir takim veriler degerlendirilerek henüz tasarim asamasinda olan ürün üzerinde gerekli degisiklikler ve iyilestirmelerin yapilabilmesi mümkündür. Bu teknolojiler, ürünün tasarimindan üretimine kadar geçen sürecin önemli bir kismini olusturan süreçte görev alan teknolojiler olarak kabul edilmislerdir [Ermurat and Erzincanli, 2002].

Katmanli Imalat (Layered Manufacturing, LM) metodunu kullanan ve Serbest Form Kati Imalati (Solid Freeform Fabrication, SFF) olarak da adlandirilan Hizli Prototip sistemleri ise üretilecek modelin karmasikligindan tamamen bagimsiz olarak fiziksel parçaların direk olarak BDT datasi kullanilarak otomatik bir sekilde üretilmelerine olanak tanir. Bu sekilde bir ürün, ürün gelistirme süreci içerisinde iken herhangi bir geleneksel imalat yöntemi kullanilmadan direk olarak fiziksel modelin olusturulmasina imkan taniyarak degerlendirilmesine ve muhtemel degisiklikler ve iyilestirmelerin hemen yapilmasi saglanarak ürünün üretimine baslanabilir [Ermurat and Erzincanli, 2002].

BDPP (Bilgisayar Destekli Proses Planlama) uygulamalari bir ürünün tasarim ve üretim süreçlerini göz önünde bulundurarak hangi asamalardan geçeceğine, ne gibi islemlerin uygulanacagina dair planlarin bilgisayar destekli olarak yapilabilmesine olanak taniyan sistemlerdir. Bilgisayar destekli kalite kontrol BDKK uygulamalari sayesinde ise ürünün tasarim ve üretim prosesini de içerisinde alarak ürün üzerinde yapilan kalite kontrollerinin bilgisayarlar vasitasiyla gerçekleşmesidir. ÜP&K terimi ise üretim ve programlama, nicelik ve kapasite planlamasini, prosesler arasındaki düzeni saglama ve üretim prosesi kontrolü gibi islemleri kapsamaktadır.

Isletmelerde bu tür uygulamaların bulunduğu AR&GE laboratuvarlarının yani sira çesitli simülasyon teknikleri kullanilarak fabrikanin üretim prosesindeki malzeme ihtiyaç, makina-takim ve insan kaynaklari planlamasinin ve üretim hattinin

planlamanin bilgisayar destekli simülasyonlarının yapılabildiği organizasyon-planlama birimleri bulunabilmektedir.

Bu teknolojiler, üretimdeki kalite ve yüksek üretkenliğin yani sıra çevikliği (agility) ve tepkiselliği (responsiveness) sağlamakta kritik teknolojiler olduğu için global rekabet, yöneticileri bu teknolojileri göz önünde bulundurmaya ve işletmelerine adapte etmeye zorlamaktadır.

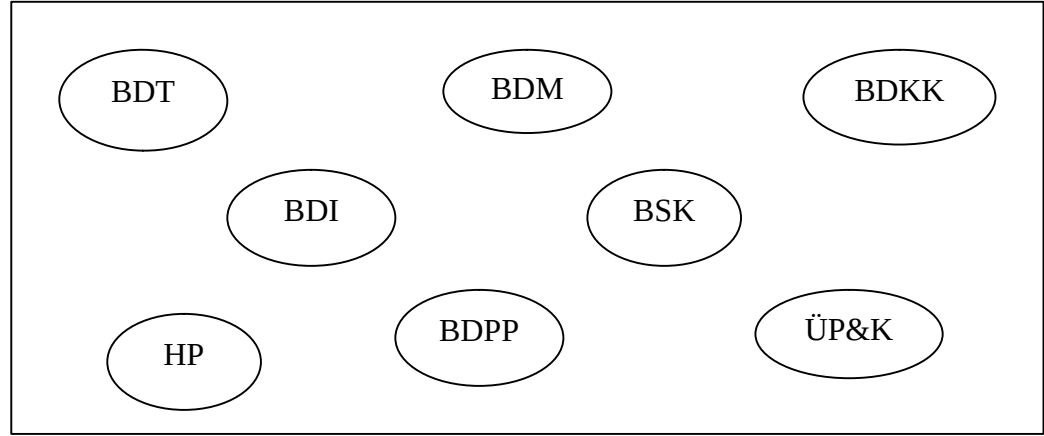
2.2. Bilgisayarlı Bütünleşik İmalat (BBI)

Bu bahsedilen bilgisayar destekli teknolojilerin ürün kalitesi, estetikliği, üretkenliği ve fonksiyonelliği yönünden üreticiler için çok önemli gelişmeler kaydettiği şüphesizdir. Bilgisayar destekli birer teknoloji olan bu teknolojilerde sağladığı bu avantajların da haricinde üretim esnekliği yönünden ürün kaynak bilgisi elektronik formda olduğundan [Wang *et al.*, 2002] dolayı geleneksel imalat yöntemlerine nazaran daha esnek bir üretim gerçekleştirmek mümkündür. Bunun da ötesinde bu bilgisayar destekli teknolojiler arasında entegrasyon sağlandığı ölçüde üretimde esneklik elde edilebilir [Nagalingam and Lin, 1999; Lee and Shafrik, 1999].

Bilgisayar Destekli Teknolojiler tek başlarına çalışan uygulamalardır. Bu uygulamaları temsil eden bir şekil, Şekil 2.1 'de görülmektedir. Bu yüzden, farklı üniteler arasında bir takım iletişim sorunları doğmaktadır. Global pazar rekabetinde başarı doğru bilginin zamanında uygun üniteye aktarılmasına bağlıdır [Ermurat and Erzincanlı, 2002]. Bu problemleri aşmak için bilgisayarlı teknolojilerin BBI (Bilgisayarlı Bütünleşik İmalat – Computer Integrated Manufacturing, CIM) çerçevesinde bazı bilgisayar ve ağ sistemleri kullanılarak birbirleriyle entegrasyonu benimsenmiştir. Özellikle bu tür sistemlerde ürün kaynak bilgisi elektronik yapıda olduğundan dolayı bu entegrasyonun kurulması için bir alt yapı niteliği tasimaktadır [Nagalingam and Lin, 1999; Saxena and Sahay, 2000; Klotzbucher, 1998].

BBI kavramı, ilk olarak 1973 yılında Dr. Joseph Harrington tarafından “Computer Integrated Manufacturing” isimli kitabında bahsedilmiştir [Harrington, 1973]. 1970’li yıllarda BBI insanlara çok tuhaf ve gülünç gelmekteydi. Bu yüzden

1980'lere kadar dikkate alınmamıştır. Fakat BBI kavramında belirtilen teknolojilerde de çok büyük ilerlemeler görülmesiyle BBI kavramını çok kolay bir şekilde gerçekleştirmenin mümkün olacağı anlaşıldı ve insanlar tarafından dikkate alınmaya başladı.



Sekil 2.1 Bir Üretici Kuruluş Bünyesindeki Tek Basına Çalışan Üniteler

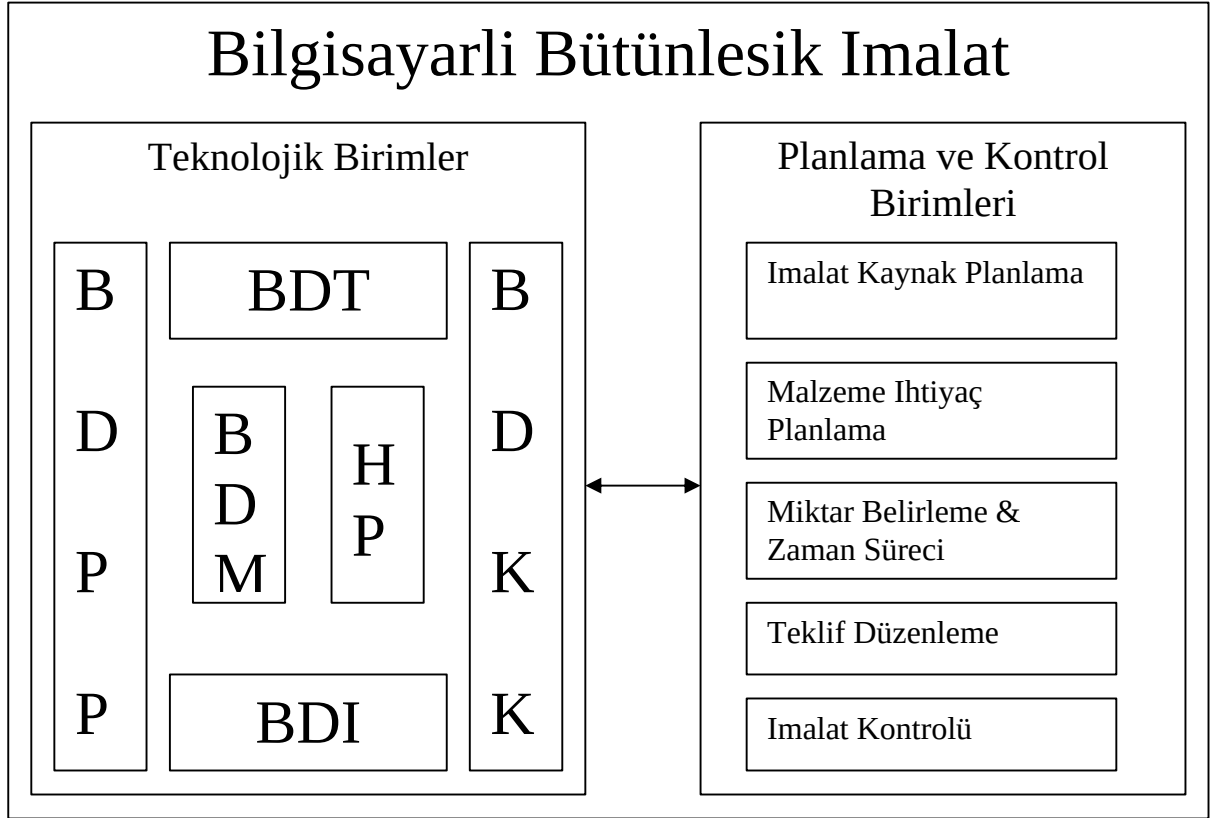
BBI çatısı altında birbiriyle iletişim kurulmadan tek başlarına çalışan bilgisayarlı uygulamalar sayesinde sadece tekil başarılar elde edilebilir ve bu elde edilen başarıların bütün sistem üzerinde fazla bir etkisi görülmez. Fakat bütün ünitelerin BBI çerçevesinde birbirleriyle entegre bir şekilde çalışmalarını sayesinde ilgili bütün konuların ve toplam kazancın tek bir üniteymiş gibi dikkate alınarak çok yönlü bir şekilde optimize edilmesi gerçekleştirilerek bütün sistem üzerinde etkili bir iyileşme gerçekleştirilebilir [Ermurat and Erzincanlı, 2002; Nagalingam and Lin, 1999].

Sekil 2.2.'de bir üretici kuruluş bünyesinde bulunan ünitelerin BBI felsefesinde gruplandırılmış olarak gösterimi görülebilir.

BBI kavramı hem yönetim hem de üretim stratejisi olarak adlandırılmıştır. Bunun sebebi olarak da yalnızca üretim organizasyonlarını değil aynı zamanda yönetim organizasyonlarını da kapsar. Diğer yandan, üretici kuruluşların dinamik özelliğini iyileştirmek için son yıllarda Eszamanlı Mühendislik (EM - Concurrent Engineering, CE), Tepkisel Üretim (TÜ – Responsive Manufacturing, RM), Çevik Üretim (ÇÜ – Agile Manufacturing, AM), Yalın Üretim (YÜ – Lean Manufacturing, LM) gibi bazı yönetim stratejileri benimsenmiştir [Nagalingam and Lin, 1999].

Bu sistemlerin de BBI çerçevesi içerisinde görev yapmasıyla bir ürünün eksiksiz olarak üretilmesi için gerekli bilgilerin karışıklık olmadan iletilmesine imkan tanımakta ve daha hızlı üretim yapmayı sağlamaktadır. Modern üretim endüstrisinin iki önemli amacı olan kaliteli ürün ve düşük işleme maliyeti için üretim sistemleri tam otomatik bir yapıya sahip olan BBI sistemlerine dönüştürülmektedir.

Bütün bu teknolojik ve yönetsel uygulamalar daha kaliteli, yüksek performanslı ve estetik yapıdaki ürünlerin çok daha kısa üretim zamanında ve daha az üretim maliyetiyle üretilmesini sağlayarak mali verimi artırmaktadır. Bu uygulamaları bünyelerine başarılı bir şekilde adapte eden kuruluşların benzer firmalarla arasındaki rekabette daha başarılı olacakları muhakkaktır.



Sekil 2.2. Bilgisayar Destekli Teknolojilerin BBI Felsefesinde Gösterimi

3. HIZLI PROTOTIP TEKNOLOJISI

3.1. Ürün Gelistirme Süreci

Bilgisayarlı Bütünlesik Imalat felsefesi çerçevesinde düşünüldüğünde bir üretim prosesi bastan sona bütün birimlerin birbirleriyle esgüdümlü bir şekilde çalışmasıyla her alanda maksimum iyileşme gözlenebilir. Bu iyileşme alanları zaman, maliyet, kalite, islevsellik, estetiklik ve esneklik gibi kriterler olabilir.

Bilindiği gibi bir ürünün bastan tasarlanarak üretilmesi için bir takım proseslerden geçmesi gerekmektedir. Yukarıda belirtilen BBI felsefesi ve bu felsefenin uygulanması ile daha fazla anlam kazanmış olan çeşitli üretim ve yönetim stratejileri sayesinde bu süreçlerde belirtilen kriterlerde bir takım iyileştirmeler gözlemlenmektedir. Bu süreçlerden bir tanesi ve en önemlilerinden biri ise ürün geliştirme sürecidir.

Bir ürün, ürün geliştirme sürecinde bir çok prostesten geçmektedir. Bir üretim prosesinde ürün geliştirme sürecini önemli ölçüde etkileyen ve ürünün nihai tasarımı için en doğru hedefe ulaşma çabası bakımından BDM uygulamalarıyla paralel bir uygulama alanı bulan önemli proseslerden bir tanesi de prototip üretimidir.

3.2. Prototip Üretiminin Önemi ve Prototip Süreci

Prototip, kelime anlamı olarak geliştirilen veya yenileştirilen bir modelin ilk veya orijinal bir örneğidir. Yeni tasarlanan bir ürünün üretiminden önce mutlaka o ürünün prototipinin üretilmesi gerekmektedir. Bu gereksinimin belli başlı iki önemli sebebi vardır:

1. Tasarımın doğruluğunun, estetikliğinin ve islevsel yönden yeterliliğinin değerlendirilmesi
2. Tasarlanan modelin üretilebilirliği, montaj edilebilme ve sökülebilmeye olanaklarının değerlendirilebilmesi

1. Çogu tasarımcı tasarlanan ürünün fiziksel bir nesne olarak hızlı bir şekilde elde edilmesini ürünün orijinal bir tasarıma sahip olması açısından önemli bir kriter olarak görmüşlerdir. Çünkü ürün geliştirme birimindeki bir tasarımcı tasarımının nasıl görüldüğünü nasıl bir şekle sahip olduğunu en iyi 3 boyutlu gerçek bir ortamda onu gözlemleyerek, ona dokunarak, üzerinde bir takım ölçüler alarak ve ölçüsel büyüklükler arasında çeşitli karşılaştırmalar ve değerlendirmeler yaparak anlayabilir ve tasarımını ona göre yönlendirerek başarıyla tamamlayabilir.

İlk prototip üretiminden sonra, üretilen prototip üzerinde gerçekleştirilen inceleme ve testler sonucunda yapılan değerlendirmeye göre ürün ya görülen bir takım eksikliklerden veya düzeltilmesi gereken değişikliklerden dolayı tasarım birimine havale edilir yada eğer herhangi bir eksiklik gözlenmiyorsa bir sonraki aşama olan üretim birimlerine havale edilir. İlk değerlendirmesi sonucu yeniden tasarım prosesine gönderilen ürün gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra ikinci bir prototip üretimi gerçekleştirilir. Yine aynı inceleme ve değerlendirme prosedürü aynen takip eder. Bu proses son üretilen prototip üzerinde nihai kararın verilerek *“Ürünün üretilmesine başlanabilir!”* şeklindeki yetkili birimlerin onayına kadar devam edilir. Prototip üretimi prosesinden onay alındıktan sonra o ürünün üretimine veya kalıplarının tasarlanarak üretilmesine geçilebilir. Bu sebeple, prototip sürecinin bir üretim prosesi için çok büyük önemi vardır.

2. Diğer yandan, artık ülkemizde de kullanılmaya başlayan ve özellikle son yıllarda ortaya atılan Üretim İçin Tasarım (Design for Manufacturing), Montaj İçin Tasarım (Design for Assemble) ve Sökmek İçin Tasarım (Design for De-Assemble) felsefesi uygulamaları için de imkan tanımaktadır.

Bilgisayar üzerinde tasarlanan modelin sadece tasarlanması ve göze hitap etmesi ve üretildiğinde işlevini görmesi yeterli değildir. Tasarım süreci bittikten sonra üretimine başlanacak parçanın uygulanması gereken üretim yöntemine göre üretilebilirliğinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu süreç daha önce bahsedilen Eszamanlı Mühendislik felsefesi çerçevesinde tasarımcıların üretim elemanlarıyla sürekli esgüdümlü bir şekilde çalışmasıyla verimli bir şekilde geçilebilir. Fakat modelin karmaşıklığına bağlı olarak, çok karmaşık yapıları modellerde özellikle malzeme çıkarmalı işleme yöntemlerinin kullanılacağı modelin

üretilebilirliği bilgisayar ekranından bakılarak anlasılması zordur. Öyle tasarımlar olacaktır ki üretim elemanının mutlaka o modeli kati olarak eline alması ve dokunarak veya işleyecek olan kesici takimi gerçek yüzeyler üzerinde gezdirerek üretilebilirliğine karar vermesi gereken zorluktaki tasarımlar olabilecektir.

Diğer yandan üretimi gerçekleştirilen montaj parçalarının montajının kolaylıkla yapılıp sökülebilmesi de çok önemlidir. Yine bu tür işlemlerin testleri de kati modeli ele almadan bu işlemleri gerçekleştirilmeden yapılabilmesi imkansızdır.

3.3. Prototip Üretiminin Evreleri

Geçmisten günümüze üreticilerin kullandığı prototip üretim yöntemi bakımından üç farklı evre gözlemlenmiştir.

1.Evre: Klasik prototip imalat yöntemleri olan bu yöntemler (hard prototyping) hard (kaba) prototip ve (manuel prototyping) elle prototip imalatı olarak da adlandırılabilir. Bu dönem endüstride uzun bir tarihe sahiptir. Prototiplerin çeşitli geleneksel imalat yöntemleriyle tahta malzemelerden veya diğer polimer bazlı sağlam yapılı yumuşak malzemelerden üretildiği bu dönemde üretilen prototipler dokunulabilen gerçek fiziksel modeller olmasına rağmen teknisyenlerin becerilerine bağlı olduğundan dolayı karmaşık şekle sahip olamamakta ve prototip üretimi için çok uzun sürelere gerek duyulmaktaydı. Nihai üründe karar vermek için birkaç tekrarın gerektiği, prototip üretim sürecinin uzunluğu ve maliyeti göz önünde bulundurulması gereken bir etkidir. Böyle bir durumda o ürünü üretmek için harcanan işçilik, malzeme ve enerji kaybindan daha da önemlisi işletmeler arası rekabetin en önemli etkenlerinden biri olan zaman kaybı olacaktır. Çünkü üretim gecikecek ve ürünün pazara çıkması da o derece olumsuz yönde etkilenecektir.

2.Evre: Sanal (Virtual) prototip sistemleri olarak adlandırılan bu yöntemler (Soft) Prototip yöntemleri olarak da adlandırmakta ve bu evre 1980'lerin başlarından itibaren gelişen BDT/BDI/BDM bilgisayar uygulamalarını kapsamaktadır. BDT programlarının bilgisayar donanımlarındaki gelişmeye de paralel olarak göstermiş olduğu gelişme sayesinde yüzey ve kati modelleme sistemleri geliştirilerek 3 boyutlu olarak modellenen ürünlerin kati görüntüsü elde

edilebilmektedir. Bunların yanı sıra model üzerinde çeşitli eğri ve yüzey analizleri yapılarak modelin istenilen yapıya sahip olup olmadıkları ve çeşitli ölçüsel analizler yapılarak modelin ölçüsel tamliğinin analizi gerçekleştirilebilmektedir. 3 boyutlu olarak modellenen modellere yana kaydırma, belirli bir eksen veya nokta etrafında döndürme ve yaklaştırma-uzaklaştırma özellikleri sayesinde modele istenildiği yerden bakılabilmektedir.

Bu bilgisayar programları sayesinde renklendirme, doku uygulama ve gölgelendirme gibi özellikler kullanılarak ürünün gerçekte sahip olacağı renkler uygulanabilmekte ve böylece model ekranda sanki gerçekmiş gibi görüntülenebilmektedir. Özellikle modelin normalde herhangi bir yönünden tam olarak görüntülenemeyen iç boşlukları olan veya içeriye doğru kıvrımlı bir şekilde devam eden kısımların görüntülenebilmesi için belirli bir kesit alan belirlenerek sadece o kesitten itibaren kati modelinin görüntüsü elde edilerek modelin iç kısımları daha iyi görüntülenebilmektedir.

Bununla birlikte, BDT programları sayesinde montaj işlemleri yine bilgisayar üzerinde gerçekleştirilebilmektedir. Birden çok parçadan oluşan modeller BDT programları sayesinde montajı yapılarak parçaların tek tek ölçüsel tamliğinin görüntülenmesinin de ötesinde birbirleriyle ilişkilendirilerek genel bir doğruluk değerlendirmesi yapılabilmektedir. Özellikle fonksiyonel özelliği olan parçaların gerçekte yapması planlanan hareketler modeldeki hareket etmesi gereken parçalara uygulanarak modele her türlü hareket işlevi kazandırılabilir. Pro/Engineer, Uni/Graphics, Catia, SolidWorks gibi BDT-BDI programları sayesinde bu şekilde hareketlilik kazandırılan modellerde modeli oluşturan ve birbiriyle ilişkili olan parçalar arasında herhangi bir çarpışma veya sürtünme gibi istenmeyen durumlar da analiz edilebilmektedir. Bu şekilde özellikle işlevsel özelliği bulunan ürünlerin henüz üretilmeden testleri yapılmış olacak ve üretim esnasında muhtemel olabilecek bir hatada birden çok parça incelenmeye alınması gerekeceğinden hatayı bulma süresi ve onu düzeltme süresi çok uzun olacaktır.

Diğer yandan, daha önce bahsedildiği gibi BDM uygulamaları sayesinde gerilme, yorulma, çarpışma, titreşim analizi gibi çeşitli analizler uygulanabilmektedir (bkz. Bölüm 2.1). Bu sayede elde edilen veriler değerlendirilerek belki ürünün

eksiksiz bir sekilde üretilmesinden sonra olabilecek bir takım aksakliklari da en aza indirgeyerek üretim yapılabilmektedir.

BDT programlarindaki bu gelismeler süphesiz daha estetik, daha dogru ve daha fonksiyonel ve kaliteli tasarımlarin yapılabilmesine imkan tanımakta. Dolayisiyla ürün tasarımlari hem yüksek performans sergilemekte hem de bu asama daha hizli geçilmektedir. Fakat her ne kadar da bu 3 boyutlu programlar büyük bir gelisme kaydetmis olsalar da sonuçta ekran üzerinde görülen görüntü sanal bir görüntü ve 2 boyutlu bir görüntüdür. Dolayisiyla tasarımcinin gözünden kaçirdigi bazi noktalar olabilmektedir. Özellikle bu disaridan görülmesi imkansiz olan iç kaviteye sahip parçalarda görülebilmektedir. Her ne kadar bir takım kesit alanlar belirlenerek iç kisimların görüntülenebilmesi mümkün hale gelse de o durumda iken programlar sinirli derecede bir takım islemlere imkan vermektedirler.

Diger taraftan üretilcek olan model özellikle hareketli bir takım islevleri olan ve birden çok parçadan meydana gelen bir montaj parçasıysa özellikle oturma yüzeylerinin, beraber çalışan kisimların ve hareketli kisimların iyi hesaplanamamasi gibi durumlar olabilmektedir. Sonuçta olusabilecek hatalar düşünüldüğünde mutlaka iliskili olan parçaların birbiriyle çatısir durumda olması gerekmez. Birbirleriyle örtüşmesi gereken yüzeyler yanlis seçilebilir, parça yanlis konumlandırılabilir ve bu tür hatalar sonucunda bilgisayar normal olarak herhangi bir hata uyarisi vermeyebilir. Bu tür hatalar ancak ürün üretilerek kati model ele alindikten sonra anlasilabilmekte ve tekrar tasarım asamasına dönüp gerekli degisikligin yapılmasi gerekmektedir.

Sonuç olarak; bu teknolojiler üretimin çeşitli safhalarında su anda kullanılan ve büyük faydalar sağlanan teknolojiler olsa bile bir prototip islevini tamamiyla görebilecek sartlara sahip degildir. Bu durumda üreticiler prototip islevi için tekrar dokunulabilen gerçek fiziksel parçalara yönelmişlerdir.

3.Evre: Prototip uygulamalarında son evre ise Hizli Prototip Sistemleri olmuştur. Daha sonra daha detayli olarak incelenecek olan bu sistemler sayesinde dokunulabilen gerçek fiziksel modellerin herhangi bir ilkel veya geleneksel üretim yöntemi kullanmadan direk olarak üretilmesi gerçekleştirilebilmektedir. Bu sistemler

sayesinde hem modelin karmasikligindan bagimsiz bir sekilde çok karmasik modellerin bile üretebilmesi gerçekleştirilebilmekte hem de çok kısa sürede üretim gerçekleştirilmesinden dolayı üreticiye tasarım ve prototip asamasini bir an önce geçmesini sağlayarak çok fazla zaman tasarrufu sağlamaktadır. Çünkü ilk prototip elde edildikten sonra gerekli imalat yöntemleri kullanılarak elde edilecek ürün hızlı bir şekilde üretilebilir.

Iste bu noktada yine bilgisayar teknolojisi basta olmak üzere lazer ve malzeme gibi teknolojilerin büyük uygulama alanı bulduğu yeni bir kavram doğmuştur. Bahsedilen prototip elde etme zamanini önemli ölçüde azaltan bir teknoloji olan ve literatüre Hızlı Prototip üretimi (RP-Rapid Prototyping) olarak giren Serbest form kati imalatı (SFF- Solid Freeform Fabrication) sistemleridir. Bu sistemler sayesinde artık geleneksel prototip ve imalat yöntemlerine gerek kalmaksizin bilgisayarlarda tasarlanan sanal modeller çok kısa bir sürede otomatik bir şekilde fiziksel model olarak elde edilebilmektedir.

Bu teknoloji sayesinde hızlı bir şekilde elde edilen prototipin (fiziksel modelin) ele alınıp incelenmesi, gerekli yerlerin ölçülmesi veya işlevsel bir özelliği olan parçaların yerlerine takılıp işlevi görüp görmediği test edilerek kontrol edilebilir. Düzeltilmesi ve iyileştirme yapılması gereken herhangi bir yer varsa bilgisayar modeli üzerinde anında düzeltilip iyileştirilmesinin yapılmasından sonra tekrar hızlı prototip imalatı sistemleri kullanarak hızlı bir şekilde prototipi elde edilebilir. Bu sistemler sayesinde haftaları hatta ayları alabilecek prototip süreci günler veya saatler mertebesine indirgenebilmektedir.

Diğer yandan tasarlanan modelin üretilebilirliği, kolay montaj yapılabilirliği sökülebilirliği gibi testlerin de yapılabilirliği bakımından çok büyük faydalarının olduğu muhakkaktır.

Yatırım maliyeti bazında bakıldığında belki üretici firmaya yük gibi değerlendirilecektir fakat global ekonomi bazında değerlendirildiğinde rekabet hususunda sağladığı avantajları ve stratejik faydaları da göz önünde bulundurulursa özellikle rekabete açık üretici firmalar için çok karlı ve gün geçtikçe üreticiler için zorunlu bir teknoloji olduğu anlaşılabilecektir (*bkz. Bölüm 4.4*).

4. HIZLI PROTOTIP TEKNOLOJILERININ ÜRETİM SEKTÖRÜNDEKİ ROLÜ VE ÖNEMİ

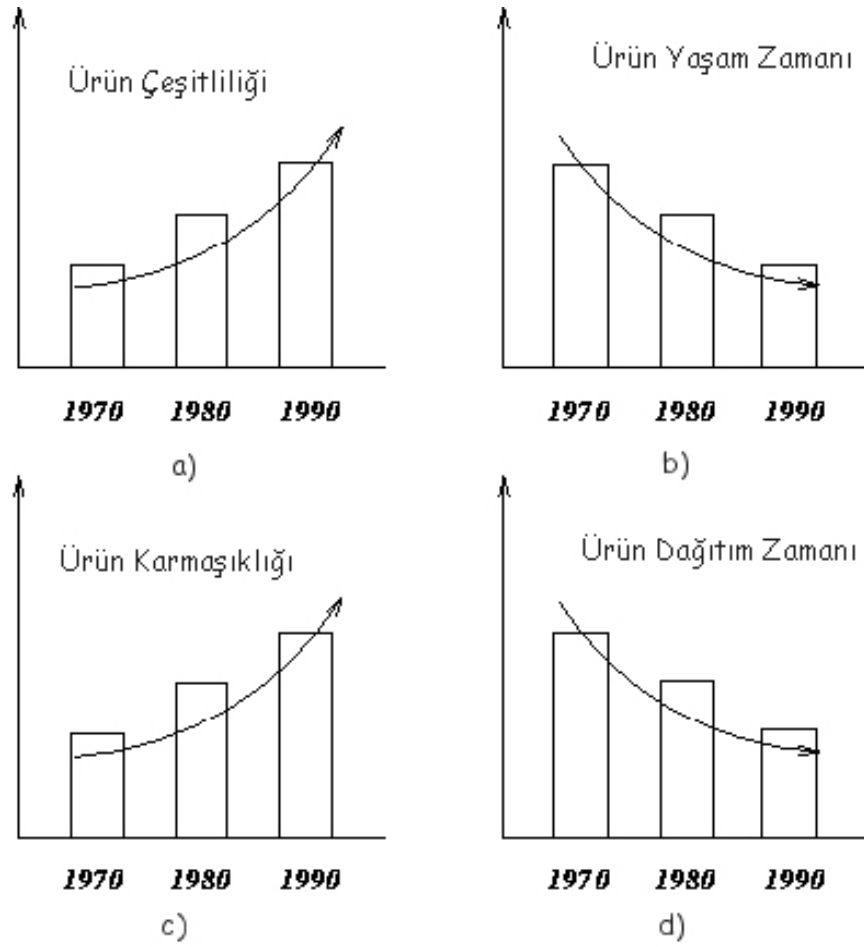
4.1. Ürün Gelistirme Zamanı ve Ürünün Pazardaki Yasam Zamanı

Üretilen yüksek kaliteli, daha estetik ve işlevsel ürünler insanların bu tip ürünleri daha çok kullanmasına ve tüketmesine neden olmaktadır. İnsanların gün geçtikçe değişen yaşam stillerine ve standartlarına hitap ederek üretilen daha yeni nesil ürünlere olan talep bu nedenlere ek olarak gösterilebilir. Fakat bu gelişmeler çerçevesinde üretilen yeni ürünler Şekil 4.1-a'da görüldüğü gibi hem daha fazla seçenekli ve çeşitli olmakta ve hem de Şekil 4.1-c'de görüldüğü gibi daha karmaşık yapıda olmakta ve dolayısıyla Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi ürün geliştirme zamanları artmaktadır.

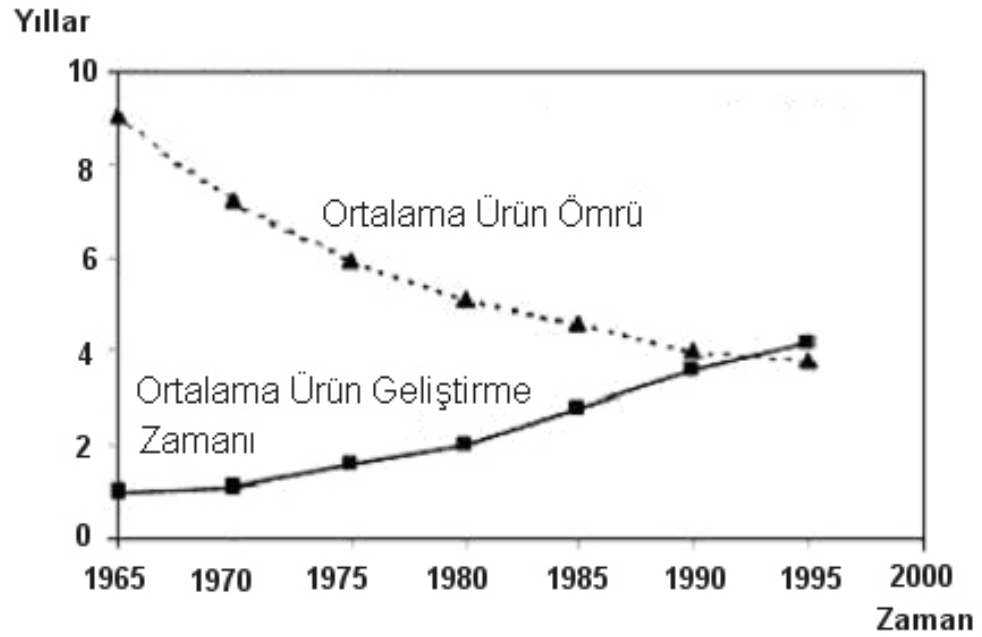
Bununla beraber özellikle çok çeşitli versiyonlara sahip ürünlerin ve kişiye özel hitap eden ürün çeşitliliğinin artması bir ürünün pazardaki yaşam süresini olumsuz yönde etkilemektedir. Ürün yaşam süresinin yıllara göre azalması Şekil 4.1-b'de görülebilir. Ayrıca kısalan ürün ömrüne karşılık ürün geliştirme zamanının yıllara göre artışı Şekil 4.2.'de görülebilir.

Global pazardaki artan rekabet, üretici kuruluşları sık sık ürün yaşam süresini kesmeye zorlamaktadır [Klocke *et al.*, 1995]. Bunun yanı sıra, ürünlerin yeni versiyonlarının da ürün yaşam süresini etkilemesi diğer bir unsurdur [EOS GmbH, 2001].

Bütün bu bahsedilen ürün yaşam süresini olumsuz yönde etkileyerek ürün geliştirme zamanının da artmasına sebep olan parametrelerden dolayı, üreticilerin sadece müşterinin istediği şekilde bir ürün üretmesinin daha da ötesinde, ürünü çok kısa süre içerisinde müşteriye sunabilmesi gerekmektedir. Şekil 4.1-d'deki grafikte ürün dağıtım zamanının gereksiniminin son 30 yıldaki değişimi gösterilmektedir.



Sekil 4.1 Üretim Endüstrisi İçin Yıllara Göre Degisen Zorunluluklar [Dolenc, 1994]



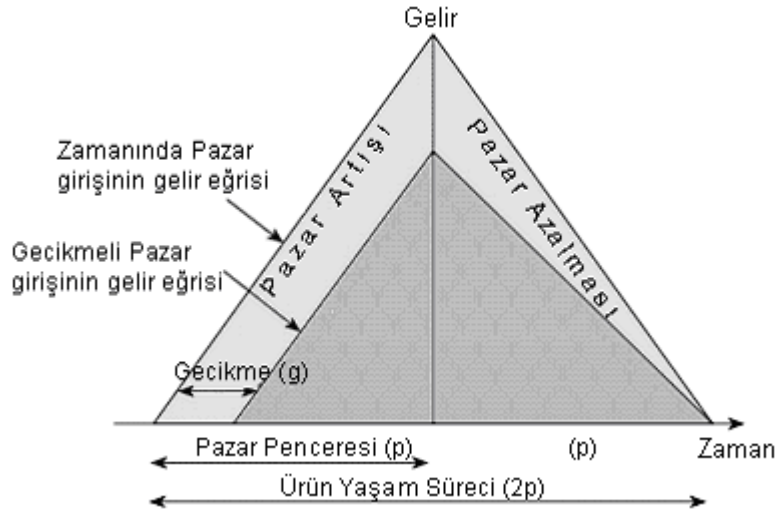
Sekil 4.2. Bir Ürünün Ortalama Yaşam Süresine Karsilik Ortalama Ürün Gelistirme Zamanı, [Ermurat And Erzincanli, 2002]

4.2. Pazara Giris Zamani

Zaman, bir üretici için, ürünün sahip olması gereken bir takım özelliklerin haricinde ve üründen bağımsız olarak en önemli rekabet parametresidir. 21.yy. is çevresi pazara karşı tepkiselliği ve esnekliği sağlayabilmek için zaman tabanlı rekabeti benimsemiştir [Ermurat and Erzincanlı, 2002].

Her ürünün pazardaki ürün yaşam süreci içerisinde iki evre bulunur. Birinci evre ürünün pazarda gelişmekte olduğu gelişme evresi. İkinci ve son evre ise ürünün pazarda yayılımının azalma gözlemlendiği ve belirli bir zaman sonra tamamen durduğu azalma evresidir [HKPU, 2001].

Sekil 4.3.'te de görüldüğü gibi, bu iki evrede ürünün tamamen zamana dayalı olarak sergilediği davranışlar gözlemlenebilir. Bir ürünün pazardaki gelişmesi pazara giriş zamanına bağlıdır. Pazara geç giren bir ürün gelişme evresi esnasında tam olarak gelişemeyecek ve normalden daha hızlı bir şekilde azalma evresi başlayacaktır. Çünkü eskiden olduğu gibi pazarın sonsuz olduğu düşüncesi, yerini 21.yy ile birlikte globalleşen dünyada pazarın bir sonunun olduğu gerçeğine bırakmıştır.



Sekil 4.3. Pazar Girişi Gecikmesi İle Olusan Kazanç Kaybı [HKPU, 2001]

Tablo 4.1 , Sekil 4.3.'teki grafik kullanılarak türetilen ve gecikmenin kâra olan etkisinin hesaplanabildiği denklemden (Denklem 4.1) elde edilen değerleri gösterir. Denklemden, K kâr kaybı, g aylık gecikme, p ise 12 aylık pazar penceresidir.

$$K = \frac{g(3p - g)}{2p^2} \quad \text{Denklem 4.1}$$

Tablo 4.1 Aylık Gecikmelerin Sebep Olduğu Kâr Oranındaki Yüzde Kayıpları

Aylık gecikme	Kar kaybı (%)
1	12
2	24
3	34
4	44
5	54
6	63

12 aylık bir pazar penceresi için aylık gecikmelerin sebep olduğu kâr oranındaki yüzde kayıpları içeren değerler Tablo 4.1 göstermektedir. Elde edilen değerlere bakıldığında her aylık gecikmede kâr kaybı artarak devam etmektedir. Bundan dolayı bir ürünün pazara gecikmeli olarak girmesi önemli miktarda zararın oluşmasına yol açmaktadır [Ermurat and Erzincanli, 2002].

Küresellesen dünya birlikte getirdiği bir takım avantajları bakımından üreticilerin faydasına olduğu söylenebilir. Çünkü, A ülkesindeki herhangi bir firma dünyanın diğer bir ucunda yer alan B ülkesinde yaşayan insanları özellikle internet kullanımının da yaygınlaşmasıyla potansiyel birer müşteri olarak görebilmektedir. Fakat su da bir gerçektir ki, dünyanın diğer ucundaki B ülkesindeki herhangi bir işletme de A ülkesindeki yaşayan insanları rahatlıkla potansiyel birer müşteri olarak görebilmektedir. Yani globallesen dünya beraberinde globallesen bir rekabet ortamını da getirmektedir. Bu örnekle, globallesen bir ekonomik platformda bir ürünün sahip olması gereken bir takım özelliklerinin yani sıra ve belki de daha önemlisi o ürünün pazara girme zamanının ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Sekil 4.1-d’de gösterilen grafikte de ürün dagitim süresinin son yıllarda pazar tarafından gelen bir zorunlulukla azalmaya zorlanması, bir ürünün pazara giriş zamanının ne kadar çabuk olmasının önemini farklı bir perspektiften vurgulamaktadır.

Bir ürünün toplam çevrim zamanı (total cycle time) tasarım ve üretim proseslerinin yani sıra ürünün kavram olarak tasarlanmasından başlayarak ürünün dagitimına ve hatta kurulmasına kadar geçen süreç içerisinde geçen bütün evreleri kapsamaktadır. Dolayısıyla bir ürünün çevrim zamanına bir çok süreç etki etmektedir ve ürünün pazara giriş zamanına ürünün üretilmesinde etkili olan bütün proseslerin etkisi vardır. Pazara girme süresinin kısaltılması ancak bütün proseslerde uygulanacak iyileştirmelerle mümkün olur. Bütün proseslerin optimize edilmesiyle toplam çevrim zamanının %50 veya daha fazla azaltılması işletme için hayati faydalar sağlayacaktır. Toplam çevrim zamanının azalması maliyetteki, kalitedeki, üretkenlikteki ve etkililikteki iyileştirmeleri hızlandırır [HKPU, 2001].

Diğer taraftan, işletmeler pazar giriş zamanını azalttığı derecede müşterilerinin isteklerine karşı daha tepkisel olabilirler. Sonuç olarak, üreticiler için yüksek kalite, düşük maliyet ve yüksek üretkenlik gibi kriterlerin yani sıra toplam çevrim zamanı ve pazara giriş zamanı çok önemli bir amaç haline gelmiştir [Ermurat and Erzincanlı, 2002].

4.3. Eszamanlı Mühendislik Sistematiği

Bir ürünün üretilmesi çok alanlı bir takım çalışmasını gerektirir. Stratejik yaklaşım ise bu alanların toplam performansının iyileştirilmesi için çok önemlidir. Uygun stratejiler olmaksızın sadece bir takım teknolojilerle veya sistemlerle üretimdeki çevikliği sağlamak mümkün değildir. Çevik ve tepkisel üretim müşteri ile entegrasyonlu çok alanlı takım çalışmasını, esnek imalat ve Bilgisayarlı Bütünleşik İmalat sistemlerini zorunlu kılar [Gunasekaran, 1999]. Bu takımlar ürünün kavram tasarımından başlayarak elden çıkmasına ve teknik desteğine kadar uzanan tasarım, üretim, proses planlama, kalite kontrol, alım, pazarlama, satış, dağıtım servisi ve destek servisi gibi takımlardan oluşur [Love *et al*, 1998]. Böylece, Eszamanlı mühendislik zaman tabanlı yaklaşımdır ve üretim prosesinde olan bütün

takimların arasında bilgi paylaşimini zorunlu kılar [Love *et al*, 1998; Gunasekaran and Love, 1999; Ermurat and Erzincanlı, 2002].

Hızlı ürün geliştirmesi ve pazara çabucak girmesi için çok alanlı takım çalışması formasyonunu benimseyen eszamanlı mühendislik üretimden daha çok yönetim stratejisi olarak adlandırılmıştır [Gunasekaran, 1999; Nagalingam and Lin, 1999; Love *et al*, 1998]. Eszamanlı Mühendislik, ilgili takımların birbirleriyle entegre olmuş, sistematik ve eszamanlı bir yaklaşımdır [Gunasekaran, 1999; Nagalingam and Lin, 1999; Tso *et al.*, 1999]. Eszamanlı mühendisliğin ana amaçları ürünün kavram tasarımından başlayarak tasarımı ve gerekli mühendislik iyileştirme iterasyonlarını da içine alarak ürünün pazara girmesine kadar olan bütün sürecin mümkün olduğu kadar kaliteyi de artırarak zaman ve maliyetinin minimize edilmesi olarak tanımlanabilir [Ciptono and Ismulyaty, 2000; Love *et al*, 1998].

Toplam tasarım prosesini optimize ederek bir ürünün ürün geliştirme sürecinde tasarım aşamasının ilk safhalarında karar verme mekanizmalarında önemli bir rol oynayan Eszamanlı Mühendislik, kaliteli ürünlerin pazara çok kısa süre içerisinde ve düşük maliyetlerde girmesini sağlayarak global rekabet ortamında daha tepkisel olmasını sağlamaktadır [Ciptono and Ismulyaty, 2000; Anderson, 1999].

Üretim dönüşüm zamanı içerisinde tasarım ve üretim çok önemli aşamalardır. Eszamanlı mühendislik diğer aşamalardan ziyade bu aşamalarda çok önemli bir rol oynamaktadır. Çünkü ürün görsel, işlevsel ve fiziksel özelliklerini bu aşamalarda kazanmaktadır.

Eszamanlı mühendisliğin tasarım ve üretim arasındaki üstlendiği görevinden söz edilecek olursa; bir ürün henüz tasarım aşamasında iken üretim sahasında da bir takım hazırlıklara başlanarak ürün tasarımı yapıldıktan sonra direk olarak üretime başlanması sağlanabilir. Hatta bu bahsedilen hazırlanma terimi içerisinde ürünün tasarımını etkilemeyecek bir takım üretim faaliyetleri gerçekleştirilebilir.

Bir örnek verilecek olursa; Toyota Firması ürün kalibinin tasarımı henüz devam ederken kalıp gövdesinin hazırlanması tamamlanmış olmakta. Kalıp tasarımı sonunda kalıp parçalarının da direk olarak üretilerek gövdeye yerleştirilmesi ile daha

kısa zamanda ve dolayısıyla daha az maliyette ürününü çıkarabilmektedir. Eszamanlı mühendisliği bünyesinde başarıyla uygulayan Toyota Firması, 37 ayda bir ürününü çıkarabilen Chrysler'in LH takımından %50 daha az insan çalıştırarak 27 ayda yeni bir ürün geliştirmeyi başarmıştır [Ciptono and Ismulyaty, 2000]. Diğer taraftan Eszamanlı Mühendislik tasarım takımını üretim takımının görüşleri doğrultusunda bir takım değişiklikler yapmasını eszamanlı olarak sağlamaktadır.

4.4. Hızlı Prototip Teknolojisinin Ürün Geliştirme Sürecinde İşletmeye Katkısı

Tasarımın hızlı bir şekilde düşünceden fiziksel modele dönüştürülmesinin sağlanmasını hedefleyerek 1986 yılında geliştirilen ve 3 boyutlu katmanlı yapı tekniğini kullanan hızlı prototip sistemlerinin önemi özellikle günümüzde dünyanın her yerinde artarak devam etmektedir.

Hızlı prototip sistemleri bilgisayar üzerinde tasarımı yapılan herhangi bir modelin fiziksel modelinin çok hızlı bir şekilde üretilmesini sağladığından dolayı ürün geliştirme sürecinde çok büyük bir rol oynamaktadır. Tasarımı tamamlanmış ürünlerin fiziksel modellerinin üretilmesinin yanı sıra, bir ürünün ürün geliştirme aşamasında henüz tasarımına son şekli verilmemiş bilgisayar modellerinin de istenilen herhangi bir zamanda fiziksel modele dönüştürülebilmesine olanak tanımaktadır. Bu özelliğinden dolayı tasarımın herhangi bir aşamasında fazla zaman gerektirmeden fiziksel modelin elde edilebilir olmasının ürünün stilinin belirlenmesi, estetik görünüm, aerodinamik ve montaj parçalarının birbirine uygunluğu, işlevselliği ve üretilirliği gibi bir çok testin de yapılabilmesine imkan tanımaktadır. Nitekim tasarımın ve prototip sürecinin önceki aşamalarında alınan kararların tasarımın orijinalliğinde, optimum üretim ve kalıp metodlarının seçiminde önemli bir yeri vardır [Ermurat and Erzincanlı, 2002].

Testlerden elde edilen sonuçlar henüz tasarım aşamasında olan bir ürünün tasarımında bir takım değişikliklerin ve iyileştirmelerin hızlı bir şekilde uygulanmasını sağlamaktadır. Bu tip tasarım değişikliği ve iyileştirme iterasyonları ve çeşitli tasarımlar çok kısa sürede gerçekleştirilebilir. Böylece, Hızlı Prototip

sistemleri sayesinde ürün geliştirme süreci önemli ölçüde azaltılabilir. Bu da ürünün pazara çıkış zamanını kısaltır ve üretimdeki tepkiselliği ve çevikliği sağlamaya yardımcı olur [Ermurat and Erzincanlı, 2002].

4.5. Hızlı Prototip Teknolojilerinin Üretim Sektörüne Sağladığı Stratejik Faydaları

Hızlı prototip sistemleri aslında birer teknoloji ürünüdür. Fakat aynı zamanda bu sistemlerin üretici kuruluşlara sağladığı bir takım avantajlar çerçevesinde bu sistemler birer stratejik yaklaşım olarak da görülebilir [Wohlers, 2001].

Hızlı Prototip sistemlerinin üreticilere sağladığı bazı genel stratejik faydalar şu şekilde sıralanabilir:

- Markete giriş zamanını hızlandırır
- Üretimdeki tepkiselliği sağlar
- Ürün geliştirmesini destekler
- Üretim birimindeki maliyetleri azaltır
- Çalışma üretkenliğini artırır
- Planlanan süre içerisinde ürünün daha hızlı pazara girişini sağlar
- Yeni ürünlerle tanışmayı sağlar
- Ürünleri müşterinin isteklerine göre özelleştirmeyi sağlar
- Üretim miktarının değişimine olanak tanır
- Doğru ve görsel karar verme mekanizmalarını sağlar
- Üniteler arasındaki esgüdümü sağlar
- Karmaşık modellerin üretilebilmelerine imkan tanır

4.6. Eszamanlı Mühendislik Stratejisi Çerçevesinde Hızlı Prototip Teknolojileri

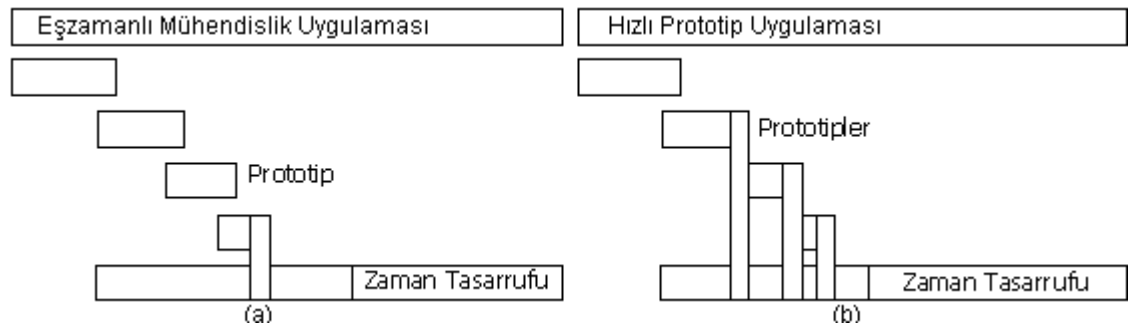
Her ikisi de bir ürünün ürün geliştirme zamanını azaltarak pazara daha hızlı girmesini sağladığından dolayı Hızlı Prototip sistemleri ve Eszamanlı Mühendislik

tepkisel üretim için birbirlerini destekleyen yapıda oldukları ve hızlı ürün geliştirme zamanı ortak paydasında birleştikleri anlaşılmaktadır.

Hızlı prototip sistemleri BBI felsefesi içerisinde yerleşmiş bulunan tasarım, üretim, satış, ve pazarlama gibi birimler arasındaki iletişimi iyileştirmektedir. Böylece, ürünün optimum karakteristiği, maliyeti ve üretilebilirliği daha iyi ve kolay bir şekilde tanımlanabilir [Ermurat and Erzincanli, 2002].

Eşzamanlı Mühendislik hızlı ürün geliştirme zamanı ve ürün çeşitliliğine dayanmaktadır. Eşzamanlı Mühendislik, birbirinden ayrı ve birbiriyle bağlantılı ünitelerin mümkün olduğu en kısa süre içerisinde ürün faaliyetine başlamalarını sağlamaktadır. Böylece toplam ürün geliştirme zamanı kısaltılmış olmaktadır. Aynı şekilde hızlı Prototip sistemleri de ürün geliştirme sürecinin ilk aşamalarında fiziksel modelin çok kolay ve hızlı bir şekilde üretilmesini sağlayarak toplam ürün geliştirme zamanının kısaltılmasını sağlamaktadır. Böylece, hızlı prototip sistemleri Eşzamanlı Mühendisliği daha fazla hızlandırmaktadır.

Eşzamanlı Mühendislik ve Hızlı Prototip uygulamalarıyla kısaltılmış ürün geliştirme prosesi Şekil 4.4.'de görülmektedir. Şekil 4.4.-a'da, sadece Eşzamanlı Mühendislik ile kısaltılmış ürün geliştirme prosesi görülmektedir. Şekil 4.4.-b'de ise Eşzamanlı Mühendislik yanında Hızlı Prototip sistemlerinin kullanımının etkisi de görülmektedir. Şekil 4.4.-b'de görüldüğü gibi, ürün geliştirme sürecinde tasarım aşamasında birden fazla fiziksel prototipin çok hızlı ve kolay bir şekilde üretilmesiyle Eşzamanlı Mühendislik uygulamasını hızlandırması anlaşılmaktadır [Ermurat and Erzincanli, 2002].



Şekil 4.4. Hızlı Prototip Sistemleri Eşzamanlı Mühendisliği Hızlandırır [EOS GmbH, 2001]

Hizli prototip sistemleri, Eszamanli Mühendislik stratejisinin de verimli bir sekilde uygulanmasina katkıda bulunarak BBI yapisi içerisinde bir iletisim ve teftis araci olarak kullanilmaktadir [Kochan *et al.*, 1999].

Diger yandan, Hizli Prototip sistemleri sadece Eszamanli Mühendisligi hizlandirmaz ayni zamanda daha düşük maliyetin basarimi için Eszamanli Mühendisligin etkisini artırir.

Sonuç olarak;

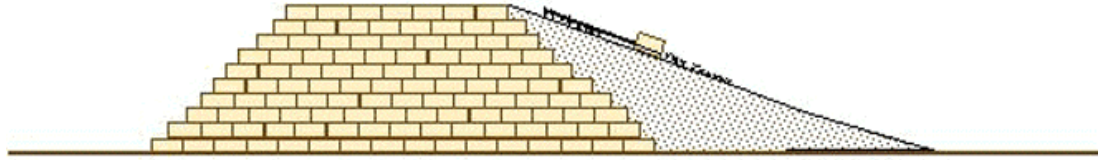
- Bu global arenada ürün basariminin saglanması için kalite, ürün tasarımı, yenilik ve ürün dagıtımı ve satis sonrası destek servisleri birinci öncelikli faktörlerdir. Bu zorunluluklari basarmak için üretici kuruluslar bir takım degisikliklere esnek, kolayca uyum saglayan ve tepkisel bir yapıda olmalı ve çok çeşitli ürünleri düşük maliyetlerde ve çok kısa süre içerisinde üretebilmelidir.
- Fiziksel prototiplerin erken tasarım asamalarında gerek duyulan tam zamanında üretilebilmesi; tasarım prosesinin önceki prototiplerde gözlenen hatalarin veya müşteriiden gelen isteklerin degerlendirilerek kısa süre içerisinde tamamlamasini saglamasinin yani sıra hem düşük maliyetlerde ve hem de tepkisel üretim gerçekleştirme olanagini sunar.
- Sonuç olarak, Hizli Prototip sistemlerinin, bir yandan ürün gelistirme zamanini kisaltırken diger yandan ürün kalitesindeki iyilestirmelerde de çok büyük rolü vardır. Hizli prototip sistemlerinin, ürün gelistirme süreci içerisinde çok hizli bir sekilde prototip üreterek Eszamanli Mühendisligi hizlandirmasinin yani sıra düşük maliyetli ve yüksek verimli üretimi saglamak için Eszamanli Mühendisligin etkisini artırir.
- BBI çerçevesi içerisinde entegre olmuş Bilgisayar Destekli Teknolojilerin ve Eszamanli Mühendislik, Çevik Üretim, Tepkisel Üretim ve Yalin Üretim gibi yönetim ve üretim stratejilerinin de etkili bir sekilde kullaniminin artması, özellikle son 10 yilda, üretim uygulamalarındaki iyilestirmelerin dinamik yapisini artırır.

5. HIZLI PROTOTIP TEKNOLOJISININ GELISIMI

5.1. Tarihsel Gelisim

5.1.1. Hızlı Prototip İmalatinin Eski Tarihi

Hızlı prototip sistemleri su an süphesiz çok disiplinli bilimsel bir teknolojik yapıya sahiptir. Fakat henüz hızlı prototip sistemleri geliştirilmeden önce özellikle iki farklı alanda hızlı prototip sistemlerinin de temelini oluşturan bir takım araştırmalar gözlenmiştir. 3 boyutlu nesneleri katmanlı biçimde yapmak insanlık uygarlığı kadar eskidir. Bunlara en güzel örnek Şekil 5.1'de görüldüğü gibi misir piramitleri gösterilebilir. Özellikle misir piramitlerinin yapımından etkilenen topografya bilimiyle uğrasan bilim adamlarının katmanlı üretim tekniğini bir takım yüzey bilimi araştırmalarında kullandığı bilinmektedir.



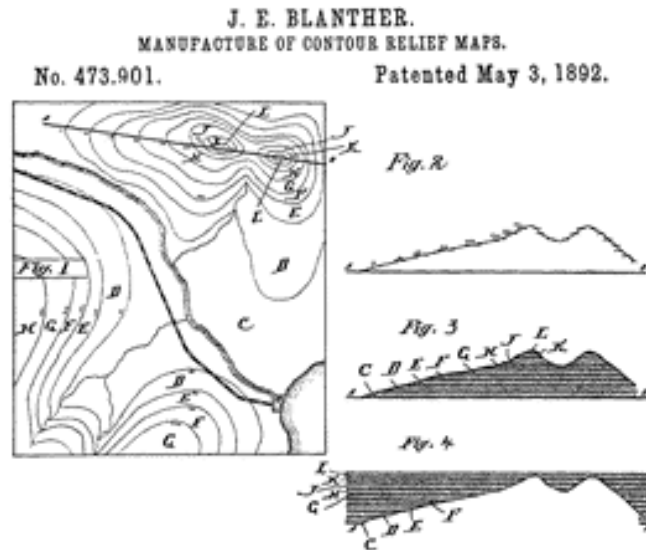
Şekil 5.1 Misir Piramitlerinin Yapım Şekli

Diğer yandan yüzey bilimcilerin bu katmanlı üretim tekniğinden de etkilenen foto-heykeltirasilik biliminde uğrasan bilim adamları ise ısı kullanarak bir nesnenin 3 boyutlu görüntüsünü elde etmek ve onu tekrar bir takım fotopolimer malzemeler kullanarak kabartma veya 3 boyutlu kopyasını elde etmek için bir takım çalışmalarda bulunmuşlardır. Katmanlı yapı tekniğinin kullanıldığı Hızlı Prototip sistemlerinin geliştirilmesinde temelde bu iki eski bilim dalının etkisi büyüktür.

- a) Topografya (yüzey bilimi)
- b) Foto-heykeltirasilik (ısıyla heykeltirasilik-yontmacilik)

a) Topografya

1890'ların başlarında Blather yüzey bilgisi içeren kabartma haritalarının yapımında kalıp yapımı için katmanlı metot önermiştir [Blather, 1892]. Bu metot yüzey bilgisi içeren çevre hat çizgilerinin balmumundan yapılmış tabakalara basılması suretiyle izlerinin oluşturulması ve tabakaların bu oluşturulan çizgilerden kesilerek elde edilen kesit alanların birbiri üzerine istiflenmesini içermektedir. Bu, çevre hat çizgileriyle gösterilen arazinin hem pozitif hem de negatif üç boyutlu yüzeylerini üretmekteydi. Bu yüzeylerin üretilmesinden sonra pozitif ve negatif yüzeylerin bulunduğu bir kabartma haritası rahatlıkla çıkarılabilmekteydi. Katmanlı kabartma haritası kalibi örneği Şekil 5.2'de gösterilmektedir.



Şekil 5.2 Katmanlı Kabartma Haritası Kalibi, [Blather, 1892]

Perera'nın önerdiği benzer bir metot ise karton tabakalarının çevre hat çizgilerinden kesilerek üst üste istiflenmesi ve yapıştırılmasıyla 3 boyutlu haritaların kullanılarak kabartma haritaların elde edilmesidir [Perera, 1940]. Bu yaklaşım üzerinde bir takım iyileştirmeler yapılmıştır.

Zang, yüzey bilgisi detayların bulunduğu seffaf tabakalar önermiştir [Zang, 1964]. Gaskin, 3 boyutlu coğrafik öğretim aygıtını tanımlamıştır [Gaskin, 1973].

1972'de Mitsubishi Motors'dan Matsubara ısıyla sertleşen malzemeleri kullanan yüzey bilgisi prosesi önermiştir [Matsubara, 1974]. Bu proseste üzerine

reçine kaplanmış erimeye karsi dirençli parçacıklar bir tabaka üzerine yayilir ve düzgün bir tabaka formu elde etmek için ısıtılır. Isık olusturulmus tabaka formunun belirli yerlerine odaklanır. Isığın odaklanmadığı, isığın ulaşmadığı yerler sertlesmediginden islemden sonra çeşitli çözücülerle çözünür. Bu şekilde form verilmiş ince tabakaların birbiri üzerine düzgünce yerlestirilmesiyle kalıp elde edilmiş olur.

1974'te DiMatteo bu istif tekniklerinin standart isleme teknikleriyle islenmesi çok zor yüzeyleri olan parçaları üretmek için kullanılabileceği fikrini ortaya atmıştır [DiMatteo, 1976]. Özellikle pervanelerin, kanatçıkların ve bunlar gibi geleneksel imalat yöntemleriyle imalatı çok zor olan karmasık yapıli parçaların ve kalıplarının yapımında kullanılabileceğini belirtmiştir. Bu fikre uygun olarak Sekil 5.3'de gösterilen şekilde frezeleme işlemiyle şekil verilmiş ince metal tabakalar üst üste istiflenerek civata ve pimler vasıtasıyla tutturulmuş ve böylece üç boyutlu nesne olusturulmuştur. Bu proses 19.yy'ın başlarında yapılan çalışmalara çok benzemektedir.



Sekil 5.3 İstiflenmiş Tabakalarla Katmanlı Kalıp, [Dimatteo, 1976]

1979'da Tokyo Üniversitesinden Prof. Nakagawa içi boş gerçek parçalar [Nakagawa *et al.*, 1979], dövme kalibi parçaları [Kunieda and Nakagawa, 1984], enjeksiyon kalibi parçaları [Nakagawa *et al.*, 1985] gibi parçaları üretmek için tabaka tekniğini kullanmaya başlamışlardır.

Bunun yanında Nakagawa enjeksiyon kalıplarındaki kompleks soğutma kanallarının üretiminin de mümkün olabileceğini dile getirmiştir [Nakagawa, Kunieda and Liu, 1985].

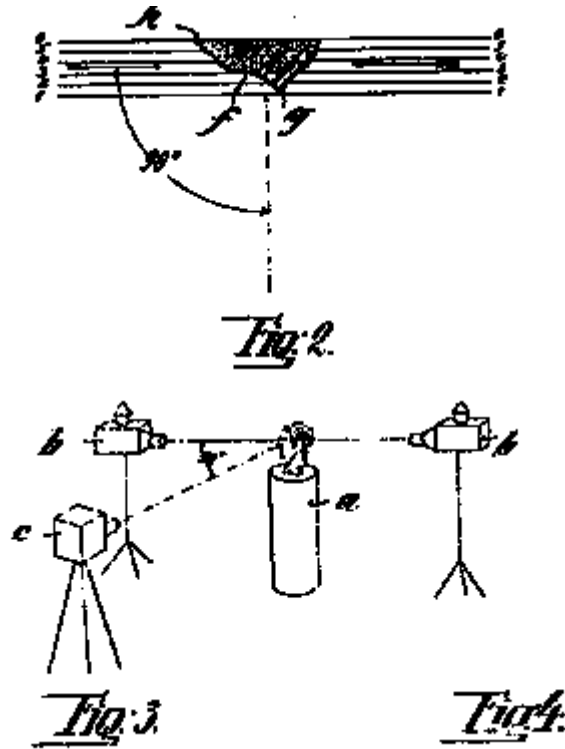
b) Foto-Heykeltiraslik

Foto-heykeltiraslik 19.yy'da 3 boyutlu nesnelerin –insan formu da dahil - gerçek kopyasını oluşturmak için büyük gelişme kaydetmiştir [Bogart, 1979].

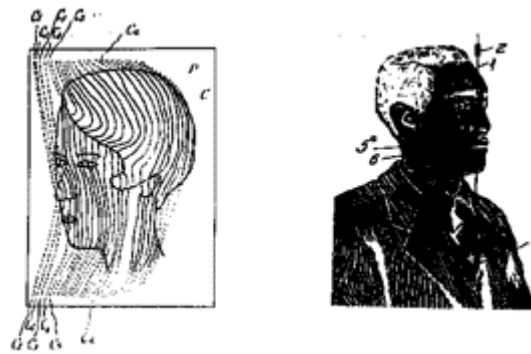
Bu teknolojinin başarılı bir uygulamasını 1860'da Frenchman Francois Willeme tasarlamıştır. Onun metodunda bir nesne dairesel bir odaya konur ve çevreye eşit aralıklarla yerleştirilmiş 24 kamera tarafından eşzamanlı olarak fotoğrafı çekilir. Nesnenin silindirik biçimi her fotoğrafın 1/24'ü kesilmesi ve bu 24 adet dilimin birleştirilmesiyle elde edilir.

Willeme'nin geliştirdiği Foto-heykeltirasliğin işlem basamaklarının yoğunluğunu azaltma çalışmalarının birinde, Baese ışık duyarlı jelatine belirli bir işlemden geçmiş ışığın maruz bırakılması yöntemini kullanan tekniği tanımlamıştır [Baese, 1904]. Şekil 5.4' de sematik resmi görülen bu işlemde jelatine ışığın su ile birlikte maruz bırakılması sonucu belirli bir oranda genişler. İşlenmiş jelatinin yüzük halkası biçimindeki parçaları bir nesnenin kopyasını yapmak için bir desteye tutturulur. Benzer teknikleri ve iyileştirmeleri Monteah tarafından geliştirilmiştir [Monteah, 1924].

Japonya'daki bazı çalışmalarda ise, Morioka topografya ve Foto-heykeltiraslik ifadesini birleştirilerek melez (hybrid) prosesi geliştirmiştir [Morioka, 1935,1944]. Bu metod bir nesnenin çevre hat çizgilerini çıkarmak için biçimlenmiş ışık kullanır. Çizgiler kullanılarak biçimlenmiş plakalar elde edilir ve istif yapılır veya oyma yapılabilmesi için istif yapılmış malzemeye izdüşümü uygulanır. Morioka tarafından önerilen kabartma üretimi prosesi Şekil 5.5'de gösterilmiştir.



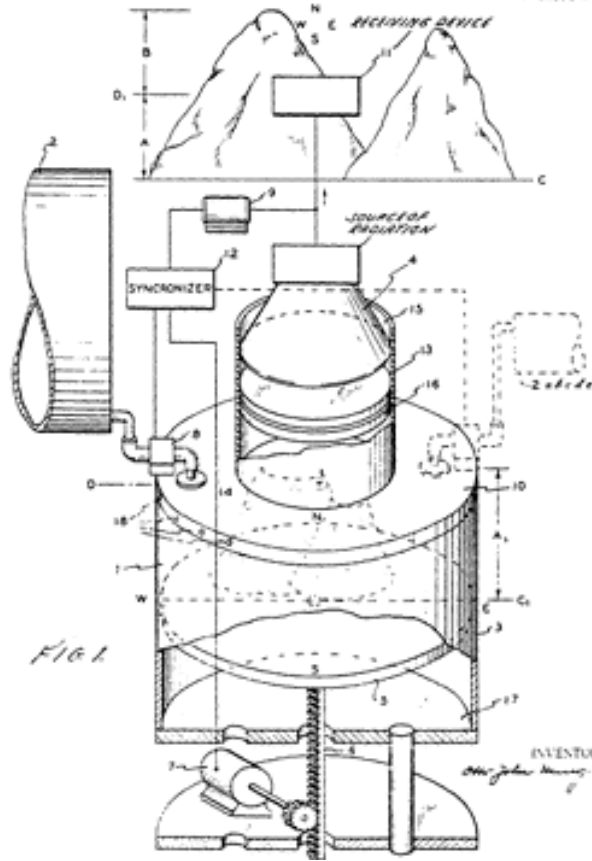
Sekil 5.4 Plastik Nesnelerin Olusturulmasi Prosesi [Baese, 1904]



Sekil 5.5 Kabartma Üretimi İçin Bir Proses, Morioka

1951 yılında Otto John Munz tarafından önerilen sistem simdiki Stereo lithography (3 boyutlu katmanlı yapı) tekniginin karakteristiginin belirlenmesinde önemli bir rol oynamıştır [Munz, 1956]. Sekil 5.6'da gösterilen sekilde Munz bir nesnenin kesit alanları taranarak elde edilmiş her tabakanın seffaf katmanlı bir yapı içerisinde foto emülsiyona maruz bırakılması sonucu kabartma figür elde edilebilecek bir sistem önermiştir. Bu sistem ışıkla kabartma figür yapımı (Photoglyph recording) olarak da adlandırılmaktadır. Bu tabakalar bir silindir içerisindeki pistonun alçaltılması ile ve yeteri kadar foto emülsiyon ve tutma aracı ekleyerek

olusturulur. Isigin etkisiyle katilasan seffaf silindir nesnenin bir görüntüsünü içerir. Son olarak bu nesne elle oyulabilir veya fotokimyasal olarak kazinarak 3 boyutlu nesne elde edilmiş olur.

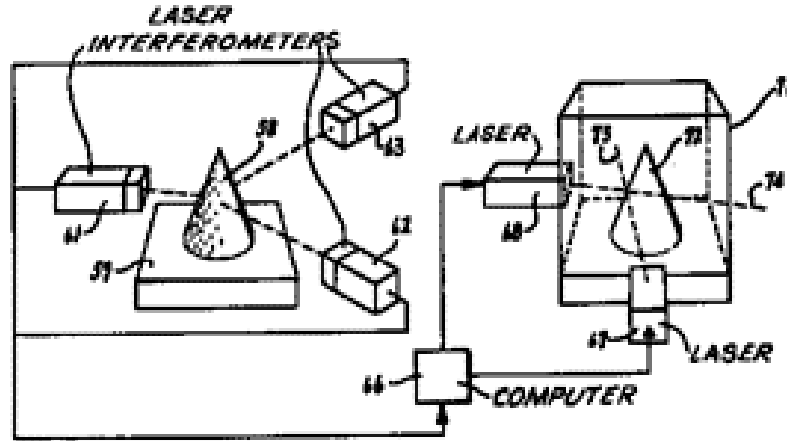


Sekil 5.6 Bir Nesnenin 3 Boyutlu Yeniden Üretimi [Munz, 1956]

5.1.2. Önceki Serbest Form Kati Imalatı Örnekleri

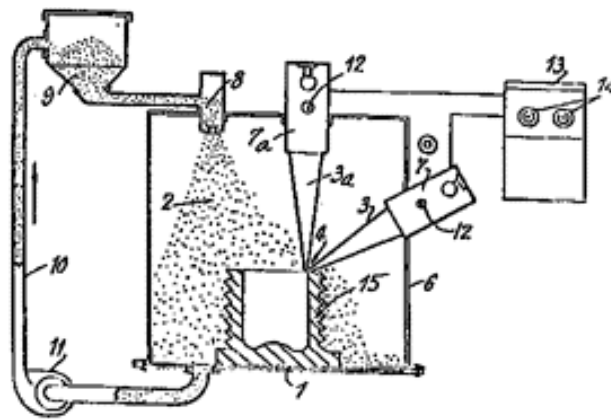
1968’de Swainson iki lazer isininin kesistigi yerdeki isik duyarlikli polimer malzemenin 3 boyutlu polimerizasyonu saglanarak bir plastik modeli direk olarak üretmeyi esas alan bir proses ileri sürdü [Swainson, 1977].

Paralel yönde Battelle Laboratuarında çalismalar gözlenmistir [Schwerzel, 1984]. Sekil 5.7’de gösterilen bu prosesin en önemli unsuru fotokimyasal isleme olmustur. Nesne hem fotokimyasal olarak çapraz baglanmis hem de lazer isinlarinin kesisimine eszamanli maruz birakilarak polimerlesmesini saglayarak forma sokulmustur. Bu proses için laboratuar donanimi kurulabilmiş olmasına ragmen ticari olarak düzgün bir proses gerçeklestirilememistir.



Sekil 5.7 Kesisen Lazer Isinlari Kullanilarak Foto-Heykeltiraslik [Swainson, 1977]

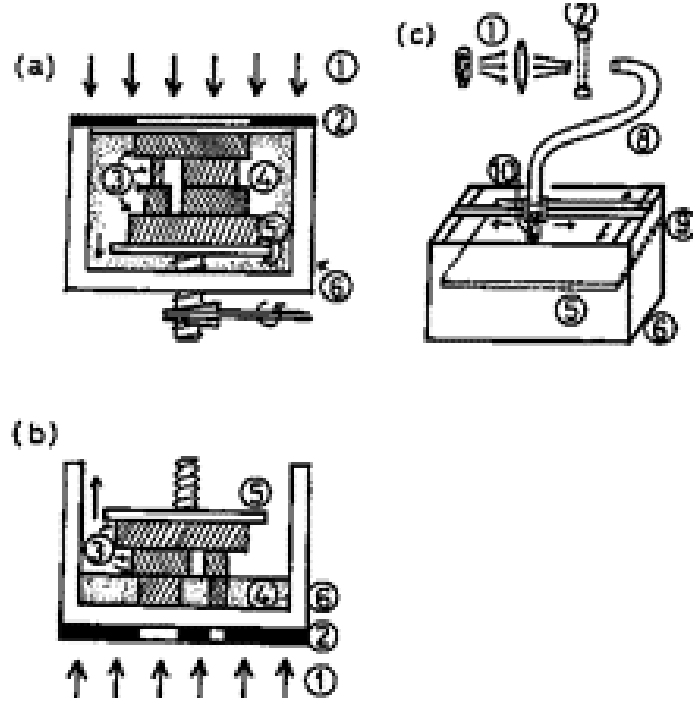
Foto heykeltirasliktan ziyade genelde lazerle yüzey kaplama tekniklerinin kullanildiği toz prosesi fikri 1971’de Ciraud tarafından önerilmiştir [Ciraud, 1972]. Bu öneri en azından kısmen eriyebilirlik özelliği bulunan çeşitli malzemelerin üretilebilirliğini açıklayan bir prosestir. Bir nesne üretmek için, küçük parçacıklar platforma yerçekimi etkisi ile, manyeto statik olarak, elektrostatik olarak veya bir nozul vasıtasıyla uygulanır. Bu parçacıklar daha sonra bir lazerle, elektron isiniyle veya plazma isiniyle ısıtılır. Isıtmanın sonucu olarak parçacıklar birbirine yapışarak sürekli bir tabaka oluşturlar. Sekil 5.8’de gösterildiği gibi birden çok lazer isininin kullanılmasıyla parçacıklar arasındaki birleşimin mukavemetinin artırılması sağlanabilir.



Sekil 5.8 Toz Lazer Prosesi [Ciraud, 1972]

Nagoya Municipal Endüstri Arastırma Enstitüsünden Hideo Kodama işlevsel fotopolimer hızlı prototip sisteminin ilk raporunu yayınlamıştır [Kodama, 1981].

Onun metodunda bir kati model tabakaların inşaa edilmesiyle oluşturulur. Isığa maruz bırakılan alan modelin kesit alanını temsil etmektedir. Kodama bunu başarabilmek için üç farklı yöntem üzerinde çalışmıştır.



Sekil 5.9 Üç Fotopolimer Sisteminin Sematik Gösterimi, [Kodama, 1981]

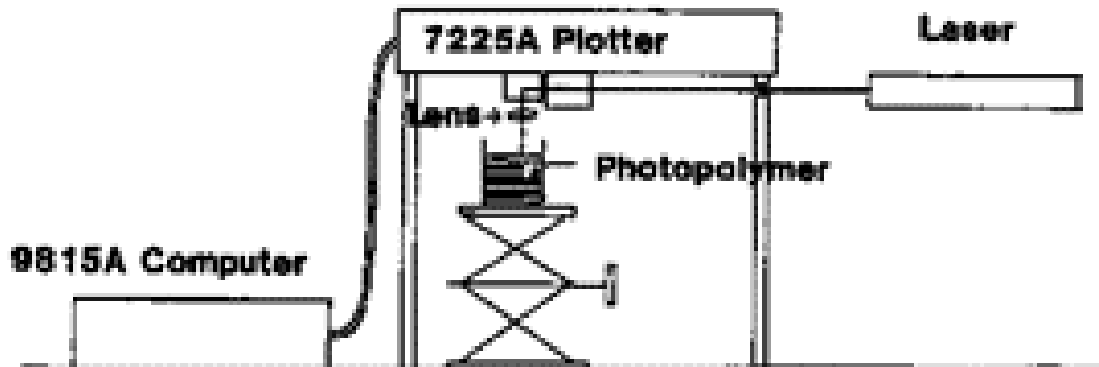
Sekil 5.9’da Kodama’nın üzerinde çalıştığı 3 farklı fotopolimer sistemin sematik gösterimi verilmiştir.

1. UV ışık kaynağının etki alanını kontrol etmek için maskenin kullanıldığı ve yeni tabaka oluşturmak için modelin fotopolimer fiçinin içine kademe kademe daldırıldığı bir sistemdir.

2. Yine aynı şekilde maske kullanılan fakat pozisyonlamayı fiçinin en alt kısmına yapan bir sistemdir. Yeni tabaka oluşturmak için yukarıya kademe kademe kaldırılmasıyla oluşturulan modelin üretim yönü yukarıdan aşağıya doğru olmaktadır.

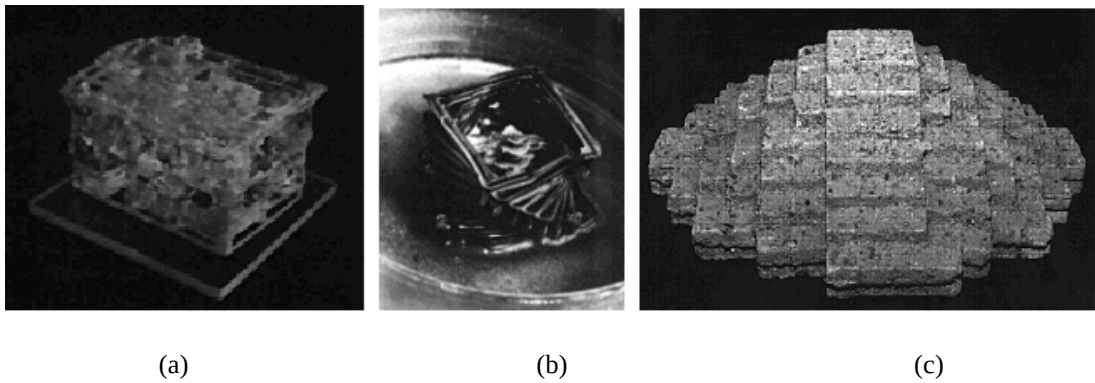
3. Yine model oluşturuldukça fiçinin içine daldırılan bir sistemdir. Fakat burada maske yerine x-y tablasına monte edilen fiber optik vasıtasıyla x-y düzleminde tablanın hareketiyle belirli yerlerin katılaştırılmasıdır.

Kodama'dan bagimsiz olarak 3M'den Herbert tarafından da paralel yönde bir çalışma yapılmıştır [Herbert, 1982]. Herbert'in tanımladığı sistemde UV lazer isini x-y tablanın üzerinde bulunan ayna sistemi vasitasiyla direk olarak fotopolimer tabaka üzerine odaklanır. Herbert'in deneysel tekniginde tabaka üzerinde gezdirilen lazer isinini kumanda etmek için bilgisayar kullanılmıstır. Sekil 5.10'da görülen bu sistemde yeni tabaka için fotopolimer malzeme fiçisi alçaltılır (~1mm) ve yeni sıvi fotopolimer konularak isleme devam edilir.



Sekil 5.10 Fotopolimer Proses [Herbert, 1982]

Sekil 5.11'de Serbest Form Kati Imalati yöntemleriyle ilk olarak üretilen parçaların resimleri gösterilmektedir. Sekil 5.11-a'da gösterilen Kodama'nın parçasının ve Sekil 5.11-c'de gösterilen Housholder'in parçalarının hangi yıl üretildiği bilinmemekle beraber, Sekil 5.11-b'de gösterilen ve Herbert'in parçası Ağustos, 1979 yılında oluşturulmuştur.



(a)

(b)

(c)

Sekil 5.11 İlk Üretilen Parçalar

5.2. Hizli Prototip Teknolojisi

5.2.1. Dogusu ve Kullanilan Tanimlari

1970'lerin baslarinda 3 boyutlu modelleme sistemlerinin de gelistirilmesiyle fiziksel nesneleri herhangi bir geleneksel imalat yöntemi kullanmadan direk olarak geometrik verileri kullanarak üretme çalışmaları başlamıştır. 1980'lerin baslarinda A.Herbert (3M Corp. Minneapolis), Kodame (Nagoya Prefecture Research Institute, Japan) ve Charles Hull (Ultra Violet Products inc, California) birbirlerinden bagimsiz olarak fotopolimer malzemeyi tabaka tabaka katilastirarak 3 boyutlu fiziksel nesne elde etme temeline dayali hizli prototip sistemi üzerinde çalışmışlardır. Herbert ve Kodame finansal sorunlar yüzünden çalışmalarını yarım bırakmak zorunda kalmışlardır. UVP'nin parasal desteğini sürekli alan Hull, 1984 yılında 3 boyutlu fiziksel parçaları geometrik bilgiyi kullanarak üretebilen bir sistem geliştirmiştir [Hull, 1986]. Hull bu sisteme Stereolithography ismini koymuş, 1986 yılında 3D Systems, Inc. firmasını kurmuş ve Stereolithography Cihazını (SLA-Stereolithography Apparatus) üretmeye başlamıştır.

Stereolithography: C. Hull tarafından geliştirilen ve Hizli Prototip teknolojisi için ilk standart olarak kabul edilen stereolithography terimi Hizli Prototip sistemlerinin –ilk geliştirilen Hizli Prototip sistemi olduğu için- diğer bir adı olarak kullanılmaktadır. Stereolithography, fotopolimer malzemelerin tabaka tabaka katilastirilarak 3 boyutlu kati nesnelerin olusturulmasi metodu olarak tanimlanmistir [Hull, 1986]. Stereo kelimesi üçüncü boyutu temsil eder, lithography kelimesi ise bir yüzey üzerine yazı yazmak, baskı yapmak anlamlarını barındırır. (Engraving) ve (etching) işlemlerini de kapsar. Bu iki kelimenin beraber kullanılmasıyla 3 boyutlu baskı veya yazı yazmak olarak nitelendirilebilir.

Serbest Form Kati Imalati (SFF-Solid Free-form Fabrication): Modelin karmasikligindan tamamen bagimsiz olarak her türlü kati modelin üretilebilir olmasından dolayı Hizli Prototip teknolojileri Serbest Form Kati Imalati olarak da çok genel bir biçimde adlandırılmaktadır.

Katmanli Üretim (LM-Layered Manufacturing): Üretim yöntemi bakımından eklemeli tip üretim yöntemi kullanılan bu sistemler katmanli üretim sistemleri olarak da adlandırılmaktadır.

Hizli Üretim (Rapid Manufacturing): İçerisinde barındırdığı teknolojilerde görülen gelişmeler neticesinde daha sağlam yapılı ve daha uzun ömürlü parçaların üretilebilir olmasıyla bu sistemlerle üretilen ürünlerin son ürün olarak kullanılabilir hale gelmesi bu sistemlerin Hizli Üretim olarak adlandırılmasını sağlamıştır [Erzincanlı and Ermurat, 2002].

Üç Boyutlu Yazıcı (3D Printing): İşlem şekli mürekkep püskürtmeli yazıcı mantığını andıran Hizli Prototip sistemlerine üç boyutlu yazıcı da denmektedir.

Otomatik İmalat (Automated Fabrication): İşleyiş tarzı bakımından 3 boyutlu bir nesnenin hemen hemen hiçbir şekilde müdahale yapılmadan üretilmesinden yola çıkarak Otomatik İmalat olarak da adlandırılabilir [MTIAC, 2002].

Masaüstü Üretimi (Desktop Manufacturing): Küçük boyutlu modelleri üretebilen ve boyutça küçük olan cihazlar masaüstü uygulamaları olarak görülmektedir. Diğer yandan herhangi bir işlem gerektirmeyen sistemler herhangi bir laboratuvar veya ofis imkanlarında rahatça kullanılabildiklerinden dolayı bu isimle adlandırılmışlardır.

Takimsiz İmalat (Tool less manufacturing): Herhangi bir geleneksel imalat yöntemi gerektirmedikinden ve modelin üretilebilmesi için herhangi bir kesici veya diğer geleneksel imalat yönteminde kullanılan çeşitli takımların kullanılmadığından dolayı Takimsiz İmalat olarak da adlandırılmıştır [MTIAC, 2002].

Oto-Insa Teknolojisi: Katmanli üretim tekniğinin kullanıldığından dolayı sanki bir yapının inşa edilmesini andırdığından ve bu işlemin otomatik bir şekilde gerçekleştiğinden dolayı Oto-Insa teknolojileri olarak adlandırılmışlardır.

5.2.2. Tarihsel Süreci

Bilgisayar kontrollü tarama sistemleri, lazer ve optik sistemleri, malzeme ve mekanik-kontrol teknolojilerindeki gelişmeler hızlı prototip sistemlerinin de gelişmesini sağlamakta ve bu sistemler kullanılarak üretilen modeller sadece tasarım ve iyileştirme amaçlı ve bazı işlevsel testlerin yapılabildiği işlemlerden çok, daha ileri imalat işlemlerinde kullanılmaya başlamışlardır.

Bu sistemde üretilen modeller modelden kalıp parçası üreten bazı uygulamalar için vazgeçilmez bir seçim olmuştur. Bu sistemler sayesinde artık hızlı kalıp üretme (RT- Rapid Tooling) olarak adlandırılan uygulamalarda oluşturulan modelin yine geleneksel imalat yöntemleri kullanılmaksızın hızlı bir şekilde elde edilmesi en önemli kriterdir. Bunun yanında modelin karmaşıklığından dolayı elle oluşturulan veya bir kaç parçanın birleştirilmesiyle oluşturulan modeli kullanarak kalıp üretmeye çalışmanın baste zaman kaybı olmak üzere istenen hassasiyette ve özelliklerde yapılamaması gibi sebeplerden dolayı, sistemin bu uygulamalarda başarılı bir şekilde kullanılması tercih sebebi olmuştur. İleride ele alınacak olan modelden kalıp elde edilen sistemler çeşitlerine göre çok fazla işlem den geçtiğinden dolayı burada hızlı prototip sisteminin zaman ve karmaşık yapıli modellerin üretilebilirliği bakımından sağladığı avantajlar çok önemlidir.

Önceleri sadece balmumu malzemesi ve erime sıcaklıkları çok düşük plastik malzemelerin kullanıldığı bu sistemlerle üretilen modeller sağlam ve dayanıklı olmamaktaydı. Dolayısıyla modeli ele almak veya uzun süre korumak gibi bir avantaj bulunmamaktaydı. Malzeme işleme teknolojilerinin gelişmesiyle daha sağlam yapıli ve daha dayanıklı modeller üretilebilir hale gelmiştir. Özellikle lazerli malzeme işleme teknolojisinin gelişmesi sadece sağlam yapıli plastik malzemelerden değil aynı zamanda seramik yapıli, metal ve yüksek alaşimli diğer metal bazlı malzemelerden de oldukça sağlam ve dayanıklı modeller üretilebilir hale gelmiştir. Üretilen bu modeller bir prototip modelinden çok son ürün olarak da kullanılabilirdiğinden dolayı Hızlı Prototip teknolojileri artık Hızlı Prototip ve Üretim teknolojileri olarak adlandırılmaya başlanmıştır [Ermurat and Erzincanli, 2002].

Hizli Üretim kategorisine giren Hizli prototip sistemleriyle üretilen plastik bazlı malzemelerden üretilen modellerin direk son ürün olarak kullanılabilmesi çok fazla üretimi gerçekleştiremeyecek fakat sayıca fazla olan belirli sayıdaki ürünlerin herhangi bir kalıp maliyeti gerektirmeden çok kısa süre içerisinde üretilmesine imkan tanımaktadır.

Metal ve seramik bazlı malzemelerden üretilen modeller de son ürün olarak kullanılabilen fakat sağlamlık, dayanım ve sertlik gibi belirli üstünlüklerinden dolayı daha çok kalıp uygulamalarında tercih edilmektedir. Sistemin otomatikliği, hızlılığı ve herhangi bir geleneksel imalat yöntemi kullanılmadan belki sadece çeşitli yüzey işlemlerinden geçirilerek direk olarak kalıbın elde edilebilmesinden dolayı bu uygulamalar Direk Kalıp (Direct Tooling) uygulamaları olarak adlandırılmaktadır [Erzincanlı and Ermurat, 2002].

1986 yılında C. Hull tarafından geliştirilen ve stereo lithography olarak adlandırılan bu oto-insa teknolojisi 90'li yıllarda büyük gelişme göstermiş ve son yıllarda ise üretim sektöründeki firmaların vazgeçemediği bir teknoloji olmuştur. Basta devlet destekli kuruluşlar olmak üzere, üniversiteler ve ticari kuruluşlar bu sistemler üzerinde çalışmalar yapmışlar ve bu çalışmalar artarak devam etmektedir. Basta A.B.D. olmak üzere, Almanya ve Japonya'da çok önemli çalışmalar ve gelişmeler gözlemlenmiştir. Su anda bir çok ülkede gerek üniversitelerde, araştırma-geliştirme enstitülerinde ve gerekse ticari kuruluşlarda çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

Hizli prototip sistemleri malzeme eklemeli bir sistem olduğundan dolayı özellikle malzeme boşaltmalı bir sistem olan CNC işlemlerinden alınan ölçü tamlığı, hassasiyet ve malzeme yoğunluğu gibi değerler bakımından dezavantaj taşımaktadır. Malzeme yoğunluğunun çok iyi olması gerekli olan hızlı üretim uygulamalarında malzeme yoğunluğunun çok önemli olmasının yanı sıra diğer bütün hızlı prototip uygulamalarında da ölçü tamlığı ve hassasiyet çok büyük önem arz etmektedir. Hızlı prototip teknolojilerinin CNC teknolojilerine karşı dezavantajlı olduğu bu noktalarda iyileştirme çalışmaları devam etmektedir.

Günümüz teknolojilerinden olan Nano teknoloji uygulamaları paralelinde serbest form kati imalatı (SFF) sistemleri CNC tezgahların sahip olduğu avantajları yakalayacak ve onların yerini alacaklardır [Ermurat and Erzincanlı, 2002].

5.2.3. Üretimde Uygulanan İmalat Yöntemleri ve Hızlı Prototip Sistemlerinin İmalat Şekilleri

Genel olarak imalat işlemleri; malzeme çıkarmalı, sıkıstırmalı ve eklemeli olmak üzere üç kategoride incelenebilir. Çıkarmalı işlemde, parça bir malzeme kütlesinden kazıyarak, malzeme boşaltarak elde edilir. Sıkıstırmalı metotta parça, kati, sivi veya yarı kati yarı sivi haldeki malzemenin belirli bir güç etkisiyle belirli bir şekle sokularak sıkıştırılması ile elde edilir. Eklemeli işlemde ise, parça ham maddenin katman katman veya parça parça birbirine eklenmesiyle oluşturulur.

Nesneleri bir forma sokmak için malzemeleri ekleme ve birbirine bağlama sistemiyle katmanlı yapılandırma mantığını kullanan bu sistemler genelde birbirlerine benzemektedir. Bu sistemler üretim metodu bakımından nesnelerin mekanik zorlama suretiyle malzeme çıkarma yöntemiyle form verilebildiği frezeleme ve tornalama gibi klasik metotların tam tersidir.

Geleneksel prototip işlemleri çıkarmalı tip imalat kategorisine girmektedir. Bu tip yöntemler frezeleme, tornalama ve taslamayı içerebilmektedir. Fakat karmaşık geometriye ve küçük iç boşluklara sahip olan parçalar düşünüldüğünde bu gibi işleme metotları yetersiz kalmaktadır. Geleneksel sıkıştırma metotları ise dövme, döküm ve kalıp yöntemleridir.

Hızlı prototip sistemleri ise eklemeli tip işlemlerdir [MTIAC, 2002]. Bu sistemler kullanılan malzeme çeşitlerine göre sınıflandırılabilir:

Genel olarak;

- Sivi malzemeler
- Toz malzemeler
- Kati malzemeler

- Levha-tabaka malzemeler
- Gaz, Atom v.s.

Sivi malzemeler kategorisine genelde ısı yardımıyla katılan fotopolimer malzemeler girmektedir. Isık kaynağı olarak çeşitli özelliklerde lamba ve lazerler kullanılan fotopolimer malzemelerin haricinde elektro-kimyasal (elektrolit) yöntemler de araştırma aşamasındadır. Sivi malzeme olarak su kullanılması hedeflenen sistemler ise suyun dondurularak buz haline dönüştürülmesini amaçlamışlardır.

Toz malzeme uygulamalarına bakıldığında toz haline getirilmiş malzemelerin gerek sinterleme veya eritme suretiyle ve gerekse yapıştırıcı maddeler kullanarak tozların birbirine yapıştırılmasını esas almıştır.

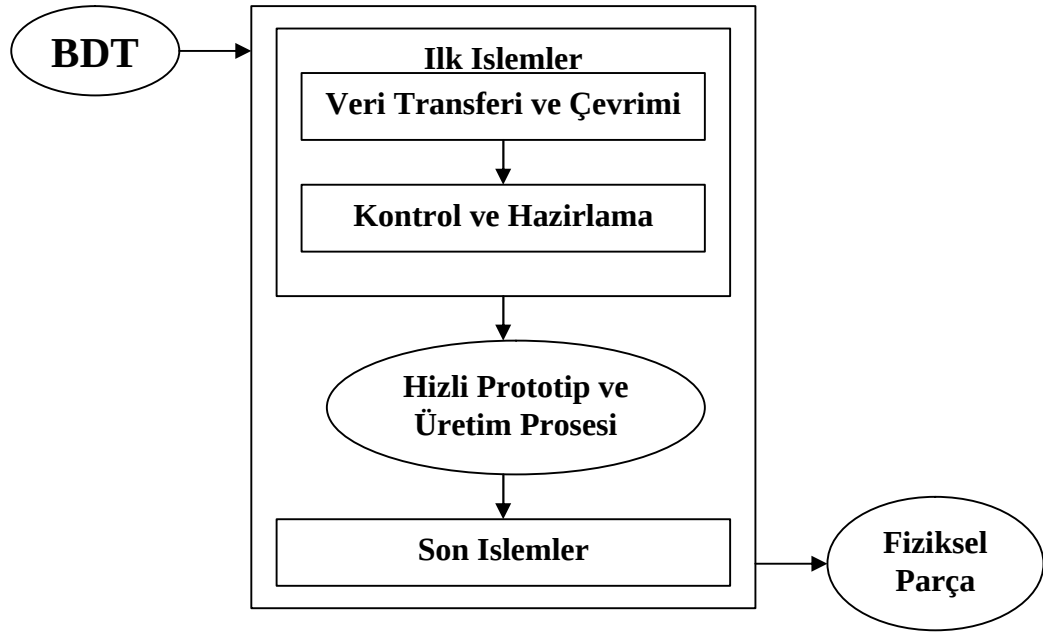
Kati malzeme kullanan sistemler kati malzemenin eritilerek bir nozul veya birden çok nozul yardımıyla malzemelerin çeşitli fışkırtma (ekstrüzyon) ve jet yöntemleri kullanılarak belirli yerlere yığma yapılmasını kapsamaktadır.

Levha-tabaka malzeme kullanan sistemler üretim prosesi bakımından diğerlerinden biraz farklıdır. Levha haline getirilmiş malzemeler lazer, freze, bıçak, su veya elektrot yardımıyla kesilmekte ve belirli yöntemlerle bu elde edilen kesit alanlar birbirine yapıştırılmaktadır. Bu nedenle eklemeli tip proses olan bu tip sistemler çıkarmalı tip imalat prosesini de kapsamaktadır. Bu yönüyle bu sistemler diğer serbest form kati imalatı sistemlerinden biraz farklıdır. Malzeme olarak gaz ve atomları kullanmayı amaçlayan prosesler ise henüz araştırma aşamasındadır.

Genelde lazer kullanarak gaz ve buharı yığma tekniğiyle uygulamaya çalışılan tekniklerden oluşmaktadır. Başarıldığında moleküler nano teknoloji alanında devrim gerçekleştirecek olan atom ve molekül düzeyinde yapılan çalışmalar ise henüz araştırma aşamasındadır.

5.2.4. Hızlı Prototip Teknolojisi Prosesi

Su anda çok çeşitli Hızlı Prototip ve Üretim teknolojisi mevcuttur. Bu teknolojilerin hepsinde katmanlı üretim tekniği kullanılmasına rağmen kullanılan malzeme, donanım ve özellikle proses farklılığı bakımından birbirlerinden çok farklı teknolojilerdir. Buna rağmen genel olarak bakıldığında bütün sistemler hemen hemen aynı proses zincirine sahiptir. Bu proses zinciri Sekil 5.12’de görülmektedir.



Sekil 5.12 Hızlı Prototip ve Üretim Sistemlerinin Proses Zinciri

Genelde proseste toplam 5 adım vardır;

1. Üç boyutlu modelleme
2. Veri transferi ve çevrimi
3. Kontrol ve hazırlama
4. İnşa etme
5. Son işlem uygulama

5.2.4.1. Üç Boyutlu Modelleme

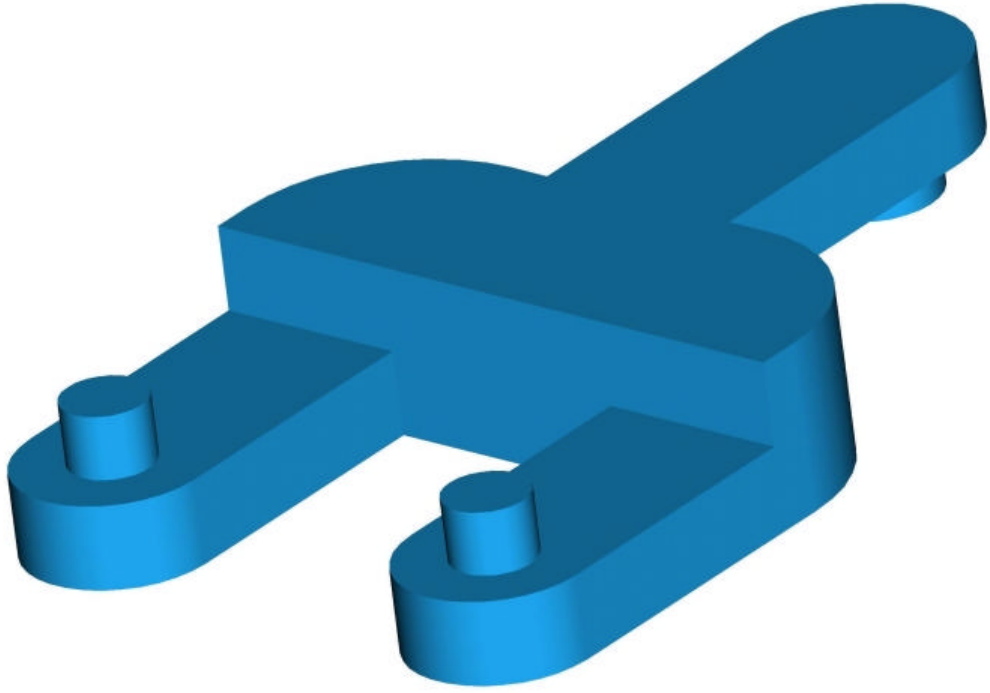
Günümüzde üretici olan her kurulusta artık hemen hemen bir üç boyutlu modelleme sistemi kullanılmaktadır. Üç boyutlu modelleme sistemleri sadece ürünün tasarımını yapıp ekranda ürünün canlı bir görüntüsünü almaktan ziyade daha başka amaçlar için de zorunlu hale gelmiştir. Daha önce bahsedildiği gibi sonlu elemanlar metodu kullanılan çeşitli statik ve dinamik mukavemet analizleri ve diğer analiz sistemleri, çeşitli simülasyon sistemleri, detay teknik resim çıkarma sistemleri, üretim planlama sistemleri ve Bilgisayar Sayısal Kontrollü (BSK) tezgahlar için programlama sistemleri gibi teknolojiler üç boyutlu tasarım bilgisini zorunlu kılmaktadır (*bkz. Bölüm 2.1*).

Hızlı prototip sistemleri de 3 boyutlu modelleme sistemlerini zorunlu kılan teknolojilerden birisidir. Hızlı prototip sistemlerinde üretilecek parçalar herhangi bir 3 boyutlu BDT tabanlı bilgisayar programlarında tasarlanmalıdır. Burada dikkat edilmesi gerekli bir nokta var ki o da diğer bazı uygulamalarda geçerli olabilecek açık hacme sahip bilgisayar modelleri Hızlı Prototip sistemlerinde geçerli değildir.

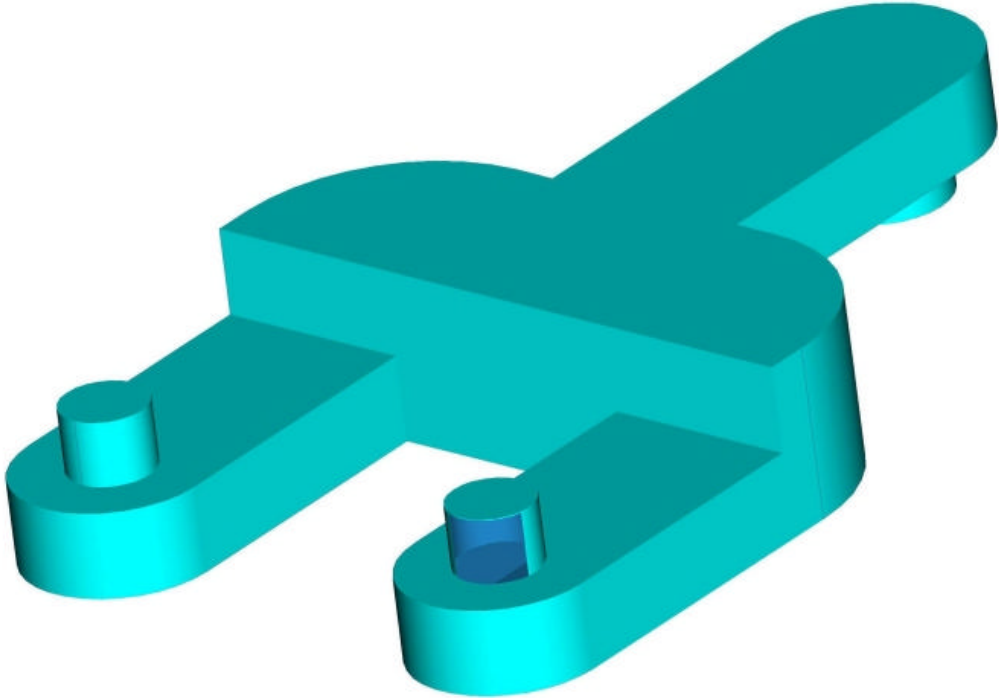
Hızlı prototip sistemlerinde kullanılacak BDT modeli ya Şekil 5.13'teki gibi kati model veya her tarafı kapalı yüzey modelleme sistemleriyle yapılmış modeller olmak zorundadır. Şekil 5.14'teki gibi modelde herhangi bir açıklık bulunursa böyle bir model üzerinden Hızlı Prototip için gerekli verilerin elde edilebilmesi mümkün değildir.

5.2.4.2. Veri Transferi ve Çevrimi

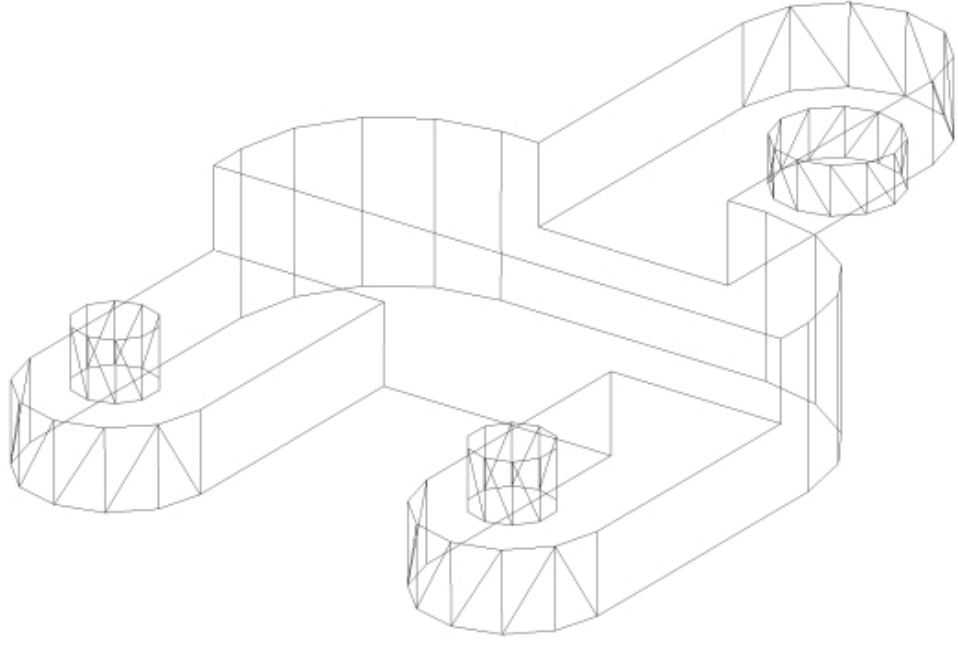
Kati veya yüzey modelleme sistemleriyle tasarlanmış olan modeller hızlı prototip sistemleri için bir endüstri standardi (de facto) olan STereoLithography (STL) dosya formatına çevrilir. STereoLithography (STL) dosya formatı, kati veya her tarafı tamamen kapalı bir şekilde tasarlanmış yüzey modelin bütün dış kısımların yüzeyleri üzerinde çok küçük üçgen yüzeylerin örülmesi ile elde edilir. Şekil 5.13'te kati model örneği gösterilen parçanın STereoLithography (STL) dosya formatına dönüştürülmüş tel kafes görünümü Şekil 5.15'de, yüzey model görüntüsü ise Şekil 5.16'da gösterilmiştir.



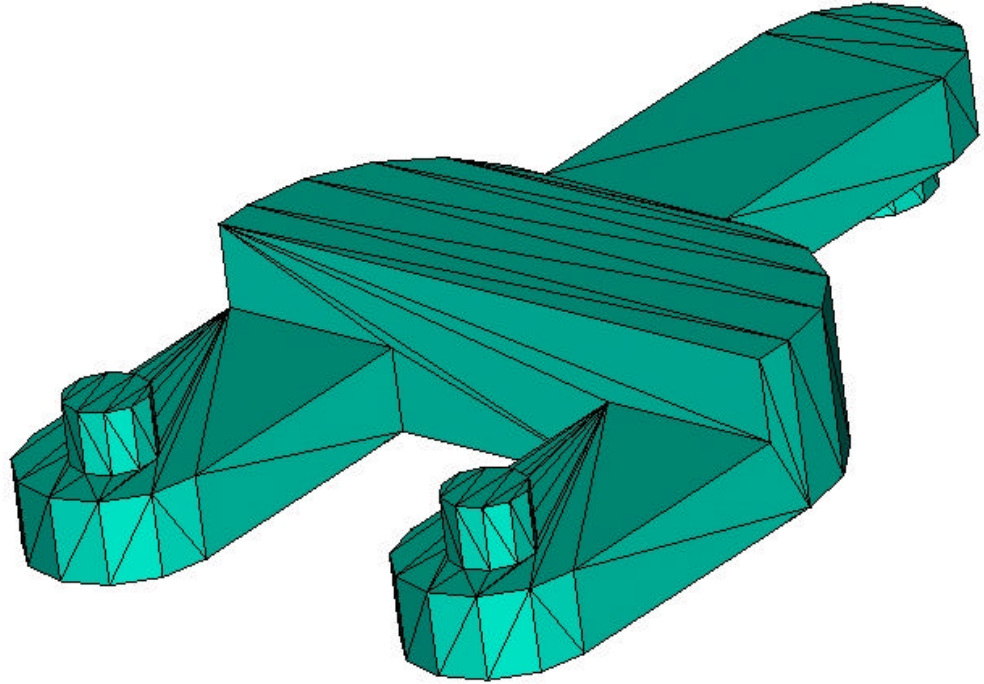
Sekil 5.13 Kati model örneği



Sekil 5.14 Tam kapalı olmayan bir yüzey modeli



Sekil 5.15 Stereolithography (STL) Dosya Formatına Dönüştürülmüş Bir Modelin
Tel Kafes Görüntüsü



Sekil 5.16 Stereolithography (STL) Dosya Formatına Dönüştürülmüş Bir Modelin
Yüzey Model Görüntüsü

Hemen hemen su anki mevcut bütün 3 boyutlu modelleme sistemleri oluşturulan modelleri kendi ara yüzlerinde STereoLithography (STL) dosya formatına çevirebilmektedir.

Herhangi bir BDT programında tasarlanmış olan kati veya her tarafi tamamen kapali yüzey model üzerinde barındirdigi karmasik yapili bir takım unsurlarin etkisiyle STereoLithography (STL) dosya formatina çevrilen modelde bir takım kopukluklar olusabilmektedir.

Diger yandan kati modelden oluşturulan STL dosyanin hassasiyeti üçgen yüzeylerinin hassasiyetinin artırilmasiyla mümkün olabilir. Ancak bu durumda üçgen yüzeylerin sayisinin çok fazla olmasindan dolayi STL dosyanin boyutu asiri oranda büyüyecek bu da islem zamanini ve rahat çalışma olanagini büyük oranda etkileyecektir. STL dosya formatinin da yapisindan kaynaklanan bazı dezavantajlardan dolayi hizli prototip üreticileri ve arastirmacilar daha baska formatlar üzerinde durmaktadirlar. Bu ve bunun gibi STL dosyanin yapisindan kaynaklanan çeşitli avantaj ve dezavantajlari Hizli Prototip ile ilgili dosya formatlari bölümünde incelenecektir.

5.2.4.3. Kontrol ve Hazirlama

Hizli Prototip ve Üretim sistemleri için data kontrol, hazirlama ve proses hazirlama adiminda birden çok islem yapılmaktadır. Bunlar bütün Hizli Prototip ve Üretim sistemlerinde de uygulanmasi gereken işlemlerdir.

a) Data onarma

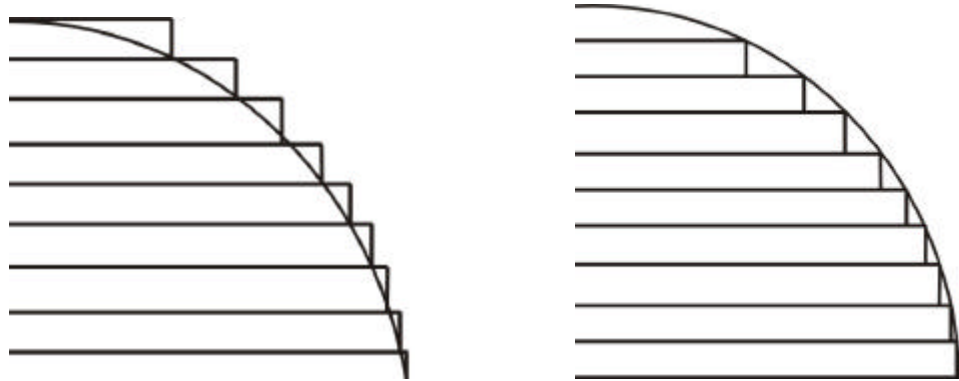
Üç boyutlu modelleme programlarında modellenerek STL dosya formatına çevrilen model üzerinde parçanın karmasikligina da bagli olarak bir takım hatalar meydana gelebilmektedir. Bu hatalar data onarma olarak geçen yardımcı programlar yardimiyla düzeltilebilmektedir. Sadece STL dosyayi onarmak için yapılmis olan bir çok programcigin yani sıra Hizli Prototip ve Üretim sistemleri için data hazirlayan özel programlar da bu islemi birinci basamak olarak gerçeklestirebilmektedirler (*bkz Bölüm 6.1*).

b) Olusturulacak parçanın yönlendirilmesi

Hızlı Prototip ve Üretim sistemlerinde üretilecek olan parçanın konumlandırılması ve yönlendirilmesi çok önemlidir. Zira aynı modelin farklı açılarda ve farklı konumlarda yönlendirmesi bir çok parametreyi etkilemektedir. Bunlar incelenecek olursa;

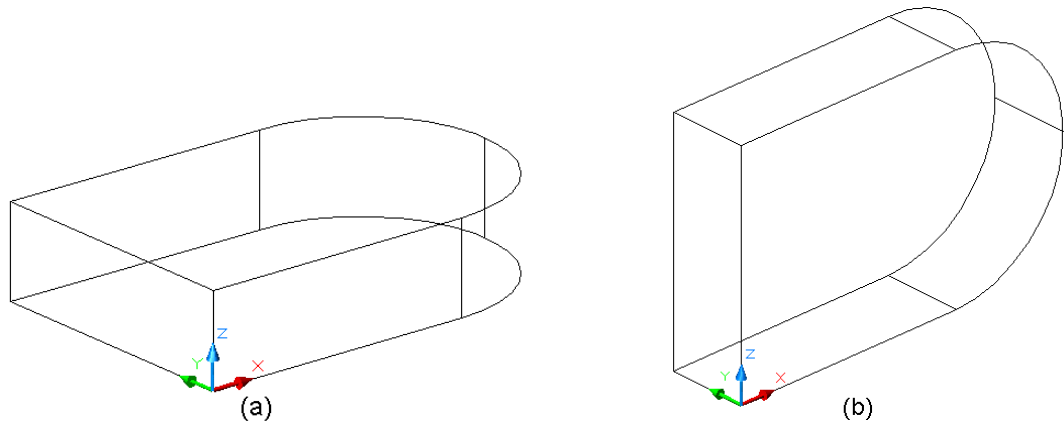
1. Ölçüsel doğruluk: Hızlı Prototip ve Üretim Sistemlerinden en önemli problemlerinden birisi malzeme eklemeli bir üretim şekli olduğundan dolayı parçanın ölçüsel doğruluğudur [Cheng W. *et al.*, 1995]. Özellikle bu problem eğimli bölgelerde çok rahatsız edici boyuttadır. İşlem kademe kademe gerçekleştiğinden dolayı ne kadar da kademe yüksekliği minimum düzeyde tutulsa da özellikle eğimli bölgelerde merdiven yapısı kaçınılmazdır. Bir basamak yüksekliği bir katman kalınlığı kadardır. Eğimli bir yapıya sahip cismin katmanlı üretim sistemiyle üretilmesi sonucu maruz kalınan merdiven yapısı hatası Şekil 5.17’de görülmektedir.

Bunun sonucu olarak da eğri yüzeyin gerçek geometrisini oluşturan yörüngenin tam olarak oluşturulamayıp pozitif veya negatif kısımların oluşması kaçınılmaz olmaktadır. Bu da parçanın ölçüsel doğruluğunu olumsuz şekilde etkileyen çok önemli bir unsurdur. Bu hatayı elimine etmek için parça yönünü parçada bulunan yüzeylerin geometrik özelliklerine göre tayin etmek gerekmektedir.



Şekil 5.17 Merdiven Yapısı Etkisi

Örnek verilecek olursa, Sekil 5.18-a'da görülen model bu şekilde konumlandırilabileceği gibi Sekil 5.18-b'de görüldüğü gibi de konumlandırılabilir. 'Z' yönü parçanın oluşturma yönünü göstermektedir. Bu konumlandırmalara göre parçanın her iki konumlandırmadaki katman yapısının oluşumu Sekil 5.19'da görülmektedir.



Sekil 5.18 Bir Modelin İki Farklı Şekilde Konumlandırılması

	(a)	(b)
Ön Görünüş		
Üst Görünüş		

Sekil 5.19 İki Farklı Şekilde Konumlandırılan Modelin Katman Yapısının Oluşumu

Burada da görüldüğü gibi 'a' numaralı konumlandırma 'b' numaralı konumlandırmaya göre daha uygundur. Çünkü 'a' numaralı konumlandırmada merdiven yapısı hatasının oluşmasına sebep olacak silindirik şeklindeki eğri yüzey oluşturma platformuna dikey olarak konumlandırılarak tarama sisteminin tam

olarak her kademedeki dis konturlarının taranmasına imkan tanımaktadır. ‘b’ numaralı konumlandırmada ise eğri yüzey, oluşturulma platformuna göre yatay olarak konumlandırıldığı için her kademede oluşacak kesit alanlar birbirlerinden farklı ölçülerde olacak ve dolayısıyla merdiven yapısı hatası oluşmuş olacaktır.

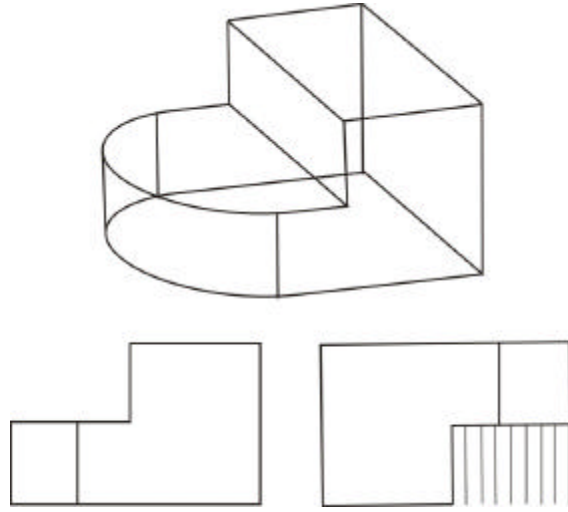
2. Yüzey Kalitesi: Hızlı Prototip ve Üretim sistemlerinin diğer önemli bir problemi ise yüzey kalitesi problemidir. Yine bu problem parçaların üretim şeklinin katmanlı tip metotla üretilmesi sonucu oluşmaktadır. Özellikle ölçüsel doğruluk problemindeki gibi eğri yüzeylerde görülen merdiven yapısı oluşumu bu problemin de en önemli nedenlerinden biridir [Cheng W. *et al.*, 1995]. Yine bu hatayı elimine etmek için ölçüsel doğrulukta izlenen strateji uygulanabilir.

3. Üretim Zamanı: Her ne kadar Hızlı Prototip ve Üretim teknolojileri geleneksel imalat yöntemlerinden çok daha hızlı bir şekilde bir modelin üretilmesine imkan tanısa bile global rekabet şartları üreticiyi bu teknolojileri daha hızlı kullanmaya sevk ederek maksimum verim alınmasını sağlamaktadır. Bu çerçevede, kullanılacak sistem de göz önünde bulundurularak, bir modelin daha hızlı üretilmesi iki şekilde mümkün olabilir.

Birinci olarak, modelin oluşturma hassasiyeti düşük tutularak model hızlıca üretilir. Örnek olarak, katman kalınlığı normalden daha yüksek tutularak parçanın üretilmesinde daha az sayıda katman kullanılır. Bu da dolayısıyla parçanın daha hızlı üretilmesini sağlayacaktır. Fakat bir üretici için hızlı üretimin yanı sıra kaliteli üretim de önemli ise bu uygulama pek yer tutan bir uygulama olmayacaktır.

İkinci çözüm olarak, modelin geometrik şekli dikkate alınarak parça oluşturma yönünün tayin edilmesidir. Bunun için ana kriter parça oluşturma yönünü gösteren parça yüksekliğinin en minimum düzeyde tutulması ve dolaylı olarak büyük kesit alanına sahip olan kısmın parça oluşturma yönüne dik olan yatay düzlemde yer almasıdır [West A.P. *et al.*, 2001]. Böylece aynı hassasiyet değerlerine sahip olsa bile bu şekilde üretilen parçada katman sayısı minimum düzeyde tutulacaktır. Bu strateji çerçevesinde oluşturulan bir parçanın üretim süresi bu noktalara ters bir düşünceyle üretilen parçanın üretim süresinden daha düşük olacaktır.

4. Destek Yapisi: Destek yapisi olusturulmasinin zorunlu oldugu sistemler için parçanın yönlendirilmesi destek yapisi miktarini belirleyici bir unsurdur [Cheng W. *et al.*, 1995, West A.P. *et al.*, 2001]. Sekil 5.20’de gösterilen örnek modele bakilacak olursa, perspektif görünüsü verilen modelin iki farkli sekildeki konumlandırilmasi ile destek yapisi kullanilmasi zorunlu olan ve herhangi bir destek yapisi kullanmaya gerek olmayan iki farkli durum görülebilir. Bundan dolayi parça yönlendirmesi esnasinda göz önünde tutulmasi gereken diger husus destek yapisi miktaridir.



Sekil 5.20 Farkli Yönlendirme Stratejisi Ile Destek Yapisinin Elimine Edilmesi

5. Modelin Maliyeti: Parça yönünün tayini esnasinda üzerinde durulan üretim zamani, destek yapisi miktarı gibi parametreler modelin maliyetini de etkileyen önemli unsurlardandır. Bu yüzden parçanın yönlendirilmesi esnasinda modelin maliyetinin de göz önünde bulundurulmasi gerekmektedir.

Böylece Hızlı Prototip ve Üretim sistemlerinde üretilecek parçanın yönlendirilmesi bir çok parametreyi etkilemektedir. Genelde ölçüsel tamlik, doğruluk en önemli parametredir. Buna karsin olusturma zamani daha az öneme sahiptir. Fakat doğruluk birinci derecede önemli bir parametre olarak görüldüğünde modelin maliyeti, üretim zamani ve destek yapisi gibi parametreleri dikkate almak söz konusu olamayacaktır. Diger yandan ayni sekilde modelin maliyeti dikkate alindiginda üretim zamani veya destek yapisi miktarı da dolayli yönden dikkate alınmis olacaktır. Fakat modelin ölçüsel doğruluğu ve yüzey kalitesinin önemi pek

fazla dikkate alinamayacaktır. Bu parametrelerin haricinde Hizli Prototip ve Üretim sistemlerinin en büyük özelliklerinden biri olan bir operasyon esnasında birden çok parça üretimi olanagi çerçevesinde bir platformda aynı anda üretilecek parça sayısı da parça konumlandırma parametrelerinin etkilediği bir kriterdir.

Bir üretici için seçim, parçanın yönlendirilmesi yapılırken, bütün parametrelerin tek tek ele alınıp eşzamanlı olarak değerlendirilmesi ile optimum verimin elde edilebileceği bir algoritma takip etmektir [Kulkarni P. *et al.*, 2000]. Bu algoritmaya karar mekanizmalarında etki ederek yön verecek olan ise yönlendirme parametreleri öncelik sınıflandırması ve sıralaması olmalıdır.

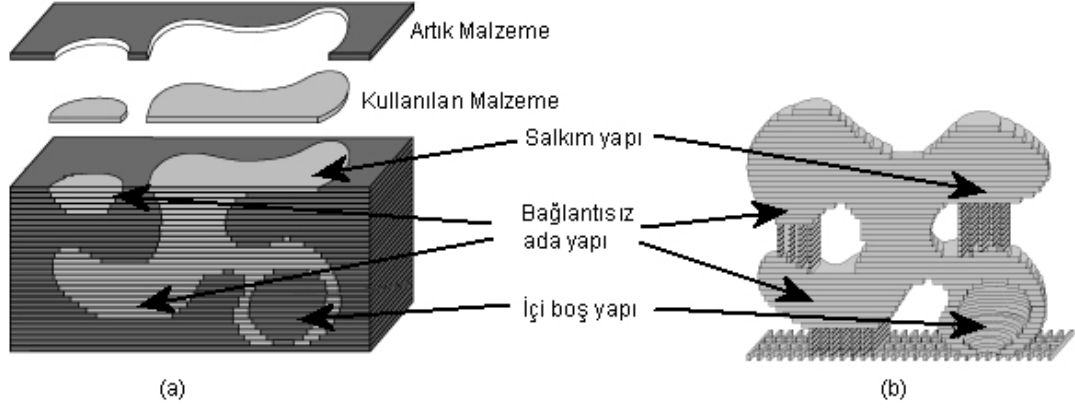
c) Destek Yapısı

Hizli Prototip ve Üretim sistemlerinde üretilmekte olan bir modelin herhangi bir katmanının alt tarafı boş olan kısımlarının dengede tutulabilmesi ve herhangi bir çöküntü nedeniyle bu kısımlarda bozukluk olmaması için destek görevi görecek bir yapının bulunması gerekmektedir.

Diğer yandan Hizli Prototip ve Üretim üretilen parçalar malzeme parçacıklarının kademe kademe birbirine eklenmesi metoduyla üretildiği için herhangi bir fişstür aparatı kullanılamayacağından dolayı destek yapıları modelin sabitlenmesi görevini de üstlenmektedir. Sonuçta her modelin gereksinimine göre hazırlanan destek yapısı her modelin kendi özel fişstürü olmak durumundadır. Ek olarak, destek yapısı zorunlu olan sistemlerde belli bir platform üzerinde oluşturulacak olan parçanın platforma temas etmemesi için ilk olarak destek yapısı örölür. Bu şekilde parçanın oluşturulmasından sonra parçanın platformdan kolay bir şekilde çıkarılması destek yapılarının kırılmaları ile kolayca sağlanmış olur.

Destek yapısı olarak adlandırılan bu yapının bazı sistemlerde ek bir işlem yapılarak oluşturulması gerekirken bazı sistemlerde ise ek bir yapı oluşturulması gerekmemektedir [Weiss, 1997]. Destek yapısının oluşturulmasının zorunlu olduğu sistemler özellikle kullanılan malzemenin sıvı halde olduğu stereolitografi sistemlerinde ve kati malzemelerin eritilerek bir nozuldan fışkırtılması suretiyle modelin üretildiği sistemlerdir. Toz malzeme ve levha halindeki malzeme kullanılan

sistemlerde ise bir katmandaki kullanılmayan artık malzemeler bir üstteki katman için dogal destek görevi gördüklerinden dolayı bu tür sistemlerde ek bir destek yapisinin olusturulmasina gerek yoktur. Sekil 5.21-a'da alt katmanlari olusturulmasi esnasinda kullanilmayan artik malzemenin dogal destek yapisi olarak üstlendiği görev gösterilmiştir. Sekil 5.21-b'de ise ek destek yapisinin olusturulmasi gereken sistemlerdeki destek yapisinin sekli gösterilmektedir.



Sekil 5.21 Destek Yapisi Sekilleri [Weiss, 1997]

Parçanın üretimi tamamlandıktan sonra olusturulan destek yapisi asil parçadan ayrilir. Destek yapılarının ana parçadan çıkarılması yine her sistemde farklılık arz etmektedir. Bazılarında çok kolay bir şekilde elle çıkarılabilse bile bazı sistemlerde ise bir takım el aletlerinin kullanılması zorunlu olabilmektedir. Bundan dolayı destek yapisi pek istenmeyen bir durumdur. Hem hazırlık zamanı da dahil proses zamanını uzatır hem de destek yapisinin çıkarıldığı yüzeylerde izler kalır. Bu da o yüzeylerdeki yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler.

Destek Yapisi Gerekliligini Belirleyen Parametreler

Genel olarak bakılacak olursa, üst kısımlardaki katmanların kesit alan boyutları alt kısımlarda kalan katmanların kesit alanlarından büyük olduğu zaman destek yapisi gerekir. Destek yapisinin gerekliligi ise; aşağı doğru sarkan salkım yapılı kısımlar için salkım büyüklüğü ve sadece yana doğru çıkıntı oluşturan salkım yapıları için çıkıntı sapma miktarı baz alınır [Materialise, 2002]. Sekil 5.22'de gösterilen şekilde aşağı doğru sarkmış salkım yapısının büyüklüğüne göre destek

yapisinin gerekliligi tespit edilir. Sekil 5.23’de görülen sekilde ise çikinti sapma miktarina göre destek yapisinin gerekliligi tespit edilir.



Sekil 5.22 Sarkma Büyüklüğüne Göre Destek Yapisi İhtiyacının Belirlenmesinin Gösterimi [Materialise, 2002]



Sekil 5.23 Sapma Çikintisi Miktarına Göre Destek Yapisi İhtiyacının Belirlenmesinin Gösterimi [Materialise, 2002]

Diger yandan kemer ve disbükey seklindeki yapılar kabul edilebilir ölçülerde olmak kaydiyla kendi kendilerini destekleyen yapılar oldugundan dolayi destek yapisi gerektirmezler.

Destek Yapisi Çesitleri

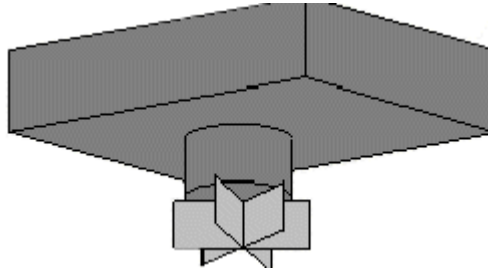
Bu çerçevede özellikle stereolitografi sisteminde çok büyük bir zorunluluk olan ve genelde bu sistemlerdeki kullanımı ile çeşitlendirilmiş olan destek yapisi tipleri genel olarak su sekilde siniflandirilabilir;

- Nokta tipi (sütun) destek yapisi
- Çizgi tipi destek yapisi
- Üçgensel tip destek yapisi (gusset)
- Blok tipi destek yapisi
- Kontur tipi destek yapisi
- Tekil ag destek yapisi (single webs)

- Ag destek yapisi (webs)

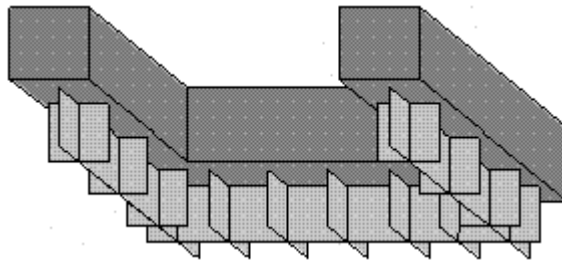
Nokta tipi (sütun) destek yapisi: Nokta tipi destek yapisi tamamen baglantisiz olan adaciklar için ve diger küçük yapili desteklenmemis alanlar için kullanilir. Desteklenecek alanin geometrik yapisina ve desteklenme ihtiyacina göre iki yapinin veya üç yapinin birbiriyle çapraz kesiserek bir yapı olusturulmasiyla elde edilir. Sütunun en üst noktasinda destekleyecegi unsurla birlesir.

Yapinin en üst seviyesinde iki yapinin birlestigi kisimda çentikli bir yapı olur. Bu destek yapisinin çıkarilmasi için kolaylik saglamaktadır. Yapı asagi doğru gittikçe genisler ve kalinlasir. Bunun nedeni ise kendi kendini tasiyacak ve tasidigi unsura yeterli destegi verecek kadar saglam ve güçlü olması içindir [Solid Concepts, 2001]. Sekil 5.24’de nokta tipi destek yapisi örneği gösterilmektedir.



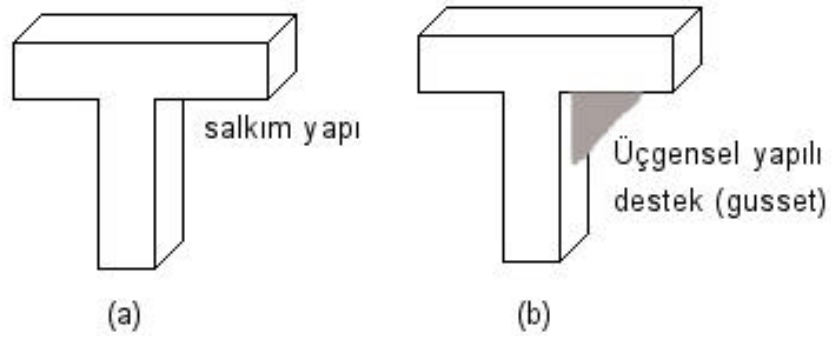
Sekil 5.24 Üç Yapinin Çapraz Kesisimi Ile Elde Edilen Nokta Tipi Destek Yapisi [Materialise, 2002]

Çizgi tipi destek yapisi: Çizgi tipi destek yapisi ince yapili ve asagi doğru yönelimli olan unsurlarin desteklenmesi için kullanilir. Bu destek tipi tek bir ince yapıdan ve belirli aralıklarda bu yapıyı çapraz kesen yapılardan oluşur. Sekil 5.25’da çizgi tipi destek yapısına uygun bir örnek gösterilmektedir.



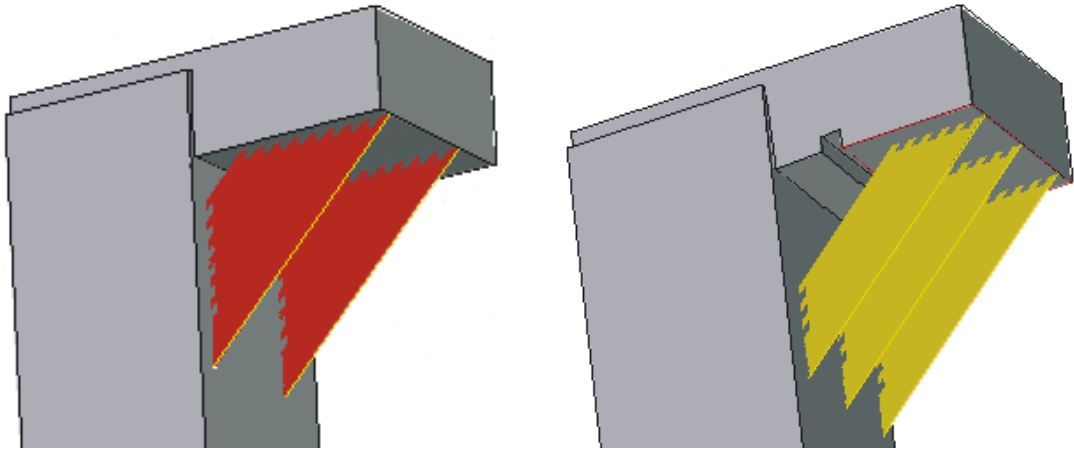
Sekil 5.25 Çizgi Tipi Destek Yapisi [Materialise, 2002]

Üçgensel tip destek yapisi (gusset): Modelde bulunan salkim kisimlarin desteklenmesinde genelde üçgensel tip destek yapisi kullanilir. Üçgensel tip destek yapılar, salkim yapinin yakinininda bulunan dikey duvara eklenerek salkim için bir destek olusturulmus olur. Sekil 5.26-a’da salkim yapili bir model görülmektedir. Bu yapıya uygun olan üçgensel tip destek yapisi ise Sekil 5.26-b’de gösterilmektedir.



Sekil 5.26 Salkim Yapili Model ve Üçgensel Tip Destek Yapisi

Sekil 5.27’de ise üçgensel tip destek yapılarının çeşitli kullanım şekilleri gösterilmektedir.



Sekil 5.27 Üçgensel Tip Destek Yapılarının Farklı Kullanım Şekilleri [Materialise, 2002]

Modellerin salkim yapili kisimlari için proses esnasindaki minimum kaynak kullanimi gibi avantajlarından dolayı üçgensel tip destek yapılarının kullanilmasi optimum destek yapisi avantajini sunmaktadır. Bununla birlikte islem sonunda

destek yapisinin kolaylikla modelden ıkarilabilmesi bu tip destek yapisinin diger bir avantajidir.

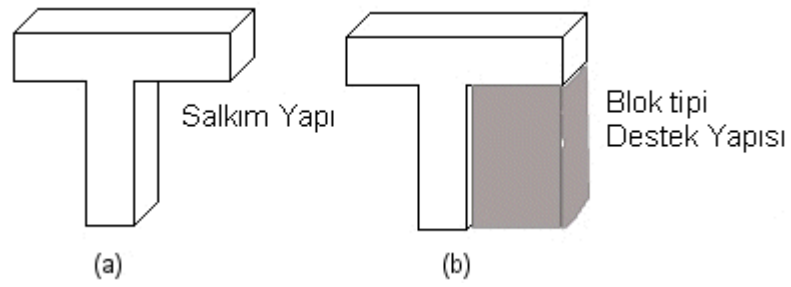
Modelde bulunan bir salkim kisim için destek yapisinin kullanilmasinin gerekliligi salkim kisim olusturan katmanlar ile alt kisimdaki katmanlar arasindaki sapma farkina baglidir. Daha önce belirtildiği gibi herhangi bir destek kullanilmadan bozulmadan dengede durabilecek ve herhangi bir bükülme veya kivrilma gibi davranislarin gzlenmeyecegi kadar küçük ölçülerdeki bir sapma için destek yapisinin kullanilmasina gerek yoktur. (bkz. Bölüm 5.2.4.3-c)

Kullanilacak olan üçgensel tip destek yapıları arasindaki mesafe kaç adet üçgensel yapinin kullanilacagini ve üçgen yapinin dik kenarının uzunluğu ne büyüklükte bir üçgen yapinin kullanilacagini belirler. Bu parametreler salkim yapinin geometrik özelliklerine göre belirlenir.

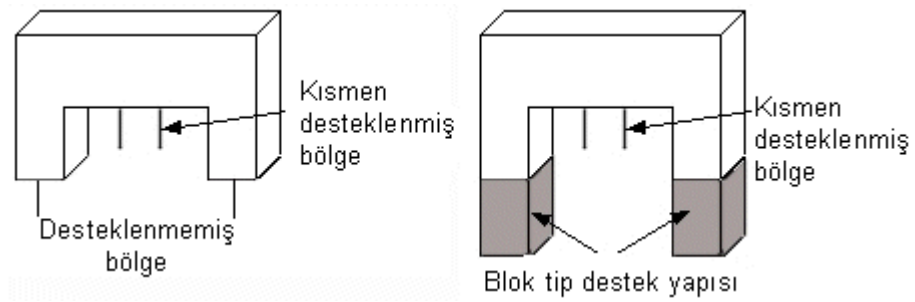
Her ne kadar üçgensel tip destek yapıları salkim kisimler için optimum çözüm olsa da salkim yapinin yakınındaki dikey duvar kismin geometrik yönden uygun bir yapıda olması gerekmektedir. Böyle bir sinirlama halinde salkim yapılar için özellikle basta blok tipi destek yapisi olmak üzere daha baska destek yapı tipleri kullanılabilir.

Blok tipi destek yapisi: Üçgensel yapinin kullanilamadigi salkim yapılarının desteklenmesinde ve alt katmanlarda herhangi bir destegi olmayan büyük alanların desteklenmesinde kullanilir. Gerektiginde salkim yapılar için kullanilabildiği gibi diger yandan da ağ tipi destek yapisi ile de ortak kullanım alanlarına sahiptir.

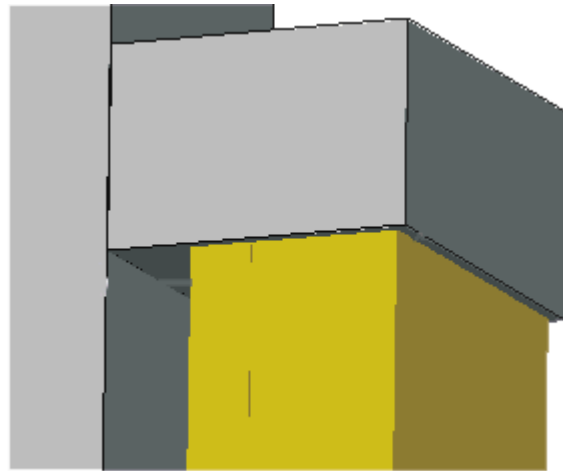
Blok tipi destek yapisi, salkim yapisinin veya desteksiz büyük bir alanın asagi dogru yöndeki izdsm çerçevesinde alttaki platforma veya daha önce olusturulmus katmanlar üzerine desteklenmesiyle elde edilir. Sekil 5.28-a’da salkimli bir yapı ve Sekil 5.28-b’de bu yapinin blok tipi destek yapisi ile desteklenmesi gösterilmektedir. Ayni sekilde Sekil 5.29-a’da desteklenmemis bir alan ve Sekil 5.29-b’de ise bu yapinin blok tipi destek yapisi ile desteklenmesi gösterilmektedir. Blok tipi destek yapisi için diger bir rnek Sekil 5.30’de görülebilir.



Sekil 5.28 Salkımlı Bir Yapının Blok Tipi Destek Yapisiyle Desteklenmesi



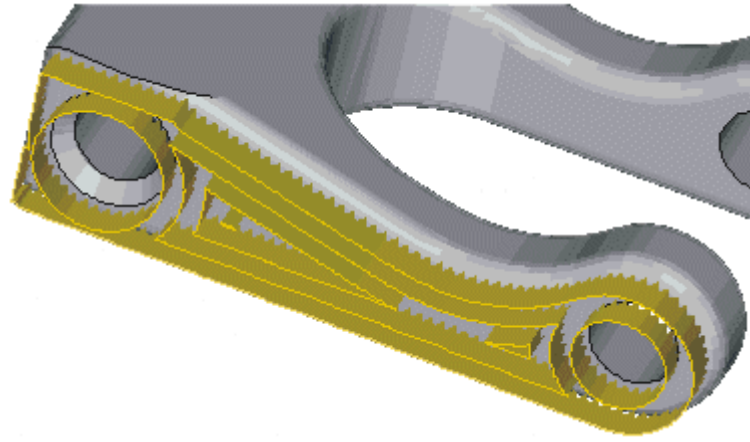
Sekil 5.29 Desteklenmemiş Bir Bölgenin Blok Tipi Destek Yapisiyle Desteklenmesi



Sekil 5.30 Blok Tip Destek Yapisi Örneği

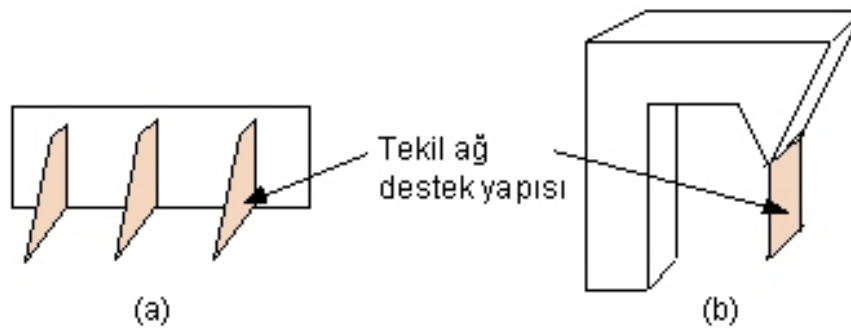
Kontur tipi destek yapısı: Kontur tipi destek yapısı geometrik olarak karmaşık büyük alanlı desteksiz yüzeylerin desteklenmesi için kullanılır. Destek yapısının şekli desteklenecek yüzeyin dış konturunun geometrik yapısına uygun olarak oluşturulur. Desteklenecek alanın dış konturundan belirli bir mesafeden itibaren başlayan destek yapısı verilen sapma miktarı ölçüsünde iç kısma doğru

Çesitli kademelerde kontur yapilar olusturulur. Sekil 5.31’de kontur tip destek yapisina uygun bir örnek gösterilmistir.



Sekil 5.31 Kontur Tip Destek Yapisi rneği [Materialise, 2002]

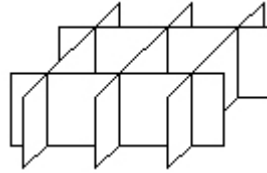
Tekil ağ tipi destek yapisi (single webs): Tekil ağ tipi destek yapisi genelde ince cidarli duvarlari desteklemek için kullanilir. Bunun yaninda destek bölgesinde en alt seviyede iki yüzey birleserek olusan keskin kenarli unsurlar da tekil ağ destek yapisi ile desteklenir. Sekil 5.32-a’da ince cidara sahip bir unsurun, Sekil 5.32-b’de ise en alt seviyede keskin bir yapiya sahip bir unsurun tekil ağ tipi destek yapisi ile desteklenmesi gösterilmektedir.



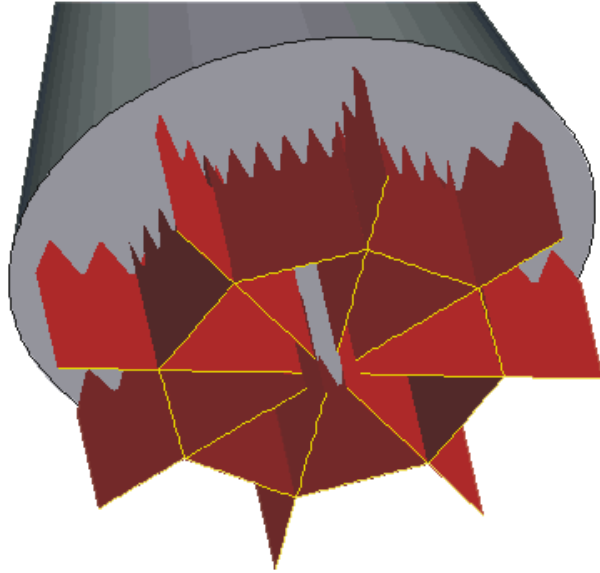
Sekil 5.32 Ince Cidarli ve Keskin Köseli Unsurlarin Tekil Ağ Tipi Destek Yapisi Ile Desteklenmesi

Ağ tipi destek yapisi (webs): Ağ tipi destek yapisi desteksiz olan büyük alanlari desteklenmesi için birbirleriyle kesiken ince duvarlardan olusmaktadır. Genellikle büyük desteksiz alanlari desteklenmesinde kullanılan ağ destek yapisinin kullanimi çok yaygindir. Ağ tipi destek yapıları dikey durumdaki parça yüzeyleri ile

temas ettirilmezler. Böylece üst kısımdaki katmanlar için destek görevi gören dikey durumdaki parça yüzeylerinin destek etkisi kaybolmayacaktır. Sekil 5.33’de basit bir görünüşü verilen ag yapılı desteklerin sıklığı duvarlar arası verilen boşluk değerine göre belirlenir. Ag tipi destek yapısı için bir başka örnek ise Sekil 5.34’de görülmektedir.



Sekil 5.33 Ag Tipi Destek Yapısı Görünüşü



Sekil 5.34 Ag Tipi Destek Yapısı Örneği [Materialise, 2002]

Destek yapısı belirleme parametreleri: Destek yapısı gerektiren model için gerekli destek yapısının oluşturulması esnasında izlenecek strateji şu şekilde olmalıdır;

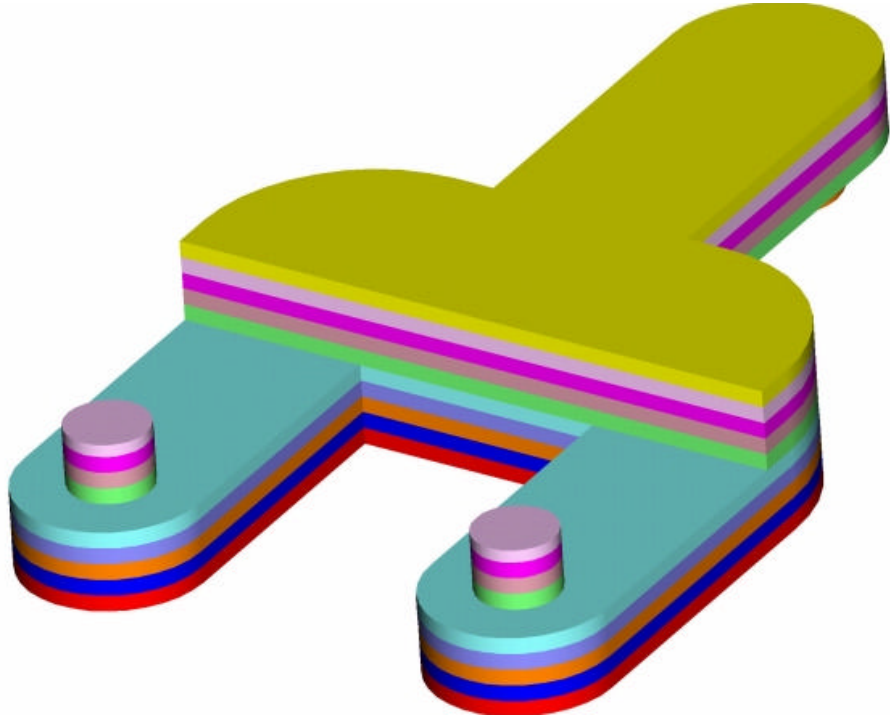
- Öncelikle belirtilen kullanım kolaylığı ve avantajları yönünden ilk tercih edilmesi gereken üçgensel yapılı destek yapısı olmalıdır.

- Üçgen yapili destek yapisinin yararli olmadigi durumlarda unsur izdüsüm destek yapisi tercih edilir. Profiller arasi mesafenin yeterli olmadigi durumlarda ise unsur izdüsüm destek yapisindan daha ziyade tekil ag destek yapisi kullanilir.
- Tamamiyla desteksiz alanlar için ag destek yapisi kullanilir.
- Diger destek yapilarinin kullanilamadigi durumlarda sütun yapili destek yapilari kullanilabilir. Özellikle küçük alanlari saglamlastirilmasinda sütun destek yapisinin kullanilmasi digerlerine nazaran iyi bir çözümdür.
- Stereolitografi sistemlerinde destek yapisi için kullanılan malzeme ile asil parça için kullanılan malzeme aynidir. Fakat islem bitiminde destek yapilarinin gerçek parçadan koparilarak rahatlıkla ayrilabilmesi için hangi tip kullanilirsan kullanilsin destek yapilarinin çok ince yapida olmalari gerekmektedir. Bunun ölçüsü ise destek yapisinin parça olusturma islemi esnasinda destek görevini tam olarak görebilmesidir. Destek yapisinin olusturulmasinin zorunlu oldugu diger sistemlerde ise destek yapisi genelde gerçek parça malzemesinden daha düşük erime sicakliklarina ve daha az dayanima sahip malzemelerden olusturulur. Bunun yani sira destek yapilarinin ince cidarli olmasi stereolitografi sisteminde oldugu gibi diger önemli bir unsurdur.

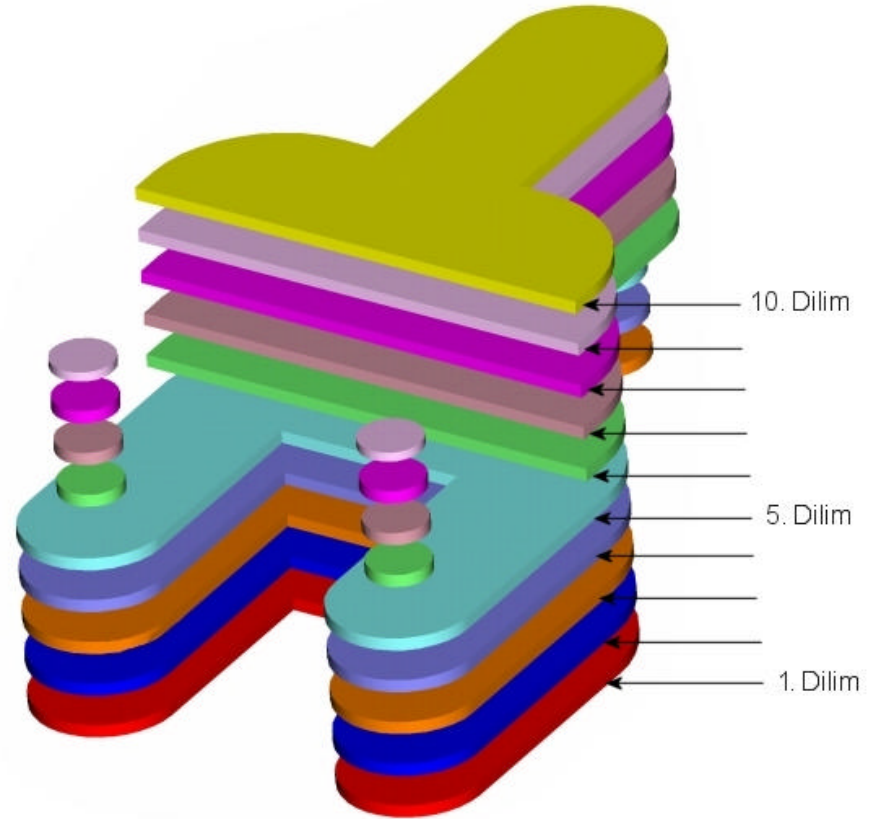
Sonuç olarak, destek yapisi seçiminde izlenecek strateji, siralanan bu öncelikler çerçevesinde eldeki modele göre optimum verimin elde edilebilecegi sekilde destek yapilarinin olusturulmasinin hedeflenmesi yönünde olmalidir.

d) Dilimleme

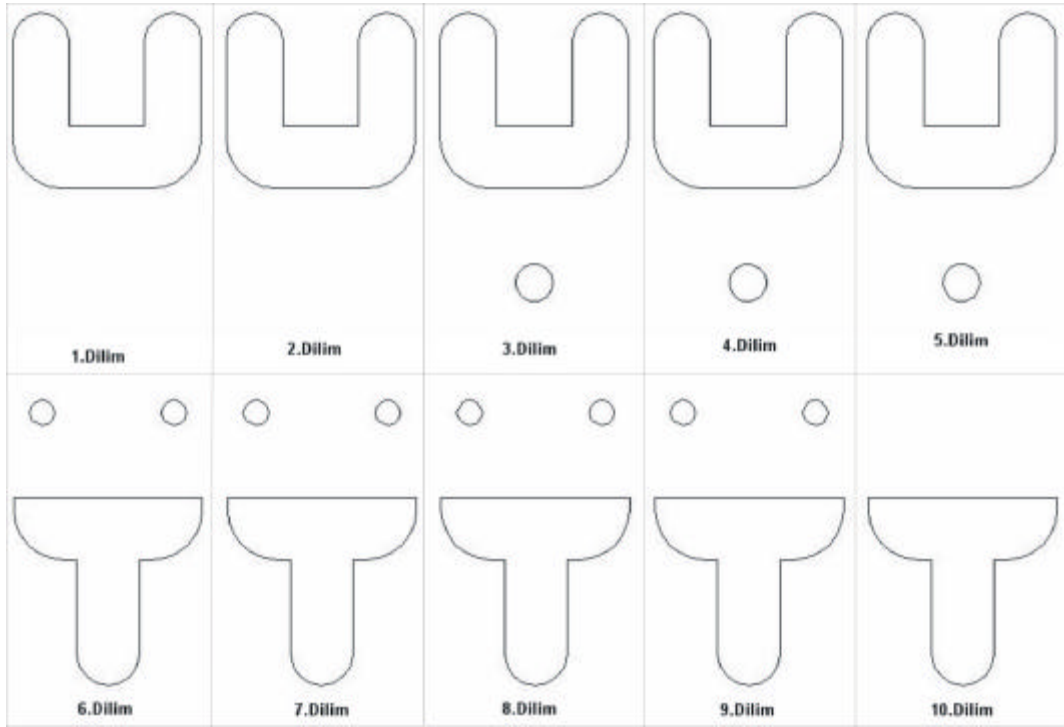
BDT programlarinda tasarlanarak STL dosya formatina çevrilen model hizli prototip sistemlerinin kendi özel bilgisayar programlarina veya çeşitli hizli prototip sistemlerine veri hazirlayabilen özel programlara aktarilir. STL dosya formatina çevrilirken olusabilecek hatalar kontrol edildikten sonra makinenin özelligine bagimli kalarak ve istenilen hassasiyette model dilimlere bölünür. Her dilim, modelin ilgili kesit alanini temsil etmektedir. Dolayisiyla bir dilim kalinligi iki kesit alan arasi mesafe kadardir. Sekil 5.35’da dilimlere bölünmüş STL dosyanin her diliminin farkli renklerle gösterimi, Sekil 5.36’de ise dilimlerin birbirlerinden ayrilmis bir görüntüsü gösterilmektedir. Her bir dilimin kesit alanini ise Sekil 5.37’te gösterilmektedir.



Sekil 5.35 Dilimlere Bölünmüş STL Dosyanın Görünüşü



Sekil 5.36 Dilimlere Bölünmüş STL Dosyanın Dilimlerinin Ayrılmış Bir Sekilde Gösterilmesi



Sekil 5.37 Bütün Dilimlerin Kesit Alan Görünüşleri

Destek yapısı kullanılması zorunlu olan sistemlerde dilimleme işleminin destek yapısının oluşturulmasından sonra yapılması gerekmektedir. Zira, destek yapıları da asıl modelin oluşturulduğu gibi oluşturulmaktadır. Yani destek yapıları da katman katman oluşturulmaktadır. Oluşturulan bir katmanda bir kısımda asıl modeli oluşturacak yerlerin olmasının yani sıra modelin durumuna göre başka bir kısımda ise destek yapısını oluşturacak kesitler de olabilir. Dilimleme işlemi destek yapısının oluşturulmasından sonra asıl model ile birleştirilen destek yapılarını da işleme katar, ve sonuçta destek yapılarıyla birleştirilmiş parça bütün olarak dilimleme işleminden geçer.

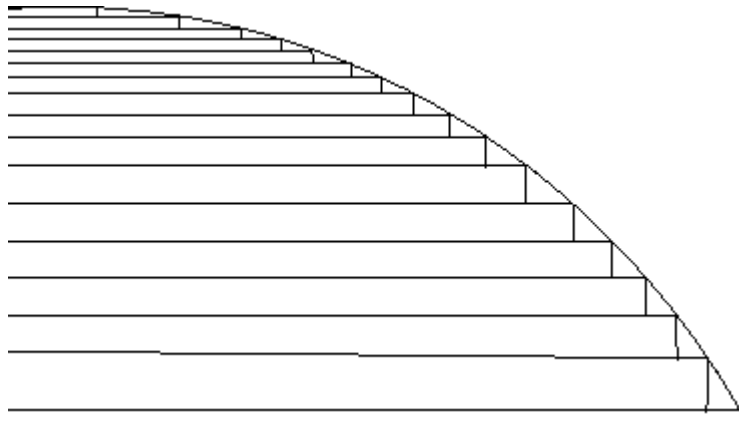
Diğer yandan bazı Hızlı Prototip ve Üretim sistemleri bir platform içerisinde birden çok parçanın oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Hatta birbirleriyle kesismemek kaydıyla platformda hiç boş yer kalmayacak şekilde çok sayıda parça üretilebilir. Bu gibi durumlarda diğer parçalara ait destek yapılarının hesaplanmasının ardından yapılacak olan dilimleme işlemine bütün parçalar bir bütün olarak dahil edilir. Yani ilgili katmana ait XY düzlemindeki kesit alanında belli bir kesiti olan bütün parçalar dikkate alınır. Bunların bir arada cihaz içerisinde

üretilmesi ise yine aynı mantıkla gerçekleştirilir. Yani ilgili katmanda hangi parçaların geometrik bilgisi varsa o kısımlarda da mutlaka işlem yapılır.

Diğer önemli bir konu ise dilimleme işlemi yapılmadan önce arzu edilen inşaatın belirlenmesi ve bu sitil için gerekli parametrelerin ve çekme payı telafi faktörlerinin belirlenmiş olması gerekmektedir.

Uyarlamalı Dilimleme (Adaptive Slicing)

Daha önce belirtildiği gibi özellikle eğimli bölgelerde açığa çıkan merdiven yapısı sorunu hem yüzey kalitesini hem de ölçüsel doğruluğu olumsuz bir şekilde etkileyen bir parametredir (*bkz. Bölüm 5.2.4.3-b*). Bu merdiven yapısı hatasını en aza indirmek için 1994 yılında Dolenc ve Makela tarafından uyarlamalı dilimleme stratejisi ortaya atıldı. Uyarlamalı dilimlemenin prensibi parçanın global topolojisini göz önüne alarak yerel geometrik alanlara göre farklılaşan katman kalınlıklarına dayanmaktadır. Uyarlamalı dilimlemeye örnek olarak Şekil 5.38’de görülen şekil gösterilebilir. Basit bir model için, yerel bazı yerlerde uyarlamalı dilimleme parametresi kullanılarak katman sayısı global olarak bakıldığında azalacaktır. Fakat karmaşık bir geometri, özellikle serbest form yüzey geometrisi olan bir model düşünüldüğünde, her bölge için katmanları tanımlamak hem zor hem de katman sayısı artacaktır [Koc *et al.*, 2000].



Şekil 5.38 Uyarlamalı Dilimleme Örneği

Genel olarak bakıldığında eğri yüzeylerdeki merdiven yapısı etkisini azalttığı muhakkaktır fakat kullanılan sisteme göre o sisteme uygulanabilirliği ve uygulanırsa

bile sergilediği performans düşük olacaktır. Çünkü her Hızlı Prototip ve Üretim sistemi belirli bir katman kalınlığı arasında gerekli performansı sağlayabilir, belirlenen parametrelerin dışına çıkılması üretilen parçanın olması gerektiği gibi üretilmiş olması beklenemez.

En azından ticari hale gelmiş ve parça oluşturma standartları oluşmuş sistemlerde şu anda uyarlamalı dilimleme gibi uygulama söz konusu değildir. Bunun olabilmesi için eğer lazerli bir sistem kullanılıyorsa uyarlamalı dilimleme kavramı çerçevesinde katman kalınlığı çok olan kısımların oluşturulmasında daha güçlü lazer ve belki daha geniş lazer isini kullanılması gerekirken katman kalınlığı daha düşük olan kısımlarda daha güçsüz ve daha ince isine sahip lazerlerin kullanılması gerekmektedir. Veya daha başka bir bakış açisi olarak, operasyonel olarak lazer isininin gücünün ve çapının değiştirilmesi mümkün olmadığından (aynı tip lazer için), katman kalınlığının fazla olduğu bölgelerde lazerin yüzeye yaptığı etkiyi artırmak için yavaşlaması ve daha ince kısımlarda da daha az etki yapması için lazer isinini hızlandırmak bir çözüm olabilir. Aynı şekilde nozul kullanılan sistemlerde de bunlar geçerlidir. Her ne kadar ticari olarak bakıldığında teorik olarak gerçekleştirilebilen fakat operasyonel bakımdan çok zor olan bu tür uygulamalar görülmese bile bu yönde bir takım çalışmalar yürütülmektedir. Özellikle nozuldaki malzeme fışkırtma yöntemiyle parça oluşturma yöntemlerinde çeşitli araştırmalara rastlanmaktadır.

e) Hareket Kontrol Vektörleri

Belirtildiği şekilde belirli aralıklarda birbirine paralel düzlemlerde modelin bölünmesi ile elde edilen dilimler ilgili kesit alanın şeklini almaktadır. Bu kesit alanlar birbirlerinden bağımsız olarak fakat ardışık bir şekilde ele alınarak çeşitli tarama yöntemleri kullanılarak tarama yolları (scan path) hesaplanır.

Çok çeşitli şekillerde tarama yöntemleri mevcuttur. Belirli bir eksene veya modelin herhangi bir kenarına paralel veya açılı bir şekilde birbirine paralel hatlardan oluşan veya modelin dış konturları referans alınarak merkez noktasına doğru spiral bir şekil takip eden hatlardan oluşan tarama şekilleri vardır. Bunun dışında daha özel tarama metodları uygulanabilmektedir. Fakat genelde hepsinin

bulustuğu nokta, dış konturun tamamen dış konturu takip eden bir hatla çevrelendikten sonra arada kalan boşluğun istenilen tarama metoduyla taranmasıdır. Çünkü sadece arada kalacak dilimler ele alındığında dış konturun nasıl tarandığı yüzey pürüzlülüğünü ve ölçüsel tamlığı birebir etkileyen bir kriterdir. Dahası, başka bir dilim tarafından üzeri kapatılmamış olan dilimlerin sadece dış konturları değil dilimin bütün alanın nasıl tarandığı bu belirtilen parametreleri etkileyen önemli bir kriterdir.

Yüzey pürüzlülüğü ve ölçüsel tamlığının yanı sıra tarama metodu, her sisteme göre değişiklik arz edecek olan yoğunluk, çekilme payı, dayanım gibi parametreleri de etkileyen bir kriterdir.

Tarama hatları belirlenirken bir takım değişkenler mevcuttur. Bunlar tarama genişliği ve her hat arasındaki tarama boşluğudur. Tarama hatları arasındaki boşluk tarama genişliğine bağlı bir değişkendir.

Hemen hemen bütün Hızlı Prototip ve Üretim sistemlerinde birbirlerinden farklı tarama yöntemleri kullanılabildiği gibi belirtilen bazı parametreler ve kullanım alanları da göz önüne alınarak aynı sistemler için bile farklı tarama yöntemleri kullanılabilmektedir.

Yine bilgisayar üzerinde belirtilen tarama metoduna göre hareket kontrol vektörleri elde edildikten sonra bu vektörler sayısal değerlere dönüştürülür. Bu işlemde yine Hızlı Prototip ve Üretim sistemlerinde standart haline gelmiş bazı bilgisayar formatları kullanılır.

Tarama yöntemleri Hızlı Prototip ve Üretim sistemlerinin tarama sistemleri bölümlerinde, tarama hatlarının sayısal değerlere dönüştürülmesi ise bilgisayar data formatları bölümünde ayrıntılı bir şekilde incelenecektir.

5.2.4.4. İnşa Etme

Bu aşama hızlı prototip sistemlerinin ana işlevini oluşturmaktadır. Yani 3 boyutlu fiziksel modelin şekil kazandığı, ortaya çıktığı, modelin üretildiği aşama bu

asamadır. Bütün Hizli Prototip sistemlerinin üretim yöntemleri birbirinden farklılık arz ettiginden dolayı parça üretim isleyisi sistemler teker teker tanitilirken incelenecektir.

5.2.4.5. Son Islem Uygulama

Bu asamaya gelindiginde artık 3 boyutlu nesne üretilmiş olduğu ve uygulanan sisteme göre gerekli son işlemlerin uygulandığı asamadır. Yine kullanılan sisteme göre farklılıklar gösterdiği için bu uygulamalardan da sistemler incelenirken bahsedilecektir.

6. HIZLI PROTOTIP SİSTEMLERİNDE KULLANILAN BILGISAYAR DOSYA FORMATLARI

Hizli Prototip sistemlerinde Data Transfer Dosya Formatlari ve Proses Dosya Formatlari olmak üzere 2 çeşit bilgisayar dosya formati bulunmaktadır.

6.1. Transfer Dosya Formatlari

Üç boyutlu modelleme programlarında tasarlanan modellerin Hizli Prototip sistemlerinde üretilebilmesi için BDT bilgisinin bu sistemlere aktarılması gerekmektedir. Bu işlem için Hizli Prototip sistemleri hemen hemen bütün 3 boyutlu modelleme sistemleri tarafından desteklenen çeşitli dosya formatlarini kullanmaktadır. Bu formatlar genelde su sekilde sıralanabilir.

- a) STL (.stl) (StereoLithography)
- b) IGES (.igs) (Initial Graphics Exchange Specification)
- c) STEP (.stp) / PDES (Standart for Exchange of Product Model Data)
- d) VRML (.wrl) (Virtual Reality Modeling Language)
- e) HP/GL (Hewlett-Packard Graphics Language)
- f) DXF (.dxf)
- g) OFF (.off) (Object File Format)
- h) CT ve MRI

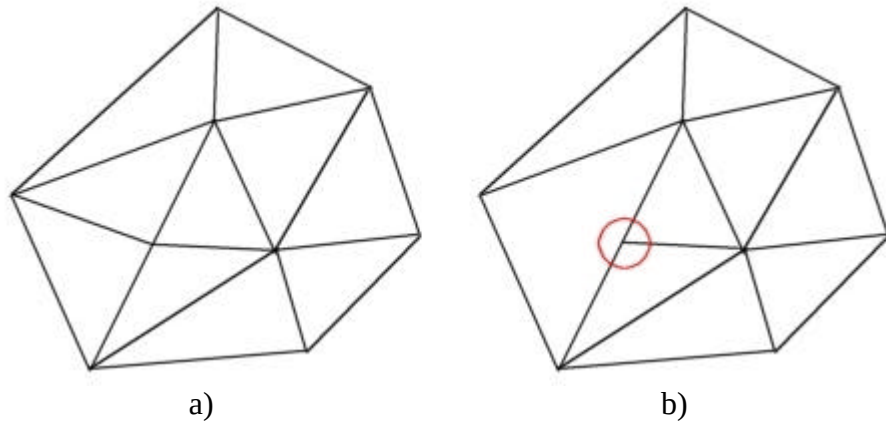
a) STL (STereoLithography)

STereoLithography (STL) dosya formati, Hizli Prototip tarihinde standart olarak kabul edilen ilk dosya formatidir. Hatta Hizli Prototip tarihinde ilk kabul edilen standart olarak da kabul edilmektedir. İlk Hizli Prototip cihaz üreticisi olan 3D Systems, Inc. için 1988 yılında Albert Consulting Group tarafından geliştirilen STL dosya formati tamamen endüstri tarafından geliştirilen bir dosya formati olduğundan ve herhangi bir resmi nitelik kazanmadan direk olarak bir işlevsellik

kazandırılarak kullanıldığından dolayı (de facto) endüstri standardi olarak kabul edilmektedir [3DSystems, 1988; Jurrens, 1999; Ming and Gibson, 2001].

Diger yandan Stereolithography islemi için özel olarak geliştirilen STL dosya formatı su an hemen hemen bütün Hızlı Prototip sistemleri için birinci derecedeki BDT-HP transfer dosya formatı standardi durumundadır. Hızlı Prototip sistemleri için standart haline gelmiş olan STL dosya formatı su an bir çok bilgisayar uygulamalarında transfer datası olarak kullanılmaktadır. Bu yaygın kullanım dolayısıyla STL dosya formatı, basta Pro/Engineer, Uni/Graphics, Catia, I-deas, SolidWorks olmak üzere hemen hemen bütün 3 boyutlu BDT programlarının desteklediği bir format haline gelmiştir.

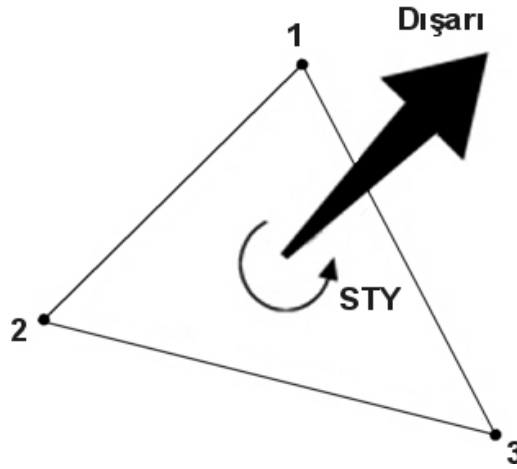
STL dosya formatı kati modelin yüzeylerinin küçük üçgen yüzeyler ile bir ağ yapısı gibi temsil edilmesidir. Bir STL dosyada, (vertex-to-vertex) olarak nitelendirilen ve köşegen noktaların birbiri ile çakışmasının gerektiği bir geometrik kural söz konusudur. Şekil 6.1.a'da noktaların birbirinin üst üste gelmesiyle oluşan geçerli bir STL dosya, Şekil 6.1.b'de ise bir noktanın bir kenar üzerinde çakışmasıyla oluşan geçersiz bir STL dosya görülmektedir. Bu durumda bir STL dosyada bulunan her küçük üçgen yüzeyin iki köşegen nokta ile bağlantılı olduğu üç tane küçük üçgen yüzey komsusu vardır.



Şekil 6.1 STL Dosyadaki Köşegen Noktalarının Çakışması Kuralının Gösterimi

Her küçük üçgen, yüzeye dik bir birim vektör ve üçgen yüzeyin köselerini oluşturan 3 nokta ile temsil edilir. Birim vektörün yönü modelin dis yönünü gösterir. Noktalar modele disaridan bakarken kartezyen koordinat sistemine göre (sağ el

kurali) saatin tersi yönünde (STY) sıralanmışlardır. Bu tanımlar Sekil 6.2’de gösterilmektedir.



Sekil 6.2 Küçük Üçgen Yüzeyin Yönlendirilmesi

Diğer yandan yüzeye dik olan birim vektör ve noktaların her biri kendi koordinatları ile tanımlanmıştır.

ASCII ve Binary olmak üzere iki çeşit STL dosya tipi vardır. ASCII STL dosyasının boyutu aynı modelin binary STL dosyasının boyutuna oranla yaklaşık 5 kat daha büyüktür. Bu yüzden proses için binary dosya tipi tercih edilmekte ve data içerisinde bir takım ayıklama ve düzeltme işlemleri yapabilmek için ASCII dosya tipi tercih edilir.

ASCII STL Dosya Formatı Yapısı

ASCII STL dosyası standart bir yazı editörü ile kolayca bakılabildiği ve gerekli değişikliklerin yapılabilirdiği için dosyanın içeriğini görmek için en kolay format şeklidir. Bir ASCII STL dosya formatının yapısı Sekil 6.3’te görüldüğü gibidir.

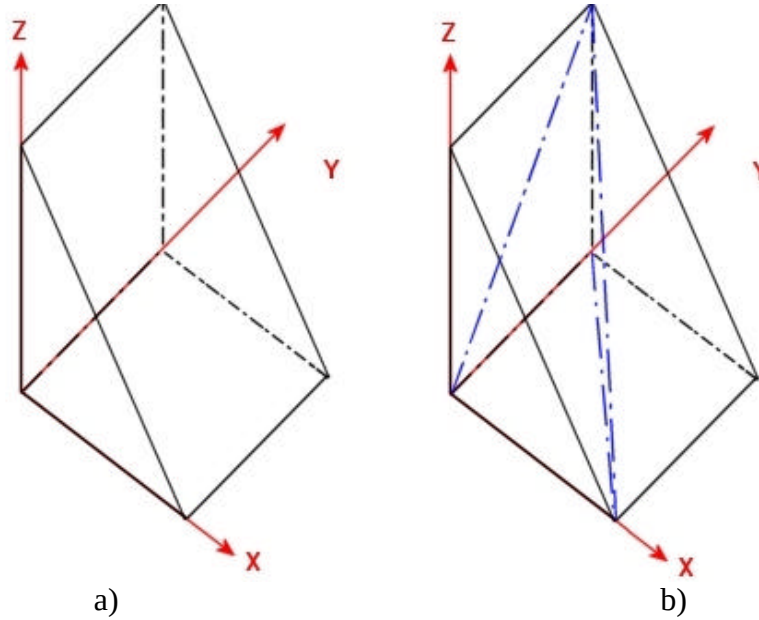
```

solid [part name]
  facet normal <i value> <j value> <k value>
    outer loop
      vertex1 <x value> <y value> <z value>
      vertex2 <x value> <y value> <z value>
      vertex3 <x value> <y value> <z value>
    endloop
  endfacet
endsolid [part name]

```

Sekil 6.3 ASCII Stl Dosya Formatı Yapısı

Sekil 6.4-a'da tel kafes olarak ve Sekil 6.4-b'de STL dosya formatında görülen üçgen yapılı bir cismin ASCII STL dosyası Sekil 6.5'te görüldüğü gibidir.



Sekil 6.4 Üçgen Yapılı Bir Cismin STL Dosya Formatında Görüntüsü

```

solid STL_TRIANGLE
  facet normal 0.000000e+00 -1.000000e+00 0.000000e+00
    outer loop
      vertex 1.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00
      vertex 0.000000e+00 0.000000e+00 1.000000e+00
      vertex 0.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00
    endloop
  endfacet
  facet normal -1.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00
    outer loop
      vertex 0.000000e+00 1.000000e+00 1.000000e+00
      vertex 0.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00
      vertex 0.000000e+00 0.000000e+00 1.000000e+00
    endloop
  endfacet
  facet normal 0.000000e+00 0.000000e+00 -1.000000e+00
    outer loop
      vertex 0.000000e+00 1.000000e+00 0.000000e+00
      vertex 1.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00
      vertex 0.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00
    endloop
  endfacet
  facet normal -1.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00
    outer loop
      vertex 0.000000e+00 1.000000e+00 1.000000e+00
      vertex 0.000000e+00 1.000000e+00 0.000000e+00
      vertex 0.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00
    endloop
  endfacet
  facet normal 7.071068e-01 0.000000e+00 7.071068e-01
    outer loop
      vertex 0.000000e+00 1.000000e+00 1.000000e+00
      vertex 0.000000e+00 0.000000e+00 1.000000e+00
      vertex 1.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00
    endloop
  endfacet
  facet normal 0.000000e+00 0.000000e+00 -1.000000e+00
    outer loop
      vertex 1.000000e+00 1.000000e+00 0.000000e+00
      vertex 1.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00
      vertex 0.000000e+00 1.000000e+00 0.000000e+00
    endloop
  endfacet
  facet normal 7.071068e-01 0.000000e+00 7.071068e-01
    outer loop
      vertex 0.000000e+00 1.000000e+00 1.000000e+00
      vertex 1.000000e+00 0.000000e+00 0.000000e+00
      vertex 1.000000e+00 1.000000e+00 0.000000e+00
    endloop
  endfacet
  facet normal 0.000000e+00 1.000000e+00 0.000000e+00
    outer loop
      vertex 0.000000e+00 1.000000e+00 1.000000e+00
      vertex 1.000000e+00 1.000000e+00 0.000000e+00
      vertex 0.000000e+00 1.000000e+00 0.000000e+00
    endloop
  endfacet
endsolid STL_TRIANGLE

```

Sekil 6.5 Üçgen Yapılı Bir Cismin ASCII STL Dosyası

Binary STL Dosya Formatı

Binary STL dosyası da ASCII STL dosyasında olduğu gibi aynı şekilde küçük üçgenlerin bilgisini bulundurmaktadır. Fakat Binary STL dosyası, yüzeyler hakkındaki bilgiyi ASCII formatında değil de 32-bit'lik değişken numaralarla tanımlamaktadır ve bu şekilde kaydetmektedir. Binary formatı ASCII formatına göre daha kısa daha özlü bir yapıya sahiptir. Bundan dolayı dosya boyutu olarak ASCII dosya boyutundan daha az yer kaplamakta ve datanın işlenmesi daha kolay olmaktadır. Binary STL data formatı Şekil 6.6'da görüldüğü gibidir.

Kapladığı alan (Byte)	Tanımlar
80	Başlık: ASCII formatta STL dosya ile ilgili bilgi
4	Tamsayı(bilgi)= yüzeylerin sayısı
Birinci küçük üçgen yüzey (1.facet)	
4	vektör x (değişken)
4	vektör y (değişken)
4	vektör z (değişken)
4	Köşegen nokta 1 x (değişken)
4	Köşegen nokta 1 y (değişken)
4	Köşegen nokta 1 z (değişken)
4	Köşegen nokta 2 x (değişken)
4	Köşegen nokta 2 y (değişken)
4	Köşegen nokta 2 z (değişken)
4	Köşegen nokta 3 x (değişken)
4	Köşegen nokta 3 y (değişken)
4	Köşegen nokta 3 z (değişken)
2	Kullanılmayan alan
İkinci küçük üçgen yüzey (2.facet)	
4	vektör x (değişken)
4	vektör y (değişken)
4	vektör z (değişken)
4	Köşegen nokta 1 x (değişken)
4	Köşegen nokta 1 y (değişken)
4	Köşegen nokta 1 z (değişken)
4	Köşegen nokta 2 x (değişken)
4	Köşegen nokta 2 y (değişken)
4	Köşegen nokta 2 z (değişken)
4	Köşegen nokta 3 x (değişken)
4	Köşegen nokta 3 y (değişken)
4	Köşegen nokta 3 z (değişken)
2	Kullanılmayan alan

Şekil 6.6 Binary STL Dosya Formatı Yapısı

Burada sadece iki küçük üçgensel yüzey için data yapısı gösterilmiştir. Diğer bütün üçgensel yüzeylerin tamamı tanımlanincaya kadar binary STL dosya bu formatta devam eder.

Binary STL dosyada baslik kısmi hard diskte 80 byte'lik yer kaplar ve burada STL dosyayla ilgili genel bilgiler verilir. İkinci kısmi ise olusturulan STL dosya içerisinde kaç adet üçgen yüzey olduğu hakkında tam sayi degerinde bilgi verir ve 4 byte'lik yer kaplar. Diger yandan üçgen yüzeylerin bilgisini bulunduran kısım ise toplam 50 byte'lik yer kullanır fakat her deger için 4 byte yer kullandigindan ayrılan 50 byte'in sadece 48 byte'ini kullanır. Geri kalan 2 byte'lik kısım ise renkli uygulamalar için renk bilgisinin kaydedilmesinde kullanılır. Renk bilgisinin kullanılmadigi durumda ise yine bu 2 byte'lik kısım kullanılmaz ve bir yüzey için hesaplamaların kolay olması için 48 byte yerine 50 byte'lik yer üzerinden hesaplama yapılır [Materialise, 2002].

Renkli STL

Hızlı prototip teknolojilerindeki gelişmeler sonucunda Hızlı Prototip uygulamalarının ağırlık kazandığı göz önüne alındığında olusturulacak fiziksel model üzerinde birden çok renk seçeneğinin gerekliliği söz konusudur [Ming and Gibson, 2001]. Fakat hemen hemen bütün hızlı prototipleri için bir standart haline gelen ve çok yaygın bir kullanım ağına sahip olan normal STL data formatı herhangi bir renk bilgisi barındırmamaktadır. Fakat STL dosyayı işleyerek bir Hızlı prototip sistemine data hazırlayan Magics gibi bazı programlar sayesinde STL dosya üzerinde renk düzenlemeleri yapılarak renk bilgisi barındıran renkli STL datası elde edilebilmektedir [Materialise, 2002].

STL Dosya Formatında Renk Bilgisi

Renk bilgisi sadece binary formatındaki STL datalarda mümkündür. Çünkü binary STL formatında renk bilgisi için kullanılacak yeterli boş bir alan mevcuttur. Bundan dolayı normal STL dosyanın format yapısında tekrardan bir değişikliğe gerek kalmamaktadır. Eğer öyle bir zorunluluk olsaydı, STL data formatının renkli uygulamalara uygun olması için şu anda mevcut BDT programlarının güncellenmesi gerekliliği söz konusu olacaktı. Diger yandan TNO Endüstriyel Prototip üretim geliştirme birimi de renkli bir STL data formatı geliştirmiştir [Ming and Gibson, 2001]. TNO'nun geliştirdiği renkli STL dosya da renklendirme işlemi için normal binary STL dosyadaki kullanılmayan alanı

kullanmaktadır. Fakat aynı yüzey içerisinde farklı farklı renk tonlarının tanımlanması için binary STL dosyada bir takım değişikliklerin olması söz konusudur.

STL dosya formatının iki çeşit renklendirme seçeneği vardır:

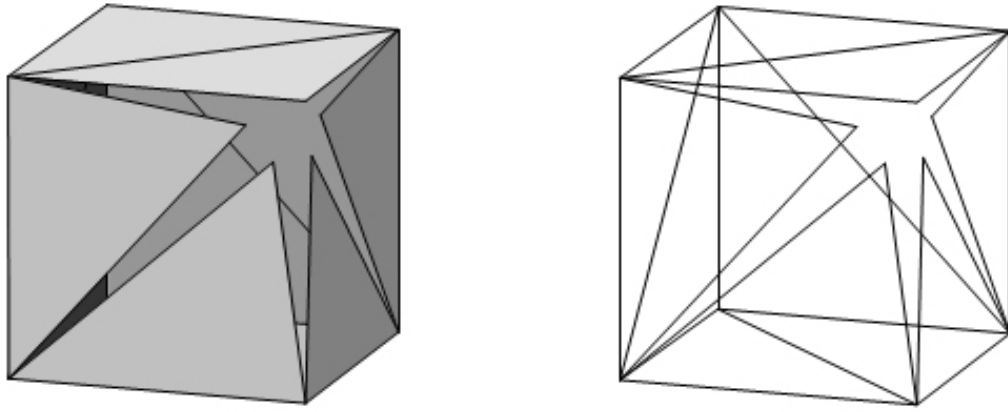
- STL datanın ‘başlık’ kısmında gerekli renk bilgisinin verilmesiyle bütün bir modelin renklendirilmesi
- STL datadaki bütün yüzeylerin tek tek renklendirilmesi. Bunun için her yüzey için ayrılan 50 byte’lık alandan artı kalan 2 byte’lık alan kullanılmaktadır.

STL Dosya Formatının Avantajları

- STL dosya formatı sadece düzlemsel üçgen yüzeylerden oluştuğu için yapısı itibarıyla çok basit bir dosya formatıdır.
- STL dosya formatı transfer için kullanılan bir BDT dosya formatı olduğu da göz önünde bulundurulursa diğer transfer dosya formatlarına göre daha az hata ile karşılaşılar. Çünkü, yüzeyin kaçinci dereceden olduğuna bakmaksızın verilen hassasiyet değerlerine göre bütün bir yüzey yerine küçük düzlemsel üçgen yüzeyler oluşturmaktadır. Dolayısıyla asıl modeldeki herhangi bir yüzeyin oluşturma derecesinin fazla bir önemi yoktur.
- STL dosya yapısı çok yaygın bir kullanım alanına sahip olduğundan çok basit yapıdaki 3 boyutlu modelleme programlarından bile bu dosya rahatlıkla elde edilebilmektedir.

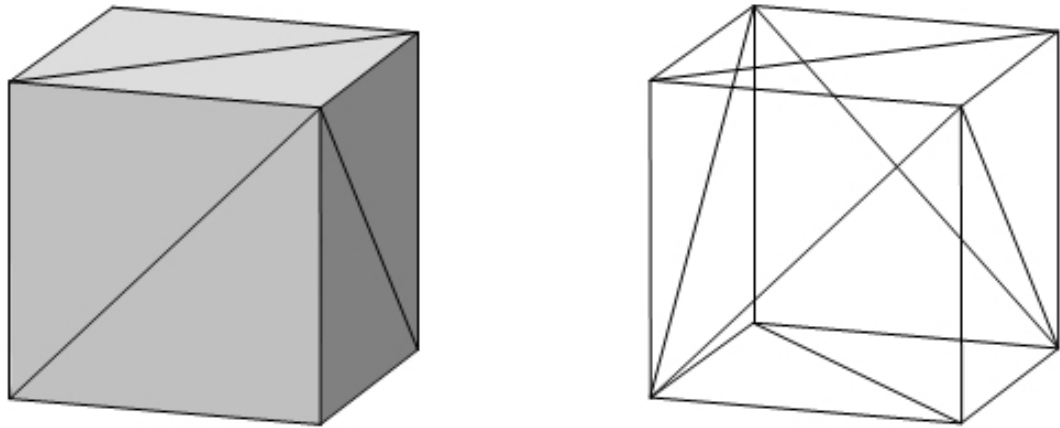
STL Dosya Formatının Dezavantajları

- Diğer transfer dosyalarında olduğu gibi STL dosya formatında da bir takım hatalarla karşılaşılar. STL dosyada; üçgen yüzeylerin olması gerektiği yerden daha başka yerde kesilmesi, aynı kenarın ikiden çok yüzey tarafından kullanılması, komşu yüzeylerin kenarlarının kesismemesi ve herhangi bir köşegenin bir kenar üzerine denk gelmesi gibi çeşitli hatalar olabilir. Şekil 6.7’de komşu yüzeylerin kenarlarının kesismemesi ile oluşan hatalı bir STL dosya görülmektedir.



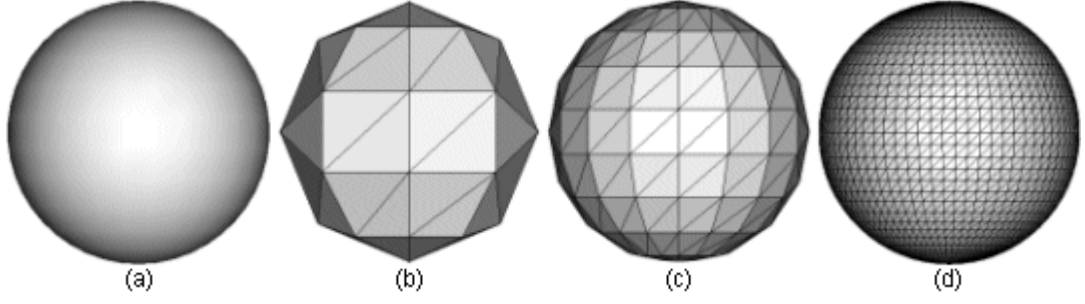
Sekil 6.7 STL Dosyadaki Komsu Yüzeylerin Kenarlarının Kesismemesi Problemi

- Fakat basit bir takım onarma programlari ile bu hatalar giderilerek STL dosya kullanilabilir duruma getirilebilir. Sekil 6.7’de görülen hatali STL dosyanin bu onarma programlari ile onarilmis hali Sekil 6.8’de görülmektedir [Martin, 1998].



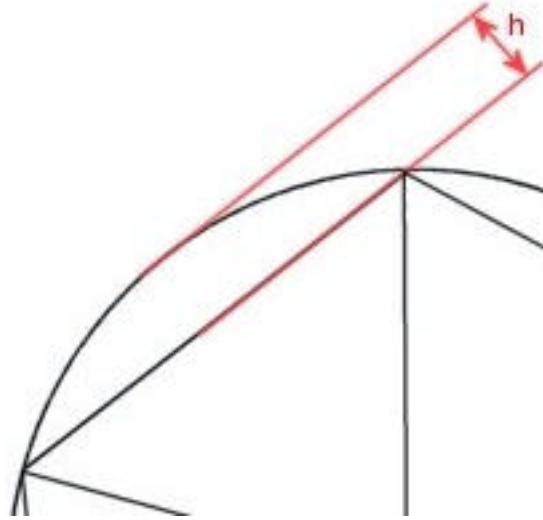
Sekil 6.8 Onarilmis Bir STL Dosyasi

- STL dosya formatinin en önemli dezavantajlarından biri gerçek model ile arasında oluşan hassasiyet sorunudur. Düzlemsel yüzeylerde herhangi bir ölçü kaybı olmaz fakat eğri biçimli yüzeyler transfer edilirken verilen hassasiyet değerlerine göre bir data kaybı olmaktadır. Örnek gösterilecek olursa; Sekil 6.9-a’da görülen kürenin en kötüden en iyi hassasiyete kadar oluşturulan STL dosyalarının sonuçları kademe kademe Sekil 6.9-b,c,d’de görüldüğü gibidir. Su bir gerçektir ki; bir modelin STL datasi çok hassas değerlerde tutularak gerçek modele çok yakın hassasiyette bir dosya elde edilebilir.



Sekil 6.9 Kürenin Gerçek Görüntüsü ve Farkli Hassasiyetlerdeki STL Dosyalarinin Görüntüsü

- STL dosyanin gerçek modele yakin olmasi, STL dosya olusturulurken Sekil 6.10'da gösterilen h yüksekliginin minimum degerde tutulmasiyla mümkündür. Fakat STL dosyanin çok hassas olmasi özellikle geometrik olarak çok egrilik bulunan yüzey bölgelerinde çok fazla küçük yüzeyin olusturulmasi anlamina gelmektedir. Bu da modelin karmasikligina ve fiziksel boyutlarina bagli olarak STL dosyanin boyutunun asiri derecede büyük olmasini gerektirmektedir. Bunun nedeni ise STL dosyanin yapisinda bulunan küçük üçgen yüzeylerin tanimlanmasinda kullanılan dik vektörün ve köşegen noktalarin koordinat bilgilerinin bulunmasi zorunlulugundan kaynaklanmaktadır.



Sekil 6.10 STL Dosyanin Olusturulmasi Esnasinda Hassasiyeti Etkileyen Parametre

Sonuç olarak daha karmasik model ve hassas bir islem söz konusu oldugunda büyük dosya boyutlari söz konu olmakta ve dolayisiyla bu konu STL dosyalarini için isletmede çok önemli bir dezavantaj olma durumundadir. Özel is çevrelerinde ve akademik çevrelerde özellikle bu dezavantajin getirdigi bir takim sorunlardan dolayi baska dosya formatlari üzerinde durulmaktadır. Diger yandan, hem isletme kolayligi

ve hem de yüksek hassasiyet gibi bir takım gereksinimlerin de etkisiyle, herhangi bir transfer dosya formati kullanmadan direk olarak modelin tasarlandigi 3 boyutlu modelleme programinin kaynak data formatinin Hizli Prototip sistemlerinde kullanilabilmesi noktasinda da bir takım çalismalar devam etmektedir.

b) IGES (Initial Graphics Exchange Specification)

IGES, BDT programlari arasinda grafik bilgi paylasimini saglayan standart bir data formatidir [Reed and Harrvd, 1990]. IGES, grafik data paylasimi için Amerikan Ulusal standardi olarak 1981'de gelistirildi. IGES formati üzerinde son yapılan gelistirmeler sonucunda hem Kati Geometrisi hem de Sinir Temsili metotlari kullanilmistir. IGES data formati noktaları, çizgileri, egrileri, yüzeyleri ve kati sekil bilgilerini içerebilmektedir. Bu yüzden BDT-BDI programlari arasinda çok fazla kullanım alanina sahiptir.

Fakat Hizli Prototip sistemleri için data transfer dosyasi olarak kullanilmasinda bir takım problemler vardır. İlk olarak, bir Hizli Prototip islemi için çok fazla gereksiz bilgiyi içermektedir. İkinci olarak, IGES datanın algoritmaları STL datanın algoritmalarından çok daha karmasiktir. Dahasi, Hizli Prototip sistemlerinin bazı uygulamalarında gerekli olan destek yapisinin mutlaka BDT programinin içerisinde modellenerek Hizli Prototip sistemlerine aktarilmasi gerekmektedir. Algoritmasının basitliginden dolayı Hizli Prototip islemi için data hazirlama esnasinda gerekli eklentilerin yapılmasının kolayligindan dolayı STL dosya formatinin böyle bir dezavantaji bulunmamaktadır.

c) STEP (Standard for Exchange of Product Model Data)

STEP (.stp), ürün datasinin paylasimini saglayan standart bir formattir. STEP formatinin amacı bütün endüstrideki ürün üretim çevriminde bilgi paylasimini esas alan tek ve en iyi standart olabilmektir. EARP (European Action on Rapid Prototyping) takimi STEP formatini BDT-HP arasinda data transferi olarak kullanmayi amaçlayarak bunun üzerinde çalismalar yapmislardir. [Bloor S. *et al.*, 1994]. STEP formatinin Hizli Prototip sistemleri için neden bir transfer dosyasi olması yönündeki düşünceler ise şunlardır:

- Bütün BDT sistemleri arasında ürün datası paylaşımı formatı olma özelliğini sağlaması
- Bu format bir ürün hakkında yeteri kadar bilgiyi barındırdığından dolayı Hızlı Prototip sistemleri için yeterli bilgi sağlanmış olmaktadır.
- İşlem için hem bilgisayar kaynakları hem de dosya büyüklüğü açısından etkili bir yapıya sahiptir.
- Herhangi bir bilgisayar konfigürasyonuna veya yazılıma karşı bir bağılılığı yoktur.

Fakat bütün bunlara rağmen, STEP formatı Hızlı Prototip sistemleri için gerekli olmayan çok fazla veriyi içermektedir. Dahası düz yazı şeklinde bir format yapısı olduğundan Hızlı Prototip sistemleri için gerekli bilginin ayırt edilmesi zordur.

d) VRML (Virtual Reality Modeling Language)

VRML dosya formatı internet üzerinden 3 boyutlu modellerin görüntülenebilmesi için geliştirilen bir ASCII formatıdır [Bell G. *et al*, 1996]. VRML dosyası geometrik bilgilerin haricinde doku, renk, grafik ve ses efekti datalarını da içerebilir. Bu özellikleriyle VRML internet üzerinden model datalarının paylaşımına imkan tanımaktadır ve Internet Explorer ve Netscape Navigator v.s. gibi internet araçları ile görüntülenebilmektedir. Bunun yanında VRML dosyaları bir çok BDT programı tarafından rahatlıkla okunabilmekte ve görüntülenebilmektedir. Bauer, Fadel ve Kirshman VRML dosyasını bir Hızlı Prototip formatı olarak önermişlerdir [Fadel G. M. and Kirschman C., 1996]. Diğer yandan, Yanshua tarafından Serbest Form Kati Modelleme proses planı ve sanal prototip sistemi geliştirilmiştir [Yanshuo W. *et al*, 1997]. Daha sonra bu data SALDVI (Selective Area Laser Deposition Vapor Infiltration) prosesi için lazer tarama yolu datası hazırlanmasında kullanılmıştır.

VRML data formatı, noktaların, çizgilerin, yüzeylerin, yazı karakterlerinin ve katıların üç boyutlu matematiksel tanımını içeren noktalardan oluşur.

Renkli VRML

VRML dosya yapısından kaynaklanan özelliğinden dolayı modelin tasarlandığı BDT programından direk olarak renkli VRML dosyası elde edilebilmektedir. Çünkü geometrik bilginin yani sıra VRML dosya yapısı renk bilgisini de içermektedir. Renkli Hizli Prototip uygulamalarında basarının elde edilebilmesi için tasarım esnasında modelin renklendirilmesi tasarım esnasında yapılmalıdır. Bunu STL dosya tipi için gerçekleştirmek mümkün değildir. Diğer yandan STEP formatı da malzeme ve geometrik bilgisinin ikisini bir arada içerebilir. Fakat STEP formatı Hizli Prototip sistemlerinde kullanılması için çok karmaşıktır. İçerisinde çok fazla bilginin olması dolayısıyla içerisinden Hizli Prototip sistemleri için gerekli bilginin çıkarılması çok zordur. Bundan dolayı STEP formatının bu amaç için Hizli Prototip sistemlerinde kullanılması zordur. VRML formatı daha basit yapıda olduğu ve sanal ortamda grafiksel işlemler için daha uygun olduğu için daha çok tercih edilmektedir [Ming and Gibson, 2001]. Özellikle Z Corp. tarafından geliştirilen renkli Üç Boyutlu Yazıcı için VRML dosya kullanılmaktadır.

e) HP/GL (Hewlett-Packard Graphics Language)

HP/GL grafik çizici uygulamaları için standart bir formattır [Jacob *et al.*, 1999]. Çizgileri, yayları, egrileri ve yazıları kapsayan data tipleri HP/DL dosya formatı ile iki boyutta temsil edilmektedir. Bu dosya formatının bir avantajı bir çok BDT programı tarafından tanınan bir formattır. Hizli Prototip sistemleri için avantaj tasıdığı özelliği ise BDT programından transfer edilen data tekrar bir dilimleme operasyonundan geçmesine gerek kalmamasıdır. Çünkü bu dosya formatı dilimlenmiş kesit alanlardan oluşur. Tasıdığı dezavantaj ise kati formatta bir bilgi içerebilmesi için dosya boyutunun küçük olması gerekmektedir. Ek olarak, IGES formatında olduğu gibi destek yapıları BDT programlarında oluşturularak HP/GL dosya formatına dönüştürülmesi gerekmektedir.

f) DXF

DXF dosya formatı AutoCAD programından BDT datalarının çıktı alınması için Autodesk tarafından geliştirilmiştir. DXF dosya formatı ASCII formattadır ve

STL'den çok daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Bunun nedeni ise dosya içerisinde yazı, katman, renk, ölçü ve diğer bir çok bilginin tanımlanmış olmasıdır.

DXF dosya formatı bir çok BDT programı tarafından okunabilmektedir. Bu yönü itibarıyla DXF, STL dosya türüne nazaran daha yaygın durumdadır. Fakat Hızlı Prototip uygulamaları için, STL birinci derecedeki format durumundadır.

g) OFF (Object File Format)

OFF, Geometry Center at the University of Minnesota tarafından geliştirilen Geomview tarafından kullanılan bir dosya formatıdır (Phillips, 1996). OFF dosya formatı güzel bir paylaşılmış köşegen tip algoritmanın kullanıldığı bir formattır. Bu tip formatlarda her köşe noktanın koordinatı bir kez listelenmiştir. Daha sonra her üçgen yüzeyin köşe noktaları bir tam sayı listesi ile tanımlanır.

Paylaşılmış köşegen formatında her nokta birden fazla tekrarlanmak yerine sadece bir defa tanımlanmıştır, bu yüzden birbiriyle bağlantılı olan üçgen yüzeylerin arasında bir kopukluk olması ihtimali yoktur.

Paylaşılmış köşegen formatı, STL gibi paylaşılmamış köşegen formatlarına nazaran daha sadedir. Çünkü üçgen yüzeyler arasında paylaşılan köşelerde sadece bir noktanın koordinat değerleri tanımlanır. Şekil 6.11'de Admesh programı tarafından oluşturulan dörtgen prizmasının DXF dosyası gösterilmektedir [Martin, 1998].

```
OFF
4 4 0
0.000000 1.000000 0.000000
1.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 1.000000
3 0 1 2
3 0 2 3
3 2 1 3
3 1 0 3
```

Sekil 6.11 OFF Dosya Formatı Yapısı

İlk satır dosyanın başlığıdır. İkinci satırdaki ilk rakamda köselerin, ikinci rakamda yüzeylerin ve üçüncü rakamda ise kenarların bilgisi verilir. Fakat Geomview programının kullandığı ‘Object Oriented Graphic Library’ kütüphanesi kenar bilgilerini kullanmadığı için ‘0’ olarak kabul edilebilir. 3-6. satırlarda köseler koordinatları ile tanımlanmıştır. 7-10. satırlarda ilk rakam her küçük yüzeyde kaç köşegenin bulunduğunu listelemektedir. Sonraki 3 rakam ise yüzey üzerindeki uygun köseleri 3-6. satırda belirtilen koordinat sistemine göre temsil eder.

Yüzeyleri renklendirme olanagi da bulunan OFF formatı su anda herhangi bir Hızlı Prototip sisteminde kullanılmamaktadır fakat [Martin, 1998] tarafından hazırlanan ve STL dosyaların onarılmasıyla ilgili hazırladığı tez kapsamında hazırlanan bilgisayar programı bünyesinde ele aldığı bu formatın Hızlı Prototip sistemlerine uygulanabilirliği üzerine görüşlerini belirtmiştir.

h) CT (Computerized Tomography) ve MRI (Magnetic Resonance Imaging)

Özellikle son yıllarda görülen bir takım gelişmelerle birlikte Hızlı Prototip sistemlerinin medikal alanlarda çeşitli uygulamaları görülmektedir [Jacob *et al.*, 1999]. Özellikle kemik cerrahisinde ve implant uygulamalarında çok çeşitli uygulamalara rastlanmaktadır. Birer medikal görüntü formatı olan CT ve MRI formatları insan bedeninin iç yapısının yüksek çözünürlükte görüntüsünü veren formatlardır. Bir yazılım firması olan Materialise ile Katholieke Universiteit Leuven, Division PMA ortak bir çalışma ile bir sistem geliştirmiştir. Bu sistem CT datasına ve Stereolithography sistemine dayalı yüksek çözünürlüklü medikal modeller üretmeyi sağlamaktadır [Swaelens B. and Kruth J.P., 1993].

Sonuç olarak, STL dosyanın avantajlarının yanı sıra olan dezavantajların da etkisiyle yeni formatlara yönelim artmakta ve bu yönde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Fakat yeni formatlar ve yaklaşımlar üzerinde herhangi bir başarı sağlanıncaya kadar STL dosya bundan sonra belli bir zaman daha endüstri standardi olmaya devam edecek gibi görünmektedir.

6.2. Proses Dosya Formatlari

BDT datasinin Transfer Dosya Formatlari kullanılarak Hizli Prototip cihazlarinin kendi özel islem yazilimlarina aktarilan model üzerinde Hizli Prototip sisteminin proses tipine göre bir takım islemlerin gerçekleştirilerek Hizli Prototip cihazinin direk olarak bu bilgiyi okuyarak bütün islemin gerçekleştirildiği dosya formatlari.

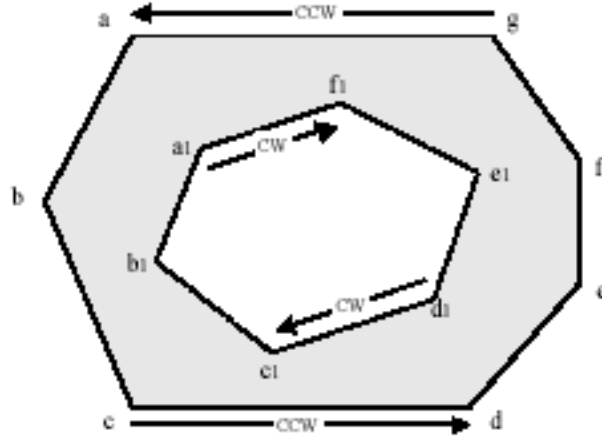
- a) Slc (Sliced Contour)
- b) Sli (Slice – by Chua and Luang, 1997)
- c) Cli (Common Layer Interface - EOS)

a) Slc (SLiced Contour)

Slc dosya formati genelde medikal uygulamalardaki CT ve MRI datalarinin islenmesi ile stereolitografi sistemi için bir transfer dosya formati olarak kullanılmaktadır. 3D Systems'ten Jenine McQuaid tarafından geliştirilen bu dosya formati orijinal BDT geometrik datasinin belirli kesit alanlarinin sinirlarini temsil etmektedir. Bu sinirlar hem iç hem de dış çevreleyen konturlardan oluşmaktadır. Z yönü dilimleme yönü olarak kabul edildiğinde Slc dosya, her kesit alandaki her kontur için baslangıç ve bitis noktalarinin aynı olması kosuluyla her iki noktayı birbiriyle birlestirerek bir çizgi olusturur ve bu kesisimin X ve Y vektörlerindeki degerlerini içerir.

Bir kesit alanin Slc dosya formatıyla temsili Sekil 6.12'de gösterilmektedir. Sekilde de görüldüğü gibi kesit alanin dış konturu saat yönünün tersine, iç kontur ise saat yönünde tanımlanır. Buna göre dış konturu belirleyen kontur *abcdefgha* konturu, iç sinirlari belirleyen kontur ise *a₁f₁e₁d₁c₁b₁a₁* olmaktadır [Chen and Song, 2001]. Dış konturda ve iç konturda farklı yön kullanilmasinin nedeni ise kati kısmın konturun hangi yönünde olduğunun belirtilebilmesi içindir.

Ek olarak bu kesit alanin ait olduğu bilginin hangi dilime ait olduğunun da belirtilmesiyle Z yönündeki deger belirtilmiş olmaktadır.



Sekil 6.12 Slc Dosyadaki Bir Kesit Alanın Tanımı [Chen And Song, 2001]

Slc dosya formatından okunan değerler Hızlı Prototip sistemindeki bir parçanın oluşturulması için gerekli olan bilgiyi barındırmaktadır. Asansörü kumanda eden bilgi Z yönündeki kesit alan bilgisinden elde edilir, hareketli ayna sistemini hareket ettiren bilgi ise X ve Y vektörlerinde belirtilen kontur bilgisinden elde edilir. Bir kontur üzerindeki X ve Y yönündeki kesilen bütün noktalar lazerin tarayacağı hattın bilgisini sağlar.

b) Sli (Slice)

1997 yılında Chua and Luang tarafından geliştirilen bu dosya formatı diğer bir data transfer dosya formatıdır. Yine SLA sistemlerinin yazılımı olan 3D Lightyear programının bir formatı olan bu dosya formatı yine STL datanın belirli dilim aralıklarında kesilerek kesit alanlarının temsil edilmesine dayanmaktadır. Her kesit alanın Z eksenine yönünde ayrı bir koordinat sistemi bulunmaktadır.

c) Cli (Common Layer Interface)

Bu dosya formatı ise EOS firmasının geliştirip kullanmış olduğu proses dosya formatıdır.

7. HIZLI PROTOTIP VE ÜRETİM SİSTEMLERİ

Dünya’da su an mevcut bulunan ve üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmış ve hala yapılmakta olan çok çeşitli Hızlı Prototip ve Üretim sistemi bulunmaktadır. Hızlı Prototip ve Üretim sistemlerinin sınıflandırılması çok çeşitli olabilir. Bu sınıflandırmalar; işlem benzerliğine, son ürünün sahip olduğu özelliklere, kullanılan ana teknolojilere ve kullanılan malzeme dogasına göre yapılabilir. Daha düzenli bir sınıflandırma yapabilmek için Hızlı Prototip ve Üretim sistemleri genelde malzeme dogasına göre sınıflandırılır. Hızlı Prototip ve Üretim sistemleri malzeme dogasına göre genel olarak su şekilde sınıflandırılabilir;

- Sivi malzemeler
- Toz malzemeler
- Kati malzemeler
- Levha-tabaka yapili malzemeler
- Gaz, Atom v.s.

Çok çeşitli sayıda Hızlı Prototip ve Üretim sistemi olmasından dolayı bu sistemler kendi aralarında da çeşitli sınıflandırmalara tabi tutulmaktadır.

Sivi malzemeler kategorisine genelde ısı yardımıyla katılisan fotopolimer malzemeler girmektedir. Isık kaynagi olarak çeşitli özelliklerde lamba ve lazerler kullanılan fotopolimer malzemelerin haricinde elektro-kimyasal (elektrolit) yöntemler de araştırma asamasındadır. Sivi malzeme olarak su kullanılması hedeflenen sistemler ise suyun dondurularak buz haline dönüştürülmesini amaçlamislardır. Genel olarak maddeler halinde sınıflandırılırsa;

- Foto-kür edilebilir sivilar
 - o Mor ötesi (Ültraviyole-Ultraviolet) lazerle kür etme sistemi
 - o Maskeli foto kür etme sistemi
 - o İki adet lazerle eşzamanli kür etme sistemi
 - o DMD aracıyla görünür ısıyla kür etme sistemi

- o UV lamba ile kombine Ink-jet tekniğiyle kür etme sistemi (Melez)
- Elektrik İleten Sivi (Elektrolit)
 - o Elektrokimyasal (elektroplating) üretim sistemi
- Su
 - o Hızlı su dondurma sistemi

Toz malzeme uygulamalarına bakıldığında toz haline getirilmiş malzemelerin gerek sinterleme veya eritme suretiyle ve gerekse yapıştırıcı maddeler kullanarak tozların birbirine yapıştırılmasını esas almıştır. Genel olarak maddeler halinde sınıflandırılırsa;

- Tozun Eritilmesi
 - o Lazerle Sinterleme Sistemi
 - o Lazerle Eritme Sistemi
- Tozların Yapıştırıcılarla birbirine bağlanması
 - o 3 Boyutlu Yazıcı Tipi Sistemi
 - o Seramiklerin Erimis Haldeki Yapıştırıcı ile Birlikte Fiskirtılması (extrude) Sistemi

Kati malzeme kullanan sistemler kati malzemenin eritilerek bir nozul veya birden çok nozul yardımıyla malzemelerin çeşitli fiskirtma (ekstrüzyon) ve jet yöntemleri kullanılarak belirli yerlere yigma yapılmasını kapsamaktadır. Genel olarak maddeler halinde sınıflandırılırsa;

- Erimis Malzemenin Fiskirtılması Sistemi
 - o Plastiklerin Fiskirtılması
 - o Kaynak Temelli Metotlar
 - o Metal Sprey Metodu
 - o Fiskirtma ve Frezeleme Metodu
 - o Mürekkep Püskürtme Metodu (Ink-jet)

Levha-tabaka malzeme kullanan sistemler üretim prosesi bakımından diğerlerinden biraz farklıdır. Levha haline getirilmiş malzemeler lazer, freze, bıçak, su veya elektrot yardımıyla kesilmekte ve belirli yöntemlerle bu elde edilen kesit alanlar birbirine yapıştırılmaktadır. Bu nedenle eklemeli tip proses olan bu tip

sistemler çıkarmalı tip imalat prosesini de kapsamaktadır. Bu yönüyle bu sistemler diğer serbest form kati imalatı sistemlerinden biraz farklıdır. Genel olarak maddeler halinde sınıflandırılırsa;

- Lazerli Kesme Yöntemi Kullanılan Sistemler
- Bıçaklı Kesme Yöntemi Kullanılan Sistemler

Malzeme olarak gaz ve atomları kullanmayı amaçlayan prosesler ise henüz araştırma aşamasındadır. Genelde lazer kullanarak gaz ve buharı yigma tekniğiyle uygulamaya çalışılan tekniklerden oluşmaktadır. Başarıldığında moleküler nano teknoloji alanında devrim gerçekleştirecek olan atom ve molekül düzeyinde yapılan çalışmalar ise henüz araştırma aşamasındadır. Genel olarak sınıflandırılırsa;

- Gazlar
- Atom ve Moleküller

Bu çerçevede Hızlı Prototip ve Üretim teknolojileri yapılan sınıflandırmaya göre tanıtılacak ve o uygulamadaki ticari olan ve geliştirme aşamasında olan sistemler detaylı olarak incelenecektir. Hızlı Prototip ve Üretim sistemlerinin çeşitleri incelenirken anlam bütünlüğünün bozulmaması için özellikle halen kullanımda olan ve araştırma aşamasında olan sistemlerin yani sıra geçmişte kullanılmış ve bir takım nedenlerden dolayı artık kullanılmayan sistemlerden de bahsedilecektir. Böylece bir dönem çeşitli uygulama örnekleri görülmüş fakat artık kullanılmayan bu sistemlerin terk edilmesindeki önemli sebepler de araştırılarak ileride yapılacak bir takım çalışmalarda dikkat edilmesi gereken noktalar da belirlenmiş olacaktır.

7.1. Sivi Malzeme Kullanılan Sistemler

7.1.1. Sivi Fotopolimer malzeme kullanılan sistemler

Sivi fotopolimer malzeme kullanılan sistemlerde malzemenin katılaşarak bir şekle girmesi için ısı kullanılmaktadır. Adında da anlaşıldığı gibi ısı yardımıyla üzerinde işlem gerçekleştirilebilen bu fotopolimer malzemelerin katılaşması olayı

foto-kür olarak adlandırılmaktadır. Foto-kür, isigin etkisiyle polimer malzemelerin katilasmasi olarak özetlenmistir [IUPAC, 2002].

Malzeme olarak özellikle akrilik ve epoksi reçinesi gibi fotopolimer malzemeler kullanılmaktadır. Fotopolimer malzemelerin foto-kür metoduyla katilastirilmesi yöntemi kullanılan çeşitli Hizli Prototip ve Üretim sistemleri mevcuttur. Bunlar yöntem farklılıkları bakımından birbirlerinden ayrılarak 6 grupta incelenebilir. Mor ötesi lazerle, mor ötesi lamba ile ve mor ötesi lamba ile birlikte kombine olmuş mürekkep püskürtme yöntemiyle kür etme sistemleri ticari olarak kullanıldıklarından en popüler olanlardır. İncelemede özellikle ticari olarak başarı gösteren sistemler dikkate alınacaktır.

7.1.1.1. Mor ötesi (Ültraviyole) lazerle kür etme sistemi

Fotopolimer malzemeyi katilastirmek için lazer kullanılan bu sistemlerde ultraviyole-mor ötesi lazer tipi kullanılır. Doğal halinde sıvı halde olan fotopolimer malzeme bir tabaka kalınlığında işlem platformunun üzerine yayıldıktan sonra o tabakanın ait olduğu kesit alan üzerinde bilgisayardan gelen komutlara göre lazer konumlandırılarak gezdirilir. Tabakanın lazer isinlarına maruz kalan kısımları lazer isininin vermiş olduğu isinin etkisiyle katilasir. Hangi kesit alanı üzerinde hangi yerlerin katilastirilacagina ait bilgi, 3 boyutlu modeli dilimleyerek belli aralıklarda kesit alanlar oluşturup bu kesit alanlarda istenen tarama sistemine göre lazer tarama yolu çıkarmayı sağlayan özel yazılımlar sayesinde elde edilir. Modelin en alt kesitinden başlayarak en üstteki kesit alanının katilastirilmesine kadar bu işlem kademe kademe devam eder.

Ana fikir olarak bu şekilde özetlenebilecek bu sistem ilk olarak Hizli Prototip ve Üretim Teknolojilerinin fikir babalarından C. Hull tarafından geliştirilmiş ve stereolitografi olarak adlandırılmıştır. Bunun yanında çok ufak tefek farklılıklarla ticari olarak hayata geçmiş veya araştırma safhasında olan bir çok sistem bulunmaktadır. Bu sistemler genelde lazer isini tarama sistemleri ve yeni katman hazırlama zamanı bakımından birbirleri ile farklılık arz etmektedirler. Mor ötesi lazerle kür etme sistemini 3D Systems tarafından geliştirilerek ticari olarak hayata

geçen stereolitografi sistemi ile detayli olarak inceledikten sonra ayri basliklar halinde diger sistemlere de deginilerek farkliliklari belirtilecektir.

Stereolitografi (3DSystems)

1980'lerin baslarinda, Ultra Violet Products, Inc. sirketinden Charles Hull katmanli üretim felsefesi çerçevesinde 3 boyutlu modelden alınan verilere dayanarak fotopolimer malzemeyi kademe kademe katılastırma yöntemiyle bütün bir parçayı otomatik olarak üreten bir sistem geliştirdi. 1986 yılında A.B.D. Patent Ofisinden "Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography" isimli patenti alarak 3DSystems şirketini kurdu ve StereoLithography Apparatus (SLA) Stereolitografi cihazlarını üretmeye başladı [Hull, 1986].

İlk olmasının da etkisiyle 3D Systems firmasının Stereolitografi sistemi Prototip ve Üretim sistemleri arasında en popüler sistemlerden biri durumundadır. Bu yönüyle bir A.B.D. firması olan 3D Systems önderliğinde Stereolitografi sistemlerinin hem dünyadaki Hızlı Prototip ve Üretim teknolojilerinin popülerlik kazanmasına ve hem de bir pazar olusturmasına katkısı olmuştur. Diğer yandan Stereolitografi sistemi için geliştirilen bir çok bilgisayar formatı ve çeşitli bilgisayar programları diğer sistemler için standart kabul edilmiştir.

3D Systems tarafından tasarlanan ilk ticari Hızlı Prototip cihazı olan SLA-1 Kasım 1987'de Detroit'te yapılan AUTOFACT fuarında tanıtılmıştır. İlk SLA-1 cihazı Nisan 1988'de Oregon'daki Precision Castparts Corp. firmasına satılmıştır. 1989'da üretilen SLA-250, SLA-1 cihazına benzer olmakla birlikte reçine kaplama (resine recoating) sistemiyle farklılık arz etmektedir. SLA 5000 daha büyük boyutlarda ve daha hızlı bir ürün olarak 1990 yılında çıkmıştır. SLA 250 cihazının üretim boyut kapasitesi 250X250X250 olmasına karşın SLA 5000'in kapasitesi ise 508X508X584 mm' dir. Daha sonra SLA 7000 isimli ürünün de çıkmasıyla SLA 5000 ile aynı boyutlarda olmasının yanı sıra çok daha yüksek çözünürlüğe ve hassasiyete sahip ürünlerin üretilibilmeleri mümkün hale gelmiştir.

Stereolitografi Prosesi:

Sekil 7.1’de görülen stereolitografi prosesi su sekilde gerçekleşmektedir.

1. Belirli bir miktar sivi fotopolimer malzeme fii içerisine doldurularak platform seviyesi üzerinde bir katman kalınlığında film tabakası oluşturulacak şekilde süpürücü ile sivi fotopolimer malzemenin üzeri düzlenir.

2. Bilgisayardan alınan veriye göre Ültraviyole lazer oluşturulan film tabakanın en st yüzeyine tarama sistemi vasıtasıyla odaklanarak tarama işlemine baslar. Lazerin gezdigi kısımlardaki sivi fotopolimer malzeme kür edilerek katılasır. Lazerin gezmediği ve dokunmadığı bölgeler ise sivi olarak kalır. Böylece oluşturulan katman model üzerindeki ilgili kesit alanın şeklini alır.

3. Daha sonra platformun bağılı bulunduğu asansör bir katman kalınlığı ağı indirilir ve yeni film tabakası oluşturulur. Yeni film tabakası ‘zephyr recoating process’ diye adlandırılan bir prosesle oluşturulur.

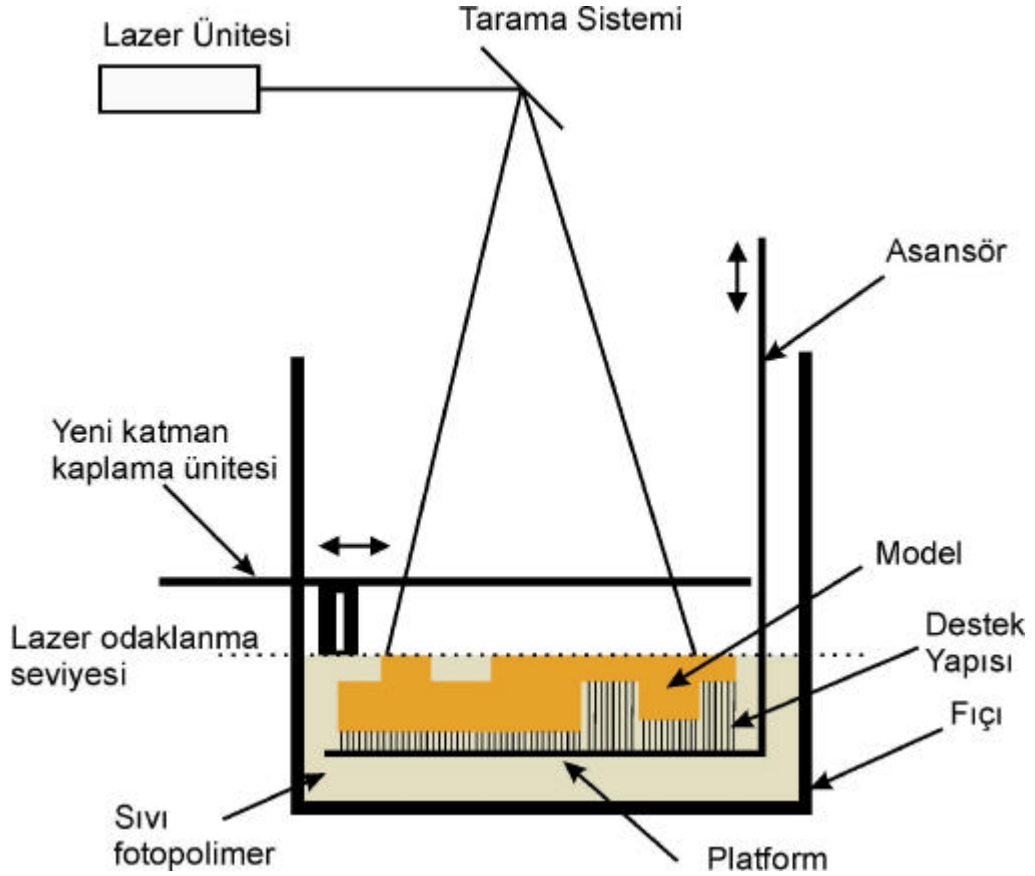
4. Yeni film tabakasının bir katman kalınlığında kaplanması ile yeni katmanın katılastırılması işlemi tekrarlanır.

5. Bu işlem modelin en st seviyesindeki katmanın katılastırılması bitinceye kadar devam eder. Modelde bulunan bütün katmanların katılastırılmasından sonra sivi fotopolimer malzemesi ile dolu fii içerisine daldırılmış durumda bulunan parça platformun asansör vasıtasıyla kaldırılması fiçidan çıkarılır. Katılastırılmış kısmın etrafını çevrelemiş durumda olan lazere maruz kalmamış olan sivi fotopolimer malzemesi, modelin fii dışına çıkarılmasıyla süzölür.

6. Katmanların tek tek lazerle oluşturulması esnasında lazerle katılastırılan yerler işlem esnasında tam olarak katılaşmış, mukavemeti sağlamış durumda değildir. Bundan dolayı modelin bütün katmanlarının oluşturularak parçanın bitirilmesinden sonra son işlem uygulamalarından olan son kür etme (post curing) işlemi gerçekleştirilir. ltraviyole ışığa maruz bırakılarak gerçekleştirilen bu

islemiden sonra tam olarak katılastırılmamış olan kısımların da tam olarak katılaşmasıyla parça gerçek mukavemetini sağlamaktadır.

7. Son kür etme işlemi uygulaması ile katılastırma işlemi tamamlanmış olan parça üzerindeki destek yapıları da elle kırılarak çıkarıldıktan sonra 3 boyutlu modelleme sistemleri ile modellenmiş olan parça gerçek ölçülerinde bir kati model olarak tamamlanmış olmaktadır.



Sekil 7.1 Stereolitografi Prosesi

Çeşitli kullanım amaçlarına cevap verebilmek amacıyla 3D Systems tarafından üretilen stereolitografi cihazlarının farklı özelliklerde çeşitleri bulunmaktadır.

Bunlar Viper Si² SLA, SLA 3500, SLA 5000, SLA 7000 olmak üzere üç çeşittir. Bu sistemlerin teknik özellikleri Tablo 7.1’de gösterilmektedir. Viper Si² SLA 3D Systems firmasının en yeni ürünüdür. Daha önce bu özelliklere yakın SLA 250 isimli bir ürünü bulunmaktaydı. Bunun üzerine yapılan bir takım değişikliklerle

Viper Si² SLA adini aldı. Viper Si² SLA ürününün SLA 250'den ve diğer ürünlerden farkı ise esnek bir üretim çeşitliliğine sahip olmasıdır. Söyle ki, SLA 250 sisteminde sadece belirli çözünürlükte parçalar yapılabilmekteydi, fakat Viper Si² SLA sisteminde standart ve yüksek çözünürlükte parça üretme seçenekleri bulunmaktadır. Standart çözünürlük seçeneği ile yüksek hız ve düşük maliyet elde edilirken, çok küçük boyutlardaki ve çok detaylı parçaların yüksek kalitede ve hassasiyette üretilmesine olanak tanımaktadır [3D Systems, 2002].

Stereolitografi Sistemini Oluşturan Elemanlar ve Sistem Teorisi

a) Lazer Ünitesi ve Tarama Sistemi

Stereolitografi prosesinde sıvı fotopolimeri katılaştırmak için lazer enerjisinden yararlanılır. Stereolitografi prosesinde kullanılan lazerler kati hal lazerlerinden ultraviyole lazerlerdir. Morötesi dalga boyları spektrumunda (315-400nm) çalışan bu lazerlerden He-Cd (Helium-Cadmium, dalga boyu:325nm) lazeri önceki SLA modellerinde kullanılmaktaydı. Su anki kullanılan lazer ise Nd:YVO₄ (Neodymium doped Yttrium Vanadate Crystal, dalga boyu:354.7nm) lazerleridir. Ultraviyole lazerleri yüksek çözünürlüklü isini vasıtasıyla özellikle mikro yapıdaki uygulamalar için idealdir [Elliot, 1995]. Diğer yandan ultraviyole lazerler özellikle kati cisimler tarafından çok iyi bir şekilde emilirler. Normalde morötesi lazer olan bu lazerlerin isini çıplak gözle görülmez fakat fotopolimer malzeme üzerine yansıtıldığı zaman mavi renkte bir görüntü verir.

Diğer yandan lazer isinlerinin istenilen çaplarda yüzeye odaklanabilmesi için çeşitli mercekler de lazer ünitelerine dahildir.

Tablo 7.1 3D Systems firmasının ürettiği SLA sistemlerinin özellikleri

Özellikler	Lazer Tipi	Lazer Dalgı Boyu (nm)	Lazer Gücü (mW)	Kaplama Prosesi	Min.Katman Kalınlığı (mm)	Lazer Isını çapı (mm)	Tarama hızı	Parça üretim boyut kapasitesi (mm)
Viper Si2 SLA	Solid State Nd:YVO ₄	354.7	100	Zephyr prosesi	0.05	0.25 (standart) 0.075 (yüksek çözünürlük)	Veri Yok	250*250*250
SLA 3500	Solid State Nd:YVO ₄	354.7	160	Zephyr prosesi	0.05	0.20-0.30	2.54 m/sec	350*350*400
SLA 5000	Solid State Nd:YVO ₄	354.7	216	Zephyr prosesi	0.05	0.20-0.30	5 m/sec	508*508*584
SLA7000	Solid State Nd:YVO ₄	354.7	800	Zephyr prosesi	0.00254	0.23-0.28 (küçük spot) 0.685-0.838 (büyük spot)	2.54 m/sec (küçük spot) 9.52 m/sec (büyük spot)	508*508*584

Tarama sistemi ise, lazer isinlarini fotopolimer tabakasinin tam üst kismina odaklamak ve bilgisayardan aldigi komutlar çerçevesinde belirli yerleri taramasi için lazeri yönlendirmekte kullanılan ve belirli eksenlerde dönme serbestligi olan birkaç takım aynadan olusan bir ünitedir.

b) Seviye Belirleme Sistemi

Sivi fotopolimer malzemesinin seviyesinin ölçülmesi islemi bir adet lazer ve lazeri algilayan sensör ile gerçekleşmektedir.

Önceki SLA modellerinde sivi fotopolimer malzemenin yüksekliginin ölçülmesinde He-Ne (Helium-Neon) tipi lazerler kullanilmaktaydi. He-Ne lazerleri özellikle ölçme ve tarama gibi uygulamalarda çok kullanım alanina sahiptir. Ultraviyole lazer isini uygulamalarinda da ölçme ve düzenleme gibi islemlerde kullanmak için çok ideal bir lazerdir. He-Ne lazerleri ucuz ve kolay kullanılabilir lazerlerdendir [Elliot, 1995].

Fakat son üretilen SLA modellerinde fotopolimer malzemenin seviyesinin ölçülmesinde diyot lazerler kullanilmaktadır. Fiçinin arka kismina yerlestirilen bir sensör diyot lazerden gelen datayi okuyarak elektronik kumandali olan reçine doldurma girisini kontrol eder.

c) Fotopolimer Malzemeler

Stereolitografi prosesinde kullanılan fotopolimerler iki basit malzemedен oluşmaktadır. Birincisi lazerin emilmesi ile kimyasal reaksiyon sonucu polimerizasyon prosesinin başlamasini saglayan fotoinitiator. Ikincisi ise akrilik veya epoksi monomerlerinden oluşur.

Stereolitografi reçineleri oda sıcakliginda çok yüksek sıcakliklarda dayanima sahiptir. Parça oluşturma sıcakligi genelde 28°C olarak tavsiye edilmektedir. Parçanın isiya uzun süreli maruz kalmasi ile reçine saglamligi tükenir ve polimerizasyon prosesinin kontrolü azalir.

- **Polimerizasyon ve Katılma**

Stereolitografi sivi haldeki polimer malzemenin kati duruma geçmesine dayanmaktadır. Bu polimerizasyon olarak adlandırılır. Stereolitografi prosesinde polimerleşme için gereken enerji ısı enerjisinden sağlandığı için bu proses fotopolimerizasyon olarak adlandırılır. Polimerizasyonun derecesi ve dolayısıyla malzemenin katılmasının seviyesi toplam emilen ısı enerjisine bağlıdır.

Reçinelerin polimerleşmesi yeni bir teknoloji değildir. Ultraviyole mürekkepleri, yüzey kaplama ve baskı devre uygulamalarında 20 yıldan fazladır kullanılmaktadır. Fakat kimyasal ısı (radyasyon) kaynağı olarak lazerin kullanılması ve özellikle üç boyutlu nesnelerin üretilmesi yeni bir teknolojidir.

Polimerin moleküler ağırlığı viskozitesinin malzemenin kati olma noktasına gelinceye kadar artmasına kadar artar. Enerjiye maruz kalan bölgelerin yeterli monomer konsantrasyonu sağlandığında polimerizasyon reaksiyonu giderek azalır ve nihayetinde durur. Epoksi reçinelerin ısı bölgesindeki polimerizasyon reaksiyonu uzun süreli bir periyotta devam eder. Akrilat (acrylate) reçinesi için ise, kimyasal reaksiyon sona erdiğinde hemen kimyasal reaksiyon durur. Sivi fotopolimerin üzerine odaklanan ultraviyole lazer vasıtasıyla bir forma giren kati polimerin bütün ölçüleri lazer isinin isimi ile ve maruz kalan zaman periyodu tarafından kontrol edilir. Uzun süreli maruziyet veya yüksek güçlü lazer, katılaştırılmış bölgenin genişliğini ve yüksekliğini artırır.

Stereolitografi sisteminde kullanılan epoksi reçineleri bölgesel polimerleşme ve dolayısıyla bölgesel katılma için tasarlanmıştır. Böylece lazerin ısılarına maruz kalan bölgelerin haricindeki bölgelerde polimerleşme yaşanmaz. Bu özellik çok yüksek çözünürlükteki ve tamliktaki ürünlerin üretilmesini sağlamaktadır.

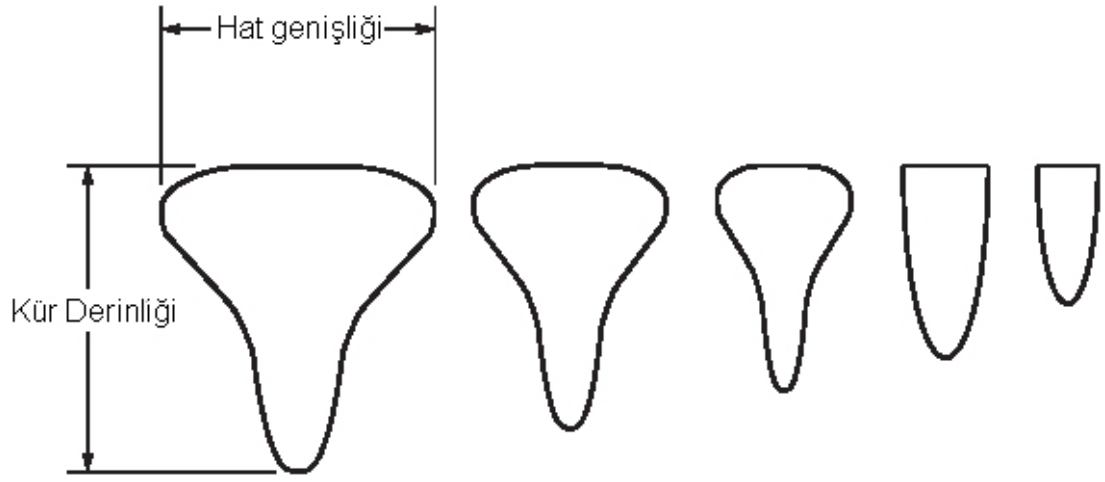
- **Katılmayı Etkileyen Faktörler**

Sıcaklıktaki çok küçük bir değişim viskozitede, reçinenin hacminde ve reçine kür karakteristiginde çok büyük değişikliklere neden olabilir. Çok yüksek sıcaklıklar ve az viskozite seviyi inceltir, bu da dalma esnasında yerleşmeyi ve son işlem

esnasında ise dökülmeyi hızlandırır. Yüksek sıcaklıklar içi bos veya çukurluklara, artmış siskinliklere ve kalıcı gerilimlere de neden olabilir. En iyi sonuçlar seçilmiş reçineler için belirlenmiş sıcaklık aralıklarının kullanılması ile elde edilir.

- **Sivi Malzemenin Lazer Kullanılarak Katılastırması**

Proses esnasında fotopolimer malzemenin üzerine odaklanan ultraviyole lazer isini küçük bir sivi hacmini mermi (bullet) formuna sokarak katılastırır. Buna kür etme işlemi de denir. Hat genişliği ile derinliği arasındaki ilişki Sekil 7.2’de görülmektedir.

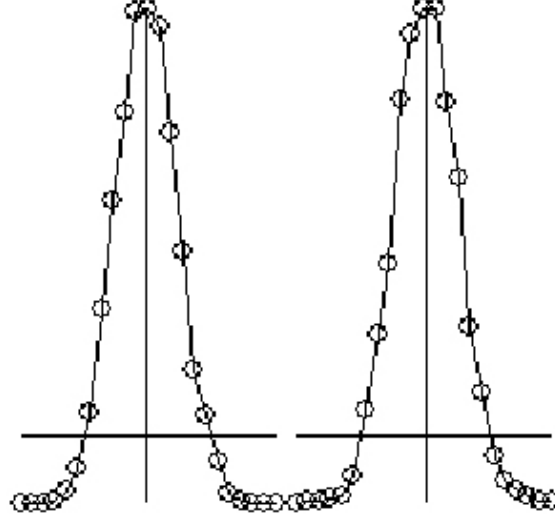


Sekil 7.2 Kür derinliği ve kür genişliği arasındaki ilişki

Lazer isininin siddet profili her noktada farklılık arz eder. En siddetli kısım ise lazer isininin merkezine yakın bölgelerdir. Lazer isini yüzeye çarptığında bir miktar ısı sivi fotopolimer tarafından emilir. Bir kısım ısı ise sivi fotopolimerin alt kısımlarına tasınır. Kür edilmiş reçinenin toplam boyutu sivi reçine içerisine giren lazer enerjisi miktarı ile tanımlanır. Bu da yüzeyin maruz kaldığı lazer enerjisi miktarıdır. Polimerizasyon derecesi emilen ışığın miktarı ile orantili olduğundan emilen lazer ışığının miktarıyla orantili olarak sertleşen reçinenin yüzey alanı yüzeyin alt kısmındaki bölgelerden daha kati olmaktadır.

- **Kür Derinligi**

Kür edilen plastigin kür derinligi maruz kalan ısı kaynagının artması ile artar. Lazer isini kesit alanı düzgün olmadığından dolayı bu maruz kalan lazer isinin genişliği boyunca değişik olmaktadır. Lazer isini kesit alanı Şekil 7.3’de gösterilmektedir.



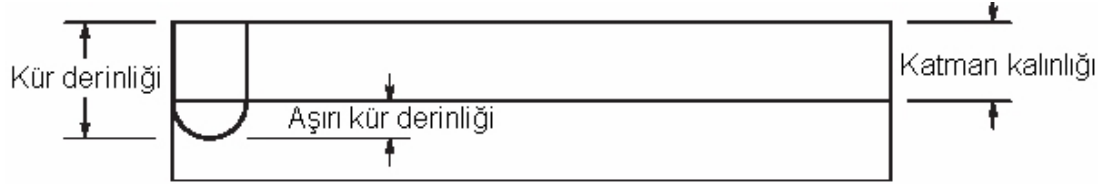
Şekil 7.3 Lazer isini kesit alanı

En büyük enerji lazer isinin merkez kısmında olduğu için en büyük kür derinligi o doğrultuda gerçekleşir. Lazer isinin kenar kısmındaki alanlardaki doğrultuda daha küçük kür derinligi elde edilir.

Stereolitografi’de kür derinligi tanımlanırken iki değer dikkate alınır; katman kalınlığı ve asiri kür (overcure). Bu değerler, kullanıcının belirlediği dilimleme parametrelerine bağlıdır. Asiri kür bir alttaki katmanın içerisinde oluşan kür derinligidir. Sınır ve iç tarama vektör kür derinlikleri katman kalınlığı ve asiri kür miktarının toplamıdır. Doldurma vektörlerinin kür derinlikleri katman kalınlığından bağımsız olarak belirlenir. Deri doldurmaları yukarı veya aşağı bakan yatay yüzeylerin doldurulması için kullanılır. Bunlar katmanları birbirine yapıştırmak için kullanılmazlar.

- **Baglama ve üst üste binme**

Üstteki katmanı bir önceki katmana yapistirmek ve baglamak için kür derinligi katman kalinligindan büyük olmak zorundadir. Bu da üst üste binme veya asiri kür faktörü ile belirlenir. Üst üste binme degeri asiri kür miktaridir. Sekil 7.4’de kür derinligi, asiri kür miktarı ve katman derinligi miktarları görölmektedir.



Sekil 7.4 Asiri kür miktarı

Üstteki katman kür edilirken ultraviyole lazerin isiginin bir alttaki katmana nüfuz etmesiyle iki katman arasında yapisma ve baglanma olur. Bu, alttaki katman ile yeni olusturulmus katman arasında kimyasal bir bagdır. Saglam bir parçanın üretilebilmesi için yeterli miktarda asiri kür derinliginin saglanması ile elde edilebilecek güçlü yapisma ve baglanma gerekmektedir. Fakat çok fazla olan asiri kür miktarı parçada iç gerilmelere ve burulmalara neden olabilir.

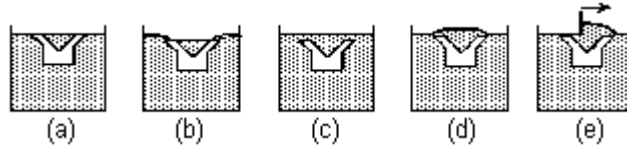
d) Yeni Film Tabakasi Olusturma Ünitesi

Yeni film tabakasi kaplama ünitesi sivi fotopolimer malzemeyi bir önceki katman üzerine ince bir film kalinliginda kaplayici bir bıçak ile bu mekanizmanın katman üzerindeki hareketini saglayan rayli bir taşıyıcı mekanizmadan olusmaktadır.

- **Derin Dalis Prosesi**

Yeni bir katman olusturulmasi için platformun bir miktar daldirilmasiyla parçanın en üst kismina biriken sivi fotopolimerin en üst yüzeyini temizleyerek düzgün bir ince film tabakasinin kalmasını saglayan ve ince ve uç kısmi çok düzgün metal bir bıçaktan ve katman üzerindeki hareketini saglayan mekanizmadan olusmaktadır.

Olusturulmakta olan katmandaki katilastirilmesi gereken bütün yerler tarandiktan sonra parçanın üzerinde bulunduğu platform bir sonraki katmanın olusturulabilmesi için bir katman kalinligi kadar mesafe asagi indirilir. Fakat fotopolimer malzeme sivi oldugu için sadece bir katman kalinligindaki bir daldirma islemi ile parçanın en üst seviyesindeki bütün yerlerin fotopolimer malzemeyle kaplanmasi için yeterli olmayacaktır. Sekil 7.5-a’da olusturulmus katmanın görüntüsü ve Sekil 7.5-b’de sadece bir katman boyu daldirma islemi ile meydana gelen sorun görülmektedir. Yenilenecek film tabakasinin katilasmis katmanın bütün yüzeyine nüfuz etmesi için parça tamamen sivi içerisinde batirilir, Sekil 7.5-c. Daha sonra platform bir miktar yukari kaldirilarak süpürücü vasitasiyla sivi fotopolimerin üst kısmi düzlenerek yeni film tabakasi olusturulur, Sekil 7.5-a,b. Daha sonra olusturulan yeni film tabakasinin en üst yüzeyi lazerin odak seviyesine tekrar kaldirilarak malzemenin sivi olmasindan kaynaklanan çalkalanmanın durgunlasmasi için bir miktar bekledikten sonra yeni katmanın katilastirilmesi islemine tekrar baslanır. Sivi fotopolimer malzemenin yeni katman olusturmak için parçanın üzerini kaplayacak yeni film tabakasinin parçanın bütün üst seviyedeki yüzeylerine nüfuz edebilmesi için yapılan bu isleme derin dalis (deep dip) denilmektedir.



Sekil 7.5 Derin Dalis Prosesi

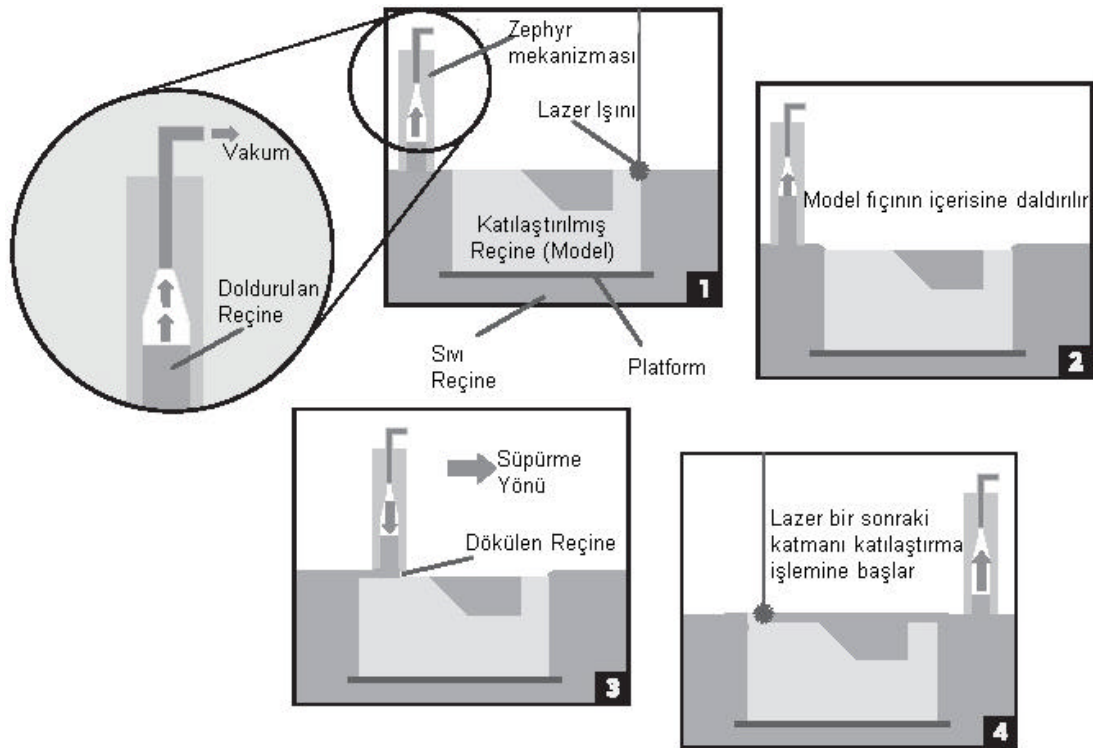
- **Zephyr Prosesi (Zephyr Recoating Process)**

Belirli bir islem üzerinde sürekli çalışmakla elde edilen teknolojik birikim ve tecrübenin etkisiyle her geçen gün var olan teknolojiler sürekli yenilenmektedir. Bunlardan bir tanesi de stereolitografi sisteminde önemli bir süreç olan yeni film tabakasinin olusturulmasi isleminde yasanmaktadır.

Derin dalis prosesi çok uzun bir proses oldugundan dolayı, 3D Systems tarafından yeni film tabakasi olusturulmasi islemini daha kısa zamanda yapan ve

daha performansli bir sistem olan zephyr prosesi gelistirilmis ve 3D Systems'in bütün SLA modellerinde kullanilmasi benimsenmistir.

Biçak içerisinde bulunan bir depo içerisine alçak basınç olusturularak fiçidan bir miktar sivi fotopolimer malzemesi doldurulur. Her katmanin olusturulmasindan sonra asansör vasitasiyla bir katman kalinliginda fiçinin içerisinde daldirilan katilastirilmis model üzerinde rayli bir sistem vasitasiyla hareket ettirilen biçak, içerisinde bulunan sivi fotopolimer malzemeyi modelin üzerine dökerek bir katman kalinliginda bir film tabakasini katilastirilmis olan katman üzerine sermis olur. Çalkalanmanin durgunlasmasi için bir miktar beklendikten sonra malzeme katilastirma islemi tekrar baslanir. Zephyr prosesi Sekil 7.6'da gösterilmektedir.



Sekil 7.6 Zephyr Prosesi

- **Akıllı Süpürme (SmartSweep)**

Daha önceleri yeni bir katmanin olusturulmasi için süpürücü biçak platformun üzerinde boydan boya hareket etmekteydi. Biçak olusturulacak modelin bulunmadigi kismalarda da gezinmekte ve bundan dolayi da model olusturulma zamani artmakta idi. Fakat akilli süpürme prosesi ile biçagin sadece modelin üzerini kaplayacak kadar

bir alanda gezinmesi saglanmış ve böylece model oluşturma zamanı önemli ölçüde azalmıştır.

e) Parça Oluşturma Platformu

Parça oluşturma platformu, parçanın üzerinde oluşturulduğu paslanmaz çelik düzgün bir malzemeden yapılmış ve düzgün aralıklı delik delinmiş bir platform, platformun bilgisayardan alınan verilerle katman kalınlığı kadar aşağı yukarı hareket etmesini sağlayan ve bütün parça bittikten sonra parçanın içerisinde oluşturulduğu fiçiden çıkarılmasını sağlayan bir asansör ve fotopolimer malzemenin içerisinde doldurulduğu ve parçanın içerisinde oluşturulduğu bir fiçiden oluşmaktadır.

f) Son İşlemler

- **Fazla malzemenin boşaltılması**

Stereolitografi sisteminde parçanın üretilmesi basamak basamak en alt katmandan en üst katmana doğru gerçekleştiği için inşa işlemi tamamlandığında parça tamamen sıvı fotopolimer malzemenin içerisinde olmaktadır. Asansörün yardımıyla platform üzerindeki parça yukarı doğru hareket ettirilerek sıvı fotopolimer havuzundan tamamen çıkması sağlanır ve üzerinde bulunan fazlalık sıvı malzemenin akıtılarak boşaltılması sağlanır. Oluşturulmuş malzemenin üst yüzeyinde ve çukur bölgelerde bulunan sıvı malzemenin tamamen boşaltılabilmesi için platformun asansördeki yatağından eğimli bir şekilde bir tarafının dikkatli bir şekilde kaldırılması gerekmektedir.

Malzemenin doğal akıcılığı ile akmayıp yapışkan özelliğinden dolayı yüzeylere yapışmış durumda olan sıvı malzemenin çıkarılması ise birkaç metotla gerçekleştirilebilir. En basiti lifli olmayan ve yüksek bir emis özelliğine sahip olan bir bez yada fırça yardımıyla özellikle gizli ve çukur bölgelerin temizlenmesi sağlanabilir. Diğer yandan, çözücü banyolarda veya içerisinde çözücü sıvı bulunan spreyler vasıtasıyla gerçekleştirilebilir. Çözücü kullanıldıktan sonra su ile hafif bir şekilde parça çalkalanarak hafif basınçlı bir hava ile kurutulur.

- **Desteklerin çıkarılması**

Son kür işleminden önce destek yapılarının asil parçadan mutlaka çıkarılması ve destek yapılarının dokunduğu bölgelerin temizlenerek düzleştirilmesi gerekmektedir.

- **Son kür etme işlemi**

Lazerle ince hatlar halinde katılastırılarak oluşturulan parça tam olarak katılma sağlayamadığından mukavemetini de tam olarak sağlamış değildir. Bu durumda parça üzerindeki artık malzemelerin ve destek yapılarının temizlenmesinden sonra içerisinde morötesi lambanın bulunduğu bir fırın içerisine konularak bir miktar daha kür işlemi gerçekleştirilir.

Parça üzerinde kalan fazla sıvı malzemenin temizlenmeden son kür işleminin yapılması, parçayla birlikte fazla malzemenin de katılmasını doğuracağından dolayı ölçü hatası sorununa neden olacaktır. Aynı şekilde destek yapılarının çıkarılması son kür işleminden sonraya bırakılırsa destek yapılarının tamamen katılarak mukavemetini sağlamış bir parçadan çıkarılması çok zor olur. Modelde ve özellikle ince duvarlı kesimlerde çökme ve kırılmalar görülebilir.

Son kür işleminden en iyi verimi alabilmek için parçanın oluşturulmasından hemen sonra hiç vakit kaybetmeden son kür işleminin uygulanmasıdır. Çünkü parçanın tam katılmamış halde bekletilmesi nem, basınçlı hava, temizleyici çözücüler ve ısı gibi etkenlerden dolayı yıkılmasına neden olabilir. Fakat bazı tür reçinelerin pismemiş haldeki mukavemetini sağlayabilmesi için 30 dk. gibi bir zaman periyodu bekletilmesi gerekmektedir.

- **Uygulanabilecek diğer ikinci işlemler**

Parçanın oluşturulmasından sonra özellikle soy amaçlı üretilen ürünler için güzel sonuç alınabilecek bir işlem olan çeşitli renklere boyanması söz konusu olabilir. Diğer yandan temiz bir yüzey isteniyorsa çeşitli parlatma veya polisaj metotları uygulanabilir. Fakat ölçüsel tamlik veya yüzey sertliği isteniyorsa parça kesinlikle boyanmamalıdır.

Daha güzel yüzey elde edilmek isteniyorsa parlatma polisaj gibi işlemlerin yani sıra olusturulma esnasında son paso miktarı kadar büyük yapılmış parçanın frezelenmesi de söz konusu olabilir. Fakat burada önemli bir konu parçayı tutmak için gerekli gücün fazla olmaması gerektirir. Zira bu model özelliğine göre de değişkenlik gösterir.

Stereolitografi sistemiyle olusturulmuş iki ayrı parçayı birbirine veya kırılmış bir parçayı tekrar yapıştırmak mümkündür. Fakat bunun için birbiriyle örtülecek yüzeylerin pürüzlü olması gerekmektedir. Eğer pürüzlü yüzeyler değilse bir takım el aletleriyle bu yüzeyler pürüzlendirilir. Yüzeylerin pürüzlü olmasının nedeni ise güzel bir yapışmanın elde edilebilmesi içindir. Daha sonra çeşitli epoksilerin veya yapıştırıcıların da kullanılabilmesiyle yapıştırılacak yüzeylerin birbirleriyle örtüştürülmesinin ardından içerisinde ultraviyole lamba bulunan son işlem kür fırınlarında kür edilebilir.

Stereolitografi sistemi ile ilgili çeşitli parametreler

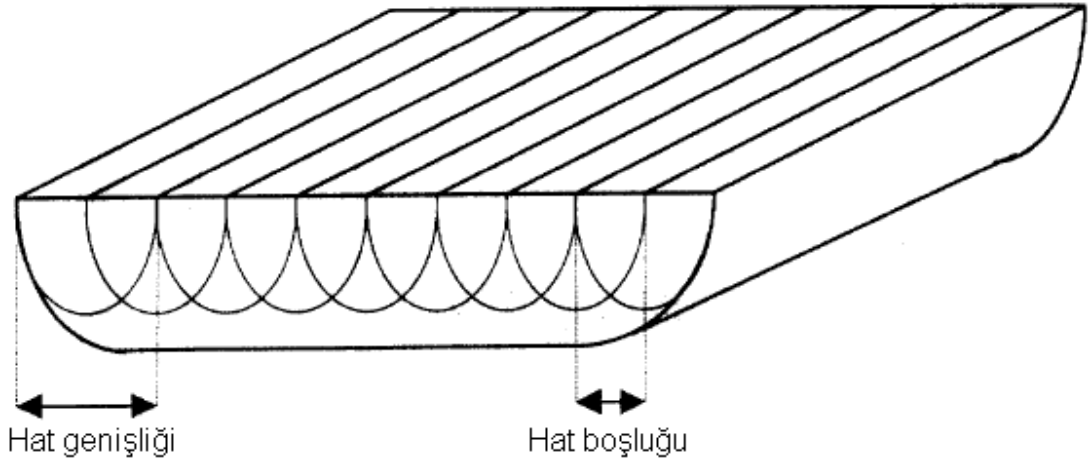
Parça oluşturma limitleri

- Olusturulan parça karmaşıklığı hiçbir zaman BDT modelinde elde edilen seviyeyi geçemez
- Yüksek çözünürlük gereken detaylar kaybolabilir
- BDT programından girdi olarak alınan modelin toleransları lazere, hareketli aynalara, optiklere ve kullanılan reçine tipine bağlıdır.
- Bazı bölgelerde destek yapısı kullanımı zorunludur. Bu da daha önce değinilen bir çok nedenden dolayı istenmeyen bir zorunluluktur (*bkz. Bölüm 5.2.4.3-c*).
- Kullanılan reçine özellikleri, kür prosesi ve son kür prosesi olusturulacak plastik malzemenin özelliklerini belirler.
- Olusturulacak modelin ölçüleri fişinin boyutları ile ilişkilidir. Daha büyük boyuttaki parçaların üretilmesi için birkaç parçaya bölünmesi gerekmektedir.
- Parçalar platforma mutlaka sabitlenmelidir. Platformdan bağımsız olarak üretilemez.

- Dikey ve yukari dogru bakan yüzeylerde asagi dogru bakan yüzeylere nazaran daha düzgün deri (yüzey) elde edilir.
- Dikey çözünürlüğü katman kalinligina, yatay çözünürlüğü ise hat kalinligina baglidir. Dolayisiyla olusturulacak parçanın en küçük detayi da bu parametrelerle sinirlidir.

g) Insa Sitilleri

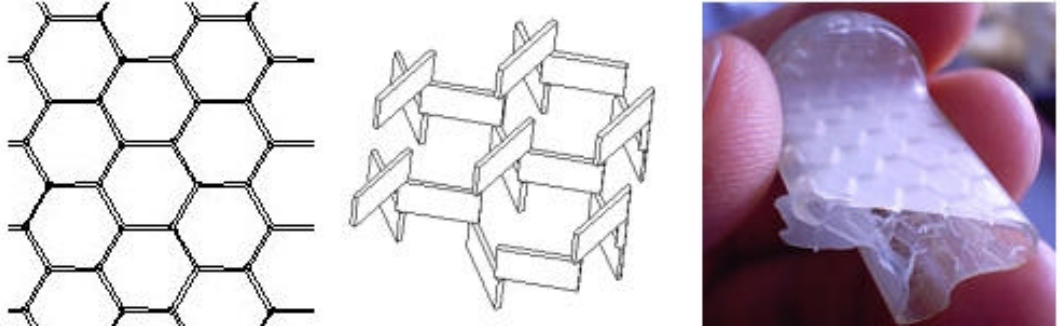
ACES inşa sitili, olusturulmakta olan katmanın ilgili kesit alanındaki bütün yerlerin lazerle taranarak katilastirmasini saglayan bir inşa sitilidir. Bu katilastirma esnasinda iki tarama arasindaki hat boslugu, hat (kür) genisliginin yarisi kadardir. Bu bosluk bütün katilastirilan reçinelerin ayni ultraviyole etkisini almasi içindir. Bu tür inşa sitili sadece polimerlesme ile çekme payi miktarı fazla olmayan epoksi reçineleri için kullanılabilir. Aksi halde üretilen parçada çarpilmalar görülebilir. Düşük bozulma özelligine sahip malzemelerin yüksek hassasiyetteki parçaların yapilmasinda kullanilmasi için ACES inşa sitili tarama zamaninin çok olmasina ragmen en iyi inşa sitilidir [Pham and Gault, 1998]. Sekil 7.7’de ACES inşa sitilinin örnek gösterimli görölmektedir.



Sekil 7.7 ACES Tipi Insa Sitili

QUICKCAST inşa sitili, genelde prototipin hassas kalıp işlemleri için örnek model olarak üretilmesi gerektiği durumlarda kullanılır. Diğer inşa sitillerinde (özellikle ACES sitilinde) parça hiçbir boşluk bırakılmadan olusturulmaktadır. Böyle üretilen bir parçanın hassas kalıp işlemlerinde örnek olarak kullanilmasi, pisirme

esnasında modelin dış kısmına doğru çok fazla genleşme yaşanacağı için seramik kabuk kırılır. Fakat QUICKCAST inşa sitili parçanın ilk olarak sadece belirli bir kalınlıkta dış konturunu oluşturur daha sonra iç kısmı genelde boş kalacak şekilde ağ örür [Pham and Gault, 1998]. Neredeyse içi boş olarak ve normal parçanın olması gereken kütle için yaklaşık %95 oranında üretilen böyle bir parça hassas kalıp işlemlerinde örnek model olarak kullanıldığında pisme esnasında seramik kabuğa herhangi bir baskı yapmadan iç tarafa doğru çöker. Ek olarak, işlem sonucunda çok az miktarda kül oluşur [Rosochowski and Matuszak, 2000]. Prototipin büyük boyutlarda olduğu düşünüldüğünde ise, azaltılan %95 oranındaki malzeme kullanımı da göz ardı edilemeyecek kadar önemli bir kazanımdır. QUICKCAST inşa sitili Şekil 7.8’de görülmektedir.



Şekil 7.8 QuickCast İnşa Site

Dış konturu yapılan parçanın iç kısmına örülen şekil QUICKCAST v.1.0’de eşkenar üçgenlerden QUICKCAST v.1.1’de kare yapılardan oluşmaktaydı. Fakat QUICKCAST 2.0 inşa sitilinin geliştirilmesi ile daha fazla performans sağlanan altıgen yapıya iç örgülerin yapılabilmesi sağlandı. Bu örgüler bal peteği yapısını çağrıştırmaktadır. Bu özellikle reçinenin işleminden sonra dökülebilmesi için modelin dış alt yüzüne açılan delikler ve geçitlerle birlikte içeride kalan reçinenin kolayca boşaltılmasını sağlamaktadır.

İnşa sitilinin özelliğinden dolayı bu sitille oluşturulan modellerin içleri boş olduğu için parça oluşturulduğunda içeri kısmında reçine dolu durumda olmaktadır. Eğer bu işlemi hesaplayarak modelin alt yüzüne bilgisayar üzerinde küçük delikler açılmalıdır. Böylece platformun fiçinin içerisinden çıkarılmasıyla model içerisinde bulunan sıvı malzeme alttaki açılan deliklerden fiçinin içerisine dökülecektir. Fakat

bilgisayar modelin üzerinde malzeme akma deligi delinmemiş veya belirtilmemiş ise içerideki sıvı malzeme herhangi bir yerden dökülemeyecektir. O zaman küçük bir matkap veya delici bir alet ile küçük bir delik delinerek içerideki sıvı boşaltılır.

Bunlar haricinde EXACT, FAST ve TOOLING inşa siteleri de vardır. EXACT inşa sitesi, parçanın inşa zamanını dikkate almadan çok yüksek kalitede prototip üretimini sağlar. Özellikle EXACT inşa sitesinin geliştirilmesi ile yüksek kalitede ve ölçüsel tamlik için tercih edilen ACES yerine kullanılmaya başlamıştır. FAST inşa sitesi çok kısa inşa zamanı için parçanın kalitesini ikinci plana atarak hızlı bir şekilde prototipin üretilmesini sağlayan bir inşa sitesidir. TOOLING inşa sitesi ise mümkün olan en iyi katman çözünürlüğünde prototipin üretilbildiği bir sitesidir. Özellikle modelden kalıp üreten uygulamalar için tercih edilir.

Çekme Payı Miktarı Telafisi

Polimerizasyon işlemi malzeme yoğunluğunun artmasına neden olduğu için parça hacminde azalma görülür. Katılma sonrası oluşan çekilmeyi telafi etmek için parçayı belirli bir ölçüye genişletmek gerekmektedir. Büyütmenin miktarı kullanıcı tarafından sağlanan çekme telafisi faktörüne göre belirlenir. Bu da kullanılan lazerin gücüne, yoğunluğuna ve tarama hızına, inşa sitesine ve özellikle kullanılan malzemenin karakteristik özelliklerine göre değişiklik arz eder.

Polimerin çekilmesi lazerle katılması esnasında toplam çekilmenin yaklaşık %50-70'ini oluşturur. Geri kalan çekilme ise son kür etme işlemi esnasında gerçekleşir [Lee, 1999].

Diğer Stereolitografi Sistemleri

Bir başka Amerikan firması olan Aaroflex, Inc., stereolitografi prosesinin kullanıldığı bir Hızlı Prototip ve Üretim sistemi üretmektedir. Solid Imager adıyla üretilen bu cihazlarda kullanılan lazerler cihaz modeline göre farklılık göstermektedir. Helium Cadmium, Solid State ve Argon İyon lazer türlerinden oluşan bu cihazlar çeşitli boyutlarda parça üretim kapasitesine ve çok çeşitli fotopolimer malzemesi kullanım özelliğine sahiptir [Aaroflex, 2000].

Bir alman kurulusu olan F&S Stereolithographietechnik GmbH, 150 mW gücünde kati hal lazeri kullanarak stereolitografi prosesinin gerçekleştirildiği bir cihaz üretmektedir [Fockeleundschwarze, 2002].

Bir alman firmasi olan Electro Optical Systems (EOS) GmbH, Stereos adında geliştirip ürettiği stereolitografi cihazini patent haklariyla 1997 yılında 3D Systems'e sattı [EOS GmbH, 2001].

Fransız Laser 3D firmasi ise stereolitografi sisteminden çok daha hızlı fakat aynı yöntemi kullanan bir sistem geliştirmiştir. Stereophotolithography adı verilen bu sistemin hızlı olmasının nedeni lazerin çok güçlü olmasından kaynaklanmaktadır. Normalde diğer stereolitografi sistemleri 100-800 mW arasındaki lazer güçlerine sahip iken Laser 3D sisteminde kullanılan lazer gücü 1W'tir.

Bir başka stereolitografi cihazı Russian Academy of Science tarafından geliştirilen bir cihazdır [RASILIT, 2002].

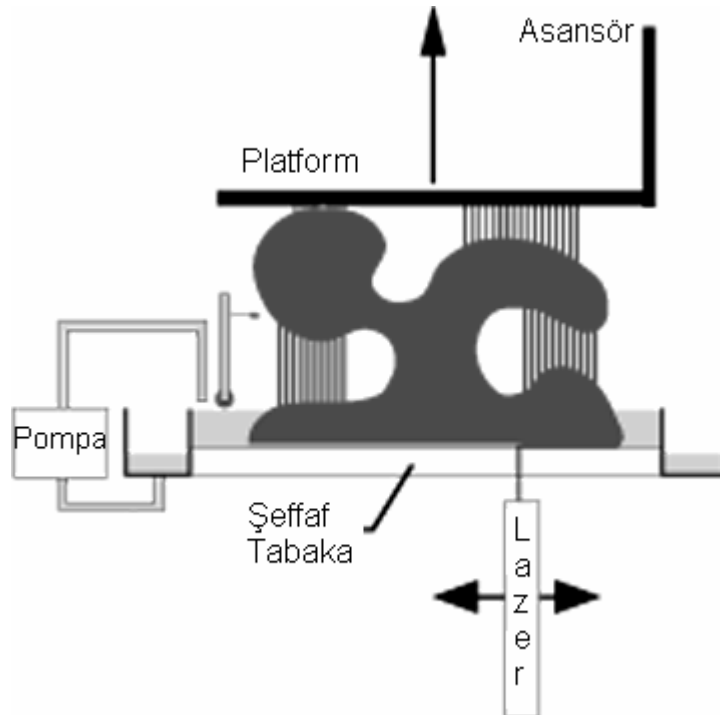
Japonya'daki fotolitografi sistemlerine bakıldığında yine stereolitografi sistemlerine çok benzer bir çok sistem görülmektedir. Mitsubishi tarafından geliştirilen ve Computer Modeling and Engineering Technology tarafından ticari hayata sunulan ve Solid Object Ultra-Violet Laser Plotting (SOUP) adı verilen stereolitografi sistemi bunlardan birisidir [Pacheco J.M., 1993]. 2000 yılında yine benzer bir teknolojiye (Soliform) sahip olan Teijin Seiki firmasi ile birleserek yeni ürün çeşidini sunmuştur. Yeni ürüne Rapid Meister ismi verilerek iki farklı seçenekte üretilmektedir.

1990 yılında Japonya'nın en büyük kauçuk plastik firmasi Japan Synthetic Rubber (JSR)'in kurduğu D-MEC (Design Model Engineering Center) ile ortaklaşa çalışan Sony'nin beraber geliştirdiği ve Solid Creation System adını verdikleri cihaz da diğer bir stereolitografi sistemidir [Brown and Beaman, 1997].

1987 yılında finansmanın yarısını devletten sağlayan yerel bir sensör üreticisi Meiko, bir stereolitografi sistemi geliştirmek için çalışmalara başladı ve 1991 yılında

ilk makinasini üretti. Yine bir baska Japon firmasi olan Ushio ise, Unirapid adi verdigi stereolitografi sistemini ticarilestirmistir.

Simdiye kadar incelenen stereolitografi sistemlerinden biraz farkli bir mantikla çalisan farkli stereolitografi sistemleri mevcuttur. Bunlardan birincisi, bir Japon firmasi olan Denken Engineering'in gelistirdigi ve Solid Laser Plotter ismini verdigi stereolitografi cihazı ile digerlerinde oldugu gibi parçanın olusturulmasina en alt kismindan degil de en üst kismindan baslanir. Yani yeni katmanlar yukari dogru siralanmasi gerekirken parça olusturuldukça asagi dogru siralanmaktadır. Böylece digerlerinde en son parçanın üst kısmi tamamlanirken bu sistemde en son tabaka parçanın yönlendirilmis sekline göre en alt kısmi olmaktadır [Weiss, 1997]. Sekil 7.9'daki sekilde görüldüğü gibi, parça her islemden sonra bir katman kalinligi yükseltlen platforma destek yapilari ile üst kismindan tutturulur. Diger bir deyişle ilk önce destek yapilari olusturulmus olan parça, destek yapilarindan üst kisimdaki platforma tutturulmus olur.



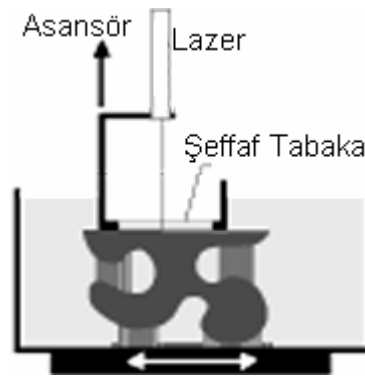
Sekil 7.9 Farkli Bir Stereolitografi Prosesi [Weiss, 1997]

Bir katmanın katılastirilmasindan sonra asansör yardimiyla yukari kaldirilan parçanın alt kısmi ile seffaf tabaka arasindaki kalan bosluga bir pompa vasitasiyla

reçine malzemesi doldurulur. Tekrar bir katman kalınlığında film tabakası oluşturan kadar mesafe kalıncaya kadar reçinenin içerisinde daldırılan parça alt kısımdan gelen lazer ışınlarına maruz bırakılarak katılastırma işlemi tekrar başlanır. Parçanın en alt kısmındaki tabakanın katılastırılmasına kadar bu işlem devam eder.

Benzer bir sistem yine bir Japon firması olan Mitsui Ship Building tarafından geliştirilmiş ve sisteme Computer-Operated Laser Active Modeling Machine ismi verilmiştir [Pacheco J.M., 1993].

Diğer yandan daha farklı bir stereolitografi sistemini de Japonya Nagoya Üniversitesi'nden Professor Koji Ikuta geliştirmiştir. Mikrolithography adını verdiği bu sistem sayesinde çok küçük ölçekteki parçaların üretilmesi mümkün hale gelmiştir. Şekil 7.10'da gösterilen proses normal stereolitografi sistemine çok benzemekle beraber farklılık katman kalınlığının ayarlanmasında görülmektedir. Tamamen sıvı fotopolimer içerisinde daldırılmış olan parçanın yeni oluşturulacak katmanın kalınlığı bir katman kalınlığı boş kalacak şekilde bir şeffaf tabaka ile ayarlanır. Bu sistemle istenilen kalınlıkta katman kalınlığı elde edilebildiğinden ve proses esnasında katılma işlemine maruz kalan sıvı malzemenin duragan ve sıkışmış bir hacimde olması çok küçük detaydaki ve küçük boyuttaki parçaların üretilmesine imkan tanımaktadır [Weiss, 1997].



Şekil 7.10 Mikrolitografi Prosesi [Weiss, 1997]

Uygulama Alanları

- Kavram model üretimi
- Tasarım iyileştirmesi için plastik prototip üretimi

- Form, uygunluk ve fonksiyonellik testi için prototip üretimi
- Sınırlı sayıda parça üretimi (Hızlı üretim-Rapid Manufacturing)
- Hassas kalıp işlemi için örnek model
- Hızlı kalıp elemanı (insert) üretimi (Hızlı kalıp-Rapid Tooling)
- Döküm ve kalıp için örnek (master) model
- Yüksek hassasiyetlere sahip çok detaylı prototip ve parça üretimi
- Medikal uygulamalar (Cerrahi müdahale örnek modeli, implant ve protez üretimi)

Stereolitografi Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları

Avantajları

- Stereolitografi teknolojisi, diğer Hızlı Prototip ve Üretim teknolojileri arasında en iyi yüzey kalitesi veren, en iyi parça oluşturma çözünürlüğüne sahip ve en iyi ölçüsel doğruluğu sağlayan sistemlerden biridir.
- Herhangi bir geometrik sınırlama olmadan tasarımı yapılabilen bütün modeller üretilebilir.
- Geleneksel imalat yöntemleri kullanılarak yapılamayacak parçaların tek bir operasyonla üretilmesine imkan verir.
- Epoksi reçinelerinin çekilme oranı diğer malzemelere göre çok azdır.

Dezavantajları

- Stereolitografi sisteminde kullanılan malzemenin doğal hali sıvı olduğu için proses biraz karmaşıktır ve üretilen parçanın tam katılığı ve sağlamlığı yakalayabilmesi için ikinci bir kür işleminden geçirilmesi gerekmektedir.
- Destek yapısı kullanılması zorunluluğu vardır. Destek yapısı kısmi incelenirken bununla ilgili bahsedilen dezavantajlar geçerlidir.
- Her ne kadar Hızlı Prototip ve Üretim sistemleri arasında en iyi hassasiyeti sağlasa bile malzeme boşaltmalı bir sisteme nazaran daha az hassasiyette parça üretimi sağlar.
- Son işlemler için –özellikle temizlikte- laboratuvar tecrübesi ister.
- İşletme giderleri yüksektir. Malzemesi özel konsantrasyona sahip bir malzeme olduğu için malzemesi pahalıdır. Diğer yandan lazerin belli bir ömrü

oldugundan degistirilmesi gerekmekte, bu da kullanima göre belli bir zaman sonra ek bir lazer maliyeti anlamina gelmektedir.

- Her ne kadar çok çeşitli özelliklere sahip reçine malzemeleri kullanılabilse bile fotopolimer malzeme disinda baska malzeme kullanilamaz.
- Olusturulan parçalar isiya, neme ve kimyasal maddelere karsi duyarlidir.

7.1.1.2. Maskeli Foto Kür sistemi

Bu sistemde malzeme olarak yine fotopolimer malzeme kullanilmasina ragmen enerji kaynagi olarak ultraviyole lazer yerine ultraviyole lamba kullanilir. Bu proste bütin bir katman ayni anda katilastirilir. Maskeli Foto Kür sistemleri de stereolitografi sistemi olarak adlandirilabilirler. Sonuçta aradaki fark enerji kaynaginın ve ona uygun olarak proses seklinin farklıligından kaynaklanmaktadır. Fakat diger stereolitografi sistemlerinden ayri tutmak için bunlar yine Maskeli Foto Kür sistemleri olarak veya incelenen sistemler ticari isimleri ile adlandirilacaktır.

Lambalar ve Lazerler

Lamba ile lazer arasındaki en gözle görülür fark lambanın her tarafa isigini yayması, lazer ise tek bir doğrultuda isigini toplayabilmesi ve yönlendirebilmesidir. Böylece lazer isini enerjinin tek bir doğrultuda ve dolayısı ile temas yüzeyinde tek bir noktada toplayabildiği için etkisi de büyük olmaktadır. Lazerli Hızlı Prototip ve Üretim sistemlerde lazerin enerjisini tek doğrultuda toplayabilmesi özelliğinden faydalanılarak katmanlı üretim teknolojilerinde lazer malzemeyi katılastırmak için malzemenin her yerinde nokta nokta, çizgi çizgi tarama yapar. Böylece çok karmaşık alanlara sahip parçalar bile lazerin istenilen alanlara yönlendirilebilmesi, istenilen noktaya odaklanabilmesinden dolayı Hızlı Prototip ve Üretim sistemlerinde kullanımı oldukça yaygındır. Fakat aynı şey lamba için geçerli değildir. Lambadan çıkan ısınlar her yöne yayıldığı için lamba isigini tek bir doğrultuda veya noktada toplamak imkansızdır.

Hızlı Prototip ve Üretim sistemleri için, yapılması gereken şey katılaşması gereken yerlere lamba enerjisinin ılastırılmasıdır. Bunu sağlamak için de lamba enerjisinin bir noktada odaklanmaya çalışılması ile değil de katılastırılması gereken

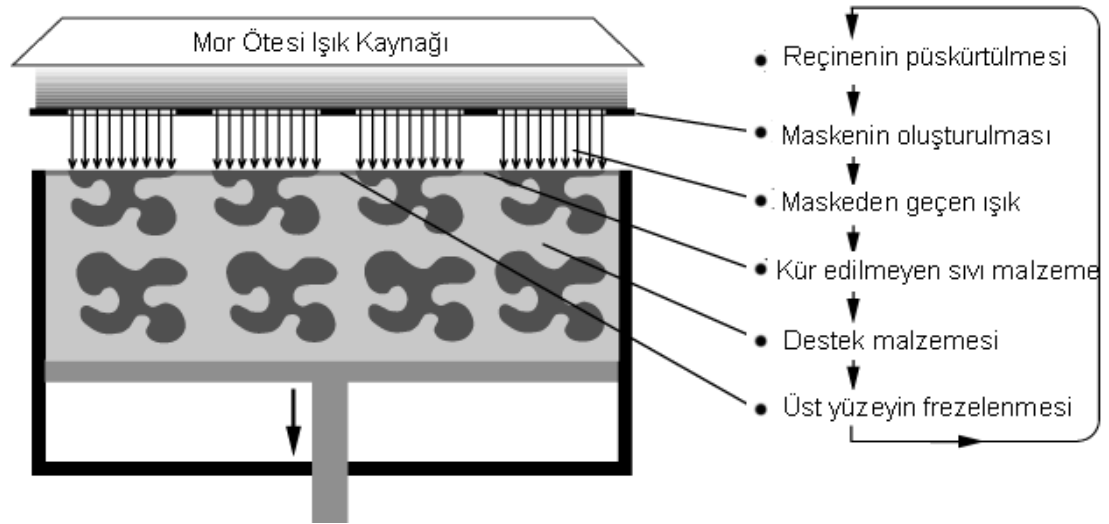
kisimlerin lamba enerjisine maruz bırakılması hedeflenmiştir. Bunun gerçekleştirilmesi için de maskeleme yöntemi kullanılmıştır. Böylece sadece maskeden geçebilen lamba ışınları malzeme yüzeyine etki edebilir. Maske, katılaştırılması gereken kesit alanın şekline sahip lamba ışınlarını diğer tarafa geçirebilecek nitelikte olmalıdır. Yani katılaştırılması gerekli kesit alanın şekline sahip başka bir tabaka arkasından yansıtılan ultraviyole lamba enerjisi sadece kesit alanı etkisi altında bırakacak ve dolayısıyla katılaştırılma işlemi sadece o kısımlarda gerçekleşecektir. Böylece diğer stereolitografi sisteminden farklı olarak bir katmanın katılaştırılması için her noktaya tek tek nüfuz ederek katılaştırması yerine bütün katman aynı anda katılaştırılmaktadır. Bu da katman yüzeyinin daha düzgün yapıda olmasını sağlamaktadır. Lazerli sistemlerde ise tarama yöntemiyle katılaştırma işlemi gerçekleştirildiğinden her hat arasında farklı zamanlarda katılma gerçekleştiği için tam bir yoğunluk elde edilememektedir [Pham and Gault, 1998]. Parçanın tam yoğunluğu için ikinci bir kür işlemi veya fırınlama işleminden geçmesi gerekmektedir. Diğer yandan, tepe ve çukurluklar oluşmakta ve bu da özellikle yatay yüzeylerde yüzey pürüzlülüğünü artırmaktadır.

Lazer ve nozul kullanılan sistemlerde bir katmanın katılaştırılması için verilen parametreler çerçevesinde her noktaya ayrı ayrı işlem yapmak gerekmektedir. Bunların yüzeye temas eden noktadaki ölçüleri (lazer için lazer ışını çapı, nozul için nozul delik çapı) çözünürlüğü ve hizi önemli ölçüde etkileyecektir. Çözünürlüğün artırılması için ölçüler küçültülür. Fakat bu işlem parça oluşturma hızını azaltacak ve enerji kullanımı artacaktır. Bu da, aynı kaliteyi sağlayacak orijinal hizi sağlamak için enerjinin daha da artırılması anlamına gelmektedir. Sonuçta bu tip sistemlerde hizi ve kaliteyi artırmak için yapılan her türlü tekrarlama maliyetin daha da artmasına mal olmaktadır.

Maskeli Foto Kür Sistemleri ile Çoklu Parça İmalatı

Bütün katmanın tek bir seferde kür edilmesinden dolayı aynı anda birden çok parça üretimi de diğer sistemlere nazaran çok kısa sürede gerçekleşmektedir. Diğer sistemlerde her parçanın kesit alanı için lazerin tek tek katılaştırma işlemi yapması gerekmektedir. Böylece aynı model olsa dahi iki parça oluşturulacağı zaman yeni katmanın oluşturulması ve yeni işlemin başlaması için geçen sürenin haricinde parça

olusturma zamani iki katina çıkmaktadır. Daha fazla parçanın üretimi düşünüldüğünde parça sayısına göre artis göstereceginden zaman da o oranda artacaktır. Fakat Sekil 7.11’de görüldüğü gibi herhangi bir ek zaman geçmesine gerek kalmadan bütün parçaların ilgili katmanlarının katilastirilmesi islemi tek parçaya ait katilastirma islemiyle aynı zamanda gerçekleşmektedir.



Sekil 7.11. Maskeli Foto Kür Sistemi, Çoklu Parça İnsasi [Weiss, 1997]

Maskeli kür isleminin gerçekleştiği birkaç farklı sistem geliştirilmiştir. Enerji kaynağı olarak mor ötesi lamba kullanılan sistemlerde, en önemli farklılık maske tiplerinde görülmektedir.

Malzeme

Maskeli kür sistemlerinde kullanılan malzeme türü ise stereolitografi sistemlerinde olduğu gibi ısıyla kür edilebilen sıvı fotopolimer malzemelerdir.

Kati Zemin Kür Etme (Solid Ground Curing-Cubital)

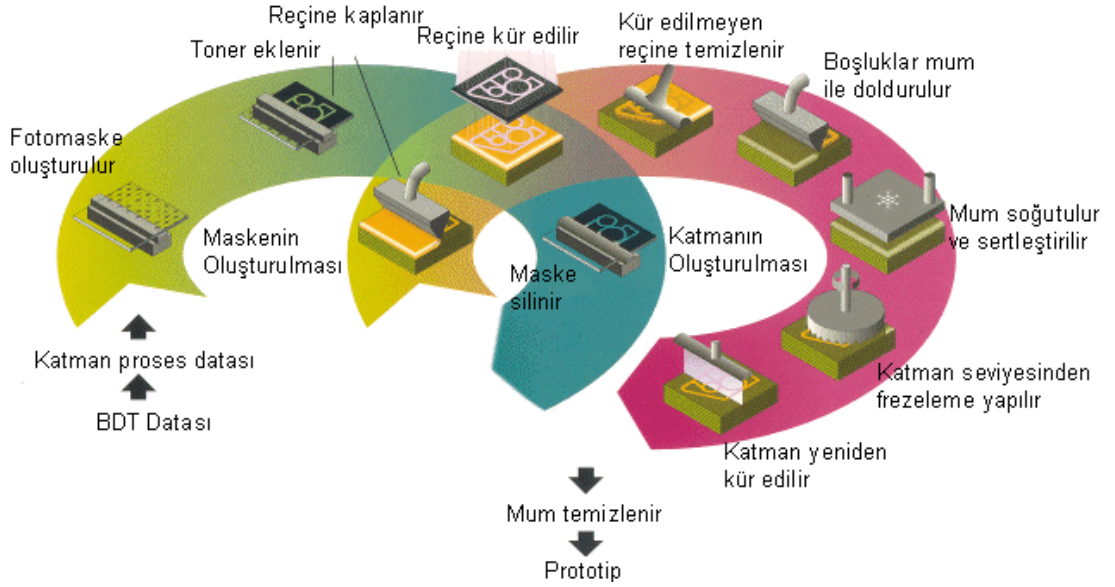
1987 yılında Amerikan-İsrail ortaklığında kurulmuş olan Cubital şirketinin geliştirmiş olduğu kati zemin kür etme işlemi maskeli kür sistemlerine öncülük etmiştir. İlk makinasını A.B.D.'ye 1991 yılında satan Cubital 1999-2000 yıllarında üretimini durdurmuştur. Bunun en büyük nedeni ise teknolojisinin çok zahmetli olması ve teknolojisini yenileyememesi olarak gösterilebilir.

Kati Zemin Kür Etme prosesi

1. İlk olarak proses sivi fotopolimerin platform üzerine püskürtmesi ile ilk katmanın yapimina baslanır.
2. Elektrostatik yükleme sistemi ile toner kaplama prosesi ile elde edilen maske parça üzerinde konumlandırılır.
3. Daha sonra parça mor ötesi lambaya maruz bırakılır. İlgili katmanın şeklini alan maskede seffaf kalan alanlardan ısı enerjisi geçer. Katman üzerindeki diğer kısımlara ise herhangi bir ısı enerjisi etki etmez. Isığın nüfuz ettiği sivi fotopolimer ısı enerjisinin etkisiyle katılaşır.
4. Isığın nüfuz etmediği katılaşmayan sivi fotopolimer malzemesi vakum yoluyla temizlenerek asıl parça için destek yapısı görevi görecek olan düşük erime sıcaklığına sahip ve su ile çözülebilen destek malzemesi parça üzerine püskürtülerek doldurulur.
5. Destek yapısı olarak mum malzemesinin kullanıldığı destek malzemesi doldurulması işlemi esnasında boş yerlerin doldurulmasının sağlanmasının yanı sıra asıl parçayı oluşturan katılaşmış malzemenin de üzeri mum malzemesi ile doldurulmuş olur. Bu destek yapısı malzemesinin bir frezeleme işlemiyle katman yüksekliğinde temizlenmesi gerçekleştirilir.
6. Frezelenen katmanın bir kez daha mor ötesi ısıyla kür edilmesiyle bir katman için gerekli bütün işlemler gerçekleştirilerek bir katmanın üretimi tamamlanmış olur.
7. Bu işlem bütün katmanlar bitinceye kadar en alt katmandan başlayarak en üst katmana kadar devam eder. Fakat her işlemden sonra parçanın oluşturulduğu platform bit katman kalınlığı kadar aşağı daldırılır ve maske yeni katmanı katılastırmak için yeni katman bilgisine göre şekillendirilir.

8. Parçanın üretimi tamamlandıktan sonra destek yapısı malzemesi su ile çözünerek temizlenir.

Sekil 7.11’de proses basamakları gösterilen sistem daha ayrıntılı olarak Sekil 7.12’de de görülebilir.



Sekil 7.12. Kati Zemin Kûr Etme Sistemi (Cubital, SGC)

Maskenin Elde Edilmesi

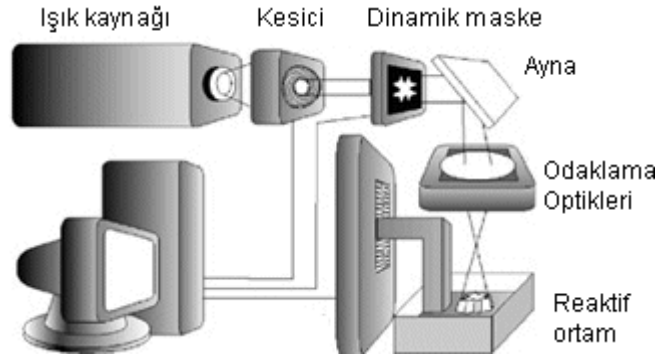
Her katmanın kesit alanı birbirinden farklı olacağından dolayı maskenin her katman için ilgili kesit alanına uygun olarak yeniden hazırlanması gerekmektedir. Dinamik maske olarak adlandırılan bu maske fotokopi ve lazerli yazıcı sistemlerindeki maskeleme sistemlerine benzemektedir. Elektrostatik yükleme tekniği ile cam plaka üzerine toner kaplanır. Toner kaplanan kısımlar model üzerindeki ilgili katmanın kesit alanının dışında kalan kısımlardır. Böylece kesit alan içerisinde kalan alan saydam kalacak ve ısı enerjisini karşı tarafa ileterek sıvı fotopolimerin katılmasına sebep olacaktır. Tonerin kaplandığı kısımlar ise ışıyı geçirmediğinden o kısmın hizasında kalan malzeme katılaşmayacaktır.

Diger Maskeli Kür Sistemleri

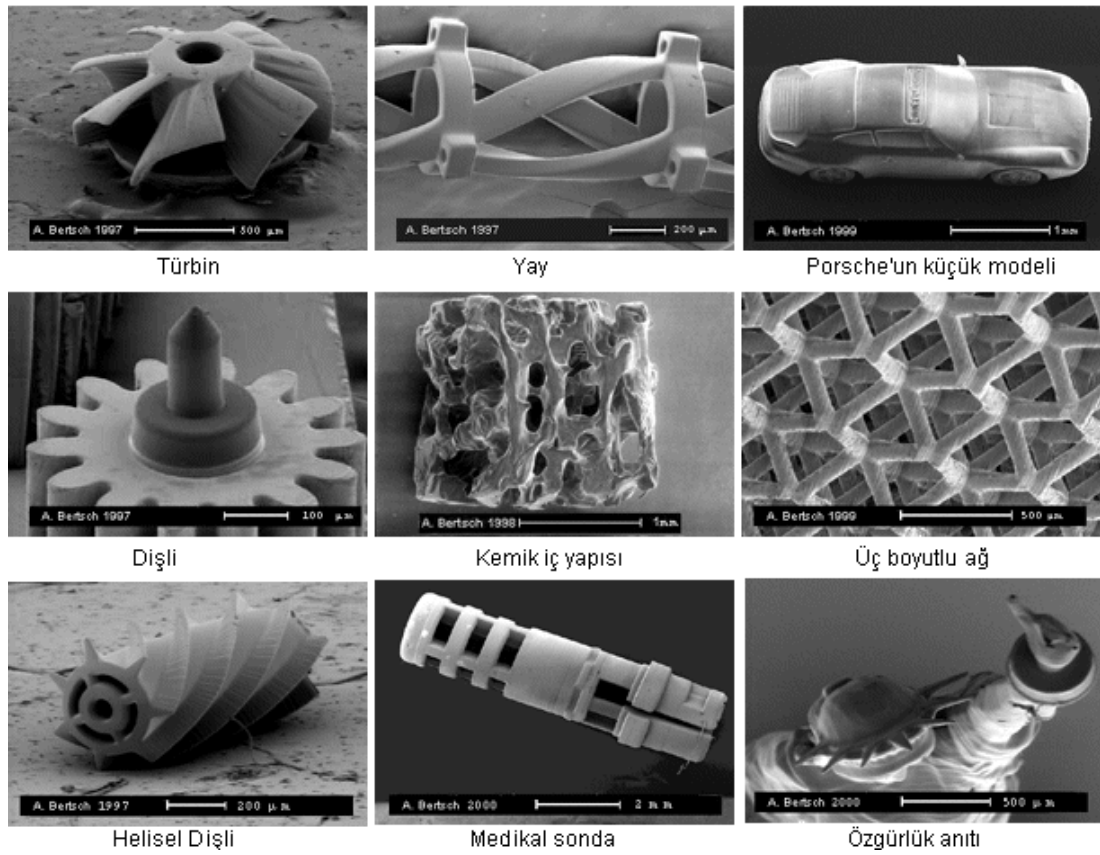
1985 yılında kurulan ve bir Amerikan firması olan Light Sculpting, Tasarım Kontrollü Otomatik İmalat (Design Controlled Automated Fabrication) adlı sistemi geliştirerek ilk makinasını 1991 yılında üretmiştir. Bu sistem Cubital tarafından üretilen Solider'e nazaran daha hantal bir yapıya sahiptir. Çünkü oluşturulan maske Solider'deki gibi elektrostatik toner kaplama yöntemi ile değil proses başlamadan önce seffaf bir film üzerine lazerli bir yazıcı yardımıyla maske oluşturulur. Her kesit alan için oluşturulan bu maskeler üst üste istiflenir. Proses esnasında hazır olan maskeler tek tek operasyon alanına alınarak işlem gerçekleştirilir. Böylece her katman için yeni bir maske oluşturulur [Fudim, 2002]. En küçük katman kalınlığı 0.025 mm olan sistemde XY yönündeki çözünürlük ise 0.02-0.04 mm'dir.

Diger bir maskeli kür sistemi ise çok küçük boyutlarda parça üretimi gerçekleştirilebilen ve Microstereolithography olarak adlandırılan bir sistemdir. Bu sistem İsviçre'de bulunan Ecole Polytechnique Federale De Lausanne enstitüsünün (Swiss Federal Institute of Technology) Microtechnique bölümü ile ProForm, RPC ve CTI/KTI firmalarının ortaklaşa gerçekleştirdikleri bir proje ürünüdür. Solider prosesinden farklı olarak ısı enerjisinin kaynaktan gelmesi için ayna kullanılmakta ve maske aynadan önce konumlandırılmaktadır. Dolayısıyla öncelikle kesit alanın görüntüsü maskeden geçtikten sonra aynada belirlemekte ve oradan da ters bir görüntü elde edilerek sıvı reçine malzemesi doldurulmuş bir reaktif ortam içine odaklanmaktadır. Proses ve sistem üzerinde bulunan elemanlar Şekil 7.13'te görülmektedir. Microstereolithography sisteminde parçalar 1 µm'lik katman kalınlığı çözünürlüğünde üretilebilmektedir.

Özellikle çok küçük boyuttaki parçaların üretilebilmesinden dolayı Mikro Elektro Mekanik Sistemleri'nin (MEMS) üretilebilmelerine olanak sağlamaktadır. Şekil 7.14'te Microstereolithography sistemi ile yapılmış olan oldukça küçük ölçekteki yapılar görülmektedir.



Sekil 7.13. Microstereolithography Prosesi



Sekil 7.14 Mikrostereolithography Sistemi ile Yapılmış Olan Modellerin Resimleri [Bertsch, 2002]

Mikro ölçekte parça üretimi sağlayan diğer bir maskeli kür teknolojisi ise bir Alman firması olan Microtec'in ürettiği RMPD (Rapid Micro Product Development) teknolojisidir. Microtec'in birkaç farklı ürün çeşiti bulunmaktadır. RMPD'nin maskeli kür sisteminin kullanıldığı sistem RMPD-MASK olarak adlandırılmaktadır. RMPD-MASK sistemi ile, microstereolithography sisteminde olduğu gibi 1 μm

katman kalınlığı çözünürlüğünde çok küçük boyutlarda parça üretimi gerçekleştirilebilmektedir [Reinhardt, 2000].

Dinamik maske tipleri

Likit Kristal Görüntü (Liquid Crystal Display)

Mikro stereolitografi sisteminin 1995 yılındaki ilk uygulamasında dinamik maske için LCD kullanılmıştır. LCD'ler elektrik akımıyla kontrol edilen piksellerden oluşmuştur. Her piksel hücresi moleküllerin yönleri elektrik akımıyla değiştirilerek hem geçirgen hem de opak olabilmektedir. Işık isinlerinin önüne konan LCD'ler sayesinde düzenli bir isin geçişi gerçekleştirilebilir. Bilgisayardan aldığı bilgiye göre saydam hale gelen pikseller üzerine gelen isini karşı tarafa geçirir, moleküllerin yönünü değiştirmesiyle opak özelliğe sahip olan pikseller kendileri üzerine gelen isini diğer tarafa geçirmeyeceklerdir [Bertsch *et al.*, 2001].

Dijital Mikro Ayna Aracı (Digital Micromirror Device - DMD)

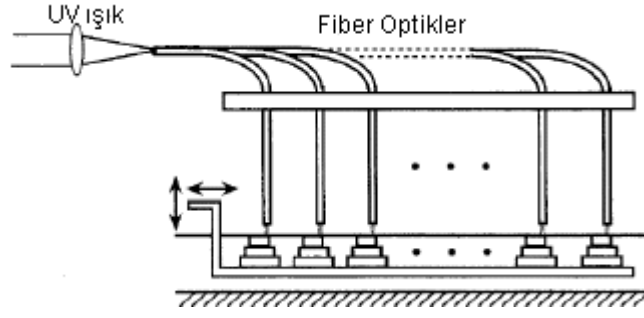
Texas Instruments tarafından geliştirilen bu DMD aracı ise bir dizi küçük yapıdaki ve elektrostatik olarak yönlendirilen aynalardan oluşmaktadır. Bu araç ışık salteri olarak bir mikro elektro mekanik araçtır [Hornbeck, 1997]. İçinde bulundurduğu aynaların belli bir bellek çerçevesinde çeşitli açılar yapmasıyla cihaz, bir taraftaki ışık kaynağının diğer tarafa geçebileceği saydam bir özellik sergileyebiliyor. Aynı şekilde belirli açılarla aynalar opak özelliği de sağlayabiliyor. Mikro stereolitografi sisteminin son denemelerinde dinamik maske olarak bu cihaz kullanılmıştır [Bertsch *et al.*, 2001].

Mikro Ölçekli Parçaların Fotopolimer Malzeme ile Üretilmesi

Hızlı Prototip ve Üretim teknolojilerinin en önemli iyileştirme çalışmaları ölçeksel tamamlığı yakalamaktır. Bu da yatay ve dikey yöndeki çözünürlüğün artırılmasını gerektirmektedir. Fakat çözünürlüğün artırılmasında bir takım sınırlamalar bulunmaktadır. Fotopolimerin katılastırılmasında enerji kaynağı olarak lazerlerin kullanıldığı stereolitografi sistemlerine bakıldığında yatay yöndeki çözünürlük tarama sisteminin çözünürlüğüne ve lazer isininin çapına bağlıdır.

Normal parça üretiminde lazer isini çapı 0.2 -0.8 mm arasında olabilirken çok hassas parça üretiminin yapılabilirdiği 3D Systems firmasının Viper Si2 SLA cihazında lazer isini çapı 0.075 mm'ye kadar inmektedir. Dolayısıyla lazer isini çapından daha küçük parçaların veya detayların yapılabilmesi imkansız olmaktadır. Dikey çözünürlük ise asiri kür işleminden ve hem de asiri kür katsayısının çok fazla artacağı sebebiyle katman kalınlığının daha fazla düşürülememesinden dolayı oluşan hatalardan dolayı fazla yüksek olamamaktadır. Bunlarda yapılabilecek iyileştirmeler hem yatay ve dikey için tarama stillerinin optimize edilerek yeni tarama stilleri geliştirilmesi, sadece dikey yöndeki çözünürlük için ise daha sağlam fotopolimer malzemelerin kullanılmasıyla asiri kür işlemiyle ölçüsel olarak fazla etkilenmemesi olabilir [Bertsch *et al.*, 2000].

Diger yandan yatay çözünürlüğün iyileştirilmesi için lazer isininin reçine yüzeyine temas ettiği noktadaki büyüklüğünün birkaç mikron büyüklüğüne küçültülerek her noktada aynı büyüklüğü sağlamak olabilir. Fakat tek bir lazer ve tek noktadan yansıtma ve tarama gerçekleştirdiği için lazer isini ile yüzey arasındaki farklı yollardaki uzaklıklar birbirlerinden farklı olacaktır. Dolayısıyla her noktada aynı büyüklükte ve aynı etkide bir lazer isini elde etmek imkansız olacaktır. Diger yandan bu mesafenin sürekli olarak ölçülerek aynı uzaklıkta tutulması gerekmektedir. Bu sorunu önlemek için lazerin bir ayna ile değil de X-Y yönünde hareket kabiliyeti olan bir tabla üzerine oturtulmuş fiber optik ile yönlendirilebilir. Böylece fiber optik ile yönlendirilen lazer, katılastırılacak noktanın XY düzlemindeki koordinatlarına hareket ederek katılastırma işlemini en kısa mesafeden gerçekleştirmiş olacaktır. Böylece lazer isininin her noktadaki etkisi aynı derecede olacaktır. Hatta birden fazla fiber optik kullanımı aynı anda birden çok parçanın oluşturulmasının da sağlanabileceği belirtilmiştir [Ikuta *et al.*, 1996]. Fakat burada teklif edilen enerji kaynağı morötesi lambadır. Teklif edilen bu proses Şekil 7.15'te gösterilmektedir.



Sekil 7.15 Çoklu Mikro Stereolitografi Parça Üretimi

Ancak fiber optik kullanımı odak noktası büyüklüğünün kontrolünü de zorlastiracagi için bu yöntem de pek basarili olamayacaktır.

Buna karsilik olarak, maskeli kür sistemlerinde ise yatay çözünürlüğü etkileyen unsur ise olusturulan maskenin çözünürlüğüdür. Dikey yöndeki çözünürlük ise kimyasal ortamın emilimiyle ilgilidir. Diğer yönden mikro stereolitografi sisteminde parçanın olusturulduğu ortam reaktif bir ortam olduğundan dolayı herhangi bir destek yapısının olusturulmasına gerek kalmamaktadır [Bertsch *et al.*, 2001]. Bu da mikro yapıdaki parçaların basarili bir şekilde olusturulmalarını saglayan önemli kazanımlardan birisidir.

Maskeli kür sisteminin sagladigi mikro yapıdaki parçaların üretilebilmesi ile bu teknolojiler, basta MEMs (Micro-Electro-Mechanics Systems) teknolojilerinde olmak üzere, uzay araci, elektronik, optik ve sensör, biyoteknoloji, genetik ve medikal teknolojilerinde basarili örnekler gerçeklestirmektedirler ve bu yönde çok önemli gelişmeler devam edecektir.

Maskeli Kür Sisteminin Avantaj ve Dezavantajlari

Avantajlari

- Sistem oldukça hızlıdır
- Çoklu parça üretiminde fazladan süreye ihtiyaç duymaz (katman sayısı artmadıkça)

- Mikro ölçekte gerçekleştirilen prosesler sayesinde çok fazla detaylı parçaların veya çok küçük ölçüdeki parçaların çok yüksek çözünürlükteki üretilibilmeleri mümkündür.
- Destek yapısı olusturması için ön hazırlığa (bilgisayarda destek yapısı ekleme) gerek yoktur. Su ile çözülebilen mum malzemesi kullanıldığı için destek yapısının çıkarılması için gereken işlem zor değildir.
- Olusturulan parçalar tam yoğunluktadır.

Dezavantajları

- Bir katmanın olusturulması için yapılan işlem çok fazladır.
- Her katmanın sonunda frezeleme gerektirir (Soligen- Cubital).
- Olusturulan parçalar tam yoğunlukta kati oldukları için hassas kalıp işlemlerinde kullanılamazlar.

7.1.1.3. İki Adet Lazerle Eszamanlı Kür Etme Sistemi

Daha önce de Swainson ve Schwerzel tarafından yürütölmüs olan üç boyutlu nesneyi üretmek için birden çok lazerin kullanılması [Swainson, 1977; Schwerzel, 1984] ile ilgili yaklaşım su anda üç farklı şekilde yapılan çalışmalarla devam etmektedir.

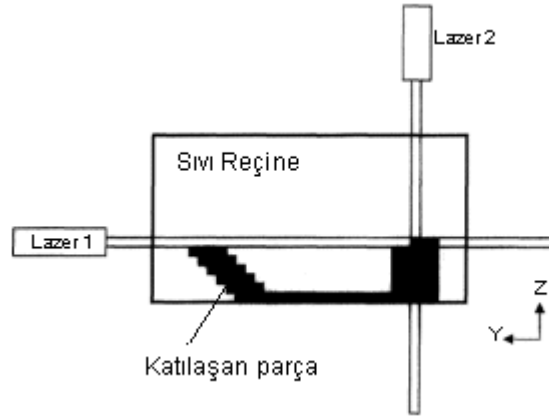
Birincisi, Amerikan firması olan Quadtec tarafından yürütölen Holografik Katılastırma'dır (Holographic Interference Solidification). Bu prosesin amacı üç boyutlu nesneyi katman katman üretmenin yerine bütün bir yüzeyi bir bütün olarak olusturmaktır [Pham and Gault, 1998]. Reçine üzerinde olusturulan hologramla görüntölenmiş olan yüzeylerin kimyasal bir solüsyon sonucu bir bütün olarak katılaşması amaçlanmıştır [Streich, 1996]. Bu sistem henüz araştırma aşamasındadır.

İkincisi, yine bir Amerikan firması olan Batelle Development Corporation'ın üzerinde çalışmış olduğu Isın Kesisim Katılastırma'dır (Beam Interference Solidification). Bu sistemdeki mantık ise birbirine belirli derecede (90 derece denenmekte) yerleştirilmiş ve frekansları birbirinden farklı iki lazerin kesiştiği noktadaki fotopolimer malzemenin katılaşmasıdır [Streich, 1996]. Birinci lazer fotopolimerin polimerleşmesi için uyarır ve belli bir düzeyde durgunluk olusturur,

ikinci lazer ise polimerizasyonu tamamlayarak katılaşmayı sağlar [Mukerjee, 1997; Pham and Gault, 1998]. Proses Sekil 7.16’da görülmektedir.

Bu sistem çok eski bir düşünce olmasına ragmen bir takım sınırlamalardan dolayı henüz araştırma aşamasındadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir [Pham and Gault, 1998];

- Daha önce katılaştırılmış bölgeler daha sonrakilere gölge olabilirler.
- Lazer ışınları derinlere gittikçe şiddeti azalacağı için ışığın yeteri kadar emilme problemi vardır.
- Lazerin sıvı malzeme içerisindeki kırınımından dolayı lazerleri kesişim problemi vardır.



Sekil 7.16 Isin Kesişim Katılastırma [Pham and Gault, 1998]

Üçüncüsü ise, yine bir amerikan kuruluşu olan Formigraphics Engine Corp. tarafından üzerinde çalışılan Fotokimyasal İşlemdir (Photochemical Machining). Tarihi 1960’lara dayanan bu sistem üzerinde Formigraphics’in yanı sıra ve Battele’de çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Fakat şu an sadece Formigraphics bu sistem üzerindeki çalışmalarını sürdürmektedir. Fotokimyasal işleme sisteminde de iki tane birbirleriyle kesişen lazer kullanılır. Bir lazer X-Y düzleminde hareket ederken diğer lazer Y-Z düzleminde hareket eder. Isin Kesişim Katılastırmaya proses şekliyle çok benzeyen Fotokimyasal İşleme prosesinde farklı frekanslara sahip iki lazerin kombinasyonu ile katılma gerçekleştiği için katman tekniğine gerek yoktur. X,Y,Z koordinatlarında herhangi bir noktada katılastırma işlemi gerçekleştirilebilir. Bu proses de henüz araştırma aşamasındadır.

İki Adet Lazerle Eszamanlı Kür Etme Proseslerinin Değerlendirilmesi

Yazara göre incelenen bu üç ayrı prosesten gelecekte Serbest Form Kati İmalatı'nda önemli bir yeri olması beklenen sistem holografik katılastırmadır. Diğer sistemlerde lazer adedinin artırılmasından başka herhangi bir gelişme görülmemektedir. Fakat iki farklı frekanstaki lazerin kullanılması sonucu ancak iki lazerin kesismesindeki noktada katılastırma gerçekleşeceği için katılastırmanın nerede gerçekleşeceği daha iyi tanımlanabilir. Fakat böyle bir durumda da geometrik sınırlamalar söz konusu olmaktadır. Nitekim lazerler birbirlerine 90 derece yerleştirildikleri için kesim noktalarına ulaşmaya kadar her ikisinin de herhangi bir engelle karşılaşmaması gerekmektedir. Bundan dolayı sınırlı geometrik yapıdaki modellerin yapılabilmesine imkan tanınmış olacaktır. Fakat böyle bir sonuç Serbest Form Kati İmalatı gereklerini tam olarak destekleyemediği için Hızlı Prototip ve Üretim teknolojileri için yetersiz kalacaktır. Bu nedenle iki lazerin kullanılması pozitif yönde bir gelişme değil negatif yönde bir gelişme doğuracaktır. Fakat lazer teknolojilerinde olabilecek bir yenilik sayesinde böyle bir uygulama mümkün olabilir fakat su anki mevcut bir lazer kullanılan stereolitografi sistemlerinden fazla bir farklılığı olmayacaktır.

Holografik katılastırma sisteminde ise kavram tamamen değişmektedir. Burada malzemenin nokta nokta katılastırılmasından ziyade yüzeyin bir bütün olarak katılastırılması söz konusudur. Bu nedenle katılasacak kısımların hepsi bir anda katılasacağı iç kısımda katılasacak herhangi bir alan kalmayacak. Su anda bu sistemin de diğerlerine benzer sınırlamaları olmasına rağmen bu sorunlar giderildiğinde yüzeylerin aynı anda katılaşması söz konusu olduğundan dolayı Hızlı Prototip ve Üretim teknolojilerindeki su anki mevcut sınırlamalar ve istenmeyen durumlar ortadan kalkmış olacaktır. En basitinden katman mantığı kullanılmadığından dolayı yüzeylerde merdiven yapısı etkisi görülmeyecek, parça oluşumu yüzeyin geometrisine uygun olarak devam edecektir. Diğer yandan bütün bir yüzeyin birden katılaşması maskeli kür etme sistemlerinde olduğu gibi daha kati ve yoğun parçaların üretilmesine imkan tanıyacaktır. Bu yönüyle bakıldığında bu sistem başarıldığında Serbest Form Kati İmalatı'nda yeni bir anlayış gelişecek, yeni bir devir açılacaktır.

7.1.1.4. DMD (Digital Micromirror Device) Araciyla Görünür Isıkla Kür Etme Sistemi

Direk Foto Sekillendirme (Direct Photo Shaping)

Direk foto sekillendirme de mantık itibariyle Maske Foto Kür etme işlemine çok benzemektedir. Maskeli kür sistemlerinde isık kaynagi olarak mor ötesi isık kullanilir. Direk foto sekillendirme prosesinde ise görünür isık kullanılmaktadır. SRI International (A.B.D.) tarafından geliştirilen bu yöntemin prosesi su sekilde islemektedir;

1. Platform bir asansör yardimiyla bir katman kalinligi asagi dogru daldirilir.
2. Daha sonra stereolitografi prosesindeki doktor bıçak (doctor blade) sistemine benzeyen bir sistemle bir kademe kalinliginda çamur halindeki malzeme yayilarak üzeri düzlenir.
3. Bir DMD cihazı vasitasiyla bilgisayardan aldigi veriler islenerek maske olusturulur. Olusturulan maskeye göre isigi karsiya geçiren kısımlarda belli bir zaman sonra katilasma gerçekleşir. Diger yerler ise katilasmamis bir sekilde kalir. Bir sonraki katman için destek yapısı görevi görür.
4. Bu işlemlerin bütün katmanlar bitinceye kadar tekrarlanmasindan sonra parça platformdan alinarak katilasmamis olan destek malzemesi temizlenir.

Dinamik maske olarak DMD cihazı kullanılmaktadır. İçerisinde bulunan 500.000 adet mini aynayı saniyenin 1/1000'i kadar hızlı bir şekilde hareket ederek ilgili kesit alanın negatif kısımlarını opak, pozitif kısımlarını da saydam özellik verecek şekilde yönlendirir. Böylece saydam özellikte olan kısımlar üzerine yansıyan ışınlar karşı tarafa geçerken opak özellik taşıyan kısımlara yansıyan ışınlar karşı tarafa geçemeyeceklerdir.

7.1.1.5. UV Lamba İle Kombine Ink-Jet Tekniğiyle Kür Etme Sistemi (Melez)

Bu sistem iki teknolojiyi kapsamaktadır. Birincisi Hızlı Prototip ve Üretim teknolojilerine üç boyutlu yazıcı denmesine sebep olan mürekkep püskürtmeli (ink-jet) yazıcı tekniğini çağırstıran ve mürekkep yerine sıvı polimer malzemesinin püskürtüldüğü teknolojidir. İkincisi ise özellikle maskeli kür sistemlerinde incelenen ve fotopolimer malzemeyi katılaştırmak için gereken enerjinin UV (mor ötesi) lambadan karşılandığı teknolojiden oluşmaktadır.

Bu teknolojinin uygulandığı ve ticari olarak faaliyet gösteren sadece bir tane sistem kasımıza çıkmaktadır.

Objet Üç Boyutlu Yazıcı (Objet 3D Printer)

Bir İsrail firması olan Objet Geometries'in geliştirmiş olduğu teknoloji 2001 yılına kadar Objet Quadra olarak adlandırılıyordu. 2001 yılından itibaren bu teknoloji PolyJet olarak adlandırılmaya başladı. Diğer yandan Mor ötesi lamba Maskeli Foto Kür sistemini geliştiren Cubital firmasının 1987'den beri elde ettiği bütün patentleri de almıştır [Objet, 2002].

PolyJet teknolojisi nozuldan ink-jet mantığıyla püskürtülen fotopolimer malzemesinin mor ötesi lamba ile kür edilmesini sağlamaktadır. En önemli dikkate alınması gereken özellikleri katman kalınlığı ve çözünürlüktür [Grimm, 2002]. Katman kalınlığı 0.02 mm ve çözünürlüğü ise 0.03-0.04 mm dir. Sistemde 1536 adet nozul bulunmaktadır. Bunlardan bir kısmı fotopolimer malzeme için bir kısmı ise destek yapısı malzemesi için kullanılmaktadır [Objet, 2002].

PolyJet Prosesi

- STL datanın bilgisayarda 0.020 mm kalınlığında dilimlere bölünmesiyle ilk katmanın oluşturulması işlemine başlanır.

- 1536 adet nozul bir uçtan bir uca hareket ederek asil modeli oluşturan fotopolimer malzemesi ilgili kesit alandaki gerekli yerlere doldurulması ile eşzamanlı olarak boş kalan yerler destek yapısı malzemesinin püskürtüldüğü nozullardan destek yapısı malzemesi püskürtülür.
- Daha sonra katmanın bütünü mor ötesi lamba ile kür edilir.
- Kür işlemi tamamlandığında platform bir katman kalınlığı kadar aşağı indirilir ve bir sonraki katmanın oluşturulması işlemine tekrar başlanır.
- Model bütün katmanların oluşturulması ile bittikten sonra destek yapısını oluşturan malzeme hafif basınçlı bir su ile rahatlıkla çıkarılır.
- Eğer gerek varsa (çok pürüzsüz bir yüzey isteniyorsa) çeşitli yüzey operasyonları uygulanabilir, boyanabilir veya diğer ikinci operasyonlar uygulanabilir.

Malzeme

Polyjet teknolojisinde kullanılan malzeme, akrilik bazlı fotopolimer malzemelerdir. Fullcure M (Model) ve Fullcure S (support-destek) olarak ticarileşen malzemelerin her ikisi de mor ötesi lamba ile kür edilebilir niteliktedir [Objet, 2002].

Destek Yapısı

Polyjet teknolojisinde SLA prosesinde olduğu gibi destek yapısına ihtiyaç vardır. Fakat Polyjet teknolojisinde SLA prosesindeki gibi bir destek yapısından daha farklı bir sistem mevcuttur. İlk olarak, Polyjet teknolojisinde destek yapısı su ile çözülebilen bir malzeme ile gerçekleştirilir. İkinci olarak, destek yapısının oluşturulması için ek bir işleme gerek yoktur.

Son işlemler

Parça oluşturma işlemi bittikten sonra destek yapısı hafif basınçlı bir su ile rahatlıkla çıkarılabilir. Model malzemesinin karakteristik özellikleri bu işlem için

dayanikli olmasini saglasa bile çok küçük ve ince özellikteki yapılar bu işlemde zarar görebilirler [Grimm, 2002]. Bunun haricinde destek yapısının çıkarılmasında hiçbir zorluk bulunmamaktadır.

Diğer yandan Polyjet ile üretilen parçalar eğer form, uygunluk ve fonksiyonel test için kullanılacak ise gerekli görüldüğü takdirde çeşitli yüzey işlemleri (kumlama, polisaj) uygulanabilir.

Uygulama alanları

- Kavram model üretimi
- Tasarım iyileştirmesi için plastik prototip üretimi
- Form, uygunluk ve fonksiyonellik testi için prototip üretimi
- Döküm ve kalıp için örnek model üretimi
- Yüksek hassasiyete sahip parça üretimi

PolyJet Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları

Avantajları

- Çok ince katman kalınlığından dolayı özellikle dikey çözünürlüğü diğerlerine göre daha iyidir.
- Çok fazla son işlem operasyonu yoktur. Sadece destek yapısının çıkarılması için hafif basınçlı su kullanılır. Gerektilğinde ise bazı hafif yüzey işlemleri kullanılabilir.
- Herhangi bir geometrik sınırlama olmaksızın her türlü parça üretilebilir.
- İşletme giderleri düşüktür.
- Çok fazla laboratuvar tecrübesine gerek yoktur.
- Kullanımı çok kolay ve pratiktir.

Dezavantajları

- Olusturulan parçalar ısıya, neme ve kimyasal maddelere karşı duyarlıdır.
- Sadece fotopolimer malzemelerin kullanımı ile sınırlıdır.
- Küçük parça üretim kapasitesine sahiptir.
- Çoklu parça üretimi için uygun değildir.

- İşlem hızı yavaştır.

7.1.2. Elektrik İleten Sivi (Elektrolit)

7.1.2.1. Elektrokimyasal Üretim (Electroplating) (Electrochemical Fabrication - EFAB)

Elektrokimyasal üretim Defence Advanced Research Projects Agency tarafından finanse edilen ve Güney California Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümü tarafından geliştirilen bir teknolojidir. Su anda MEMGen Corp. tarafından ticari olarak sunulan sistem özellikle Mikro Teknoloji'ye yönelik olarak Mikro Elektro Mekanik sistemlerin üretilmesini hedeflemektedir.

Kullanılan malzeme akımla kaplama (electroplating) yöntemi ile ilgili kesit alanda doldurulması gerekli olan yerlere doldurulmaktadır. Yine maskeleme yöntemi kullanılmaktadır. Oluşturulacak kesit alanın şeklini alan maske vasıtasıyla kesit alanın tamamı aynı anda oluşturulmaktadır.

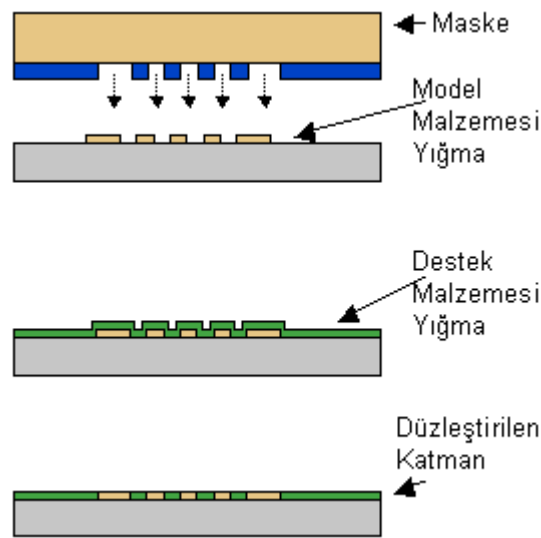
EFAB Prosesi

- Asıl modeli oluşturan malzemenin elektrik akımı ile yigma suretiyle platform üzerine anlık oluşturulan maske (instant mask) kullanılarak yigilmesi sağlanır.
- Daha sonraki adımda ise bir önceki işlemde yigma yapılmamış olan boş kalan yerleri dolduracak şekilde destek yapısı görevi görecek olan malzeme yigilir.
- Daha sonra destek yapısı malzemesinin bir katman yüksekliğinin seviyesini aşan kısmi katman yüksekliği seviyesinde düzlenerek bir sonraki katmanın oluşturulması işlemine tekrar başlanır.
- Bütün katmanların yapımı bu şekilde devam ederek bittikten sonra destek görevi gören malzeme kimyasal çözücülerle ayrıştırılarak asıl modeli oluşturulan malzeme 3 boyutlu kati model olarak elde edilmiş olur.

Elektrokimyasal üretim sistemi prosesi Sekil 7.17’de gösterilmektedir.

EFAB prosesi, özellikle MEMs uygulamalarına hitap etmektedir. Mikro Elektro Mekanik cihazların herhangi bir yarı iletken olanagi veya tecrübesi olmadan tasarlanabilmesine ve üretilebilmesine imkan tanımaktadır.

EFAB prosesi, karmaşık biomedikal cihazlardan elektronik cihazlara, optik gereçlerden sensörlere kadar çok geniş yelpazede MEMS uygulamalarına imkan tanımaktadır.



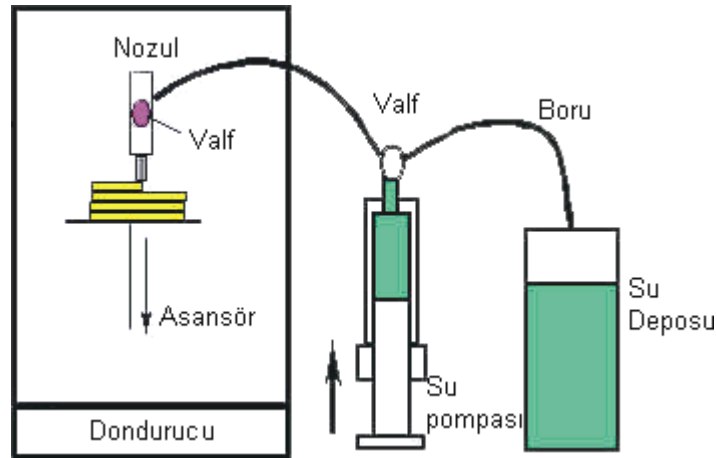
Sekil 7.17 EFAB Prosesi

7.1.3. Su

7.1.3.1. Hızlı Su Dondurma Prototip Sistemi

Geçmisten günümüze Hızlı Prototip ve Üretim teknolojilerinde çok büyük gelişmeler kat edilmistir. Bu teknolojilerdeki gelişmeler diğer teknolojilerin de iyileşmesine yardımcı olmuşlar kaliteli ve hızlı üretim için rekabeti artırıcı bir etki doğurmuştur. Bu teknolojiler sayesinde hiç yapılması imkansız olan modellerin üretilebilmeleri mümkün hale gelmiş, bu sebeple hiç düşünülemeyen yeni tasarımların yapılması ve yeni sistemlerin oluşturulması mümkün hale gelmiştir.

Fakat bunlar olurken bu teknolojilerde kullanılan bir takım metotların sağlığı ve çevreye zarar verdiği gerçeği ile karşı karşıya kalmıştır. Bu şekilde dezavantajı olmayan bir sistem geliştirmeyi ana hedef olarak belirleyen ve çevre ve sağlık dostu olarak nitelendirilecek bir teknoloji geliştirmek amacıyla Missouri-Rolla Üniversitesinden Prof. Ming Leu, parça üretim malzemesi olarak su kullanan Serbet Form Kati İmalatı sistemi geliştirmiştir. Malzeme olarak su kullanılması sistemin hem daha az maliyetli hem de hızlı olmasını da beraberinde getirmiştir. Suyun dondurulması suretiyle buz haline getirilerek kati model elde edildiği bu sistem Hızlı Su Dondurma Prototip sistemi (Rapid Freeze Prototyping-RFP) olarak adlandırılmıştır. Bu sistemde üç birim bulunmaktadır. Bunlar, üç boyutlu pozisyonlama birimi, malzeme yığılma birimi ve soğuk hava deposu birimleridir. Şekil 7.18’de sistemin birimleri görülmektedir.



Şekil 7.18 Hızlı Su Dondurma Prototipleme

Hızlı Su Dondurma Prototip sistemi su damlacıklarının katman katman dondurularak geometrik bir kati model oluşturulmasını kapsamaktadır. Suyun doğal haliyle model oluşturulduğu zaman şeffaf modeller elde edilmesinin yani sıra renklendirme yapılarak farklı renklerde parçaların üretilmesi mümkündür.

Uygulama Alanları

Henüz araştırma aşamasında olan bu sistem henüz giderilmesi gereken bir takım sınırlamaları bulunmaktadır. Bunlar da giderildiğinde yer alacağı uygulama alanları şu şekilde sayılabilir;

- Tasarım iyilestirmesi için prototip üretimi
- Eğlence için buz heykeller
- Silikon kalıpcılığı için örnek model. Özellikle kalıp oluşturma esnasında diğer plastik veya mum modelleri gibi genleşme göstermeyeceği için avantajlı bir sistem durumundadır.
- Hassas kalıp için örnek model. Yine bu özellik de plastik ve mum kullanılan sistemlere nazaran hem düşük maliyet hem ölçüsel doğruluk bakımından yüksek verim elde edilmektedir.

7.2. Toz Malzeme Kullanılan Sistemler

7.2.1. Tozun Eritilmesi Metoduyla Kati Model Elde Edilen Sistemler

Toz malzemelerin çeşitli yöntemler kullanılarak eritilmesi suretiyle katılaştırma sağlayarak kati model elde edilen proseslerdir. Malzemenin üretilmesi için genelde lazer kullanılmaktadır. Fakat geleneksel tip sinterleme işleminin gerçekleştirildiği sistemler de geliştirilme aşamasındadır.

7.2.1.1. Lazerle Sinterleme Metotları

Toz malzemenin lazer kullanılarak sinterlenmesi lazerin ısı enerjisinden faydalanılarak malzemenin erime sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa kadar ısıtılarak eritilmesini ve parçacıkların birbirine bağlanmasını kapsamaktadır.

Lazer enerjisini kullanarak malzemenin eritilmesi suretiyle sinterlenmesini sağlayan ve kati model üretimi sağlayan bir çok sistem bulunmaktadır. Bunlar özellikle bir Amerikan firması olan DTM Corp.'in geliştirmiş olduğu Seçmeli Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering- SLS), diğeri ise bir Alman firması olan Direkt Metal Lazer Sinterleme (Direct Metal Laser Sintering - DMLS)'dir. Bu sistemlerin arasında çok az farklılıklar bulunmaktadır. Diğer yandan bu sistemlere benzer yapılan bir takım çalışmalar da görülmektedir, fakat ticari oldukları için özellikle bu sistemler incelenecektir.

Seçmeli Lazer Sinterleme (SLS)

Seçmeli Lazer Sinterleme sistemi DTM Corp. tarafından geliştirilmiş ve 2001 yılında şirketin 3D Systems tarafından satın alınmasıyla şirketin bütün patent hakları 3D Systems firmasına geçmiştir. Böylece 2001 yılından beri SLS cihazları 3D Systems tarafından pazarlanmaktadır. DTM tarafından Sinterstation olarak adlandırılan cihaz, 3D Systems tarafından Vanguard olarak adlandırılmaktadır [3D Systems, 2002].

SLS prosesinde toz malzeme bir platform üzerine düzgün bir şekilde serilir. Daha sonra kuvvetli bir lazer, bilgisayardan alınan bilgilere göre ilgili kesit alanın şeklini oluşturacak şekilde gerekli yerler üzerinde gezdirilir. Üzerinde lazer gezdirilen kısımlarda bulunan toz malzeme lazerden alınan ısı enerjisiyle erime noktasının biraz altında bir seviyeye kadar eritilir. Bu suretle toz malzeme parçacıkları birbirleriyle yapışır, soguduklarında ise katılırlar. Bu şekilde toz malzemelerin parça parça katılaştırılması ile kati model elde edilmiş olur.

Seçmeli Lazer Sinterleme Prosesi

1. Platform üzerine bir tabaka kalınlığında kaplayacak şekilde toz malzeme silindir yardımıyla serilir.

2. Bilgisayardan alınan veriye göre CO₂ lazer, oluşturulan katmanın en üst yüzeyine odaklanarak tarama işlemine başlar. Katmandaki taranan kısım bilgisayar datasındaki ilgili katmanın kesit alanıdır. Lazer isininin gezdiği kısımlarda bulunan toz malzemeler lazerin vermiş olduğu isinin etkisiyle sinterlenerek katılırlar.

3. Lazerin gezmediği kısımlarda kalan malzemeler ise toz olarak kalırlar.

4. Bir sonraki katmanın üretilmesi için platformu hareket ettiren asansörün aşağı doğru hareketiyle parça bir katman kalınlığı aşağı indirilir. Bu işlemle eş zamanlı olarak besleme ünitesi asansör yardımıyla bir katmana yetecek kadar malzemeyi yukarı besler. Daha sonra silindir yardımıyla bu toz

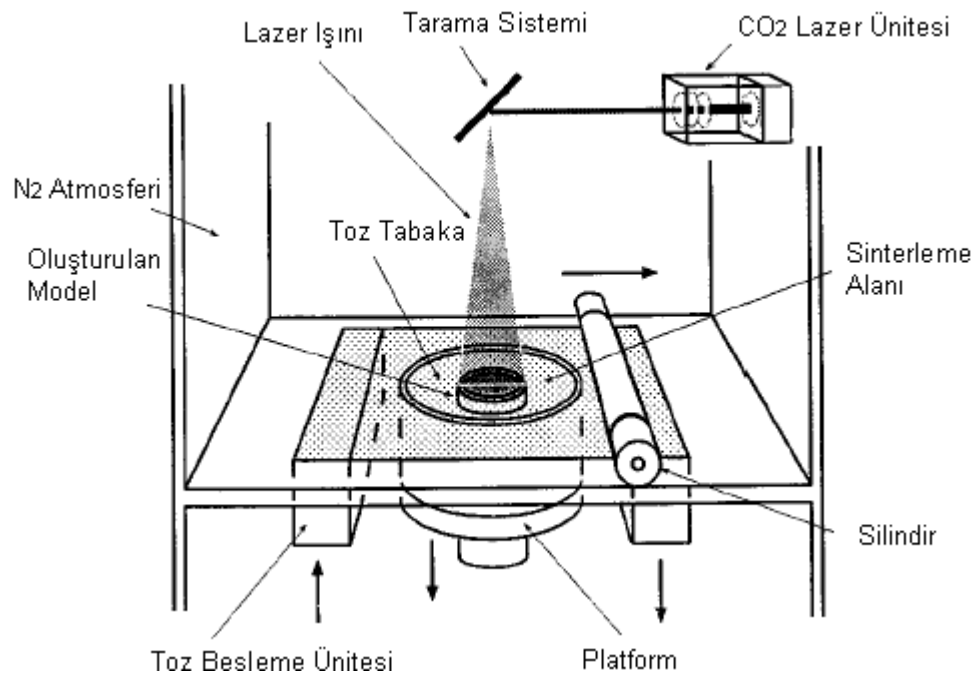
malzeme daha önce katılastırılmış katmanın üzerine bir katman kalınlığında olacak şekilde serilir.

5. Yeni oluşturulmuş katmanın katılastırma işlemi de yine önceki katmanın katılastırılması gibi gerçekleştirilir.

6. Bu işlem en üstteki katmanın katılastırılması işlemine kadar devam eder. Bütün katmanların katılastırılması işlemi bittiginde model platformdan çıkarılır.

7. Katmanların katılastırılması esnasında lazerin temas etmediği bölgelerde bulunan katılaşmamış toz halindeki malzemeler temizlenir.

Seçmeli Lazer Sinterleme prosesi Şekil 7.19’da görülmektedir.



Şekil 7.19 SLS Prosesi

Lazer

SLS prosesinde kullanılan lazerler, plastik malzemeleri için 25 W, metal malzemeler için 100 W gücündeki CO₂ lazerlerdir. Lazer isini çapı 0.45mm olmakla

birlikte pozisyonel hassasiyet 0.05mm'dir. Lazer katman üzerinde 7.5 m/sn'lik bir hızda tarama işlemi gerçekleştirir.

CO₂ lazerin kullanılmasının nedeni yaklaşık 10.2 µm'lik dalga boyunda foton enerjisi yaymalarıdır. Bu kadar küçük dalga boyundaki oluşan frekans yüksek oranda foton enerjisi yaymakta ve etkisi büyük olmaktadır. CO₂ lazerleri kızıl ötesi (infra-red) spektrumunda ısı yaymaktadırlar.

Parça üretim kapasitesi 381X330X457 mm.dir.

Kullanılan Malzemeler

Seçmeli lazer sistemlerinde özellikle stereolitografi sistemlerine nazaran çok fazla çeşitli malzeme kullanılmaktadır. Çeşitli termoplastikler, termoplastik elastomerler ve metal malzemeler bu sistemde kullanılabilir.

Termoplastik Malzemeler: Duraform PA (Polyamide) plastik malzemeler kullanılarak üretilen parçalar özellikle çok yüksek yüzey kalitesine sahip çok detaylı olabilmektedir. Duraform GF (Cam katkili-glass filled) plastik malzemeler ise PA malzemesinin sahip olduğu avantajların yanı sıra yüksek dayanıma sahip ve sert parçaların üretilmelerini mümkün kılar.

Plastik malzemeler için uygulanabilecek son işlem operasyonları sadece işlem esnasında lazerin temas etmediği kısımlardaki toz halde kalan malzemenin vakum ve fırça yardımıyla temizlenmesi gerekmektedir.

PA malzeme ile üretilen parçalarda yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık 8.5 µm R_a, GF'de ise 6.2 µm olmaktadır. Gerekirse, bir son işlem operasyonu olarak, ıslak kumlama ile bu değerler PA için 0.13 µm'ye GF için ise 1 µm'ye çekilebilmektedir.

İstenildiği takdirde akrilik bazlı boyalarla model boyanabilir.

Plastik malzemeler özellikle form, uygunluk ve fonksiyonel test için, kullanılabilir. Medikal uygulamalarda ise organizma testleri uygulanabilir.

Diğer yandan kum kalibi ve silikon kalıplama için örnek model olarak kullanılabilir.

Termoplastik Elastomer Malzemeler: Özellikle esnek (kauçuk cinsi) modellerin üretimlerinde kullanılırlar. Somos 201 adı verilen bu malzeme ile üretilen parçalar için gerekli son işlem operasyonları Duraform PA ve GF ile aynıdır.

Onlardan farklı olarak 6 mm'den kalın kısımları parçaların tam yoğunluklu olabilmesi için poliüretan ve pigment karışımı malzeme ile infiltrasyon yapılması gerekmektedir.

Metal Malzemeler: Laserform adı verilen bu metal malzeme ise paslanmaz çelik bazlı malzemedir. Yalnız bu metal toz parçacıkları arasında plastik malzemeler de bulunur. SLS işlemi esnasında lazer sadece plastik malzemeleri sinterler. Sinterlenen plastik malzemeler henüz sinterlenmemiş, herhangi bir değişikliğe uğramamış metal parçacıklarını katı bir formda tutarak dağılmasını önlerler. SLS işleminden sonra elde edilen ham parça bir fırında ikinci bir sinterleme işleminden geçirilir. Bu işlemden sonra %60 yoğunluğuna kazanan parça ikinci bir fırına konularak bakır malzeme ile infiltrasyon işlemi uygulanır. Bu işlemle birlikte parça tam yoğunluğunu kazanmaktadır.

Laserform metal malzeme ile üretilen parça 100.000 adet basılabilecek bir plastik enjeksiyon kalibi olarak kullanılabilir. Laserform ile üretilen parça paslanmaz çeligin karakteristik özelliğini taşımaktadır. Yüksek ısı iletkenliğine sahiptir.

Besleme Ünitesi

Besleme ünitesi parçanın oluşturulduğu platformun her iki tarafında yer alan ve toz malzemenin içerisinde depo edildiği iki hazne ve bunları yukarı aşağı hareket ettiren asansörlerden oluşmaktadır.

Bir katmanın katılastırılması işleminden önce öncelikle silindirin bulunduğu kısımdaki hazne asansör yardımıyla yukarı doğru kaldırılarak bir miktar malzemeyi silindirin önüne besler. Daha sonra silindir önünde bulunan malzemeyi platformun diğer kısmına dönerek geçerken bir katman kalınlığında toz malzeme tabakası oluşturur. Katmanın katılastırılması işleminden sonra platform bir katman kalınlığı aşağı indirilir ve yine silindir tarafında bulunan hazne asansörü yardımıyla yukarı kaldırılarak bir miktar toz malzemeyi silindirin önüne besler. Silindir bu kez diğer tarafa geçerken yeni katman tabakasını oluşturur ve işlem bütün katmanlar bitinceye kadar bu şekilde devam eder.

Destek Yapısı

İşlem esnasında lazerin temas etmediği bölgelerdeki malzemeler katılaşmadığından ve işlem bitinceye kadar temizlenmediğinden dolayı destek yapısı görevi görecektir. Dolayısıyla ek bir destek yapısı tasarlanması ve oluşturulmasına gerek yoktur.

SLS Sisteminin Avantaj ve Dezavantajları

Avantajları

- Herhangi bir kalıplama işlemi olmaksızın çok dayanıklı parça üretimi
- Metal malzemeden yapılan parçaların direk kalıp olarak kullanılması ile 100.000 adet plastik enjeksiyon parçası basabilme
- Metal malzeme üretiminde tam yoğunluğun sağlanabilmesi
- Hassas kalıp, silikon ve kum kalibi için örnek model üretimi
- Form, uygunluk ve fonksiyonel test için prototip üretimi
- Yüksek ısı ve kimyasallara karşı dayanıklılık
- İyi yüzey kalitesi

- Çok çeşitli malzemelerin kullanılabilirliği
- Lazerin temas etmediği kısımlardaki toz malzemelerin tekrar kullanılabilirliği
- Destek yapısı olusturulmasına gerek yoktur
- Bir işlemde birden fazla parçanın aynı anda üretilebilirliği

Dezavantajları

- Çok güçlü lazer gereksinimi
- Metal parça üretiminde metal parçacıkların arasında ilk sinterlemede metal parçacıklarını bir arada tutmak için kullanılan plastik malzemeleri çekme miktarının çok olmasına neden olur
- Metal parça üretiminde son işlem operasyonlarının çokluğu
- İşletme giderleri yüksektir
- İşlem sıcaklığı yüksek olduğu için parçanın lazerle sinterlenmesinden sonra belli bir müddet beklemek gerekmektedir.

Direk Metal Lazer Sinterleme (DMLS-Direct Metal Laser Sintering)

Direk Metal Lazer Sinterleme sistemi bir Alman firması olan EOS (Electro Optical systems) tarafından geliştirilen bir sistemdir. DMLS'nin operasyon şekli SLS sistemine çok benzemektedir. Sistem, EOS tarafından EOSINT olarak adlandırılmıştır.

DMLS prosesi

1. Platform üzerine bir tabaka kalınlığında kaplayacak şekilde toz malzeme kaplayıcı sistem yardımıyla toz malzeme serilir.

2. Bilgisayarda alınan veriye göre CO₂ lazer, tarayıcı sistem sayesinde yeni serilmiş olan katmanın en üst yüzeyine odaklanarak tarama işlemine başlar. Lazer, üzerinde gezdiği toz malzemeleri verdiği ısı etkisiyle eriterek sinterlemesini ve katılmasını sağlar. Lazerin temas etmediği kısımlarda kalan toz malzeme ise toz olarak kalır.

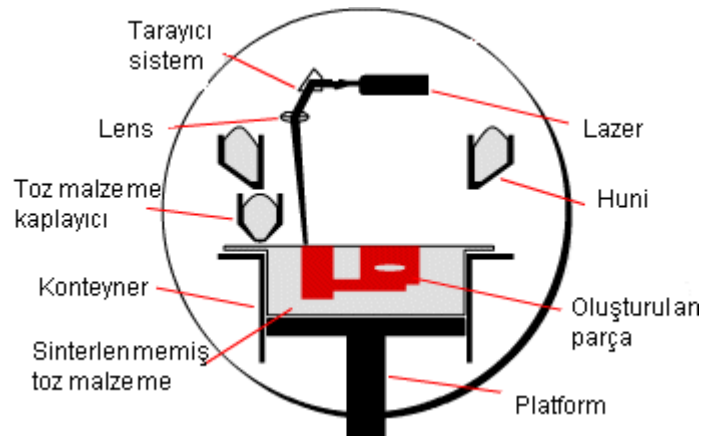
3. Bir sonraki katmanın üretilmesi için platform asagi dogru indirilerek bir yeni katmanın olusturulmasi için bir katmanlik bos alan birakilir. Daha sonra kaplayici sistem içerisinde bulunan toz malzemeyi bir uçtan diger uca geçerken önceki olusturulmus katmanın üzerine bir katman kalinliginda serer.

4. Daha sonra yeni hazirlanmis katmanın katilastirilmesi islemi de yine önceki katmanın katilastirilmesi gibi gerçekleştirilir.

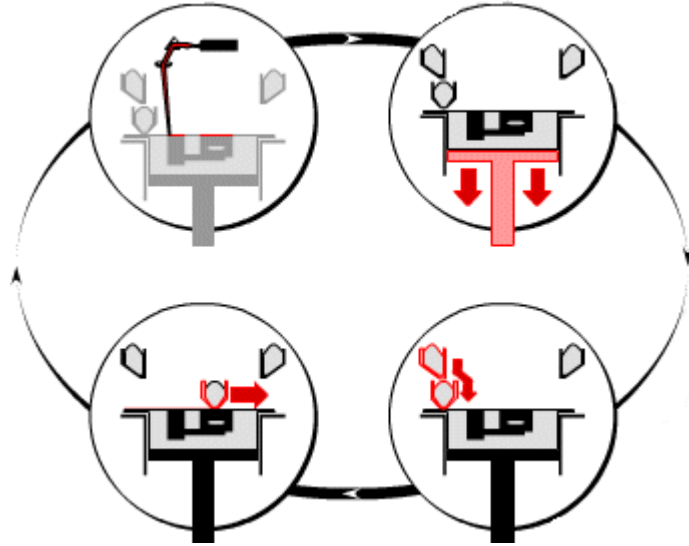
5. En üstteki katmanın katilastirilmesi isleminin bitimine kadar bu proses devam eder. Daha sonra katilastirilmis model platformdan çıkarilir.

6. Katilastirilma esnasinda lazerin temas etmedigi bölgelerde bulunan katilasmamis toz malzemeler temizlenir.

DMLS prosesinde bir katmanın olusturulmasi Sekil 7.20’de, katmanlari bir biri ardina katilastirilmesi islemi de Sekil 7.21’de gösterilmektedir.



Sekil 7.20 DMLS Prosesinde Bir Katmanın Olusturulmasi [EOS GmbH, 2002]



Sekil 7.21 DMLS Prosesi [EOS GmbH, 2002]

Görüldüğü gibi buraya kadar olan kısımda DMLS prosesinin SLS prosesinden tek farkı yeni katman oluşturma şeklinin farklılığıdır. Fakat diğer yandan kullanılan lazer çeşidi, hızı ve tarama çözünürlüğü, malzemenin özellikleri ve ne tür malzemelerin kullanılabilirliği ve nasıl işlem gördüğü noktasında bir takım farklılıklar bulunmaktadır.

Lazer

DMLS sisteminde kullanılan lazer yine CO₂ lazerdir fakat DMLS prosesinde plastik malzemeler ve döküm kumu için 50W, metal için 200W gücündeki lazerler kullanılır. Plastik işleminde lazer tarama hızı 5 m/s, katman kalınlığı 0.1- 0.2 mm; metal işleminde lazer tarama hızı 3 m/s, katman kalınlığı 0.05-0.1 mm; döküm kumu malzemelerin işleminde lazer tarama hızı 5 m/s, katman kalınlığı 0.2 mm.dir.

Kullanılan Malzemeler

Temel olarak 3 farklı malzeme kullanım çeşitliliği bulunmaktadır.

Plastik: Plastik malzemeler için tasarlanan ve EOSINT P adı verilen cihazlarla polis tiren ve poliamid-naylon gibi malzemeler üretilebilir.

Metal modeller ve vakum kalıplama için örnek model olarak kullanılan plastik parça üretimi Direct Pattern olarak adlandırılmıştır. Diğer yandan form, uygunluk ve

fonksiyonel testler için ve tasarım iyilestirmesi için yapılan plastik parça üretimi Direct Part olarak adlandırılmıştır.

Son işlem uygulaması olarak işlem esnasında lazer tarafından katılaştırılmayan toz malzemelerin vakum ve fırça yardımıyla temizlenmesi gösterilebilir. Bunun haricinde istenildiği takdirde çeşitli boyalarla boyanabilir.

EOSINT P cihazının parça oluşturma kapasitesi 340X340X620 mm.dir.

Metal: Metal malzemeler için tasarlanan ve EOSINT M olarak adlandırılan cihazla çelik ve diğer çeşitli metal malzemeler üretilir.

Çeşitli fonksiyonellere sahip metal parçaların prototip imalatı DirectPart olarak, enjeksiyon ve döküm kalıpları için kalıp elemanları (insert) imalatı ise Direct Tool olarak adlandırılmıştır.

EOSINT M cihazının parça oluşturma kapasitesi 250X250X180 mm.dir.

EOSINT M cihazı ile üretilen metal parçalar DMLS prosesi ile tam yoğunluğa kavuşurlar. SLS sistemindeki gibi herhangi bir ikinci sinterleme veya infiltrasyona gerek yoktur.

Çünkü SLS sisteminde kullanılan lazer 100W olmasına ve lazer tarama hızı 7.5 m/s olmasına karşın, DMLS sisteminde 200W'lık lazer 3m/s hızla tarama işlemi gerçekleştirir. Malzemelerin sinterlenmesi lazerden alınan ısı enerjisi ile gerçekleştiğinden ne kadar çok ısı enerjisi alırsa o oranda sıcaklık artışı ve erime gerçekleşecektir. Sonuçta DMLS sisteminde kullanılan lazer gücü hem çok yüksek hem de düşük tarama hızına sahiptir. Dolayısıyla lazerin temas ettiği bölgelerde ısı artışı çok daha yüksek olmakta ve sinterlemenin etkisi de büyük olmaktadır. Böylece DMLS prosesinde yüksek lazer gücüne uzun temas süresince maruz kalan metal malzeme tam olarak sinterlenmektedir. Bu sebeple ikinci bir fırınla sinterleme veya infiltrasyon işlemine gerek kalmamaktadır [Erzincanlı and Ermurat, 2002].

Yüzey kalitesini iyilestirmek için shot peening adi verilen küçük bilyaların yüzeye basınçlı tabanca vasitasiyla püskürtülmesi suretiyle dövme islemi gerçekleştirilebilir.

Döküm Kumu: Reçine malzemesiyle kaplanmış döküm kumundan özellikle maça ve kum kalıpların üretimi için tasarlanan cihaza EOSINT S adi verilmistir.

Direk olarak kum kalıplari için kalip yapimi isleminin gerçekleştirilmesine Directcast adi verilmistir. Reçine ile karistirilmis döküm kumunun lazerle sinterlenerek bir forma sokulmasından sonra ates tabancasi kullanilmasi ile reçine malzemesi tam olarak sinterlenerek döküm kumlarını birbirine yapistirir. Bu proses modern DCP (Direct Croning Process) olarak tanımlanabilir. EOSINT S prosesi, daha önce yapılamayan döküm kalıplari için kalip kumundan maça ve kalıpların yapılabilmesini sağlamistir. EOSINT S cihazının parça olusturma kapasitesi 700X380X380mm'dir. EOSINT S prosesinde özellikle iki lazer ünitesi kullanilir. Kapasitesinin büyüklüğünden dolayı islemi çabuklastirmek için böyle bir gereksinim dogmustur.

Besleme Ünitesi

Malzeme besleme ünitesi bir toz malzeme kaplayici ve her iki tarafta bulunan ve toz kaplayiciya malzeme besleyen iki huniden olusmaktadır. Kaplayici bıçak belirli bir hızda parça platformunun üzerinde bir uçtan bir uca hareket ederken içerisindeki haznede bulunan toz malzemeyi platformun üzerine döker. Her iki uçta bulunan huniler vasitasiyla malzemesi eksilen kaplayici bıçaga malzeme takviyesi yapılır. Bütün katmanların katilastirilmasi islemi bitinceye kadar bu proses devam eder.

Destek Yapisi

SLS sistemindeki gibi DMLS prosesinde de lazere maruz kalmayan bölgelerdeki malzemeler toz halde kalmakta herhangi bir katilastirma islemine maruz kalmamaktadır. Toz halde bulunan bu malzemeler bir sonraki katman için

dogal destek vazifesi görürler. Bundan dolayı ayrı bir destek yapisi olusturulmasına gerek yoktur.

DMLS Sisteminin Avantaj ve Dezavantajlari

Avantajlari

- Metal parçalar plastik enjeksiyon kalibi, döküm kalibi ve hatta dövme kalibi olarak da kullanılabilir.
- Bir tek proste parça tam yogunlugu elde edebilmektedir.
- Elde edilen metal kalip ile 100.000 adet plastik enjeksiyon parçasi basabilme
- Form, uygunluk ve fonksiyonel test için prototip üretimi
- Yüksek isi ve kimyasallara karsi dayaniklilik
- Vakum kaliplama islemleri için örnek plastik model üretimi
- Çesitli fonksiyonellige sahip metal parçaların direk üretimi
- Döküm kumu kullanimiyla döküm kum kalibi ve maça üretimi
- Islem esnasinda lazerle katilasmayan toz malzeme dogal bir destek yapisi görevi görmektedir.
- Parçalar cihazdan kolaylıkla çıkarılan bir plaka üzerinde sinterlendiginden islemi çabuklastirmak için sinterleme isleminde hemen sonra parça cihazdan çıkarilabilir.
- Çok genis çesitlilikte malzeme kullanılabilir.
- Lazerin katilastirmadigi malzeme tekrar kullanılabilir.
- Bir islemden birden fazla parça aynı anda üretilebilir.

Dezavantajlari

- Çok güçlü lazer gereksinimi
- Isletme giderlerinin yüksek olması
- Çok iyi yüzey kalitesi gerektiğinde metal parçalar veya kaliplar için yüksek güçteki lazerlerin kullanilmasından dolayı bilyalama (shot peening) yüzey isleminin gerekliligi.

Diger Lazerle Sinterleme Sistemleri

Bu sistemlere benzer esitli üniversitelerde ve kuruluslarda değisik çalışmalar yürütülmektedir.

A.B.D.’de bulunan ve Texas niversitesi tarafından geliştirilen Seçmeli Lazer Reaksiyon Sinterleme (Selective Laser Reaction Sintering) sistemidir. Bu sistem melez bir prostedir. Normal SLS sistemi ile gaz fazında serbest form kati imalatı sistemlerinin karisimidir. Lazer isini ile eritilen toz malzemesinin sogutulması ve katılastırılması isleminin belli bir gaz ortamında kontrollü bir şekilde sogutulması islemdir [Birmingham, 1995].

Bir baska lazerle sinterleme metodu ise A.B.D. firmaları olan Rockwell Scientific ve Ennex Fabrication Technologies firmalarının geliştirdikleri bir sistemdir. Direk Metal retimi (Direct Metal Fabrication) sistemi 3D Systems’in SLS sistemine benzemektedir. Polimer toz malzeme ile karıştırılan metal tozların lazerle sinterlenme prosesinden sonra %60-70 yoğunluğa sahip olan parça tekrar fırında sinterlenerek tam yoğunluk elde edilebilmektedir. Sistemde yumusak paslanmaz ve sertleştirilmiş elik, nikel bazlı süper alasımlar ve bakır alasımları kullanılabilir [Rockwell, 2002].

Almanya’da bulunan Rheinisch-Westfalische Teknik niversitesinin üzerinde çalıştığı seramiklerin seçmeli lazer sinterleme metodu ile İngiltere’de bulunan Manchester niversitesinin çalıştığı sıkıştırılmış toz SLS (compacted-powder SLS) metotları da diğer lazerle sinterleme metotlarıdır.

Lazerle sinterleme metotlarından sadece 3D Systems’in SLS ve EOS’ un DMLS sistemleri ticari olarak faaliyet göstermekte, diğer sistemler ise geliştirme aşamasındadırlar.

7.2.1.2. Lazerle Eritme (Yigma) Metotları

Toz malzemenin çok güçlü lazerler kullanılarak tamamen eritilmesi yöntemi ile toz parçacıkların birbirine bağlanmasını sağlayan kati model oluşturma

metotlarıdır. Bu sistemler lazerli yigma sistemleri olarak da adlandırılabilir [Erzincanlı and Ermurat, 2002].

Çok güçlü lazerler kullanılan bu sistemlerde toz parçacıkları erime sıcaklıklarının üstünde bir sıcaklığa lazerin ısı enerjisi yardımıyla ısıtılırlar, eriyen parçacıklar birbirlerine yapışırlar. Lazerle eritme metotları ile ilgili çok çeşitli çalışmalar görülmektedir. Bunlardan özellikle Precision Optical Manufacturing firmasının Direkt Metal Yigma (Direct Metal Deposition), Optomec Design firmasının Direkt Malzeme Yigma Sistemi (Directed Material Deposition System), Aeromet firmasının ise Lazerli Eklemeli Üretim Prosesi (Laser Additive Manufacturing Process – Lasform) olarak isimlendirdiği sistemler ticari olanlardır.

Direk Metal Yigma (Precision Optical Manufacturing)

Illionis Üniversitesinden Dr. Jyoti Mazumder 1990'li yılların başından beri Direkt Metal Yigma prosesi üzerinde çalışmakta ve ilk denemelerini o yıllarda gerçekleştirmiştir. Lazerli yüzey kaplama (laser cladding) prosesini de geliştiren Dr. Mazumder sonraki yıllarda çalışmalarını devam ettirerek Michigan Üniversitesinin ilgi odağı olmuştur. Dr. Mazumder'i aktif kurucu olarak görevlendiren Michigan Üniversitesi, Center of Laser-Aided Intelligent Manufacturing merkezini kurmuştur. Üzerinde yapılan çeşitli iyileştirme ve çalışmalar sonucunda Dr. Mazumder 1996 yılında DMD prosesini şekillendirmiştir. 1998 yılında kurulan Precision Optical Manufacturing (POM) firması altında Direkt Metal Yigma prosesinin ilk cihazını DMD 2400 adında 1999 yılında üretmiştir. DMD 5000 adını verdiği ikinci nesil cihazı ise 2001 yılında üretilmiştir [POM, 2002].

Bu sistem sayesinde, 5KW gücündeki lazer isininin enerji kaynağı olarak kullanılması ile çeşitli metal alaşımlardan çok karmaşık yapıdaki parçalar üretilebilmektedir. DMD 5000 cihazı ile türbin kanatçığı, pervane, dönen hava kapakçıkları, kasalar, koruyucular ve bunlar gibi çeşitli karmaşık yapıdaki metal parçaların olması gereken malzeme özelliklerinde üretilebilmesini mümkün kılmaktadır. Bu sistem ayrıca, enjeksiyon kalibi, kesme ve dövme kalibi gibi parçaların üretilebilmesini de sağlamaktadır.

Tek bir kompozisyona sahip malzeme kullanılabilmesinin yani sıra farklı özelliklerdeki malzemelerin anında karıştırılması suretiyle elde edilen ayrı bir karışım da kullanılabilir. Bu özelliğin önemli bir avantajı ise aynı parça üzerinde çeşitli bölgelerde farklı karışımlardan elde edilen malzemelerin kullanılabilir olmasıdır. Yani melez bir parça imali söz konusudur. Bu, özellikle çok pahalı malzemelerin -gerektiği yerler haricinde- yerine daha düşük maliyetli malzemelerin kullanılabilmesini ve maliyetin düşük tutulmasını sağlamaktadır. Diğer yandan bölgesel olarak malzeme davranışı bakımından farklılıklar göstermesi beklenen parçaların üretimini de mümkün kılmaktadır [POM, 2002].

Sonuç olarak, tutarlılık ve mikro yapı oluşumu bakımından çok iyi özelliklerde süper kaliteli ve yüksek dayanımlı parçalar üretilebilir.

Direk metal yigma sisteminde üretilen bir parçanın yüzey pürüzlülük değeri yaklaşık 175 μm ve parça normal ölçülerinden 0.15-0.25mm büyük olmaktadır. Fakat üretimden sonra polisaj veya elektro erozyon operasyonu ile parçanın gerçek boyutlarına ve iyi yüzey pürüzlülüğüne sahip olması sağlanır [POM, 2002].

Direk Malzeme Yigma Sistemi (Optomec Design)

Sandia ulusal laboratuvarlarında geliştirilen LENS (Laser Engineered Net Shaping) prosesi ile çok küçük boyutlarda parça imali yapılabilen ve yine malzeme yigma tekniğini gaz atomizasyon yöntemi ile yapan Maskless Mesoscale Material Deposition (M^3D) prosesini bünyesinde barındırmıştır. M^3D prosesinde atomize olmuş toz parçacıkları çok yüksek hızlarda bir nozuldan yüzeye püskürtülür. Yığılan malzeme gerek gördüğü takdirde gerek ısısal olarak gerekse lazerle işlem görerek son işleminden geçirilebilir. Bununla küçük boyutlardaki parçaların imalının yani sıra elektronik kart üzerine küçük elektronik elemanların oluşturulması da mümkün olabilir [OPTOMECC, 2002].

Daha büyük boyutlarda (milimetre, santimetre) parça imali yapan LENS prosesi ise çok yüksek güçlerde (500W-1000W YAG) lazer kullanarak çeşitli özelliklerde metal parçalarının imalını mümkün kılmaktadır.

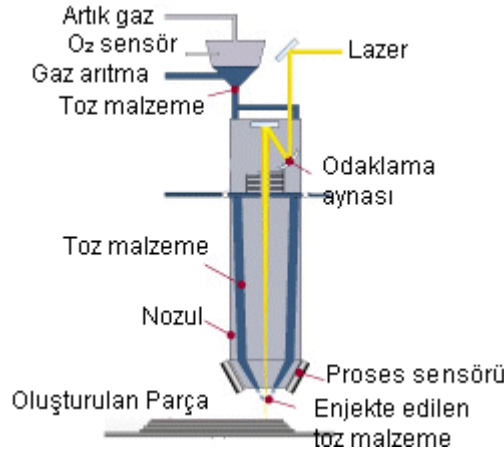
LENS prosesinin de yine POM firmasının DMD prosesi ile aynı özelliklerde kabiliyeti bulunmaktadır.

Lazerli Eklemeli Üretim Prosesi (Aeromet)

Aeromet firmasının geliştirmiş olduğu benzer bir sistem ise ticari olarak satılmamakta fakat müşterileri çözüm ortağı olarak görerek firma bazında hizmet veren bir sisteme sahiptir. 18KW gücündeki CO₂ lazer kullanılan sistemde parça imalatı sonucunda 2-5 mm kadar ölçülerinden büyük yapılmış olan parça gerçek ölçüyü yakalayabilmesi için son bir frezeleme işleminden geçmesi gerekmektedir [AEROMET, 2002].

Lazerli Eritme Sistemleri (Lazerli Yigma Sistemleri) Prosesi

Bahsedilen bu üç sistemin proses şekli birbirlerine çok benzemektedir. Şekil 7.22’de Lazerli eklemeli üretim prosesi diğer lazerli eritme proseslerini de temsil edebilir.



Şekil 7.22 Lazerli Eklemeli Üretim Prosesi (AEROMET, 2002)

Buna göre lazerli eritme sistemlerinin prosesi şu şekildedir;

1. İçerisine toz metal malzeme enjekte edilmiş olan 5 KW gücündeki lazer isini ile elde edilen yüksek enerjinin serbest platform üzerine odaklanması ile lazer isininin odaklandığı bölgede metal malzeme eriyerek bir havuz oluşur.

2. İlgili katmandaki kesit alan bilgisinden alınan bilgiye göre lazer isininin saga-sola, ileri-geri hareket ettirilmesi ile bir katmanın tamamı çizgi çizgi olusturulur.

3. Lazerin isi enerjisi ile erimis metal malzemeden olusan havuz çok çabuk bir sekilde soguyarak katilasma gerçeklesir.

4. Bu islem bütün katmanlar bitinceye kadar devam eder.

Lazerli eritme sistemlerinde çok yüksek güçlü lazerler kullanildigi için üretilen parçalar hem güzel yüzey pürüzlülüğüne sahip olmazlar hem de tam ölçülerinde yapılamazlar. Bu nedenle bu sistemle üretilen parçalar mutlaka polisaj, elektro erozyon, frezeleme, taslama gibi ikinci operasyonlara tabi tutulurlar.

Malzeme olarak diger sistemlere nazaran çok genis perspektifte malzeme kullanimi olabilmesine ragmen Lazerli Eklemeli Üretim prosesinde sadece titanyum alasilimli malzemeler, digerlerinde ise titanyumun haricinde takım çeligi alasilimleri, paslanmaz çelikler, süper alasilimler, bakir ve kobalt bazli alasilimler gibi malzemeler de kullanılabilir. Bu proseslerin gelistirilme sebebi yüksek dayanima sahip karmasik yapili parçaların veya kalıpların üretimi söz konusu olduğundan dolayi böyle yüksek dayanım özelligi olan malzemelerle sinirli kalmistir.

Diger Lazerli Yigma sistemleri

Bahsedildigi gibi lazerli eritme sistemleri arasında birbirleri arasında bir takım farklar bulunsa bile birbirlerine çok benzeyen sistemlerdir.

Dünyada bu konuda bunlarında disinda fakat henüz araştırma asamasında olan bir çok sistem gelistirilmektedir. Bunlar;

- Isikla Yönetilen Üretim (Directed Light Fabrication- Los Alamos National Laboratory)
- Alüminyum Toz Sprey Prosesi (Aluminium powder spray- University of Illionis of Urbana Champaign)

- Lazerli Zarflama (Laser Cladding- University of Liverpool)
- Kontrollü Metal Üretimi (Controlled Metal Buildup-Fraunhofer-Institute of Production Technology)
- Hizli Mikro Ürün Gelistirmesi (Rapid Mikro Product Development-MikroTec Mikrotechnologie mbH)
- Isikla Direk Üretim (Direct Light Fabrication- University of Birmingham's School of Metallurgy and Materials)
- Lazerli Direk Hizli Prototip (Laser Aided Direct Rapid Prototyping – University of Central Flodira)
- Lazerli Toz Katilastirma (Laser Powder Solidification-Institute fur Strahlwerkzeuge, The University of Stuttgart)

Lazerli Eritme (Yigma) Sistemlerinin Lazerli Sinterleme Sistemleri ile Bazi Parametreler Yönünden Karsilastirilmesi

Malzeme

Lazerle sinterleme sistemlerinde melez parça üretimi imkani yoktur. Çünkü lazerli sinterleme sistemlerinde malzeme katman katman bir kaplayici vasitasiyla bastan sona ayni malzeme karisimi ile kaplanır ve bütün katmanlar da bu sekilde devam eder. Yapilabilecek tek sey katmanlar arasinda farkli malzeme çeşitliliğini sağlamak olabilir. O da tam olarak melez yapinin yapılabilmesine olanak tanımayacaktır. Fakat lazerli yigma sistemlerinde malzeme hem lazerle ayni anda parçaya enjekte edilmekte, hem de kullanılacak malzeme karisimi enjekte edilirken hazirlanmaktadır. Dolayisiyla aninda malzeme degisimi ve farkli malzeme karisimi elde etmek ve bunu neredeyse her noktada ayarlayabilmek melez bir parça üretimi için çok büyük bir avantajdir [Erzincanli and Ermurat, 2002].

Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü kullanılan malzeme karakteristigine, katman kalinaligina ve taramalar arasindaki hat bosluguna baglidir. Diger yandan lazer gücünün ve temas etme sürecinin artmasi parçacik yigininin topaklanma büyüklüğünün ve birbirleriyle birlesen gözeneklerin büyüklüğünün artmasına neden olur [Niu, 1998]. Böylece,

yüzey pürüzlülüğü lazer gücünün artmasıyla artacaktır [Erzincanli and Ermurat, 2002].

Sonuç olarak, lazerli sinterleme sistemlerinde lazerli yigma sistemlerine nazaran daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilir. Zira, lazerli yigma sistemlerinde bazılarında son işlem olarak frezeleme ve elektro erozyon ile son kalan malzemenin alınması veya polisaj uygulaması gerektiğinden dolayı lazerli yigma sistemlerinde yüzey pürüzlülüğü bu işlemler vasıtasıyla elde edilebilir.

Yogunluk

Lazerli sinterleme sistemlerinin bazılarında parça tam olarak yoğunluğunu sağlayabilmesi için mutlaka ikinci bir sinterleme operasyonuna tabi tutulması gerekmektedir. Bazı sistemlerde ise buna gerek kalmadan direk lazerli operasyon sonunda tam yoğunluğun elde edildiği görülmektedir. Fakat sonuçta bu sistemlerde gerçekleşen olay sinterlemedir.

Lazerli yigma sistemlerinde ise toz parçacıkların birbirleriyle yapışmasından çok tam olarak erimeye uğrayarak şeklinin bozulmasına neden olmakta ve yeniden parçacık kristalleşme oluşumu gözlenmektedir. Bundan dolayı her ne kadar lazerli sinterleme sistemlerinde yoğunluk elde edilse bile lazerli yigma sistemlerinde bu hem tek operasyonda hem de daha etkili oranda gerçekleşmektedir [Erzincanli and Ermurat, 2002].

Ölçüsel Tamlik

Hızlı Prototip ve Üretim sistemleri için en önemli problemlerden biri ise ölçüsel tamliktir. Ölçüsel tamlik bir çok parametreye bağlıdır. En bastaki nedeni işlemin işi etkisi altında geçmesinden dolayı sıcaklıktan dolayı genleşen malzemenin soğudugunda büzülerek çekilmesinden kaynaklanmaktadır [Shiomi *et al.*, 1999; Rosochowski and Matuszak, 2000; Jeng and Lin, 2001]. Diğer yandan, çekme durumu lazer gücüne ve sinterleme durumuna bağlı olduğu gibi malzeme özelliğine de bağlıdır. Böylece, ısısal operasyon olduğundan dolayı çekme payı bütün lazerli üretim tekniklerinde oluşur.

Ayrıca, SLS sistemindeki plastik yapıştırıcı, parçanın son firinlama işleminde parçadan dışarı atılır. Dolayısıyla, bu ek firinlama operasyonu ölçüsel tamliğin kaybolmasına diğer bir nedendir [Shiomi *et al.*, 1999; Vail *et al.*, 1999; Kathuria, 1999]. Fakat farklı malzemelerde farklı çekme miktarı olacağı için lazerli yigma sistemlerinde mümkün olan melez parça uygulamalarında iki farklı malzemenin çekme miktarı farklı olacağı için sorun teşkil edecektir [Erzincanlı and Ermurat, 2002].

Diğer yandan ölçüsel tamlik topaklanma büyüklüğünün artmasından da pürüzlülükteki gibi olumsuz yönde etkilenecektir. Böylece lazerli yigma sistemlerinde son işlem olarak mutlaka ya son yüzey frezeleme, elektro erozyon veya polisaj gibi operasyonların uygulanması gerekmektedir [Erzincanlı and Ermurat, 2002].

Destek Yapısı

Salkım yapılar ve alt kısmı boş olan yapılar için destek yapısı mutlaka gereklidir. Fakat lazerli sinterleme sistemlerinde daha önce bütün katmana serilen malzemeden lazerle katılaşmayan bölgelerdeki malzemelerin üst yapılar için destek yapısı görevi göreceği için bu sistemlerde destek yapısına gerek yoktur. Fakat lazerli yigma yöntemleri için destek yapısı kullanımı zorunludur. Çünkü lazerli sinterleme sistemlerindeki gibi malzeme katman katman bütün yüzey boyunca serilmez. Sadece lazerle birlikte tarama yapılacak bölgelere enjekte edilir. Dolayısıyla altı boş kısımlar için destek görevi göreceği herhangi bir yapı olmadığı için ek bir destek yapısının oluşturulması gerekmektedir. Lazerli yigma sistemlerinde bu problem asıl malzemeden daha düşük yapıdaki malzemeler kullanılarak destek yapısının oluşturulması benimsenmiştir. Fakat bu durumda parça imalının bitiminden sonra her ikisi de metal bazlı malzeme olduğundan dolayı destek yapısının asıl parçadan ayrılması problemi oluşmaktadır. Bu lazerli yigma sistemleri için üstesinden gelinmesi gereken önemli problemlerden biridir.

Bu probleme çözüm olarak metal bazlı olmayan malzemelerin veya bileşiklerin kullanılması olabilir [Erzincanlı and Ermurat, 2002]. Fakat bu durumda destek yapısı olarak kullanılacak malzemenin yüksek ısıya dayanıklı olması

gerekmektedir. Çünkü o yapı olusturulduktan sonra destek vazifesi görecegi üst kisimdaki katmanlardaki asil yapinin olusturulmasi için gerekli lazer enerjisi asil malzemeyi eritecek kadar siddetli olmakta bu durumda da destek yapisini erimeye zorlayacaktır. Çözüm olarak, lazerli sinterleme sistemlerinde kullanılan ve döküm kalipçiliginda kalip veya maça olarak kullanılan reçine kaplanmış kalip kumu kullanimi olabilir. Bu konu arastirilmesi gerekli problemlerden biridir.

Onarım Operasyonlari

Lazerli yigma sistemleri hasar görmüş parçaların onarilmasinda da etkili bir sekilde kullanılabilir. Fakat bu tip operasyonlari lazerli sinterleme sistemlerinde uygulamak imkansizdir. Bu tip sistemlerde toz malzeme islemden önce katmanın üzerinde boydan boya bir kaplayici bıçak veya silindir vasitasiyla serildigi için onarilacak parçada bulunan yüksek kislmlara çarpma problemi olacaktır. Bu tip uygulamalarda ancak lazer isini ile birlikte malzeme yigma tekniginin uygulandigi lazerli yigma sistemleri basarili olabilirler [Erzincanlı and Ermurat, 2002].

Optomec firmasinin gelistirmis oldugu LENS prosesi, A.B.D. Ordu Tank-Otomotiv & Silahlanma Komandosu (U.S. Army Tank-Automotive & Armaments Command - TACOM) bünyesinde bulunan Ulusal Otomotiv Merkezi'nin (National Automotive Center) onayladigi bir program olan Gezici Parça Hastanesi (Mobile Parts Hospital) programi LENS prosesini, ikinci faz Gezici Parça Hastanesi programi için, savas zamanlarında arizalanmış silahların acil olarak onarilmasi için göz önünde bulundurmaktadırlar. Gezici parça hastanesi LENS prosesini malzeme çeşitliliği, mekanik özellikler ve SLS sistemine nazaran daha az operasyona sahip olduğundan dolayı göz önünde bulundurmaktadır. Fakat birinci faz Gezici Parça Hastanesi programi için SLS sistemi göz önünde bulundurulmaktaydı [MPH, 2002].

Son işlemler

SLS sistemi DMLS prosesine nazaran daha çok son işlem gerektirmektedir. Fakat lazerli yigma sistemlerinde mutlaka ikinci bir frezeleme veya polisaj işlemi gerekmektedir. Çünkü lazerli yigma tekniği ile üretilen parçalar tam seklinde (net shape) değil de, neredeyse tam seklinde (near net shape) üretilmektedir.

Diger yönden artık malzemenin temizlenmesi lazerli sinterleme sistemlerinde çok kolaydır. Fakat lazerli yigma sistemlerinde olusturulan metalden yapilmis destek yapilarinin ıkarilmasi oldukça zordur [Erzincanli and Ermurat, 2002].

Çok Eksenli retim Kapasitesi

Lazerli sinterleme sistemlerinde çok eksenli üretim neredeyse mümkün degildir. Sadece 2.5 veya olabilirse 3 eksen uygulamalari gereklestirilebilir. Fakat 3 eksenenden fazla olan operasyonlar için daha önceden bütün platforma veya bir önceki katman üzerine serilmis olan malzeme engel teskil edecektir. Fakat hem ne ve arkaya ve hem de yan taraflara muhtemel egimler lazerli yigma sistemlerinde mümkündür. Çünkü henüz platformda veya bir önceki katman üzerinde herhangi bir sey dolu degildir. Malzeme lazerle birlikte yigma islemi gereklestireceginden herhangi bir engel teskil etmeyecektir.

Diger yandan yana, ne ve arkaya yapilabilecek egimler destek yapisi zorunlulugunu da ortadan kaldiracaktır. Tabi bu seçenek eksen takiminin lazerin üzerinde bulunduğu nozula degil de parçanın olusturulduğu platforma verilmesi sartıyla geçerlidir. Alt kısmi bos olan bir yapı yapılacağı zaman parçanın üzerine olusturulduğu platform altı bos yapı seklini elimine edecek sekilde konumlanarak salkim yapıları normal altı dolu parçalar olarak üretilmesine olanak taniyabilir.

Kalıplar İçin Sogutma Kanallari

Kalıplar için kalibin i kavitesinin sekline uygun sogutma kanalının olusturulmasi bütün serbest form kati imalat sistemlerinin dolayisiyla metal üretimi yapılan Hizli Prototip ve üretim teknolojilerinin sagladığı çok önemli bir avantajdır. Bu noktada bütün metal üretimi yapan Hizli Prototip ve üretim sistemlerinin çok büyük bir önemi vardır [Erzincanli and Ermurat, 2002; MoldFlow, 2001].

Sonuç olarak; Hizli retim teriminin yaygınlaşmasına da öncülük eden metal üretim sistemleri olan lazerli üretim sistemleri arasında lazerli yigma tekniginin kullanıldığı sistemler diger lazerli sinterleme sistemlerine karsi daha üstün özellikleri bulunmaktadır.

Karsilastirilan parametreler bazinda düşünöldüğünde SLS ve DMLS prosesleri bazi yönlerden lazerli yigma sistemlerinden üstündür. Fakat bundan sonraki iyilestirilecek alan bakımından bakildiginda yapilabilecek iyilestirmeler sadece malzeme çeşitliliği, malzeme özelliği ve ölçüsel tamlik bakımından olabilir. Tabi bazi lazerli sinterleme sistemlerinde görölen ikinci operasyonların azaltılması da görölebilecek iyilestirmeler arasında sayilabilir.

Lazerli yigma teknolojilerine bakildiginda ise kullanılan malzeme çeşitliliği ve ayni parçada farklı malzemelerin kullanılması ile melez yapıdaki parçaların üretilebilirliği, tek basamakta tamamiyla yogun parçaların üretilebilmesi, onarma operasyonlarında kullanılabilir olması ve çok eksenli uygulama olanaginin bulunması bakımından -bütün parametreler tamamiyla basarilabilmiş olmasa bile- çok avantajlı durumdadır. Fakat yüzey kalitesi, son işlem operasyonu sayısı ve destek yapısı ihtiyacı gibi problemler mutlaka üstesinden gelinmesi gereken problemlerdir. Bu yönüyle bakildiginda gelecekte özellikle lazerli yigma sistemlerinde bu problemlerin çözüme kavusturulması yönünde çalışmalar yürütülecektir [Erzincanlı and Ermurat, 2002].

Bu yönüyle lazerli yigma teknolojileri geleceğin teknolojileri olarak görölebilir.

7.2.2. Tozun Yapıstırılması Metoduyla Kati Model Elde Edilen Sistemler

Bu sistemlerde toz malzemeyi birbirine tutturarak kati model elde etmek için yapıstiricılardan faydalanılır. Bu sistemlerin farklı uygulamaları görölmektedir. Fakat genelde MIT (Massachusetts Institute of Technology) tarafından geliştirilen Üç Boyutlu Yazıcı (3D Printer) uygulamaları basarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

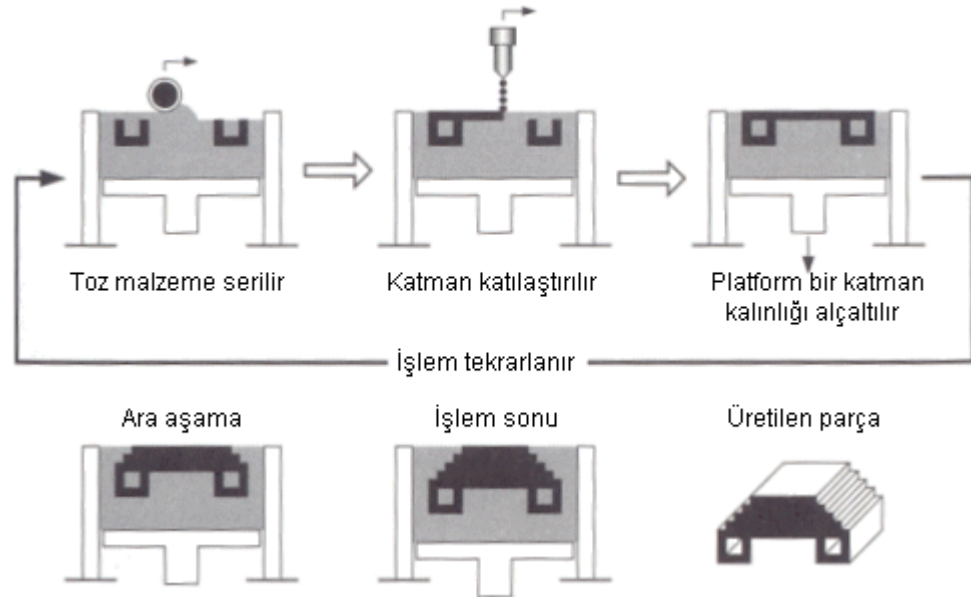
7.2.2.1. Üç Boyutlu Yazıcı

MIT tarafından geliştirilen sistem mürekkep püskürtmeli yazıcıya çok benzediği için üç boyutlu yazıcı olarak adlandırılmıştır. Üç boyutlu yazıcıda mürekkep yerine sivi yapıstirici püskürtölür [Lee, 1999]. Parçanın olusturulacağı

platformun üzerine ince bir toz malzemesi tabakası hazırlandıktan sonra yapıştırıcının belirli yerlere püskürtülmesi ile toz malzeme birbirine yapışarak katılaşır.

Üç Boyutlu Yazıcı Prosesi

Sekil 7.23'te görülen Üç Boyutlu Yazıcı prosesi aşağıdaki şekilde gerçekleşmektedir.



Sekil 7.23 Üç Boyutlu Yazıcı Prosesi

1. Platform üzerine bir katman kalınlığında olacak şekilde toz malzeme bir silindir yardımıyla serilir.

2. Bir katman kalınlığındaki toz malzeme, sıvı yapıştırıcı malzeme püskürten bir yazıcı kafa tarafından ilgili kesit alanın şeklini alacak şekilde taranır. Tarama şekli birbirini paralel takip eden hatlar şeklinde olur. Toz malzeme üzerine püskürtülen yapıştırıcı sayesinde toz malzemeler birbirlerine yapışırlar.

3. Platform bir miktar aşağı indirilerek bir sonraki kesit alanın oluşturulabilmesi için bir katman kalınlığında toz malzeme tekrar serilir.

4. Yeni katman da aynı şekilde yapıştırıcı püskürtülen yazıcı kafa tarafından taranarak hem toz malzemeyi birbirine hem de yeni oluşan katmanı bir önceki katmana yapıştırmis olur.

5. Yapıştırıcı maddenin temas etmediği kısımlar katılaşmazlar. Bu kısımdaki artık toz malzemeler parçanın üst kısımları için doğal destek yapısı görevi görürler.

6. Bütün katmanların aynı şekilde katılaştırılarak bitirilmesi ile bütün bir parçanın üretimi tamamlanmış olur ve parça platformdan çıkarılır.

7. Kati modelin etrafını çevreleyen artık toz malzemeler vakum yoluyla temizlenerek parça gerekiyorsa son işlemlere tabi tutulur.

MIT tarafından geliştirilen bu sistem, çok çeşitli toz malzemelerin kullanılabilmesine imkan sağlamıştır. MIT'den çeşitli şirketler tarafından lisansları alınan Üç Boyutlu Yazıcı sistemleri ticari olarak hayata geçmiştir. Üç Boyutlu Yazıcı lisanslarını alan şirketlerin kendi iyileştirmelerini ve değişikliklerini zaman zaman yapmasıyla şu an çok değişik Üç Boyutlu Yazıcı çeşitleri ortaya çıkmıştır. Bunlar ayrı ayrı incelenecektir.

Üç Boyutlu Yazıcı (Z Corporation)

1994 yılında MIT'den alınan Üç Boyutlu Yazıcı lisansı ile kurulan Z Corp. firması Üç Boyutlu Yazıcı sistemleri arasında en popüler olanıdır. MIT'den alınan lisansın haricinde bir çok patent alarak sistemlerini sürekli geliştiren Z Corp., tek renkli (malzeme rengi) parça üretebilen cihazlarının yanı sıra renkli prototip üretebilen sistem geliştirerek bu alandaki ticari ilk ve tek kuruluştur [Z Corp., 2002].

Z400, Z406 ve Z800 olarak adlandırılan üç cihazı mevcuttur. Z400 ve Z800 sadece tek renk model üretebilen farklı üretim kapasitelerine sahip cihazlardır. İsteğe göre 0.075 mm ile 0.254 mm arasında farklı katman kalınlıkları seçme imkanı vardır.

Renkli Prototip Üretimi

Z406 renkli Üç Boyutlu Yazicinin, RGB (Red-Green-Blue) özelliği ile milyonlarca farklı renk tonunda modeller üretebildiği gibi istenildiğinde tek renkte model üretebilme özelliği de vardır. Modellere renk veren madde toz malzemeden değil de nozullardan fiskirtilan yapıştırıcılardan sağlanmaktadır. Yani platforma serilen ve modelin ana maddesini oluşturan malzeme tek renktir. Üç farklı nozuldan püskürtülen üç farklı renkteki yapıştırıcı sayesinde renkli modeller üretilmektedir. Tek renkli model üretirken dakikada 6 katman katılastırabilen sistem, renkli model üretirken dakikada ancak 2 katman katılastırabilmektedir [Z Corp., 2002]. Bunun nedeni ise, renklerin oluşturulma şekline kaynaklanmaktadır.

Fiskirtilacak yapıştırıcı miktarı bilgisayar yazılımı tarafından hesaplanır. Bilgisayar yazılımı modelde bulunan rengi oluşturacak karışımı otomatik olarak hesaplayarak hangi nozul (renk) için ne oranda renk gerektiğini belirlemekte ve nozulları bu bilgilere göre kontrol etmektedir.

Renkli Prototip Uygulamasında Mevcut Sistemde Görülen Sakıncalar

Kırmızı, yeşil ve mavinin karışımından bir renk elde edileceği zaman bir katman ancak üç taramada tamamlanabilmektedir. Yani kafanın ilk tarama işlemi sadece bir nozul, ikincisinde ikinci rengi fiskirtan nozul, üçüncüsünde ise son rengi fiskirtan nozul çalışır.

Böyle bir çalışma sisteminin bir takım dezavantajları vardır. İlk olarak, katman katılastırma zamanı otomatik olarak üç katına çıkmaktadır. Çünkü katılastırılması gerekli bölgeye her nozulun da yapıştırıcı püskürtmesi gerektiğinden dolayı her işlem üç kez –farklı nozulların fiskirtması suretiyle- tekrarlanmaktadır.

İkinci olarak da, düzenli bir katılastırmanın olmayacağıdır. Çünkü katılastırılması gereken bir bölge ele alındığında, aynı bölgeye her nozuldan farklı zamanlarda sıvı yapıştırıcı madde fiskirtilacaktır. Renkli model üretirken dakikada ortalama 2 katman üretildiği kabul edildiğinde bir katmanın üretilme zamanı 30 sn. olmakta ve bir noktaya temas eden her iki püskürtme zamanı arası 10 sn. lik bir

süreyi kapsamaktadır. Bunun sebep olacağı sorun ise, toz malzeme üzerine ilk sıvı malzemenin püskürtülmesi sonucunda o kısmın hemen katılma sürecine girerek topaklanmaya başlaması ve bu işlemin üç kez aynı noktada gerçekleştiği düşünüldüğünde düzensiz bir katılmanın olacaktır. Bunun sonucu olarak da normalde olması gereken ölçüsel tamlik hassasiyetinin yakalanamayacağı muhakkaktır.

Üç Boyutlu Renkli Yazıcılardaki Mevcut Sakıncaların Çözümüne Yönelik Bir Yaklaşım

Mevcut sistemde bulunan bu iki sorun farklı bir nozul sistemi yaklaşımı ile ortadan kaldırılabilir. Bu yaklaşım şu şekilde açıklanabilir: Mevcut durumda olduğu gibi çok noktadan ve farklı zamanlarda fiskirtme sisteminin yerine tek noktadan ve aynı zamanda bir fiskirtme sisteminin kullanımıdır. Tavsiye edilen sistem bu şekilde açıklanabilir.

Mevcut sistemde bir bilgisayar modeli üzerinde görünen rengin elde edilmesi toz malzeme üzerine farklı zamanlarda püskürtülen yapıştırıcı maddelerin toz malzeme üzerinde birleşimi ile olmaktadır. Fakat teklif edilen sistemde istenen renk karışımı nozul içerisinde olmalıdır. Bu şekilde sadece bir kez püskürtme işlemi gerçekleşecek ve hem bir katmanın üretilmesi için gerekli zaman önemli derecede azalacak ve hem de düzenli bir katılma gerçekleşecektir.

Malzemeler

Üç Boyutlu Yazıcı’larda iki tip malzeme çeşiti kullanılabilir. Birincisi özellikle yüksek dayanım ve detaylı parça üretimi için yapışkan/sıva bazlı malzeme, ikicisi ise düşük maliyet, yüksek hız ve özellikle hassas kalıp işlemleri için tavsiye edilen nisasta-selüloz karışımı malzemedir.

Son İşlemler

Üç Boyutlu Yazıcı’lar ile üretilen prototipler eğer sadece tasarım iyileştirmesi için üretildi ise herhangi bir ikinci işleme gerek yoktur. Fakat eğer bir takım fonksiyonellik ve montaja uygunluk testleri gibi testler gerçekleştirilecek ise

mukavemetinin ve dayanıklılığının artması için reçine ve üretilen gibi değişik malzemelerle infiltrasyon işlemine tabi tutulabilir.

Kabuk Döküm Kalibi Üretimi Sistemi (DSPC- Direct Shell Production Casting)

MIT'nin Üç Boyutlu Yazıcı lisansını alan diğer bir firma ise Soligen firmasıdır. Soligen Üç Boyutlu Yazıcı teknolojisini kullanarak seramik malzemeden kabuk döküm kalibi üreten bir sistem geliştirmiştir. Bu sistemde kullanılan toz malzeme seramiktir. Bu işlemin prosesi aynen Üç Boyutlu Yazıcı'da olduğu gibidir. Fakat tek fark bu sistemde üretilen parça bir döküm kalibi olacak için bilgisayar yazılımı üzerinde bu parçanın içerisine girebileceği bir kabuk kalıp oluşturulur ve işlem sonunda metal malzemenin dökülebileceği girişler ayarlanır. Daha sonra elde edilen bu yeni parça üretilir. Dolayısıyla makinede parça yerine direkt kalibi üretilmiş olur. Bütün katmanların bitiminden sonra elde edilen parça bir fırında yakılarak seramığın sinterlenmesi sağlanır. Daha sonra kalibin iç kısmında kalan toz malzeme de boşaltılarak metal döküm işlemi gerçekleştirilir. Dökülen metal katılastıktan sonra seramik kabuk kırılarak dökülen parçadan çıkarılır [Soligen, 2002].

ProMetal Sistemi

MIT'nin Üç Boyutlu Yazıcı lisansına sahip olan diğer bir firma ise Extrude Hone'dur. Extrude Hone'un geliştirmiş olduğu sistem yine Üç Boyutlu Yazıcı teknolojinin kullanıldığı fakat malzeme olarak toz metal malzemenin kullanıldığı bir sistemdir.

Metal toz malzeme kullanılan ProMetal sisteminin işleyiş şekli diğer Üç Boyutlu Yazıcı sistemlerine benzemektedir. Fakat malzeme farklılığından dolayı bir takım farklılıklar olmaktadır.

Bir katmandaki metal toz malzemenin yapıştırıcı kullanılarak katılastırılmasından sonra katmanın kurutulması sağlanır ve ondan sonra diğer katmanın yapılmasına başlanır. Bütün parça bittiginde metal parça içerisinde

bulundurduğu yapıştırıcı plastik malzemeden dolayı tam yoğunluğunda değildir. Etrafini sarmalayan toz malzemeler temizlendikten sonra firina konan metal parça belli bir sıcaklıkta yakıldıktan sonra %60 yoğunluğuna kavuşur ve metal parçacıkları içerisinde bulunan plastik yapıştırıcı maddeler parçadan atılır. Tekrar ikinci kez firina verilen metal parça bronz malzeme ile infiltrasyon işlemi uygulanarak tam yoğunluğuna ulaşır. Parça son haliyle %60 çelik, %40 bronzdan oluşmaktadır [Extrude Hone, 2002].

Diger Üç Boyutlu Yazıcı Uygulamaları

MIT'nin geliştirdiği Üç Boyutlu Yazıcı teknolojisini kullanan diğer ticari firmalar ise özellikle ilaç sanayini hedef alan ve tablet üretme alanında faaliyet gösteren Therics firması ve seramik malzemeden filtre ve süzgeç elde eden Specific Surface firmalarıdır [Therics, 2002; Specs surf, 2002]. Bu iki sistem de özellikle çok küçük yapıdaki ve detaylı parçaların yapılmasını sağlamak ve proses şekli bakımından diğer sistemlere benzemektedirler.

Üç Boyutlu Yazıcı Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları

Avantajları

- İşlem çok basittir.
- Yatırım ve işletme maliyetleri düşüktür
- Özellikle renkli uygulama özelliği ile diğer Hızlı prototip sistemlerine üstünlüğü bulunmaktadır.
- Herhangi bir destek yapısına ihtiyacı yoktur.
- Tasarım iyileştirmesi için prototip üretiminin mümkün olmasının yanı sıra fonksiyonellik ve uygunluk testi gibi testlerin yapılabilmesi uygulamaların yanı sıra üretilen parçaların son işlem uygulamalarının sonucunda direk olarak son model veya kalıp olarak kullanılabilmesini sağlayan uygulamaları bulunmaktadır.
- İşlem hızlıdır.
- Farklı proseslerde olmak kaydıyla geniş bir malzeme kullanım alanına sahiptir.

Dezavantajlari

- Tasarım iyilestirmesi uygulamaların haricinde genelde son işlem uygulamaları gerekmektedir.
- Birbirine paralel hatlar üzerinde tarama yaptigından dolayı merdiven yapisi etkisi görölmektedir.
- Toz malzemeleri bir arada tutmak için plastik malzeme kullanildigından dolayı özellikle son işlem olarak isi islemi gören parçalarda olusan çekme miktarı çok olmaktadır.

Eriterek Seramik Yigma (Fused Deposition of Ceramics)

Toz malzeme kullanılan fakat Üç Boyutlu Yazıcı tekniginden biraz farklı olan bu sistem seramik toz malzemenin yapistirici bir plastik malzeme ile bir nozuldan platform veya bir önceki katman üzerine fiskirtılarak yigma isleminin gerçekleştirildiği bir sistemdir. Bu sistem sadece seramik malzemelerin değil aynı zamanda seramik katkı maddelerinin de içersine karıştırıldığı bir takım özel metal malzemelerin üretilebilmesi de mümkündür [Venkataraman *et al.*, 2000]. Eriterek Seramik Yigma prosesi, termoplastik yapistirici ile karıştırılmış seramik malzemenin ince bir nozuldan eritilerek geçirilmesi suretiyle fiskirtılmasını ve yigma islemini gerçekleştirmektedir. Eritme işlemi nozul girişine yerleştirilen bir rezistans düzenegi ile gerçekleştirilir [Rutgers, 2002].

Bu sistem henüz Rutgers Üniversitesindeki Serbest form kati imalatı laboratuvarında süren çalışmalarla gelişme aşamasındadır.

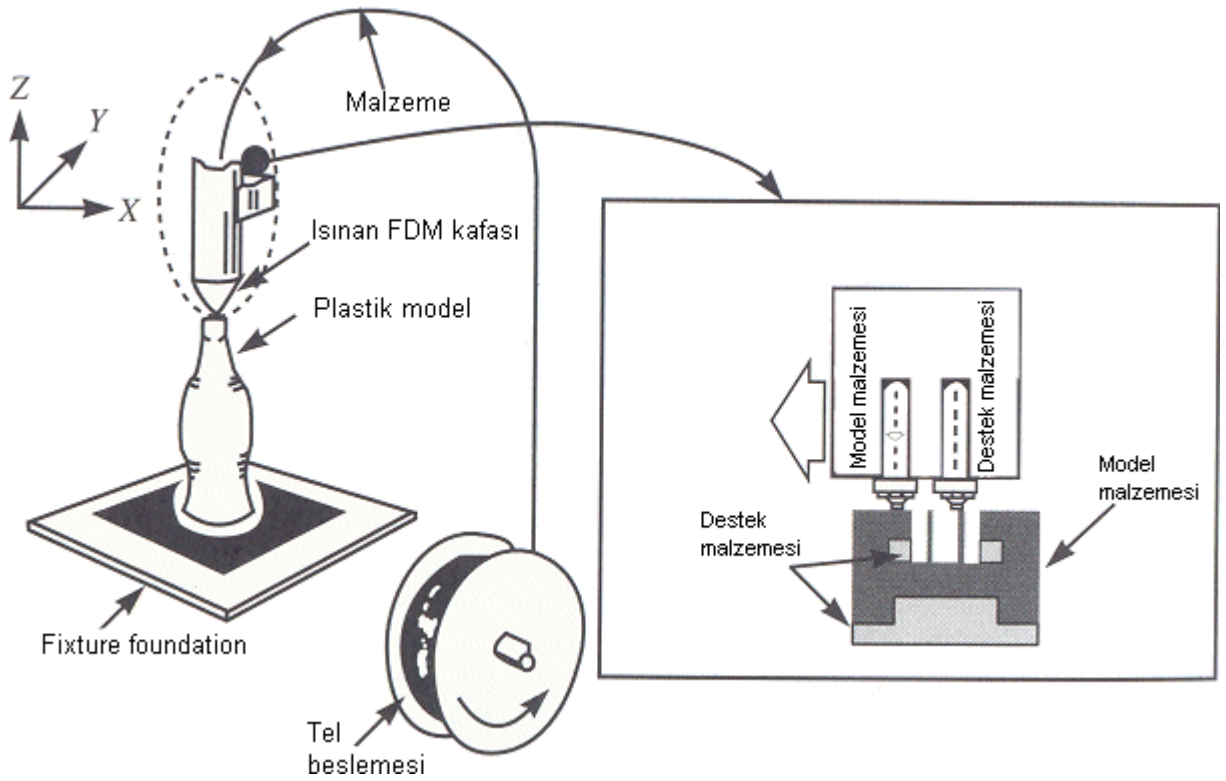
7.3. Kati Malzemeler

Kati malzeme kullanılan bütün mevcut Hızlı Prototip ve Üretim sistemleri malzemenin eritilerek fiskirtılma esasına dayalı sistemlerdir.

Eriyik Yigma Prosesi (FDM-Fused Deposition Modeling)

Strasys, Inc. tarafından geliştirilen FDM prosesi tel şeklindeki termoplastik malzemenin yigmak suretiyle platformun veya bir önceki katmanın üzerine

birakması teknigidir. Malzeme erime sıcaklığının üst kısmına kadar ısıtılarak eritilir ve malzeme nozuldan fiskirtılarak yigma işlemi gerçekleştirilir [Stratasys, 2002]. Sekil 7.24'te proses sekli gösterilen FDM prosesi maddeler halinde su sekilde gerçeklesir.



Sekil 7.24 FDM Prosesi [Lee, 1999]

1. FDM sistemlerinde bir model malzemesi için bir de destek yapısı malzemesi için iki adet nozul bulunmaktadır.
2. Sürekli olarak belirli bir hızda bir ısıtıcı içerisinde ve nihayetinde nozuldan geçen ince bir tel şeklindeki kati plastik malzemesinin, erime sıcaklığının daha üstünde bir sıcaklıkta ısıtılarak nozuldan erimis bir sekilde çıkması sağlanır.
3. Nozuldan çıkan erimis malzeme platformun veya bir önceki katılastırılmış katmanın üzerine yigilir.

4. Olusturulacak katmanın ilgili kesit alanına göre datası okunarak ilk önce dis konturlar oluşturulur. Daha sonra iç kısımlar belirli bir açıda birbirine paralel hatlarda taranarak doldurulur.

5. Böylece sadece modelden okunan kesit alanı belirleyen kısımlar malzeme ile doldurulmuş olur. Haricinde kalan kısımlar boş kalır. Bundan dolayı salkım gibi herhangi bir doğal desteği bulunmayan bir yapı desteğe ihtiyaç duyacağından FDM sistemlerinde destek yapısı oluşturulması zorunludur.

6. Destek yapısı için kullanılan malzeme modelin oluşturulduğu malzemeden daha yumuşak ve erime sıcaklığı daha düşük olan bir malzemedir. Aynı katmanda hem normal malzeme ve hem de destek malzemesi yığılabılır. Bu, modeldeki kesit alanın bilgisine bağlıdır.

7. Katmanın bitiminden sonra diğer katmanlar da aynı şekilde gerçekleştirilir. Katmanların tamamının bitiminden sonra destek yapısı malzemesi çıkarılır. Sonuç olarak; FDM cihazları ile sağlam yapılı, dayanıklı ve fonksiyonel prototiplerin üretilmesi mümkün olmuştur.

Eriyik Fiskirtma Üretimi (Melted Extrusion Manufacturing)

Tsinghua Üniversitesi ile Fang Ming Da Co., firmasının üzerinde birlikte çalışarak geliştirdiği sistem aynen Eriyik Yigma prosesine benzemektedir. Fark olarak gösterdikleri tek şey ise kendi nozul ve kendi ısıtma sistemlerini geliştirmiş olmaları.

Çoklu Jetli Üretim (Multi Jet Modeling)

3D Systems tarafından geliştirilen bu sistem, üzerinde çok sayıda jet bulunan bir kafanın parçanın üst kısmında hareket ederken eritilen malzemenin yine aynı Üç Boyutlu Yazıcı teknigindeki gibi platform üzerine veya bir önceki katman üzerine bırakılmasıdır. Fakat burada nozullardan fiskiran malzeme, ikinci plandaki (yapıştırıcı) bir malzeme değil paçayı oluşturan asıl malzemedir. Bu yönüyle bir farklılık göstermektedir [3D systems, 2002].

Üç Boyutlu Çizici (3D Plotting)

Bu sistem de 3D Systems'in çoklu jetli üretim sistemine benzemektedir. Özellikle mücevher alanini hedefleyen Solidscape firmasının geliştirdiği bu sistem sayesinde ok hassas ve detaylı parçaların üretilebilmesi ve üretilen parçaların hassas kalıp için kullanılabilmesi mümkün olmaktadır [Solidscape, 2002].

Kontur Sekillendirme (Contour Crafting)

Özellikle mevcut Hızlı Prototip ve Üretim teknolojilerindeki dış kısımlarda kalan merdiven yapısının önlenmesi için geliştirilen bir sistem olan Kontur Sekillendirme prosesi nozuldan fiskirtilan plastik malzemenin kendiliğinden sekillenmeden bilgisayar kontrollü bir 'mala' yardımıyla düzgün bir şekilde sekillendirilerek hem düzgün yapıda hem de ince duvarların üretilebilmelerini sağlamıştır [Khoshnevis, 1997]. Fakat bu sistem çok karmaşık olduğundan su anda sadece geliştirme aşamasındadır. Ticari olarak nitelik kazanmamıştır.

Diğer Eriyik Yigma ve Fiskirtma Yöntemleri

FDM yöntemine çok benzer diğer bir uygulama ise metal tel malzemenin eritilerek bir nozuldan yigma işleminin gerçekleştirildiği (shape melting) prosesidir. Bu proses Bobcock& Wilcox tarafından geliştirilmiş ve Nikel bazlı alaşımlar üzerinde denenmiştir. Sistem bir kaynak makinasını andırmaktadır. Çünkü bu işlemde malzemelerin erimesi ve birbirleriyle bağlanmasının haricinde ısı işlemi de gerçekleşmektedir.

Kaynak işlemine benzer diğer bir sistem ise damlacık kaynağı (Droplet Welding) prosesidir. Bu süreçte çok küçük yapıdaki elektrik ve elektronik malzemelerin yapımı amaçlanmıştır. Bir metal tel ucunda mikro büyüklükte bir ark oluşturulurken tel ucunda çok küçük bir damlacık şeklinde erime meydana getirmeyi ve bu damlacığı platform üzerine yigma işlemini kapsamaktadır. Damlacık boyutu 50 µm ile 1000 µm arasında değişmektedir [Titan, 2002].

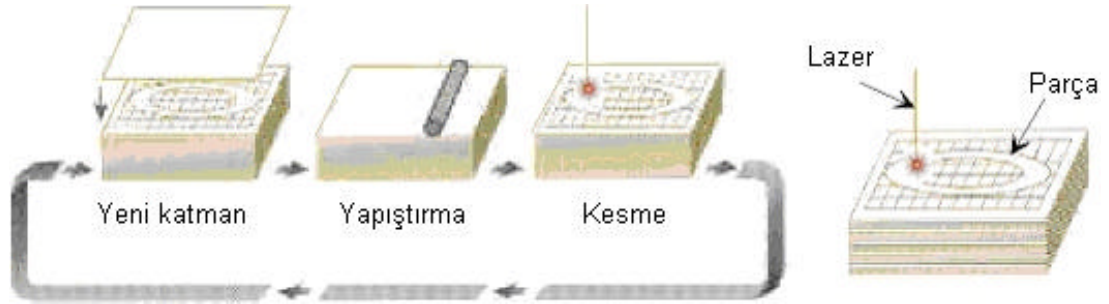
Texas Üniversitesinde geliştirilen bir başka sistem ise Sivi metal jet (Liquid Metal Jetting) işlemidir. Bakır ve alüminyum gibi malzemelerin eritilerek yigma suretiyle bir model oluşturma sistemidir. Yine 3D Systems'in Çoklu Jetli Üretim sistemine çok benzemektedir [ARRI, 2002].

7.4. Levha-Tabaka Yapılı Malzemeler

Levha yapılı malzeme kullanılan sistemler genel olarak levha halindeki malzemelerin bilgisayardan alınan veriye göre dış konturlarının çeşitli kesicilerle kesilerek üst üste istiflenmesinden ibarettir. Bu noktada kullanılan malzeme çeşidine göre kesme yöntemi değişik sistemler geliştirilmiştir.

7.4.1. Lazerli Kesme Yöntemi Kullanılan Sistemler

Levha halindeki malzemelerin lazer yöntemi ile kesilmesini gerçekleştiren ve ticari olarak en popüler olan Helisys sisteminin geliştirmiş olduğu Katmanlı Nesne İmalatı (LOM-Laminated Object Manufacturing) sistemidir. Helisys firmasının geliştirdiği Katmanlı Nesne İmalatı Şekil 7.25'te görülmektedir.



Şekil 7.25 Katmanlı Nesne İmalatı Prosesi [Helisys, 2000]

Proses şu şekilde gerçekleşir.

1. Öncelikle levha halindeki malzeme platform üzerine yerleştirilir.
2. Daha sonra ilgili kesit alandaki bilgiye göre katman kesit alanı oluşturan dış konturlardan lazer yardımıyla kesilir.

3. Dis kisimda kalan artik malzeme daha sonra kolaylikla ıkarilabilmesi için küçük dilimlere ayrilir.
4. Daha sonra parçanın olusturulduğu platform bir katman kalinligi alçaltılarak yeni katman bir önceki olusturulan katman üzerine getirilerek sıcak bir silindir yardimiyla bir önceki katmana yapistirilmesi saglanır.
5. Birinci katman için gerçeklesen kesme islemi bu katman için de gerçeklesir ve bütün parça bitinceye kadar bu islem devam eder.
6. Islem sonunda parçanın etrafını çevreleyen ve lazerle küçük dilimlere kesilen fazlalik malzemeler esitli el aletleriyle koparilarak parça temizlenir.
7. Temizlenen model nemden korunmasi için verniklenir ve istendiginde boyanabilir.

Helisys'in geliştirdiği Kati Nesne Imalatı sisteminde yapışkanlı kağıtlar ve plaka halindeki plastik malzemeler kullanılır. Lazer olara 50W gücündeki CO₂ lazerler kullanılır.

Diğer bir Kati Nesne Imalatı sistemi ise CAM-LEM firması tarafından geliştirilen bir sistemdir. Bu sistem sayesinde seramik levha halindeki malzemeler katmanlı üretim metoduyla retilabilmektedir. Helisys'in sistemine çok benzer bir metotla istiflenen seramik levhalar birbirine plastik yapıştırıcılarla tutturulurlar. Islemden sonra firında yakılan seramik parça hem plastik maddelerden temizlenir hem de sinterlenerek katmanlı yapı etkisi kaybolur.

Lazerli kesme yönteminin kullanıldığı diğer bir çok sistem vardır. Bunlar;

- Landform Topographics'in Katmanlı Nesne Imalatı yöntemi
- Tsinghua niversitesi'nin Dilimli kati imalatı yöntemi
- Ceramic Composite'in Katmanlı Nesne Imalatı yöntemi'dir

Bunlar Helisys'in Katmanli Nesne Imalati prosesi gibi kesilme isleminde önce bir önceki katmana yapistirma islemi yapılan islemlerdir.

İlk önce kesilme islemi yapılan daha sonra yapistirma islemi yapılan proses ise;

- Liptool Ltd. tarafından gelistirilen Lazer Profil isleme sistemidir.

7.4.2. Bıçakli Kesme Yöntemi Kullanılan Sistemler

Bıçakla kesme yöntemi kullanılan sistemler ise bir Japon firmasi olan Kira Corp.'un gelistirdigi Kagit laminasyon sistemidir. Katmanli Nesne Imalati sistemine çok benzeyen sistemde kesici olarak lazer yerine ucu sivri ve keskin bıçaklar kullanılmaktadır. Bu sistem önce katmanların yapistirilip kesme isleminin daha sonra yapıldığı bir sistemdir.

Önce kesme isleminin gerçeklestigi sistemler ise Ennex Corp.'un 'Offset Fabrication' ve Schroff Development Corp.'un JP System 5 sistemleridir.

Bahsedilen bu lazer ve bıçakla kesme isleminin gerçeklestirildiği sistemler haricinde frezeme islemiyle kesme, elektrot ile kesme ve basınçlı su ile kesme yöntemleri de gelistirme asamasındadır.

7.5. Gazlar ve Atomlar

Gün geçtikçe nano teknoloji uygulamalarına doğru yönelen Serbest form Kati Imalati teknolojilerinde gazlar ve atomlarla ilgili bir takım çalışmalar gözlemlenmektedir.

Özellikle Georgia Teknoloji Enstitüsünde yürütülen Lazer destekli Kimyasal Buhar Yigma (Laser-assisted Chemical Vapor Deposition) çalışmaları, Texas Üniversitesi'nde Gaz Fazında Yigma (Gas Phase Deposition) ve Seçmeli Lazer Reaksiyon Sinterleme (Selective Laser Reaction Sintering), Connecticut Üniversitesi'nde Seçmeli Alan Lazerli Yigma (Selective Area Laser Deposition) ve

Lazer destekli Seçmeli Alan Metal Organik Kimyasal Buhar Yigma (Laser-assisted Selective Area Metal Organic Chemical Vapor Deposition) sistemleri gazlar üzerine yapılan çalışmalara örneklerdir.

Diger yandan atomlar ve moleküller seviyesinde yapılan çalışmalar bakımından ise Moleküler İmalat Enstitüsünde yürütülen Moleküler Nano teknoloji çalışmaları göze çarpmaktadır.

8. SONUÇLAR

Hızlı Prototip ve Üretim sistemlerinin üretim sektörü için tasıdığı önemi ve üretimdeki görevleri incelenerek es zamanlı mühendislik uygulamalarının basarılı ve etkili bir şekilde uygulanmasındaki rolü ortaya çıkarılmıştır. Eszamanlı mühendisliğin etkili bir şekilde uygulanmasının sağlanmasının yanı sıra tepkisel ve çevik üretim stratejilerine katkıları da araştırılmıştır. Bu değerlendirmeler Bilgisayarlı Bütünleşik İmalat kavramı çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

Hızlı Prototip teknolojilerinin tarihine inilerek geliştirilmesinde hangi eski bilim dallarından yararlanıldığı ve ne gibi araştırmalardan etkilenildiği araştırılmıştır.

Hızlı Prototip ve Üretim sistemlerinin mevcut bütün ticari metotları incelenerek belirli kriterlere göre birbirlerine üstünlükleri araştırılmıştır.

Sistemlerin incelenmesi esnasında mevcut aksaklıklara çözüm olarak bir takım iyileştirme yaklaşımları sunulmuştur.

İncelenen sistemler arasında özellikle geleceğe hitap eden sistemler üzerinde durulmuştur. Henüz bu sistemlerde tam basarım elde edilememiş olsa da hangi konularda ne gibi iyileştirmelerin veya uygulamaların yapılabileceği araştırılmıştır.

Finansal kaynak sağlandığında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü bünyesinde gerçekleştirilmesi düşünülen sistem olarak Lazerli Malzeme Yigma teknolojisi belirli kriterlere dayalı olarak tercih edilmiş ve detaylı olarak incelenerek teorik alt yapısının kurulması sağlanmıştır. Özellikle bu teknolojinin sahip olduğu bir takım sınırlamalara rağmen bazı kriterler çerçevesinde geleceğin en önemli Hızlı Üretim teknolojilerinden biri olacağı iddia edilerek gelecekte neler yapılabileceği, mevcut sistemlere nazaran ne gibi alternatiflerin olacağı incelenerek tartışılmıştır.

9. ÖNERİLER

Hızlı Prototip kavramı artık değişmektedir. Kavram artık Hızlı Prototip Üretimi olmaktan çıkıp Hızlı Üretim ve hatta Direk Üretim olarak değişmektedir. Bu kavram, direk parça imalinden direk kalıp imaline, mikro yapıdaki elektro-mekanik araçların üretiminden nano boyutlardaki cisimlerin üretimine kadar çok geniş bir perspektifte anlam kazanmaktadır. Bu uygulamaları gerçekleştirebilecek nitelikteki çeşitli teknolojiler çok yakından takip edilerek Hızlı Prototip ve Üretim teknolojilerinde uygulanabilirliği sağlanmalıdır.

Hızlı prototip sistemlerinin en büyük sorunlarından biri ölçüsel tamlıktır. Bu sorun eklemeli tip proses olmasından kaynaklandığı gibi merdiven yapısı etkisinin de büyük bir payı vardır. Bu nedenle yeni bir inşaat stili geliştirilmelidir. Bu inşaat stili özellikle dilimleme işlemini de içine alarak farklı bir anlayış getirmelidir. Bu anlayış parçanın bütün bir yüzeyinin aynı anda yapılması veya dilimlemenin dış yüzeyin şekline göre şekillenerek merkeze doğru gitmesi şeklinde olabilir.

Hızlı Prototip sistemlerindeki diğer yaşanan sorun ise bazı sistemlerde oluşturulması şart olan destek yapılarıdır. Destek yapılarının bahsedilen mevcut sorunları çözecek fikirlerin veya destek yapısını bütün sistemler için tamamen ortadan kaldıracak yeni yaklaşımların geliştirilmesi gerekmektedir.

Üç Boyutlu Renkli Yazıcı uygulamalarındaki mevcut aksaklıkların giderilmesi için sunulan yeni bir sistem yaklaşımı ile teorik olarak elde edilen başarının uygulamasının gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Lazerli Metal Yigma sistemlerinde görülen destek yapısı oluşturulmasında yaşanan kısıtlamalara sunulan alternatif çözüm teklifinin araştırılarak uygulamasının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Diğer yandan bu sistemlerde yaşanan ölçüsel tamlik problemi bir şekilde asılarak son işlem operasyonlarının uygulanmasına gerek kalmadan parçayı tam ölçüsünde üretebilecek yaklaşımların geliştirilmesi ve uygulanması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. 3D Systems, Inc. Stereolithography Interface Specification, July 1988
2. 3D Systems, Inc. Resmi internet sitesi, www.3dsystems.com, system brochure, 2002
3. Aaroflex, Inc. Resmi internet sitesi, www.aaroflex.com/index.htm, 2000
4. Aeromet Resmi internet sitesi, www.aerometcorp.com, 2002
5. Anderson D.C., Computer-Aided Design Tools for Manufacturing in Design and Analysis Tools in Manufacturing in Modern Manufacturing, in Mechanical Engineering Handbook, Edited by Kreith F., (Boca Raton: CRC Press LLC, 13-87, 1999)
6. ARRI, Automation & Robotics Research Institute, University of Texas, 2002
7. Baese C., U.S. Patent 774.549, 1904
8. Beaman J.J., JTEC/WTEC Panel Report on Rapid Prototyping in Europe and Japan VOLUME I. ANALYTICAL CHAPTERS, Historical Perspective, 1997
9. Bell G., Parisi A. and Pesce M., VRML 1.0 Specification, Silicon Graphics, Mountain View, CA, 1996
10. Bertsch A., Bernhard P., Vogt C. and Renaud P., Rapid Prototyping of small size objects, Rapid Prototyping Journal, V.6,N.4,2000, pp.259-266
11. Bertsch A, Bernhard P. and Renaud P. Microstereolithography: Concepts and applications, 8th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'01), Juan les Pins, France, 2, pp.289-299, (2001).
12. Bertsch A., A Few Scanning Electron Microscope Photos of structures made by microstereolithography at EPFL, <http://microtechnique.epfl.ch/~abertsch/>, 2002

13. Birmingham B.R. Solid Freeform Fabrication of silicon Nitride Shapes by Selective Laser Reaction Sintering, 1995 Solid Freeform Fabrication Symposium at the University of Texas at Austin, 1995
14. Blanthier J. E., U.S. Patent 473.901, 1892
15. Bloor S., Brown J., Dolenc A., Owen J. and Steger W., Data exchange for rapid prototyping, Summary of EARP investigation presented at Rapid prototyping and manufacturing Research Forum, University of Waraick, Coventry, October, 1994
16. Bogart M., In art the ends don't always justify means. Smithsonian 104-110, 1979
17. Brown R.L. and Beaman J.J., JTEC/WTEC Panel Report on Rapid Prototyping in Europe and Japan, Volume 1. Analytical Chapters, Japanese Site Reports, Loyola College in Maryland, 1997
18. Chen Y.H and Song Y., The Development of a layer based machining system, Computer-Aided Design, 33, 2001, 331-342
19. Cheng W., Fuh J.Y.H., Nee A.Y.C., Wong Y.S., Loh H.T. and Miyazawa T., Multi-objective optimization of part-building orientation in stereolithography, Rapid Prototyping Journal, V.1 N.4,1995, pp.12-23, MCB University Pres
20. Ciptono W.S., Ismulyaty S., The strategy formulation of total quality in agile manufacturing by implementing the study of the relationships between environmental factors of concurrent engineering (CE) and the performance of product development: An empirical study in manufacture industry in Java Island, Indonesia, Managing Innovative Manufacturing Conference – “MIM2000” – Aston Business School, U.K., 2000
21. Ciraud P. A., FRG Disclosure Publication 2263777, 1972
22. DiMatteo P. L. 1976. U.S. Patent 3.932.923

23. Dolenc A., An overview of Rapid Prototyping Technologies in Manufacturing, Institute of Industrial Automation, Helsinki University of Technology, 1994
24. Elliot D.J., Ultraviolet Laser Technology and Applications, Academic Pres, Inc. 1995
25. EOS GmbH Electro Optical Systems Resmi internet sitesi www.eos-gmbh.de, EOS GmbH Electro Optical Systems Brochure., 2002
26. Ermurat M., Erzincanli F., The Role of the Rapid Prototyping Technologies in CIM, 2nd. International Conference on Responsive Manufacturing, Gaziantep University, 2002
27. Erzincanli F., Ermurat M., Comparison of the Direct Metal Laser Fabrication Technologies, 2nd International Conference on Responsive Manufacturing, University of Gaziantep, 2002
28. Extrude Hone, Prometal Resmi internet sitesi, www.prometal-rt.com, 2002
29. Fadel G. M. and Kirschman C., "Accuracy issues in CAD to RP translations," Rapid Prototyping Journal, Vol. 2, No. 2, pp. 4-17, 1996.
30. Fockeleundschwarze Resmi internet sitesi, www.fockeleundschwarze.de, 2002
31. Fudim E.V., Light Sculpting Process of Automated Fabrication, www.lightsculpting.com, 2002
32. Gaskin T. A., U.S. Patent 3.751.827, 1973
33. Grimm T., Stereolithography, Selective Laser Sintering and PolJet: Evaluating and Applying the Right Technology, Accelerated Technologies, 2002
34. Gunasekaran A. and Love P.E.D., A review of Multimedia Technology in Manufacturing, Computers in Industry, 38, 1999, pp. 65-76

35. Gunasekaran A, Agile Manufacturing: A framework for Research and Development, International Journal Production of Economics, 62, 1999, pp. 87-105
36. Harrington J., Computer integrated manufacturing. New York: Industrial Press, 1973
37. Helisys Resmi internet sitesi, www.helisys.com, 2000
38. Herbert A. J., Solid object generation. J. Appl. Photo. Eng. 8(4)(August): 185-88, 1982
39. HKPU Hong Kong Polytechnic University-Department of Mechanical Engineering Resmi internet sitesi, Concurrent Engineering - Customers Want It Now, 2001
40. Hornbeck L.J., Digital Light Processing (TM) for high brightness high resolution applications, Electronic Imaging (EI'97), Projection Displays III, San Jose, California, USA, 1997, pp.1-14
41. Hull C., U.S. Patent 4.575.330, 1986
42. Ikuta K., Ogota T., Tsubio M. and Kojima S., Development of mass productive micro stereo lithography, 8th IEEE Workshop on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS'96), 1996, pp.301-306
43. IUPAC International Union of Pure and Applied Chemistry, Compendium of Chemical Terminology, <http://www.iupac.org/index.html>, 2002
44. Jacob G.G.K., Kai C.C. and Tong M., Development of a new rapid prototyping interface, Computers in Industry, 39, 1999, pp.61-70
45. Jeng J.Y. and Lin M.C., Mold fabrication and modification using hybrid processes of selective laser cladding and milling, Journal of Materials Processing Technology, 110, 2001, 98-103
46. Jurrens K.K., Standarts for the rapid prototyping industry, Rapid Prototyping Journal, V.5,N.4-1999,pp. 169-178, ISSN. 1355-2546

47. Kathuria Y.P., Microstructure by selective laser sintering of metallic powder, *Surface and Coatings Technology*, 119-119, 1999, 643-647
48. Khoshnevis B., Project web page, www-rcf.usc.edu/~khoshnev/us-tech.htm, 1997
49. Klocke F., Celiker T., Song Y.A., Rapid Metal Tooling, *Rapid Prototyping Journal*, v.1,N.3,1995, pp.32-42, MCB University Pres- ISSN 1355-2546, UKKlotzbucher, 1998: Klotzbucher A., Computer Integrated Manufacturing – Computer-Aided Manufacturing Applied to Machining Operations, in *Mold Making Handbook* Edited by Mennig G.,p.293, (Hanser/Gardner Publications, Inc., Cincinnati, 1998)
50. Koc B., Ma Y., Lee Y.S., Smoothing STL files by Max-Fit biarc curves for rapid prototyping, *Rapid Prototyping Journal*, V.6, N.3, 2000. pp.186-203, MCB University Pres, ISSN 1355-2546
51. Kochan D, Kai C.C. and Zhaohui D., Rapid prototyping issues in the 21st. century, *Computers in Industry*, 39, 1999, 3-10
52. Kodama H., Automatic method for fabricating a three-dimensional plastic model with photo-hardening polymer. *Rev. Sci. Instrum.* 1770-73., 1981
53. Kulkarni P., Marsan A. and Dutta D., A review of process planning techniques in layered manufacturing, *Rapid Prototyping Journal*, v.6.N.1., 2000,pp.18-35
54. Kunieda M. and Nakagawa T., Development of laminated drawing dies by laser cutting. *Bull. of JSPE* 353-54, 1984
55. Lee J. and Shafrik R., Introduction in Modern Manufacturing, in *Mechanical Engineering Handbook*, Edited by Kreith F., (Boca Raton: CRC Press LLC, 13-3, 1999)
56. Lee K., Rapid Prototyping and Manufacturing, Principles of CAD/CAM/CAE Systems, pp.378-431, Addison Wesley Longman, Inc, 1999

57. Love P., Gunasekaran A. and Li H., Concurrent Engineering: a strategy for procuring construction projects, International Journal of Project Management, vol 16, No.6, pp.375-383, 1998
58. Martin A.D., ANALYSIS AND REPAIR OF STL FILES, A thesis, California State University, Long Beach May, 1998
59. Materialise Inc., Materialise Magics 7.2 Help Documentation, Support Generation Parameters, 2002
60. Matsubara K., Japanese Kokai Patent Application, Sho 51[1976]-10813, 1974
61. Ming L.Wai and Gibson I., Specifications of VRML in Color Rapid Prototyping, Department of Mechanical Engineering, The University of Hong Kong, V.1, P.N.1,2001
62. MoldFlow Plastics Insight Help, 2001
63. Monteah, F. H. 1924. U.S. Patent 1.516.199
64. Morioka, I. U.S. Patent 2.015.457, 1935
65. Morioka I., U.S. Patent 2.350.796, 1944
66. MPH, Mobile Parts Hospital Official Site, www.mobilepartshospital.com/
67. MTIAC, Manufacturing Technology Information Analysis Center, <http://www.mtiac.iitri.org/pubs/rp/rp1.htm>
68. Mukerjee A., Rapid Prototyping Processes, (Published Course notes of the lecturer,) Indian Institute of Technology, Kanpur, <http://www.cse.iitk.ac.in/~amit/>, 1997
69. Munz O.J., U.S. Patent 2.775.758, 1956
70. Nagalingam Sev V. And Lin Grier C.I., Latest Developments in CIM, Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 15, 1999, 423-430

71. Nakagawa T. *et al.*, Blanking tool by stacked bainite steel plates. Press Technique 93-101, 1979
72. Nakagawa T., Kunieda M. and Liu S., Laser cut sheet laminated forming dies by diffusion bonding. In Proc. 25th Int'l. MTDR Conf., 505-510, 1985
73. Niu H.J., Liquid phase sintering of M3/2 high speed steel by selective laser sintering, Scripta Materialia, Vol.30,No.1, 1998, 67-72
74. Objet Quadra 3D Rapid Prototyping Inkjet Printing system, Objet Geometries Resmi internet sitesi, www.objet.co.il, 2002
75. OPTOMEC, Optomec Design Official Web site, www.optomec.com, 2002
76. Pacheco J.M., State of the Art Review: Rapid Prototyping for Manufacturing, IIT Research Institute, MTIAC SOAR-93-01, 1993
77. Perera B. V., U.S. Patent 2.189.592, 1940
78. Pham D.T. and Gault R.S., A comparison of rapid prototyping Technologies, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 38, 1998, 1257-1287
79. Phillips, M., Levy, S., and Munzer, T., 1996, "Geomview Manual," Geometry Center, Minneapolis, MN.
80. POM, Precision Optical Manufacturing Resmi internet sitesi, www.pom.net, 2002
81. RASILIT, Russian Academy of Sciences Institute on Laser and Information Technologies Resmi internet sitesi, www.laser.ru/rapid/LSOI250e.html, 2002
82. Reed Kaad, Harrvd D., Conroy W., Initial Graphics Exchanges Specification IGES version 5.0, CAD-CAM Data Exchange Technical Centre, 1990
83. Reinhardt A., Microstructure and –systems production with Rapid Micro Product Development (RMPD) for medical and other applications, First International

Conference on Laser Optics for Young Scientists, Technical Digest of Conference LO-YS'2000, Russian Center of Laser Physics, Research Institute of St. Petersburg State University, 2000

84. Rockwell Scientific company Commercial Web site, <http://www.rockwellscientific.com/structuralmaterials>, 2002

85. Rosochowski A. and Matuszak A., Rapid Tooling: the state of the art, *Journal of Materials Processing Technology* 106, 191-198, 2000

86. Rosochowski A. and Matuszak A., Rapid Tooling: the state of the art, *Journal of Materials Processing Technology*, 106, 2000, 191-198

87. Rutgers University Resmi internet sitesi, Laboratory of Solid Freeform Fabrication of Advanced Ceramics at Rutgers University web site, www.caip.rutgers.edu/sff/, 2002

88. Saxena K.B.C., Sahay B.S., Managing IT for world-class manufacturing: the Indian scenario, *International Journal of Information Management*, 20, (2000), 29-57

89. Schwerzel R. E. *et al.*, Three-dimensional photochemical machining with lasers. In *Appl. of Lasers to Ind. Chem.*, SPIE, 90-97, 1984

90. Shiomi M., Yoshidome A., Abe F., Osakada K., Finite element analysis of melting and solidifying processes in laser rapid prototyping of metallic powders, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 39, 1999, 237-252

91. Solid Concepts Inc. Solid view 3.3 Help Document, 2001

92. Solidscape Formerly Sanders Prototype Resmi internet sitesi, www.solidscape.com, 2002

93. Soligen Resmi internet sitesi, www.soligen.com, 2002

94. Specific Surface Resmi internet sitesi, www.specsurf.com, 2002

95. Stratasys Resmi internet sitesi, www.stratasys.com, 2002

96. Streich B., 3D-Scanning and 3D-Printing for Media Experimental Design Work in Architecture, ACADIA96 conference in Tucson, Arizona State University in Tucson, 1996
97. Swaelens B. and Kruth J.P., Medical application of rapid prototyping techniques, 4th International Conference on Rapid Prototyping, June 14-17, 1993
98. Swainson W. K., U.S. Patent 4.041.476, 1977
99. Therics Resmi internet sitesi, www.therics.com, 2002
100. Titan Systems Corporation, Applied Technologies Group Web site, www.titan.com/appliedtech/Pages/TRT/pages/drow/drow.htm, 2002
101. Tso S.K., Lau H.C.W., Ho J.K.L. and Zhang W.J., A framework for developing an agent-based collaborative service support system in a manufacturing information network, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 12, 1999, 43-57
102. Vail N.K., Swain L.D. and Fox W.C., Aufdlemorte T.B., Lee G., Barlow J.W., Materials and Design, 20, 1999, 123-132
103. VDA, Verband der Automobilindustrie e.V., Westendstrasse 61, D-6000 Frankfurt am Main, Germany. VDA Surface Interface, version 2.0, January 1987.
104. Venkataraman N., Rangarajan S., Matthewson M.F., Harper B., Safari A., Danforth S.C., Wu G., Langrana N., Gucer S. and Yardimci A., Feedstock material property – process relationships in fused deposition of ceramics (FDC), Rapid Prototyping Journal, V.6, N.4., 2000, pp. 244-252
105. Wang F., Mills J.J., Devarajan V., A conceptual approach managing design resource, Computers in Industry, 47, 2002, 169-183
106. Weiss L. E., JTEC/WTEC Panel Report on Rapid Prototyping in Europe and Japan VOLUME I. ANALYTICAL CHAPTERS, SFF Process March 1997

107. West A.P., Sambu S.P., Rosen D.W., A process planning method for improving build performance in stereolithography, computer-Aided Design, 33, 2001, 65-79
108. Wohlers T., Wohlers Report 2001, Wohlers Associates., 2001
109. Yanshuo W. et. al., "The Use of VRML to Integrate Design," Solid Freeform Fabrication Proceedings, pp. 669-676, 1997.
110. Z Corp. Official web site, www.zcorp.com, 2002
111. Zang E. E., U.S. Patent 3.137.080, 1964

ÖZGEÇMİS

Mehmet ERMURAT, 1977 yılında K.Maras'ta doğmuştur. İlk, orta ve Lise öğrenimini K.Maras'ta tamamladıktan sonra, 1994 yılında Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi bölümünü kazanmıştır. Üniversiteyi 4 yılda başarıyla tamamlayarak 1998 yılında mezun olmuştur.

1998 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Bölümü yüksek lisans sınavlarına girerek yüksek lisans yapmaya hak kazanmıştır. 1 yıl süreyle Enstitünün İngilizce hazırlık sınıfında okuduktan sonra 1999 yılında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 1999 yılında aynı bölümde araştırma görevlisi olarak göreve başlayan Mehmet ERMURAT, 2001 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fakültesi bünyesinde Tasarım ve İmalat Mühendisliği ana bilim dalının açılması ile bu bölüme geçmiştir.

Halen aynı bölümde araştırma görevlisi olarak görevine devam etmektedir.