

95036

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HIZLI PROTOTİP ÜRETİMİ

Mak. Müh. Hülya UYSAL

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erhan ALTAN

Altan

İSTANBUL, 2000

Prof. M. Erhan YURCU

Prof. Dr. Ahmet Uenal

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMA LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
2. HIZLI PROTOTİPLEME ve ESASLARI	2
2.1 Hızlı Prototiplemeye Giriş.....	2
2.2 Hızlı Prototiplenmenin Esasları.....	5
3. HIZLI PROTOTİPLEME YÖNTEMLERİ.....	14
3.1 Sıvı Bazlı Hızlı Prototipleme Sistemleri	14
3.1.1 Streolithografi Yöntemi (SL).....	14
3.1.2 ‘Sony’nin Katı Oluşturma Sistemi (SCS).....	18
3.1.3 Cubital’ in Katı Zemin Oluşturma Yöntemi (SGC)	20
3.1.4 CMET’in Katı Nesne Ultraviole Lazer Tarayıcısı (SOUP)	21
3.1.5 EOS’un Stereo Sistemi.....	23
3.1.6 Teijin Seiki’nin Katı Şekil Verme Sistemi.....	25
3.1.7 Meiko’nun Hızlı Prototipleme Sistemi.....	26
3.1.8 İkili Lazer Işın Yöntemi.....	27
3.2 Katı Bazlı Hızlı Prototipleme Sistemleri	28
3.2.1 Helisy’nin Lamine Parça Üretim Yöntemi (LOM)	28
3.2.2 Stratsy’nin Erimiş Birikim Modellemesi (FDM)	30
3.2.3 Kira’nın Seçici Yapıştırma ve Sıcak Presleme Yöntemi (SAHP).....	32
3.2.4 3D Systems’in Multi Jet Modelleme Yöntemi (MJM).....	34
3.2.5 IBM Hızlı Prototipleme Yöntemi (RPS)	35
3.2.6 Kinergy Hızlı Prototipleme Yöntemi	36
3.2.7 Sander Hızlı Prototipleme Yöntemi	37
3.2.8 Spark AB Hızlı Prototipleme Yöntemi.....	38
3.2.9 Scale Model’in Hızlı Prototipleme Yöntemi	38
3.3 Toz Bazlı Hızlı Prototipleme Yöntemleri.....	39
3.3.1 DTM’in Seçici Lazer Sinterlemesi (SLS).....	39
3.3.2 Fraunhofers’in Çok Fazlı Jet Katılaştırması (MJS).....	41
3.3.3 BPM’in Balistik Tanecik Üretimi Yöntemi (BPM).....	42
3.3.4 Soligen’in Direkt Kabuk Kalıp Yöntemi (DSPC)	43
3.3.5 EOS’un Hızlı Prototipleme Yöntemi.....	44

3.3.6	MIT'in 3 Boyutlu Yazdırma Yöntemi (3DP)	46
4.	HIZLI PROTOTİPLEME VERİ FORMATLARI.....	48
4.1	STL Format.....	48
4.2	STL Formatı Problemleri.....	50
4.3	Diğer Çeviriciler	53
4.4	Yeni Önerilen Formatlar	54
5.	STREOLİTHOGRAFİ.....	57
5.1	Temel Polimer Kimyası	57
5.2	Temel Prosesler	62
5.3	Yazılım ve CAD Prosesleri	67
5.3.1	Stereolithografi yazılımı	68
5.3.2	CAD Prosesi	69
5.4	Parça Yapımına Giriş.....	70
5.4.1	Yapım dosyaları.....	75
5.4.2	Dilimleme dosyalarının birleştirilmesi	76
5.4.3	Yapım seçenekleri	76
5.5	Bitirme İşlemleri.....	76
5.6	Hata Bulma Testleri.....	80
5.7	Makine Hassasiyeti.....	83
6.	ÜRETİMDE RP UYGULAMALARI	86
6.1	Döküm Endüstrisinde RP Uygulamaları	87
6.2	EDM Elektrotu Üretiminde RP Uygulamaları	92
6.3	Tıp Endüstrisinde RP Uygulamaları	93
6.4	Hızlı Takımlandırmada RP Uygulamaları	94
7.	RP SİSTEMLERİNİN GELİŞİMİ VE KARŞILAŞTIRMA.....	97
7.1	Servis Bürosu Kullanımı.....	97
7.2	Hızlı Prototipleme Yöntem Seçimi.....	97
7.3	RP Sistemlerinin Teknik Olarak Karşılaştırılması	99
7.4	RP Sistemlerinin Gelişimi	105
8.	UYGULAMALAR.....	109
8.1	Stereolithografi Yöntemi Örnek Uygulaması.....	109
8.2	FDM Yöntemi Örnek Uygulaması	113
8.2	FDM Yöntemi Örnek Uygulaması	113
9.	SONUÇLAR.....	115
	KAYNAKLAR.....	116
	ÖZGEÇMİŞ.....	117

KISALTMA LİSTESİ

BPM	Ballistic Particle Manufacturing
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CLI	Common Layer Interface
CMM	Coordinat Measuring Machine
CNC	Computer Numerical Control
CT	Computerized Tomography
DSPC	Direct Shell Production Casting
EDM	Electric Discharge Machining
FDM	Fused Deposition Modelling
HPGL	Hewlett Packard Graphics Language
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
LOM	Laminated Object Manufacturing
MJM	Multi Jet Modeling
RP	Rapid Prototyping
SAHP	Selective Adhesive and Hot Press
SCS	Solid Creation System
SGC	Solid Ground Curing
SL	Stereolithographi
SLA	Stereolithography Apparatus
SLC	Stereolithography Contour
SLS	Selective Laser Sintering
SOUP	Solid Object Ultraviolet Laser Plotting
STL	Stereolithography File

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 RP sistemlerinin şekil oluşumuna göre sınıflandırılması	13
Şekil 2.2 RP sistemlerinin malzeme kullanımına göre sınıflandırılması	13
Şekil 3.1 Stereolithografi yöntemi.....	15
Şekil 3.2 Stereolithografi proses adımları.....	16
Şekil 3.3 Stereolithografi katılaştırma sistemi	17
Şekil 3.4 SCS sistemi çalışma prensibi	19
Şekil 3.5 SOUP sistemi çalışma prensibi	23
Şekil 3.6 LOM yöntemi çalışma prensibi	30
Şekil 3.7 FDM yöntemi çalışma prensibi	31
Şekil 3.8 Seçici Yapıştırma ve Sıcak Presleme yönteminin çalışma prensibi	33
Şekil 3.9 MJM yöntemi çalışma prensibi	35
Şekil 3.10 SLS yöntemi çalışma prensibi	40
Şekil 3.11 MJS yöntemi çalışma prensibi.....	42
Şekil 3.12 DSPC yöntemi çalışma prensibi	44
Şekil 4.1 Örnek bir STL dosyası	48
Şekil 4.2 STL formatına çevrilmiş bir dikdörtgenin CAD formatıyla karşılaştırılması.....	49
Şekil 4.3 STL formatına çevrilmiş yüzeyler	49
Şekil 4.4 STL formatına çevrilmiş bir model	50
Şekil 4.5 Kayıp yüzeylerden dolayı oluşan boşluklar	51
Şekil 4.6 Üst üste binmiş yüzeyler	51
Şekil 4.7 Ortak kenarlara sahip yüzeyler	52
Şekil 4.8 Geçerli dönüştürülmüş model örneği.....	52
Şekil 4.9 Geçersiz dönüştürülmüş bir model	53
Şekil 5.1 Vinil grupları	58
Şekil 5.2 Çapraz bağlı monomer oluşumu	58
Şekil 5.3 Gaussian lazer dalgası taraması	64
Şekil 5.4 Katılaştırılmış çizgi kesiti.....	64
Şekil 5.5 Deneysel olarak elde edilmiş çalışma eğrisi	65
Şekil 5.6 SLA-250 menü ağacı	69
Şekil 5.7 Farklı lazer güçlerinde yapım zamanı süreleri	72
Şekil 5.8 Çeşitli tarama aralıklarında yapım zamanı süreleri	73
Şekil 5.9 Çeşitli parça boyutları için yapım zamanı	73

Şekil 5.9 Çizgi kalınlığı kompanzasyonu	74
Şekil 5.10 XB 5081-1 reçinesinin çeşitli çözücüler için kabarma oranları (Jacobs, 1992).	78
Şekil 5.11 XB 5081-1 reçinesi için ısı işlem sıcaklık değerleri (Jacobs, 1992).....	79
Şekil 5.12 Test numuneleri üstten görünüşleri (Jacobs, 1992).	80
Şekil 5.13 Lineer boyutlara göre büzülme oranları (Jacobs, 1992).....	81
Şekil 5.14 Test numunesi boyutları (Jacobs, 1992).....	82
Şekil 5.15 Kabarma eğrisi (Jacobs, 1992).	82
Şekil 5.16 Makine hassasiyeti belirlemede kullanılan test parçası (Jacobs, 1992).	84
Şekil 7.1 RP seçim sistemi temel yapısı	98
Şekil 7.2 RP sistem seçimi akış şeması [2].....	99
Şekil 7.3 Karşılaştırma parçası teknik resmi (Kaı ve Faı 1997).....	101
Şekil 8.1 Uygulama modeli STL formatı.....	109
Şekil 8.2 Stereolithografi yöntemiyle elde edilen model.....	111
Şekil 8.3 SL modelindeki destek kısımlar	111
Şekil 8.4 Modelin plastik enjeksiyon yöntemiyle elde edilmiş parça resmi.....	112
Şekil 8.5 FDM model resmi	113
Şekil 8.6 FDM modeli STL dosyası	114

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 RP ve RP ile ilişkili teknolojilerin tarihsel gelişimi	4
Çizelge 1.2. Modelleme ve prototipleme arasındaki paralellikler	5
Çizelge 3.1 SLA Model özellikleri	15
Çizelge 3.2 SCS Model özellikleri	18
Çizelge 3.3 Model teknik özellikleri	20
Çizelge 3.4 Model teknik özellikleri	22
Çizelge 3.5 Stereo model özellikleri	24
Çizelge 3.6 Soliform teknik özellikleri	26
Çizelge 3.7 LC-315 teknik özellikleri	27
Çizelge 3.8 LOM modelleri özellikleri	29
Çizelge 3.9 FDM Modelleri özellikleri	31
Çizelge 3.10 Kira Solid Center özellikleri	32
Çizelge 3.11 Actua 2100 teknik özellikleri	34
Çizelge 3.12 Kinergy model özellikleri	36
Çizelge 3.13 Model Maker MM-6B'nin özellikleri	37
Çizelge 3.14 Sinterstation 2000 Sistem özellikleri	39
Çizelge 3.15 DSPC model özellikleri	43
Çizelge 3.16 EOSINT model özellikleri	45
Çizelge 5.1 XB 5081-1 reçinesi için tahmin çizgi genişlikleri	66
Çizelge 5.2 2" üzerinden % büzülme oranları	81
Çizelge 5.3 Kabarma oranları	83
Çizelge 6.1 RP modellerin tipik uygulama alanları.....	87
Çizelge 6.2 Konsept modelden ürüne kadar gerçekleşen çevrimde değişiklik maliyetleri	88
Çizelge 7.1 Parça yapısı sınıflandırılması.....	100
Çizelge 7.2 Karşılaştırma parçası ana ölçümleri	102
Çizelge 7.3 Karşılaştırma parçası detay ölçümleri	103
Çizelge 7.4 Çeşitli proseslerin farklı yönlerden karşılaştırılması	104
Çizelge 7.5 Tolerans dereceleri karşılaştırması	104
Çizelge 7.6 Yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırması	104
Çizelge 7.7 RP sistem satışları	105
Çizelge 7.8 RP sistemleri uygulama alanları gelişimi	107
Çizelge 8.1 RP yöntem maliyetleri.....	108

ÖNSÖZ

Daha çok, daha hızlı ve daha kaliteli üretim yapabilmek ve dış pazarlarda rekabet edebilmek için teknoloji yaratmak ve bu teknolojiyi verimli kullanmak gerekmektedir. Teknoloji yaratmanın da ön koşulu varolan teknolojiler hakkında eksiksiz ve yeni bilgilere sahip olmaktır. Ürün Geliştirme Teknolojilerinin temel taşlarından biri olan Hızlı Prototip Üretimi hakkında bilgi vermeyi amaçlayan tezimde gösterdiği yardımlardan dolayı Sayın Prof. Dr. Erhan ALTAN'a çok teşekkür ederim.



ÖZET

Hızlı Prototipleme (RP), parça geometrisinin bilgisayarda üretilen verilerinden direkt olarak fiziksel model üretim yöntemidir. RP ile geleneksel prototipleme teknikleri arasındaki temel fark bu yeni tekniğin malzeme uzaklaştırma yöntemi yerine malzeme ekleme prensibiyle çalışmasıdır. RP prosesinde model öncelikle bilgisayar ortamında bir bilgisayar destekli çizim programıyla (CAD) dizayn edilir. Bu elde edilen CAD verisi katmanlar halinde dilimlenir ve makine bu verileri kullanarak her katman bir öncekine bağlı olacak şekilde katı modeli oluşturur.

Bu yöntem geleneksel üretim proseslerine göre çok daha fazla üretim serbestisi sağlamaktadır. RP tekniklerinin sağladığı hızlı model üretimi avantajıyla günümüz rekabet şartlarında üreticiler için büyük avantaj teşkil eden ürün piyasaya çıkış zamanı önemli ölçüde azalmaktadır. Bu yöntemin önemli avantajlarından biri de üretime geçilmeden önce hataların tespit edilebilmesi ve insan kaynaklı hataların minimuma indirilmesidir.

Birçok RP sistemi bulunmaktadır. İlk bilinen RP sistemi Stereolithografi (SL)'dir ve 1987'den beri kullanılan oldukça yaygın bir sistemdir. Günümüzde 30'un üzerinde yüksek hassasiyete ve zengin malzeme çeşidine sahip RP yöntemi mevcuttur. Bu çalışmada başta Stereolithografi (SL) olmak üzere RP yöntemleri ve endüstri uygulamaları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ayrıca Stereolithografi (SL) ve Erimiş Birikim Modelleme (FDM) yöntemiyle birer prototip model üretimi çalışması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Hızlı Prototipleme, Prototip, Stereolithografi, RP, Model

ABSTRACT

Rapid Prototyping (RP) is the manufacturing method by which physical parts are built directly from computer generated representations of part geometry. An important difference between RP and traditional techniques is the fact that most of these new techniques build parts by adding material (e.g. layer by layer) instead of removing it. Within a rapid prototyping process, the object is firstly designed on a computer screen with a computer design system (CAD) and then CAD data by slicing the computer model into layers. The machine then uses this data to construct the model layer by layer, each layer being bonded to the previous until a solid object is formed.

This form of manufacture generally allows the free form fabrication of components with greater design flexibility than would be possible with traditional machining processes. Rapid Prototyping (RP) techniques are methods that allow to quickly produce physical prototypes with the important benefit to reduce the Time To Market. An advantage is the fact that the same data used for the prototype creation can be used to go directly from prototype to production, eliminating further sources of human errors.

Several RP techniques are available. The first commercial process, Stereolithography (SL), was brought on to the market in 1987. Nowadays, more than 30 different processes (not all commercialised) with a high degree of accuracy and a large choice of materials exist. This study consisted mainly Stereolithography and other Rapid Prototyping (RP) systems and their industrial applications. Furthermore we built prototype models using SL and FDM systems.

Keywords : Rapid Prototyping, Prototype, Stereolithography, RP, Model

1. GİRİŞ

Prototipleme bir ürün dizaynının çeşitli görünüşlerini test etmek için üretim öncesi modelinin imal edilmesi prosesidir. Genellikle yavaş ve pahalı bir prosestir. Fiziksel prototiplerin hızla üretilmesine izin veren Hızlı Prototipleme (RP) tekniklerinin ortaya çıkmasıyla bu zorlu proses oldukça kolay bir hal almıştır. RP tekniğinin kullanılması ile parçanın imal edilebilmesi için gerekli olan uzman insanların yeteneklerine olan ihtiyaç ortadan kalkarken insan kaynaklı hatalar minimize edilmektedir. Ayrıca gerekli üretim zamanının azalmasıyla ürünün piyasaya çıkışı hızlanmaktadır.

Bu teknolojiye öncülük ederek 'Stereolithografi (SL)' ya da '3 Boyutlu Baskı' terimlerini literatüre kazandıran firma 3D Systems'dir. RP prosesinde model öncelikle bilgisayar ortamında bir bilgisayar destekli çizim programıyla (CAD) dizayn edilir. Bu elde edilen CAD verisi katmanlar halinde dilimlenir ve makine bu verileri kullanarak her katman bir öncekine bağlı olacak şekilde katı modeli oluşturur.

Sanayi şu an bu teknolojiyi sayısız mühendislik prototiplerinde ve imalat uygulamalarında kullanmaktadır. Bu teknolojinin birçok teknolojiyi ve imalatı kuşatması arttıkça RP konusunun daha açıkça tanımlanması beklentisi de artmıştır. Çalışmamızda bu amaçla başta Stereolithografi (SL) olmak üzere RP yöntemleri ve endüstri uygulamaları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ayrıca Stereolithografi (SL) ve Erimiş Birikim Modellemesi (FDM) ile birer prototip model üretimi çalışması yapılmıştır.

2. HIZLI PROTOTİPLEME ve ESASLARI

2.1 Hızlı Prototiplemeye Giriş

Bilgisayar fiyatlarındaki düşüş ve dolayısıyla kullanımındaki artış bilgisayar destekli tasarım (CAD), bilgisayar destekli üretim (CAM), nümerik kontrollü tezgahlar (CNC) gibi bilgisayarla ilgili alanlarda da yepyeni gelişmelere imkan sağlamıştır. Bilhassa RP sistemleri bilgisayar destekli tasarımın bu denli gelişmesiyle yaygın halde kullanılır hale gelmiştir. Bilgisayar destekli tasarımın yanında malzeme ve mevcut imalat sistemlerindeki yenilikler de hızlı prototipleme üretiminin önünü açmıştır.

Geçmişten günümüze RP yöntemleri geliştirme adına yapılan çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

1990'ın başından itibaren birkaç araştırmacı üretimin çeşitli alanlarına RP teknikleri uygulamıştır. Sach ve diğerleri arasındaki ilk araştırmacılar RP tekniği kullanarak bir CAD modelden direkt parça üretimine girişmişlerdir. Tozlaştırılmış materyalin katmanlar halinde çökertilmesinde 3 boyutlu yazıcı fonksiyonlarını ve tozun seçici bağlanmasında bağlayıcı materyal püskürten bir jet kullanmışlardır. Bu tekniği kullanarak model üretiminde zorunluluk olan deneme yanılma yöntemini ortadan kaldırmışlar ve prosesi hızlandırmışlardır.

Kruth ve Jacob çalışmalarında RP sistemlerini sıvı polimerizasyon, Erimiş Birikim Modelleme Yöntemi (FDM), Lamine Parça Üretim Yöntemi (LOM), Seçici Lazer Sinterleme Yöntemi (SLS) ve noktadan noktaya katılaştırma olarak sınıflandırmıştır.

Lye ve Yeong polistiren malzemeli koruyucu ürünlerin üretimi ve dizaynında birleşik bir teknoloji geliştirmiştir. Burada koruyucu paketleme dizaynı için veri temeline dayanan bir teknik kullanmışlardır. Polistiren örneklerin üretiminde kalıp dizaynı ve yapımı prosesleri arasında bir bağlantı sağlamışlardır. En son çalışmalarında ise bu teknolojiyi strofor köpük ürünlerin ve kalıpların üretiminde kullanmışlardır. Aynı zamanda polistiren kalıpların üretiminde mikro dalga enerjisini kullanmayı araştırmışlardır.

Ippolito ve arkadaşları beş farklı RP tekniğiyle üretilmiş RP modellerini yüzey kalitesi ve boyut hassasiyeti konusunda karşılaştırmış ve bir RP parçasının ANSI-ISO standartlarına göre kalitesini kontrol etmek için bir makine önermişlerdir.

Gruel fonksiyonel uygulama ve testler için metalik malzemeli prototiplerin üretimine uygulanmak üzere bir RP teknolojisi geliştirmiştir. Bu çalışmada FDM ve kaybolan modelle

kalıplama proseslerinin bir kombinasyonu kullanılmıştır. Paslanmaz çelik metalik malzemelerin üretimi için Çoklu Jet Katılaştırma (MJM) olarak adlandırılan bir yeni RP prosesi geliştirmişlerdir. Williams ve arkadaşları yapılan bu çalışmanın yapım şekline etkileri, boyutsal hassasiyet performansı gibi sonuçlarını araştırmıştır. Bütün bu prototipler SLA-250 üzerinde ve SL5170 fotopolimer kullanarak yapılmıştır.

Arthur 180mm kalınlığındaki SL numunesinin elektrolizle kaplanarak EDM elektrotu olarak kullanılmasını sorgulamıştır. 10mm kalınlığında ince bir iletken boya bakırın çöktülebilmesi için arayüzey olarak kullanılmıştır. Aynı zamanda SL modellerinden elektrolizle şekil verilmiş bakır elektrotlar elde etme üzerinde çalışmışlardır. Çeşitli komponentler için elde edilmiş negatifler ve bunların boşlukları bir SL reçine içerisinde elektrolizle şekil vermek için master olarak kullanılmak üzere modellenmiştir.

Dover ve arkadaşları bir elektrolizle çöktirme prosesiyle direkt metal takımların üretilmesine girişmişlerdir. Bir bakır sülfat elektrolit sistemini EDM elektrotu ve pres takımları üretmede kullanmışlardır. Çöktirmeyi istenilen alanda sınırlandırmak için bir yüksek hızlı seçici jet kullanılmıştır. Elektrolitin bir küçük nozuldaki püskürtülmesiyle nozuldaki anoda doğru akış oluşturulur. Elektrolitik çökeltme bu sayede katod üzerinde küçük bir alanla sınırlanır. Nozul bir SLA makinesi lazerine benzer bir şekilde hareket ederek işlemi devam ettirir (Yarlagadda vd., 1999).

Yukarıdaki özetle de görüldüğü gibi birçok araştırmacının prototip modellerin ya da ürünlerin üretiminde RP teknolojisinin kullanılmasında farklı yönlerde girişimi olmuştur. Birçok araştırmacı tarafından yapılan bu girişimler plastik ürünlerin enjeksiyonunda kullanılan takımların üretiminde, EDM takımlarının üretilmesinde vb. gibi konularda olmuştur.

Çoğu üretici yeni bir ürün üretilmesi söz konusu olduğunda takımlandırma maliyetini baz almaktadır. Yine takımlandırma prosesinin süresinin uzamasının sonucu olarak ürünün pazarlama süreci de uzamaktadır. Ancak RP sistemlerinin gelişmesiyle bu süre birkaç saate inmiştir.

Prototipleme ya da model yapımı eski bir sistemdir. Fiziksel bir prototipe sahip olma eğitimi, tasarımın kavramsallığını gerçekliğe dönüştürmek amacıdır. Bu sebeple üretime tam olarak başlamadan evvel bir prototipe gerek duyulur. Modelleme ve prototipleme prosesi arasındaki paralellikler Çizelge 1.2'de verilmiştir. Prototipleme son ikisi geçen 20 yılda gelişen üç faza sahiptir. Bu üç faz aşağıda açıklanmıştır.

Çizelge 1.1 RP ve RP ile ilişkili teknolojilerin tarihsel gelişimi (Kaı ve Fai 1997).

Yıl	Teknolojideki Gelişmeler
1770	Mekanizasyon
1946	İlk bilgisayar
1952	İlk sayısal kontrollü (NC) takım tezgahları
1960	İlk ticari lazer
1961	İlk ticari robot
1963	İlk interaktif grafik sistemleri (Bilgisayar destekli tasarımın ilk hali)
1988	İlk ticari hızlı prototipleme sistemi (RP)

Birinci Faz (Elle prototipleme) yüzyıllar önce başlamıştır. Bu fazda prototipler çok karmaşık değildir ve prototiplemenin fabrikasyonu dört hafta almaktadır. Prototipin yapımında kullanılan teknik, sanatsal ağırlıklıdır ve emek gerektirir.

İkinci Faz (Soft ya da Sanal prototipleme) yukarıda da bahsedildiği gibi son 20 yılda ortaya çıkmıştır. 1980'lerin başı CAD/CAM/CAE sistemlerinin yaygınlaşmasıyla ikinci faz prototiplemenin gelişimine tanıklık etmiş ve aynı zamanda bu kavrama yeni bir anlam yüklemiştir. Bu sanal modellere sanki bir fiziksel modelmişçesine her türlü test, analiz ve iyileştirme çalışmaları yapılmaya başlanmıştır. Örneğin malzemenin özellikleri tam olarak bilindiğinden modele en hassas şekilde gerilme testleri yapılabilmektedir. Buna ilaveten prototipler eskiye nazaran en az iki misli daha karmaşık hale gelmiştir ve fiziksel modellerinin yapımı yaklaşık olarak 16 haftayı bile bulmaktadır. Hassas CNC nitelikli makinelerin geliştirilmesiyle bile fiziksel prototip üretimi halen ustalık ve sanat isteyen yöntemlere dayanmaktadır. Ancak yine de üçüncü fazdaki RP'nin avantajlarının yanında bile sanal prototiplemenin desteklenmesi için bir çok sebep vardır. Buna sebep RP yönteminde halen bulunan sınırlamalardır. Buna malzeme sınırlamalarını örnek verebiliriz.

Üçüncü Faz (RP) fiziksel parçaların hızlı prototiplenmesi, masa üstü üretim ya da katman üretim teknolojisi olarak da adlandırılmaktadır. Özellikle karmaşık parçaların imalatında çok büyük zaman kazancı sağlanmaktadır. Bugünün parçalarının genel olarak 70'lere göre en az iki üç kat daha karmaşık olduğu düşünülürse şu an böyle bir parçanın imalatı için yalnızca üç hafta gerekmektedir. 1988'den bu yana yaklaşık 20 farklı teknik geliştirilmiştir (Kaı ve Fai 1997).

Çizelge 1.2. Modelleme ve prototipleme arasındaki paralellikler (Kai ve Fai 1997).

Geometrik Modelleme	Prototipleme
<p>1. Birinci Faz : 2 boyutlu tel kafes sistemi</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1960'ların ortasında başlamış. • Gösterim bir elektrik devresine basılmış devre yolu ya da bir mekanik komponentin teknik resmi halinde olabilir. • Doğal çizim teknikleri. 	<p>1. Birinci Faz : Elle prototipleme</p> <ul style="list-style-type: none"> • Geçmiş çok eskilere dayanır. • Elle prototipleme, ustalık isteyen bercerilere dayanır. • Doğal prototipleme teknikleri.
<p>2. İkinci Faz : Üç boyutlu eğrisel ve yüzeysel prototipleme</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1970'lerin ortasında başlamış. • Karmaşıklık artmış. • Parçanın şekli, boyutları ve yüzey konturları hakkındaki bilgilendirme daha fazladır. 	<p>2. İkinci Faz : Soft ya da sanal prototipleme</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1970'lerin ortasında başlamış. • Karmaşıklık artmış. • Sanal ortamdaki prototip çeşitli mekanik ya da diğer özellikleri için test edilebilir hale gelmiştir.
<p>3. Üçüncü Faz : Katı modelleme</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1980'lerin başında başlamış. • Tutarlı bir form oluşturmak için kenarlar, delikler ve yüzeyler beraber örülmüş. • Bilgisayar bir objenin dışından içine doğru hesaplama yapabilmektedir. Bu bütün kesişen yüzey ve kenarların saptanmasında yararlı olacaktır. 	<p>3. Üçüncü Faz : Hızlı Prototipleme</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1980'lerin ortasında başlamış. • Hızlı prototiplemenin yararı çok kısa işleme zamanına sahip olmasıdır. • Elde edilen prototip çeşitli testlerde kullanılabilir. • Prototip aynı zamanda üretimde de birebir kullanılacaktır.

2.2 Hızlı Prototiplemenin Esasları

Hızlı prototiplemede temel yaklaşım şu şekildedir. Öncelikle bilgisayar destekli tasarım ile bir model oluşturulur. İmal edilmesi arzulanan parçanın tasarımı, modelin iç ve dış yüzeylerini ve sınırlarını ihtiva etmelidir. Eğer modelleme tekniği katı modelleme ise bu gerekli değildir. Yaratılan katı ya da yüzey model daha sonra '3D Systems' kuruluşu tarafından üretilmiş olan Stereolithografi dosyası formatına (STL) çevrilir. STL dosya formatı, modelin yüzeylerini üçgenler halinde yaratır. Eğrisel yüzeylerde birçok üçgen mevcuttur ki bu da STL dosyaları çok geniş olacak demektir. Daha sonraki adımda üretilecek modeli belirleyen STL dosyaları sorgulandıktan sonra dilimlere ayrılır. Bu dilimler ise sistematik bir şekilde katmanlar halinde yaratılır.

Temel olarak RP yönteminin gelişimi dört ana alanda olmaktadır. Bunlar veri, yöntem, malzeme ve uygulama alanlarıdır.

- 1) Veri : Fiziksel nesnenin bilgisayar ortamında 3 boyutlu olarak tanıtılması için gerekli elektronik bilgidir. Bir sanal ya da fiziksel model olmak üzere muhtemel iki başlangıç noktası vardır. Bilgisayar destekli tasarımla yaratılan bilgisayar modeli yüzey veya katı model olabilir. Tersine mühendislik adı altında bir yöntemden de veri elde edilmesi de mümkündür. Tersine mühendislikte koordinat ölçme cihazı (CMM) ve lazer sayısallaştırıcı gibi geniş bir ekipman yelpazesinden istifade edilir.
- 2) Yöntem : RP sistemleri satan 20'nin üstünde kuruluş varsa da bunlar tarafından kullanılan yöntemler birkaç ana grupta sınıflandırılabilir. Kesme-yapıştırma, eritme-katılaştırma, birleştirme-yapıştırma, tek ve ikili lazer ışını bunlardan önde gelenleridir.
- 3) Malzeme : Malzemenin ilk hali katı, sıvı ya da toz fazda olabilir. Katı fazda malzeme tel, tabaka veya toprak halinde olabilir. Malzeme çeşitliliği olarak kağıt, naylon, balmumu, reçine, metal ve seramikler söz konusudur.
- 4) Uygulama : RP ile üretilmiş parçaların çoğu muhtelif uygulamalar için kullanılmadan önce bitirme işlemlerine tabi tutulurlar. Uygulamalar genelde tasarım, mühendislik uygulamaları, analiz, planlama ve imalat sektöründedir. Havacılık, otomotiv, biyomedikal, elektrik ve elektronik ürünleri gibi endüstrinin büyük çoğunluğu RP yöntemlerinden istifade etmektedir.

Hızlı prototiplemenin faydalarını, doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki ayrı grupta inceleyebiliriz.

Doğrudan faydalar : RP yöntemlerinden istifade eden kuruluşun diğerlerine göre birçok avantajı vardır. Herhangi bir karmaşık durumun fiziksel yanlarını izafi olarak kısa bir sürede çözümlenebilmek mümkündür. Son 25 yılda görülmüştür ki satış pazarındaki ürünlerin çeşitliliği artmış ve yapısı karmaşıklaşmıştır. Örneğin 70'lerin otomobil tasarımıyla bugünü kıyaslırsak; karmaşıklık 80'lerde 2 kat daha artmış, 90'larda ise 3 kat olmuştur. Daha da ilginç olan proje tamamlama sürelerinin buna paralel bir şekilde artış göstermemiş olmasıdır. 70'lerde dört hafta olan proje tamamlama süresi, 80'lerde on altı haftaya çıkmıştır. Fakat bilgisayar destekli tasarım (CAD), mühendislik ve nümerik kontrollü tezgahlar sayesinde bu zaman sekiz haftaya inmiştir. 90'ların ortasına gelindiğinde, RP sistemleri proje yöneticisinin projeyi üç haftada tamamlamasına imkan sağlamaya başlamıştır.

Kuruluştaki bireylere hususi olarak faydalar da değişmekte ve farklılaşmaktadır. Bu firma bünyesindeki oynadıkları role bağlıdır. Bir mamülün tam üretimi, geniş bir aktivite zenginliği içerir. Geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında, ürün büyüklüğüne bağlı olarak zaman ve maliyet tasarrufu %50-90 arasında değişir.

Ürün tasarımcıları zaman ve maliyet açısından az etkilenecek, parça karmaşıklığını arttırmaları serbestisi kazanırlar. Fonksiyonel ve estetik sebeplerden dolayı, daha canlı ve oyma şekiller yerleştirilebilir. Küçük sınırlamalarla, parça tasarımını müşteri ihtiyacıyla optimize ederler.

Önceden takımın yetersizliğinden ya da işleme kaybını en aza indirmek için çok parçalı yapılan yatırımlar, tek parçaya indirebilir. Daha az parça olduğundan tolerans analizlerine, vida açmaya, montaja daha az zaman harcanır. İşleme maliyeti göz önüne alınmaksızın, malzeme ve optimum güç/ağırlık oranları en aza indirilebilir. Nihai olarak imalat biçimlerinin zaman alıcı tartışmalarını ve değerlendirmelerini en aza indirir.

En önemli kazanç zaman açısındandır. Sabit giderler düşük olduğundan yeni mamulün karlılığı yüksek olabilir. Parça sayısı azaltıldığından montaj, satın alma ve envanter giderleri azalır. Parça hazırlığı ve planlama elimine edildiğinden imalat işleri (işleme ve döküm) azalır. Böylece montaj ve denetimde tasarruf sağlanmış olur. İhtiyaç kadar üretim yapıldığından malzeme ve atık malzeme kaybı, nakil masrafları, bitirilmiş parça ve hammadde stoklama masrafları en aza indirilir. Hammadde satın alma en alt sınırdadır. Fabrikasyon otomatik ve standart olduğu için piyasa fiyatı çok az değişiklik gösterir.

Tek ve özel cihazlar yerine genel maksatlı bir cihaz alınabilir ki böylece ekipman temin ve özel operatör eğitim ve genel giderleri en aza iner. Küçük çaplı üretim faaliyetleri, daha küçük planlamalar ile yapılabilecektir. Daha hassas tolerans ve kesin sonuçla beraber tasarım ölçü değişiklikleri söz konusu olabilmektedir. Anında üretim yapılabildiğinden yedek parça envanteri azaltılabilmektedir.

Dolaylı Faydalar : RP yönteminin tasarım içi ya da dışındaki kimselere dolaylı faydaları da vardır. Tüketici ihtiyaçlarının en mükemmel şekilde karşılanması yanında mamuller son teknoloji olarak uygun fiyatlarla piyasaya sürülür. Ürün çeşitliliği söz konusudur. (Örn. Cep telefonları marka ve modellerinin çeşitliliği) Üretici tasarrufları söz konusu olduğundan, bu maliyete dolayısıyla tüketici bütçesine çok olumlu bir şekilde yansır. (Kai ve Fai 1997).

Bir teknoloji olarak RP hala oldukça genç sayılmaktadır. SL ile ticari tanışmanın gerçekleştiği ilk 3 yıl boyunca, RP'nin pratik uygulamaları oldukça kısıtlıydı. Prototipleme basamakları olarak şunları inceleyebiliriz.

Görüntüleme : Kompleks bir parçayı göz önüne getirmek kişi CAD resimlerini okumakta ne kadar iyi olursa olsun hala çok zordur. Kör delikler, bileşik eğrisel yüzeyler vb. genellikle yorumu zorlaştırmaktadır. 'Bir resim bin söze bedeldir' sözü SL kullanıcıları tarafından 'Bir

gerçek prototip bin resme bedeldir' olarak güncelleştirilmiştir.

Örneğin Chrysler Firması 2,4 litrelik bir motor bloğunu CAD kullanarak yapmıştı. Başlangıçta CAD resmine göre her şey doğru gözüküyordu. Buna rağmen ilk prototip SLA-500'de yapıldığında anlaşıldı ki sadece ikinci ve üçüncü silindirler arasında olması gereken bir çıkıntı yanlışlıkla birinci ve ikinci silindirlerin arasına da konulmuştu. Bu hata çok sayıda mühendis ve tasarımcının gözünden kaçmıştır.

Görüldüğü üzere geliştirilmiş görüntüleme bile hatalarla karşılaşılabilir. Kompleks bir parçanın istenen özelliklere sahip olup olmadığından emin olmanın en iyi yolu o parçayı ellerimize alarak bakmak ve farklı açılardan inceleyip kontrol etmektir.

Doğrulama : İmalat mühendisleri, tasarımcılar ve yöneticiler ürün kalitesini artırılması gerektiğini çok daha fazla farkındadırlar. Düşük kalite için olası bir sebep acil teslimat gereken bir durumda dizayndan ödün verilmesi zarûretidir. Diyelim ki proje takımı bir çıkmazla karşılaştı. Doğru sonuca ulaşana kadar devam mı etmeliler yoksa proje finansmanını ve planlı ihtiyaçları kaybetmeyi mi göze almalılar? Bu çeşit istekler altında çok doğru olmayan şeylere projenin devamı açısından izin verilmektedir.

Bir RP prototipi öyle çabuk yapılabilir ki dizaynın istenen özellikleri sağlayıp sağlamadığına karar vermek o derece kolay olur. 2,4 litrelik motor örneğinde bu durum ortaya konmuştu. SL prototipinin incelenmesi esnasında motor bloğundaki bir dizayn hatası, dizayn çevriminin çok başlarında tespit edilmiş oldu. CAD modeli düzeltildi ve parça yeniden yapıldı. Bu işlemlerin hepsi sadece bir hafta sürdü. Tamamlandığında yenilenen kısmın geometrisi görsel olarak da incelenerek onaylandı.

Dayanım, operasyon ısı limitleri, yorulma ve korozyon direnci gibi karakterlerin onaylanması için tam fonksiyonel bir prototipin test sonuçlarının alınması gerekir. Tasarımcılar ve mühendisler geometrik olarak onaylanmış bir parçayı çok daha erken bir tarihte ele alabildiklerinden dolayı ileri safhalar için testlere daha çok vakit ayırarak, kalite artırımını ve ürünün geliştirilmesi için geniş zaman süreci kazanacaklardır.

Parça kalitesinin geliştirilmesi için gerekli adımlar şu şekilde sıralanabilir.

- 1) Prototipin CAD'de tasarlanması.
- 2) Prototipin RP ile yapılması.
- 3) RP parçasının hatalar için incelenmesi.
- 4) Hataların CAD'te düzeltilmesi.

- 5) Düzeltilmiş RP parçasının onaylanması.
- 6) Doğru olduğunda fonksiyonel bir test parçasının yapımı.
- 7) Fonksiyonel testlerin uygulanması.
- 8) Tatmin olduğunda imalata geçiş.

İterasyon : RP teknolojisinin kalite artırımında ne kadar önemli olduğu bu 8 maddeden anlaşılmaktadır. Yine de daha önemli olabilecek bir şey varsa o da hızlı dizayn iterasyonunun yapılabilirliğidir. Önceleri bir prototipin geliştirilmesi çok pahalı ve zaman alıcı bir işti. Öyle ki dizayn iterasyonu için çok az kaynak ve zaman kalmaktaydı. Şimdiyse RP teknolojisi ile 1-2 hafta içerisinde birkaç iterasyon yapmak mümkündür. Bu geleneksel metodlar için imkansız bir performanstır. Örneğin bir motorun giriş manifoldunun RP prototipinin hemen hemen saydam olarak yapılması mümkün olmaktadır. Bu prototipte işlenmiş fotopolimer malzemenin fiziksel elverişliği ölçüsünde sıvı dinamik akış testi uygulanabilir. Eğer akış yüzeyinde bir problem tespit edilirse geometri CAD modelinde geliştirilir. RP parçası yeniden yapılır ve akış testi birkaç gün içinde tamamlanır. Eskiden bu çeşit bir dizaynın çoklu prototip iterasyonu çok pahalı ve zaman alıcı olduğundan nadir olarak bu yaklaşımla çalışılırdı.

RP ile geliştirilmiş parça kalitesi için uygulanan eski formül bu yeni teknolojinin olağanüstü iterasyon kapasitesini açıklamak için şu şekilde düzeltilebilir.

- 1) Prototipin CAD'de tasarlanması.
- 2) Prototipin RP ile yapılması.
- 3) RP parçasının hatalar için incelenmesi.
- 4) Hataların CAD'de düzeltilmesi.
- 5) Düzeltilmiş RP parçasının onaylanması.
- 6) İterasyon, RP kullanılarak dizaynın geliştirilmesi.
- 7) Kabul gördüğünde fonksiyonel bir test modelinin yapılması.
- 8) Fonksiyonel testlerin uygulanması.
- 9) Memnun kalındığında imalata geçiş.

Bu sıralama sadece ürün kalitesinin geliştirilmesinde RP teknolojisinin pratik bir metot sağlayışını tanımlamaktadır. Genelde dizayn optimizasyonu durumu daha fazla geliştirilebilir. İterasyon ile optimizasyon çok pahalı ve zaman alıcı bir proses haline gelebilir. Tasarımcı son olarak giriş manifoldunu hiçbir akış problemi meydana gelmeden tamamlandığında bir sonraki adım ne olacaktır? Büyük bir olasılıkla fonksiyonel testler için

yapılmış dizayn onaylanacaktır. Eğer çalışırsa işlem tamamlanmış sayılacaktır. Fakat ortada parçanın daha iyi dizayn olasılığı bulunmaktadır. Tasarımcıların ve mühendislerin ilk denemelerinde optimum değeri yakalamaları oldukça zor bir ihtimaldir.

RP teknolojisinin en büyük avantajlarından birisi de tasarımcıların bir servet harcamadan olursa ne olur oyunu oynamalarına izin vermesidir. Hızlı prototip iterasyonu ile kabul edilebilir bir dizaynı yakalamış birinin dizaynı optimize etme fırsatı vardır. Örneğimize dönersek manifold geometrisinde, minimum basınç ya da bazı başka değerlerin düşmesindeki sonuçları görmek için değişiklikler yapmak istenebilir. Prototip yapımı hızlandığından beri, önceden bir yıla yakın vakit alan test modeli yapımları, artık bir hafta içinde tamamlanabilmektedir. RP prosedürünün potansiyel kazançları takdir edilirken parça kalitesinin daha ileriki seviyede geliştirilmesi için şu işlem sırası takip edilebilir.

- 1) Prototipin CAD'de tasarlanması.
- 2) Prototipin RP ile yapılması .
- 3) RP parçasının hatalar için incelenmesi.
- 4) Hataların CAD'de düzeltilmesi.
- 5) Düzeltilmiş RP parçasının onaylanması.
- 6) İterasyon, RP kullanılarak dizaynın geliştirilmesi.
- 7) Çok sayıdaki RP dizayn değişiminin testi , optimize ediş.
- 8) Optimize edildiğinde, fonksiyonel bir test modelinin yapımı.
- 9) Fonksiyonel testlerin uygulanması.
- 10) Memnun kalındığında imalata geçiş.

Fabrikasyon : Görüntüleme, doğrulama, iterasyon optimizasyon SL kullanıcıları için yeni bir fabrikasyon prosesi gerektirmeksizin mümkündür. Optimize edilmiş bir prototip tamamlanan metodlarla geliştirildiğinde, fonksiyonel bir test modeli üretmek önemlidir. Çünkü bu model henüz üretilmiş ya da test edilmiş olmadığından, fonksiyonel testleri geçip geçemeyeceği bilinmemektedir. Bitirme işlemleri için zaman ve kaynak harcamak israf olabilecektir. Yine RP yardım edecektir.

Şu an bir RP prototipinden fonksiyonel test modeline uyumlu, hızlı ve düşük maliyetli geçişi sağlayan çok sayıda teknik, başarıyla kullanılmaktadır.

Bu tekniklerin bazıları şunlardır:

- Silikon oda sıcaklığı vulkanize(RTV) kalıp yapımı [Silicon room temperature vulkanizing molding]
- Vakum döküm
- Form blok döküm
- Metal püskürtme kalıpcılığı
- Reçine transferiyle kalıp yapımı
- Alüminyum ve demirsel metallerin kum kalıpla dökümü
- Kabuk kalıba döküm

Maliyet ve verim açısından en uygun teknik, prototipin boyutları ve geometrisine ve fonksiyonel test modeli için gerekli malzeme cinsine bağlıdır ve belirlilik gerekir. Bu listelenmiş metodların herbirinin çeşitli RP kullanıcıları tarafından başarıyla yürütüldüğü önemle dikkate alınmalıdır.

Şimdi RP kullanılarak fonksiyonel test parçalarında en ileri üretime dayalı, geliştirilmiş parça kalitesi için işlem sırasını listeleyebiliriz.

- 1) Prototipin CAD'de tasarlanması.
- 2) Prototipin RP ile yapılması.
- 3) RP parçasının hatalar için incelenmesi.
- 4) Hataların CAD'de düzeltilmesi.
- 5) Düzeltilmiş RP parçasının onaylanması.
- 6) İterasyon, RP kullanılarak dizaynın geliştirilmesi.
- 7) Çok sayıdaki RP dizayn değişiminin testi, optimize ediş.
- 8) RP prototipi kullanılarak fonksiyonel test modeli yapımı.
- 9) Fonksiyonel test modeline fonksiyonel testlerin uygulanması.
- 10) Memnun kalındığında teste geçiş.

Bu son versiyonda şu dikkate alınmalıdır ki 10 basamağın 6'sı doğrudan RP teknolojisi içermektedir (Jacobs, 1992).

1991 sonuna kadar satılmış RP sistemlerinin yaklaşık %90'ı 3D Systems tarafından dizayn edilmiş, geliştirilmiş ve test edilmiş SLA birimleridir. Bunun dışındaki yaklaşık %5'lik kısım Sony, Mitsubishi, Mitsui ya da EOS GmbH tarafından satılmış sistemlerdir. Geri kalan %5 ise oldukça farklıdır.

Şekil 2.1 ve Şekil 2.2 RP sistemlerinin mümkün iki sınıflandırmasını vermektedir. Birincisi ürünün oluşturulma şekline göre, ikincisi ise malzemenin kullanım şekline göre.

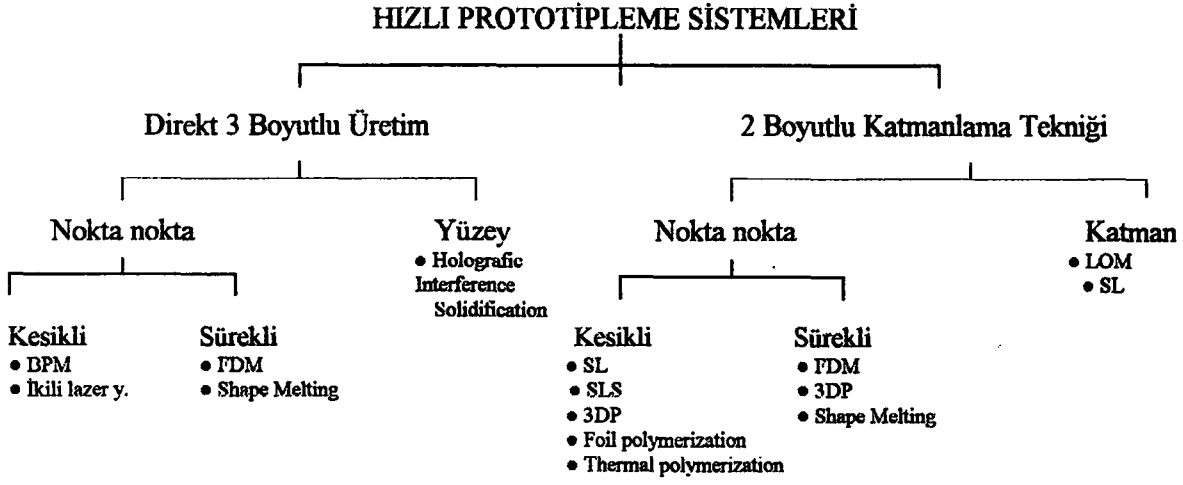
Şekil oluşumuna göre sınıflandırma : Şeklin doğrudan 3 boyutlu olarak üretilmesi mümkündür. Ancak önemli teknikler 2 boyutlu katmanları birbirinin üzerine koyarak üretim yoluna gitmektedir. Parçanın CAD modeli alınarak ilk dilim oluşturulur. Üretimde , bütün alt katmanlar üzerinde gelecek katman oluşturulmadan önce oluşturulmalıdır. Basit katmanlar bir kerede yaratılabilir. Çoğu proseslerde taramayla bir katı katman yaratılır ve bundan sonra nokta nokta oluşturulur. Bu tarama işlemi sürekli ya da süreksiz bir şekilde yapılabilir. Direkt 3 boyutlu tasarımdan üretim teknikleri, parça üretilmeden önce ürünün alt parçasının tamamen yaratılmış olmasını gerektirmez. Bu sebeple FDM ve diğer prosesler teorikte doğrudan 3 boyut üzerinden, pratikte ise 2 boyutlu katmanlarla çalışır. Bu CAM yazılımındaki kolaylık proses hızını artırır ve programlamayı kolaylaştırır. 3 boyutlu tekniklerdeki fark ise, öncelikli olarak bir 3 boyutlu yüzeyin oluşturularak üretimin noktadan noktaya prensibinde sürekli ya da kesikli olarak üretilmesidir.

Malzemeye göre sınıflandırma : RP sistemlerinde ham malzeme katı, sıvı ve toz olmak üzere üç farklı halde kullanılabilir. Sıvı durumdaki malzemenin katılaştırılmasından ibaret prosesler de iki gruba ayrılabilir. Bunlar temel malzeme olarak sıvı materyal kullanılan ve katılaştırmanın ışık, lazer ya da ısıyla (temel polimerizasyon) yapıldığı proses ve malzemenin eritilmesi, çökeltilmesi veya çözünmesi temeline dayanan proseslerdir. Bu proses plastik ve reçineler de kullanıldığı gibi metallerde de kullanılabilir.

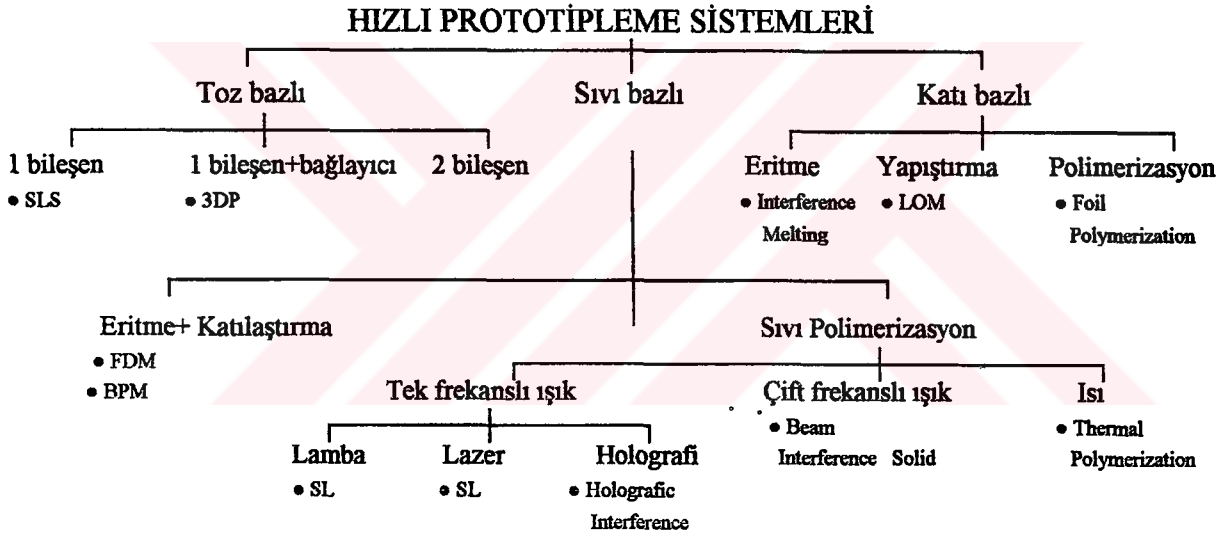
Toz malzeme kullanılan proseslerde ise taneciklerin birbirine bağlanması ara yüzeydeki taneciklerin kontakt alanlarının eritilmesiyle ya da bir bağlayıcı veya yapıştırıcının eklenmesiyle elde edilir. Gelecekte bir alternatif olarak iki ayrı malzemenin de kullanılabilirdiği bir proses oluşturulabilir.

Diğer birkaç processte ise çoğunlukla ince folyolardan oluşan katı malzeme kullanılır. Birçok proses bu folyoları kaynak ya da yapıştırıcıyla birbirinin üstüne ekleyerek istenen şekli oluşturur. Bu prosesin diğer bir uygulaması ise yarı polimerize plastik folyoların ileri foto polimerizasyonla birbirine bağlandığı yöntemdir (Kruth, 1991).

Bu çalışmada RP yöntemleri malzeme kullanım şekline göre incelenecektir.



Şekil 2.1 RP sistemlerinin şekil oluşumuna göre sınıflandırılması (Kruth, 1991).



Şekil 2.2 RP sistemlerinin malzeme kullanımına göre sınıflandırılması (Kruth, 1991)

3. HIZLI PROTOTİPLEME YÖNTEMLERİ

3.1 Sıvı Bazlı Hızlı Prototipleme Sistemleri

Bu yöntemde malzeme sıvı fazdadır. Genelde 'curing' adı verilen bir yöntemle sıvı katı faza dönüştürülür. RP yöntemleri çoğunlukla araştırma geliştirmeyi yapan kuruluşların adıyla anılmaktadır. Bu yüzden yöntemin adından çok kuruluşun adı ön plandadır.

Çoğu sıvı bazlı RP sistemi, parçaları organik bir reçine içerisinde ve UV sınırları dahilindeki lazer ışını ile katılaştırma yaparak üretmektedir. Lazer reçinenin üzerinde arzulan sert tabakayı oluşturur. Parçanın bir tabakası oluşturulduğunda bir asansör sistemi ile aşağı indirilerek ikinci tabakanın oluşturulmasına müsaade edilir. Tüm parça oluşana dek bu proses devam eder. Teknikteki uygulayıcısına bağlı olarak farklılıklar olabilir. Lazer çeşidi, tarama şekli, reçine, asansör sistemi ve optik sisteme bağlı olarak sonuç değişir.

3.1.1 Stereolithografi Yöntemi (SL)

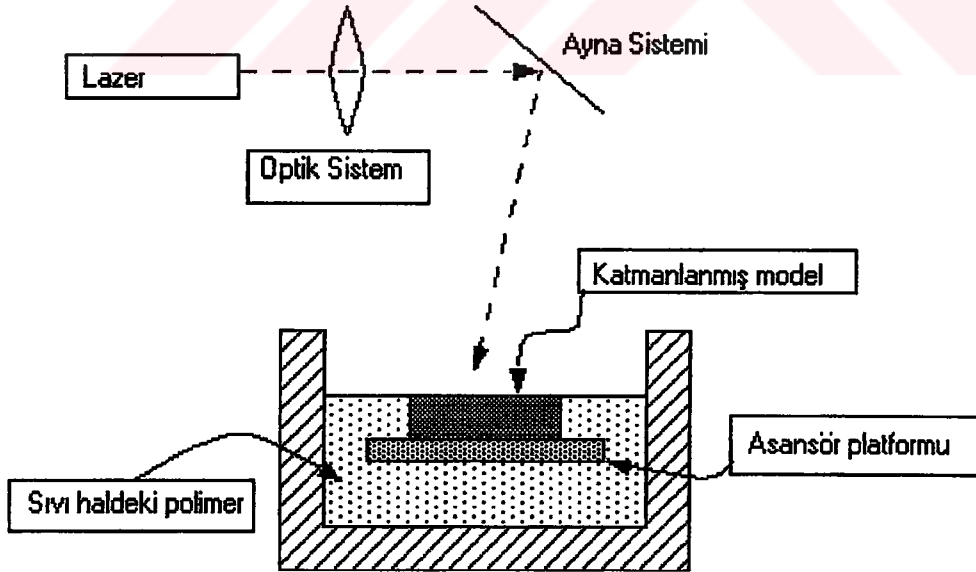
Stereolithografi tabaka tabaka yapılan imalatın fotopolimerizasyona bağlı en tipik örneğidir. Ticari anlamda satılan ilk RP sistemlerinin başında gelir. Günümüzde 10 ayrı kuruluşun patentli stereolithografi cihazı mevcuttur. Hepsi aşağı yukarı aynı prensiple çalışmaktadır. Stereolithografi denilince akla ilk olarak '3D Systems' adlı kuruluşun ilk defa 1988'de geliştirdiği ve ticari anlamda satışa sunduğu cihaz gelmektedir. Kuruluş ve cihazın Amerika'da 40'ın üstünde çeşitli ödülleri bulunmaktadır. Aynı zamanda 20'nin üstünde ise uluslararası patent ödülü almıştır.

'3D Systems' stereolithografi cihazı bilgisayar destekli tasarım verilerinden doğrudan 3 boyutlu plastik objeler yapar. Yöntem sıvı reçine dolu bir kap ve bir asansör kullanılarak başlar. Operatör 3 boyutlu CAD modelini sisteme yükler. Çevirici CAD verilerini STL dosyalarına çevirir. Parça yapıldıkça dengeli durması için destekleyiciler kullanılır. Kontrol ünitesi modeli 0.1-0.5mm arası kalınlıkta dilimlere ayırır. Bilgisayar kontrollü optik tarayıcı sistem odaklanmış lazer ışınını 2 boyutlu yüzeyde katman katılaştırması yapmak için kullanır. Katılaştırma işleminden sonra asansör katılaşmış polimerin üstü tamamıyla yeni bir katman sıvı reçineyle kaplanacak kadar aşağı iner. Seviye süpürücü yüzey üstünden geçerek yüzeydeki yeni katman reçineyi düzeltir. Sonra lazer yeni katmanı şekillendirir. Bu işlemler sistem parçayı tamamlayana dek devam eder. Parça kaptan çıkarılır. Parça üstünde fazla sıvı polimer kalmışsa temizlenir.

SLA cihazının en önemli parçaları kontrol bilgisayarı, kontrol paneli, lazer, optik sistem ve proses odasıdır (Şekil 3.1).

Çizelge 3.1 SLA Model özellikleri (Karı ve Faı 1997).

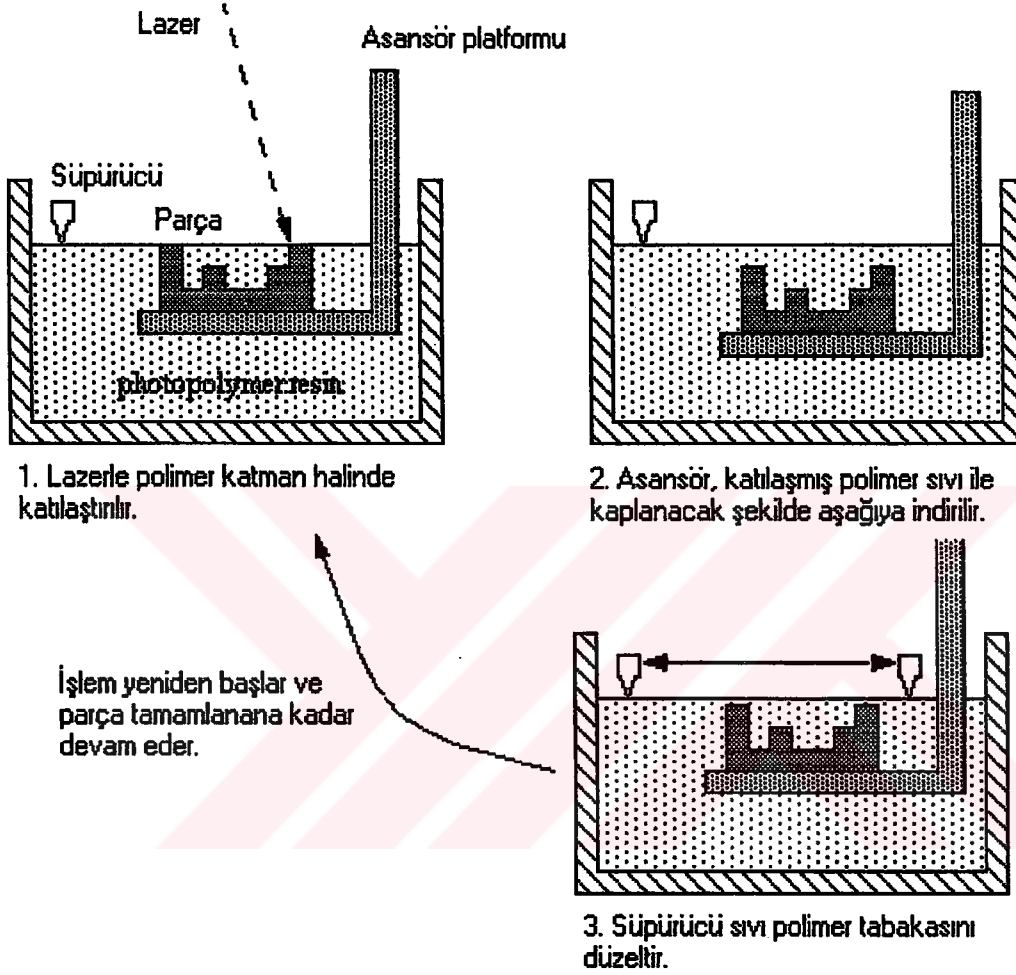
MODEL	SLA-190	SLA-250	SLA-350	SLA-500
Lazer tipi	HeCd	HeCd	Katı Hal Nd: YVO4	Argon İyon
Lazer Gücü (mW)	7.5	16	160	132-164
Nokta boyutu(mm)	0.2-0.29	0.2-0.29	0.25±0.025	0.2-0.25
XY tarama hızı(m/s)	0.762	0.762	5	5
Asansör düşey hassasiyeti (mm)	0.0025	0.0025	0.0018	0.0018
Tank kapasitesi (lt)	-	29.5	99.3	253.6
İş hacmi (mm×mm×mm)	190×190×250	250×250×250	350×350×400	508×508×584
Maks.parça ağırlığı (kg)	-	9.1	56.8	68.04
Min. katman kalınlığı (mm)	0.1	0.1	0.05	0.1
Makine yerleşim alanı XYZ (m×m×m)	0.7×1.2×1.6	0.7×1.2×1.6	1.0×1.0×2.0	1.8×1.2×2.0
Veri kontrol ünitesi	PC	PC	PC	PC
Yaklaşık Fiyatı (USD,1999)	105.000	100.000- 170.000	380.000	490.000



Şekil 3.1 Stereolithografi yöntemi.

SLA yöntemi iki temel kural üzerine kuruludur.

- 1) Parça, lazer ışınına maruz kalınca katılaştıran sıvı reçine içerisinde yapılır. (Temelde bir fotopolimerizasyon yöntemidir.)
- 2) Yapılanma katman katman olur ki optik tarama sistemi tarafından taranan her katman diğer katmanın oluşturulması için, bir asansör mekanizmasıyla alçaltılır.

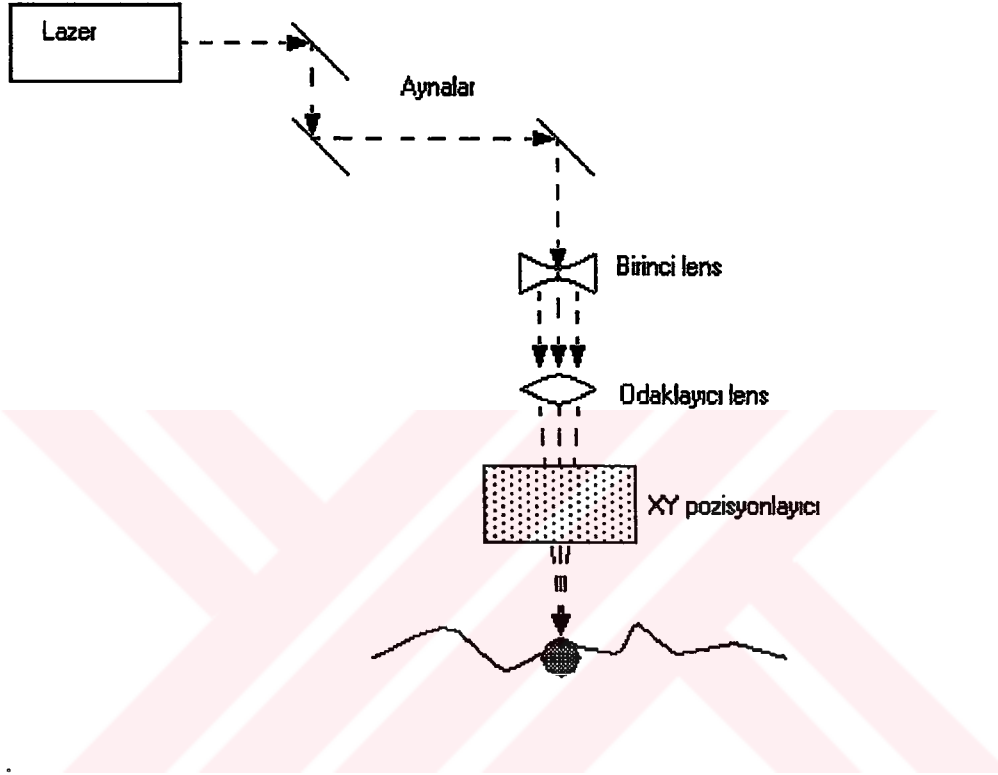


Şekil 3.2 Stereolithografi proses adımları.

Stereolithografi yönteminin temelini oluşturan polimerizasyon, monomer olarak adlandırılan küçük moleküllerin zincir yapılı daha büyük moleküller haline getirilmesi işlemidir. Zincir yapılı polimerler birkez daha birleştirilirse çapraz bağlı polimerler oluşur. Foto polimerizasyon başlama noktası, ışının kaynağından yayılan enerji olan, bir fotokimyasal yöntemdir. Fotopolimerlerin polimerizasyonu ekzotermik bir yöntemdir. Reaksiyonun istenen hızda olması için genelde serbest radikal olan katalizörler kullanılır.

Fotopolimerizasyon esnasında polimer moleküllerinin tekrardan sıvı içinde monomer olarak ayrışmayacak şekilde çapraz bağlanması önemlidir. Aynı zamanda işlemden sonra ki muhtelif kaplama işlerinde oluşabilecek kuvvetlere de dayanmalıdır.

Serbest radikal fotopolimerizasyonundan ayrı bir de akrilat bazlı katyonik polimerizasyon vardır. Katyonik reçineler, daha iyi fiziksel ve mekanik özellikler sağlandığından prototip malzemesi olarak tercih sebebi olabilmektedir.



Şekil 3.3 Stereolithografi katılaştırma sistemi

Hemen hemen tüm RP sistemlerinde kullanılmakta olan katmanlama teknolojisinin temel prensibi, bilgisayar destekli tasarım modelini dilimlere ayırma ve bunu lazer tarama cihazı gibi bir cihazla tekrardan işleme sokmadır. Katman kalınlığı, hassas ayar mekanizması ile kontrol edilir. İmalat sisteminin en önemli parçası lazer ve optik tarama sistemidir. SLA cihazının kuvveti, sıvı foto polimer reçinenin yüzeyine istenen kuvvet ve dalga boyunda odaklama yapabilmesi ile ölçülür. Sıvı reçinenin katlaşması, fotopolimerin yüzeyinde oluşturulabilen odaklanmış noktanın, birim alanda oluşturduğu enerjiye bağlıdır. Fotopolimerin katlaşması için bir eşik değer söz konusu olur (Kaı ve Faı 1997).

SLA yönteminde hassasiyet ve derinliğin sağlanması için çizgi derinliği ve çizgi kalınlığı kontrol edilmelidir. Bu da odaklanmış noktanın güç ayar dengeleri ile kontrol edilir. Parçanın

fonksiyonelliğini ve performansını etkileyen değerler reçinenin fiziksel ve kimyasal özellikleri, optik tarama sisteminin dağılımı, güç, kullanılan lazerin dalga boyu, lazerin nokta büyüklüğü ve kaplama sistemleridir. Bu yöntemin teknik ayrıntıları Bölüm 4'de incelenecektir.

3.1.2 'Sony'nin Katı Oluşturma Sistemi (SCS)

Sony firması, hassas üretim cihazlarının imalatından çok elektronik tüketim malları ile tanınmıştır. 1936 yılında kurulmuş olan şirket, Katı Oluşturma Sistemi (SCS) imalatına 1986'da başlamıştır. Sistem lazerle sertleştirilebilir reçine kullanan katmanlama teknolojisinin temeline dayanır. Sony ilk defa piyasaya 1/2m³ tank boyutları ve 5m/s üzerinde tarama hızı sunan ilk firmadır. Nippon Synthetic Rubber firmasıyla ortak yürüttükleri bir çalışma ile bu sistemde kullanılmak üzere bir tür reçine geliştirmişlerdir. Bu sistem özellikle otomotiv ve elektronik endüstrisine hitap etmektedir ve günümüze kadar Japonya'da 50 sistem kurulmuştur. Sony'nin bu konuda satışa sunulan üç tip makinesi bulunmaktadır. Bu makinelerin özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 SCS Model özellikleri (Kai ve Fai 1997).

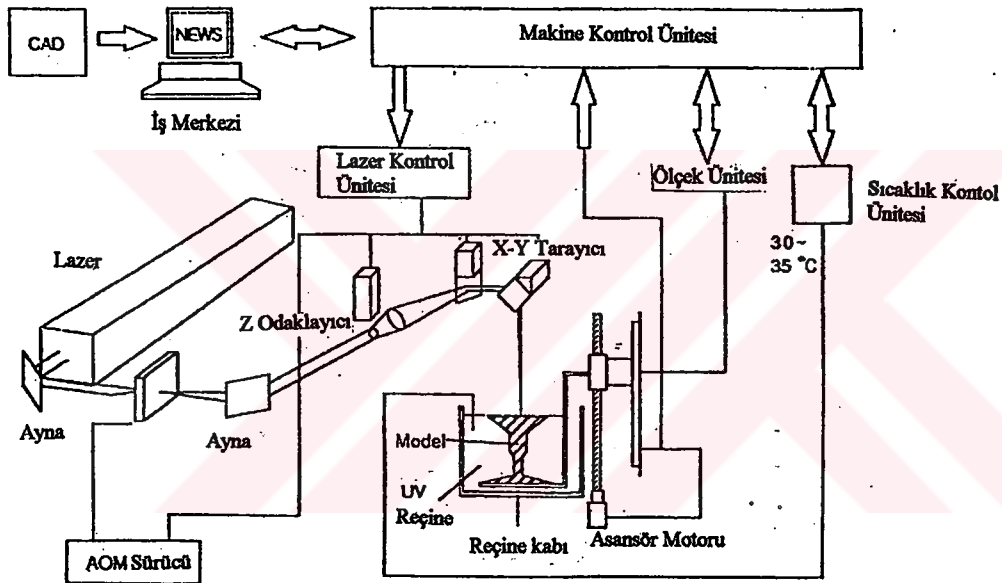
MODEL	SCS-1000HD	JSC-2000	JSC-3000
Lazer tipi	HeCd / Argon	Argon	
Yansıtıcı aygıt	Galvanometrik ayna sistemi		
Nokta boyutu(mm)	0.05-3.0	0.15 ≥	0.3 ≥
XY tarama hızı(m/s)	Max 1	Max 5	
Düşey hassasiyet(mm)	0.001		
Tank kapasitesi (lt)	60	210	420
İş hacmi XYZ (mm×mm×mm)	300×300×300	500×500×500	1000×800×500
Sıcaklık kontrolü	50°C'ye kadar		
Makine yerleşim alanı XYZ (m×m×m)	0.38×0.35×1.55	1.65×1.40×1.80	1.90×1.55×2.50
Veri kontrol ünitesi	SONY İş istasyonu		
Yaklaşık Fiyatı (₺,1996)	40 milyon	40 milyon	80 milyon

Katı Oluşturma Cihazı, 3 boyutlu modeli polimeri tabaka tabaka tarayarak oluşturur. Yöntem 5 basamaklıdır. Bilgisayar destekli modelin oluşturulması, CAD modelini tarama ve veriye dönüştürme, reçine yüzeyine tarama, asansörün seviyesini düşürme ve prototipin tamamlanmasıdır.

Önce bir CAD modeli oluşturulur ve bu model CAD sistemindeki 3 boyutlu veri SCS'nin imalatında kullanacağı kesit dilimlerine bölünür. Sonra bu bilgi lazer kontrolörlerine gönderilir. Ultraviyole lazer, reçine yüzeyine kesit vericisine göre çizim yapar. Lazer ışının üzerinden

geçtiği reçine tabakası, sıvı fazdan katı faza geçer. Şeklin taranabilmesi için asansör sistemi aşağı iner, çizilecek yeni tabaka oluşturulur. Parça tamamlanana kadar bu devam eder. Son olarak asansör yükseltilir ve model alınarak son bitirme işlemleri başlatılır. Sistem donanımı Sony'nin Unix iş istasyonu, ana makine kontrolörü, galvanize ayna ve kontrolörü, lazer, lensle ve akustik optik modulator içeren optik sistem, fotopolimer tankı, asansör mekanizmasından ibarettir (Şekil 3.4).

Bu sistemin ana yazılımı ise iki bölümden oluşmaktadır. Bunlar dilimleme ve düzenleme verileridir. Dilimleme verileri çeşitli CAD sistemlerinden alınan veriler kullanılarak elde edilir ve dilim kesitleri oluşturur. Düzenleme verileri ise otomatik destek üretimi yazılımını içerir.



Şekil 3.4 SCS sistemi çalışma prensibi (Kaı ve Faı 1997).

SCS sisteminin avantajları aşağıdaki gibidir.

- 1) Yöntem sırasında rahatsız edici bir koku ya da zehirleyici madde açığa çıkmaz.
- 2) Tarama hızı yüksektir. Büyük modellerde kullanışlıdır.
- 3) Tank boyu büyüktür, geniş prototipler üretebilir.
- 4) Yüksek hassasiyetle model üretilebilir.

SCS RP yönteminin temel kuralları polimerin ultravioleye maruz bırakılarak katılaştırılması ve katmanlama imalatı prensibine dayanır. Temel kurallar SLA yönteminde kullanılanlara

oldukça yakındır. Sony bu yönteme 'Optik Şekillendirme Yöntemi' demektedir. Makinanın performansını ve işleyişini etkileyen parametreler, tarama aralığı, adım periyodu, adım boyu, tarayıcı gecikmesi ve reçine özellikleridir (Kaı ve Faı 1997).

3.1.3 Cubital' in Katı Zemin Oluşturma Yöntemi (SGC)

Cubital'in operasyonları 1987'de başlamış ve ilk ticari satışlarını 1991'de yapmışlardır. Cubital'in Solider 4600 ve Solider 5600 olmak üzere iki ürünü bulunmaktadır. Solider4600 Cubital'in 3 boyutlu modeller üreten temel seviyedeki modelidir. Solider 5600 ise en son sistemdir. Geniş boyutlarda üretim olanağı sağlar. Çizelge 3.3'de her iki modelin özellikleri de ayrıntılı olarak verilmektedir.

Cubital'in sistemi parça yapımında malzeme olarak farklı çeşitlerde sıvı ve katılaştırılmış reçine, destek malzemesi olarak suda çözünebilen balmumu ve bir cam maske üzerine silinebilir bir kesit görüntü oluşturmak için iogronafik katı toner kullanır.

Çizelge 3.3 Model teknik özellikleri (Kaı ve Faı 1997).

MODEL	SOLIDER 4600	SOLIDER 5600
Işınlama aracı	Yüksek güçlü UV lambası	
XY çözülümü (mm)	0.1'den iyi	
Yüzey tanımlaması (mm)	0.15	0.15
Asansör düşey hassasiyeti (mm)	0.15	0.1-0.2
Üretilbilir minumum boyut (mm)	0.4 (Yatay ,X-Y) 0.15 (Düşey ,Z)	0.4 (Yatay ,X-Y) 0.15 (Düşey ,Z)
İş hacmi (mm×mm×mm)	350×350×350	500×350×500
Üretim hızı (cm ³ /h)	550	1311
Minumum katman kalınlığı (mm)	0.06	0.06
Boyut hassasiyeti	% 0.1	% 0.1
Makine yerleşim alanı XYZ (m×m×m)	1.8×4.2×2.9	1.8×4.2×2.9
Veri kontrol ünitesi	İş istasyonu	
Yaklaşık Fıatı (USD,1996)	295.000	475.000

Yöntem aşağıdaki basamaklardan oluşur.

- 1) Veri hazırlama : Prototipi yapılacak parçanın CAD modeli yapılarak elde edilen kesitler dijital hale getirilip maske yapımına gönderilir.
- 2) Maske hazırlama : Maske yapımına veriyi aldıktan sonra tablanın üstünde bir ionografik bir yöntemle elektrostatik renklendiriciyi kullanarak görüntüyü oluşturur.
- 3) Model yapımı : İlk aşamada işlenecek yüzeye ince bir tabaka fotopolimer sürülür. Maske yapımının yaptığı fotomask , iş parçasını üstüne ve UV lambanın altına yerleştirilir. UV ışığına maruz kalan reçine sertleşir. Genelde bu yöntemle üretilen parçalar arzulanandan

daha sert yapılmaktadır. Bu parçanın sonraki delme işlemlerine dayanım göstermesi içindir. Sonra iş parçasından katılaşmamış reçine çıkartılır. Burada vakumla emme işlemi devreye girer. Bunu takiben sıvı reçinenin boşalttığı yerlere sıvı balmumu sürülür. Balmumu soğuyunca katı bir tabaka oluşturulur ve arzulanan inceliğe indirilebilir.

Sistemin ana bölümleri ön bilgi oluşturma merkezi, model oluşturma merkezi (yöntem cihazı, operatör konsolu,vakum cihazı) tercihe bağlı olarak balmumu arındırma ünitesinden ibarettir.

Cubital'in RP yöntemiyle alete ve kalıba gerek kalmadan üretim yapılabilir. Yöntem şu kurallara dayalı çalışır.

- 1) Parça ultraviole ışığı altında katılaşan sıvı polimer reçine ile üretilir. Fotopolimerizasyon yöntemi enerji kaynağı olarak ultraviole ışın kullanılması, yüzey taraması yerine maske kaplama sisteminin kullanılması dışında kimyasal olarak önceki RP yöntemleri ile benzer özellikler taşır. Maske CAD verisinden özel kağıdına ionografik baskı yöntemiyle basılır ki , bu yöntem lazer yazıcı ve fotokopi makinelerinde kullanılan yöntemle benzerdir. UV ışığına maruz kaldıktan sonra maske sökülür, gerekiyorsa başka bir kat maske konur.
- 2) Çok katlı parçalarda katlar kesitler halinde peşi sıra yapılır. Katlar arzulandan daha kalın olur ki böylece sonradan istenen kalınlığa indirilebilir.
- 3) Parça üretilirken hiçbir desteğe ve tutucuya gerek yoktur.

Genel uygulamaları kavramsal tasarım sunumu, mühendislik testleri, tasarım geliştirme, fonksiyonellik analizleri, pazar araştırması, fuar ve imalat öncesi çalışmaları, döküm sanayinde üretilen muhtelif parçalar, tıpta tedavi amaçlı kullanılan protez imalatı olarak sayılabilir (Kaı ve Faı 1997).

3.1.4 CMET'in Katı Nesne Ultraviole Lazer Tarayıcısı (SOUP)

CMET firması Mitsubishi ortaklığı ile 1990 yılında kurulmuştur. CMET Japon RP pazarında altı çeşit ürünüyle %40'lık bir payının olduğunu iddia etmektedir. Bunlardan üç model SOUP1000GA, SOUP600GA ve SOUP400GA argon lazeri kullanırken, diğer üçü SOUP600GH, SOUP400G ve SOUP 250GH HeCd lazer kullanmaktadır. SOUP sistemlerinde kullanılan malzeme ışığa duyarlı epoksi reçinedir.

Galvometrik ayna tipi çok yüksek hızlı taramanın sağlanması, parçanın çok kısa sürede üretilmesi için kullanılmaktadır. Bu tip SOUP makinelerinde lazer dalgası çapı çok küçük (max 0.2mm) yapılabildiğinden aşırı derecedeki küçük parçalarda bile yüksek hassasiyet sağlanır. Bu sebeple sistem konnektörler gibi çok küçük parçaların ve yine komponentler gibi katı parçaların yapımında idealdir. Buna ek olarak galvometrik ayna birim dizayn kompaktlığını sağlar. Makinelerin genel özellikleri Çizelge 3.4'de verilmektedir.

Çizelge 3.4 Model teknik özellikleri (Kai ve Fai 1997).

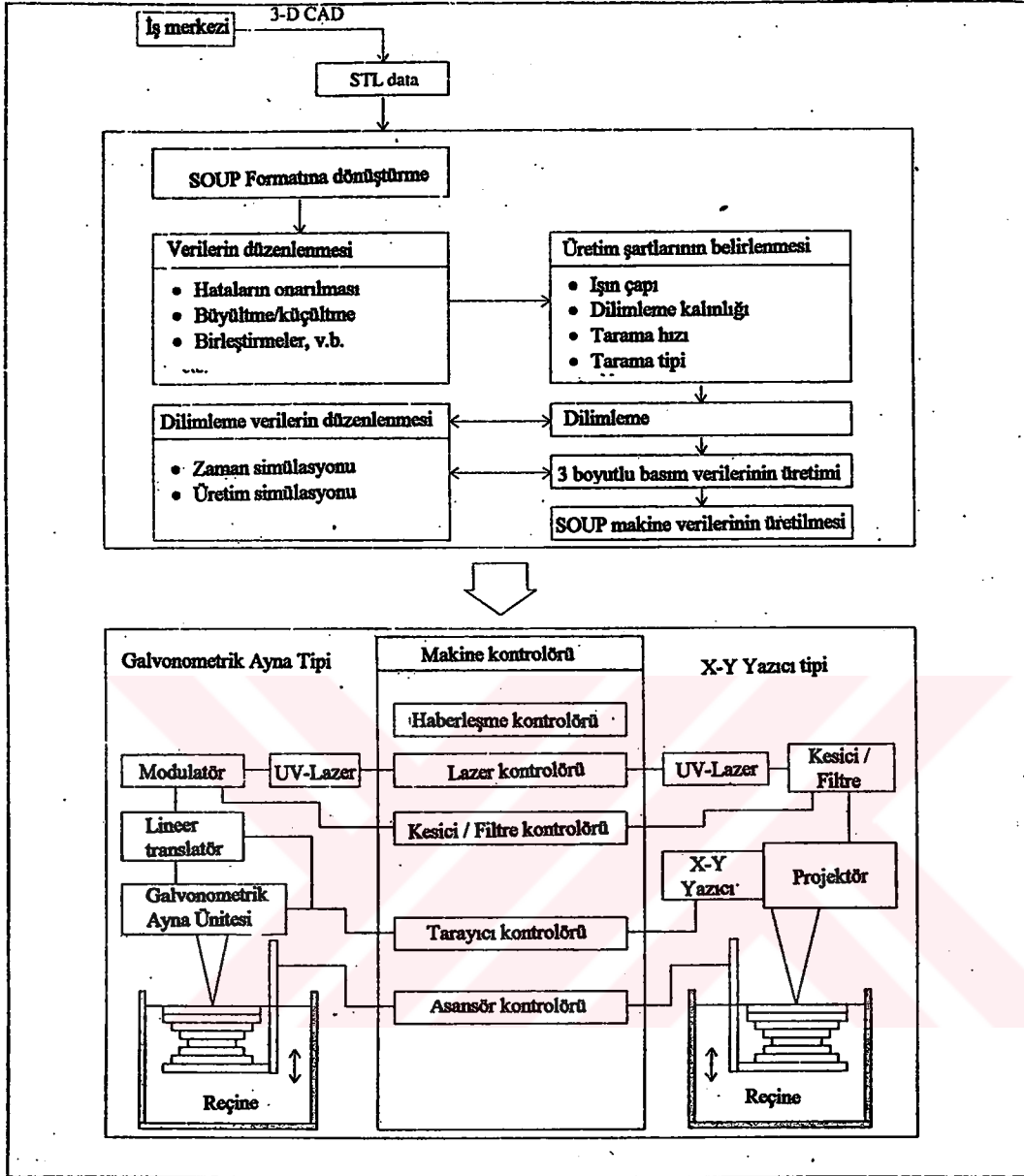
MODEL	SOUP250GH	SOUP400GA		SOUP600GA		SOUP100GA
Lazer tipi	HeCd 31	HeCd35- 45	Ar 400	HeCd35- 45	Ar 400	Ar 400
Lazer Gücü (mW)	7.5	16		160		132-164
Nokta boyutu(mm)	0.1-1.0	0.2		0.2		0.2
XY tarama hızı(m/s)	4	4		6		6
Tarama hassasiyeti (mm)	±0.03	±0.05		±0.05		±0.05
Tank kapasitesi (lt)	Kullanılmaz	29.5		99.3		253.6
İş hacmi (mm×mm×mm)	250×250×250	400×400×400		600×600×500		1000×800×500
Minimum katman kalınlığı (mm)	0.025-0.3	0.05-0.3		0.05-0.3		0.05-0.3
Makine yerleşim alanı XYZ (m×m×m)	1.38×0.29×1.5	1.5×0.89×1.82		1.7×1.09×1.85		2.2×1.5×2.5
Veri kontrol ünitesi	SUN WS					
Yaklaşık Fiyatı (₺,1996)	40.560 milyon	62.560 milyon		66.640 milyon		83.600 milyon

Proses CAD sistemle bir üç boyutlu modelin oluşturulmasıyla başlar. Verilerin SOUP yazılımına uygun hale getirilmesi ikinci adımdır. Çoğu CAD sisteminde olduğu gibi bu sistemde de elde edilen veriler RP sisteminde direkt kullanılmaya uygun değildir. Bu yazılım CAD verilerini düzenler, hataları tamir eder, modeli dilimlere ayırır ve son olarak da SOUP makinesi verilerine uygun bir hale getirir. Daha sonraki adımda ise SOUP makinesi ile model oluşturulması işlemine başlanır. Lazer reçineyi SOUP yazılımında elde edilen verilere uygun bir şekilde katılaştırma yapacak şekilde tarar. Asansör seviyesi düşürülür ve parçanın üstü yeniden reçineyle kaplanır ve işlem yeniden başlar. Bu parça tamamlanana kadar devam eder (Şekil 3.5).

SOUP donanımı, bir haberleşme, lazer, kesici/filtre, tarama ve asansör kontrolörü içerir. Simulasyon 3 boyutlu kopyalama, hata onarımı, oynak yapı ve otomatik destek yapılandırma gibi fonksiyonlara sahiptir. SOUP sistemi temeli de stereolithografi temeline dayanmaktadır. Ana farklılık tarama hızı ve dolayısıyla model yapım hızıdır. Performansı etkileyen parametreler ve fonksiyonlar , makinenin galvanometrik ayna hassasiyeti, lazer ışığı çapı , dilim kalınlığı ve reçine özellikleridir.

SOUP sistemlerinin ana avantajları aşağıdaki gibidir.

- 1) Makine kapasiteleri özel ve kompleks parçaların yapımına uygundur.
- 2) Z ekseninde daha fazla hassasiyet veren bir yeni yeniden kaplama sistemine sahiptir ve bu aynı zamanda daha kısa üretim zamanı sağlar.
3. Yazılım sisteminden gerçek zaman değerleri alınabilir.



Şekil 3.5 SOUP sistemi çalışma prensibi (Kai ve Fai 1997).

SOUP sistemlerinin uygulama alanları dizayn sorgulaması, ticari sunum ve görüntüleme, şekil uyumu ve basit fonksiyonel testlerde kullanım, döküm yöntemlerinde master ve numune olarak kullanım ve tıbbi uygulamalardır.

3.1.5 EOS'un Stereo Sistemi

EOS (Elektrik Optik Sistemler) firması 1989 yılında kurulmuştur ve Avrupa'da ilk lazer sistemleri üreten firma ünvanını almıştır. İlk ticari satışını 1991 yılında yapmıştır. Üç tip ürüne sahiptir. Bunlar StereoMax600, Stereo300/400 serisi ve Masaüstü Stereo'dur. Bu

sistemlerin özellikleri Çizelge 3.5'de verilmektedir. Stereo400 piyasa ilk sürülen üründür. Masaüstü Stereo şimdiye dek fiyat/perforans oranını en iyi sağlayandır. Bu model oldukça düşük fiyat ve yüksek hassasiyete (daha büyük kapasitelerdeki makinelerle aynı) sahiptir.

Geniş çalışma alanı, düşük fiyat ve yüksek hassasiyet isteklerine karşılık veren model ise SteroMax600'dür. Daha iyi bir lazer (Nd:YAG) ve daha iyi yeniden kaplamayı sağlayıcı adaptif kontrolüyle piyasada farklılık yaratmaktadır. Üretici firma tarafından EOS sistemlerinin kullanılması durumunda, üretim zamanı ve maliyetlerde %90 azalma olacağı savunulmaktadır.

Çizelge 3.5 Stereo model özellikleri (Kaı ve Faı 1997).

MODEL	STEREOS DESKTOP		STREOS 300/400			STEREOS MAX600	
Lazer tipi	HeCd		Ar			Nd:YAG	Ar
Lazer Gücü (mW)	20	40	25	50	100	250	300
Nokta boyutu(mm)							
XY tarama hızı(m/s)	1	2	2	5	10	10	
Asansör düşey hassasiyeti (mm)	0.01		0.01			0.01	
Maksimum parça ağırlığı (kg)	-		20	50		100	
İş hacmi XYZ (mm×mm×mm)	200×200×200	250×250×250	300×300×300		400×400×300	600×600×400	
Minimum katman kalınlığı (mm)	0.1		0.1			0.1	
Makine yerleşim alanı XYZ (m×m×m)	1.2×0.6×1.0		1.9×1.15×2.1			1.09×2.1×2.0	
Veri kontrol ünitesi	486DX 66MHz					Pentium	
Yaklaşık Fıatı (DM,1996)	300.000		600.000			900.000	

Stero sistemleri CAD verilerinden ara bir yazılım kullanmadan 3 boyutlu modeli direkt olarak yaratır. Stereo sistemlerinde parça yapımı CAD modelinin yaratılarak Stero Sistemlerine uyan arabirimlere çevrilmesiyle başlar. Daha sonra CAD sistem verileri modelleme prosesi için hazırlanır. Bu işlemden sonra Stereo sistemi arayüzeyinden elde edilen bilgilere göre lazerle tarama işlemi başlatılır. Tarama işlemi ardından asansörün seviyesinin düşürülmesi ve parçanın yeniden kaplanmasıyla tarama işlemi yeniden başlatılır ve parça tamamlanana kadar bu işlemler devam eder.

Parçanın ayrılmasında daha iyi destek sağlamak için geliştirilen 'kabuk ve göbek' fonksiyonu, yazılımın içinde bulunan bir özelliktir. Bu özellik bir katı modeli tanımlanabilir kalınlıkta bir kaburga ve bir göbeğe ayırır. Bu çok sayıda uygulamada kullanılmaktadır. Göbek içerisinde dolgu yapı olarak kullanılmak üzere çeşitli yapım şekilleri geliştirilmiştir. Bunlardan biri olan

'Mesh Yöntemi' yüksek dayanım ve minimum ağırlıkla rijidlik sağlamak için üç boyutlu ortogonal doğrultu içerisinde birbirine bağlanan desteklerden (iskele benzeri) oluşur. İnce kalınlıklarına sahip bölgeleri olan parçaların yapımında 'Mesh Yöntemi' ile bir göbek oluşturulduktan sonra ince kalınlıkta bir kabukla kombinasyonunun sağlanması oldukça alışılmış ve bilindik bir yöntemdir. Bu yöntem sayesinde hafif dayanıklı parçalar elde edilirken, yapım zamanı da azaltılır.

Stereo sistemi donanımı bir Silicon Grafik iş istasyonu ve Stero biriminden oluşur. Stero sisteminin temeli ışığa duyarlı sıvı reçinenin direkt CAD verilerinden 3 boyutlu plastik modeller oluşturmak üzere bir bilgisayar kontrollü lazer ile katman katman katılaştırılmasına dayanır ki stereolithografi ile benzer özelliktedir (Kaı ve Faı 1997).

Yöntemin avantajları aşağıdaki gibidir.

- 1) CAD sistemlerinden hızlı data transferi için optimize edilmiş CAD ara birimi.
- 2) 600X600X400mm model boyutlarına kadar çeşitli modeller için modüler ışıklandırma üniteleri, 100-600mW değerleri arasında lazer gücü, 2-10m/s ışıklandırma hızı, lazer dalgasının sabit odaklanması ve otomatik kalibrasyon.
- 3) Gelişmiş tabakalama teknolojisi ve azalan proses zamanı.
- 4) Farklı mekaniksel, temel ve optik karakteristiklere sahip çok sayıda özel reçine seçeneklerine sahip olması.
- 5) İnce et kalınlıklarında, gerilmesiz yüksek verimli prosesler.

Yöntem tıbbi uygulamalarda, enjeksiyonla kalıplama tekniklerinde, döküm uygulamalarında rahatlıkla kullanılabilir.

3.1.6 Teijin Seiki'nin Katı Şekil Verme Sistemi

Teijin Seiki firması 1944 yılında kurulmuştur ve ilk ürününü 1992'de satışa sunmuştur. Sadece bir modele sahiptir. Makine özellikleri Çizelge 3.6'da verilmektedir. Kullanılan malzeme Somos fotopolimeridir. Yöntem konsept dizaynı, CAD dizaynı, CAD verilerinin STL'e çevrilmesi, katı şekillendirme ve parça sertleştirilmesi için ısı işleme basamaklarından oluşur.

Bu sistem bir SUN-EWS iş istasyonu, bir argon iyon lazeri ve kontrolörü, bir tarayıcı kontrolörü ve tanktan oluşur. Sistemin temeli stereolithografi ile aynıdır. Teijin tarafından geliştirilen akrilik üretilen reçine 40.000 centapoise viskoziteye ve 52.3 MPa elastisite

modülüne sahiptir. Bu elastise modülü konvansiyonel prototip modellerinin üretiminde kullanılan reçinelerinin 9.6 MPa olan elastise modülüyle karşılaştırıldığında farkın ne kadar büyük olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.6 Soliform teknik özellikleri (Kai ve Fai 1997).

MODEL	SOLIFORM
Lazer tipi	Argon iyon
Lazer Gücü (mW)	300-500
Nokta boyutu(mm)	0.127
XY tarama hızı(m/s)	24(max), 15(ortalama)
Tarama hassasiyeti (mm)	±0.0508
Asansör düşey hassasiyeti (mm)	0.025
İş hacmi (mm×mm×mm)	500×500×500
Maksimum parça ağırlığı (kg)	50
Makine yerleşim alanı XYZ (m×m×m)	2.6×1.1×2.42
Veri kontrol ünitesi	SUN EWS (UNIX)
Yaklaşık Fiyatı (¥,1996)	45.000.000

Yöntemin avantajları aşağıdaki gibidir.

- 1) Diğer RP sistemlerinden daha hızlıdır. (Süpürme ya da tarama hızı maksimum 24m/s ve ortalama 15m/s'dir.)
- 2) Işınlama kontrol teknolojisi sayesinde yüksek hassasiyete sahip parçalar üretir.
- 3) Tarama sisteminin hassasiyeti bir dijital enkoder servomotor tarafından kontrol edilir.
- 4) Çok fazla sayıda kullanılabilir reçine seçeneği vardır.

Yöntem enjeksiyonla ve vakumla kalıplama tekniklerinde, döküm yöntemlerinde, kaybolan modellerde kalıplamada kullanılmaktadır.

3.1.7 Meiko'nun Hızlı Prototipleme Sistemi

Meiki Co. Ltd. şirketi makine takımları yapmakta olan 1962 kuruluş tarihli bir firmadır. Mücevher endüstri için Yamanashiken Endüstriyel teknik servisiyle beraber 1990'ların başında bir teknik geliştirmişlerdir. Meiko'un LC-315 sistemi mücevherat yapımında kullanılan prototiplerin imal edilmesini sağlayan bir optik sistemdir. LC-15'in özellikleri Çizelge 3.7'de verilmektedir.

LC-15 UWM-8000 adında kendi geliştirdikleri ışığa duyarlı reçine kullanmaktadır. Diğer tüketim malzemeleri HeCd lazer tüpü ve UV lambasıdır. Yöntem Meiko CAD yazılımıyla mücevher modelinin tasarlanması, CAM modülü JCAD3 sayesinde CAD verilerinden direkt

NC datalarının elde edilmesi, NC datalarının LC-315'e yüklenmesi, katman katman modelin oluşturulması basamaklarından oluşur.

Çizelge 3.7 LC-315 teknik özellikleri (Kai ve Fai 1997).

MODEL	LC-315
Lazer tipi	HeCd
Lazer Gücü (mW)	10
Nokta boyutu(mm)	0.08
XY tekrarlanabilirlik	±0.01
Tarama hassasiyeti (mm)	±0.0508
Asansör düşey hassasiyeti (mm)	0.01
İş hacmi (mm×mm×mm)	160×120×100
Minimum katman kalınlığı (mm)	0.01
Makine yerleşim alanı XYZ (m×m×m)	1.0×0.7×1.38
Veri kontrol ünitesi	EWS (UNIX)
Yaklaşık Fiyatı (₺,1996)	14.000.000

Meiko sistem yazılımı bir CAD modelleyici, CAM işlemcisi ve yapım makinesinden oluşur. İmalat ünitesi bir HeCd lazer, optik filtre, X-Y kontrollü tarayıcı, NC kontrolör ve reçine kabından oluşur.

Temelde diğer sıvı bazlı RP sistemleriyle aynıdır. Ana farklılığı tarama sisteminin kontrolünden kaynaklanmaktadır. Bu sistem galvanometrik ayna tarama sistemi yerine bir NC kontrollü XY (yazıcı) sistemi kullanmaktadır.

Yöntemin avantajları aşağıdaki gibidir.

- 1) Mücevherat için çok yüksek hassasiyetle modelleme.
- 2) Elle prototiplemeye göre daha az maliyet.
- 3) Mücevherata özgü CAD/CAM yazılımı.

Genel uygulamaları mücevherat modeli üretimi, gözlük çerçevesi yapımında kullanımdır. (Kai ve Fai 1997).

3.1.8 İkili Lazer Işın Yöntemi

İsminden de anlaşılacağı gibi bu yöntemde iki lazer kaynağı mevcuttur. SL ya da diğer yöntemlerden en belirgin farkı çift lazerle çalışan sistemin yalnızca reçine yüzeyinde değil kabın içinde herhangi bir yerde işleme yapabilmesidir. İkili lazer ışını yönteminde ışınlar kap içinde herhangi bir noktada kesicek şekilde odaklanır. Yöntemde lazerlerden birinin hattı

üzerindeki molekülleri heyecanlandığı bilinmektedir. Kısa bir zaman zarfında moleküllerin çoğu evvelki duruma dönerken, ikinci lazer kendi hattındaki molekülleri ve az evvelkiyle ortak olanları daha da heyecanlandırarak polimerizasyonu başlatacaktır. Bu durumda, kesişme noktası katılaştırken, geri kalan kısım ise reçine olarak kalacaktır. Bu yöntem yaklaşık 30 yıllık geçmişe rağmen ticari başarı kazanamamıştır. Bunun belli başlı 3 sebebi vardır. Bunlar aşağıdaki gibidir.

- 1) İki lazer ışınında da havadan ve sıvı reçineden geçerken odaklama problemi yaşanır.
- 2) İki çok hızlı lazer ışınının kesinlikle aynı noktada birleştirilmesi problem teşkil etmektedir.
- 3) Hat üstünde olan moleküller her zaman heyecanlanmış durumdan tekrar sıvı duruma dönmeyebilir (Kai ve Fai 1997).

3.2 Katı Bazlı Hızlı Prototipleme Sistemleri

Katı bazlı RP sistemleri, sıvı bazlı RP sistemlerinden farklı olduğu gibi kendi içinde de farklılıklara sahiptir. Kendi arasında temel ortak noktaları imalat yaparken katı fazdaki malzemelerden istifade etmeleridir.

3.2.1 Helisy'nin Lamine Parça Üretim Yöntemi (LOM)

Helisy kuruluşu üç boyutlu modelleme kabiliyetini endüstrinin geniş bir kısmına yaymak amacıyla 1985 yılında kurulmuştur. Amerikan Ulusal Bilim Vakfı'nca desteklenen çalışmalar sonucunda 'Lamine Parça Üretim Yöntemi'ni geliştirmiştir.

Helisys iki tip LOM modeli üretmektedir. Bunlar LOM1015 ve LOM2030'dur. Her iki sistem de CO₂ lazeri kullanmakta ve LOM 1015'de lazer gücü 25W, diğerinde ise 50W'dır. Üç aynadan oluşan optik sistem sayesinde CO₂ lazer ışını parçanın üst yüzeyine yansıtılır ve aynı zamanda odaklayıcı lens ışını yaklaşık 0,25 mm odaklar. Kesme işlemi süresince lazer kontrolü bir XY pozisyonlu tabla ile sağlanır. LOM2030 daha büyük kapasitelidir. Her iki makinenin özellikleri Çizelge 3.8'de özetlenmiştir.

Katman üretim teknolojileri son zamanlarda sık sık dizayn edilmiş modellerin üç boyutlu çıktısı olarak göze alınmaktadır. Genellikle bu teknolojiye yüksek dayanım ve tokluk değerlerinden dolayı metal malzemeler kullanılmaktadır. Bu uygulama çok yeni olmasına rağmen üretim zamanı ve bedeli diğer katman üretim teknolojileri ile karşılaştırıldığında geniş bir alanda mekanik ve yapısal metal komponentlere uygulamada büyük bir potansiyeldir.

Çizelge 3.8 LOM modelleri özellikleri (Kai ve Fai 1997).

MODEL	LOM-1015	LOM-2030
Lazer tipi	CO2	
Lazer Gücü (mW)	25	50
Nokta boyutu(mm)	0.25-0.38	0.203-0.254
XY tarama hızı(m/s)	0.38	0.61
Parça hassasiyeti (mm)	±0.25	±0.25
Levha kalınlığı (mm)	0.05-0.38	0.05-0.38
İş hacmi (mm×mm×mm)	380×250×350	810×550×500
Makine yerleşim alanı XYZ (m×m×m)	1.2×0.99×1.27	2.08×1.47×1.42
Veri kontrol ünitesi	486 DX, MS Microsoft NT,MS-DOS ve LOM Slice	
Yaklaşık Fiyatı (USD,1996)	92.600	180.000

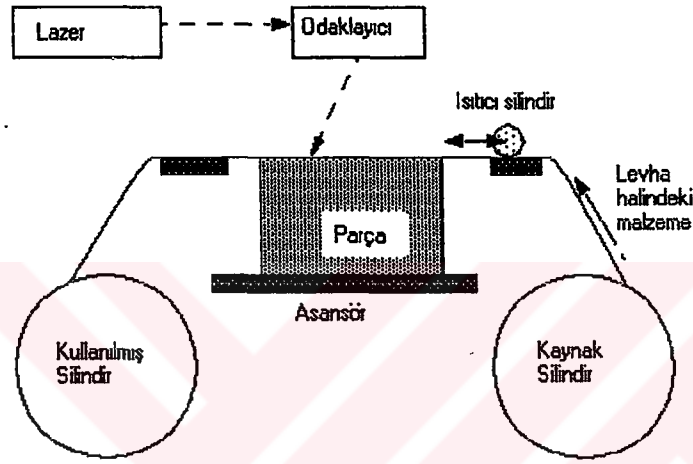
Yöntemin avantajları aşağıdaki gibidir.

- 1) LOM yönteminde , levha şeklindeki her malzeme kullanılabilir. Kağıt, plastik, metal, kompozit malzeme ve seramikler sık kullanılanlardır. Malzemenin kolay ve ucuz temin edilebilirliği, ürün yelpazesini her açıdan çeşitlendirmektedir. Levha malzemeler, fiziksel ve kimyasal değişimlere maruz kalmadığından, bitirilmiş parçalarda, iç gerilmeler ya da fiziksel deformasyonlar söz konusu olmaz.
- 2) Yöntemde kullanılan cihazların hassasiyeti 0,25mm'den iyidir. Tasarım ve belli parametrelerin doğru seçimiyle, her boyutta yüksek hassasiyete sahip değerler elde edilebilir.
- 3) Yöntemde , tüm yüzeyin taranmasından ziyade çevresel işlem yapıldığından hacimli ve kalın parçalar bile yüksek süratle işlenebilmektedir.

Temelde LOM yöntemi bilgisayar destekli tasarım programı yardımıyla 3 boyutlu parçaların kesitler halinde katmanlaştırılarak üretilmesidir. Öncelikle birçok yöntemde olduğu gibi üretilecek parçanın CAD türevli STL dosyaları çıkarılmalıdır. Bu bölüm hazırlık safhasını oluşturmaktadır. Tüm bunlar LOM sistemiyle beraber gelen yazılımla otomatik olarak hesaplanabilmekte ve kontrol edilebilmektedir. İmalat safhasında ise 'LOM Slice' yazılımı ile 3 boyutlu parçanın tam ebatları tayin edilir, enine katmanlar çıkarılır. Parça ince levhaların üst üste yapıştırılarak lazer ile her katta gerekli miktarın çevresel olarak bir seferde kesilmesi ile üretileceğinden, bilgisayar ilgili katı kesecek yeterli ve gerekli lazer ışını ayarlaması yapar. Parçanın katmanlarını oluşturan levha rulo halinde bir taraftan diğer tarafa gerekli miktarı kesilmiş olarak geçmekte ve tekrar sarılmaktadır. İmalat sonrası safhasında ise üretilmiş blok cihazdan sökülür sonra parça çevresindeki kesilmiş parçalar, bir ahşap oyucu ile itina ile parçadan ayrılır. Boyama, cilalama gibi bitirme işlemleri uygulanabilir ve hatta gerekliyse rutubet kapmasını önlemek için epoksi ya da silikon sprej kullanımı söz konusu olabilir.

Yöntemin temel kuralları aşağıdaki gibidir.

- 1) Parça her katın gerekli kısmının kontür halinde lazer ile kesilmesiyle elde edilir.
- 2) Her katın üstüne lazerle kesilecek diğer kat yapıştırılır.
- 3) X-Y ekseni tamamıyla kesme işlemini üstlenmiş lazer kontrolünde iken , Z ekseni ise yeni katın yapıştırılması için parçayı aşağı indiren asansör tabla denetimindedir.
- 4) Sonradan çıkarılan, enine boyuna küpler şeklinde doğranmış fazlalıklar destek görevi gördüğünden, özellikle sıvı bazlı RP yönteminde olduğu gibi desteğe ihtiyaç yoktur.
- 5) Parça tamamlandıktan sonra bitirme işlemleri uygulanır (Kai ve Fai 1997).



Şekil 3.6 LOM yöntemi çalışma prensibi (1).

Bu yöntemle üretilmiş parçalar özellikle kavramsal prototipin imalat sonrası neye benzeyeceğini görmek, test etmek ve işlevselliğini denemek için idealdir. Endüstride, havacılık, otomotiv ve tıpta (özellikle alet ve protez imalatı) uygulamaları mevcuttur.

3.2.2 Stratsy'nin Erimiş Birikim Modellemesi (FDM)

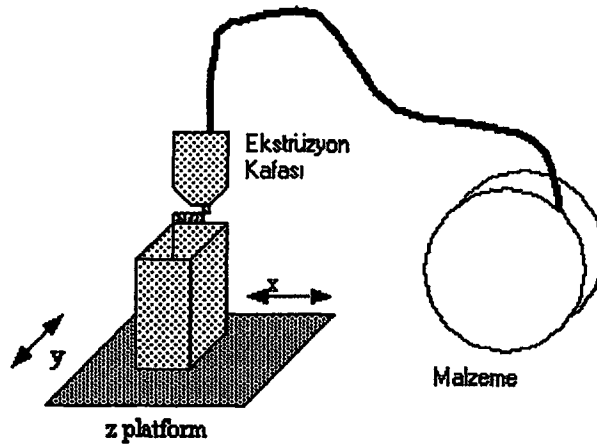
Stratsy firması 1989 yılında kurulmuş ve ilk cihazları olan 3 boyutlu modelleyiciyi 1990 yılında yapmışlardır. Hemen sonrasında da FDM cihazını piyasaya sürmüşlerdir. Ana ürünleri QuickSlice ve SupportWork yazılımlarını ve FDM makinesini içeren FDM1600'dır. Her sistem müşterinin kullanacağı malzeme özelliklerine göre tasarlanır. FDM1650 RP sistemi ise henüz yenidir ve yavaş yavaş FDM1600'un yerini almaktadır. FDM1600'dan daha gelişmiş özelliklere sahiptir ve buna ek olarak düşük ve yüksek yoğunlukta elastomer içeren çeşitli modelleme malzemelerine uygunluğu vardır. Sistemlerin özellikleri Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9 FDM Modelleri özellikleri (Kaı ve Faı 1997)

MODEL	FDM 1600	FDM 1650
Lazer Gücü (mW)	25	50
Hassasiyet (mm)	± 0.127	± 0.127
Katman genişliği (mm)	0.254-2.54	0.254-2.54
Katman kalınlığı (mm)	0.05-0.762	0.05-0.762
İş hacmi (mm×mm×mm)	241×241×254	254×254×254
Makine yerleşim alanı XYZ (m×m×m)	660×860×926	660×914×1067
Veri kontrol ünitesi	EWS, Unix temelli	
Yaklaşık Fiyatı (USD, 1996)	110.000	120.000

FDM yönteminde, önce STL dosyaları kullanan bir bilgisayar destekli tasarım programıyla, modelin kavramsal tasarımı yaratılır. Bu daha sonra 'Quick Slice' ve 'Support Work' adlı hazırlık programlarına aktarılır. 'Quick Slice' ile parça yatay dilimlere ayrılırken, 'Support Work' ile en uygun işleme durumuna göre, destek yapı tasarlanır.

Modelleme malzemesi, misina gibi makaraya sarılıdır. Bir ekstrüzyon kafasına doğru itildikten sonra yarı sıvı faza gelinceye kadar ısıtılır ve ekstrüzyon kafasından çıkarken FDM cihazından çok ince tabakalar olarak çıkar. Her tabaka bir kattır. Yarı sıvı fazdaki kat hemen donar, bu esnada 'Quick Slice'a göre FDM başı , parça şeklini verir. Yöntem diğer RP sistemleri gibi, katman katman üretim yapmaktadır. Yüzey kimyasına, ısı enerjisine ve katman üretim teknolojisine göre çalışmaktadır. Sistemin işlevselliğini ve performansını etkileyen parametreler volumetrik akış hızı, parça geometrisi, malzemenin akışkanlığı ve eğilme modülüdür (Kaı ve Faı 1997).



Şekil 3.7 FDM yöntemi çalışma prensibi (1)

Yöntemin avantajları aşağıdaki gibidir.

- 1) Yöntem ve araçların kullanımı kolaydır ve ekipman fazla yer kaplamaz.
- 2) Hızı yüksektir, yöntem basittir.
- 3) Otomatik destek tasarlayıcı mevcuttur.
- 4) Çevreye ve operatöre zararsız malzemelerle uygulanır.

FDM yöntemi kullanılarak kavram geliştirme ve sunuş amaçlı, gerçeğe yakın modeller ya da hemen hemen gerçeğiyle aynı özelliklere sahip modeller üretilerek, üzerinde tasarım, analiz ve işlevsellik testleri yapılabilir. Aynı zamanda kumla kalıplama yöntemi için modeller yapılabilir.

3.2.3 Kira'nın Seçici Yapıştırma ve Sıcak Presleme Yöntemi (SAHP)

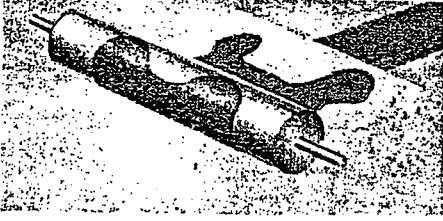
Bu firma 1927 yılından beri takım tezgahları ve CNC makineleri ve 1992'den beri de RP cihazları üretmektedir. Kira Katılaştırma Merkezi KSC-50'nin özellikleri Çizelge 3.10'da verilmiştir. Bu RP sistemi bir bilgisayar, fotokopi makinesi, bir kağıt sağlayıcı sistem, sıcak pres ve mekanik kesiciden oluşur.

Çizelge 3.10 Kira Solid Center özellikleri (Kai ve Fai 1997).

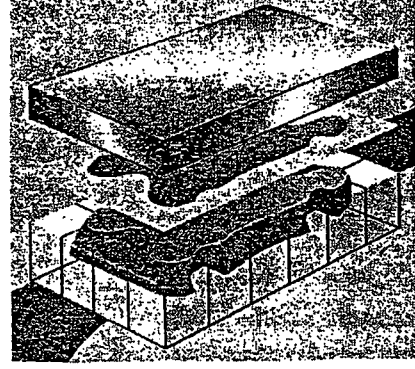
MODEL	KSC-50
X-Y çözülüm (mm)	0.025
Z çözülüm (mm)	0.1
Hassasiyet (mm)	±0.2
İş çıkarma yeteneği (levha/dak)	1
İş hacmi (mm×mm×mm)	400×280×300
Makine yerleşim alanı XYZ (m×m×m)	2.13×1.00×1.03
Veri kontrol ünitesi	486 PC
Yaklaşık Fiyatı (₺,1996)	13.000.000

Yöntem altı aşamalıdır. Bunlar modeli oluşturma ve reçine tozu ile kaplama, sıcak presleme, çevresel kesim, bloğun tamamlanması, fazla malzemenin çıkarılması ve bitirme işlemidir. Önce bilgisayar, parçanın baskı verilerini hazırlar. Veriler STL dosyası haline getirilir. Fotokopi prensibiyle toz reçine ya da renklendirici, kağıt bir zemin üzerine uygulanır. Basılan kısım ardışık iki kesitin ortak bölgeleridir. Sonra kağıt yapıştırıcı mekanizma, kağıdı parçanın önceki tabakası üzerine oturtur. (İlk tabaka tabla üstünden başlar.) Sıcak pres kağıtlar üstünden geçerek reçinenin ya da renklendiricinin erimesini, kağıtların birbirine yapışmasını sağlar. Sıcak pres aynı zamanda sıkıştırıcı ve hava kabarcıklarının oluşmasını önleyici

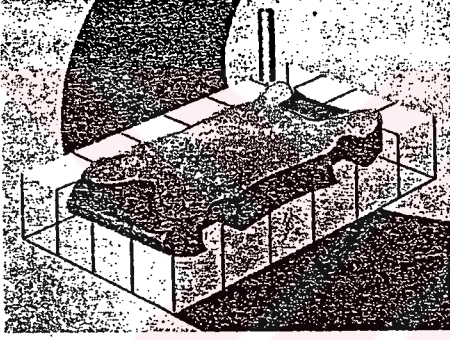
nitelikte görev yapar. Bilgisayar bir yandan kalınlığı ölçerek imalatın hasssiyetini kontrol eder. Bu böyle parça tamamlanana kadar devam eder. Son olarak fazlalıklar bir kesici tarafından kesilir ve parça hazır olur (Şekil 3.8).



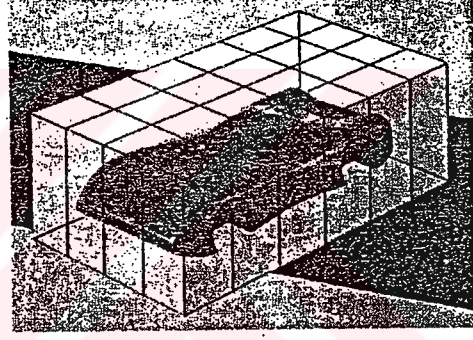
Reçine tozunun yayılması



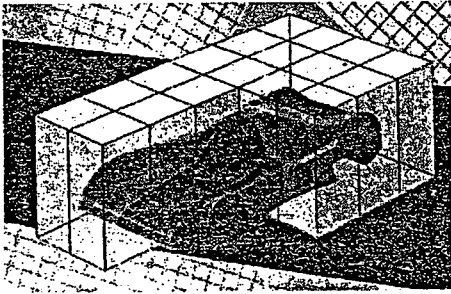
Sıcak presleme



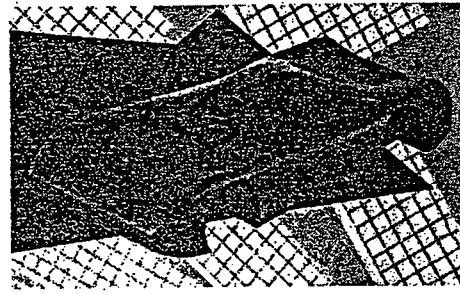
Konturun kesilmesi



Modelin tamamlanması



Gereksiz kısımların
uzaklaştırılması



Elde edilen model

Şekil 3.8 Seçici Yapıştırma ve Sıcak Presleme yönteminin çalışma prensibi (Kaı ve Faı 1997).

Yöntemin temel kuralları fotokopi, geleneksel mekanik katmanlama ve kesme tekniklerine dayanır. Renklendirici olarak toz reçine kullanılmasının sebebi, bilgisayarla kontrollü bir şekilde lazer yazıcı ile kağıdın üstüne basılabilmesi özelliğinden kaynaklanmaktadır. Eğer kesici takım iyi olmazsa, modelin hassasiyeti iyi olmaz (Kaı ve Faı 1997).

Yöntemin avantajları aşağıdaki gibidir.

- 1) Öncelikle fiyatı ve işletme masrafları makuldür.
- 2) Yöntem tamamiyle otomatiktir.
- 3) Kullanılan malzemeler çevreye zararsızdır, kolaylıkla temin edilebilir.
- 4) Fazla yer gerektirmez, her yerde uygulanabilir.

Bu yöntem elektrik sanayinde, eğitimde, kamera ve ofis otomasyon sanayinde ve otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Japonya'da Toyota, NEC, Mitsubishi gibi dünyanın önde gelen kuruluşları bu yöntemden istifade etmektedir.

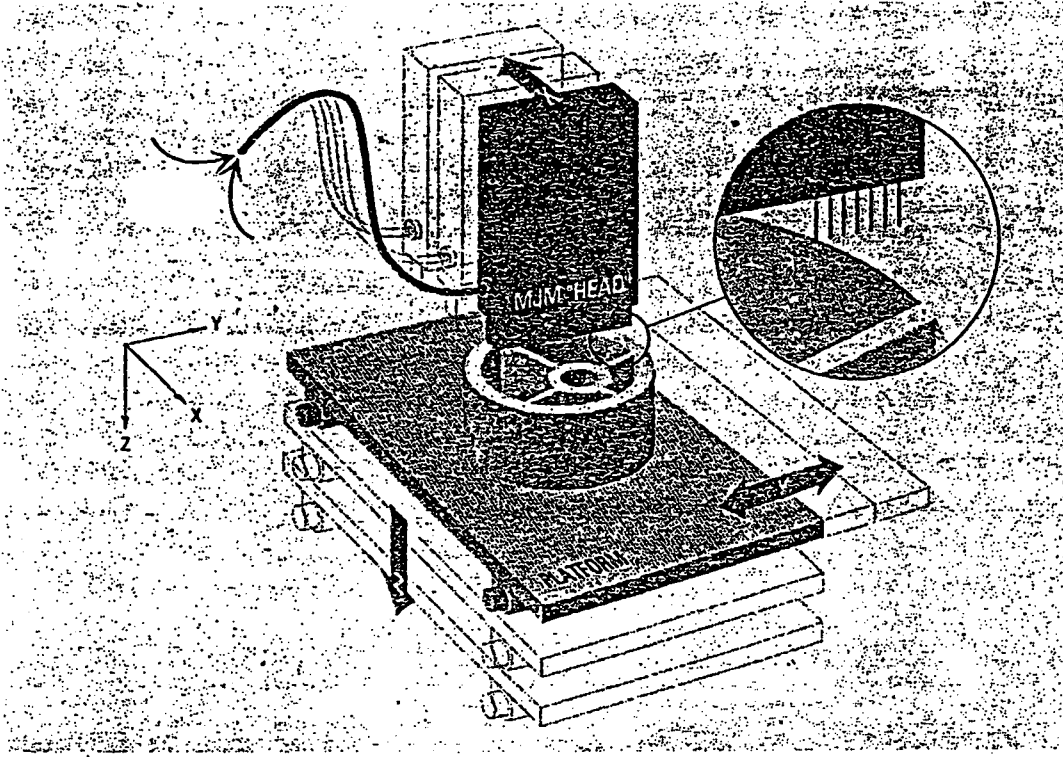
3.2.4 3D Systems'in Multi Jet Modelleme Yöntemi (MJM)

'3D Systems' şirketi SLA cihazı ile pazarın hakim konumunda iken 1996 yılında Multi Jet Modelleme Sistemini 'Actua' adı altında piyasaya sürmüştür. Actua 2100'ün özellikleri Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11 Actua 2100 teknik özellikleri (Kaı ve Faı 1997).

MODEL	ACTUA 2100
Çözülüm (DPI)	300
İş hacmi (mm×mm×mm)	200×200×250
Modelleme malzemesi	TermoJet 45 (Termopolimer plastik)
Malzeme kapasitesi (kg)	5.9
Makine yerleşim alanı XYZ (m×m×m)	1.37×0.76×1.12
Yaklaşık Fiyatı (USD,1996)	60.000

Model imalatı operatörün CAD işleme ünitesinden işlenecek parçayı ölçeği ve parça sayısını girmesiyle başlar. Bilgisayar CAD programını ve verileri karşılaştırıp hata olup olmadığını kontrol eder. Yöntemde model imalatı aşağıdan yukarı doğru, malzeme biriktirmesi ise X yönündedir. Parçanın eni MJM cihazının kafasından büyük ise işleme platformu y ekseninde ilerletilir. Bir katın işlenişi tamamlandıktan sonra platform diğer katın işlenebilmesi için aşağı iner, parça tamamlanana kadar bu işlem tekrarlanır. Sonra parça sökülür ve gerekiyorsa bitirme işlemleri uygulanır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 MJM yöntemi çalışma prensibi (Kai ve Fai 1997).

Yöntemin avantajları aşağıdaki gibidir.

- 1) Yöntem temiz, basit ve verimlidir.
- 2) Her yerde uygulanabilir.
- 3) Ucuz ve kolay temin edilebilen termopolimerler kullanılır.

Teknoloji olarak ekonomik ve verimlidir. Prototip imalatı için çok uygundur. Özellikle tasarımın ilk aşamalarında, kavramsal modellerin geliştirilmesinde kullanılır.

3.2.5 IBM Hızlı Prototipleme Yöntemi (RPS)

Yöntem erimiş birikim modellemesine oldukça benzerdir. Yarı erimiş termoplastik malzeme bilgisayar kontrollü bir nozuldan çıkarılır. Sistem bir ofis ortamında, özel bir donanım gerektirmeksizin masaüstü bir bilgisayar vasıtasıyla parçaların istenilen hassasiyette üretilmesine imkan tanır. Diğer RP yöntemlerinden farkı parçanın imal edileceği platformun alçaltılması yerine platformun sabit tutulup nozulun yukarı doğru hareket ettirilmesidir.

3 farklı yapıda malzeme işleyebilir. Bunlar muhtelif tasarım farklılıkları ve kavramlar için genel maksatlı polimerler, döküm yöntemleri gibi ikincil işlemler için master oluştururken kullanılan naylon yapılı polimerler, esnek kauçuk-lastik yapısındaki elastomerlerdir.

Kullanılan hiçbir malzeme insan ve çevre sağlığını tehdit edici bir madde içermediğinden özel bir önlem gerektirmez.

Önceki kısımlarda bahsedilen Stratasy kuruluşu patenti IBM'den satın almıştır. Yapılan anlaşma gereği IBM şirketin hisselerinin %10'undan fazlasına sahip olurken Stratasy şirketi, cihazların geliştirilmesinde çalışmış mühendislerin çoğunu kiralamış ve bu sayede 1996 yılının başında IBM'in bu cihazının geliştirilmiş modelini kendi adı altında satışa sunmuştur.

3.2.6 Kinergy Hızlı Prototipleme Yöntemi

Bu sistem 1995 yılında Kinergy firmasının bir üniversite ile işbirliği ile geliştirilmiştir. Bu firmanın Zippy1 ve Zippy2 olmak üzere iki ürünü vardır. Makine özellikleri Çizelge 3.12'de özetlenmiştir.

Sistem bir endüstriyel 486DX2-66 bilgisayar, 50W gücünde bir CO₂ lazer, lazer hareketini sağlamak için bir XY kontrollü robottan ibarettir. Yazılım yine aynı firma tarafından geliştirilmiştir ve Windows ortamında çalışmaktadır.

Çizelge 3.12 Kinergy model özellikleri (Kaı ve Faı 1997).

MODEL	ZIPPY1	ZIPPY2
Lazer tipi	CO ₂	
Lazer Gücü (mW)	50	50
XY tarama hızı (m/s)	0.65	0.65
Levha kalınlığı (mm)	0.05-0.5	0.05-0.5
İş hacmi (mm×mm×mm)	400×300×340	1200×750×550
Makine yerleşim alanı XYZ (m×m×m)	1.25×1.0×1.80	2.57×1.86×2.0
Veri kontrol ünitesi	Endüstriyel PC 486DX2-66	
Yaklaşık Fıatı (USD,1996)	80.000	160.000

Proses 3 boyutlu CAD yazılımının Zippy sisteminin bilgisayarına yüklenmesiyle başlar. Zippy sistem bilgisayarını modeli yatay kesitlere ya da dilimlere böler. Belli bir zaman içerisinde kağıt besleyici, modelin maksimum boyutlarına göre kesilmiş kağıdı bir adımda yerleştirir. Daha sonra bir ısıtılmış silindir kağıt üzerinden geçirilerek alttaki tabakaya yapıştırılır. Lazer bilgisayar tarafından üretilen verilere dayanarak üst levhayı keser. Parça bitene kadar bu işlemler sırayla tekrar edilir. İstenmeyen parçalar uzaklaştırılır ve parça daha sonra bitirme işlemlerine maruz bırakılır.

Zippy sisteminin temeli modelin otomatik olarak katmanlanarak kesilmesinden ibarettir. LOM prosesi ile benzer özelliktedir. Isıtılmış silindirlerin sıcaklık ve basıncı ve kartezyan robotun hassasiyeti sistemin fonksiyon ve performansını etkilemektedir. Sıcaklık kontrolü

kritik bir faktördür. Yüksek sıcaklık modelde çarpılmalara sebep olur. Basınç da önemli diğer bir faktördür. Basınç yeterli derecede olmadığına modelde hava kabarcıkları oluşurken yüksek olduğunda çarpımlar meydana gelir. Kartezyen robot hassasiyeti ise makinenin kesim hassasiyetini etkiler.

Yöntemin avantajları aşağıdaki gibidir.

- 1) Çok karmaşık modellerin imalatına yüksek derecede uygunluk gösterir.
- 2) İnsan eli değmeden üretim olanağı sağlar.
- 3) Ağır iş yükü gerektiren uygulamalarda güvenilirliğin devamlılığını sağlar.
- 4) Düşük bakım masraflarına sahiptir.
- 5) Boyutsal stabilite yüksektir.
- 6) Çevre kirliliğine sebep olmayan, iş tehlikesi olmayan bir yöntemdir.
- 7) Düşük maliyetlerle yüksek hız ve kalite sağlanır.

Otomotiv endüstrisinde araç komponentleri ve gövdesinin estetik ve fonksiyonel analizinde, minyatür modellerin yapımında kullanılmak üzere inşaat endüstrisinde, makine takım endüstrisinde uygulama alanları bulmaktadır (Kaı ve Faı 1997).

3.2.7 Sander Hızlı Prototipleme Yöntemi

Sander firması temeli '3 boyutlu yazdırma' olarak adlandırılan sisteme dayanan 'Model Maker' adlı bir ürün piyasaya sürmüştür. Sanders prototip firmasının ürünü 'Model Maker MM-6B' bir masüstü makine olarak kullanılmaya uygundur. Makine özel bir havalandırma ve ortamsal kontrole gerek duymaz. Ayrıca model yapımında kullanılan toksik maddeler içermez. Özellikleri Çizelge 3.13'de verilmiştir.

Çizelge 3.13 Model Maker MM-6B'nin özellikleri (Kaı ve Faı 1997).

MODEL	MODEL MAKER MM-6B
Hassasiyet	0.05
İş hacmi (mm×mm×mm)	152×152×152
Katman kalınlığı	0.08
Biriktirme oranı (mm/s)	254
Makine yerleşim alanı XYZ (mm×mm×mm)	445×521×578
Yaklaşık Fiyatı (USD,1996)	70.000

Model Maker'ın yöntemi FDM ile 3 boyutlu yazdırma yönteminin bir kombinasyonudur. Burada iki tip yazıcı kafası kullanılır. Biri termoplastik biriktiren diğeri de destek balmumu

biriktiren yazıcı kafasıdır. Diğer bilindik sistemlerdeki gibi model bir platform üzerinde adım adım seviye düşürülerek elde edilir. Balmumu düz stabil yüzey sağlamak için kullanılır. Her katman tamamlandıktan sonra bir kesici düzlem yaklaşık olarak yüzeyden geçerek düzgünlük sağlar.

Birkaç katmanlama işleminden sonra yazıcı kafaları otomatik olarak nozullerin tıkanması önlemek amacıyla bir görüntüleme alanına getirilerek kontrol edilir. Herhangi bir tıkanma yoksa proses devam eder. Aksi halde nozul temizlendikten sonra işleme devam edilir (Kaı ve Faı 1997).

3.2.8 Spark AB Hızlı Prototipleme Yöntemi

Spark AB firması LOM sistemine çok benzer olan bir RP sitemi geliştirmiştir. Belki de en ekonomik bilindik yöntemdir. Proses 3 boyutlu CAD modelin kesit verilerinin matematiksel üretilmesiyle başlar. Daha sonra polistrilen levha manuel olarak yazıcı yatağına pozisyonlanır. Malzeme basınca duyarlı bir yapıştırıcıyla kaplanır ve uzaklaştırılabilir folyo ile desteklenir. Bir elektrot kesitin dış çizgisinden geçerek keser. Operatör gerekli parçaları toplar ve montaj aparatına yerleştirir. Levhanın üzerindeki folyo geri alınarak , gelecek levhaya yapışması sağlanır. Bu işlem parça tamamlanıncaya kadar devam eder.

Prensip çok basittir. Sistem parçaları katman katman oluşturarak yapıştırmaktan ibarettir. Yöntem donanımı, ısıtılmış bir kesme elektrotu ile donatılmış bir yazıcı ve montaj aparatından ibarettir. Yazılım ara birimi Autocad programıyla uyumludur. Henüz STL formatıyla çalışılmamaktadır. Dayanaksız malzeme kullanılmasından dolayı sadece görüntüleme amaçlı kullanılır.

3.2.9 Scale Model'in Hızlı Prototipleme Yöntemi

Scale Model firması temeli lazerle kesme yöntemine dayanan 'LazerCamm' sistemini üretmektedir. Bu sistem Spark AB firmasının yöntemiyle oldukça benzerdir. Bu proses kısmen otomatiktir. LazerCamm çeşitli malzemelerden yapılmış levhaları CAD verilerini kullanarak keser. Kesitler tel kafes, yüzey ya da katı modellemeden elde edilir. Kesim işlemi sırasında, daha sonradan montajı sağlamak için levhalar üzerine pim delikleri açılır ve her levha numaralandırılır. Kesim işleminden sonra manual olarak levhalar, numaralandırma sistemine göre pimler yardımıyla üç boyutlu modeli oluşturmak üzere birleştirilir. Modellere daha sonra bitirme işlemleri uygulanır. İşlemde kullanılan levha kalınlığı 0.03-25mm arasında değişirken kesiti de maksimum 585×890mm olabilir.

3.3 Toz Bazlı Hızlı Prototipleme Yöntemleri

Toz bazlı RP sistemleri, katı bazlı RP sistemlerinin farklı uygulamaları gibi düşünülebilir. Yöntemler anlatılırken hem sıvı bazlı hem de katı bazlı RP yöntemleri ile ortak noktaları ihtiva ettiği görülecektir.

3.3.1 DTM'in Seçici Lazer Sinterlemesi (SLS)

DTM firması 1987'de kurulmuştur ve ilk ticari satışlarını 1992 yılında gerçekleştirmiştir. DTM'in en son ürünü Sinterstation2000 DTM'in bilinen 3. nesil ürünüdür. Sinterstation2000 maksimum 305mm çapında ve 380mm yüksekliğinde modeller üretebilmektedir. Özellikleri Çizelge 3.14'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.14 Sinterstation 2000 Sistem özellikleri (Kai ve Fai 1997).

MODEL	SINTERSTATION 2000 SYSTEM
Lazer tipi	CO2
Lazer Gücü (mW)	50
Nokta boyutu(mm)	0.4
XY tarama hızı(m/s)	0.914
XY çözülümü (mm)	±0.25
Zekseni silindir çözülümü (mm)	0.076
İş hacmi (mm×mm×mm)	300×380
Maksimum katman kalınlığı (mm)	0.51
Minumum katman kalınlığı (mm)	0.076
Makine yerleşim alanı XYZ (m×m×m)	3.02×1.53×1.93
Üretim hızı (katman/s)	30<
Yaklaşık Fılatı (USD,1996)	366.000-450.000

Bu yöntemde CAD verileri yardımıyla, toz halindeki malzemeden CO₂ lazeri kullanarak 3 boyutlu model elde edilir. Bilgisayar destekli tasarımla hazırlanmış STL dosyaları önce istasyona gönderilir. Burada parça şekli sistem bilgisayarınca dilimlendikten sonra, uygulama başlar. Önce parçanın imal edildiği tablaya ısıyla ergiyen toz malzemeden ince bir tabaka sürülür. CO₂ lazeri toz tabakanın üzerine parçanın o bölgesinin şeklini çizer. Lazerin ürettiği ısı temas ettiği bölgede tozun eriyerek istenen katı parça geometrisinin oluşmasına sebep olur. Parçanın o seviyedeki kısmı lazer ile katılaştırıldıktan sonra bu tabakanın üzerinde yeni bir toz tabakası oluşturulur ve CO₂ lazeri tekrardan işleme başlar. Parça tamamlanana kadar bu işlemler sırasıyla devam eder. Parçanın imalatı tamamlandıktan sonra ihtiyaca göre çeşitli bitirme işlemleri tatbik edilebilir.

SLS yönteminde kullanılan malzemenin çeşitliliği yöntemin avantajıdır. Termoplastikler, kompozit malzemeler, seramik ve metaller kullanılabilir. Prototipleme için kullanılan

parçalara bu yöntemle esneklik kazandırılabilir. Bu yöntemde kullanılan malzemeye laserit adı verilir. Güvenli, çevreyle ve insanla barışık, kullanımı ve depo edilmesi kolaydır. Şöyle gruplandırılabilir.

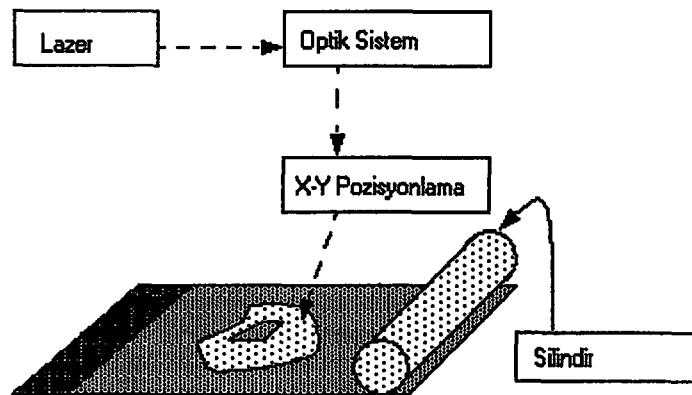
- 1) Mum : Döküm sanayinde balmumu model yaratmak için kullanılan klasik malzemedir.
- 2) Polikarbonatlar : Dayanıklı ve sağlamdır. Bunlarla, çabuk ve seri imalat yapılabilir, prototipler ve ince yapılı parçalar için idealdir.
- 3) Naylon : Sanayide kullanılan en dayanıklı prototipleme malzemesidir. Isıl ve kimyasal dayanım sağlar.
- 4) İyi kalite naylon: Isıl ve kimyasal dayanım gerektiren fonksiyonel prototipler için idealdir.

Yöntemin avantajları aşağıdaki gibidir.

- 1) SLS yönteminin iş/zaman oranı oldukça yüksektir. Toz malzeme oldukça kolay ve hassas bir şekilde işlenebildiğinden yöntem verimlidir.
- 2) SLS yöntemi malzeme olarak naylon, polikarbonatlar ve metallerin de dahil olduğu geniş bir yelpaze sunar.
- 3) SLS yöntemi ile imal edilmiş model için gerekli bitirme işlemleri minimum seviyededir.

Yöntemin temel kuralları ise aşağıdaki maddelerden oluşmaktadır.

- 1) SLS yönteminde parça, toz malzemeye CO2 lazerin etki etmesi ile üretilir. Lazer ve tozun etkileşmesi sonucunda sıcaklık erime noktasına kadar yükselir ve partiküller kaynaşarak katıyı oluşturan katmanı meydana getirir.
- 2) İmalat tabaka tabaka yapılır. Her bitirilmiş parça birçok katın üst üste gelmesiyle elde edilir.
- 3) Oksidasyonun ya da toz taneciklerinin yüksek ısı nedeniyle patlamasına mani olmak için ortamda asal gaz bulundurulur.



Şekil 3.10 SLS yöntemi çalışma prensibi (1)

Seçici lazer yönteminin en can alıcı noktası sinter bağlarının oluşumudur. SLS yönteminde, tanecikler birbirine ve aşağıdaki kata sıcaklığın, lazer ışınınca bir geçiş noktasına kadar yükseltilmesiyle yapışır. Bu geçiş sıcaklığı malzemenin jöle benzeri yumuşak bir hale geldiği, erime sıcaklığının az altında bir değerdir. Bunun sonucunda tanecikler yumuşayarak erimiş bir hale gelir ve temas yüzeylerinden diğer tane ve katlarla birleşerek kaynar. Bu olayın en önemli avantajı tozun sıvı faza geçmeden katlaşıp kaynamasıdır. Böylece erimiş fazdaki malzemenin akışından doğabilecek gerilmelerin önüne geçilmiş olur.

SLS yöntemi, geniş bir uygulama yelpazesıyla çeşitli parçalara uygulanabilmektedir. Bunlar işlevsel çalışan prototipler, dökümde kullanılan balmumu modeller, ısı dayanımı yüksek, dayanıklı ve detaylı polikarbonat modeller, yeniden tasarlanan ve stilize edilen kavramsal modeller, kısa dönem için imal edilecek küçük metal parçalardır (Kaı ve Faı 1997).

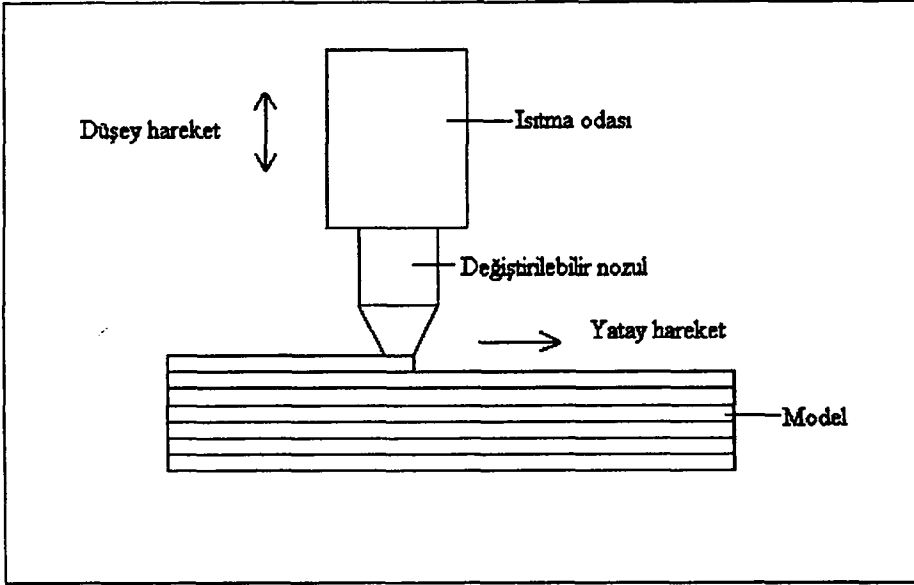
3.3.2 Fraunhofers'in Çok Fazlı Jet Katılaştırması (MJS)

Fraunhofers kuruluşunun sunduğu bu yöntem düşük ergime noktası olan alaşım ve toz karışımlarını kullanarak bilgisayar kontrollü bir nozul vasıtasıyla katman katman parça üretimine imkan tanır. Çok fazlı jet katılaştırması metalik ve seramik parça imalatına imkan tanıyan yegane yöntemdir.

Yöntem iki adımlıdır. Birinci adım 3 boyutlu CAD sisteminde hazırlanan verinin MJS sistemine aktarılmasıyla sistemde işleme hızı ve malzeme akış hızı verileri ilavesiyle kontrol dosyasının hazırlanmasıdır. İkinci adımsa, sıvılaştırılabilen alaşım ya da metal tozu karışımının ergime noktasına kadar ısıtıldıktan sonra bilgisayar kontrollü nozul ile katman katman işlenmesidir. Erimiş malzeme platforma ya da önceki kata temas edince ısı transferi gerçekleştirilerek katlaşır. Bu etkileşim eski katmanın bir miktarda olsa erimesine ve katlar arası bağ oluşmasına sebep olur. Bir kat tamamlandıktan sonra nozul Z ekseninde hareket eder ve diğer katı tamamlar. (Şekil 3.11)

MJS yöntemi, uygulanma şekli itibarıyla önceki bölümde anlatılan erimiş birikim modellemesiyle oldukça benzer gibi görünebilir. Oysa en temel fark malzeme temini yönündedir. Erimiş birikim modellemesinde malzeme tel şeklinde sağlanırken MJS'de sıvılaştırılmış alaşım ya da toz karışımı şeklinde olmaktadır.

Yöntemin verim ve işlevselliğini etkileyen faktörlerin başında katman kalınlığı, malzeme çeşiti, işleme hızı, malzeme akışı sıcaklık ve nozulün özellikleri sayılabilir.



Şekil 3.11 MJS yöntemi çalışma prensibi

Otomotiv sektörü, uzay sanayi ve takım tezgahlarının fonksiyonel parçalarının imalatında bu yöntem uygulanabilmektedir. Ergime sıcaklığı yüksek metal seramiklere bile uygulanabilir olması yöntemi oldukça avantajlı kılmaktadır (Kaı ve Faı 1997).

3.3.3 BPM'in Balistik Tanecik Üretimi Yöntemi (BPM)

BPM yönteminde öncelikle bilgisayar destekli tasarım programı ile hazırlanmış STL dosyaları sisteme yüklenir. Sistem gerekli kontrolleri ve eğer gerekiyorsa destek parça tasarımını yaptıktan sonra üretilecek parçayı dilimler ve bu verileri mikro işlemciye gönderir. Cihazın merkezinde saniyede 12000 küçük damlacık püskürtülebilen piezoelektrik asilatör kontrolünde bir seramik püskürtücü vardır. Damlacıklar 0.076mm çapındadır. Yüzeğe çarpınca 0.05 mm genişliğinde olur ve çarptığı anda katılır. Parça üretildikçe (her kat oluşturuldukça) parçanın üzerinde üretildiği platform diğer katın oluşturulması için aşağı iner. Kullanılan malzeme 105-110 C 'de eriyen beyaz renkli termoplastik malzemedir.

Yöntemin avantajları aşağıdaki gibidir.

- 1) Cihazın kullanılışı ve yöntemin uygulanışı çok kolaydır.
- 1) Cihaz herhangi bir ofise bile yerleştirilebilir. Her yerde imalat yapılabilir.
- 2) Cihaz oldukça sade ve güvenlidir.
- 3) Diğer RP sistemlerinin maliyeti 70000-500000USD arası değişirken bu sistemin maliyeti 35.000 USD'dir. Tüm RP sistemleri içerisinde en ucuz olanıdır (Kaı ve Faı 1997).

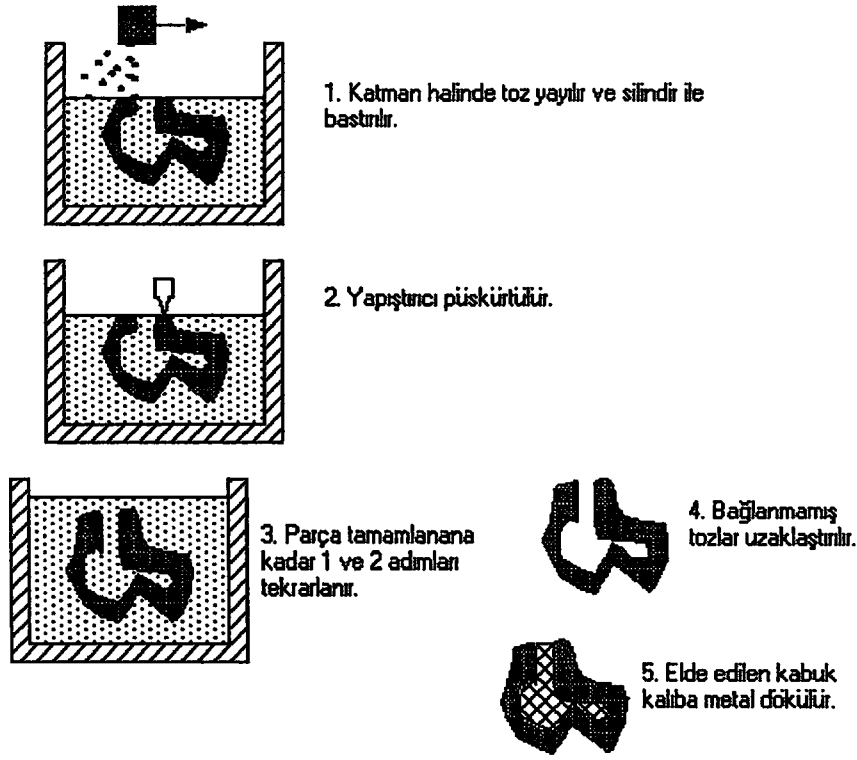
3.3.4 Soligen'in Direkt Kabuk Kalıp Yöntemi (DSPC)

Soligen firması 1991 yılında kurulmuş ve 1993 yılında hizmet vermeye başlamıştır. Direkt kabuk kalıp yöntemi (DSPC) doğrudan ve otomatik olarak CAD dosyasından metal parçalar için seramik kalıplar üretir. DSPC makinesi üretimde kullanılan tozun depolandığı toz deposu, tozun ince bir kalınlıkta dağıtılmasını sağlayan toz dağıtıcı, bağlayıcı uygulama işleminden önce katmanları sıkıştırıp düzlemek için kullanılan silindirler, bağlayıcı püskürten yazıcı kafası, kalıbı kaldırmak için kullanılan bir kutudan ibarettir.

Çizelge 3.15 DSPC model özellikleri (Kaı ve Faı 1997).

MODEL	DSPC 300
XY çözülümü (mm)	0.05
İş hacmi (mm×mm×mm)	304×304×304
Levha kalınlığı (mm)	0.178
Düşey üretim hızı (mm/h)	12.7-19.0
Makine yerleşim alanı XYZ (m×m×m)	2.3×1.3×2.6
Veri kontrol ünitesi	EWS
Yaklaşık Fiyatı (USD,1996)	250.000

Parça ilk olarak ticari bir CAD yazılımıyla tasarlanır. Elde edilen CAD model ekipmanın merkez kontrol ünitesi olan kabuk dizayn ünitesine yüklenir. Bilgisayar modelinin döküm kalıbı olarak hazırlanması için çeşitli düzeltmelerin yapılması gerekmektedir. (Büzülmelerin kompanze edilmesi için boyutların ölçeklenmesi, yuvarlatmaların eklenmesi v.b.) Kalıp yapıcı her kabuk kalıp üzerinde kaç kalıp boşluğu olacağına, döküm yolluğu sistemine karar verir. CAD temelli kabuk kalıp verisini istenilenlere göre düzenledikten sonra, kabuk dizayn ünitesi belirlenen bir kalıptaki dilimlerin biraraya gelmesinden oluşan bir elektronik model üretir. Bu elektronik model ise kabuk yapım ünitesine transfer edilir. Kabuk yapım ünitesi, ilk katman için çalışma yüzeyi üzerine ince bir katman tozu yayma işlemi başlatır. Bir silindir toz üzerinden geçerek katmanı düzler. Bir yazıcı kafası katman üzerinde hareket ederek, sahip olduğu 128 adet mürekkep fırlatıcısından toz üzerine bağlayıcı püskürtür. Bağlayıcı seramik toza nüfuz ederek katılaşmayı sağlar ve katılaşmamış seramik tozları da gelecek katmanı destekler. Çalışma tablası alçaltılır ve diğer katman için işlem yeniden başlatılır. Parça tamamlanana kadar işlem devam ettirilir. Yapım prosesi tamamlandığında bağlanmamış tozlar parçadan uzaklaştırıldıktan sonra parça ısı işleme tabi tutulur. En son işlem ise erimiş materyalin kabuk kalıba dökülerek, soğutulmasıdır. Soğumanın tamamlanmasından sonra kalıp kırılarak, metal parça içerisinden çıkarılır.



Şekil 3.12 DSPC yöntemi çalışma prensibi

DSPC yazılımı bir CAD sisteminden ve Soligen'in dilimleme yazılımından oluşur. Sistemin temeli '3 boyutlu yazdırma' teknolojisine dayanır. Bu proseste performansı ve fonksiyonları etkileyen faktörler katman kalınlığı, seramik toz ve bağlayıcı özellikleri, silindirlerin baskı hassasiyetidir.

DSPC sadece metal dökümler için seramik kalıp üreten bir RP yöntemidir. En büyük avantajı fonksiyonel metalik parçaların CAD verisinden direkt olarak üretimini sağlamasıdır. DSPC teknolojisi öncelikli olarak döküm yoluyla parça ve prototip üretiminde kullanılan kabuk kalıpları elde etmek için kullanılır. Bu sebeple Soligen firması bir dökümhane kurmuş ve ekipman ve proses araştırma geliştirmesinde piyasaya hizmet vermektedir. Otomotiv endüstrisi, uçak endüstrisi, bilgisayar parçaları ve tıbbi protez üretiminde uygulama alanı bulmaktadır (Kai ve Fai 1997).

3.3.5 EOS'un Hızlı Prototipleme Yöntemi

EOS firması 1989 yılında kurulmuştur ve ilk lazerle sinterleme sistemini kullanan Avrupalı üreticidir. Lazerle sinterleme temeline dayanan sisteminin adı 'EOSINT'dir. EOSINT sistemleri yine EOS'un STEREO sistemleri ile aynı özellikte bir yazılım ve kontrolör içermektedir fakat kullanılan malzemeler farklı özelliktedir. Bu konuda iki farklı ürün

piyasaya sunmuştur.

EOSINTP sistemi polistrilen ve naylon gibi termoplastik malzemeler için diğer EOSINTM sistemi ise metal tozların direkt sinterlenmesi için geliştirilmiştir.

EOSINTP350 makinesi bir CO₂ lazere sahiptir ve termoplastik tozlarla çalışır. Şu anda sistemde sadece termoplastik ve naylon malzeme kullanılabilir. Bu malzemelerin temel uygulaması öncelikli olarak kaybolan modelle kalıplama ya da fonksiyonel prototiplemedir. Fakat aynı zamanda da geometriksel modellerin elde edilmesinde, görüntüleme ve uygunluk testlerinde de kullanılabilir.

EOSM ise 1994 yılında piyasaya sürülmüştür. Dünyada toz metalin direkt sinterlenmesi için geliştirilen ilk ticari sistemdir. Kullanılan malzeme Electrolux firması tarafından geliştirilen ve EOS tarafından patenti alınan özel bir alaşımdır. Bu alaşım temelde bronz ve nikelde oluşmaktadır.

Çizelge 3.16 EOSINT model özellikleri (Kaı ve Faı 1997).

MODEL	EOSINT P350	EOSINT M160	EOSINT M250
Lazer tipi	CO ₂		
Lazer gücü (W)		100-260	100-260
XY tarama hızı(m/s)	2		
XY pozisyonlama hassasiyeti (mm)	±0.05		
İş hacmi XYZ (mm×mm×mm)	340×340×590	160×160×120	250×250×150
Katman kalınlığı (mm)	0.1		
Makine yerleşim alanı XYZ (m×m×m)	1.9×1.23×1.2	1.8×1.8×0.7	1.8×1.8×0.7
Veri kontrol ünitesi	PC 486		
Yaklaşık Fiyatı (DM,1996)	900.000	1.000.000	1.100.000.000

Bu yöntemde öncelikle CAD model tasarlanır. Daha sonra CAD verisi EOSOFT yazılımına aktarılarak, sinterleme prosesinin kontrol edilebilmesi için gerekli kesit formatına getirilir. Yapım aşamasında platform üzerine toz ince bir tabaka halinde yayılır ve lazer kesit verilerine göre bu toz tabakasını tarayarak bağlama işlemini gerçekleştirir. Parça tamamlandığında çevresindeki bağlanmamış tozlar uzaklaştırılır.

EOSINT sistemi bir iş istasyonu, platform, lazer ve bir optik tarayıcı kalibrasyon sistemi içeren EOSINT makinesinden ibarettir. EOSINT yazılımı ise daha önce bahsedilen Eos Stereo sistemiyle benzer özelliktedir.

EOSINT sisteminin temeli lazerle sinterlemeye dayanmaktadır ve katman üretimi prensibi SLS yönteminde anlatılanlarla benzerdir. Sistemin performansını ve fonksiyonelliğini etkileyen parametreler toz malzeme özellikleri, lazer optik tarama sistemi, çalışma platformunun hassasiyeti ve çalışma sıcaklığıdır.

EOSINTP sisteminin en önemli avantajı yöntemde kullanılan polistiren malzemenin diğer yöntemlere göre daha düşük sıcaklıkta sinterlenmesi sebebiyle daha düşük büzülme oranlarıyla çalışmasıdır. Aynı zamanda bu durum daha yüksek boyut hassasiyetiyle çalışmasını da sağlar. Kopyalama ya da bağlayıcının yakılarak uzaklaştırılması gibi çoklu aşamalara ihtiyaç duyan diğer metodlara zıt olarak , EOSINTM tek ve basit bir proses uygulamaktadır (Kai ve Fai 1997).

3.3.6 MIT'in 3 Boyutlu Yazdırma Yöntemi (3DP)

3 boyutlu yazdırma yöntemi (3DP) Massachusetts Teknoloji Enstitüsü tarafından prototiplerin hızlı ve esnek bir şekilde üretimi ve CAD modellerden direkt takımlandırma için geliştirilmiştir.

3DP yöntemi parçayı katmanlar halinde oluşturur. Öncelikle bir platform üzerine, toz ince bir tabaka halinde yayılır. Parçanın bilgisayardaki model verilerine göre her katman için gerekli hesaplama yapılarak mürekkep püskürtmeli yazdırma teknolojisine benzer şekilde bir bağlayıcı malzeme toz üzerine püskürtülür. Bir piston platformun seviyesini aşağıya doğru düşürür ve yeniden bir katman yaratılmaya başlanır. Bu işlem parça bitene kadar devam eder. Daha sonra parçaya sıcaklık uygulanarak bağlanmamış toz uzaklaştırılır. Seramik süspansiyonlar bu yöntemde kullanılan malzemelerdendir. Seramik süspansiyonlar ultraviyole ışığa duyarlı akrilik reçineler üzerine polimer bağlı seramik yapı oluşturmak üzere yayılır. (Windle, 1999)

3DP proses donanımı bir 386DX bilgisayar, bir DCJ4000 güç kontrolörü, platformun X-Y hareket eksenlerinin kontrolü için bir step motor, platformun Z eksen derinliğini kontrol eden bir piston, sürekli mürekkep püskürtücülü yazdırma sistemlerinin temel prensibine dayanan bir bağlayıcı püskürtme sisteminden ibarettir.

Çeşitli toz biriktirme yöntemleri 3DP yöntemi için uygun olabilmektedir. SLS metodunda olduğu gibi partiküller kuru halde olabilirler. Birçok uygun biriktirme metodunda kuru toz malzeme kolaylıkla kullanılabilir. Fakat çok küçük miktarlar söz konusu olduğunda bile toz akışının kolaylıkla gerçekleşebilmesi şarttır. İyi partikül akışının sağlanmasında

partiküllerin birarada toplanmasını sağlayan tanelerarası çekim kuvvetinin büyük rolü bulunmaktadır. Bu sebeple tanelerarası çekim kuvvetini arttırıcı kimyasallar kullanılmaktadır.

3DP'nin önemli noktalarından biri de uygun bağlayıcı kullanımıdır. Bir bağlayıcı sisteminden çeşitli temel özellikler beklenmektedir. Bağlayıcı solüsyon etkin bağlayıcı elemanlar içerirken aynı zamanda da yazıcı kafasından kolaylıkla püskürtülebilmesini sağlayacak şekilde düşük viskozite değerine sahip olmalıdır. Sürekli püskürtmeli yazıcı kafaları için, düşük iletkenliğe sahip olmalıdır. Gelecek katman partiküllerinin uygulanabilmesi için bağlayıcı hızlı bir şekilde kurumalıdır. Kullanılan bağlayıcıların çoğunun esası silikat sistemlerine dayanmaktadır. Silikat bağlayıcılar , silisik asitin polimerizasyonundan ya da tuzlarının sulu solüsyonlarından elde edilir.

Kullanılan püskürtme sistemleri kesikli ve sürekli olmak üzere iki çeşitlidir. Her iki sistemde de tane büyüklüğü 15 ile birkaç yüz mikron arasında değişmektedir. Her iki sistem de yaygın olarak kullanılmaktadır. Kesikli püskürtme sistemi kişisel bilgisayarlarla kullanılan küçük ölçekli yazıcılarda tercih edilirken , sürekli püskürtme sistemi ise yüksek hızlı yazdırma uygulamalarında tercih edilir (Sachs, 1990).

SLS'de bahsedildiği gibi toz partiküllerin paketleme yoğunluğunun, yapıştırıcı bağların üzerinde oldukça büyük etkisi vardır. SLS'de kullanılan malzemelerinki gibi bu yöntemde kullanılan malzemelerin de paketleme yoğunluğu %50-62 arasında değişmektedir. Yapıştırıcı partiküllü toz katmana çarptığında bağlayıcı ve toz partikülünü silindirik bir forma getirir. Bağlayıcı enerjinin kaynağı sıvı bağlayıcı partikülden sağlanmaktadır.

Sistemin performansını ve fonksiyonelliğini etkileyen parametreler toz ve bağlayıcı özellikleri, X-Y eksen hareketli tablanın ve Z eksen pistonun hassasiyetidir.

Aşağıdaki alanlarda kullanılmaktadır.

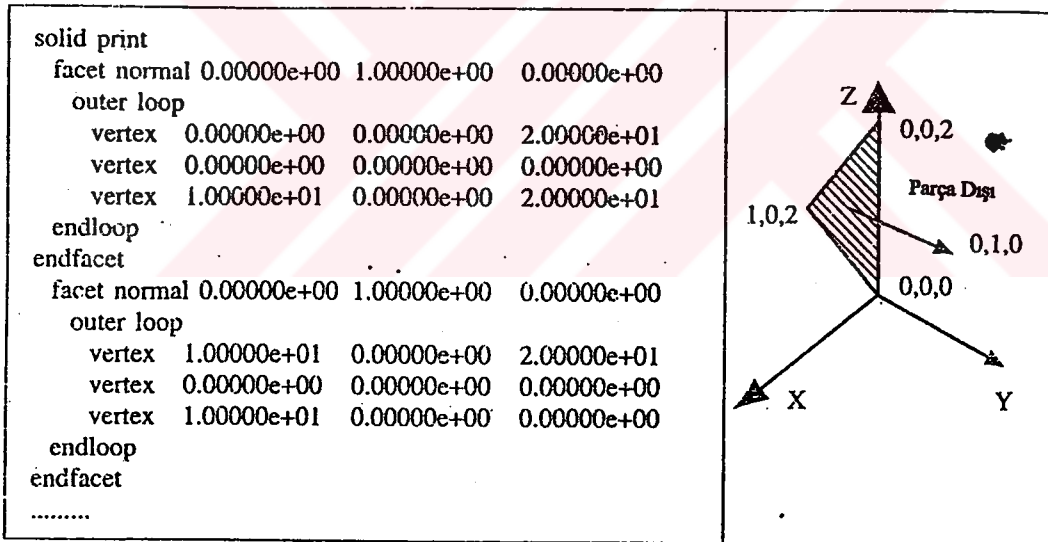
- Döküm uygulamalarında : 3DP sistemini kullanarak direkt olarak bir bilgisayar modelinden seramik kabuk kalıp üretilebilmesi , döküm yoluyla metal parça üretimi için çok büyük bir avantajdır.
- Direkt metal parça üretimi : Paslanmaz çelik, tungsten ve tungsten ve karpit karışımı malzemeler 3DP sisteminde toz malzeme olarak kullanılabilir. Bu da göstermektedir ki 3DP yöntemi çeşitli malzeme sistemlerine kolaylıkla uyum sağlayabilmektedir.
- Yapısal seramikler : 3DP sistemi ile, mikrondan daha küçük boyuttaki seramik tozları ve lateks bağlayıcı kullanarak çok yoğun alüminyum bileşenler elde edilir.
- Kompozit parçalar : 3DP sistemi ile çok başarılı bir şekilde kompozit malzemeli parçalar üretilebilir. Örneğin 3DP ile bir kompleks silikonkarbit bir alt yapı oluşturulup, içine alüminyum enekte edilerek kompozit bir model oluşturulabilir.

4. HIZLI PROTOTİPLEME VERİ FORMATLARI

4.1 STL Format

Bahsedilen bütün yöntemler CAD geometrisini bir sistemden diğer bir sisteme tanıtmada bir ara yüzey kullanmaktadır. Geometrik tanımlamaların çeşitli CAD programlarından RP sistemlerine naklini sağlamakta ara bir yüzeye ihtiyaç duyulmaktadır. STL formatı bütün RP sistemlerinde olmamakla birlikte çoğunda kullanılan bir standart ara yüzeydir.

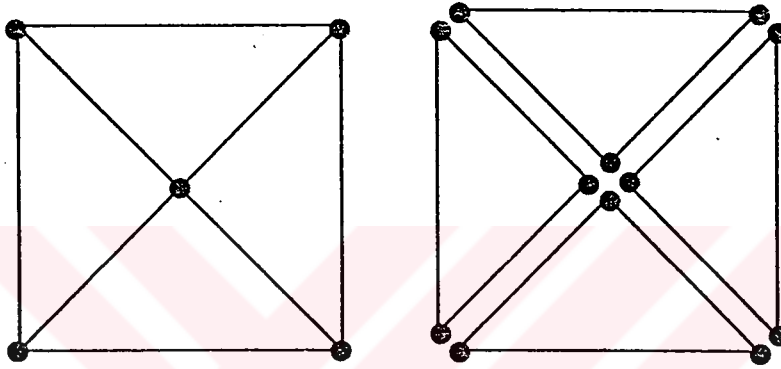
3D Systems tarafından tasarlanan STL formatı CAD sistemi üzerindeki bir ara yüzey yoluyla CAD veritabanından elde edilir. Bu dosya modelin dış yüzeyini temsil eden sıralanmamış bir üçgen yüzey listesinden ibarettir. İki tür STL veri formatı vardır. Biri ASCII formatı diğeri ise ikili formattır. ASCII STL dosyası ikili formattan daha çok yer kaplamaktadır fakat okunabilir özelliktedir. Bir STL dosyasında üçgen yüzeyleri oluşturan her üç vektör için belirtilen XYZ koordinatları ve bir normal vektörle tanımlanır. Bir örnek Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



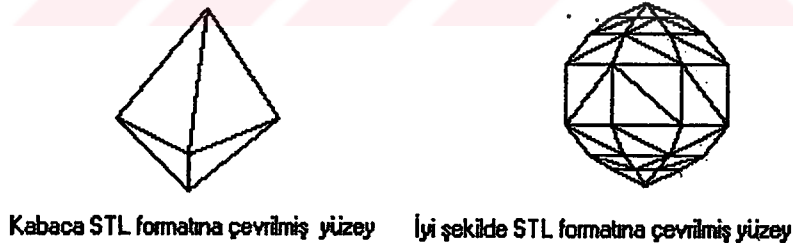
Şekil 4.1 Örnek bir STL dosyası (Kai ve Fai 1997).

STL dosyası bir yüzey modeli olduğundan CAD modelden elde edilir. Ancak birçok ticari CAD sistemi STL formatıyla uyumlu değildir. Bu sebeple sık sık sorunlarla karşılaşılır. Bununla birlikte STL formatıyla çalışmanın birçok belirgin avantajı vardır. Öncelikle 3 boyutlu CAD verilerinin basit bir şekilde temsil edilmesini sağlar. İkinci olarak çoğu RP ve CAD sisteminde kullanılabilirliği. Bir diğer avantajı da geometrik şekillerin veri transferi için basit dosyalar sağlamasıdır.

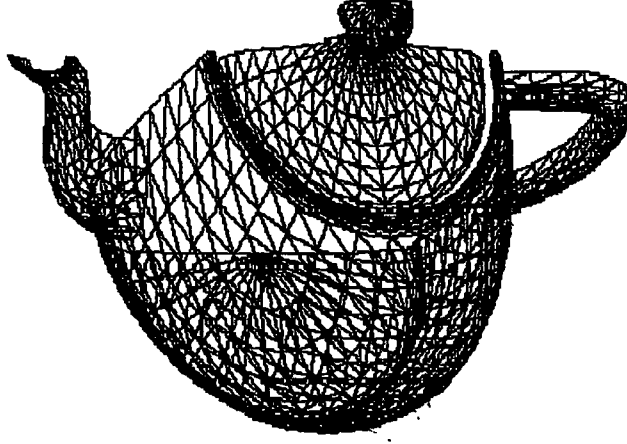
STL formatının avantajlarının yanında birçok da dezavantajı vardır. Öncelikle STL formatı çoğu kez orjinal CAD veri dosyasından daha büyük yer kaplamaktadır. STL formatı çok fazla gereksiz bilgi içermektedir. Örnek olarak STL formatına çevrilmiş bir dikdörtgenin köşe ve kenarlarının çift olması verilebilir. (Şekil 4.2) İkinci olarak STL formatında geometri kusurları bulunmaktadır. Çünkü çoğu ticari CAD sağlayıcıları tarafından kullanılan dönüştürme algoritmaları günümüzde yetersiz kalmaktadır. Bu üretimi yavaşlatan kusurlar sebebiyle bir onarım yazılımına olan ihtiyaç artmaktadır. Son olarak ise büyük STL dosyalarını dilimlenmesinin saatler almasıdır.



Şekil 4.2 STL formatına çevrilmiş bir dikdörtgenin CAD formatıyla karşılaştırılması.



Şekil 4.3 STL formatına çevrilmiş yüzeyler (1).



Şekil 4.4 STL formatına çevrilmiş bir model (2)

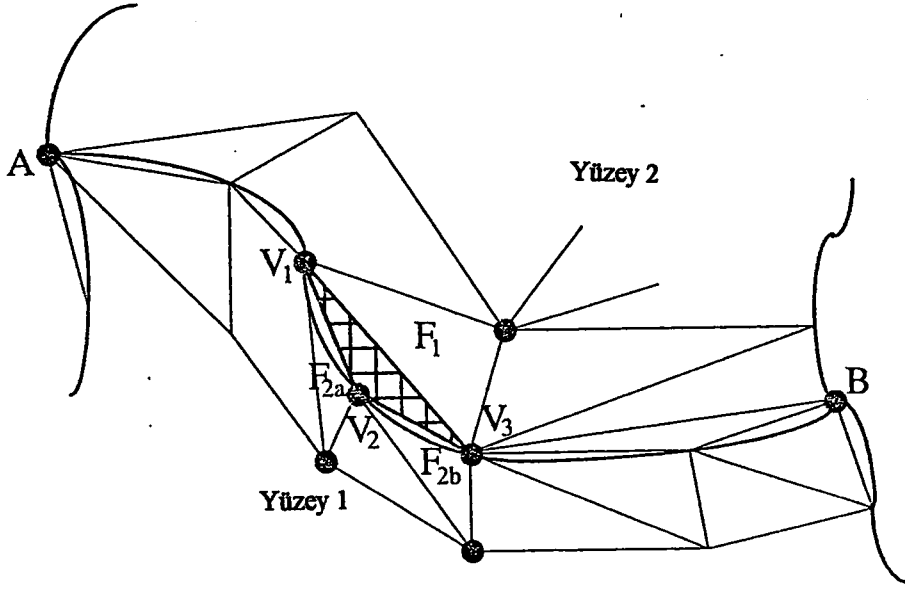
4.2 STL Formatı Problemleri

STL formatın sahip olduğu çoğu problem topolojik veri içermemesinden dolayı dosyanın özelliğinden kaynaklanmaktadır. CAD sağlayıcıları tarafından kullanılan çoğu dönüştürme algoritmaları günümüzde yetersiz kalmaktadır ve bunun bir sonucu olarak oluşan aşağıda belirtilen hata tiplerini tespit edebilmek için poligonel yaklaşık modellerin yaratılmasına eğilim gösterilmiştir.

- 1) Boşluklar(çatlaklar, delikler), kayıp yüzeyler.
- 2) Dejenere olmuş yüzeyler.
- 3) Üst üste binmiş yüzeyler.
- 4) Ortak noktalı yüzeyler.

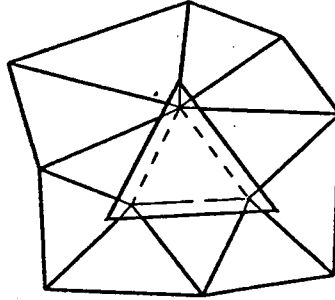
Problemlerin temelinde yatan sebepler yüzey kesişmeleri, nümerik hataların kontrolü ve kesip düzeltilen yüzeylerin dönüştürülmesinde karşılaşılan zorluklardır. Dönüştürme algoritmalarının güçsüzlüğü, geçerli yüzey modelleri dönüştürmelerinin sağlanması için, dönüştürülmüş modelin RP sistemine gönderilmeden önce model kontrollerinin yerine getirilmesini gerekli kılar. Bu kontrolden sonra eğer model geçersiz çıkarsa problemlerin çözülmesi için gerekli prosedür gerçekleştirilerek kusurlar ortadan kaldırılır.

Geniş eğriliğe sahip yüzey dönüştürmeleri yüzeyler arasındaki kesişimlerde, aralıklarda, model kenarları boyunca olan deliklerde hatalara sebep olmaktadır. Şekil 4.5'de kayıp yüzeylerden dolayı oluşan boşluklara bir örnek verilmiştir.

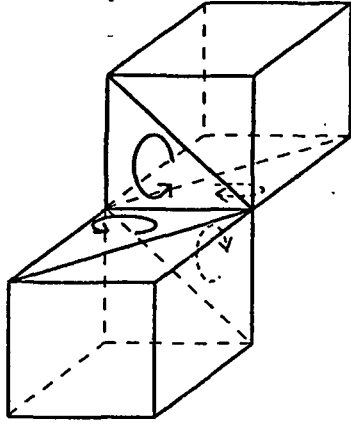


Şekil 4.5 Kayıp yüzeylerden dolayı oluşan boşluklar (Kaı ve Faı 1997).

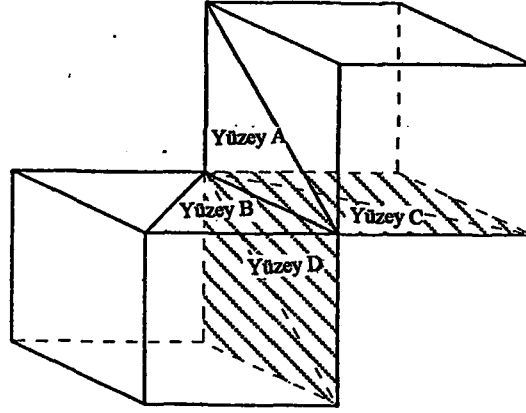
Geometrik olarak dejenere olmuş bir yüzey ise bütün vektörlerin farklı olmasına rağmen, bütün yüzey kenarlarının doğrusal olduğu durumlarda ortaya çıkar. Üst üste binmiş yüzeyler nümerik hatalardan dolayı meydana gelebilirler. Şekil 4.6'de bir örnek verilmiştir. Ayrıca yüzeylerin ortak kenarlara sahip olmasından dolayı da Şekil 4.7'deki hatalarla karşılaşmaktadır.



Şekil 4.6 Üst üste binmiş yüzeyler



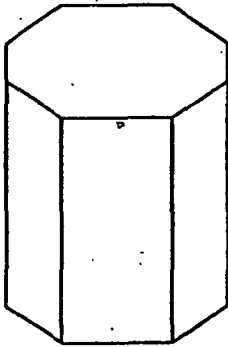
İki küp tarafından paylaşılan bir kenar örneği



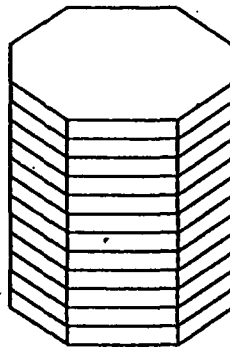
Dört yüzey tarafından paylaşılan bir kenar örneği

Şekil 4.7 Ortak kenarlara sahip yüzeyler

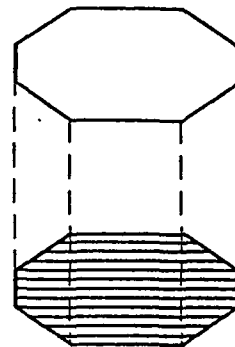
Aşağıdaki açıklamalarda RP sistem girişi olarak kullanılan, dönüştürülmüş geçerli ve geçersiz model verilerinin herbirine örnek verilmiştir. Geçerli dönüştürülmüş model kayıp, dejenere olmuş, üst üste binmiş yüzeylere ve herhangi bir anormalliğe sahip olmayan modeldir. Geçerli dönüştürülmüş bir model RP sistemine giriş olarak kullanıldığında öncelikle 2 boyutlu katmanlar dilimlenecektir. Daha sonra her katman lazer ya da diğer RP tekniklerinde kullanılan sistemler için tek yönlü tarama çizgilerine çevrilecektir. Lazer odak kontrolü için tarama çizgilerindeki açık kapalı noktalar esas alındığı için, modele göre herhangi bir problem çıkmadan parça imal edilir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 (a) Geçerli dönüştürülmüş üç boyutlu bir model



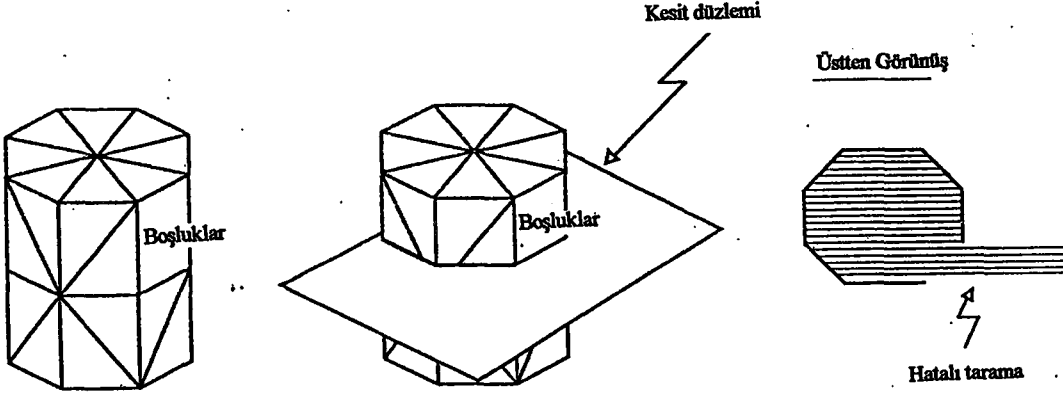
Şekil 4.8 (b) 2 boyutlu katmanlara dilimlenme



Şekil 4.8 (a) Tek boyutlu tarama çizgilerine dönüşüm

Şekil 4.8 Geçerli dönüştürülmüş model örneği

Eğer dönüştürülmüş model geçersiz ise Şekil 4.9'de görüldüğü gibi problemlerle karşılaşılır. Eğer bir katı model sağlam olarak dönüştürülmediyse örnekte görüldüğü gibi bir boşlukla sonuçlanabilir. Bu hata düzeltilmeden model dilimlenir ise geometrik yüzeydeki kayıp yüzeyler sistemde önceden tanımlanmamış sınırlara sebep olurlar. Bu sebeple yapım prosesi RP makinesinin fiziksel limitlerine kadar devam eder.



Şekil 4.9 (a) Geçersiz dönüştürülmüş üç boyutlu bir model

Şekil 4.9 (b) 2 boyutlu katmanlara dilimlenme

Şekil 4.9 (c) Tek boyutlu tarama çizgilerine dönüşüm

Şekil 4.9 Geçersiz dönüştürülmüş bir model

4.3 Diğer Çeviriciler

IGES Formatı : IGES ticari CAD sistemleri arasında grafik bilgi değişiminde standart olarak kullanılan bir dosya tipidir. 1981 yılında Amerikan Uluslararası Standardı olarak kullanılmaya başlamıştır. IGES dosyası CAD modellerini tam olarak tanımlayabilmektedir. Sadece geometrik bilgi değil aynı zamanda topolojik bilgiler de içermektedir. IGES formatı ile yüzey modelleme, konstrüktif katı geometri ve tel kafes çizim tanımlanabilir. Bu sistemde birleşme, kesişme ve farklılıklar için düzenlenmiş operasyonların gösterim yolları önceden belirlenmiştir.

IGES standartının avantajları geniş adaptasyonu ve ayrıntılı yayın alanıdır. IGES'in Amerikan Uluslararası Standardı olarak kullanılmaya başlamasından itibaren çoğu ticari CAD/CAM sistemi IGES uygulamalarına adapte olmuştur.

Ancak IGES standardının bir RP formatı olarak kullanılmasında birçok dezavantajı da bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibidir.

- 1) RP sistemleri tarafından gerek duyulmayan çok fazla gereksiz bilgiye sahiptir.
- 2) Bir IGES dosyasının dilimleme algoritması bir STL dilimleme algoritmasından daha kompleksdir.

3) RP sistemleri tarafından ihtiyaç duyulna destek yapılar, IGES formatı kullanılarak yaratılamaz.

IGES formatı genellikle çeşitli CAD sistemleri arasında orta büyüklükteki dosya transferleri için kullanılır.

HPGL Formatı : HPGL (Hewlett-Packard Grafik Dili) grafik yazıcıları için bir standart veri formatıdır. Veri tiplerinin hepsi iki boyutludur. HPGL formatının avantajları çoğu CAD sistemlerinde bir ara yüzey olarak kullanılması ve dilimlemeye ihtiyaç duymayan iki boyutlu geometrik veri olmasıdır.

Ancak iki önemli dezavantajı vardır. Öncelikle iki boyutlu veri formatı olmasından dolayı dosyalar ekli değildir ve ayrılan yüzlerce küçük dosya mantıklı isimlere ve transfere gerek duymaktadır. İkinci olarak destek yapının CAD sistemde üretilip ve yine aynı yolla dilimlenmesinin gerekliliğidir.

CT Formatı : CT (Bilgisayarlı Tomografi) tarama verisi tıbbi görüntüleme için kullanılabilir, standardize edilmemiş bir formattır. Format patentlidir ve bir CT tarama makinesinden diğerine transferde kullanılır. Tarama verileri üç boyutlu noktaların ızgarası olarak üretilir. CT taramasından elde edilen veriler SLA üzerinde kafatası, diz gibi kemik modellerinin yapımı için kullanılır.

CT tarama verisinin model yapımında kullanılabilmesi için üç yaklaşım mevcuttur.

- 1) CAD sistemi yoluyla.
- 2) STL arayüzüyle.
- 3) Direkt ara yüzey.

CT tarama verilerinin bir RP arayüzü olarak kullanılmasının ana avantajı RP sistemleri ile insan vücudu için modeller üretilmesini sağlamasıdır. Fakat öncelikli dezavantajı STL verisi ile karşılaştırıldığında işlemedeki zorluklardır. İkinci olarak ise CT verilerinin için özel bir yorumlayıcı programa gerek duyulmasıdır.

4.4 Yeni Önerilen Formatlar

Son yıllarda birçok yeni veri formatı önerilmiştir ve bunlar aşağıda tartışılmıştır. Ancak henüz hiçbiri geniş çaptaki STL kullanımıyla yer değiştirecek seviyede değildir.

SLC Formatı : 3D Systems tarafından geliştirilmiştir. SLC (Stereolit Kontur) dosya formatı, STL formatıyla tanınan birçok problemin çözüldüğü bir veri dosyasıdır. Bilindiği gibi bir STL dosyası bir CAD modelinin üçgen yüzeyler halinde tanımlanmasından ibarettir. CAD modelinin bu şekilde tanımlanması zorunluluğundan dolayı oluşturulan model, gerçek modelin bire bir aynısı değildir. Daha düzgün boyutlu parçalar üretmek için arttırılan üçgen sayısı, STL dosyasının çok yer kaplamasına ve RP sisteminin modeli dilimleme hesapları için gerekli zamanı arttırmaktadır.

SLC dosya sistemi bu problemleri çözmek için dönüştürülmüş bir STL modeli kullanmak yerine direkt olarak bir CAD modelden 2 boyutlu dilimler alma yolunu denemiştir. 3D Systems'e göre bu yöntemle STL'deki boyut hassasiyetinden daha iyi değerler elde edilmektedir.

Bu yeni yaklaşımla beraber çeşitli problemler ortaya çıkmaktadır. Öncelikle bir CAD modelin direkt dilimlenmesi, her zaman hassas bir yöntem değildir. Çünkü her dilimin konturları henüz geometrinin bire bir aynısı değildir. İkinci olarak dilimleme STL'dekine nazaran çok daha fazla komplike hesaplamalar gerektirmektedir ve bu da zaman tüketimini arttırır.

SLC dosya formatı bir CAD modelin kesitlerinin iç ve dış kontur tanımlamalarından oluşur. SLC verisi birçok kaynaktan üretilebilir. Örneğin katı ya da yüzey modellemeden ya da CT tarama sistemleri gibi katmanlar halinde veri üreten sistemlerden direkt olarak elde edilebilir.

CLI Formatı : CLI formatı (Genel Katman Arayüzeyi) Avrupalı otomotiv sanayi üreticileri desteği ile gerçekleştirilen bir proje sonucunda geliştirilmiştir. Bu format katmanlama teknolojileri için ortak bir arayüzdür. Parça birbirini izleyen katman tanımlamaları ile üretilir. CLI dosyası ikili ya da ASCII formatı içerisinde olabilir. Geometrik parça dosyası siparişe bağlı olarak katmanlar halinde düzenlenir. Her katman kalınlığı verilerek bir komutla başlatılır.

CLI formatında iki tür tanımlama yöntemi vardır. Birincisi çoklu çizgi yöntemidir. Bu çoklu çizgiler kapalıdır ve saat yönünde ya da aksi yönde olmaları bir çoklu çizginin parçanın dış kısmında ya da parça içerisindeki bir deliğin çevresinde olduğunu anlamada yegane yöntemdir. Bu ışık odaklaması için doğru yönlendirmeler sağlar.

Diğer yöntem ise parçanın iç ve dış konturlarının arasının taranmasıdır.

CLI formatının avantajları aşağıdaki gibidir.

1) CLI formatı sadece çoklu çizgilerden oluşmasından dolayı, HPGL formatıyla

karşılaştırıldığında daha basit bir formattır.

- 2) Çoğu uygulamalarda dilimleme adımından kaçınılmaktadır.
- 3) Katmanlama bilgisinde karşılaşılan hataların onarımı 3 boyutlu sistemlere göre daha kolaydır. Otomatik onarım sistemleri kullanılır.

Dezavantajları da aşağıdaki gibidir.

- 1) CLI formatı üretim kapasitesi yalnızca dilimin dış konturlarına rağmen içerir.
- 2) Elde edilen gerçekçi parça dış konturlarına rağmen, eğrisellik azalmaktadır.

CLI formatı HPGL formatına benzer bir katman bilgisi içerir. Fakat CLI formatı çoklu çizgilerden oluşurken, HPGL formatı yaylar ve çizgilerle desteklenmektedir. CLI formatı HPGL formatından daha basittir ve birçok RP sisteminde kullanılmaktadır. CLI formatının da ilerde STL formatı gibi bir endüstriyel standart olması umulmaktadır.

RPI Formatı : RPI formatı Rensselaer Dizayn Araştırma Merkezi tarafından geliştirilmiştir.

STL format verilerinden elde edilmiş bir formattır. RPI formatı, modellerin yüzeyini tanımlayabilmektedir ve yüzey topolojisi hakkında ek bilgi içermektedir. Topolojik bilgiler tanımlanan her yüzey için vektörler, kenarlar, yüzeylerin düzenlenmiş indeks listesinden oluşur. Her yüzey için nokta koordinatlarının belirlenmesi yerine, her yüzey bir indeks numarası ile tanımlanır. Bu gereksiz bilgi dosyalanmasını önlemek amacıyla kullanılır.

Bir RPI formatı, geometrik elemanların koleksiyonu ve herbirinin tanım bilgilerini içerir. Her eleman bir isim, bir kayıt sayımı, bir şema tanımı, şema sembolü ve haberleşme verisinden oluşur.

RPI formatının avantajları aşağıdaki gibidir.

- 1) Topolojik bilgi RPI formatına eklenmiştir. Bu fleksibilitiyi etkinleştirmiştir. Kullanıcılara işlem ve depolama masraflarının dengelenmesinde yardımcı olur.
- 2) Dosya boyutu uyumludur.

Dezavantajları ise aşağıdaki gibidir.

- 1) STL formatından daha komplekstir.
- 2) Yüzeyde oluşturulan yamalar RPI formatında tanımlanamaz (Ka1 ve Fa1 1997).

5. STREOLİTHOGRAFİ

5.1 Temel Polimer Kimyası

Radyasyonla işlem görebilen polimer teknolojisi 20 yıl önce önemli bir endüstri haline gelmiştir. Bu hükümetlerin çeşitli kaplama formülasyonlarında uçucu organik moleküllerin azaltılmasını istemesi sonucu gerçekleşmiştir. 1970'lerin başlarında bu sistemler matbaa için geliştirilmiştir. 1980'lerin ortalarında UV ışınlarına duyarlı mürekkep kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Günümüzde mobilya endüstrisinde, çok daha temiz mobilya kaplaması sağlamasından dolayı, gittikçe artan bir şekilde kullanılmaktadır.

Günümüzde Stereolithografi (SL) reçinesi küçük fakat büyüyen bir pazar dilimine sahiptir. Bunun yanında radyasyonla işlem görebilen polimer endüstrisi hem elektron hem de UV ışın teknolojileri pazar payını da arttırmıştır. Bu sistemlerin satış rakamları her yıl %15-20 civarında artmaktadır.

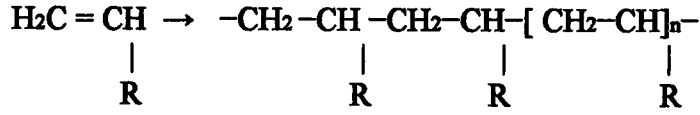
Radyasyonla işlem görebilen sıvı polimerlerin en büyük avantajlarından biri bileşimlerindeki elemanların %100 aktif olmasıdır. Bu diğer ısı ile işlem gören polimerlere nazaran 50-100 kat daha az enerji tüketimini sağlamaktadır. Farklı uygulamalar için çeşitli özellikler, monomer ve oligomerlerin kullanımıyla elde edilebilir.

Modern RP sistemlerinde çoğunlukla kullanılmakta olan malzemeler fotopolimer sistemlerdir. Fakat malesef çok bulunan reçinelerin tamamına yakını sıvı halden katı hale geçerken kendini çekme gösterirler. Bu ise gerilme deformasyonuna sebep olur. Bu problemi kontrol altına almak için kendini çekme oranları azaltılmış malzemeler geliştirilmektedir. Bunun yanı sıra parça geometrisini etkileyen diğer bir olay da lazer enerjisinin fotopolimere uygulanış şeklidir. Yani parça yapım stilistleri yazılım algoritmaları geliştirmişlerdir. Bunlar sayesinde her katmanda daha fazla gerilme gevşemesi elde edilir. Konu üzerinde kapsamlı çalışmalar arttıkça, mahsurların hızla ortadan kaldırılacağı, daha verimli sistemlere ulaşılacağı umutla beklenmekte ve temenni edilmektedir.

Burada sadece fotopolimerizasyonu içeren temel proses irdelenmeye çalışılacaktır. Derinlemesine bir kimyasal incelemeye girilmeyecektir.

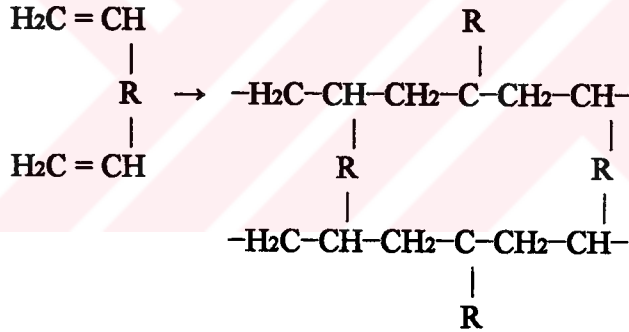
Polimerizasyon, küçük molekülleri (monomerleri), çok sayıda monomer birimi içeren daha büyük moleküllere (polimerlere) bağlama prosesidir. Şekil 5.2'de vinil tipi monomerler için bu prosesin bir örneği sunulmuştur. Vinil monomerleri genellikle C-C çift bağı içeren monomerler olarak tanımlanmaktadır. Vinil grupları Şekil 5.1'de 'R' ile gösterilmiştir.

'R Grubu' diğer moleküler yapılara eklenebilme ya da daha fazla vinil grubu içerebilme özelliğine sahiptir. Bu tip vinil grupları içeren monomerlere 'çok fonksiyonlu' da denilmektedir. Çok fonksiyonlu monomerin polimerizasyonu çapraz bağlı polimer oluşumuna sebep olur. Çapraz bağlı polimer oluşumuna bir örnek Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.1 Vinil grupları

Vinil grubunun kimyasal reaksiyonu, C-C çift bağındaki her C atomunun diğer bir monomer molekülündeki C atomuyla yeni bir bağ oluşturmasıyla meydana gelir. Bu sırada oluşan etkileşimde birçok hacim özelliği değişir. Sistem sıvı halden katı hale geçer. Yoğunluk artışına sebep olacak şekilde gruplar arasındaki mesafeler azalır. Çok fonksiyonlu sistemler için bu değişimler daha düşük dereceli reaksiyon eğilimi gösterir.



Şekil 5.2 Çapraz bağlı monomer oluşumu

Akrilat monomerler C-C çift bağına bağlanmış karboksilik asit grubu ($\bar{\text{C}}\text{OOH}$) sebebiyle yüksek reaktivlik ve eğilim özelliği gösteren bir vinil ailesi kümesidir. Bu kümenin çeşitli kimyasal birimleri bağlaması kısmen kolay bir transformasyondur ki bu fonksiyonize edilmiş akrilat monomerlerinin yüksek çeşitliliğine bağlanabilir.

Akrilat monomerinin polimerizasyonu enerjik olarak elverişli ya da ya da diğer bir deyişle 'egzotermik' reaksiyondur. Reaksiyon ısısı yaklaşık 85 kJ/mol'dür. Yüksek işletme gücü potansiyeline rağmen akrilat formülasyonu belirsiz bir çevre sıcaklığında reaksiyona girmemiş halde kalacak şekilde stabilize edilebilir. Polimerizasyonun anlamlı bir oranda gerçekleşebilmesi için bir katalizöre ihtiyaç duyulur. Akrilat reçine sistemleri için genel

katalizatör bir serbest köktür. Kökler termal ya da fotokimyasal olarak üretilirler.

Fotokimyasal oluşumlu kökün kaynağı aktinik foton ile reaksiyon veren bir fotoinitördür. Fotoinitör, fotopolimerizasyon prosesinde katalizör olarak kökleri üretir. Yani bir aktinik ışın sıvı monomerden katı polimere geçiş için en önemli katalizatördür. Ortalama olarak her iki aktinik foton (yaklaşık $1.2 \cdot 10^{16}$ joule enerjili) bir kök üretmektedir. Polimerizasyonda her kök 1000'den fazla akrilat monomeri oluşumu sağlayacaktır. Mukayese açısından bu 1000 akrilik monomerden açığa çıkan ısı, kök enerjisinden 100 kat fazladır. Fotopolimerizasyondaki bu verimlilik düşük enerjili UV lazerlerin RP sistemlerinde rahat kullanımını sağlamaktadır. RP sistemlerinden toz sinterleme prosesi gerçekleştirenlerde neredeyse 1000 kat daha fazla lazer gücü gerekmektedir.

Şimdi SL'deki , polimerizasyon basamaklarının başlangıç, yayılım ve bitiş safhalarını inceleyelim.

Başlangıç : Bir fotokimyasal proses olarak serbest kökler ($R\bullet$) uygun frekanslı fotonların absorpsiyonuna dayalı fotoinitörlerden (I) oluşurlar. Bu kökler bir monomerle (M) , bir zincir reaksiyon başlatmak üzere tepkimeye girerler.

h : Planck sabiti
v : Foton enerjisi
hv : Foton enerjisi



Yayılma : Bir makroköke ($M_n\bullet$) , bir monomer (M) eklenmesi daha büyük bir makrokök oluşumuna sebep olur. ($M_{n+1}\bullet$)

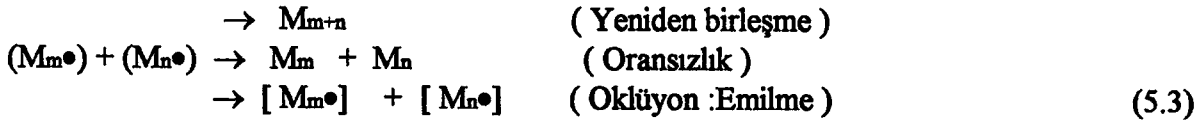
k_p : Polimerizasyon için reaksiyon oranı



SL'de kullanılan serbest-çözücü sistemlerinde fotopolimerizasyon, kök başlangıcı civarındaki mikro bölgede gerçekleşir. Büyüyen makrokök ,düşük dereceli çevrimde çapraz bağlı bir jel halini alır. Polimerizasyon oranı, reaksiyona girmemiş monomer derişimi düştükçe ve jel viskozitesi arttıkça sürekli azalma gösterir. Serbest monomerin, makrokök çevresinde

dolaşımı yüksek derişimde kısıtlamıştır.

Bitiş : Zincirleme bitişe yol açan temel reaksiyonla, yeniden birleşme, oransızlık ve oklüzyondur. Bu temel reaksiyonlar (5.3) eşitliğinde gösterilmektedir. Yeniden birleşme iki kökün bir nanreaktif bir molekül oluşturmak üzere bir araya gelmelerini kapsar. Oransızlık bir kökten diğerine, biri doymuş diğeri doymamış uçlu iki polimer molekülü oluşturacak β -hidrojeni transferi içerir. Lazerle polimerizasyonda reaksiyon karanlık bir ortamda yaklaşık bir saniye sürer.



Elektron paramagnetik rezonans ölçümleri göstermiştir ki , gizli kökler ışınlamadan çok sonra bile çapraz bağlı polimerlerde görülmektedir. Polimer içerisindeki makroköklere oklüzyonu , SL reçineleri için, polimerizasyonun sonuçlanmasını sağlayan ana sebeptir. Bu köklere ömrü birkaç ayı bulabilmektedir.

SL prosesinde başlangıç malzemesi kalınlığı belirleyecek miktarda derin bir kapta sıvı halde bulunur. İlk destek katmanı platform üzerine yapılır ve sonraki katmanlar bu önceki kesitler üzerine inşa edilir. Burada polimerize edilecek katman kalınlığı parça üzerine kaplanmış olan akışkan miktarı kadardır. Beer-Lambert absorpsiyon yasasına göre lazer tatbiki E (mj/cm²) Z eksenindeki derinlikle birlikte eksponiyonel olarak düşer.

E_0 : Reçine yüzeyindeki ($z=0$) lazer etkisi

D_p : Lazer dalga boyundaki reçine penetrasyon derinliği

$$E(z) = E_0 \exp (-z/D_p) \quad (5.4)$$

Pratikte polimerizasyon lazer etkisinin eşik değerin altında olduğu yerdeki sınırlı derinliğin altında gerçekleşmez. Bunun birincil sebebi oksijen inhibasyonundan (yasaklanmasından) dolayıdır. Çünkü oksijen polimerizasyonu başlatmak için minimum eşik değeri oluşturmaktadır. Jel oluşumu için gerekli lazer tatbik eşik değeri ' E_c : kritik tatbik' olarak adlandırılır.

Tatbik birim alan başına düşen ışın enerjisi olarak adlandırılır. Normalde sabit olan lazer gücüyle, orantılıdır. Aynı zamanda sıvı yüzeyindeki ışın dalgası genişliğiyle ve lazer tarama hızıyla da orantılıdır.

Fotopolimer kompozisyonuna ve özellikle de fotoinitör karakteristiğine bağlı olarak , bilhassa initör 'foton beyazlaşması' görüldüğü ya da tüm formül görünüşte farklı türden olduğu ve lazer demetini dağıttığı zaman eksponiyonel yasında sapmalar görülür. Bu durumda , ilk olarak polimerizasyon derinliği beklenenden fazla olacaktır. İkinci olarak , odaklanmış lazer demeti ışınım noktasını dağıtacak ve girişim sıfırlanacaktır. Yine günümüzde yüksek etkili fotoinitörleri kullanmak Şekil 5.1'de görülen absorpsiyon profilinden dolayı mümkün değildir. Bütün bunlara rağmen tek dalga boylu lazer ışınım penetrasyonu hala en uygun yaklaşımdır.

Lazerler , özellikle odaklanabildiklerinde akkor ya da ark lambalarına nazaran yüksek ışınım değerlerine ulaşırlar. Fotopolimer katmanların kalıplanmasında ışınım, alışıldığı üzere saniyeler sürer ve polimerizasyon oranı reaksiyon başlangıcında genellikle foton çıkışınca sınırlanmıştır. Böyle bir durumda SL ile hesaplar yapılır, lazer ışınımı ve fotoürünler için SLA-250 teknik özellikleri kullanılarak ortalama bir ışınım yoğunluğuna ulaşılmaktadır.

$$P_L \text{ (Lazer gücü)} = 15\text{mW}$$

$$2W_o \text{ (Nokta boyutu)} = 0.25\text{mm}$$

$$H_{av} = P_L / (\pi W_o^2) = 30.56 \text{ Watts/cm}^2 \quad (5.5)$$

Genel bir tarama hızı olan $V_s = 200\text{mm/dk}$ dikkate alınır, bir çizgi merkezi boyunca olan nokta için tatbik zamanı aşağıdaki gibidir.

$$t_e \approx 2W_o / V_s = 0.00125\text{s} \quad (5.6)$$

Bu periyot içerisinde , ışınlanan alanın maruz kaldığı Eav ortalama lazer tatbiki (Eav) değeri aşağıdaki gibidir.

$$E_{av} = H_{av} \times t_e = 38.2\text{mJ/cm}^2 \quad (5.7)$$

Belirlenen dalga boyu ile foton enerjisi için kullanılan Planck eşitliğini kullanarak foton akışını (Nph) aşağıdaki gibi hesaplarız.

$$\lambda \text{ (Dalga boyu)} = 3.25 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$$

$$h \text{ (Planck sabiti)} = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ Joule-s}$$

$$c \text{ (ışık hızı)} = 3 \cdot 10^{10} \text{ cm/s}$$

$$E_{ph} = hc/\lambda = 6.1 \cdot 10^{-19} \text{ J/foton} \quad (5.8)$$

$$N_{ph} = E_{av} / E_{ph} = 6.3 \cdot 10^{16} \text{ foton.s /cm}^2 \quad (5.9)$$

Kimyasal kurallara dayanarak, yüzeye yakın bir hacim elamanı için belirlenen penetrasyon derinliği, foton konsantrasyonu ile ilgilidir.

$$D_p \text{ (penetrasyon derinliği)} = 0.17 \text{ mm}$$

$$N_a \text{ (Avagadro sayısı)} = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ atom}$$

$$I_a = N_{ph} / (N_a \cdot D_p) = 0.006 \text{ Einstein.s/litre} \quad (5.10)$$

(Einstein birimi $6.02 \cdot 10^{23}$ fotondur.)

Kısa etkileşim zamanı ve iyi bir fotoinitör için 0.5'lik fotokimyasal verim göz önüne alındığında bu önemli bir konsantrasyon değeridir.

Multifonksiyonel bileşikler içeren bir kompleks karışımda, komplike bir örneğin farklı mekanik özelliklere sahip olması beklenmelidir. Öyleyse şu beklenebilir ki, oluşturulmakta olan polimer yapısı, spesifik lazer gücü yoğunluğuna bağlı olacaktır. Bu çeşit fotopolimerizasyon prosesleri için model hesaplamalarının araştırmaları termal ve kimyasal profiller üzerindeki geçici etkileri de göz önünde bulundurularak devam ettirilmektedir (Jacobs, 1992).

5.2 Temel Prosesler

SL önceki bölümlerde de belirtildiği gibi ilk hızlı prototipleme sistemidir. Ayrıca kısaca açıklanan diğer yöntemlerin çoğunun çalışma prensibi SL ile benzerdir. Sonuç olarak araştırma ve geliştirme sonuçlarıyla, hızlı prototipleme proses temellerini şekillendiren RP yöntemi, bu alandaki anlayışımızın temelini oluşturmalıdır.

SL teknolojisi büyüleyici bir gelişimdir. Bu içerdiği ana konuların (polimer kimyası, lazer fiziği, uygulamalı matematik, bilgisayar yazılımı, CAD modelleme, akışkan dinamiği, malzeme bilimi, optik ve aynı zamanda elektrik ve makine mühendisliği) çeşitliliğinden belli olmaktadır.

Bu bölümde birkaç temel proses açıklanacaktır. Bu proseslerin incelenmesi, temel fenomenin daha derin bir şekilde anlaşılmasını sağladığı gibi daha iyi parça yapımına liderlik edecek önemli görüşlerin ortaya çıkmasında da yararlı olacaktır.

Bir yeni teknolojiyi açıklamaya çalışmak için en iyi yöntem bile başlangıçta açık olmayabilir. Yaklaşımına göre prosesde ortaya çıkan temel sorulardan birkaçı seçilir ve bu soruları cevaplayabilecek ya da en azından yararlı birkaç görüş sağlayacak matematiksel model belirlenir.

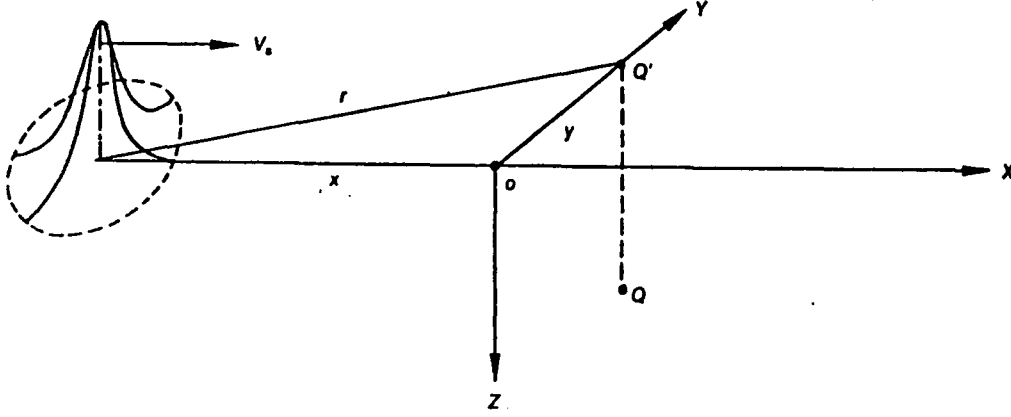
Birkaç temel soruya örnek olarak aşağıdakiler verilebilir.

- 1) Bir aktinik lazer dalgası fotopolimer yüzeyi boyunca bir düz çizgiyi taradığında, lazer tatbiki sonuçları(birim alana düşen enerji) lazer ve polimer parametrelerine bağlı olarak ne olacaktır?
- 2) Katılaştırılmış bir basit çizginin kesiti nedir?
- 3) Katılaştırılmış çizgi kalınlığı lazer tatbiki ve polimer parametrelerine bağlı olarak nedir?
- 4) Katılaştırılmış çizgi genişliği lazer tatbiki ve polimer parametrelerine bağlı olarak nedir?
- 5) Artan lazer tatbiki oranına karşın , parça yapım dayanımı oranı nasıl değişmektedir?

Aşağıda bu temel sorulara cevap verecek şekilde incelemeler yapılmıştır.

Bir Gaussian lazer dalgasıyla taranmış çizgi dağılım fonksiyonu : Şekil 5.3'de bir Gaussian lazer dalgasının fotopolimer yüzeyinden sabit bir hızla(V_s) düz bir çizgi halinde taraması görülmektedir.

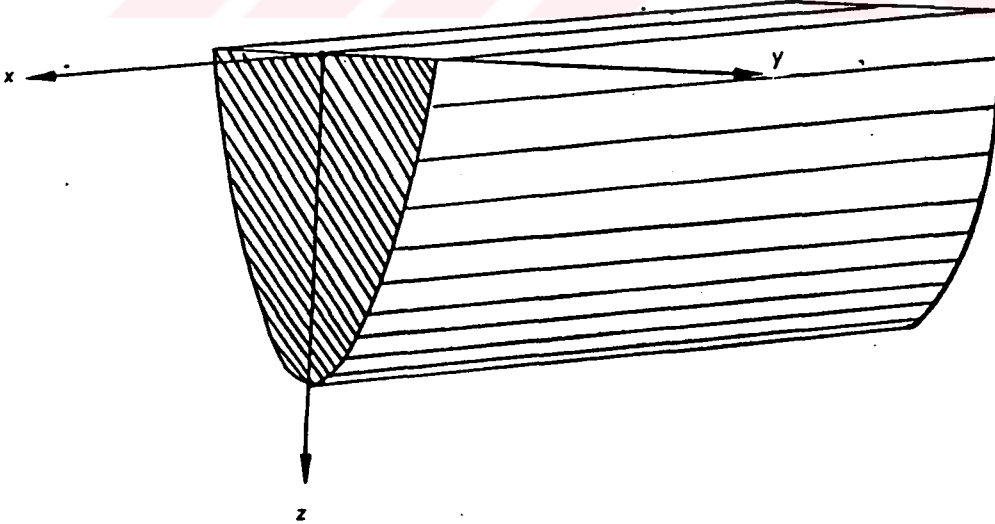
Matematiksel denklemlerden elde edilen sonuç göstermektedir ki bir Gaussian lazer dalgası çizgi yayılımı fonksiyonu , yüzey koordinatları içerisindeki Gaussian lazer dalgası, tarama yönüne dikeydir.



Şekil 5.3 Gaussian lazer dalgası taraması (Jacobs, 1992).

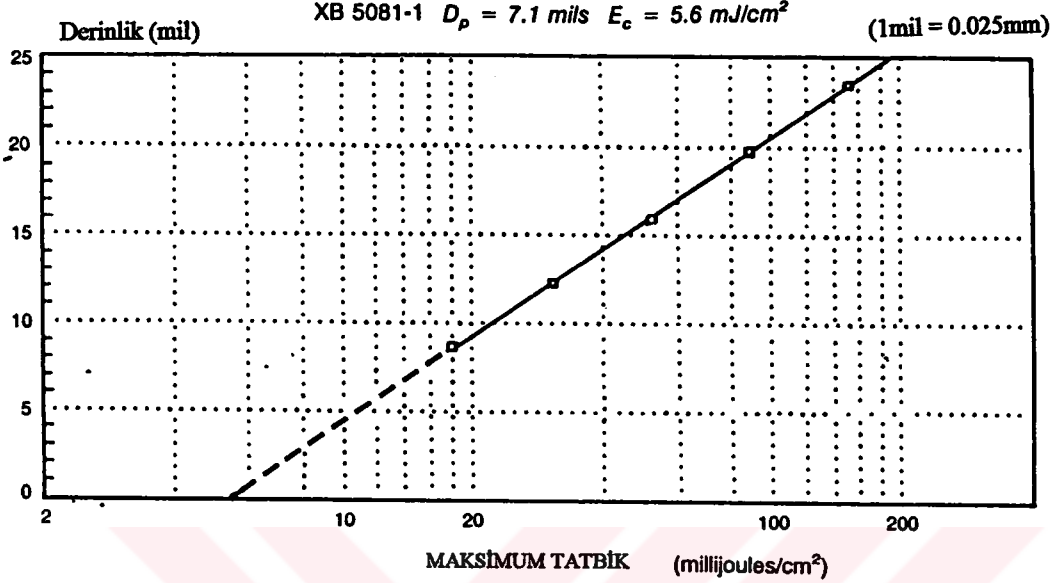
Katılaştırılmış çizginin kesitinin belirlenmesi : Fotopolimerler için lazer tatbiki kritik değerin (E_c) altında kaldığında tamamen katılaşma sağlanamamaktadır. Lazer tatbiki kritik değeri aştığında tamamen katılaşma sağlanacaktır. Lazer tatbiki kritike eşit olduğunda ise polimer jel noktasında olacaktır. Bu durum katıdan sıvıya geçiş ara halidir.

Bu kural kullanılarak, katılaştırılmış bir çizginin kesiti elde edilebilir. Öncelikle lazer tatbikine maruz kalmış polimer kısmı jel noktasındayken dış sınırlarının geometrik yerlerinin elde edilir. Bu geometrik noktalardan ise bir matematiksel çevrimle lazerle katılaştırılan basit bir çizginin kesitinin Şekil 5.4'de gösterildiği gibi bir parabolik silindir olduğu sonucuyla karşılaşılır.



Şekil 5.4 Katılaştırılmış çizgi kesiti

Katılaştırılmış çizgi derinliğinin belirlenmesi : Şekil 5.5'de deneysel olarak ölçülmüş bir çalışma eğrisi verilmiştir. Bu çalışmada Ciba Geigy XB 5081-1 reçinesi kullanılmıştır. Şekilden görüldüğü gibi katılaştırılmış çizgi derinliği doğrudan tatbikin logaritmasıyla orantılıdır.



Şekil 5.5 Deneysel olarak elde edilmiş çalışma eğrisi (Jacobs, 1992).

Genel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre yaklaşık olarak katılaştırılmış çizgi derinliği oranı aşağıdaki gibidir.

D_p : Lazer nüfuz derinliği

C_d : Lazer tatbik edilmiş bir basit çizginin maksimum katılma derinliği

$$D_p < C_d < 4D_p$$

$C_d < D_p$ durumu eğerleri için yapılan araştırmalar zayıf kalmaktadır. Yine $C_d > 4D_p$ durumunda ise , çalışma eğrisi sık düzensiz olmakta ya da sadece logaritmik olmayan davranışlar göstermektedir.

Katılaştırılmış çizgi genişliğinin belirlenmesi : Yapılan matematiksel çalışmalardan çıkan sonuca göre, katılaştırılmış çizgi genişliğinin (L_w) lazer nokta çapıyla doğrudan orantılı olduğu anlaşılmıştır. Aynı zamanda maksimum katılma derinliğinin lazer nüfuz derinliğine oranının karesiyle de orantılıdır.

Belirtildiği gibi katılaştırma derinliğinin katılaştırma genişliğiyle olan yakın ilişkisi , yazılım algoritmaları içerisinde 'katılaştırma genişliği kompanzasyonunu' gerekli ve önemli kılmaktadır.

Çizelge 5.1'de XB 5081-1 reçenesi için tahmin edilen katılaştırılmış çizgi genişlikleri verilmiştir.

Çizelge 5.1 XB 5081-1 reçenesi için tahmin çizgi genişlikleri (Jacobs, 1992).

Cd	Cd/ Dp	Lw
5 mil	0.704	5.3 mil
10 mil	1.408	7.6 mil
15 mil	2.113	9.3 mil
20 mil	2.817	10.7 mil

Mekaniksel özellikler : Fotopolimerlerin mekaniksel özelliklerinin lazer tabikinin bir fonksiyonu olarak hesaplanması en iyi yaklaşımdır. Fotopolimer sisteminin başlangıç stres eğilimine karşı lazer tabikinin bir fonksiyonu olan stres eğrisi olarak tanımlananan elastisite modülünden 'Y(E)' birçok sonuca ulaşılabilir.

Örneğin elastisite modülü fonksiyonu, lazerle katılaştırılmış bir SL parçasının (yeşil dayanımı'nın tahminini sağlamaktadır. 'Yeşil dayanım' başarılı parça yapımında kritik bir dayanım değerini vermektedir. Aynı zamanda homojen olmayan katmanlar içeren çoklu katmanlanmış bir parçanın ortalama dayanımının belirlenmesini de sağlamaktadır.

Yine elastisite modülünün bilinmesi, SL parçalarının ısı işleminden sonraki dayanımlarının da tahmin edilmesini sağlamaktadır. Sonuç olarak bu bilgiler, hem parça yapımında hem de ısı işlemde distorsiyonlar tarafından üretilen büzülmelerin minimize edilmesini sağlayacak geçerli tekniklerin ortaya çıkmasını sağlayacaktır.

Malesef şimdiye kadar ki bütün fotopolimer elastisite modülü ölçümleri tek yanlıdır. Fakat lazer tabik edilmiş basit bir çizgide, test örneklerinin bir yüzünden diğer yüzü daha fazla lazer tabiğine maruz kalır. Lazer tabikinin (E) polimer derinliğinin fonksiyonu olmasından dolayı, Y(E) de derinliğin fonksiyonudur ve uniform değildir. Bu unifornluklar, test sonuçlarındaki çeşitliklerden Y(E) değerinin sağlıklı olarak saptanması mümkün değildir (Jacobs, 1992).

5.3 Yazılım ve CAD Prosesleri

Bu bölümde RP sistemlerinde kullanılmakta olan yazılımlar, özellikle SL üzerine odaklanmış olarak incelenecektir. Bu bölümde parça yapım prosesinde kullanılan yazılımların neleri içerdiği, nasıl geliştirildiği ve yazılım içeriklerinden birkaç özellik üzerinde durulmuştur. Her RP sistemi için akla gelen ilk sorular 'Bu sistemle ne tip modeller üretebilirim?' ve 'Bu modelleri en iyi şekilde nasıl üretebilirim?'dir. Çünkü yazılım kontrolü içeren bütün proses görüşlerinin çoğu için, yazılımın görevlendirilmesi temel bir anlayış zorunluluğudur. Cevaplar kimya, fizik ve makine ve elektrik mühendisliği içeren çoklu disiplinlerden oluşur. Bütün proseslerin tanımlanması ve senkronize edilmesi yüksek kaliteli parça üretimini sağlama için gereklidir. RP yazılım proses adımları aşağıdaki gibidir.

Veri Toplanması : Genelde RP sistemleri verilerini bilgisayar destekli tasarım (CAD) sistemlerinden sağlamaktadır. Bu CAD sistem paketleri çeşitli formlarda olabilmektedir.

- 1) İki boyutlu : Veriler 2 boyutlu noktalar, çizgiler , daireler ve eğriler şeklinde depolanır.
- 2) Üç boyutlu tel kafes : Veriler üç boyutlu noktalar, çizgiler, daireler , eğriler şeklinde depolanır.
- 3) Üç boyutlu yüzeyler
- 4) Üç boyutlu katı model

RP sistemleri için en uygun olan veri formatı üç boyutlu katı modellemedir. Ancak bu tip CAD paketlerinin kullanım yüzdesi günümüzde yetersiz olmakla beraber, her geçen gün artmaktadır.

RP sistemleri verileri belli bir formatta olmak zorundadır. SL için orjinal veri formatı, STL veri formatıdır. RP sistemlerinde kullanılan veri formatları Bölüm3'de ayrıntılı bir şekilde incelendiğinden dolayı , bu bölümde STL veri formatı üzerinde durulmayacaktır.

Veri analizi : Uygun veri formatına çevrilmiş dosyaların kontrol edilip onarıldığı adımdır. Çünkü çevirme prosesinde çoğu zaman eksiklik ve kusurlarla karşılaşmaktadır. Bu durum üç boyutlu geometrinin , veri olarak ifade edilebilme güçlüğünden kaynaklanmaktadır.

Parça hazırlanması : RP sisteminden elde edilen somut model , parça hazırlama parametreleri, parça yapım emirlerini yerine getiren makinenin hassasiyeti ve ısıl işlem tekniklerinin bir kombinasyonudur.

Parça hazırlama yazılımları son yıllarda önemli bir oranda gelişme göstermektedir ve aynı zamanda yeni yapım tekniklerine uyum sağlayabilmek için gereklidir. SL sisteminin ilk evrelerinde , modelin yapılması konusundaki bütün görüşler sorunlara boyun eğmekteydi. Bu yapım metodlarının hesaplanması için araştırmaların başlatılmasıyla iyi sonuçlara ulaşılmaya başlandı.

Parça hazırlanması, modelin sıvı kap içerisinde ne şekilde pozisyonlandırılğını belirlemeyle başlar. Bu kriter RP sistem kullanıcısının isteklerine bağlıdır. Genellikle parça hassasiyeti en önemli kriterken, estetik ve yapım zamanı daha sonra gelen kriterlerdendir. Yüksek yüzey kalitesine ihtiyaç duyan modellere için karar verirken, platform üzerine maksimum sayıdaki parçanın yerleştirilmesi, parça destek sayısının minimize edilmesi, parçanın herhangi bir yerinin desteklenmesi için uygun desteklerin belirlenmesi gibi konuların ele alınması gerekmektedir. Katman kalınlığı, tarama aralığı, süpürme sayısı, yeniden kaplama hızı, süpürme aralığı, katılaştırma kalınlığı ve reçine büzülmesi gibi birkaç faktör, birim tipin tanımlaması için gereklidir. Her seferinde bu bilgilerin girişinin yapılması zaman alacağından dolayı bu bilgiler gruplanarak, yapım stilleri şeklinde saklanabilmektedir. Aynı zamanda kullanıcı kendi ihtiyaçlarına göre de kendi yapım stilini kurabilmektedir.

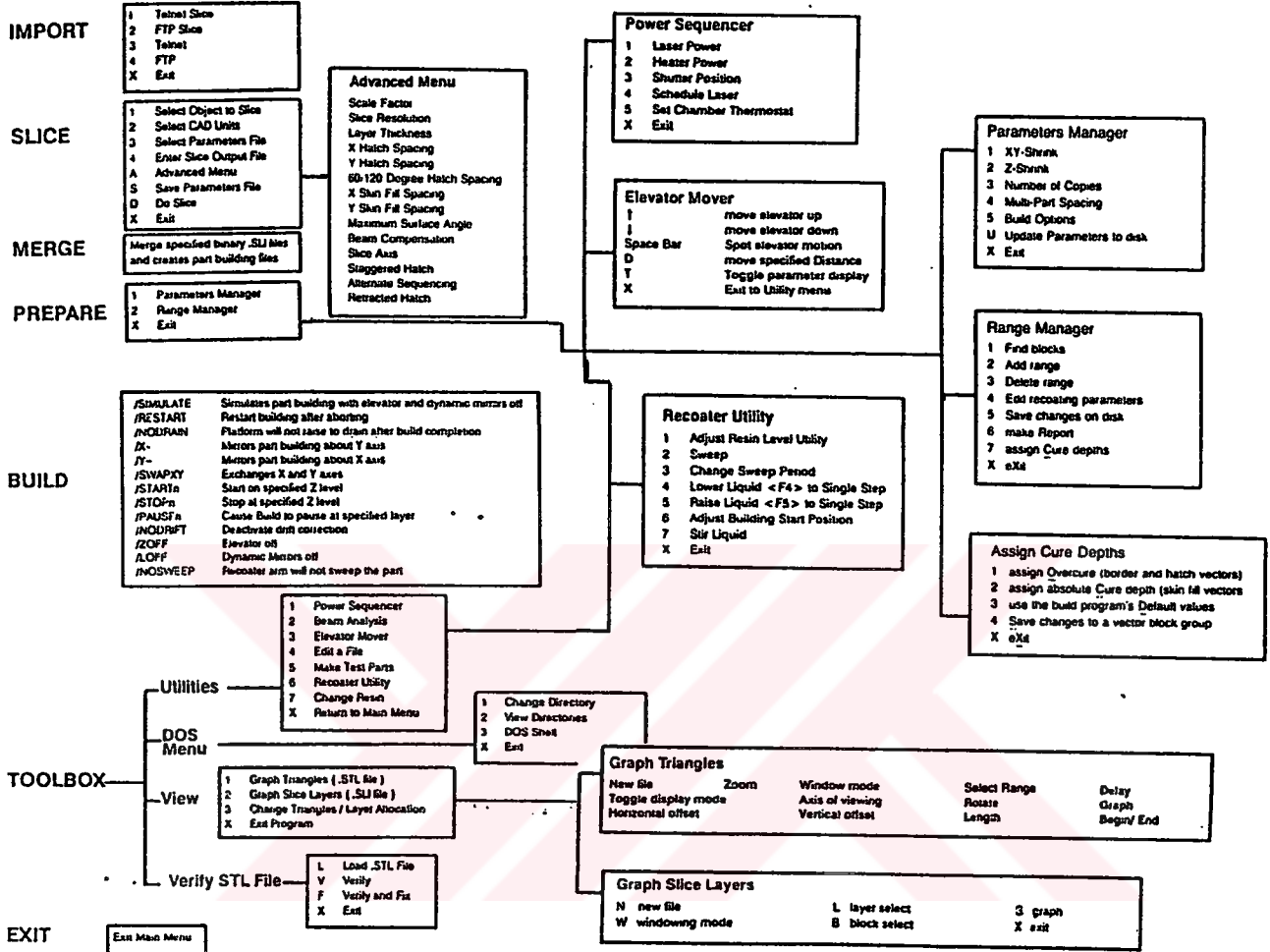
Parça yapımı : Veri işlenmesi, moment kontrolü ve moment senkronizasyonu için sistem tarafından çeşitli parametreler kullanılır. RP sistemleri zarara sebep verecek durumlardan kaçınmak için yazılım ve donanım geri besleme mekanizmalarına ihtiyaç duymaktadır. Çünkü RP sistemleri, bir modelin boyutsal toleranslarıyla beraber tekrarlanabilir bir şekilde yapılması için gereklidir.

Çoğu parça yapım gelişmeleri , yazılımda değişiklikler gerektirmektedir. Değişikliklerin kodlanmasından önce, ihtiyaçlar ve özellikler onusunda bir uzlaşmaya varmak gerekmektedir. Proje uygun bulunduğu , kodlama yapılır ve çeşitli testlerden geçirilir. Son aşama olarak kullanıcılar için kullanım prosedürleri hazırlanır.

5.3.1 Stereolithografi yazılımı

CAD modellerden, tıbbi uygulamalardan, matematiksel model üreticilerinden ya da diğer formlardan gelen bütün parça verileri , STL formatına çevrildikten sonra kesitler halinde dilimlenirler. Eğer veriler dilimlenmiş halde gelirse dilimle adımlama atlanır ve sadece adım bölgelerini hesaplamak için katman karşılaştırma algoritmaları uygulanır. Her bölgenin kategorize edilmesi için gerekli kurallar , çizimdeki vektör ve katmanların ne kadar çok yatay ve dikey ayrımlar oluşturduğuna bağlıdır. Yapım parametreleri parçanın yapım çevrimi için

önemlidir ve bütün parametreler yazılım içinden ayarlanır. Gelecek bölüm , bütün SL parametrelerini listeler ve fonksiyonları hakkında kısa bir özet verir. Şekil 5.6'de SLA-250 (Versiyon 3.82) menü ağacı görülmektedir.



Şekil 5.6 SLA-250 menü ağacı (Jacobs, 1992).

5.3.2 CAD Prosesi

RP sistem yazılımları geniş oranda, çok anlamlı olmayan, belirli parça geometrisi veri tanımlamasına ihtiyaç duymaktadır. Model verisi, kapalı geometri üretimine uygun olmalı ve parçanın iç ve dış yüzeyini ayırt etmelidir. Görüntü CAD dizaynının herhangi bir yerinden yatay kesit alabilmeye uygun olmalıdır. Aynı zamanda parça yüzeyi çevrilebilmelidir.

Tarama çizgileri algoritmaları parça sınırları arasındaki alanları katılaştırın vektörler yaratır. Problemlerle, parça geometrisinin tam olarak kapalı olmadığı durumlarda karşılıklıdır. Bu açık alanlar kayıp yüzeylere sebebiyet vermektedir. Bu sebeple RP sistem yazılımı, boşlukları

nasıl kapatacağını bilmelidir (Jacobs, 1992).

5.4 Parça Yapımına Giriş

Bir RP projesi başlangıcında prototipin kullanım amacı net çizgilerle belirlenmelidir. Eğer gerekli olan bir konsept modelse, yarım ölçekli olarak da üretilebilir. Bir SL parçasının yarım ölçekli olarak üretilmesi, %87 daha az reçinenin kullanılmasına, dilimlenecek, yeniden kaplanacak ve taranacak katman sayısının yarıya düşmesine ve destek ihtiyacının azalmasına sebep olur. Ayrıca maliyetler azaldığı gibi üretim hızı da artacaktır. Bunun yanında çoklu kopyaların üretimi için kullanışlı olacaktır.

Modelin çok küçük olduğu durumlarda ise bir konsept model büyük ölçekli yapılarak mühendislik, dizayn, pazarlama, üretim için daha geçerli hale getirebilir. Özellikle modelin büyük ölçekli olarak üretilmesinden dolayı gözlemlenmesi kolaylaşacaktır. Ancak büyüyen ölçekle destek ihtiyacı oranı da artacaktır. Örneğin 3mm'lik bir parça için herhangi bir destek gerekmezken, ölçek iki katına çıktığında model için destek gerekmektedir.

Eğer model takım üretmek için bir numune olarak kullanılacaksa döküm yolları ya da kalıp ayırım çizgileri CAD modele veya direkt olarak SL modele eklenir.

İnce katmanlar yüksek yüzey kalitesi sağlarken, üretim zamanı arttırmaktadır.

Reçine seçimi : Yapım için malzeme istekleri belirlenir. Bütün reçine tipleri, farklı RP sistemleri için uygun ya da kullanılabilir değildir.

Sistem seçimi : Çeşitli RP sistemleri, farklı hacimsel kapasitelere sahiptir. Eğer model destekler dahil 250mm^3 'ü buluyorsa SLA-250'de üretilebilmektedir. Büyük parçalarda ise model bölümler halinde üretilir ve aynı reçine kullanılarak birbirlerine bağlanır. Bu işlem için CAD model bölümlere ayrılmalı ve bu operasyon için özel STL dosyaları üretilmelidir. Bu STL dosyalarının yaratıldıktan sonra bölümlere ayırlanmamasından dolayı önemli bir konudur. Montajın kolaylaşması için CAD modeli pim delikleri içermelidir.

SLA-500 $500\text{mm}\times 500\text{mm}\times 575\text{mm}$ hacimdeki parçaların üretimine uygundur. SLA-500 aynı zamanda çok sayıda küçük parçayı aynı anda üretebilecek kapasitedir.

Parça dosyasının sorgulanması : Kaliteli SL parçalarının üretilebilmesi için gerekli ana etken, hem model hem destek için geçerli STL dosyalarıdır. STL dosyalarını sorgulamak ve tamir etmek için çeşitli yazılımlar bulunmaktadır. Bu programların işleyiş süresi dosyanın içeriğine ve boyutuna bağlıdır.

Destek STL dosyaları : Kullanılan diğer bir yazılım ise SL parçası için destekler üretir. Bu üretilen STL dosyası işleme geçirilmeden önce analiz edilmelidir. Çünkü destek üreten bu yazılımın bir özelliği, doğru olarak bağlanmamış üçgen yüzeyleri tanımamasıdır. Bu özelliğin bir sonucu olarak destekler uygun bir şekilde üretilemeyebilir. Disk alanı, sorgulanmamış destek dosyaları için sorun olabilir. Çünkü hatalı bir megabaytlık STL destek dosyası, dilimleme süreci boyunca yaklaşık 60 megabaytlık hata dosyası üretmektedir.

Destek dosyalarının CAD prosesi esnasında yaratılması, destek yapının temel gereksinimlerinin kontrol edilmesinin tam zamanıdır. Bütün desteklerin platformla kesişim noktasında minimum 16mm yatay uzunlukta olmalıdır. Yine destek düşey boyutunun 50mm üzerinde olması gerektiği durumlarda , genişliği 16mm'den büyük olmalıdır.

Dilimleme prosesi : SL programı tarafından modelin geometrik olarak tanımlanması için kullanılmaktadır. STL dosyası üçgen yüzey bilgisi katman vektör verisine çevrilir. SL için dilimleme programı, iyi bir sonuç için sadece birkaç karakteristiğe ihtiyaç duyan bir sistem geliştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu çok hızlı konsept model üretimi ya da prototopin fonksiyonlandırılması için önemli bir noktadır.

Dilimleme çözülümü ve dilim birimi : Bir dilim birimi basitçe CAD birimi alanında yazılımın kullandığı değerdir. Yazılım tamsayıya ihtiyaç duymaktadır ve bu yüzden CAD birimi 'dilimleme çözülümü' adı verilen bir değer tarafından bölünür. Bu değer normal olarak her inch başına 1000-10000 dilim birimi arasındadır. Bir parça 2×4.556inch boyutundaysa ve dilimleme çözülümü 1000 ise parça 2000-4556 dilim biriminden oluşur.

Maksimum uygulanabilir dilim birimi 65.535'dir. Bu demek olur ki herhangi bir ekseninde 6.5535 inçten büyük bir CAD değerinde olan parça ya da destekler için dilimleme çözülümü 10.000'den az olmalıdır. Bu parçanın maksimum boyutlarını belirlemede önemli bir noktadır.

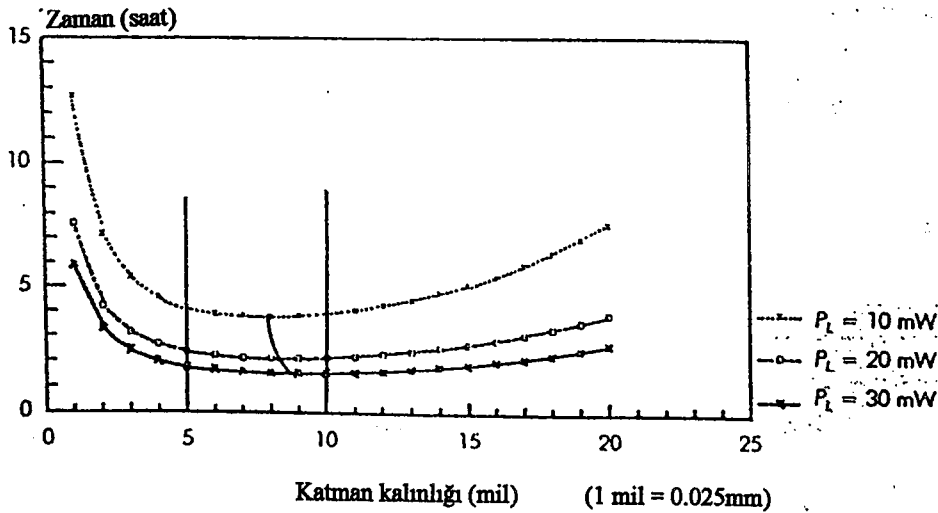
CAD değeri 65.535 inçten büyük olmadıkça, dilimleme çözülümü 1000 değeri ile çalışılır. Bu değer kullanıldığında bütün katman kalınlıkları ve tarama aralıkları 0.001 ile bölünebilecektir. Bu demek olur ki katman kalınlığı 0.0025'' olamaz ama 0.003 olabilir.

Skala : Skala basitçe üretilecek parça boyutları ile CAD model boyutları arasındaki orandır. Skala olarak bir değerinin kullanılması parçanın gerçek boyutlarında, 0.5 değerinin kullanılması ise parçanın gerçek boyutlarının yarısı büyüklüğünde üretilmesi demektir. Aynı zamanda bu skalayla, büzülme kompanzasyonu da yapılabilmektedir. Örneğin dökme demir parça elde edilecek bir kum kalıbı modeli için skala 1.0104'dür.

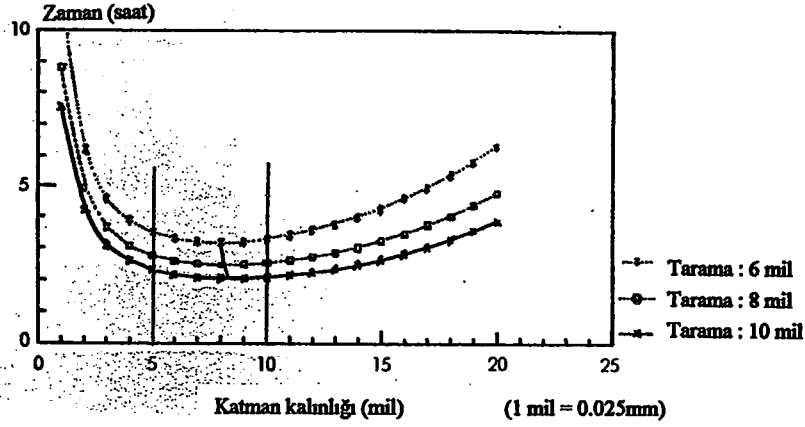
Birkaç SLA yazılımı her üç ekseninde de ayrı ayrı ölçeklendirmeyi sağlayabilmektedir.

Katman kalınlığı : Dilimleme programı üç boyutlu STL dosyalarını iki boyutlu kesitler haline getirir. Aktüel katman kalınlığı asansörün aynı değerdeki adımlarıyla sağlanır. Böylece iki boyutlu kesitler, üst üste gelerek üç boyutlu model oluşturulur.

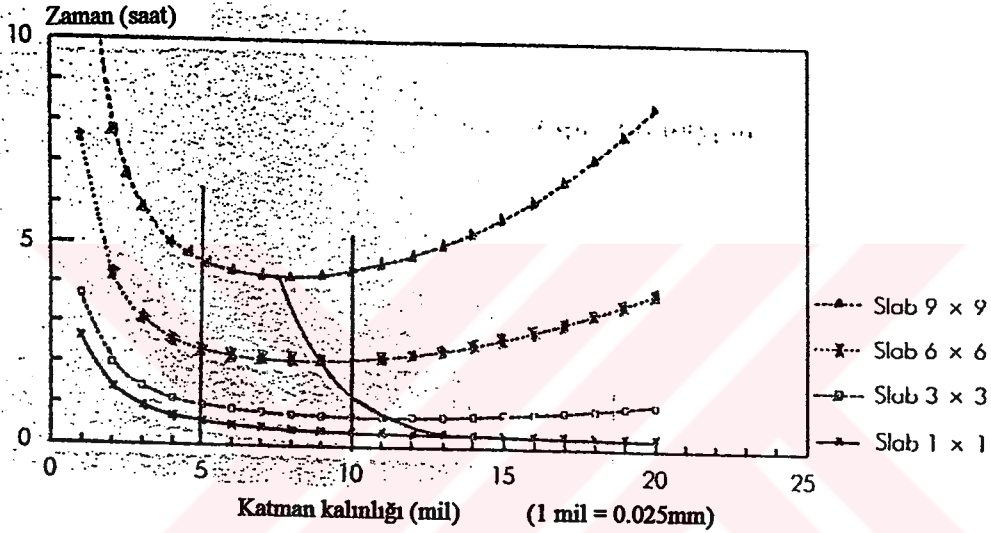
Her dilimin kalınlığı yüzey yapısını, Z eksenini hassasiyetini ve yapım hızını etkiler. Şekil 5.7'de kalın katmanların her zaman kısa üretim zamanına denk gelmediği görülmektedir. Şekilde çeşitli lazer güçlerine göre katman kalınlığına karşılık imalata zamanları görülmektedir. Daha öncede belirtildiği gibi artan ışınlama derinliğinin eksponansiyeli ile lazer tarama hacmi azalmaktadır. Bu sebeple kalın katmanlar lazer tarama zamanını arttırmaktadır. Lazer gücü, reçine duyarlılığı ve taranmış bulunan alana bağlı olarak en hızlı üretilen katman kalınları 0,005-0,10" kalınlığındadır. 0,005" kalınlıktaki katmanlar 0,010" kalınlıktaki katmanlardan daha hızlı üretilirken buna karşılık iki kat daha fazla yeniden kaplama zamanına ihtiyaç duymaktadır. 0,005" katman kalınlığı için tarama zamanı tarama aralığı azaltılarak yarı yarıya düşürülebilir. Tarama aralığının üretim zamanına etkisi Şekil 5.8'de verilmiştir. Şekil 5.9'de ise çeşitli parça boyutları için katman kalınlığına göre üretim zamanları gözlemlenmektedir.



Şekil 5.7 Farklı lazer güçlerinde yapım zamanı süreleri (Jacobs, 1992).



Şekil 5.8 Çeşitli tarama aralıklarında yapım zamanı süreleri (Jacobs, 1992).



Şekil 5.9 Çeşitli parça boyutları için yapım zamanı (Jacobs, 1992).

Aynı zamanda bir parçanın farklı katman kalınlıklarında üretilmesi de mümkündür. Çeşitli kalınlıklardaki katmanların kombinasyon olarak kullanılmasının avantajı, aynı zamanda hem parçanın istenen bölgelerinde yüksek yüzey kalitesinin sağlanabilmesi hem de üretim zamanının düşürülebilmesidir.

Özet olarak çok ince katman kalınlıkları ek masraflar açısından toplamda üretim zamanını arttırırken , çok kalın katmanlar ise tarama aralık boyutları açısından üretim zamanını arttırır.

Şekil 5.7 optimum katman kalınlığı hakkında bilgi vermektedir.

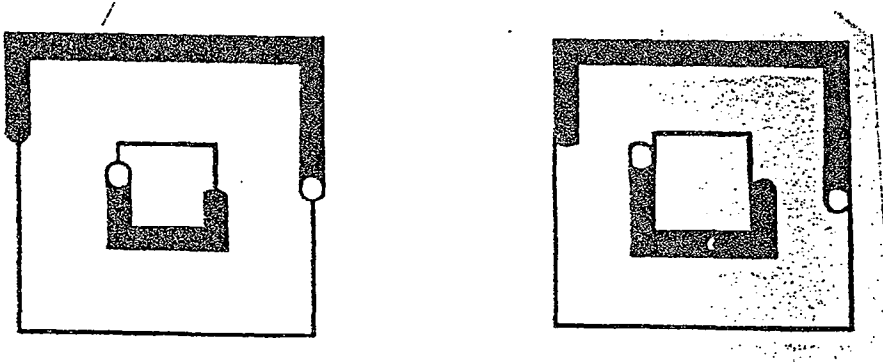
Tarama aralığı : Tarama aralığı basitçe parçanın katılaştırılmasında kullanılan ve sınırlar arasındaki hacim miktarını belirlemeye yarayan değerdir. Tarama yönü çok farklı şekillerde olabilmektedir. Normalde Weave yazılımı X ve Y ekseninin birbirine paralel olduğu stili kullanır.

Tarama aralığı yaklaşık olarak her iki eksen için de 0.011inçtir. (0.010" katman kalınlığı için). Aralık ince katman kalınlıklarıyla çalışırken azaltılmalıdır. (Genelde 0.005" inç katman kalınlığı için yaklaşık olarak 0.009" aralık değeri kullanılır.)

Yüzey doldurmaları : Yüzey doldurma işlemi ile tarama çizgileri arasındaki boşluklar taranarak kapatılır. Bu işlem dış sınır ve iç tarama işlemleri yapıldıktan sonra gerçekleştirilir ve parça hassasiyetini sağlamada önemli bir avantajdır.

Minumum yüzey açısı : Minumum yüzey açısı (MSA) taranan yüzey boşluklarının hesaplanmasını sağlayan bir yoldur. Eğer MSA sıfır olarak ayarlanırsa , o zaman sadece yatay yüzeyler doldurulur. Eğer MSA 50°'ye ayarlanırsa , her tanımlanan üçgen yüzey 50° ya da daha az bir açıyla doldurulur.

Katılaştırılan çizgi kalınlığı kompanzasyonu : Bir fotopolimer yüzeyi bir aktinik lazer dalgasıyla tarandığında, katılaştırılan çizgi kalınlığının genişliği sonludur. Bu kalınlık ışın çapına, katılma derinliğine ve reçine nüfuz derinliğine bağlıdır. Eğer bir STL dosyası bu çizgi kalınlığı etmeni dikkate alınmadan dilimlenirse, parça hassiyeti olumsuz yönde etkilenecektir. Lazer ışını parça sınırlarını tararken, parçanın dış sınırı üzerinde merkezlenecek ve bundan dolayı parça sınırları dışındaki, ışın yarıçapı kadar bir mesafe fazladan katılacaktır. Dolayısıyla parça bütün sınırlarında yarım çizgi kalınlığı büyük olacaktır (Şekil 5.10).



Şekil 5.10 Çizgi kalınlığı kompanzasyonu

Bu sebeple dilimleme prosesinde yaklaşık katılaştırma çizgi kalınlığının bilinmesi, kompanzasyon ve parça hassasiyeti açısından önemlidir.

Dilimleme eksenini : SLA tarafından üretilen dilimleme eksenini, prototipin düşey eksenidir. Destek yapı dosyası üretilmeden belirlenmelidir. CAD prosesi tarafından üretilen Z eksenini gibi zorunlu olan bir eksen değildir. Ancak kullanıldığı takdirde , üretim zamanının ve yeniden kaplama zorluklarının azaltılmasında, destek yapı ihtiyaçlarının minimize edilmesinde, yüzey kalitesini geliştirmede yararlı bir etmendir.

5.4.1 Yapım dosyaları

Yapım dosyaları yapım çevrimi süresince RP sistemine verilen direktiflerdir. Öncelikle bütün gerekli doyalar üretilir ve özel dosyalarla birleştirilir.

SLA-190 ve SLA-250 sistemlerinde birleştirme prosesi DOS ortamında çalışan bir kontrol bilgisayarından sağlanır. Bu bilgisayar yapım çevrimi süresince makineyi yönetir. Üretilcek her parça için dört farklı dosya tipi üretilmektedir.

V tipi dosyalar vektör bilgisini içerir. Her sınır ve tarama vektörü X,Y ve Z koordinatları ile tanımlanan başlangıç ve bitiş noktasına sahiptir. Bu sebeple dosya çok geniş olabilir.

R tipi dosyalar ise dosya içindeki her aralıkla ilgili bilgileri içerir. Aralıklar, aynı yeniden kaplama parametrelerine sahip ve asansör için aynı artış adımlarını kullanan katman grubudur. R tipi dosyaların basit bir görünüşünden, katman kalınlığını, tarama aralığını, seçilen eksenini, skalayı, katlaştırılmış çizgi kalınlığı kompanzasyonunu hesaplamak mümkündür.

L tipi dosyalar ise her katmana ait bilgi içerir. Her katman için her tip vektör listelenir. Yine her vektör tipi için de katman kalınlığı listelenir.

PRM (Parametre) dosyası ise en küçük boyutlu yapım dosyasıdır. Bu tip dosyalar kopya sayısını, kopyalar arasındaki aralık değerini (CAD biriminde), kullanılan büzülme faktörünü ve her kopyanın platform üzerindeki yerleşimini içerir.

SLA-500 ise yapım prosesi boyunca makine kontrolü için basit bir dosya olan 'bff' dosya tipini kullanmaktadır. Bu dosya 'Partman' adı verilen yazılımı tarafından üretilir ve yaklaşık olarak SLA-190 ve SLA-250 yapım dosyalarıyla aynı bilgileri içermektedir. En belirgin farkı taramaların bütün vektör bilgilerinin içermemesidir. SLA-500 dosyaları daha geniş dosyalar olduklarından bu hem dosya boyutunu azaltmakta hem de yapım dosyası hazırlanması için gerekli zamanı azaltmaktadır. Partman programının bir avantajı da bütün bilgilerin basit bir şekilde giriş yapılmasıdır (Jacobs, 1992).

5.4.2 Dilimleme dosyalarının birleştirilmesi

Dilimleme dosyaları birleştirildikten sonra , birleştirilmiş set olarak tanımlanır. Çoğu yapım dosyaları destek ve parça olmak üzere en az iki birleştirilmiş setten oluşur. Bu her birleştirilmiş set için özel tarama parametrelerinin tanımlanmasını sağlar. Bu aynı zamanda birbirinden farklı çok sayıda parçanın aynı platform üzerinde, kendi destekleriyle koordineli bir şekilde üretilebilmesini sağlar.

Yine operatöre her üç ekseninde de parçaların platform üzerinde düzenlenebilmesi serbestisini sağlar. Diğer bir kullanımı da artan parça sayısına karşılık, platform üzerinde optimum yerleştirme olanağı sağlamaktır.

5.4.3 Yapım seçenekleri

Aşağıda belirtilen yapım opsiyonları SLA-190/250 için geçerli olan bazı seçeneklerdir.

- Simulate : Parça yapımının monitor üzerinde simülasyonunun yapılmasını sağlar.
- Start : Parça yapımını belirlenen bir katmanda platform hareket ettirilmeksizin ve ya da reçine seviyesi kontrol edilmeksizin başlatır. Bu yapımın durdurulup, yeniden başlamasına izin verir.
- Stop : Yapımın belirlenen bir katamnda bitirilebilmesine izin verir. Platform seviyesi yükseltilir, parça süzülür ve lazer otomatik olarak kapatılır.
- Pause : Yapımın belirlene katmanda durdurulmasını sağlar. Stop opsiyonundan farklıdır. Çünkü platform hareket etmez ve prosese istendiği takdirde, kalındığı yerden devam edilir.
- Zoff : Yeniden kaplama fonksiyonları etkisiz hale getirilir. Asansör ve reçine sıyrıcısı etkisiz hale getirilirken, lazer tarama işlemine devam eder. Bu birçok destek katmanının , ilave reçine uygulamadan platform üzerinde taranmasını sağlar.
- Loff : Dinamik aynaları etkisiz hale getirir. (Lazeri kapatır.) Bu sadece lazer dalgasını reçineye ulaşmasını önlemek amaçlı değil aynı zamanda lazere klavuzluk görevi yapan doğrultmaların bilgisayarda hesaplanması için gerekli zamanı azaltır.
- Swapxy: X kordinat değerlerini Ykoordinat değerleriyle değiş tokuş edilmesini sağlar. Bir ayna görüntüsü oluşturur ve parçayı 90° çevirir.
- X eksenine göre aynalama
- Y eksenine göre aynalama
- Yeniden başlama

5.5 Bitirme İşlemleri

Bu bölümde bir SL prototipinin elde edilmesinden sonra, uygulanan son dört adım konusunda bilgi verecektir. Bunlar aşağıdaki gibidir.

- 1) Modelin sistemden uzaklaştırılması.
- 2) Modelin temizlenmesi.
- 3) Isıl işlem uygulanması.

4) Modelin desteklerden ayrılarak, yüzeyinin parlatılması.

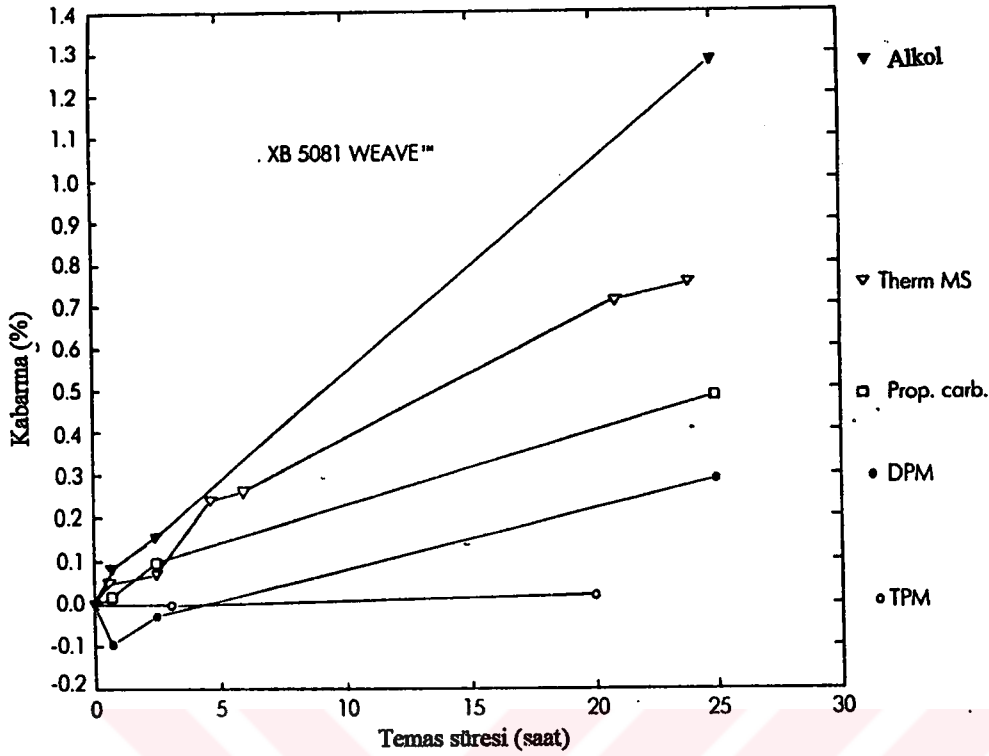
Bu adımlar, model oluşturmak için sarfedilen emeğin sonuçlarının alınmasında kritik noktalardır.

Fotopolimer reçineler ve özellikle akrilik temelli olanlar, yüzey ışmasına sebep olurlar. Bu sebeple, kullanılan kauçuk ya da Neopren eldivenler, parçaların ya da platformun sıvı reçineyle kaplı olmasından aşınmaya uğrar. İsrâfi önlemek için, uzun süre kullanılabilen eldivenlerin tercih edilmesi, kullanılıp atılan eldivenlerin kullanılmasına göre daha ucuza mal olmaktadır. Ayrıca kullanılıp atılan eldivenlere göre uzun süreli eldivenler daha az geçirgen olduğundan daha güvenlidir.

SLA makinesi içerisindeki uçucu reçine komponentleri konsantrasyonu oda içerisinde çok daha fazladır. Bu yüzden SLA cam ya da kapısı, çalışma alanına girmeden önce en az bir dakika açık bırakmak , uçucu gazların çıkışına izin vermelidir. Ya da daha sağlıklı bir yöntem olarak SLA makinesine bir filtreli fan monte edilerek, parça tamamlandıktan sonra ve parça taşıma işlemi başlatılmadan, yaklaşık bir dakika çalıştırmaktır. Bu yolla potansiyel zararlı uçucuların konsantrasyonu azaltılacaktır.

Daha sonra parça ya da platform hareket ettirilerek fazla sıvı reçine sıvı kabına süzülür. Süzme işleminden birkaç dakika sonra, platform ve parça SLA'dan uzaklaştırılmaya hazır hale gelir. Tavsiye edilen metod platform üzerine yerleştirilmiş paslanmaz çelikten yapılmış ve her ucunda tutamak bulunan sığ bir çerçeve kullanmaktır. Bu yolla parça temizleme istasyonuna taban reçine aktmadan ve herhangi bir zararlı durum oluşturmadan taşınır. Diğer bir alternatif yaklaşım ise parça uzaklaştırılmadan, ince ve yüksek emilim özelliğine sahip selüloz kaplamanın platformun alt kısmına yerleştirilmesidir. Bu yöntemin bir dezavantajı selüloz kaplama malzemesinin sıvı reçineyi emdikten sonra zararlı bir atık hael gelmesidir.

Parça temizleme operasyonu prosesin gerekli elemanlarından biridir. Önceleri bir numaralı temizleme eleman olarak alkol kullanılmaktaydı. Fakat daha sonraları alkolün SL parçalarda kabarmalara sebep olduğu görülmüştür. Şekil 5.11'da bu konuda yapılan çalışmaların sonucu görülmektedir. Buradan anlaşılmıştır ki maksimum RP parça hassasiyeti için alkol tavsiye edilen bir parça temizleme çözücüsü değildir. DPM ve TPM çözücülerinin her ikisinin de bütün SL reçinelerine en uygun olduklarına karar verilmiştir. En güvenli olan TPM çözücüsüdür.



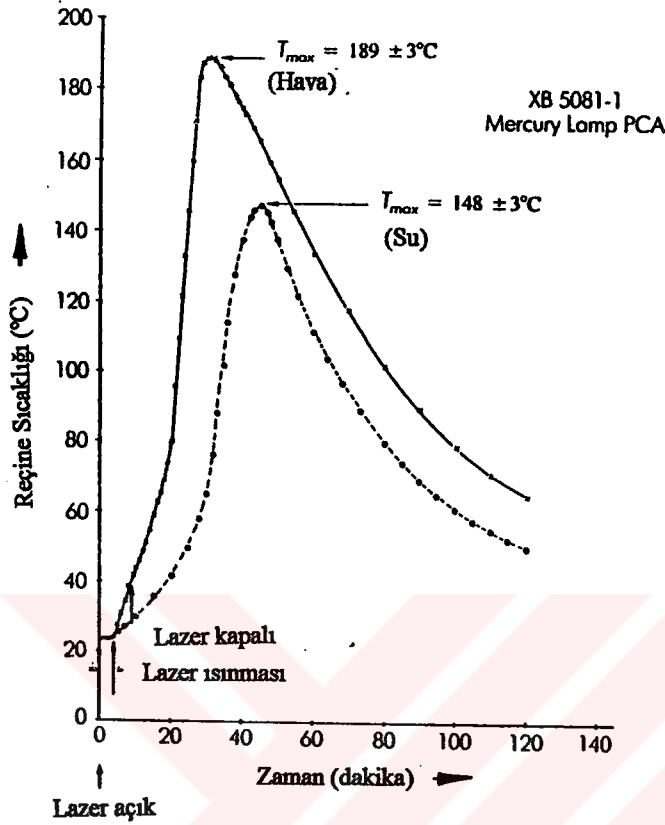
Şekil 5.11 XB 5081-1 reçinesinin çeşitli çözücüler için kabarma oranları (Jacobs, 1992).

Başlangıçta SL için ısı işlem bir numaralı hata kaynağıdır. Sonraları yüksek basınçlı, yüksek ışımalı cıvalı ark lambalarının kullanılmaya başlamasıyla iyileşmeler kaydedilmiştir. Bu yüksek aktinik aktinik UV ışınma düzeyli cıvalı ark lambalarının kullanımında iki problemle karşılaşmaktadır. Birincisi çok kısa nüfuz derinliği ve parçanın birkaç dakika içerisinde aşırı derecede aktinik ışınım dozajına maruz kalmasıdır.

SL reçineleri genellikle iyi ısı iletkenliğine sahip değildir. Aynı zamanda yüksek derecedeki aktinik ışınım oldukça ince bir tabaka halinde parçanın yüzeye yakın kısımları tarafından emilir. Bunların etkisi olarak da reçine hızla polimerize olmaya eğilim gösterir. Yükselen sıcaklıkların sonucu olarak reaksiyon hızlanarak, özellikle ince bölgelerde iç gerilmelere sebep olur.

Bu konuda bir cıvalı ark lambası ve XB-5081-1 reçinesi kullanılarak yapılmış deney sonuçları Şekil 5.12'de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, ulaşılabilen maksimum sıcaklığın havada 189°C ve suda 148°C'dir. Cıvalı ark lambalarının ısınma periyodu yaklaşık dört dakikadır. Lamba toplam olarak on dakika çalıştırılır. Tam ışınma yaklaşık beş dakikalık bir periyod içerisinde gerçekleşir. Ancak reçine maksimum sıcaklığa lamba yakıldıktan

yaklaşık 30 dakika sonraya kadar ulaşmaz. Maksimum sıcaklık değişimi ise lamba yakıldıktan sonra 20-25 dakika sonra gözlemlenmeye başlanır.



Şekil 5.12 XB 5081-1 reçinesi için ısı işlem sıcaklık değerleri (Jacobs, 1992).

Bu bitirme adımlarından sonra sıra parça ve desteklerin birbirinden ayrılmasına gelir. Kırılğan polimerlerde genellikle ayırma işleminde kenarı körleştirilmiş bıçak ve spatula kullanılır. Dayanımı yüksek olan reçinelerde ise destek uzaklaştırma işleminde daha az problemle karşılaşılır. Daha az kırılğan olmalarından dolayı kolay olarak kesilirler. Aynı zamanda bu tip reçinelere frezeleme, tormalama, delme işlemleri de uygulanabilir.

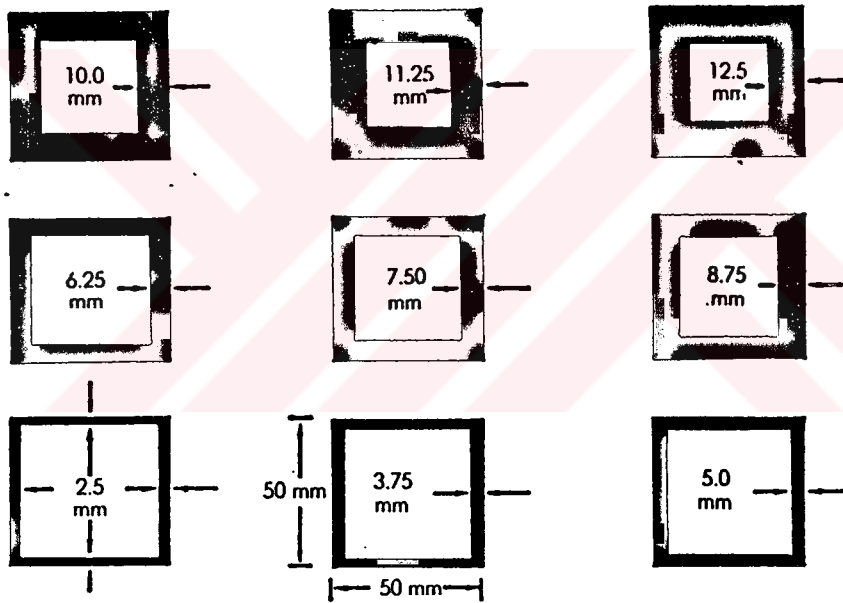
Destekler uzaklaştırıldıktan sonra, modele kum püskürtülerek desteklerle olan bağlantı kısımlarındaki pürüzler düzeltilir. Daha sonra model suya daldırılarak temizlenir ve arkasından basınçlı hava ile kurutulur (Jacobs, 1992).

5.6 Hata Bulma Testleri

SL teknolojisi günümüzdeki yerinin önemli bir kısmını yapılan hata bulma testlerine borçludur. Aşağıda örneklenecek olan testler 3D Systems tarafından SL'de kullanılan reçinelerin ve yapım yöntemlerinin karakterize edilmesi için yapılmıştır.

Her test farklı reçine ve farklı yapım tekniklerini içeren bir matriksten oluşur.

Örneğin SL modelin ısı işleminden sonra oluşan büzülme oranının hesaplanması için 50×50mm'lik et kalınlığı 12,5-2,5mm arasında değişen 9 kutu test numunesi olarak kullanılmıştır (Şekil 5.13). Bütün numuneler SLA'da üretilmiş ve 3 Boyutlu Koordinat Ölçme Cihazı'nda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra numuneler bir saat ısı işleme tabi tutulmuş ve ikinci kez 3 Boyutlu Koordinat Ölçme Cihazı'nda ölçülmüştür. Sonuçlar Çizelge 5.2'de verilmiştir.

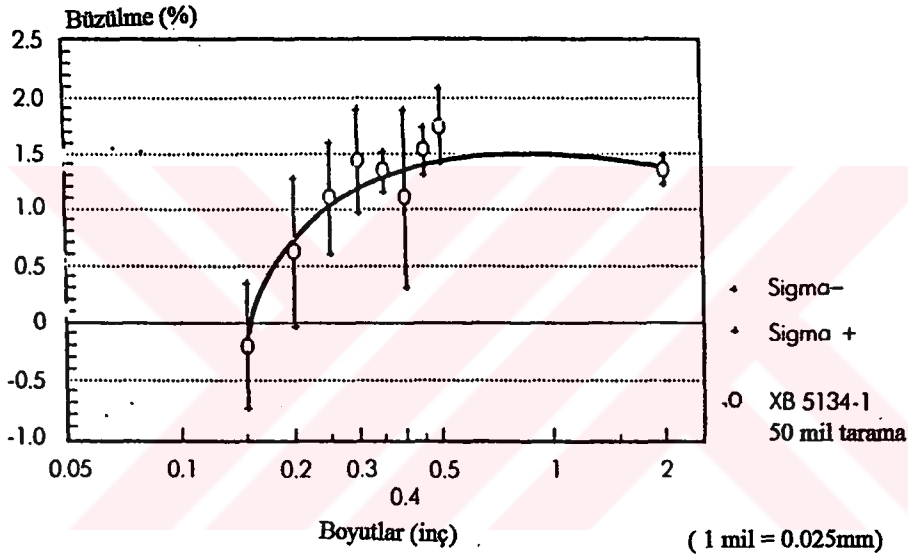


Şekil 5.13 Test numuneleri üstten görünüşleri (Jacobs, 1992).

Büzülme eğrisi lineer boyutların bir fonksiyonudur (Şekil 5.14). Görülmektedir ki büzülme genel olarak uniform değildir fakat yapım stiline çok fazla bağlıdır. Büyük eğriler gösterilmektedir ki ince et kalınlıkları için düşük oranlarda başlayıp, et kalınlığı artışıyla artmakta ve daha geniş boyutlarda yine azlamaya başlamaktadır. Yine görülmektedir ki Weave ve Star parça yapım stilleri bütün reçineler için lineer boyutların fonksiyonu olarak çok daha fazla uniformdur.

Çizelge 5.2 2" üzerinden % büzülme oranları (Jacobs, 1992).

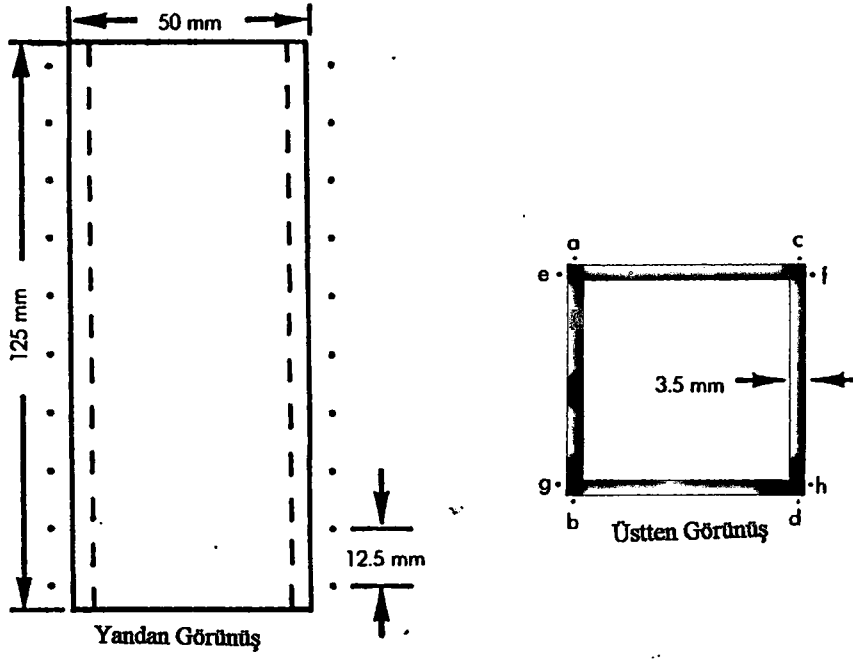
Reçine Tipi	TARAMA TIPLERİ			
	50 Tarama	25 Tarama	11 Weave	11 Star
XB 5081-1	1.20	0.81	0.72	0.56
XB 5134-1	1.34	0.89	0.69	-
XB 5139	1.28	0.83	0.73	-
XB 5143	1.15	0.63	0.24	0.19
XB 5131	1.19	0.59	0.73	0.28



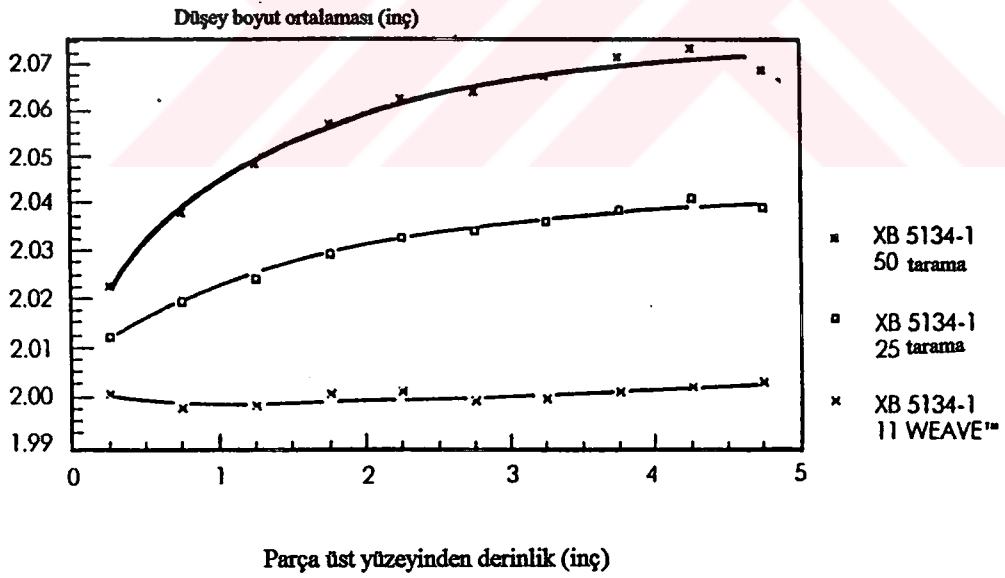
Şekil 5.14 Lineer boyutlara göre büzülme oranları (Jacobs, 1992).

SL numunelerde karşılaşılan kabarma kusuru ise dış katılmış bölgenin içine sıvı reçinenin emilmesi sonucu oluşur. 3D Systems kabarmayı önlemek için 50×50×125mm boyutlarında ve yaklaşık 3mm et kalınlığında bir model kullanır. Bu model Şekil 5.15'de gösterilmektedir.

Model kasıtlı olarak 24 saatlik bir periyot içerisinde üretilir. Bu katmanlar arasında bekleme zamanını ayarlanmasıyla sağlanır. Ölçümler dört kez (a-b,c-d, e-f, g-h) düşey ekseninde her eşit 10 aralık için ölçülür. Her düşey pozisyon için ölçümlerin ortalaması alınır ve parça üst yüzeyinden derinliğe göre bir eğri çizilir. Şekil 5.16'da görüldüğü gibi kabarma eğrisi parçanın üst yüzeyinden itibaren olan derinliğin fonksiyonudur. Sonuçlar göstermektedir ki kabarma yapım stiline ve reçine karakteristiğine bağlıdır. Çizelge'de testlerin sonucu verilmiştir (Jacobs, 1992).



Şekil 5.15 Test numunesi boyutları (Jacobs, 1992).



Şekil 5.16 Kabarma eğrisi (Jacobs, 1992).

Çizelge 5.3 Kabarma oranları (mil/inç) (Jacobs, 1992).

Reçine Tipi	TARAMA TİPLERİ			
	50 Tarama	25 Tarama	11 Weave	11 Star
XB 5081-1	2.2	0.7	0.3	0.2
XB 5134-1	15.2	9.9	2.6	-
XB 5139	3.5	1.2	0.3	-
XB 5143	10.8	4.6	0.7	0.4
XB 5131	1.9	1.8	1.6	0.4

5.7 Makine Hassasiyeti

Makine hassasiyetini hesaplamak için çalışma diğer bütün distorsiyonlardan mümkün olduğu kadar bağımsız tutulmalıdır. Makine hassasiyetinin hesaplanması için bir standart test parçası dizayn edilir. İdeal bir test parçası aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır.

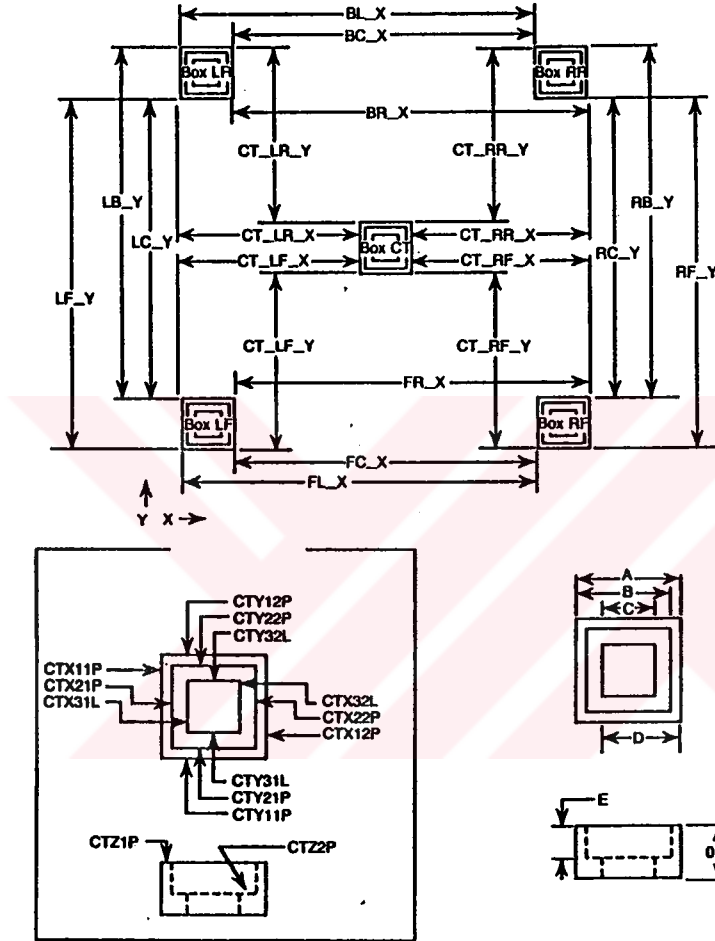
- Üç Boyutlu Koordinat Ölçme Merkezi'nde kolaylıkla ölçülebilmelidir.
- Büyük, orta ve küçük boyut ölçülerini içinde barındırmalıdır.
- Büzülmeden en az etkilenecek bir geometrik yapıda olmalıdır.
- İmal edilmesi uzun zaman almamalıdır.
- Büyük miktarda reçine tüketmemelidir.

Böyle bir parça 3D Systems tarafından ilk defa Nisan 1990'da tasarlanmıştır (Şekil 5.17) Biri platformun ortasında ve diğerleri köşelerde olmak üzere beş adet kutudan oluşur. Bu test parçası SLA makinesi üzerinde hassasiyet ve tekrarlanabilirliğin kurulması için bir veri tabanının geliştirilmesinde kullanılır.

Test parçasının üretiminde aşağıdaki adımlar takip edilir.

- 1) Yapım stili seçilir. (Minumum yapım stresine sebep olduğundan Tri-Hatch yöntemi seçilir.)
- 2) Reçine seçilir (XB5081-1).
- 3) Büzülme faktörü ve çizgi kalınlığı kompanzasyonu kontrol edilir.
- 4) Parça imal edilir.(Normalde 2.5-3 saatte tamamlanır.)
- 5) Parça temizlenir.
- 6) Parça boyutları ölçülür.
- 7) Bu ölçümlerden her boyutun gerçek değerleri hesaplanır.

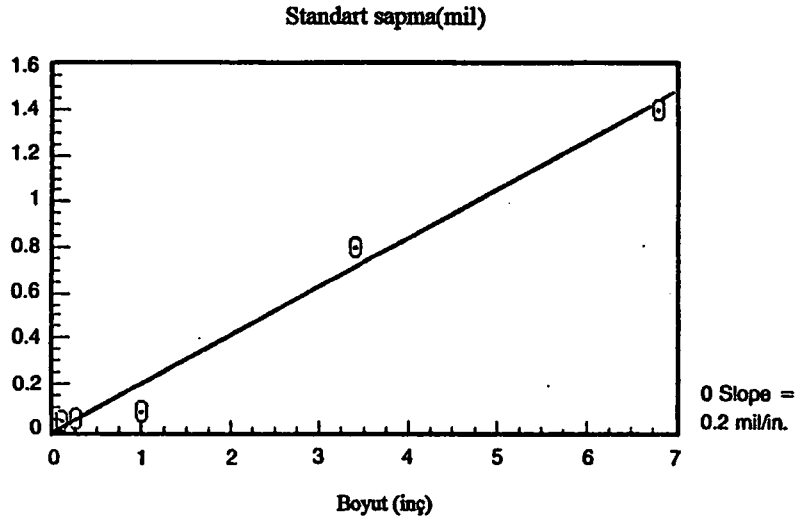
- 8) Nominal değerlere göre ölçümler gruplandırılır.
- 9) Her grup için ortalama ve standart sapma hesaplanır.
- 10) Aynı şekilde 30 test parçası imal edilir.
- 11) 30 adet test parçasının ölçümleri için ortalama ve standart değerler hesaplanır.
- 12) 30 test parçasından alınan veriler için skalamın bir fonksiyonu olarak standart sapma grafiği çizilir.



Şekil 5.17 Makine hassasiyeti belirlemede kullanılan test parçası (Jacobs, 1992).

Yapılan bu çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar aşağıdaki gibidir (Şekil 5.18).

- Ölçümlerin standart sapması aşağı yukarı boyutun uzunluğuyla orantılıdır. Bu yüzden, makine hassasiyetini uzunluğun yüzdesine göre belirleyebiliriz.
- Makine hassasiyeti, genel RP yöntemi hassasiyetinden daha iyidir.
- Makinenin sahip olduğu yüksek hassasiyet kapasitesi özellikle diğer seçeneklerin (yapım stili, reçine sıcaklığı, kalibrasyon vb.) optimum değerlere ulaşmasında kolaylık sağlar.



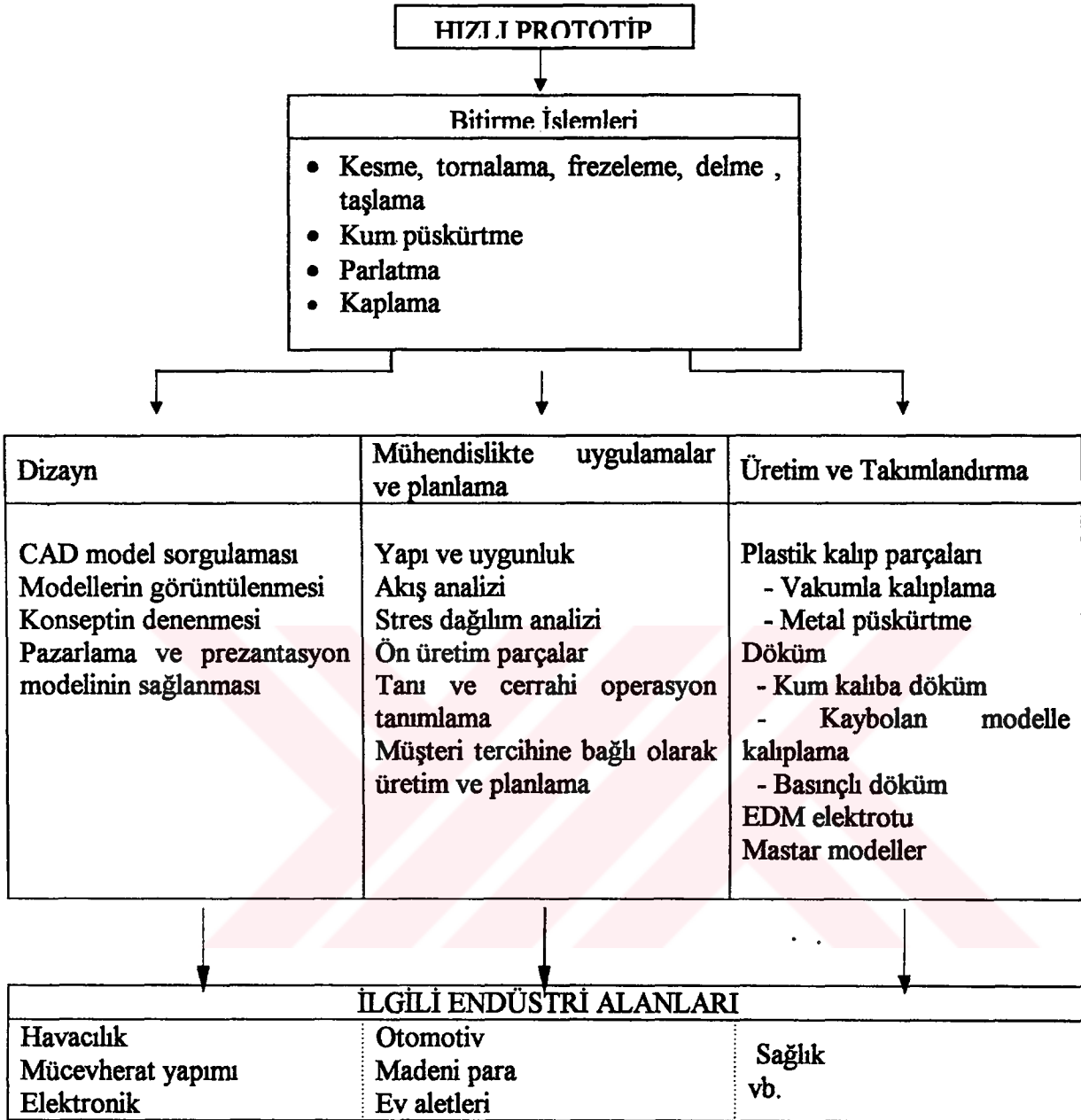
Şekil 5.18 SLA standart sapma oranları (Jacobs, 1992).

6. ÜRETİMDE RP UYGULAMALARI

RP uygulama alanları, prototipin kullanım amacı ve dolayısıyla kullanılan malzemeyle yakından ilişkilidir. RP sistemlerinin ilk gelişim evrelerinde RP modeller sadece görüntüleme amacıyla üretiliyordu. Bu çalışmalar 'Dizayn uygulamaları' olarak değerlendirilmekteydi. Ancak makine fiyatlarının yüksek olması, RP sistem sağlayıcılarını mevcut uygulama alanlarını genişletmeye doğru yöneltti. Amaç RP modellerinin, fonksiyonellik sorgulanmasında, test uygulamalarında hatta takımlandırmada kullanılabilmesini sağlamaktır. Bu uygulamalar başlangıçta 'Mühendislikte uygulamalar, analiz ve planlama' ve daha sonraları 'Üretim ve takımlandırmada uygulamalar' olarak sınıflandırıldı. Günümüz endüstri trendi üretimde kısa zaman periyotları kullanmaktan geçmektedir. Bunun sonucu olarak ürün gelişim çevrimi kısalmıştır. Bu RP'nin endüstriye sağladığı yarardır. Üretim prosesinde takımlandırma önemli bir alandır. Bu son derece pahalı olduğu gibi aynı zamanda da zaman kaybının yüksek olduğu bir alandır. Takımlandırmada komplekslik arttıkça sonuç olarak operasyonun zaman ve maliyeti de artmaktadır. Hızlı takımlandırma için ideal operasyon bilindik metodlarla takımı geliştirmenin zor olduğu durumlarda ortaya çıkar. Çizelge 6.1'de RP parçalarının tipik uygulamaları görülmektedir (Yarlagadda vd., 1999).

RP modellerine uygulamalarda kullanılmadan önce bitirme işlemleri uygulanmaktadır. Kesme işlemi, özellikle destek veya fazla parçaların uzaklaştırılmasında, ölçü ya da toleranslarda işleme sırasında ve sonrasında oluşabilecek sapmalarda, istenen şeklin üretiminin yapılamaması gibi durumlarda uygulanır. Kum püskürterek temizlemek ya da aşındırıcı jet çapak alma işlemleri daha iyi yüzey kalitesi elde edebilmek için gerçekleştirilen uygulamalardır. Yüzey kaplamalarının amacı ise özellikle plastik olan modellerin yüzey kalitesini iyileştirmektir. Boyama ise pazarlama ya da reklam amaçlı olarak plastik ya da kağıt bazlı modellerde tercih edilen bir yöntemdir.

Çizelge 6.1 RP modellerin tipik uygulama alanları



6.1 Döküm Endüstrisinde RP Uygulamaları

3 boyutlu CAD sistemlerinin döküm endüstrisine girmesinden dolayı takım dizaynında RP, giderek güvenilir ve hızlı bir döküm dizaynı sorgulama yöntemi olmuştur. Döküm tekniğinde konvansiyonel yol kalıbın konstrüksiyonunu ve metal sıvının kalıp boşluğuna dökülmesini içerir. Bu yöntemde çoğu zaman şeklin geometriksel ve fonksiyonel anlamda eksiksiz olarak üretilmesi için deneme modeller üretilir ve bu da oldukça uzun zaman alan bir süreçtir. Döküm yönteminde RP yönteminin kullanılması ise metal döküm prototip obsiyonunu

geliştirerek üretim zamanını kısaltır. Kaybolan modelle kalıplamada RP modellerin master olarak kullanılması, maliyetleri düşürdüğü gibi takımlandırma süresini de azaltacaktır.

Döküm endüstrisi için bir döküm komponentinin tamamen üretime geçilmeden sorgulanması üretim zamanı ve toplam maliyetlerin düşürülmesinde çok önemlidir. Eş zamanlı mühendislikle kombine edilmiş RP yöntemi, numune üzerindeki uygunsuzlukların önceden belirlenmesinde, ürünün dizayn çevrimi içerisinde çabuk çıkmasında yararlar sağlamaktadır. Bir ürünün temel dizaynının değiştirilmesinin maliyeti, dizayn gelişim çevrimi içerisinde ilerledikçe artmaktadır. Çizelge 6.2’de de görüldüğü gibi bir döküm parçasının üzerinde dizayn süresince bir değişiklik yapmanın maliyeti 100\$ iken üretime kadar beklenildiğinde ise 100.000 \$ veya daha fazlasına çıkmaktadır.

Çizelge 6.2 Konsept modelden ürüne kadar gerçekleşen çevrimde değişiklik maliyetleri

Kavramsal modelleme	10 \$
Ayrıntılı dizayn	100 \$
Prototip/ Test	1000 \$
Üretim	10000 \$
Ürün	100000 \$

Döküm prosesinde çeşitli RP sistemleri kullanılabilir. Erimiş Birlik Modelleme (FDM) ile üretilmiş plastik prototipler, kaybolan modelleme kalıplama tekniğinde balmumu modellerin elde edilmesinde kullanılmaktadır. İnce et kalınlığına sahip parçalar için ideal bir yöntemdir.

Lamine Parça Üretimi (LOM) yöntemi ağır duvarlara sahip geometriler için uygun bir yöntemdir. LOM tekniğinde ısıya duyarlı yapıştırıcı kaplanmış kağıt kullanılmasıyla elde edilen ahşap benzeri yapıdaki prototipler, dökümde model olarak kullanılmaya elverişlidir. Aynı zamanda bu yapı dökümde kullanılan maça kalıpları için de uygundur. Bu teknik uygulama alanının genişliğiyle ve ekonomik malzeme kullanması sebebiyle döküm teknolojisinde önemli yer tutar.

Seçici Lazer Sinterleme (SLS) yöntemi dökümde yaygın olarak alt oyulmuş geometrilerde tercih edilir. Çünkü modeldeki sinterlenmemiş malzeme destek yapı görevini üstlenmiştir ve destek yapıya gerek kalmaz. SLS aynı zamanda kum kalıpların ve maçaların takımsız üretiminde reçine kaplı kuma da uygulanabilir.

Katı Zemin Oluşturma (SGC) ise çoklu parçalardan oluşan modellerin üretiminde etkilidir.

Stereolihitrografi (SLA) ise hızlı döküm sistemlerinde balmumu model yerine kullanılabilir. Bu metotta SLA numuneleri bir petek iç yapısıyla oluşturulur. Bu yöntem hassas model elde edilmesinde oldukça etkilidir ki bu da şok ateşle yakma prosesi süresince seramik kabuk zararlarını minimize eder.

Üç Boyutlu Yazdırma (3DP) yöntemi ise ofis ortamında mühendislere hemen model sağlamak için hızlı bir şekilde kavramsal ve dış görüntüleme için modellerin elde edilmesinde kullanılır. Bu sistem diğer RP proseslerine göre 10 kat daha hızlıdır. Ancak parçanın kırılabilirliği ve kaba boyut toleransları dezavantajlarındandır.

Direkt Kabuk Kalıp Yöntemi (DSPC) bir CAD veritabanından direkt döküm kalıplarının elde edilmesinde kullanılır. Bu takımsız kalıplama prosesi oldukça hızlıdır. Tek dezavantajı Z eksenini basamaklandırmasıdır. Metalin seramik kalıba döküldüğü giriş alanları hareket edebilir. Bu metalin kalıba adım adım dökülme oranı küçük çaplı boru maça yerleşimleri ile sınırlandırılabilir.

Bütün bu metodların arasından yapılacak döküm yöntemine göre RP yöntemi belirlemek de bilinmesi gereken bir alandır. Dökümde bilgisayar destekli simülasyonların avantajlarına rağmen birçok üretici hala üretime geçmeden önce test edebilmek için döküm prototipine ihtiyaç duymaktadır. Bu durum da sık sık istenen üretim zamanına ulaşmayı engellemektedir.

Kısa süreli metal döküm üretimi için uygun RP ve metal döküm prosesi arasında en iyi kombinasyonu sağlamada kriterleri malzeme, döküm sayısı, boyut ve yüzey hassasiyeti, mekanik özellikler, süre , parça geometrisi oluşturur. Öncelikli olarak RP ile kaybolan modellerle kalıplama ve kabuk kalıplama kullanılması üretim zamanını kısaltmaktadır.

Kaybolan modellerle kalıplama ve RP'nin anahtar elemanı, bir kaybolabilen model (mum ya da köpük) ve bu modelin direkt olarak takımlandırmaya ihtiyaç duymadan bir veri tabanından direkt üretilmesidir. Bu proses bütün metallerin dökümüne uygundur ve elde edilen yüzey hassasiyeti diğer yöntemlerle karşılaştırılabilir değerdedir. Ancak maliyet kaybolan modellerle kalıplamanın metoduna göre değişir. Çünkü RP modeller diğer konvansiyonel yolla elde edilen modellerden daha pahalıdır. Direkt metod sayılar ve dizayn değişimi gerekliliği düşük olduğunda ekonomiktir. SLA döküm modelleri, direkt kaybolan modellerle dökümde kullanılan en bilindik yöntemdir. FDM yöntemi de SLA'ya benzer sonuçlar vermektedir. Her iki yöntem de üretim zamanını ve modelin uzaklaştırılmasında karşılaşılan kabuk zararlarını minimuma indirir.

İndirekt kaybolan modelle kalıplama yönteminde ise balmumu modellerin yapımında geçici modeller kullanılır. Geçici takımlar RP ile üretilebilir.

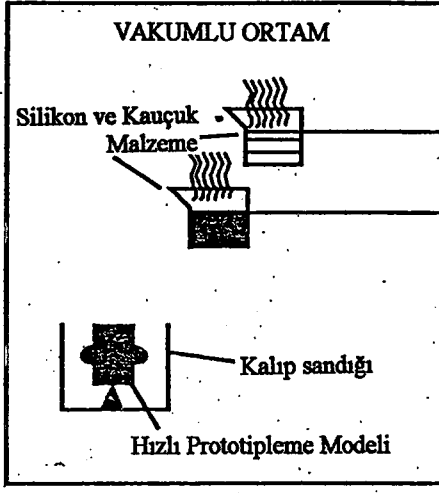
Kum kalıba döküm yönteminde ise RP numuneleri model olarak yeterli derecede dayanıklılık sağlamaktadır. RP ile elde edilen maça sandıkları, maça yapımında kullanılabilir. LOM ile elde edilmiş modeller yaygın olarak RP ekipmanının çalışma alanının genişliğinden (32×22×20 inç) dolayı kum kalıp modelleri yapımında tercih edilir. SLA, SLS, FDM, ve SGC modelleri kalıplama prosesi süresince dikkatli davranmanın gerektiği proseslerde kullanılır. Kum kalıplar ve maçalar SLS yönteminde malzeme olarak reçine kaplı döküm kumunun kullanılmasıyla direkt olarak üretilebilirler. Döküm parça fiziksel ve mekanik özellikler açısından, kum kalıba dökülenle aynıdır. Bu proses maçaların kalıba entegre bir şekilde üretilebilmesine imkan sağlar. Şimdiye kadar maliyetten dolayı RP kum kalıp ve maçaların kullanımı kompleks geometrilerle sınırlıydı. RP kum kalıp prosesleri kompleks parçalarda konvansiyonel yoldaki 8-12 haftalık üretim zamanını 1-2 haftaya düşürmektedir.

Alçı döküm ise RP modellerin kullanılabildiği diğer bir tekniktir. Bu proses model üzerine sıvı alçının dökülmesinden ibarettir. Alçı sertleştiğinde model kalıptan ayrılır. Kalıp kırıldığında, metal vakumlama tekniği kullanarak kalıba dökülür. Alçının özelliklerinden dolayı sadece çinko, alüminyum ve pirinç alaşımları bu süreçte kullanılabilir. Bu sıcaklık sınırlamasından dolayı detayların üretilmesinde yetenekli olması, iyi yüzey kalitesi vermesi ve boyutsal toleranslarının ve tekrarlanabilirliğinin iyi olmasından dolayı tercih edilmektedir.

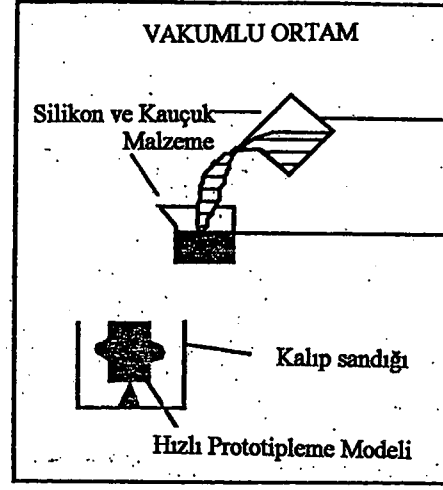
Alçı kalıba döküm prosesi takım gereksinimlerinden dolayı kum kalıp prosesine benzemektedir. Bu yöntemde kullanılan takımlar alçı malzeme içerisindeki nemden etkilenmemelidir. Bu sebeple LOM modelleri alçı kalıba döküm prosesinde direkt olarak kullanımında tavsiye edilmez. Alçı kalıp, kum kalıptan daha az aşındırıcı özelliğe sahip olduğundan, model üzerinde daha az aşınma sağlar. Nemden etkilenmeyen SLS, FDM, SLA ve SGC yöntem modelleri alçı döküm için uygundur (Gustafson, 1999).

Vakumlu dökümle silikon kalıp yapımı bu konudaki diğer uygulamalardan biridir. Silikon kalıplama plastik prototipler ve alçı kalıp yapımcıları için uzun yıllardan beri elverişli bir yöntemdir. Özellikle yüksek kararlılık özelliğine sahip master model ayrıntılarının kolaylıkla silikon kalıp boşluğuna kopya edilebilmesi ve parçanın kalıp boşluğundan ayrılmasında karşılaşılan problemlerin en aza indirilmesi bu yöntemin avantajlarından (Kai ve Fai 1997).

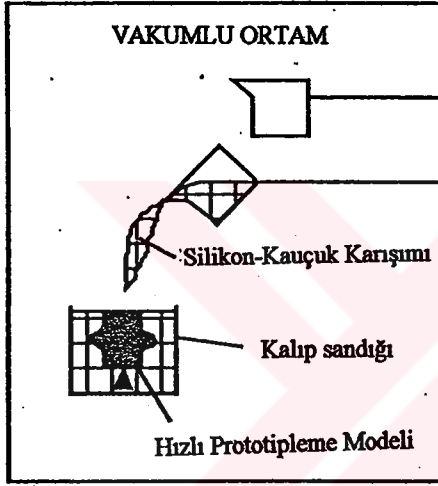
RP modellerin master olarak kullanıldığı, silikon-kauçuk kalıpların yapımı Şekil 6.1.a'dan Şekil 6.1.i'ye kısaca özetlenmiştir.



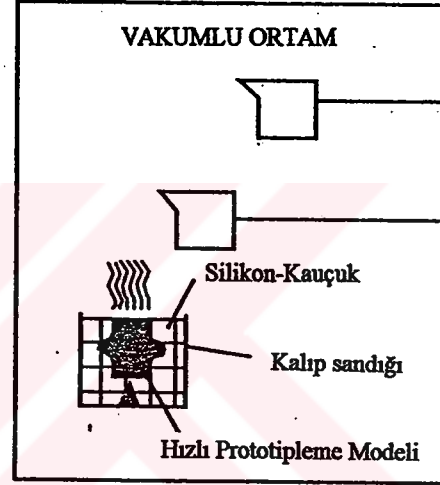
Şekil 6.1(a) Vakumlu kalıplamada ilk adım silikon ve kauçuk karışımlarının vakum odasında gazlarının alınmasıdır.



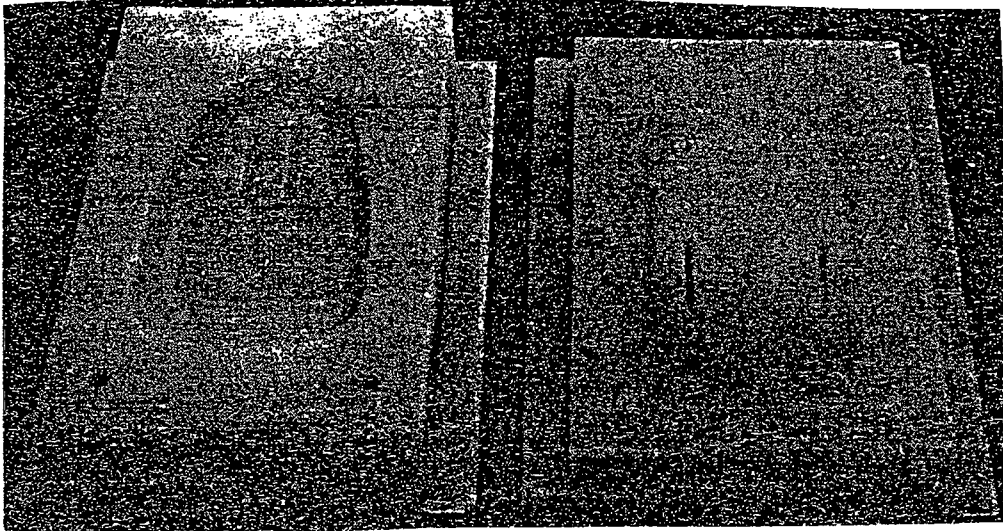
Şekil 6.1(b) Gaz alma işleminden sonra , silikon ve kauçuk malzeme karıştırılır.



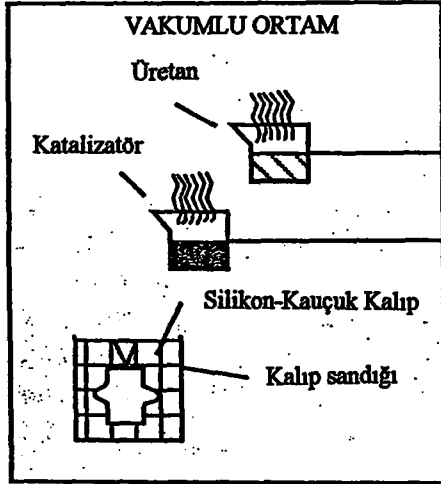
Şekil 6.1(c) Gaz alma ve karıştırma işleminden sonra, elde edilen karışım kalıp kutusu içerisindeki RP model üzerine dökülür.



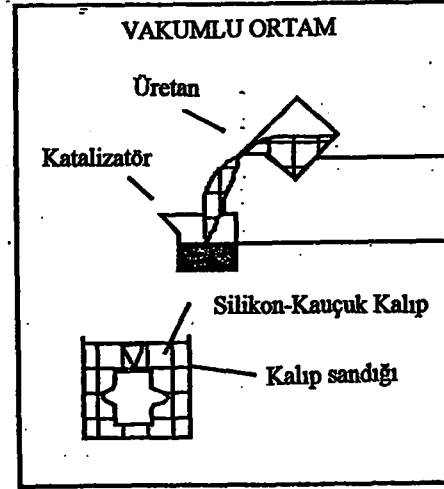
Şekil 6.1(d) Kalıp yine gaz alma işlemine mazruz bırakıldıktan sonra ısı işlemine sokulur.



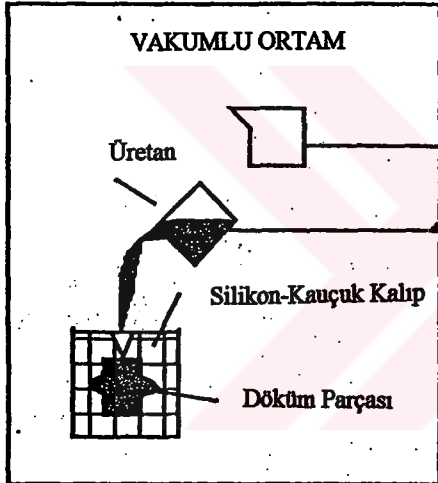
Şekil 6.1 (e) Isıl işlemden sonra kalıp iki parçaya ayrılır ve RP master model uzaklaştırılır.



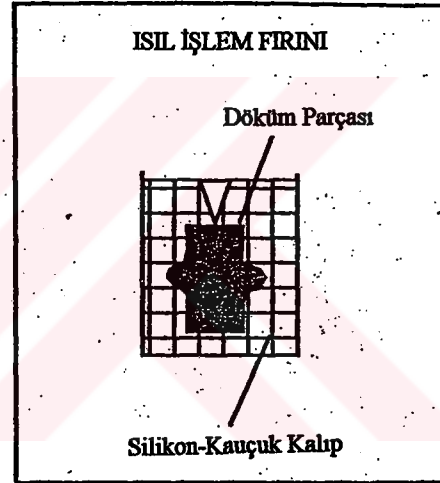
Şekil 6.1(f) Kalıp yeniden tek parça haline getirilir ve ürethan ve katalizatör gaz alma işlemine maruz tutulur.



Şekil 6.1(g) Ürethan ve katalizatör avkum odasında karıştırılır.



Şekil 6.1(h) Karışım kalıp boşluğuna dökülür.



Şekil 6.1(i) Kalıp vakum odasından alınarak , 140-150°C'de 2-3 saat ısıtım fırınında bekletilir.

6.2 EDM Elektrotu Üretiminde RP Uygulamaları

Takımlandırma RP uygulamalarına örnek bir operasyon, elektrolizle şekillendirmede kullanılan elektrotların üretimidir. EDM'de kullanılan takımlar genelde CNC makine kullanarak bakır ya da grafit profilin işlenmesiyle oluşturulur. Üretilen elektrotların maliyeti genelde geometrinin kompleksliğine ve gerekli hassasiyete bağlı olarak değişmektedir. Uniform ölçülü elektrotları üretmek çok daha ucuzdur. Kompleks üç boyutlu elektrotlar, işleme, döküm, elektrolizle şekil verme yada metal püskürtme yöntemlerinden biriyle

üretilebilirler. EDM elektrotlarının üretiminde RP teknolojisi kullanarak kompleks şekilli prototiplerin yapımındaki problemler basite indirgenir, daha kısa zaman harcanır ve maliyet düşürülür. Bu yola elle müdahale minimuma indirilir (Zaw vd.,1999).

EDM elektrotlarının üretilmesi RP için bir potansiyel uygulamadır. 3D Systems tarafından EDM elektrotu üretimi için birkaç metod üretilmiştir. Bir metal tozu ve bağlayıcı karışımı bir solventle beraber SL tekniği ile üretilmiş bir silikon negatif üzerine dökülerek kalıp elde edilir. Solvent buharlaştırıldıktan sonra bağlayıcının yanması için kalıp sinterlenir. Elde edilen gözenekli yapı bakırla kaplanır. Bu yöntemle elde edilmiş takım çok iyi yüzey kalitesi verir. Tek dezavantajı parçanın sinterleme süresince gösterdiği büzülme eğilimidir. Bu sebeple proses küçük takımlarla sınırlıdır.

Metal püskürtme ve SL numunelerin elektrolizle kaplanması diğer yöntemlerdir. SL numune direkt olarak ince bir bakır tabakasıyla kaplanarak elektrot olarak kullanılabilir. Bir grup araştırmacı bir metal alaşımın RP tekniği ile üretilmiş bir kalıba püskürtülmesine dayanan bir proses geliştirmiştir. Bu işlemde sonra metal kısım ayrılır ve üzerine düşük erime noktasına sahip bir alaşım kaplanarak parçanın negatifi elde edilir. Bu negatif içine bakır püskürtülerek ince bir kabuk oluşturulur.En son düşük erime noktalı alaşım uzaklaştırılır. Dezavantajları prosesin hantal olması ve takım yapımında harcanan zamandır.

SL numunelerinin elektrolizle kaplanması yönteminde ise SL parçası öncelikle iletken bir cilayla kaplanır. Daha sonraki aşamada ise elektroliz yoluyla üzerine bakır çökertilir. Elde edilen elektrot SL numunesinden ayrılabilir ve makinede işlenebilir. Proses pahalı olmamasına rağmen zaman kaybı büyüktür (Yarlagadda vd., 1999).

6.3 Tıp Endüstrisinde RP Uygulamaları

RP'nin tıp uygulamaları karşılaşılan sağlık problemlerinin daha iyi bir şekilde çözümlenebilmesini sağlarken hem zaman hem de para açısından tasarruf sağlamaktadır. RP'nin gerçek roller aldığı birkaç etkin çalışma aşağıda anlatılacaktır.

Şakaklarında bir kanserli kemik tümörü içeren hasta için cerrahın beynin yüksek derecede fonksiyonellik taşıyan bu alanından ameliyat için giriş yolu açması gerekmektedir. Bu durum belki de hastanın bir göz görüşünü ve bazı beyin fonksiyonlarını kaybetmesine neden olacaktır. Fakat cerrah tümöre ulaşmak için RP'nin getirdiği avantajları da gözönüne alarak giriş için çene kemiğini kullanmıştır. Bu sayede hastanın görüş ve motor fonksiyonlarına zarar verme riski ortadan kaldırılmıştır. Operasyonun gerçekleştirilmesini sağlayan ana

etkense giriş yapılmadan hastanın kafatası yapısının CT taramasıyla veri haline getirilmesi ve operasyonda zarar gören gerçek çene kemiği yerine tarama verilerine göre stereleohitrografi ile elde edilen yapay çene kemiğinin kullanılmasıdır.

Bu çalışma RP prototiplerinin tıbbi alandaki performansının belirlenmesinde önemli ve başarılı bir örnektir. Kemik tümörleriyle ilgili bu tür çalışmaların hepsi başarıyla sonuçlanmıştır. Bu çalışmada tıbbi maliyetler düştüğü gibi operasyon süreci ve aynı zamanda da enfeksiyon riski azaltılmış olacaktır.

Yine başka bir uygulama örneği ise trafik kazasında kafa travmasına bağlı olarak orbital kırık taşıyan bir hastaya yapılan tedavi uygulamasıdır. Hastaya ilk etapta omuz kemiğinden alınmış bir parça nakledilir. Ancak istenen sonuca ulaşılamaz. İkinci müdahalenin yapay kemikle yapılmasına karar verilmiştir. Ancak geleneksel yöntemle yapay kemiğin yerine tam oturtulabilmesi için törpülenmesi ve yerine alıştırılması gerekmektedir. Bu hem zahmetli hem zaman alıcı hem de riskli bir yöntemdir.

RP yöntemi kullanarak hasta kafatasının SLA modeli yapılır ve yapay kemik en uygun hale getirilir. Daha sonra çok kısa süren bir operasyon ile bu parça hastaya basit ve zahmetsiz bir şekilde nakledilir. Bu yeni teknoloji ile yalnızca zaman tasarrufu yapılmamış, yüksek hassasiyet de sağlanmıştır (Jacobs, 1992).

6.4 Hızlı Takımlandırmada RP Uygulamaları

Hızlı takımlandırma üretim mühendislerinin ilgisini çeken ve gelişimi hızla devam etmekte olan bir konudur. Hızlı bir şekilde prototip üretimi ve üretim seviyesinde takımlandırmadan ibarettir. Bu konuda birçok yaklaşım vardır. Firmalara göre değişen bu yaklaşımların herbirinin kendine göre sınırlama ve kapasiteleri vardır. Hiçbiri henüz sürekli olarak hızlı iş bitirme zamanına sahip değildir ve malzeme kompozisyonu ve maksimum parça boyutları söz konusu olduğunda tercih edilmez. Bu konuda hizmet veren firmalar ve çalışmaları aşağıdaki gibidir.

CEMCOM : Bu firmanın nikel-seramik kompozit malzemeli takımlandırma prosesi (NCC), köprü üretiminde ve plastik enjeksiyon ve kompresyon kalıpları için kısa sürede takım üretimi için amaçlanmıştır. CEMCOM araştırma ve geliştirme direktörüne göre nikel-seramik kompozit takımlandırma teknolojisi benzer kalıp setlerinin üretimi için bir potansiyeldir.

Firmanın prosesinde takımların üretiminde plastik RP modeller numune olarak kullanılır. Takım geometrisini yaratmak için nikel doğrudan RP model üzerine elektrolizle çöktürülür ve nikel malzemeli kabuk kalıplar, CEMCOM patentli bir kimyasal bağlı seramik malzemeyle kaplanır. Bu malzemenin mukavemeti oldukça iyidir ve büzülme katsayısı düşüktür. 10×10inç'den büyük parçalar için uygunluk göstermektedir. Hassasiyet ise RP numunenin hassasiyetiyle orantılıdır.

PHAST : Fazla tanınmayan bu sistem, Procter&Gamble firmasından Jim Tobin tarafından geliştirilmiş ve Plynetics Express firması tarafından lisansı alınmıştır. Schaumburg'da büyük bir servis bürosu bulunmaktadır. Bu proses kaybolan modelle kalıplamaya benzer bir şekilde seramik çamurunun RP model üzerine dökülerek seramik bir kabuk kalıp elde edilmesinden ibarettir. Daha sonra seramik kabuk %50 çelik tozu ve %50 hava içeren karışımla doldurulur. Oluşan gözenekler ise toz metal üzerine pozisyonlanan bakır malzemenin özel bir bir fırınlama işlemiyle süzdürülmesiyle doldurulur.

DİNAMİK TAKIMLANDIRMA : Dinamik Takımlandırma firmasının başkanı Paul Vawter 'poliçelik' olarak adlandırdığı bir hızlı takımlandırma prosesi geliştirmiştir. Bu proseste %90 çelik ve %10 oranında epoksi içeren kalıplar, bir RP numune kullanarak üretilmektedir. Proses alt boşaltmalar içerir ve küçük detaylar kopyalanabilir çünkü oluşan kalıp yüzeyi RP numunesinin bir ayna görüntüsüdür. Büyük ölçüde numuneye bağlı olan hassasiyet inç başına $\pm 0.001 - 0.002$ inçdir. Tekrarlanabilirlik ± 0.0005 inçdir.

Poliçeliğin çok iyi ısı iletkenliğe sahip olmasından dolayı enjeksiyon kalıplama çevrim zamanı makineyle işlenmiş çelik kalıpla hemen hemen aynıdır. Şimdiki iş bitirme zamanı kalıplar için 10-15 gündür. General Motor'dan Tom Greaves, bu teknolojinin birçok olumlu özelliği olduğunu belirtmektedir. Bu teknolojiyi bir parçanın 250 kopyasını kalıplamak için kullanmışlardır. Boyutlar $1 \times 3.75 \times 6.5$ inç olup, malzeme olarak polipropilen, ABS ve %30 oranında cam takviyeli naylon kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonrasında kalıp girişlerinde herhangi bir erezyon gözlemlenmemiştir.

DTM : Bu firmanın 'RapidSteel' prosesi , prototipler için ya da üretim öncesi takımlandırma uygulamalarında kullanılmak üzere kalıp parçaları yapmayı amaçlayan bir toz metal teknolojisidir. RapidSteel 2.0 versiyonunda ana malzeme olan paslanmaz çeliğin yerini karbonlu çelik almış ve ikinci malzemenin bakır yerine bronz malzeme almıştır. Bağlayıcı sistem de değişikliklere uğramıştır. Buna ek olarak daha ince katmanların üretilmesine olanak sağlayan daha küçük metal tozları kullanılmaktadır. RapidSteel prosesi ile üretilmiş, kalıp parçaları ısı işlem fırınında bekletildikten sonra 150.000 plastik parça ya da yüzlerce

alüminyum parça üretimine hazır olmaktadır.

DTM'in bu konuda sağladığı diğer bir yenilik de bakır-polyamit teknolojisidir. Bu teknoloji kısa süreli üretimler (birkaç yüz parça) için uygundur. Bakır ve naylon karışımı toz malzeme kalıp içerisine sinterlenir. Elde edilen bu kalıp yüzeyi için ısı işleme gerek duyulmaz ve işlenebilir. Bu yöntemle basit bir geometri için bir haftadan kısa bir sürede kalıp üretilmektedir (Ashley, 1998).



7. RP SİSTEMLERİNİN GELİŞİMİ VE KARŞILAŞTIRMA

7.1 Servis Bürosu Kullanımı

RP ile çalışmanın en verimli yollarından biri de bir ya da birkaç sisteme sahip servis bürolarından ihtiyacın karşılanmasıdır. Çünkü RP ekipmanları maliyeti (50000 USD ve yukarı), operatör eğitimi, malzemeler ve diğer yardımcı ekipmanların maliyetleri de hesaba katıldığında masraflar iki katına çıkmaktadır. Her zaman bir firmadaki prototip üretimi hacmi bir sistem edinmeyi gerektirmemektedir. Bu sebeple çoğu zaman bir servis bürosundan hizmet almak daha ekonomik olmaktadır.

Bir servis bürosu seçerken, prototip için gerek duyulan malzeme çeşiti, prototip boyutu, boyut ve yüzey hassasiyeti, servis firmasının deneyimleri, haberleşme ve iş paylaşımı için servis firmasının yerleşimi, parça bitirme işlemlerini kapsayan ikincil proseslerin sağlanması, talep edilen hizmet ücreti gibi faktörlere dikkat edilmelidir.

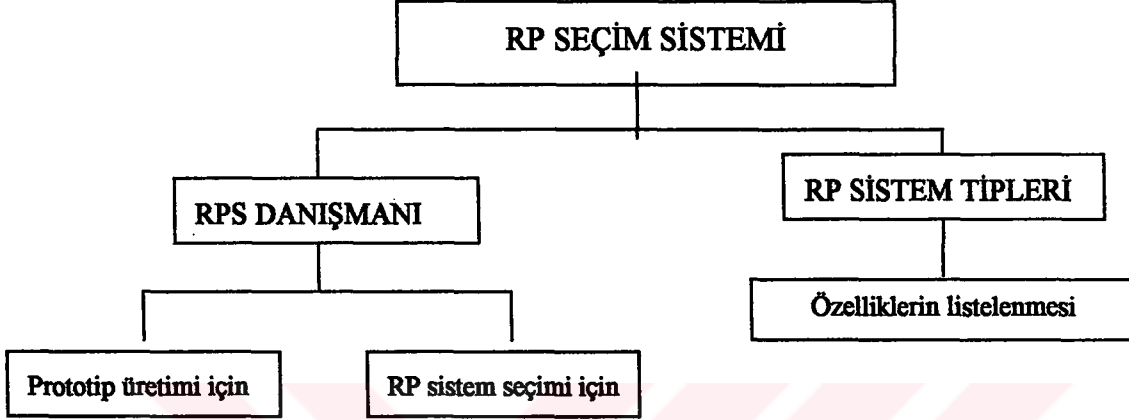
Genelde servis büroları genelde modelleme ve yapım için modelin hazırlanması (gerekliyse), bilgisayar modelinin STL formatına çevrilmesi, dilimleme prosesi, parça yapımı için gerekli işleme zamanının belirlenmesi, aparatların hazırlanması, kullanılacak malzeme miktarının hazırlanması, montaj ve ikincil prosesler (işleme, kumlama vb.) konusunda hizmet verirler.

Anlaşılabileceği gibi firmalar, sahip oldukları CAD programının kolaylığı ve CAD-RP arayüzünün güçlülüğü ile ilk iki maddedeki maliyetlerden tasarruf edebilir. Servis bürolarındaki ücretlendirme basit bir parça için birkaç yüz dolardan, büyük ve kompleks parçalar için bin dolarlara kadar değişmektedir.

7.2 Hızlı Prototipleme Yöntem Seçimi

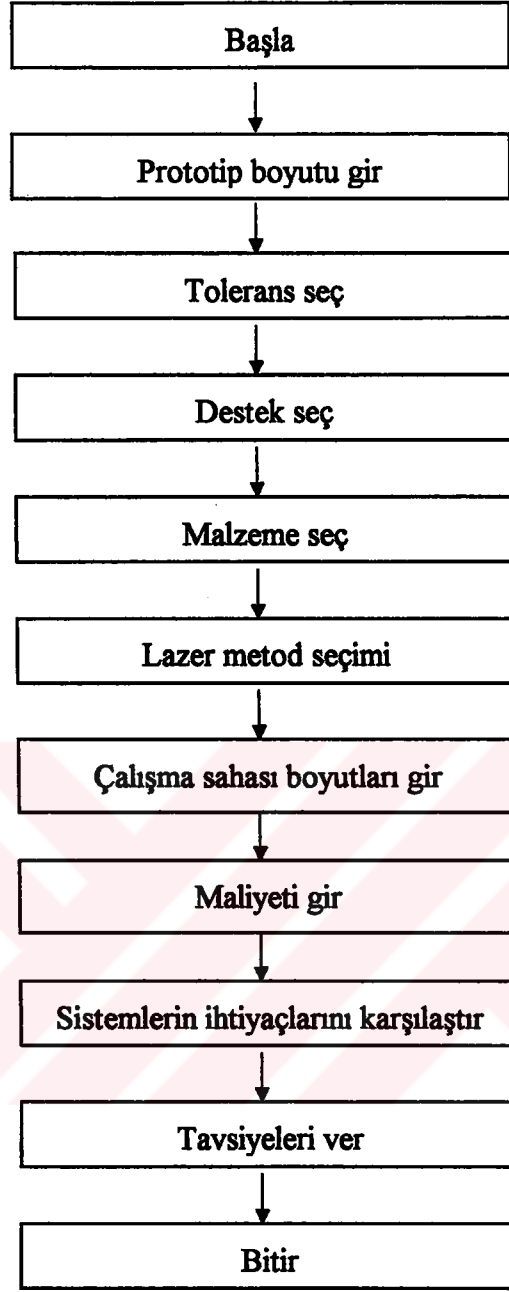
Daha önceki bölümlerden, iki düzineden fazla birbirinden farklı RP sistemi olduğu görülmüştür. Bütün bu teknikler farklı kapasitelere ve ihtiyaçlara sahiptir. Herbirinden farklı dayanım, hassasiyet ve yüzey kalitesinde parçalar elde edilir. Prototip üretiminde en uygun yöntemi seçebilmek için bir kullanıcının deneyim ve bilgisine ihtiyaç vardır. Bir tek kullanıcının bütün mevcut teknikler hakkında gerekli bilgiye sahip olması çok zordur. Bunu başarmak için bütün makineler üzerinde karşılaştırılma testleri yapılmalıdır. Bu testler yüksek maliyetli olmakla beraber aynı zamanda az zamanı olan kullanıcılar için kullanışlı olmayabilir. Diğer taraftan bu testler kullanıcıların deneyim ve bilgilerinden, bir bilgi temeline dayanan sistem kurularak, RP sistemlerinin otomatik olarak seçilmesinde gereklidir.

Bu RP seçim metodu tamamıyla kullanıcı isteklerine dayandırılır ve özellikle yeni kullanıcılara RP seçiminde çok yararlıdır. Bu geliştirilen sistem kurallardan oluşan bir algoritma kullanır ve kullanıcılara tavsiyelerde bulunarak, sorgulamalarına cevap verir. Bu kurallar ve bilgi, kullanıcı ve sağlayıcıların görüşlerinden, kullanıcı ölçümlerinden, araştırma kuruluşlarında ve diğer referanslardan elde edilir. Bu seçim sisteminin temel yapısı Şekil 7.1'de verilmiştir.



Şekil 7.1 RP seçim sistemi temel yapısı

Bu seçim sisteminin ikinci ana modülü, farklı RP tekniklerini tanıtmak ve her tekniğin özelliklerini fotoğraflardan tanımlamak için geliştirilmiştir. Bu modüle yeni bilgiler kolaylıkla eklenebilmekte ve mevcut bilgiler kolay bir şekilde okunabilmektedir. Birinci ana modül olan RPS danışma modülü prototip üretimi için ideal metod ya da RP sistemi seçiminde kullanıcılara yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiştir. İki modülden oluşur. Birincisi prototip seçimi için ikincisi de RP sitem seçiminde kullanılır. Kullanıcı bir dizi soruya cevap vererek uygun yöntem ve sisteme ulaşır. Sorular prototip boyutları, toleranslar, malzeme, gerekli destek yapı, maliyet ve benzerleridir. Prosesin bir akış şeması Şekil 7.2 'de verilmiştir.



Şekil 7.2 RP sistem seçimi akış şeması

7.3 RP Sistemlerinin Teknik Olarak Karşılaştırılması

Bütün yüksek verimlilik beklenen ve maliyeti yüksek yöntemlerin seçiminde bir karşılaştırma testi yapmak geleneksel bir uygulamadır. Kullanıcı ihtiyaçlarının karşılanabileceği çok fazla olasılığın olduğu durumlarda bir karşılaştırma testine ihtiyaç duyulmaktadır. Karşılaştırma metodu başlıca dört adımdan oluşmaktadır. Birinci adım karşılaştırma modelinin belirlenmesidir. Genelde RP karşılaştırma modelleri tipik firma parçaları, sınıflandırılmış

parçalar (Çizelge 7.1’de RP sistemlerine uygun bir genel parça sınıflandırılması verilmiştir), kompleks ve melez parçalar olarak gruplandırabilmektedir.

Çizelge 7.1 Parça yapısı sınıflandırılması

Parça Sınıf Nosu	Parça Yapısı
Sınıf 1	Kompakt parçalar
Sınıf 2	Delikli parçalar
Sınıf 3	Kutu tipi
Sınıf 4	Tüpler
Sınıf 5	Kanatlar
Sınıf 6	Profil
Sınıf 7	Kapak tipi
Sınıf 8	Düz
Sınıf 8	Düzensiz
Sınıf 10	Mekanizmalar

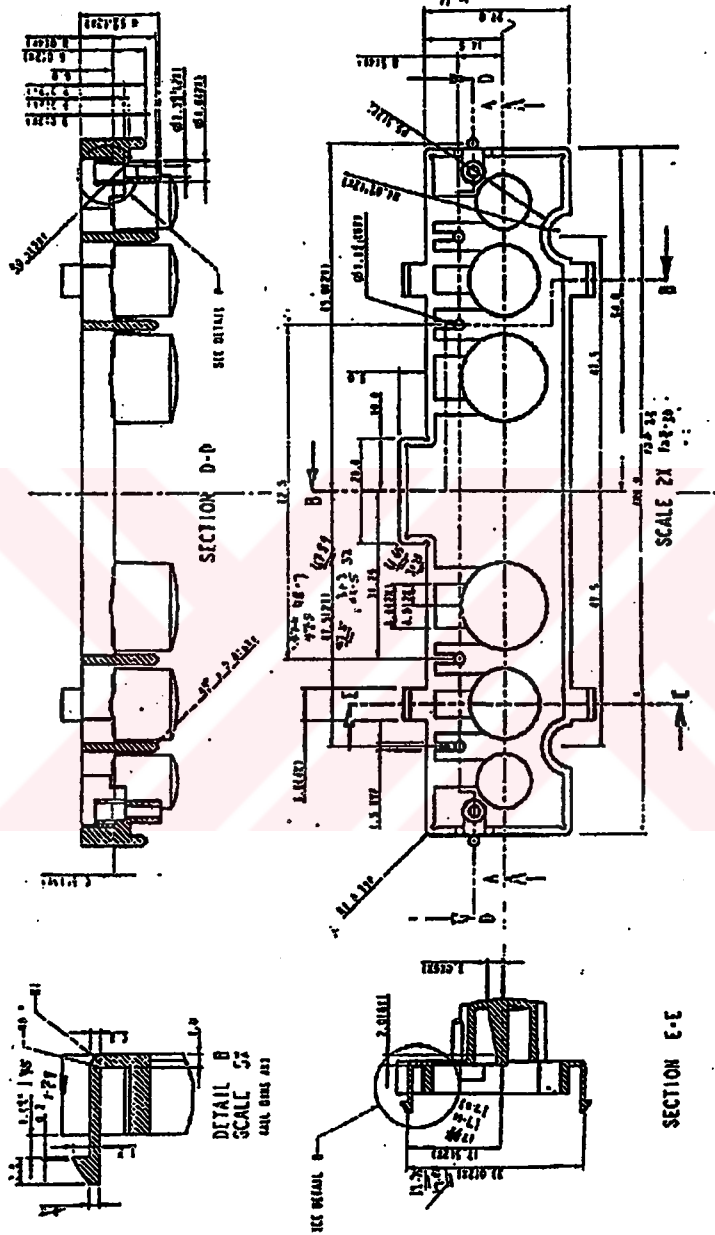
İkinci adım ölçülerin belirlenmesi, üçüncü adım zaman ve ölçümlerin kaydı ve sonuçların listelenmesi, dördüncü adım ise analiz ve karşılaştırmadır.

Örnek bir karşılaştırma uygulaması olarak beş farklı RP yöntemi (SGC,LOM,SOUP, SCS ve FDM) kullanarak elde edilen beş test parçasının karşılaştırılması ele alınacaktır. Karşılaştırma parçası olarak bir kaset çaların ön yüzünde bulunan kumanda paneli seçilmiştir. Parça 28mm uzunluğunda ve 27 mm genişliğindedir. Parça , gövde kısmına 0.6mm’lik menteşelerle monte edilmiş 3 dairesel butondan ibarettir.

Test parçasının ölçüleri üç boyutlu koordinat ölçme cihazı , profil projektörü ve verniyeli kumpas ile alınmıştır.

Şekil 7.3’de parçanın teknik resimleri verilmiştir. Test parçasının ölçümleri üç bölüme ayrılmıştır. Birinci bölüm parça gövdesi, pim delikleri ve LED tutucularından alınan ölçülerdir. İkinci bölüm ölçümler ise, butonlardan , üçüncü bölüm ise diğer ölçümlerdir. Farklı parçalar arasında ilişki kurabilmek için , sonuçlar ana ($>10\text{mm}$) ve detay ($\leq 10\text{mm}$) ölçümler olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Her iki ölçümdeki sapmalar hesaplanmış ve listelenmiştir. Ana ve detay ölçümlere göre elde edilen grafikler SCS, LOM, SOUP, SGS ve FDM yöntemleri hakkında detaylı bir karşılaştırma olanağı vermiştir. Görsel denetimlerde , herhangi bir eksiklik görülmemiştir. Bu da göstermektedir ki her beş farklı proses de 0,5mm et kalınlığına kadar başarılı bir şekilde çalışmaktadır. Ancak bir LOM test parçasındaki bir pim yuvasında kayma oluşmuştur ve SGC ve FDM test parçalarının tutucuları eksiktir. Bu tutucuların güçsüzlüğünden dolayı , destekler uzaklaştırılırken kopmasından kaynaklanmıştır.

SLA modelleri , direkt olarak asansör platformu yerine , destekler üzerinde inşa edilmiştir. Destekler parçaları platforma tespit etmek ve yapım esnasında oluşabilecek distorsiyonlara karşı korumak için kullanılmıştır. Her beş test parçasının da butonları, ağırlıkları ve güçsüzlüklerinden dolayı yana eğilmiştir.

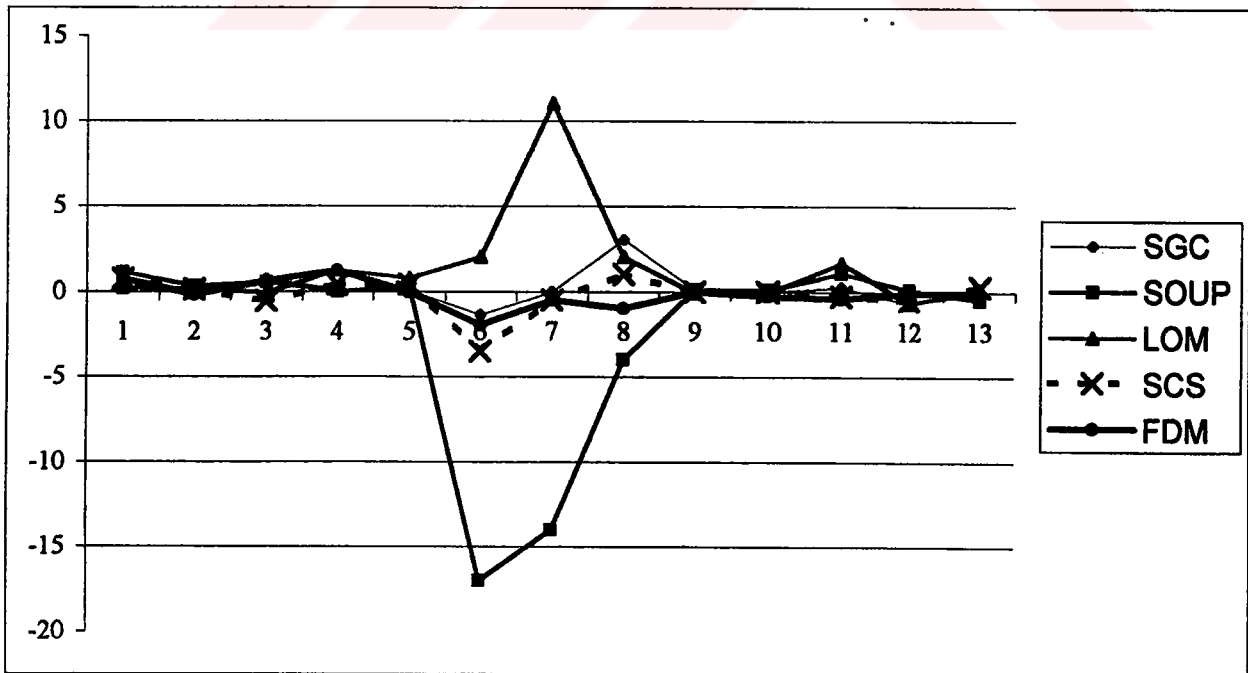


Şekil 7.3 Karşılaştırma parçası teknik resmi (Kai ve Fai 1997).

Şekil 7.4 ve Şekil 7.5'de ölçümlerdeki sapmalar gösterilmektedir. Şekil 7.5'de SGC yönteminin diğer yöntemlerin detay ölçümlerinden daha az saptmaya sahip olduğu görülmektedir. Ana ölçümlerde ise FDM en az saptmaya sahiptir. Diğer taraftan SOUP ana ve detay ölçümlerde en yüksek sapmalar sahiptir. Bütün ölçümlerdeki büyük sapmalar genelde butonların radyüslerinde ve LED tutucuların açılarında gözlemlenmiştir. Bu da göstermektedir ki RP sistemleri eğrisel yüzey üretiminde sınırlamalara sahiptir.

Çizelge 7.2 Karşılaştırma parçası ana ölçümleri (Kaı ve Faı 1997).

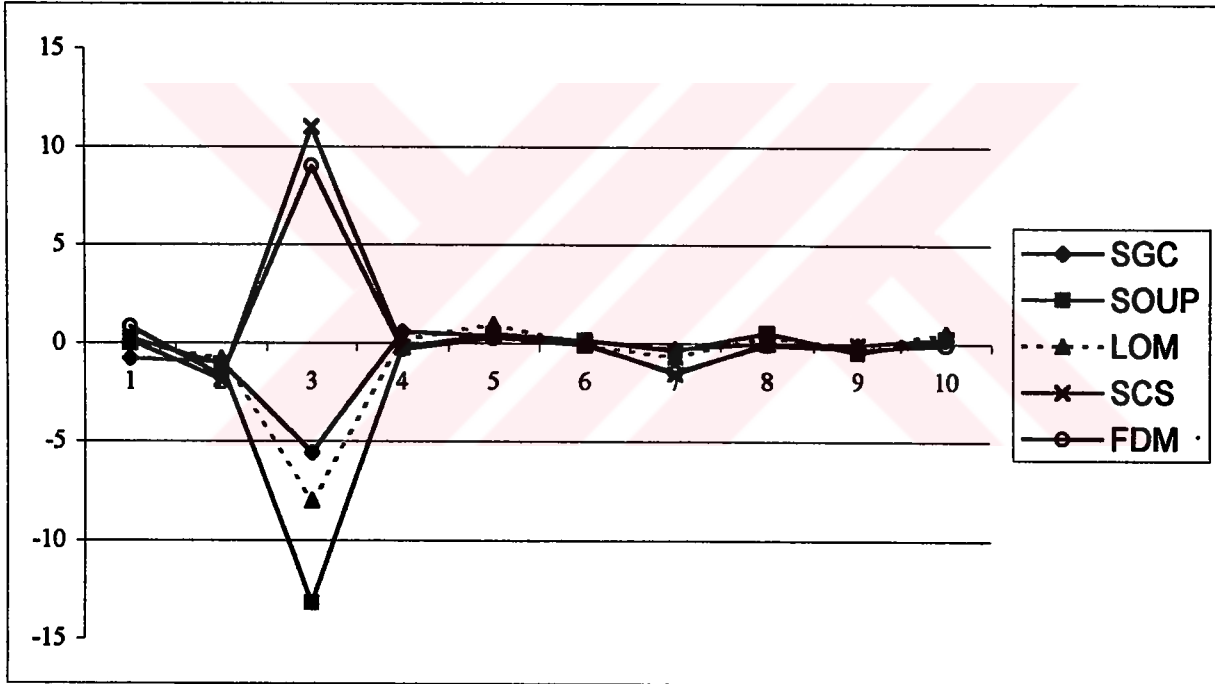
ANA ÖLÇÜMLER							
Teknik Resim Ölçüleri			Sapmalar (mm)				
	Ölçü No	(mm)	SGC	SOUP	LOM	SCS	FDM
Gövde ölçüleri	1	128,00	0,3	1,1	0,2	0,7	0,7
	2	27,00	0,1	0,3	0,1	0,1	-0,2
	3	65,00	0,7	0,5	-0,1	-0,6	0,6
	4	47,50	0,1	0	1,2	0,4	1,2
	5	31,25	0,05	0,25	0,75	0,4	-0,05
Buton ölçüleri	6	R31,5	-1,4	-17	2	-3,5	-2
	7	R21,0	-6,8	-14	11	-0,5	-0,5
	8	R12,0	3	-4	2	1	-1
	9	16,00	0,1	0,1	-0,1	0	0
	10	13,00	0	0,1	-0,1	0	-0,3
	11	22,75	0,25	1,05	1,65	-0,3	-0,45
Tutucu ölçüleri	12	33,00	-0,7	0,1	-0,7	-0,5	-0,1
	13	17,50	-0,1	-0,5	0,1	0,3	-0,1



Şekil 7.4 Ana ölçüm sapmaları (Kaı ve Faı 1997).

Çizelge 7.3 Karşılaştırma parçası detay ölçümleri (Kai ve Fai 1997).

DETAY ÖLÇÜMLER							
Teknik Resim Ölçüleri			Sapmalar (mm)				
	Ölçü No	(mm)	SGC	SOUP	LOM	SCS	FDM
	Pim yuvaları	1	8,00	-0,8	0,2	0	0,1
2		5,70	-1	-1,1	-0,8	-1,9	-1,7
3		45,00	-5,6	-13,2	-8	11	9
4		8,25	0,55	-0,25	0,15	-0,25	-0,35
5		9,75	0,35	0,45	0,95	0,35	0,25
Buton ölçüleri	6	10,00	0,1	0,1	-0,1	0	-0,1
	7	5,20	-0,3	-0,4	-0,7	-1,6	-1,5
	8	0,50	0	0,5	0,3	0	-0,1
Tutucu ölçüleri	9	1,60	-0,1	-0,5	-0,2	-0,1	-0,3
	10	0,80	0,2	0,2	0,5	0,2	-0,1



Şekil 7.5 Detay ölçümler sapmaları (Kai ve Fai 1997).

Bu örnek karşılaştırma testinin yanında Çizelge 7.4'de Chrysler laboratuvarında yapılmış bir karşılaştırma testinin değerleri verilmiştir. Test parçası 1.5×1.5×3 inç boyutlarında bir kilometreölçer adaptörüdür.

7.4 RP Sistemlerinin Gelişimi

RP sistem üreticileri pazar içerisinde yeni bir pay oluşturmak için rekabete girmişler , belki de yeterli desteğe sahip olmadıklarından , gelir ve kazançlarından dolayı zarara uğramışlardır. Örneğin 1997’de BPM firması kişisel modelleyici yapımında bu durumla karşı karşıya kalmıştır. Ayrıca RP sistem satışlarını, yarı maliyete model sağlayan RP servis büroları da olumsuz etkilemiştir. Ancak bu huzur kaçırıcı problemlerin ortadan kaldırılarak , RP teknolojisi en sonunda modern dijital dizayn sistemleriyle birleştirilerek mühendislik metodu olmuştur.

Son zamanlarda RP endüstrisinin iyi durumda olduğu gözlemlenmektedir. Dünya çapında sistem satışları hızla devam etmektedir. RP için bir olumlu gelişme de kurulan Global Alliance ortaklığıdır. Bu 13 adet RP’le ilişkili organizasyonun RP bilgilerini paylaşmak için kurdukları bir uluslararası gruptur. Olgunlaşmanın bir diğer kanıtı da endüstri standartlarını oluşturmak için bir hareketin başlamasıdır. Bu konuda Uluslararası Teknoloji ve Standartları Enstitüsünde (NIST) çalışma yapılmaktadır (Ashley, 1998).

Wohlers firması RP sistemlerindeki eşsiz gelişmeler ve satış artışlarını raporlamıştır. 1995 yılında , ürün ve servis satışlarındaki artışın önceki yıllara göre %49 arttığı belirlenmiştir. Birincil RP piyasası ekipman, malzeme satışı , bakım,kullanım ve servis eğitimlerini kapsar.

İkincil RP piyasası ise RP modellerden takım üretimini kapsar. Bu ikincil pazarın ,RP birincil pazarına eklenmesinin bir sonucu olarak 176 milyon dolar daha ek kazanç sağlanmıştır. 1996 ve 1997’deki tahmini toplam satışlar sırasıyla 447 milyon USD ve 556 milyon USD’dir. 1988 ile 1995 yılları arasındaki RP satışları Çizelge 7.7’da verilmiştir.

Çizelge 7.7 RP sistem satışları (Kı ve Faı 1997).

Firma	RP Sistemi	88	89	90	91	92	93	94	95	Toplam
3D Sistem	SLA	32	94	105	44	58	60	94	130	617
Stratasys	FDM	-	-	-	6	9	22	55	121	213
Helisys	LOM	-	-	-	3	10	27	76	70	185
DTM	SLS	-	-	-	-	5	33	30	40	108
Sanders Prototip	Model Maker	-	-	-	-	-	-	22	41	63
Soligen	DSPC	-	-	-	-	-	4	3	0	7
BPM Teknoloji	BPM	-	-	-	-	-	-	-	-	0
CMET	SOUP	2	8	4	14	7	10	9	19	73
Teijin Seiki	SOLIFORM	-	-	-	2	0	1	7	14	24
Meiko	MEIKO	-	-	-	-	-	-	6	4	10
Eos	STEREOS/EOSINT	-	-	1	1	10	6	14	39	73
Cubital	SGC	-	-	-	5	6	7	5	3	26
Yıllık Toplam Satış		34	102	110	75	105	170	321	481	1399

RP sistemlerinin gelişiminde bir önemli faktör de yöntemin yüksek maliyetlerinden dolayı, firma finansal yönetiminin bu konuda ikna edilebilmesinde ortaya konulan başarıdır. Hızlı prototipleme tasarımcı ve üretim mühendislerinin her ikisine de modellerin somut bir şekilde elde edilmesini ve prototipleme prosesinin hızla başlatılmasını sağlar. Ancak burada gerekli ekipmanın sağlanmasında maliyet açısından zorluklarla karşılaşmaktadır. Çünkü burada, finansal yönetimi prototiplerin üretilmesinde radikal bir değişimin gerekliliğine inandırmak gerekecektir. Burada Chrysler firmasının hızlı prototipleme laboratuvarının kuruluşunun kısaca öyküsüne değinilecektir. Chrysler firması 1990 yılında, iki yeni SLA makinesi ve destek ekipmanı sağlayarak bu konudaki çalışmalarına başladı. Kurulan RP laboratuvarının amacı, herhangi bir bedel almadan Chrysler içerisindeki gruba, hızlı prototipleme servisi sağlayarak, takımlandırma ve ürünün markette yerini alma zamanını kısaltmaktır.

RP'nin kullanılmaya başlanmasından 2 yıl sonra sonuçlar ümit vericiydi. Yaklaşık olarak tasarımıyla beraber modelin oluşturulması 13 saat almaktaydı. Bir plastik modelin üretilmesinde ortalama 320 iş saati ve yaklaşık 10500 USD tasarruf edilmekteydi. RP laboratuvarı haftanın yedi günü maksimum kapasite çalışmaktaydı (550 model ve 1300 parça/yıl). Yeni ekipman için yönetime danışma zamanıydı. Bunun için açık ve özlü formatta olacak şekilde bir öneri raporu hazırlandı. İyi yazılmış bir sermaye ekipmanı kazancı önerisi, farklı anahtarlara sahiptir ve geçerli operasyonun durumunu ve niçin yeni bir ekipmana gerek duyulduğunu, prodüktiviteyi artırıcı faktörleri belirtmelidir. Laboratuvar 2 adet SLA-250, iki Silicon Grafik katmanlama bilgisayarı, ısı işlem aparatları ve iki lazer ünitesine sahiptir. Yeni ve kullanılan ekipmanlara değer biçilerek her opsiyon için ekipmanın taşınması, kurulması, sistem entegrasyon desteklerinin sağlanması bedellerini içeren toplam bir değer belirlendi. Ayrıca bu teknolojiyi kullanan üreticilerin belirlenerek, elde ettikleri sonucun dökümanlarını incelenmesi gerekiyordu. Teknolojinin üretim esnekliğine, ürün değişikliklerine, kalite ve gelişmelerin gerçekleştirilebilirliğine, insan kaynaklarına ve hatta müşteri memnuniyetine etkileri sınanarak raporlandı. Yönetime yapılan ilk RP önerisinde teknolojinin anlaşılabilmesi gibi bir problemle karşılaşmıştır. Bu durum Chrysler'in diğer firmalardan elde ettiği RP uygulaması içeren video kasetler sayesinde aşılmıştır. İkinci RP önerisine ise Chrysler'in gerçekleştirdiği RP uygulamalarından sağlanan, bir emme manifoldunun SLA modelinin üzerinde çıkış testleri yapılarak üç iterasyonla istenen parçaya ulaşılması, önceki prototip üretim yöntemleriyle elde edilmeyen sac kalıbın SL kullanılarak yüzey verilerinin yardımıyla modellenmesi ve bu kalıbın yaratılmasında kullanılacak takımın üretilmesi, konvansiyonel yolla 320 saate (2 ay) üretilen bir silindir kafası akış kutusunun, bu sistemle 80 saate (2 hafta) üretilmesi gibi örnek yararlanmıştır (Sorovetz, 1995).

Daha önceki bölümlerden de anlaşıldığı gibi RP sağlayıcıları daha fazla zaman , enerji ve para harcayarak daha hassas RP sistemleri geliştirme yolundadır. Şimdiki RP modelleri yeterli fiziksel özelliklere sahip değildir. Örnek olarak SLA modellerinin kırılabilirliğini verebiliriz. Modellerin fiziksel testlerde kullanımında da sınırlamalar vardır. Diğer taraftan prototiplerin düşük kaliteli yüzey kalitesi de önemli bir dezavantajdır. Genelde düşük kaliteli yüzeyler, parçanın desteklerle temas eden alt bölümlerinde oluşur. Direkt üretim parçası olarak kullanılacak modellerin üretilmesi için sistem malzemelerinin daha da geliştirilmesi gereklidir. Prosesin hızı büyük oranda kullanılan mekanizmaya bağlıdır. Örneğin hem SLA hem de SGC’de polimerle UV ışığın arasındaki kimyasal reaksiyona bağlıdır. Bu reaksiyon hızı arttırmada bir engeldir. SLS proses hızı da sıcaklığa bağlıdır. Mekanizmanın operasyona katkısı küçümsenmemelidir. Deneyim de operatörün kaliteli parçalar üretimi için gereklidir. Örneğin SLA’da parça dayanım, hassasiyet ve yüzey kalitesi lazerin hızına , katman kalınlığına bağlıdır.

RP sistemleri kullanılarak kalıp yapımının mümkün olması, bu teknolojiyi ekonomik kılmaktadır. Bu durum RP sistemlerini endüstriyel kullanıcılara daha da çekici kılmaktadır. Önceleri büyük oranda sadece dizayn amaçlı kullanılan RP sistemleri , daha sonraları gittikçe analiz, planlama, takımlandırma ve üretim amaçlı kullanılmaya da başlamıştır. Bu gelişim Çizelge 7.8’de verilmiştir.

Çizelge 7.8 RP sistemleri uygulama alanları gelişimi [2]

PERİYOT	UYGULAMA ALANLARI		
1988-1991	%80		%15 %5
1991-1996	%40	%40	%20
1996-	%20	%40	%40

Dağılım :

	Dizayn
	Mühendislik, analiz ve planlama
	Üretim ve takımlandırma

RP sistemleri gittikçe ofis ortamında kullanılan, daha düşük maliyetli sistemlere doğru kaymaktadır. Bu eğilimin en büyük sebebi yüksek maliyetli olan RP sistemleridir. Son zamanlarda dört RP sağlayıcısı masaüstü RP sistemleri satmaktadır. Bu sistemler kullanıcıya hızlı bir şekilde kavramsal dizayn sağlamakta çok yararlıdır.

8. UYGULAMALAR

8.1 Stereolithografi Yöntemi Örnek Uygulaması

Uygulama Arçelik ATGM Bölümünde gerçekleştirilmiştir. Bu bölüm Arçelik'teki diğer bölümlere prototip sağlama amacıyla 1993'de kurulmuştur. Arçelik firmasının RP ile model üretimi yöntemine geçişi ilk olarak SLA-250 ile olmuştur. İki yıl sonra artan talepleri karşılayabilmek amacıyla SLA-500 sistemi alınmıştır. 1999 yılında daha büyük kapasiteye, daha güçlü lazer ve dolayısıyla daha yüksek üretim hızına sahip SLA-7000 sistemi alınmıştır. Balmumu model yapımında kullanılan Multijet sistemi ile DTM 2500 Plus makinesi de ATGM bölümünde kullanılan RP teknolojileridir. Bu sistemlerin ortalama olarak Arçelik'e maliyetleri Çizelge 8.1'de belirtilmiştir.

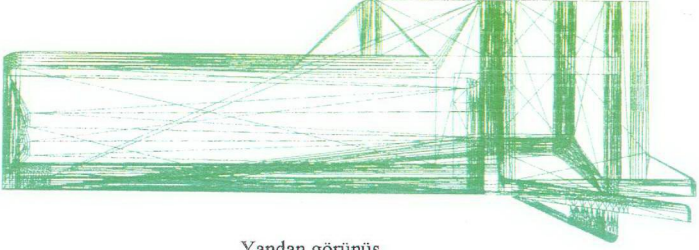
Çizelge 8.1 RP yöntem maliyetleri

SLA-250	300.000 USD
SLA-500	500.000 USD
SLA-7000	700.000 USD
DTM	580.000 USD
Multijet	580.000 USD

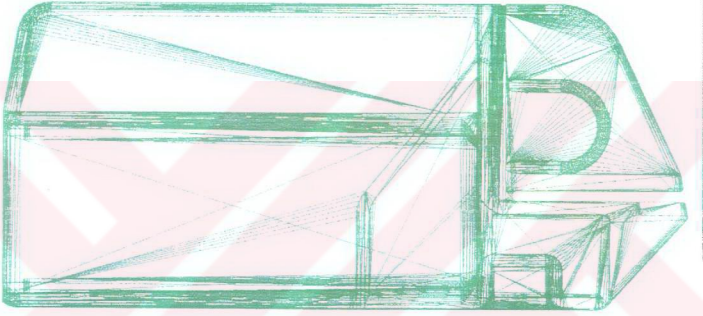
Model olarak bir buzdolabı parçası seçilmiştir. Mastercam programıyla dizayn edilen modelin STL formatına çevrilmesiyle SL uygulaması başlamıştır. Arçelik'e model yapımı için bu STL dosyasıyla başvurulmuştur. STL formatındaki modelin çeşitli görünüşleri Şekil 8.1'de verilmiştir.

Uygulama adımları aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir.

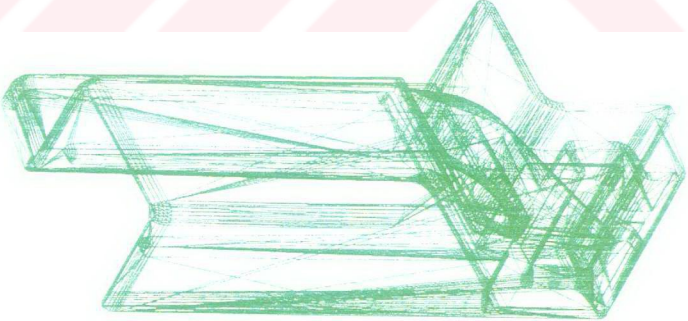
STL dosyası sisteme alındıktan sonra sorgulanarak oluşan hataların otomatik olarak onarılmasıyla işlem başlamıştır. Daha sonra lazerle katılaştırma esnasında modelin zayıf bölgelerindeki oluşması muhtemel deformasyonları önleme amacıyla 0.2 mm kalınlığında desteklerin oluşturulmuştur. Destek oluşturma yazılım tarafından otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Eğer istenirse yazılım tarafından otomatik olarak oluşturulan destek yapısı incelenerek, modelin güçlü ve zayıf noktalarına göre manuel olarak gerekli değişikliklerin yapılması da mümkündür. Bu uygulamada model için oluşturulan destek yapıda herhangi bir eksiklik bulunmamış ve olduğu gibi kabul edilmiştir.



Yandan görünüş



Üstten görünüş



İsometrik görünüş

Şekil 8.1 Uygulama modeli STL formatı

Daha sonraki işlemde model için platform seçilerek, modelin platformdaki yerleşimi belirlenmiştir. Platform seçimi bir anlamda SLA makine tipi seçimidir. Bu uygulama için model boyutunun küçük olmasından dolayı SLA-250 kullanılmıştır. İşletim masraflarının yüksek olmasından dolayı üretim planlaması ve platformun optimum olarak kullanılması burada önem kazanmaktadır. Bu modelle beraber aynı zamanda üç adet farklı model daha üretilmiştir. Bu parça başına düşen maliyeti etkileyen faktörlerdendir.

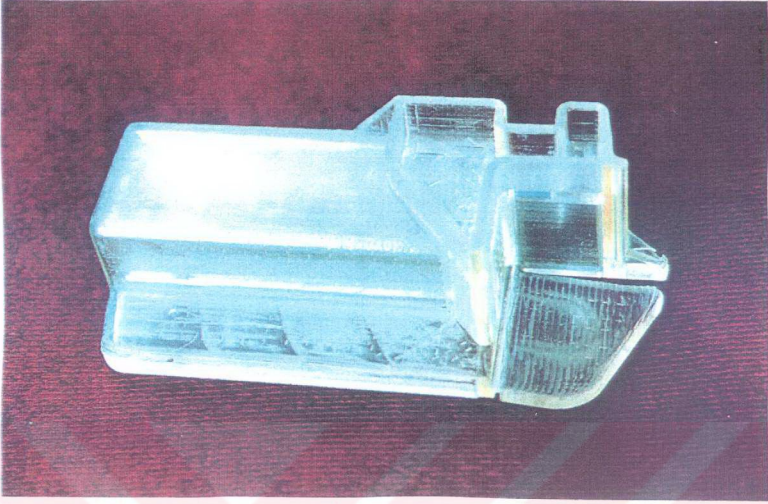
Modelin platformdaki koordinatları belirlendikten sonra sıra dilimleme işlemine gelmiştir. Dilimleme işleminde 0.1mm katman kalınlığı tercih edilmiştir. Özellikle eğrisel yüzeylere sahip parçalarda daha kaliteli yüzey ve boyut hassasiyeti için ince katman kalınlıkları tercih edilmektedir. Fakat katman kalınlığı incelidikçe, üretim zamanı artmaktadır. Örneğin 0.1 mm dilim kalınlığına sahip modelle 0.15mm dilim kalınlığına sahip model arasındaki üretim zamanı farkı yüzde yüzdür.

Yukarıda bahsedilen işlemleri ve SLA-250 makinesinin lazer ısınma süresini içeren ön hazırlık işlemleri yaklaşık bir saat süre almıştır. Model yapımında 5220 reçine kullanılmıştır.

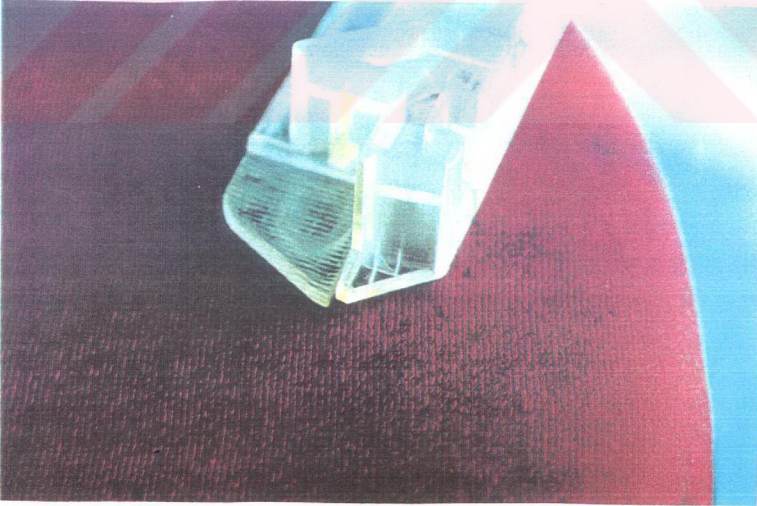
Model yapım süresi yaklaşık 3 saattir.

Son olarak ise modele bitirme işlemleri uygulanmıştır. Model yapım işleminden sonra parça alkol, özel katkı malzemesi ve su karışımında temizlenmiştir. Daha sonra destekler uzaklaştırılarak pürüzlü yüzeyler zımparalanmıştır. Aynı modelden iki adet yapılarak bir tanesinin bir kısım desteği gözlem amacıyla uzaklaştırılmamıştır (Şekil 8.3) Daha sonra UV fırınında 45 dakika bekletilmiştir. Parçanın ısıtma işlemi süresi malzemeye, model boyutlarına ve istenilen sertliğe göre değişmektedir.

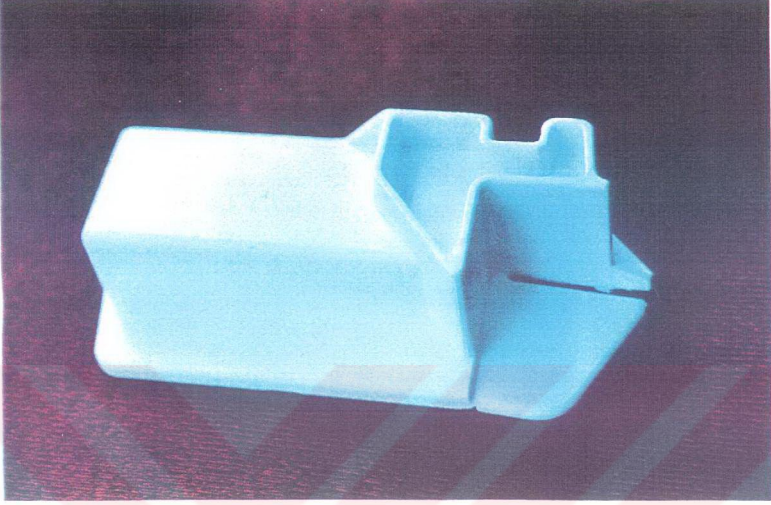
Elde edilen modelin plastik enjeksiyon yöntemiyle elde edilmiş hali de Şekil 8.4'de verilmiştir.



Şekil 8.2 Stereolithografi yöntemiyle elde edilen model



Şekil 8.3 SL modelindeki destek kısımlar



Şekil 8.4 Modelin plastik enjeksiyon yöntemiyle elde edilmiş parça resmi

8.2 FDM Yöntemi Örnek Uygulaması

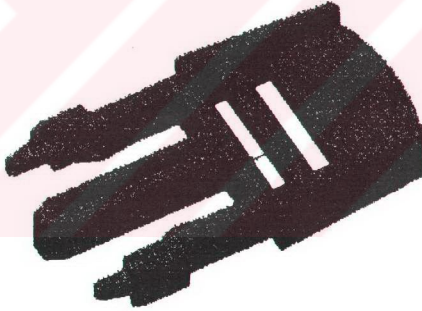
Uygulama Infotron firmasında gerçekleştirilmiştir. Infotron firması 1994 yılından bu yana faaliyet göstermektedir. Faaliyet alanlarından biri de Hızlı Prototiplemedir. Hızlı Prototipleme sistemi olarak Stratasys FDM serisini satmakta ve aynı zamanda FDM 2000 sistemini kullanarak müşterilerine prototipleme hizmeti sunmaktadır.

Uygulama modelin CAD ortamında tasarlanmasıyla başlamıştır. Elde edilen CAD verisi STL formatına çevrilir. Stratasys firmasının geliştirdiği QuickSlice adlı yazılım kullanılarak STL dosyanın kesitleri hesaplanır. Model üretiminde kullanılan FDM 2000 sistemidir. FDM serisi sistemler ABS, elastomer, hassas döküm mumundan olmak üzere 3 değişik malzemeden, istenen renkte, ofis ortamında, fonksiyonel test yapılmaya uygun ve ek bir işlem gerektirmeyen, yüksek hassasiyette prototiplerin kolay ve hızlı bir şekilde üretilmesine olanak sağlar.

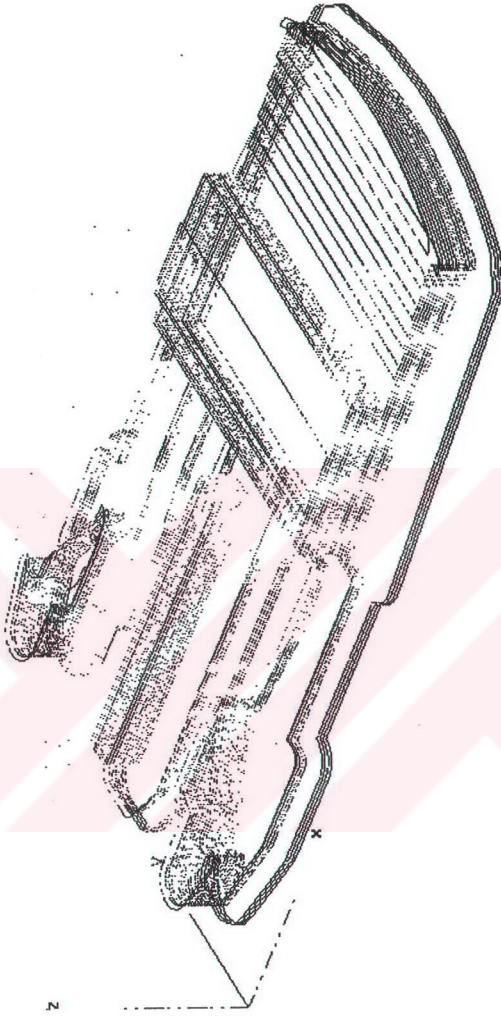
Elde edilen kesitler kullanılarak, destek malzemesi gereken bölümler ve tüm modelin oluşturulması için kullanılacak parametreler hesaplanır. Bu parametreler malzeme çeşidi, dilimleme kalınlığı, büzülme katsayısı ve destek yapısı gibi bilgilerdir.

Uygulamada kullanılan malzemeler ana malzeme ABS (P400) ve destek malzemesidir. Dilim kalınlığı ise 0.2540 mm'dir. Bzülüm katsayısı XY eksenini için 1.007, Z eksenini için 1.0'dir. Bu verilerin de eklenmesiyle oluşturulan dosya kaydedilir ve FDM sistemine gönderilir. Model yapımı daha önce de belirttiğii gibi, misina gibi makaraya sarılı modelleme malzemesinin bir ekstrüzyon kafasına doğru itildikten sonra yarı sıvı faza gelinceye kadar ısıtılması ve ekstrüzyon kafasından çıkarken FDM cihazından çok ince tabakalar olarak çıkmasıyla başlar. Her tabaka bir kattır. Yarı sıvı fazdaki kat hemen donar, bu esnada 'Quick Slice'a göre FDM başı , parça şeklini verir. Bu işlem model oluşturulana kadar devam eder. Yapım süresi yaklaşık 1.1 saattir. Kullanılan destek malzemesi 2.1metre, ana malzeme 5.16 cm³ (5.4 gr)'dir.

Yapım işleminden sonra desteklerin modelden ayrılmasıyla parça kullanılır hale gelmiştir.



Şekil 8.5 FDM model resmi



Şekil 8.6 FDM modeli STL dosyası

9. SONUÇLAR

Bir ürünün tasarımı aşamasında ya da varolan bir ürüne yeni bir alt parçanın uyarlanması sırasında bilgisayarda yapılmış model her zaman yeterli olmayabilir. Ürüne ait ergonomik denemeler ya da fonksiyonel testlerin yapılması gerektiği durumlarda her zaman en iyi yöntem ürünün birebir numunesine sahip olmaktır. Bilgisayar destekli tasarım ve üretim sürecinin bir parçası olan Hızlı Prototipleme yöntemleri, bilgisayarda oluşturulan üç boyutlu model bilgisine yüzde yüz sadık kalarak ürettikleri fiziksel prototiplerle ürüne ait problemlerin henüz tasarım aşamasında iken farkedilmesine olanak sağlarlar. En büyük dezavantajları ise kurulum ve işletme maliyetlerinin yüksek olmasıdır.



KAYNAKLAR

Ashley, S., (1998), 'RP Industry's Growing Pains', Mechanical Engineering

Gustafson, R. (1999), 'Rapid Prototyping : A tool for Casting Design and Verification', Clinkenbeard and Assoc., Illinois

Ippolito, R., Luliano, L., Gatto, A., (1995), 'Benchmarking of Rapid Prototyping Techniques in Terms of Dimensional Accuracy and Surface Finish', Annals of the CIRP, 44

Jacobs, P.F., (1992), Rapid Prototyping and Manufacturing, Society of Manufacturing Engineers, California

Kai, C.C., Fai, L.K., (1997), Rapid Prototyping : Principles and Applications in Manufacturing, Jon Wiley and Sons, Singapore

Kruth, J.P., (1991), 'Materials Incess Manufacturing by Rapid Prototyping Techniques', Annals of the CIRP, 41

Obiwaka, T., Yoshino, M., Shinozuka, J., (1999), 'Sheet Steel Lamination for Rapid Manufacturing', Journal of Materials Processing Technology 89-90 : 171-176

Sorovetz, T., (1995), 'Justifying Rapid Prototyping', Manufacturing Engineering

Sachs, E., Cima, M., Cornie, J., (1990), 'Three Dimensional Printing : Rapid Tooling and Prototypes Directly From a CAD Model'

Windle, J., (1999), 'Inkjet Printing of PZT Aqueous Ceramic Suspensions', Journal of Materials Science Letters, 18: 87-90

Yarlagadda, P., Christodoulou P., Subramanian V., (1999), 'Feasibility Studies on the Production of Electro-Discharge Machining Electrodes with Rapid Prototyping and the Electroforming Process', Journal of Materials Processing Technology, 89-90 : 231-237

Zaw, H.M., Fuh J.Y.H., Nee A.Y.C., Lu, L. (1999), 'Formation of a new EDM Electrode Material Using Sintering Techniques', Journal of Materials Processing Technology, 89-90: 182-186

Internet Sayfaları

- 1) www.claymore.engineer.gvsu.edu
- 2) www.implog.com/foundry/intro.htm

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	26.11.1977	
Doğum Yeri	İstanbul	
Lise	1991-1994	Pendik Lisesi
Lisans	1994-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Çalıştığı kurumlar		
	1998 - 1999	Bemaks Tekstil Makineleri San.ve Tic. Ltd. Şti.
	1999 - Devam ediyor	Genpar Otomotiv Sanayi Tic. AŞ.