



**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ İÇİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME
TEKNİKLERİ İLE KATMANLI İMALAT TEKNOLOJİSİ SEÇİM ASİSTANI
GELİŞTİRİLMESİ**

İpek HASİPEK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2019

İpek HASİPEK tarafından hazırlanan “OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ İÇİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE KATMANLI İMALAT TEKNOLOJİSİ SEÇİM ASİSTANI GELİŞTİRİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin Kürşad SEZER

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Hüdayim BAŞAK

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. İhsan TOKTAŞ

Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 13/05/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İpek HASİPEK

13/05/2019

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ İÇİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE KATMANLI İMALAT TEKNOLOJİSİ SEÇİM ASİSTANI GELİŞTİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

İpek HASİPEK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2019

ÖZET

Katmanlı üretim teknolojilerinin geliştirilmesiyle, farklı sektörlerde uygulama alanları da yaygınlaşmıştır. Bu alanda farklı yöntemlerin ortaya çıkması ve beklentilere göre kullanımlarının değişmesi teknolojinin eksiklerini ve avantajlarının da daha net tanımlanmasını sağlayarak uygulama alanlarını genişletmiştir. Teknoloji; medikal, havacılık, otomotiv gibi pek çok farklı endüstride kullanılmaktadır. Özellikle tasarım süreçlerinde prototip ve test aşamalarında kullanımı her geçen gün artmasıyla otomotiv sektöründeki kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmanın genel amacı otomotiv endüstrisinde gelişmiş hızlı prototiplendirme teknolojilerinin kullanımını ve yöntem seçimlerini incelemektir. Çalışmada uygulama kısıtları ve mevcut durumdaki gelişmelere de yer verilmiştir. Farklı otomotiv firmalarında gerçekleştirilen hızlı prototipleme teknolojilerinin ileri uygulamaları, otomotiv endüstrisindeki vaka analizleri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Çalışma, hızlı prototipleme teknolojilerinin otomotivde, özellikle imalat öncesi dönemde önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir. Üretim öncesi olası tasarım hatalarının tespiti, görsel değerlendirme, fonksiyon analizi, sıvı analizi, montaj değerlendirmeleri vb. ile ilgili birçok avantaj sağlamaktadır. Bu değerlendirme ile birlikte teknolojinin doğru ve amaca yönelik kullanımını desteklemek amacıyla 3D printer seçim asistanı oluşturulmuştur. Tüm gelişmeler göz önünde bulundurulduğunda doğru malzeme teknoloji eşleştirilmesi ile birlikte; malzeme, hız ve imal edilebilirlik gibi kısıtlayıcı etkiler var gibi görünse de, geleceğin üretim teknolojisinin temeli olacağı öngörülmektedir.

Bilim Kodu : 91438

Anahtar Kelimeler : Katmanlı imalat, hızlı prototipleme, otomotiv, üretim

Sayfa Adedi : 118

Danışman : Doç. Dr. H. Kürşad SEZER

DEVELOPMENT OF LAYERED MANUFACTURING TECHNOLOGY SELECTION
ASSISTANT WITH MULTI-SIZE DECISION MAKING TECHNIQUES FOR
AUTOMOTIVE INDUSTRY

(M. Sc. Thesis)

İpek HASİPEK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2019

ABSTRACT

With the development of layered manufacturing technologies, the application of rapid prototyping technologies on different sectors has become widespread. The emergence of different technologies in this field and changing their usage according to expectations have also extended the application areas by providing a clearer definition of the deficiencies and advantages of technology. Technology; It is used in many different industries such as medical, aerospace and automotive. Especially in the process of prototyping and testing stages in the design process with the increase in the use of the automotive industry is becoming widespread. The purpose of this thesis is to examine the use of advanced rapid prototyping technologies and method choices in automotive industry. In the study, application restrictions and current developments are also included. Advanced applications of rapid prototyping technologies performed in different automotive companies and case studies in the automotive industry have been extensively studied. The study shows that rapid prototyping technologies have an important place in automotive, especially in pre-production period. Determination of possible design errors before production, visual assessment, function analysis, liquid analysis, installation evaluations and so on. provides many advantages. With this evaluation, an additive manufacturing technology selection assistant was created to support the correct and purposeful use of technology. When all developments are taken into account, together with the right material technology matching; Although it may seem that there are restrictive effects such as material, speed and manufactability, it is foreseen that the future will be the basis of production technology.

Science Code : 91438

Key Words : Layer manufacturing, Rapid prototype, Automotive, production

Page Number : 118

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. H. Kürşad SEZER

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren ve tecrübelerinden faydalandığım saygıdeğer hocam Doç. Dr. Hüseyin Kürşad SEZER'e, araştırmalarımın saha çalışmaları kısmında yeni teknolojilerin uygulama alanlarını görebilmem için beni destekleyen, imkan sağlayan ve vizyonundan esinlendiğim çalıştığım Ford Otosan şirketindeki ekip liderim Emre TÜRKER'e, Visual Studio programı ile yazılım ve programlama konusunda destek olan arkadaşım Ozan TEZCAN'a, manevi desteği ile çalışmam sürecinde elinden gelen her türlü katkıyı sağlayan eşim Oğuzhan DEMİRCİ'ye, benimle birlikte emek veren her koşulda sabırla destek ve katkı sağlayan ailem Ahmet HASİPEK ve Neşe HASİPEK'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KATMANLI ÜRETİME GENEL BAKIŞ	5
2.1. Katmanlı İmalat Teknolojileri Çeşitleri	6
2.2. Farklı Parametrelere Göre Katmanlı İmalat Sistemlerinin Karşılaştırması	10
3. ÜRETİMDE HIZLI PROTOTİPLEME	15
3.1. Seri İmalat	15
3.2. Az Sayıda Üretim.....	15
3.3. Karmaşıklık Avantajı	15
3.4. Kütle Karmaşıklığı.....	15
3.5. Kişiselleştirme.....	16
3.6. Sanat Ürünleri	16
3.7. Prototip.....	16
4. OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE HIZLI PROTOTİPLEME	19
4.1. Otomotiv Sektöründe 3 Boyutlu Yazıcı Uygulamaları	22
4.1.1. Konsept araçlar.....	23
4.1.2. 3D komponentler.....	26

	Sayfa
4.1.3. Süper otomobiller.....	31
4.1.4. Yedek parça.....	34
4.1.5. Fikstür	36
4.1.6. Üretim	39
4.1.7. Kişiselleştirme.....	41
4.2. Saha Araştırması	42
4.2.1. Ford araç testleri çalışması.....	42
4.2.2. Ayak üfleci optimizasyon çalışması.....	42
4.2.3. Çarpışma testleri mankeni.....	44
4.2.4. Ford Dunton hızlı prototipleme merkezi.....	45
5. HIZLI PROTOTİPLEME YÖNTEMİ SEÇİM ASİSTANI.....	53
5.1. Problem Tanımı.....	54
5.2. İhtiyaç ve Metriklerin Belirlenmesi	54
5.3. Seçim Matrisinin Oluşturulması İçin Çok Yönlü Değerlendirmelerin Gerçekleştirilmesi	59
5.4. Seçim Matrisinin Oluşturulması	60
5.5. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi Metodu	62
5.6. Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri ile Teknoloji Seçiminin Hesaplanması ...	65
5.7. Visual Studio Programı İle Uygulama Yazılması	66
6. SONUÇ.....	75
KAYNAKLAR	77
EKLER.....	83
EK-1. Hızlı Prototipleme Seçim Asistanı Yazılım Kodları	84
ÖZGEÇMİŞ	118

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Hızlı prototipleme teknolojilerinin temel özellikleri ve karşılaştırması	10
Çizelge 2.2. Hızlı prototipleme teknolojilerinin avantaj ve dezavantajları	11
Çizelge 2.3. Hızlı prototipleme sistemlerinin üstünlükleri	13
Çizelge 4.1. Otomotiv sektöründe bazı üreticilerin 3D baskı uygulama örneklerine genel bakış	21
Çizelge 4.2. Katmanlı imalat teknolojisi ile pompa prototipinin maliyet ve süre karşılaştırması	30
Çizelge 5.1. Otomotiv sektöründe kullanılan parça, malzeme ve teknoloji örnekleri	55
Çizelge 5.2. Farklı baskı teknolojilerine ait seçim kriterlerinin ortalama değerleri	59
Çizelge 5.3. Hızlı prototipleme değerlendirme matrisi.....	62
Çizelge 5.4. Çok kriterli karar kerme yöntemleri	64
Çizelge 5.5. Önceliklendirilen özelliklere göre teknolojilerin seçim değeri puanları	66

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Katmanlı imalat teknolojileri	6
Şekil 2.2. SLA teknolojisi.....	7
Şekil 2.3. FDM teknolojisi	7
Şekil 2.4. SLS teknolojisi	8
Şekil 2.5. LOM teknolojisi	8
Şekil 2.6. 3 boyutlu yazıcı teknolojileri	9
Şekil 2.7. Metal lazer sinterleme teknolojisi	9
Şekil 2.8. EBM Teknolojisi	10
Şekil 3.1. 2012 yılı Sektörlere göre hızlı prototipleme teknolojilerinin dağılımı	17
Şekil 3.2. 2016 yılı Sektörlere göre hızlı prototipleme teknolojilerinin dağılımı.....	17
Şekil 3.3. 2015-2025 yılları arasında katmanlı imalat teknolojilerinin farklı sektörlerdeki gelişimi	18
Şekil 4.1. Geleneksel ürün geliştirme süreci	20
Şekil 4.2. Tasarım, prototip ve test döngüsü	20
Şekil 4.3. Mevcut ürün geliştirme süreci	20
Şekil 4.4. Geleneksel kalıp prosesi	48
Şekil 4.5. Kum baskı teknolojisinin adımları.....	48
Şekil 4.6. Geleneksel döküm prosesi ve 3D yazıcı karşılaştırması.....	49
Şekil 4.7. 3 Boyutlu Baskı ile oluşturulan soğutma kanallarının soğuma derecesine etkisi	50
Şekil 4.8. Düşük adetli parçalar için 3 boyutlu baskı insert örneği	50
Şekil 4.9. Seri üretim kalıbı lokma uygulaması.....	51
Şekil 5.1. Uygulama algoritması.....	67

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Peugeot Fractal kompleks iç trim tasarımı	24
Resim 4.2. Jaguar CX 75 katmanlı imalat teknolojisi ile konsept araç üretimi.....	25
Resim 4.3. Buick Avista katmanlı imalat teknolojisi ile iç trim uygulaması	26
Resim 4.4. 3D Baskı parçalar ile ağırlık azaltması sağlanmış elektrikli araç uygulaması.....	27
Resim 4.5. 3D baskı elektrik bataryası kasası	28
Resim 4.6. Volvo prototip pompa uygulaması	30
Resim 4.7. DS Titanyum bitişli kapı kolu çerçevesi	31
Resim 4.8. TARC katmanlı imalat teknolojisi ile üretilmiş konsept aracı	33
Resim 4.9. Katmanlı imalat teknolojileri ile üretilmiş URBEE konsept aracı	34
Resim 4.10. Mercedes katmanlı imalat teknolojisi ile yedek parça uygulaması	36
Resim 4.11. Audi katmanlı imalat teknolojisi ile imalat fikstürü uygulaması	37
Resim 4.12. Volkswagen katmanlı imalat teknolojisi montaj fikstürü	38
Resim 4.13. Volkswagen cam fikstürü	39
Resim 4.14. BMW 3D baskı isimlik çalışması	40
Resim 4.15. 3D baskı kalıp çalışması	40
Resim 4.16. Alternatif hava üfleci tasarımları ve hava akış oranları.....	43
Resim 4.17. FDM ile baskısı yapılan ayak hava üfleç tasarımı.....	43
Resim 4.18. Araç üzerinde prototip üfleçten önceki ilk sıcaklık ölçümleri.....	43
Resim 4.19. Araç üzerinde prototip parça ile sıcaklık ölçümü	44
Resim 4.20. Araç testleri için FDM baskı manken	44
Resim 5.1. 3D Yazıcı seçim asistanı uygulama ekranı	68
Resim 5.2. Kriter seçimlerinin malzeme seçime göre devre dışı kalması	68
Resim 5.3. Kriter seçimleri sonrasında kullanılacak uygun teknolojinin gösterimi	69
Resim 5.4. Torpido kapak mekanizması parçaları.....	64

Resim	Sayfa
Resim 5.5. Peugeot Fractal Konsept aracı için hızlı prototipleme teknolojileri seçim asistanı doğrulaması	72
Resim 5.6. Dış gövde ısı kalkanı bağlantı braketinin hızlı prototipleme teknolojileri seçim asistanı ile seçilmesi	73
Resim 5.7. Dış gövde ısı kalkanı bağlantı braketinin prototip görseli	74



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

Mpa

Megapaskal

μm

Mikron

Kısaltmalar

Açıklamalar

3DP

Üç boyutlu yazıcı

BJ

Binder jetting

EBM

Elektron ışınla eritme

FDM

Birleştirmeli yığma modellemesi

FMEA

Arıza modu etki analizi

LOM

Çok tabakalı nesne üretimi

SLA

Stereolitografi

SLM

Metal lazer sinterleme

SLS

Seçici lazer sinterleme

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile 3 boyutlu yazıcıların endüstrideki kullanımı hızlı bir şekilde artmaktadır. Buna paralel olarak proje planlarında en fazla zamanı alan ve maliyet oluşturan, tasarımda da önemli bir yeri olan prototip süreci de iyileştirilmiştir. Şöyle ki 3 boyutlu yazıcı teknolojileri ile karmaşık ve detaylı şekiller üretilebilmektedir. Bu teknolojilerden ilki ABD’de 1938 yılında Chuck Hull adında bir bilim adamı tarafından geliştirilen Stereolithography (SLA) teknolojisidir. Chuck Hull UV ile sertleşen fotopolimer reçineyi üst üste ekleyerek katı nesneler yapılabileceğini ortaya koymuştur. Devamında katmanlı imalat teknolojisi temelinde FDM (fused deposition modeling) , SLS (Selective Laser Sintering) , SLM (Selective laser melting), BJ (binder jetting) gibi farklı malzeme ve üretim metodları ile kullanılabilen teknolojiler geliştirilmiştir. Bu gelişmeler ışığında, 3 boyutlu baskı teknolojileri özellikle ürün geliştirme proseslerinde prototip üretimi olmak üzere, bir çok sanayi sektöründe farklı nedenlerle kullanılmıştır [1]. Prototip dışında havacılık sektöründe karmaşık geometri ve performans gerektiren parçalarda da kullanılmaktadır. Özellikle havacılık alanında ağırlık azaltma konusu büyük önem taşıdığından katmanlı imalat teknolojileri oldukça yaygınlaşmıştır [2]. Sanayi kullanımlarının yanı sıra bu teknolojiler ile medikal sektöründe de bir çok çalışma gerçekleştirilmiştir. İnsan vücudu ile uyumlu ve kişiye özgü cerrahi cihazlar, yüz ve bacak protezleri, implantlar gibi ürünlerde kullanımı her geçen gün daha da artmaktadır. Görsel açıdan kaliteli ve istenilen ölçülerde ürün üretebilme avantajı sağlayan hızlı prototipleme teknolojileri modelleme, eğitim araçları, reklam ve mimari gibi görsel alanlarda da büyük bir kullanıma sahiptir [3].

Katmanlı imalat teknolojilerinin en büyük avantajı tasarım kısıtlarını ortadan kaldırması ve karmaşık geometrilerin kullanılabilmesi olarak gösterilebilir. Ancak özellikle sanayi uygulamalarında avantajları yanında ortaya çıkan dezavantajları da mevcuttur. Bu dezavantajlardan en kısıtlayıcı olanı, diğer üretim yöntemlerine göre üretim süresinin daha uzun olmasıdır. Katmanlı üretim yapılması ve teknolojinin gelişim döneminde bulunması nedeniyle ürünlerin plastik enjeksiyon, kalıp gibi geleneksel üretim yöntemleriyle karşılaştırıldığında üretim süreci daha uzun sürmektedir. Özellikle daha yüksek adetlerde üretim yapılmak istendiğinde mevcut baskı hızları oldukça yavaş kalmaktadır. Boyutsal olarak büyük parçaların üretilmemesi, ek yüzey işlemi gerektirmesi diğer dezavantajları olarak sıralanabilir. Bunların dışında günümüz 3 boyutlu baskı teknolojisinde geleneksel

yöntemlere kıyasla malzeme çeşitliliği ve metal malzeme kullanımı da sınırlı kalmaktadır [3,4]. Ancak 3 boyutlu baskı teknolojisine yönelik yapılan malzeme geliştirme çalışmaları ile malzeme çeşitliliği her geçen gün arttırılmaktadır.

Katmanlı imalat teknolojileri avantaj ve dezavantajları ile beraber üretim süreçlerine birebir etki eden, gelişime açık bir teknolojidir. Hızlı prototipleme teknolojilerinin ürün planlama ve üretim sürecindeki geri besleme aşamalarına da katkısı oldukça fazladır. Geleneksel üretim yöntemlerinde prototip ve test aşamalarının gerçekleştirilmesi için tasarımdan sonraki aşamalarda kalıp ve parça üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada tasarım ve üretim sorunlarını gidermek amacıyla tasarımda ciddi değişiklikler olabileceği için yüksek maliyetler ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle özellikle yüksek üretim gerçekleştiren firmalar, yüksek maliyet ve zaman kayıplarından meydana gelen zararı en aza indirebilmek için süreçlerin azaltılması ve tek seferde doğru tasarımın gerçekleştirilebilmesini hedeflemektedir. Prototipleme ile üretime geçmeden önce ortaya çıkabilecek ürün ve üretim sorunlarını ortadan kaldırarak tasarım ve değerlendirme süreçlerinin en kısa sürede, en az hata ve maliyetle gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır.

Katmanlı imalat teknolojilerinin geniş kullanım alanlarına rağmen literatür ve bilimsel yazılı çalışmalar; üretim yöntemleri ve karşılaştırmaları, teknik teknolojik kıyaslamaları konularıyla kısıtlı kalmaktadır. Kullanım alanları ve uygulama fikirlerine dair çalışmalar yeterli değildir. Özellikle mevcut teknolojinin prototip üretimi ile kısıtlı kalmasına neden olan bir algı mevcuttur. Ancak gelişen teknoloji ve farklı uygulama alanları göstermektedir ki eklemeli imalat yöntemleri beklenenden daha hızlı gelişerek, tahmin edilenin üzerinde bir kullanım alanına kavuşmuştur. Özellikle ürün geliştirme süreçlerinde sağladığı zaman ve maliyet avantajıyla katmanlı imalat teknolojileri oldukça büyük bir önem kazanmıştır. Son yıllarda tahminin ve beklenenin çok üzerinde bir gelişim göstermiş ve aynı hızda gelişimini devam ettireceği beklenmektedir.

Bu çalışmada özellikle katmanlı imalat yöntemlerinin otomotiv sanayisindeki uygulamaları incelenmiştir. Hızlı prototipleme firmalarının örnek olabilecek kullanım alanları, otomotiv firmalarının hızlı prototipleme teknolojisini kullanarak yaptığı süreç ve maliyetleri azaltan etkisi olan, yenilikçi çalışmalar farklı hızlı prototipleme ve otomotiv firmaları ile görüşülerek teknolojilerin kullanım alanları değerlendirilmiştir. Bu çalışma ile hızlı prototipleme teknolojilerinin yaygın olarak bilinen kullanım alanlarının dışında hangi

uygulamalarla kullanılabileceğine dikkat çekerek gelişime açık alanların da belirlenmesi ve yenilikçi uygulamalara katkı sağlamak hedeflenmiştir. Bu araştırmalar sırasında yapılan çalışmalarda teknolojilerin uygun kullanımına dair yönlendirme ve karar verme tekniklerinin eksik olduğu görülmüştür. Yapılan araştırmalardan yola çıkılarak elde edilen sonuçlar ile otomotiv sektöründe kullanılmaya uygun olacak şekilde üretilecek ürüne yönelik hızlı prototipleme seçim asistanı uygulaması oluşturulmuştur. Hızlı prototipleme seçim asistanı eşliğinde otomotiv endüstrisinde kullanılmak istenen ihtiyaca yönelik teknoloji çok ölçütlü karar verme teknikleri ile değerlendirilerek en optimum çözüme ulaştırarak şekilde tasarlanmıştır.





2. KATMANLI ÜRETİME GENEL BAKIŞ

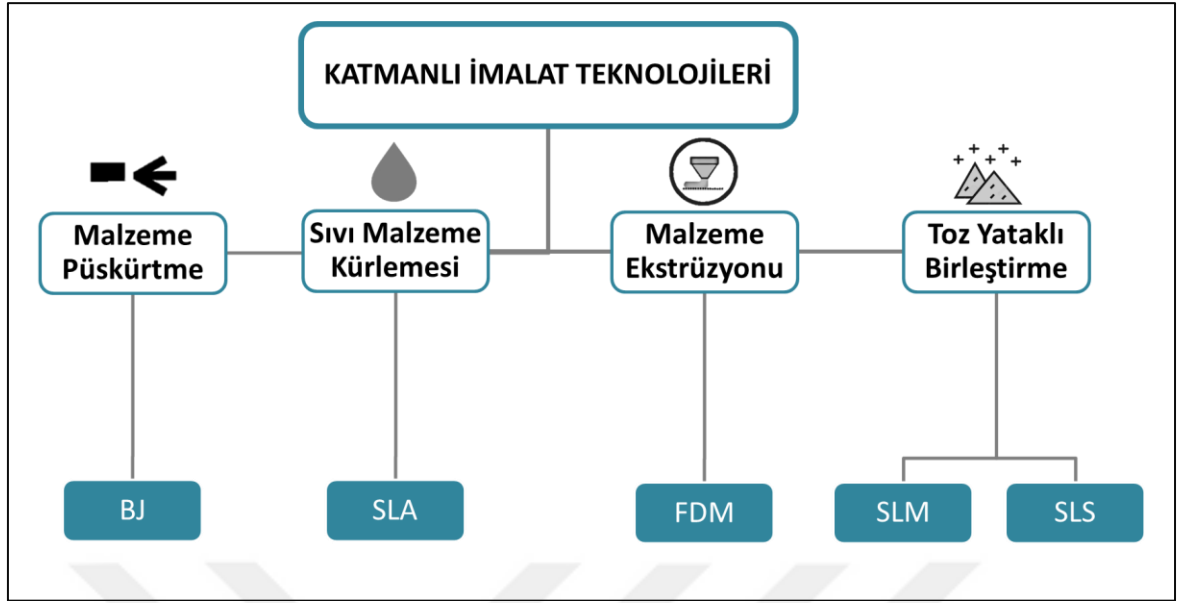
Katmanlı imalat teknolojileri, geleneksel üretim metodlarında uygulanan malzeme eksiltiyle üretilen aksine, temel olarak malzemenin düzlem üzerine katmanlar halinde eklenerek 3 boyutlu geometriye dönüştürülmesidir. Tasarım aşamasında ilk olarak bilgisayar ortamında 3 boyutlu modelleme gerçekleştirilir. CAD modeli, STL formatına dönüştürülerek parça yüzeyi ağ yapılarını oluşturan üçgensel koordinatlara ayrılır. Sonrasında son üründen beklenen özellikler doğrultusunda uygun yöntem seçilerek parça katmanlı imalat yöntemiyle üretilir. Son olarak kullanılan 3 boyutlu baskı teknolojisi ya da kullanılacağı alanda beklenen yüzey özelliklerine göre destek yapıları temizleme ya da yüzey iyileştirme işlemleri gerçekleştirilir. Kullanılan malzemeye göre üretim yöntemleri sıvı esaslı, toz esaslı, katı esaslı olarak 3 grupta incelenebilir.

Sıvı esaslı üretim teknolojilerinde kullanılan ham malzeme sıvı haldedir. Işık veya lazer kaynağı ile kürleşerek veya sertleşerek katmanlı şekilde sıvı malzeme katı hale dönüştürülür. Sıvı esaslı üretim teknolojilerinde foto kürleme adı verilen yöntem kullanılır. SLA (Stereolithography) ve Polyjet sıvı esaslı üretim yöntemlerinde sıkça kullanılan teknolojilerdir.

Katı esaslı üretim teknolojileri toz dışındaki tüm katı malzemeleri kapsar. Bu malzemeler filament, tabaka, rulo veya granül şeklinde kullanılmaktadır. Katı esaslı üretim teknolojileri malzemenin ergiyerek ekstrüze edilmesi, katılaşması veya yapışarak birleşmesi yöntemini esas almaktadır. FDM ve LOM katı esaslı üretim yöntemlerinde sıkça kullanılan teknolojilerdir.

Toz esaslı üretim teknolojilerinde toz malzeme katı halde ancak tane formundadır. Toz tanelerinin yüzeylerinin eritilmesi veya bağlayıcı kullanılması ile birbirine bağlanması temeline dayanır. SLS, SLM en sık kullanılan teknolojileridir.

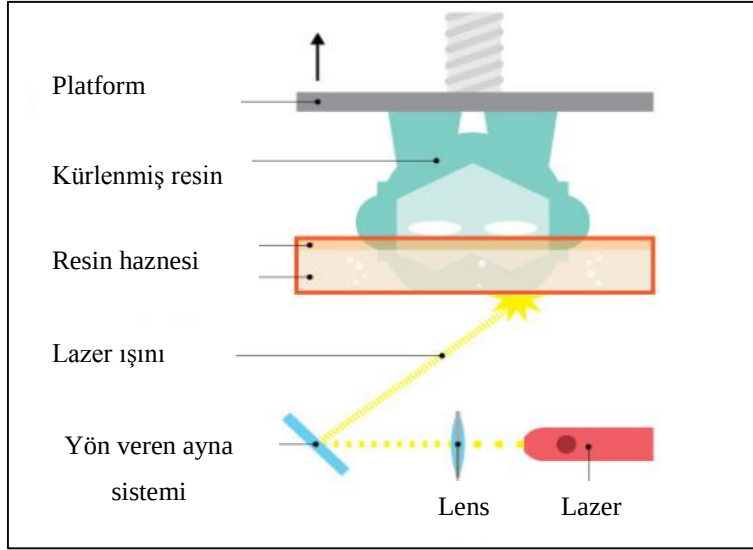
Özellikle sanayi uygulamalarında sıkça kullanılan SLA, FDM, BJ, SLS ve SLM teknolojilerinin ayrımı ve malzeme kullanımı Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Katmanlı imalat teknolojileri

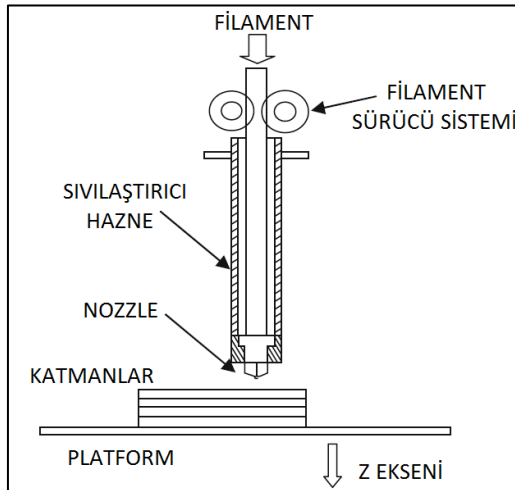
2.1. Katmanlı İmalat Teknolojileri Çeşitleri

Stereolitografi (Stereolithography-SLA) yönteminde bir lazer kaynağından elde edilen lazer ışını, hareketli ayna yardımıyla sıvı reçine yüzeye yönlendirilir (Şekil 2.2). UV ışını ile yüzeydeki reçine katmanı kürlenir. Taranan her katmanın kürleşmesi sağlandıktan sonra platform bir katman kalınlığı kadar hareket eder ve yeni bir katman taranır. SLA teknolojisinde yüksek hassasiyet ön plana çıkmaktadır. Bu teknoloji ile daha karmaşık parçalar daha iyi çözünürlük ile elde edilebilmektedir. SLA ile daha karmaşık parçalar daha iyi çözünürlük ile elde edilebilmektedir.



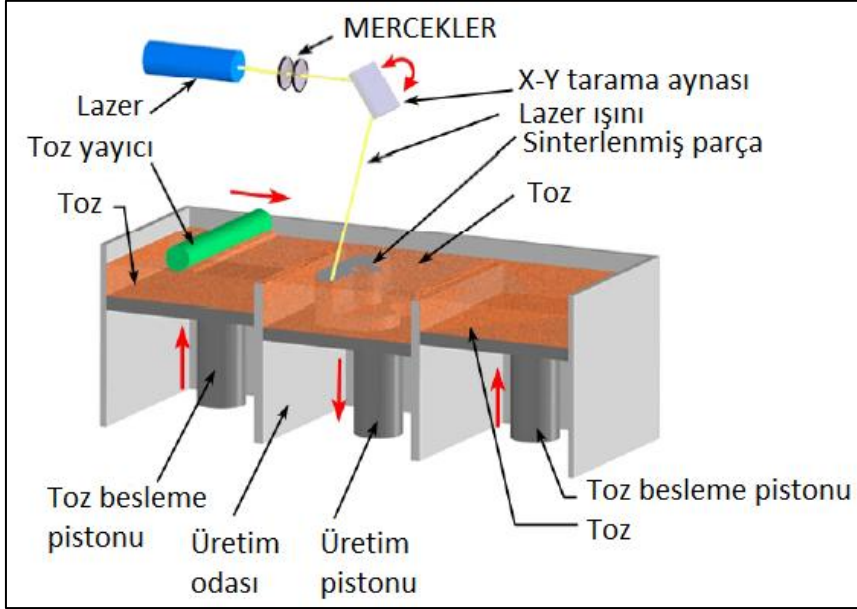
Şekil 2.2. SLA teknolojisi

Eriyik Yığılma Tekniği (FDM) teknolojisinde (Şekil 2.3) filament olarak isimlendirilen sert termoplastik, ergime sıcaklığına getirilerek nozul içerisinden ekstrüze edilir ve ince katmanlar halinde model oluşturur. ABS, PLA, PET gibi malzemeler kullanılabilir. Geliştirilmiş bir yazılım yardımıyla üç boyutlu model dosyası işlenerek kesitler hesaplanır. Daha sonra bu kesitler kullanılarak, destek malzemesi gereken bölümler ve tüm modelin oluşturulması için gerekli veriler hesaplanır. Hesaplanan bu veriler ağ ortamına bağlı herhangi bir bilgisayardan FDM sistemine gönderilir [2].



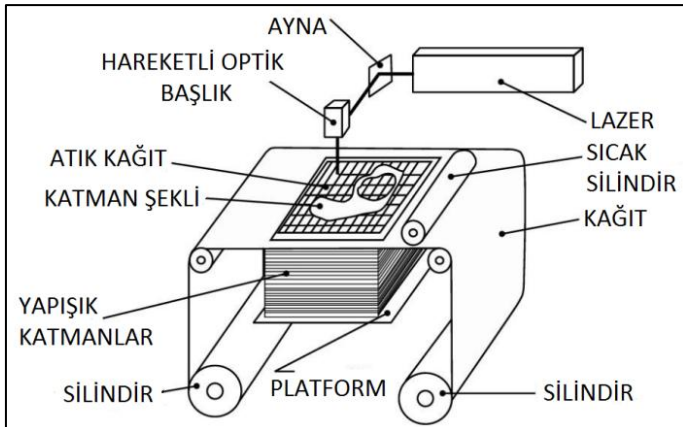
Şekil 2.3. FDM teknolojisi [2]

Seçici Lazer Sinterleme (SLS) teknolojisinde (Şekil 2.4) hazne içerisinde toz yayıcı ile kolayca eriyebilen ince toz tabakası yayılarak CO₂ lazer ile toz taranmaktadır. Lazer ile toz etkileşerek tozun sıcaklığı ergime noktasının üzerine çıkmakta ve katman oluşmaktadır [2].



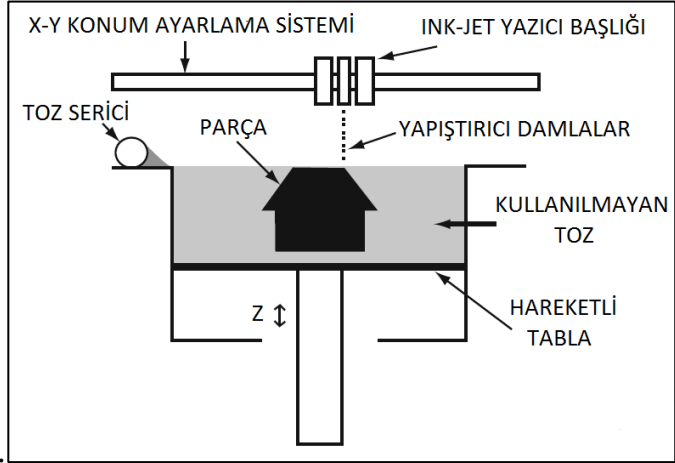
Şekil 2.4. SLS teknolojisi [2]

Çok Tabakalı Nesne Üretimi (LOM) teknolojisinde sistem (Şekil 2.5), platform üzerindeki ince levha malzemeyi süren besleme mekanizması, bağlayıcıları aktive edecek ısıtılmış bir silindir ve parça şeklini vererek hatları kesen lazerdir. Malzeme levha sıcak silindir ile serilerek yapıştırılır, katmanlar arasında ince termoplastik yapıştırıcı ve basınç kullanılır, sıcaklık ve basınç etkisiyle yapışan katmanlar CO₂ lazer ile kesilir [4].



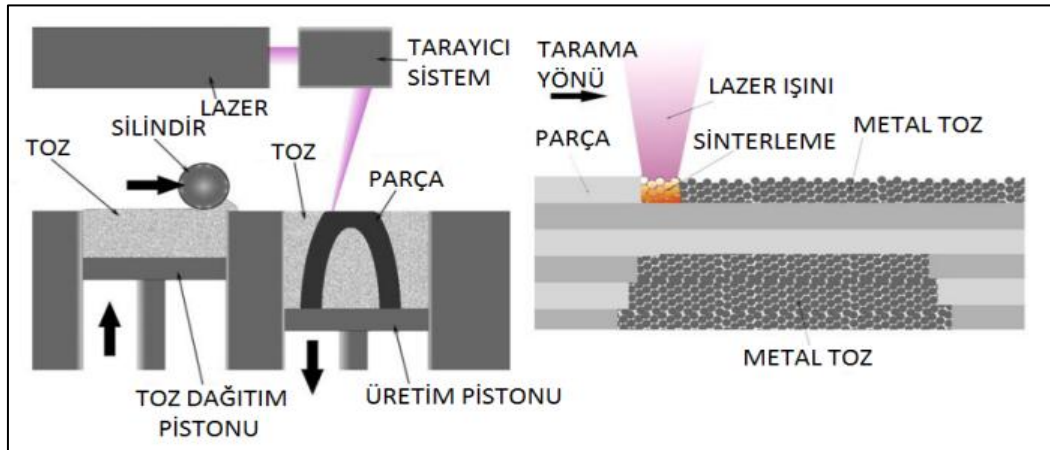
Şekil 2.5. LOM teknolojisi [2]

3 Boyutlu Yazıcı Ink-Jet teknolojisinde katmanlar yazıcı kafasında bulunan hazneden yapıştırıcı püskürtülerek model oluşturulur (Şekil 2.6). Platform katman kalınlığı kadar inerek tekrar toz ilave edilir ve püskürtme süreci tekrarlanır [5].



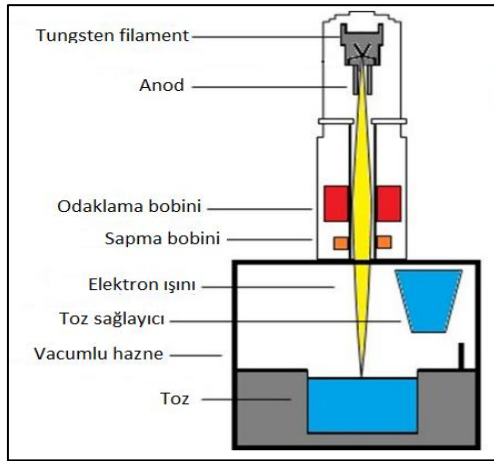
Şekil 2.6. 3 boyutlu yazıcı teknolojileri [2]

Metal Lazer Sinterleme (SLM) teknolojisinde çelikten yapılmış levha tabla üzerine konumlandırılır (Şekil 2.7). Ardından toz tabaka levha üzerine serilerek lazer ile taranır. Taranan parçacıklar lazerin verdiği enerji ile birleşir ve katmanlarla katı modeli oluşturur [6].



Şekil 2.7. Metal lazer sinterleme teknolojisi [2]

Elektron Işınla Eritme (EBM) teknolojisinde yoğun metal tozları elektron ışını ile eritilerek katmanlar halinde model oluşturulur (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. EBM Teknolojisi [2]

2.2. Farklı Parametrelere Göre Katmanlı İmalat Sistemlerinin Karşılaştırması

Katmanlı imalat teknolojilerinde üzere her bir teknoloji kendine göre farklı bir çalışma prensibine, avantaja ve üstünlüklere sahiptir. Özellikle kullanım alanına ve ihtiyaca göre üretim teknolojisinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Kullanım yoğunluğu, maliyet, çözünürlük, dayanım, hız gibi değişen parametrelere göre teknolojinin kullanımından doğacak verim de artacaktır. Bu parametreler ve teknoloji karşılaştırmaları Çizelge 2.1’de detaylandırılmıştır.

Çizelge 2.1. Hızlı prototipleme teknolojilerinin temel özellikleri ve karşılaştırması

Teknoloji	Ergiyik Biriktime	Stereolitografi	Lazer Sinterleme	Malzeme Püskürtme
Kısa Tanım	Filament adı verilen sert termoplastik nozul içerisinden ekstrüze edilerek ergime sıcaklığına getirilir. Ergiyen termoplastik z ekseninde hareket eden tabla üzerinde ince katmanlar halinde model oluşturulur.	Lazer ışını hareketli ayna ile fotopolimer reçine yüzeyine yönlendirilir. Taranan kısımlar sertleştikten sonra platform bir katman kalınlığı kadar aşağı iner ve yeni bir katman taranır. SLA ile daha karmaşık parçalar daha iyi çözünürlük ile üretilebilir.	Çelikten yapılmış levha tabla üzerine konumlandırılır. Toz tabaka levha üzerine serilerek lazer ile taranır. Taranan parçacıklar lazerin verdiği enerji ile birleşir ve katı modeli oluşturur.	Katmanlar yazıcı kafasında bulunan hazneden yapıştırıcı püskürtülerek oluşturulur. Platform katman kalınlığı kadar aşağı inerek tekrar toz ilave edilir ve püskürtme işlemi tekrar edilerek katı model oluşturulur.

Çizelge 2.1. (devam) Hızlı prototipleme teknolojilerinin temel özellikleri ve karşılaştırması

Teknoloji	Ergiyik Biriktime	Stereolitografi	Lazer Sinterleme	Malzeme Püskürtme
Malzeme	PLA, ABS, PCABS, Karbonfiber, Seramik	Fotopolymer Resin, Yüksek dayanımlı malzeme, Elastikmalzeme	Polyamide, Metal	Fotopolimer
Kullanım Alanları	Prototip Medikal Model, Mimari Endüstriyel üretim Endüstriyel tasarım	Hassas Dental Mücevher Endüstriyel üretim Endüstriyel tasarım	Savunma Sanayii Aeronautical Prototip Endüstriyel üretim	Prototip Endüstriyel üretim
Kullanım Yoğunluğu	✓✓✓✓✓	✓✓✓✓	✓	✓
Maliyet	✓✓✓✓✓	✓✓✓	✓	✓
Çözünürlük	✓✓✓	✓✓✓✓	✓✓✓✓	✓✓✓✓✓
Dayanım	✓✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓✓	✓
Hız	✓	✓✓✓	✓✓✓✓	✓✓✓✓✓

Her teknolojinin sağladığı faydalar gibi gelişime açık taraflarıyla dezavantajları da mevcuttur. Çizelge 2.2’de katmanlı imalat teknolojilerinin avantaj ve dezavantaj karşılaştırması yapılmıştır. Teknolojinin genel olarak sağladığı avantaj ve dezavantajlar göz önünde bulundurulduğunda özellikle düşük adetli parçaların tasarım ve prototip sürecinde büyük avantaj sağladığı buna karşı yüksek adetli ve büyük boyutlu parçalarda teknoloji kullanımının bir dezavantaj haline geldiği söylenebilir.

Çizelge 2.2. Hızlı prototipleme teknolojilerinin avantaj ve dezavantajları

• Avantaj	• Dezavantaj
• AR-GE ve ÜR-GE süreçlerinde deneme, test ve verifikasyon aşamalarının gerçekleştirilmesi sağlanır.	• Üretim süresi, geleneksel imalat şekillerine göre yavaştır.
• Üretilen model ile imalat yöntemleri kontrol edilebilir.	• Yüzey pürüzlülüğü hassas parçalar için ardıl işlem gerektirebilir

Çizelge 2.2. (devam) Hızlı prototipleme teknolojilerinin avantaj ve dezavantajları

• Avantaj	• Dezavantaj
• Fireyi azaltarak maliyeti düşürür.	• Boyutsal olarak büyük parçalar için üretim zordur. Üretimi sağlansa da yüzey kalite problemleri görülür.
• Tasarım sürecini kısaltır.	• Ergimiş plastik kullanımı ve soğuma evrelerinden dolayı çekme problemleri görülebilir.
• Oldukça karmaşık şekiller için imalat yöntemlerinin yetersiz kaldığı zamanlarda hızlı prototipleme ile üretim tercih edilir.	• Ev tipi cihazlar üretilen ürünlerin kanuni takibini zorlaştırır.
• Medikal uygulamalar için gerekli implant,protez vb. ürünlerin üretimini kolaylaştırır.	• Malzeme kullanımı kısıtlıdır. Her malzeme üretime uygun değildir.
• Düşük adetli parçalarda plastik enjeksiyona göre daha hızlı ve ucuz üretim sağlar.	• Ham madde maliyeti yüksektir.
• Tek seferde daha kısa sürede istenen geometriler elde edilebilir.	• Baskı yönüne göre değişen dayanım sebebiyle parça beklentilerinin test edilmesi gerekir.

Hızlı prototipleme teknolojilerinin ürün planlama ve üretim sürecindeki geri besleme süreçlerine de katkısı oldukça fazladır. Geleneksel üretim yöntemlerinde prototip ve test süreçlerinin sağlanabilmesi için tasarımdan sonraki aşamalarda kalıp ve parça üretimi gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 2.3. Hızlı prototipleme sistemlerinin üstünlükleri

Ölçüsel Doğru	OBJ	FDM	SLS	SLA	3DP	Ölçüsel Daha Az Doğru
Mekanik Direnci Çok	FDM	SLS	SLA	OBJ	3DP	Mekanik Direnci Az
İyi Çözünürlük	OBJ	SLA	FDM	SLS	3DP	Kaba Çözünürlük
Pürüzsüz Yüzey	OBJ	SLA	FDM	SLS	3DP	Pürüzlü Yüzey
Ucuz	3DP	OBJ	SLS	FDM	SLA	Pahalı
Hızlı	3DP	SLA	OBJ	SLS	FDM	Yavaş

Çizelge 2.3’de 3 boyutlu baskı teknolojilerinin farklı beklentilere yönelik karşılaştırmaları verilmiştir. Çizelge 2.3 incelendiğinde günümüzde de yaygın olarak kullanılan SLA ve FDM teknolojilerinin mukavemet olarak oldukça avantajlı olduğu görülmektedir. Ancak SLA teknolojisi de yüksek doğruluk, daha detaylı parça üretebilme ve görsel olarak malzemede renklendirme imkânlarıyla öne çıkmaktadır.

Çizelge 2.3’deki teknolojilerin dışında metal ürün üretiminde de SLM teknolojisi de oldukça ilerleme kaydedilmiştir. Günümüzde ürün geliştirme aşamasında düşük ürün adetleri ve yüksek maliyet en büyük dezavantajlardandır. Bu sebeple 3 boyutlu yazıcılar ile birlikte SLM teknolojisi de kalıplama uygulamalarında destek olmaktadır. Kalıplama uygulamaları dışında bitmiş ürün üretimi için SLM teknolojisi ile metal baskılar üzerine yapılan çalışmalar oldukça gelecek vaat etmektedir. Titanyum alaşımlarının katmanlı imalat teknolojisi ve geleneksel yöntemlerle üretilmesinin karşılaştırıldığı ve üretilen ürünlerin yapısal incelemelerinin yapıldığı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda katmanlı imalat teknolojileriyle üretilen parçaların yapısal özellikler bakımından geleneksel yöntemlerle üretilen parçalarla rekabet edebilecek düzeyde olduğu ve geleneksel yöntemlerle işlenmesi zor parçalar için oldukça büyük bir avantaj sağladığı çalışmalarla desteklenmiştir [10].

Çizelge 2.3’de görüldüğü üzere hızlı prototipleme teknolojileri kendi içinde kullanım alanlarına göre üstünlük ve dezavantajlara sahiptir. Bu sebeple hızlı prototipleme yönteminin seçiminde kullanım alanı ve üründen beklenen özellik oldukça önemlidir. Farklı parametreler göz önüne alındığında teknolojiler uygulama alanlarına göre avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte kullanılan malzemenin de kullanım alanına göre seçimi önemlidir.



3. ÜRETİMDE HIZLI PROTOTİPLEME

3.1. Seri İmalat

Seri imalatta kullanılacak parçalar, basit parçalardan montaj parçalarına kadar oldukça çeşitlidir. Bir ürün üretim süreçleri için gereken yatırım maliyetleri oldukça yüksektir ve bu süreçler oldukça zaman alır. Ancak yüksek miktardaki parça üretimi ile bu yatırım maliyeti dengelenir. Hızlı prototipleme baskı hızı göz önünde bulundurulduğunda seri üretim şartlarında yüksek adetli ürünler için üretimde yetersiz kalmaktadır. Ancak prototip sürecinde aktif kullanımı ile, yatırım gerektiren üretim süreçlerini belirleme ve doğrulamasının yapılmasında zaman kazandıran, bununla beraber maliyeti azaltan etkisi vardır.

3.2. Az Sayıda Üretim

Otomotiv sektöründe yıllık 300.000 araç gibi yüksek üretim adetleri bulunur. Ancak havacılık sektörü bundan farklıdır. Yıllık 280 adet gibi üretim adetleri bulunan projeler bulunur ve bu projeler az üretim adetleri ile özelleştirmeye açıktır. Hızlı prototipleme teknolojisi ile az sayıda üretilecek parçalarda kullanılacak takım masrafları ve işlem adımları en aza indirilir.

3.3. Karmaşıklık Avantajı

Özellikle karmaşık geometriye sahip parçaların üretiminde işlem adımlarının artması ve üretim zorluğundan dolayı tasarımda basitleştirmeye gidilir. Ancak hızlı prototipleme ile en karmaşık parçalar bile kolaylıkla üretilebilir. Bu avantaj tasarımda, işlem adımlarını ve parça sayısını azaltma ve maliyet açısından iyileştirme sağlar.

3.4. Kütle Karmaşıklığı

Kalça kemiği protezinde küresel metal şekiller kullanılır. Bu protezlerde geometri ve gözenekli yüzeyler mevcuttur. Hızlı prototiplemede geometri elektron demeti ile metal tozunun eritilmesiyle kolayca oluşturulur. Bu sayede pahalı olan dövme işlemi ve kaplama prosesi ortadan kaldırılabilir.

3.5. Kişiselleştirme

Ürünleri kişiselleştirme için zaman, araç ve kalıp maliyetleri gereklidir. Ancak hızlı prototipleme ile yapılan tasarım az üretim adetlerinin de avantajı ile kolayca kullanıcıya özel kişiselleştirilebilir. Hızlı prototipleme ile tasarım kısıtları da ortadan kaldırılır.

Özellikle medikal sektöründe 3 boyutlu tarama ile kişi üzerinden alınan 3 boyutlu görüntüler hızlı prototipleme ile yazdırılır. Bu şekilde protez, kemik vb. yapılar için kişiye özel halde tedavide kullanılabilir.

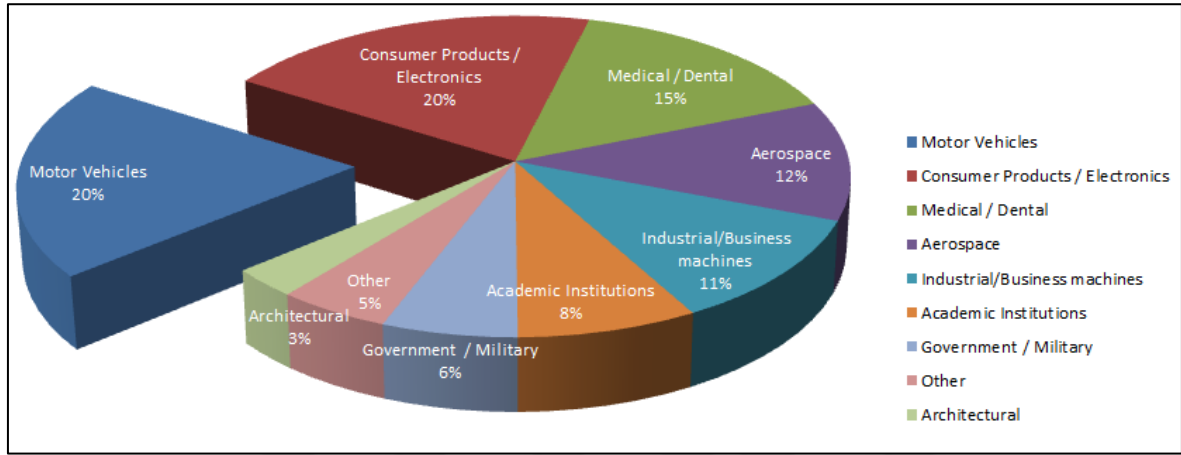
3.6. Sanat Ürünleri

Hızlı prototipleme ile sanatsal ürünlerde üretim zorluğu sebebiyle oluşan tasarım kısıtları ortadan kaldırılır. Parça ve ürün tasarımında karmaşık şekiller üretmek ve tasarımı özgürleştirmek mümkün kılınır [11, 12].

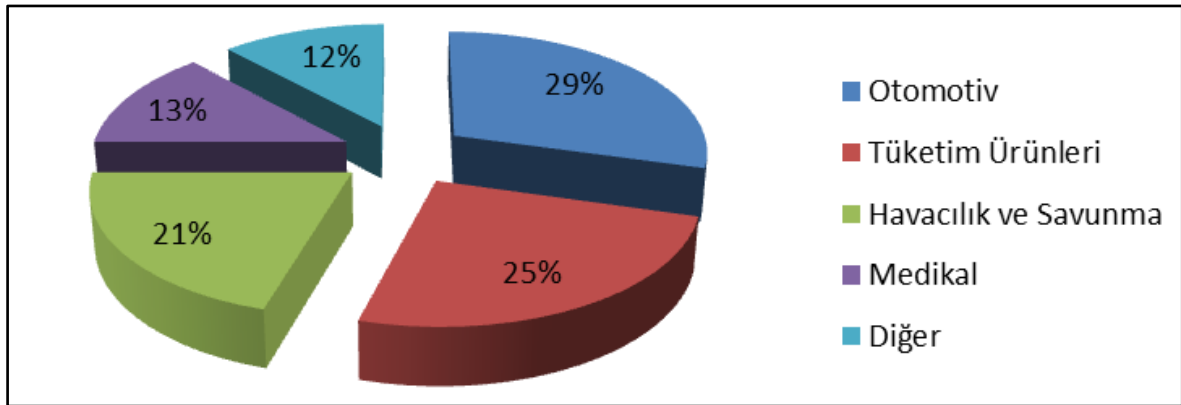
3.7. Prototip

Prototipleme, tasarımcı ve mühendisler için proje aşamalarında oldukça büyük bir öneme sahiptir. Bir çok alanda tasarımı doğrulama ve verifikasyon aracı olarak kullanılan prototipin, katmanlı imalat teknolojileri ile daha kolay elde edilebilir olması çeşitli sektörlerin de bu teknolojileri desteklemesi ve çalışmalarını arttırmasını beraberinde getirmiştir. Özellikle ürün geliştirme süreçlerinde konsept çalışmaları kapsamında, konsept kararlarını belirleyen önemli bir unsurdur. Oluşturulan prototip sayesinde konsept daha anlaşılır kılınarak; nasıl çalışacağı, görünümün kullanıma uygunluğu, ergonomik özellikleri gibi konularda, testleri ve doğrulaması yapılarak şekillendirilir [13]. Prototip aşamasının bir önemli etkisi de Failure Mode Effect Analysis (FMEA) süreçlerinin en doğru şekilde işletilmesidir. Tasarımda belirleyici ve yol gösterici bir süreç olan FMEA süreçlerini prototip sayesinde deneyerek ve görerek düzeltmeleri yapmak ya da proje sonu safhalarına kalmadan hatayı önleyebilmek mümkündür [14]. Ayrıca tasarımı belirleyen tasarım kısıtları ve daha önceki projelerden edinilen tecrübeler ile oluşturulmuş gereklilikler de oluşturulan prototip parçayla doğrulanabilir ya da kullanıcı deneyimine sunularak olası kullanıcı şikayetleri için öncül çalışma gerçekleştirilebilir [15].

2012 Wohler 3 Boyutlu yazıcı pazar araştırmasından derlenen Şekil 3.1 ve Technavio 3 Boyutlu yazıcı pazar araştırmasından düzenlenen Şekil 3.2’de 2012 ve 2016 yıllarına ait hızlı prototipleme teknolojilerinin kullanım alanlarının oranları ve gelişimi verilmiştir. Grafikler incelendiğinde diğer üretim sektörleri ile birlikte otomotiv alanında kullanım oranının geçmişten günümüze arttığı ve diğer kullanım oranlarına göre önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir.



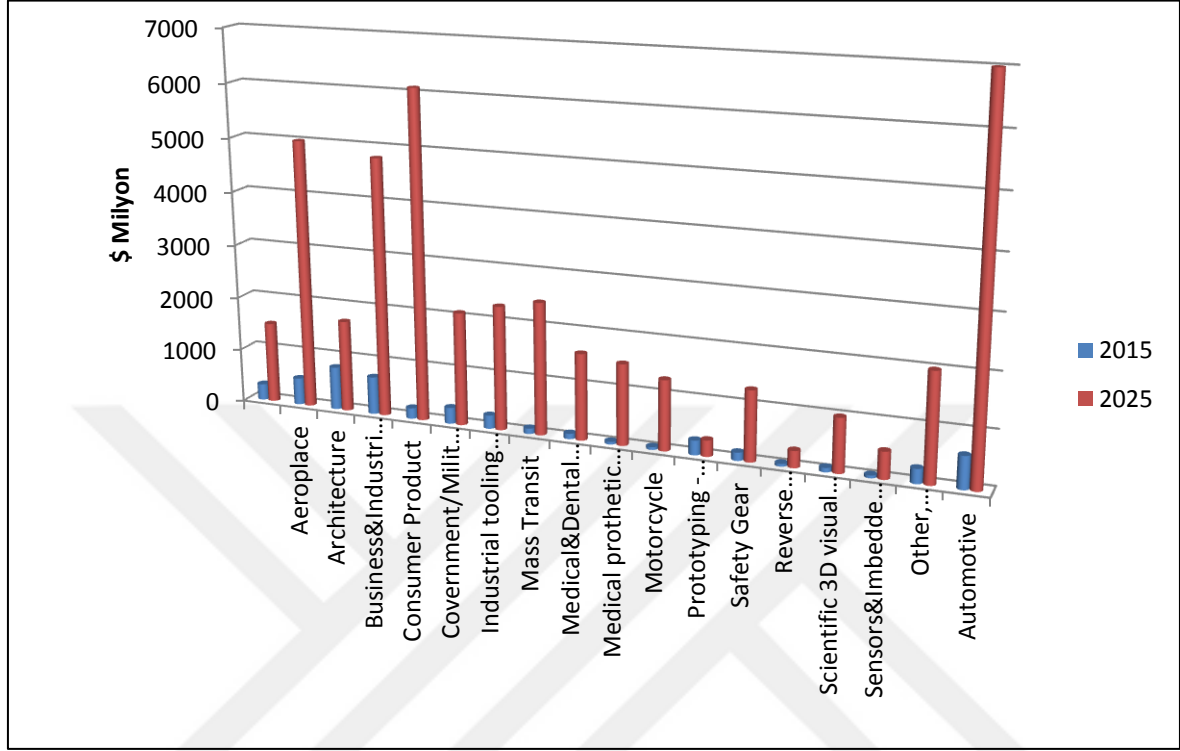
Şekil 3.1. 2012 yılı Sektörlere göre hızlı prototipleme teknolojilerinin dağılımı [42]



Şekil 3.2. 2016 yılı Sektörlere göre hızlı prototipleme teknolojilerinin dağılımı

Smithers Pira Global 3D printing industrial forecast by market, \$ million araştırmasından derlenen Şekil 3.3’te hızlı prototipleme teknolojilerinin yıllara bağlı market değerleri ve verilere dayanan gelecek yıllara yönelik tahminler verilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere mevcut market değerine göre ilerleyen yıllarda kullanımının artması ile özellikle otomotiv endüstrisinde market değerinde ciddi bir artış beklenmektedir. Bu artışa en büyük etki, hızlı prototipleme teknolojilerinin otomotiv sanayisinde prototipleme konusunda

kullanımının yaygınlaşması, elektrikli ve otonom araç üretiminin hızlanmasına bağlı olarak ağırlık azaltma ve özel tasarım çalışmaları gösterilebilir.



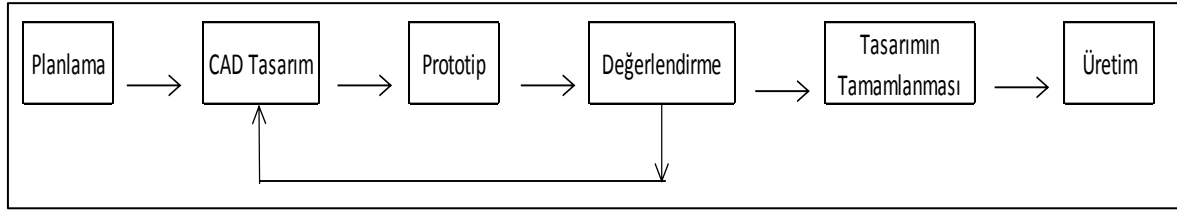
Şekil 3.3. 2015-2025 yılları arasında katmanlı imalat teknolojilerinin farklı sektörlerdeki gelişimi

4. OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE HIZLI PROTOTİPLEME

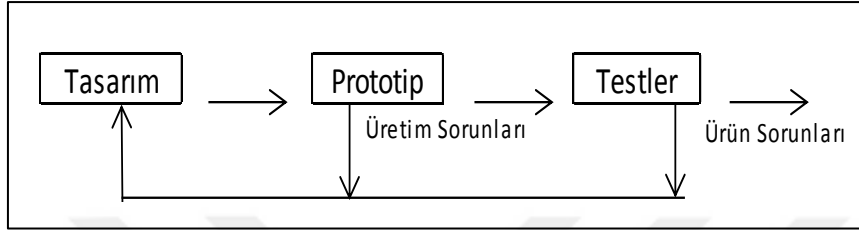
Otomobil üretimi bir çok komponent parçanın bir araya gelmesiyle gerçekleşir. Diğer ürün üretimlerine göre daha kompleks ve farklı parçalardan oluşan otomobillerin ürün geliştirme ve tasarım süreçleri de karmaşık ve uzun sürelidir. Tasarımdan son ürüne kadar geçen süreçte yapılan hata ve üretim sorunları da üreticiye katlanarak yansımaktadır. Özellikle parçaların ilk ürün geliştirme ve test aşamaları bu süreçte büyük rol oynamaktadır. Sürecin doğru işletilmesi proje maliyetlerini ve araç kalitesini, ayrıca satış sonrası problemleri de doğrudan etkilemektedir. Süreçte karşılaşılabilecek herhangi bir sorun araç testlerine ve aracın piyasaya çıkış tarihine kadar, devamında gelen kritik süreçleri de engellemektedir. Bu nedenle otomotiv sektöründeki firmalar özellikle prototipleme ve doğrulama aşamalarına büyük yatırımlar ve çalışmalar yapmaktadır.

Şekil 4.1’de geleneksel ürün geliştirme süreci, 4.2’de tasarım ve prototip süreci ve 4.3’te ise günümüzde uygulanmakta olan geliştirilmiş üretim süreçleri gösterilmiştir. Ürün geliştirme süreçlerinde karşılaşılan tasarım sorunları yüksek maliyetlere neden olmakta ve tasarımla beraber üretim kalıplarında ciddi değişiklikler gerektirebilmektedir. Bu nedenle özellikle yüksek adetli üretim gerçekleştiren firmalar bu maliyet ve zaman kayıplarından zararını en aza indirebilmek için tek seferde doğru tasarımın gerçekleştirilebilmesini hedeflemektedir. Geleneksel ürün geliştirme süreçlerinin prototip fazlarında ürünlerin ilk üretimlerinin gerçekleştirilmektedir. Geleneksel yöntemlerle prototip amaçlı düşük adetli ürün üretimi yüksek parça fiyatlarına ve karşılaşılan üretim problemleri de yüksek yatırım maliyetlerine neden olmaktadır.

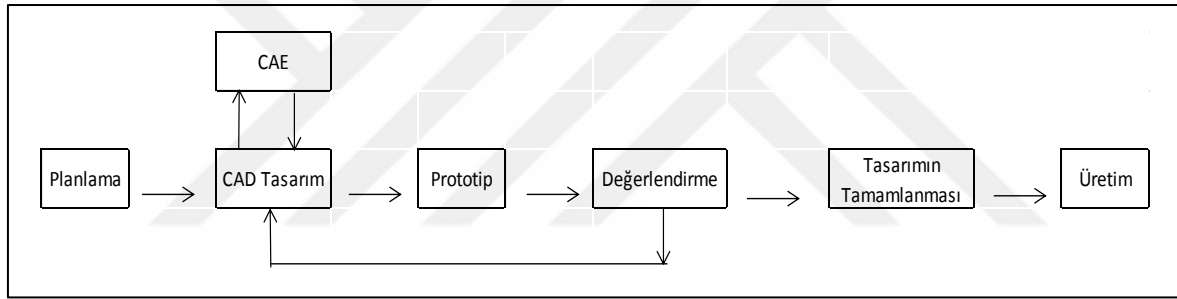
Ürün geliştirme süreçlerindeki prototipleme fazına 3 boyutlu baskı teknolojilerinin dahil olması ile birlikte, üretime geçmeden önce ortaya çıkabilecek ürün ve üretim sorunlarını ürünlerin birebir ölçülerde prototiplerini üreterek test edebilme imkanı sağlanmıştır. Erken dönemde 3 boyutlu baskı prototipleri ile doğrulama yapılması ile olası hatalar ortadan kaldırılarak tasarım ve değerlendirme süreçlerinin en kısa sürede, en az hata ve maliyetle gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 4.1. Geleneksel ürün geliştirme süreci [3,16,69]



Şekil 4.2. Tasarım, prototip ve test döngüsü [3,69]



Şekil 4.3. Mevcut ürün geliştirme süreci [3,69]

Üretim öncesi proje süreçleri ile beraber katmanlı imalat imalat süreçlerine oldukça büyük etki etmiştir. Sanayi kullanım alanlarına bakıldığında otomotiv sektöründeki kullanımı ve gelişim beklentileri de oldukça dikkat çekicidir. Otomotiv endüstrisinin gelişen teknolojiler ile doğrudan etkilenmesi sonucu katmanlı imalat teknolojileri de bir ihtiyaç haline gelmeye başlamıştır. Özellikle artan üretim adetleri ile beraber operatör sağlığının ve güvenliğinin de daha da dikkate alınmaya başlanmasıyla montaj hatlarında iyileştirme ve geliştirmelere ihtiyaç duyulmuştur. Bu noktada özellikle herhangi bir ara prosese gerek duymadan tasarlanan ürünü bitmiş ürün halinde kullanmaya imkan tanıyan katmanlı imalat teknolojisi direk uygulamaya imkan tanımıştır. Fikstür vb. kullanımlarının dışında hafiflik ve daha sıra dışı tasarımlar için karmaşık geometri ihtiyacı da katmanlı imalat teknolojisinin otomotiv sektöründe yaygınlaşmasını sağlamıştır. Günümüzde seri üretime entegre edilmiş bir bitmiş ürün halinde kullanımı uygun olmasa da özellikle konsept araçlarda ihtiyaç duyulan tasarımları ve az adetteki kullanımı karşılamak için sıklıkla kullanılmaya

başlanmıştır [3,13]. Kullanılan teknolojiler ve uygulamalara dair kısa bilgilendirme Çizelge 4.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. Otomotiv sektöründe bazı üreticilerin 3D baskı uygulama örneklerine genel bakış

Otomotiv Üreticisi	Peugeot	Volvo	Mercedes	Volkswagen	Ford
3D Baskı Uygulaması	Akustik iç mekan (Karmaşık şekillerden grift yüzeylerin elde edilmesi)	Kamyon Pompa	Kamyon Yedek Parça	Fikstür	Ayak üfleci tasarımı
Kullanılan Yöntem	SLS	SLS	SLM	FDM	FDM
Kazanımlar	1- Kalıp kullanılmamasından dolayı minimum maliyet 2-Karmaşık geometri üretimi	1- Üretim maliyetleri azaltılır 2- Tedarik süresi azaltılır	1- Yedek parça ve kalıp stoklama maliyetleri ortadan kaldırılır 2- Tedarikçiye bağlı kalınmadan yedek parça desteği sağlanabilir	1- Montaj prosesleri kolaylaştırılır 2- Fikstür üretimi ihtiyacı yönelik olarak sipariş ve tasarım kısıtı olmadan gerçekleştirilir	1- Tasarım verifikasyonları sağlanır 2- Prototip parça üretimi için kalıp maliyeti ortadan kalkar
Dezavantaj	Yüzey işlemi istenilen düzeyde olmadığından floklama işlemi kullanılır	Seri üretimde kullanıma uygun değildir	Yüksek adetteki üretime uygun değildir	Yatırım maliyeti gerektirir	Malzeme özelliklerinin karşılaştırılması gereken fiziksel testlerde kullanılamaz

Otomotiv sanayisinin ağır üretim çıktıları olarak çevre zararları, kullanılan malzemelerin dönüştürülebilir olması ve düşük karbon izine sahip olması da zamanla yasal kısıtlarla kontrol edilir hale gelmiştir. Bu kapsamda otomotiv üreticileri geri dönüştürülebilir ve bio malzeme arayışına, bu konuda ilerleme sağlanacak çalışmalara yönelmiştir. Katmanlı imalat teknolojileri bu noktada da büyük avantaj sağlamaktadır. Kullanılan teknolojilerin düşük karbon çıktısına sahip olması ve geri dönüştürülebilir malzemeye imkan tanınması hızlı prototipleme teknolojilerinin tercih edilirliliğini de büyük ölçüde arttırmaktadır [18].

Her ne kadar bir çok sektörde hızlı prototipleme teknolojileri bitmiş ürün olarak kullanılmaya çalışılsa da mevcut teknoloji ve malzemelerde bitmiş ürün olarak her alanda kullanımı yetersiz kalmaktadır. Ancak bu noktada önemli bir ayrım olarak hızlı prototipleme teknolojilerinin, seri üretime entegre bitmiş ürünü hedeflemekten ziyade proses verimi arttırıcı bir unsur olarak kullanılmasının hedeflenmesi gerekmektedir. Bu

doğrultuda çeşitli çalışmalar ve araştırmalar devam etmekle beraber otomotiv sektöründeki çoğu firma hızlı prototipleme teknolojilerini mevcut üretimine entegre etmeyi oldukça başarılı bir şekilde gerçekleştirmiştir.

4.1. Otomotiv Sektöründe 3 Boyutlu Yazıcı Uygulamaları

Yapılan çalışmalar göstermektedir ki proses verimlerini arttırmak için kullanılan alanlarda hızlı prototipleme teknolojileri üretim prosesleri ve maliyetleri konusunda büyük bir avantaj sağlamaktadır. Özellikle prototip için bitmiş ürün yerine kalıp üretimi ya da seri üretimi destekleyici kalıplarda kullanılan 3D baskı parçaların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Otomobil hava üfleci kalıbının hızlı prototip ile basılan parçadan yola çıkarak yapılması hem prototip hem de test ve verifikasyon aşamalarını kısaltması açısından önemli örneklerden biridir. Prototip parça olarak üretilen hava üflecinden kalıp imal edilerek parça test ve verifikasyonları desteklenmiştir. Hali hazırda pek çok firma bu konuda çalışmalarını sürdürerek, bitmiş ürün sağlamaktan ziyade prosesleri kısaltmaya ve maksimum verimi sağlamaya yönelik olarak çalışmalarına ağırlık vermiştir [19].

Otomotiv endüstrisinde bu teknoloji, mümkün olan en iyi maliyetle daha hafif ve karmaşık şekillere izin veren yeni tasarımlara yol açmıştır. Şu anda prototip ve konsept araçlarda kullanılıyor olsa da gelişen teknoloji ile beraber son ürün olarak kullanılmasını da imkan sağlayacaktır. Yeni malzemeler, farklı kaplamalar, daha kısa teslim süresi 3D yazıcının üretim sürecine yaklaşmasını ve gelecekte yedek parça üretiminde de yer almasını sağlayacaktır.

Otomotiv piyasası dünyanın en büyük pazarlarından biri olarak rekabetçi pazarın da en yoğun görüldüğü alandır. 3D baskının otomotiv sektöründeki gelişimi özellikle bu alanlarda dikkat çekicidir:

- 3D baskı ile üretilen parçalar içeren süper otomobiller
- Formula 1 araçları
- Konsept otomobiller
- Prototipler
- Süper arabalar ve Formula 1 araçları

Bu bölümde yapılan çalışmalar için 2015 yılından itibaren Stratasys, 3DHubs, Materialise, +90, Infotron, 3Durak, Sculpteo gibi baskı ve makine hizmeti veren şirketlerin güncel uygulamaları ve kendi aylık yayınlar takip edilmiş, görüşülerek bilgi toplanmıştır. Aynı zamanda Peugeot, Mercedes, Audi, Volvo gibi farklı otomotiv firmalarının çalışmaları farklı online platformlardan takip edilmiş ve derlenmiştir. Bu çalışmaların yanı sıra:

- 2016 - 2017 Design Week
- 2017 3D Print Expo
- 2018 +90 Hızlı Prototipleme atölye çalışması
- 2018 Form Next fuar&konferansına katılım sağlanarak global 3 boyutlu yazıcı uygulamaları geliştiren firmaların ürünleri incelenmiş çalışmaları ile ilgili bilgiler derlenmiştir.

4.1.1. Konsept araçlar

Peugeot FRACTAL konsept araçlar; 3D baskı ile akustik iç mekan

Fransız otomobil üreticisi Peugeot mükemmel konsept otomobil tasarımı için sadece görünümde değil, yeni tasarım ve üretim süreçlerini de içine alan elektrikli otomobil tasarımı arayışına girdi. Peugeot Fractal mükemmel ses düşüncesi üzerine sesin mekansallaştırılması ile karakterize edilen bir ses sistemine sahipti. Ancak mükemmel sese ulaşabilmek için dışardan ses girişinin de minimize edilmesi gerekiyordu. Çözüm olarak araç için iç mekanda ses ve yankıları absorbe edebilecek dış gürültüyü ortadan kaldıran bir ses odası konsepti tasarlandı. Bu tasarımı otomobile entegre etmek için karmaşık şekillerden oluşan girift yüzeylerin elde edilmesi gerekiyordu. Tasarımcılar böyle bir tasarımın, geleneksel üretim yöntemlerinin kısıtlarından bağımsız üretilebilmesi sebebiyle karmaşık yüzeyler için en uygun ve kısıtları ortadan kaldıracak yöntemin 3D teknolojisi olduğuna karar verdiler.

Geleneksel yöntemlerde kullanılması gereken kalıp maliyetlerine karşı 3D baskı teknolojilerinden lazer sinterleme yöntemi, maliyetleri minimumda tutarak karmaşık geometrilerin üretilmesine imkan verme avantajına sahipti. Proje aşamasında yüksek dosya boyutlarının baskı süresini uzatması sebebiyle 3D baskı ara yüzey programları ile tasarım optimize edildi. Elde edilen baskı ürününün iç tasarımda kullanılacak olması nedeniyle

yüzey kalitesi ve görünümü oldukça büyük önem taşımaktaydı (Resim 4.1). Bu sebeple son işlem olarak floklama uygulanmasıyla parça yüzeyleri kalite algısını yükseltecek şekilde, aşınmaya dirençli ve yumuşal bitişli hale getirildi [20].



Resim 4.1. Peugeot Fractal kompleks iç trim tasarımı [20]

Materialised, Jaguar - CX-75 konsept otomobili

Materialize UK ve Jaguar Land Rover mühendisleri CX 75 konsept aracının tasarım zorlukları için ortak bir çalışma yürüttü. Kabin içi tasarımlarında düşünülen organik ve kompleks yapıli parçalar geleneksel üretim yöntemleri ile üretilmeye uygun olmadığı için hızlı prototipleme teknolojisinden faydalanılmasına karar verildi. Karmaşık parça üretiminde geleneksel üretim yöntemlerinin aksine, hızlı prototipleme teknolojisi kalıp maliyetleri açısından oldukça büyük bir avantajına sahipti.

Jaguar Land Rover ekipleri araçta kullanılacak parçaların gereksinimlerini tam olarak belirledikten sonra Materialise mühendisleri, bu beklentileri karşılayacak uygun teknolojinin belirlenmesi üzerine çalıştılar. İşlevsellik gerektiren parçalar, 3D CAD verilerinden doğrudan imal edilmesini sağlayan Fused Deposition Modeling machines (FDM) 'nin Materialize paketini kullanarak ABS ile üretildi. Materialise, parçaların dayanım beklentisini karşılamak için özel yazılımlarla kiriş ve yapıları ekleyerek parçaların sağlamlık ve dayanımlarının arttırılmasını sağladı.

Yüksek derecede işlevsellik gerektirmeyen diğer parçalar, Materialise'in patentli Mammoth makinelerinde stereolitografi ile üretildi ve büyük parçalar tek parça halinde imal edildi. Bu sayede büyük bileşenlerin kesilmesi ve yapıştırılması gerekliliği yönünden büyük bir avantaj sağlandı ancak güç ve kaplamadan ödün verildi. Proje sonunda iki firmanın ortak çalışması sonucu geleneksel yöntemlerin maliyetlerine oranla %50 oranında bir kazanç sağlandı.

Materialise UK Finans Yöneticisi Johnathan Andrews Katmanlı imalat teknolojilerinin, organik formlar yaratarak ve daha önce sınırlı olan tasarım özgürlüğünü aşarak, sahip olunan konsept tasarım çizgilerini yeni bir düzeye getirdiğini belirtmiştir [21,41] (Resim 4.2).



Resim 4.2. Jaguar CX 75 katmanlı imalat teknolojisi ile konsept araç üretimi [21]

Buick - Avista

Buick firması çoğunlukla işlevsel arabalar üretse de şirketin stil, enerji kullanımı ve değerleri açısından gelecek yönelimlerini sergilemek için Detroit'teki Kuzey Amerika Uluslararası Otomobil Fuarı'ndan birkaç gün önce düzenlenen bir konferansta, Avista adı verilen yeni konsept araçlarından birini açıkladı (Resim 4.3).

Araba olarak etkileyici özelliklerinin yanı sıra (400 beygir gücü, ikiz turbo şarjlı V-6 motor, sürücü odaklı bir kokpit ve şaşırtıcı bir tasarım) otomobilde koltuk ve kapılarda 3D baskılı iç trim bulunuyordu. İç trim parçalarının kompleks tasarımları için hızlı prototipleme teknolojisi oldukça büyük bir önem taşımaktadır. 3D baskı parçalar, yüzey kaliteleri nedeniyle genellikle görünür olmayan yüzeylerde kullanılmış olsa da teknolojinin

gelişmesi ile yeni tasarımlarda bu parçaları sürücüler veya yolcular tarafından dokunulan noktalara entegre etme kararı alındı [22].



Resim 4.3. Buick Avista katmanlı imalat teknolojisi ile iç trim uygulaması [22]

4.1.2. 3D komponentler

Elektrikli yarış arabası için 3D baskı ile Titanyum parçalar

Eindhoven mühendislik öğrencileri tarafından 24 Hours of Le Mans'ta yarışmak için dünyanın en hızlı elektrikli otomobilinin üretilmesi hedeflendi. Elektrikli araçlarda en önemli kriter olan ağırlığın optimizasyonu oldukça büyük önem taşıyordu. Ağırlık optimizasyonu için süspansiyon çatalına hafiflik sağlamak adına hızlı prototipleme teknolojisi üzerine çalışıldı. Süspansiyon çatalı dikey ve yatay şasiyi birbirine bağlayan parçalardır ve tekerlekleri yerinde tutma görevindedir. Bu sebeple de farklı yönlerden kuvvetlerle baş etmesi gereken önemli bir parçalardır. Tasarım ekibi parçayı mukavemetinden ödün vermeden daha hafif bir yapıya dönüştürebilmek için Materialise 3-matic programı ile boşluklu yapıları petek yapısıyla doldurmak üzerine çalışmalar yaptı. Hızlı prototipleme teknolojilerinin sunduğu petek yapısı parçaya dayanım kazandırırken ağırlık avantajı sağlama özelliğine sahiptir.

Parça yazdırılırken destek eleman kullanmamak için parçanın kendisi destek eleman gibi kullanılarak yazdırıldı. Bu şekilde yarışlarda parçadan beklenen dayanım özelliğini sağlayacak şekilde ağırlık azaltılarak, yarış arabalarından beklenen hafiflik avantajı sağlandı [23] (Resim 4.4).



Resim 4.4. 3D Baskı parçalar ile ağırlık azaltması sağlanmış elektrikli araç uygulaması [23]

Powertrain solar ekibine ödüllü 3boyut baskılı pil

Powertrain solar ekip üyeleri 3D baskıdan yararlanarak fark yaratabilecekleri bir fikre odaklandılar; güneş enerjisi yarışması için solar araçlarına 3D baskı ile üretilmiş bileşenleri dahil etmek istediler. Batarya depolama sisteminin, tasarım kısıtları nedeniyle geleneksel yöntemler ile üretilmesi zor olacaktı. Bu bileşenler için optimum hava akışı sağlamak üzere modüler açık çerçeve tasarımı yapılması kararlaştırıldı. Bir sonraki aşama olarak da güçlü ancak hafif bir yapı için bal peteği yapısı kullanıldı. Proje sonunda poliamid ile sinterlenmiş yüksek doğrusal boyutla 3D baskı elde edildi. Bu sayede World Solar Challenge 2013 Yenilik Ödülünü takım kazandı [24] (Resim 4.5).



Resim 4.5. 3D baskı elektrik bataryası kasası [24]

Audi – 3D çalışmaları

Kasım 2015'te, otomobil üreticisi Audi, doğrudan 3D baskı ile karmaşık metal parçalarının üretimiyle ilgili deney yaptığını açıkladı.

Audi, özellikle karmaşık geometrilerinde önemli özellikleri barındıran ve geleneksel tekniklerle üretmenin çok zaman alıcı ve pahalı olan kısımlarına odaklandı. Şirket, farklı teknolojileri (DMLS veya EBM gibi) kullanarak karmaşık büyük parçaları basmayı hedefledi. Audi'nin, takım yapımından sorumlu olan Hubert Watl araştırma ortakları ile birlikte, yeni üretim süreçlerinde sınırları zorlamaya devam ederek amaçlarından birinin, normal otomobil üretimi için 3D metal parçaları kullanmak olduğunu dile getirmiştir. [25]

Lamborghini ve Stratasys

Hızlı prototipleme teknolojisinin gelişmesi ile 3D baskı teknolojileriyle üretilen parçalar zaman geçtikçe artmaktadır. Son zamanlarda Lamborghini ve Stratasys, yeni Lamborghini Aventador için 3D baskı parçalar geliştirmek üzere bir araya geldiler. Otomobil üreticilerinin ortak noktası üç şeyi azaltmaktır; parça kompleksitesi, maliyet ve ağırlık. Bu parametreleri elde etmek ve performansı arttırmak için mühendisler ABS, PC-ABS ve Ultem gibi farklı termoplastikler ile baskı yapabilmek üzere 400mc üretim sistemleri

kullanıldı. Makinenin ana baskı kısmında farklı termoplastiklerden yapılmış parçaların üretilmesine olanak tanıyan FDM teknolojisi kullanılmıştır. Böylece Lamborghini estetik, işlevsellik ve performans için yeni parçalar üretebildi. Parçaların geliştirilmesi geleneksel üretim yöntemleri ile 40.000 dolar maliyet ile 120 gün, FDM 3D baskı ile ise toplam 3.090 ve 20 gün olarak belirlendi. Bu verilere dayanarak yapılan projede maliyette %92, zamanda ise %83 tasarruf sağlandı [26].

Hızlı prototip ile konsol üretimi

Otomobil endüstrisinin kilit unsurları düşük maliyet ve kısa sürede imalatıdır. Geleneksel kalıp imalatında kompleks proses, uzun üretim süresi, yüksek maliyet ve tasarım kısıtları mevcuttur.

Hızlı prototipleme ile reçine, plastik, kağıt, parafin, seramik vb. malzemeler ile parçalar yapılabilmektedir. Ancak bu parçalar fonksiyonel özelliği sağlayamamaktadır. Ayrıca üretilen parçalar boyutsal olarak küçük olduğu için yapıştırma ve birleştirme gibi ek işlemler gerektirmektedir. Yapılan çalışmalar ile hızlı prototipleme teknolojisi kullanılarak üretilen seramik kalıplar ile döküme hazır hale getirildi. Aracın en önemli parçalarından biri olarak görülen ve boydan boya bir yapıya sahip olan metal konsol bu kalıba dökülerek gerçek boyutlarda prototip elde edildi [27].

Ford Otosan prototip konsol çalışması

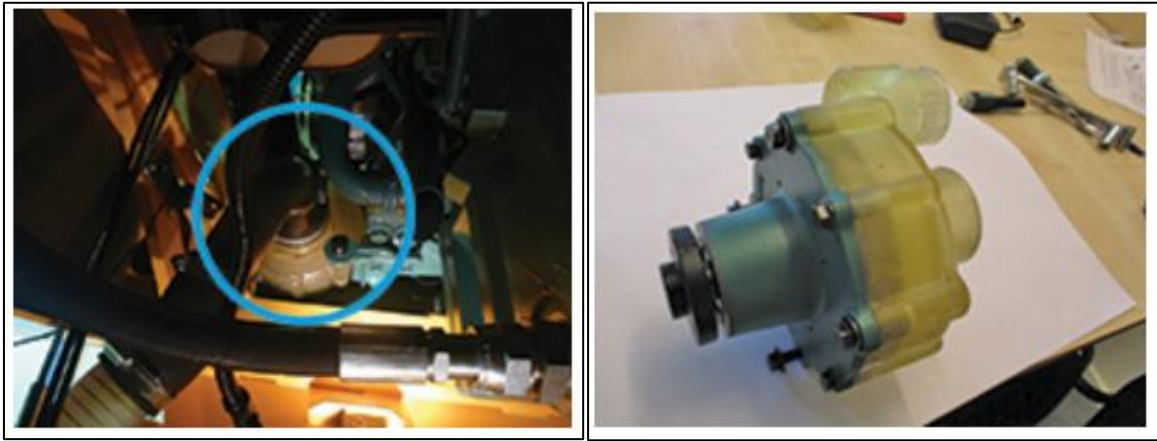
Ford Otosan yeni çıkaracağı kamyon modeli için metal ön konsol iskeleti ile ön konsol parçalarının prototip ve montaj çalışmaları için hızlı prototipleme teknolojilerini kullandı. İskelet ve ön konsol parçaları projenin üretimden önceki safhalarında FDM ve SLS yöntemleri ile üretilerek prototip parça elde edildi. Üretilen prototip ile aracın montaj denemeleri yapılarak montaj zorlukları ve beraberindeki elektrik, tuş vb. parçaların fonksiyonel özelliklerinin incelenmesi sağlandı. Üretim öncesi yapılan bu çalışmalar ile üretim sonrasında oluşacak montaj problemleri ve diğer parça etkileşimlerinden ortaya çıkabilecek tasarım sorunları engellenerek sonraki süreçlerde ortaya çıkabilecek düzeltme maliyetlerinin önüne geçilmiş oldu.

Volvo pompa çalışması

Volvo mühendisleri A25G ve A30G kamyonları için yeni bir su pompası gövdesi tasarladı. Pompa içindeki akış geçişlerinin tasarımını optimize etmek için simülasyon kullanıldı ancak, yeni tasarımın geçerli kılınması için fiziksel testleri de gerçekleştirmek üzere bir prototip oluşturmaları gerekiyordu. Çizelge 4.2’de geleneksel üretim yöntemleri ile gerçekleştirilecek süreçlere karşı hızlı prototipleme teknolojilerinin sağladığı süre ve maliyet avantajı verilmiştir. Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda ortalama %90 oranında avantaj sağladığı görülmektedir (Resim 4.6) [28].

Çizelge 4.2. Katmanlı imalat teknolojisi ile pompa prototipinin maliyet ve süre karşılaştırması

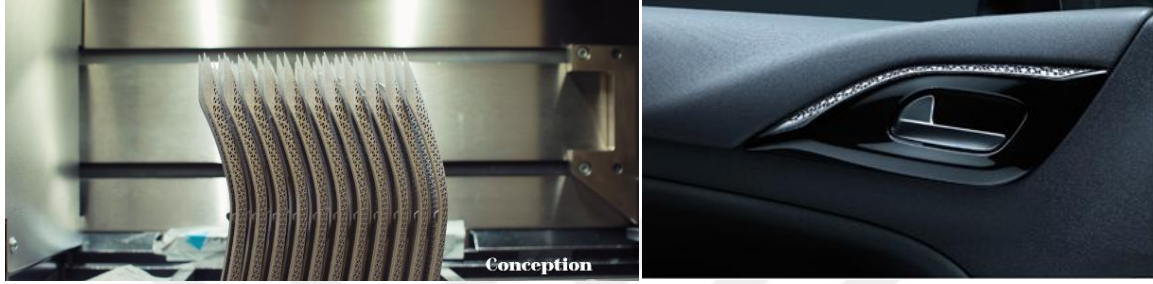
Metod	Süre	Maliyet
Geleneksel üretim	20 Hafta	\$10,000
Hızlı Prototipleme	2 Hafta	\$770
Avantaj	18 Hafta	\$9,230
% Oran	%90	%92



Resim 4.6. Volvo prototip pompa uygulaması [28]

DS – Titanyum bitişli iç trim parçalar

Fransız otomotiv firması lüks araç görünümünü desteklemek amaçlı bir çalışma başlattı. Bu çalışma kapsamında iç kapı kollarında kullanılan plastik çerçevelere titanyum parçalar eklenerek hızlı prototipleme yöntemi ile üretildi. Proje kapsamında üretim yöntemi olarak lazer sinterleme teknolojisi kullanıldı (Resim 4.7) [29].



Resim 4.7. DS Titanyum bitişli kapı kolu çerçevesi [29]

4.1.3. Süper otomobiller

Divergent Microfactories

Divergent Microfactories adında yeni bir marka kendini 3D baskılı parçalara sahip yeni bir performans arabası sunarak tanıttı. Bu süper otomobil, birkaç dakika içinde monte edilebilen 3D baskılı bir şaseye dayandırılmıştı. Şase, karbon fiber boruyla bağlanan 3D baskı parçalardan oluşuyordu. Forbes, Mashable ve Time, şasi için önemli bileşenleri bir araya getirmek için özel bir yol geliştirdi.

Süper otomobil endüstrisi teknolojinin yıllardır kilit kullanıcıları olmuştur. Esasen iki nedenden ötürü; birincisi, Formula 1 otomobilinde Ar-Ge çalışmalarının daimi olması, ikincisi ise her hafta ve her yarış için küçük değişiklikler yapılması ve bu değişikliklerin yansıtılacağı parçaların hızlı bir şekilde üretilmesi gerekliliğidir. Değişiklikler iyileştirme (ağırlık, aerodinamik, performans için) veya çarpışmalar-arızalar nedeniyle (motor veya karoser) oluşan hasarın giderilmesi için gereklidir. Bu kapsamda, Formula 1 ekibi Williams, Alman 3D yazıcı üreticisi EOS ile yeni bir stratejik ortaklık kurdu. Williams'da kurulan diğer EOS 3D baskı sistemlerine ek olarak, Alumide ve Carbonmide malzemeleri için 3D baskı yapmak üzere kullanılan, büyük parça üretimine olanak tanıyan yeni bir EOSINT 760 3D yazıcı getirdi. Şirket tarafından belirtildiği üzere, Alumide esas olarak;

makine aksesuarları ve maket için komple redüktör grupları, şablon ve armatürler gibi fonksiyonel test için parçalarının hazırlanmasında kullanılmaktadır. Carbonmide malzemesine ise geliştirilmiş mukavemetin gerekli olduğu karbon kompozit laminatlarla birlikte Formula 1 araçlarındaki üretim parçalarında ağırlık verildi. Malzeme ve üretim yöntemlerindeki gelişmelerle beraber süper otomobillerde kullanılacak parçaların hızlı prototipleme yöntemi ile üretilmesine hız kazandırıldı [30].

Ford Otomotiv Endüstrisi için 3D Baskılı Prototipler

Ford, Ekim 2015'te yeni Ford GT'yi geliştirmek için 3D baskıyı nasıl kullandığına dair bir duyuru yayınladı. Otomobil üreticisi, 3 boyutlu baskı kullanımının hem konsept otomobilleri hem de üretim arabaları için hızlı bir şekilde yeni parçalar geliştirme kapasitesini değiştirdiğini savunuyordu. Ford, 3D baskı ile birkaç saat içinde prototipler sunabildiğini, tasarımcıların ve mühendislerin yeni tasarımları ve yenilikleri bazen yüzlerce kez hızla test etmesini ve hassaslaştırmasını sağladığını vurgulamıştır.

Şirket, 1988 yılından beri üçüncü 3D yazıcıyı aldığını ve bu şekilde toplamda 500 000 parça ürettiğini belirtti. Ford, dahili işlemlerinde 3D baskıyı nasıl kullandıkları konusunda oldukça gizli olan şirketlerin aksine, ekiplerin aslında 3D baskıyı nasıl kullandıklarına dair biraz daha açıklayıcı davrandı. Otomobil fikri için ilk kısım, Ford Tasarım ekibi tarafından çizilen eskizlere sahip olmaktır. Projelerin başında, kil modelleyiciler oranları değerlendirmek için kil malzemeyle ölçekli bir model (veya daha sonra tam boyutlu model) hazırlarken, tasarımcılar ve CAD mühendisleri arabanın 3D modelini geliştirir. İhtiyaca bağlı olarak, kil modeli veya 3D baskılı parçalar kullanılır. Bu işlem, doğru şekli, doğru mekanizmayı veya doğru malzemeyi bulmak için defalarca tekrarlanır. 3D baskı, Ford'un yeni Mondeo Vignale için yüzlerce farklı desen denemesi yapmasını sağladı. 3D baskı yöntemleri kullanılarak üretilen prototip parçaları arasında, üst ön ızgarada kullanılan altıgen Vignale tasarımı vardı; alüminyum çevre, koyu mat metalik kaplama ve krom barlar, kapı detay tasarımı ile alttaki parlak ızgara. Tasarımcılar, Vignale rozetlerini ve dış süslemeyi denemek için 3D baskı kullandılar.

TARC's 3D baskı PLA aracı

Taiwan firması olan TARC'ın yeni elektrikli araç üretimi için hızlı prototipleme teknolojileri kullanıldı. 2 kişilik tasarlanan konsept aracın iç ve dış gövdesinde PLA malzemesi kullanıldı. Kapı ve operasyonel parçalar için geleneksel üretim yöntemleri tercih edildi (Resim 4.8) [31].



Resim 4.8. TARC katmanlı imalat teknolojisi ile üretilmiş konsept aracı [31]

3D baskı otomiller: URBEE ve Local Motors

LocalMotors, alıcıların çevrimiçi olarak araçlarını kişiselleştirmesi ve alması için sadece 44 saat içinde 3D baskısı yapma yönünde çalışma başlattı. Strati'de şasi / çerçeve, dış gövde ve bazı iç özellikler de dahil olmak üzere karbon fiber ile güçlendirilmiş ABS'den birçok 3B baskılı parça kullanılmakta. Aracın, batarya, motorlar, kablolar ve süspansiyon gibi mekanik parçaları, elektrikli bir otomobil olan Renault'un Twizy'inden alınmıştır.

3D Baskı Otomobil Devrimi, dünyadaki en yeşil otomobil üretmeyi hedefleyen Urbee'nin arkasındaki tasarımcılar tarafından başlatıldı. Yakın zamanda, URBEE 2 adlı ikinci bir prototip başlatıldı. Dijital Üretim'i çevresel bir otomobilin tasarımı için gerekli gören firma

trafiğe güvenle uyum sağlamak üzere tasarlanan iki yolcu aracı, tüm dış ve iç mekan 3D yazıcı ile oluşturmayı planladı.

Bu şirketler, 3D imalatını kullanarak otomotiv endüstrisini yeniden şekillendirmeyi hedeflemektedir. LocalMotors ana sayfasında ürünler üretmek için muazzam miktarda zaman ve enerjiyi tüketen mega ya da giga fabrikalarının günleri geride kalacağına, daha sürdürülebilir, çevik ve esnek bir fabrikaların döneminin geleceğine dikkat çekmiştir. Mikrofabort olarak adlandırılan bu küçük fabrikaların, benzersiz yerel ihtiyaçlar için büyük tüketim malları üretme şeklini büyük ölçüde değiştireceği düşüncesindedir. (Resim 4.9) [8, 21].



Resim 4.9. Katmanlı imalat teknolojileri ile üretilmiş URBEE konsept aracı [21]

4.1.4. Yedek parça

Klasik bir spor otomobil

Yedek parça üretimi otomotiv sektöründe önemli bir yer tutmaktadır. Mercedes 300 SL 100 yılı aşkın senedir otomobil tarihinde ikon haline gelmiş bir otomobildir. Böyle bir otomobilin de yedek parçalarını sağlamak da oldukça zordur.

Tersine mühendislik ile mühendislik ekibi orjinal parçaları 3D olarak tarayarak yeniden tasarlamak üzere temelleri oluşturdu ve tasarımı tekrar optimize etti. Isıya dayanaklı metal baskı ile yedek parçaları tekrar üreterek hayata geçirdi. Hali hazırda hızlı prototipleme ile yedek parça üretimi yapmak garanti kapsamında saklanması zorunlu kalıp depolama

maliyetlerini ve yedek parça desteğinde yaşanan zorlukları da önemli oranda azaltmaktadır [32].

3D baskılı yedek parça (Üretim ve satış sonrası)

Yedek parçalar, herhangi bir endüstri için 3D baskı ile yeniden değerlendirilebilecek en önemli konudur. Zincirin sonunda, müşteriye özel ve müşteriye daha yakın olarak üretim yaparak tüm tedarik zincirini yeniden organize edebilmek birçok sektörün hedefidir. Birçok otomobil üreticisi, 3D baskının ilk ürün kullanımlarını öngörüyor. 3D baskının gerçek üretime doğru giderek daha fazla ilerlediği bir gerçek olsa da, otomotiv endüstrisinin yüksek hacmi katmanlı imalat teknolojilerinin üretkenliği için sorun yaratmaya devam etmektedir.

Günümüzde 3D baskı parçalarla tamamiyle seri üretim olarak araba üretmek mümkün değil, ancak satış sonrası servis için yedek parçalar üretmek üzere değerlendirmeler mevcut. Şirketler hangi çözümlerin en iyisi olabileceğini görmek için denemeler yapmaya devam ederken halihazırda eskiler için de yedek parçalar yaratmaya veya yeni araçların gösterge panellerini iyileştirmeye başladılar. Örneğin, Autoparis kullanıcıları için kendi GPS'lerini bir Autolib'de kullanmak üzere satın alabilecekleri, Autolib (Autolib, Paris'te açılan bir elektrikli araba paylaşım servisi) için bir telefon tutacağı tasarımı paylaştı. Bu sadece bir örnek olsa da, eski parçaları satın alan ya da arabaları için yeni parçalar tasarlayan birçok müşteri potansiyeli mevcut.

Tedarik ve yedek parça sistemi de otomobil şirketlerini herhangi bir parçanın yedek parçalarını yaklaşık 10 yıl tutmaya zorladığı için 3D baskı teknolojisi ile depolama ve parça tedarik süreçleri fazlasıyla kısalma potansiyeline sahiptir [33].

Mercedes kamyon yedek parça çalışması

Mercedes-Benz tarafından 3D baskı teknolojisi, kamyonları için yedek parça üretimine termostat kapağı gibi, sık sık sipariş edilmeyen alüminyum parçalarla kullanılmaya başlandı. Parçanın eski üreticisi üretimi durduğundan yedek parça temini sağlanmakta güçlük yaşıyordu. Bu parçaları üretmek için yüksek maliyetli geliştirme çalışmaları veya

özel araçlar gerekmediğinden, düşük sipariş adetleri göz önünde bulundurularak hızlı prototipleme ile üretimleri gerçekleştirildi (Resim 4.10) [34].



Resim 4.10. Mercedes katmanlı imalat teknolojisi ile yedek parça uygulaması [34]

4.1.5. Fikstür

Audi A1

Audi firması tarafından, mini sınıfındaki A1 aracı için yüksek kaliteli bir bitiş sağlayacak bio-boya uygulaması yapmak üzere Materialize ile iş birliği yapıldı.

Audi A1'i bio-boya ile boyamak için, araba gövdesi ilk önce ana renkte kaplandı ve sonra tüm araç detay boyalar için maskelendi ve ikinci bir renk uygulandı. Elde edilmesi beklenen sonuç için ikinci adım oldukça yüksek işçilik gerektiren bir işlemdi. Keskin kenarların bile mükemmel olmasını sağlamak için Audi, RapidFit + boya şablonu için Materialize ile çalışarak önce bagaj için, daha sonra kapılar için hızlı prototipleme teknolojisini kullandı (Resim 4.11).



Resim 4.11. Audi katmanlı imalat teknolojisi ile imalat fikstürü uygulaması [35]

Bagaj için kullanılan şablonları oluşturmak için Materialise öncelikle aracın parçaları 3D olarak tarandı. Prototip aşamasında SLA teknolojisi ile kullanmak üzere veriler toplandı. Materyalize'nin mühendislik hizmetleri, tasarımları detaylandırıp son haline getirdikten sonra yüksek kalitede bir yüzey sağlamak için FDM teknolojisinden faydalandı.

Gövde alanını maskelemek için seri üretime uygun büyük bir şablon yapılmışken, robotlar hizmet dışı kaldığında manuel olarak uygulama yapabilmek üzere ikinci küçük bir şablon tasarlandı. Bu şekilde, hafif, ergonomik tutuşa ve mıknatıslar ile gövdenin şekline uyum sağlayabilen zorlayıcı kontürlere ve özel işlemlere de kullanılabilecek iki şablon elde edildi. Boya şablonları sayesinde de gövdelerin boyanması Audi için standartlaştırıldı.

Şablonların farklı setlerine olan talep nedeniyle, mühendislik hizmetleri tasarımları yumuşak malzemelerle yapılmaya uygun hale getirdi. Bu şekilde, kopyalar aynı spesifikasyonlarla ancak daha düşük maliyet ile yapılabilecekti.

RapidFit + şablon setinin uygulamasının başarılı olmasıyla Audi kapılarda da ikinci rengi uygulamak üzere benzer çalışmayı yapmaya karar verdi. İkinci renk ile maskeleme ve boyama işleminde kapılar kaldırılıyor, işlem bittikten sonra da değiştiriliyordu. Bu işlem yarı otomatik olarak yapılmakta ve ortak problem kaldırma, değiştirme sırasında kapılarda çizik ve hasarlar oluşmasıydı. Böyle bir durumda kapılar hattan indirilerek manuel olarak düzeltme yapılıyordu. Bu zaman alan ve işçilik gerektiren fazladan adımın önüne geçmek için Materialise, kapının dışında teması, içinde de gövde ile çarpışmayı önlemek için iki tane daha şablon yarattı. Bu şekilde, kapıları yerleştirmek ve çıkarmak için sınırlı zaman olduğundan şablonların kullanımı oldukça büyük kolaylık ve zamandan tasarruf yarattı. İlk iki RapidFit şablon gibi, yeni yapılacak şablonlar da kolay takılma ve çıkarma için

mıknatıslarla oluşturuldu. Bununla birlikte, ikinci iç şablon, iki kapı menteşesi arasında kendisini kilitlemesine imkan tanıyan entegre yaylarla FDM baskı ile yapıldı.

Üretim ihtiyaçlarını karşılamak için, tüm şablonları düşük hacimli üretmek üzere üretim hattı kuruldu. Bagaj için toplam altı büyük, kapılarının her biri için ise küçük üçer şablon üretildi [35].

Volkswagen – fikstür çalışması

Scirocco ve Sharan gibi ikonik Volkswagen modellerini üreten ve yıllık üretim seviyesi 100.000 otomobil olan Volkswagen Autoeuropa tesis montaj hattında kullanılan üretim fikstürlerini üretmek için hızlı prototipleme teknolojilerini kullanmaktadır. Bu şekilde aletler, teçhizatlar ve armatürler, dış tedarikçilerden bağımsız; maliyetleri ve tedarik süresini birkaç haftadan birkaç güne kadar düşürerek üretebilecektir. Tüm bu avantajların yanı sıra ihtiyaca göre üretilebilen ve araçlarla birebir uyumlu fikstürleri de üretmeyi mümkün kılmıştır. Şirketin açıkladığı verilere göre 2016 yılında 150.000 Euro değerinde bir kazanç yakalanırken 2017 yılı sonuna hedeflenen 250.000 Euro değerindeki kazanç Eylül ayında çoktan sağlanmıştır. Yıl sonuna kadar dışarıdan alınan fikstürler yerine hızlı prototipleme kullanılarak üretilen parçalardan sağlanan kazancın 325.000 Euro değerinde olması bekleniyor.



Resim 4.12. Volkswagen katmanlı imalat teknolojisi montaj fikstürü [36]

Resim 4.12’de gösterilen bagaj arkasında kullanılan isim yapıştırma fikstürlerinin 35 gün tedarik süresi ve 400 Euro maliyeti varken, hızlı prototipleme ile tedarik süresi 4 gün maliyet ise 10 Euro’ya düşürülmüştür.



Resim 4.13. Volkswagen cam fikstürü [36]

Resim 4.13’de gösterilen cam fikstürlerinde ise 180 Euro ve 8 gün olarak verilen süre 135 Euro ve 6 güne düşürülmüştür [36].

4.1.6. Üretim

BMW 3D printer seri üretim denemeleri

BMW 2012 yılından beri 3D baskılı parçaları kendi seri üretimine entegre etmektedir. Araba paylaşımının Avrupa’da artışıyla CLIP olarak bilinen Alman şirketi, DriveNow araba paylaşım projesi için özelleştirilmiş yan göstergelerin üretiminde isimlikler için hızlı prototipleme teknolojilerini kullanmaya karar verdi. Bu arabalar için 100 isim belirlenerek, belirlenen özelleşmiş isimler hızlı prototipleme ile üretilerek araçların üzerinde kullanıldı (Resim 4.14) [37].



Resim 4.14. BMW 3D baskı isimlik çalışması [37]

GKN – Hızlı prototipleme ile üretilmiş kalıp parçası

GKN Driveline Florance firması ile Stratasys arasında ortak bir çalışma başlatılarak kalıplarında kullanılan parçalar hızlı prototipleme teknolojisi ile üretildi. ULTEM 9085 ile mevcut kalıplarına aşınma nedeniyle sıklıkla değiştirilmesi gereken parça yerine 3D ile basılan parçayı entegre ederek sürtünme aşınması sebebiyle parça değişimi, maliyet ve ağırlıktan kazanç sağlandı (Resim 4.15) [38].



Resim 4.15. 3D baskı kalıp çalışması [38]

Ford Otosan motor kapağı çalışması

Ford Cargo kamyonlarında kullanılacak motor kapakları için tasarım çalışması sonucu kalıp fizibilitesi hazırlandı. Fizibilite sonucu parça üretim adetleri dikkate alınarak hızlı prototipleme yöntemiyle üretim çalışması yapılması kararı alındı. Parçanın FDM yöntemi

ile baskısı alınarak silikon kalıp oluşturulması sağlandı. Bu şekilde hazırlanan silikon kalıplarla seri üretim desteklenerek üretim maliyetleri oldukça düşürüldü.

4.1.7. Kişiselleştirme

Skoda minyatür araç çalışması

Skoda'nın 3D tasarımcıları tarafından Fabia otomobili 3D baskı olarak modellendi. Aracın minyatür versiyonunun da gerçekçi görünümünün sağlanması büyük bir önem taşıyordu. Üretim tesislerinde üretilen araçların talep üzerine 3D baskı ile kişiye özel bayilere gönderiminin sağlanması, ticari kampanya ve tanıtım için ilk adım olarak belirlendi.

Kampanya, ilk olarak Fransa'da başlatıldı ve Avrupa'ya yayılması planlandı. Kişiselleştirilen parçaların ötesinde 3D baskılı otomobillerin nasıl üretildiğini gösteren içeriklerin sunulması da hedeflendi. Bu çalışma, 3D baskı ile tanışan otomotiv endüstrisinin kilometre taşı olarak görüldü. Şirketler deney ve çalışmalar yaparak, 3D baskının üst düzey otomobiller için uygulanabilir bir seçenek olduğu konusunda hem fikir olsalar da üretimin tamamı için uygulanabilecek noktaya henüz gelinebilmiş değil. Ancak adım adım katmanlı imalat teknolojileri ile üretilen parçalar, daha düşük maliyet ve daha hızlı ürün geliştirme ile tanıtılacaktır [27].

Local Motor kişiselleştirme çalışması

Local Motors, otomobillerinin şasesini ve gövdesini 3 boyutlu yazıcıda yaparak hızlı prototipleme çalışmalarını hızla ilerletmiştir. Son olarak Strati otomobilinin üretiminde 3 boyutlu baskı kullanılmıştır. Güç aktarma organı, tekerlekler, süspansiyon ve diğer iç bileşenleri Renault'dan alınan bitmiş otomobilin, 18.000 \$ ile 30.000 \$ arasında satış maliyetine karşı, yapılan fizibilite çalışmaları doğrultusunda baskı maliyeti 5.000 \$ 'dan fazla olacağı belirlendi [39]. Projedeki öncü mühendis James Earle, Detroit veya Japonya gibi bir tek üretim yerinin olması yerine insanların kendi satın alma deneyimlerini kişiselleştirmeleri için tüm dünyada mikro fabrikalara sahip olacağını vurgulamıştır. Tüketicinin otomobillerinin nasıl yapıldığı ile çok daha fazla etkileşime girmesine izin verdiğine dikkat çekmiştir.

4.2. Saha Araştırması

Saha araştırması için Ford Otosan'da yapılan çalışmalar takip edilmiştir. 2016 yılından itibaren Merkenich lokasyonundaki hızlı prototipleme merkezi ile iletişim kurularak ziyaret edilmiş, çalışmalar yakından incelenerek güncel bilgiler değerlendirilmiştir. Aynı şekilde 2017 Aralık ayında Dunton lokasyonu ziyaret edilerek otomotiv sektöründe gerçekleştirilen farklı uygulamalar incelenerek kullanılan teknolojiler ve uygulanan projeler incelenerek takip edilmiştir.

4.2.1. Ford araç testleri çalışması

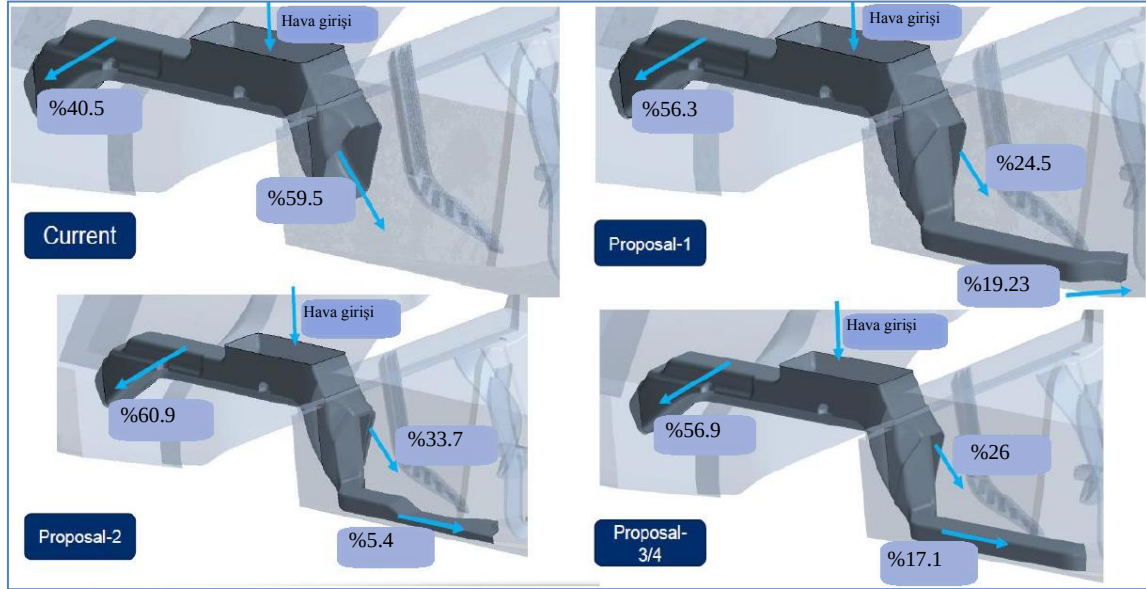
Yaklaşık 30 yılda üçüncü 3 Boyutlu yazıcıyı satın alan Ford, şimdi reçine, silika tozu, kum veya hatta metalden parçaları birkaç saat ila birkaç gün arasında oluşturmak üzere beş laboratuvarı işletmektedir. Ford, 2010 yılında devreye alma sürecinden önce çok hızlı bir şekilde fren labaratuvarlarında fren sesli sorununu 3D teknolojisi ile çözmüştür. Ayrıca, F-150 modellerinde kullanılacak 2,7 litrelik yeni motor da dahil olmak üzere EcoBoost motor serisinin verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için hızlı prototipleme olarak da bilinen 3 boyutlu baskı kullanmıştır. Hızlı prototipleme teknolojisi ile tampondan tavana her detay parçanın baştan sona prototipini üretme imkanı mevcut.

Ford'un araştırma bölümünde motor soğutma silindiri gibi \$20,000'lık bir parçayı, her bir katmana mavi lazerlerle reçineyi sertleştirme yolu ile prototip üreterek yaklaşık 2000 \$'lık bir maliyetle elde edilebilmektedir.

4.2.2. Ayak üfleci optimizasyon çalışması

Ford Otosan uygulama örneğinde ürün geliştirme süreçlerinde ayak üfleci tasarımı optimizasyonu, katmanlı imalat teknolojisini kullanılarak yapılmıştır. Tasarlanan parçanın fiziksel denemelerinin yapılarak araçtaki iyileştirmelerini test edebilmek için geleneksel üretim yöntemleri ile üretiminden doğacak kalıp ve maliyet gereklilikleri 3D baskı teknolojileri ile ortadan kaldırılmıştır. Tasarlanan parçanın doğrulamasını yapabilmek için öncelikle mevcut durum sıcaklıkları ölçülerek referans noktası belirlenmiş, alternatif tasarım seçenekleri oluşturularak, sanal ortamda akış analizleri gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan tasarım ve test sonuçlarında sağ ve sol ayak ısı dağılımının dengeli olarak

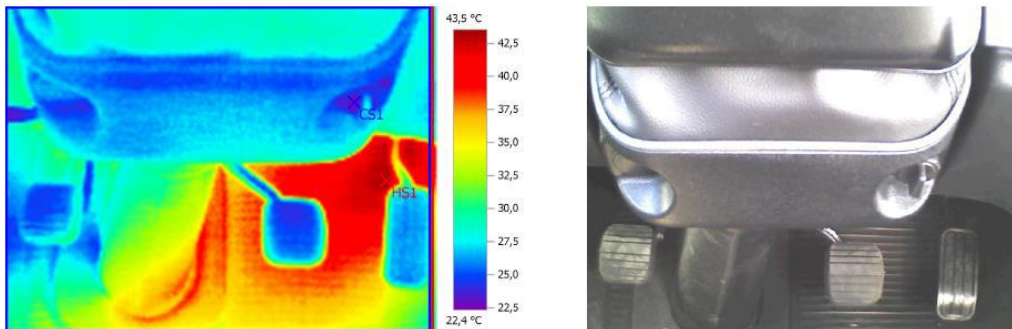
sağlanması hedeflenerek alternatif tasarımlar FDM teknolojisi ile basılmış ve araç üzerinde denemeleri gerçekleştirilerek sıcaklık ölçümleri tekrarlanmıştır. Çalışma sonucunda prototip parça ile sağlanan akış oranları ve sıcaklık dengeleri incelenmiştir.



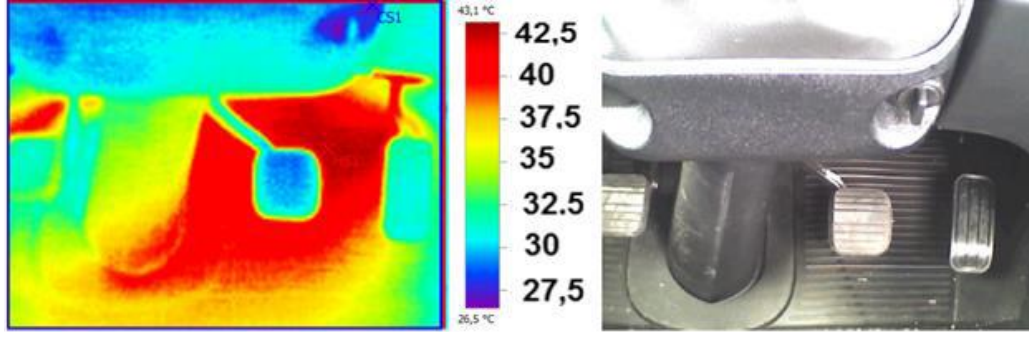
Resim 4.16. Alternatif hava üfleci tasarımları ve hava akış oranları



Resim 4.17. FDM ile baskısı yapılan ayak hava üfleç tasarımı



Resim 4.18. Araç üzerinde prototip üfleçten önceki ilk sıcaklık ölçümleri

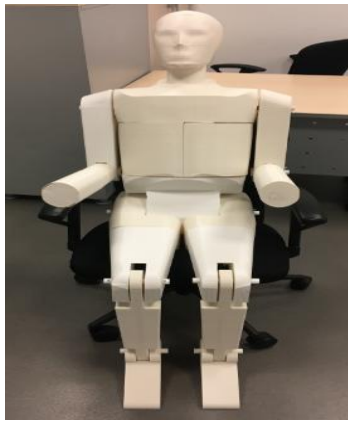


Resim 4.19. Araç üzerinde prototip parça ile sıcaklık ölçümü

Resim 4.16'da gösterilen alternatif tasarımlar oluşturularak önce simülasyon ortamında akış analizleri tamamlandı. Akış analizleri sonucunda uygun değerleri sağlayan üfleç tasarımları FDM baskı teknolojisi ile üretilerek Resim 4.17'de gösterilen fiziksel parça elde edildi. Fiziksel parçanın montaj edilmesi ile müşteri tarafından araç üzerinde Resim 4.18 ve 4.19'da gösterilen sıcaklık ölçümleri tamamlandı. Sıcaklık ölçümleri baz alınarak ilk duruma göre sağ ve sol ayak bölgesinde en az akış farkı yaratarak sıcak farkını en aza düşüren prototip tasarımının uygulanmasına karar verilmiştir.

4.2.3. Çarpışma testleri mankeni

Araç mühendisliği bölümünde çarpışma testlerinde kullanılmak üzere test mankeninin katmanlı imalat yöntemi ile üretimi gerçekleştirilmiştir. Manken FDM teknolojisi ile parçalar halinde basılarak birleştirilmiş ve araç testleri gerçekleştirilmiştir. Şirket kapsamında gerçekleştirilen çalışmada maliyet yönünden yüksek avantaj sağlanmıştır (Resim 4.20).



Resim 4.20. Araç testleri için FDM baskı manken

4.2.4. Ford Dunton hızlı prototipleme merkezi

İngiltere Dunton'da bulunan Ford firması hızlı prototipleme teknolojileri araştırması ve geliştirmesi için Hızlı Prototipleme Teknolojileri birimini kurdu. Kurulan birim kapsamında 11 farklı hızlı prototipleme teknolojisi, geleneksel işleme makineleri ve boyahane bulunmaktadır. Ekip, hızlı prototipleme teknolojilerinde kullanılabilecek malzemelerden, araç içinde kullanılan parçaların hızlı prototipleme ile üretilebilirliği ve yeni proje araçlarının prototiplerinin hızlı prototipleme yöntemleri ile yapılmasına kadar geniş kapsamlı çalışmalar yürütmektedir. 2016 yılından itibaren hareketli ve dinamik yük altında kalan parçaların üretilebilirliği üzerine de önemli çalışmalar yürüttüler.

Araştırma geliştirme merkezi genelinde kum baskı, SLS, SLM, FDM ve resin baskı olmak üzere farklı teknolojiler kullanılmaktadır. Enjeksiyon, CNC, vakum şekillendirme, kaynak gibi geleneksel üretim yöntemleri de hızlı prototipleme teknolojilerini destekleyici olarak kullanılmaktadır.

Hızlı prototipleme süreçleri genel olarak ürün geliştirme mühendisleri tarafından tasarlanan tasarımların CAD ekiplerince ilgili programlarda datalar haline getirilerek hızlı prototipleme merkezi ile paylaşılmasıyla başlamaktadır. Merkezdeki mühendis ve teknik uzmanlar tasarımları yüzeysel olarak hızlı prototiplemeye uygun hale getirerek uygun teknoloji ile üretimini sağlamaktadır.

Üretilen parçaların kalite kontrolü ve tersine mühendislik kapsamında en önemli rol mavi ışık tarayıcısı olarak kullanılan teknolojidir. Mavi ışık tarama teknolojisi ile datası olmayan bir parçanın taranarak üç boyutlu datası elde edilebilmekte ya da üretilen parçanın mevcut datalarla uyumunun kontrol edilmesi sağlanabilmektedir.

Ford Dunton Hızlı Prototipleme Merkezi kapsamında üretimi birinci dereceden etkileyen önemli çalışmalar yürütülmektedir. Beyaz silika tozuyla doldurulmuş yazıcılar ile emme manifoldu gibi dayanım gerektiren parçalar bir kaç gün içinde test aracına takabilecek şekilde basılabilecek durumda. Bir başka odada, yazıcıların üçlüsü 15 ton ince kuma ile seride üretilen parçaların kalıplarını üretebilecek. Ford böylece tasarım değişikliğine gidildiğinde rahatlıkla kalıp değişikliği yapabilecektir. Bu teknoloji ile dizaynda yapılacak

değişikliklerin beklemeden ve yüksek maliyetler olmadan gerçekleştirilebilmesi adına esneklik sağlanarak, maliyetin korunmasının yanında zamandan da tasarruf edilmektedir.

Maliyetler düştükçe ve kapasiteler arttıkça, otomobil üreticileri ve tedarikçileri, ürün geliştirme döngülerini kısaltmanın, prototip maliyetlerini düşürmenin, mekanik arızaları azaltmanın ve yakıt verimliliğini artırmanın yeni yollarını test etmek için giderek 3D baskıya yöneliyor. Bununla birlikte 3D teknolojisi yüksek maliyetler ve düşük hacim nedeniyle üretim sürecini doğrudan etkileyemiyor.

Bugün, neredeyse her otomobil üreticisi ve birçok tedarikçi, 3D baskıyı ürün geliştirmenin bir parçası haline getirdi. Birçok şirket bu teknolojiyi en az 10 ila 20 yıl önce keşfetmeye başladı. Bu teknoloji ile, bilgisayar modelinde kolayca elde edilemeyen nitelikleri; ergonomiyi, hissi ve parçanın tepkisini değerlendirmek için sıkça kullanıldığını belirtti. Mitsubishi, geçen yıl makinelerin maliyetinin ve performansının ne kadar arttığını gördükten sonra 3 boyutlu bir yazıcı satın aldığını açıkladı.

Uzmanlar, orijinallerin artık mevcut olmadığı durumlarda, 3D baskı ile özelleştirilmiş satış sonrası parçalar veya yedek parçalar için potansiyel bulunduğunu söylüyor. Örneğin, klasik otomobil toplayıcıları, bulması zor bir ürün aramaktansa 3D baskıyı alternatif olarak kullanabilir [18].

Boyutlu yazıcıların imalat uygulamaları

3 Boyutlu yazıcıların bitmiş ürün ya da prototip ürün dışında imalata yönelik proses iyileştirme uygulamaları da yaygınlaşmaya başlamıştır. Özellikle teknolojinin ulaşılabilirliğinin artması ve gelişerek daha kısa sürede farklı malzemelerle baskı imkanı tanınması pek çok alanda yürüyen imalat prosesleri ile birleştirilmesine olanak tanımıştır. Otomotiv sektöründe pek çok firma katmanlı imalat teknolojileri üzerine çalışmalar yürüterek imalat proseslerinin verimliliğini arttırmayı hedeflemiştir. Bu amaçla AR-GE çalışmaları yürüterek farklı teknolojilerin geleneksel imalat yöntemleri ile birlikte kullanılması sağlanmış ve devam eden çalışmalarda geleneksel üretim yöntemleri ile katmanlı imalat teknolojilerinin birleştirilmesi ile elde edilen avantajlar incelenmektedir.

Kum baskı teknolojisi

Kum baskı teknolojisi katmanlı imalat teknolojileri ile gelişmiş ve devam eden bir teknolojidir. Özellikle geleneksel kum kalıplama proseslerine kıyasla, model ihtiyacını ortadan kaldırarak proses verimini artırma konusunda büyük avantajlar sağlamaktadır. Kum baskı teknolojisi ile kalıp proseslerinde kullanılan kalıpların üretim süresi ve maliyetinin azaltılması sağlanabilmektedir. Buna ek olarak otomotivde kullanılan PU dökümü ile elde edilen taban kaplaması gibi parçalar ile, koltuk gibi büyük boyuttaki parçaların kalıplarının üretiminde süre ve maliyet kazancı avantajı yaratmaktadır. Kum baskılardan elde edilecek olan kalıpların, seri üretim kalıplarından bir farkı olmadığı için seri üretime entegre edilmesi desteklenebilir. Yeni projelerin prototip fazlarında kullanılarak, test verifikasyonu için gerekli olan parçaların uzun süreli ve yüksek maliyetli prototip sürecini düşürerek zaman ve maliyet avantajı ortaya çıkarmaktadır. Kum baskı teknolojisinin mevcut üretim yöntemleriyle kullanımından ortaya çıkacak avantajlar aşağıdaki gibi belirlenebilir;

- Kalıp prosesleri azaltılarak (model, destek malzemesi kullanılmaz, ardıl ve temizleme işlemleri kısılır), proses süresi ve maliyetlerinde azaltma sağlanır.
- Döküm yöntemi ile elde edilen prototip parçalar 3D kum kalıp sayesinde uzun tedarik süresi ve maliyetleri olmaksızın üretilebilir.
- Tasarım değişikliğine bağlı kalıp modifikasyonu ile oluşan yüksek kalıp maliyeti ve süresi azaltılır.
- Kalıpta/bitmiş üründe tasarım esnekliği ve karmaşık geometri sağlanır.
- Üretimde kullanılan kum yapısı bozulmadığından tekrar kullanılabilir. Malzeme geri dönüşümü sağlanır.
- Takım kalıp atölyelerinde kullanılan kalıpların maliyeti azaltılarak üretimi sağlanabilir.
- Üretilen parçanın yüzey toleransı geleneksel yöntemlere kıyasla daha iyi ve nominale yakındır.
- Seri üretimi destekleyen kalıplar üretilebilir.
- Yurt dışından tedarik edilen parçaların yerli üretimi sağlanabilir.
- Dökümde sıklıkla karşılaşılan sağlığa zararlı tozların açığa çıkması engellenir.

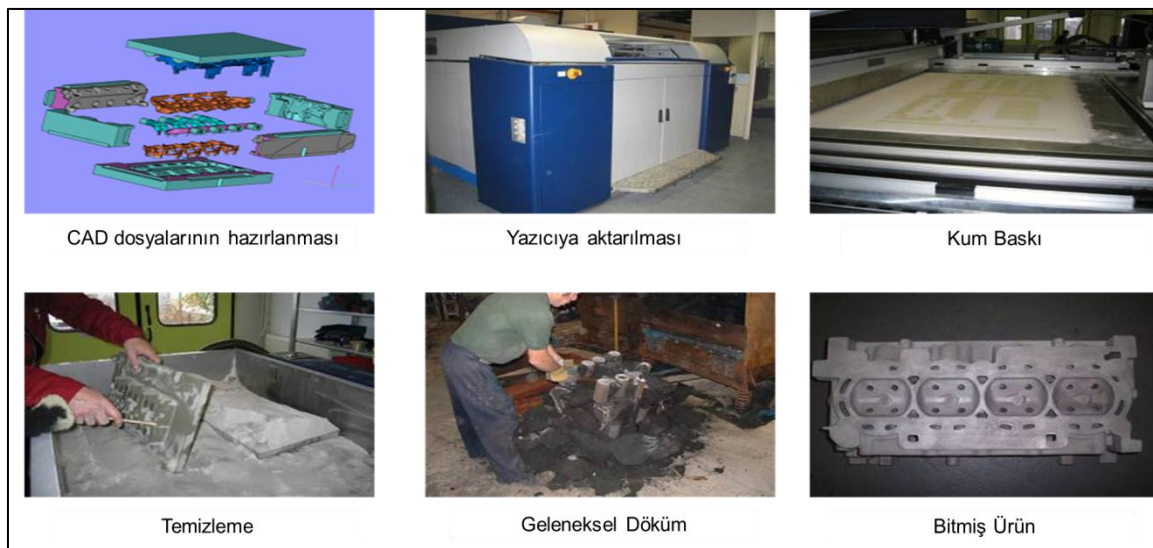
Şekil 4.4'te geleneksel kalıp üretim prosesleri gösterilmiştir. Kum baskı teknolojisi özellikle standart kalıp üretimi yöntemlerinde modelden kalıba geçiş prosesini ortadan kaldırarak %25 e varan zaman avantajı sağlanabilir.



Şekil 4.4. Geleneksel kalıp prosesi

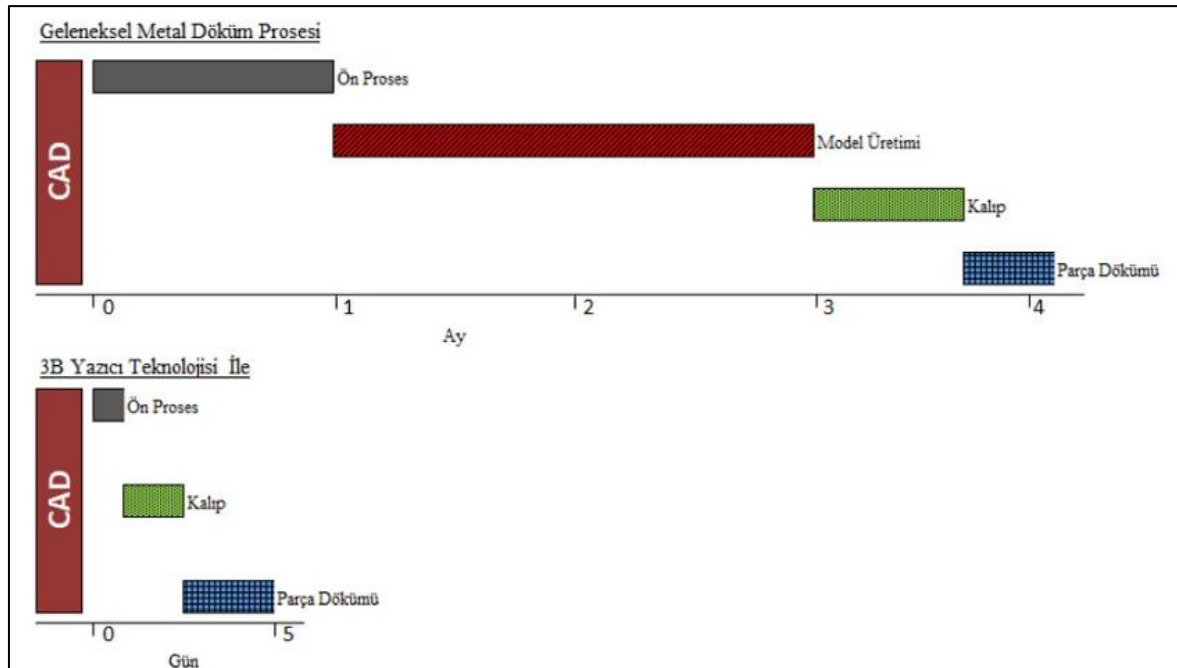
Yeni gelişmekte ve yaygınlaşmakta olan bu teknoloji ile döküme uygun kalıp üretimi ve poliüretan döküm kalıpları oluşturulabilir. Ford hızlı prototipleme merkezinde kullanılan kalıpların üretimi için ve araç koltuğu köpüğünün döküm kalıpları için uygulama çalışmaları başlatılmıştır. Bu teknoloji sayesinde %48 prototip takım maliyeti düşürme, 12 haftadan 3 haftaya tedarik süresini azaltma imkanı ortaya çıkmıştır. Prototip olarak üretilen parçalar son üretim ürünü olarak kullanılabilir olmakla son araçların üretiminde de kullanılabilir, böylece ara prosesler devre dışı bırakılarak zaman ve maliyet kazancı sağlanacaktır.

Ford Dunton Hızlı Prototipleme Merkezi kapsamında üretimi birinci dereceden etkileyen önemli çalışmalar yürütülmektedir.



Şekil 4.5. Kum baskı teknolojisinin adımları

Şekil 4.5'te kum baskı teknolojisinin adımları sırasıyla gösterilmiştir.

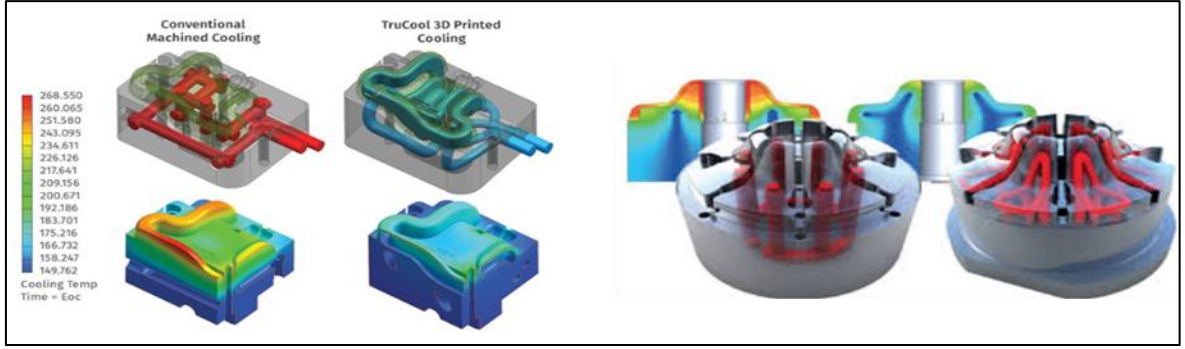


Şekil 4.6. Geleneksel döküm prosesi ve 3D yazıcı karşılaştırması

Şekil 4.6'da da gösterildiği üzere geleneksel döküm yönteminde yer alan ve prosesin büyük zamanını alan ön proses kısaltılıp model üretim işlemi ortadan kaldırılarak geleneksel kalıp yöntemlerine kıyasla daha kısa bir sürede model üretimi sağlanabilir.

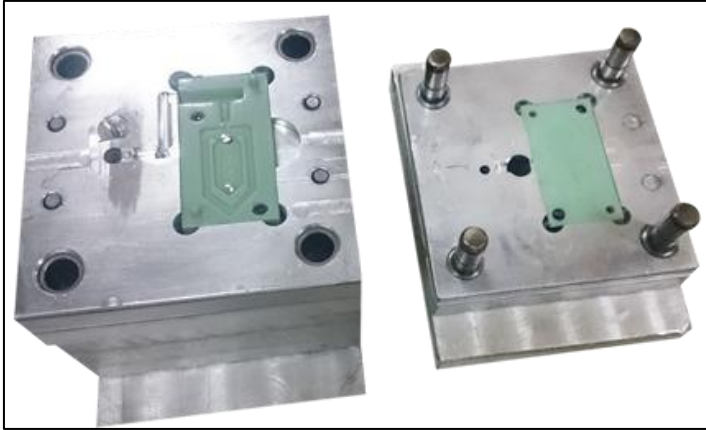
3 boyutlu yazıcılar ile kalıp insert üretimi

Özellikle plastik enjeksiyon kalıplarında lokma kullanımı parça çeşitliliği ve üretim kolaylığı sağlanması açısından geleneksel üretim yöntemlerinde de sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak geleneksel üretim yöntemlerinde yalnızca eksenel yönde işlemeye izin verilmesi üretime yönelik tasarım kısıtı ve enjeksiyon kalıplarına soğutma kanallarının yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Mevcut durumdaki tasarım kısıtları ve soğutma problemleri; projelerin doğrulama fazında, özellikle otomotiv sektöründe, kalite sorunları nedeniyle kalıp değişikliğine gidilerek zaman ve maliyet kaybına neden olmaktadır. Özellikle metal malzemelerin kullanıldığı SLM teknolojisi ile geleneksel enjeksiyon kalıplarındaki soğutma kanalları tasarım kısıtı olmaksızın üretilebilmektedir. Bu kapsamda özellikle kalıp yatırımını yapılmamış gelecek projeler için soğutma kanallarının üretim açısından kritik olduğu parçalarda 3D baskı lokmalar kullanılabilir.

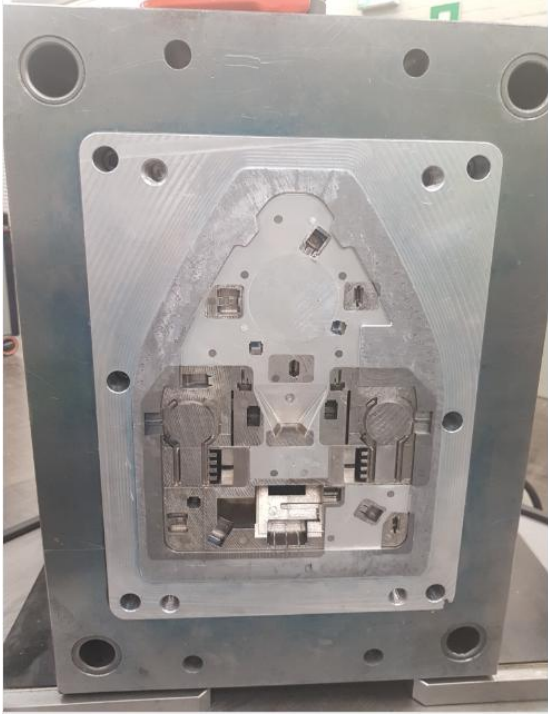


Şekil 4.7. 3 Boyutlu Baskı ile oluşturulan soğutma kanallarının soğuma derecesine etkisi

Kalite sorunlarına ek olarak aynı araç modellerinde sunulan farklı özelliklerin karşılanabilmesi için ufak tasarım değişikliğine sahip parçalar ortaya çıkabilmektedir. Bu parçaların kalıp sürecinde, üretimde, ortaklaştırılabilmesi parça üretim sürecinde ciddi avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca parça kompleksitesinin minör değişikliklerle zorunlu olduğu durumda 3D baskı lokmalar ile ana kalıp sabit tutularak üretime bağlı tasarım kısıtı olmaksızın farklı parçalar üretilebilir. Şekil 4.7 ve 4.8’de 3 boyutlu baskı inserte örnek uygulamalar gösterilmiştir. Bu sayede kalıp çeşitliliği ve adeti azaltılarak kalıp üretim ve saklama maliyetleri düşürülebilir.



Şekil 4.8. Düşük adetli parçalar için 3 boyutlu baskı insert örneği



Şekil 4.9. Seri üretim kalıbı lokma uygulaması

Düşük adetli parçaların üretimi için ise FDM/PolyJet teknolojileri ile üretilen lokmalar yardımı ile düşük maliyetli kalıplar elde edilebilir (Şekil 4.9).

3 Boyutlu baskı teknolojisi ile kalıp lokma üretiminin sağlayacağı avantajlar aşağıda özetlenmiştir;

- Geleneksel yöntemlerle dizaynı ve imalatı yapılamayan soğutma kanallarının katmanlı imalat teknolojileri sayesinde tasarım ve üretim kısıtı olmaksızın parça üretimi sağlanabilir. Buna bağlı olarak parça üretim süresinde ve maliyetlerinde azaltılma sağlanır.
- Kalıp soğuması ve problemlerine bağlı olarak geleneksel üretim yöntemlerinin doğası olarak kabul edilen kalite hataları ortadan kaldırılır.
- Tasarım değişikliğine bağlı kalıp modifikasyonu ile oluşan yüksek kalıp maliyeti ve süresi azaltılır.
- Lokma tekniği ile kalıp ortaklaştırması yapılarak kalıp çeşitliliği azaltılır. Buna bağlı olarak parça ve stok yönetimi kolaylaştırılır.
- Düşük adetli üretimlerde üretimi destekleyici ve acil parça ihtiyacında kullanılır.

- Tasarım esnekliğine bağlı olarak daha az malzeme gerektiren tasarımlarla ağırlık azaltma gerçekleştirilir.
- Tasarım sürecinde esneklik elde edilir.
- Yurt dışında bulunan kalıplardan parça tedarik etmek yerine parçaların yerli üretimi sağlanabilir.



5. HIZLI PROTOTİPLEME YÖNTEMİ SEÇİM ASİSTANI

Hızlı prototipleme teknolojileri üzerine yapılan çalışmalar göstermektedir ki, otomotivde bu teknolojilerin verimi, uygulama özelinde doğru teknolojinin ve malzemenin seçimine göre değişmektedir. Her bir teknoloji farklı kullanım alanlarına hitap etmekte ve ancak uygun kullanıldığı takdirde avantaj sağlamaktadır [9,3]. Aksi halde parça beklentilerini karşılamama, yüksek maliyet ve yanlış yatırım gibi sonuçlara neden olmaktadır. Bu sebeple tezin önceki bölümlerinde detaylandırılan farklı teknolojiler ve uygulamalar ışığında hızlı prototipleme teknolojileri seçim asistanı oluşturulmuştur. Seçim asistanının temel amacı; üretilecek parçanın kullanım alanlarına göre çalışma koşulları ve hızlı prototipleme teknolojilerinin seçimini belirleyen kriterlerin önceliklendirilerek, uygun teknolojinin belirlenmesidir.

Seçim asistanı oluşturulurken temel prensip olarak otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan hızlı prototipleme teknolojilerinin çözünürlük, hız, yüzey pürüzlülüğü, maliyet gibi kriterlerin esaslarına göre birbirine üstünlükleri ve malzeme kısıtları göz önünde bulundurulmuştur. Bu doğrultuda parçanın kullanım koşullarında karşılaması gereken özellikler belirlenip, önceliklendirmesi sağlanarak kullanılabilecek teknolojilerin uygunluk sırasının belirlenmesi hedeflenmiştir. Belirli kurallar çerçevesinde objektif ve analitik kararların alınmasını sağlayan yaklaşım bu asistanının yöntemini oluşturmaktadır.

Hızlı prototipleme seçim asistanı oluşturulurken aşağıda verilen Sistematik Tasarım ilkeleri takip edilmiştir [52];

- Problem tanımı
- Problem çözümü için ihtiyaçların belirlenmesi
- Seçim matrisinin oluşturulması için çok yönlü değerlendirmelerin gerçekleştirilmesi
- Seçim matrisinin oluşturulması
- Seçim kriterlerine yönelik algoritmanın oluşturulması
- Seçim asistanı arayüzünün ve kodlamasının yazılması

5.1. Problem Tanımı

Hızlı prototipleme teknolojileriyle bir parçanın verimli ve etkili bir şekilde üretilmesi için doğru teknolojinin seçilmesi gerekmektedir. Doğru teknolojinin seçilebilmesi için kullanılacağı alana ya da ihtiyaca yönelik olarak parametrelerin doğru belirlenmesi büyük önem taşır. Ürünün kullanılacağı alandaki çalışma koşulları, malzeme ihtiyacı ve hızlı prototipleme teknolojisinin istenilen malzeme ile kullanılabilirliği seçimi etkileyen başlıca kriterlerdir. Bunların dışında kullanılacağı sektöre yönelik tolerans, yüzey pürüzlülüğü ve maliyet faktörleri de seçimde önemli kriterlerden olup doğru teknolojinin belirlenmesinde rol oynamaktadır. Özellikle sektörel kullanımlarda, katmanlı imalat teknolojileri hakkında yeterli bilgiye sahip olunmaması durumunda ihtiyaca yönelik teknoloji kullanılmaması nedeniyle yüzey problemleri, kırılma, tolerans gibi sorunlar yaşanmaktadır.

Oluşturulacak seçim asistanı için tüm seçim kriterleri özellikle çalışma boyunca incelenmiş, saha araştırması yapılarak ihtiyaçların ve uygulamaların ayrıntılı bir şekilde belirlendiği otomotiv sektörüne yönelik oluşturulmuştur. Hızlı prototipleme seçim asistanı otomotiv sektöründe kullanılacak parçaların, katmanlı imalat teknolojileri konusunda yeterli bilgiye sahip olunmasa da ihtiyaçlar doğrultusunda yönlendirme yaparak doğru baskı yöntemi ile üretilmesini hedeflemektedir.

5.2. İhtiyaç ve Metriklerin Belirlenmesi

Kavramsal tasarım ilkelerinde de yer alan ve sıklıkla kullanıldığı gibi bir ürün tasarım ve üretim süreci öncesinde ihtiyaçlar detaylı bir şekilde belirlenir. Ürünün en optimum şekilde ihtiyaçları karşılaması için tasarım şartnamesi de denilen ihtiyaç tanımlarının yapılması gerekmektedir. Bu doğrultuda bu bölümde bölüm 4'teki örnek örnek uygulamalar da göz önünde bulundurularak hızlı prototipleme teknolojilerini kullanırken kullanıcıların ortak temel ihtiyaçlarını belirlemek amaçlanmıştır.

Seçim asistanı oluşturulurken sistematik yaklaşım da baz alınarak uygun olmayan teknolojilerin elenmesi için temel etken malzeme olarak belirlenmiştir. Bunun sebebi hızlı prototip teknolojilerinin üretimde kullandığı ham madde bazında ayrılmasıdır. Her teknoloji her baskıyı yapabilme kapasitesine sahip değildir. Örneğin FDM teknolojisi ile metal, plastik, seramik baskı yapılırken SLM teknolojisi ile plastik baskı

yapılamamaktadır. İlk kriter olarak malzeme seçimi kullanılacak teknolojinin değerlendirmeye alınıp alınmayacağını belirleyecektir. Uygulama malzeme ile uyumlu olmayan teknolojinin elimine edilmesi doğrultusunda çalışacaktır. Farklı uygulamalarda kullanılan malzemelerin teknoloji bazındaki incelemesi tez boyunca gerçekleştirilmiş, özellikle bölüm 4'te detaylandırılmıştır. Çizelge 2.1, 2.3, 2.4, 5.1, 5.2, 5.3 göz önünde bulundurularak ve 2015 yılından itibaren +90, 3DHubs, Sculpteo, Stratasys, Materialise gibi firmaların otomotiv sektöründe kullandıkları farklı uygulamalar incelenerek Çizelge 5.1 ve 5.2'de gösterilen otomotiv uygulamalarında kullanılan parça, malzeme ve teknolojiler bazlı veriler oluşturulmuştur. Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2 baz alınarak sıklıkla kullanıldığı görülen plastik, metal, seramik hızlı prototipleme teknolojilerin ana seçim kriteri olarak belirlenmiştir

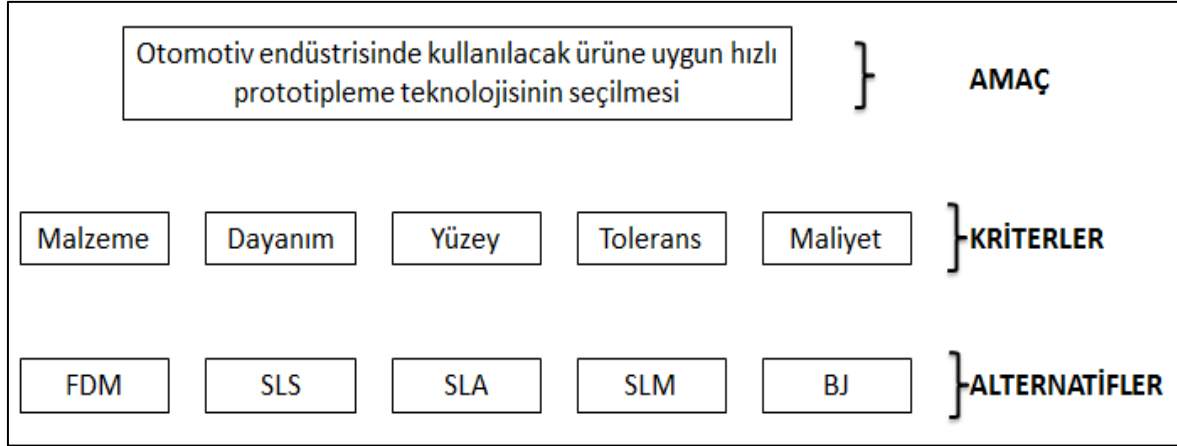
Çizelge 5.1. Otomotiv sektöründe kullanılan parça, malzeme ve teknoloji örnekleri

Parça	Teknoloji	Malzeme	Açıklama
Akü kapağı	FDM	Ultem 9085	Isıl direnç taşıyan fonksiyonel parçalar
Konsol	Polyjet + FDM	Verowhite + ASA	İç gövde konsol tasarım doğrulaması
Havalandırma tüfeci	SLS	PA 2200	Esnek ve hareketli parça üretimleri
Ön tampon	FDM	ABS M30	Büyük parçaların üretimi
Alternatör gergi demir braketi	FDM Tools & Metal Sheet Forming	ST12	Plastik kalıplarla sac metal parça üretimi
Süspansiyon üçgen kolu	SLM	AlSi10Mg	Topoloji Optimizasyonu yapılmış, hafif ve fonksiyonel parçalar
Konsol aydınlatma	PolyJet	Digital ABS	Prototip aydınlatma parçaları için fonksiyonel parçalar
Dış lamba	VC	PU	%100 şeffaf detaylı far ve stop parçaları
Kalp	Voxeljet	Sand & Cast	Kesme ve Form kalıpları üretimi

Diğer kriterler için Çizelge 5.1'de bölüm 4'te de anlatılan farklı otomotiv uygulamaları örneklerinden ve Ford tarafından hızlı prototipleme teknolojisi ile baskısı yapılan ürünlerden faydalanılarak belirlenmiş ve parça, teknoloji, malzeme, ihtiyaç olarak kategorilendirilmiştir. Çizelge 5.1'de gösterildiği üzere otomotivde kullanılan her bir parçanın kullanım alanına uygun olarak farklı bir teknoloji uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu tabloda belirtilen kullanımlarda parçaların görsel, hareketli, mukavemet altında

çalışacak, malzeme temelli olarak farklı alanlara yönelik üretiminin gerçekleştirildiği görülmektedir.

Çizelge 5.1’de verilen akü kapağı parçası ısıl direnç taşıyan ve fonksiyonel olarak kullanılması hedeflenen parçalardır. Bu sebeple mühendislik özelliklerinin yakın olarak gözlendiği ve ısıl dirence dayanıklı plastik malzemelerin kullanılabileceği FDM teknolojisi uygulanmıştır. Havalandırma üfleci parçasında ise PA malzeme ile esnek ve hareketli fonksiyonu ile beraber hava akışında yüzey toleranslarının olumsuz etkisinden kaçınmak adına SLS teknolojisi kullanılmıştır. Tabloda belirtilen ön tampon parçası boyutsal olarak büyük bir parça olmakla beraber otomotiv sektöründe çarpışma durumları ve dış çevre şartları altında çalışması sebebi ile dayanım beklentisi taşımaktadır. Bu nedenle bu ihtiyaçları en iyi şekilde karşılayacak ve mühendislik malzemele özelliklerini sunabilen FDM teknolojisi kullanılmıştır. Süspansiyon üçgen kolu parçasında da araç altında dış çevre koşulları ile yüksek mukavemet gerektiren ve taşıyıcılık özelliğine sahip bir parça olarak metal kullanımı gerektirmektedir. Bu sebeple metal baskı için kullanılan SLM teknolojisi kullanılmıştır. Konsol aydınlatma parçası ise aydınlatma elemanı olarak kullanılacağı için ışığı yansıtma özelliği ile şeffaf yapıda bir ürün ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Yüzey özelliklerinin ışığı kırmada önemli rol oynaması sebebiyle yüzey özelliklerini iyi bir şekilde yansıtabilecek polyjet teknolojisi kullanılmıştır. Tabloda verilen kalıp uygulamasında ise model yapımını sağlayarak döküm prosesini sağlayabilecek tek teknoloji olan Voxeljet teknolojisi uygulanmıştır. Üst torpido kilit mekanizmasında ise birbiri ile etkileşimli olarak kullanılacak parçalar söz konusu olduğundan tolerans ve yüzey özellikleri ihtiyaçları öne çıkmaktadır. Bu ihtiyaçları sağlamak adına SLA teknolojisi kullanılmıştır. Bu uygulamalar kategorize edilerek değerlendirildiğinde ürünün kullanılacağı yer ve ihtiyaca yönelik olarak kullanıcının derecelendirmesine bağlı değişkenlerle önceliklendirilecek şekilde şekil 5.1’de gösterildiği gibi tolerans, yüzey, dayanım, hız ve maliyet temel kriterler olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.1. Otomotiv endüstrisinde kullanılacak ürüne uygun hızlı prototipleme teknolojisinin seçim şeması

Tolerans; boyutsal doğruluk değerlendirmesi olarak kullanılmaktadır. Kullanılacak alanda parçanın ihtiyaç duyulan tolerans değerlerini karşılayabilme durumuna göre değerlendirilmektedir. Her teknolojinin sağlayabildiği tolerans değerleri farklıdır. Özellikle baskı sonrası malzeme ve kullanılan teknolojiye göre malzeme çekmesi, katman kalınlığı gibi etkenler tolerans üzerinde direkt olarak etkilidir. Bir diğer etken ise teknolojide kullanılan malzemedir. FDM gibi teknolojilerde kullanılan filamentlerin sağlayabildiği minimum çapa karşın toz malzemelerin küresel olarak minimum çapı elde edilen ürünün tolerans değerlerini de etkilemektedir. Tolerans değerleri otomotiv sektöründe kullanılan alana göre geniş bir aralığa sahiptir. Fren diskleri gibi parçalarda 0.1-0.5mm aralığındayken gövde parçalarında 1-3mm aralığında kullanılabilir ya da şasi parçalarında daha büyük değerler gözlenebilir. Özellikle birbiri ile çalışma halinde bulunacak, geçme uygulanacak ya da montaj bölgelerini oluşturan ve hassas tolerans değerleri sağlanması gereken parçalarda tolerans en önemli ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır.

Dayanım; malzemeye uygulanan yüke bağlı, malzeme meydana gelen şekil değişimini ifade eder. Üretilen parçanın kullanılacağı alanda yük altında çalışmasına göre beklenen dayanım performansına göre değerlendirilmektedir. Hızlı prototipleme teknolojilerinde X,Y,Z doğrultusunda gerilme dayanımı değerlendirilmiştir. Farklı teknolojilerin kullanılan üretim tekniklerine göre parçanın yük altında kullanılabilme ve dayanım özelliği değişiklik göstermektedir. FDM gibi teknolojilerde baskıda kullanılan filament yönüne bağlı olarak dayanım değişkenken, toz malzeme kullanılan teknolojilerde toz parçacıklar arasında kalan boşluklar ve malzemenin birleştirilme şekli dayanıma direkt etki etmektedir. Aynı şekilde kullanılan malzeme de dayanıma direkt etki eden özelliklerden biridir. FDM

teknolojisinde kullanılan standart malzemelere göre karbon fiber ile güçlendirilen malzemeler daha yüksek dayanım özelliği göstermektedir. Aynı şekilde SLM teknolojisinde kullanılan farklı metal tozları da farklı dayanım özelliklerine sahiptir. Otomotiv sektöründe iç gövde parçalarında fonksiyon özelliği beklenmeyen parçalarda dayanım özelliği ön planda değilken, şasi gibi taşıyıcı özelliği bulunan veya torpido kapağı gibi fonksiyonel özellik gerektiren parçalarda dayanım beklenen bir özelliktir. Fonksiyonel mukavemet altında çalışacak, testleri yapılacak ya da taşıyıcı yük altında çalışacak parçalar için dayanım önceliklendirilmesi gereken bir kriterdir.

Hız; ihtiyaca yönelik olarak baskı hızı önemli bir seçim parametresidir. Kullanılacak teknolojiye göre baskı hızı da büyük ölçüde değişiklik göstermektedir. Gelişen teknoloji ile üretici firmalar baskı hızlarını gitgide arttırmakta ve farklı üstünlükler yaratmaktadır. Ancak mevcut durumda aynı parçaların farklı teknolojilerde baskı hızı baz alınmaktadır. Katmanlı imalat teknolojilerinde temelde katman katman üretim yapılırsa da teknolojinin çalışma prensibi baskı hızını doğrudan etkilemektedir. Işın kaynağı kullanılan teknolojilerden ışının yönlendirilmesi daha hızlı baskı olanağı sağlayabiliyorken FDM teknolojisinde başlığın tabla üzerindeki X,Y hareketine bağlı olarak baskı hızı diğer teknolojilere göre düşük kalmaktadır. Ayrıca FDM teknolojilerinde destek kullanımının gerekliliği ve ardıl işlem süreçlerinden dolayı toplam üretim hızı değişkenlik göstermektedir. Özellikle prototip fazlarında projenin beklentilerini karşılamak amacıyla ya da seri üretimde eksiklikleri gidermek amacıyla hızlı ürün üretebilmek öncelikli kriter haline gelebilmektedir. Bu gibi durumlarda basılacak ürünün zaman kısıtının olması hız kriterini önceliklendiren etkilere sahiptir.

Yüzey; özellikle hassas imalat uygulanan parçalarda yüzey pürüzlülüğü/çözünürlüğü önem taşımaktadır. Yüzey kalitesini katmanlar arası mesafe de etkilemektedir. FDM gibi bazı katmanlı imalat teknolojileri üretim yöntemine bağlı olarak yüksek yüzey kalitesi sağlayamamakta ve ardıl işlem gerektirmektedir. Buna bağlı olarak yüzey önemli bir kriter haline gelmektedir. Parçanın kullanılacağı alanın müşteri etkileşimi ile görsel öncelik taşıması, akış incelemelerinin yapılacak olması, sürtünmeli olarak hareket eden parçalarda yüzey önemli bir kriter haline gelmektedir.

Maliyet; üretilecek parçanın beklenti ve kullanım alanına göre maliyet de önemli bir kriter olarak ortaya çıkmaktadır. Maliyeti belirleyen en önemli etkenler ham madde, ham

maddenin erişilebilirliği, çözünürlük ve işlem süreleridir. Katmanlı imalat teknolojileri gelişmişlik durumuna, kullanılan teknolojik alt yapı ve malzeme, çözünürlüğe bağlı olarak farklı maliyet değerleri vermektedir. Havacılık sektöründe tekil olarak yüksek maliyetli parçalar üretilebilirken otomotiv sektöründe yüksek üretim adetleri göz önünde bulundurularak bu maliyetlerin düşürülmesi öncelikli hedef haline gelmektedir. Bu karşılaştırma ile bakıldığında üretilen ürüne ayrılacak bütçe ile beraber uygun teknolojinin seçilmesi için maliyet önceliklendirilebilen bir kriter haline gelmektedir.

Çizelge 5.1’den yola çıkılarak belirlenen malzeme, maliyet, hız, dayanım, tolerans, yüzey kriterleri bölüm 2 ve 4’te detaylandırılan uygulamalarda kullanılan teknolojilerin yeterlilikleri incelenerek Çizelge 5.2 oluşturulmuştur. Otomotiv sektöründe kullanılan farklı teknolojilerin belirlenen kriterler doğrultusunda kapasiteleri ve yetkinlikleri incelenerek seçim asistanı uygulamasında doğru bir yönlendirme yapabilmek, teknolojilerin birbirlerine karşı üstünlüklerinin karşılaştırmasını ortaya koyabilmek amacı ile düzenlenmiştir.

Çizelge 5.2. Farklı baskı teknolojilerine ait seçim kriterlerinin ortalama değerleri [50-68 kaynaklarından derlenmiştir]

Teknoloji	Dayanım	Yüzey	Hız	Tolerans	Maliyet
FDM	50-70 Mpa	50 - 400 μ m	50-150mm/saat	$\pm 0,5$ mm	20-70 \$/kg
SLA	10-50 Mpa	25 - 100	14mm/saat	± 0.15 mm	50 \$/lt
SLS	25-45 Mpa	80 - 120 μ m	48mm/saat	± 0.3 mm	45-75 \$/kg
SLM	250-450 Mpa	30 - 50 μ m	2-8mm ³ /sn	$\pm 0,15$ mm	350-550 \$/kg
BJ	15-25 Mpa	100 μ m	7mm/saat	$\pm 0,1$ mm	25-55 \$/kg

5.3. Seçim Matrisinin Oluşturulması İçin Çok Yönlü Değerlendirmelerin Gerçekleştirilmesi

İhtiyaç ve metriklerin belirlenmesinden sonra bu metriklerin kullanılacak teknolojinin belirlenmesi üzerindeki değişken etkisi sonraki aşamalarda oluşturulacak algoritma için önem taşımaktadır. Belirlenen her bir metriğin teknolojiye bağlı olarak değişimi ve buna bağlı değerlendirilmesinin yapılması doğru seçimin yapılması için en büyük kriterdir. Bu doğrultuda her bir kriterin teknolojiye bağlı değişkenliği kendi içinde derecelendirilmiştir.

Tolerans kriterinde; parçanın üretim teknolojisine göre baskı öncesi ölçüleri ile baskı sonrası ölçülerindeki oluşabilecek fark bu tolerans değerlendirmesinde önceliklendirilmiştir. BJ teknolojisinde püskürtme tekniğinin kullanılmasından dolayı birebir ölçülerle baskı sağlaması nedeniyle tolerans değerleri en iyi olarak değerlendirilirken, FDM teknolojisinde kullanılan malzemenin çekme eğiliminden dolayı en düşük değerde değerlendirilir.

Dayanım kriterinde hem lazer tarama teknolojisi hem de toz malzeme kullanımından dolayı SLM ve ergiyerek birleştirilmesinden dolayı FDM teknolojileri en yüksek performansı verirken; BJ teknolojisi kullanılan ham madde ve püskürtme tekniğinin sonucu en düşük performansı sağlamaktadır.

Hız kriterinde teknolojinin geliştirilmesi ve farklı teknolojilerin getirdiği çalışma prensiplerinden dolayı BJ püskürtme tekniği ile daha hızlı baskı sağlayabilirken, FDM 3 eksenli hareket ve destek malzeme kullanımından dolayı en düşük performansı sağlamaktadır.

Yüzey pürüzlülüğü kriterinde SLA ve SLS teknolojileri lazer teknolojisi nedeniyle en iyi sonucu verirken püskürtme nedeniyle BJ ve filament çapına bağlı üretim kısıtı nedeniyle FDM en düşük performansı sağlamaktadır.

Maliyet kriterinde en önemli etken teknolojinin ulaşılabilirliği, kullanılan ham maddenin temin edilebilirliği ve işlem süresi olarak belirlenmiştir. Bunlara bağlı olarak BJ ve FDM maliyet açısından uygun olarak belirlenirken SLS, SLA ve SLM teknolojileri daha maliyetli olarak gözlenmiştir. Maliyet etkisinde ham madde, işlem süresi göz önünde bulundurulmuştur

5.4. Seçim Matrisinin Oluşturulması

Kavramsal tasarım ilkelerinde de yer alan ve sıklıkla kullanıldığı gibi, bir ürün tasarım ve üretim süreci öncesinde ihtiyaçlar detaylı bir şekilde belirlenir. Seçim matrisi kavramsal tasarım ilkeleri göz önünde bulundurularak tez boyunca yapılan araştırmalar ve kaynaklar ile bölüm 2 ve 3'e detaylandırılan hızlı prototipleme teknolojilerinin özellikleri, saha çalışmalarında incelenen örnek uygulamalar ile bölüm 5.2'de detayları anlatılmış, Çizelge

5.2’de belirlenen kriterler göz önünde bulundurularak değerdendirmeler doğrudusunda yazılımın oluşturulması için üstünlük kriterlerine göre derecelendirilmiş Çizelge 5.3’deki gibi bir değerdendirme matrisi oluşturulmuştur. Teknolojiler belirlenen kritere göre 1’den 5’e kadar değerdendirilmiştir. 1 değeri ihtiyaç duyulan kriteri en az karşılayan, 5 değeri ise en iyi karşılayan olarak kabul edilmiştir.



Çizelge 5.3. Hızlı prototipleme değerlendirme matrisi

Derecelendirme	5	4	3	2	1
Tolerans	BJ	SLA	SLM	SLS	FDM
Yüzey	SLA	SLS	SLM	FDM	BJ
Dayanım	SLM	FDM	SLS	SLA	BJ
Hız	BJ	SLA	SLM	SLS	FDM
Düşük Maliyet	BJ	FDM	SLS	SLA	SLM

Çizelge 5.3 incelendiğinde bir ürünün sağlaması beklenen kriteri tolerans olduğunda teknolojinin yeterliliklerine dayanarak en iyi BJ ile üretim yapılabilirken FDM beklentiyi en düşük düzeyde karşılamaktadır. Aynı şekilde eğer yüzey pürüzlülüğü için beklenti öncelikli ise SLA yüzey pürüzlülüğünde maksimum beklentiyi karşılarken BJ yüksek yüzey pürüzlülüğü ile beklentiyi minimum ölçüde karşılamaktadır. Dayanım kriterinde SLM teknolojisi üretilen ürün bazında en iyi performansı sağlarken BJ toz bağlayıcı alt yapısı nedeniyle mukavemet özelliklerini yüksek performansta sağlayamamaktadır. Kullanılan makinelerin üretim hızı göz önünde bulundurulduğunda BJ hızlı üretime imkan tanırken FDM eksenel hareketler nedeniyle daha uzun sürede üretimi gerçekleştirebilmektedir. Düşük maliyet kriterinde ise BJ malzeme tedariği ve maliyeti göz önünde bulundurularak uygun maliyetlerle üretime imkan verirken SLM ham madde temininin pahalılığı nedeniyle yüksek maliyetlerde üretim yapabilmektedir.

Önceliklendirilecek kriterlere bağlı olarak her bir kriterin seçime etkisi; 5.5'teki SMART yönteminde açıklandığı gibi kriter önceliği kriter ağırlık ile çarpılarak belirlenecektir. Doğru seçimin sağlanabilmesi için kullanıcının ihtiyaçlarını net olarak belirlemesi ve önceliklendirmenin net olarak tanımlanması önem taşımaktadır.

Algoritma ile doğru sonuca ulaşabilmek için her bir kriterin kullanım amacına önceliklendirme ile belirlenerek ayrı bir katsayı ile çarpılması sonucu çok ölçütlü karar verme tekniklerine dayandırılarak puanlandırılacak ve seçim sonucuna ulaştıracaktır.

5.5. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi

Seçim yönteminde istatistikte de kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleri esas alınmıştır. Bir problem çözümü ve karar verme durumunda karara etki eden birden fazla

amaç ve kriter olabilir. İstatistik uygulamalarının yanı sıra özellikle kısıtlar doğrultusunda bir tasarıma yönelik optimum seçimin yapılmasının sağlanmasında da çok kriterli karar verme yöntemleri öne çıkmaktadır. 3D Printer seçim asistanında birden fazla kriterin seçime farklı ağırlıklarda etkisi söz konusudur. Mükemmel özelliklere sahip ürünü üretmek ideal olsa da şartların değişkenliği ve öncelikler nedeniyle bu ideal mümkün olmamaktadır. Bu kriterlerin farklı koşullarda farklı ağırlıklarla etki ettiği seçim durumlarında sonuca ulaştıracak en optimum tercihi yapmak hedeflenir. Çok ölçütlü karar verme tekniklerindeki amaç da birden fazla kriterin aynı anda değerlendirilmesinde, karar vericinin seçenekler arasında en optimum seçeneği bulmasını sağlamaktır. Çok kriterli karar verme yöntemleri kendi içinde Çok Amaçlı Karar Verme ve Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemleri olarak ikiye ayrılır. Çok ölçütlü karar verme yöntemleri belli sayıda seçeneğin önceliklendirme amacıyla ağırlıklandırılmış ve aynı ölçü birimi kullanılmayan kriterlerin değerlendirilmesi işlemidir. Örneğin bir lamba bezeli üretiminde 1 haftada yetişmesi gereken bir prototip söz konusu olabilir. Böyle bir durumda üretilecek prototipten beklenen özellikler göz önünde bulundurularak önceliklendirme ile bir seçim yapılması gerekir. 5.1,5.2, 5.3 ve 5.5'te anlatılan kriter değerlendirmeleri göz önünde bulundurulduğunda ve parçanın çalışma koşullarını düşünüldüğünde görsel, müşteri ile temas halinde bir parça olacağından yüzey özelliklerinin yüksek seviyede olması beklenir. Zaman kısıtının olmadığı bir durumda zaman kriteri önceliklendirmede en sonda yüzey özellikleri ve maliyet önceliklendirmede en üstte yer alabilecekken, zaman kısıtının olduğu bir projede yüzey ve maliyet beklentilerinin yerini zaman alabilmektedir. Benzer şekilde hız, dayanım, yüzey pürüzlülüğü, maliyet farklı parametrelere ve birimlere sahip kriterlerdir. Bu sebeple kriterlerin birebir birbirileri içinde kıyaslamasını ve değerlendirmesini yapmak doğru bir sonuca ulaştırmayacaktır. Kriterler göz önünde bulundurulduğunda birbiri ile farklı ilişkileri olduğu görülmektedir. Çizelge 5.4'de verilen bilgiler doğrultusunda da hedeflenen çözüme yönelik bir seçimde bulunmak amacıyla çok ölçütlü karar verme yöntemi kullanılmıştır [53].

Çizelge 5.4. Çok kriterli karar kerme yöntemleri [53]

		Çok Amaçlı Karar Verme	Çok Ölçütlü Karar Verme
Kriterlerin Tanımlanması		Amaçlar tarafından	Nitelikler tarafından
Amaçların tanımlanması		Açık/Belirgin olarak	Örtük olarak
Niteliklerin Tanımlanması		Örtük olarak	Açık/Belirgin olarak
Kısıtlılıklar		Aktif	Aktif değil (Niteliklere dâhil edilmiş)
Alternatifler		Sonsuz sayıda, sürekli (süreç esnasında belirir)	Sonlu sayıda, ayrık (önceden tanımlanmış)
Karar Verici ile Etkileşim		Çoğunlukla	Çok fazla değil
Kullanım Amacı, Türü	Problem	Tasarım	Seçim/Değerlendirme

Çok ölçütlü karar verme yöntemlerinde de kullanım amacına göre farklı teknikler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden uygun olanını seçmek için belirlenen problemin yapısına ve seçim sürecindeki özelliklere bakılmalıdır. Karar verme yöntemleri değer/fayda temelli, üstünlük temelli ve diğer yöntemler olarak üçe ayrılmaktadır. Bu çalışmada her bir teknolojinin seçime farklı yönlerde değer ve fayda sağladığı görülmektedir. Her bir kriterin sonuca doğrudan ve birbiri arasındaki etkileşimli katkısı göz önünde bulundurularak değer/fayda temelli yöntem kullanılması tercih edilmiştir.

Değer ve fayda temelli SMART metodu Word Edward tarafından 1971 ve 1977 yılları geliştirilen ve en yaygın olarak kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemidir. Bu yöntem ile farklı ölçü birimlerine sahip kriterleri ortak skalada toplayarak ve bu kriterlerin sonuca etkisini ağırlıklandırarak seçime ulaşılması amaçlanır. Birden fazla sayıdaki alternatif birden fazla sayıdaki performans kriterine göre değerlendirilmektedir. SMART yönteminde alternatif sonuçlar her kriter için ayrı ayrı değerlendirilir ve her kriterden alınan not o kriterin ağırlığı ile çarpılarak alternatif sonuca etkiyen değeri oluşturur. Karar vericinin ihtiyaç duyduğu ve ağırlıklandığı tercih sırası esas alınır [53,54]. Özellikle belirtildiği gibi farklı ölçü birimlerine sahip etkilerin bir seçime olan etkisini değerlendirmek için SMART metodu yaygın olarak kullanılmaktadır. Hızlı prototipleme seçim asistanında da SMART metodunun temeline dayanan birde fazla alternatif ve performans kriteri söz konusudur. Aynı zamanda kriter olarak belirlenen zaman, maliyet, yüzey, tolerans, malzeme ve hız çizelge 5.2’de verilen şekilde birbirinden ayrı performans kriterleri olarak farklı ölçü birimlerine sahiptir. Hızlı prototipleme seçim asistanı

kullanıcısının öznel değerlendirmesine bağlı olarak tercih sırasına göre değerlendirmeyi yapabilmek üzere en uygun yöntem olan SMART metodu kullanılmıştır.

Karar analizinin temel adımları olan sorunun tanımlanması, seçeneklerin belirlenmesi, sonuçların listelenmesi temel adımları Şekil 5.1, seçeneklerin sonuçlara etkisi ve değerlendirme tablosu ise Çizelge 5.5’de gösterilmiştir. Çizelge 5.5’de verilen verilere ulaşmak için SMART metodunun temeli olan puanlama yöntemi ağırlıklı puan sistemine dayandırılarak karşılaştırmak amaçlı kullanılmaktadır. Alternatif seçeneğin toplam puanını bulmak için, her bir kriterin kriter ağırlığı ile çarpılmış kriter puanı toplanır.

$$\text{Toplam Puan} = \quad (5.1)$$

$$W_i = \text{Kriter Ağırlığı}$$

$$C_i = \text{Kriter Puanı}$$

$$0 \leq W_i \leq 1$$

5.6. Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri ile Teknoloji Seçiminin Hesaplanması

Ağırlık etkisi ise kullanıcının önceliklendirmesidir. 1’de 5’e kadar öncelik sıralaması ile toplamı 1 olacak şekilde yüzde değerleri ile çarpılmaktadır. Yukarıda verilen formül esas alınarak seçilen beş kritere bağlı olarak kriter ağırlığı toplamı 1’e eşitlenmiştir. 1 değeri %6,7, 2 değeri %13,3, 3 değeri %20, 4 değeri %26,7 ve 5 değeri ise %33,3 ile toplamı 1 olacak şekilde ağırlıklandırılmıştır.

Kriter puanı 1’den 5’e kadar olmak üzere her bir teknolojinin o kriter için olan yetkinliğidir. Seçim yapılacak parametre için en iyi teknoloji 5, kullanımı en son önerilen teknoloji için 1 puan verilir. Bu sıralama için tez boyunca incelenen teknolojiler ve uygulam alanları esas alınmıştır. Birden beşe kadar olan kriter puanı kriter ağırlığı ile çarpılarak elde edilen sonuç her bir teknoloji için toplam puana etki etmektedir. Çizelge 5.5’de her teknoloji için belirlenen kriterlerin etkisi hesaplanmıştır.

Örneğin; önceliğin sırasıyla tolerans için 5, yüzey 4, dayanım 3, hız 2 ve düşük maliyetin 1 olduğu durum için her bir teknolojinin puanı Çizelge 5.5 ile aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$BJ \text{ toplam puanı} = 1,67 + 0,27 + 0,2 + 0,67 + 0,34 = 3,132$$

$$SLA \text{ toplam puanı} = 1,33 + 1,34 + 0,4 + 0,53 + 0,34 = 3,733$$

SLM toplam puanı = $1 + 0,8 + 1 + 0,4 + 0,07 = 3,266$

SLS toplam puanı = $0,67 + 1,07 + 0,6 + 0,27 + 0,2 = 2,801$

FDM toplam puanı = $0,33 + 0,53 + 0,8 + 0,13 + 0,27 = 2,068$

Malzeme kısıtının seçimine bağlı olarak seçilen malzeme için uygun olmayan seçenek hesaplama dışı bırakılmaktadır. Her bir değişken durum için uygulama aracılığıyla hesaplama yapılabilir.

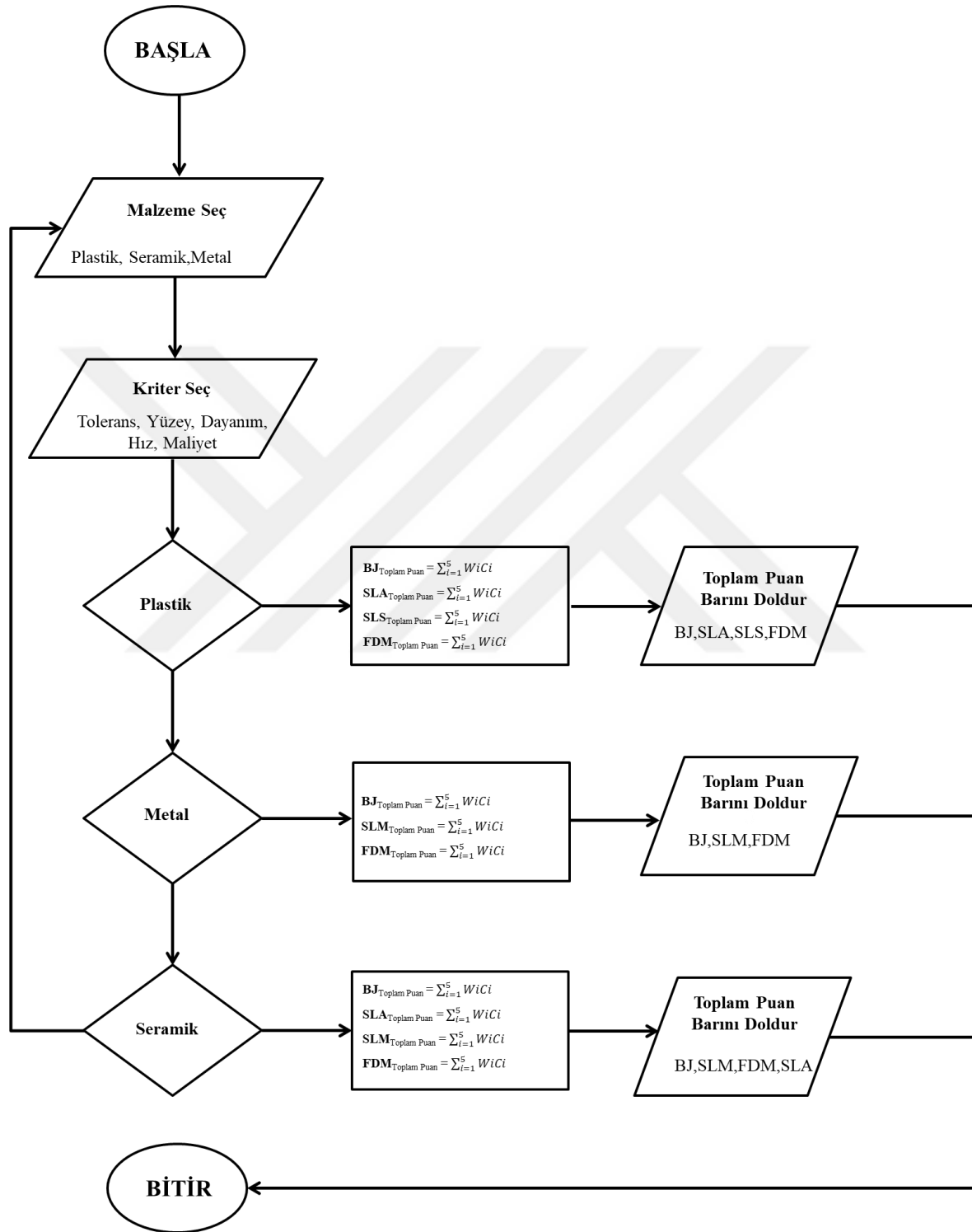
Çizelge 5.5. Önceliklendirilen özelliklere göre teknolojilerin seçim değeri puanları

Parametre	Teknoloji	Kriter Puanı	Ağırlık Etkisi				
			1	2	3	4	5
Tolerans	BJ	5	0,335	0,665	1	1,335	1,665
	SLA	4	0,268	0,532	0,8	1,068	1,332
	SLM	3	0,201	0,339	0,6	0,801	0,999
	SLS	2	0,134	0,266	0,4	0,534	0,666
	FDM	1	0,067	0,133	0,2	0,267	0,333
Yüzey	BJ	1	0,067	0,133	0,2	0,267	0,333
	SLA	5	0,335	0,665	1	1,335	1,665
	SLM	3	0,201	0,339	0,6	0,801	0,999
	SLS	4	0,268	0,532	0,8	1,068	1,332
	FDM	2	0,134	0,266	0,4	0,534	0,666
Dayanım	BJ	1	0,067	0,133	0,2	0,267	0,333
	SLA	2	0,134	0,266	0,4	0,534	0,666
	SLM	5	0,335	0,665	1	1,335	1,665
	SLS	3	0,201	0,339	0,6	0,801	0,999
	FDM	4	0,268	0,532	0,8	1,068	1,332
Hız	BJ	5	0,335	0,665	1	1,335	1,665
	SLA	4	0,268	0,532	0,8	1,068	1,332
	SLM	3	0,201	0,339	0,6	0,801	0,999
	SLS	2	0,134	0,266	0,4	0,534	0,666
	FDM	1	0,067	0,133	0,2	0,267	0,333
Düşük Maliyet	BJ	5	0,335	0,665	1	1,335	1,665
	SLA	2	0,134	0,266	0,4	0,534	0,666
	SLM	1	0,067	0,133	0,2	0,267	0,333
	SLS	3	0,201	0,393	0,6	0,801	0,339
	FDM	4	0,268	0,532	0,8	1,068	1,332

5.7. Visual Studio Programı ile Uygulama Yazılması

Uygulamanın oluşturulması aşamasında Visual Studio programı ve Visual Basic programlama dili kullanılmıştır. Tablo 7’ de yer alan veriler kullanılarak seçim kriterlerinin önceliklendirilmesine dayalı olarak kullanılacak katmalı imalat teknolojisinin seçimi

hedeflenmiştir. Program temel algoritmasında Çizelge 5.5 esas alınarak Şekil 5.1'deki algoritma kullanılmıştır.



Şekil 5.1. Uygulama algoritması

Uygulama ilk açıldığı zaman karşılaşılan ekran Resim 5.1'deki gibidir.

Resim 5.1. 3D Yazıcı seçim asistanı uygulama ekranı

Öncelikle hangi malzemenin kullanılacağı belirlenmelidir. Malzeme seçimine bağlı olarak o malzemenin kullanılmadığı teknolojiler seçim dışı bırakılacaktır. Seçim dışı bırakılan teknolojiler silikleştirilerek dikkate alınmaması gerektiği vurgulanmıştır. Malzeme seçimine bağlı teknolojilerin seçim dışı kalması Resim 5.2’de gösterilmiştir.

Resim 5.2. Kriter seçimlerinin malzeme seçime göre devre dışı kalması

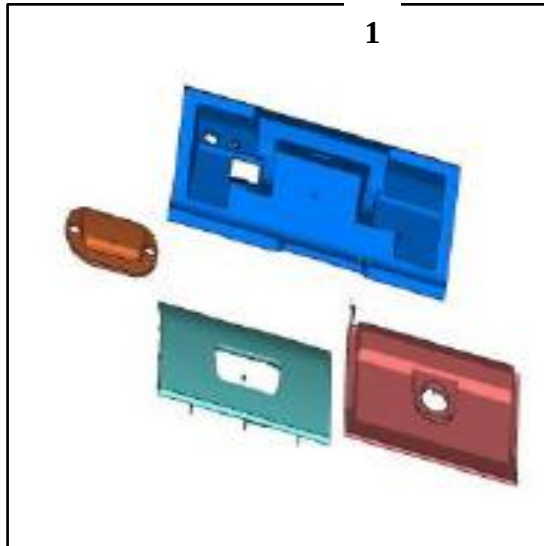
Malzeme seçiminin devamında üretilecek parçanın kullanılacağı alana göre ihtiyaçlar öncelik sırasına konulmalıdır. 1 en düşük öncelik 5 ise en büyük öncelik anlamına gelmektedir. Seçim kriterleri önceliklendirildikten sonra hesapla butonu yardımı ile

hesaplama yapılmaktadır. Hesaplama yapıldıktan sonra seçim sonuçları teknolojilerin yanında bulunan barların doldurulması ile Resim 5.3'teki gibi görselleştirilmiştir.



Resim 5.3. Kriter seçimleri sonrasında kullanılacak uygun teknolojinin gösterimi

Program kullanımına örnek teşkil etmesi amacı ile kullanım senaryosu ve beklentiler oluşturulmuştur. Örnek olarak araç içinde torpido kapak mekanizmasında kullanılan parçaları maliyet ve zaman kısıtının olmadığı bir durum için inceleyelim. Resim 5.4'te verilen parçalar bu mekanizmayı oluşturan plastik parçalardır.



Resim 5.4. Torpido kapak mekanizması parçaları

1 numaralı parça mekanizmanın görünmeyen arka bölgesinde kalmaktadır. Ancak diğer parçaların ana gövdeye bağlanmasını sağlaması görevi nedeniyle yük altında çalışacaktır. Bu sebeple parçanın kırılmaması yani dayanımı en önemli kriterdir. Aynı şekilde çevre parçalarla montaj operasyonunun temel ögesi olması ve bağlantı özelliklerini sağlayacak olması sebebiyle tolerans beklentisi ikinci önemli kriter olarak yerleşir. Müşteri ile etkileşimli ya da pürüzlülüğünün olumsuz etkisinin olmadığı durumda yüzey beklentisi üçüncü olarak koumlanacaktır. Zaman ve maliyet kısıtımız olmadığı için hız dört ve maliyet 1 olarak incelenebilir. Bu durumda parçanın kullanılacağı alana yönelik oluşturulan önceliklendirme aşağıdaki gibi olacaktır.

- 5- Dayanım
- 4- Tolerans
- 3- Yüzey
- 2- Hız
- 1- Maliyet

Bu öncelik sırası belirlendikten sonra program üzerinden ilk olarak malzeme plastik olarak seçilir. Malzeme seçimi plastik olarak yapıldığında SLM teknolojisi plastik malzeme basamadığından hesaplamaya dahil edilmeyecektir. Devamında tüm kriterlerde belirlenen öncelik değerleri ile seçim yapılır. Çizelge 5.5 baz alındığında dayanımın 5 seçilmesi durumunda her bir durum için uygulama şekil 5.1’de verilen algoritma ile arka planında teknolojilerin puanı hesaplanır. Hesaplanan teknolojilerin puanlamaları aşağıdaki şekilde olacaktır.

Dayanım 5 olduğunda;

BJ: 0,333

SLA: 0,666

SLM: 1,665

SLS : 0,999

FDM: 1,332

Benzer şekilde toleransın 4 olması durumu için;

BJ: 1,335

SLA: 1,068

SLM: 0,801

SLS: 0,534

FDM: 0,267 olacaktır,

Yüzey 3 olarak seçildiğinde;

BJ: 0,2

SLA: 1

SLM: 0,6

SLS: 0,8

FDM: 0,4 şeklindedir.

Hızın 2 olduğu durum için;

BJ: 0,665

SLA: 0,532

SLM: 0,399

SLS: 0,266

FDM: 0,133 şeklindedir.

Maliyetin 1 olduğu durum için ise;

BJ: 0,335

SLA: 0,134

SLM: 0,067

SLS: 0,201

FDM: 0,268 şeklindedir.

Hesaplanan puanlar sonucunda uygulama algoritması doğrultusunda her bir teknolojinin kriterler bazında aldığı puanlar toplanır.

$$BJ: 0,333 + 1,335 + 0,2 + 0,665 + 0,335 = 2,868$$

$$SLA: 0,666 + 1,068 + 1 + 0,532 + 0,134 = 3,4$$

$$SLM: 0$$

$$SLS: 0,201 + 0,266 + 0,8 + 0,534 + 0,999 = 2,8$$

$$FDM: 1,332 + 0,267 + 0,4 + 0,133 + 0,268 = 2,4$$

Bu hesaplamalar doğrultusunda uygulama her bir teknolojinin ilerleme çubuğunu doldurarak kullanıcıya seçebileceği teknolojileri uygun sırasına göre sunar. Bu sıralama incelendiğinde öncelikli olarak SLA sonrasında ise sırasıyla SLS, BJ ve FDM teknolojilerinin uygun olduğu görülmektedir. Bu örnek özelinde her ne kadar FDM teknolojisi dayanım ile ön plana çıksada yüzey ve tolerans beklentilerinin üst sıralarda olması bu özellikleriyle öne çıkan diğer teknolojilerin FDM teknolojisinin önüne geçmesine neden olmuştur. Bölüm 4'te verilen bir örnekten uygulamanın çalışmasını doğrulamak amacıyla her bir belirlenerek uygulama üzerinden hesaplamaları yapılmıştır.

Peugeot Fractal konsept aracında plastik iç trim parçalarında kullanılmak üzere bir üretim yapılmıştır. Bu sebeple kullanıcı ile etkileşimli parçalarda yüzey özellikleri en öncelikli kriter olarak yer almaktadır. Büyük parçalı yapısı ve gövdeye farklı parçalarla bağlantısı düşünüldüğünde dayanım ikincil öncelikli durumda olacaktır. Plastik parçalarda geleneksel üretim yöntemlerinde de ± 2 tolerans aralığı göz önünde bulundurulduğunda tolerans önceliklendirmesi 1 olarak değerlendirilir. Devamında maliyet konsept araçlarda getirisi olmayan bir yatırım olarak değerlendirildiğinden ortalama bir değer olarak 3 ve en son olarak da konsept araçlarda zaman kısıtının olmadığı öngörüldüğünden hız son kriter olarak belirlenecektir. Son durumda kriterlerin öncelik sıralaması aşağıdaki gibidir;

- 1- Hız
- 1- Tolerans
- 3- Maliyet
- 5- Dayanım
- 5- Yüzey

Bu öncelikler doğrultusunda ilk önce malzeme seçilerek diğer kriterlerin bu öncelik değerlendirmeleri ile seçimi yapılır.

Teknoloji	Skor
FDM	3.2
SLS	3.379
SLM	0
BJ	2.336
SLA	3.267

Resim 5.5. Peugeot Fractal Konsept aracı için hızlı prototipleme teknolojileri seçim asistanı doğrulaması.

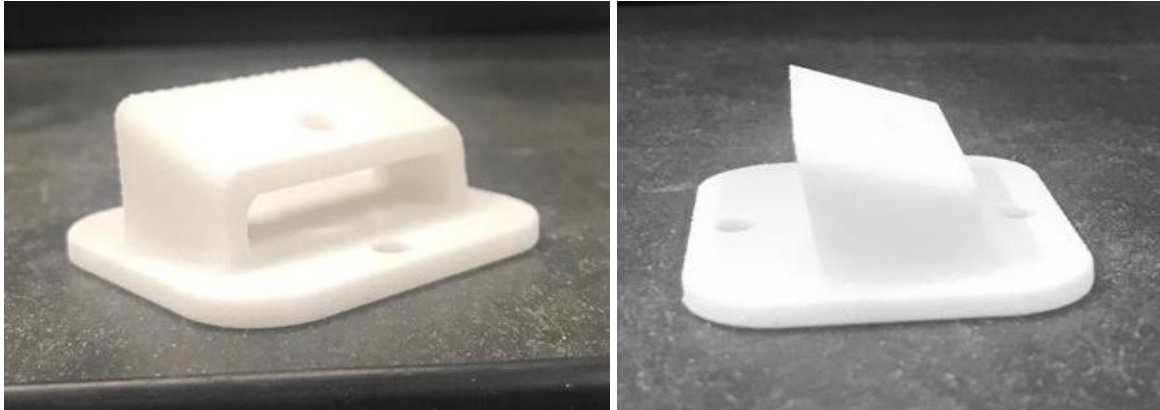
Resim 5.5’de gösterilen seçim asistanı sonuçlarına göre SLS konsept araçta istenen özelliklere uygun olarak kullanılması önerilen en uygun yöntemdir. Uygulanan konsept araç içinde kullanılan teknoloji SLS teknolojisidir. SLS teknolojisi imkanının bulunmaması durumunda SLA teknolojisi de beklenen özelliklere yakın bir sonuç verecektir. Yazılımın oluşturulmasında kullanılan Çizelge 5.2 ve 5.2 incelendiğinde SLA ve SLS teknolojilerinin yüzey gerektiren özelliklerde birbirine yakın olduğu görülmektedir.

Otomotiv uygulamalarında bir diğer örnek olarak da aracın dış gövdesinde ısı kalkanı bağlantısında kullanılan braket prototipinde uygulaması gerçekleştirilmiştir. Binek arç projesinde kullanılmak üzere taşıyıcı ve bağlantı özelliği sebebiyle özellikle dış kullanıma uygun dayanım özelliği beklentisi ön planda değerlendirilmiştir. Kullanılacak asıl parçanın plastik olması nedeniyle prototip malzemesi de plastik olarak seçilmiştir. Birden fazla parçanın bağlantısını sağlaması ve montaj delikleri nedeniyle tolerans da ikincil öncelik olarak belirlenmiştir. Görsel bir parça olmasa da delik bağlantılarında yüzey özellikleri göz ardı edilemeyeceğinden dolayı yüzey önceliği 3 olarak belirlenmiştir. Maliyet kısıtı üst seviyede olmadığından 2 projenin zaman sınırı olmadan uzun vadede planlandığından da hız kriteri 1 olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu öncelikler doğrultusunda hızlı prototipleme seçim asistanından hesaplaması Resim 5.5’de gösterilmiştir.

Teknoloji	Skor
FDM	2.531
SLS	2.912
SLM	0
BJ	2.533
SLA	3

Resim 5.6. Dış gövde ısı kalkanı bağlantı braketinin hızlı prototipleme teknolojileri seçim asistanı ile seçilmesi

Seçim asistanında yapılan hesaplama sonucunda uygun teknoloji SLA olarak belirlenmiştir. Ancak üretilecek parçanın tesisinde SLA teeknolojisi bulunmadığından ikincil alternatif olan SLS teknolojisi tercih edilmiştir. Üretilen parçanın araç üzerinde testlerinin tamamlanması planlanmıştır.



Resim 5.7. Dış gövde ısı kalkanı bağlantı braketinin prototip görseli

6. SONUÇ

Yapılan çalışmada 3D teknolojisinin oldukça ilerleyerek sanayi uygulamalarının arttığı görülmüştür. Hızla gelişen teknoloji, malzeme ve uygulamalar pek çok alanda oldukça büyük bir yer kazanmıştır. Ancak yapılan çalışmalar hızlı prototipleme teknolojilerinin çeşitleri, prensibi konusunda yoğunlaşmış ve uygulamaların teknik açıklaması ve uygulamaları kısmında yetersiz kalmıştır.

Literatür araştırmasında hızlı prototiplemenin sanayi kullanımlarında prototip üretiminde yoğunlaştığı görülmüştür ancak bu kullanımların kazanımları ve geleneksel yöntemlere göre üstünlüklerinin açıklanmasının teknik anlamda yetersiz kaldığı düşünülmektedir.

Bu doğrultuda yapılan çalışmada pek çok hızlı prototipleme firması ve otomotiv sektöründeki firmalar incelenerek hızlı prototipleme teknolojilerinin uygulama safhasında yapılan çalışmalar derlenmiş ve incelenmiştir. Çalışma sonucu katmanlı imalat teknolojilerinin yalnızca prototip fazında kullanılmakla kalmayıp geleneksel imalat yöntemleri ile birleştirilerek seri üretimi destekleyici nitelikte olup, az adetli mevcut üretimlerde nihai ürün olarak da kullanılmaktadır. Bu kullanımlar bize, katmanlı imalat teknolojileri ile üretimin mevcut parça özelliklerini taşıyabilecek nitelikte ve yeterlilikte olduğunu göstermektedir. Buna ek olarak geleneksel yöntemler ile birleştirilen katmanlı imalat teknolojilerinin; bu doğrultuda çalışmaların ilerletilmesi ile, mevcut üretim verimini arttırılabileceği ve ilerleyen zamanlarda seri üretimde de bir üretim yöntemi olarak yer alabileceği söylenebilir. Mevcut durumda katmanlı imalat teknolojilerinde maksimum faydanın sağlanabilmesi için uygun üretim yönteminin seçilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde teknolojinin konumu, yaygınlığı ve malzeme kısıtları gibi sebepler ile ulaştıracağı çözüm oldukça maliyetli ve gereken mühendislik özelliklerini taşıyamayacak nitelikte olabilir. Bu sebeple hazırlanan seçim asistanı ile oluşturulan puanlama yöntemi yardımı ile beklenti ve öncelikleri karşılayacak yöntemin belirlenmesi sağlanmıştır.

Yapılan araştırmalar ve çalışmalar gösteriyor ki; ilerleyen zamanlarda, katmanlı imalat teknolojilerinin farkındalığı ve alt yapı bilgisi ilerledikçe bir çok sektörde, özellikle ağırlık azaltma ve tasarım çeşitliliğinin arttırılması konusunda kullanımı yaygınlaşacaktır. Farklı uygulamalar ile maliyet, üretim süresi ve tasarım optimizasyonu avantajları sağlaması

nedeniyle üretim süresi ve maliyet kısıtının da ortadan kalkması ile seri üretimde kullanılabilen, hatta seri üretimin parçası olan bir teknoloji halini alacaktır.

Bu düşüncelerle katmanlı imalat uygulamalarına bakıldığında bitmiş son ürüne odaklanmanın yanında proseslere etkisininde üzerinde durularak gelişime açık olduğu görülmektedir. Bu sebeple çalışmanın devamında katmanlı imalat teknolojilerinin mevcut prosesleri iyileştirme konusunda nasıl destek olacağı ve bitmiş ürün üzerindeki etkilerinin karşılaştırması ile ilerletilebilir.



KAYNAKLAR

1. Campbell, I., Bourell, D., Gibson, I. (2012). Additive manufacturing: rapid prototyping comes of age. *Rapid Prototyping Journal*, 18(4), 255-258.
2. Baş, H., Yapıcı, F. (2015). Ergonomik tasarım ve üretimde hızlı prototipleme teknolojisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 199-204.
3. Durgun, İ. (2015). Otomotiv geliştirme sürecinde prototip imalatının dünü bugünü ve yarını, Ege Üniversitesi 15. Üretim Araştırmaları Sempozyumu'nda sunuldu, İzmir, 989-996.
4. Eppinger, S. D., Ulrich, K. T. (2012). *Product design and development* (5th Ed.), New York: Mcgraw-Hill.
5. Ereke, İ. M. (2006). *Taşıt modeli geliştirmede kullanılan ileri tasarım teknikleri*. Tasarım İmalat Analiz Kongresi'nde sunuldu, Timak, Balıkesir.
6. Onuh, S. O., Yusuf, Y. Y. (1999). Rapid prototyping technology: applications and benefits for rapid product development. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 10(3-4), 301-311.
7. Özüğür, B., Apak, S., Korkut, İ., Şeker, U. (2010). *Kompleks yapıdaki parçaların farklı hızlı prototipleme cihazlarında üretilebilirliğinin karşılaştırılması*. 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi'nde sunuldu, Balıkesir.
8. Yılmaz, F., Arar, M. E., Koç, E. (2014). 3D baskı ile hızlı prototip ve son ürün üretimi. *Metallurji Dergisi*, 168, 35-40.
9. Çelik, D., Çetinkaya, K. (2016). Üç boyutlu yazıcı tasarımları prototipleri ve ürün yazdırma karşılaştırmaları. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5(2), 151-163.
10. Baufeld, B., Van der Biest, O., Gault, R. (2010). Additive manufacturing of Ti-6Al-4V components by shaped metal deposition: microstructure and mechanical properties. *Materials & Design*, 31, 106-111.
11. Conner, B. P., Manogharan, G. P., Martof, A. N., Rodomsky, L. M., Rodomsky, C. M., Jordan, D. C., Limperos, J. W. (2014). Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services. *Additive Manufacturing*, 1, 64-76.
12. Wong, K. V., Hernandez, A. (2012). *A review of additive manufacturing*. ISRN Mechanical Engineering, Miami.
13. Elverum, C. W., Welo, T. (2014). The role of early prototypes in concept development: insights from the automotive industry. *Procedia CIRP*, 21, 491-496.
14. Eppinger, S. D., Ulrich, K. T. (2012). *Product design and development* (5th Ed.). New York: Mcgraw-Hill.

15. Hall, R. R. (2001). Prototyping for usability of new technology. *International Journal of Human-Computer Studies*, 55(4):485-501.
16. İnternet: Cassaignau, A. 3D Printing transforms the Automotive Industry. Sculpteo. URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.sculpteo.com%2Fblog%2F2016%2F01%2F20%2F3d-printing-transforms-the-automotive-industry%2F&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
17. Hoffmann, H., Leimeister, J. (2011). Evaluating application prototypes in the automobile. *IEEE Pervasive Computing*, 10(3), 43-51.
18. Gebler, M., Uiterkamp, A. J. S., Visser, C. (2014). A global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Energy Policy*, 74, 158-167.
19. Song, Y., Yan, Y., Zhang, R., Xu, D., Wang, F. (2002). Manufacture of the die of an automobile deck part based on rapid prototyping and rapid tooling technology. *Journal of Materials Processing Technology*, 120(1-3), 237-242.
20. İnternet: The Peugeot Fractal Concept Car: 3D Printing Acoustic Interiors. Materialise. URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.materialise.com%2Fen%2Fcases%2Fpeugeot-fractal-concept-car-3d-printing-acoustic-interiors&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
21. İnternet: Materialise Helps Jaguar Engineers Realise the CX-75 Concept Car. Materialise. URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.materialise.com%2Fen%2Fcases%2Fmaterialise-helps-jaguar-engineers-realise-cx-75-concept-car&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
22. İnternet: Buick avista concept gets technical with 3d printed interior pieces feature spotlight. Gmauthority. URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fgmauthority.com%2Fblog%2F2016%2F01%2Fbuick-avista-concept-gets-technical-with-3d-printed-interior-pieces-feature-spotlight%2F&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
23. İnternet: Setting Wheels InMotion: 3D Printing Titanium Parts for an Electric Race Car. Materialise. URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.materialise.com%2Fen%2Fcases%2Fsetting-wheels-inmotion-3d-printing-titanium-parts-for-an-electric-race-car&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
24. İnternet: Powering Punch Powertrain Solar Team Award Winning 3d Printed Battery Pack. Materialise. URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.materialise.com%2Fen%2Fcases%2Fpowering-punch-powertrain-solar-team-an-award-winning-3d-printed-battery-pack&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
25. İnternet: Clarke, C. Audi announce partnership german 3d printing company eos. 3D Printing Industry.

- URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2F3dprintingindustry.com%2Fnews%2Faudi-announce-partnership-german-3d-printing-company-eos-104050%2F&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
26. İnternet: O'Neal, B. Lamborghini 3D Printing Track-ready & Prototype Parts Via Stratasys Machines. 3D Printing Industry.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2F3dprint.com%2F62288%2Flamborghini-3d-printing-parts%2F&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
 27. Xu, H. (1998). Concept and concurrent analysis and optimization in a product design and development process, *SAE Technical Paper Series*, 982808, 1-9.
 28. Richardson, M., Haylock, B. (2012). Designer/maker: the rise of additive manufacturing, domestic-scale production and the possible implications for the automotive industry. *Computer-Aided Design & Applications PACE*, 2, 33-48.
 29. İnternet: Volvo construction equipment 3d printing case study. Stratasys.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.stratasys.com%2Fresources%2Fsearch%2Fcase-studies%2Fvolvo-construction&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
 30. İnternet: Clarke, C. Psa groups ds-automobiles 3d prints titanium parts latest ds 3 dark side edition. 3D Printing Industry.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2F3dprintingindustry.com%2Fnews%2Fpsa-groups-ds-automobiles-3d-prints-titanium-parts-latest-ds-3-dark-side-edition-115371&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
 31. İnternet: Korosec, K. This 3D Printing Startup Raised \$23 Million to Disrupt How Cars Are Made. Fortune.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ffortune.com%2F2017%2F01%2F25%2F3d-printed-car-divergent&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
 32. İnternet: Jackson, B. Tarc automobile city use 3d printing electric car Revolution. 3D Printing Industry.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2F3dprintingindustry.com%2Fnews%2Ftarc-automobile-city-use-3d-printing-electric-car-revolution-116928%2F&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
 33. İnternet: Bringing Back the Spirit of a Classic Sports Car. Materialise.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.materialise.com%2Fen%2Fcases%2Fbringing-back-spirit-of-a-classic-sports-car&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
 34. İnternet: Saunders, S. Mercedes-Benz Trucks Rolls Out First Metal 3D Printed Part: An Aluminum Thermostat Cover for Older Truck Series. 3D Printing Industry.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2F3dprint.com%2F182886%2F3d-printed-truck-thermostat-cover%2F&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.

35. İnternet: A Perfect Finish for Audi A1. Materialise.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.materialise.com%2Fen%2Fcases%2Fa-perfect-finish-for-audi-a1&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
36. İnternet: Vries, C. Volkswagen autoeuropa maximizing production efficiency with 3d printed tools jigs and fixtures. Ultimaker.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fultimaker.com%2Fen%2Fstories%2F43969-volkswagen-autoeuropa-maximizing-production-efficiency-with-3d-printed-tools-jigs-and-fixtures&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
37. İnternet: Molitch-Hou, M. Under the Hood: BMW Talks In-House 3D Printing. Engineering.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.engineering.com%2FBIM%2FArticleID%2F12856%2FUnder-the-Hood-BMW-Talks-In-House-3D-Printing.aspx&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
38. İnternet: Jackson, B. Gkn driveline increases 3d printing production 70 cut lead times. 3D Printing Industry.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2F3dprintingindustry.com%2Fnews%2Fgkn-driveline-increases-3d-printing-production-70-cut-lead-times-123253%2F&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
39. İnternet: Phoenix, A. Local motors unveils designs for 3d printed car production line. Localmotors.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Flocalmotors.com%2Fpress-release%2Flocal-motors-unveils-designs-for-3d-printed-car-production-line%2F&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
40. İnternet: Cassaignau, A. 3D Printing transforms the Automotive Industry. Sculpteo.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.sculpteo.com%2Fblog%2F2016%2F01%2F20%2F3d-printing-transforms-the-automotive-industry%2F&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
41. İnternet: Materialise Helps Jaguar Engineers Realise the CX-75 Concept Car. Materialise.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.materialise.com%2Fen%2Fcases%2Fmaterialise-helps-jaguar-engineers-realise-cx-75-concept-car&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
42. Zhang, S. (2014). *Location analysis of 3d printer manufacturing industry*. Doctoral dissertation, Columbia University, Columbia. 240-252.
43. İnternet: Auto industry uses 3 d printing heavily in product development. Autonews.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.autonews.com%2Farticle%2F20141027%2FOEM06%2F310279987%2Fauto-industry-uses-3-d-printing-heavily-in-product-development&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.

44. Çelik, İ., Karakoç, F., Çakır, M. C., Duysak, A. (2013). Hızlı prototipleme teknolojileri ve uygulama alanları. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 31, 53-69.
45. Chua, C. K., Leong, K. F., Lim, C. S. (2010). *Rapid prototyping: principles and applications* (Third Edition). Singapur: World Scientific.
46. Ermurat, M. (2002). *Hızlı prototip ve üretim teknolojilerinin incelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
47. Elliot, A., Lonnie J. (2014). *Overview of additive manufacturing technologies for the rapid equipping force: Final report*. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory.
48. Bernard, A., Fischer, A. (2002). New trends in rapid product development. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 51(2), 635-652.
49. Dutson, A. J., Wood, K. L. (2005). Using rapid prototypes for functional evaluation of evolutionary product designs. *Rapid Prototyping Journal*, 11(3), 125-131.
50. Çelik, D. (2015). *Üç Boyutlu yazıcı tasarımı, prototipi ve tersine mühendislik uygulamaları*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
51. Guangchun, W., Huiping, L., Yanjin, G., Guoqun, Z. (2004). A rapid design and manufacturing system for product development applications. *Rapid Prototyping Journal*, 10(3), 200-206.
52. Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K.H. (2010). *Mühendislik Tasarımı – Sistemik Yaklaşım*, Ankara: Hatiboğlu Yayınevi.
53. Ersöz, F., Kabak, M. (2010). Savunma Sanayi Uygulamalarında Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Literatür Araştırması. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 9(1), 97-125.
54. Herişçakar, E. (1999). *Gemi Ana Makine Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri AHP Ve SMART Uygulaması*, Gemi İnşaatı Teknik Kongresi'nde sunuldu, İstanbul.
55. Apak, S. (2010). *Farklı hızlı prototipleme cihazlarında üretilen parçaların üretim zamanı ve maliyet açısından karşılaştırılması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
56. Silva Bartolo, P. J. (2011). *Innovative developments in virtual and physical prototyping: proceedings of the 5th international conference on advanced research in virtual and rapid prototyping*, Leiria, Portugal.
57. Ulbrich, C. B. L, Zavaglia, C. A. C. Neto, P.I. Oliveira, M.F., Silva, J.V.L. (2011). Comparison of five prototype techniques. In Bartolo et al. (Eds), *Innovative Developments in Virtual and Physical Prototyping Sculpteo*. London, UK: CRC Press.

58. Kempena, L. K, Van Humbeeck, J., Krutha, J.P. (2012). Mechanical properties of AlSi10Mg produced by selective laser melting lane. *Physics Procedia*, 39, 439–446.
59. Shah, P., Racasan, R., Bills, P. (2016). Comparison of different additive manufacturing methods using computed tomography. *Case Studies in Nondestructive Testing and Evaluation*, 6 (Part B), 69-78.
60. Ambad, P. (2018). *Quality comparison of additive manufacturing and reverse engineering*. 3rd National Conference on Recent trends in mechanical engineering sunuldu., Sangli, Hindistan.
61. Edlund, P. (2017). *Additive manufacturing in low-volume production*. Unpublished Master's Thesis, Chalmers University of Technology, Sweden.
62. İnternet: Comparison between 3D printing and traditional manufacturing processes for plastics. Sculpteo.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.sculpteo.com%2Fen%2F3d-printing%2F3d-printing-and-traditional-manufacturing-processes%2F&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
63. İnternet: Redwood, B. How does part orientation affect a 3D Print? 3dhubs.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.3dhubs.com%2Fknowledge-base%2Fhow-does-part-orientation-affect-3d-print&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.
64. İnternet: Global 3D Printing Market 2015-2019. Technavio.
URL:<http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.technavio.com%2Freport%2Fglobal-3d-printing-market-2015-2019&date=2019-04-02>, Son Erişim Tarihi: 02.04.2019.



EKLER

EK-1. Hızlı prototipleme Seçim Asistanı Yazılım Kodları

```
using System;

using System.Collections.Generic;

using System.ComponentModel;

using System.Drawing;

using System.Linq;

using System.Text;

using System.Threading.Tasks;

using System.Windows.Forms;

namespace WindowsFormsApp8

{

    public class Form4 : Form

    {

        // Fields

        private double FDM;

        private double SLS;

        private double SLA;

        private double BJ;

        private double SLM;

        private IContainer components;

        private GroupBox groupBox1;

        private Button btnTemizle;

        private Button btnHesapla;

        private Label label5;

        private Label label4;

        private Label label3;

        private Label label2;
```

EK-1. (Devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
private Label label1;  
private ComboBox cmbMalzeme;  
private Label label16;  
private ComboBox cmbMaliyetSeviye;  
private ComboBox cmbHizSeviye;  
private ComboBox cmbDayanimSeviye;  
private ComboBox cmbYuzeySeviye;  
private ComboBox cmbToleransSeviye;  
private GroupBox groupBox2;  
private Label lblSLA;  
private Label lblBJ;  
private Label lblSLM;  
private Label lblSLS;  
private Label lblFDM;  
private ProgressBar pbSLA;  
private ProgressBar pbBJ;  
private ProgressBar pbSLM;  
private ProgressBar pbSLS;  
private ProgressBar pbFDM;  
private Label lblSLAText;  
private Label lblBJText;  
private Label lblSLMText;  
private Label lblSLSText;  
private Label lblFDMText;  
private PictureBox pictureBox1;  
private Button btnHakkinda;
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
// Methods

public Form4()
{
    this.InitializeComponent();

    this.FDM = 0;

    this.SLS = 0;

    this.SLA = 0;

    this.BJ = 0;

    this.SLM = 0;

    this.cmbToleransSeviye.SelectedIndex = 0;

    this.cmbYuzeySeviye.SelectedIndex = 0;

    this.cmbDayanimSeviye.SelectedIndex = 0;

    this.cmbHizSeviye.SelectedIndex = 0;

    this.cmbMaliyetSeviye.SelectedIndex = 0;
}

private void btnHakkinda_Click(object sender, EventArgs e)
{
    MessageBox.Show("Bu yazılım Do\u00e7. Dr. H\u00fcseyin K\u00fcr\u00e7at Sezer rehberliğinde kullanılacak 3D printer teknolojisini farklı parametrelere g\u00f6re se\u00e7ebilmek i\u00e7in tasarlanmıştır. \n \n Üretilcek parça için uygun teknolojinin belirlenmesi amacıyla seçim kriterleri 1'den 5'e kadar; \n 1 en az öncelikli, \n 5 en çok öncelikli olacak şekilde sıralanmalıdır.", "Hakkında") }

private void btnHesapla_Click(object sender, EventArgs e)
{
    this.FDM = 0;

    this.SLS = 0;

    this.SLA = 0;
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
this.BJ = 0;

this.SLM = 0;

switch (this.cmbToleransSeviye.SelectedIndex)

{
case 0:
FDM += 0.335;
SLS += 0.134;
SLM += 0.201;
BJ += 0.335;
SLA += 0.268;
break;
case 1:
FDM += 0.133;
SLS += 0.266;
SLM += 0.399;
BJ += 0.665;
SLA += 0.532;
break;
case 2:
BJ += 1.335;
SLA += 1.068;
SLM += 0.801;
SLS += 0.534;
FDM += 0.267;
break;
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

case 3:

BJ += 1;

SLA += 0.8;

SLM += 0.6;

SLS += 0.4;

FDM += 0.2;

break;

case 4:

BJ += 1.665;

SLA += 1.332;

SLM += 0.999;

SLS += 0.666;

FDM += 0.333;

break;

default:

break;

}

switch (this.cmbYuzeySeviye.SelectedIndex)

{

case 0:

BJ += 0.067;

SLA += 0.335;

SLM += 0.201;

SLS += 0.268;

FDM += 0.134;

break;

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

case 1:

BJ += 0.133;

SLA += 0.665;

SLM += 0.399;

SLS += 0.532;

FDM += 0.266;

break;

case 2:

BJ += 0.2;

SLA += 1;

SLM += 0.6;

SLS += 0.8;

FDM += 0.4;

break;

case 3:

BJ += 0.267;

SLA += 1.335;

SLM += 0.801;

SLS += 1.068;

FDM += 0.534;

break;

case 4:

BJ += 0.333;

SLA += 1.665;

SLM += 0.999;

SLS += 1.332;

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
FDM += 0.666;
```

```
break;
```

```
default:
```

```
break;
```

```
}
```

```
switch (this.cmbDayanimSeviye.SelectedIndex)
```

```
{
```

```
case 0:
```

```
BJ += 0.067;
```

```
SLA += 0.134;
```

```
SLM += 0.335;
```

```
SLS += 0.201;
```

```
FDM += 0.268;
```

```
break;
```

```
case 1:
```

```
BJ += 0.133;
```

```
SLA += 0.266;
```

```
SLM += 0.665;
```

```
SLS += 0.399;
```

```
FDM += 0.532;
```

```
break;
```

```
case 2:
```

```
BJ += 0.2;
```

```
SLA += 0.4;
```

```
SLM += 1;
```

```
SLS += 0.6;
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
FDM += 0.8;

break;

case 3:

BJ += 0.267;

SLA += 0.534;

SLM += 1.335;

SLS += 0.801;

FDM += 1.068;

break;

case 4:

BJ += 0.333;

SLA += 0.666;

SLM += 1.665;

SLS += 0.999;

FDM += 1.332;

break;

default:

break;

}

switch (this.cmbHizSeviye.SelectedIndex)

{

case 0:

BJ += 0.335;

SLA += 0.268;

SLM += 0.201;

SLS += 0.314;
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

FDM += 0.067;

break;

case 1:

BJ += 0.665;

SLA += 0.532;

SLM += 0.399;

SLS += 0.266;

FDM += 0.133;

break;

case 2:

BJ += 1;

SLA += 0.8;

SLM += 0.6;

SLS += 0.4;

FDM += 0.2;

break;

case 3:

BJ += 1.335;

SLA += 1.068;

SLM += 0.801;

SLS += 0.534;

FDM += 0.267;

break;

case 4:

BJ += 1.665;

SLA += 1.332;

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
SLM += 0.999;
```

```
SLS += 0.666;
```

```
FDM += 0.333;
```

```
break;
```

```
default:
```

```
break;
```

```
}
```

```
switch (this.cmbMaliyetSeviye.SelectedIndex)
```

```
{
```

```
case 0:
```

```
BJ += 0.335;
```

```
SLA += 0.134;
```

```
SLM += 0.067;
```

```
SLS += 0.201;
```

```
FDM += 0.268;
```

```
break;
```

```
case 1:
```

```
BJ += 0.665;
```

```
SLA += 0.266;
```

```
SLM += 0.133;
```

```
SLS += 0.399;
```

```
FDM += 0.532;
```

```
break;
```

```
case 2:
```

```
BJ += 1;
```

```
SLA += 0.4;
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
SLM += 0.2;
SLS += 0.6;
FDM += 0.8;
break;
case 3:
BJ += 1.335;
SLA += 0.534;
SLM += 0.267;
SLS += 0.801;
FDM += 1.068;
break;
case 4:
BJ += 1.665;
SLA += 0.666;
SLM += 0.333;
SLS += 0.999;
FDM += 1.332;
break;
default:
break;
}
this.progressBarDoldur();
}

private void btnTemizle_Click(object sender, EventArgs e)
{
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
cmbMalzeme.SelectedIndex = -1;

this.cmbToleransSeviye.SelectedIndex = 0;

this.cmbYuzeySeviye.SelectedIndex = 0;

this.cmbDayanimSeviye.SelectedIndex = 0;

this.cmbHizSeviye.SelectedIndex = 0;

this.cmbMaliyetSeviye.SelectedIndex = 0;

this.pbFDM.Enabled = true;

this.pbSLS.Enabled = true;

this.pbSLM.Enabled = true;

this.pbBJ.Enabled = true;

this.pbSLA.Enabled = true;

this.lblFDMText.Enabled = true;

this.lblSLSText.Enabled = true;

this.lblSLMText.Enabled = true;

this.lblBJText.Enabled = true;

this.lblSLAText.Enabled = true;

this.lblFDM.Enabled = true;

this.lblSLS.Enabled = true;

this.lblSLM.Enabled = true;

this.lblBJ.Enabled = true;

this.lblSLA.Enabled = true;

this.FDM = 0;

this.SLS = 0;

this.SLA = 0;

this.BJ = 0;

this.SLM = 0;
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
this.progressBarDoldur();  
  
}  
  
private void cmbMalzeme_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)  
{  
    switch (this.cmbMalzeme.SelectedIndex)  
    {  
        case 0:  
            this.pbFDM.Enabled = true;  
            this.pbSLS.Enabled = true;  
            this.pbSLM.Enabled = false;  
            this.pbBJ.Enabled = true;  
            this.pbSLA.Enabled = true;  
            this.lblFDMText.Enabled = true;  
            this.lblSLSText.Enabled = true;  
            this.lblSLMText.Enabled = false;  
            this.lblBJText.Enabled = true;  
            this.lblSLAText.Enabled = true;  
            this.lblFDM.Enabled = true;  
            this.lblSLS.Enabled = true;  
            this.lblSLM.Enabled = false;  
            this.lblBJ.Enabled = true;  
            this.lblSLA.Enabled = true;  
            return;  
        case 1:  
            this.pbFDM.Enabled = true;  
            this.pbSLS.Enabled = false;
```


EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
this.pbSLM.Enabled = true;

this.pbBJ.Enabled = true;

this.pbSLA.Enabled = true;

this.lblFDMText.Enabled = true;

this.lblSLSText.Enabled = false;

this.lblSLMText.Enabled = true;

this.lblBJText.Enabled = true;

this.lblSLAText.Enabled = true;

this.lblFDM.Enabled = true;

this.lblSLS.Enabled = false;

this.lblSLM.Enabled = true;

this.lblBJ.Enabled = true;

this.lblSLA.Enabled = true;

return;

case 2:

this.pbFDM.Enabled = true;

this.pbSLS.Enabled = false;

this.pbSLM.Enabled = true;

this.pbBJ.Enabled = true;

this.pbSLA.Enabled = false;

this.lblFDMText.Enabled = true;

this.lblSLSText.Enabled = false;

this.lblSLMText.Enabled = true;

this.lblBJText.Enabled = true;

this.lblSLAText.Enabled = false;

this.lblFDM.Enabled = true;
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```

this.lblSLS.Enabled = false;

this.lblSLM.Enabled = true;

this.lblBJ.Enabled = true;

this.lblSLA.Enabled = false;

return;
}
}

protected override void Dispose(bool disposing)
{
    if (disposing && (this.components != null))
    {
        this.components.Dispose();
    }

    base.Dispose(disposing);
}

private void InitializeComponent()
{
    System.ComponentModel.ComponentResourceManager resources = new
    System.ComponentModel.ComponentResourceManager(typeof(Form4));

    this.groupBox1 = new System.Windows.Forms.GroupBox();

    this.cmbMalzeme = new System.Windows.Forms.ComboBox();

    this.label16 = new System.Windows.Forms.Label();

    this.cmbMaliyetSeviye = new System.Windows.Forms.ComboBox();

    this.cmbHizSeviye = new System.Windows.Forms.ComboBox();

    this.cmbDayanimSeviye = new System.Windows.Forms.ComboBox();

    this.cmbYuzeySeviye = new System.Windows.Forms.ComboBox();

```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
this.cmbToleransSeviye = new System.Windows.Forms.ComboBox();  
  
this.btnTemizle = new System.Windows.Forms.Button();  
  
this.btnHesapla = new System.Windows.Forms.Button();  
  
this.label5 = new System.Windows.Forms.Label();  
  
this.label4 = new System.Windows.Forms.Label();  
  
this.label3 = new System.Windows.Forms.Label();  
  
this.label2 = new System.Windows.Forms.Label();  
  
this.label1 = new System.Windows.Forms.Label();  
  
this.groupBox2 = new System.Windows.Forms.GroupBox();  
  
this.lblSLA = new System.Windows.Forms.Label();  
  
this.lblBJ = new System.Windows.Forms.Label();  
  
this.lblSLM = new System.Windows.Forms.Label();  
  
this.lblSLS = new System.Windows.Forms.Label();  
  
this.lblFDM = new System.Windows.Forms.Label();  
  
this.pbSLA = new System.Windows.Forms.ProgressBar();  
  
this.pbBJ = new System.Windows.Forms.ProgressBar();  
  
this.pbSLM = new System.Windows.Forms.ProgressBar();  
  
this.pbSLS = new System.Windows.Forms.ProgressBar();  
  
this.pbFDM = new System.Windows.Forms.ProgressBar();  
  
this.lblSLAText = new System.Windows.Forms.Label();  
  
this.lblBJText = new System.Windows.Forms.Label();  
  
this.lblSLMText = new System.Windows.Forms.Label();  
  
this.lblSLSText = new System.Windows.Forms.Label();  
  
this.lblFDMText = new System.Windows.Forms.Label();  
  
this.pictureBox1 = new System.Windows.Forms.PictureBox();  
  
this.btnHakkinda = new System.Windows.Forms.Button();
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
this.groupBox1.SuspendLayout();  
this.groupBox2.SuspendLayout();  
((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox1)).BeginInit();  
this.SuspendLayout();  
  
//  
// groupBox1  
//  
this.groupBox1.Controls.Add(this.cmbMalzeme);  
this.groupBox1.Controls.Add(this.label16);  
this.groupBox1.Controls.Add(this.cmbMaliyetSeviye);  
this.groupBox1.Controls.Add(this.cmbHizSeviye);  
this.groupBox1.Controls.Add(this.cmbDayanimSeviye);  
this.groupBox1.Controls.Add(this.cmbYuzeySeviye);  
this.groupBox1.Controls.Add(this.cmbToleransSeviye);  
this.groupBox1.Controls.Add(this.btnTemizle);  
this.groupBox1.Controls.Add(this.btnHesapla);  
this.groupBox1.Controls.Add(this.label5);  
this.groupBox1.Controls.Add(this.label4);  
this.groupBox1.Controls.Add(this.label3);  
this.groupBox1.Controls.Add(this.label2);  
this.groupBox1.Controls.Add(this.label1);  
  
this.groupBox1.Location = new System.Drawing.Point(12, 49);  
this.groupBox1.Name = "groupBox1";  
  
this.groupBox1.Size = new System.Drawing.Size(332, 406);  
  
this.groupBox1.TabIndex = 0;  
this.groupBox1.TabStop = false;
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```

this.groupBox1.Text = "Kriter Seçimi";

//

// cmbMalzeme

//

this.cmbMalzeme.FormattingEnabled = true;

this.cmbMalzeme.Items.AddRange(new object[] {

"Plastik",

"Seramik",

"Metal"});

this.cmbMalzeme.Location = new System.Drawing.Point(140, 38);

this.cmbMalzeme.Name = "cmbMalzeme";

this.cmbMalzeme.Size = new System.Drawing.Size(111, 21);

this.cmbMalzeme.TabIndex = 10;

this.cmbMalzeme.SelectedIndexChanged += new

System.EventHandler(this.cmbMalzeme_SelectedIndexChanged);

//

// label16

//

this.label16.AutoSize = true;

this.label16.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 10.18868F,

System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)(162)));

this.label16.Location = new System.Drawing.Point(48, 38);

this.label16.Name = "label16";

this.label16.Size = new System.Drawing.Size(95, 20);

this.label16.TabIndex = 9;

this.label16.Text = "Malzeme : ";

//

```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
// cmbMaliyetSeviye
//
this.cmbMaliyetSeviye.FormattingEnabled = true;
this.cmbMaliyetSeviye.Items.AddRange(new object[] {
    "1",
    "2",
    "3",
    "4",
    "5"});
this.cmbMaliyetSeviye.Location = new System.Drawing.Point(247, 303);
this.cmbMaliyetSeviye.Name = "cmbMaliyetSeviye";
this.cmbMaliyetSeviye.Size = new System.Drawing.Size(61, 21);
this.cmbMaliyetSeviye.TabIndex = 8;
//
// cmbHizSeviye
//
this.cmbHizSeviye.FormattingEnabled = true;
this.cmbHizSeviye.Items.AddRange(new object[] {
    "1",
    "2",
    "3",
    "4",
    "5"});
this.cmbHizSeviye.Location = new System.Drawing.Point(247, 250);
this.cmbHizSeviye.Name = "cmbHizSeviye";
this.cmbHizSeviye.Size = new System.Drawing.Size(61, 21);
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
this.cmbHizSeviye.TabIndex = 8;

//

// cmbDayanimSeviye

//

this.cmbDayanimSeviye.FormattingEnabled = true;

this.cmbDayanimSeviye.Items.AddRange(new object[] {

    "1",

    "2",

    "3",

    "4",

    "5"});

this.cmbDayanimSeviye.Location = new System.Drawing.Point(247, 199);

this.cmbDayanimSeviye.Name = "cmbDayanimSeviye";

this.cmbDayanimSeviye.Size = new System.Drawing.Size(61, 21);

this.cmbDayanimSeviye.TabIndex = 8;

//

// cmbYuzeySeviye

//

this.cmbYuzeySeviye.FormattingEnabled = true;

this.cmbYuzeySeviye.Items.AddRange(new object[] {

    "1",

    "2",

    "3",

    "4",

    "5"});

this.cmbYuzeySeviye.Location = new System.Drawing.Point(247, 147);
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
this.cmbYuzeySeviye.Name = "cmbYuzeySeviye";  
this.cmbYuzeySeviye.Size = new System.Drawing.Size(61, 21);  
this.cmbYuzeySeviye.TabIndex = 8;  
  
//  
  
// cmbToleransSeviye  
  
//  
  
this.cmbToleransSeviye.FormattingEnabled = true;  
this.cmbToleransSeviye.Items.AddRange(new object[] {  
    "1",  
    "2",  
    "3",  
    "4",  
    "5"});  
  
this.cmbToleransSeviye.Location = new System.Drawing.Point(247, 97);  
this.cmbToleransSeviye.Name = "cmbToleransSeviye";  
this.cmbToleransSeviye.Size = new System.Drawing.Size(61, 21);  
this.cmbToleransSeviye.TabIndex = 7;  
  
this.cmbToleransSeviye.SelectedIndexChanged += new  
    System.EventHandler(this.cmbToleransSeviye_SelectedIndexChanged);  
  
//  
  
// btnTemizle  
  
//  
  
this.btnTemizle.Location = new System.Drawing.Point(118, 361);  
this.btnTemizle.Name = "btnTemizle";  
this.btnTemizle.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);  
this.btnTemizle.TabIndex = 6;
```


EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
this.btnTemizle.Text = "Temizle";

this.btnTemizle.UseVisualStyleBackColor = true;

this.btnTemizle.Click += new System.EventHandler(this.btnTemizle_Click);

//

// btnHesapla

//

this.btnHesapla.Location = new System.Drawing.Point(233, 361);

this.btnHesapla.Name = "btnHesapla";

this.btnHesapla.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);

this.btnHesapla.TabIndex = 5;

this.btnHesapla.Text = "Hesapla";

this.btnHesapla.UseVisualStyleBackColor = true;

this.btnHesapla.Click += new System.EventHandler(this.btnHesapla_Click);

//

// label5

//

this.label5.AutoSize = true;

this.label5.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 10.18868F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)(162)));

this.label5.Location = new System.Drawing.Point(18, 304);

this.label5.Name = "label5";

this.label5.Size = new System.Drawing.Size(80, 20);

this.label5.TabIndex = 2;

this.label5.Text = "Maliyet : ";

//

// label4
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
this.label4.AutoSize = true;

this.label4.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 10.18868F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)(162)));

this.label4.Location = new System.Drawing.Point(48, 251);

this.label4.Name = "label4";

this.label4.Size = new System.Drawing.Size(50, 20);

this.label4.TabIndex = 2;

this.label4.Text = "Hız : ";

//

// label3

//

this.label3.AutoSize = true;

this.label3.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 10.18868F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)(162)));

this.label3.Location = new System.Drawing.Point(6, 199);

this.label3.Name = "label3";

this.label3.Size = new System.Drawing.Size(93, 20);

this.label3.TabIndex = 3;

this.label3.Text = "Dayanım : ";

//

// label2

//

this.label2.AutoSize = true;

this.label2.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 10.18868F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)(162)));

this.label2.Location = new System.Drawing.Point(25, 148);

this.label2.Name = "label2";
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
this.label2.Size = new System.Drawing.Size(73, 20);

this.label2.TabIndex = 2;

this.label2.Text = "Yüzey : ";

//

// label1

//

this.label1.AutoSize = true;

this.label1.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 10.18868F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)(162)));

this.label1.Location = new System.Drawing.Point(5, 96);

this.label1.Name = "label1";

this.label1.Size = new System.Drawing.Size(93, 20);

this.label1.TabIndex = 1;

this.label1.Text = "Tolerans : ";

//

// groupBox2

//

this.groupBox2.Controls.Add(this.lblSLA);

this.groupBox2.Controls.Add(this.lblBJ);

this.groupBox2.Controls.Add(this.lblSLM);

this.groupBox2.Controls.Add(this.lblSLS);

this.groupBox2.Controls.Add(this.lblFDM);

this.groupBox2.Controls.Add(this.pbSLA);

this.groupBox2.Controls.Add(this.pbBJ);

this.groupBox2.Controls.Add(this.pbSLM);

this.groupBox2.Controls.Add(this.pbSLS);
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```

this.groupBox2.Controls.Add(this.pbFDM);
this.groupBox2.Controls.Add(this.lblSLAText);
this.groupBox2.Controls.Add(this.lblBJText);
this.groupBox2.Controls.Add(this.lblSLMText);
this.groupBox2.Controls.Add(this.lblSLSText);
this.groupBox2.Controls.Add(this.lblFDMText);
this.groupBox2.Location = new System.Drawing.Point(428, 49);
this.groupBox2.Name = "groupBox2";
this.groupBox2.Size = new System.Drawing.Size(409, 406);
this.groupBox2.TabIndex = 1;
this.groupBox2.TabStop = false;
this.groupBox2.Text = "Sonuçlar";
//
// lblSLA
//
this.lblSLA.AutoSize = true;
this.lblSLA.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 10.18868F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)(162)));
this.lblSLA.Location = new System.Drawing.Point(316, 302);
this.lblSLA.Name = "lblSLA";
this.lblSLA.Size = new System.Drawing.Size(19, 20);
this.lblSLA.TabIndex = 3;
this.lblSLA.Text = "0";
//
// lblBJ
//

```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
this.lblBJ.AutoSize = true;

this.lblBJ.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 10.18868F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)(162)));

this.lblBJ.Location = new System.Drawing.Point(316, 251);

this.lblBJ.Name = "lblBJ";

this.lblBJ.Size = new System.Drawing.Size(19, 20);

this.lblBJ.TabIndex = 3;

this.lblBJ.Text = "0";

//

// lblSLM

//

this.lblSLM.AutoSize = true;

this.lblSLM.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 10.18868F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)(162)));

this.lblSLM.Location = new System.Drawing.Point(316, 199);

this.lblSLM.Name = "lblSLM";

this.lblSLM.Size = new System.Drawing.Size(19, 20);

this.lblSLM.TabIndex = 3;

this.lblSLM.Text = "0";

//

// lblSLS

//

this.lblSLS.AutoSize = true;

this.lblSLS.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 10.18868F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)(162)));

this.lblSLS.Location = new System.Drawing.Point(316, 148);

this.lblSLS.Name = "lblSLS";
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
this.lblSLS.Size = new System.Drawing.Size(19, 20);

this.lblSLS.TabIndex = 7;

this.lblSLS.Text = "0";

//

// lblFDM

//

this.lblFDM.AutoSize = true;

this.lblFDM.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 10.18868F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)(162)));

this.lblFDM.Location = new System.Drawing.Point(316, 97);

this.lblFDM.Name = "lblFDM";

this.lblFDM.Size = new System.Drawing.Size(19, 20);

this.lblFDM.TabIndex = 2;

this.lblFDM.Text = "0";

//

// pbSLA

//

this.pbSLA.Location = new System.Drawing.Point(109, 300);

this.pbSLA.Maximum = 5;

this.pbSLA.Name = "pbSLA";

this.pbSLA.Size = new System.Drawing.Size(187, 23);

this.pbSLA.TabIndex = 6;

//

// pbBJ

//

this.pbBJ.Location = new System.Drawing.Point(109, 250);
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
this.pbBJ.Maximum = 5;

this.pbBJ.Name = "pbBJ";

this.pbBJ.Size = new System.Drawing.Size(187, 23);

this.pbBJ.TabIndex = 6;

//

// pbSLM

//

this.pbSLM.Location = new System.Drawing.Point(109, 197);

this.pbSLM.Maximum = 5;

this.pbSLM.Name = "pbSLM";

this.pbSLM.Size = new System.Drawing.Size(187, 23);

this.pbSLM.TabIndex = 6;

//

// pbSLS

//

this.pbSLS.Location = new System.Drawing.Point(109, 147);

this.pbSLS.Maximum = 5;

this.pbSLS.Name = "pbSLS";

this.pbSLS.Size = new System.Drawing.Size(187, 23);

this.pbSLS.TabIndex = 6;

//

// pbFDM

//

this.pbFDM.Location = new System.Drawing.Point(109, 96);

this.pbFDM.Maximum = 5;

this.pbFDM.Name = "pbFDM";
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```

this.pbFDM.Size = new System.Drawing.Size(187, 23);

this.pbFDM.TabIndex = 5;

//

// lblSLAText

//

this.lblSLAText.AutoSize = true;

this.lblSLAText.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 10.18868F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)(162)));

this.lblSLAText.Location = new System.Drawing.Point(24, 303);

this.lblSLAText.Name = "lblSLAText";

this.lblSLAText.Size = new System.Drawing.Size(53, 20);

this.lblSLAText.TabIndex = 4;

this.lblSLAText.Text = "SLA :";

//

// lblBJText

//

this.lblBJText.AutoSize = true;

this.lblBJText.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 10.18868F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)(162)));

this.lblBJText.Location = new System.Drawing.Point(37, 253);

this.lblBJText.Name = "lblBJText";

this.lblBJText.Size = new System.Drawing.Size(40, 20);

this.lblBJText.TabIndex = 3;

this.lblBJText.Text = "BJ :";

// lblSLMText

```


EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
//  
  
this.lblSLMText.AutoSize = true;  
  
this.lblSLMText.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 10.18868F,  
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)(162)));  
  
this.lblSLMText.Location = new System.Drawing.Point(24, 199);  
  
this.lblSLMText.Name = "lblSLMText";  
  
this.lblSLMText.Size = new System.Drawing.Size(55, 20);  
  
this.lblSLMText.TabIndex = 2;  
  
this.lblSLMText.Text = "SLM :";  
  
//  
  
// lblSLSText  
  
//  
  
this.lblSLSText.AutoSize = true;  
  
this.lblSLSText.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 10.18868F,  
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)(162)));  
  
this.lblSLSText.Location = new System.Drawing.Point(24, 147);  
  
this.lblSLSText.Name = "lblSLSText";  
  
this.lblSLSText.Size = new System.Drawing.Size(53, 20);  
  
this.lblSLSText.TabIndex = 1;  
  
this.lblSLSText.Text = "SLS :";  
  
//  
  
// lblFDMDText  
  
//  
  
this.lblFDMDText.AutoSize = true;
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```

this.lblFDMText.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 10.18868F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)(162)));

this.lblFDMText.Location = new System.Drawing.Point(24, 97);

this.lblFDMText.Name = "lblFDMText";

this.lblFDMText.Size = new System.Drawing.Size(57, 20);

this.lblFDMText.TabIndex = 0;

this.lblFDMText.Text = "FDM :";

//

// pictureBox1

//

this.pictureBox1.Image =
((System.Drawing.Image)(resources.GetObject("pictureBox1.Image")));

this.pictureBox1.Location = new System.Drawing.Point(858, 74);

this.pictureBox1.Name = "pictureBox1";

this.pictureBox1.Size = new System.Drawing.Size(125, 122);

this.pictureBox1.SizeMode = System.Windows.Forms.PictureBoxSizeMode.Zoom;

this.pictureBox1.TabIndex = 2;

this.pictureBox1.TabStop = false;

this.pictureBox1.Click += new System.EventHandler(this.pictureBox1_Click);

//

// btnHakkinda

//

this.btnHakkinda.Location = new System.Drawing.Point(883, 249);

this.btnHakkinda.Name = "btnHakkinda";

this.btnHakkinda.Size = new System.Drawing.Size(75, 23);

this.btnHakkinda.TabIndex = 3;

```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```

this.btnHakkinda.Text = "Hakkında";

this.btnHakkinda.UseVisualStyleBackColor = true;

this.btnHakkinda.Click += new System.EventHandler(this.btnHakkinda_Click);

//

// Form4

//

this.AutoScaleDimensions = new System.Drawing.SizeF(6F, 13F);

this.AutoScaleMode = System.Windows.Forms.AutoScaleModeMode.Font;

this.BackColor = System.Drawing.Color.White;

this.ClientSize = new System.Drawing.Size(1034, 467);

this.Controls.Add(this.btnHakkinda);

this.Controls.Add(this.pictureBox1);

this.Controls.Add(this.groupBox2);

this.Controls.Add(this.groupBox1);

this.Name = "Form4";

this.Text = "3D Printer Seçim Asistanı";

this.groupBox1.ResumeLayout(false);

this.groupBox1.PerformLayout();

this.groupBox2.ResumeLayout(false);

this.groupBox2.PerformLayout();

((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox1)).EndInit();

this.ResumeLayout(false);

}

private void progressBarDoldur()

{

switch(this.cmbMalzeme.SelectedIndex) {

```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
case 0:
    SLM = 0;
    break;
case 1:
    SLS = 0;
    break;
case 2:
    SLS = 0;
    SLA = 0;
    break;
}
if (this.lblFDM.Enabled)
{
    this.pbFDM.Value = (int) this.FDM;
    this.lblFDM.Text = this.FDM.ToString();
}
if (this.lblSLA.Enabled)
{
    this.pbSLA.Value = (int) this.SLA;
    this.lblSLA.Text = this.SLA.ToString();
}
if (this.lblSLM.Enabled)
{
    this.pbSLM.Value = (int) this.SLM;
    this.lblSLM.Text = this.SLM.ToString();
}
```

EK-1. (devam) Hızlı prototipleme seçim asistanı yazılım kodları

```
if (this.lblSLS.Enabled)
{
    this.pbSLS.Value = (int) this.SLS;
    this.lblSLS.Text = this.SLS.ToString();
}
if (this.lblBJ.Enabled)
{
    this.pbBJ.Value = (int) this.BJ;
    this.lblBJ.Text = this.BJ.ToString(); } }
{ private void pictureBox1_Click(object sender, EventArgs e) }
{private void cmbToleransSeviye_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
}} }
```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : HASİPEK, İpek
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 18.07.1993 Ankara
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (553) 494 19 23
 e-posta : ipekhasipekk@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstriyel Tasarım Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi/ Makine Mühendisliği	2015
Lise	TOKİ Anadolu Lisesi	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-Halen	Ford Otosan	Ürün Geliştirme Müh.

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Hasipek, İ. (2018). Otomotiv endüstrisinde vaka çalışmalarıyla 3 boyutlu prototip uygulamalarındaki son gelişmeler, *3rd International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry*, 454-463.

Hobiler

Sörf, Kamp, Seyahat, Müzik, Yelken



GAZİ GELECEKTİR..