



3 Eksenli 3 Boyutlu Yazıcı Tasarımı ve Uygulaması

Emirhan AKBULUT

**İşletme Anabilim Dalı
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet İlker AKBABA
Erzurum - 2022
Her hakkı saklıdır**

T.C.
ERZURUMTEKNİK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

3 EKSENLİ 3 BOYUTLU YAZICI TASARIMI ve UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emirhan AKBULUT

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet İlker AKBABA

ERZURUM-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	V
ABSTRACT.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
KISALTMALAR LİSTESİ.....	X
ÖN SÖZ.....	XII
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

3 BOYUTLU YAZICILAR VE 3 BOYUTLU ÜRETİM

1.1. 3 BOYUTLU YAZICI KAVRAMI.....	3
1.2. 3 BOYUTLU YAZICILARIN TARİHÇESİ	3
1.3. 3 BOYUTLU İMALAT (3 DIMENSION MANUFACTURING)	6
1.3.1. 3 Boyutlu İmalatın Çalışma Prensipleri	7
1.3.2. 3 Boyutlu İmalat Teknolojileri.....	8
1.3.2.1. Kalıptan Malzeme Geçirme (Material Extrusion)	9
1.3.2.1.1. Eriyik Yığılma Modelleme (FDM-Fused Deposition Modelling)	9
1.3.2.2. Varillli Fotopolimerizasyon (Vat/Tank Photopolymerization).....	10
1.3.2.2.1. Işıqla Kürlleme (SLA-Stereolithography)	10
1.3.2.2.2. Dijital Işıql İşleme (DLP-Digital Light Processing)	11
1.3.2.2.3. Hareketli Işıql (Moving Light)	12
1.3.2.2.4. Litografi Tabanlı Seramik İmalatı (LCM-Lithography-Based Ceramic Manufacturing) ...	12
1.3.2.2.5. Sürekli Sıvı Arayüzü Üretimi (CLIP-Continuous Liquid Interface Production).....	12
1.3.2.2.6. Figür 4 (Figure 4)	12
1.3.2.2.7. İki Fotonlu Polimerizasyon (Two-Photon Polymerization).....	12
1.3.2.3. Malzeme Püskürtme (Material Jetting)	13
1.3.2.3.1. Fotopolimer Püskürtme (Polyjet-Photopolymer Jetting).....	13
1.3.2.3.2. Optik Yazdırma (Print Optical)	14
1.3.2.3.3. Nano Parçacık Püskürtme (NanoParticle Jetting)	14
1.3.2.3.4. Aerosol Jet	14
1.3.2.4. Bağlayıcı Püskürtme (Binder Jetting)	14
1.3.2.5. Toz Zeminli Birleştirme (Powder Bed Fusion).....	15
1.3.2.5.1. (Seçici) Lazer Sinterleme (SLS-Selective Laser Sintering)	16

1.3.2.5.2. Elektron Işınlı Eritme (EBM-Electron Beam Melting)	17
1.3.2.5.3. Seçici Isı Sinterleme (SHS-Selective Heat Sintering)	17
1.3.2.5.4. Yüksek Hızlı Sinterleme (HSS-Highspeed Sintering).....	18
1.3.2.6. Yönlendirilmiş Enerji Yığılma (Directed Energy Deposition)	18
1.3.2.6.1. Lazerle İşlenmiş Net Şekillendirme (LENS-Laser Engineered Net Shaping).....	18
1.3.2.6.2. Lazer Metal Yığılma (LMD-Laser Metal Deposition)	18
1.3.2.7. Tabaka Laminasyonu (Sheet Lamination)	18
1.3.2.7.1. Tabakalı Nesne İmalatı (LOM-Laminated Object Manufacturing). 18	
1.3.2.7.2. Ultrasonik Tabaka (Ultrasonic Lamination)	19
1.4. 3 BOYUTLU YAZICILARIN AVANTAJLARI.....	19
1.5. 3 BOYUTLU YAZICILARIN DEZAVANTAJLARI.....	20
1.6. 3 BOYUTLU YAZICILARI OLUŞTURAN TEMEL PARÇALAR	21
1.6.1. Sıcak Baskı Zemini (Heated Bed).....	21
1.6.2. Ekstrüder (Extruder)	22
1.6.3. Sıcak Uç (Hot-End).....	23
1.6.4. Soğuk Uç (Cold-End).....	23
1.6.5. Alüminyum Blok.....	23
1.6.6. Sıcak Uç – Baskı Memesi (Nozzle)	24
1.7. 3 BOYUTLU YAZICILARDA ÜRETİM YAPMAK İÇİN KULLANILAN	
SARF MALZEMELER	25
1.7.1. ABS Filament	25
1.7.2. PLA Filament	26
1.7.3. Katkılı PLA Filamentler	27
1.7.3.1. Karanlıkta Işıldayan (Fosforlu) PLA Filament	27
1.7.3.2. Fotokromatik PLA Filament	28
1.7.3.3. Ahşap Dolgulu PLA Filament	28
1.7.3.4. PLA + Bambu.....	29
1.7.3.5. PLA + PHA.....	30
1.7.3.6. PLA + Bronz.....	30
1.7.3.7. PLA + Bakır	30
1.7.3.8. Antibakteriyel Filament.....	31
1.7.4. Esnek Filamentler.....	31
1.7.4.1. TPE Filament.....	31

1.7.5. Yüksek Dayanıklılığa Sahip Filamentler	32
1.7.5.1. PET/PETG/PETT	32
1.7.6. Çözünabilir (Destek) Filamentleri	32
1.7.6.1. PVA (Polivinil Asetat).....	32
1.7.6.2. HIPS (High Impact Polystyrene).....	33
1.8 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	33

İKİNCİ BÖLÜM

3 EKSENLİ 3 BOYUTLU YAZICI TASARIMI VE UYGULAMASI

2.1. ARAŞTIRMANIN AMACI	35
2.2. ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ	35
2.3. ELEKTRONİK PARÇALAR	35
2.3.1. Arduino Mega 2560	35
2.3.2. Ramps 1.4	36
2.3.3. A4988 Step Motor Sürücüsü	36
2.3.4. End-Stop Sensörleri.....	37
2.3.5. Isıtıcı Tabla	37
2.3.6. Nema 17 Step Motor.....	38
2.3.7. LCD Ekran.....	38
2.3.8. Isıtıcı Fişek	39
2.3.9. Termosensörler	40
2.3.10. Güç Kaynağı.....	40
2.3.11. Mesafe Sensörü	41
2.4. MEKANİK PARÇALAR.....	41
2.4.1. 20x20 Sigma Profiller.....	41
2.4.2. 8 mm ve 10 mm Miller	42
2.4.3. 8 mm ve 10 mm Trapezler.....	42
2.4.4. SC8UU ve SC10UU	43
2.4.5. 10 mm Trapez için Somun.....	43
2.4.6. Kaplin 8x5 ve Kaplin 5x10.....	43
2.4.7. Plastik Parçalar	44
2.5. YAZILIMLAR VE PROGRAMLAR.....	46
2.6. YÖNTEM	48
SONUÇ.....	50

KAYNAKÇA.....	54
----------------------	-----------



ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ
3 EKSENLİ 3 BOYUTLU YAZICI TASARIMI ve UYGULAMASI

Emirhan AKBULUT

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet İlker AKBABA

2022, 59 sayfa

Jüri: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet İlker AKBABA

Doç. Dr. Dilşad GÜZEL

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Kamil KABAKUŞ

Günümüzde hızla gelişen teknoloji sayesinde hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olan ve artarak devam eden teknolojik ürünler bizleri birer tüketici olmanın yanında artık birer üretici konumuna da getirmiştir. Endüstri 4.0 devrimiyle birlikte sosyal ve iş hayatımızda birçok yeni bileşen aktif olarak kullanılmaya başlandı. 3 boyutlu yazıcılarda bu bileşenlerden biri olarak hayatımızda yerini almakta ve hızla yaygınlaşan bir kullanım alanına sahip olmaktadır. 3 boyutlu azıcılar sayesinde bizler sadece tüketici konumunda olmamakta ayrıca üretici konumunda da yerimizi almaktayız. Üre-tüketici kavramını ortaya çıkaran 3 boyutlu yazıcılar sayesinde ihtiyaç duyduğumuz her zaman bilgisayar destekli çizimi yapılmış olan parçanın üretimini kimseye bağlı kalmadan iş yerimizde hatta evlerimizde üretmemizi mümkün kılmaktadır. Piyasada hazır halde satılan 3 boyutlu yazıcıları satın alabileceğimiz gibi yazıcı parçalarını tedarik ederek kendi 3 boyutlu yazıcımızı da evde yapabiliriz.

Bu çalışma için piyasada hazır halde satılan Ender 3 Pro marka 3 boyutlu yazıcı ile çalışmalar yapılmış ve kullanılan yazıcıda tespit edilen aksaklıklar ve eksiklikler, parçalarını tedarik ederek yapmış olduğum katmanlı imalat teknolojileri arasında en yaygın olan FDM teknolojisine sahip 3 boyutlu yazıcıda giderilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: 3 boyutlu yazıcı, Tasarım, Katmanlı imalat

ABSTRACT
MASTER’S THESIS
3 AXIS 3D PRINTER DESIGN and APPLICATION
Emirhan AKBULUT
Advisor: Assist. Prof. Dr. Ahmet İlker AKBABA
2022, 59 page

Jury: Assist. Prof. Dr. Ahmet İlker AKBABA
Assoc. Prof. Dr. Dilşad GÜZEL
Assist. Prof. Dr. Ahmet Kamil KABAKUŞ

Thanks to the rapidly developing technology today, technological products, which are an indispensable part of our lives and continue to increase, have made us a producer as well as being a consumer. With the Industry 4.0 revolution, many new components have been actively used in our social and business life. Three-dimensional printers take their place in our lives as one of these components and have a rapidly expanding usage area. Thanks to three-dimensional printers, we are not only in the consumer position, but also in the producer position. Thanks to the three-dimensional printers that reveal the concept of producer-consumer, it makes it possible for us to produce the computer-aided drawing of the part we need at any time we need, in our workplace or even in our homes, without being dependent on anyone. We can buy ready-made three-dimensional printers in the market, or we can make our own three-dimensional printer at home by supplying printer parts.

For this study, studies were carried out with the Ender 3 Pro brand three-dimensional printer, which is sold ready in the market, and the defects and deficiencies detected in the printer used were tried to be eliminated in the three-dimensional printer with FDM technology, which is the most common among the additive manufacturing technologies I have made by supplying the parts.

Keywords: 3d printer, Design, Additive manufacturing

TABLÖLAR LİSTESİ

<u>Tablo No</u>	<u>Tablonun Adı</u>	<u>Sayfa No</u>
1	3 Boyutlu Yazıcıların Yıllara Göre Gelişimi.....	4
2	3 Boyutlu Yazıcı Plastik Parça Üretim Maliyet Tablosı	47
3	3 Boyutlu Yazıcı Elektronik ve Mekanik Parça Maliyet Tablosu.....	48



ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Şekil No</u>	<u>Şekil Adı</u>	<u>Sayfa No</u>
1	3 Boyutlu İmalat Süreci	8
2	Eriyik Yığılma Modelleme.....	10
3	Malzeme Püskürtme 3D Baskı Süreci.....	14
4	Optik Yazdırma ve Diğer Teknolojiler İle Üretilmiş Lenslerdeki Netlik Karşılaştırması.....	15
5	Bağlayıcı Püskürtme	16
6	Toz Zeminli Birleştirme.....	16
7	Tabakalı Nesne İmalatı	20
8	Sıcak Baskı Zemini	22
9	Direkt Ekstrüder.....	23
10	Bowden Ekstrüder.....	24
11	Alüminyum Blok	25
12	Sıcak Uç-Baskı Memesi.....	25
13	ABS Filament ve Üretilmiş Ürün.....	27
14	PLA Filament ve Baskısı Alınmış Ürün.....	28
15	Işıldayan PLA Filament	29
16	Ahşap PLA Filament.....	30
17	Arduino Mega 2560 Kartı	38
18	Ramps 1.4 Kartı	38
19	A4988 Step Motor Sürücüsü	39
20	End-Stop Sensörleri	39
21	Isıtıcı Tabla	40
22	Nema 17 Step Motor.....	40
23	LCD Ekran.....	41
24	Isıtıcı Fişek.....	41
25	Termosensör.....	42
26	Güç Kaynağı	42
27	Mesafe Sensörü.....	43
28	20x20 Sigma Profil	44
29	10 mm Mill	44
30	10 mm Traplez	45
31	SC10UU.....	45

32	10 mm Traplezler İçin Somun.....	45
33	Kaplin.....	46
34	Sigma 3D Yazıcı Plastik Parçaları	46
35	Marlin Yazılımı.....	49
36	Repetier Host Programı.....	49
37	Sigma 3D Yazıcı İskeleti	50
38	Sigma 3D Yazıcı Montajı.....	51
39	Sigma 3D Yazıcı	52
40	Sigma 3D Yazıcı Ekstrüder.....	53
41	Baskısı Alınan Örnek Karşılaştırılması	54
42	Sigma 3D Yazıcı Sol Görünüm.....	55

KISALTMALAR

3D	: 3 Boyut (Three dimension)
FDM	: Fused Deposition Modelling
SLA	: Stereolithography
SLS	: Seçici Lazer Sinterleme
LOM	: Laminated Object Manufacturing
VAT	: Varilli Fotopolimerizasyon
UV	: Ultraviole
STL	: Standart Tessellation Language
DLP	: Digital Light Processing
LCM	: Lithography Ceramic Manufacturing
CLIP	: Continuous Liquid Interface Production
PLA	: Poliaktik Asit
ABS	: Akrilonitril Butadien Stiren

ÖN SÖZ

Hazırlamış olduğum “3 Eksenli 3 Boyutlu Yazıcı Tasarımı ve Uygulaması” başlıklı tez çalışmamın yürütülmesi sırasında bilgi, deneyim ve kaynak desteğinin yanında göstermiş olduğu sabır için danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ahmet İlker Akbaba’ya, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme, her konuda destekçim nişanlım Emine Eren’e, çalışmamda her konuda destek veren Baykar Teknoloji Yapay Zekâ Takım Lideri olan kuzenim Tolgahan Akbulut’a teşekkürlerimi sunarım.

Emirhan AKBULUT

Erzurum-2022



GİRİŞ

İngiltere’de başlayıp Avrupa’da devam eden 1. Sanayi devriminden sonra insan gücünün yerini makineler almaya başlamıştır. 2. Sanayi devriminde elektrik enerjisinin ortaya çıkmasıyla Ford üretim bandı sistemini kullanmaya başlamıştır. 3. Sanayi devriminde ortaya çıkan mobil cihazlar, internet gibi teknolojik unsurlar sayesinde insan hayatı kolaylaşmıştır. Endüstri 4.0 olarak adlandırılan 4. Endüstri devriminde ise 3D yazıcılar, sistem entegrasyonu, akıllı fabrikalar, otonom robotlar, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik gibi birçok bileşen hayatımıza girmiştir.

3D yazıcılar sayesinde insanlar ihtiyaç duydukları parçaları ve ürünleri kendileri üretebilir hale gelmiştir. İnsanlar önceleri bilgisayar destekli çizim programlarında yaptıkları tasarımları sadece fabrikalarda ve oldukça büyük ve maliyeti yüksek makinelerde üretirken 3D yazıcılar sayesinde artık evlerimizde düşük maliyetlere elde edebiliyoruz.

3D yazıcıların ortaya çıktığı 1980’li yıllarda boyut olarak oldukça büyük olan makinelerde genellikle plastik hammaddeler kullanılarak basit modellerin üretimi sağlanmıştır. 3D teknolojisinin gelişmesiyle birlikte kullanılan hammadde çeşitliliği artmış ve daha keskin hatlara sahip cisimlerin baskısı başarılı bir şekilde alınmıştır.

3D yazıcılar sayesinde nesnelerin hızlı prototipleri oluşturulabilmekte ve üretilen bu nesneler kullanılan hammaddenin özelliğine göre kırılğan, esnek ve sağlam özelliklere sahip olabilmektedir.

Piyasada yaygın olarak kullanılan FDM teknolojisine sahip 3 boyutlu yazıcılar evlerimizde kullanabileceğimiz boyutlarda ve işlevsellik bakımından oldukça yetenekli yazıcılardır. Bilgisayar ortamında çizimi tamamlanmış olan nesnelerin program yardımı ile katmanlara ayrılarak g-code’a çevrilmesi ile üretilmeye hazır hale getirilmektedir.

3D yazıcıları piyasada hazır bir şekilde alarak evlerimizde üretim yapabileceğimiz gibi açık kaynak kodlarını kullanarak yazıcıyı oluşturan mekanik parçaları alıp kendimizde oluşturabiliriz.

Kullanılan hammaddelerin artıkları geri dönüşüm sayesinde işlenerek tekrar hammadde olarak kullanılabilmesi bakımından avantajlı ve çevreye zararsızdır.

Üretim teknolojilerinde gerçekleşen hızlı gelişeler neticesinde tüketiciler kendi ihtiyaçları doğrultusunda ürünler tasarlayabilmekte ve tasarlamış oldukları bu ürünleri üretebilmektedirler. Yapılmış olan literatür taramasında 3 boyutlu yazıcıların geniş bir

alanda kullanıma uygun olduğu ve yapılan çalışmalar neticesinde de bu alanların gün geçtikçe arttığı görülmektedir. 3 boyutlu yazıcılar sadece ticari amaçlı ürünler retmeklele kalmayıp hobi amalıda kullanılabilmektedir. Üretim sınırının olmaması yazıcıların avantajlarının yanında güvenlik sorunlarının da beraberinde getirmektedir. Kötü niyetli kişiler tarafından kullanımı sonucunda kesici, delici suç aletleri üretilerek güvenlik endişesi oluşturmaktadır. Yapılan çalışmada incelenen 3 boyutlu yazıcı ile elde edilen bulgular neticesinde ortaya çıkan aksaklıklar giderilmeye çalışılmış ve çözümleyici öneriler verilmiştir.



BİRİNCİ BÖLÜM

3 BOYUTLU YAZICILAR VE 3 BOYUTLU ÜRETİM

1.1. 3 BOYUTLU YAZICI KAVRAMI

3 boyutlu yazıcı teknolojisi ve bu teknoloji ile üretilmiş olan nesneler bir süredir hayatımızda yer almakta ve zaman geçtikçe çoğalmaktadır. Genel bir tanım yapacak olursak; 3 boyutlu yazıcılar, dijital bir ortamda çizim oluşturulan bilgisayar verisinin (CAD çizimin) belli koşullar altında eritilen hammadde ile katmanlar şeklinde üst üste yazdırılarak somut nesnelere dönüştüren makineler olarak tanımlanabilir (Akbaba, 2018: 23).

Başka bir tanımla; 3 boyutlu yazdırma teknolojisi, bilgisayar ortamında hazırlanmış olan 3 boyutlu bir çizimin (CAD çizimleri) 3 boyutlu bir şekilde katı nesneler halinde üretilmesini sağlamaktadır. 3 boyutlu bu nesneleri üreten işlemleri gerçekleştiren makineler 3 boyutlu yazıcı olarak isimlendirilmektedir. 3 boyutlu olarak tasarlanan modeller bilgisayar ortamında dilimlenerek katmanlar şeklinde ayrılır ve 3 boyutlu yazıcı ile baskı gerçekleştirilirken eritilen malzeme her bir katmanı üst üste gelecek şekilde yazdırarak somut nesneler haline dönüştürür. 3 boyutlu yazdırma teknolojisinde katmanları birbirinin üstüne yığma tekniği kullanılmaktadır (Çelik ve Çetinkaya, 2016: 151).

3 boyutlu yazıcı teknolojisinin ilk çıktığı dönemlerde hammadde olarak plastik kullanılmasıyla basit modeller üretilirken hızla gelişen teknoloji sayesinde günümüzde 3 boyutlu yazıcılar birçok hammadde ve çeşitli yöntemler kullanmaktadır. Sağlık, sanayi, inşaat, bilişim, otomotiv, gıda, kuyumculuk ve birçok alanda kullanılmaya başlanmış olan 3 boyutlu yazıcılar gün geçtikçe gelişmekte ve yaygınlaşmaktadır.

3 boyutlu yazıcıların yakın bir gelecekte iyice yaygınlaşacağını söyleyen uzmanlar 3 boyutlu yazıcıların sadece fabrikalarda değil evlerde de yaygın olarak kullanılacağını ve her tüketicinin artık birer üretici olacağını söylemektedir (Ege Bölgesi Sanayi Odası, 2017: 7-8).

1.2. 3 BOYUTLU YAZICILARIN TARİHÇESİ

3 boyutlu yazıcı ilk olarak Charles Hull tarafından 1984 yılında üretilmiş olup 1986 yılında ilk 3 boyutlu yazıcı şirketi kurulmuştur. Bu şirket tarafından geliştirilen SLA-250 isimli ilk 3 boyutlu yazıcı 1988 yılında tanıtılmış ve yine 1988 yılında Selective Laser Sintering (SLS) ve Fused Deposition Modelling (FDM) teknolojileri keşfedilmiştir.

Renkli baskılar ilk olarak bu yazıcılardan 1993 yılında elde edilmiştir. 3 boyutlu yazıcıların satışına 1995 yılında başlanmıştır. Z Corporation ilk yüksek çözünürlüğe sahip ürünler üretebilen 3 boyutlu yazıcıyı 1996 yılında tasarlamıştır. Raprap adıyla ilk açık kaynak kodlu yazıcılar 2007 yılında piyasaya çıkmış ve bu sayede 3 boyutlu yazıcıları geliştirme imkânı da hızla artmıştır. Object Geometries şirketi 2008 yılında Connex500 adlı azıcı ile aynı anda farklı malzemeler kullanarak ürün üretmeyi başarmıştır. Makerbot ve 3D Systems şirketlerinin geliştirmiş oldukları Cubify gibi modeller ile 2009 yılından itibaren ev tipi 3 boyutlu yazıcıların satışları artmıştır (Çelik ve Çetinkaya, 2016: 152).

3 boyutlu yazıcıların kronolojik gelişimi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1
3 Boyutlu Yazıcıların Yıllara Göre Gelişimi

Yıl	Gelişme
1984	• SLA teknolojisi kullanılarak Charles Hull tarafından ilk 3 boyutlu yazıcı geliştirilerek “eklemeli üretim” başka bir deyişle “3 boyutlu baskı” ortaya çıkmış oldu.
1986	• Charles Hull Stereolithografi (SLA) yönteminin kullanım hakkını aldı. • Charles Hull, 3D Systems firmasını kurdu ve ilk ticari 3D yazıcı piyasaya sürüldü. • SLS teknolojisi de bu dönemde ortaya çıktı.
1988	• 3D Systems tarafından, SLA 250 isimli kullanıma yönelik ilk model tanıtıldı. • Scott Crump, günümüzde en yaygın şekilde kullanılan “Fused Deposition Modelling (FDM)” teknolojisini ortaya çıkardı.
1989	• Scott Crump ve eşi Lisa Crump, Stratasys isminde bir 3 boyutlu yazıcı firması kurdu.
1990	• SLS teknolojisine sahip “The DTM” isimli ilk ticarileştirilen 3 boyutlu yazıcı piyasaya 4 adet sürülmesine rağmen alıcı bulamadı.
1991	• Helisys firması “Laminated Object Manufacturing (LOM)” isimli ilk 3 boyutlu imalat sistemini geliştirdi ve sattı.
1992	• Stratasys ilk FDM cihazını sattı. • DTM firması ilk SLS sistemini sattı.
1993	• Solidscape firması mürekkep püskürtmeli bir cihaz üretme amacı ile kuruldu. • Massachusetts Institute of Technology (MIT) 2 boyutlu yazıcılardaki mürekkep püskürtme yöntemini kullanarak 3 boyutlu obje üretimi ile ilgili bir kullanım hakkı aldı. • İlk renkli baskı alındı.
1995	• MIT’nin almış olduğu patenti Z Corporation şirketi lisanslayarak 3 boyutlu yazıcı satışına başladı.

Tablo 1 (Devamı)

1996	• Stratasys "Genisys" modelini piyasaya sürdü. • Z Corporation isimli firma "Z402" modelini piyasaya sürdü • 3D Systems tarafından geliştirilmiş olan ilk ink jet teknolojisine sahip 3 boyutlu yazıcı olan "Actua 2100" modeli piyasaya sürüldü. 3 boyutlu yazıcı kelimesi ilk defa kullanılmaya başlandı.
1997	• EOS firması SLA teknoloji 3 boyutlu yazıcıların satın alma haklarını 3,25 milyon dolara 3D Systems'e sattı.
2000	• İsrail kökenli bir şirket olan Object Technologies, ink jet teknolojisine sahip "Quadra" ismini verdikleri 3 boyutlu yazıcıyı geliştirdi.
2001	• 3D Systems şirketi, SLS teknolojisine öncüsü olan DTM firmasını 40,3 milyon dolara satın almıştır.
2002	• Wake Forest Üniversitesi biyo materyal destekleriyle böbrek hücrelerinin oluşturulmasını sağlayan 3 boyutlu yazıcı geliştirmişlerdir. Bu yazıcıyı kulak doku örneği elde etmek içinde kullanmışlardır.
2007	• Açık kaynak kodlu 3 boyutlu yazıcılar Reprap ismi ile çıktı. Böylece 3 boyutlu yazıcılara ulaşma ve onları geliştirme imkânı arttı. • İlk defa 10.000\$'ın altına inen 3 boyutlu bir yazıcı, 3D Systems firması tarafından pazara sunuldu.
2008	• Reprap'ın ilk versiyonu tamamlandı. Bu yazıcı kendi parçalarının %50 sini üretebiliyordu. • Object Geometries firması Connex500 modelini geliştirdi. Bu cihaz aynı anda farklı malzemeleri kullanabiliyordu.
2009	• FDM teknolojisi patentinin 25 yıllık tek kullanım dönemi bitti. Böylece firmalar yasal sorunla karşılaşmadan FDM teknolojisini kullanarak 3 boyutlu yazıcı üretimine başladı. • Makerbot ve 3D Systems'in geliştirdiği modeller ile ev tipi 3 boyutlu yazıcıların sayısında artış oldu.
2011	• Southampton Üniversitesi'ndeki mühendisler dünyanın ilk 3D baskılı uçağını tasarladı.
2012	• 3 boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak daha az komplikasyonlu kişiselleştirilmiş eklem protezi geliştirildi.
2013	• Sektör açısından iyi bir büyüme ve sağlamlaşma yılı oldu. • Stratasys, Makerbot şirketini devraldı.
2014	• Uzayda ilk 3 boyutlu yazıcı kullanıldı. Deneme amaçlı küçük parçalar ve el eşyaları üretildi.

Tablo 1 (Devamı)

2015	• NASA, uzayda 3D yazıcı ile üretim yapmaya başladı. • Devrim niteliği taşıyan ultra hızlı yazıcı olan CLIP 3D yazıcı Carbon 3D firması tarafından yayınlandı.
2016	• Adidas, 3B yazıcı ile ayakkabı tabanı üreteceğini açıkladı. • New Balance, tabanını 3D yazıcı ile ürettiği ayakkabısını piyasaya sürdü.
2018	• 3D baskı ile inşa edilmiş eve ilk aile taşındı.
2021	• Dünyada ilk 3D baskı ile inşası yapılacak olan okulun tasarımı yapıldı.

Kaynak: <http://www.3dsystems.com>, www.3byazici.com, www.arkitera.com, 3dbaskial.com, tridprinter.com, www.muhendisol.com, www.muhendisol.com, <http://priyoid.com>, <http://reprap.org>, <https://en.wikipedia.org>, Bedir,Çırıkka ve İsmayilov, 2018;18-19-20, <http://web.mit.edu/tdp/www/whatis3dp.html>, <https://en.wikipedia.org>, <https://en.wikipedia.org>, <http://www.3dsystems.com>, <http://www.stratasys.com>, <http://www.stratasys.com>.

1.3. 3 BOYUTLU İMALAT (3 DIMENSION MANUFACTURING)

3 boyutlu bilgisayar tasarımının somut bir nesneye dönüştürülmesini sağlayan 3 boyutlu imalat teknolojisi hızlı prototipleme olarak da bilinen bir üretim yöntemidir. Bilgisayar ortamında çizilmiş olan sayısal model, üretimde kullanılacak olan teknolojinin desteklediği uygun formata dönüştürülerek üretim için 3D yazıcıya gönderilir. Bilgisayar ortamında çizilmiş olan model uygun formata dönüştürülürken çeşitli programlar yardımıyla katmanlara ayrılır.

3D yazıcıya gönderilen çizim tabandan ilk katmanın oluşturulmasından sonra üst üste diğer katmanlarında oluşturulması ile tavana kadar yani nesnenin son katmanına kadar devam eder. 3 boyutlu yazıcılar bu özellikleri ile literatürde “Katmanlı İmalat (Additive Manufacturing-AM)” olarak da isimlendirilmektedir. Bu terimlerin yanında literatürde kullanılan “3 Boyutlu Yazdırma (3 Dimension Printing-3DP)” ve “Katmanlı Tabaka İmalat (Additive Layer Manufacturing-ALM)” aynı şeyi ifade etmektedir (Siemens, 2015: 17; Barnatt, 2016: 3).

Son 5 yılda ciddi büyüme gösteren 3 boyutlu imalat pazarı, imalat ve hızlı prototipleme avantajlarıyla havacılık, otomotiv ve sağlık sektöründe kullanımı artıştır. 3 boyutlu imalat sektörünün 2015 yılındaki büyüklüğünün 4 milyar dolar olduğu ve yıllar itibarıyla göstermiş olduğu büyüme oranı göz önünde bulundurularak, katmanlı imalat sektörünün 2021 yılında büyüklüğünün 10 milyar dolar seviyelerini aşacağı öngörülmektedir (Akbaba, 2018: 44).

1.3.1. 3 Boyutlu İmalatın Çalışma Prensibi

Günümüzde hızla yayılan 3 boyutlu imalat teknolojisinde bir ürün üretmek için o ürünün 3 boyutlu tasarımını bir program yardımı ile oluşturulması gerekmekte ya da 3 boyutlu tarama teknolojisi kullanarak objenin taratılması ile başlanmaktadır. 3 boyutlu tasarım programlarıyla istediğimiz nesneleri oluşturmak için yeterli seviyede kullanım bilgisi gerekmektedir. 3 boyutlu tasarımları bir program kullanmadan internete birçok tasarım sitesinde bulunan hazır çizimi yapılmış olan 3 boyutlu tasarım örneklerini indirip üretebileceğiniz gibi tasarımda özelleştirmelerde yaparak kullanabilirsiniz. 3 boyutlu modeller oluşturulurken dikkat edilmesi gereken en önemli husus nesnenin duvar kalınlığıdır. Duvar kalınlığı sıfır olan bir nesnenin 3 boyutlu yazıcıda üretiminin gerçekleştirilmesi mümkün değildir.

Kullanmakta olduğumuz 3 boyutlu yazıcıya göre değişiklik gösteren duvar kalınlığı en az 0,1 mm olmalıdır (Gürbüz, 2014: 35-36).

3 boyutlu yazıcıda üretim süreci Solidworks, Pro-Engineer, Ansys, CATIA gibi tasarım programları yardımıyla bilgisayar destekli tasarım (CAD-Computer Aided Design) modelinin oluşturulması ile başlamaktadır (Marmik ve Shiraj, 2015: 35). Oluşturulan modellerin 3 boyutlu yazıcılar ile üretimini gerçekleştirebilmek için “g-code” a çevrilmesi gerekmektedir.

3 boyutlu yazıcının oluşturulmuş olan modeli üretebilmesi için gerekli bilgileri eksiksiz bir şekilde saklamak ve sunmak için genellikle “.stl” uzantısına kullanılır (Lipson ve Kurman, 2013: 100-101).

Stl formatına dönüştürülmüş olan çizim dosyası dilimleme programı yardımıyla dilimlere ayrılır. Bu işlem sırasında dolgu deseni, katman kalınlığı, dolgu miktarı, hız ve sıcaklık gibi üretim için gerekli olan en uygun seviyeye getirilir. Gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra dilimlenmiş olan çizim yazıcıya gönderilir (Canessa, Carlo ve Marco, 2013: 35-36).

Şekil 1
3 Boyutlu İmalat Süreci



Kaynak: <https://www.tasarimdanimalata.com>

1.3.2. 3 Boyutlu İmalat Teknolojileri

3 boyutlu yazıcılar ile üretim yaparken kullanabileceğimiz birçok farklı teknoloji bulunmaktadır. Bu teknolojiler arasındaki farklar katmanların oluşturulma yöntemleri ile ilgilidir. Bu 3 boyutlu yazıcıların her birinin güçlü ve zayıf yönleri bulunmaktadır. 3 boyutlu yazıcıların birçoğu ya sadece plastik ya da sadece metal ürün üretebilmektedir. Tüm ürün çeşitlerini şimdilik tek başına bir yazıcı üretememektedir (Akbaba, 2018: 45).

Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu tarafından geliştirilen standart katmanlı imalat kategorileri ve bu imalat kategorilerinde kullanılmakta olan yöntemler aşağıdaki gibi açıklamaktadır (Barnatt, 2016: 34-35).

3 boyutlu imalat kategorileri:

1. Kalıptan Malzeme Geçirme
2. Varilli Fotopolimerizasyon
3. Malzeme Püskürtme
4. Bağlayıcı Püskürtme
5. Toz Zeminli Birleştirme
6. Yönlendirilmiş Enerji Yığma

7. Tabaka Laminasyonu

1.3.2.1. Kalıptan Malzeme Geçirme (Material Extrusion)

3 boyutlu yazdırma yöntemleri arasında en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde eritilen malzeme baskı ucundan yarı sıvı bir kıvamda çıkarılır ve nesne katmanlar halinde oluşturulmaktadır. Bu yöntemde beton, seramik, çikolata ve metal gibi maddeler kullanılarak nesneler üretilebilmektedir. Termoplastik olarak adlandırılan maddeler yaygın olarak kullanılmaktadır (Barnatt, 2016: 34).

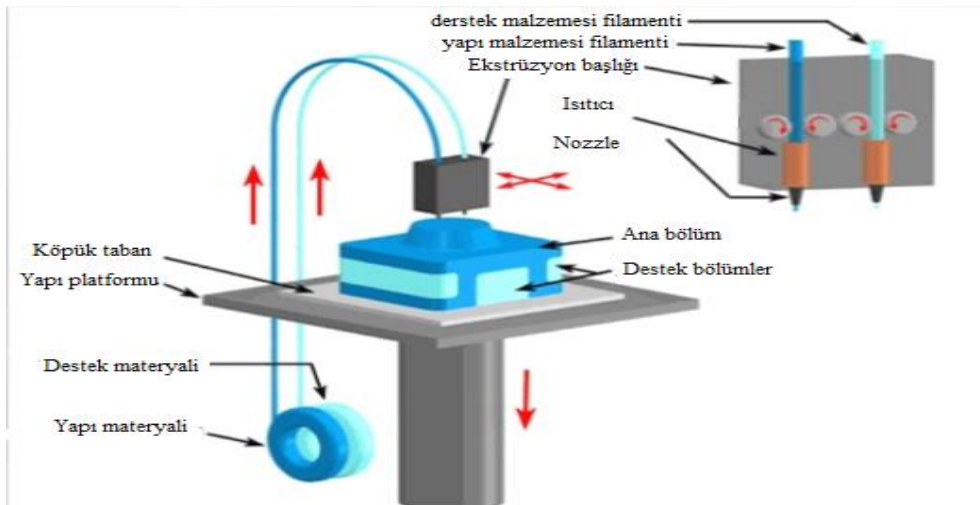
1.3.2.1.1. Eriyik Yığma Modelleme (FDM-Fused Deposition Modelling)

Dünyadaki 3 boyutlu yazıcılarda kullanılan en yaygın teknoloji olan eriyik yığma modelleme teknolojisi günümüzde katmanlı üretim alanındaki yöntemlerden en çok kullanılanıdır (Locker,2017). Bu yöntemde ilk önce bilgisayarda oluşturulan CAD çizimi tabakalar şeklinde kesilmektedir. Bu aşamadan sonra CAD dosyasından alınmış olan veriler filamentin eritilmesi ile tabana katman şeklinde döşenir. Üretim plakasına dökülecek olan her katman için nozzul erime sıcaklığının üstünde olur ve bu sayede termoplastik hammadde katılaşmadan ekstrüder yatay ekseninde nesneyi oluşturmaya başlar.

CAD çizimleri oluşturulmuş olan nesnelerin hızlı prototiplerinin oluşturulmasını sağlayan FDM teknolojisinin yaygın olarak kullanıldığı alanlar olarak havacılık ve uzay, tıp, biyo teknoloji, askeri, eğitim ve otomotiv örnek olarak verilebilir (Küçüksolak, 2019: 11).

Şekil 2

Eriyik Yığma Modelleme



Kaynak: <http://priyoid.com/fdm/>

FDM teknolojisinin avantajları;

1. Karmaşık yüzeye sahip parçaların, geleneksel üretim yöntemlerine göre daha iyi ve maliyet bakımından daha düşük bir şekilde üretimi gerçekleştirilebilir.
2. Maliyeti düşük olan bir tekniktir.
3. Baskıda kullanılan birçok hammadde vardır. Naylon, cam, PLA plastik, ABS plastik, elyaf bu hammaddelerden en yaygın kullanılanlardır. Kullanılan bu hammaddelerin geri dönüşümünün yapılabilmesi sayesinde çevreye zarar vermemekle birlikte tekrar kullanılabilir olması maliyet bakımından avantaj sağlamaktadır (Longwei vd., 2016).
4. Özel aletlere ihtiyaç yoktur.
5. Kullanımı mürekkep yazıcılar kadar basittir. (Chennakesava ve Shivraj, 2014: 1346).

FDM tekniğinin dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar;

1. Cisim yüzeyindeki pürüzler, kısa vadeli dayanıklılık, düşük çözünürlük ve şekil karmaşıklığının sınırlı olması,
2. Şekil bozukluğunun kademeli olarak oluşması (Khorsandi, Fahimipour, Saber, Ahmad ve Stephanis, 2018: 111).

1.3.2.2. Varilli Fotopolimerizasyon (Vat/Tank Photopolymerization)

Varilli fotopolimerizasyon, bir dizi 3 boyutlu baskı teknolojilerine verilen genel bir terimdir. Bu teknoloji ile sıvı olan fotopolimer tabakası ultraviyole (UV) ışıkla sertleştirilmektedir. Varilli fotopolimerizasyon teknolojisini kullanan yazıcılarda fotopolimer içeren bir tank bulunmaktadır. Bu teknolojinin kullanıldığı farklı yazıcı teknikleri vardır. Kullanılan ışık kaynağı ve kurulum teknikleri açısından farklılık gösteren bu teknikler aşağıda açıklanmıştır (Xu, Awad, Martinez, Gaisford, Goyanes ve Basit, 2020: 2).

1.3.2.2.1. Işıklı Kütleme (SLA-Stereolithography)

Sıvı plastiklerin stereolitografi cihazı kullanılarak UV (Ultraviyole) 7 lazerle katı maddelere dönüştürülen 3 boyutlu yazıcı teknolojisidir. En eski 3 boyutlu teknolojisi olan bu teknik 1984 yılında Charles Hull tarafından geliştirilmiştir. SLA teknolojisinin kullanılmış olduğu 3 boyutlu yazıcılarda nesnenin üretilmesi için bilgisayar ortamında çizimi oluşturulmuş tasarımın STL (Standard Tessellation Language) dosya formatı şeklinde yazıcıya girilmesiyle gerçekleştirilecektir. Daha sonra bilgisayar sistemi yardımıyla kontrol edilen lazer ışını sayesinde zemmine sıvı ilavesi gerçekleştirilir. SLA teknolojisinin

hammadde olarak kullandığı sıvı fotopolimerdir. Basılan nesnenin katmanları lazer ışınları sayesinde çekilir ve sıvı plastik reçine sertleştirilir (Küçüksolak, 2019: 12).

Prototip oluşturma, desen oluşturma ve üretim parçalarının yapımında kullanılmakta olan SLA teknolojisi genellikle eklemeli üretim ve 3 boyutlu yazıcı teknolojisinde kullanılmaktadır. SLA teknolojisinin kullanıldığı alanlara, diş hekimliği, cerrahi operasyonlar, mücevherat, modelleme eğitim ve mühendislik alanları örnek olarak verilebilir (Formlabs, 2017: 20-21).

Diğer eklemeli üretim teknolojilerinden içerdiği hammadde ile farklılaşan SLA teknolojisinin bu farklılaşma sonucunda avantaj ve dezavantajları oluşmaktadır. Avantaj sayılabilecek olan SLA teknolojisinde kullanılmakta olan sıvı reçine yüksek hassasiyet sağlarken, bunun yanında dezavantaj olarak bu hammaddenin sınırlı olması örnek olarak verilebilir (Toarmina, Sciancalepore, Bondioli ve Messori, 2018: 2).

Avantajlar

1. Büyük boyutlu prototiplerin üretimi gerçekleştirilebilir.
2. Yüksek üretim hızına sahiptir (Brock ve Ellis, 2013: 6).
3. Karmaşık yapıda bulunan anatomi parçalarının yüksek hassasiyetle üretme kapasitesine sahiptir.

Dezavantajlar

1. Bilgisayarlı tomografi taramasından artan radyasyona maruz kalmadır.
2. Üretim maliyetlerinin yüksek olması
3. Üretimden sonra ihtiyaç duyulan ek işlemler

1.3.2.2.2 Dijital Işık İşleme (DLP-Digital Light Processing)

Dijital ışık işleme (DLP), fotopolimer monomerlerin katmanlar halinde çapraz bir şekilde bağlandığı 3 boyutlu baskı tekniğidir. SLA tekniğinin aksine, DLP tekniğinde ışık kaynağı olarak dijital bir projöktör kullanılmaktadır (Yang, Zhou, Lin, Yang ve Yang, 2020: 1).

DLP yazıcılar sayesinde daha kesin ve yüksek çözünürlüğe sahip modeller oluşturularak başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Modelin oluşturulma hızı ve atık maddenin az olması sayesinde SLA yazıcılara kıyasla daha avantajlıdır (Gül, 2018: 88).

1.3.2.2.3. Hareketli Işık (Moving Light)

2013 yılında geliştirilmiş olan hareketli ışık teknolojisi, hareketli DLP UV ışınlarıyla ışığa duyarlı olan reçineleri polimerize ederek yüksek çözünürlük ve yüksek hızda prototip ve işlevsel parçaların üretimi için patentlenmiştir. Hareketli ışık teknolojisi epoksi, akrilat, hibrit kompozit, seramik ve metal gibi malzemelerin üretimde kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Barnatt, 2016: 60).

1.3.2.2.4. Litografi Tabanlı Seramik İmalatı (LCM-Lithography-Based Ceramic Manufacturing)

Hassas ve karmaşık geometriye sahip nesneleri destek yapılara ihtiyaç duymadan üretmeyi mümkün kılan bir yöntemdir. Tasarım aşamasında mikro derecede hassasiyetle kontrolü sağlanabilen geometriler ile genişlemeye elverişli seramik yapıların imalatına olanak sağlamaktadır (Lantada, Pomero, Schwentenwein, Jellinek ve Homa, 2016: 2).

1.3.2.2.5. Sürekli Sıvı Arayüzü Üretimi (CLIP-Continuous Liquid Interface Production)

Sürekli sıvı arayüzü üretimi, sıvı reçine arayüzünü ve bir fotokimyasal reaksiyonu tetikleyen ve reçineyi katı halde sertleştiren bir ışık kaynağı içeren bir fotokimyasal sisteme dayanmaktadır. Karbon sistemi, ışık-reçine etkileşimini titizlikle yöneten ayarlanabilir bir ışık dizisine dayanmaktadır (www.azom.com).

1.3.2.2.6. Figür 4 (Figure 4)

Figür 4, geleneksel üretim yöntemlerini tamamlayan, üreticilere geleneksel kalıplamanın doğruluğunu, güvenilirliğini, tekrarlanabilirliğini ve çalışma süresini sağlayan, takımların maliyetleri ve zaman alıcı yönleri olmadan parçalar üreten yüksek hızlı doğrudan dijital üretimi mümkün kılmaktadır. Piyasada kullanılan diğer 3 boyutlu fotopolimer baskılara göre dayanıklılık, doygunluk, biyouyumluluk, yüksek sıcaklık sapması ve elastometrik özellikler sunan hibrit malzemeye sahip parçaların üretimini gerçekleştirme kapasitesine sahiptir. Bu özellikler sayesinde de tüketim malları, havacılık, otomotiv ve medikal alanında yeni uygulamalara öncülük etmektedir (www.3dsystems.com).

1.3.2.2.7. İki Fotonlu Polimerizasyon (Two-Photon Polymerization)

İki fotonlu polimerizasyon mikro yapı 3 boyutlu malzemelerin imalatının gerçekleştirilebilmesi için ümit verici bir üretim tekniğidir. İki fotonlu polimerizasyon tekniği

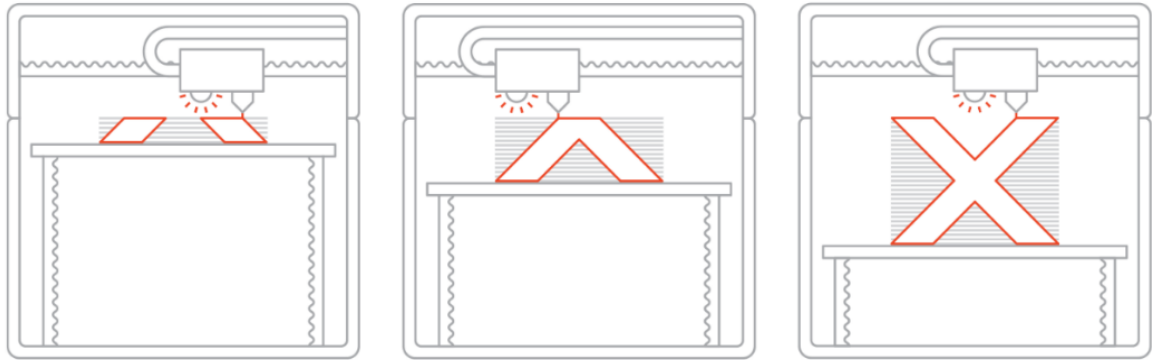
sayesinde mikron altı boyutlara sahip olan mikro yapılar basit bir şekilde oluşturulabilmektedir. Bu özellikler, iki fotonlu polimerizasyondaki ışık emiliminin doğrusal olmayan optik doğasından ve polimerizasyonun kimyasından kaynaklanmaktadır (<https://www.photonics.com>).

1.3.2.3. Malzeme Püskürtme (Material Jetting)

Malzeme püskürtme, 2D yazıcılara benzer şekilde çalışan ek bir üretim sürecidir. Malzeme püskürtmede, standart mürekkep püskürtmeli baskı için kullanılan baskı kafalarına benzer bir baskı kafası, ultraviyole (UV) ışık altında katılan ışığa duyarlı malzeme damlacıklarını dağıtır ve katman katman parçayı oluşturur. Malzeme püskürtmede hammadde olarak sıvı halde gelen termoset fotopolimerler (akrilikler) kullanılmaktadır.

Malzeme püskürtme tekniğine sahip 3D yazıcılar, pürüzsüz bir yüzey kaplamasıyla yüksek boyutsal doğrulukta parçalar oluşturmaktadır (<https://www.hubs.com>).

Şekil 3
Malzeme Püskürtme 3D Baskı Süreci



Kaynak: <https://www.hubs.com>

1.3.2.3.1. Fotopolimer Püskürtme (Polyjet-Photopolymer Jetting)

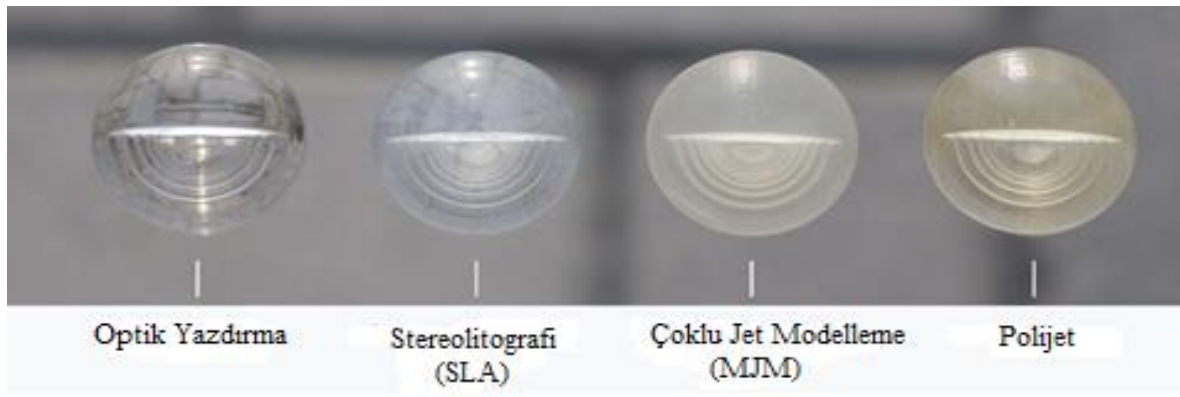
Fotopolimer püskürtme yöntemi Stratasys ve 3D Systems tarafından ortaya çıkarılmış ve patenti alınmıştır. Katmanlar kâğıt inkjet baskı teknolojisine benzer şekilde UV ile kürlenmiş olan malzemenin püskürtülmesi ile oluşturulur (Akbaba, 2018: 49-50). Fotopolimer püskürtme teknolojisinde de SLA teknolojisinde olduğu gibi pürüzsüz ve hassas yüzeyler elde edilebilmektedir. Bu teknolojiye birkaç renkte baskı alınabildiği için 3D Systems şirketi bu teknolojiyi “MJP – Multijet Printing” yani “Çok Püskürtmeli Baskı” olarak etiketlemiştir (Barnatt, 2016: 67).

1.3.2.3.2. Optik Yazdırma (Print Optical)

Optik ürünlerin hızlı bir şekilde prototip haline dönüştürmede tek proses olan bu teknoloji Luxexcel firması tarafından geliştirilmiştir. UV ile kürlenerek oluşturulmuş olan damlacıklar bir araya gelerek gerekli lens şeklini oluşturmaktadır. 3 boyutlu yazıcı bu damlacıklardan binlercesini tam konumlarına püskürterek ek işlemlere gerek kalmadan pürüzsüz yüzeylerin oluşmasına imkân sağlamaktadır (www.luxexcel.com).

Şekil 4

Optik Yazdırma Ve Diğer Teknolojiler İle Üretilmiş Lenslerdeki Netlik Karşılaştırması



Kaynak: <http://www.3dprinting.lighting/>

1.3.2.3.3. Nano Parçacık Püskürtme (NanoParticle Jetting)

NanoParticle Jetting, XJet tarafından geliştirilen tescilli bir inkjet tabanlı katmanlı üretim teknolojisidir. Bu teknoloji kolay çözünür destek malzemesi sayesinde yüksek çözünürlüğe sahip ve yüksek kalitede metal ve seramik katmanlı parçaların üretimini mümkün kılmaktadır (www.3dprintingmedia.network).

1.3.2.3.4. Aerosol Jet

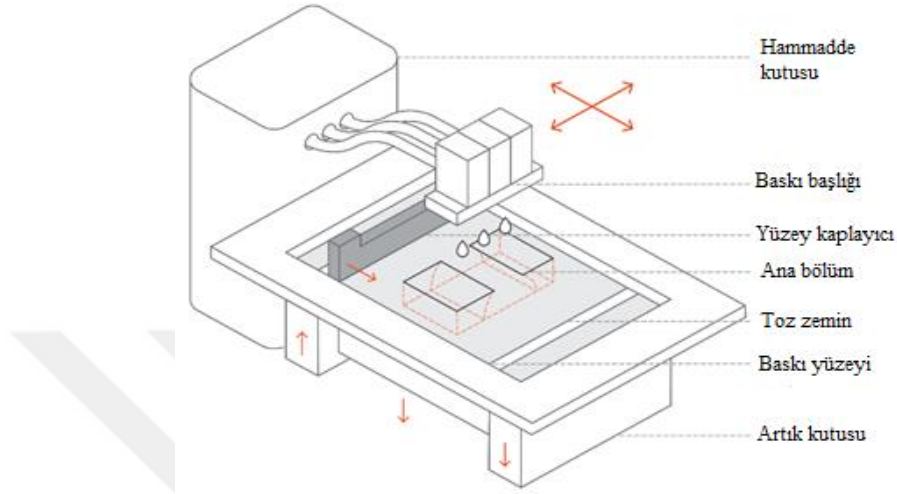
Aerosol jet teknolojisi, 3 boyutlu basılı elektroniklerin oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Dirençler, kapasitörler, alternatör sensörler ve devrelerin yazdırılması için birçok çeşit metal ve metal olmayan malzemeleri püskürtmek için buhar jeneratörü kullanılır (<https://optomec.com>).

1.3.2.4. Bağlayıcı Püskürtme (Binder Jetting)

Mürekkep püskürtmeli yazıcılar gibi çalışan bağlayıcı püskürtme teknolojisi Z Corporation tarafından geliştirilmiş patentli bir tekniktir. Toz yatağı boyunca sıvı bağlayıcı maddenin biriktirilmesi ile oluşturulmak istenen model elde edilir. Oluşturulacak her yeni

katman için silindir yardımı ile toz yayılır ve oluşan tabakalar sayesinde model meydana gelmiş olur (Şahin ve Turan, 2018: 104).

Şekil 5
Bağlayıcı Püskürtme

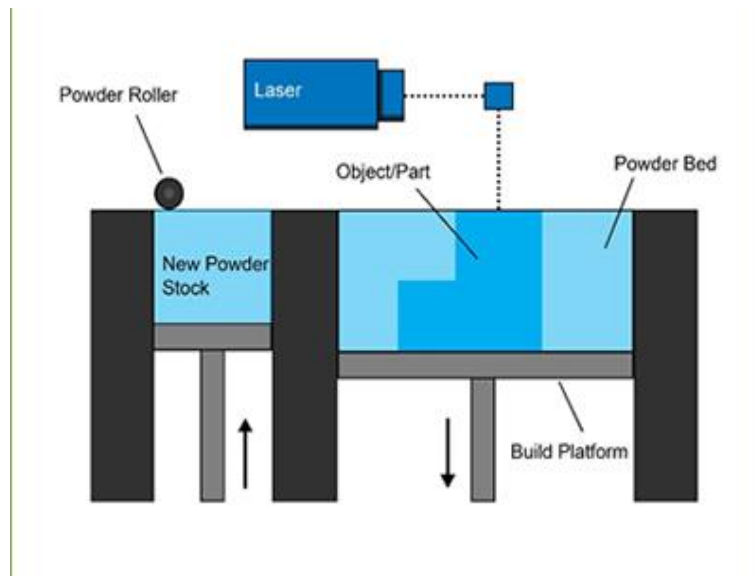


Kaynak: www.hubs.com

1.3.2.5. Toz Zeminli Birleştirme (Powder Bed Fusion)

Toz zeminli birleştirme yöntemi, malzeme tozunu eritmek ve birleştirmek için bir lazer veya elektron ışını kullanır (www.lboro.ac.uk). Toz zeminli birleştirme yöntemleri aşağıda verilmiştir.

Şekil 6
Toz Zeminli Birleştirme



Kaynak: www.lboro.ac.uk

1.3.2.5.1. (Seçici) Lazer Sinterleme (SLS-Selective Laser Sintering)

3 boyutlu yazıcı teknolojilerinden biri olan SLS teknolojisi, toz şeklinde olan hammaddenin (cam, seramik, naylon, çelik, gümüş, alüminyum ve seramik), CO₂ lazer ışınlarıyla ısıtılıp bilgisayar ortamında oluşturulmuş CAD verisinden alınmış olan komut doğrultusunda katmanlar şeklinde baskının yapılıp prototipin oluşturulmasıdır. SLS teknolojisi ile üretilmiş olan prototipler baskı işlemi tamamlandıktan sonra belirli bir süre makinede bekletilip soğutulmalıdır (Antonio, Konrad ve Manfred, 2014). SLS teknolojili 3 boyutlu yazıcılarda belirli bir işlem sırası mevcuttur.

Bu işlem sırası aşağıdaki gibi gerçekleşmektedir.

1. SLS 3 boyutlu yazıcıda kullanılan CO₂ lazer, tabaka şeklinde bulunan tozlar üzerinde seçilen bölgeleri tarayıcı sistem sayesinde tarar ve ilk katmanı oluşturur.
2. Diğer katmanın oluşturulması için tablasındaki altındaki platform, katmanın kalınlığı kadar aşağı inmektedir. Önceden taranmış olan katmanın üzerine toz yayıcı mekanizma sayesinde yeni katmanın kalınlığı kadar toz serilir ve lazer sayesinde taranır. Bu işlemler modelin oluşmasına kadar devam etmektedir.
3. Tamamlanan sinterleme işleminin ardından sinterleme istasyonun soğuması beklenir. Üretilmiş olan prototip, üretim tablasından alınır ve destek görevi gören tozlar, fırça veya vakumlu süpürge yardımı ile temizlenir. Son işlem olarak SLS teknolojisi ile üretilmiş olan parçalar kumlama veya isteğe bağlı olarak boyama gibi işlemlere ihtiyaç duymaktadır. SLS sisteminde, sinterleme işleminin yanında birde kullanılmış olan tozun belirli bir kısmının üretimde tekrar kullanımını sağlayan geri dönüşüm sisteminde bulunmaktadır (Çelik, Karakoç, Çakır ve Duysal, 2013).

Hızlı prototipleme gerektiren alanların birçoğunda kullanılan SLS tekniği bazı alanlarda daha yoğun olarak kullanılmaktadır. Yoğun olarak kullanılan alanlardan bazıları; havacılık ve uzay, donanım ve tıp, ambalaj, elektronik, konnektörler, askeri donanım, rüzgar tüneli test modelleri vb. (Baksi ve Mulay, 2016).

Seçici lazer sinterleme tekniğinin avantajları;

1. Üretimi geleneksel yöntemlerle zor olan titanyum ve naylon gibi malzemelerin üretilmesinde avantaj sağlamaktadır.

2. Karmaşık yapıya sahip parçaların üretiminde zaman ve maliyet tasarrufu sağlamaktadır.
3. Üretim sonrasında küremle gerektirmemektedir.
4. Farklı malzemelerin işlenmesini sağlamaktadır (Rajesh, Sudheer ve Mithun,2015).
5. Destek yapısına gerek kalmamaktadır çünkü parçanın üretimi sırasında toz malzeme gereken tüm destekleri yapmaktadır (Dhanawade ve Bhatwadekar, 2017).
6. Hassas ölçekli parçaların üretimi sağlanabilir.

Seçici lazer sinterleme tekniğinin dezavantajları ise;

1. Üretilmiş parçaların yüzeylerinde taneli pürüzler ve gözenekler bulunmaktadır.
2. Parçaların eğilme ve kırılma riskleri fazladır (Mazzoli,2012).
3. Parça yüzeyinin kalitesini yükseltmek için prototip bittikten sonra ek işlem gerekebilir.
4. Malzeme hammaddesindeki zorluklar (Han vd., 2019).

1.3.2.5.2. Elektron Işınlı Eritme (EBM-Electron Beam Melting)

Elektron ışınli eritme teknolojisi, yüksek verimliliğe sahip ve yüksek eritme kapasitesi için gerekli olan enerjiyi üreten güçlü bir elektron ışınına dayanmaktadır. Nesne üretileceği zaman elektron ışını her bir katman için toz yatağının tamamını kullanılacak olan malzemeye göre optimum ortam sıcaklığına kadar ısıtmaktadır. Elektron ışınli eritme teknolojisi ile üretilmiş parçalarda artık parça çok fazla oluşmamaktadır ve parçalar daha pürüzsüz bir yapıya sahip olmaktadır (www.eklemeliimalat.info.tr).

1.3.2.5.3. Seçici Isı Sinterleme (SHS-Selective Heat Sintering)

Seçici Lazer Sinterleme teknolojisine benzer bir üretim süreci olmasına rağmen bu iki teknoloji birbirine karıştırılmamalıdır. Seçici Isı Sinterleme teknolojisi termoplastik tozu sinterlemek için termal baskı kafası kullanmaktadır.

Termal baskı kafasının kullanılması sayesinde 3D yazıcı boyut olarak daha küçük boyutta (masaüstü yazıcı boyutunda) olabilmekte ve termal baskı kafaları lazer baskı uçlarına kıyasla daha ucuz olduğu için maliyet avantajı sağlamaktadır (www.additive-x.com).

1.3.2.5.4. Yüksek Hızlı Sinterleme (HSS-Highspeed Sintering)

Dönüşümsel mürekkep püskürtmeli tabanlı bir 3 boyutlu baskı teknolojisidir. Tüm katmanlar baskı yatağının tüm yüzeyinde ısı emici mürekkep kullanılması ile oluşturulur. Yatak yüzeyinin büyüklüğüne ve oluşturulacak parçanın şekline göre günde ortalama 100.000 parça üretebilme kapasitesine sahiptir. Bu üretim kapasitesi sayesinde rakip teknolojilere göre 100 kat daha hızlıdır (www.xaar.com).

1.3.2.6. Yönlendirilmiş Enerji Yığılma (Directed Energy Deposition)

1.3.2.6.1. Lazerle İşlenmiş Net Şekillendirme (LENS-Laser Engineered Net Shaping)

Lazerle İşlenmiş Net Şekillendirme teknolojisine sahip yazıcılar, bir bileşen katmanlı oluştururken LENS sürecini otomatik olarak yürütmek için Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) katı modelinde bulunan geometrik bilgileri kullanır. Bu teknolojiye, toz metalleri tamamen yoğun 3 boyutlu yapılara kaynaştırmak için yüksek güçlü bir lazer (4kW ila 3kW) kullanılmaktadır. Ek yazılım ve kapalı döngü proses kontrolleri, tamamlanan parçanın geometrik ve mekanik bütünlüğünü sağlamış olur (www.3dprintingmedia.network).

1.3.2.6.2. Lazer Metal Yığılma (LMD-Laser Metal Deposition)

Lazer metal yığılma, metallerde uygulanan bir üretim yöntemidir. Bu teknolojiye lazer, parça yüzeyinde bir kaynak havuzu oluşturmaktadır. Ardından otomatik olarak bir meme metal tozunu eklemektedir. Bu işlem sonucunda parçanın şeklini oluşturan birbirine kaynatılmış dikişler oluşturulmaktadır (www.trumpf.com).

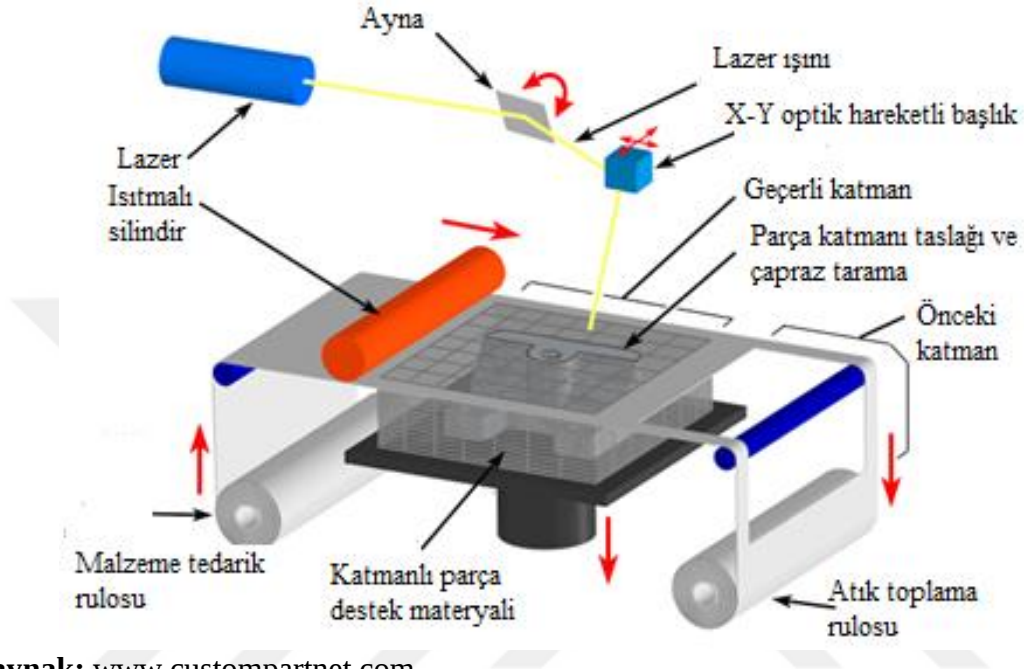
1.3.2.7. Tabaka Laminasyonu (Sheet Lamination)

1.3.2.7.1. Tabakalı Nesne İmalatı (LOM-Laminated Object Manufacturing)

Tabakalı nesne imalatı teknolojisi verimli, uygun fiyatlı ve oldukça hızlı olmasına rağmen çok fazla popüler olan bir teknoloji değildir. Bu teknolojiye katmanlı malzeme yapı platformunda yuvarlanır. Malzeme yapışkan bir tabaka ile kaplanır ve yapışkanın erimesi için besleme silindiri ısınır. Daha sonra katman bir öncekine yapıştırılır. Nesnenin oluşturulması ve geometrisinin çizilebilmesi için bıçak veya lazer kullanılır. Sonunda, yapı platformu, nihai nesnelerden ve geri çekilecek paralel yüzlerden oluşan bir blok içerir. Kağıt kullanılarak basılan nesneler, daha sonra ahşap benzeri özellikler kazanır ve kumla döküm

işleminde yararlanabilirken, kağıt nesneler nemi dışarıda tutmak için genellikle bir boya veya cila ile kapatılır (www.sculpteo.com).

Şekil 7
Tabakalı Nesne İmalatı



Kaynak: www.custompartnet.com

1.3.2.7.2. Ultrasonik Tabaka (Ultrasonic Lamination)

Ultrasonik Tabaka teknolojisi dokusuz kumaşlar, filmler, kompozitler, kumaşlar gibi farklı veya benzer malzemelerin katmanlarını tek bir kompozite birleştirmek için kullanılan ideal bir yöntemdir (Akbaba, 2018: 53).

1.4. 3 BOYUTLU YAZICILARIN AVANTAJLARI

3 boyutlu yazıcıların üretimde sağlamış olduğu birçok avantaj vardır. Avantajların yanında elbette dezavantajlarında oluşacağını söylemek mümkündür.

3 boyutlu yazıcıların avantajlarını beş başlık altında sıralayacak olursak (Akbaba, 2018: 25);

- Kişiselleştirme
- Karmaşıklık
- Sürdürülebilirlik
- Geri dönüşüm ve planlı eskime
- Ölçek ekonomileri

3 boyutlu yazıcıların avantajlarını ele alacak olursak;

- 3 boyutlu yazıcılar sayesinde bilgisayar ortamında çizimi oluşturulmuş olan her türlü nesnenin somut ürün haline dönüştürülmesi saatler hatta dakikalar içerisinde tamamlanmaktadır.
- Geleneksel yöntem ile yapılan üretim sürecinde uygulanan emek gerektiren işlemler (frezeleme, tornalama, talaş temizleme vb.) ve bu işlemleri gerçekleştirmek için gerekli olan makine ve teçhizata 3 boyutlu üretimde ihtiyaç duyulmamaktadır.
- Karmaşık yüzeye sahip tasarımlar kolay bir şekilde somut nesnelere dönüştürüle bilmektedir.
- 3 boyutlu yazıcılar sayesinde yapılan basılarda işçiliği ortadan kaldırdığı için zamandan tasarruf sağlanacaktır.

1.5. 3 BOYUTLU YAZICILARIN DEZAVANTAJLARI

3 boyutlu yazıcılar bilgisayar ortamında çizimini yaptığımız birçok nesnenin somut hale getirilmesini gerçekleştirirken bunun birlikte bazı dezavantajları da beraberinde getirmektedir (Shihab, 2017). Bu dezavantajları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz (Consulting, 2017; Stidham & Attaran, 2017):

- 3 boyutlu yazıcılar ile büyük ölçekte bir üretim çalışması yapılacak olursa yüksek maliyetler oluşmaktadır. Yani üreteceğimiz bir ürünün seri üretimi için 3 boyutlu yazıcı teknolojisi uygun değildir. Nesnelerin üretimi için harcanacak süre geleneksel yöntemle göre daha uzun olmakta ve işletmenin maliyetlerinin de artmasına neden olmaktadır.
- 3 boyutlu yazıcılar ile üretilen bir nesnenin dayanıklılık gücü sınırlıdır. Dayanıklı ürünleri 3 boyutlu yazıcı ile üretmek oldukça zordur.
- Yasal uygulamalar gereklidir. Eğer yasal kurallar çerçevesinde üretimler yapılmazsa çok büyük sıkıntılara sebebiyet verebilir. 3 boyutlu yazıcılar ile çizimi oluşturulan birçok nesne üretilebilmekte olduğunu bilmekteyiz bu ürünlerin içerisinde kesici ve delici aletlerde bulunmaktadır. 3 boyutlu yazıcılarda kötü amaçlı bir kişinin üretmiş olduğu silahlar metal dedektörler tarafından fark edilememekte ve kamu güvenliği için çok büyük sorun ve tehlike arz etmektedir.
- Üretilen ürünün boyutu yazıcının boyutu ile sınırlıdır. Yazıcı gövdesinin boyutundan daha büyük boyuta sahip bir nesne üretmek zordur. Bu tür nesneler

parçalar halinde üretilmektedir. Bu durumda ise parçaların birleştirilerek montajının yapılması zaman almaktadır.

1.6. 3 BOYUTLU YAZICILARI OLUŞTURAN TEMEL PARÇALAR

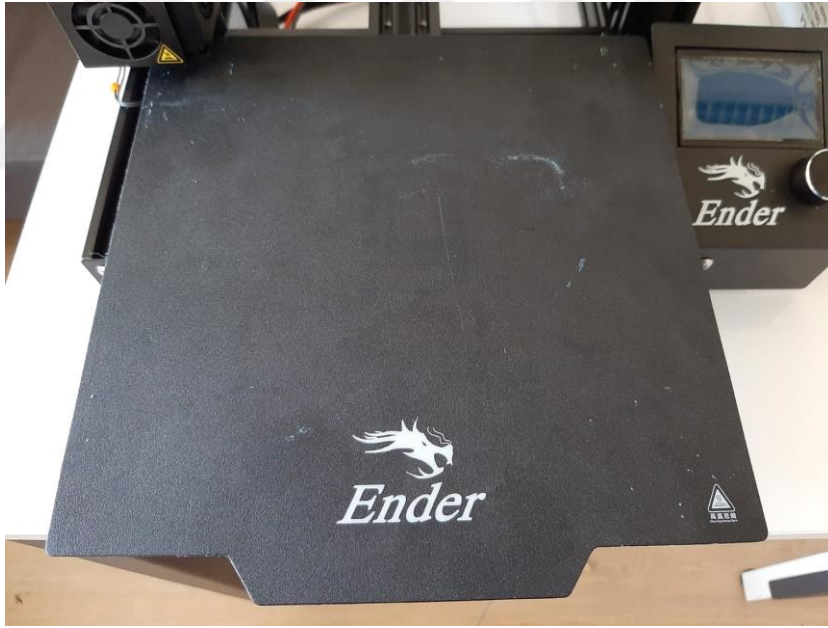
1.6.1. Sıcak Baskı Zemini (Heated Bed)

3 boyutlu yazıcılarla ürün üretilirken yazıcıyı baskı zemininin kullanılan baskı maddesine göre ısıtılması gerekmektedir. Sıcak baskı zeminleri alüminyum, cam veya pleksiglasdan yapılmaktadır. Sıcak baskı zemini ürünün basımı sırasında parçanın sıcak olmasını sağlayarak kıvrılmasını önler.

Eğer ürünün basılacağı zemin soğuk olursa plastik madde soğuyacaktır ve bu soğuma gerçekleşirken termal çekilme sonucu kıvrılma meydana gelebilir. Bu durumun önlenmesi için sıcak baskı zeminleri kullanılmaktadır.

Şekil 8

Sıcak Baskı Zemini (Heated Bed)



3 boyutlu yazıcı ile yapılacak üretim için kullanılacak ham madde olarak PLA ve ABS filamentleri ele alarak sıcak baskı zemini hakkında bilgi verecek olursak PLA plastik ile üretilen bir ürün için zeminin soğuk olması bir sorun oluşturmazken, ABS plastik ile üreteceğimiz bir üründe zeminin soğuk olması ürün basım sırasında kıvrımların oluşmasına sebep olacağı gibi tabana yapışma sorunlarını da beraberinde getirebilir. Sıcak baskı zemininin PLA filament için 50 veya 60 derece ısıtılması yeterli olurken ABS filament için

110 derece seviyelerine kadar baskı zemininin ısıtılması gerekmektedir (Demirbaş ve Arlı, 2017: 52).

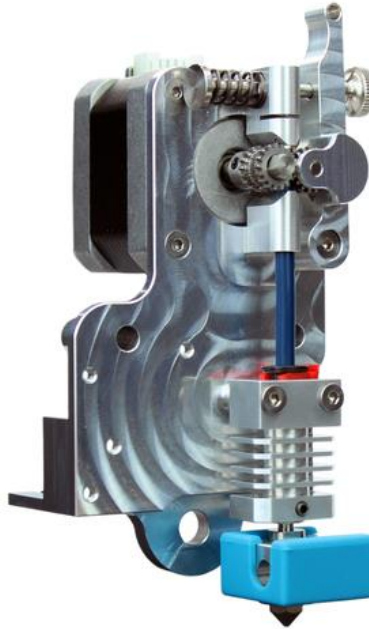
1.6.2. Ekstrüder (Extruder)

Filamentin hareket ettirilmesini sağlayarak sıcak uç kısmına itilmesini sağlamaktadır. İki ana bölüme ayırmak mümkündür. Filamenti alıp hareket ettirip iteklemekle ilgili olan kısma soğuk ç, filamenti eritip baskıyı yapmakla ilgili olan kısma ise sıcak uç (nozzle) denir. Bu iki kısım aşağıda iki ayrı başlık halinde ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır (Demirbaş ve Arlı, 2017: 29).

Ekstrüder çeşitleri olarak direkt ekstrüder (direct extruder) ve bowden ekstrüder (bowden extruder) en popüler ekstrüder çeşitleridir. (Akbaba, 2018: 28)

Direkt ekstrüder modelinde sıcak uç ve soğuk uç üst üste bir şekilde aynı bölgeye konumlandırılmıştır. Soğuk uçtan girmekte olan uç sıcak uçtan erimiş bir şekilde çıkmaktadır (www.minifabrikam.com).

Şekil 9
Direkt Ekstrüder



Bowden ekstrüderlerde ise sıcak uç ile soğuk uç arasında aralık vardır. Sıcak uç ile direkt bağlantı söz konusu değildir. Bu modelde ekstrüder gövdesi ile sıcak uç arasında bağlantı görevini üstlenen bir kablo bulunmaktadır. Bu kablo filamentin sıcak uca iletilirken

daha kolay bir şekilde hareket etmesini ve kolay bir şekilde sıcak uca ulaşmasını sağlamaktadır (<http://3dinsider.com>).

Şekil 10
Bowden Ekstrüder



1.6.3. Sıcak Uç (Hot-End)

Sıcak uç, filamentin eritilip baskı yapıldığı ekstrüderin bir parçasıdır. Bu parça ekstrüder, sıcaklık sensörü ve ısıtıcıdan oluşmaktadır. Sıcak uç ya alüminyum blok içine monte edilir yada namlu namlu tipi bir şekilde konumlandırılır (France, 2016:10).

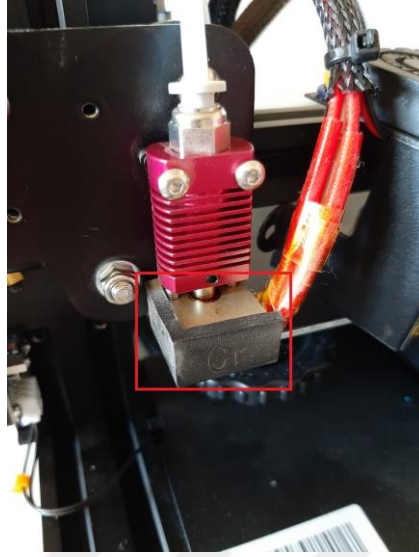
1.6.4. Soğuk Uç (Cold-End)

Ekstrüderin, filamenti alıp hareket ettirmekle ilgili olan kısımdır. Soğuk uç bir nevi ekstrüderin gövdesidir (Demirbaş ve Arlı, 2017: 29).

1.6.5. Alüminyum Blok

Alüminyum blok baskı ucunun en önemli parçalarından birisidir. Baskı için alüminyum blok ısıtılır ve sıcaklığı ölçülür. Alüminyum bloğun ısıtılması için içerisine veya bitişiğine direnç yerleştirilmektedir. Isısının ölçülmesi için de alüminyum bloğun bitişiğine ya da üzerine bir delik açılarak termistör (ısı direnç) yerleştirilmektedir. Isı yalıtımı amacıyla parça karbon bant ile sarılmaktadır (Demirbaş ve Arlı, 2017: 37).

Şekil 11
Alüminyum Blok



1.6.6. Sıcak Uç – Baskı Memesi (Nozzle)

Baskı memesi alüminyum bloğun uç kısmında bütünleşik ya da takılıp çıkarılabilir bir parçadır. Filament soğuk uç kısmından girerek bu kısma kadar itilerek ulaşır. Sıcak uç kısmında ısınan filament baskı memesinde eriyerek akışkan hale dönüşür.

Baskı memesinden sıvı halde çıkan filament çizgiler halinde katmanları oluşturarak nesnenin basılmasını sağlar (Demirbaş ve Arlı, 2017: 37).

Sıcak uç memesinin deliği 0.2 mm ile 0.8 mm boyutları arasında değişiklik göstermektedir. Baskı memesinin boyutu baskı için önemli bir etkidir. Baskı memesinin küçük olması daha ayrıntılı baskı oluştururken aynı zamanda baskının daha uzun süreler almasına sebep olmaktadır (France, 2016: 10).

Şekil 12
Sıcak Uç – Baskı Memesi



Kaynak: www.rhino3dprinter.com

1.7. 3 BOYUTLU YAZICILARDA ÜRETİM YAPMAK İÇİN KULLANILAN SARF MALZEMELER

3 boyutlu yazıcılarda kullanılan hammadde genel olarak filament olarak adlandırılmaktadır. Üretilen nesnenin kullanım amacına ve türüne göre filamentler çeşitlilik göstermektedir. 3 boyutlu yazıcılarda yaygın olarak genellikle PLA ve ABS filamentler kullanılıyor olsa da bunların yanında PETG, Flex, TPU ve özel filamentlerde bulunmaktadır.

FDM teknolojisine sahip 3 boyutlu yazıcılarda makara halinde termoplastik malzeme kullanılmaktadır ve bu malzeme filament olarak adlandırılmaktadır. Evlerimizde ve ofislerimizde kullanmakta olduğumuz püskürtmeli yazıcılarda sarf malzeme olarak kullanılan mürekkep gibi 3 boyutlu yazıcılarında sarf malzemesi filamentlerdir. Yazıcıda kullanılacak filamentlerin çapları 1.75, 2.85 ve 3mm olarak değişiklik göstermektedir (Akbaba, 2018: 32).

1.7.1. ABS Filament

Endüstriyel 3 boyutlu baskı sektörünün en popüler sarf malzemesi olan ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) filament otomotiv, oyuncak, hediye eşya olmak üzere daha birçok nesnenin üretiminde kullanılmaktadır. ABS filamentlerin erime sıcaklığı 225°C olduğu için diğer filamentlere kıyasla daha dayanıklı ve biraz daha esnek yapıdadır. ABS filamentler asetonla çözülebilmektedirler. ABS filament ile yapılan baskısı sırasında ortaya çıkan akrilonitril dumanı insan sağlığı için belirli bir düzeyde kanserojen risk unsuru oluşturmaktadır. Baskı işleminin gerçekleştirileceği ortamın havadar bir ortam olması sağlık açısından önemlidir.

Diğer filamentlere göre daha sağlam bir materyal olan ABS filament yüksek camlaşma sıcaklığı özelliği ile yüksek ısı ve belirli düzeyde basınçta dayanıklı olması gereken işlevsel parçaların baskısında kullanılmaktadır (Demirbaş ve Arlı, 2017: 57-58).

Şekil 13
ABS Filament ve Üretilmiş Ürün



Kaynak: www.matterhackers.com

ABS filamentinin temel özellikleri;

- Sertlik derecesi yüksek ve dış etkilere karşı dayanıklıdır.
- Esnekliği azdır.
- Önerilen baskı sıcaklığı 230°C - 250°C ve yatak sıcaklığı 80°C - 120°C arasındadır.
- Gıda ve saklama kapları gibi yiyeceklerle temas edecek olan ürünlerde kullanılması önerilmemektedir.
- Kapalı sistem 3 boyutlu yazıcılar kullanılırsa soğuma esnasında oluşan kalkma ve çatlamlar önlenmiş olur.
- Yüzeyde oluşan pürüzleri gidermek için aseton kullanılabilir.
- Sorunsuz çıktıların elde edilmesi için sıcaklık ayarı ve yatak kalibrasyonunun dikkatli şekilde yapılması gerekmektedir.

1.7.2. PLA Filament

Yapısında hammadde olarak mısır nişastası ve şeker kamışı bulunan PLA filament akışkanlık oranının ABS filamentlere göre daha yüksek olmasından dolayı daha karmaşık yapıların ve ayrıntıya sahip cisimlerin daha kısa sürede basılabilmesine olanak sağlamaktadır. PLA filamentin çevreye ve sağlığa zararı yoktur. Parlak bir görünüme sahip olan PLA filament kırılgan bir yapıya sahiptir ve yüksek basınca maruz bırakılacak olan parçaların üretimi için uygun olmamaktadır. Hediyeelik eşya, ev ve ofis dekoratif ürünleri üretimi için kullanılacak en iyi filament çeşitlerindendir (Demirbaş ve Arlı, 2017: 58-59).

Şekil 14
PLA Filament İle Basakısı Alınmış Ürün



PLA filamentin temel özellikleri;

- Esnekliği az ve kırılgandır.
- Aseton ile çözülmesi oldukça zordur.
- Önerilen baskı sıcaklığı 190°C - 220°C ve yatak sıcaklığı 50°C - 70°C arasındır.
- Baskı sonrasında soğutma işleminde kalkma ve çatlama gibi sorunlar oluşmaz.
- Ayarlanmış olan sıcaklık seviyesi, yatak kalibrasyonu ve baskı hızı ile sorunsuz baskılar yapılabilmektedir.

1.7.3. Katkılı PLA Filamentler

1.7.3.1. Karanlıkta Işıldayan (Fosforlu) PLA Filament

İçerisinde bulunan fosforlu pigmentler sayesinde ışıklı ortamda depolanmış olan ışığın cismin karanlık ortamda ışıldamasını sağlamaktadır. Baskı yapılan alan kalınlaştıkça yayılan ışık o derecede fazla olacaktır (Akbaba, 2018: 35).

Şekil 15
Işıldayan PLA Filament



Kaynak: www.fkfilament3d.com

1.7.3.2. Fotokromatik PLA Filament

Renk değıştirme özelliğı bulunan bu filament çeşidi, güneş ışığı gibi UV ışınları içeren bir kaynağı maruz kaldığı zaman renk değıştirmektedir. Birçok alanda kullanılabilen bu teknoloji yaygın olarak güneş gözlüklerinde de kullanılmaktadır (Akbaba, 2018: 36).

1.7.3.3. Ahşap Dolgulu PLA Filament

Ahşap dolgulu filamentler çam ağacı lifleri ile iğnelerinin karışımı sonucunda oluşturulmaktadır. Gerçek bir ahşap görünümü olan ürünler elde edilen bu filament türü aynı zamanda çam ağacı kokmaktadır (Akbaba, 2018: 36).

Ahşap dolgulu PLA filamentlerin özellikleri;

- Ahşap görünüme sahiptir.
- Aseton ile çözömlenmemektedir.
- Baskı işleminden sonra soğuma işlemi sırasında çatlama ve bükölme sorunları ile karşılaşılabilir.
- Gıda ürünlerinin temas edeceği saklama kapları gibi ürünlerin üretiminde kullanımı önerilmemektedir.
- Önerilen baskı sıcaklığı 195°C - 220°C ve yatak sıcaklığı 60°C - 70°C arasındır.
- Baskı sırasında oluşturulan katmanlar iyi bir şekilde birbirine yapışmaktadır.
- Dayanıklılık dereceleri parçanın tasarımına bağılı olarak değışmektedir.

- Sıcaklık ve yatak kalibrasyonunun iyi bir şekilde kalibrasyon yapılması ve doğru üretim hızı sonucunda güzel çıktılar almak mümkündür.

Şekil 16
Ahşap PLA Filament



Kaynak: www.amazon.co.uk

1.7.3.4. PLA + Bambu

Ahşap filamentlere göre daha parlak ve koyu renkte olan bu filament türü içerisinde bulunan bambu lifleri sayesinde baskısı yapılan ürüne ahşap görünümü vermektedir (Demirbaş ve Arlı, 2017: 62).

PLA + Bambu filamentlerin temel özellikleri;

- Aseton ile çözülmemektedir.
- Baskı işleminden sonra soğuma işlemi sırasında çatlama ve bükülme sorunları ile karşılaşılabilir.
- Gıda ürünlerinin temas edeceği saklama kapları gibi ürünlerin üretiminde kullanımı önerilmemektedir.
- Önerilen baskı sıcaklığı 195°C - 220°C ve yatak sıcaklığı 60°C - 70°C arasındır.
- Baskı sırasında oluşturulan katmanlar iyi bir şekilde birbirine yapışmaktadır.
- Dayanıklılık dereceleri parçanın tasarımına bağlı olarak değişmektedir.

- Sıcaklık ve yatak kalibrasyonunun iyi bir şekilde kalibrasyon yapılması ve doğru üretim hızı sonucunda güzel çıktılar almak mümkündür.

1.7.3.5. PLA + PHA

İçerisinde kullanılan PHA (Polihidroksi alkanoat) ile üretilen dayanıklı ve az kırılğan bir filamenttir. Çevre dostu olan bu filament türü biyolojik olarak çözümlenebilmektedir (Demirbaş ve Arlı, 2017: 61).

1.7.3.6. PLA + Bronz

Bronz, kalay ve bakırın karışımı sonucunda oluşturulan filament türüdür (Demirbaş ve Arlı, 2017: 63).

1.7.3.7. PLA + Bakır

Görünüm olarak bakır gibi görünen ancak iletken olmayan filament türüdür. Baskının tamamlanmasından sonra zımparalanması sonucunda bakır görüntüsü elde edilmektedir (Demirbaş ve Arlı, 2017: 63).

PLA + Bakır filamentlerin temel özellikleri;

- Metal görünüme sahiptir.
- Tarihi eser restorasyonları, kuyumculuk ve heykeltçilik gibi alanlarda kullanılmaktadır.
- Dayanıklı yapıya sahiptir ve esnekliği azdır.
- Önerilen baskı sıcaklığı 195°C - 220°C ve yatak sıcaklığı 60°C - 70°C arasındadır.
- Asetonla çözülmemez.
- Gıda ürünlerinin temas edeceği saklama kapları gibi ürünlerin üretiminde kullanımı önerilmemektedir.
- Baskı işleminden sonra soğuma işlemi sırasında çatlama ve bükülme sorunları ile az da olsa karşılaşılabilir.
- Baskı sırasında oluşturulan katmanlar iyi bir şekilde birbirine yapışmaktadır.
- Sıcaklık ve yatak kalibrasyonunun iyi bir şekilde kalibrasyon yapılması ve doğru üretim hızı sonucunda güzel çıktılar almak mümkündür.

1.7.3.8. Antibakteriyel Filament

PLA katkılı bir filament türü olan antibakteriyel filament üretilen cismin yüzeyi üzerinde bakteri barındırmama özelliğine sahiptir.

Antibakteriyel filamentlerin temel özellikleri;

- Oldukça sert ve dayanıklı bir yapıya sahiptir.
- Darbelere karşı dayanıklı ve hafiftir.
- Saklama kaplarında kullanımı uygundur.
- Önerilen baskı sıcaklığı 185°C - 195°C ve yatak sıcaklığı 60°C - 70°C arasındadır.
- Asetonla çözülmemektedir.
- Baskı işleminden sonra soğuma işlemi sırasında çatlama ve bükülme sorunları karşılaşılmamaktadır.
- Baskı sırasında oluşturulan katmanlar iyi bir şekilde birbirine yapışmaktadır.
- Sıcaklık ve yatak kalibrasyonunun iyi bir şekilde kalibrasyon yapılması ve doğru üretim hızı sonucunda güzel çıktılar almak mümkündür.

1.7.4. Esnek Filamentler

1.7.4.1. TPE Filament

Kolay işlenebilme, geri dönüştürülebilme ve esneklik gibi özelliklere sahip olan çok yönlü bir polimerdir. ABS ve PLA gibi filamentler ile üretilmiş olan nesnelerin dayanamayacağı gerilmelere karşı dayanıklı bir yapıya sahiptir. Baskının yapılması için TPE filament için özel tasarlanmış olan ekstrüder ve nozzle gibi parçalara ihtiyaç duyulmaktadır (Demirbaş ve Arlı, 2017: 64).

TPE filamentin temel özellikleri;

- Esnek bir yapıya sahiptir ve oldukça dayanıklıdır.
- Önerilen baskı sıcaklığı 210°C - 235°C ve yatak sıcaklığı 60°C - 70°C arasındadır.
- Asetonla çözülmemektedir.
- Telefon kılıfları, oyuncak, giyilebilir eşyalar vb. ürünlerde kullanılmaktadır.
- Gıda ürünlerinin temas edeceği saklama kapları gibi ürünlerin üretiminde kullanımı önerilmemektedir.
- Baskı işleminden sonra soğuma işlemi sırasında çatlama ve bükülme sorunları ile az da olsa karşılaşılabilir.
- Baskı sırasında oluşturulan katmanlar iyi bir şekilde birbirine yapışmaktadır.

- Sıcaklık ve yatak kalibrasyonunun iyi bir şekilde kalibrasyon yapılması ve doğru üretim hızı sonucunda güzel çıktılar almak mümkündür.

1.7.5. Yüksek Dayanıklılığa Sahip Filamentler

1.7.5.1. PET/PETG/PETT

Sert ve oldukça hafif bir yapıya sahip olan PET (Polietilen Tereftalat), dış etkenlere karşı dayanıklı, renksiz ve kristalize bir malzemedir. Dünyada en çok kullanılan plastik türü olan PET su şişelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Glikol katkılı olan PETG; temiz, daha az kırılğan ve kolay kullanılabilir olması ile popüler bir materyaldir. PETT, PETG ye göre daha sert ve şeffaf bir yapıya sahiptir. (Akbaba, 2018: 41).

PETG filamentin özellikleri;

- Oldukça sert bir yapıya sahiptir.
- Dış etkilere karşı dayanıklı ve hafiftir.
- ABS ve PLA filamentlere göre daha esnektir.
- Aseton ile çözülmemektedir.
- Gıda ürünlerinin temas edeceği saklama kapları gibi ürünlerin üretiminde kullanımı önerilmemektedir.
- Önerilen baskı sıcaklığı 220°C - 250°C ve yatak sıcaklığı 60°C - 70°C arasındadır.
- Baskı işleminden sonra soğuma işlemi sırasında çatlama ve bükülme sorunları ile az da olsa karşılaşılabilir.
- Baskı sırasında oluşturulan katmanlar iyi bir şekilde birbirine yapışmaktadır.
- Sıcaklık ve yatak kalibrasyonunun iyi bir şekilde kalibrasyon yapılması ve doğru üretim hızı sonucunda güzel çıktılar almak mümkündür.

1.7.6. Çözünabilir (Destek) Filamentleri

1.7.6.1. PVA (Polivinil Asetat)

Tabana temas etmeden üretimi yapılacak olan nesnelerin üretiminde destek adı verilen yapılar oluşturulmaktadır. PVA destek yapılarının oluşturulmasında kullanılan en iyi materyallerden biridir. Sıvı içerisinde çözülme özelliği ile soğuk veya sıcak suya atıldığı zaman çözünerek nesnenin destek yapısından ayrılmasına yardımcı olur (Akbaba, 2018: 43).

PVA filamentin temel özellikleri;

- Suda çözümlenmektedir.
- Esnekliği az ve kırılgandır.
- Önerilen baskı sıcaklığı 170°C - 190°C ve yatak sıcaklığı 50°C - 70°C arasındır.
- Baskı işleminden sonra soğuma işlemi sırasında çatlama ve bükülme sorunları karşılaşılmamaktadır.
- Sıcaklık ve yatak kalibrasyonunun iyi bir şekilde kalibrasyon yapılması ve doğru üretim hızı sonucunda güzel çıktılar almak mümkündür.

1.7.6.2. HIPS (High Impact Polystyrene)

Polistirenin sertliği ile lastiğin esnekliğini bir araya getiren bir kopolimer olan HIPS çok güçlü bir kimyasal yapıya sahiptir. Temizlik ürünlerinin yapısında kullanılan Limonen içerisinde çözümlenebilmektedir. ABS ile alınacak olan baskıların negatif açığa sahip olan kısımlarda destek madde olarak kullanılmaktadır (Akbaba, 2018: 43).

HIPS filamentin temel özellikleri;

- Limonen içerisinde çözümlenmektedir.
- Esnekliği az ve kırılgandır.
- Önerilen baskı sıcaklığı 235°C - 255°C ve yatak sıcaklığı 80°C - 120°C arasındır.
- Baskı işleminden sonra soğuma işlemi sırasında çatlama ve bükülme sorunları karşılaşılabılır.
- Sıcaklık ve yatak kalibrasyonunun iyi bir şekilde kalibrasyon yapılması ve doğru üretim hızı sonucunda güzel çıktılar almak mümkündür.

1.8 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Aydın ve Küçük (2014), mühendislik alanında yapmış olduğu çalışmada biyomedikal alanında 3 boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak kişileştirilmiş protez tasarımları ele almış ve 3 boyutlu yazıcı ile ilk ayak bileği ortezi tasarlayıp incelemiştir.

Oktay (2015), mühendislik alanında yapmış olduğu çalışmada 3 boyutlu yazıcılarda renkli çıktılarının alına bilmesi için çift ekstrudera ihtiyaç duyulduğu ancak çift ekstruder ile yapılan çalışmalarda sorunlar ortaya çıktığını saptamış ve bu sorunu ortadan kaldıracak çözümler üzerine çalışmıştır.

Karaarslan (2015), sosyal bilimler alanında yaptığı çalışmada 3 boyutlu yazdırmanın işletmeler için uzun dönemdeki etkilerini araştırmış ve sosyal bilimcilerin dikkatini bu konuya çekmeyi amaçlamıştır.

Deksi (2016), mimarlık alanında yapmış olduğu çalışmada olağan üstü durumlarda barınak tasarımı ve 3d yazıcı teknolojisi ile oluşturulacak barınaklar için tasarım önerisi ve 3d yazıcı teknolojinin kullanılarak nasıl çözüm oluşturulacağını incelemiştir.

Şahin ve Turan (2018), 3 boyutlu yazıcılar alanında yapmış oldukları çalışmada 3 boyutlu yazıcı teknolojilerini, üretim süreçlerini ve kullanılan hammaddeleri sınıflandırmış ve karşılaştırarak incelemiştir.

Çopur (2019), matematik alanında 3d yazıcı kalemler kullanılarak geometrik cisimlerin oluşturulması sayesinde eğitimde interaktif ve kalıcı öğrenmeyi sağlamak için öğrenci merkezli yaklaşımı benimsemiştir. Yapılan araştırmada 3d kalem ile oluşturulan materyallerin öğrencilerin konuyu daha iyi kavradığı görülmüştür.

Saraçyakupoğlu (2020), 3 boyutlu üretim yöntemlerini standartlar çerçevesinde incelemiş ve 3 boyutlu üretim teknolojilerinin havacılık sektöründe kullanılmasına yönelik çalışmalar yapmıştır.

Tatlı (2020), yapmış olduğu çalışmada FDM teknolojisine sahip 3 boyutlu yazıcı tasarımı ve imalatı yapmış, bu yazıcı ile 5 farklı iç dolgu geometrisine sahip örnekler almış, alınan örnekler üzerinde çekme, darbe ve üç nokta eğilme testleri uygulayarak iç dolgu geometrilerinin mekanik özelliklere etkisini incelemiştir.

Yuran (2022), yapmış olduğu çalışmada 3 boyutlu yazıcıları incelemiş, incelemeler sonucunda ortaya çıkan üretim sorunlarını tespit etmiştir. İnceleme sonucunda ortaya çıkan sorunların ekstruder kaynaklı olduğunu saptamış ve bu sorunları ortadan kaldıracak yeni bir ekstruder tasarımı ortaya koymuştur.

Sosyal bilimler alanında 3 boyutlu yazıcı tasarımı ile ilgili çalışmaya rastlanmamıştır.

İKİNCİ BÖLÜM

3 EKSENLİ 3 BOYUTLU YAZICI TASARIMI VE UYGULAMASI

Bu çalışmada yer alan parçaların tasarımları ve bu tasarımlarda yapılacak olan değişiklikler için ‘SolidWorks 2016’ tasarım programı ve dilimleme programı olarak da ‘Ultimaker Cura’ isimli program kullanılmıştır. Tasarlanmış olan yazıcının plastik parçaları 1.75 mm çapa sahip kırmızı PLA filament kullanılarak ‘Ender 3 Pro’ 3 boyutlu azıcı modeli kullanılarak üretilmiştir.

2.1. ARAŞTIRMANIN AMACI

Araştırmada piyasada hazır satılan 3 boyutlu yazıcı olan Ender 3 pro modeli incelenerek yazıcıda parça üretimleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen aksaklıklar doğrultusunda yeni yapılacak olan yazıcıda bu sorunlara çözüm olacak teknikler ve parçaların eklenmesi amaçlanmıştır.

2.2. ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ

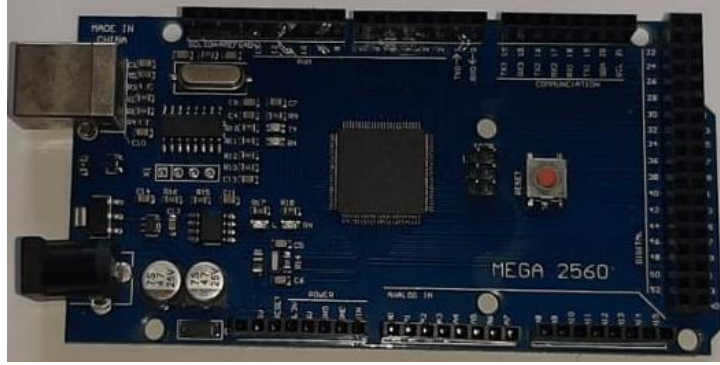
Temelde literatür incelemesi yapıldığında 3 boyutlu yazıcılar ile ilgili sosyal bilimler alanında yeterli çalışma olmadığı saptanmıştır. Yapılmış olan çalışlarda ağırlıklı olarak 3 boyutlu yazıcı tanımı, teknolojileri incelenmiş ve karşılaştırmaları yapılarak kullanım alanlarının incelendiği görülmektedir.Çalışmada 3 boyutlu yazıcı yazıcı teknolojilerinden en yaygın olarak kullanılan FDM (eriğik yığma modelleme) teknolojisinesahip piyasada satılan hazır yazıcı incelenmiş ve yapılan incelemeler soncunda ortaya çıkan aksaklıklara kalıcı çözümler üretilmeye çalışılmış ve bu sorunları ortadan kaldıracak eklemeler üretmiş olduğumuz yazıcıya entegre edilmiş ve aksaklıklar ortadan kaldırılarak literatüre katkı sağlaması amaçlanmıştır.

2.3. ELEKTRONİK PARÇALAR

2.3.1. Arduino Mega 2560

3 boyutlu yazıcılarda sıklıkla kullanılmakta olan Arduino Mega 2560 kartında 54 adet giriş-çıkış pini bulunmaktadır. Üzerinde 1 adet reset tuşu güç girişi ve usb girişi bulunmaktadır. Yazılmış olan kod usb bağlantısı ile karta aktarılmaktadır. Birçok projede kullanıma uygun güçlü bir karttır.

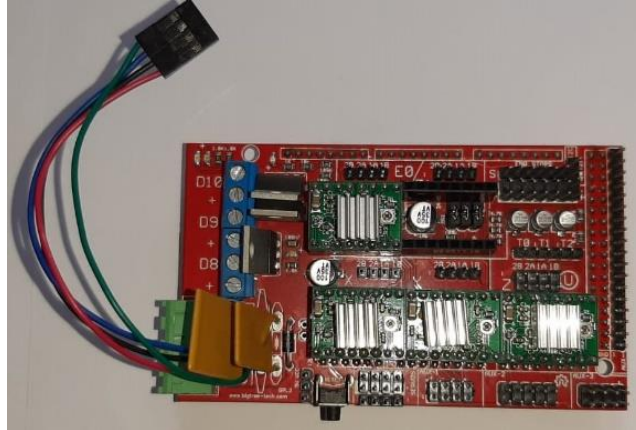
Şekil 17
Arduino Mega 2560



2.3.2. Ramps 1.4

Elektronik kontrol kartı olan Ramps 1.4, 3 boyutlu yazıcıda kullanılan elektronik parçaların (step motor, ekran, sensörler, end stoplar vb.) bağlantılarının yapılmasını sağlamaktadır. Kart üzerindeki soketler sayesinde karta bağlanan elektronik parçalar kartın arkasında yer alan erkek pinler aracılığı ile arduino mega 2560 üzerindeki dişi pinlere takılmakta ve arduino mega 2560 kartına yüklenmiş olan programla iletişim sağlanarak elektronik parçalara veri akışı gerçekleşmektedir.

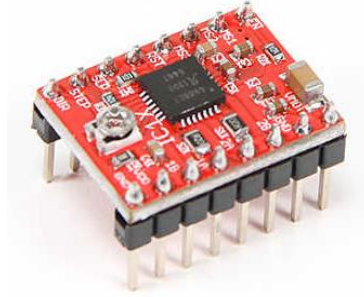
Şekil 18
Ramps 1.4 Kartı



2.3.3. A4988 Step Motor Sürücüsü

3 boyutlu yazıcılarda bulunan hareket kabiliyetini sağlayan step motorların kontrolünü sağlayan kartlardır. 8 ile 35 volta kadar çalışabilen step motorlara 1 amper ileterek motorların kontrol edilmesini sağlamaktadır.

Şekil 19
A4988 Step Motor Sürücüsü



2.3.4. End-Stop Sensörleri

End-stop sensörler 3 boyutlu yazıcılarda eksenlerin başlangıç noktalarının belirlenmesi için kullanılmaktadır.

Şekil 20
End-Stop Sensörleri



2.3.5. Isıtıcı Tabla

3 boyutlu yazıcılarda baskının gerçekleştirildiği zeminin alt katmanıdır. Isıtıcı tabla sayesinde baskı alanı ısıtılarak gerçekleştirilecek olan baskının hatasız bir şekilde yapılmasını, baskı alanından ayrılmasını engelleyerek tabanı tutmasını sağlamaktadır. Kullandığımız hammaddeye göre sıcaklığının ayarlanması gerekmektedir. Aksi halde yapılan baskının şekil ve kalitesinde sorunlar oluşacaktır. 12 veya 24 volt enerji ile çalışmaktadır. 218mmx218mm boyuta sahiptir ve baskı için 200mmx2000mm boyutunda kullanım alanı sunmaktadır.

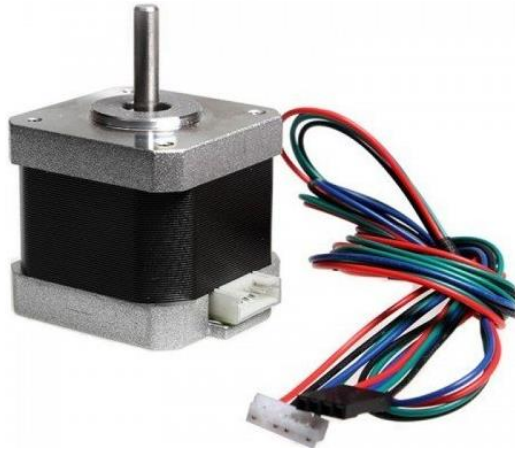
Şekil 21
Isıtıcı Tabla



2.3.6. Nema 17 Step Motor

3 boyutlu yazıcının eksenlerine hareket kabiliyeti sağlayan parçalardır. Yüksek torka sahip olan Nema 17 step motorlar 12 volt enerji ile çalışmaktadır. Motor hızı yazılımla ayarlanabilmektedir.

Şekil 22
Nema 17 Step Motor



2.3.7. LCD Ekran

3 boyutlu yazıcıda yapılacak işlemlerin seçilmesine ve yazıcı durumu ve bilgilerini göstermeye yarayan LCD ekran rams 1.4 kartındaki doğru çıkış portuna takılarak kullanılmaktadır. Ekranın solunda SD kart girişi bulunmaktadır. SD karta yüklenmiş olan çizim dosyası yazıcı ekranından seçilerek baskı işlemi başlatılabilir. Seçme işlemi ekran üzerindeki sonsuz dönüşü sahip tuş sayesinde yapılabilir. Ayrıca ekran üzerinde

yapılacak baskı ile ilgili sıcaklık bilgileri olarak tabla sıcaklığı ve nozzle sıcaklığını, baskı zaman bilgilerini de görmek mümkündür.

Şekil 23
LCD Ekran



2.3.8. Isıtıcı Fişek

3 boyutlu yazıcıda ısıtıcı bloğa yerleştirilen ısıtıcı fişek filamentin ısıtılarak erimesini sağlamaktadır. 12 volt ve 24 volt olmak üzere aygın kullanılan iki çeşidi bulunmaktadır.

Tezin uygulamasında kullanmış olduğumuz ısıtıcı fişek 12 voltluk çeşididir. ABS ve PLA filamentler için uygundur ve yeterli sıcaklığı sağlayabilmektedir.

Şekil 24
Isıtıcı Fişek



2.3.9. Termosensörler

3 boyutlu yazıcılarda kullanılan termosensörler sayesinde anlık sıcaklık ölçümleri yapılmakta ve bu ölçümler sayesinde sıcaklık seviyesi ve değişimi algılanarak ısıtma ve sıcaklığı sabit tutma işlemleri yapılmaktadır.. Isıtıcı bloğun içerisine yerleştirilen termosensör sayesinde nozzle sıcaklığının, ısıtıcı tablada bulunan termosensör sayesinde de tablanın anlık sıcaklık ölçümü gerçekleştirilmektedir.

Şekil 25
Termosensör



2.3.10. Güç Kaynağı

3 boyutlu yazıcı için gerekli olan tüm enerji ihtiyacı güç kaynağından karşılanmaktadır. 12 volt güç sağlayan güç kaynağının yeterli amper değeri yazıcıda kullanılan step motor sayısı, baskı ucu sayısı, tabla büyüklüğü gibi değişkenlere bağlı olarak değişmektedir. Standart ölçülere ve parçalara sahip bir 3 boyutlu yazıcılar için 40 amperlik güç kaynağı yeterlidir.

Şekil 26
Güç Kaynağı

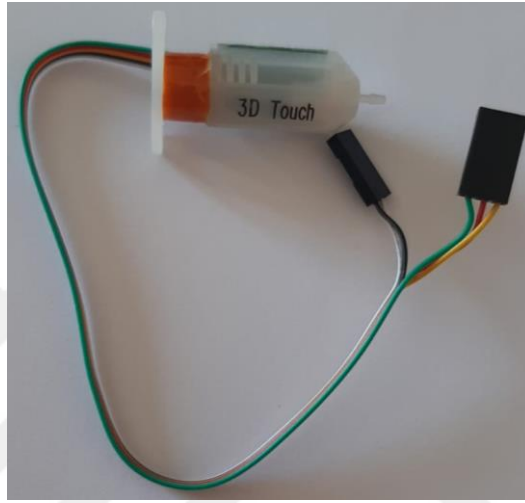


2.3.11. Mesafe Sensörü

Mesafe sensörü baskı ucunun tablayla olan mesafesini ölçerek doğru kalibrasyonun yapılmasını sağlamaktadır. Baskı tablasının belirli bölgelerinin mesafesinin algılayarak baskı ucunun o noktaya geldiği zaman yukarı veya aşağı hareketinin sağlanıp sorunsuz baskı gerçekleştirmeyi sağlamaktadır.

Şekil 27

Mesafe Sensörü



2.4. MEKANİK PARÇALAR

2.4.1. 20x20 Sigma Profiller

Alüminyum olan sigma profiller hafif olmalarının yanında sağlam ve dayanıklı yapıya sahiptirler. 3 boyutlu yazıcının iskeletini oluşturan sigma profiller uygun fiyata sahip olması ve kolay işlenebilmesiyle 3 boyutlu yazıcılarda sıklıkla tercih edilmektedir. Sigma profiller üzerindeki kanallar sayesinde uygun vida ile profiller üzerine parçalar monte edilebilmektedir.

Şekil 28
20*20 Sigma Profiller



2.4.2. 8 mm ve 10 mm Miller

Miller paslanmaz özellikte içeriği farklı maddelerden oluşan inşa malzemeleridir. 3 boyutlu yazıcılarda eksenlerin aşınmasının önlenerek rulmanlar sayesinde eksen doğrultusunda rahat hareket kabiliyeti sağlamaktadır.

Şekil 29
10mm Mil



2.4.3. 8 mm ve 10 mm Trapezler

Trapez miller, step motorlar sayesinde oluşturulan dairesel hareketleri doğrusal harekete çevirmektedir. Trapez miller üzerindeki kanallar sayesinde ekstruderın aşağı yukarı hareketi sağlanmaktadır. Kanallar arası mesafe hareket hassasiyeti ile ters orantılıdır. Mesafe ne kadar az ise hareket hassasiyeti o kadar fazladır.

Şekil 30
10 mm Trapez



2.4.4. SC8UU ve SC10UU

Miller üzerinde eksenlerin rahat hareketini sağlamaktadırlar.

Şekil 31
SC10UU



2.4.5. 10 mm Trapez için Somun

10 mm çapında dairesel hareketin doğrusal harekete çevrilmesini sağlayan parçalardır.

Şekil 32
10 mm Trapez için Somun



2.4.6. Kaplin 8x5 ve Kaplin 5x10

Kaplinler sayesinde step motorlar ile trapezlerin birbirine bağlantısını sağlayarak step motorların oluşturduğu hareketi aktarmaya yarar.

Şekil 33
Kaplin



2.4.7. Plastik Parçalar

Sigma 3d yazıcının eksen hareketleri, ekstruder işlevleri ve bağlantıları, step motorların bağlantı parçaları için gerekli olan tüm plastik parçalar ender 3 pro modeli olan 3d yazıcıda üretilmiştir

Şekil 34
Sigma 3D Yazıcı Plastik Parçalar



Parçaların üretimi için harcanan hammadde miktarı ve maliyeti aşağıdaki tabloda verilmiş olup maliyetler hammaddenin birim fiyatındaki değişikliklerden etkilenmektedir. 03/2021 tarihinde 1 kg ABG marka Pla filament fiyatı 130 TL olarak baz alınarak 1 gr hammadde maliyeti 0,13 krş hesaplanmıştır.

Hammaddenin tedarik edildiği tarihte 1 USD= 7,60 TL dir. Üretilen parçalar piyasada satılan hazır parçaların fiyatının oldukça altında maliyetle elde edilmiştir. Toplamda 539,2 gr hammadde harcanmış olup ~ 70,10 TL toplam maliyetle üretilmiştir.

Tablo 2
3 Boyutlu Yazıcı Plastik Parça Üretim Maliyet Tablosu

Parça Adı	Adet	Gram	Toplam Gram	Süre	Maliyet	Toplam Harcanan Gr
Güç Kaynağı Bağlantı	2	7,5	15	1s 45dk	1,95 TL	539,2
Saplama sabitleme	2	10	20	3s 8dk	2,6 TL	
End Stop	3	3	9	2s	1,17 TL	
AC Soket	1	6	6	45dk	0,78 TL	
Extruder Holder	1	6	6	50dk	0,78 TL	
Fan Connect	1	3	3	27dk	0,39 TL	
Ide T	1	6	6	1s 1d	0,78 TL	
Motor tutucu	3	13	39	5s 55d	5,07 TL	
Rot holder1	8	7,5	60	9s 10dk	7,8 TL	
Rot older 2	4	3,5	14	2s 31dk	1,82 TL	
Boş artıklar	1	5	5		0,65 TL	
Dişli ve nozzle	1	32	32	4s 43d	4,16 TL	
Fan uç kısım	1	20	20	3s	2,6 TL	
x correct	1	36	36	6s 5dk	4,68 TL	
t8 left	1	33	33	4s 40dk	4,29 TL	
t8 right	1	28	28	3s 47dk	3,64 TL	
Lcd box	1	31	31	5s 8dk	4,03 TL	
Ramps box	1	57	57	9s 40dk	7,41 TL	
Kapak	1	15	15	2s 17dk	1,95 TL	
Extruder body	1	30	30	4s 49dk	3,9 TL	
Belt holder	1	11	11	1s 47dk	1,43 TL	
Yeni ek	1	2	2	32 dk	0,26 TL	
Filament tutucu	1	49	49	5s 43dk	6,37 TL	
Fan tutucu	1	1,2	1,2	15 dk	0,156 TL	
Güç kaynağı giriş	1	11	11	1s 39dk	1,43 TL	

Elektronik ve mekanik parçaların maliyeti aşağıdaki tabloda verilmiştir. Tabloda yer alan parçaların maliyetleri 12.04.2021-18.02.2022 tarih aralığındaki birim fiyatlara göre

hesaplanmıştır. Tedarik edilen parça fiyatlarına nakliye ücretlerini de eklediğinde yapmış olduğumuz 3 boyutlu yazıcı yaklaşık 1840 TL maliyetle elde edilmiştir. Piyasada hazır satılan 3 boyutlu yazıcı Ender 3 pro modeli 2021 yılında ortalama 2100 TL' ye alınabilmektedir.

Yapmış olduğumuz 3 boyutlu yazıcı otomatik kalibrasyon sensörü ve led aydınlatmaya sahip olmasına rağmen piyasada hali hazırda satılan yazıcılara kıyasla daha düşük maliyetlidir.

Tablo 3

3 Boyutlu Yazıcı Elektronik Ve Mekanik Parça Maliyet Tablosu

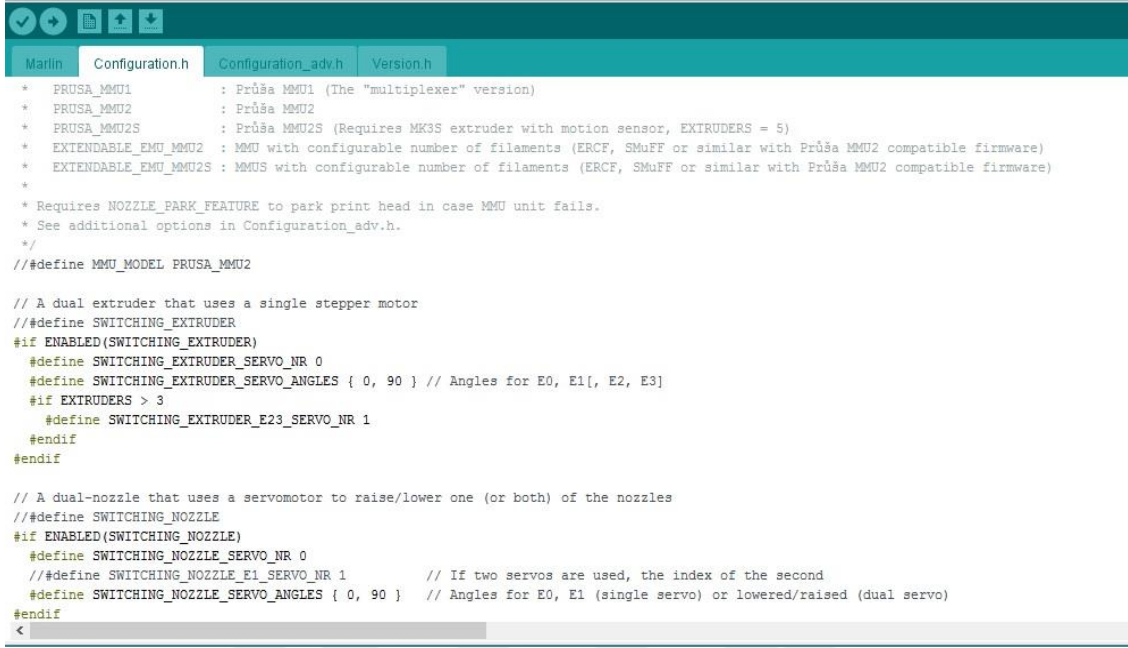
Parça adı	Adet	Fiyat (TL)	Maliyet (TL)	Toplam maliyet
Nozzle uç	1	2,5	2,5	1797,39
Kaplin	2	8	16	
Cam termistör	2	4	8	
Teflon boru	1	18	18	
Isıtıcı tabla	1	46	46	
Manyetik tabla yüzeyi	1	98,99	98,99	
Kalibrasyon sensörü	1	160	160	
Step motor	4	96	384	
Kayış	1	25	25	
Ramps 1.4 kart	1	75	75	
Arduino Mega kart	1	315	315	
Limit Switch	3	7	21	
Isıtıcı Blok	1	10	10	
LCD ekran	1	220	220	
Extruder	1	200	200	
Fan	2	16,45	32,9	
Profiller	12	11,25	135	
Trapez	2	15	30	

2.5. YAZILIMLAR VE PROGRAMLAR

Sigma 3D yazıcıda Marlin 2.0 yazılımı kullanılmış olup açık kaynak kodlu yazılım üzerinde değişiklikler yapılarak otomatik kalibrasyon özelliği aktifleştirilmiştir.

Şekil 35

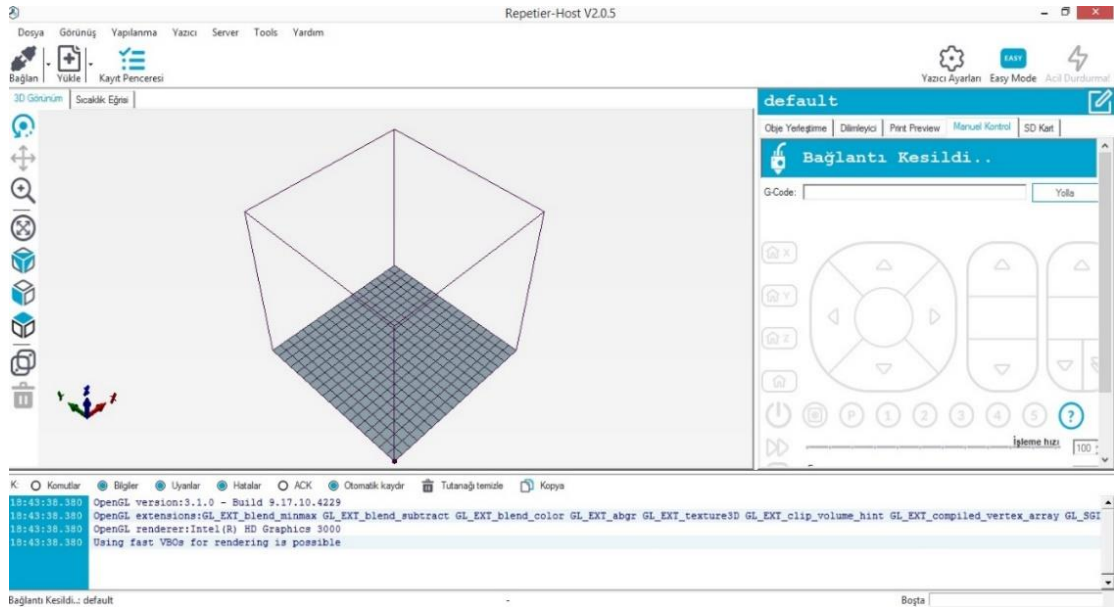
Marlin Yazılımı



3D yazıcıyı çalışmaya başlamadan ve çalışma esnasında uzaktan kontrol edilebilmesi için Repetier-Host programı kullanılmaktadır. Bu program sayesinde 3D yazıcı eksen ayarları, nozzle ve sıcak tablanın ısı kontrolü, fan çalışma ayarları, baskı işleminin başlatılması, baskı işlemi ilerlemesi gibi ayarlar yapılabilmektedir.

Şekil 36

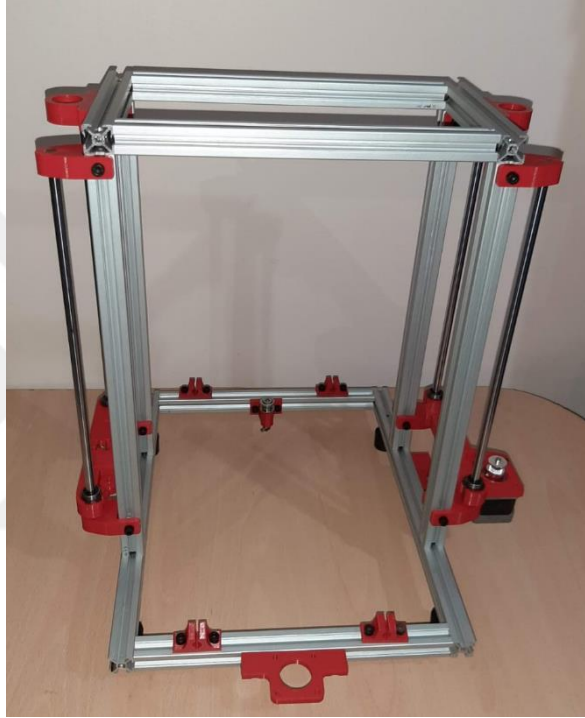
Repetier Host Programı



2.6. YÖNTEM

3D yazıcıyı oluşturan parçalar yukarıda sıralanarak yazıcıdaki görevleri anlatılmıştır. 3D yazıcının iskeleti profillerin birbirine vidalanmasıyla oluşturulmuştur. 20*20 sigma profiller ile oluşturulan yazıcı iskeletine mekanik parçaların sabitleneceği 3D yazıcıda üretmiş olduğumuz plastik parçaların montajı yapılmıştır.

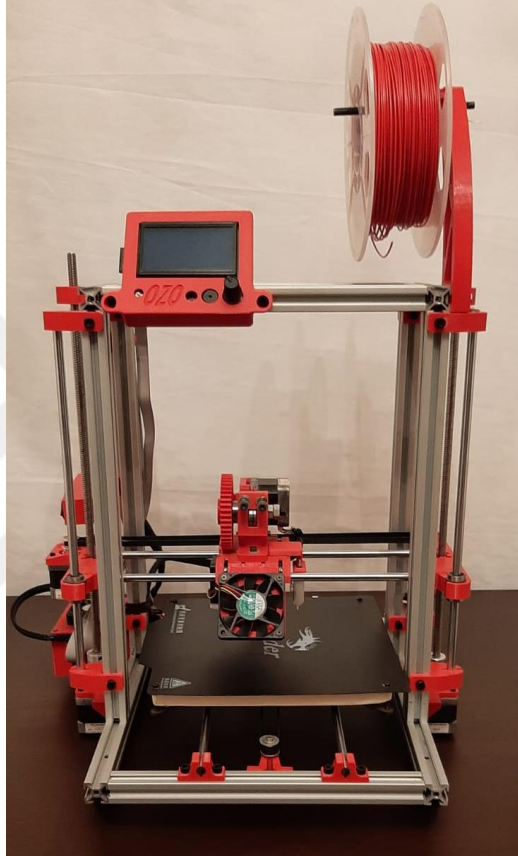
Şekil 37
Sigma 3D Yazıcı İskeleti



Miller ve trapezlerin takılması ile x, y ve z eksenlerinin hareket etmesini sağlamıştır. Eksenlerin hareketini sağlayan step motorlar yazıcıda uygun yerlere monte edildikten sonra eksenlerin sınırlarını belirleyen end-stopların montajı yapılarak devam edilmiştir. Ekstruder bölümünü oluşturan ısıtıcı blok, nozzle ve ısı sensörlerinin montajı yapıldıktan sonra ısıtıcı tablanın montajını tamamlanmış ve LCD ekranın eklenmesi ile mekanik parçaların montajı tamamlanmıştır. Genel mekanik parçaların montajı tamamladıktan sonra Arduino Mega kart üzerine Ramps 1.4 kartını yerleştirilmiştir. Ramps kart üzerine step motor sürücülerini ve LCD ekran kartı takılarak kart üzerine bağlanacak olan parçaların bağlantısına geçilmiştir. Kart üzerinde yer alan eksenlere ve parçalara ait bağlantı noktalarına motorlar, sensörler, LCD ekran, fanlar ve ısıtıcıları jumper kablolar sayesinde bağlanmış ve kontroller yapılmıştır. Arduino Mega kartımıza yazılımı yükledikten sonra son olarak güç kaynağımızı 3D yazıcıya bağlanarak yazıcı hazır hale getirilmiştir. Montaj aşamasını tamamladıktan

sonra kontrollü bir şekilde güç verilmiş ve eksik bağlantı olup olmadığı kontrol edilmiştir.. Bağlantı sırasında yapmış olduğumuz yanlış bağlantıdan ötürü oluşacak olumsuz bir durumda kart zarar görmektedir. Bu yüzden bağlantıların doğru bir şekilde yapıldığına emin olduktan sonra güç verilmesi gerekmektedir.

Şekil 38
Sigma 3D Yazıcı Montajı

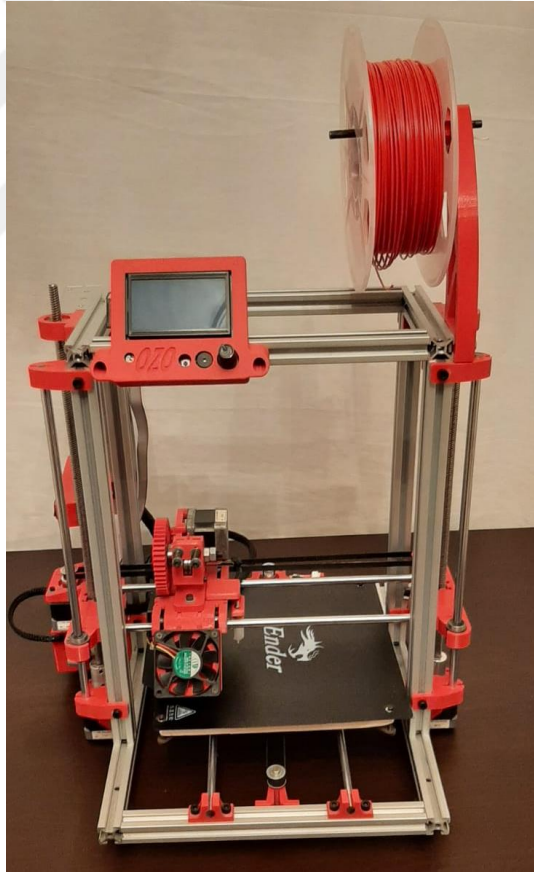


SONUÇ

3D yazıcılar gerek sağlamış olduğu kolaylıklar ve kabiliyetleriyle gerekse ulaşılabilir olmaları yönüyle artık hayatımızın birçok alanında kullanılan teknolojik ürünler arasında yer almaktadır. Sadece sanayi tipi kullanım için değil evlerimizde de kullanabileceğimiz boyutlarda da tasarlanmış modeller sayesinde bizler sadece tüketici konumunda yer almayıp üretici konumunda da bulunmaktayız. Hem üretici hem de tüketici olmamız sayesinde ortaya üre-tüketici kavramı çıkmaktadır.

Çalışmada incelemek ve baskı örnekleri alıp test etmek için Ender 3 Pro modeli kullanılmıştır. Örneklerde oluşan baskı hataları ve aksaklıklar neticesinde oluşan sorunları ortadan kaldırmak için yapılabilecek iyileştirmeler ve yenilikler araştırılmıştır.

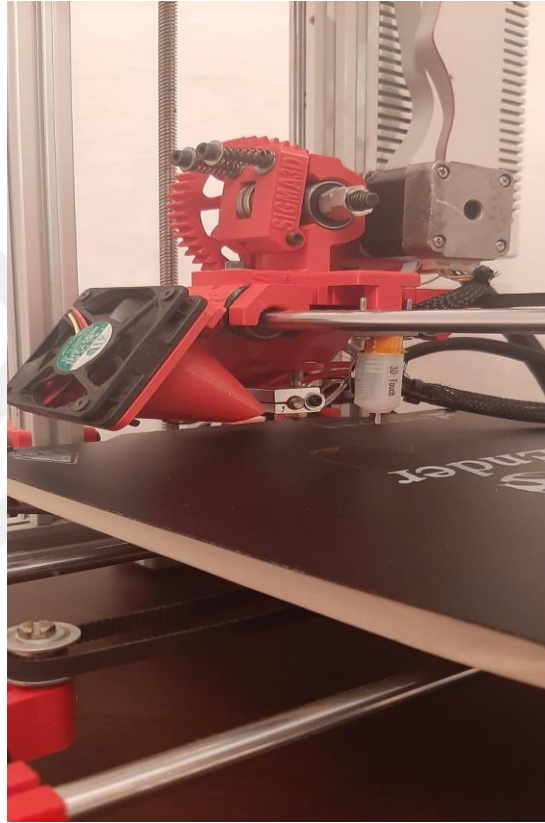
Şekil 39
Sigma 3D Yazıcı



3D yazıcılarda baskının hatasız bir şekilde yapılabilmesi için gerekli en önemli ayarlardan birisi tabla kalibrasyon ayarıdır. Kalibrasyon ayarı ortam sıcaklığına, tabla üzerindeki baskısı tamamlanmış ürünü alırken veya herhangi bir dış etkidenden etkilenerek bozulabilmektedir. Tabla kalibrasyonu baskı işlemi başlamadan önce yapılması gerekmektedir.

ve kalibrasyonun yapılması zaman almakla birlikte yanlış kalibrasyon ayarı neticesinde baskı işlemi aksamaktadır. Bu işlemler sonucunda ortaya çıkan atık hammaddeler de maliyetleri artırmaktadır. 3D yazıcıda gözlemlenen sorunlardan diğeri de sıcak tablanın soğuması ile baskı sırasında tabandan kopmaların yaşanması ve ürünün köşelerinde çekilmelerin yaşanmasıdır.

Şekil 40
Sigma 3D Yazıcı Ekstrüder



Yapılan çalışmalar ve alınan örnek baskılar sonucunda elde edilen bulgular sayesinde çalışma sırasında yapılan Sigma tipi 3D yazıcıya kalibrasyon sensörü ve sıcak tablanın ısı kaybını önlemek için strafor olarak adlandırılan ısı yalıtımı malzemesi eklenmiştir. Eklenen kalibrasyon sensörü sayesinde yazıcıya gönderilen nesnenin baskısı başlamadan daha önce elimizle yaptığımız tabla kalibrasyonunu sensör belirli noktalardan ölçümler yaparak kendisi ayarlamaktadır.

Alınan örneklerde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Yazıcıya kalibrasyon sensörü aktif edilmeden tabla kalibrasyonunu elimizle yaptığımızda almış olduğumuz baskı ile kalibrasyon sensörü aktif edildikten sonra alınan baskı karşılaştırıldığında otomatik kalibrasyon neticesinde alınan örnekte hata payının daha az olduğu görülmektedir. Aşağıda

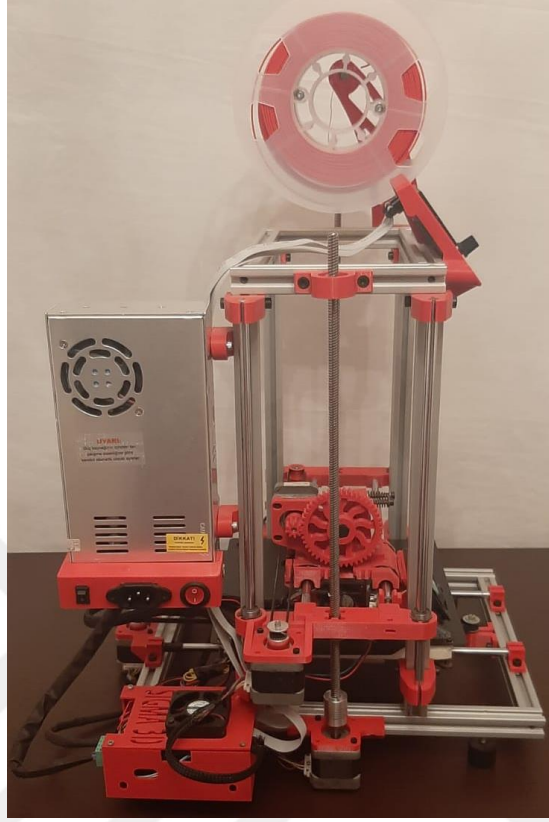
alınmış örneklerin karşılaştırması yapılmış olup el ile yapılan kalibrasyon sonucunda bazı eksenlerde kaymalar ve tabanda eğrilik meydana geldiği görülmektedir. Bu durumda da üretilen nesnede şekil bozuklukları meydana gelmektedir. Isıtıcı tablanın ısı kaybını önlemek için strofor eklenmiş ve ısı kaybı azalmıştır. Isı kaybının azalması neticesinde elektrik tüketiminde de uzun vadede gözle görülür azalma sağlanacaktır.

Şekil 41
Baskı Alınan Örnek Karşılaştırılması



3 boyutlu yazıcıların kullanım alanları oldukça geniş alana yayılmakta ve insanlar için yararlı nesnelerin yanında zararlı nesneler de üretilebilmektedir. Bu yüzden 3 boyutlu yazıcıların kötü niyetli kişiler tarafından kullanılması ciddi güvenlik sorunlarına sebep olabilmektedir. Çalışmada bu sorunun önüne geçilebilmesi için üretilen ürünün kim tarafından üretildiği ve ne zaman üretildiğini takip edebilmek için RFID teknolojisi kullanılarak kullanıcılara tanımlanan kartlar ile üretim başlamadan nesneyi üretecek olan kişi kartını okutarak sisteme nesnenin kim tarafından üretildiği bilgileri kaydedilmesi amaçlanmış ancak yapılan araştırmalar sonucunda Ramps 1.4 karta RFID teknolojisi uygulanamamıştır.

Şekil 42
Sigma 3D Yazıcı Sol Görünüm



3D yazıcı ile alınan örneklerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda parçanın kullanım alanına göre değişiklik gösterecek olan hammadde seçimi, baskı sırasında hammadde erime sıcaklığının ayarlanması, sıcak tabla ısısının ayarlanması ve en önemlisi kalibrasyon ayarının yapılması üretilecek ürün için önem arz etmektedir. Sayılan bu hususlar birbirini tamamlamaktadır.

KAYNAKÇA

- Akbaba, A. İ. (2018). **Dördüncü endüstri devrimine geçiş sürecinde üç boyutlu yazıcı kullanımının teknoloji kabul modeliyle ölçümlenmesi: Otomotiv endüstrisinde bir araştırma.** Atatürk Üniversitesi: Erzurum.
- Akbaba, A. İ., & Akbulut, E. (2021). **3 Boyutlu Yazıcılar ve Kullanım Alanları.** ETÜ Sentez İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, (3), 19-46.
- Antonio, A., Konrad, W., & Manfred, S. (2014). **Polymer Powders For Selective Laser Sintering (SLS).** Ethzürich (S. 2-4). Zürich: Ethzürich.
- Aydın, L., & Küçük, S. (2014). **Üç boyutlu yazıcıyla ayak bileği ortezinin tasarımı ve geliştirilmesi.** Tıp Tekno, 14, 25-27.
- Bakshi, K., & Mulay, A. (2016). A Review On Selective Laser Sintering: A Rapid Prototyping. **IOSR Journal Of Mechanical & Civil Engineering (IOSRJMCE)**, 56.
- Barnatt, C. (2016). **3D Printing.** ExplainingTheFuture.com.
- Brock , A., & Ellis, E. (2013). **Analysis Of The Potential Impact Of Additive Manufacturing On Army.** Naval Postgraduate School, 6.
- Canessa, E., Carlo F. and Marco, Z. (2013). **Low-Cost 3D Printing,** Trieste: ICTP
- Chae, M., Rozen, W., Mcmenamin3, P., W. Findlay, M., Spychal, R., & Smith, D. (2015). **Emerging Applications Of Bedside 3D İn Plastic Surgery.** Frontiers İn Surgery, 3.
- Chennakesava, P., & Shivraj , N. (2014). **Fused Deposition Modeling -. International Conference On Advances İn Design And Manufacturing (ICAD&M'14),** 1349.
- Consulting, E. (2017, 12 5). **3D Printing İn Today's World.** Eroconsulting: <https://Www.Eroconsulting.Com/Blog/3d-Printing-In-Todays-World>
- Çelik, D., & Çetinkaya, K. **Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımları, Prototipleri Ve Ürün Yazdırma Karşılaştırmaları.** İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 5(2).
- Çelik, İ., Karakoç, F., Çakır, M., & Duysal, A. (2013). **Hızlı Prototipleme Teknolojileri Ve Uygulama Alanları.** Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 56-60.

- Çopur, S. (2019). **3D Yazıcı Kalem Teknolojisinin Geometri Derslerinde Kullanımının Etkililiğinin İncelenmesi** (Master's thesis, Eğitim Bilimleri Enstitüsü).
- Deksi, A. (2016). **Olağanüstü Durumlarda Barınma İçin Yenilikçi Bir Yaklaşım Önerisi: 3D Yazıcı İle Uygulama**. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Aydın Üniversitesi Mimarlık Anabilim Dalı, Mimarlık Programı.
- Demirbaş, Y. K. ve Arlı, B. (2017). **Uygulamalarla Üç Boyutlu Yazıcı Yapımı Ve Kullanımı (4. Baskı)**. İstanbul: Abaküs Kitap Yayın Dağıtım Hizmetleri.
- Dhanawade, D., & Bhatwadekar, S. (2017). **A Review On Types Of Powder Bed Fusion Process In Additive**. International Journal Of Engineering Technology Science And Research IJESR, 992.
- Ege Bölgesi Sanayi Odası (2017). **Sanayi 4.0**. Ebso Araştırma Müdürlüğü Yayını
- Formlabs. (2017). **The Ultimate Guide To Stereolithography (SLA) 3D Printing**.
- France, A. K. (2016). **Make: 3d Printing – The Essential Guide To 3d Printers**. Usa: Maker Media.
- Gürbüz, A. A. (2014). **Üç Boyutlu Animasyonların Hazırlık Aşamasında Üç Boyutlu Yazıcı Kullanımının Avantajları**. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Kütahya: Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Han, T., Kundu, S., Nag, A., & Xu, Y. (2019). **3D Printed Sensors For Biomedical Applications**. MDPI, 5.
- Karaarslan, M. H. (2015). **3 Boyutlu yazdırma Teknolojisi: Sosyo-Ekonomik Etkileri İçin Yeni Ufuklar**. Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi.
- Khorsandi, D., Fahimipour, A., Sepehr , S., Amir , A., & Andrea , A. (2018). **Fused Deposition Modeling And Stereolithography**. Ecronicon, 111.
- Küçüksolak, S. (2019). **Üç Boyutlu Yazıcıların Eğitimde Kullanımı: Öğrenciler Üzerine Bir Uygulama** (Master's Thesis, Aksaray Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Lantada, A. D., de Blas Romero, A., Schwentenwein, M., Jellinek, C., & Homa, J. (2016). **Lithography-based ceramic manufacture (LCM) of auxetic structures: present capabilities and challenges**. Smart Materials and Structures, 25(5), 054015.

- Lipson, H., ve Kurman, M. (2013). **Fabricated: The New World Of 3D Printing**. John Wiley and Sons.
- Longwei, Y., Huitcan, S., Xingtian, Q., ve Zho, W. (2016). **The Fused Deposition Modeling 3D Printing**. **International Conference On Electrical, Mechanical And Industrial Engineering**, 201-203.
- Mazzoli, A. (2013). **Selective laser sintering in biomedical engineering**. **Medical & biological engineering and computing**, 51(3), 245-256.
- Mehmet, G. Ü. L. (2018). **Biyomedikal Mühendisliğinde Kullanım Amaçlı 3D Yazıcı Geliştirilmesi**. **International Journal Of 3D Printing Technologies And Digital Industry**, 2(3), 85-92.
- Oktay, K. (2015). **Ergitmeli yığma yöntemiyle üretim yapan 3D yazıcılarda çift filament süren ekstruder tasarımı**. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Kontstrüksiyon Programı.
- Rajesh, R., Sudheer, S., ve Mithun, V. (2015). **Selective Laser Sintering Process –A Review**. **International Journal Of Current Engineering And Scientific Research (IJCESR)** , 98.
- Ruiz, M., Frías, M., Rider, R., Guillén, A., & Rangel , A. (2015). **Fundamentals Of Stereolithography, An Useful Tool**. **ODOVTOS-International Journal Of Dental Sciences**, 19-20.
- Saraçyakupoğlu, T. (2020). **Havacılık Endüstrisinde 3 Boyutlu Üretim Uygulamalarının Uçuşa Elverişlilik Kural ve Düzenlemelerine Göre Değerlendirilmesi**. **International Journal of 3d Printing Technologies and Digital Industry**, 4(1), 53-65.
- Shihab, F. (2017). **The Disadvantages Of 3D Printing**. **Steemit**: <https://Steemit.Com/Printing3d/@Fathin-Shihab/The-Disadvantages-Of-3d-Printing> Erişim Tarihi: 10.09.2020
- Siemens (2014). **Endüstri 4.0 Yolunda Kitapçığı**
- Stidham, P., & Attaran, M. (2017). **The Coming Age Of 3d Printing**. **Ise Magazine**.
- Şahin, K., Ve Turan, B. O. (2018). **Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojilerinin Karşılaştırmalı Analizi**. **Stratejik Ve Sosyal Araştırmalar Dergisi**, 2(2), 97-116.

- Taormina, G., Sciancalepore, C., Bondioli, F., & Messori, M. (2018). **Special Resins For Stereolithography: In Situ Generation Of Silver Nanoparticles**. *Polymers*, 10(2), 212.
- Tatlı, O. (2020). **Üç boyutlu yazıcı tasarımı, imalatı ve dolgu geometrisinin mekanik özelliklere etkisi** (Doctoral dissertation, Bursa Uludag University (Turkey)).
- Xu, X., Awad, A., Martinez, P. R., Gaisford, S., Goyanes, A., & Basit, A. W. (2020). **Vat Photopolymerization 3D Printing For Advanced Drug Delivery And Medical Device Applications**. *Journal Of Controlled Release*.
- Yang, Y., Zhou, Y., Lin, X., Yang, Q., & Yang, G. (2020). **Printability Of External And Internal Structures Based On Digital Light Processing 3D Printing Technique**. *Pharmaceutics*, 12(3), 1-16.
- Yuran, A. F. (2022). **Üç boyutlu yazıcılar için yeni bir ekstruder tasarımı ve optimizasyonu**. Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İnternet Kaynakları

- <https://www.3bfab.com/bilgi-merkezi/konu/3d-printing-nedir-3d-yazicilar-nasil-calisir>, (15.07.2021).
- <https://www.3boyutluyazicilar.net>, (01.12.2020).
- <https://www.3byazici.com/2013/08/pla-ve-absnin-karslastirilmasi.html> (13.10.2020).
- <https://www.3byazici.com/p/3d-yazici-nedir.html>, (01.09.2020).
- <https://www.3dbaskial.com/3d-yazdirma-teknolojilerinin-tarihi-uzerine/> Erişim Tarihi: 20.08.2021
- <https://www.3dprinting.lighting/category/3d-printed-optics/> Erişim Tarihi: 11.01.2021
- <https://www.3dprintingmedia.network/additive-manufacturing/am-technologies/laser-engineered-net-shaping-lens/> (20.12.2020).
- <https://www.3dprintingmedia.network/additive-manufacturing/am-technologies/what-is-nanoparticle-jetting/> (16.11.2020).
- <https://www.3dsystems.com/30-years-innovation> (15.12.2020).
- <https://www.4bmuhendislik.com.tr/3d-yazici-tarihi-ve-gelisim-sureci/> (16.10.2020).

<https://www.additive-x.com/blog/selective-heat-sintering-shs-work/> (16.11.2020).

<https://www.airwolf3d.com/shop/petg-filament/> (09.09.2020).

<https://www.amazon.co.uk/Printer-Filament-Dimensional-Accuracy-Material/dp/B07NZZXXFR> (11.09.2020).

<https://www.arkitera.com/haber/dunyanin-ilk-3d-baski-ile-uretilen-okulu> (17.06.2021).

<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=18176> (18.11.2020).

<https://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing> (16.11.2020).

<https://www.eklemeliimalat.info.tr/2-eklemeli-imalat-teknolojileri/> (18.12.2020).

https://www.en.wikipedia.org/wiki/Laminated_object_manufacturing (25.08.2021).

https://www.en.wikipedia.org/wiki/Objet_Geometries (15.12.2020).

<https://www.en.wikipedia.org/wiki/Stratasys> (25.08.2021).

<https://www.fkfilament3d.com/fosforlu-strong-pla-filament-1-kg> (11.09.2020).

<https://www.hubs.com/knowledge-base/how-design-parts-binder-jetting-3d-printing/> (19.05.2021).

<https://www.hubs.com/knowledge-base/introduction-material-jetting-3d-printing/#what> (15.05.2021).

<https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/powderbedfusion/> (21.12.2020).

<https://www.luxexcel.com/the-luxexcel-technology/> (20.05.2021).

<https://www.matterhackers.com/store/3d-printer-filament/175mm-abs-filament-blue-1-kg> (11.09.2020).

<https://www.muhendisol.com/2018/07/01/3d-yazicilarin-tarihi/> (16.10.2020).

<https://www.optomec.com/printed-electronics/aerosol-jet-technology/> (18.08.2021).

https://www.photonics.com/Articles/Two_Photon_Polymerization_Additive_Manufacturing/a61133 (15.05.2021).

<https://www.priyoid.com/fdm/> (05.02.2021).

<https://www.prototip.org/katmanli-uretim-teknolojileri/plastik-uretim/fdm/> (13.09.2020).

<https://www.reprap.org/wiki/Darwin> (05.02.2021).

<https://www.rhino3dprinter.com/urun/e3d-nozzle> (11.09.2020).

<https://www.sculpteo.com/en/glossary/lom-definition/> (16.03.2021).

<https://www.stratasys.com/3d-printers/technologies/fdm-technology>. (24.05.2021).

<https://www.tasarimdanimalata.com/anasayfa/3d-printer-baski/> (18.08.2021).

<https://www.tridprinter.com/dunden-bugune-3d-yazici-tarihi/> (18.08.2021).

https://www.trumpf.com/tr_TR/coezuemler/uygulamalar/aditif-imalat/laser-metal-deposition-lmd/ (15.03.2021).

<https://www.web.mit.edu/tdp/www/whatis3dp.html> **Web.mit.edu**. What is Three Dimensional Printing. (15.12.2020).

<https://www.xaar.com/media/1679/xa-045307-pu-2-high-speed-sintering-for-3d-printing-applications-white-paper.pdf> (16.12.2020).