

## Çok boyutlu yazıcılardan baskısı farklı parametrelerle alınan numunelerin malzeme seçiminin deneysel analizi

*Experimental analysis of material selection of samples printed with different parameters from multidimensional printers*

**Kadir BEKAR<sup>1,a</sup>, Ufuk ÇİFCİ<sup>2,b</sup>, Arif ÖZKAN<sup>3,c</sup>**

<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojileri Bölümü, 81620, Düzce

<sup>2</sup>Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 81620, Düzce

<sup>3</sup>Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, 41380, Kocaeli

• Geliş tarihi / Received: 28.05.2020

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 07.01.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 13.04.2021

### Öz

Teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesi ile birlikte 3B (üç boyutlu) yazdırma teknolojileri de gerek baskı materyali veya yedek parça çeşitliliği gerekse de yazılım ve uygulama bakımından bu gelişimin bir parçası olarak günlük hayatımızda yerini almaktadır. Mevcut gelişmeler sonucunda uygunlaşan maliyetleri sebebi ile ulaşılabilirliği daha mümkün olan FDM (kaynamış birikim modelleme) teknolojisinin ilk örnek ve hobi olarak kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada 3B yazdırma teknolojilerinden biri olan FDM yönteminden yararlanılarak, kullanımı en yaygın materyaller olan ABS (akrilonitril bütadien stiren) ve PLA (polilaktik asit) ile farklı doluluk oranlarına sahip baskısı alınan numunelerin mekanik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. 3B yazdırma teknolojisi ile elde edilen baskıların malzeme türlerine göre kullanılabilirliğine dair çeşitli öneriler sunulmuştur. Bu kapsamda; PLA materyalinin ABS materyaline kıyasla daha yüksek çekme dayanımı sağladığı, ABS materyalinin PLA materyaline kıyasla daha düşük eğilme dayanımı gösterdiği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** 3B yazdırma, İmalat, İmalat parametreleri, Malzeme

### Abstract

With the rapid development of technology, 3D (three-dimensional) printing technologies also take their place in our daily lives as a part of this development in terms of printing material or spare parts variety, software and application. As a result of current developments, FDM (fused accumulation modeling) technology, which is more accessible due to its lower costs, is becoming widespread as a first example and hobby. In this study, using the FDM method, which is one of the 3D printing technologies, the mechanical properties of the samples printed with different filling ratios with ABS (acrylonitrile butadiene styrene) and PLA (polylactic acid), which are the most common materials to use, were experimentally investigated. Various suggestions are presented regarding the usability of the prints obtained with 3D printing technology according to the material types. In this context; It was concluded that PLA material provides higher tensile strength compared to ABS material, and ABS material has lower flexural strength compared to PLA material.

**Keywords:** 3D printing, Manufacturing, Manufacturing parameters, Material

<sup>b</sup> Ufuk ÇİFCİ; ufuk.cfc90@gmail.com, Tel: (0535) 067 97 69, orcid.org/0000-0002-3317-7254

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0003-1394-0248

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0002-1288-6166

## 1. Giriş

Üretim modelinin bir basamağı olan imalat, ürün elde edebilmesi açısından yarı mamulden mamul hale getirme işlemidir. İstenilen amaca uygun olmakla beraber farklı üretim metotları da gelişim göstermektedir (Boyacı, 2010). Eklemeli imalatla alışılmamış imalat yöntemleri olarak bu gelişmelere öncülük etmektedir. Birçok alanda olduğu gibi üretim sektöründe de gelişen teknoloji ve üretim metotları sayesinde ürün geliştirme sürecinin azaldığı gözlemlenmektedir (Durgun, 2015).

Plastik türevleri, polimer, metal ve metal alaşımları, seramik vb. gibi geniş bir yelpaze ile bilgisayar teknolojisi eşliğinde üç boyutlu katı obje üretmeyi mümkün kılan yeni jenerasyon imalat teknolojisinin keşfi 1970'li yıllara kadar uzanmaktadır (Hakan Verdu Martinez vd., 2016). Çok boyutlu yazdırma işlemi ise, dijital ortamda hazırlanan CAD (bilgisayar destekli tasarım) dosyaları kullanılarak belirli işlemler uygulandıktan sonra katı nesnelere elde etme sürecidir. Bu işlemleri yapan yazıcıların kullanım alanları çeşitli olup bu yöntemle elde edilen modellerin kısa sürede incelenip değerlendirme yapılması ve tersine mühendislik gerektiren uygulamalarda kullanılması mümkün hale gelmiştir. Günümüzde klasik yöntemler ile işlenmesi zor ve neredeyse imkânsız olan karmaşık yapıya sahip ürünler bu teknoloji sayesinde kolaylıkla oluşturulabilir hale getirilmiştir (Çelik, 2015; Gür, 2017; Korkmaz, 2014; Maden vd., 2016; Rindfleisch vd., 2017).

3B yazıcılar dijital ortamda tasarlanan veya tarama ile elde edilen modelleri plastik, metal, seramik veya biyolojik mürekkep gibi amacına uygun farklı materyaller kullanılarak fiziksel ürünler elde etme

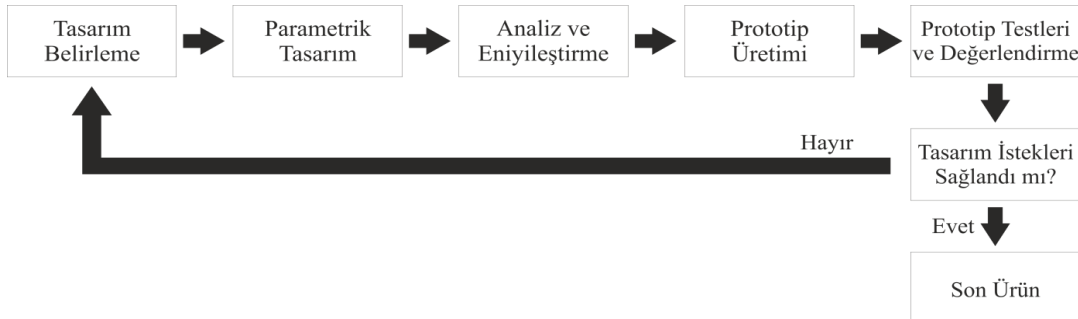
teknolojisidir (Rayna vd., 2009; Satyanarayana vd., 2015). Ürün tasarımlarının ve prototiplerinin test etmek amaçlı kullanılabilir olması, fabrika sistemlerine gerek duymadan ayrı parçaların talebe uygun üretilmesi bu teknolojinin en önemli özelliklerindedir (Yampolskiy vd., 2016).

## 2. Üç boyutlu yazdırma teknolojileri

3B yazdırma teknolojilerinde, genellikle materyal düzlemsel bir tabla üzerine katmanlar halinde üst üste yığılır ve böylece baskı işlemi gerçekleştirilmiş olur. Günümüzde pek çok katmanlı üretim yöntemi geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir. SLM (seçici lazer eritme), ya da DMLS (doğrudan metal sinterleme), SLS (seçici lazer sinterleme), FDM gibi bazı yöntemler katmanların üretilmesi için malzemeyi eritirken ya da yumuşatırken, diğer metotlar SLA (stereolitografi cihazı) gibi farklı gelişmiş teknolojileri kullanarak reçine gibi sıvı malzemeleri noktasal şekilde sertleştirerek birbirleri ile birleştirmektedir (Aydın, 2014; Campbell vd., 2012; Çifci vd., 2018a; Huang vd., 2013).

Eklemeli imalatla, öncelikli olarak bir üç boyutlu model dosyası yaratılmakta, daha sonra bu modelin üretilmesi için gerekli takım yolları uygun bilgisayar yazılımı ile oluşturulmaktadır. Yazılım sayesinde, STL (stereolitografi) adı verilen bir kod oluşturulmaktadır. Sonrasında, tercih edilen üretim yöntemi esas alınır, uygun cihaz seçilerek ve parametreler oluşturularak, üretim yapılmaktadır (Çelik vd., 2017; Novakova-Marcincinova vd., 2012; Wong vd., 2012).

Prototip üretim süreci sırasında uygulanması gereken adımlar Şekil 1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 1. Prototip üretim süreci (Ekici vd., 2009)

3B yazdırma teknolojilerine ait yöntemler uygulaması yapılacak sektör göz önünde bulundurularak tercih edilmelidir. FDM yöntemi diğer yöntemlere kıyasla yedek parça maliyetlerinin uygun ve ulaşılabilir olması sebebi

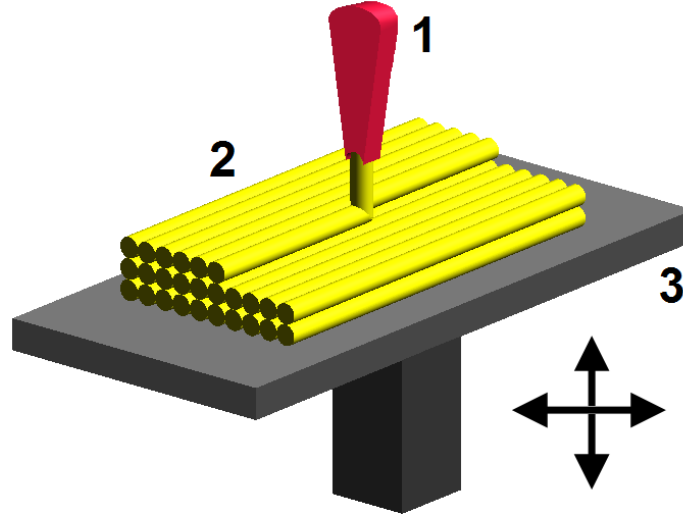
ile hobi amaçlı kullanıcılar tarafından en çok tercih edilen 3B yazdırma teknolojisi olarak göze çarpmaktadır (Arı, 2016; Çifci vd., 2018b; Kun, 2016).

## 2.1. FDM teknolojisi

Bu teknoloji kâğıt, balmumu, reçine, seramik, plastik, termoplastik, çikolata, metal ve alaşımları vb. materyaller ile kullanıma uygun ve uygulanabilirliği açısından diğer teknolojilere nazaran daha kolay bir yöntemdir. Elde edilmek istenen katı model filament adı verilen baskı materyalinin x, y ve z eksenlerinde hareket eden piriç, alüminyum vb. ısıtıcı uç yardımı ile eritilmesi neticesinde elde edilir (Berman, 2012;

Çifci vd., 2019a; Güneş, 2018; Wong vd., 2014). Yazdırma esnasında gerektiği durumlarda destek yapıları da oluşturulabilir.

FDM teknolojisi kullanan 3B yazıcılar tip olarak Kartezyen, corexy ve delta tipi olmak üzere üçe ayrılır. Her birinin yapısal tasarımı farklılık göstermesine rağmen üretim sürecinde uyguladığı işlemler aynıdır. FDM teknolojisinin yazdırma işlemi Şekil 2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. FDM teknolojisi yazdırma işlemi (Zureks, 2008)

Bu teknolojinin en önemli özelliği ise karmaşık yapıya sahip gerek iç içe sarmal gerek ince işlemeli tasarımlarda kullanıcıya imalat imkânı sağlamasıdır. Baskısı alınacak geometrik modelin karmaşık yapısının hiçbir önemi olmamakla beraber bu teknoloji tüm tasarımları tek parça halinde yazdırma özelliğine sahiptir (Çifci vd., 2019b).

## 3. Materyal ve yöntem

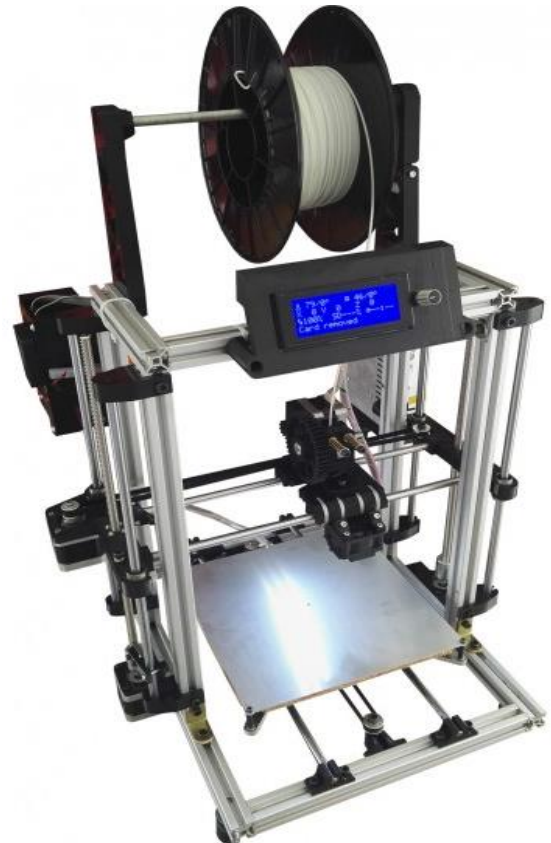
Deneyler kapsamında tercih edilen materyal ve uygulanan yöntemler çalışmanın bu kısmında belirtildiği gibidir.

### 3.1. Materyal

#### 3.1.1. Çalışmada kullanılan üç boyutlu yazıcı

Deneyler kapsamında oluşturulan numuneler FDM teknolojisi kullanan Kartezyen tipi 3B yazıcı ile elde edilmiştir. Tamamen Türk tasarımı olan bu yazıcı, açık kaynaklı ve patentli, FDM tipi 3B yazıcıdır.

Çalışmada kullanılan çok boyutlu yazıcı Şekil 3'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan çok boyutlu yazıcı (Kalmaz, 2020)

### 3.1.2. Çalışmada kullanılan baskı materyalleri

Bu çalışmada FDM teknolojisi ile kullanımı en yaygın olan ABS ve PLA materyalleri ile numunelerin baskıları alınmıştır.

ABS materyali termoplastik özelliğe sahip olup strese karşı ortalama bir direnç gösteren rijit bir yapısı vardır. Genel olarak ergime sıcaklığı 210°C-250°C aralığındadır. Deneylerde kullanılan ABS materyalinin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1'de gösterildiği gibidir (Kuzu Demir vd., 2016; Olivera vd., 2016).

**Tablo 1.** Deneylerde kullanılan ABS materyalinin fiziksel ve mekanik özellikleri (Sigma3D, 2020a)

Özellikler	Test Koşulu	Test Metodu	Birim	Tipik Değer
Özgül Ağırlık		D792	g/cm <sup>3</sup>	1.032
Çekme Mukavemeti	2mm/dk	D638	MPa	10.4
Elastik Modülü	2mm/dk	D638	GPa	0.80
Eğme Mukavemeti	1.15mm/dk	D790	MPa	43.05
Eğme Modülü	1.15mm/dk	D790	GPa	2.18
İzod Darbe Dayanımı		D256	kJ/m <sup>2</sup>	30.45
Geçiş Sıcaklığı Tayini		D3418	°C	100.59-100.08
Isıl Defleksiyon		D648	°C	64.3-61.0
Shore D Sertlik		D2240		78.0-89.5
Erime Akış Hızı	190°C/2.16kg	D1238	g/10dk	4.31AB

PLA materyali ergime sıcaklığı ve kopma uzaması özellikleri bakımından dezavantajlı olup, boyutsal kararlılığı ve baskı sırasında sağladığı kolaylık bakımından avantaj sağlamaktadır. Ergime sıcaklığı 170°C-220°C aralığındadır. Deneylerde

kullanılan PLA materyalinin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2'de gösterildiği gibidir (Madhavan Nampoothiri vd., 2010; Murariu vd., 2014).

**Tablo 2.** Deneylerde kullanılan PLA materyalinin fiziksel ve mekanik özellikleri (Sigma3D, 2020b)

Özellikler	Test Metodu	Birim	Tipik Değer
Özgül Ağırlık	D792	g/cc	1.24
Erime Akış Hızı	D1238	g/10 dk	6 (210°C / 2.16kg)
Bağıl Viskozite	D5225		4
Erime Sıcaklığı	D3418	°C	145°-160°
Geçiş Sıcaklığı Tayini	D3418	°C	55°-60°
Gerilme Dayanım Gücü	D882	MPa	60
Kopmada Çekme Dayanımı	D882	MPa	53
Çekme Uzaması	D256	%	6
İzod Darbe Dayanımı	D256	kJ/m <sup>2</sup>	16
Eğme Mukavemeti	D790	MPa	83
Eğme Modülü	D790	MPa	3.8
Isıl Defleksiyon	E2092	°C	55

### 3.2. Yöntem

Bu çalışmada 3B yazdırma teknolojisi ile baskısı alınan farklı doluluk oranlarına sahip numuneler

üzerinde çekme mukavemeti ve eğme mukavemeti deneyleri gerçekleştirilmiştir. Uygulamalara ait deneysel tasarım çizelgesi Tablo 3'te gösterildiği gibidir.

**Tablo 3.** Uygulamalara ait deneysel tasarım çizelgesi

Materyal Türü	DENEY TÜRÜ						Toplam
	Çekme Mukavemeti			Eğme Mukavemeti			
	Doluluk Oranı						
	%20	%40	%60	%20	%40	%60	
ABS	3	3	3	3	3	3	18
PLA	3	3	3	3	3	3	18
<b>Toplam</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>36</b>

Çekme mukavemeti ve eğme mukavemeti deneyleri için numune boyutları yaygın olarak kullanılan ASTM D638 ve ASTM D790 standartları baz alınarak tasarlanmıştır (ASTM International, 2021).

Baskısı alınan numunelerin yazdırma parametreleri kullanılan materyalin cinsi, markası, ortam

koşulları ve kullanılan 3B yazıcının özelliklerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Parametreleri uygun koşullarda belirlemek için en iyi yöntem kalibrasyon için özel olarak tasarlanmış CAD dosyalarının yazdırılması ile tayin edilir. Bu çalışmada baskısı alınan numunelerin yazdırma parametreleri Tablo 4’te gösterildiği gibidir.

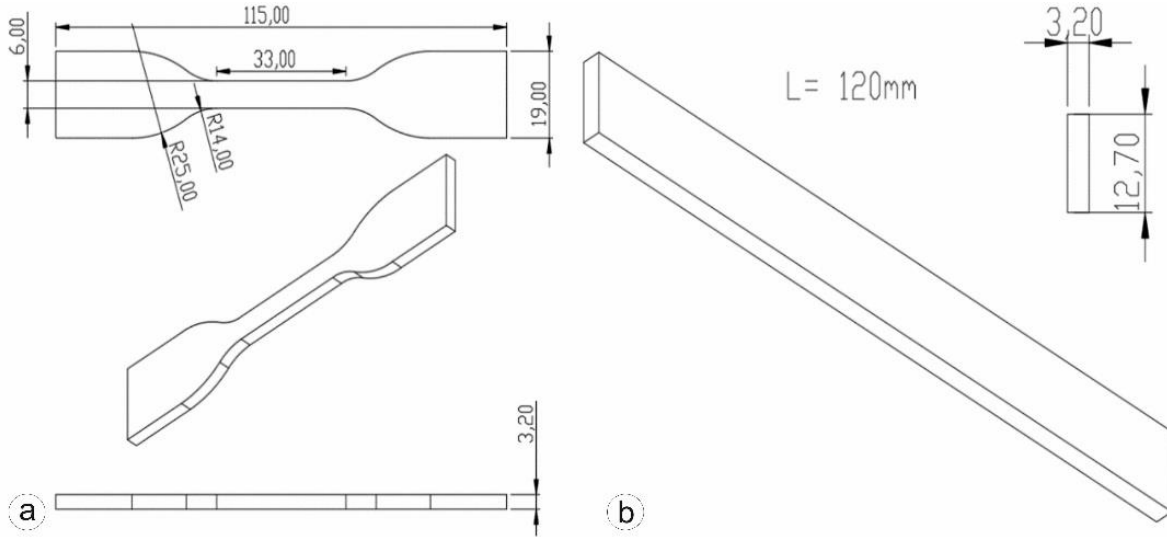
**Tablo 4.** Baskısı alınan numunelerin yazdırma parametreleri (Bekar, 2020)

Parametre	Birim	ABS	PLA
Filament Çapı	mm	1,75	1,75
Nozul Çapı	mm	0,4	0,4
Katman Yüksekliği	mm	0,3	0,3
Başlangıç Nozul Sıcaklığı	°C	220	210
Nozul Sıcaklığı	°C	210	190
Tabla Sıcaklığı	°C	90	60
Başlangıç Baskı Hızı	mm/s	15	15
Baskı Hızı	mm/s	50	50
Parça Soğutma Fanı	%	50	100
Alt Duvar Sayısı		3	3
Üst Duvar Sayısı		3	3
Anahat/Çevre Duvar Sayısı		2	2

### 3.2.1. Deney numunelerinin tayini

Çekme mukavemeti ve eğme mukavemeti deneyleri için tüm numuneler 300 µm katman

kalınlığı ile yazdırılmıştır. Çekme mukavemeti deneyi numunesine ait teknik resim Şekil 4 (a), eğme mukavemeti deneyi numunesine ait teknik resim Şekil 4’te gösterildiği gibidir (Kartal, 2017).



**Şekil 4.** (a) Çekme deneyi numunesi ve (b) Eğme deneyi numunesi teknik resmi

## 4. Bulgular ve tartışma

Deneyler kapsamında elde edilen sonuçlar çalışmanın bu kısmında belirtildiği gibidir.

### 4.1. Çekme mukavemeti deneyi bulguları

Farklı doluluk oranlarına sahip ABS materyali ile baskısı alınan numunelerin çekme mukavemeti deneyi sonuçları Tablo 5'te gösterildiği gibidir.

**Tablo 5.** ABS materyali ile baskısı alınan numunelerin çekme mukavemeti deneyi sonuçları

Doluluk Oranı (%)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastik Modül (GPa)	Kopmadaki Uzama (%)
20	22.5	1.32	10.06
	21.6	1.23	15.93
	21.7	1.25	7.63
<b>Ortalama</b>	<b>21,93</b>	<b>1,26</b>	<b>11,20</b>
40	22.4	1.36	11.66
	22.6	1.34	15.23
	21.8	1.27	10.76
<b>Ortalama</b>	<b>22,26</b>	<b>1,32</b>	<b>12,55</b>
60	23.7	1.26	11.68
	24.5	1.33	16.27
	25	1.37	16.89
<b>Ortalama</b>	<b>24,4</b>	<b>1,32</b>	<b>14,94</b>

Farklı doluluk oranlarına sahip PLA materyali ile baskısı alınan numunelerin çekme mukavemeti deneyi sonuçları Tablo 6'da gösterildiği gibidir.

**Tablo 6.** PLA materyali ile baskısı alınan numunelerin çekme mukavemeti deneyi sonuçları

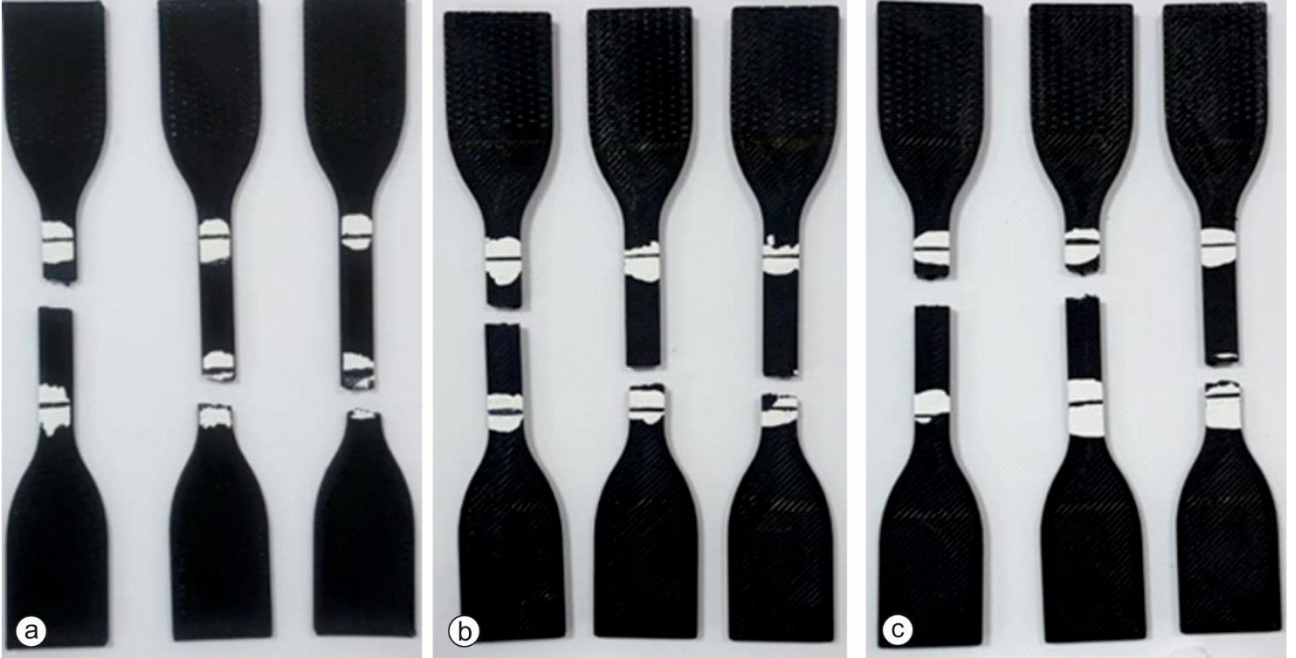
Doluluk Oranı (%)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastik Modül (Gpa)	Kopmadaki Uzama (%)
20	42.5	1.97	1.53
	42	2.05	1.7
	42.8	2.2	4.66
<b>Ortalama</b>	<b>42,43</b>	<b>2,07</b>	<b>2,63</b>
40	42.9	2.48	3.32
	43.3	2.31	3.42
	44.4	2.86	2.47
<b>Ortalama</b>	<b>43,53</b>	<b>2,55</b>	<b>3,07</b>
60	48	2.36	2.37
	46.1	2.58	4.71
	47.9	2.52	4.4
<b>Ortalama</b>	<b>47,33</b>	<b>2,48</b>	<b>3,82</b>

ABS materyali ile baskısı alınan numunelerin çekme mukavemeti deneyi sonrası görüntüleri doluluk oranlarına göre Şekil 5'te gösterildiği gibidir.



**Şekil 5.** ABS materyali ile baskısı alınan numunelerin çekme mukavemeti deneyi sonrası görüntüleri doluluk oranlarına göre (a) %20, (b) %40 ve (c) %60

PLA materyali ile baskısı alınan numunelerin çekme mukavemeti deneyi sonrası görüntüleri doluluk oranlarına göre Şekil 6'da gösterildiği gibidir.



**Şekil 6.** PLA materyali ile baskısı alınan numunelerin çekme mukavemeti deneyi sonrası görüntüleri doluluk oranlarına göre (a) %20, (b) %40 ve (c) %60

#### 4.2. Eğme mukavemeti deneyi bulguları

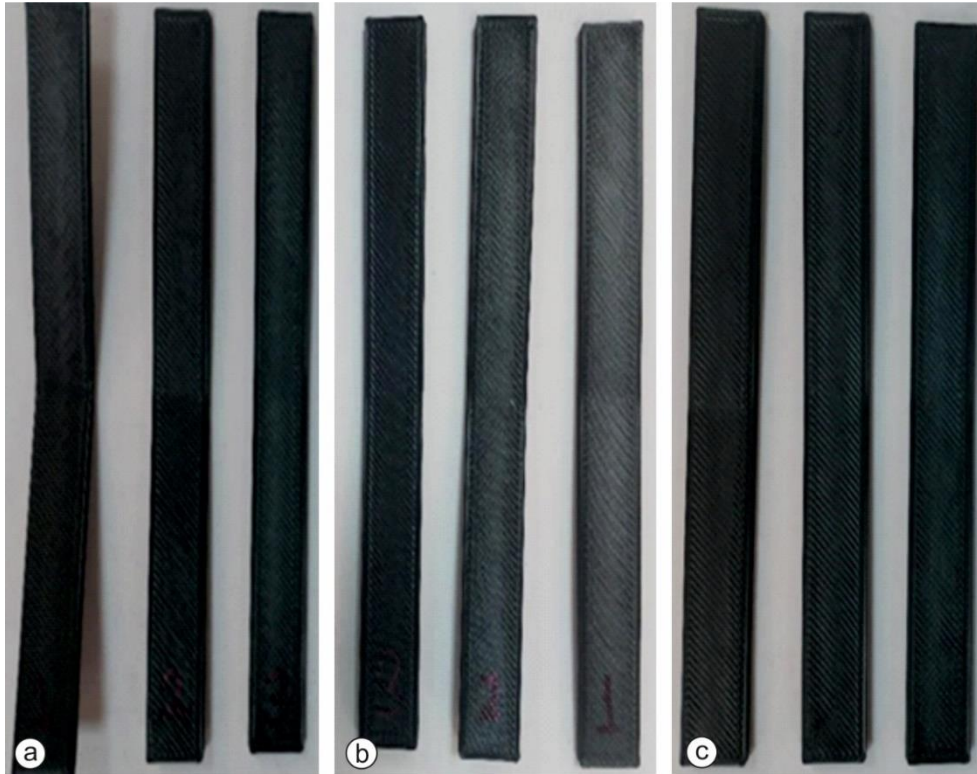
Farklı doluluk oranlarına sahip ABS ve PLA materyalleri ile baskısı alınan numunelerin eğme

mukavemeti deneyi sonuçları Tablo 7'de gösterildiği gibidir.

**Tablo 7.** Farklı doluluk oranlarına sahip ABS ve PLA materyalleri ile baskısı alınan numunelerin eğme mukavemeti deneyi sonuçları

Doluluk Oranı (%)	Materyal	
	ABS (MPa)	PLA (MPa)
20	30.37	63.86
	29.92	61.86
	29.55	64.03
<b>Ortalama</b>	<b>29,94</b>	<b>63,25</b>
40	30.26	62.68
	29.29	64.54
	28.69	62.33
<b>Ortalama</b>	<b>29,41</b>	<b>63,18</b>
60	34.42	66.9
	34.85	64.24
	35.46	66.91
<b>Ortalama</b>	<b>34,91</b>	<b>66,01</b>

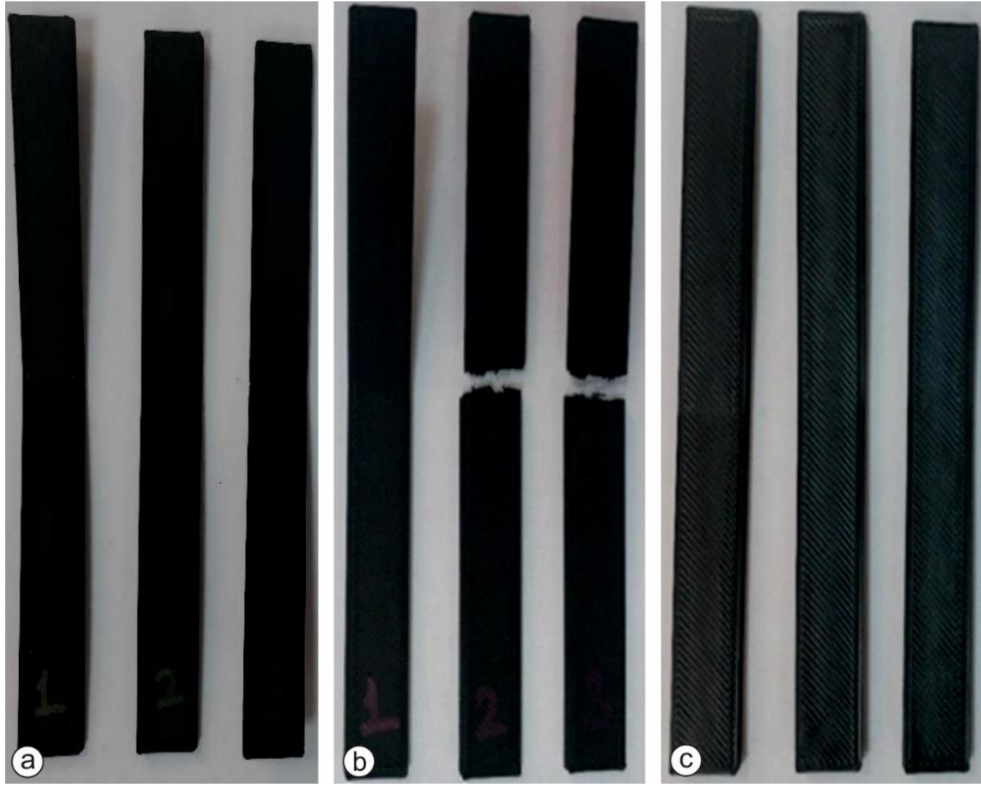
ABS materyali ile baskısı alınan numunelerin eğme mukavemeti deneyi sonrası görüntüleri doluluk oranlarına göre Şekil 7’de gösterildiği gibidir.



**Şekil 7.** ABS materyali ile baskısı alınan numunelerin eğme mukavemeti deneyi sonrası görüntüleri doluluk oranlarına göre (a) %20, (b) %40 ve (c) %60

PLA materyali ile baskısı alınan numunelerin eğme mukavemeti deneyi sonrası görüntüleri doluluk oranlarına göre Şekil 8’de gösterildiği gibidir.





**Şekil 8.** PLA materyali ile baskısı alınan numunelerin eğme mukavemeti deneyi sonrası görüntüleri doluluk oranlarına göre (a) %20, (b) %40 ve (c) %60

## 5. Tartışma ve Sonuçlar

Çalışmada yapılmış olan deneyler sonucunda elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler bu bölümde incelenmiştir.

Yapılan çalışmalar kapsamında çekme mukavemeti deneylerinde;

- ABS materyal ile %20 doluluk oranında baskısı alınan numunelerde ortalama çekme mukavemeti değeri 21,93 MPa, kopmadaki uzamanın ise %11,2 olduğu,
- PLA materyal ile %20 doluluk oranında baskısı alınan numunelerde ortalama çekme mukavemeti değeri 42,43 MPa, kopmadaki uzamanın ise %2,63 olduğu,
- ABS materyal ile %40 doluluk oranında baskısı alınan numunelerde ortalama çekme mukavemeti değeri 22,26 MPa, kopmadaki uzamanın ise %12,55 olduğu,
- PLA materyal ile %40 doluluk oranında baskısı alınan numunelerde ortalama çekme mukavemeti değeri 43,53 MPa, kopmadaki uzamanın ise %3,07 olduğu,

- ABS materyal ile %60 doluluk oranında baskısı alınan numunelerde ortalama çekme mukavemeti değeri 24,4 MPa, kopmadaki uzamanın ise %14,94 olduğu,
- PLA materyal ile %60 doluluk oranında baskısı alınan numunelerde ortalama çekme mukavemeti değeri 47,33 MPa, kopmadaki uzamanın ise %3,82 olduğu,
- ABS ve PLA materyal ile baskısı alınan numunelerde doluluk oranı arttıkça az da olsa çekme mukavemeti ve kopma uzamasındaki değerlerinde doğru oranda arttığı,
- Baskısı alınan numunelerde tüm doluluk oranları temel alındığında ortalama çekme mukavemeti değeri ABS materyalde 24,40 MPa, PLA materyalde ise 47,33 MPa olduğu,
- Baskısı alınan numunelerde tüm doluluk oranları temel alındığında ortalama kopmadaki uzamanın ABS materyalde %12,9, PLA materyalde ise %3,17 olduğu,
- PLA materyallerin ABS materyallerine göre bütün doluluk oranlarında daha iyi çekme dayanımı sağladığı, fakat PLA materyallerin

ABS materyallerine göre daha düşük elastikiyet gösterdiği,

sonuçları elde edilmiştir.

Yapılan çalışmalar kapsamında eğme mukavemeti deneylerinde;

- Baskısı alınan numunelerde %20 doluluk oranları baz alındığında ortalama eğme mukavemeti değeri ABS materyalde 29,94 MPa, PLA materyalde 63,25 MPa olduğu,
- Baskısı alınan numunelerde %40 doluluk oranları baz alındığında ortalama eğme mukavemeti değeri ABS materyalde 29,41 MPa, PLA materyalde 63,18 MPa olduğu,
- Baskısı alınan numunelerde %60 doluluk oranları baz alındığında ortalama eğme mukavemeti değeri ABS materyalde 34,91 MPa, PLA materyalde 66,01 MPa olduğu,
- Baskısı alınan numunelerde tüm doluluk oranları baz alındığında ortalama eğme mukavemeti değeri ABS materyalde 31,42 MPa, PLA materyalde 64,15 MPa olduğu,
- ABS ve PLA materyal ile baskısı alınan numunelerde doluluk oranı arttıkça eğme mukavemetinin de doğru oranda artmadığı bu oranların %40 doluluk oranında ortaya çıktığı, fakat %60 doluluk oranının her iki materyalde de en yüksek eğme mukavemetine sahip olduğu,
- Ortalama eğme mukavemeti değerleri karşılaştırıldığında PLA materyalin ABS materyale göre daha iyi eğme dayanımı sağladığı,

sonuçları elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyler sonucunda PLA materyalinin ABS materyaline kıyasla daha yüksek çekme dayanımı ve eğme mukavemeti sağladığı, PLA materyalinin ABS materyaline kıyasla düşük uzama katsayısına sahip olup daha kırılğan bir yapıda olduğu sonucuna varılmıştır. Baskısı alınan materyalin markası, 3B yazdırma işleminin gerçekleştiği ortam koşulları ve kullanılan 3B yazıcının özelliklerine göre sonuçlarda çıkan değerler değişiklik gösterecektir. Bu çalışmada en ideal ortam koşulları ve baskı parametreleri seçilmiştir. Üretilen ürünlerin uygulama esnasında kullanımına istinaden gerekli şartlar sağlandığı takdirde bu çalışmadaki deney

sonuçları dikkate alınarak malzeme seçimi yapılması önerilmektedir.

## Kaynaklar

- Arı, A. (2016). Beş parmaklı protez robot el. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- ASTM International: Standards and Publications. (2020, 05 January). Access adress <https://www.astm.org/Standard/standards-and-publications.html>.
- Aydın, L. (2014). Üç boyutlu yazıcıyla ayak bileği ortezinin tasarımı ve geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Bekar, K., Çifci, U. ve Özkan, A. (2020). 3D yazdırma teknolojileri ile farklı parametre ve materyaller ile baskısı alınan numunelerin çekme dayanımı üzerine etkisi: Literatür araştırması. International Marmara Sciences Congress (Spring 2020) (ss. 778-787). Kocaeli.
- Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. Business Horizons, 55(2), 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003>
- Boyacı, N. (2010). İmalat için tasarım ve temel kurallarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Campbell, I., Bourell, D. and Gibson, I. (2012). addvite manufacturing rapid prototyping comes of age. Rapid Prototyping Journal, 18(4), 255-258. <https://doi.org/10.1108/13552541211231563>
- Çelik, D. (2015). Üç boyutlu yazıcı tasarımı, prototipi ve tersine mühendislik uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Çelik, K. ve Özkan, A. (2017). Eklemeli imalat yöntemleri ile üretim ve onarım uygulamaları. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(1), 107–121.
- Çifci, U., Özkan, A. ve Akgül, İ. (2018). Üç boyutlu tasarım ve imalat teknolojilerinin imalat için tasarıma olan etkilerinin incelenmesi. 3rd International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry (ss. 486–493). Antalya.
- Çifci, U., Özkan, A. ve Akgül, İ. (2019). Üç boyutlu yazdırma teknolojilerinin maliyet ve destek malzemesi gereksinimleri yönünden kıyaslanması ve imalat sektöründe uygulanabilirliği. 4th International Congress on 3d Printing (Additive Manufacturing)

- Technologies and Digital Industry (ss. 482–488). Antalya.
- Çifci, U., Özkan, A. ve Taşdemirci, Ç. (2019). Üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin hızlı prototip uygulamaları için farklı materyaller aracılığıyla yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(3), 1627–1643. <https://doi.org/10.29130/dubited.544192>
- Çifci, U. (2018b). Üç boyutlu tasarım ve imalat teknolojilerinin imalat için tasarıma olan etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Durgun, İ. (2015). Tabakalı hızlı prototipleme yöntemlerinin karşılaştırılması. XIII. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu ve Sergisi (s. 13). İstanbul.
- Ekici, B. ve Yaltrık, H. (2009). FDM (fused deposition modeling) yöntemi ile çalışan hızlı prototip cihazlarında kullanılan abs filament telin üretilmesi. *Makine Tasarım ve İmalat Dergisi*, 11(1), 39–34.
- Güneş, M. (2018). Kompozit baskı yapan üç boyutlu yazıcının geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Gür, Y. (2017). Üç boyutlu masa üstü yazıcı ile matematiksel bir modelden gerçek bir nesnenin dijital üretimi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 237–245. <https://doi.org/10.25092/baunfbed.342365>
- Hakan Verdu Martinez, E. ve Can, E. (2016). Bilgisayar destekli seramik üretim yöntemi olarak üç boyutlu yazıcılar ve günümüz koşullarında uygulama örneği. *Sanat & Tasarım Dergisi*, 6(1), 1–14. <https://doi.org/10.20488/www-std-anadolu-edu-tr.290760>
- Huang, S.H., Liu, P., Mokasdar, A. and Hou, L. (2013). Additive manufacturing and its societal impact: A literature review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67(5–8), 1191–1203. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4558-5>
- Kalmaz, C. (2020, Mayıs 20). Sigma3D yerli açık kaynak yazıcı. <https://3boyutlubaski.com/2020/04/sigma3d-yazici-yapimi-asamalari/>
- Kartal, F. (2017). Taguchi metodolojisi ile eriyik yığıma modelleme süreci parametrelerinin optimizasyonu. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 1(1), 49–56.
- Korkmaz, B. (2014). 3B Yazıcı: Atlantik ve avrasya rekabetinde yeni bir faktör. *U.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 17–30.
- Kun, K. (2016). Reconstruction and development of a 3d printer using fdm technology. *Procedia Engineering*, 149(2016), 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.657>
- K, Demir., E.B., Çaka, C., Tuğtekin, U., Demir, K., İslamoğlu, H. ve Kuzu, A. (2016). Üç boyutlu yazdırma teknolojilerinin eğitim alanında kullanımı: Türkiye'deki uygulamalar. *Ege Eğitim Dergisi*, 17(2), 481–503. <https://doi.org/10.12984/eggeefd.280754>
- Maden, H., Kamber, Ö., Dipcin, E., Uğur, H., Özsarıkaya, B. ve İğneci, A. (2016). FDM Teknoloji ile üretilen prototip parçalarının hataları ve hataların önlenmesi. 3 Boyutlu Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu (ss. 56–59). İstanbul.
- Madhavan Nampoothiri, K., Nair, N.R. and John, R.P. (2010). An overview of the recent developments in polylactide (pla) research. *Bioresource Technology*, 101(22), 8493–8501. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.05.092>
- Murariu, M., Laure-Dechief, A., Paint, Y., Ramy-Ratiarison, R., Dubois, P. and Marie-Raquez, J. (2014). Recent advances in production of poly(lactic acid) (pla) nanocomposites: A versatile method to tune crystallization properties of pla. *Nanocomposites*, 1(2), 71–82. <https://doi.org/10.1179/2055033214Y.0000000008>
- Novakova-Marcincinova, L., Novak-Marcincin, J., Barna, J. and Torok, J. (2012). Special materials used in fdm rapid prototyping technology application. *INES 2012 - IEEE 16th Int. Conf. Intell. Eng. Syst. Proc.* (pp. 73–76). Lizbon. <https://www.doi.org/10.1109/INES.2012.6249805>
- Olivera, S., Muralidhara, H.B., Venkatesh, K., Gopalakrishna, K. and Vivek, C.S. (2016). Plating on acrylonitrile–butadiene–styrene (abs) plastic: A review. *Journal of Materials Science*, 51(8), 3657–3674. <https://doi.org/10.1007/s10853-015-9668-7>
- Rayna, T. and Striukovai, L. (2009). The impact of 3d printing technologies on business model innovation. *Digital Enterprise Design and Management*, 3(2), 358–369. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-04313-5\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-04313-5_11)
- Rindfleisch, A., Hern, M. and Sachdev, V. (2017). The digital revolution, 3d printing, and innovation as data. *The Journal of Product Innovation Management*, 34(5), 681–90. <https://doi.org/10.1111/jpim.12402>

- Satyanarayana, B. and Prakash, K.J. (2015). Component replication using 3d printing technology. *Procedia Materials Science*, 10(2015), 263–269. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.06.049>
- Sigma3D-PowerABS Fiziksel, Mekanik ve Termal Özellikleri. (2020a, 10 Nisan). Erişim adresi <https://sigma3dprinter.com/belgeler/powerabs-test-sonuçlari.pdf>.
- Sigma3D-PowerPLA TDS. (2020b, 10 Nisan). Erişim adresi <https://sigma3dprinter.com/belgeler/PowerPLA TDS.pdf>.
- Wong, J.Y. and Pfahnl, A.C. (2014). 3D Printing of surgical instruments for long-duration space missions. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 85(7), 758–763. <https://doi.org/10.3357/ASEM.3898.2014>
- Wong, K. and Hernandez, A. (2012). A review of additive manufacturing. 2012 ISRN Mechanical Engineering. (pp. 1–10). <https://doi.org/10.5402/2012/208760>
- Yampolskiy, M., Skjellum, A., Kretzschmar, M., Overfelt, R.A., Sloan, K.R. and Yasinsac, A. (2016). using 3d printers as weapons. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*. 14(2016), 58–71. <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2015.12.004>
- Wikimedia File: FDM by Zureks Png. (2018, 21 May). Access adress [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FDM\\_by\\_Zureks.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FDM_by_Zureks.png)