



**T.C.  
HİTİT ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÜÇ BOYUTLU YAZICI KULLANILARAK ÜRETİLEN  
MALZEMELERİN YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRMEDE  
MUKAVEMETE ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Celal DEMİR**

**Çorum 2023**



**ÜÇ BOYUTLU YAZICI KULLANILARAK ÜRETİLEN MALZEMELERİN  
YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRMEDE MUKAVEMETE ETKİSİNİN  
DENEYSEL İNCELENMESİ**

**Celal DEMİR**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yüksek Lisans Tezi**

**TEZ DANIŞMANI  
Doç. Dr. Mert Şafak TUNALIOĞLU**

**Çorum 2023**

Celal DEMİR tarafından hazırlanan “Üç Boyutlu Yazıcı Kullanılarak Üretilen Malzemelerin Yapıştırıcı İle Birleştirmede Mukavemete Etkisinin Deneysel İncelenmesi” adlı tez çalışması 24/04/2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Mithat ŞİMŞEK .....

Doç. Dr. Mert Şafak TUNALIOĞLU .....

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf KANCA .....

Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun ..... tarihli ve..... sayılı kararı ile .....’ın ..... Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Prof. Dr. Muhammed Asif Yoldaş  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.



Celal DEMİR

# ÜÇ BOYUTLU YAZICI KULLANILARAK ÜRETİLEN MALZEMELERİN YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRMEDE MUKAVEMETE ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Celal DEMİR

ORCID: 0009-0006-0505-4149

HİTİT ÜNİVERSİTESİ

LİSANÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Yüksek Lisans Tezi

Nisan 2023

## ÖZET

Üç boyutlu yazıcı ile üretim tekniği son yıllarda oldukça sık olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem sayesinde plastik malzemeler kolay ve ucuz bir şekilde üretilmektedir. Üç boyutlu yazıcıların en büyük dezavantajlarından bir tanesi üretim alanının dar olması ve üretilen parça boyutlarının küçük olmasıdır. Bunu önleyebilmek için çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bu tekniklerin başında yapıştırıcı kullanılarak parça birleştirme gelmektedir. Bu çalışmada üç boyutlu yazıcılarda farklı malzemelerle üretilmiş parçaların farklı yapıştırıcılar kullanılarak birleştirilmesinin mukavemetleri deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda ABS, PLA ve PETG malzemelerden üretilen parçalar, Pattex ve Loctite yapıştırıcılarla farklı kesitlerde yapıştırılmıştır. Mukavemet testleri için çekme ve üç nokta eğme testleri uygulanmış, tam kesitli numuneler ile yapıştırılma işlemi yapılmış numunelerin mukavemetleri karşılaştırılmıştır.

Yapılan testler sonucunda PLA, ABS VE PETG malzemelerinden PLA daha dayanıklı ve PETG daha sünektir. Loctite HY 4070® ile yapıştırılan numuneler, Pattex 2K® ile yapıştırılan numunelere göre daha mukavemettir. Geçmeli tip birleştirme şekli, yüzeysel tip birleştirme şekline göre çekme gerilmeleri daha yüksek ölçülmüştür. Üç nokta eğme testine maruz kalan numuneler, çekme testlerine göre daha dayanıklıdır.

**Anahtar Kelimeler: Üç boyutlu yazıcı, ABS, PLA, PETG, Mukavemet**

**Bilim Kodu: 91438**

# **MATERIALS MANUFACTURED USING THREE-D PRINTER EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF STRENGTH IN JOINING WITH ADHESIVE**

Celal DEMİR

ORCID: 0009-0006-0505-4149

HİTİT UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL

Master of Science Thesis

April 2023

## **ABSTRACT**

The production technique with a three-dimensional printer has been used quite frequently in recent years. Thanks to this method, plastic materials can be produced easily and cheaply. One of the biggest disadvantages of 3D printers is that the production area is narrow, and the produced part sizes are small. Various techniques are used to prevent this. One of these techniques is joining parts using adhesive. In this study, the strengths of joining parts produced with different materials in three-dimensional printers using different adhesives were experimentally investigated. In experimental studies, parts made of ABS, PLA and PETG materials were bonded in different sections with Pattex and Loctite adhesives. Tensile and bending tests were applied for the strength tests, and the strengths of the full-section specimens and the bonded specimens were compared.

As a result of the tests, PLA is more durable and PETG is more ductile than PLA, ABS and PETG materials. Samples bonded with Loctite HY 4070® are more durable than samples bonded with Pattex 2K®. The stresses of the plug-in type connection were higher than the surface tension-type connection. Specimens subjected to the three-point bending test are more durable than the tensile tests.

**Keywords: Three-dimensional printer, ABS, PLA, PETG, Strength**

**Science Code: 91438**

## TEŞEKKÜR

İlgili alıőmanın gerekleőtirilmesinde, kendisine ne zaman danıősam bana kıymetli zamanımı ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan, herhangi bir sorun yaőadıđımda ekinmeden yanına gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini esirgemeyen danıőman hoca statüsünü hakkıyla yerine getiren kıymetli Doç. Dr. Mert Şafak TUNALIOĞLU' na teőekkürü bir borç bilir ve Őükranlarımı sunarım.

Ayrıca deneyler esnasında desteğini esirgemeyen Öğr. Gör. Dr. Emir AVCIOĞLU' na, motivasyon kaynaklarım ailem Ali DEMİR, Heycan DEMİR ve Elif DEMİR 'e, arkadaşlarım Ümran İNCİ, Anıl İnan BOLAT ve Serem Nur BAYRAM' a, numune basımı için Junior Builders firması Burak EKİCİ 'ye teőekkürlerimi sunarım.

Tez çalıőmam sresinde belirli dönemler çalışma saatlerimde esneklik gösteren Alapala Makina ailesine teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
RESİMLER DİZİNİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xv
GİRİŞ.....	1

### 1. BÖLÜM

#### EKLEMELİ İMALAT

1.1. Eklemeli İmalat Avantajları.....	6
1.2. Eklemeli İmalat Teknolojileri.....	6
1.2.1 Eriyik yığarak modelleme (Fused Deposition Modeling-FDM).....	7
1.2.2 Polimerizasyon yöntemi.....	7
1.2.3 Yapışık objeler yöntemi .....	7
1.2.4 Eritme yöntemi (Melting) .....	8
1.2.5 Bağlayıcı (Yapıştırıcı) Püskürtme (Binder Jetting-BJ) .....	8
1.2.6 3B Biyobaskı.....	9
1.3 Eklemeli İmalat Uygulama Alanları .....	9
1.4 Eriyik Yığma Modelleme (FDM)-Avantaj ve Dezavantajları.....	11
1.5 FDM Tekniğinde Kullanılan Malzemeler .....	13
1.5.1 ABS (Akrilonitril bütadien stiren).....	13
1.5.2 PLA (Polilaktik asit).....	13
1.5.3 Naylon (Nylon) .....	13
1.5.4 Polieter eter keton (PEEK) .....	14
1.5.5 Polietilen tereftalat (PET) .....	14

	<b>Sayfa</b>
1.5.6 Polieterimid (ULTEM PI).....	14
1.5.7 Termoplastik poliüretan (TPU).....	14

## **2. BÖLÜM**

### **YAPIŞTIRICILAR**

2.1 Yapıştırıcıların Görevleri.....	15
2.2 Yapıştırıcıların Özellikleri.....	16
2.3 Yapıştırıcılarda Kullanılan Polimerik Maddeler .....	16
2.3.1 Doğal yapıştırıcılar.....	16
2.3.2 Termoplastikler .....	16
2.3.3 Termosetler .....	17
2.3.4 Elastomerler .....	17
2.3.5 Polimer karışımları.....	17
2.4 Loctite ve Pattex Yapıştırıcıların İncelenmesi.....	17
2.4.1 LOCTITE HY 4070 .....	18
2.4.2 PATTEX 2K.....	19

## **3. BÖLÜM**

### **LİTERATÜR TARAMASI**

<b>3. LİTERATÜR TARAMASI.....</b>	<b>21</b>
-----------------------------------	-----------

## **4. BÖLÜM**

### **DENEYSEL ÇALIŞMA**

4.1 Test numuneleri.....	26
4.2 Test Numunelerinin İmalatı.....	28
4.3 Test Numunelerinin Yapıştırılması.....	31
4.4 Test Numunelerinin Adlandırılması.....	32
4.5 Testler .....	33
4.5.1 Test planı .....	35

## 5. BÖLÜM

### DENEYSEL SONUÇLAR

5.1 Çekme Testi Sonuçları.....	37
5.2 Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları.....	48

## 6. BÖLÜM

### SONUÇ VE ÖNERİLER

6.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	58
KAYNAKÇA.....	60
EK-1 TEST NUMUNELERİNİN KOPMA RESİMLERİ .....	64
EK-2 ÖZGEÇMİŞ .....	75

## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo</b>	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 1.1</b> Eklemeli İmalatta Kullanılan Üretim Teknolojilerinin Karşılaştırılması.....	<b>7</b>
<b>Tablo 2.1.</b> LOCTITE HY 4070 teknik bilgileri.....	<b>18</b>
<b>Tablo 2.2.</b> PATTEX 2K teknik bilgileri .....	<b>20</b>
<b>Tablo 4.1.</b> Plastik Malzemelerin Mekanik Özellikleri .....	<b>28</b>
<b>Tablo 4.2.</b> Test Numune Üretiminin Yazıcı Baskı Parametreleri.....	<b>30</b>
<b>Tablo 4.3.</b> Test Numunelerinin Kodlanması.....	<b>32</b>
<b>Tablo 4.4.</b> Çekme Testleri, Test Planı.....	<b>35</b>
<b>Tablo 4.5.</b> Üç Nokta Eğme testleri, test planı.....	<b>35</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Eklemeli İmalat İşlem Adımları .....	5
Şekil 1.2. 3D Baskı Yönteminin Uygulama Alanları EOS. ....	10
Şekil 1.3. FDM Üretim Aşamaları .....	12
Şekil 1.4. FDM Çalışma Prensibi .....	12
Şekil 4.1 Dairesel Kesit 520 Mm <sup>2</sup> Yüzey Alanı.....	26
Şekil 4.2. Dairesel Kesit 420 Mm <sup>2</sup> Yüzey Alanı.....	27
Şekil 4.3. Dairesel Kesit 196, Mm <sup>2</sup> Yüzey Alanı.....	27
Şekil 4.4. Kare Kesit 200 Mm <sup>2</sup> Yüzey Alanı.....	27
Şekil 4.5. Kare Kesit 160 Mm <sup>2</sup> Yüzey Alanı.....	28
Şekil 4.6. Kare Kesit yatay 160 Mm <sup>2</sup> Yüzey Alanı .....	28
Şekil 5.1 Üç boyutlu yazıcılarda üretilen dairesel geometri test numunelerinin çekme test sonuçları (a)- ABS, (b)-PETG ve (c)-PLA.....	38
Şekil 5.2. ABS malzemedan üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin çekme mukavemet değerleri. (a- Alan=520 mm <sup>2</sup> b- Alan= 420 mm <sup>2</sup> c- Alan= 196 mm <sup>2</sup> ).....	39
Şekil 5.3 PETG malzemedan üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin çekme mukavemet değerleri. (a- Alan=520 mm <sup>2</sup> b- Alan= 420 mm <sup>2</sup> c- Alan= 196 mm <sup>2</sup> ).....	40
Şekil 5.4. PLA malzemedan üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin çekme mukavemet değerleri (a- Alan=520 mm <sup>2</sup> b- Alan= 420 mm <sup>2</sup> c- Alan= 196 mm <sup>2</sup> ).....	40
Şekil 5.5. ABS malzemedan üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin çekme mukavemet değerleri (a- Alan=520 mm <sup>2</sup> b- Alan= 420 mm <sup>2</sup> c- Alan= 196 mm <sup>2</sup> ).....	41
Şekil 5.6. PLA malzemedan üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin çekme mukavemet değerleri (a- Alan=520 mm <sup>2</sup> b- Alan= 420 mm <sup>2</sup> c- Alan= 196 mm <sup>2</sup> ).....	42
Şekil 5.7. PETG malzemedan üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin çekme mukavemet değerleri (a- Alan=520 mm <sup>2</sup> b- Alan= 420 mm <sup>2</sup> c- Alan= 196 mm <sup>2</sup> ).....	42
Şekil 5.8. Üç boyutlu yazıcılarda üretilen kare geometri test numunelerinin çekme testi sonuçları (a)- ABS, (b)-PETG ve (c)-PLA.....	43

<b>Şekil 5.9.</b> PLA malzemeden üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin çekme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm <sup>2</sup> b- Alan= 160 mm <sup>2</sup> c- Alan= 160 mm <sup>2</sup> ).....	<b>44</b>
<b>Şekil 5.10.</b> ABS malzemeden üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin çekme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm <sup>2</sup> b- Alan= 160 mm <sup>2</sup> c- Alan= 160 mm <sup>2</sup> ).....	<b>45</b>
<b>Şekil 5.11.</b> PETG malzemeden üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin çekme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm <sup>2</sup> b- Alan= 160 mm <sup>2</sup> c- Alan= 160 mm <sup>2</sup> ).....	<b>46</b>
<b>Şekil 5.12.</b> PLA malzemeden üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin çekme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm <sup>2</sup> b- Alan= 160 mm <sup>2</sup> c- Alan= 160 mm <sup>2</sup> ).....	<b>46</b>
<b>Şekil 5.13.</b> ABS malzemeden üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin çekme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm <sup>2</sup> b- Alan= 160 mm <sup>2</sup> c- Alan= 160 mm <sup>2</sup> ).....	<b>47</b>
<b>Şekil 5.14.</b> PETG malzemeden üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin çekme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm <sup>2</sup> b- Alan= 160 mm <sup>2</sup> c- Alan= 160 mm <sup>2</sup> ).....	<b>48</b>
<b>Şekil 5.15.</b> Üç boyutlu yazıcılarda üretilen dairesel geometri test numunelerinin üç nokta eğme mukavemeti değerleri (a)- ABS, (b)-PETG ve (c)-PLA.....	<b>49</b>
<b>Şekil 5.16.</b> ABS malzemeden üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=520 mm <sup>2</sup> b- Alan= 420 mm <sup>2</sup> c- Alan= 196 mm <sup>2</sup> ).....	<b>49</b>
<b>Şekil 5.17.</b> PETG malzemeden üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=520 mm <sup>2</sup> b- Alan= 420 mm <sup>2</sup> c- Alan= 196 mm <sup>2</sup> ).....	<b>50</b>
<b>Şekil 5.18</b> PLA malzemeden üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=520 mm <sup>2</sup> b- Alan= 420 mm <sup>2</sup> c- Alan= 196 mm <sup>2</sup> ).....	<b>51</b>
<b>Şekil 5.19</b> ABS malzemeden üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=520 mm <sup>2</sup> b- Alan= 420 mm <sup>2</sup> c- Alan= 196 mm <sup>2</sup> ).....	<b>51</b>
<b>Şekil 5.20</b> PLA malzemeden üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=520 mm <sup>2</sup> b- Alan= 420 mm <sup>2</sup> c- Alan= 196 mm <sup>2</sup> ).....	<b>52</b>
<b>Şekil 5.21</b> PETG malzemeden üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=520 mm <sup>2</sup> b- Alan= 420 mm <sup>2</sup> c- Alan= 196 mm <sup>2</sup> ).....	<b>52</b>
<b>Şekil 5.22</b> Üç boyutlu yazıcılarda üretilen kare geometri test numunelerinin üç nokta eğme mukavemeti değerleri (a)- ABS, (b)-PETG ve (c)-PLA.....	<b>53</b>

**Şekil****Sayfa**

<b>Şekil 5.23</b> ABS malzemededen üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm <sup>2</sup> b- Alan= 160 mm <sup>2</sup> c- Alan= 160 mm <sup>2</sup> ).....	<b>54</b>
<b>Şekil 5.24.</b> PETG malzemededen üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm <sup>2</sup> b- Alan= 160 mm <sup>2</sup> c- Alan= 160 mm <sup>2</sup> ).....	<b>54</b>
<b>Şekil 5.25.</b> PLA malzemededen üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm <sup>2</sup> b- Alan= 160 mm <sup>2</sup> c- Alan= 160 mm <sup>2</sup> ).....	<b>55</b>
<b>Şekil 5.26.</b> PLA malzemededen üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm <sup>2</sup> b- Alan= 160 mm <sup>2</sup> c- Alan= 160 mm <sup>2</sup> ).....	<b>55</b>
<b>Şekil 5.27.</b> PETG malzemededen üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm <sup>2</sup> b- Alan= 160 mm <sup>2</sup> c- Alan= 160 mm <sup>2</sup> ).....	<b>56</b>
<b>Şekil 5.28.</b> PLA malzemededen üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm <sup>2</sup> b- Alan= 160 mm <sup>2</sup> c- Alan= 160 mm <sup>2</sup> ) .....	<b>57</b>

## RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
<b>Resim 4.1.</b> Numunelerin üretildiği üç boyutlu yazıcı .....	<b>29</b>
<b>Resim 4.2.</b> Kare kesitli parçaların üretim aşamaları .....	<b>30</b>
<b>Resim 4.3.</b> Dairesel kesitli parçaların üretim aşamaları .....	<b>31</b>
<b>Resim 4.4.</b> Test cihazı .....	<b>33</b>
<b>Resim 4.5.</b> Üç Nokta Eğme Testi Örnek Numune .....	<b>34</b>
<b>Resim 4.6.</b> Çekme Testi Örnek Numune.....	<b>34</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

n	Devir
F	Kuvvet
P	Basınç
C°	Derece santigrat
mm	Milimetre
s	Saniye
kN	Kilonewton
dk	Dakika
MPa	Megapascal

### Kısaltmalar

FDM	Fused Deposition Modelling
EYM	Eriyik Yığıma Modelleme
PLA	Polilaktik Asit
PETG	Polietilen tereftalat
ABS	Akrilonitril bütadien stiren
3D	Three Dimensional
CAD	Computer Aided Design
SBR	Stiren Bütadien Kauçuk
PET	Polietilen Tereftalat
ULTEM PI	Polieterimid
TPU	Termoplastik Poliüretan
PEEK	Polieter Keton
BJ	Binder Jetting
HMF	Hidroksimetilfurfura

## GİRİŞ

Tüm disiplinlerde giderek kullanımı artan üç boyutlu yazıcılar önemli avantajlar sağlayan mühendislik tasarımlarından biri haline gelmiştir. Üç boyutlu yazıcılar ve buna yönelik geliştirilen yazıcı teknolojileri, kişiye ve duruma özel hızlı ve kapasiteli üretim yapabilme olanağı sunmaktadır. Dünyanın her noktasına hızla iletilebilen veriler sayesinde ilerleme kaydeden bir sistemdir. Bu sayede yeni endüstriyel devrimin parçası haline gelmişlerdir. Değişen teknolojik gelişmelerle 5-10 yıl içerisinde büyük çaplı ilerleme gösterecek tüketici bazlı yazıcı teknolojilerinin konuşulacağı düşünülmektedir (K. Wendy, 2013).

3D baskı olarak da isimlendirilen katmanlı yapısı olan üretim, birçok sektörde önemli bir rol oynayan dönüştürücü bir üretim teknolojisidir. Endüstriyel sınıf 3D yazıcılar, önemli dinamikler için işlevsel parçalar üretmek amacı ile kullanılmaktadır. 3D baskı veya eklemeli imalat, bir Computer Aided Design (CAD) modelinden veya dijital bir 3D modelden üç boyutlu bir nesnenin oluşturulmasıdır. Malzemenin bir araya eklendiği (plastikler, sıvılar, polimerler veya toz tanecikler gibi), tipik olarak katman katman, bilgisayar kontrolü altında biriktirildiği, birleştirildiği veya katlaştırıldığı çeşitli işlemlerde yapılabilmektedir.

2010'ların başlarında, 3D baskı ve katmanlı üretim terimleri, biri popüler dilde üretici topluluklar ve medya tarafından, diğeri ise endüstriyel son kullanıcılar tarafından daha resmi olarak kullanılarak, katmanlı teknolojiler için alternatif üretim avantajları olduğunu ifade etmişlerdir. Parça üreticileri, makine üreticileri ve küresel teknik üretici kuruluşlarının kullanım alanlarına giren üretim tipi olmuştur. 3D baskı terimi bu yıllarda, fiyatı veya kapasitesi düşük makinelerle karşılaştırılmıştır. Avantaj ve dezavantajları konusunda literatürde birçok araştırmalar ve fikirler öne sürülerek bazı analizler yapılmış ve kullanım alanlarında 2012 yılında büyük artış görüldüğü ortaya çıkmıştır.

2020 yılı itibari ile 3D yazıcılar, hayli insanın 3D baskı dünyasına girmesine olanak sağlayan kalite ve fiyat düzeyine ulaşmıştır. Genellikle kullanılan birleştirilmiş birikim modelleme (FDM) yazıcılarıdır. Teknoloji olgunlaştıkça, birçok yazar 3D baskının gelişmekte olan dünyada sürdürülebilir kalkınmaya destek konusunda spekülasyon yapmaya başlamıştır.

Üç boyutlu olarak tasarlanmış olan bir nesnenin polimer, reçine, epoksi veya kompozit gibi malzemeler kullanılarak kimyasal işlemler ile üretilme işlemi üç boyutlu yazıcılar aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Bu üretim teknolojisinde üç boyutlu nesnelere katmanlar halinde üretim aşamalarına dahil edilmektedirler. Bu sebep ile üç boyutlu yazıcıların üretim teknolojisi katmanlı üretim olarak da adlandırılmaktadır.

Yazıcılarda ihtiyaç ve amaç dahilinde elde edilecek olan çıktının nitelikleri önceden belirlenmektedir. Bu üç boyutlu yazıcılarda avantaj sağlayacak hususlardan biridir. Diğer avantajlar ise aşağıdaki gibidir.

- İstenilen özellikler ve tasarımın dijital veriden oluşuyor olması sayesinde aktarımının kolay olması,
- Dijital ortamda her türlü revizelerin hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi,
- Marjinal ve hobi amaçlı üretimler için kolaylık sağlıyor olması,
- Karmaşık yapılar içeren her türlü kişiye özel ürünün üretilebiliyor olması, bunun örnekleri en çok sağlık sektöründe görülmektedir.
- Üretimin verimliliğine olan katkısının büyük olması,
- Kalıp çıkarma, metal işleme işlemleri veya işçi ücreti gerektirmeden prototip üretimin yapılabilmesi,
- Çıktı yani ürün fiyat analizinin önceden yapılıyor ve biliniyor olması,
- Klasik üretimlerden farklı bir yöntem olduğu için, 3D teknolojisi kullananlar, mühendisler ve dijital teknolojiler alanında çalışanlar için yeni bir iş olanağı sağlaması.

Teknolojinin henüz çözümlenmemiş kısmı olduğu düşünüldüğünde bu teknolojinin bazı sınırlılıkları da olabilmektedir. 3D yazıcıların sahip olduğu dezavantajlar aşağıda sıralanmıştır (Şahin, K., & Turan, B. O., 2018).

- Teknolojik alanda gelişim sağlayamamış ülkelerin üretim alanlarını olumsuz yönde etkileyecektir. Dijital alanda yetenek gerektirmesi, düşük yetenekli işçilerin işsiz kalmasına sebebiyet vereceği görülmektedir.
- 3D yazıcılarda minimal, minyatür tarzda ürünlerin üretimi yapılmaktadır. Ürün boyutu arttıkça maliyetin çok fazla olması, klasik üretim yöntemi tercihine sebep olmaktadır.
- Üretim aşamalarında kimyasal maddelerin kullanılıyor, bazı polimer ve radyasyon yayılımına sebep olmakta ve insan sağlığı için tehdit oluşturmaktadır.
- Genellikle plastik tarzı hammaddeler ile üretim yapılabilmekte, metal ve türevleri de az da olsa kullanılabilir. Kullanılabilen hammaddeler açısından yeterli çeşitlilik yakalanamamaktadır.
- 3D yazıcı ile üretimde bazı maddelerin eritilmesi aşamasında yüksek enerji gerektirmesi maliyet açısından sorun yaratmaktadır.
- Üretimde verinin dijital ortamda olması, parmak izi gibi özel üretimlerde ciddi önlemler alınması gerçeğinin kaçınılmaz kılar. Bu güvenlik önlemleri de maliyeti arttıran bir husustur.

- Seri üretim için uygun değildir. Seri üretimlerde hala klasik üretim sistemleri kullanılması gerektiği bilinmektedir. 3D ile üretim teknolojisi günümüzde pahalı teknolojilerdendir.

3D yazıcı teknolojisi tasarıma dayalı ürünlerin üretimi için gelecekteki kısıtlamaları ortadan kaldıracak bir teknolojidir. Bununla birlikte hacim sınırının olması, hacimce büyük modellerin bölümlendirilerek tasarlanmasını gerektirmektedir. Bu tasarlanan parçaların asıl ürünü oluşmak amacı ile birbirine bağlanması söz konusudur. Bu aşamada çeşitli bağlantı elemanları, tipleri ve hammaddeleri söz konusu olmaktadır (Çelik, T., Mutlu, İ., & Özkan, 2022).

Artan teknoloji ile kompleks yapısı olan ürünler ortaya çıktıkça en önemli üretim metotlardan biri de eklemeli ve katmanlı üretim yöntemleri olmuştur. Karmaşık ve ters açılı parçaların, alüminyum ve ahşap modellerle bile yapılamayacak helisel kavisli ve benzer geometri içi boş parçaların katmanlı üretim yöntemleriyle kum modelleri yapılarak döküm tekniği ile elde edilmesi mümkündür. Yapıştırıcı kullanımının gerektiği eklemeli olarak bilinen diğer yöntemde ise toz esaslı ana malzeme ve toz katmanları arasında yapışkan görevi gören ve genellikle sıvı halde bulunan yapıştırıcı olmak üzere iki çeşit malzeme kullanılmaktadır (Can, A., Aslan, İ., 2018).

3D yazıcı teknolojilerinin mühendislik, imalat sektörü, malzeme tasarımı alanında lazer teknolojisi gerektiren durumlarda farklı teknolojilerin bir araya gelmesi ile yeni yöntemler ortaya çıkmıştır. Kompleks ürün yapılarının varlığı ve giderek gelişim göstermesi ile parça birleştirme işlemlerine yönelik teknolojilerin önemi artmıştır.

1990 yıllarında prototip amaçlı üretim için kullanılan 3D yazıcılar artık eklemeli üretiminde bir adı olmuştur. Havacılık, sağlık, otomotiv, savunma gibi birçok üretim sisteminde teknolojinin değişmesi ile kullanım alanları da oldukça genişlemiştir. Bu sayede kullanılan karmaşık yapıları ürünlerin çeşitleri çok fazla olmuştur. Yeni yazıcı teknolojisi bu noktada devreye girerek karmaşık ve büyük yapıdaki parçaların üretiminde önemli rol oynamaktadır. Büyük yapıdaki ürünler parça parça ayrı yapılar halinde tasarlanarak dijital ortamda projelendirilmektedir. Bu aşamada birleştirilme işlemi söz konusu olup yapıştırıcı elemanlarının kullanımının önemi başlamaktadır. Yapıştırıcıların kullanıldığı birleştirme teknolojilerinde avantaj farklı cins malzemelerin birleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca yapıştırma yöntemi farklı yapı ve tipteki malzemeleri birleştirirken yapılarına zarar vermemeleri ve deformasyona sebep olmamaları açısından önem taşımaktadır (F. Awaja, Gilbert M, Kelly G, Fox B, 2009).

Yapıştırma özellikli kimyasalları kullanılarak birleştirme, metal yapıdaki parçalardan çok hafif yapıları parçalara kadar veya çok farklı yapı taşı malzemelerin bir araya getirilmesi gibi hususlarda yapılabilmektedir. Bu sayede çok farklı kombinasyonlar içerebilen ürünlerin üretiminde de kolaylık sağlanmaktadır. Fakat yapıştırıcı kullanarak birleştirme teknikleri çok fazla teknik ve uygulama bilgisi gerektirmektedir (Calignano, F vd., 2017). Uygulama anlatımı

her ne kadar kullanışlı, yararlı ve basit gibi görünse de ciddi anlamda yüzey kimyası bilgisi, polimer alanında geniş bilgi sahibi, malzeme kırılma teknikleri bilgisi, malzeme mekaniği alanında çalışmalar gerektiren bir konudur. Ayrıca literatürde termodinamik, moleküler mühendislik, difüzyon, mekanik ve kimyasal faktörlerden de etkilendiği açıklanmaktadır (W. C. Wake, 1982).

Bu çalışmada çeşitli hammaddeler kullanılarak (PLA, ABS ve PETG), eklemeli imalat yöntemi ile üretilen malzemelerin yapıştırılma sonucu mukavemetleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu sayede elde edilecek dayanım sonuçlarına göre birçok sektörde kullanılacak imalatların prototip çalışmalarına büyük ölçüde destek olacaktır. Bu çalışmanın 2. bölümünde eklemeli imalat, 3. bölümünde yapıştırıcılar, 4. bölümünde literatür incelemesi, 5. bölümünde deneysel çalışmalar, 6. bölümünde deneysel sonuçlar ve 7. bölümünde sonuçlar ve öneriler kısımları gösterilmiştir.



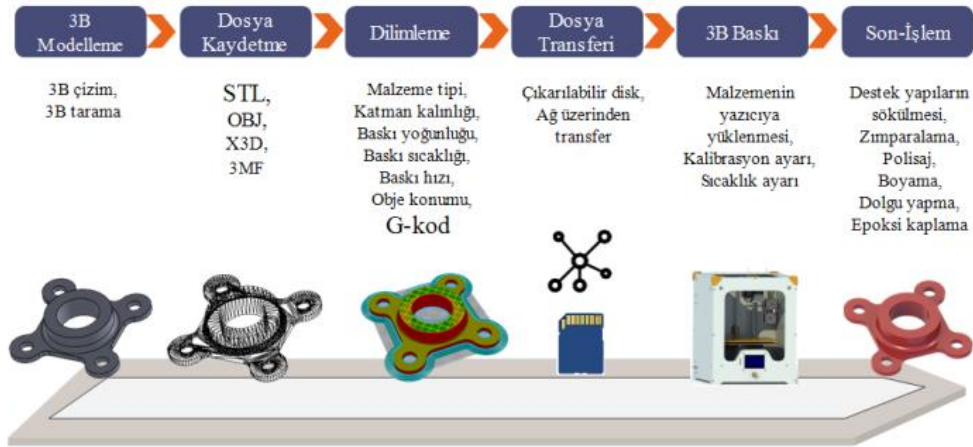
## 1.BÖLÜM

### EKLEMELİ İMALAT

Eklemeli (katmanlı) imalat bileşenler, metal, plastik, kompozit ve organik malzemeler kullanılarak objelerin üç boyutlu olmak üzere geometrik verilerine göre oluşturulan katman ve katman gruplarının üst üste konulup eklenmesi metoduna dayanan bir imalat yöntemidir. Eklemeli imalat, bir dizi endüstriyel sektörde hızla yayılan bir teknolojidir. Tasarım rahatlığı, parça boyutları açısından özgürlük ve ekolojik avantajlar sağlamaktadır. Bu imalat ile tasarım verileri tamamen işlevsel ürünlere dönüştürülmektedir (Xi J vd., 2012).

2010'lu yıllarından sonra en çok kabul gören ve tercih edilen bir üretim modelidir. Modelin temelinde eksenlerin yazıcı ana başı etrafında yörüngeler çizerek obje oluşturması vardır. Baş bölümünün görevi şekillendirmeyi yapmaktır. Şekillendirme esnasında polimerlerin ısı ile eritilerek model oluşumu sağlanmaktadır. En çok tercih edilen polimerler, yüksek mukavemet sağlaması ile Polilaktik Asit (PLA) ve Akrilonitril Butadin Stiren (ABS)'dir (Hod Lips, 2013).

Eklemeli imalat modelinde işlemler adım adım gösterilmiştir (Şekil 1.1). İşlem hattı olmadan ve kalıp gerektirmeyen, doğrudan tasarıma ve sonrasında üretime geçilebilen bir sistemdir.



**Şekil 1.1.** Eklemeli İmalat İşlem Adımları (ASTM, 2012; Asadollahi ve diğ., 2016; Calignano ve diğ., 2017).

İmalattaki ilerleyiş sırasıyla; dijital ortamda üretilmek istenen ürünün modelinin oluşturulması, ürün modeli dosyasının yazılıma uygun bir dosya formatına getirilmesi, dilimleme yazılımında katmanların oluşturularak G-kodlarının dökülmesi, kodların yazıcıya aktarılması, baskı kısmına geçiş için 3D yazıcı hazırlığı yapılarak baskının başlatılması ve son olarak elde edilen fiziksel ürün çıktısının son rötuş işlemlerinin yapılmasıdır (Sürmen, H. K., 2019).

## 1.1 Eklemeli İmalat Avantajları

Eklemeli üretim yöntemleri, geleneksel baskı işlemlerine göre, insan gücünün ve dolayısı ile hatasının az olduğu, malzeme israfının indirgenebildiği, ölçü hassasiyeti ve yüzey kalitesinin kodlanmış verilere göre optimum düzeyde olması ile kabul edilebilir olması gibi önemli avantajlar sağlamaktadır. Gelişen dünya teknolojinin karmaşık yapıları ürün ve objelerine kolaylıkla üretim cevabı verebilmesi ise yöntemin diğer bir artısıdır (Mariani, M. vd.,2021).

Eklemeli imalat yöntemlerinde sınırsız tasarım olanağı vardır. Tasarımdan üretime kısa sürede geçilebilmesi, kullanıma ve üretime etkinlik kazandırmaktadır. Kullanım amacı ve kullanılacak sektöre göre çok çeşitli eklemeli imalat teknolojileri geliştirildiği aşağıdaki bölümde açıklanmıştır. Genel olarak iki boyutlu düzlemde oluşturulan katmanların belli bir veriye göre biriktirilerek bir obje haline getirilmesi, tasarımın 3D boyutuna dökümünün pratikliğini göstermektedir (Yıldırım, vd., 2019).

Eklemeli imalat teknikleri, üretilecek parçanın geometrik karmaşıklığına ve kişiye özel tasarımına uyum sağlamaları nedeniyle büyük işgücü ve zaman gerekliliğini azaltarak rekabet avantajları sağlamaktadır. Elde edilebilecek ürünlerin hafif, ergonomik, karmaşık, az montaj hatası, çok farklı üretim süreçlerinin kolayca kombine edilmesi, hammadde, enerji ve zamanın optimize edilebilmesi daha sürdürülebilir bir üretim sürecine geçildiğinin de bir göstergesidir. Eklemeli üretim birçok noktada avantajlar sağlayan önümüzdeki birkaç yılın devrim niteliğinde endüstriyel süreçlerden olarak görülmektedir (Haleem, A., Javaid, M., & Saxena, A., 2018).

Bunun yanı sıra, üretim zamanının bazı aşamalarda uzayabilmesi, üretim yöntemine bağlı olarak malzeme çeşidi ve mukavemet değerlerinin değişiklik göstermesi durumları ile riskler de taşımaktadır. Ayrıca bazı özel hammadde ve birleştirici partiküllerin pahalı olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Mariani, M., Beltrami, R., Brusa, P., Galassi, C., Ardito, R., & Lecis, N., 2021).

## 1.2 Eklemeli İmalat Teknolojileri

Gelişen teknolojik ortamda sektörlerin ürün, imalat ve tasarım taleplerini karşılama gereksinimi farklı eklemeli imalat türlerinin gelişmesine imkân sağlamıştır. Eklemeli imalatın sınıflandırılması genel olarak, eklemeli imalat zincirinin besleme malzemesinin normuna göre belirlenmektedir. Besleme malzemesi sac, eriyik, toz ve tel normda olabilmekte ve aslında imalat sırasında üretilen obje veya yapının katı hale dönüşmesi besleme malzemesinin formuna göre sırasıyla eriyik katılaşması ve katı durumda birleşme şeklinde gerçekleşmektedir (Asadollahi-Yazdi, E., Gardan, J. ve Lafon, P., 2016). En sık kullanılan teknolojiler Tablo 1.1’de kategorilere ayrılarak bazı özellikleri ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

**Tablo 1.1.** Eklemeli İmalatta Kullanılan Üretim Teknolojilerinin Karşılaştırılması (Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies, 2012)

Tip	Kategori	Malzeme
Sıvı	Eriyik	Termoplastik
	Polimerizasyon	Fotopolimer, Seramik Veya Wax
Katı	Yapışık Objeler	Kağıt, Plastik Film, Metal Sac, Seramik Bant
Toz	Eritme	Poliamid, Polimer, Seramik Tozu, Metal Tozu, Erimiş Metal Tozu
	Yapıştırma	Seramik Tozu, Metal Tozu, Kum

Kullanılan üretim teknolojileri kategori olarak 5 ana başlık ile incelenmiştir. Eriyik yöntemi, Polimerizasyon yöntemi, Yapışık objeler yöntemi, Eritme ve Yapıştırıcı püskürtme. Son olarak gelecekte en çok ihtiyaç duyulacağı düşünülen 3D biyobaskı yöntemi de açıklanmıştır.

### 1.2.1 Eriyik yığarak modelleme (Fused deposition modeling-FDM)

Marjinal üretimler için yaygın kullanılan üretim şeklidir. Birçok masaüstü yazıcısı ve modeli ile çalışabilen düşük maliyetli üretim sistemidir. FDM teknolojisinde makaralara sarılmış termoplastik malzemeler genelde ABS, PLA ve karbon fiber materyallerden elde edilmiş filamentler kullanılır. Basma işleminden önce filamentin bir ucu ekstrüzyon kafasındaki yuvaya denk getirilir ve filamentler makine tarafından sıvı akış kontrolünü sağlamak amacı ile nozulun ucuna doğru itilir. G kodlamalarına göre nozul içerisinde hareket eden madde katmanlar oluşturarak objeyi tamamlar. Tüm katmanlar oluştuktan sonra ürün tamamlanır ve basım alanından sökülerek hazır hale gelir (Crump, S., 1992).

### 1.2.2 Polimerizasyon yöntemi

Sıvı halde bulunan reçine tabakasına lazer ışınlarının gönderilmesi ile veriler ışığında kürleştirilmesi gereken bölgelerin işlem görmesine dayanmaktadır. 3D yazıcıların eklemeli imalat mantığına göre kürleştirme işlemi yapılmaktadır (Hull, C. W., 1986). 3D dilimleme yazıcısı kullanılarak katmanlar G-kod verilerine göre elde edilir. Kodlara göre hareket eden foto lazer ışınları reçine tabakasını tarayarak gerekli bölümleri kürleştirir. Her reçine katmanı bu şekilde sıvama yaparak, katman katman ilerleme sağlanır. Sonuçta objenin tamamı bu şekilde üretilir. Bu sayede bir şekle sahip olmayan reçine ile geometrik yapı bir ürün elde edilmiş olur (Hornbeck, L. J., 1991).

### 1.2.3 Yapışık objeler yöntemi

Bu imalat biçiminde sık kullanılan parçalar, seramik, plastik, kâğıt gibi malzemelerdir. Bu teknolojide ekleme çıkartma teknikleri de kullanılabilir. Sac normundaki malzemenin



dilimlenmesi üç boyutlu veriler içeren kodlara göre kesilir. Bu işlem esnasında karbondioksit içerikli lazer kullanılır. Kesme işleminden sonra malzemenin bulunduğu platform tabakası sac kalınlığı kadar (0,05 mm- 5mm) aşağı indirilir ve üzerine yeni sac yapı getirilir. Oluşturulan katmanların birbirine yapıştırılması basınç ve ısıtma ile yapılmaktadır. Her kesilen katman bir sonraki aşama için taban desteği oluşturmaktadır (Kafle, A. vd., 2021). Üç boyutlu obje elde edilene kadar bu işlemler devam eder.

#### **1.2.4 Eritme yöntemi (Melting)**

Filament veya metal tozlarının geometrik veri takibi altında yüksek elektron ışını ile tamamen eritilmesi mantığına dayanmaktadır. Kaynaştırılarak elde edilen toz katmanları, bir platform yardımı ile belirlenen seviyelere göre aşağı indirilir ve üzeri metal tozlarla kaplanır. Bu işlemlerin tekrarı ile her seferinde yeni bir katman oluşur. Katmanların birleştirilmesi ile istenilen obje ortaya çıkmaktadır.

Eritme teknolojisinde vakum ortamı elektronların gaz molekülleri ile çarpışmasını önlerken reaktif metallerin oluşum sürecinde olumlu etki sağlamaktadır. Aynı anda büyük ölçüde enerji tüketiminin önüne geçilerek avantaj sağlanmış olmaktadır. EBM yüksek mukavemetli parçaların üretiminde oldukça tercih edilen bir teknolojidir (Chua vd., 2014).

Medikal ve havacılık sektörü ihtiyaçlarına yönelik yaygın kullanılan, yüksek maliyet nedeni ile ufak işyerleri ve bireysel kullanımları için uygun olmayan bir teknolojidir. Selective Laser Melting (SLM) teknolojisinde yüksek direnç ve biyo üretime uygun olan titanyum hammaddesi kullanımı ön plandadır. Bu sebeple sıcaklık kontrolü bu teknolojide büyük önem taşımaktadır.

#### **1.2.5 Bağlayıcı (Yapıştırıcı) püskürtme (Binder Jetting-BJ)**

Bu baskı biçiminde birleştirme işlemi yapılırken sıvı bağlayıcı kullanılmaktadır. Toz üzerine sıvı bağlayıcı eklenmesi ise katı katmanlar oluşturulur. İlk oluşturulan katman aşağı indirilerek üzerinde toz malzeme serilir. Bu işlemler art arda yapılarak ürün oluşturulur. SLS mantığındaki gibi metal tozları destek görevi görür (Mostafaei, A. vd., 2021).

Geleneksel Toz Metalürjisi ile üretim yönteminde parçaların üretilebilmesi için bir kalıp içerisinde tozların preslenmesi gerekmektedir. Ancak kalıp üretim maliyetleri yüksek olduğu için az sayıda ve kişiye özel üretimlerde üretim maliyetleri Binder Jetting yöntemine göre daha yüksek olmaktadır. Ayrıca sinterleme sonucunda meydana gelen boyut değiştirme sürecinin tam olarak tahmin edilememesi üretim maliyetlerini daha da artırmaktadır. Binder Jetting yönteminde kalıba ihtiyaç duyulmaması, üretim zamanının daha kısa olması ve kişiye özel ürünlerin kolaylıkla üretilebilmesi gibi faktörler dikkate alındığında daha ucuz ve sürdürülebilir olduğu görülmektedir (Shakor, P. vd., 2022).

### **1.2.6 3B Biyobaskı**

Gelecekte en çok kullanılıp bahsedilecek doku mühendisliğinde araştırmacıların 3B baskı teknolojisinin avantajlarından kullanma gereği ile ortaya çıkmıştır. Günümüzde doku mühendisliği, kas doku geliştirme ve rejeneratif tıpta en çok kullanılan yöntemlerden biri 3 boyutlu biyo baskı yöntemidir. 3 boyutlu biyo baskı, yaralı, darbe almış, kitleleşme göstermiş veya hastalıklı doku ve organların yerini alacak doku ve organ yapılarının üretiminde çeşitli uygulamalara sahip dönüşmekte olan bir teknolojidir. Bu yöntemde hücre birimleri, büyüme faktörleri ve biyo malzemeler kullanılarak ve 3D baskı teknikleri ile birleştirilir. Yapay olarak küçük birimlerden doku ve organlara kadar üretim sağlanır (Aydoğdu, vd., 2019). 3 boyutlu baskının en önemli bileşenlerinden biri biyofonksiyonel mürekkeplerdir. Biyofonksiyonel mürekkepler, 3 boyutlu biyo baskı işleminde kullanılan, biyolojik olarak çıktı alınımına uygun malzemelerdir (Akpek, A., 2018).

### **1.3 Eklemeli İmalat Uygulama Alanları**

Eklemeli imalat uygulama alanı günden güne genişleyen bir teknolojidir. Eğitim, eğlence, otomotiv, gıda, film ve mekanik gibi birçok sektörde, 3D baskısı artan hacmi ile yerini almaktadır. Wohlers 2018 raporuna da yansıyan bu genişleme ile ilgili bazı istatistikler açıklanmıştır. 2015-2018 yılları arası sırasıyla %25,9, %17,4 ve %21 artışla Pazar payı 7,3 milyar dolara ulaşmıştır. 2017' de %21 artış ile 7,3 milyar dolara ulaşmış, 2016 yılındaki sektördeki büyüme %17,4, 2015 yılında ise %25,9 olarak kayda geçmiştir (Wohlers Report, 2018).

Eklemeli imalat teknolojileri ilk önceleri birçok sektörde görsel bir doğrulama aracı olarak kullanılmıştır. Otomotiv endüstrisinde de parçaların prototiplerinin üretilmesi ile sınırlı olan teknoloji daha çok görsel analiz, testler ve kalite kontrol amacıyla kullanılmıştır. 3D yazıcı kullanılarak üretilen Urbee aracından sonra otomotiv sektöründe eklemeli imalat ile araçlarda kullanılacak fonksiyonel tamamlanmış obje parçalarının üretilebileceği fikri gelişmeye başlamıştır (Pîrjan A, Petroşanu, D.-M., 2013).

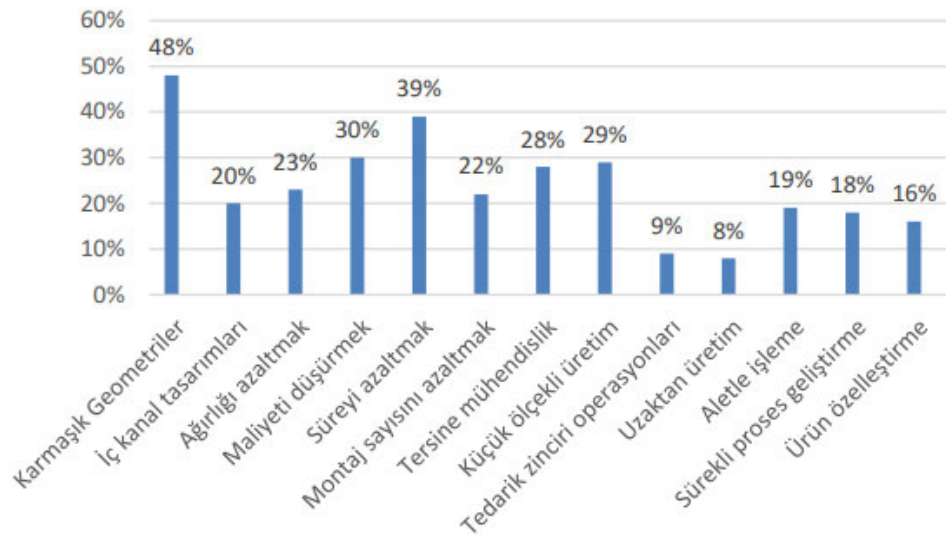
Bireysel 3D yazıcıların kullanılması ile fabrikalarda maliyetlerin ve tedarik süresinin en aza indirilebileceğinin ve aynı zamanda baskılama ve geniş hacimli şekillendirme makinelerinin kapladığı yerlerin daraltılması ve üretim hattının sadeleştirilebileceği öngörülmektedir. Havacılık endüstrisinde de 3B baskı teknolojilerinden, özellikle operasyonla ilgili karmaşıklığın, harcanan sürenin ve üretim maliyetlerinin optimal seviyede olmasında ve hava araçlarının imalatında kullanılan parçaların ağırlık ve kalitesinin optimal seviyede tutulması bakımından faydalanılmaktadır (Huang vd., 2016).

Ayrıca, hava araçlarını tamir etme ve temin etme konusunda sıkıntı yaşayan düşük gelirli ülkeler için 3D baskı teknolojilerini kullanma aşamasına geçmek, düşük maliyet ile bu aşamaları organize edebileceklerini göstermekte ve yeni fırsatlar sunmaktadır (Wang vd., 2018).

3B baskı teknolojilerini profesyonel amaçlar için kullanan ve fonksiyonel açıdan farklı objeler üretmede kullanan diğer bir alan ise biyomedikal sektördür. Biyomedikal cihazlar genellikle hastaya özel olarak tasarlanan, geleneksel imalat yöntemleri ile üretilmesi zor ve serbest formlu geometrik özelliklere sahip parçalardan oluşmaktadır. Bu tasarım özellikleri biyomedikal cihazların üretiminde 3D üretim dinamiklerinin kullanımını oldukça elverişli kılmaktadır (Sürmen, H. K., 2019).

Bunların dışında 3B baskımanın tıp sektörüyle bulunduğu diğer bir uygulama alanı ise 3B biyo baskıdır (Zhang vd. 2018). 3D yazıcılar kullanılarak üç boyutlu, fonksiyonel, yaşayan dokular üretmek mümkün olmaktadır. Bu yazıcılarda genel olarak hidrojel, silikon, protein solüsyonları gibi malzemeler kullanılmaktadır. Bu alanda çalışan araştırmacıların en büyük amaçlarından biri yakın gelecekte fonksiyonel, insan dokusu niteliğinde ve nakledilebilir organlar üretmektir. 3D baskı teknolojisinin üç boyutlu, karmaşık geometrili bir modeli doğrudan fiziksel bir objeye dönüştürebilmesi ve serbest formlu objelerin üretimindeki başarısı gıda sektörünün de dikkatini çekmiştir. Sektör çalışanları müşterilerinin istekleri doğrultusunda özel tasarlanan yiyecek ürünlerinin imalatı ve artistik sunumlar için bu teknolojiden faydalanmaktadırlar (Lipton vd., 2015).

Bu alanda FDM' nin yanı sıra SLS, SLA ve PJ eklemeli imalat teknolojileri de kullanılmaktadır. Akademik çalışmalarda ve patent sürecinde prototip modellerin üretiminde yoğun bir şekilde kullanılan 3D baskı teknolojilerinden hem üniversitelerde hem de ilk ve orta öğretim eğitim kurumlarında proje tabanlı öğrenim, tasarım odaklı düşünme ve analitik düşünme becerilerinin geliştirilmesi gibi konularda eğitim ve öğretim alanında da faydalanılmaktadır (McMenamin vd., 2014)



**Şekil 1.2.** 3D Baskı Yönteminin Uygulama Alanları EOS. (Industries and markets. [http://www.eos.info/industries\\_market](http://www.eos.info/industries_market) 22.07.2022).

Ürün özelleştirmeden montaj sayısını azaltmaya kadar birçok farklı amaç için kullanılan 3B baskı teknolojilerinin en çok karmaşık serbest formlu objelerin üretimine ve kısa sürede tasarımdan üretime doğrudan geçici olarak sağlamasından dolayı tercih edildiği görülmektedir.

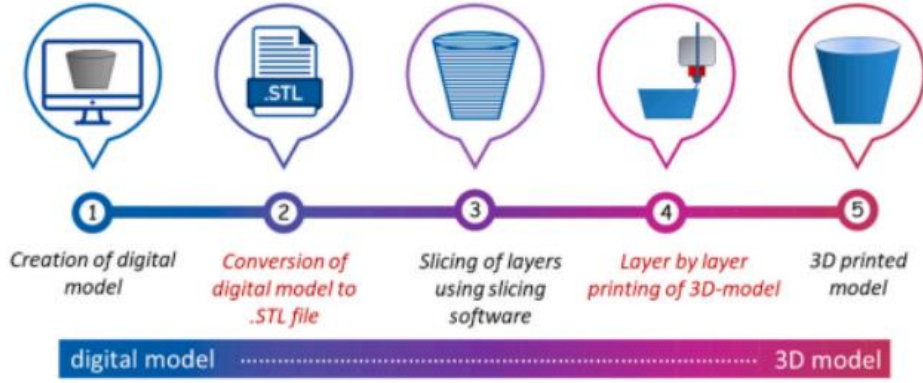
#### **1.4 Eriyik Yığıma Modelleme (FDM)-Avantaj ve Dezavantajları**

Polimer bazlı malzemeler, karmaşık şekillerin ve yapıların düşük genel maliyetlerle üretilmesindeki çok yönlü avantajları nedeniyle, bir eklemeli üretim süreci olan eriyik yığıma modellemesi (FDM) giderek daha seri üretilmektedir. Bu üretim yönteminin çok yönlülüğü, karmaşık geometriye objelerin basımında birçok gelişmiş endüstriyi bu basımı kullanmak üzere kendine çekmiştir.

Bu, FDM baskılı polimer yapıları malzemelerin mekanik mukavemetinin, özellikle de döngüsel yüklenme koşullarındaki yorulma davranışlarının incelenmesinin önemini vurgulamaktadır. Geleneksel olarak üretilen polimerik malzemeler (örneğin enjeksiyonlu kalıplama), FDM baskılı malzemelerden daha üstün yorulma performansına sahiptir (Matias E, vd., 2015). Geleneksel olarak üretilen parçaların aksine, FDM yöntemi sonucu oluşturulmuş parçaların her katmanında yapışma özelliği sağlanmıştır (Shanmugam, V. vd., 2021). Baskı parametrelerinin ve baskı malzemesi özelliklerinin etkileri, bu malzemelerin yorulma davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. FDM baskılı polimerlerin yorgunluğunun altında yatan mekanizma, bu malzemelerin yapısal uygulamalarda değerlendirilmesi için çok önemlidir.

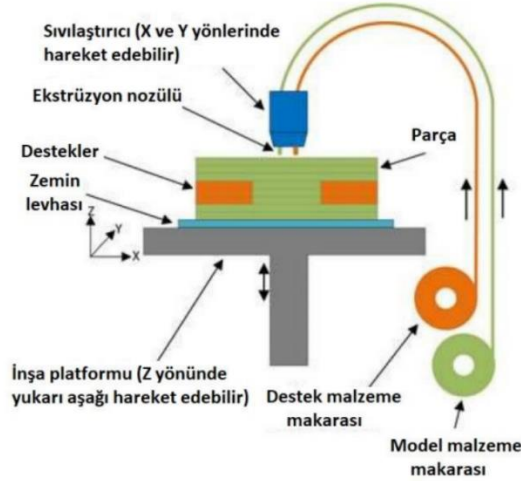
1989 yılında Scott Crump, FDM üretim modelini keşfederek Stratsys adlı şirketi kurmuştur. Şirket kuruluşu sonrası 2006 yılında ancak projeler oluşmuş ve istatistikler netleşmiştir. Bu projedeki 3 boyutlu uygulamalar üretim tekniklerine çok farklı boyutlar kazandırmıştır. FDM modeli ile üretim 3D üretim tekniklerinin oluşturduğu üretimin neredeyse %50' lik kısmını kapsar hale gelmiştir. Bu sayede kişiler ve bu teknolojiyi kullanan şirketler 3D üretim ile birçok gerekli parçaları üretebilecek ve geliştirme şansına sahip olabilecek kapasiteye ulaşmışlardır (Kashani, A., 2018). Zamanlama açısından bakıldığında, karmaşık yapılar bile kısa zamanda üretilmektedir. 3D yazıcı teknolojisinde en çok kullanılan malzemeler PLA ve ABS'dir.

Eklemeli üretim yöntemlerinden bir tanesi olan FDM'nin çalışma prensibinde tasarım verisi temel ihtiyaçlardandır. Uygun bir tasarım programında parça modellemesi yapılarak STL formatına dönüştürülmektedir. İşlem basamaklarının verisi üretim kodlarına çevrilerek üretim sürecinde kullanılmak üzere hazırlanır.



**Şekil 1.3.** FDM Üretim Aşamaları (<https://medium.com/@gamzeeren/ergiyik-biriktirme-modelleme-fused-deposition-modelling-fdm-b81aab9f0b25>)

FDM tipi üretim, enjeksiyon kalıplama gibi geleneksel üretimlerden daha az maliyetli olmakla birlikte, küçük sayılarda marjinal üretim objelerini üretmede süre açısından avantaj sağlayabilmektedir. Ayrıca geleneksel üretimi neredeyse imkânsız olan büyük ürünler için üretim olanağı sağlamaktadır. FDM tekniği, malzemeyi eriten ısıtılmış bir ekstrüzyon ucundan itilen plastik bir filament parçası kullanılmaktadır. Malzemeye bağlı olarak üretim sürecinde farklı zorluklar ortaya çıkabilmekte ve üretilen parçalar farklı mekanik özellikler gösterebilmektedir (Skowrya, J. Vd., 2015).



**Şekil 1.4.** FDM Çalışma Prensibi (Durgun, İ. vd., (2010))

Bu yöntemde malzeme olarak polimer filamentler kullanılır. Basılacak parçanın özelliğine ve kullanım alanına göre farklı polimer parçalar kullanılmaktadır. Standart filamentlerin yanı sıra kullanım amacına göre katkı maddeleri ile özelleştirilmiş filamentler de bu yöntemde kullanılmaktadır. Temizliğinin kolaylıkla yapılabilmesi, modelleme ve hesaplama detaylarını otomatik olarak desteklemeleri nedeniyle açık sistemli makinelere oranla çok daha fazla tercih

edilmektedirler. Bu baskı tekniğinin tercih edilmesinin temel nedenlerinden biri de geri dönüşüm özelliğinin olmasıdır. Kullanılan malzemeler insana ve doğaya kesinlikle zarar vermeyen geri dönüştürülebilir özelliktedirler.

### **1.5 FDM Tekniğinde Kullanılan Malzemeler**

FDM teknolojisi fiziksel ya da dijital ürün tasarımını, üretiminden önce son halini öngörme konusunda en yaygın kullanılan yöntem haline gelmiştir. Ayrıca hızlı prototipleme konusunda avantaj sağlaması da üretime hız kazandırmaktadır. Yöntem minimal parçalar da dahil olmak üzere kompleks yapılara kadar olan objelerin açılır kapanır bir platform üzerinde birbirine kaynaşmış yapıların biriktirilmesine dayanmaktadır. ABS (Akrilonitril bütadien stiren) polimeri bu yöntemde en yaygın kullanılan malzemedir. Diğer malzemeler PC (polikarbonat), PLA (polilaktik asit), PPSF ve ULTEM9085 ve bu polimerlerin türevleri veya karışımlarıdır. Bu üretim tekniğinde PLA ve ABS maddelerinin kendileri veya diğer elementler ile olan optimal varyasyonlarına ilişkin karışımları belirlemek önemli yer tutmaktadır (Dudek, vd., 2013).

FDM teknolojisinde kullanılan malzemelerin varyasyonları geliştirilen ürünün alanına göre de değişim göstermektedir. Beyaz eşya, sağlık, tekstil, otomotiv, havacılık ve eğitim alanlarındaki parça üretimlerinde farklı yapılar ile yerini almıştır. Esasen ele alınan ABS ve PLA gibi polimer malzemelerin yanında PEI, PEKK ve PSU gibi polimerlerin de üretimde olması endüstriyel alanlara yayılımı hızlandırmaktadır (Başcı, Ü. G. vd., 2021).

3D yazıcı teknolojisi ile yapılan üretimlerde plastik atık hammaddelerinin kullanılması potansiyeli çok fazladır. Polimer esaslı malzemelerden en çok kullanılanları aşağıda açıklanmıştır.

#### **1.5.1 ABS (Akrilonitril bütadien stiren)**

Termoplastik yapılı bir polimerdir. Petrol bazlı olup mukavemeti yüksektir. ABS plastik yapılı polimeri PLA ile karşılaştırıldığında daha mat görünümlü bir yapısı vardır. Oyuncak sektöründe lego üretiminde de kullanılmaktadır (PLA, P. A., 2022).

#### **1.5.2 PLA (Polilaktik asit)**

Termoplastik yapılı bir biyopolimerdir. Mısır nişastasının şeker ile optimal karışımı sonucunda elde edilmektedir. PLA ile basımı yapılan objelerin görünümü ABS ye göre daha parlaktır. 3D yazıcı üretimi dışında plastik kaplar ve plastik su şişelerinin üretiminde de kullanılmaktadır. İnsan sağlığına zararsız polimerlerdendir (PLA, P. A., 2022).

#### **1.5.3 Naylon (Nylon)**

Kullanılan hammaddeler arasında ABS ve PLA ya göre yaygın değildir. Hızlı nem emişinin olması (%10) ağırlığı arttırmaktadır. Yazdırma işlemi sonunda ise bünyesindeki nemin azalması ile obje üzerinde pürüzler meydana gelebilmektedir. Bu durum baskı yatağında

yapışmayı engelleyebilmektedir. Bu nedenle yaygın kullanılmayan bir polimerdir (PLA, P. A., 2022).

#### **1.5.4 Polieter eter keton (PEEK)**

Diğer plastik polimerlere göre sıcaklık dayanımı çok yüksektir. 100 MPa' ya kadar ulaşan çekme dayanımı vardır. Performans gösterimi hususunda biyo-uyumlu yapıda olan bir malzemedir. Medikal alanda implant türü objelerin üretiminde kullanılabilir (PLA, P. A., 2022).

#### **1.5.5 Polietilen tereftalat (PET)**

Tekstil ve yiyecek-içecek sektöründe çok kullanılan bir polimerdir. Gıda endüstrisi ambalajlarında kullanılmaktadır. PLA ve ABS ye göre daha güçlü olmasına karşın, pahalı bir polimerdir.

#### **1.5.6 Polieterimid (ULTEM PI)**

Mukavemeti yüksek bir malzemedir, dayanıklıdır. Termoplastik yapılıdır, PEEK grubu polimerlere benzer. Şeffaf özellikli ve maliyet açısından daha düşük malzemelerdir.

#### **1.5.7 Termoplastik poliüretan (TPU)**

Elastomerik özelliği sayesinde çizilmez, darbe dayanımlı, kimyasalların sebep olabileceği korozyonlara karşı dirençli, nem ve su dayanımlı ve iletken olmaması sayesinde yalıtım konusunda koruma sağlayan özellikleri vardır. Kopolimerlerin bir araya gelmesi ile oluşmuş termoplastik özellikli bir elastomerdur (PLA, P. A., 2022). Geri dönüşüm sürecinin iyi bir şekilde sağlanması için fiziksel özelliklerinin çok iyi bilinmesi önemlidir. Yüksek basınç, çekme ve sıcaklıklarda bozulmaların yaşanmaması için, çevresel ve yapısal değişikliklerin takibi önem kazanmaktadır.

## 2.BÖLÜM

### YAPIŞTIRICILAR

Aynı veya farklı yapıdaki parça yüzeylerini bir arada tutmak amacı ile yüzey aralarına sürülen kimyasal maddelere yapıştırıcı denir. Yapıştırıcılar ile yüzeylerin birleştirilerek birbirlerini tutmasını sağlama işlemine de yapıştırma işlemi olarak tanımlanabilmektedir. Yapıştırma işleminin gerçekleşebilmesi, yapıştırıcı moleküllerinin kendi aralarındaki kohezyon ve yapışan yüzeyler arasındaki adezyon olaylarına bağlıdır (A. Gursel, 2019). Aynı tür moleküllerin yapışması adezyon, farklı türdeki moleküllerin birbirine yapışmasına ise kohezyon denmektedir.

Bir yapışma işleminin iyi olması yapıştırıcının yapıştırılacak olan malzeme yüzeyinin her pürüzüne tam olarak yayılmış olması gerekmektedir. Bunu sağlamak için malzeme yüzeyinin başta temiz olmasına bağlıdır. Malzeme yüzeyinde herhangi bir pas, kir, toz olması yapıştırıcının malzeme yüzeyine tam yayılımına engel olmaktadır. Bu durum yapıştırma işlemini zayıflatmaktadır.

#### 2.1 Yapıştırıcıların Görevleri

Yapıştırıcı bağlama ve malzeme birleştirme işlemidir. Geleneksel mekanik bağlantı dinamiklerine göre, yapıştırıcı kullanılarak yapılan mühendislik uygulamaları sayesinde mekanik bağlantıların önemi ve avantajları daha büyüktür. Yapıştırıcı maddeler ek yerlerinin fiziksel ve kimyasal olarak bir arada tutulmasında etkili olan maddelerdir. Burada büyük oranda polimerler diğer bir deyişle sentetik ve doğal polimer maddeler kullanılmaktadır (Banea, M. D., & da Silva, L. F., 2009).

Yapıştırıcıların görevleri genel olarak şu şekilde sıralanabilir;

- Aynı veya farklı malzemeleri birleştirebilmektedir.
- Polimerik yapıda olmaları yüksek mukavemet oluşturmaktadır.
- Çok ince plakalarda yüzeylere zarar vermeden verimli bir şekilde yapıştırma sağlar.
- Değişik ortamlara karşı bağlantı kısımlarında yalıtım olanağı sağlamakta ve korozyon direnci yüksek bağlantılar elde etmede iyi görev sağlar.
- Yüzeyler arası yapıştırıcı dolacağı için hassas tolerans vermeye gerek kalmaz.
- Yapıştırıcıların iyi sönüm ve yalıtım özellikleri vardır (Akçakale, N.).



## 2.2 Yapıştırıcıların Özellikleri

Yapıştırıcılar, polimerik madde veya maddelerin karışımından meydana gelmektedir. Çok az polimerik madde tek başına ulaşılacak istenen yapıyı sağlamaktadır. Yapıştırıcı maddelerin çoğunluğunu doğal ve sentetik yapı polimerler oluşturmaktadır. Polimerlerle organik ve inorganik maddeler arasındaki fark ise molekül ağırlıklarından kaynaklanmaktadır. Organik ve inorganik maddelerin molekül ağırlıkları düşüktür ve molekül ağırlıkları kesin olarak bilinmektedir. Oysa polimerik maddelerin kesin bir molekül ağırlıkları mevcut değildir. Kesin bir molekül ağırlığı yerine molekül ağırlığı aralığı kullanılmaktadır ve molekül ağırlıkları çok yüksektir (Nie, H. vd., 2022). Polimerin molekül ağırlığını, polimeri oluşturan monomer veya monomerlerin molekül sayısı, bir zincirin halkasında olduğu gibi zincir uzunluğu tespit etmektedir. Bu nedenle polimerlerde tek bir molekül ağırlığından bahsetmek yerine molekül ağırlığı aralığı tanımı kullanılmaktadır.

Yapıştırıcıların bazıları, polimerlerin elde edilmesinde olduğu gibi, polimerizasyon reaksiyonları sonucu elde edilmektedir. Polimerizasyonda, polimeri oluşturan monomerler, reaksiyonu başlatıcı olarak kullanılan maddeler, katalist ve diğer maddelerin yardımıyla, reaksiyona girerek daha büyük molekül ağırlığına sahip polimerler meydana getirmektedir. Poliadisyon polimerizasyon reaksiyonunda, aynı monomer moleküllerinin uç uca eklenmesiyle oluşur, büyür ve yapıştırıcı elde edilir.

## 2.3 Yapıştırıcılarda Kullanılan Polimerik Maddeler

Yapıştırıcılarda kullanılan polimerik maddeleri doğal maddelerden yapılan yapıştırıcılar, termoplastikler, termosetler, elastomerler (kauçuklar) ve polimerik karışımlar olarak incelemek mümkündür.

### 2.3.1 Doğal yapıştırıcılar

Doğal kaynaklı organik maddeler yapıştırıcı formülasyonunda kazein, nişasta, dekstrin, balık ve diğer hayvansal maddelerden elde edilen maddeler, resim, mumlar, çam sakızı gibi maddeler kullanılmaktadır. Bu maddelerin yapışkanlık özelliklerinin olması ve suda çözünabilir olmaları avantaj sağlamaktadır. Solüsyon ve emülsiyon halinde buldukları gibi pasta, macun ve katı halde de bulunurlar. Bu maddelerden yapılmış yapıştırıcılar suya, rutubete karşı pek dayanıklı değildir (Yalçınkaya, S. Vd., 2019). Ambalaj sanayiinde nişasta veya dekstrinden yapılan bitkisel kökenli, su bazlı pasta halindeki yapıştırıcılar kullanılmaktadır.

### 2.3.2 Termoplastikler

Yapıştırıcı olarak termoplastikler solüsyon, dispersiyon ve katı halde kullanılırlar. Solüsyon ve dispersiyon halindeki termoplastik yapıştırıcılarda sıvı sistemden uçması sonucu, termoplastik madde yapıştırıcı film olarak kalır ve yüzeyleri yapıştırır. Katı olanları eritilerek

sıvı hale getirilirler ve soğumaya bırakılan termoplastik madde yapışmayı sağlar. Selüloz türevleri, polivinil asetat (PVA), polivinil klorür (PVC), polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil alkol (PVAL) gibi maddeler termoplastik yapıştırıcı olarak kullanılmaktadır. Bu maddelerin büyük bir çoğunluğu organik çözücülerde çözünürler. Bu nedenle daha çok çözücü bazlı yapıştırıcı olarak kullanılırlar. Ayrıca emülsiyon, film ve katı halde de yapıştırıcı olarak kullanılırlar (Gökkurt, T., 2007).

### **2.3.3 Termosetler**

Termosetler, ısı ile buluştuklarında kimyasal bir değişime uğrarlar ve çözünen bir yapıdan erimeyen bir yapıya ulaşırlar. Termosetlerin ilk halleri A kademesi, son olarak aldığı katı ve sert şekil C kademesi olarak tanımlanır. Bu iki kademe arasında bulunan ve kısmen yumuşayarak termoplastik özelliği kazanan kademe de B kademesidir. Epoksi reçineleri, poliesterler ve amino grup reçineleri bu gruba girmektedir. Sıvı, pasta ve toz halinde bulunan yapıştırıcılarla çok kuvvetli bir yapışma elde edilmektedir. Kopma ve kırılmalara karşı yüksek dirence sahiptirler (Toğar, Y. E., 2021).

### **2.3.4 Elastomerler**

Doğal kauçuk, SBR (Stiren Bütadien Kauçuk), kloropren, nitril, bütül, poliisopren, polibüten, blok kopolimerlerinden yapılmış olan kauçuk türleri gibi sentetik kauçuklar, poliüretan esaslı bileşenler, sentetik, kauçuk ve termoplastik elastomerler, silikonlar ve polisülfidlerden yapılmış olan yapıştırıcılar bu segmentte yer almaktadır. Elastomerlerle yapılan yapıştırıcılar esnek bir yapışma sağlarlar. Yapıştırıcıların sağladığı çekme gücü pek kuvvetli değildir. 80–100 °C arasında güvenli bir şekilde kullanılabilirler. Doğal deri ve kumaş malzemelerinin yapıştırılmasında doğal kauçuk solüsyon halinde, viskoziteye göre belirlenen çözücü ile kullanılmaktadır.

### **2.3.5 Polimer karışımları**

Bu tür yapıştırıcılar seçilen malzemenin cinsine bağlı olarak çok iyi yapışma sağlayan, kuvvetli ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilen yapıştırıcılardır. Bazı elastomerlerin fenolik reçinelerle veya epoksi reçinelerinin fenolik reçineleriyle ve bazı termoplastiklerin epoksi ve elastomerlerle yapmış oldukları karışımlar bu gruba girer. Metal, seramik ve cam gibi ısı, basınç ve suya karşı dayanıklılık isteyen malzemelerde kullanılırlar.

## **2.4 Loctite ve Pattex Yapıştırıcıların İncelenmesi**

Bu çalışmada 3D yazıcılarla üretilen farklı malzemelerin yapıştırılması için yukarıda belirtilen yapıştırıcı grubundan 2 farklı yapıştırıcı seçilmiştir. Bu yapıştırıcıların tercih edilmesinin en önemli nedeni her üç malzemenin (ABS, PLA ve PETG) birleştirilmesinde kolaylıkla kullanılmasıdır. Mühendislik alanında kullanılan profesyonel yapıştırıcılar olup, hızlı, güçlü ve

yüksek verim alınabilen markalardır. Tanımları, kullanım bilgileri ve kimyasal özellikleri incelenerek temel bilgilerle işlevleri açıklanmıştır.

#### 2.4.1 LOCTITE HY 4070

Loctite jel normunda çift bileşenli bir yapıştırıcıdır. Oda sıcaklığında hızlı bir sabitleme sağlayan şeffaf, bulanık renksiz ile soluk sarı arası hibrit esaslı bir kimyasaldır. Çoğu plastik, kauçuk ve metal dahil olmak üzere çeşitli yüzeylerde kullanılabilir. Kurlenme hızının yüksek olması, neme dayanıklılığı, çok amaçlı kullanımı ve hızlı boşluk doldurma özelliği vardır.

Farklı yüzeye sahip malzemeleri yapıştırma, kenar ve köşe yapıştırma veya onarma, plastik ve ahşap yapıştırma, yapısal yapıştırma gibi uygulama alanları vardır. Uygulanan yüzeyler; yüksek dolgulu elastomer, epoksi, fenolik, fiber levha, jel kaplama, jel olmayan kaplama, kauçuk, kompozit, ileri kompozitler, kuru yüzey, laminant, metal, plastik, termoplastik, termoset, vinil, döküm üretilen olabilir.

Loctite yapıştırıcılarının uygulama yöntemi:

- Yapıştırma yüzeyleri kuru, temiz, yağ, toz ve kirden arındırılmış olmalıdır.
- Kullanmak için iki bileşen birbirine homojen olarak karıştırılmalıdır.
- Kartuşu dik şekilde tutularak piston yerleştirilmektedir.
- Kartuşu dik konumda tutarken, küçük bileşende bulunan kabarcıklar giderilene kadar yapıştırıcıyı yukarı doğru dağıtılmaktadır
- Birleştirilecek yapıştırma yüzeylerinden birine karıştırılmış yapıştırıcıyı uygulanır ve hemen sonrasında parçalar hızla birleştirilir.
- Yapıştırıcı sabitlenene kadar parçalar sabit şekilde konumlandırılarak sıkıştırılmalıdır.
- Son olarak herhangi bir darbe, baskı ve yüke maruz bırakmadan yaklaşık 24 saat kadar bekleyerek, birleşik objenin mukavemet kazanmasını sağlanmalıdır.

**Tablo 2.1.** LOCTITE HY 4070 teknik bilgileri ([https://www.henkel-adhesives.com/tr/tr/urunler/structural-adhesives/loctite\\_hy\\_40700.html](https://www.henkel-adhesives.com/tr/tr/urunler/structural-adhesives/loctite_hy_40700.html))

İçerik	Akrilik Hibrit
Bileşen Sayısı	2
Boşluk Doldurma	5.00 mm
Renk, Reçine	Sarı

Viskozite	Yok
FEA (Finite Element Analysis)	Viskoelastik
Kopma Dayanımı	25.0 N/mm <sup>2</sup>
Yapışma Süresi, Alüminyum (dağlanmış) 0.5mm gap	<60.0 saniye
Çalışma Sıcaklığı, Karışık	(-) 40.0 - 100.0 °C (-40.0 - 212.0 °F )
Hacme Göre Karışım Oranı	10:01
Fikstür Süresi	Fikstür süresi, 0.1'lik bir kesme mukavemeti geliştirme zamanı olarak tanımlanır.
Hacme Göre Karışım Oranı	10:01

#### 2.4.2 PATTEX 2K

Tüm yapıştırma, tamir ve montaj işlemleri için kullanılabilir. Çift bileşenlidir. Yüzey emilimine karşı güçlü direnç oluşturarak yapışmanın gücünü arttırmaktadır. Farklı yüzeyleri yapıştırma ve onarma amaçlı olarak kullanılabilir. Ahşap yüzeylerde kullanılabilir. Ahşap parçaların onarım ve sabitlenmesinde kolaylık sağlamaktadır. Esneklik paylı yüzeyler için kullanıma uygundur. Örneğin; lastik, plastik, kauçuk.

Pattex 2K uygulama yöntemi:

- Yapıştırma yüzeyleri kuru, temiz, yağ, toz ve kirden arındırılmış olmalıdır.
- İlk olarak aktivatör 20-25 cm uzaklıktan uygulanacak yüzeye sıkılmaktadır, 3 saniye kadar bekleme süresi yeterlidir.
- Aktivatör yanıcı ve kutusu basınçlıdır. Cilde teması, ezilmesi, delinmesi ve ısı ile teması tehlikelidir. İyi havalandırılmayan alanlarda solunum maskesi kullanılmalıdır. Uzun dönemli etkileşimlerde taze hava maskesi kullanılmalıdır.
- Ardından yüzeye PATTEX 2K hızlı yapıştırıcı uygulanmaktadır. Diğer yapıştırılacak yüzey ile bir araya getirildiği an yapışma sağlanır.
- Yapıştırıcı sabitlenene kadar parçalar sabit şekilde konumlandırılarak sıkıştırılmalıdır.
- Son olarak yapışan obje herhangi bir darbeye maruz bırakılmadan 10 saniye kadar bekletilmesi yeterlidir.

**Tablo 2.2.** PATTEX 2K teknik bilgileri (<http://www.yonkimya.net/documents/282.html>)

<b>İçerik</b>	<b>Polikloropren ve reçine esaslı yapıştırıcı</b>
Bileşen Sayısı	2
Kimyası	Siyanoakrilat
Renk	Şeffaf
Sertleşme süresi	5 ~10 sn
Aktivatör	Heptan
Yoğunluk	20°C: 1,06 -1,08 g/cm <sup>3</sup> (8.84 -9.01 lb/gal)
Kopma Dayanımı	20 N/mm <sup>2</sup>
Vizkozite	1200-1700 cps
Isı dayanımı	(-)50°C'den 80°C
Kopma dayanımı	20 n/mm <sup>2</sup>
Parlama noktası	>85°C

### 3.BÖLÜM

#### LİTERATÜR TARAMASI

Üç boyutlu yazıcı ile üretilen malzemelerde yapıştırma, birleştirme işlemleri ile ilgili deneyler, denemeler ve araştırmalar incelenerek özetle elde edilen sonuçlar derlenmiştir.

Canadas ve ekibi (2019) tek bindirmeli yapıştırıcı kullanımının bağlantı mukavemetine etkisini araştırmıştır. Yapıştırıcı kalınlığı ve bindirme uzunluğu ile ilgili değerlerin mukavemete olan etkilerine bakmışlardır. Sonuçlar en yüksek hasar yük ağırlığının 0.52 mm kalınlığında yapıştırıcı kullanılan parça numunelerinde olduğu kanısına varılmıştır (Canadas vd., 2019)

Chumnanklang ve ekibi (2007) bir araştırma deneyinde su bazlı bir bağlayıcı kimyasaldaki 3 farklı polimeri araştırmış ve sonrasında bu bağlayıcıların her birini toz yatağın üzerine bastırarak uygulamıştır. Basınç dayanımı en yüksek olan, içerisinde yaklaşık ağırlıkça %1 PVOH bulunan bağlayıcı ile 4 MPA olarak test edilmiştir. Bununla birlikte yazıcı kafasının püskürtme uçları baskı sırasında polimer kimyasalları tarafından tıkanıp görülmüştür. Bunun sebebinin yüksek su uçuculuğunun olduğu saptanmıştır. Bu sorunu çözebilmek için bağlayıcı toz partiküller harmanlama yoluyla toz yatağına eklenmiştir (Chumnanklang ve diğerleri, 2007). Bununla birlikte HA tozunun partikül ağırlık ve boyutunun artması sebebiyle düşük baskı çözünürlüğüne ve doğruluğuna yol açmıştır. Bu nedenle, binder jetting eklemeli imalat işlemi sırasında HA ile su bazlı bir bağlayıcı kimyasal kullanmak, daha kapsamlı bir formülün en uygun halinin araştırmasını gerektirmiştir (Makaraç, E., 2021).

Saraç ve ekibi (2021) boru yapıştırma bağlantılarında farklı boyuttaki tasarımların yapıştırıcı tabakasında meydana getirebileceği etkiler nicel olarak incelemiştir. Boru kalınlıklarının yapıştırma bağlantılarında önemli tasarım parametreleri olduğu ortaya çıkmıştır. Bindirme uzunluğunun 10 mm'den 20 mm'ye çıkmasıyla, yapıştırıcı tabakası bindirme uç kısımlarındaki maksimum eşdeğer gerilme değeri %25 oranında azalmıştır. Ancak bindirme uzunluğu 20 mm'den 30 mm'ye ve 30 mm'den 40 mm'ye çıktığında azalma miktarları sırasıyla %4 ve % 0,6 oranlarında saptanmıştır. Boru et kalınlığı değerinin 0,5 mm'den 1 mm'ye çıkmasıyla yapıştırıcı tabakası bindirme uç kısımlarındaki maksimum eşdeğer gerilme değeri %18,8 oranında azalmıştır. Buna karşın, 1, 1,5 ve 2 mm boru et kalınlıklarında A ve B noktaları etrafındaki gerilmeler birbirine yakın çıkmıştır. Yapıştırıcı kalınlığının artması ile yapıştırıcı tabakası bindirme uçlarındaki gerilmelerin azaldığı görülmüştür (Saraç, İ., 2021).

Polat ve ekibi (2018) eklemeli imalat yöntemi ile üretilen PLA levhalar, iki farklı yapıştırıcı (Loctite 9492 ve Terason 9225) ile birleştirilmiştir. Başta önemli olan yüzeyi hazırlamak üzere; 320 ve 600 SiC zımpara ile mekanik zımparalama işlemleri yapılmıştır. Üç farklı yapıştırıcı kalınlığı (0,3 0,18 ve 0,1mm) ile PLA-PLA malzeme çiftinden yapıştırma bağlantıları elde edilmiştir. Çekme testi ile bağlantıların mekanik özellikleri irdelenmiştir. Sonuçlar, üç boyutlu baskıda farklı doluluk oranlarında (%100, %80, %60, %40 ve %20) yapılan baskı işlemleri sonucu, doluluk oranının yükselerek artması ile parça mukavemeti artış göstermiştir. Elde

edilen deney sonuçları yapıştırma kalınlığının değişmesi ile bağlantı mukavemetinin yapıştırıcı cinsine göre ters korelasyonlu olarak tepki verdiği ortaya çıkmıştır. Yapıştırıcı kalınlığının artması Loctite EA 9492 bağlantılarının mukavemetini arttırırken, Teroson PU 9225 bağlantılarında ise tam tersi etki yaptığı bulunmuştur (Polat, N. vd., 2018)

Makaraç ve ekibi (2021) füzyon bazlı eklemeli imalat teknolojileriyle üretilen parçalarda katmanlar bir ısı girdisi yardımıyla eritilerek birbirine yapıştırıldığından artık gerilmelere yol açmaktadır. Binder jetting teknolojisinde ise bağlayıcıyı sertleştirmek için üretim aşamasında sınırlı seviyede ısı kullanılır ancak buradaki ısıtma çok düşük seviyelerde gerçekteşmektedir. Binder jetting teknolojisi ile parça veya obje imalatı esnasında ciddi seviyelerde ısı girdisi uygulanamadığından termal gerilmeler ve deforme şeklinde bozulmalar görülmemektedir (Makaraç, E., 2021).

Özdoğan ve ekibi (2021) eklemeli imalat parametrelerinden doluluk oranı, katman kalınlığı, nozul sıcaklığı ve tarama açısının PLA malzeme üzerindeki akma mukavemeti, maksimum eğilme gerilmesi, tokluk, elastiklik boyutu gibi mekanik özelliklere ve baskı süresine etkileri incelemiştir. Doluluk oranı 20%, 40, 60, 80, katman kalınlığı 0,15, 0,20, 0,25 ve 0,30 mm, nozul sıcaklığı 210, 220, 230 °C ve tarama açısı  $\pm 45^\circ$  ve  $0/90^\circ$  parametreleriyle toplamda 10 farklı numune grubu üretilmiştir. ASTM D790 standartlarına uygun üç noktada eğilme testleri Shimadzu marka eğilmeyi test eden cihazda yapılmıştır. Üç değerler arasındaki fark %126 olarak hesaplanmıştır. Baskı süreleri ise katman kalınlığı ve sıcaklıkla doğru, tarama açısı ve doluluk oranı ile ters orantılı olduğu bulunmuştur (Özdoğan, S., 2021).

Kurtkan (2016) tek "L" tipi bağlantıların çekme davranışı deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Yapışma kalınlığı olarak 2 mm, 3 mm ve 4 mm, bindirme uzunluğu olarak 10 mm, 15 mm ve 20 mm sečilmiřtir. 3M 2216 epoksi esaslı yapıştırıcı ile çelik ve alüminyum perçinlerle birleştirilmiştir. Eklemlerin çekme testleri, 5 Kn yük hücreli Shimadzu üniversal test makinesinde yapılmıştır. Sonlu elemanlar analizi için Ansys Workbench kullanılmıştır. Sonuçlar, 20 mm bindirme uzunluğuna sahip modellerin en yüksek mukavemete sahip olduğunu göstermiştir. Çelik perçinli modeller, tüm bindirme uzunlukları için alüminyum perçinli modellerden daha yüksek mukavemete sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Kurtkan, Ü., 2016).

Geçit (2021) biyo malzemeler kullanılarak oluşturulan T bağlantıların eğilme yüklemesi durumunda meydana gelebilecek mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Sonuçlar biyo malzemelerden esinlenilerek oluşturulan bağlantı birimlerinin geleneksel bağlantılardan daha yüksek mukavemete sahip olduğunu göstermiştir (Geçit, M. Ğ., 2021).

Banea ve ekibi (2009) ilk olarak, üç boyutlu baskılı numunelerin kırılma mekaniği üzerine tabaka kalınlıkları, dolgu oranı, dolgu deseni ve darbe hızının etkisi ağırlık düşürme darbe testi ile incelemiştir. Üretim parametrelerinin incelendiği numunelerde PLA ve ABS malzemeleri kullanılmıştır. 0,2, 0,15, 0,1 mm tabaka kalınlıkları incelenmiştir. Lineer, Kübik, Üçgen,

Konsantrik, Kübik Alt Bölme ve Dörtüzlü dolgu tipleri kullanılmaktadır. Dolum oranının etkisini incelemek için Kübik Bölme dolgu tipi için %20, %40, %60 ve %80 doluluk oranları ve doğrusal dolgu tipi için %20, %40, %60, %80 ve %100 dolgu oranları seçilmiştir. Testler sonucunda tabaka kalınlığının kırılma davranışını etkilemediği gözlemlenmiştir. Farklı dolgu türlerinin emilen enerji miktarını ve kırılma davranışını farklı şekillerde etkilediği gözlemlenmiştir. Dolgu oranı arttıkça parçaya tokluk kazandırdığı tespit edilmiştir (Banea, M. D., & da Silva, L. F., 2009).

Türkoğlu ve ekibi (2020) eklemeli üretim yöntemi ile üretilen iki geleneksel ve 3 özektik çekirdek geometrisine sahip sandviç yapılar üretilmiştir. PLA malzemesinden üretilen yapıların quasi-statik ve dinamik yükler altındaki dayanımları ve hasar mekanizmaları deneysel olarak incelenmiştir Ansys Workbench kullanılarak deneysel çalışma ile aynı özelliklerde modeller oluşturulmuştur. Çelik perçinli modellerin alüminyum özellikli olanlara göre daha yüksek mukavemete sahip oldukları sonucuna ulaşılmıştır. (Türkoğlu, İ. K., 2020).

Tezel (2019) çalışmasında, eklemeli imalat ile üretilen dişlilerin yoğunluk ve sertliklerinin geleneksel yöntemlerle üretilenlere oldukça yakın olduğu ancak yüzey özelliklerinin farklı olduğu tespit etmiştir. Eklemeli imalat ile üretilen dişlilerin geleneksel yöntemlerle üretilen aynı malzemedan dişlilerin yerini alabileceği sonucuna ulaşmıştır (Tezel, T., 2019).

Khaing ve ekibi (2001), doğrudan metal lazer sinterleme yöntemi ile metal parça imalatı yapmışlardır. Çalışma parametreleri belirlenerek, parçanın boyutsal doğruluğu ve sinterleme kalitesi iyileştirilmiştir (Khaing, vd., 2021).

Tay ve ekibi (2002), doğrudan metal lazer sinterleme ile üretilmiş parçaların ortak dezavantajlarından, düşük ve pürüzlü yüzey kalitesi, düşük aşınma kuvvetine olan direnci, yumuşak ve gözenekli yüzeyi iyileştirmek için çeşitli teknikler uygulamışlardır. İstenen özellikler tek başına ya da birbirleri ile kombine halde, elektroliz nikel kaplama ve yarı parlak nikel elektro kaplama ile elde edilen parçalarda görülmüştür (Tay, vd., 2002).

Simchi ve ekibi (2003), tarafından doğrudan metal lazer sinterleme işlemi için, demir bazlı, C, Cu, Mo ve Ni de dahil olmak üzere farklı elementlerin karışımından oluşan toz geliştirilmiştir. Parametrelerinin optimizasyonu sayesinde yoğunluğu yüksek parçalar imal edilebilmiştir (Tezel, T., 2019).

Zhu ve ekibi (2016), seçici lazer ergitme (SLM) ile imal edilmiş 316 L paslanmaz çelik parçaların sürtünme ve aşınma davranışlarını, çeşitli yağlama koşulları altında araştırmışlardır. SLM işlemi esnasında malzeme yoğunluğunun artırılmasıyla, tribolojik performansın geleneksel yöntemle üretilenden daha iyi olabileceği vurgulanmıştır (Tezel, T., 2019).

Röttger ve ekibi (2016), tarafından çeşitli yöntemlerle üretilen 316L sınıfı manyetik özelliği olmayan ve paslanmaz olan ostenitik çeliğin üretim sürecinin, mikroyapı ve malzeme



özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. SLM ile üretilen numunelerin yüksek yoğunluğa sahip olanlarının mekanik değerleri oldukça iyi olup, döküm veya sıcak izo statik preslemeye göre daha yüksek olduğu bulunmuştur (Röttger, vd., 2016).

Riemer ve ekibi (2014), seçici lazer ergitme (SLM) yöntemiyle üretilen 316L paslanmaz çeliğin yorulma mukavemetini incelemişlerdir. Bu çeliğin, yorulma çatlaklarının büyüme davranışı, katılma şartlarından ve ortaya çıkan mikro yapıdan oldukça etkilenmiştir. Bu malzemelerin, üretim sonrası ilave işlem yapılmaksızın kullanılabilceği sonucuna varılmıştır (Riemer, 2014).

Pal ve ekibi (2016), doğrudan metal lazer sinterleme ürünü paslanmaz çeliğe, üretim sonrası işlemlerin etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında tespit ettikleri işleme parametreleriyle üretilen numunelerde neredeyse hiç mikro çatlak görülmemiştir (Pal, 2016).

Masashi Hayase ve Richard Eckfund, 1981 yılında metal levhaların tercihen aralıklı veya kesikli olmayan kaynaklarla metalik bir sandviç yapı meydana getirmesi üzerine bir patent yayınlamıştır (Öztürk, B., 2020).

Sun ve Zhang, 1995 yılında piezoelektrik malzemelerle uyumlu sandviç yapıda kalınlık kesme modunun kullanımı hakkında kapsamlı bir araştırma yapmıştır (Çakan ve diğ., 2021).

V. Dattoma ve R. Marcuccio (2001) kompozit sandviç yapılarda mevcut bazı tipik hataları termografik teknik kullanarak tespit etmişlerdir (Dattoma, V. & Marcuccio, R., 2001).

Pappas ve Dong; FDM ile vakum infüzyon yöntemi birleştirilerek sürekli fiber takviyeli 3 boyutlu numuneler üretmişlerdir. Takviye malzemesi olarak cam elyaf ve karbon elyaf, matris malzemesi olarak ABS ve bağlayıcı olarak epoksi reçine kullanılmışlar ve yeni üretim yöntemi ile çekme ve darbe test numuneleri üreterek test etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar; cam elyafın darbe dayanımını arttırdığını ancak çekme dayanımını azalttığını göstermektedir. Karbon fiber takviyesinin darbe dayanımını değiştirmedeği ve çekme dayanımını azalttığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin, katmanlar arası ve katmanlar arası yapışmanın optimal düzeyde sağlanamamasından olduğunu açıklamışlardır. Bu nedenle yük dengeli bir biçimde dağılmaz ancak her iki donatı malzemesi de numunenin kırılma mekaniğini etkilemiş ve daha az kırılmaya neden olduğu anlaşılmıştır (Pappas, J. M., & Dong, X., 2022).

Yılmaz ve ekibi (2020) tek taraflı bindirme derzleri, sabit yüzey pürüzlülüğü ( $R_a = 1.5\mu m$ ) farklı yapıştırma kalınlıklarında ( $s = 0,2mm, 0,1mm$ ) ve üç farklı sıcaklıkta ( $100^\circ C, 125^\circ C, 150^\circ C$ ) uygulanabilecek şekilde hazırlamıştır. Farklı kür sürelerinde (20 dakika, 30 dakika, 40 dakika) iki farklı malzemeyi (çelik, alüminyum) etkileyerek, epoksi esaslı KN-204 ve 404 plastik olarak bilinen iki farklı yapıştırıcı ile yapıştırılan metallerin mekanik özelliklerini etkileyen faktörler saptanmaya çalışılmıştır. Her iki yapıştırıcı türünde de yüksek sıcaklıklarda düşük kürlenme süresi ve düşük sıcaklıklarda yüksek kürleşme süresi gözlemlenmiştir (Yılmaz, B., 2020).

Eser ve ekibi sandviç yapıların imalatında kullanılan parametrelerin mekanik özelliklere etkileri incelemiştir. Sandviç kompozitler, aynı kütleme sıcaklığında iki farklı yapışkan tabaka ile otoklav yöntemiyle üretilmiştir. Petek yüksekliği, genişliği, geometrisi ve iki farklı yapışkan tabakasının dört noktadan eğilme, çekme ve soyulma test sonuçlarına etkisi araştırılmıştır. Sandviç kompozit yapının kalınlığı arttıkça çekme ve eğilme mukavemetlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca peteğin hücre genişliği küçük olduğunda kuvvet değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Petek geometrisi ve hücre boyutunun petek kalınlığından daha etkili olduğu bulunmuştur (Eşer, K., 2021).

Yalçın ve ekibi (2017) üç boyutlu katı model veya katı bir obje esaslı bir dijital tasarım ile polimer, kauçuk, metal ve seramik esaslı malzemelerden katmanlar halinde eklemeli bir şekilde kullanışlı mühendislik parçasının imal edilebildiği eklemeli imalatın literatürde olması birçok deneysel araştırmayı da beraberinde getirmiştir. Çağımızda başta medikal sağlık olmak üzere otomotiv, uzay-uçak teknolojileri, bilgisayar ve ev aletleri piyasalarında da özellikli ve karmaşık geometriye sahip parçaların prototipinin ve/veya kullanışlı mühendislik parçasının imalatı mümkün hale gelmiştir. İmalat sektörüne faydası olacak bilgi ve kaynaklar Yalçın ve Ergene' nin araştırmasında derlenmiştir (Yalçın, B., & Ergene, B., 2017).

Rauch ve ekibi (2018) çalışmasında kaynaşmış filament üretimi kullanılarak 3 boyutlu olarak basılan katı plastik parçaların gerilme mukavemetini incelemiştir. Numuneler, çekme eksenine farklı eğimlerde yerleştirilmiş plastikten iç şeritler dolgu yöntemi ile üretilmiştir. Her numunede, dolgu açısı,  $x$ 'in 15, 30, 45, 60, 75 ve 90 derece olduğu bu eksene göre katman  $+x$  veya  $-x$  dereceleriyle değiştirildiğinde akrilonitril bütadien stiren ve karbon fiber takviyeli ABS malzemeleri temas etmiştir. Çekme kuvvetinin yönüne paralel olarak halat açısı yaklaştıkça çekme mukavemetinin arttığı bulunmuştur. Beklenenin aksine ABS numuneleri, karbon fiber takviyeli ABS numunelerine göre daha yüksek çekme dayanımları sergilemiştir (Rauch, C. B., 2018). Bu çalışmada ise 0.1 mm katman kalınlığı ile üretilmiş, üç farklı polimerik malzemenin (ABS, PLA ve PETG), dairesel ve kare kesit olmak üzere 2 farklı biçimde deneyde yer almaktadır. İki farklı yapıştırıcı (Pattex 2K ve Loctite HY 4070) kullanılarak yapıştırılmış haldeki objelere üç nokta eğme ve çekme testleri uygulanarak mukavemet dayanımları incelenmiştir.

## 4.BÖLÜM

### DENEYSEL ÇALIŞMA

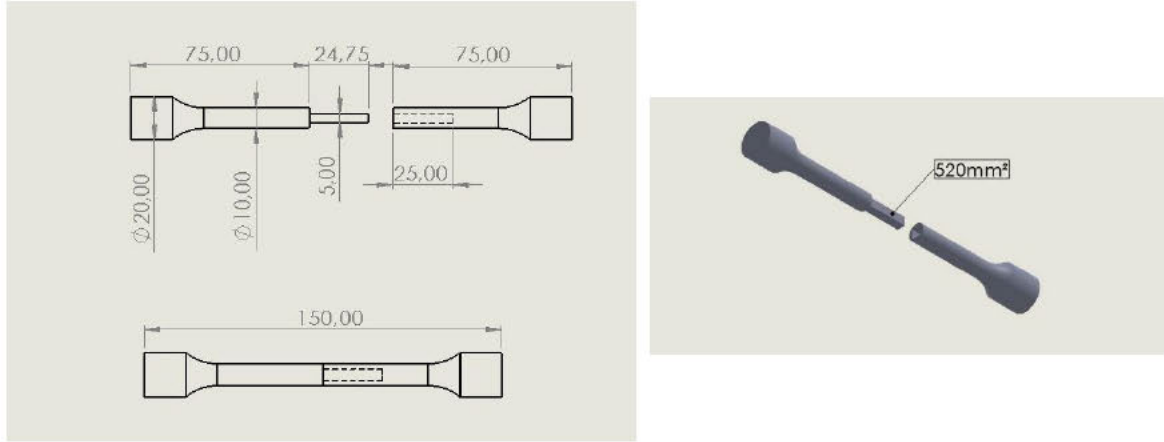
Bu çalışmada 0.1 mm katman kalınlığı ile üretilmiş, üç farklı polimerik malzemenin (ABS, PLA ve PETG), iki farklı kesitte (kare ve dairesel kesit), iki farklı yapıştırıcı (Pattex 2K ve Loctite HY4070) kullanılarak birleştirilen malzemelerin mukavemet dayanımları deneysel olarak incelenmiştir.

#### 4.1 Test Numuneleri

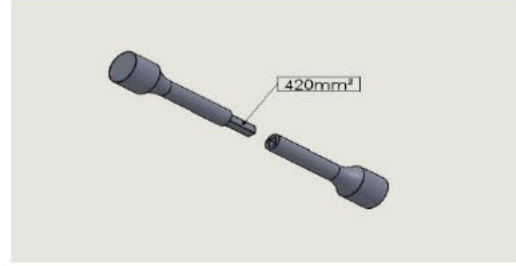
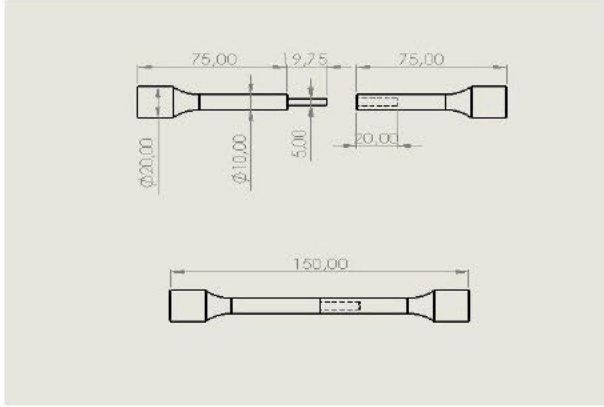
Numuneler dairesel ve kare kesit olmak üzere 2 farklı şekilde tercih edilmiştir. Numune ölçülendirilmeleri her kesit için toplam en ve boy ölçüleri eşdeğerdir. Kare kesitler ve dairesel kesitlerin sadece birleştirilecek yüzeylerinin ölçülendirilmesi farklıdır.

Dairesel kesitli parçalarda aynı yapıştırma şekilli, farklı yapıştırma alanlı (Şekil 4.1-2) ve farklı yapıştırma şekilli (Şekil 4.3) parçaların yapıştırma mukavemeti incelenmiştir.

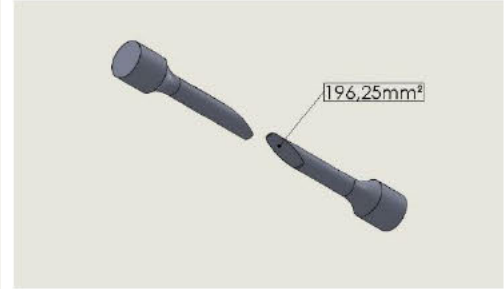
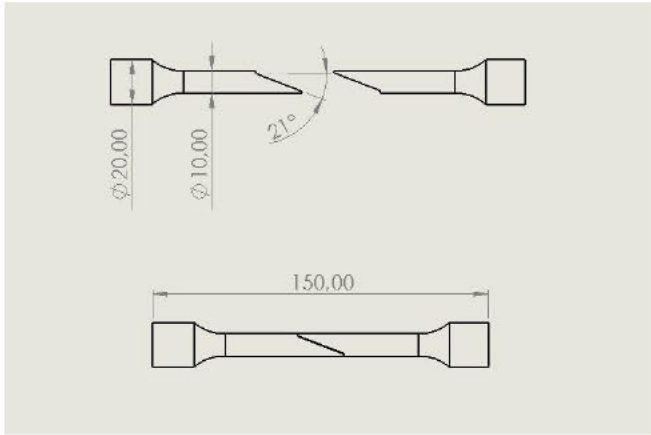
Kare kesitli parçalarda aynı yapıştırma şekilli ve farklı yapıştırma alanlı (Şekil 4.4-5) ve farklı yapıştırma şekilli sahip (Şekil 4.6) parçaların yapıştırma mukavemeti incelenmiştir.



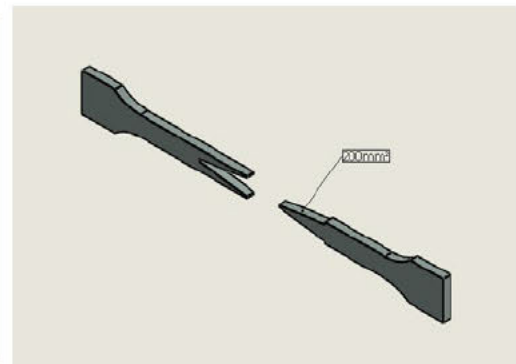
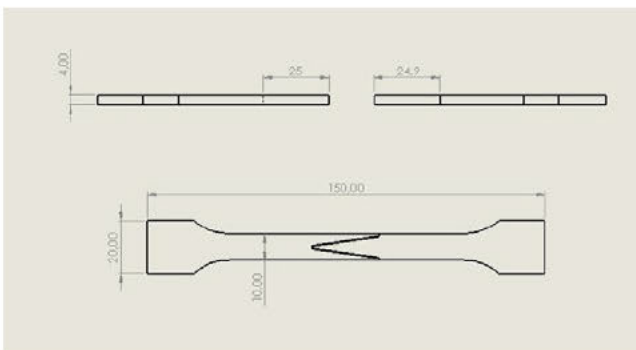
Şekil 4.1 Dairesel kesit 520 mm<sup>2</sup> yüzey alanı



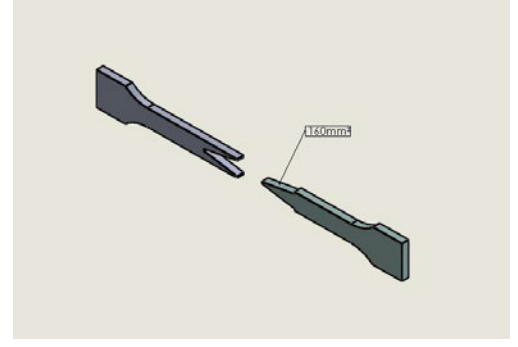
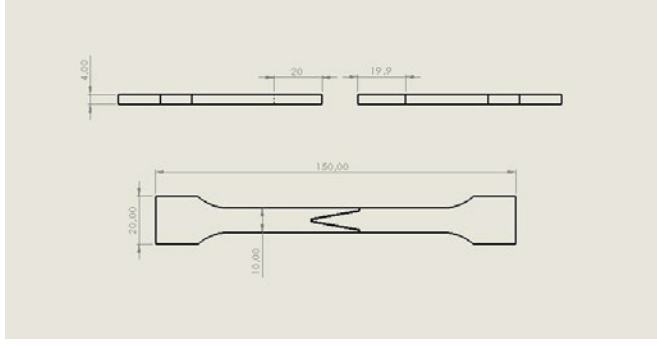
**Şekil 4.2 Dairesel kesit 420 mm<sup>2</sup> yüzey alanı**



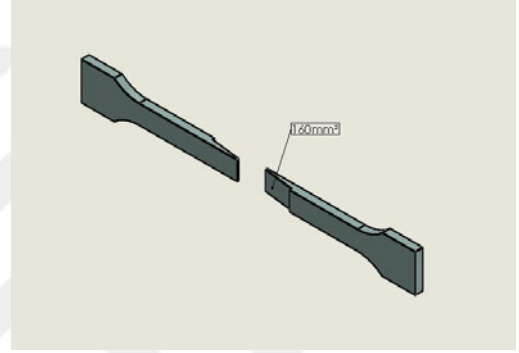
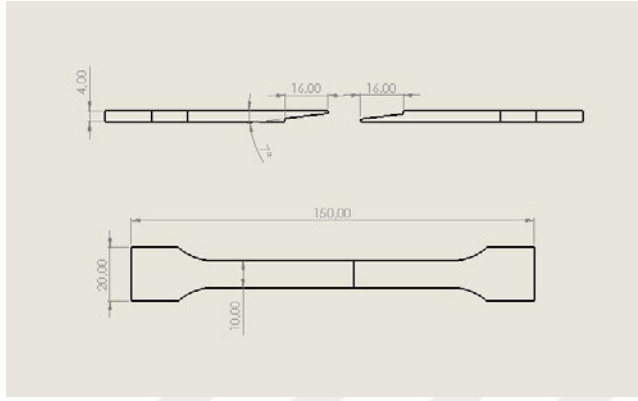
**Şekil 4.3 Dairesel kesit 196 mm<sup>2</sup> yüzey alanı**



**Şekil 4.4 Kare kesit 200 mm<sup>2</sup> yüzey alanı**



**Şekil 4.5** Kare kesit 160 mm<sup>2</sup> yüzey alanı



**Şekil 4.6** Kare kesit yatay 160 mm<sup>2</sup> yüzey alanı

#### 4.2 Test Numunelerinin İmalatı

Bu çalışmada üç boyutlu yazıcılarda sıklıkla tercih edilen malzemelerden kare ve dairesel test numuneleri imal edilmiştir. Çalışmada kullanılan malzemelerden PLA' nın üretimi kolay çekme dayanımı yüksek fakat gevrek bir yapıya sahip olmasından dolayı kırılığandır. Sıcaklığa karşı fazla dayanıklı değildir. ABS' nin üretimi PLA' ya göre daha zordur fakat mukavemet ve sıcaklık dayanımları PLA' ya oranla daha yüksektir. PETG' nin üretimi kolaydır ve diğer malzemelere göre çok fazla uzama dayanımı göstermektedir. Çalışmada kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.1.** Plastik Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Malzeme	Birim	PLA	ABS	PETG
Yoğunluk	(g/cm <sup>3</sup> )	1,2	1,06	1,27

Çekme gerilmesi	(MPa)	62	40	50
Sertlik	(Shore D)	71	82	79,2
Poisson oranı	-	0,35	0,35	0,43
Kopma uzaması	(%)	21,8	30	110
Yırtılma modülü	(GPa)	2,4	0,88	4,6
Isıl Çarpılma Sıcaklığı	(°C)	53	73	70
Birim Isıl Kapasitesi	(J/kg-K)	1800	2000	1500
Isıl İletkenlik	(W/m-K)	0,13	0,17	0,21
Camsı geçiş sıcaklığı	(°C)	60	105	80

Numuneler Zaxe z1 adlı 3 boyutlu yazıcı kullanılarak imal edilmiştir (Resim 4.1). Çalışmada kullanılan yazıcının üretim parametreleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

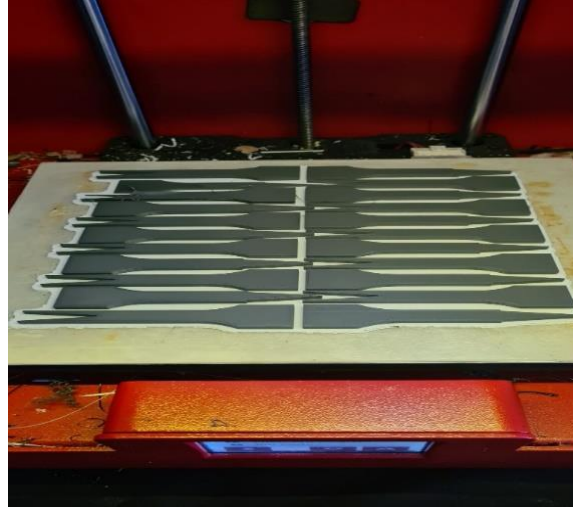


**Resim 4.1.** Numunelerin üretildiği üç boyutlu yazıcı (<https://www.robotstore.com/zaxe-z1>)

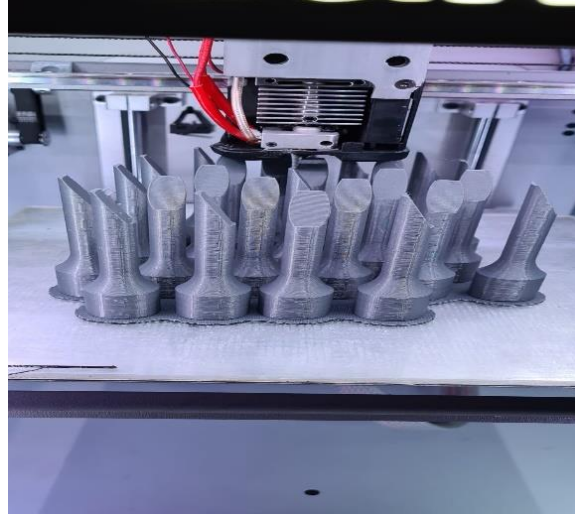
**Tablo 4.2** Test Numune Üretiminin Yazıcı Baskı Parametreleri

Malzeme	Birim	PLA	ABS	PETG
Nozul Çapı	(mm)	0.4	0.4	0.4
Filament Çapı	(mm)	1.75	1.75	1.75
Katman Yüksekliği	(mm)	0.1	0.1	0.1
Doluluk oranı	(%)	100	100	100
Ekstruder sıcaklığı	(C°)	210	250	240
Yatak sıcaklığı	(C°)	50	100	70
Yazma hızı	(mm/s)	60	60	60

Kare kesitli numunelerin her çifti için ortalama 3 saat, dairesel kesitli numunelerin her çifti için ortalama 1,5 saat imalat süresi bulunmaktadır (Resim 4.2-3).



**Resim 4.2.** Kare kesitli parçaların üretim aşamaları



**Resim 4.3.** Dairesel kesitli parçaların üretim aşamaları

#### **4.3 Test Numunelerinin Yapıştırılması**

Üretilen numunelerin yapıştırılması aşamasında kullanılacak yapıştırıcıların seçimi test numunelerinin yüzeyi açısından önem taşımaktadır. Bu sebeple deneyde kullanılan yapıştırıcılar her türlü yüzeye uygulanabilen, kürlenme hızları yüksek ve mühendislik alanında kullanılan profesyonel yapıştırıcılardır.

Çalışmada test numunelerinin birleştirilmesinde plastik malzemelerin yapıştırılmasında sıklıkla kullanılan Loctite HY 4070 ve Pattex 2K yapıştırıcıları kullanılmıştır.

Loctite HY 4070 yapıştırma sonrası 24 saatte kürlenirken, PATTEX 2K 3-4 dakikada kürlenmektedir. LOCTITE HY 4070 her yüzeye uygulanabilir fakat PATTEX 2K aktivatör kullanılarak yapışma sağladığından esneklik payı olan parçalarda daha iyi sonuçlar vermektedir.

Loctite HY 4070 yapıştırıcı kullanılan tüm numuneler yapıştırılırken, her iki numunenin birleştirme yüzeyleri toz ve kirden arındırılması için öncelikle alkol bazlı temizleyici ile temizlenmektedir. Temizlenen numuneler kuruması için bekletilmektedir. Kurumuş olan ilk numunenin birleştirilecek yüzeyine yapıştırıcı yeterli miktarda uygulanır ve hemen sonrasında parçalar hızlıca birleştirilmektedir. Yapıştırıcı sabitlenene kadar numuneler sabit şekilde konumlandırılmalı ve sıkıştırılmalıdır. Yapıştırıcı sabitlendikten sonra herhangi bir yüke, baskıya, darbeye maruz bırakılmadan 24 saat bekletilerek birleşen numuneler mukavemet kazanmaktadır.

Pattex 2K yapıştırıcı hazırlanırken aktivatör ile yapıştırılma sağlandığı için ortam havalandırması yeterli şekilde olmalıdır. Aktivatör kutusu yanıcı ve basınçlı olduğundan cilde teması, ezilmesi, delinmesi ve ısı ile teması tehlikelidir.



Pattex 2K yapıştırıcı kullanılan tüm numunelerin birleştirme yüzeyleri toz ve kirden arındırılması için alkol bazlı temizleyici ile temizlenmektedir. Temizlenen numuneler kuruması için bekletilmektedir. Kurumuş olan ilk numunenin birleştirilecek yüzeylerine 20-25 cm uzaklıktan aktivatör sıkılmaktadır. Yaklaşık 2-3 s bekledikten sonra ilk numunenin birleştirme yüzeyine Pattex 2K yapıştırıcı uygulanmaktadır. Yapıştırıcı uygulandıktan hemen sonra parçalar birleştirilmektedir. Yapıştırıcı sabitlenen kadar numuneler sabit bir şekilde konumlandırılmalı ve sıkıştırılmalıdır. Yapıştırılan parçalar herhangi bir yüke, baskıya, darbeye maruz bırakılmadan yaklaşık 3-5 dk bekletilmektedir ve bu sürenin sonunda numuneler mukavemet kazanmaktadır.

#### 4.4 Test Numunelerinin Adlandırılması

Testlerde kolaylık olması için numuneler öncelikli olarak kodlandırılmıştır. Numuneler sırasıyla katman kalınlığı, yapıştırıcı adı, kesit adı, malzeme cinsi, alan bilgisi, deney tipi olacak şekilde adlandırılmıştır. Kodlama işlemleri Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

**Tablo 4.3.** Test numunelerinin kodlanması

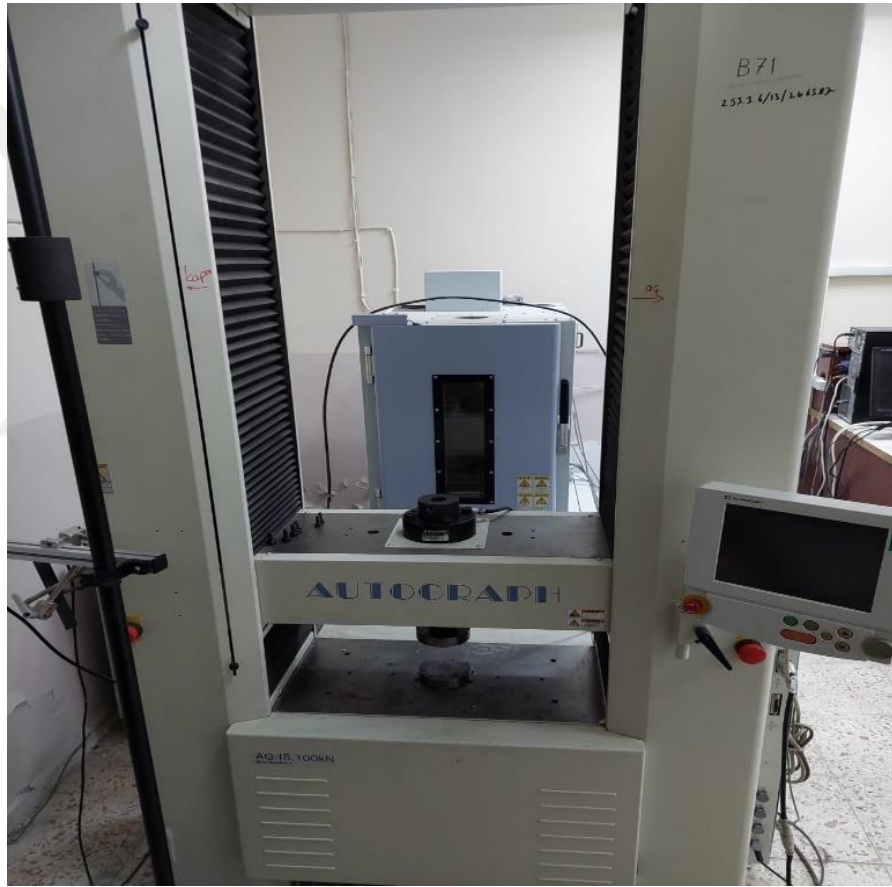
Özellik	Değer	Kısa Kod
Katman kalınlığı	0.1 mm	1
Yapıştırıcı	Pattex	P
	Loctite	L
Yapıştırıcı	Dairesel	D
	Kare	K
Malzeme	ABS	A
	PLA	P
	PETG	G
Dairesel	520 mm <sup>2</sup>	1
	420 mm <sup>2</sup>	2
	196 mm <sup>2</sup>	3
Karesel	Dikey 200 mm <sup>2</sup>	1
	Dikey 160 mm <sup>2</sup>	2
	Yatay 200 mm <sup>2</sup>	3
Test tipi	Çekme	Ç
	Eğme	E

Örnek 1; 0,1 katman kalınlığında Pattex yapıştırıcı kullanılmış olup daireysel kesitli PLA hammaddesi kullanılmış olup 520 mm<sup>2</sup> alana sahip çekme deneyi yapılmış olan numunenin adlandırılması **1PDP1Ç** şeklindedir.

Örnek 2; 0,1 katman kalınlığında Loctite yapıştırıcı kullanılmış olup kare kesitli ABS hammaddesi kullanılmış olup yatay 200 mm<sup>2</sup> alana sahip eğme deneyi yapılmış olan numunenin adlandırılması **1LKA3E** şeklindedir.

#### 4.5 Testler

Bu çalışmada üç boyutlu yazıcılar ile üretilmiş malzemelerin yapıştırıcı ile birleştirilmesi sonucu mukavemetleri deneysel olarak incelenmiştir. Mukavemet ölçümleri için her üç malzemeden üretilip yapıştırılmış numunelere çekme ve üç nokta eğme testleri yapılmıştır. Çekme ve üç nokta eğme testleri Hitit Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında bulunan Shimadzu AG-IS (100 kN) test cihazında gerçekleştirilmiştir. Testler esnasında deney tipine göre geometriye uygun 2 farklı çene tipi kullanılmıştır. Eğme deneyi yapılırken 1,5 mm/dk ilerleme hızı kullanılmıştır. Çekme deneyi yapılırken 1,0 mm/dk ilerleme hızı kullanılmıştır.



**Resim 4.4.** Test cihazı



**Resim 4.5.** Üç Nokta Eğme Testi Örnek Numune



**Resim 4.6.** Çekme Testi Örnek Numune

Çekme testi ASTM D1002 standardına göre [ASTM, 2017], üç nokta eğme testi ASTM D790 standardına göre [ASTM, 2019] yapılmıştır.

Çekme testlerine geçmeden önce yapışmadan birleştirilmesi gerçekleştirilen numuneler test edilerek boş bağlantının mukavemete etkisi incelenmiştir. Bağlantı toleransı seviyesinde boşluklu olduğundan herhangi bir mukavemet etkisi göstermemiştir.

#### 4.5.1 Test planı

Üç boyutlu yazıcılarda 0.1 mm kalınlığında, üç farklı malzemeden üretilmiş kare ve dairesel parçalar, üçer farklı yapıştırılma şekillerinde çekme ve üç nokta eğme mukavemet dayanımları belirlenerek tam numune ile farkları deneysel olarak belirlenmiştir. Her testten üç adet yapılarak ortalamaları alınmıştır.

Deney numuneleri ve test sayısı aynı miktarda olup toplamda 252 adettir. Çekme testi 126 adet, eğme testi 126 adet olmak üzere 2 farklı test yapılmış olup miktarlar eşit paylaştırılmıştır. Yapılan çekme ve üç nokta eğme testlerinin test planları Tablo 4.4 ve 4.5'te verilmiştir.

**Tablo 4.4.** Çekme testleri, test planı

Test Tipi	Kesit	Yapıştırıcı	Malzeme	Yüzey Alanı	Test Sayısı	TOPLAM
Çekme	Kare Kesit	Loctite	ABS, PLA, PETG	160 mm <sup>2</sup>	3x3x3	108
				Yatay 160 mm <sup>2</sup>	3x3x3	
				200 mm <sup>2</sup>	3x3x3	
		Pattex	ABS, PLA, PETG	160 mm <sup>2</sup>	3x3x3	
				Yatay 160 mm <sup>2</sup>	3x3x3	
				200 mm <sup>2</sup>	3x3x3	
	Dairesel Kesit	Loctite	ABS, PLA, PETG	520 mm <sup>2</sup>	3x3x3	
				420 mm <sup>2</sup>	3x3x3	
				196 mm <sup>2</sup>	3x3x3	
		Pattex	ABS, PLA, PETG	520 mm <sup>2</sup>	3x3x3	
				420 mm <sup>2</sup>	3x3x3	
				196 mm <sup>2</sup>	3x3x3	

**Tablo 4.5.** Üç Nokta Eğme testleri, test planı

Test Tipi	Kesit	Yapıştırıcı	Malzeme	Yüzey Alanı	Test Sayısı	TOPLAM
Eğme	Kare Kesit	Loctite	ABS, PLA, PETG	160 mm <sup>2</sup>	3x3x3	108
				Yatay 160 mm <sup>2</sup>	3x3x3	
				200 mm <sup>2</sup>	3x3x3	
		Pattex		160 mm <sup>2</sup>	3x3x3	

Dairesel Kesit		ABS, PETG	PLA,	Yatay 160 mm <sup>2</sup>	3x3x3
				200 mm <sup>2</sup>	3x3x3
	Loctite	ABS, PETG	PLA,	520 mm <sup>2</sup>	3x3x3
				420 mm <sup>2</sup>	3x3x3
				196 mm <sup>2</sup>	3x3x3
	Pattex	ABS, PETG	PLA,	520 mm <sup>2</sup>	3x3x3
				420 mm <sup>2</sup>	3x3x3
				196 mm <sup>2</sup>	3x3x3



## 5.BÖLÜM

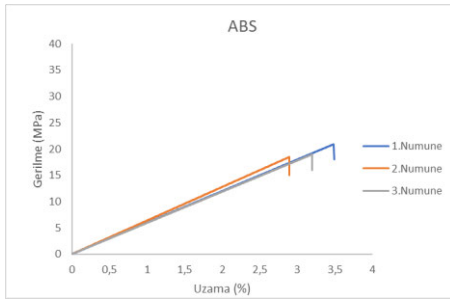
### DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada eklemeli imalat tekniğiyle üretilen üç boyutlu yazıcılarda yaygın olarak kullanılan ABS, PLA ve PETG malzemelerden üretilmiş farklı birleştirme şekilleri ile yapıştırılan numunelerin mukavemet dayanımları incelenmiştir. Çalışma kapsamında, her bir malzeme için dayanım analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde çekme testi ve üç nokta eğilme testi gibi standart test yöntemleri uygulanmıştır. Testler sonucunda her bir malzemenin çekme dayanımı ve eğilme dayanımı değerleri elde edilmiştir. Bu değerler malzemelerin mekanik dayanımını ve kopma noktalarını anlamak için kullanılmıştır.

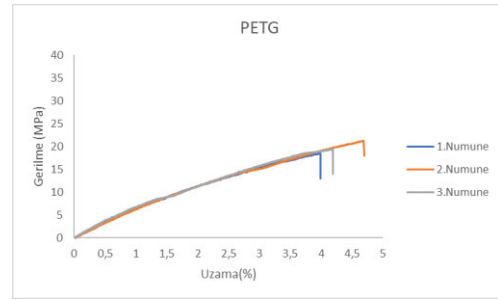
Elde edilen sonuçlar; üç boyutlu yazıcılar ile üretilen numunelerin farklı bağlantı tiplerinin yapıştırıcılarla birleştirilerek, belirli bir uygulama veya tasarım için en uygun malzemeyi ve bağlantı yöntemini belirlemeye yardımcı olacaktır. Aynı zamanda dayanım özelliklerini ve farklı malzemelerin performansını karşılaştırmak için de kullanılabilir olacaktır.

#### 5.1. Çekme Testi Sonuçları

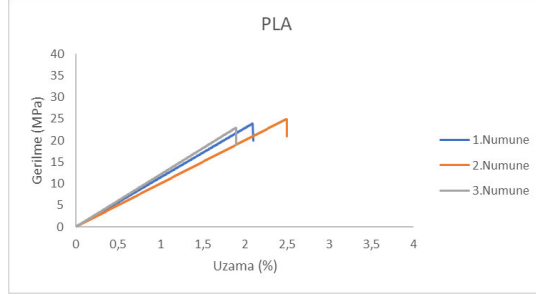
Çekme testi, malzemenin birleştirme noktalarından gerçekleşen kopma noktalarını belirlemek ve malzemenin çekme dayanımını ölçmek için kullanılan yaygın bir test yöntemidir. Bu testler, numunelerin birleştirme noktalarının yapıştırma ile ne kadar sağlam olduğunu ve kopma noktasının nerede meydana geldiğini değerlendirmek için yapılmıştır. Test sonuçları, birleştirme noktalarının dayanıklılığını ölçerek yapıştırma işleminin etkinliğini değerlendirmeye yardımcı olmaktadır. Eklemeli imalat tekniği ile üç boyutlu yazıcılar kullanılarak üretilen bütün halde yapıştırılmadan ve yapıştırılma ile birleştirilen numunelerin çekme testi sonuçları Şekil 5.1-14 'de gösterilmiştir.



(a)



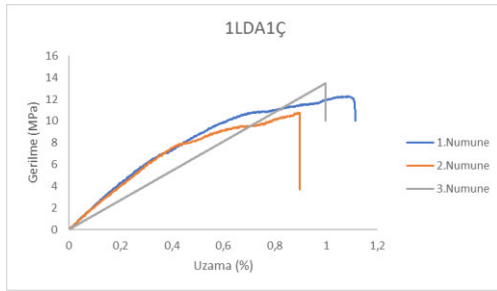
(b)



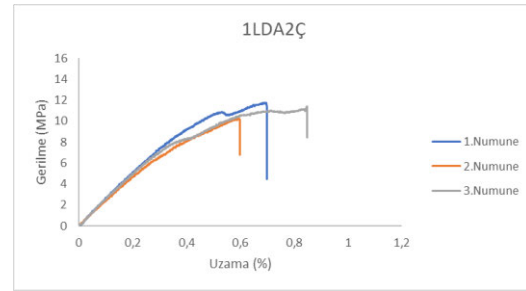
(c)

**Şekil 5.1** Üç boyutlu yazıcılarda üretilen dairesel geometri test numunelerinin çekme testi sonuçları (a)- ABS, (b)-PETG ve (c)-PLA.

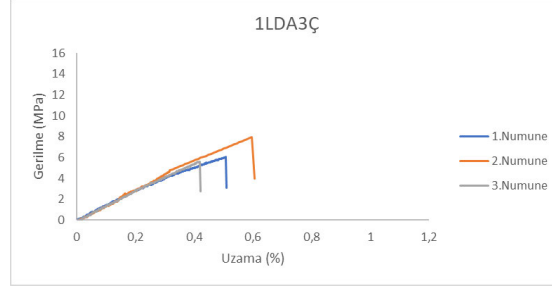
Şekil 5.1’de PLA, ABS ve PETG malzemelerden bütün olarak üretilmiş numunelerin çekme testi sonuçları bulunmaktadır. Şekil 5.1’ de görüleceği üzere çekme dayanımı en fazla PLA malzemeden üretilmiş numunelerde gözlenmiştir ( $\sigma_{ort} \approx 25$  MPa). Çekme gerilme değerleri PETG ve ABS malzemelerde sırasıyla ortalama 21 ve 19 MPa olarak ölçülmüştür. PLA, ABS’ ye göre %19, PETG’ ye göre de %31 daha dayanıklı olduğu görülmektedir. Ölçülen değerler Tablo 4.1’ de ki belirtilen referans ölçümler ile benzerdir. PLA’ nın PETG ve ABS’ye göre daha dayanıklı olmasını; PLA imalat esnasında PETG ve ABS ‘ye göre yüksek tabla sıcaklığı istemediği için bir sonraki katmana geçerken soğuma daha hızlı gerçekleştiğinden katmanlar daha sıkı bir şekilde birleşmektedir, PLA’ nın üretimi ABS ve PETG’ ye göre daha kolaydır bu da yine katmanların daha iyi birleşmesine etki etmektedir. Ayrıca PLA’ nın uzama yüzdesi PETG ve ABS’ ye göre daha az olduğu için PLA daha gevrekler. Bu nedenle minimum uzama ve maksimum çekme mukavemeti gerektiren uygulamalarda PLA malzemesi uygun bir seçim olacaktır.



(a)



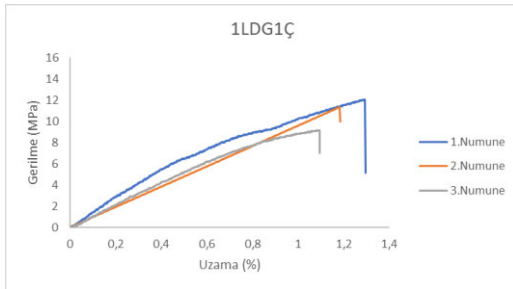
(b)



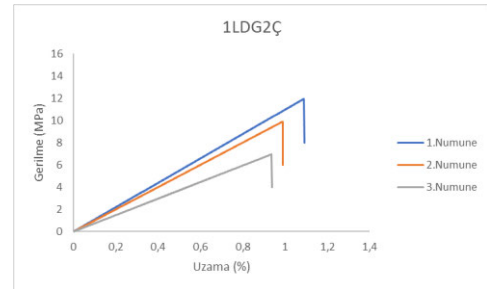
(c)

**Şekil 5.2.** ABS malzemeden üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin çekme mukavemet değerleri. (a- Alan=520 mm<sup>2</sup> b- Alan= 420 mm<sup>2</sup> c- Alan= 196 mm<sup>2</sup>)

Şekil 5.2' de ABS malzemeden üretilmiş ve Loctite tip yapıştırıcı ile birleştirilmiş farklı dairesel geometrilere sahip test numunelerinin çekme mukavemeti değerleri görülmektedir. 1 ve 2 no' lu geometriler Şekil 4.1-2 de görüleceği üzere geçmeli tiptir, 3 no'lu numune geometrisi Şekil 4.3' de görüleceği üzere yüzeysel tiptir. Şekil 5.2 (a), (b)'ye göre yapışma alanı %24 daha fazladır ve çekme mukavemeti yaklaşık %10 daha çoktur ( $\sigma_{ort} \approx 12 \text{ MPa}$  ve  $11 \text{ MPa}$ ). Şekil 5.2 (c)'ye göre yapışma alanı %264, çekme gerilmesi yaklaşık %100 daha fazladır ( $\sigma_{ort} \approx 6 \text{ MPa}$ ). Üretilen parçalarda kullanılan filament boyu ve üretim süreleri 520 mm<sup>2</sup> alan için 5007 mm ve 118 dk, 420 mm<sup>2</sup> için 4997 mm ve 113 dk, 196 mm<sup>2</sup> için ise 5010 mm ve 107 dk şeklindedir. Bu sonuçlara göre üretilen numunelerin filament boyları ve imalat süreleri birbirlerine benzerdir. İmalat süresi ve maliyetler açısından 520 mm<sup>2</sup> alana sahip test numunesi, 420mm<sup>2</sup> ve 196 mm<sup>2</sup> numunelerine göre kullanılması performans açısından daha elverişli olduğu görülmektedir.

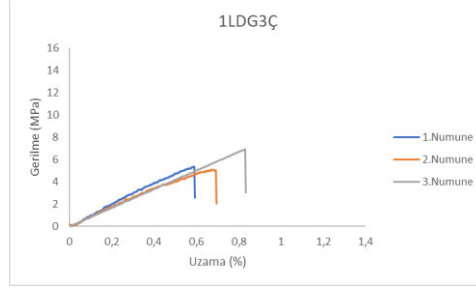


(a)



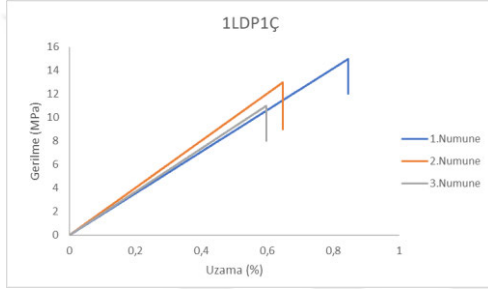
(b)



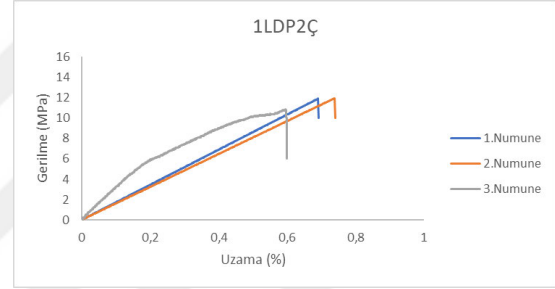


(c)

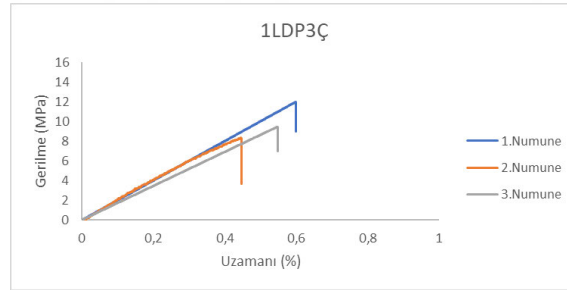
**Şekil 5.3.** PETG malzemeden üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin çekme mukavemet değerleri. (a- Alan=520 mm<sup>2</sup> b- Alan= 420 mm<sup>2</sup> c- Alan= 196 mm<sup>2</sup>)



(a)



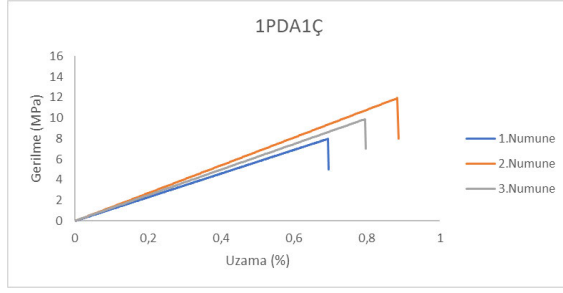
(b)



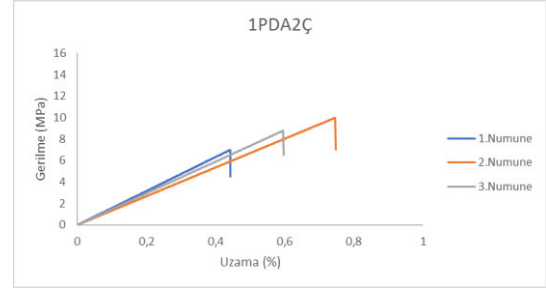
(c)

**Şekil 5.4.** PLA malzemeden üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin çekme mukavemet değerleri (a- Alan=520 mm<sup>2</sup> b- Alan= 420 mm<sup>2</sup>c- Alan= 196 mm<sup>2</sup>)

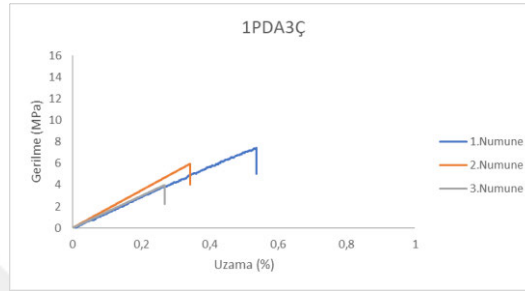
Şekil 5.3-4'te elde edilen sonuçlarda 520 mm<sup>2</sup> alanın çekme gerilmesi değerleri 420 ve 196 mm<sup>2</sup> lik alanlara göre daha fazladır. Şekil 5.2 'de görülen sonuçları desteklemektedir.



(a)



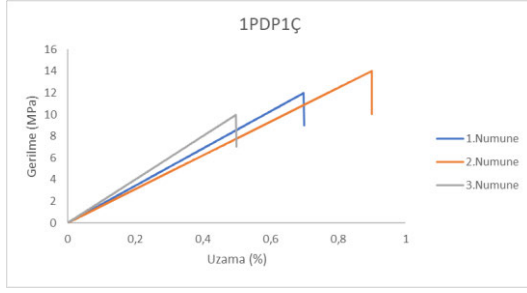
(b)



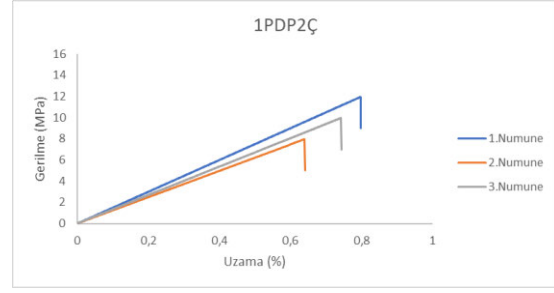
(c)

**Şekil 5.5.** ABS malzemeden üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin çekme mukavemet değerleri (a- Alan=520 mm<sup>2</sup> b- Alan= 420 mm<sup>2</sup> c- Alan= 196 mm<sup>2</sup>)

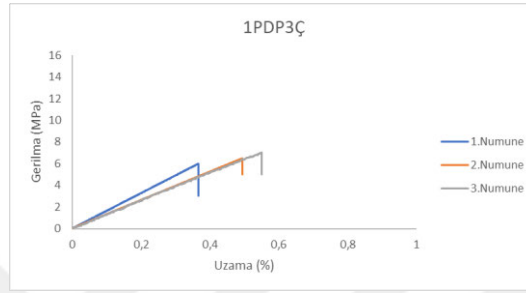
Şekil 5.5'te Pattex tip yapıştırıcılarla birleştirilmiş alanlar görülmektedir. ABS malzemeden üretilmiş ve Pattex tip yapıştırıcı ile birleştirilmiş test numunelerinin çekme mukavemeti değerleri sırasıyla ortalama 10MPa, 8MPa, 5MPa ölçülmüştür. Birleşme alanları azaldıkça gerilme ve uzama değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Şekil 5.2 ile Şekil 5.5 karşılaştırıldığında Loctite, Pattex' e göre daha dayanıklıdır. Şekil 5.2 de ortalama gerilme değerleri 520 mm<sup>2</sup> için 12 MPa, 420 mm<sup>2</sup> için 11 MPa ve 196 mm<sup>2</sup> için 6 MPa iken Şekil 5.5' de 520 mm<sup>2</sup> için 10MPa, 420 mm<sup>2</sup> için 8 MPa ve 196 mm<sup>2</sup> için 5 MPa'dır. Loctite ve Pattex gibi yapıştırıcıların bileşimlerindeki kimyasal maddelerin oranları, mukavemet özellikleri üzerinde etkilidir. Hidroksimetilfurfural kimyasalı yapıştırıcılar içerisinde etkin rol oynayan maddelerden birisidir. Bu bileşik, yapıştırıcıların yapışma özelliklerini arttırmak için kullanılan bir tür reaktif monomerdur. Yapılan bir çalışmada Loctite'da HMF kimyasalı oranının, Pattex 'e göre 0,1 katı daha fazla olması sebebi ile Loctite'nın Pattex' e göre daha mukavemetli olduğu sonucuna varılmıştır. (Miaomiao Han vd, 2017). Gözlenen sonuçlar bu çalışmayı destekler niteliktedir.



(a)

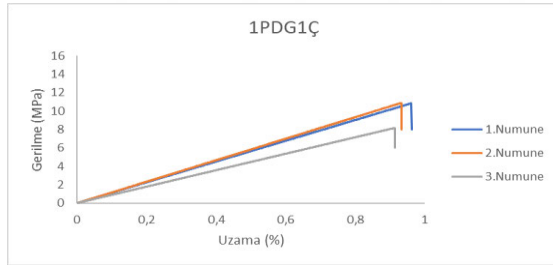


(b)

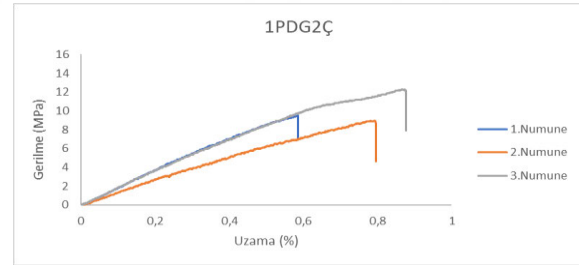


(c)

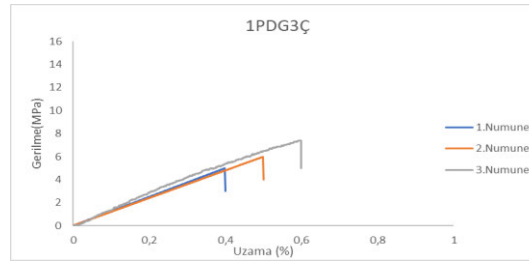
**Şekil 5.6.** PLA malzemeden üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin çekme mukavemet değerleri (a- Alan=520 mm<sup>2</sup> b- Alan= 420 mm<sup>2</sup> c- Alan= 196 mm<sup>2</sup>)



(a)



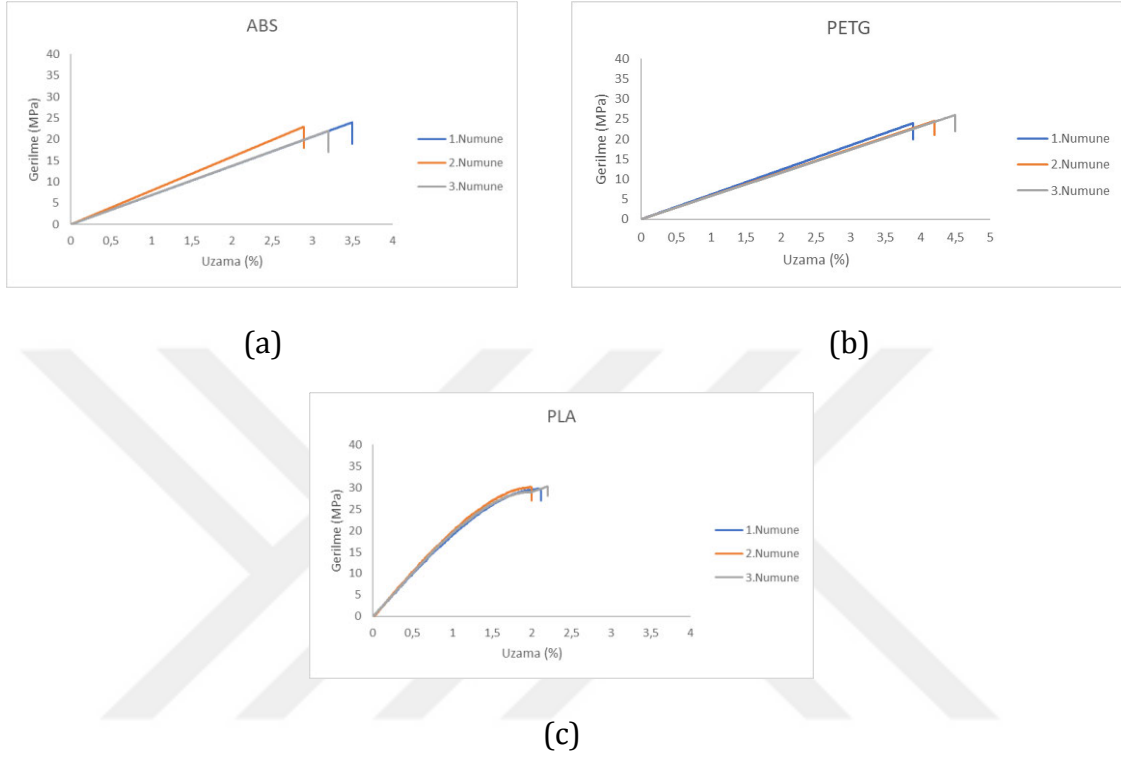
(b)



(c)

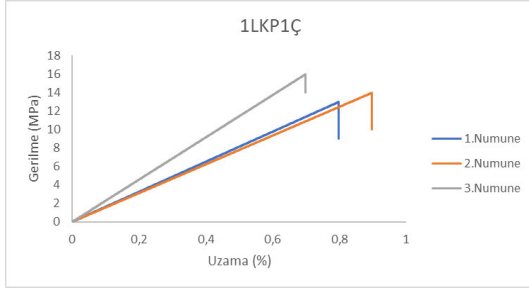
**Şekil 5.7.** PETG malzemeden üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin çekme mukavemet değerleri (a- Alan=520 mm<sup>2</sup> b- Alan= 420 mm<sup>2</sup> c- Alan= 196 mm<sup>2</sup>)

Şekil 5.6-7' de bulunan grafiklerde Pattex ile yapıştırılan numunelerin Loctite ile yapıştırılanlara göre (Şekil 5.2-4) daha düşük dayanıklılık sergilediği görülmektedir. Buradaki grafikler, Şekil 5.5 de bulunan ABS numuneleri ile benzer davranışlar sergilemiştir.

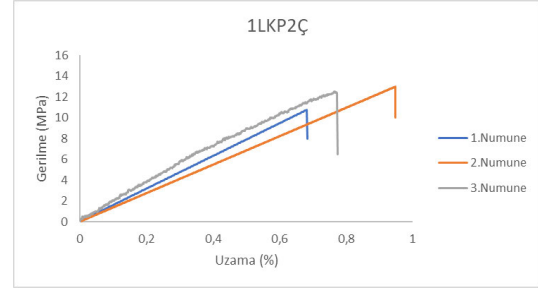


Şekil 5.8 Üç boyutlu yazıcılarda üretilen kare geometri test numunelerinin çekme testi sonuçları (a)- ABS, (b)-PETG ve (c)-PLA.

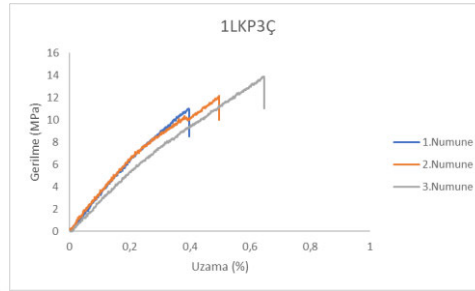
Şekil 5.8'de ABS, PETG ve PLA malzemelerden bütün olarak üretilmiş numunelerin çekme testi sonuçları gözlenmektedir. Şekil 5.8' e göre ortalama gerilmeler sırasıyla PLA için 30 MPa, PETG için 25MPa, ABS için 22MPa civarındadır. Malzemelerin çekme dayanımları arasında yapılan karşılaştırmada, PLA malzemeden üretilen numuneler en yüksek çekme dayanımına sahipken, PETG ve ABS malzemelerinden üretilen numuneler birbirine benzer davranışlar göstermektedir. Şekil 5.1'de görülen dairesel kesit test numuneleri ile Şekil 5.8' de görülen kare kesit test numunelerinin çekme gerilmeleri uyumludur.



(a)



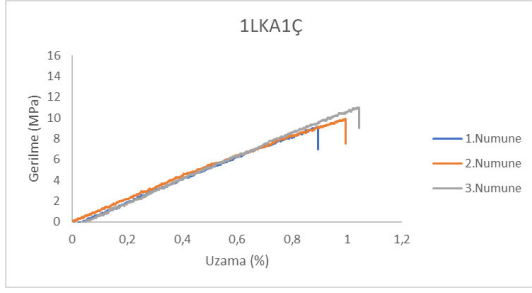
(b)



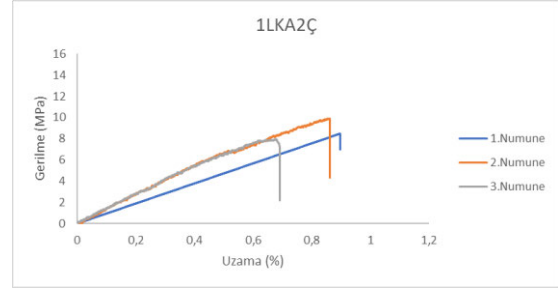
(c)

**Şekil 5.9.** PLA malzemedan üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin çekme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm<sup>2</sup> b- Alan= 160 mm<sup>2</sup> c- Alan=160 mm<sup>2</sup>)

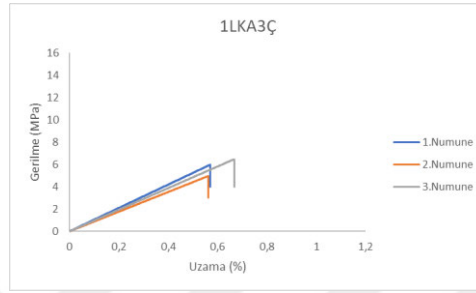
Şekil 5.9' da farklı birleştirme şekilleri kullanılarak PLA hammaddeden üretilen numunelerin çekme testi sonuçları gösterilmiştir. Numunelerin çekme gerilme değerlerine göre ortalama (a) 14 MPa, (b) 12 MPa ve (c) 7 MPa olarak ölçülmüştür. 1 no'lu, 2 no'lu numuneye göre birleştirme alanı oranı %25, çekme gerilmesi %16 fazladır. 3 no'lu numuneye göre birleştirme alanı %25 ve çekme gerilmesi oranı ortalama iki katı daha yüksektir. Geçmeli tipin yüzeysel tip birleştirme şekline göre daha yüksek çekme dayanımına sahip olduğunu göstermektedir. Numunelerin çekme dayanımı testinde dairesel geometride olduğu gibi kare geometride de en yüksek değerler PLA malzemedan üretilen numunelerde gözlemlenmiştir. Üretimde kullanılan filament boyu ve imalat süreleri, 200 mm<sup>2</sup> alan için 1906 mm ve 84 dk, 160 mm<sup>2</sup> için 1902 mm ve 75 dk, 160 mm<sup>2</sup> için ise 1898 mm ve 78 dk şeklindedir. Kullanılan filamentler neredeyse aynı miktarlarca kullanılmıştır. İmalat sürelerine bakıldığında maksimum 9 dk fark bulunmaktadır. Filament miktarları ve süreleri incelendiğinde dayanımı en yüksek olan birleştirme alanının (200 mm<sup>2</sup>) tercih edilmesinin fayda sağlayacağı düşünülmektedir.



(a)

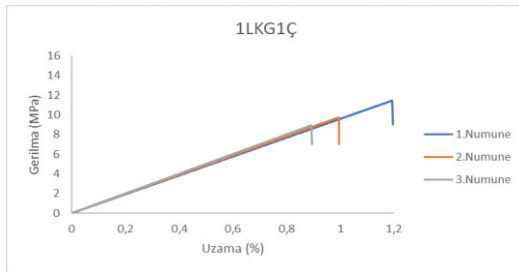


(b)

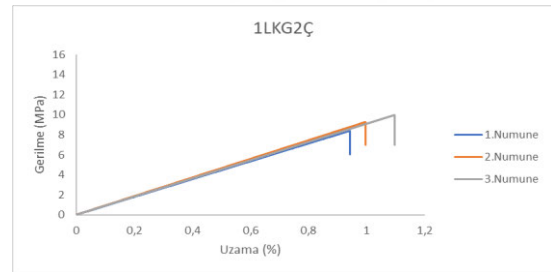


(c)

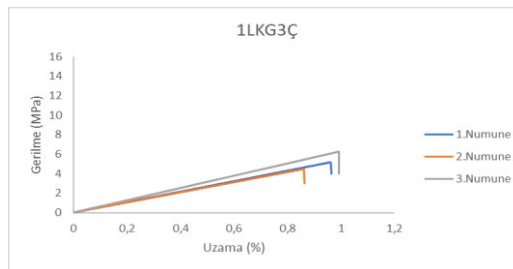
**Şekil 5.10.** ABS malzemeden üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin çekme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm<sup>2</sup> b- Alan= 160 mm<sup>2</sup> c- Alan=160 mm<sup>2</sup>)



(a)



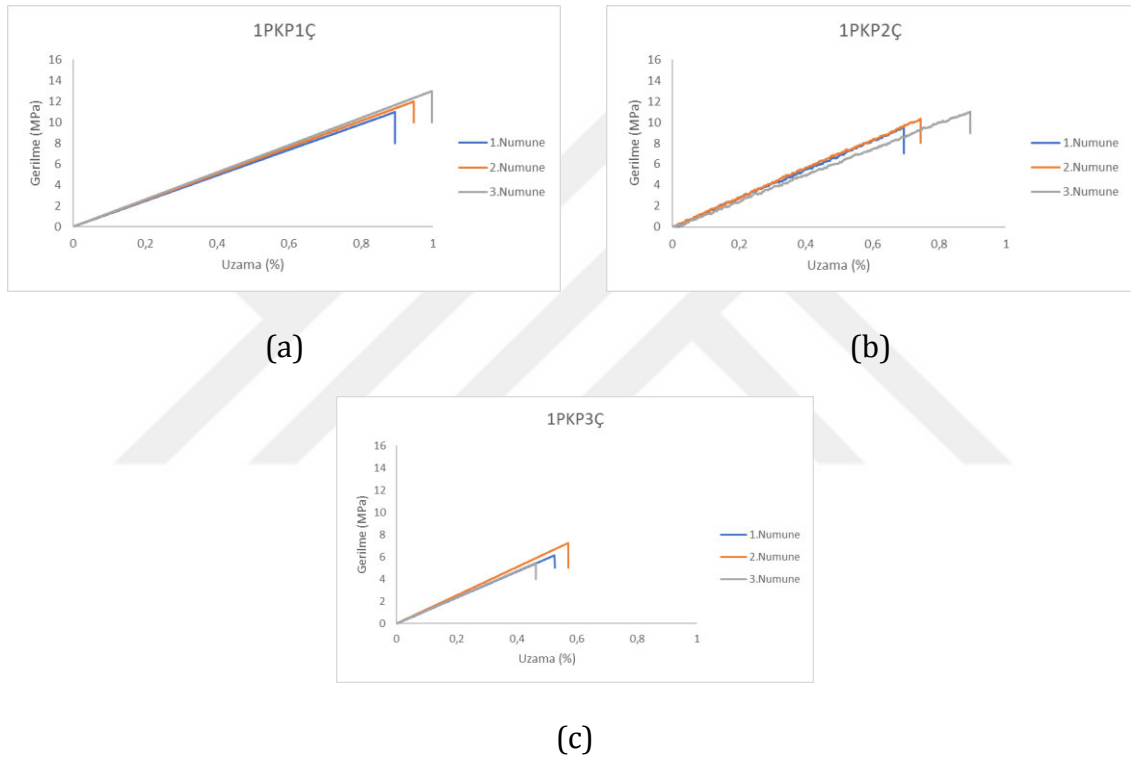
(b)



(c)

**Şekil 5.11.** PETG malzemeden üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin çekme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm<sup>2</sup> b- Alan= 160 mm<sup>2</sup> c- Alan= 160 mm<sup>2</sup>)

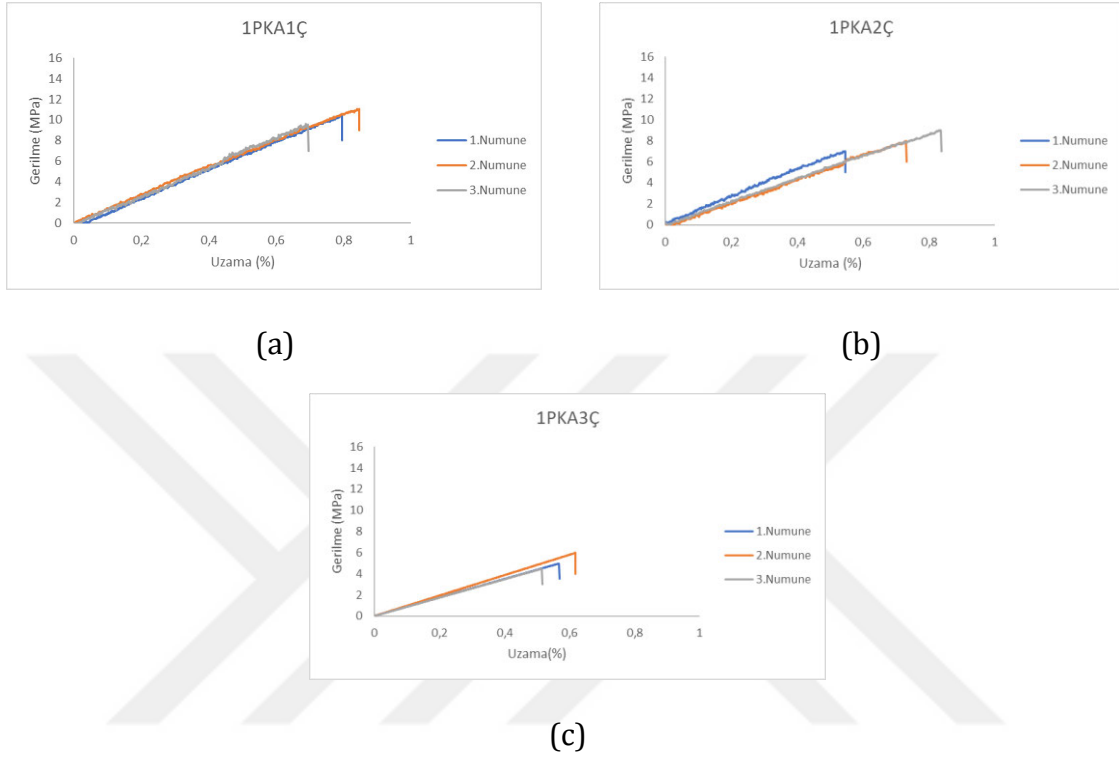
Şekil 5.10-11'de gözlemlenen sonuçlar 1 no'lu numunenin birleştirme alanının fazla olması sebebiyle 2 no'lu numuneden, bağlantı şeklinin geçmeli tip olmasından ve yine birleştirme alanının fazla olmasında dolayı 3 no'lu numuneden daha dayanıklıdır. Aynı nedenlerden dolayı 1 no'lu numune 2 ve 3 'no lu numuneye göre gevrektiler. Şekil 5.9' de elde edilen sonuçları destekler niteliktedir.



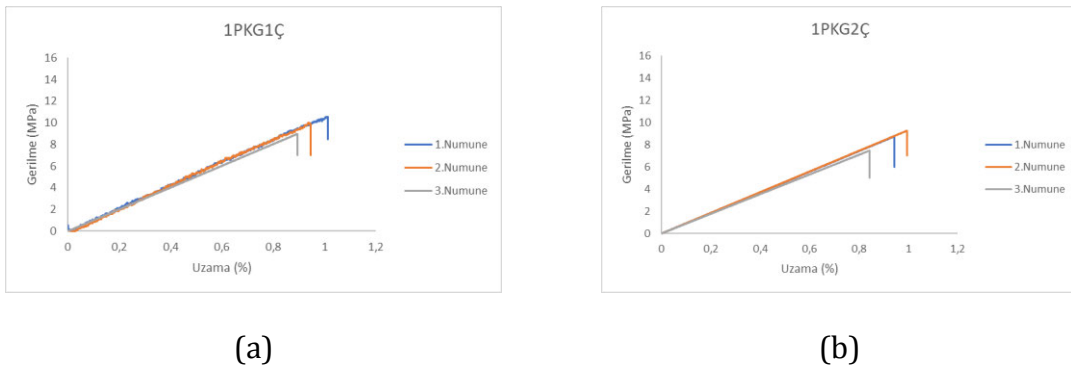
**Şekil 5.12.** PLA malzemeden üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin çekme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm<sup>2</sup> b- Alan= 160 mm<sup>2</sup> c- Alan=160 mm<sup>2</sup>)

Şekil 5.12' de PLA malzemeden üretilen numunelerin çekme dayanımı ölçümlerini içermektedir. 1 no'lu numunenin çekme gerilmesi 12 MPa, 2 no'lu 10MPa ve 3 no'lu 6MPa olarak ölçülmüştür. 1 no'lu numunenin birleştirme alanı oranı, 2 ve 3 no'lu numunelerin birleştirme alanına oranı %25' tir. Aynı sıralamada, çekme gerilmesi oranları %20 ve %100'dür. Bu sonuçlar, Şekil 5.9'da bulunan Loctite yapıştırıcısı kullanılan numunelerin çekme gerilmesi sıralamasıyla benzerdir ve 1 no'lu numune diğer numunelerin arasında birleştirme alanı daha yüksek olduğu için dayanımı en yüksek numunedir. Burada Pattex ile yapıştırılan numuneler, Loctite ile yapıştırılanlara göre dayanımları daha azdır. Bunu nedeni Şekil 5.5'te

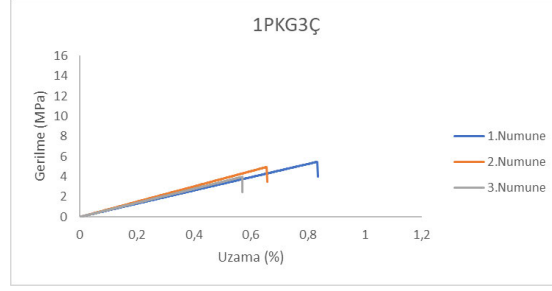
belirtilen Loctite yapıştırıcısının içeriğindeki Hidroksimetilfurfural (HMF) kimyasalı oranının Pattex'e göre daha fazla olması nedeniyle, Loctite yapıştırıcısının çekme dayanımı daha yüksektir sonucunu desteklemektedir.



**Şekil 5.13.** ABS malzemeden üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin çekme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm<sup>2</sup> b- Alan= 160 mm<sup>2</sup> c- Alan= 160 mm<sup>2</sup>)







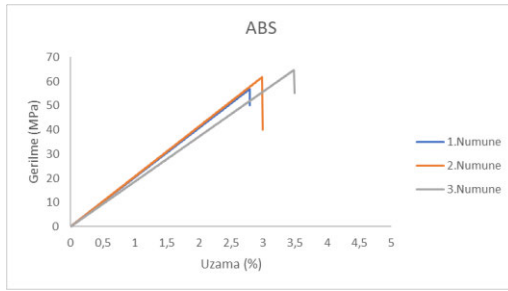
(c)

**Şekil 5.14.** PETG malzemeden üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin çekme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm<sup>2</sup> b- Alan= 160 mm<sup>2</sup> c- Alan= 160 mm<sup>2</sup>)

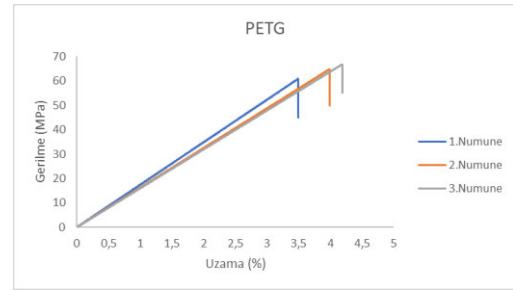
Şekil 5.13-14 de gözlemlenen sonuçlar, eklemeli imalat tekniği ile üretilen numunelerin malzemeleri birbirinden farklı çekme değerlerine sahip olmalarına rağmen birleştirme alanının etkisi ile numunelerin gerilme sıralamaları çoktan aza 1,2 ve 3 no'lu numuneler şeklinde olduğu görülmektedir. Şekil 5.12 de gözlemlenen sonuçlar ile benzerdir.

## 5.2. Üç Nokta Eğme Testi Sonuçları

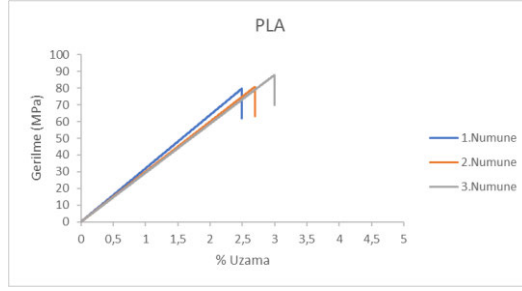
Üç nokta eğme testi malzemenin bükülme yüküne maruz bırakıldığı bir test yöntemidir. Test numunesi iki noktadan desteklenir ve ortadan bir yük uygulanır. Bu test, farklı birleştirme teknikleri ile yapıştırılan numunelerin eğilme dayanımını değerlendirmek ve performansını karşılaştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Eklemeli imalat tekniği kullanılarak üç boyutlu yazıcılarla üretilen ve yapıştırma ile birleştirilen numunelerin üç nokta eğme testleri Şekil 5.15-28 arasında verilmiştir.



(a)

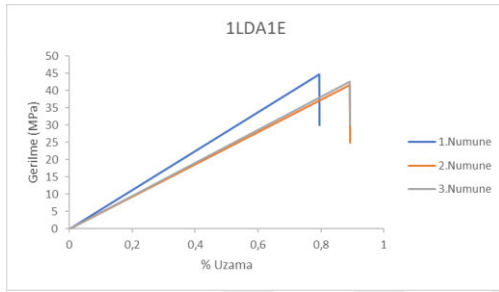


(b)

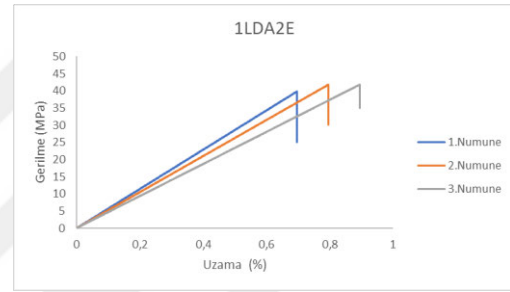


(c)

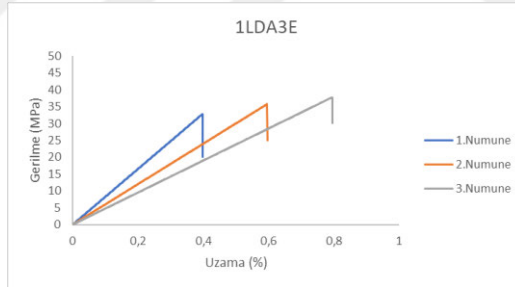
**Şekil 5.15.** Üç boyutlu yazıcılarda üretilen dairesel geometri test numunelerinin üç nokta eğme mukavemeti değerleri (a)- ABS, (b)-PETG ve (c)-PLA.



(a)

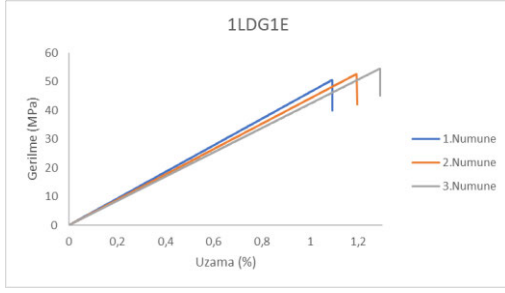


(b)

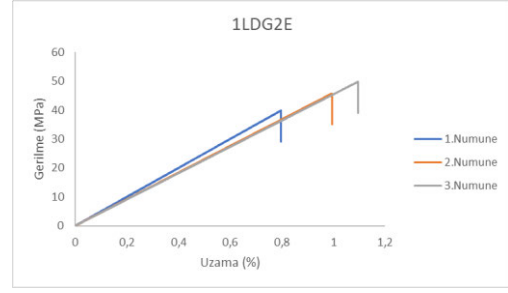


(c)

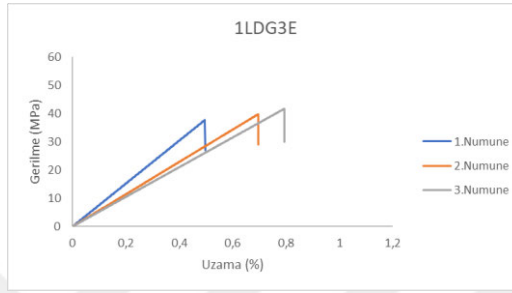
**Şekil 5.16.** ABS malzemeden üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=520 mm<sup>2</sup> bAlan= 420 mm<sup>2</sup> c- Alan= 196 mm<sup>2</sup>)



(a)

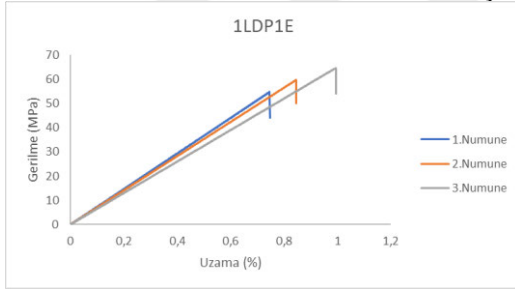


(b)

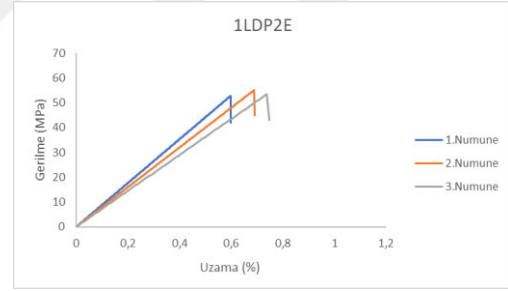


(c)

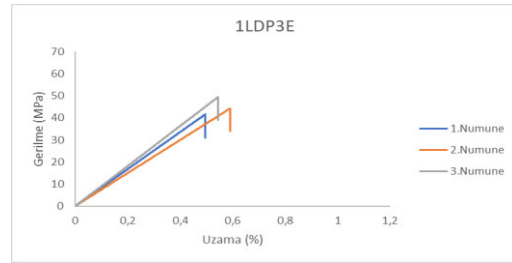
**Şekil 5.17.** PETG malzemedan üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=520 mm<sup>2</sup> b- Alan= 420 mm<sup>2</sup> c- Alan= 196 mm<sup>2</sup>)



(a)

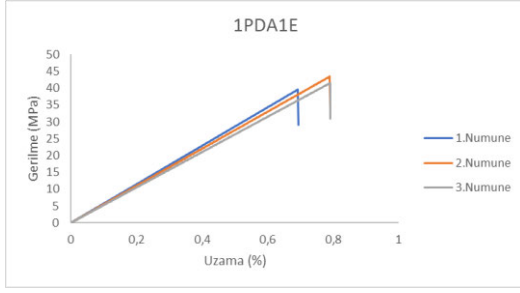


(b)

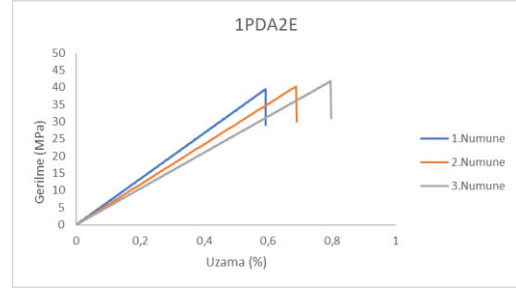


(c)

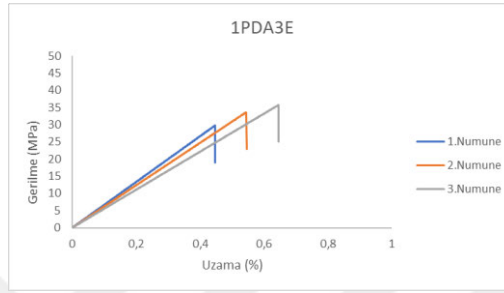
**Şekil 5.18.** PLA malzemedan üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=520 mm<sup>2</sup> b- Alan= 420 mm<sup>2</sup> c- Alan= 196 mm<sup>2</sup>)



(a)

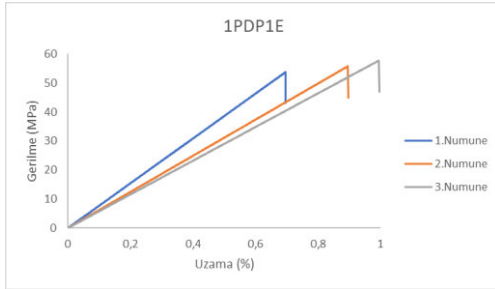


(b)

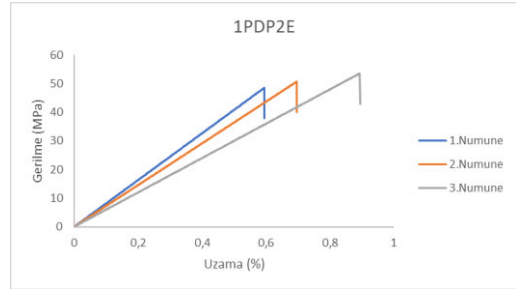


(c)

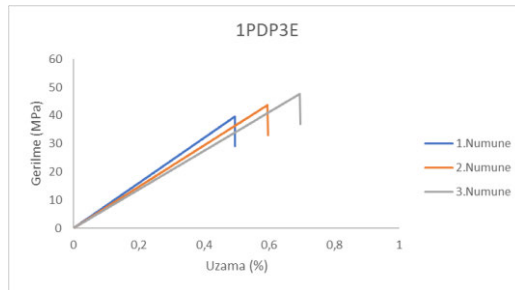
**Şekil 5.19.** ABS malzemedan üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=520 mm<sup>2</sup> b-Alan= 420 mm<sup>2</sup> c- Alan= 196 mm<sup>2</sup>)



(a)



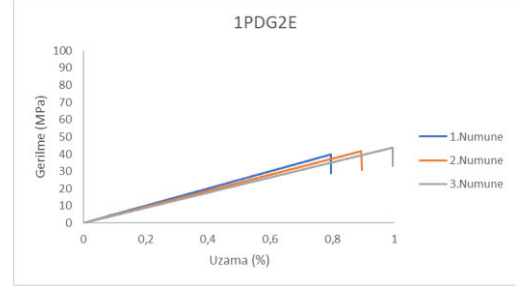
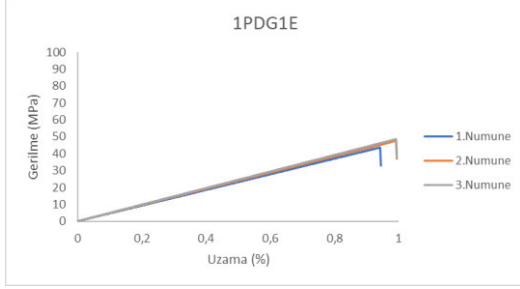
(b)



(c)

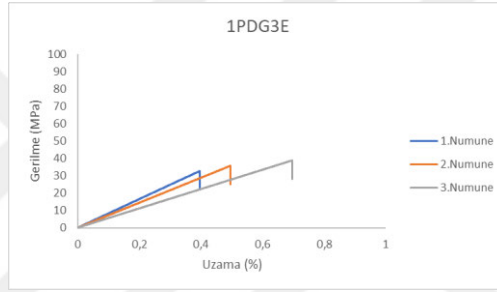
**Şekil 5.20.** PLA malzemedan üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test

numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=520 mm<sup>2</sup> b- Alan= 420 mm<sup>2</sup> c-Alan= 196 mm<sup>2</sup>)



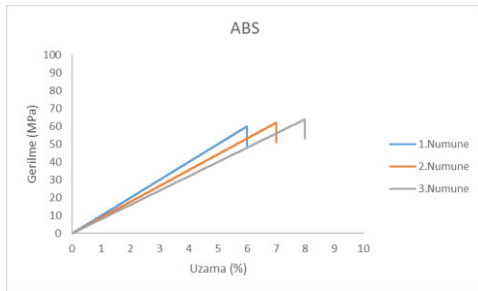
(a)

(b)

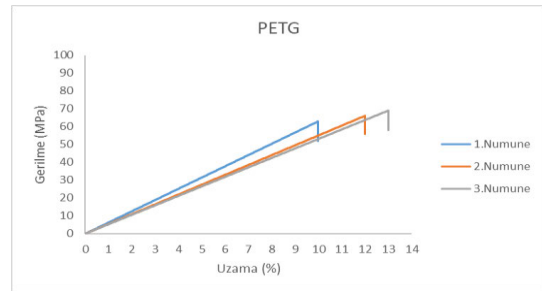


(c)

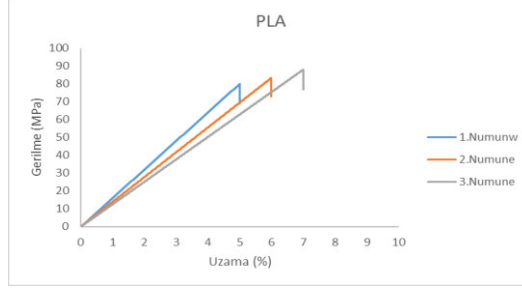
**Şekil 5.21** PETG malzemeden üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, dairesel test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=520 mm<sup>2</sup> b- Alan= 420 mm<sup>2</sup> c- Alan= 196 mm<sup>2</sup>)



(a)

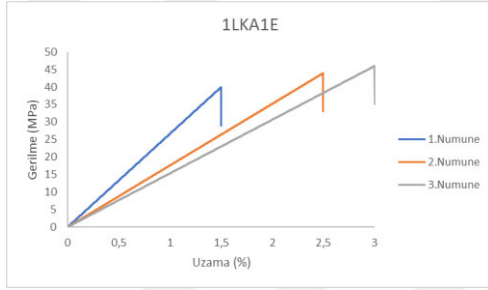


(b)

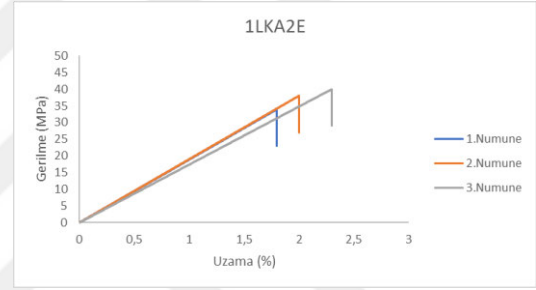


(c)

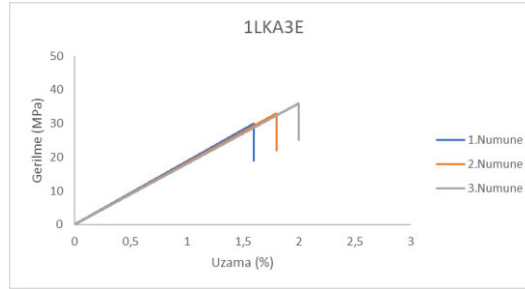
**Şekil 5.22** Üç boyutlu yazıcılarda üretilen kare geometri test numunelerinin üç nokta eğme mukavemeti değerleri (a)- ABS, (b)-PETG ve (c)-PLA



(a)

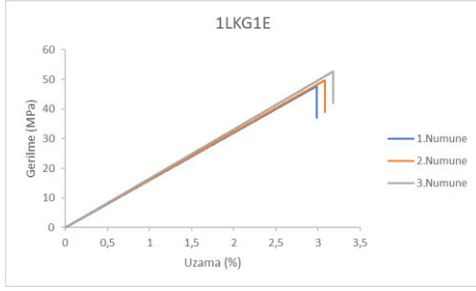


(b)

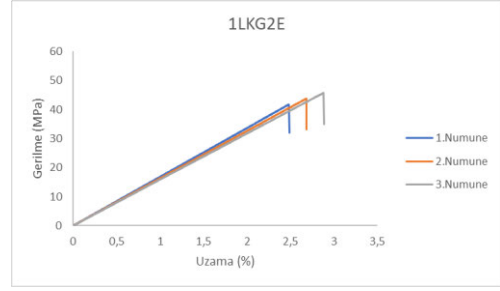


(c)

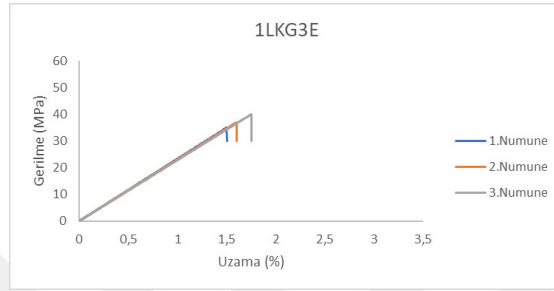
**Şekil 5.23** ABS malzemeden üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm<sup>2</sup> b-Alan=160 mm<sup>2</sup> c- Alan= 160 mm<sup>2</sup>)



(a)

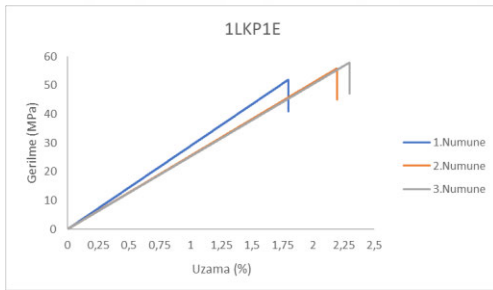


(b)

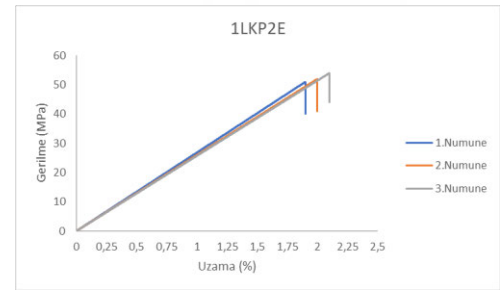


(c)

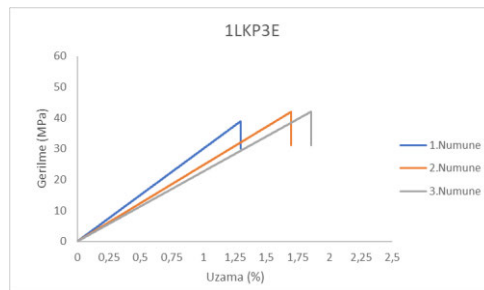
**Şekil 5.24** PETG malzemeden üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm<sup>2</sup> b- Alan= 160 mm<sup>2</sup> c- Alan= 160 mm<sup>2</sup>)



(a)

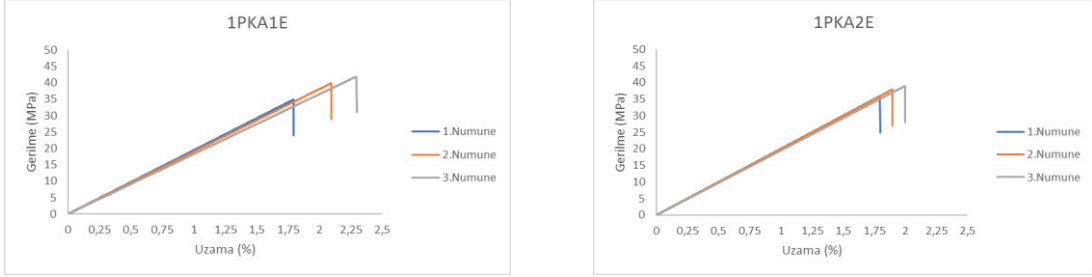


(b)



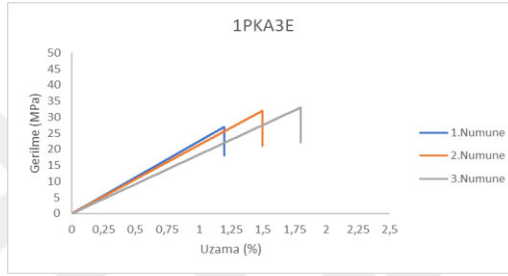
(c)

**Şekil 5.25.** PLA malzemeden üretilmiş, Loctite yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm<sup>2</sup> b- Alan= 160 mm<sup>2</sup> c- Alan= 160 mm<sup>2</sup>)



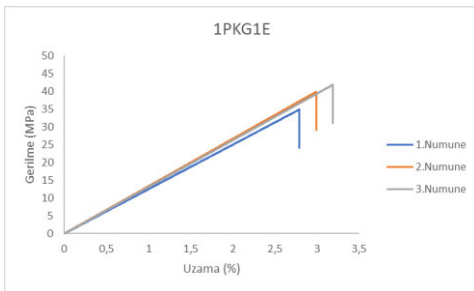
(a)

(b)

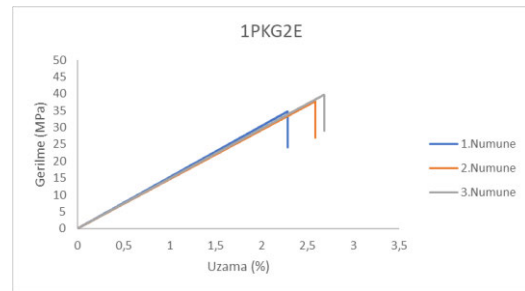


(c)

**Şekil 5.26.** PLA malzemeden üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm<sup>2</sup> b- Alan= 160 mm<sup>2</sup> c- Alan= 160 mm<sup>2</sup>)

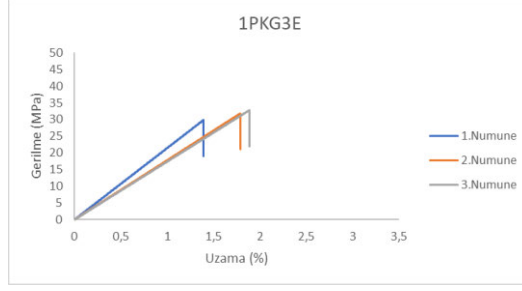


(a)



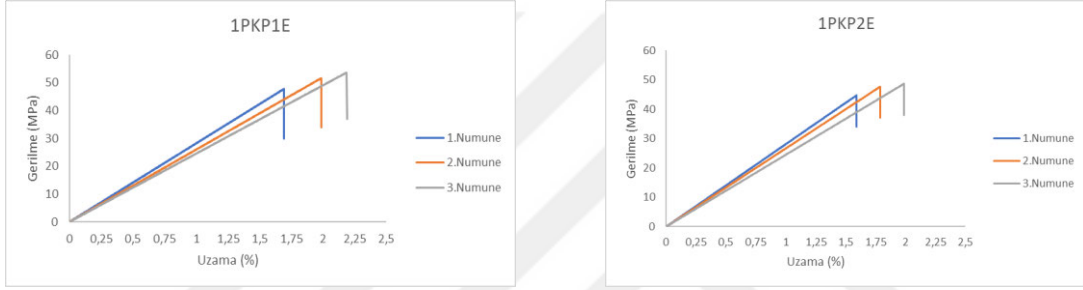
(b)





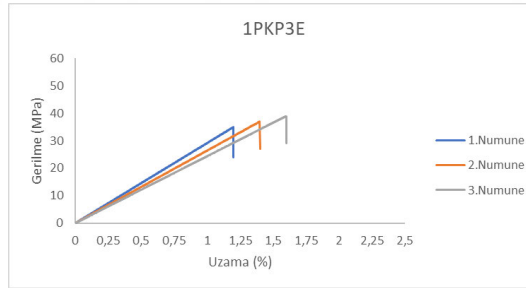
(c)

**Şekil 5.27.** PETG malzemeden üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm<sup>2</sup> b- Alan= 160 mm<sup>2</sup> c- Alan= 160 mm<sup>2</sup>)



(a)

(b)



(c)

**Şekil 5.28.** PLA malzemeden üretilmiş, Pattex yapıştırıcı ile birleştirilmiş, kare test numunelerinin üç nokta eğme mukavemet değerleri (a- Alan=200 mm<sup>2</sup> b- Alan= 160 mm<sup>2</sup> c- Alan= 160 mm<sup>2</sup>)

Üç nokta eğme testi sonucu test numunelerinin dayanımları incelendiğinde malzemelerin birleştirme alanları azaldıkça gerilme değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Çekme testlerinde geçmeli tipin yüzeysel tip birleştirmeye göre daha dayanıklı olduğunu üç nokta eğme testinde elde edilen sonuçlar desteklemektedir. Şekil 5.15-28' e göre PLA malzemeden üretilen numunelerin PETG ve ABS' ye göre daha dayanıklı olduğu görülmektedir. Loctite ile yapıştırılan numuneler Pattex ile yapıştırılan numunelere göre daha dayanıklıdır. Dayanımının

fazla olmasının nedeni Şekil 5.5 de belirtilen HMF kimyasalının Loctite yapıştırıcıda daha fazla bulunmasından dolayıdır. Üç nokta eğme testi sonuçları, birleştirme alanı, malzeme seçimi ve yapıştırma yöntemi gibi faktörlerin numunelerin dayanıklılığını etkilediğini göstermektedir. Üç nokta eğme testi sonuçları, çekme testi sonuçlarında elde edilen gerilme sıralamaları ile benzer sonuçlardır.



## 6.BÖLÜM

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında eklemeli imalat tekniği ile üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretimi yapılmış olan üç farklı malzemenin (PLA, ABS ve PETG), farklı geometri ve yapıştırılma alanlarında çekme ve eğilme testlerinde dayanımları incelenerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Çalışmada tercih edilen polimerik malzemelerin dolu halde (yapıştırılmamış) test verilerine göre en dayanıklı malzeme %28 oranla PLA'dır. ABS ve PETG malzemelerin dayanımları PLA'ya oranla daha düşük olup kendi içerlerinde birbirlerine yakın değerlerdedir. Malzemelerin uzama test verilerine göre PETG %58 oranla daha sünek yapıdadır. Her üç malzemenin hammadde fiyatları birbirlerine yakın ve kolay temin edilebilmektedirler. Üretim teknikleri açısından ABS malzemenin üretimi PLA ve PETG'ye göre oldukça zordur. ABS polimeri ile üretim yapılırken nozzle ve tabla sıcaklığı yüksek olmalıdır. Üretim tablasının etrafı kapalı olup hava ile direkt temasta olmamalıdır. Bu gibi özelliklerden dolayı tüm parça tercih edilirken dayanımın ön planda olmadığı yerlerde PLA, uzamanın önemli olduğu yerlerde PETG tercih edilebilir.

2. Parçaların kimyasal olarak birleştirilmesinde iki farklı yapıştırıcı tercih edilmiştir (Loctite 4070 ve Pattex 2K). Yapılan testler sonucunda Loctite 4070 yapıştırıcı ile birleştirilen malzemelerin Pattex 2K'ya oranla %8-10 daha dayanıklı olduğu gözlenmiştir. Dayanımın yüksek çıkmasının nedeni Loctite 4070 içeriğinde bulunan HMF kimyasalının fazlalığındandır (Miaomiao Han vd, 2017). Loctite 4070'in kürlenme süresi yaklaşık 1 gün sürmektedir ve parçaların yapıştırıp birleştirilmesi için birleştirme kalıplarına ihtiyaç vardır. Pattex 2K'nın kürlenme süresi yaklaşık 2 dakikadır. Yapıştırıcıların kürlenme süreleri/mukavemet dayanımları kıyaslandığında dayanımın çok etkili olmadığı koşullarda Pattex2K yapıştırıcısının kullanımı uygundur. Yalnız kürlenme süresinin kısa olması her zaman avantajlı değildir. Pattex 2K ile parçaları birleştirirken çok dikkat edilmesi gerekmektedir. Hızlı kürlenme parçalarda düzgün olmayan bağlantı ve çarpılma gibi etkiler doğurur ve bu etkiler dayanımı düşürür. İleriki çalışmalarda polimerik malzemelerin birleştirilmesinde dayanımı daha fazla arttırmak için farklı yapıştırıcılar (Loctite 401, Loctite 406) tercih edilerek yapıştırma testleri yapılabilir. Ayrıca dayanım testlerinin yanı sıra yüzeylerin yapışma fotoğrafları karşılaştırılabilir.

3. Birleştirilmesi yapılan kare ve dairesel geometrilerde iki farklı yol izlenmiştir. Birincisi her iki geometride de malzemeler yüzeysel ve geçmeli olarak yapıştırılmıştır. Geçmeli olan birleştirmeler yüzeysel olanlara oranla yaklaşık %25-30 daha dayanıklı çıkmıştır. Her iki yapıştırıcı içinde sonuçlar birbirine benzerdir. Geçmeli bağlantının yüzeysel bağlantıya oranla daha dayanıklı çıkmasının nedeni yapıştırıcının sadece yüzeyde belli bir düzlemde değil açısız olarak tüm yüzeye farklı noktalardan bağlantı sağlamasıdır. Bağlantının açısız olarak yüzeye

farklı noktalardan bağlanarak etki eden yükün etkisi azalmakta ve dayanım artmaktadır. Bu sonuçlara göre yapıştırma bağlantılarının geçmeli tip yapılması daha avantajlıdır.

İkinci yolda ise bağlantının geometrisi değiştirilmeden, geçmeli tip bağlantılarda, yapıştırılma yüzey alanları büyütülerek dayanımların dahada arttırılması hedeflenmiştir. Bağlantıların yüzey alanları büyütüldüğünde dairesel tip bağlantılarda %19 kare tip bağlantılarda %10 oranında artış sağlanmıştır. Eklemeli imalat tekniğinde geçmeli tip bağlantılarda yüzey alanını arttırmak klasik üretim yöntemine göre çok daha kolaydır. Örneğin dairesel tip bir bağlantıda yapıştırma alanını %50 civarında arttırmak için yazıcı 2 dakika fazla süre çalışıp yaklaşık 2-3 metre filament harcamaktadır. Bütün parçaların üretimi söz konusu olduğunda yapıştırma alanının artımı %0.5-1 gibi bir ek süre ve maliyete neden olmaktadır. Yapıştırma alanının %50 artması ile dayanım %14 oranında artmaktadır. Bağlantı maliyeti düşünüldüğünde yapıştırılma alanın yüksek tutulması avantaj olarak görülmektedir. Burada dikkat edilecek en önemli nokta yapıştırma alanının her açıdan aynı seviyede kalınlığa sahip olmasıdır. Polimerik malzemeler kırılğan tipte olduklarından parça kalınlığı veya birleşme yüzey alanının darlığı kırılğanlığı arttırmaktadır. Kompleks bağlantılarda parçalar en hassas yerlerden koptuğu için bağlantılarda istenilen mukavemet değerleri elde edilememektedir. Aynı şekilde dairesel tip geçmeli bağlantılarda delik çapı toleranslarını çok iyi tasarlamak gerekmektedir.

4. Yapıştırıcı kullanılarak bağlantısı yapılan numunelerin dayanımlarını ölçmek için çekme ve üç nokta eğme testleri yapılmıştır. Bu testlerin birbirinden en büyük farkı yükün uygulama yönüdür. Çekme testinde malzemelerin üretilen tabakalarına paralel, eğme testinde üretilen tabakalara dik yönde kuvvet uygulanmıştır. Her iki testin sonuçları toplu olarak incelendiğinde üç nokta eğme testine maruz kalan numuneler çekme testine oranla yaklaşık 4 katı daha dayanıklı çıkmıştır. Bunun en büyük nedeni parçalar tabakalar halinde üst üste üretilirken ısının etkisiyle birbirlerine iyi bir şekilde bağlanmaktadır. Bu çalışmada tabaka kalınlığı 0.1 mm seçilerek numunelerin üretiminde daha fazla ve sık tabakalar oluşturulmuştur. Çekme testinde ise kopmalar her zaman malzemelerin birbirleriyle birleştirildiği yapıştırıcı bölgelerinde meydana gelmiştir. Bunun sonucunda kopmalar malzemenin özelliklerinden ziyade malzeme/yapıştırıcı etkisi bileşiminden meydana gelmiştir. Her iki test sonucunda malzemelerin üretim yönüne dik olarak kullanılması tavsiye edilebilir.

## KAYNAKÇA

- Anonim,2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320311901>
- Anonim,2022. <https://novatek3d.com/fdm-teknolojisi-nedir/>
- Anonim,2022. <https://www.3dxtech.com/tech-data-sheets-safety-data-sheets/>
- Anonim,2022.[https://www.researchgate.net/figure/Scope-of-FDM-based-polymers-composites-in-various-applications\\_fig1\\_347489145](https://www.researchgate.net/figure/Scope-of-FDM-based-polymers-composites-in-various-applications_fig1_347489145)
- Anonim,2022 Industries and markets. [http://www.eos.info/industries\\_market](http://www.eos.info/industries_market) 22.07.2022
- A. Gursel, (2019) "Fundamentals in Adhesive Bonding Design for Complex Structures and Conditions," 8(1)
- AKÇAKALE, N. (2022) Yapıştırıcılar ve Yapıştırıcıların Genel Özellikleri. 373s
- Akpek, A. (2018). Triküspit kalp kapakçıklarının üç boyutlu (3B) biyobaskı metotları ile fabrikasyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(2), 740-745
- Annual Book of ASTM Standards Book (2012). Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies. International, West Conshohocken, USA.
- Asadollahi-Yazdi, E., Gardan, J. ve Lafon, P. (2016). Integrated design in additive manufacturing based on design for manufacturing. Int'l Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, 10(6), 1104-1111.
- Aydoğdu, M. O. (2019). 3 boyutlu biyo baskı yöntemi ile hidrojel katkılı doku iskeleti üretimi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Banea, M. D., & da Silva, L. F. (2009). Adhesively bonded joints in composite materials: an overview. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications, 223(1), 1-18.
- BAŞCI, Ü. G., & YAMANOĞLU, R. (2021). Yeni nesil üretim teknolojisi: FDM ile eklemeli imalat. International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, 5(2), 339-352.
- Calignano, F., Manfredi, D., Ambrosio, E. P., Biamino, S., Lombardi, M., Atzeni, E. ve Fino, P. (2017). Overview on Additive Manufacturing Technologies. Proceedings of the IEEE, 105(4), 593-612. doi: 10.1109/JPROC.2016.2625098
- Can, A., & Aslan, İ. (2018). Katmanlı üretim ile elde üretilmiş kum döküm kalıpların incelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(4), 1269-1282.
- Can, A., & Aslan, İ. (2018). Katmanlı üretim ile elde üretilmiş kum döküm kalıpların incelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(4), 1269-1282.
- Crump, S. S. (1992). U.S. Patent No. 5,121,329. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Çakan, B. G., Ensarioğlu, C., Küçükakarsu, V. M., Tekin, İ. E., & Çakır, M. C. (2021). Malzeme ekstrüzyonuyla üretilmiş öksetik bal peteği kutuların yöne bağlı darbe davranışının deneysel ve nümerik olarak incelenmesi. Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University, 36(3).
- Çelik, T., Mutlu, İ., & Özkan, A. (2022) Parçalı Olarak Üretilen 3 Boyutlu Yazıcı Çıktılarında Kullanılan Bağlantı Tiplerinin Mekanik Açından Değerlendirilmesi. International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, 6(1), 137-142.
- Dattoma, V. & Marcuccio, R. (2001). Thermographic investigation of sandwich structure made of composite material, NDT & E International, Vol 34, Issue 8, pp. 515-520.
- Dudek, P. F. D. M. (2013). FDM 3D printing technology in manufacturing composite elements. Archives of metallurgy and materials, 58(4), 1415-1418.

- EOS. (2018). Industries and markets. [http://www.eos.info/industries\\_market](http://www.eos.info/industries_market).
- F. Awaja, Gilbert M, Kelly G, Fox B, Pigram PJ.,(2009) Adhesion of polymers, vol. 34, pp. 948–68,
- Gökkurt, T. (2007). Farklı Yöntemlerle Kaplanan Termoplastiklerin Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi (Doctoral dissertation, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
- Haleem, A., Javaid, M., & Saxena, A. (2018). Additive manufacturing applications in cardiology: A review. *The Egyptian heart journal*, 70(4), 433-441.
- Hod Lipson, Fabricated: (2013) *The New World of 3D Printing*. New York: Wiley. 3.Bölüm.
- Hornbeck, L. J. (1991). U.S. Patent No. 5,061,049. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Huang, R., Riddle, M., Graziano, D., Warren, J., Das, S., Nimbalkar, S. ve Masanet, E. (2016). Energy and emissions saving potential of additive manufacturing: the case of lightweight aircraft doi:10.1016/j.jclepro.2015.04.109 components. *Journal of Cleaner Production*, 135, 1559-1570.
- Journal of Advanced Technology Sciences*, (2019) vol. 8, no.1, pp. 1-10,
- Kafle, A., Luis, E., Silwal, R., Pan, H. M., Shrestha, P. L., & Bastola, A. K. (2021). 3D/4D Printing of polymers: Fused deposition modelling (FDM), selective laser sintering (SLS), and stereolithography (SLA). *Polymers*, 13(18), 3101.
- Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., Hui, D. (2018). Additive Manufacturing (3D printing): A Review of Materials, Methods, Applications and Challenges. *Composites Part B Engineering*; 143: 172-196.
- Khaing, M.W., Fuh, J.Y.H., Lu, L. (2001). Direct metal laser sintering for rapid tooling: processing and characterisation of Eos parts. *Journal of Materials Processing Technology*, 113: 269-272.
- Kurtkan, Ü. (2016). Yapıştırıcı ve perçinle birleştirilmiş tek L tipi bağlantıların çekme davranışının incelenmesi (Master's thesis, Batman Üniversitesi).
- Lipton, J. I., Cutler, M., Nigl, F., Cohen, D. ve Lipson, H. (2015). Additive manufacturing for the food industry. *Trends in food science ve technology*, 43(1), 114-123. doi:10.1016/j.tifs.2015.02.004
- Mariani, M., Beltrami, R., Brusa, P., Galassi, C., Ardito, R., & Lecis, N. (2021). 3D printing of fine alumina powders by binder jetting. *Journal of the European Ceramic Society*, 41(10), 5307-5315.
- Matias E, Rao, B. (2015). 3D Printing: On Its Historical Evolution and the Implications for Business. *International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*; 551-558.
- McMenamin, P. G., Quayle, M. R., McHenry, C. R. ve Adams, J. W. (2014). The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. *Anatomical sciences education*, 7(6), 479-486.
- Mostafaei, A., Elliott, A. M., Barnes, J. E., Li, F., Tan, W., Cramer, C. L., ... & Chmielus, M. (2021). Binder jet 3D printing—Process parameters, materials, properties, modeling, and challenges. *Progress in Materials Science*, 119, 100707.
- Nie, H., Gu, S., & Mao, H. (2022). Analytical Model of Piezoresistivity for an Inner-Adhesive-Type Carbon Fibre Reinforced Plastic Tunnel Reinforcement. *Materials*, 15(13), 4602.
- Öztürk, B. (2020). 3 boyutlu yazıcı ile üretilen sandviç yapıların statik ve dinamik yük altında davranışlarının incelenmesi (Master's thesis, Bursa Teknik Üniversitesi).
- Pal, S., Tiyyagura, H.R., Drstvenšek I, Kumar, C.S. (2016), The effect of post-processing and machining process parameters on properties of stainless steel PH1 product produced by Direct Metal Laser Sintering. *Procedia Engineering*, 149: 359 – 365.
- Pîrjan A, Petroşanu, D.-M. (2013). The Impact of 3D Printing Technology on the Society and Economy. *Journal of Information Systems & Operations Management*; 7: 360–370.

- PLA, P. A. (2022). Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS). Mühendislik Alanında Uluslararası Araştırmalar II, 139.
- Riemer, A., Leuders, S., Thöne, M., Richard, H.A., Tröster, T., Nienford, T. (2014). On the fatigue crack growth behavior in 316L stainless steel manufactured by selective laser melting. *Engineering Fracture Mechanics*, 120: 15– 25.
- Röttger, A., Geenen, K., Windmann, M., Binner, F., Theisen, W. (2016). Comparison of microstructure and mechanical properties of 316L austenitic steel processed by selective laser melting with hot-isostatic pressed and cast material. *Materials Science and Engineering A*, 678: 365–376.
- Shakor, P., Chu, S. H., Puzatova, A., & Dini, E. (2022). Review of binder jetting 3D printing in the construction industry. *Progress in Additive Manufacturing*, 1-27.
- Shanmugam, V., Das, O., Babu, K., Marimuthu, U., Veerasimman, A., Johnson, D. J., ... & Berto, F. (2021). Fatigue behaviour of FDM-3D printed polymers, polymeric composites and architected cellular materials. *International Journal of Fatigue*, 143, 106007.
- Skowrya, J., Pietrzak, K., & Alhnan, M. A. (2015). Fabrication of extended-release patient-tailored prednisolone tablets via fused deposition modelling (FDM) 3D printing. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 68, 11-17.
- Sürmen, H. K. (2019). EKLEMELİ İMALAT (3B BASKI): TEKNOLOJİLER VE UYGULAMALAR. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 373-392.
- Şahin, K., & TURAN, B. O. (2018). ÜÇ BOYUTLU YAZICI TEKNOLOJİLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ. *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(2), 97-116.
- Tay, F. E.H., Haider, E.A. 2002. Laser sintered rapid tools with improved surface finish and strength using plating technology. *Journal of Materials Processing Technology*, 121: 318–322.
- Tezel, T. (2019). Üç boyutlu metal yazıcı teknolojisi ile üretilen metal dişlilerin geleneksel imalat yöntemiyle üretilenler yerine kullanılabilirliğinin deneysel olarak incelenmesi.
- Chamil Abeykoon vd (2020). Optimization of fused deposition modeling parameters for improved PLA and ABS 3D printed structures
- F.A. Santos vd (2021). Low velocity impact response of 3D printed structures formed by cellular metamaterials and stiffening plates: PLA vs. PETg
- Jiří Suder vd (2020). TESTING OF GLUED JOINTS ON PLASTIC PARTS MANUFACTURED USING FFF TECHNOLOGY
- Miaomiao Han vd (2017). 5-Hydroxymethyl-2-vinylfuran: a biomass-based solvent-free adhesive
- Das, S. S., & Patel, D. K. (2019). Evaluation of the mechanical and thermal properties of 3D printed PETG parts. *Materials Today: Proceedings*, 18, 5282-5290. doi:10.1016/j.matpr.2019.10.085
- J. Lipina, V. Krys, J. Sedlák. (2014) Shaped glued connection of two parts made by rapid prototyping technology. In *Modeling and Optimization of the Aerospace, Robotics, Mechatronics, Machines-Tools, Mechanical Engineering and Human Motricity Fields*, vol. 555 of *Applied Mechanics and Materials*, pp. 541 – 548.. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.555.541.
- Toğar, Y. E. (2021). Kompozit malzemelerin yapıştırılmasında karma yapıştırıcı kullanımının bağlantı mukavemeti üzerine etkilerinin incelenmesi (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Türkoğlu, İ. K. (2020). 3 Boyutlu Eklemeli Üretim Yöntemiyle Üretilmiş Termoplastik Esaslı Ökzetik Çekirdek Geometrilik Sandviç Yapıların Statik ve Dinamik Yükler Altında Davranışının İncelenmesi (Doctoral dissertation, Bursa Uludağ University).
- W. C. Wake, "Adhesion and the Formulation of Adhesives," 2nd ed. Essex: Applied Science Publishers Ltd., New York, 1982.

Wang, Y. C., Chen, T. ve Yeh, Y. L. (2018). Advanced 3D printing technologies for the aircraft industry: a fuzzy systematic approach for assessing the critical factors. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-11. doi:10.1007/s00170018-1927-8

Wendy Kneissl. *3D Printing 2014-2025: Technologies, Markets, Players*. ABD: IDTechEx. 4 bölüm., 2013  
Wohlers Report 2018, 2018. Wohlers Associates.

Xi J, Chen Y, Zhang Y, Murari K, Li M-J and Li X 2012 “Integrated multimodal endomicroscopy platform for simultaneous en face optical coherence and two-photon fluorescence imaging”

YALÇINKAYA, S., ŞEN, M., & GÜRDAL, O. (2019) AT THE 3D PRINTER SLA RESIN PRINTING. 4th INTERNATIONAL CONGRESS ON 3D PRINTING (ADDITIVE MANUFACTURING) TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY,

Yıldırım, M. N., Doruk, Ş., & Karaman, A. (2019, October). 3d yazıcıda üretilmiş kavala bağlantı elemanının L tipi mobilya köşe birleştirmelerinde kullanımı. In *3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT 2019)* (pp. 174-177).

Zhang, B., Luo, Y., Ma, L., Gao, L., Li, Y., Xue, Q. ve Cui, Z. (2018). 3D bioprinting: an emerging technology full of opportunities and challenges. *Bio-Design and Manufacturing*, 1-12. doi:10.1007/s42242-018-0004-3



## EK-1 TEST NUMUNELERİNİN KOPMA RESİMLERİ



(a)



(b)

**Resim Ek 1.1** Çekme Testi ABS (a) Test Öncesi, (b) Test Sonrası



(a)



(b)

**Resim Ek 1.2** Çekme Testi PETG (a) Test Öncesi, (b) Test Sonrası

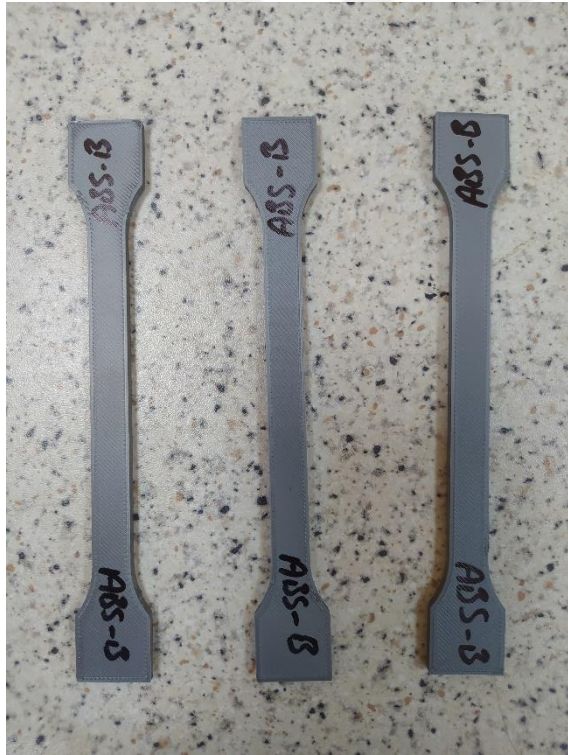


(a)



(b)

**Resim Ek 1.3** Çekme Testi PLA (a) Test Öncesi, (b) Test Sonrası



(a)



(b)

**Resim Ek 1.4** Çekme Testi ABS (a) Test Öncesi, (b) Test Sonrası



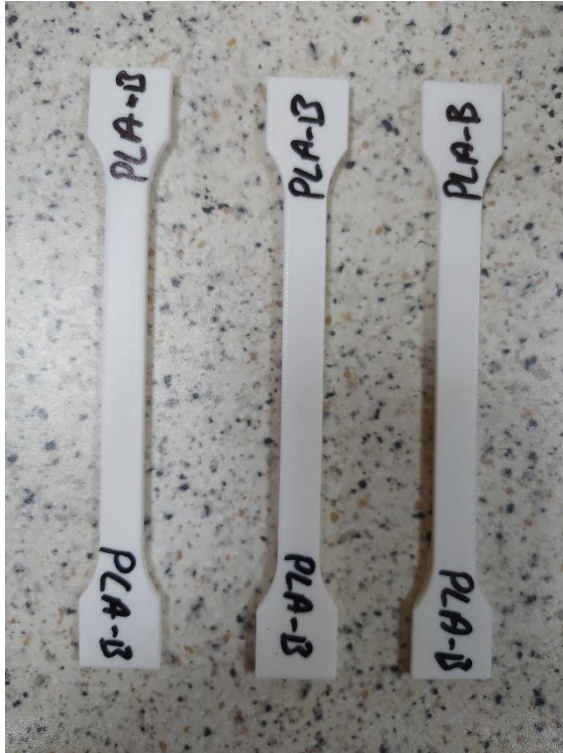


(a)

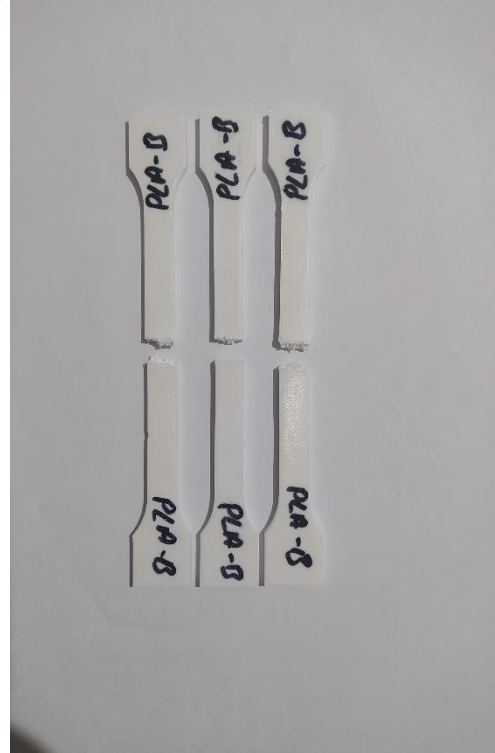


(b)

Resim Ek 1.5 Çekme Testi PETG (a) Test Öncesi, (b) Test Sonrası



(a)



(b)

Resim Ek 1.6 Çekme Testi PLA (a) Test Öncesi, (b) Test Sonrası



(a)



(b)

**Resim Ek 1.7 Üç Nokta Eğme Testi ABS (a) Test Öncesi, (b) Test Sonrası**



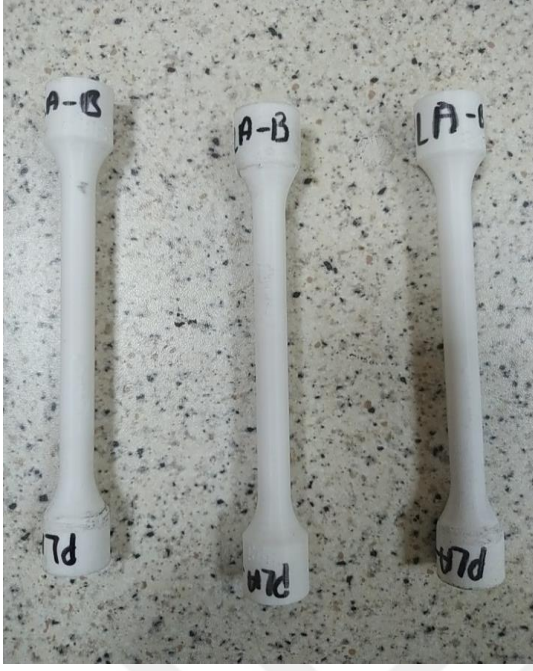
(a)



(b)

**Resim Ek 1.8 Üç Nokta Eğme Testi PETG (a) Test Öncesi, (b) Test Sonrası**



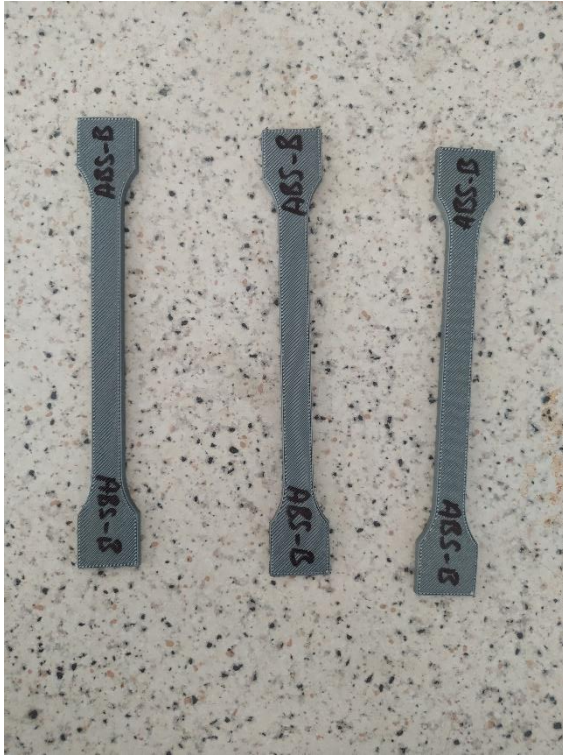


(a)

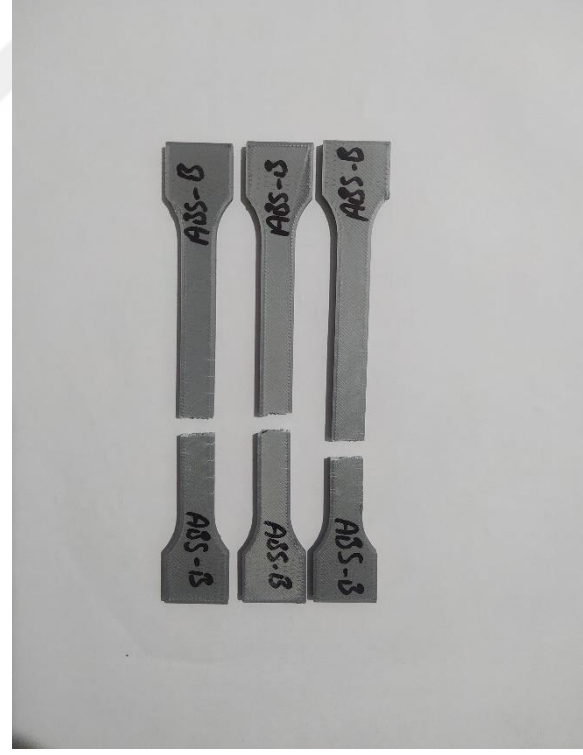


(b)

**Resim Ek 1.9** Üç Nokta Eğme Testi PLA (a) Test Öncesi, (b) Test Sonrası



(a)



(b)

**Resim Ek 1.10** Üç Nokta Eğme Testi ABS (a) Test Öncesi, (b) Test Sonrası

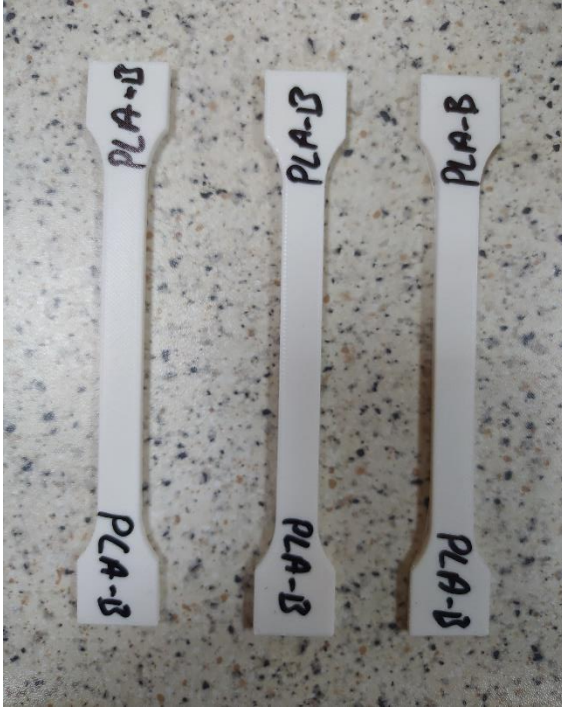


(a)

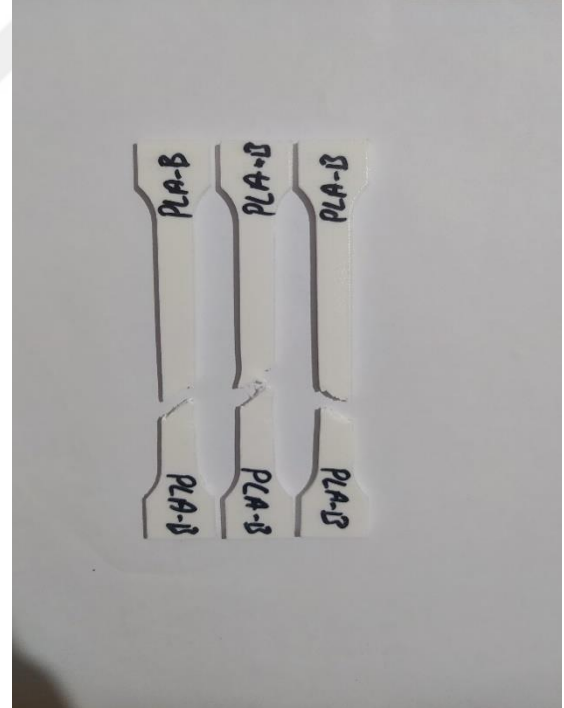


(b)

**Resim Ek 1.11** Üç Nokta Eğme Testi PETG (a) Test Öncesi, (b) Test Sonrası



(a)



(b)

**Resim Ek 1.12** Üç Nokta Eğme Testi PLA (a) Test Öncesi, (b) Test Sonrası



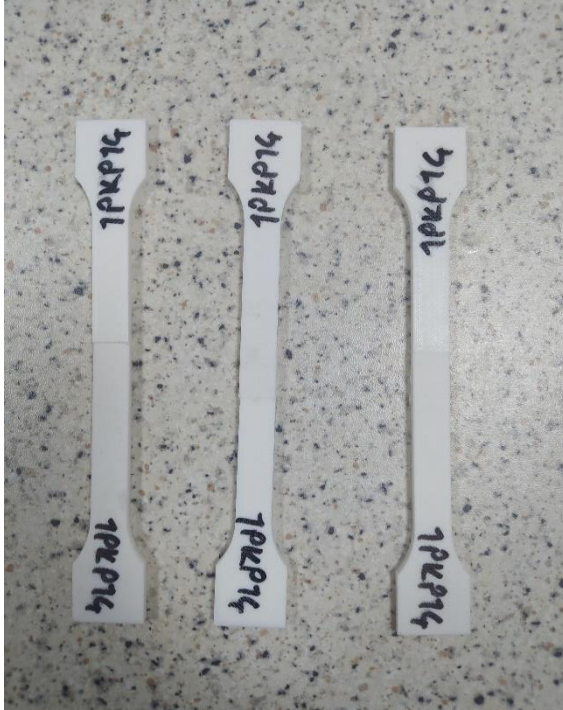


(a)

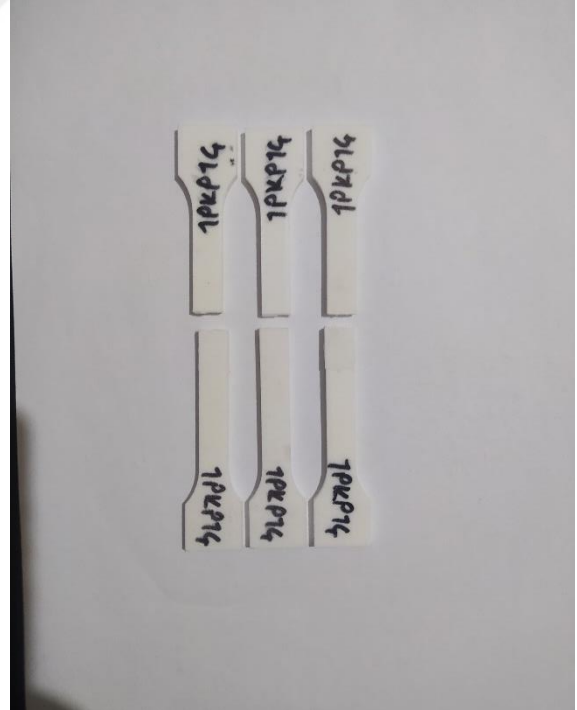


(b)

**Resim Ek 1.13** Çekme Testi 1PDG2Ç (a) Test Öncesi, (b) Malzeme Test Sonrası

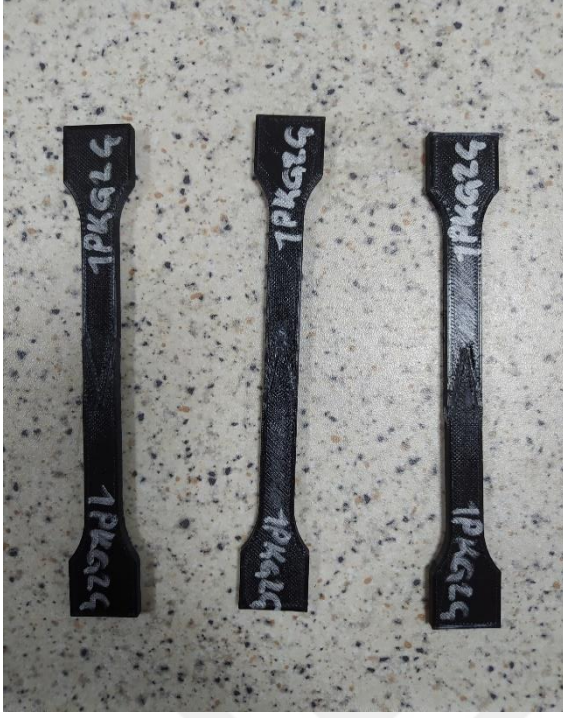


(a)



(b)

**Resim Ek 1.14** Çekme Testi 1PKP1Ç (a) Test Öncesi, (b) Malzeme Test Sonrası



(a)



(b)

**Resim Ek 1.15** Çekme Testi 1PKG2Ç (a) Test Öncesi, (b) Test Sonrası



(a)



(b)

**Resim Ek 1.16** Üç Nokta Eğme Testi 1PDA3E (a) Test Öncesi, (b) Test Sonrası





(a)



(b)

**Resim Ek 1.17** Üç Nokta Eğme Testi 1PDP1E (a) Test Öncesi, (b) Test Sonrası

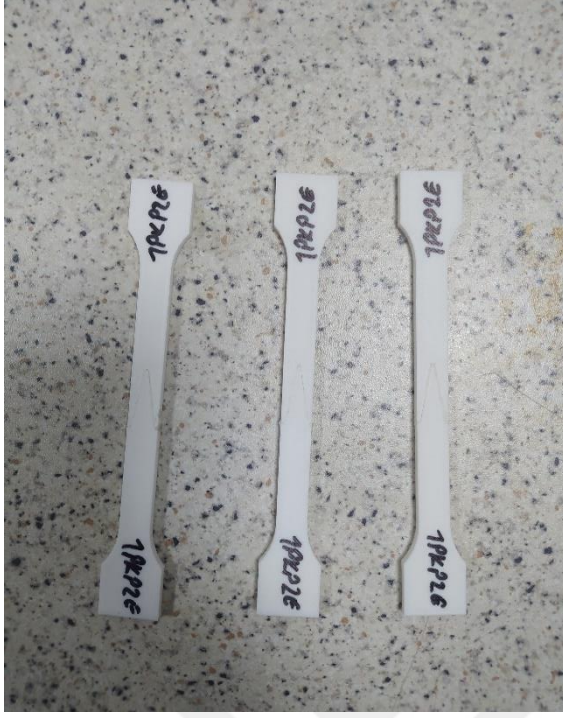


(a)



(b)

**Resim Ek 1.18** Üç Nokta Eğme Testi 1PDG2E (a) Test Öncesi, (b) Test Sonrası



(a)



(b)

**Resim Ek 1.19** Üç Nokta Eğme Testi 1PKP2E (a) Test Öncesi, (b) Test Sonrası



(a)



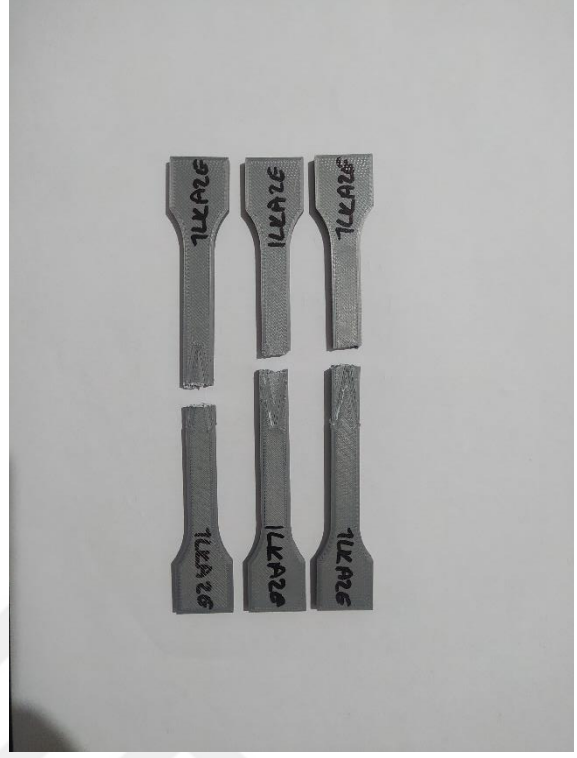
(b)

**Resim Ek 1.20** Üç Nokta Eğme Testi 1LKG2E (a) Test Öncesi, (b) Test Sonrası





(a)



(b)

Resim Ek 1.21 Üç Nokta Eğme Testi 1LKA2E (a) Test Öncesi, (b) Test Sonrası

## EK-2: ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Celal DEMİR

Doğum Yeri ve Tarihi : [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED] : Göksun Anadolu Lisesi

Lisans Öğrenimi : Hitit Üniversitesi Makine Mühendisliği

### İş Deneyimi

- Altan Makina – Kalite Kontrol Mühendisi
- Garanti Mühendislik – Proje ve Uygulama Mühendisi
- Sistem Mühendislik – Proje ve Uygulama Mühendisi
- Alapala Makina – Teknik Satın alma Uzmanı (Halen)

### İletişim

Tel [REDACTED]

[REDACTED] [REDACTED]

Tarih: 24/05/2023

