



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**3B YAZICI İLE ÜRETİLEN PLA40/ABS60 MALZEMESİNİN
TERMAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL
İNCELENMESİ**

SAMET YAMAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ MUSTAFA AYYILDIZ**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

3B YAZICI İLE ÜRETİLEN PLA40/ABS60 MALZEMESİNİN TERMAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ Samet YAMAN tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYYILDIZ

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYYILDIZ

Düzce Üniversitesi



Doç. Dr. Fuat KARA

Düzce Üniversitesi



Doç. Dr. Mehmet AYDIN

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi



Tez Savunma Tarihi: 08/10/2019

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

8 Ekim 2019

Samet YAMAN

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYYILDIZ'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez laboratuvar çalışmasında yardım ve desteğini esirgemeyen Mustafa PERÇİN ve Serhat TOPALOĞLU'na teşekkür etmeyi borç bilirim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını, desteklerini ve dualarını esirgemeyen anneme, babama, eşime ve kızlarım Zeynep, Zehra ve Serra'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

8 Ekim 2019

Samet YAMAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR.....	ix
SİMGELER	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. GENEL BİLGİLER	13
3.1. 3B YAZICILAR.....	13
3.1.1. STEREOLİTOGRAFI TEKNİĞİ	14
3.1.2. ERİYİK BİRİKTİRME TEKNİĞİ	15
3.1.3. SEÇİCİ LAZER SİNERLEME METODU.....	16
3.1.4. 3B İNK-JET YAZDIRMA TEKNİĞİ.....	18
3.1.5. TABAKALI NESNE ÜRETİM YÖNTEMİ	19
3.2. PLA(POLİ LAKTİK ASİT).....	21
3.3. ABS (ACRYLONİTRİLE BUTADİENE STYRENE).....	22
4. MATERYAL VE YÖNTEM	24
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
5.1. İZOD DARBE TESTİ BULGULARI.....	33
5.2. SHORE SERTLİK DENEYİ BULGULARI	38
5.3. DOLULUK ORANLARININ PARÇA YOĞUNLUĞUNA ETKİLERİ.....	40
5.4. ÇEKME DENEYİ BULGULARI.....	41
5.5. FİLAMENT AKIŞ TESTİ BULGULARI.....	45
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	46
7. KAYNAKLAR.....	48
ÖZGEÇMİŞ.....	53

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Kompozit 3B yöntemi	4
Şekil 2.2. Farklı açılarda üretilen numuneler.....	5
Şekil 2.3. 3B yazıcı ile üretilmiş endüstriyel kilitleme mekanizması.....	8
Şekil 2.4. Kompozit 3B levha yapısı	8
Şekil 3.1. 3B ürün süreci.....	14
Şekil 3.2. Stereolitografi şematik gösterim.....	14
Şekil 3.3. Türbin statoru prototipi.....	15
Şekil 3.4. eriyik biriktirme yöntemiyle üretilen vazo	16
Şekil 3.5. Eriyik biriktirme tekniği şematik gösterim.....	16
Şekil 3.6. Seçici lazer sinterleme tekniği örnek parçalar	17
Şekil 3.7. Seçici lazer sinterleme tekniği şematik gösterim	17
Şekil 3.8. 3B ink-jet yazdırma örnek parçalar	18
Şekil 3.9. 3B ink-jet yazdırma tekniği	19
Şekil 3.10. Tabakalı nesne üretim tekniği.....	20
Şekil 3.11. Tabakalı nesne üretim tekniği örnek parçalar.....	20
Şekil 3.12. PLA filament	21
Şekil 3.13. ABS kullanım alanları	22
Şekil 3.14. ABS ürünler	23
Şekil 4.1. 3B yazıcı	24
Şekil 4.2. Üretilen malzemenin doluluk oranları	25
Şekil 4.3. 3B yazdırma tipleri	26
Şekil 4.4. PLA filament	26
Şekil 4.5. ABS filament	26
Şekil 4.6. İzod darbe deneyi numune ölçüleri	27
Şekil 4.7. İzod darbe cihazı.....	27
Şekil 4.8. Yoğunluk ölçme cihazı.....	28
Şekil 4.9. Shore sertlik ölçme cihazı.....	29
Şekil 4.10. Çekme numunesi ölçüleri	30
Şekil 4.11. Çekme test cihazı.....	30
Şekil 4.12. Malzeme akış test cihazı.....	31
Şekil 5.1. Doluluk oranları ve işleme yönlerine göre karışım malzemesi izod darbe dayanımının değişimi	34
Şekil 5.2. Doluluk oranları ve işleme yönlerine göre PLA malzemesi izod darbe dayanımının değişimi	35
Şekil 5.3. Doluluk oranları ve işleme yönlerine göre ABS malzemesi izod darbe dayanımının değişimi	36
Şekil 5.4. PLA, ABS ve karışım malzemelerinin işleme yönlerine göre %100 doluluk oranındaki dayanım karşılaştırması.....	37
Şekil 5.5. İşleme yönlerinin malzeme türlerine etkileri.....	38
Şekil 5.6. Karışım malzemesinin (PLA40/ABS60) farklı doluluk oranı ve farklı işleme yönlerindeki sertlik değişimi.....	39

Şekil 5.7. İşleme yönlerine karışım(PLA40/ABS60), PLA ve ABS malzeme türlerine göre sertlik değişimleri	40
Şekil 5.8. Doluluk oranlarının ve yazdırma yönlerinin parça yoğunluğuna etkileri.....	41
Şekil 5.9. Doluluk oranlarının karışım malzemesi çekme gerilmesi değerleri.....	42
Şekil 5.10. Doluluk oranları ve işleme yönlerine göre PLA malzemesi çekme gerilmesi değişimi	43
Şekil 5.11. Doluluk oranları ve işleme yönlerine göre ABS malzemesi çekme gerilmesi değişimi	43
Şekil 5.12. İşleme yönlerinin karışım(PLA40/ABS60), PLA ve ABS malzeme türlerine göre çekme gerilmesindeki değişimi	44



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 4.1. 3B yazıcı teknik özellikleri.....	25
Çizelge 4.2. İzod darbe cihazı teknik özellikleri	28
Çizelge 4.3. Yoğunluk ölçme cihazı teknik özellikleri.....	29
Çizelge 4.4. Çekme test cihazı teknik özellikleri.....	30
Çizelge 4.5. Malzeme akış test cihazı teknik özellikler.....	32
Çizelge 5.1. Filament malzemelerin akış indeksi test sonuçları	45



KISALTMALAR

3B	Üç boyutlu
ABS	Akrilonitril/bütadien/stiren
CAD	Bilgisayar destekli tasarım
EDS	X ışını spektroskopu
HA	Hidroxyapatit
mm	Milimetre
MPa	Mega pascal
MWCNTs	Çok duvarlı karbon nanotüp
OMMT	Organik montmorillonit
PBAT	Poli butilen adiat ko tereftalat
PC	Poli karbon
PET	Polietilen tereftalat
PLA	Poli laktik asit
POE	Poli etilen oksit
SAN GMA	Stiren akrilonitril glisidil metokrilat
SEM	Tarama elektron mikroskobu
TBT	Tetra butil titanat

SİMGELER

%	Yüzde
°	Derece
Al	Alüminyum
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
C	Santigrat
R	Radüs
SiO ₂	Silisyum dioksit
t	Kalınlık
TiO ₂	Titanyum oksit
ZrB ₂	Zirkonyum diborid
ZrO	Zirkonyum oksit

ÖZET

3B YAZICI İLE ÜRETİLEN PLA40/ABS60 MALZEMESİNİN TERMAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Samet YAMAN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYYILDIZ

Ekim 2019, 52 sayfa

Üç boyutlu üretim teknolojisi son yıllarda hızla gelişen bir ivmeyle endüstriyel ve akademik çalışmalarda popüler hale gelmiştir. Otomotiv, havacılık, uzay, biyomedikal, tıp, inşaat ve gıda sektörlerinde kendine hızlı bir şekilde yer bulup adından sıkça söz ettirmektedir. Özellikle tıp ve biyomedikal sektöründe vazgeçilmez bir teknoloji olarak görülmektedir. İmplant ve protezlerin üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile üretilmesi birçok hastaya umut ışığı olmuştur. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile metal parçaların yanında plastik parçalarda biyomedikal sektörde kullanılmaktadır. Metal ve kompozit malzemelerin yanında PLA (Poli Lactic Asit) ve ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) malzemeler üç boyutlu yazıcılarda sıklıkla kullanılmaktadır. PLA'nın biyo uyumluluğu insan sağlığına zararının çok az olmasından dolayı biyomedikal uygulamalarda çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı şekilde ABS malzemenin yüksek dayanım özelliğinden dolayı makine ve otomotiv sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada PLA40/ABS60 filament malzemenin üretilen yeni malzemenin eriyik biriktirme metodu kullanılarak deney numuneleri üç boyutlu yazıcılar aracılığıyla hazırlanmıştır. Filament eriyik akış indeksi ve numuneler üzerinde izod darbe deneyi, yoğunluk testi, akış testi, çekme testi, sertlik testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçların mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir.

Anahtar sözcükler: Akış testi, Çekme testi, İzod darbe testi, PLA40/ABS60, Yoğunluk

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THERMAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PLA40/ABS60 PRODUCED WITH 3D PRINTER

Samet YAMAN

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Manufacturing Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Mustafa AYYILDIZ

October 2019, 52 pages

Three-dimensional production technology has become popular in industrial and academic studies with a rapidly developing momentum in recent years. Automotive, aerospace, biomedical, medicine, construction and food sectors find itself quickly and frequently mentioned the name. It is seen as an indispensable technology especially in the medical and biomedical sectors. The production of implants and prostheses with three-dimensional printer technology has been a light of hope for many patients. It is used in the biomedical sector in plastic parts as well as metal parts with three dimensional printer technology. In addition to metal and composite materials, PLA (poly Lactic acid) and abs (Acrylonitrile Butadiene Styrene) materials are frequently used in three-dimensional printers. The bio-compatibility of PLA is widely used in biomedical applications because of the very little damage to human health. In the same way, ABS is widely used in the machinery and automotive sectors due to its high resistance properties. In this study, the experimental samples were prepared using three-dimensional printers using the melt deposition method of the new material produced from PLA40/ABS60 filament material. On the filament melt Flow Index and samples, Izod pulse test, density test, flow test, hardness tests were performed. Mechanical and thermal properties of the results were studied.

Keywords: Density test, Flow test, Hardness test, Isod impact test, PLA40/ABS60

1. GİRİŞ

Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi yanında birçok yeni teknolojiyi de beraberinde getirmiştir. İmalat alanında kullanılan tezgâhlar öncelikle bilgisayar kontrollü yapılarak üretim hızlanmıştır. Gelişen teknoloji, insanları daha kısa sürede çözüm odaklı ürünlere itmiş ve böylece üç boyutlu yazma teknolojisi geliştirilmiştir. Son yüzyılda geliştirilen bu teknoloji savunma sanayinden tıp sektörüne oldukça geniş bir yelpazede kendini göstermiştir [1]. Kısa sürede ürün elde edilmesi prototip ürün üretiminde 3D yazıcıları cazip bir teknoloji durumuna getirmiştir. Geleneksel prototip üretim maliyetlerinin yanında zaman ve maliyet açısından da tercih sebebi olmaya başlamıştır. Üç boyutlu yazıcı teknolojisinde kullanılan ham malzeme metal, plastik, sıvı beton, gıda hamuru gibi çok çeşitlilik arz ettiği için geniş bir kullanım alanı sunmaktadır [2]. Özellikle biyomedikal sektörde kullanılan gerek metal gerekse plastik implantlar birçok hastaya umut olmuştur [3]. Biyomedikal alanında metal olarak titanyum alaşımları tercih edilirken plastik malzeme olarak PLA malzeme sıkça kullanılmaktadır [4], [5].

Üç boyutlu yazıcı sektöründe sıklıkla eriyik biriktirme metodu kullanılmakta olup metal parçaların üretilmesinde toz sinterleme yöntemi kullanılmaktadır. Eriyik biriktirme metodunda plastik malzeme ısıtılmış bir nozul içinden geçerek ergiyik hale dönüşmektedir [6]. Nozulun motorlar ile eksen hareketleri yapması sonucunda üç boyutlu ürün katman katman örülerek oluşturulmaktadır. Toz sinterleme metodunda ise oluşturulacak malzemenin örneğin Ti_6Al_4V malzemenin ağırlık oranına göre titanyum, alüminyum, vanadyum tozları ve bağlayıcı tozlar da eklenerek homojen bir biçimde karıştırılması gerekmektedir. Karıştırılan tozlar makine haznesine dökülür. Ardından lazer başlık istenilen geometriye göre hareket ederek tozları birbirine sinterler, her katman için makine tekrar tekrar toz serimi yapar, bu işlem ürün bitene kadar devam eder [7].

PLA bitkisel bazlı nişasta ve şeker içeriğinden oluşan biyo uyumlu biyopolimer bir malzemedir. İnsan sağlığına zararlı olan bir içeriğe sahip olmadığı için biyomedikal ve gıda sektöründeki plastik uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır [5]. Eriyik biriktirme metodu ile üretilen 3B parçalar içinde uyumlu bir filament malzemesi olup sıklıkla PLA kullanılmaktadır. Oyuncak, gıda saklama kabı, implant üretimi gibi alanlarda adından söz

ettirmektedir [8]. PLA hafif, esnek fakat oldukça kırılğan bir malzemedir. Bu nedenle daha mukavemetli hale getirmek için farklı katkı malzemeleri eklenmektedir. Sıklıkla ABS ile birlikte karbon fiber katkısı yapılmaktadır [9], [10]. ABS yüksek mukavemetli petrol içerikli bir termoplastiktir. Mukavemet özelliklerinden dolayı mühendislik uygulamalarında prototip imalatında sıklıkla kullanılmaktadır. 3B yazıcı teknolojisine de oldukça uygun bir malzemedir. Geniş bir kullanım alanı olmasına rağmen gıda maddeleriyle temas etmemesi gereken bir malzemedir. Araştırmacılar son yıllarda ABS ve PLA malzemeye katkı malzemeleri de eklemek suretiyle mukavemetini arttırmaya çalışmaktadırlar [11] - [13]. Çalışmalar genellikle plastik enjeksiyon yöntemi kullanılarak yapılmasına rağmen 3B yazıcı ile de yeni yeni çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Üç boyutlu yazma teknolojisinde ürün kalitesini ve mukavemetini etkileyen birçok unsur bulunmaktadır. Bu unsurların başında yazdırma doluluk oranı gelmektedir. Doluluk oranının artmasıyla mukavemetinin arttığını birçok deneysel çalışma ortaya koymuştur. Parça yazdırma hızı ve işleme açısı (yazdırma açısı) ürün mukavemetini etkileyen diğer unsurlardır. İşleme açısının değiştirilmesiyle mukavemet özelliklerinin de az miktarda da olsa değiştiği birçok çalışmada görülmüştür [14], [15].

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, literatürde PLA ve ABS malzemesine katkı maddeleri eklemek suretiyle oluşan yeni malzemelerin mekanik özellikleri ile ilgili istatistiksel ve deneysel çalışmaların özetleri sunulmuştur. Ayrıca, yapılan literatür araştırmasının değerlendirilmesine yer verilmiştir.

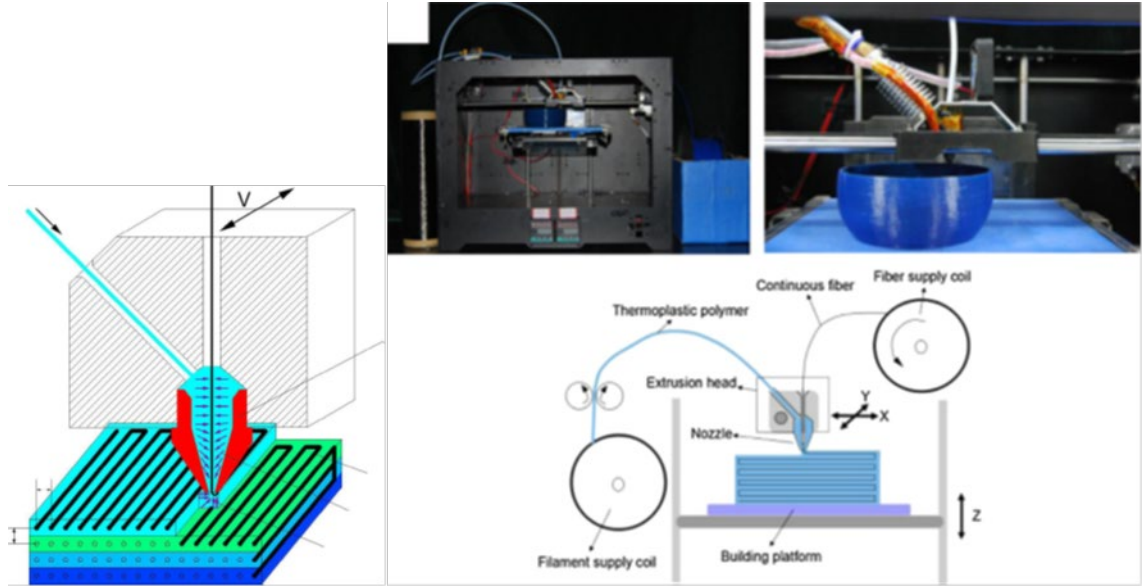
Wang ve arkadaşları, polimer matrisli kompozit malzemelerin 3B baskı teknikleri ile üretilen parçaların özellikleri ve performanslarının yanı sıra biyomedikal, elektronik, havacılık alanlarındaki uygulama örnekleri üzerine bir araştırma yapmışlardır. 3B baskı çeşitlerini ve 3B oluşturma mekanizmaları üzerine bilgiler vermişlerdir. Parçacık fiber katkılı nano katkılı güçlendirilmiş nano kompozitlerin oluşum metodolojisini ve performanslarını vurgulamışlardır [1].

Quan ve arkadaşları, 3B baskı teknolojilerinin gelişimi üzerine bir çalışma yapmışlardır. 3B teknolojisi için yeni kompozit malzemeler üretmenin gerekliliğinden bahsetmişlerdir. 3B yazıcı teknolojisindeki gelişmeler karşısında kullanılan malzeme tipinin sınırlılığını ifade etmişlerdir. Malzemeler arasında, termoplastikler (ABS, poliamid, polikarbonat, PLA, polifenilsülfon), metaller (alüminyum, bronz, titanyum, demir) ve seramikler (Al_2O_3 , ZrO) gibi sınırlı malzeme bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarla 3B teknolojisinin daha da verimli hale getirilebileceğinden bahsetmektedirler [4].

Ferreira ve arkadaşları, PLA malzemeye ağırlıkça oranı %15 olan karbon fiber ilavesi yapmışlardır. Deney numuneleri fabrikasyon filament olarak üretilmiş deneyler esnasında katkı malzemesi eklenmemiştir. PLA'nın mukavemet özelliklerini iyileştirmek için yapılan yeni kompozit malzemedan 0° - 45° - 90° işleme yönlerinde numuneler 3B yazıcı ile üretilmiştir. Mekanik özelliklerini incelemek için çekme testleri yapılmış, çekme deneyi sonucu kopmuş yüzeyin morfolojisi için SEM (scanning electron microscope) analizleri yapmışlardır. Yeni oluşturulan kompozit malzeme %100 PLA'dan daha düşük mekanik özellikler sergilemiş buna karşın yeni kompozit malzeme en iyi mukavemeti 0° işleme yönünde sergilemiştir [9].

Tian ve arkadaşları, sürekli fiber takviyeli termoplastik kompozitlerin yeni bir 3B baskı işlemi ile PLA bazlı kompozit numuneler üretmişler, farklı baskı sıcaklıklarında, farklı katman kalınlıklarında filament ilerleme hızları farklı olan, tarama hızları farklı ve yazdırma hızları farklı olan bir dizi deney gerçekleştirmişlerdir. Çalışmadan elde edilen verilerle uzay ve havacılık sanayine katkı sağlamayı amaçlamışlardır. Sıcaklık ve basıncın kompozit

malzemelerin mukavemetini belirleyen kritik parametreler olduğunu tespit etmişlerdir. En iyi duruma getirilmiş işleme parametrelerinde 335 Mpa çekme mukavemeti elde edilmiştir, kullanılan yöntem Şekil 2.1’de gösterilmiştir [10].



Şekil 2.1. Kompozit 3B yöntemi [10].

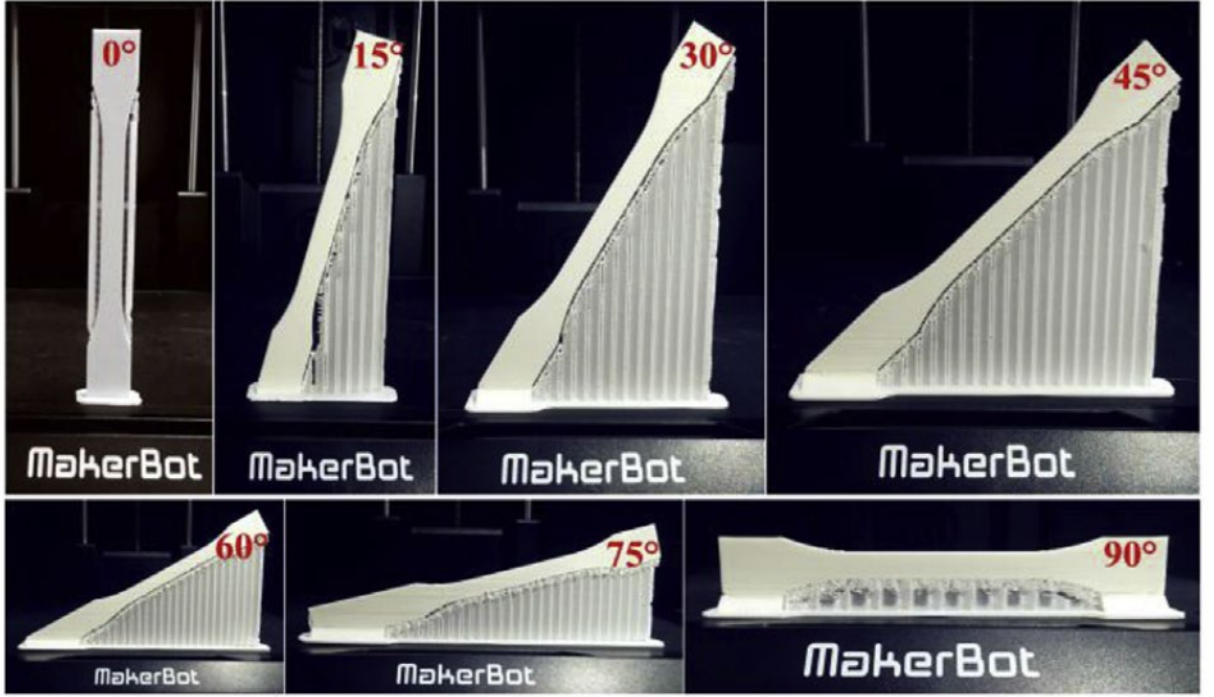
Jo ve arkadaşları, katkı maddesi içermeyen ABS/PLA kompozit malzemeye grafen, epoksi gibi katkı maddeleri eklemişlerdir. Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile yeni oluşturulan kompozit malzemenin mekanik özelliklerini inceleyerek kıyas yapma imkânı elde etmişlerdir. Katkı maddesi içermeyen ABS50/PLA50 kompozit malzemelerin beklendiği gibi ABS'nin mekanik özelliklerinde bozulmalara neden olmuştur. Grafen kullanılmasıyla birlikte kompozit malzemenin darbe dayanımı artmıştır. ABS/PLA kompozitlere epoksi ilavesi mekanik özelliklerinin gelişmesine katkı sağlamıştır [11].

Rigoussen ve arkadaşları, PLA ve ABS malzemenin uyumunun artırılması için %70/30 PLA/ABS karışımına kardanol takviyesi yapmışlardır. PLA ABS karışımına yüzde ilave olarak sırasıyla, 1-3-5-10 oranlarında kardanol takviyesi yapmışlardır. Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle deney numunelerini oluşturmuşlardır. SEM, dinamik mekanik analiz, darbe testi gibi bir dizi deney gerçekleştirmişlerdir. ABS ve PLA ile kardanolun karıştırılması PLA ve ABS'nin daha uyumlu hale getirilmesine katkı sağlamıştır [12].

Yap ve arkadaşları, ABS malzemeye polikarbonat takviyesi ile yeni bir kompozit malzeme oluşturmuşlar, eriyik biriktirme modellemesi yöntemiyle farklı işleme yönlerinde 3B yazıcı ile numuneler üretmişlerdir. Dört nokta eğme, darbe testi ve sonlu elemanlar testleri kullanılarak mekanik özelliklerini karşılaştırmalı olarak

incelemişlerdir. Kırılma yüzeyini incelemek için ise SEM analizleri yapmışlardır. X oryantasyonunda 0° de en yüksek mukavemeti elde etmişlerdir [13].

Yao ve arkadaşları, 3B baskı yapılarının mekanik analizini ve tasarımlarını teşvik etmek için, farklı baskı açılarında PLA malzemenin çekme dayanımı teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Baskı açılarını Şekil 2.2'deki gibi ifade etmişlerdir.



Şekil 2.2. Farklı açılarda üretilen numuneler [14].

Her açı için 3 farklı kalınlıkta numuneler üretmişlerdir. Teorik veriler ile deneysel veriler arasındaki uyum tüm açılar ve kalınlıklar için nihai gerilme mukavemetinin doğru tahmin edilebildiğini ortaya koymuşlardır. Baskı açısının küçülmesiyle ve tabaka kalınlığının artmasıyla nihai gerilme mukavemetinin azaldığını tespit etmişlerdir [14].

Gomez ve arkadaşları, fabrikasyon imalatı filament olan PLA malzemenin yorulma davranışlarını incelemişlerdir. Yorulma performansına ilişkin tabaka yüksekliği, dolgu yoğunluğu, nozul çapı ve basma hızı gibi dört faktörün etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Numuneler yorulma makinasında test edilmiştir. Wöhler yorulma eğrisi oluşturmaya çalışmışlardır. PLA malzemenin biyo uyumlu olduğunu ve implantları üretmek için yorulma ömrünün belirlenmesinin faydalı olacağını ifade etmişlerdir. Dolgu yoğunluğu en yüksek yorulma performansını sergilemişken baskı hızının yorulmaya etkisi olmadığını ifade etmişlerdir. Bal peteği desenindeki dolgu, doğrusal dolgu ile

üretilen numunelerden daha uzun yorulma ömrünü sağlamıştır. Tüm durumlarda yorulma çatlağı numunenin dış katmanlarında başlamıştır. Bu da yorulma davranışını arttırmak için dış katmanların daha yoğun yapılması gerektiğini ifade ettiğini söylemişlerdir [16].

Su ve arkadaşları, PLA malzemeyi geliştirmek için polietilen oksit katarak yeni bir kompozit malzeme üretimini gerçekleştirmişlerdir. Numuneleri plastik enjeksiyon kalıplama yöntemiyle hazırlamışlardır. PLA, PLA/POE 90/10, PLA/POE 85/15, PLA/mPOE 90/10, PLA/mPOE 85/15, PLA/mPOE 70/30, PLA/mPOE 55/45 oranlarında deney numuneleri hazırlamışlardır. Deneylerde dinamik mekanik analiz, tarama elektron mikroskobu (SEM), X ışını kırınım testleri yapmışlardır. Saf PLA ya karşı en yüksek mukavemet özelliklerini 90/10 PLA-POE kompozit malzemenin sergilediğini ifade etmişlerdir. PLA oranının azaltılması ile mukavemet değerlerinin de azaldığını gözlemlemişlerdir [17].

Dul ve arkadaşları, eriyik yığıma modelleme yöntemi ile üretilen ABS nanokompozit malzemeye %4 oranında grafen ilavesi yapmışlardır. 3B yazıcı ile üç farklı yapı oryantasyonunda yatay ve dikey olarak numuneler üretmişlerdir. Tüm numunelerde grafenin varlığı ABS'nin çekme gerilmesini arttırmış, ısıl genleşme katsayısını düşürmüş uzun süreli yükler altında stabilitesini arttırdığını kanıtlamışlardır [18].

Ngo ve arkadaşları, hızlı prototipleme de kullanılan katkı maddeli üretim ve 3B baskı üzerine bir derleme çalışması yapmışlardır. Katkı maddeli üretimin ve 3B baskı tekniğinde atık malzemelerin en aza indirildiğini ve karmaşık yapıları parçaların üretilebileceğini ifade etmişlerdir. Katkı maddeli üretimin yani eklemeli imalatın biyomedikal, havacılık gibi alanlarda başarılı uygulamalarının olduğundan bahsetmişlerdir. 3B ürün üretim tekniklerinin sistematüğını anlatıp sadece plastik değil metal parça, seramik parça gibi parçalarında üretiminin mümkün olduğu tekniklerden bahsetmişlerdir. Genel olarak çalışmalarında 3B baskı tekniğinin üstünlüklerini ve hızlı prototipleme yöntemlerine yaptığı olumlu katkıları ifade etmişlerdir. Hali hazırda kullanılan tekniklerin olumsuz yanlarından da bahsederek 3B baskı tekniklerinin eksik yanlarını da çalışmalarında ifade etmişlerdir [19].

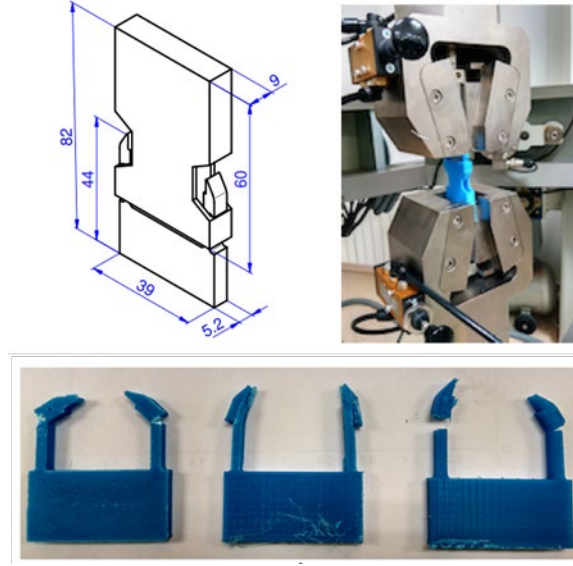
Zhao ve arkadaşları, PLA granüllerine dopamin emdirme işlemi gerçekleştirerek yeni bir kompozit filament oluşturmuşlardır. PLA granülleri geri dönüşüm malzemelerden oluşturulmuştur. Geri dönüşüm ile oluşturulan malzemenin mekanik özelliklerindeki bozulmayı önlemek için dopamin katkısı yapılmıştır. Numunelerin mikroyapı ve

kimyasal karakterizasyonu için çeşitli analizler yapmışlardır. PLA da dopamin varlığı kimyasal bağlama kuvvetini arttırarak imal edilen numunelerin gerilme mukavemetini arttırmıştır. Bu da enjeksiyon ile üretilen filamentlerin 3B baskı için geri dönüştürülen malzemedan olsa bile mukavemetini korumasını sağlamıştır [20].

Dawoud ve arkadaşları, siyah karbonlu ABS malzemenin 3B baskı işleminde baskı açısının iletkenlik etkilerini incelemiştirlerdir. Farklı baskı açılarında çekme numuneleri hazırlamışlardır. Negatif işleme açısı, pozitif açıyla karşılaştırıldığında iletkenlik direnci daha istikrarlı bir artış sağladığını tespit etmişlerdir. Mekanik özellikler için $-p_0$ konfigürasyonun nadiren uygulanabileceğini ifade etmişlerdir [21].

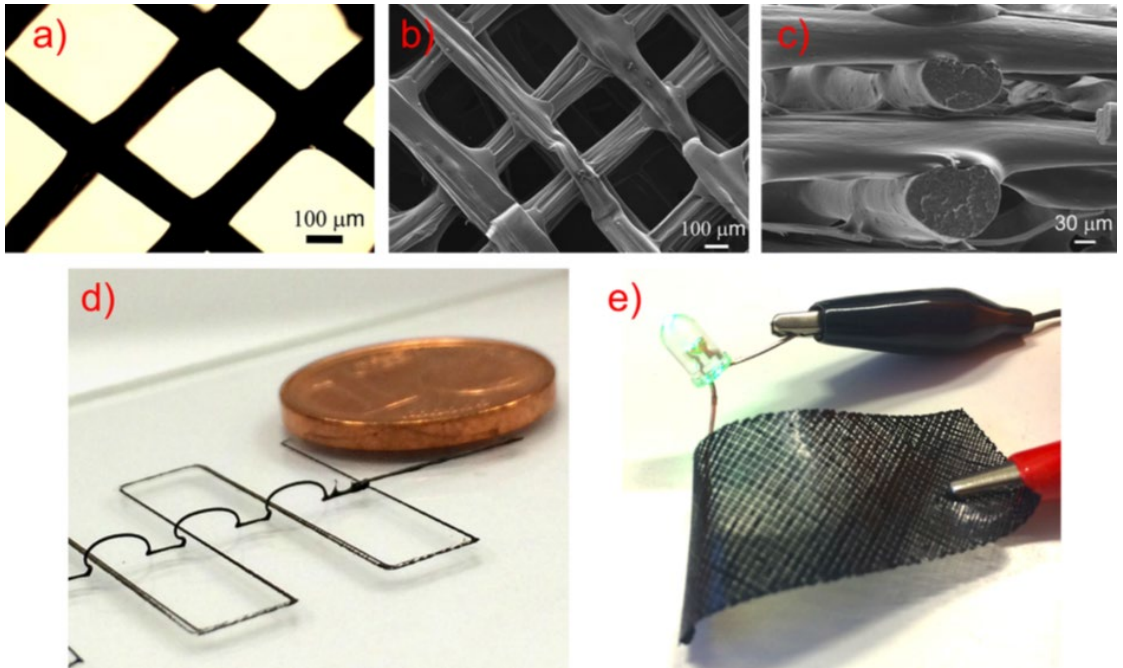
Rigoussen ve arkadaşları, PLA'nın mekanik özelliklerini iyileştirmek için ABS ve kardanol takviyeli yeni bir kompozit malzeme geliştirmişlerdir. PLA/ABS, %70/30 oranında, kardanol oranı ise ağırlıkça %5, 7, 10 olarak uygulamışlardır. SEM analizi darbe testleri, çekme testleri, dinamik ve mekanik analizler yapılarak deneysel çalışmaların sonuçlarını yorumlamışlardır. Yeni kompozit malzemelerin darbe dayanımı ve kopma uzamasında önemli bir iyileştirme sağladığını tespit etmişlerdir [22].

Chacon ve arkadaşları, eriyik biriktirme modellemesi (filamentli 3D) ile üretilen PLA numunelerinin yapı oryantasyonu, katman kalınlığı ve ilerleme hızının mekanik performans üzerindeki etkisini incelemiştirlerdir. Mekanik özellikleri incelemek için çekme testleri ve üç noktalı eğme testleri yapmışlardır. Deneylerde endüstriyel bir kilitleme mekanizması da kullanmışlardır. Dik basma yönünün düşük mekanik özellikler sergilediğini diğer yandan en yüksek sertliği gösterdiğini ifade etmişlerdir. Katman kalınlığı arttıkça mekanik özelliklerde bir artış gözlemlemişlerdir, sünekliğin tabaka kalınlığı arttıkça azalma eğilimi sergilediğini ve dik numunelerde ilerleme–besleme hızı arttıkça çekme dayanımları azalmıştır [23].



Şekil 2.3. 3B yazıcı ile üretilmiş endüstriyel kilitleme mekanizması [23].

Postiglione ve arkadaşları, 3B nanokompozit bazlı iletken malzeme üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. PLA malzemeye karbon nanotüp takviyeli kompozit malzeme kullanmışlardır. Elektronik işlevselliklerinin karmaşık 3B nesnelere basit ve çok yönlü bir şekilde mümkün kılan nanokompozit potansiyalini ortaya koymuşlardır. SEM analizleriyle iç yapıyı incelemişler, sonuçta elektrik iletebilen 3B kompozit bir malzeme elde etmişlerdir [24].



Şekil 2.4. Kompozit 3B levha yapısı [24].

Jo ve arkadaşları, ABS ve PLA içeren kompozit malzemeler çevre dostu olan ABS bazlı otomobil parçalarında kullanılması için çalışmalar yapmışlardır. ABS50/PLA50 oranında enjeksiyon kalıplama yöntemi ile kompozit malzemeler oluşturulmuştur. ABS malzeme %25 butadiyen katkısı vardır. ABS50/PLA50, ABS40/PLA50/PC10 (polikarbon), ABS40/PLA50/PE10 (poliepoksi), ABS40/PLA50/EPR10 (etilen propilen) gibi farklı katkı oranlarında kompozit malzeme geliştirmişlerdir. Katkılı ABS'nin kullanılması kompozit malzemenin dayanımını arttırmıştır. SAN-GMA ilavesi mekanik özellikleri daha da geliştirmiştir [25].

Perez ve arkadaşları, gelişmiş fiziksel özelliklere sahip malzemeler oluşturmak amacıyla takviye malzemelerinin ABS'nin mekanik özelliklerine etkilerini incelemiştir. Numuneleri 3B yazıcı ile üretmişlerdir. Tarama elektron mikroskobu kullanarak çekme sonucu kopan numunelerin kırılma yüzeylerini incelemiştir. Ağırlıkça %5 kısa karbon fiber partikülleri ile ABS, %5 titanyumoksit ile ABS, %5 termoplastik elastomer ile ABS kompozit malzemeleri oluşturmuşlardır. Numuneler iki farklı baskı yönlerinde oluşturulmuştur. TiO₂ sistemli kompozit saf ABS'ye göre daha yüksek mukavemet sergilemiştir. ZXY yönünde üretilen numunelerin mekanik dayanımının, diğer yönde işlenen numunelere göre daha düşük olduğunu bildirmişlerdir [26].

Li ve arkadaşları, PLA ve ABS karışımını stiren akrilonitril glisidil metakrilat (SAN GMA) ile harmanlayarak yeni bir kompozit malzeme üretmişlerdir. PLA50/ABS50 ve PLA70/ABS30 oranındaki karışıma %5 SAN GMA karışım oranlarında numuneler üretmişlerdir. Numuneler plastik enjeksiyon yöntemiyle oluşturulmuştur. Dinamik mekanik analiz, SEM, çekme testleri ve darbe özellik ölçümleri yapmışlardır. Karışımlar gerilme mukavemetinde hafif bir kayıp ile kopma gerilmesinde gelişmiş darbe dayanımı ve uzama sergilemiştir. PLA/ABS/SAN-GMA/ETPB = 50/50/5/0.02 ve PLA/ABS/SAN-GMA/ETPB = 70/30/5/0.02 kompozitler en yüksek mukavemet özellikleri sergilemiştir [27].

Senatov ve arkadaşları, PLA ve PLA/15HA(hidroxyapatit) malzemelerle gözenekli kemik modellemeleri 3B baskı ile oluşturmuşlardır, oluşturulan numunelere düşük devirli yorulma testleri uygulamışlardır, böylece malzemeye plastik deformasyon başlangıcı elde etmişlerdir. Numunelerin yüksekliğinde bir azalma gözeneklerin çökmesi delaminasyon parçaların bükülmesi çatlakların büyümesi gibi deformasyonlar oluşmuştur. PLA/HA gözenekli parçalar daha büyük çatlak direnci sergilemişlerdir. HA partikülleri çatlakların

büyümesini yavaşlatmışlardır. 3B baskı ile üretilen PLA/15HA gözenekli yapı numunelerinin kemik implantlarında kullanılma potansiyali olduğunu göstermektedir [28].

Dawoud ve arkadaşları, ABS malzemenin değişik baskı açılarında işlenmesindeki mekanik özelliklerini incelemiştir. Enjeksiyon kalıplamanın yanında 3B yazıcı ile üretilen parçalarında karşılaştırılabilir yakınlıkta mekanik özelliklere ulaşabileceğini ifade etmişlerdir. -P45 baskı koşullarında üretilen parçaların enjeksiyon kalıplama ile üretilen parçaların dayanımının %86 sına ulaşarak en iyi sonucu sergilediğini ifade etmişlerdir [29].

Lin ve arkadaşları, PLA/PBAT(poli butilen adiat ko tereftalat) malzemeyi TBT(tetra butil titanat) konsantrasyonları ile harmanlayarak yeni bir kompozit malzeme oluşturmuşlardır. Mekanik özellikler, yüzey morfolojisi, çekme ve darbe testi, dinamik mekanik analiz ve tarama elektron mikroskobu ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. PLA/PBAT karışımlarına TBT'nin eklenmesi genel mekanik özellikleri iyileştirdiğini ifade etmişlerdir. SEM fotoğrafları PLA ve PBAT arasındaki uyumluluğu ve güçlü etkileşimi göstermiştir. %0,5 TBT konsantrasyonlu karışımlar en iyi mekanik özellikleri sergilemiştir [30].

Öz ve arkadaşları, yazdırma doluluk oranının PLA, ABS, naylon ve polistren filamentler ile %15, %50, %100 oranlarında basılan numunelerin mekanik özellikleri deneysel olarak incelemiştir. Bütün malzeme türlerinde doluluk oranının artması ile mukavemet özelliklerinin de orantılı bir şekilde artmış olduğunu ifade etmişlerdir. Doluluk oranına göre en yüksek mukavemet artışının polistren malzemedeki olduğunu ifade etmişlerdir. En az artışın ise naylon numunede olduğunu tespit etmişlerdir [31].

Evlen ve arkadaşları, ABS malzemenin doluluk oranlarının parça mukavemetine etkilerini incelemiştir. %10, %30, %50 doluluk oranlarında numuneler hazırlamışlardır. Kapalı sistemli yazıcılarla basılan parçaların açık sistem kullanan yazıcılarla basılan parçalara göre daha düşük sertlik değerine sahip olduğu, çekme gerilmelerinin ve % uzama değerlerinin yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Farklı doluluk oranlarında elde edilen verilerde doluluk oranının arttıkça sertlik değerinin arttığı gözlenmiştir. Açık ve kapalı sistemde, P-ABS filament kullanılarak 3 farklı doluluk oranında üretilen numunelerin çekme direncinde ortalama %6 artış olduğunu gözlemlemiştir [32].

Evlen ve arkadaşları, ABS, PLA ve P-ABS malzemelerin %10, %30, %50 doluluk oranlarında yazdırılmasında mukavemet özelliklerini karşılaştırmalı incelemişlerdir. Farklı doluluk oranlarında açık ve kapalı sistemde yazdırılan numuneler genel olarak değerlendirildiğinde en yüksek çekme gerilmesi ve en düşük sertlik değerlerinin PLA malzemede elde edilirken, en düşük çekme gerilmesi ile en yüksek sertlik ve en yüksek yüzde uzama değerinin P-ABS malzemede elde edildiği sonucuna ulaşmışlardır [33].

Çantı ve arkadaşları, ABS malzemeye MWCNTs, SiO₂, ZrB₂, Al tozlarını takviye malzemesi olarak kullanmışlardır. Filamentleri ikiz vidalı ekstrüder ile üretmişlerdir. Filamentler üzerinde Diferansiyel taramalı kalorimetre, tarama elektron mikroskobu, x ışını spektroskopisi, çekme testi ve yüzey pürüzlülük testleri ile deneysel çalışmalar yapmışlardır. Mikro nano tozların eklenmesiyle, takviyesiz ABS'nin kopma gerilmesini yaklaşık %16 arttığını tespit etmişlerdir. ZrB₂ ve Al tozlarının takviye edilmesiyle katkısız ABS'yi sırasıyla %17,8 ve %40 kadar yükseltmiştir [34].

Sezer ve arkadaşları, ABS malzemeye farklı karbon fiber oranları ilavesi ile yeni bir kompozit malzeme üretmişlerdir. Karbon fiber oranı ağırlıkça: %5, 10, 15, 20, 30 olarak çift karıştırıcılı sistemle filament üretmişlerdir. Üretilen filamentleri kullanarak %100 doluluk oranında ve 0°, 45°, 90° yazdırma yönlerinde numuneler üretmişlerdir. %5 katılması çekme gerilmesinin artışı için gerekli olan kritik oranın altında kalmıştır. %10 takviyeli malzemelerde ise çekme dayanımına yaklaşık %33'lük bir katkı sağlamış fakat bu oranın üzerindeki takviyelerde dayanım azalmaya başlamıştır. Tüm takviye oranlarındaki çekme gerilmeleri saf ABS'den daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir [35].

Hill ve Haghi, Polikarbonat (PC) malzemenin 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° farklı işleme açılarındaki mekanik özellikleri incelemişlerdir. 0-75 ve 90 derecede en yüksek sertliği elde etmişlerdir. En yüksek mukavemeti ise 90 derece işleme yönünde elde etmişlerdir [36].

Ning ve arkadaşları, ABS malzemeye karbon fiber ilavesi yaparak kompozit malzeme üretmişlerdir. %3-5-7,5-15 oranlarında karbon fiber takviyesi yapmışlardır. 3B yazıcı ile çekme ve eğme numuneleri oluşturarak deneyler gerçekleştirmişlerdir. %100 doluluk oranında ve 45° ve 135° işleme yönlerinde numuneleri oluşturmuşlardır. %5 ve %7,5 oranında üretilen numuneler birbirine çok yakın mukavemet özellikleri göstermekle birlikte en yüksek mukavemeti sergilediğini ifade etmişlerdir [37].

Weng ve arkadaşları, ABS malzemeye OMMT (organic modified montmorillonite) ilavesi ile yeni bir kompozit malzeme oluşturmuşlardır. Ağırlıkça %1, 3, 5 oranında OMMT katkı malzemesi eklemiştirler. Enjeksiyon kalıplama yöntemi ile 3B baskı yöntemi için ayrı ayrı numuneler oluşturup birbiriyle kıyas yapma imkânına kavuşmuşlardır. Tüm numunelerde enjeksiyon kalıplama yöntemi en yüksek mukavemet özelliklerini sergilemiş, % 5 katkılı ABS tüm koşullarda en yüksek mukavemet özelliğini sergilerken %1 katkılı ABS en düşük mukavemeti sergilemiştir. Tüm durumlarda numuneler saf ABS'den daha mukavemetli hale geldiğini ifade etmişlerdir. Isı akışı ise %5 katkılı numunelerde en yüksek değer olarak ölçülmüş [38].

Evlen ve arkadaşları, PET ve PLA malzemelerden sırasıyla %10, 20, 30, 40 ve 50 doluluk oranlarında 3B yazıcı ile numuneler üretmişlerdir. Üretilen deney numuneleri üzerinde çekme testi, sertlik ölçümü, pürüzlülük değerlerini ölçmüşlerdir. Deneyler sonucunda sertlik değerlerinin doluluk oranına orantılı olarak arttığını tespit etmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü ve çekme gerilmesi değerlerinin birbiriyle ters orantıda olduğunu, %30 doluluk oranından itibaren ise %10 ve %20 doluluk oranlarının tersi yönünde olduğunu tespit etmişlerdir. Sertlik değerlerinin artmasına karşın pürüzlülük değerlerinin ters orantılı bir şekilde azaldığını ifade etmişler [39].

3. GENEL BİLGİLER

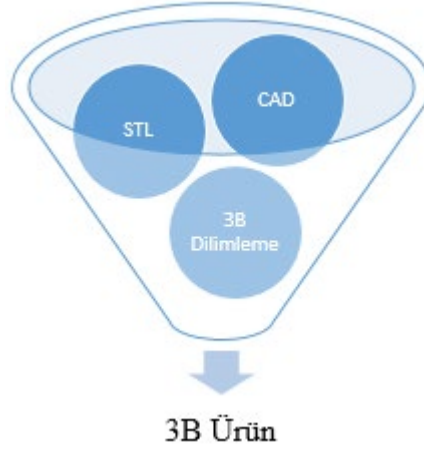
Bu bölümde; 3B yazıcılar, 3B yazdırma teknolojileri ve teknikleri, 3B yazıcılarda yaygın olarak kullanılan PLA (Poli Laktik Asit) ve ABS (Akrilonitril/bütadien/stiren) filamentler hakkında genel bilgiler verilmiştir.

3.1. 3B YAZICILAR

3B yazdırma teknolojisi, herhangi bir CAD programında tasarlanan parçaların hızlı bir şekilde prototipini üretmeye yarayan eklemeli imalat yöntemidir. Bu teknoloji katman katman birbirine eklenerek oluştuğundan dolayı eklemeli imalat olarak anılmaktadır [39]. Toz haldeki partiküllerin veya eriyik haldeki malzemenin birbiri üzerine biriktirilmesiyle ürün elde edilmektedir [40].

3B yazdırma tekniğinin temelleri Charles Hull tarafından fotopolimer malzemeyi lazer ışınıyla katman katman olacak şekilde biriktirerek katı bir cisim oluşturmasıyla 1980'li yılların ortalarında keşfedilmiştir [41]. Bu ilk tekniğe stereolitoğrafi adını vermişlerdir. Stereolitoğrafi tekniğinden sonra eriyik biriktirme yöntemi, seçici lazer sinterleme, 3B in-jekt yazdırma tekniği gibi 3B ürün oluşturma yöntemleri bulunmuştur.

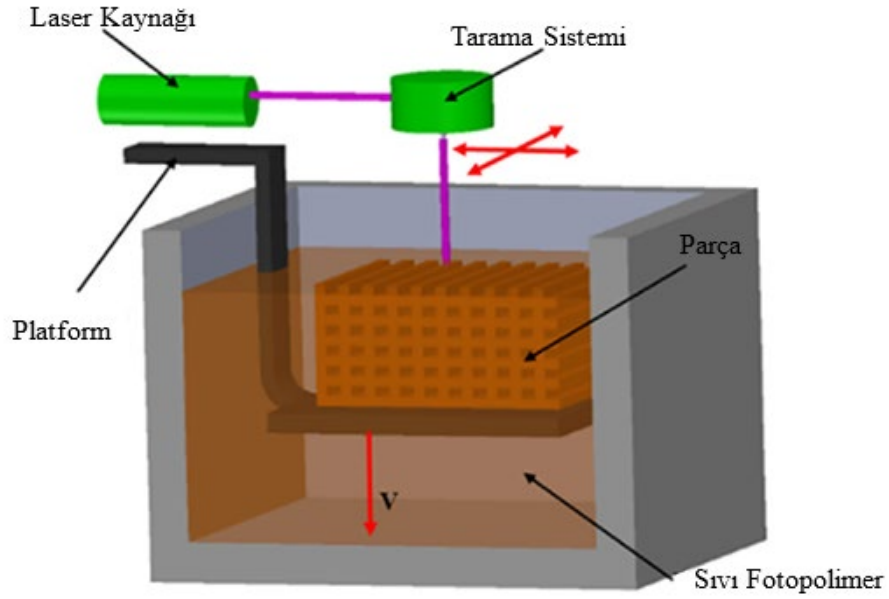
Herhangi bir CAD programında tasarlanan ürünler birebir veya ölçeği küçültülmek suretiyle katı olarak modellendikten sonra STL formatında kaydedilir. STL formatındaki model dilimleme işlemi için 3B yazıcı ara yüz programı ile işleme yönü, doluluk oranı, baskı hızı, katman yüksekliği gibi parametreleri ayarlanarak 3B yazıcıda üretime hazır hale getirilmiş olur. 3B yazdırma şematığı Şekil 3.1'de verilmiştir. 3B yazıcı tekniği, endüstriyel mimari, hızlı prototipleme, havacılık uzay sanayi ve biyomedikal uygulamalarında son yıllarda sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle biyomedikal alanındaki implantlar tıp alanında yeni gelişmelere yol açmıştır [42], [43].



Şekil 3.1. 3B ürün süreci.

3.1.1. STEREO LİTOGRA Fİ TEKNİ Ğİ

Charles Hull 1980’li yıllarda fotopolimer malzemeyi lazer ışını ile kürleyerek katman katman 3B parça üretmesiyle oluşturduğu tekni ğe stereolitografi yöntemi denilmektedir [44], [45]. Sistem lazer tarafından oluşturulan ışık enerjisinin sıvı haldeki fotopolimer maddeyi kürleyerek katı hale getirmesi prensibine dayanır [46]. Lazer kayna ğı tarama sistemine ışın gönderir, bu ışın eksen hareketleri sonucunda bir katman oluşturur. Katı parça oluştu ğça platform bir miktar aşağı iner, tekrar katılma süreci başlar, adım adım katılarak parça oluşur [19]. Sistem şemat i ği Şekil 3.2’deki gibidir.



Şekil 3.2. Stereolitografi şematik gösterimi [47].

Zho ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, stereolitografi tekniği ile üretilen parça Şekil 3.3'te gösterilmektedir [48].



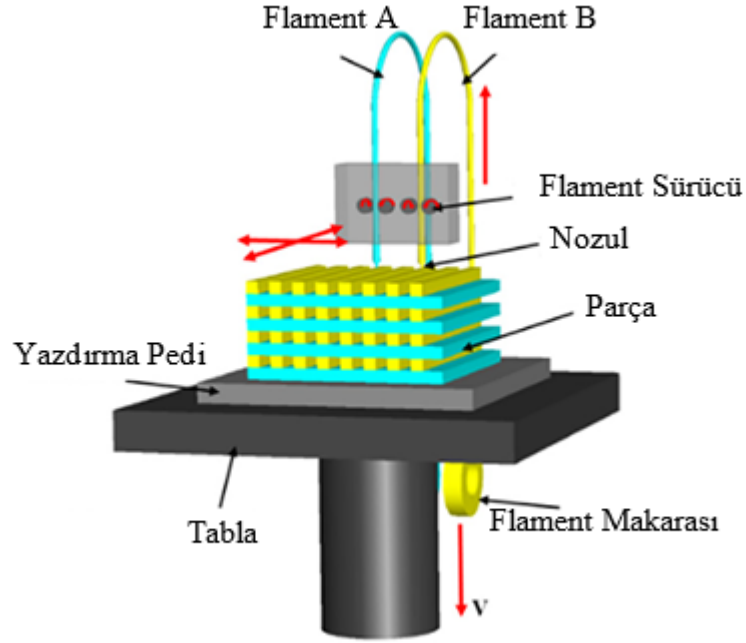
Şekil 3.3. Türbin statoru prototipi [48].

3.1.2. ERİYİK BİRİKTİRME TEKNIĞI

Eriyik biriktirme tekniğinin temellerini Scott Crump atmıştır [41]. Birkaç milimetre kalınlığında tel şeklindeki filament malzemenin ısıtılan bir nozul içerisinden geçirilerek eriyik hale dönüşmesi ve nozulun eksen hareketleri sonucunda 3B ürün elde edilmesi tekniğine dayanmaktadır. Günümüzde popüler halde olan ve hızlı prototipleme de sıklıkla kullanılan bir cihaz halini almıştır. Karbon fiber veya çeşitli takviye elemanlarının kullanımıyla da üretilen parçalar mukavemetli hale getirilmeye çalışılmaktadır [1], [13], [22]. Eriyik biriktirme tekniğinde yaygın olarak PLA, ABS, Naylon, PC gibi termoplastik malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır [40], [45]. Şekil 3.4'te Eriyik biriktirme metoduyla üretilen bir vazo görülmektedir. Tekniğin şematik gösterimi Şekil 3.5'te gösterilmektedir [47].



Şekil 3.4. Eriyik biriktirme yöntemiyle üretilen vazo [47].



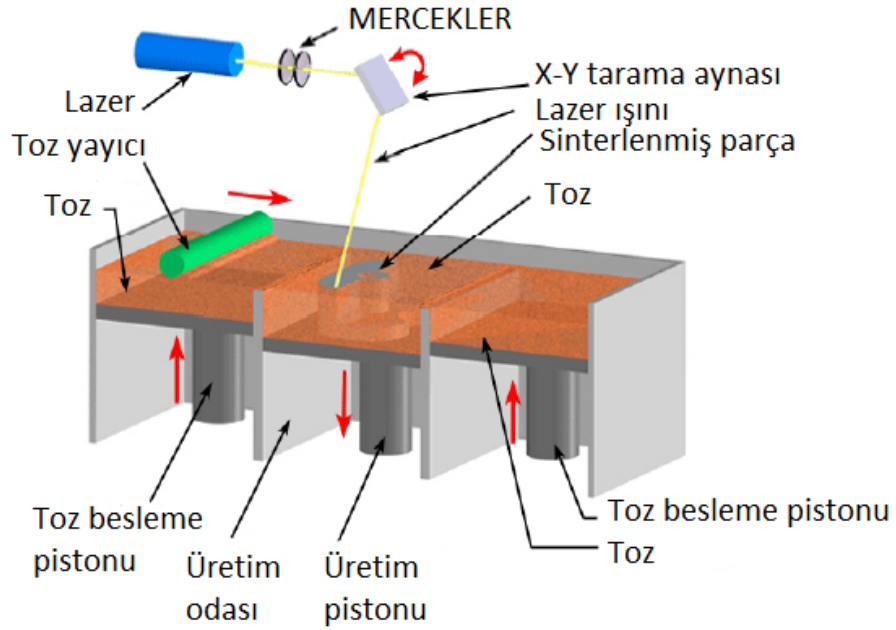
Şekil 3.5. Eriyik biriktirme tekniği şematik gösterim [47].

3.1.3. SEÇİCİ LAZER SİNERLEME METODU

Seçici lazer sinterleme metodunda toz partiküllerin bulunduğu hazne üzerine lazer ile ışın gönderilmektedir. Işının toz ile etkileşimi sonucunda toz erimeye başlar eriyen tozları sürekli ışın ile toz takviyesi de yaparak ışının geçtiği yerlerde katı malzeme oluşması sağlanır. Bu sayede katman katman tozların birleşmesiyle ürün elde edilir. Katman oluştuğunda toz takviyesi yapılarak örüntü sağlanır. Kullanılan toz metal içerikli ise ışın seviyesi metalin erime sıcaklığına ulaşacak kadar artırılarak metal sinterleme işlemi de yapılabilir. Metal kullanıldığında sistemin ismi seçici lazer kaynatma olarak anılmaktadır. Bu yöntem ile biyomedikal implantlar kolaylıkla üretilebilmekte ve birçok hastaya umut olmaktadır. Metal içerikli titanyum alaşımları, bakır krom alaşımları inconel alaşımı gibi 3B parçalar kolaylıkla üretilebilmektedir [46], [49]-[51]. Lazer sinterleme yöntemi mukavemeti yüksek parçalar üretebilmektedir bu sebeple, konsept model üretimi, fonksiyonel parçaların üretimi, hızlı kalıp gerektiren parçaların üretimi için oldukça ideal ve masrafsız bir yöntemdir [53]. Termoplastik, seramik gibi malzemelerin de üretilebildiği bu tekniğin örnek ürünleri Şekil 3,6'daki gibidir [52], [53]. Seçici lazer sinterleme/kaynaklama tekniğinin sistematığı Şekil 3.7'de gösterilmektedir [46].



Şekil 3.6. Seçici lazer sinterleme tekniği örnek parçalar [52], [53].



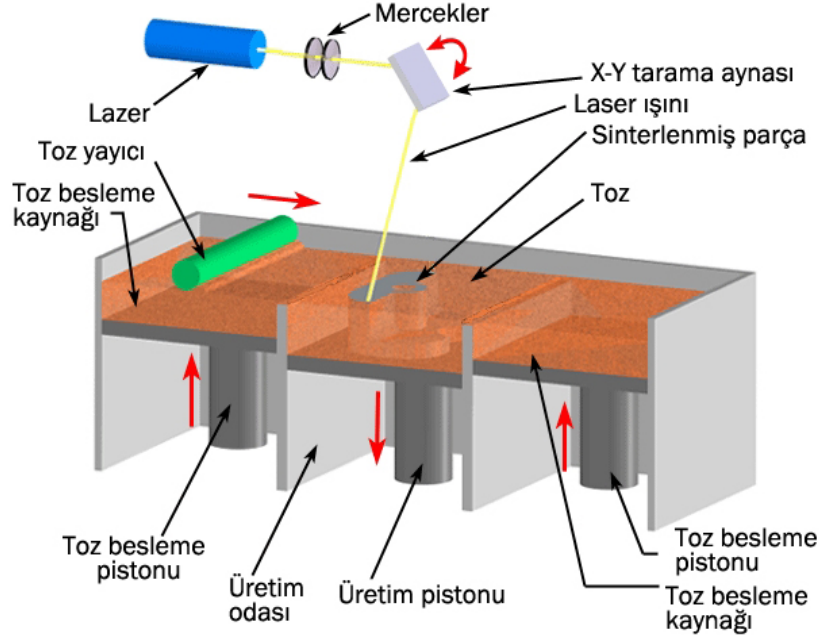
Şekil 3.7. Seçici lazer sinterleme tekniği şematik gösterimi [46].

3.1.4. 3B İNK-JET YAZDIRMA TEKNİĞİ

Bu teknikte ürünü ortaya çıkaran katmanlar ink-jet yazıcı başlığında bulunan yapıştırıcının hazne içerisindeki tozlara püskürtülmesiyle katı ürün oluşmaktadır. Her katman için platform bir miktar aşağı inmekte toz serici merdaneler ile eksilen toz miktarı seviyesi tamamlanarak örüntü devam etmektedir [47]. Mukavemetli parçalar üretebilmek için parça birkaç saniye reçineye daldırılıp ardından yaklaşık 70° olarak ayarlanmış fırında birkaç saat bekletilir. Model malzemesi olarak yüksek performanslı kompozit tozlar kullanılmaktadır. Çok renkli parçaların üretilmesi de mümkündür. Yazıcı kafalarına farklı renkli bağlayıcılar eklenmek suretiyle renkli parçaların üretimi gerçekleştirilir. Böylelikle parçanın farklı bölgelerinde farklı renkler uygulanabilir [53]. Bu teknikle üretilen örnek parçalar Şekil 3.8'deki gibidir. 3B ink-jet yazdırma tekniğinin şematik gösterimi ise Şekil 3.9'daki gibidir [53].



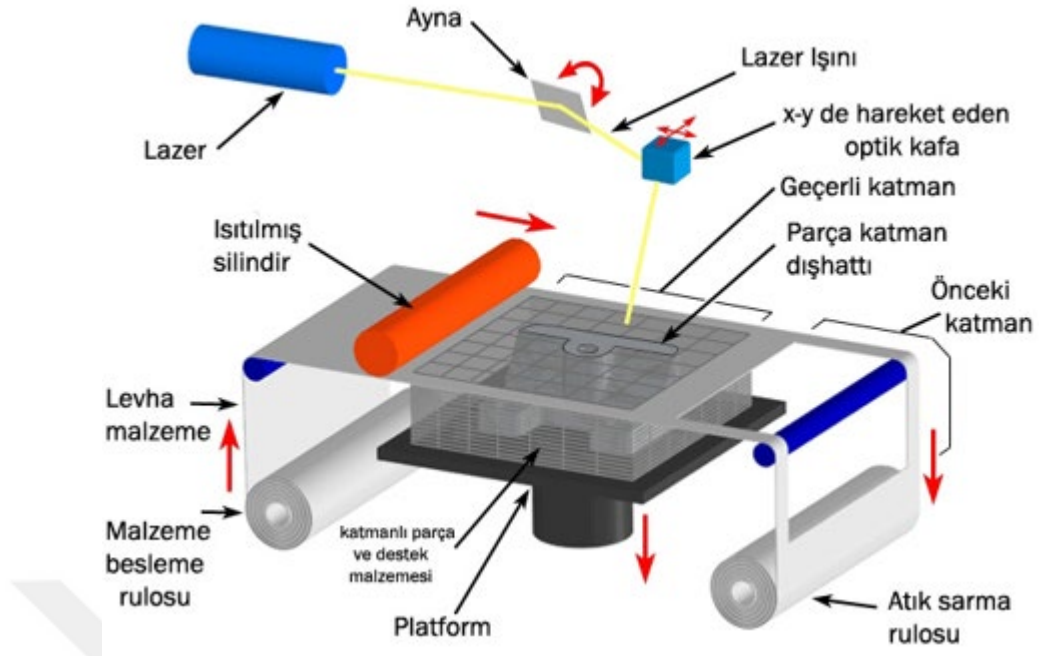
Şekil 3.8. 3B ink-jet yazdırma örnek parçalar [53].



Şekil 3.9. 3B ink-jet yazdırma tekniği [53].

3.1.5. TABAKALI NESNE ÜRETİM YÖNTEMİ

Tabakalı nesne üretim yöntemi, üzerine yapıştırıcı emdirilmiş, kâğıt, plastik köpük, seramik veya metal tozu emdirilmiş malzeme rulolarının ısıtılmış silindir ile basınç uygulanarak katman katman yapıştırılması prensibine dayanır. X ve Y ekseninde hareket eden lazer başlığı sayesinde oluşturulacak parçanın dış hatları kesilir. Kesim işleminden sonra rulolar sarılarak yeni katman için rulonun dolu kısmına kadar ilerlenir. Z eksenini levha kalınlığı kadar her adımda aşağıya doğru indirilir. Isıtılmış silindir tekrar levhaları basınçlı bir şekilde yapıştırır lazer ise yine parçanın kenar kesimlerini yapar. Bu işlem parça son şeklini alana kadar sistematik olarak devam eder. Kullanılan malzemeler kolay temin edilebileceği ve düşük maliyetli olduğu için avantajlı bir yöntemdir [53]-[55]. Tabakalı nesne üretim yönteminin şematik gösterimi Şekil 3.10'daki gibidir. Şekil 3.11'de bu yöntem ile üretilen bazı parçalar görülmektedir.



Şekil 3.10. Tabakalı nesne üretim tekniği [53].



Şekil 3.11. Tabakalı nesne üretim tekniği örnek parçalar [53], [54].

3.2. PLA(Poli Laktik Asit)

PLA, şeker ve mısır nişastasının harmanlanmasıyla oluşturulan organik biyopolimer malzemedir. Biyopolimer malzeme olması sebebiyle insan sağlığı açısından bir zararı yoktur. Eriyik biriktirme teknolojisine sahip bir 3B yazıcıda kolaylıkla parça basılabilir. PLA filament kullanımı dışında streç film, plastik yiyecek saklama kabı, plastik su şişelerinde de kullanılmaktadır [56]-[58].



Şekil 3.12. PLA filament [58].

PLA filamentlerin genel özellikleri;

- ABS malzemeye göre daha kolay basılabilmektedir.
- Yapı olarak sert bir malzemedir, darbelere dirençli ve genel anlamda dayanıklı bir malzemedir.
- Hafif esnek, ancak kırılıgandır.
- Aseton ile çözümlenmesi oldukça zordur.
- Baskı sıcaklığı 190°C – 220°C civarındadır.
- Soğurken çatlama ve kalkma sorunları çıkarmaz [58].

PLA malzemenin kullanım alanları;

PLA parlak bir görüntüsü olduğundan göze hitap eden yerlerde, sağlığa zararlı olmaması sebebiyle de gıda alanında ve implant sektöründe kullanılmaktadır [59]. Örneğin; oyuncaklar, mimari modeller, mutfak eşyaları, gıda kalıpları, diş protezleri gibi [57], [58].

3.3. ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

ABS polimer malzeme ilk olarak 2. Dünya Savaşı yıllarında üretilmiştir. Ticari kullanıma başlaması 1950'li yılların başındadır. ABS işlenmesi kolay, darbe direnci yüksek, metal ve ahşaba alternatif olabilecek, çeşitli sektörlerde yaygın kullanıma sahip petrol bazlı plastik çeşididir [58], [60]. Eriyik biriktirme metodu ile çalışan bir 3B yazıcıda kolaylıkla baskı yapılabilir. Müzik aletleri, otomotiv döşemeleri, telefon kapları, legolar, çanta ve bavul parçalarında kullanılabilir [60].

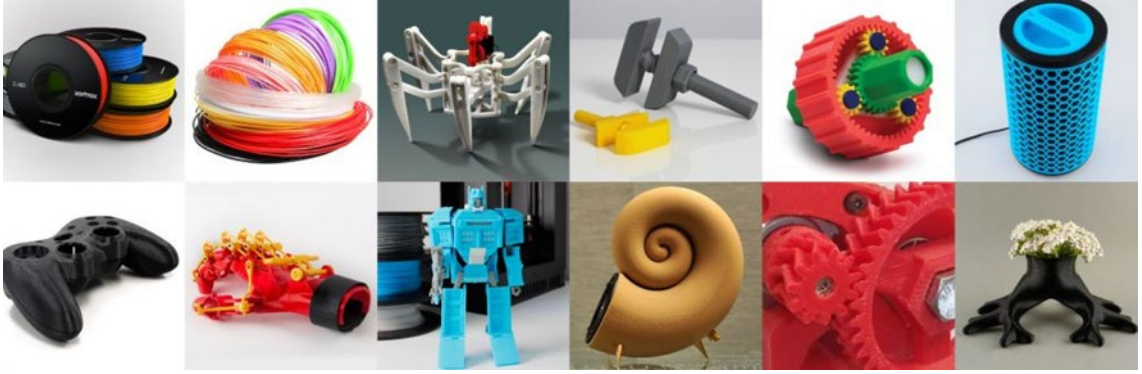


Şekil 3.13. ABS kullanım alanları [60].

ABS, mukavemeti oldukça yüksek olduğundan dolayı 3B üretilen modellerin dayanıklı ve sağlamlığı tercih sebebi olmaktadır. Örneğin; mühendislik uygulamalarında prototip olan 3B parçalar, araba parçaları, elektrikli ekipmanlar gibi. Ancak ABS, biyoyumlu olmadığı ve petrol bazlı bir malzeme olduğu için özellikle sıcak yiyecekler ve içeceklerden uzak tutulması ve bu ürünlere temasının engellenmesi gerekir [58].

ABS filamentlerin genel özellikleri;

- Yüksek sertliğe sahip, dayanıklı ve darbelere dirençlidir.
- Esnekliği düşüktür.
- Asetonla çözülebilir ve yüzey işlemeye uyumludur.
- Gıda maddeleri için kullanımı önerilmez.
- Baskı sıcaklığı 230°C – 250°C civarındadır.
- Soğurken çatlama ve kalkma sorunları çıkarmaması için kapalı sistem çalışan 3B yazıcı kullanılmalıdır [58].



Şekil 3.14. ABS ürünler [61].

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada biyoyumlu malzeme olan PLA ile ABS malzemenin karışımından oluşan yeni PLA/ABS malzeme deney malzemesi olarak kullanılmıştır.

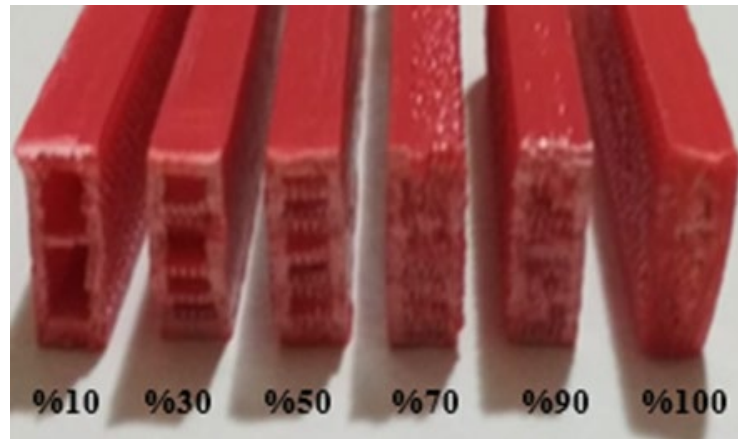
Deney numuneleri için RIGID3D yazıcı kullanılmıştır (Şekil 4.1). Kullanılan yazıcının teknik özellikleri Çizelge 4.1'deki gibidir. Numuneler 245 nozul sıcaklığı, 95 tabla sıcaklığı, 3200 mm/dak baskı hızı, 200 mikron katman kalınlığında yazdırılmıştır. Yazdırma doluluk parametreleri için %10, %30, %50, %70, %90, %100 oranları kullanılmıştır (Şekil 4.2). Yazma yönü için, rectilinear (düz çizgili), honeycomb (bal peteği), wiggle (zigzag), triangular (üçgen) yöntemleri seçilmiş olup Şekil 4.3'teki gibidir. Şekil 4.4'te PLA filament ve Şekil 4.5'te ABS filament malzemeleri gösterilmiştir.



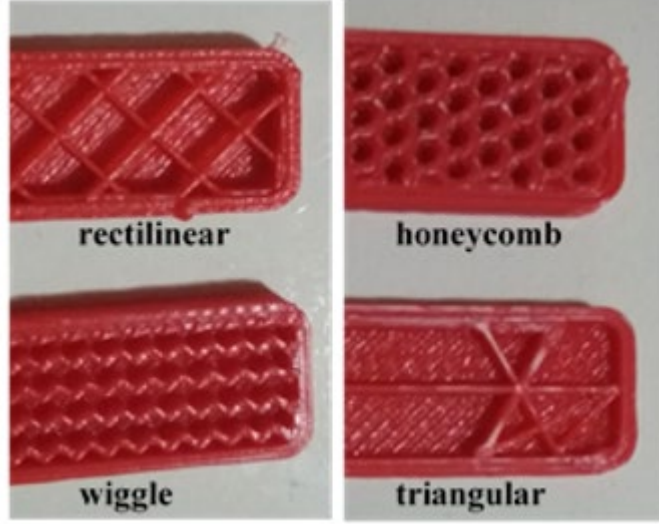
Şekil 4.1. 3B yazıcı

Çizelge 4.1. 3B yazıcı teknik özellikleri.

Açıklama	Değer/Özellik	Birim
Baskı teknolojisi	Eriyik biriktirme metodu	
Baskı hacmi	200x200x200	mm
Boşta hareket hızı	100	mm/sn
Katman kalınlığı	0,05-0,30	mm
Nozul çapı	0,4	mm
Filament çapı	1,7-1,8	mm
Yazılım	Cura, Repetier, diğer yazılımlar	
Dosya formatı	STL, OBJ, AMF, GCODE	
Ham madde	PLA, ABS, FLEX, PRTG	
Baskı plakası	HotFix 3B baskı yüzeyi	
Güç	220 Volt 600 Watt	
Bağlantı	USB, SD kart	



Şekil 4.2. Üretilen malzemenin doluluk oranları.



Şekil 4.3. 3B yazdırma tipleri.

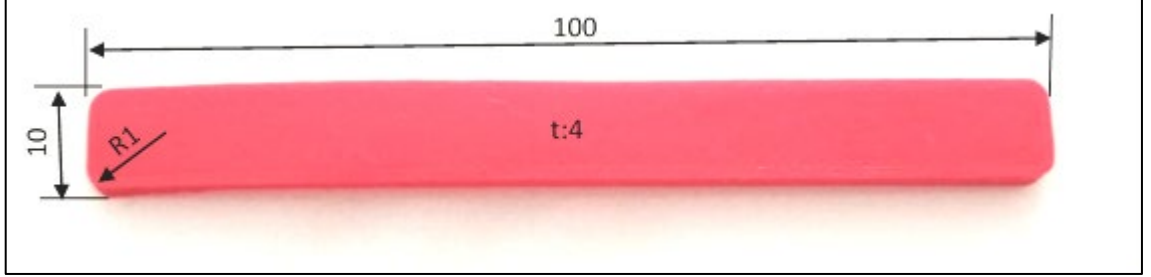


Şekil 4.4. PLA filament



Şekil 4.5. ABS filament

İzod darbe deneyi numuneleri Solidworks programında, TS EN ISO 180 izod darbe standartlarına göre üç boyutlu olarak tasarlanmış STL uzantılı dosya biçiminde kaydedilerek Simplify3D dilimleme programında 3B yazıcıda üretime uygun hale getirilmiştir. Şekil 4.6'da darbe numunelerinin teknik resim ölçüleri görülmektedir.



Şekil 4.6. İzod darbe deneyi numune ölçüleri.

PLA/ABS yeni karışım malzemenin darbe dayanımını ölçmek için Zwick/Roell HIT25P marka cihaz kullanılmıştır (Şekil 4.7). Çizelge 4.2'de izod darbe testinde kullanılan cihazın teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.7. İzod darbe cihazı.

Çizelge 4.2. İzod darbe cihazı teknik özellikleri.

Açıklama	Değer	Birim
Potansiyel enerji	25	lbf
Genişlik	1170	mm
Yükseklik	1080	mm
Derinlik	500	mm
Ölçüm birimi		SI, metrik, anglo
Dönüştürücü		Rs232, USB
İtme kuvveti çözünürlüğü	0,09	°

Malzeme yoğunluğunu ölçmek için Precisa XB 220A model cihaz kullanılmıştır (Şekil 4.8). Yoğunluk ölçüm cihazının teknik özellikleri Çizelge 4.3'te gösterilmektedir.

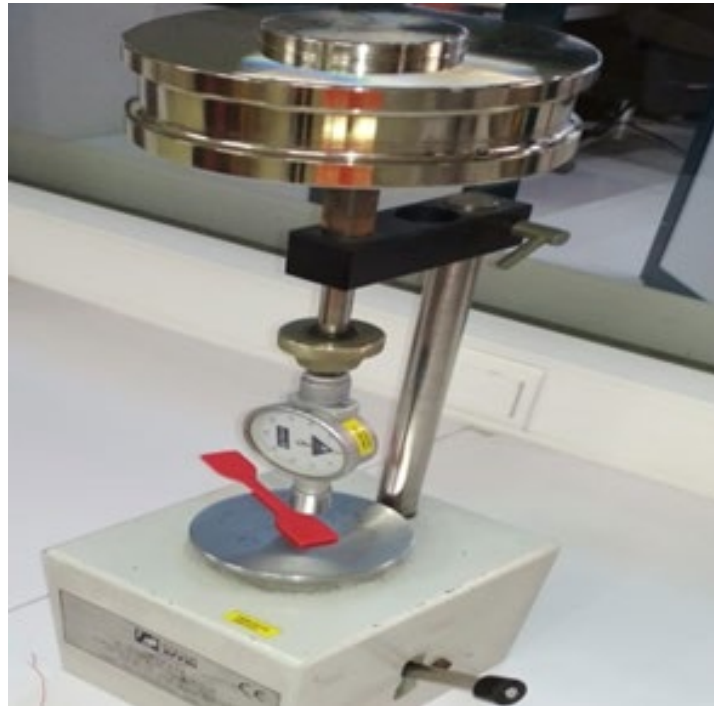


Şekil 4.8. Yoğunluk ölçme cihazı.

Çizelge 4.3. Yoğunluk ölçme cihazı teknik özellikleri.

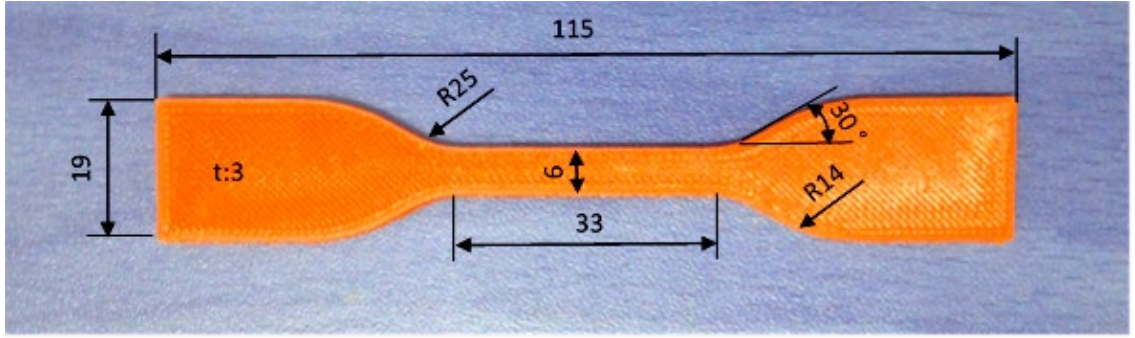
Açıklama	Değer	Birim
Kapasite	220	gr
Hassasiyet	0,1-0,0001	mg-gr
Tekrarlanabilirlik	$\pm 0,1-\pm 0,0001$	mg-gr
Doğrusallık	$\pm 0,2-\pm 0,0002$	mg-gr
Ölçüm süresi	4	sn
Kefe	Ø80	mm

Parça mukavemet özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan kriterlerin bir diğeri de sertlik değerleridir. Plastik esaslı malzemelerin sertlik değerleri Shore sertlik ölçüm metodu ile ölçülür. Numune sertlik değerleri için SYSTEM AFFRI marka, Article 13 model Shore D sertlik cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Shore sertlik ölçme cihazı.

Parçaların çekme mukavemetinin ölçülebilmesi için HOUNSFIELD marka 50000 N kapasiteli çekme cihazı kullanılmıştır. Çekme testi numuneleri Solidworks programında ASTM D638-10 standardına uygun olarak tasarlanıp 3B yazıcıya uygun olacak şekilde stl uzantılı olarak oluşturulmuştur. Çekme numunesi ölçüleri Şekil 4.10'daki gibidir. Çekme testleri 50 mm/dak hızında gerçekleştirilmiştir. Şekil.4.11'de çekme cihazına bağlanmış numune ve kopma sonundaki numunenin resimleri görülmektedir. Çizelge 4.4'te çekme cihazının teknik özellikleri görülmektedir.



Şekil 4.10. Çekme numunesi ölçüleri.



Şekil 4.11. Çekme test cihazı.

Çizelge 4.4. Çekme test cihazı teknik özellikleri.

Açıklama	Değer	Birim
Kuvvet artış skalası	5-10-20-50-100	%
Uzama artış skalası	10-50-100-500-1000	mm
Çekme hızı	0-500	min-max
Maksimum çekme yükü	50	kN

PLA40/ABS60 malzemenin akış testleri Melt Flow Index Tester (Model 6934) test cihazında yapılmıştır. Kullanılan test cihazı Şekil 4.12’de gösterilmektedir. Cihaza ait teknik özellikler ise Çizelge 4.5’teki gibidir.



Şekil 4.12. Malzeme akış test cihazı.

Çizelge 4.5. Malzeme akış test cihazı teknik özellikleri.

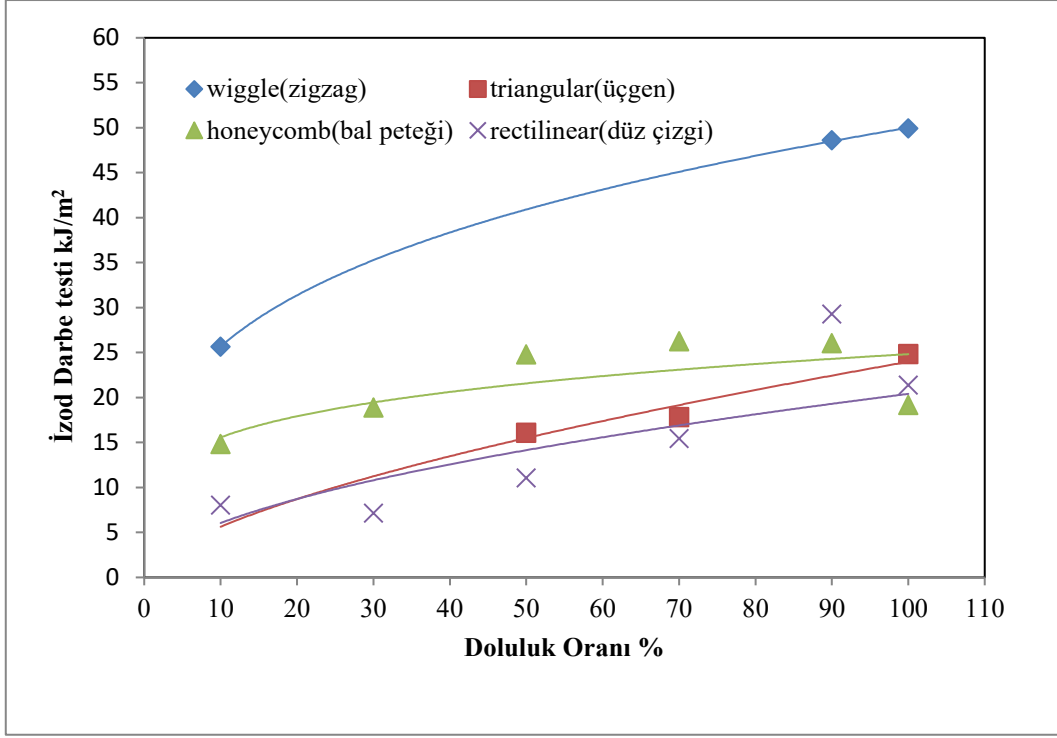
Açıklama	Değer	Birim
Sıcaklık aralığı	50 - 400	C°
Sıcaklık hassasiyeti	±0,2	C°
Sıcaklık artış hassasiyeti	0,1	C°
Piston hareketi	±0,02	mm
Piston ağırlığı	0,325	kg
Güç kaynağı	1000	Watt
Boyutlar	670x520x870	mm

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Eriyik biriktirme metodu ile PLA40/ABS60 filamentten üretilen deney numuneleri üzerinde, çekme testi, izod darbe testi, sertlik ölçümleri, yoğunluk analizleri, akış testi gibi çeşitli testler uygulanarak yeni malzemenin mekanik ve termal özellikleri incelenmeye çalışılmış olup elde edilen bulgular birlikte değerlendirilerek tartışılmıştır.

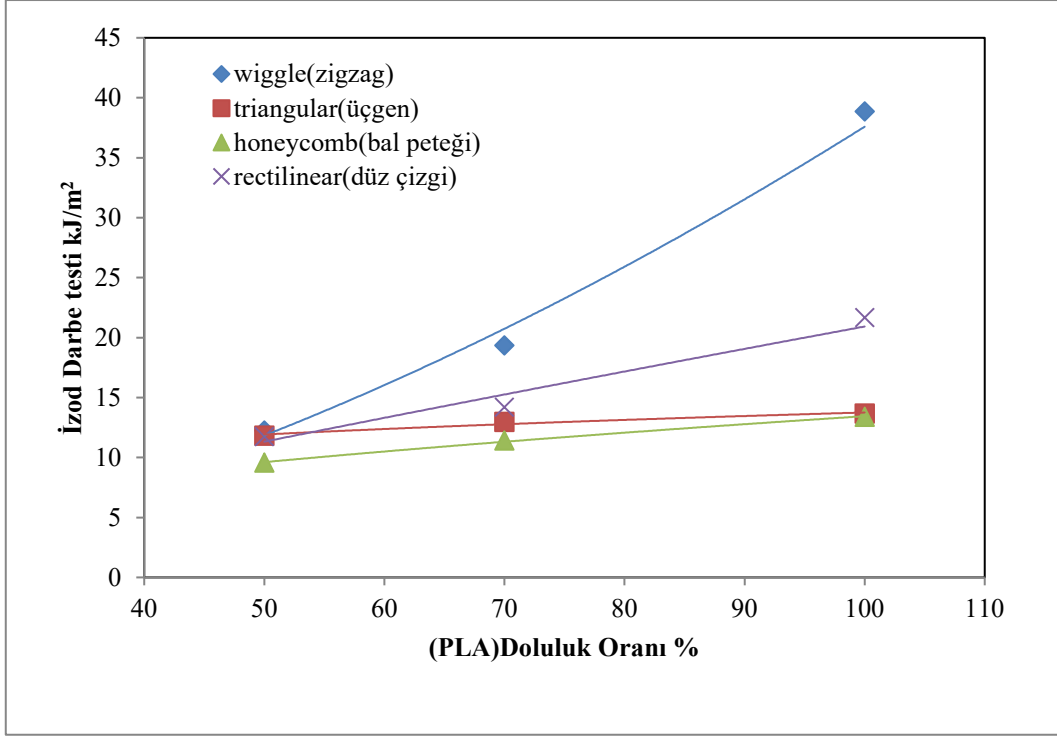
5.1. İZOD DARBE TESTİ BULGULARI

Malzeme darbe dayanımını parça üzerine etkileyen anlık şok yükler karşısındaki tepkisi göstermektedir. Yeni oluşturulan malzemenin darbe dayanımı tüm işleme yönleri ve doluluk oranlarında incelenmiş olup Şekil 5.1’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde doluluk oranının artmasıyla birlikte darbe dayanımında da artış olduğu görülmektedir. Üçgen yazdırma yönündeki darbe testleri birbirine yakın değerler olup üçgen iç yapıdan dolayı doluluk oranının darbe dayanımını çok fazla etkilemediği söylenebilir. En fazla mukavemeti zigzag yazdırma yönü sergilemiş olup düz çizgi metodu en düşük mukavemet özelliği sergilemiştir. Üçgen metot da çok fazla bir dalgalanma olmamasına rağmen düz çizgi metodundan daha az mukavemetli olduğu görülmektedir.



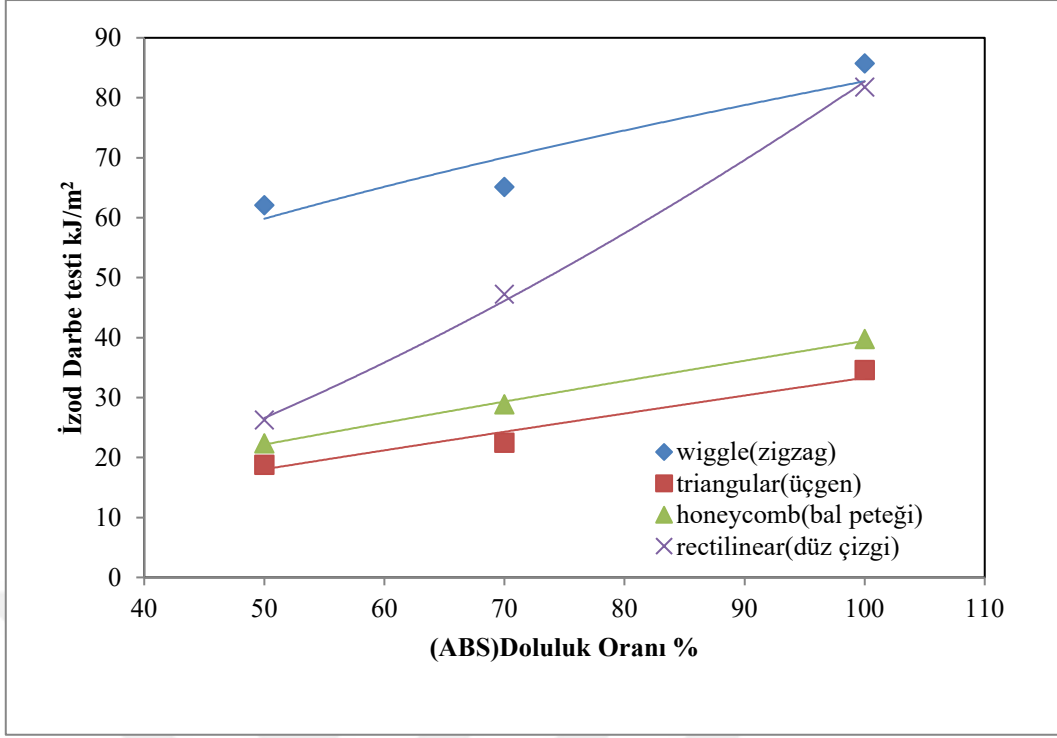
Şekil 5.1. Doluluk oranları ve işleme yönlerine göre karışım malzemesi izod darbe dayanımının değişimi.

Saf PLA malzemenin farklı doluluk oranlarında ve farklı işleme yönlerindeki darbe dayanımı Şekil 5.2’de incelenmiştir. Elde edilen verilere göre bal peteği ve üçgen işleme metotlarında doluluk oranlarının azalmasıyla birlikte malzeme darbe direncinde çok fazla bir değişim görülmemektedir. Düz çizgi metodunda doluluk oranının azalmasıyla bir miktar dayanım azalması görülürken zigzag işleme yönünde en fazla darbe dayanımı sergilemektedir. Tüm işleme yönlerinde %100 doluluk oranlarında zigzag işleme yönü diğer işleme yönlerine göre %50 daha fazla dayanım göstermektedir. %50 doluluk oranında ise zigzag işleme haricinde tüm işleme yönlerinde birbirlerine yakın dayanım özellikleri görülmektedir.



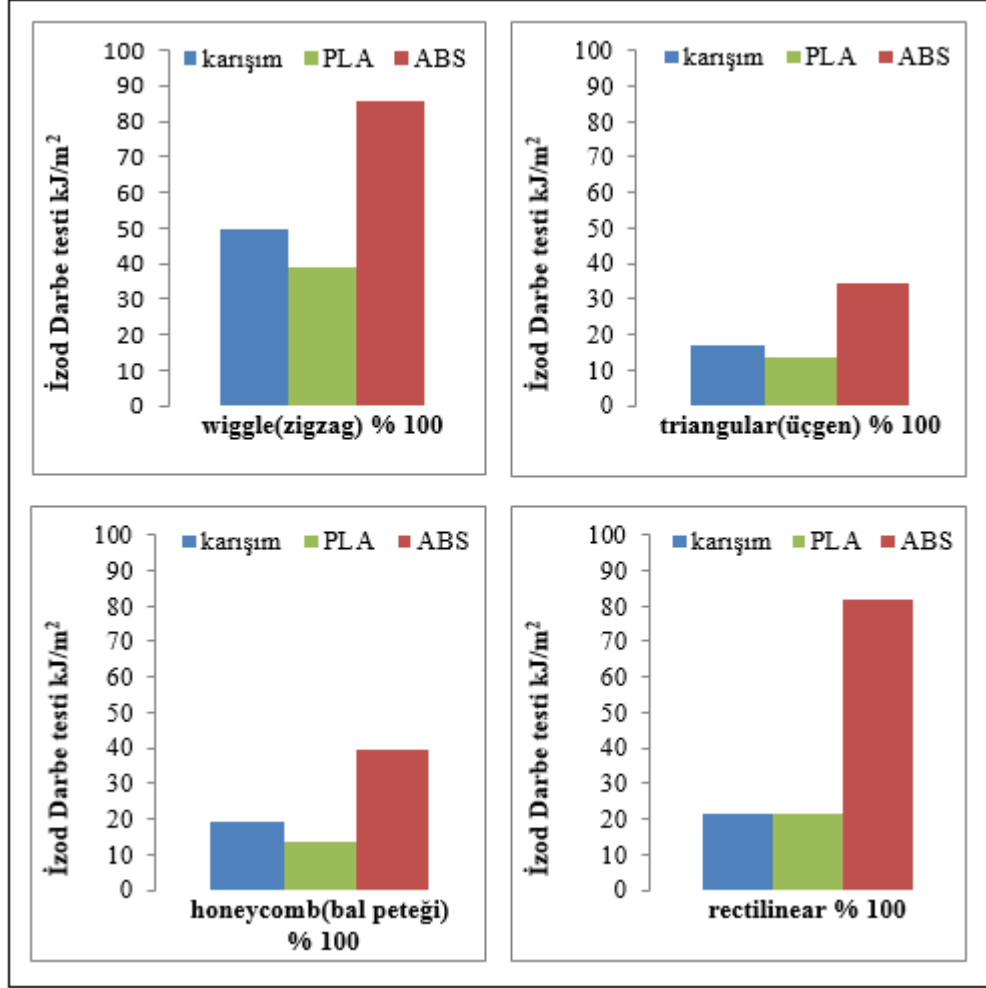
Şekil 5.2. Doluluk oranları ve işleme yönlerine göre PLA malzemesi izod darbe dayanımının değişimi

Saf ABS malzemenin farklı doluluk oranlarında ve farklı işleme yönlerindeki darbe dayanımı Şekil 5.3'te görülmektedir. Grafik incelendiğinde zigzag ve düz çizgi yöntemiyle %100 doluluk oranında en yüksek darbe dayanımı elde edilmiştir. Zigzag işleme yönü tüm doluluk oranlarında ve tüm işleme yönlerinde en yüksek darbe dayanımı sergilemiştir. Üçgen ve bal peteği işleme yönlerinde ise birbirine paralel bir artış olduğu söylenebilir. %50 doluluk oranında zigzag işleme yönü haricinde tüm metotlarda birbirine yakın dayanım özellikleri görülmektedir. Tüm işleme yönlerinde doluluk oranının azalmasıyla darbe dayanımlarında da azalma olduğu tespit edilmiştir. Yapılan literatür çalışmalarında da doluluk oranının artmasıyla mukavemet değerlerinde belirgin artışlar olduğu görülmektedir [31]-[33].



Şekil 5.3. Doluluk oranları ve işleme yönlerine göre ABS malzemesi izod darbe dayanımının değişimi.

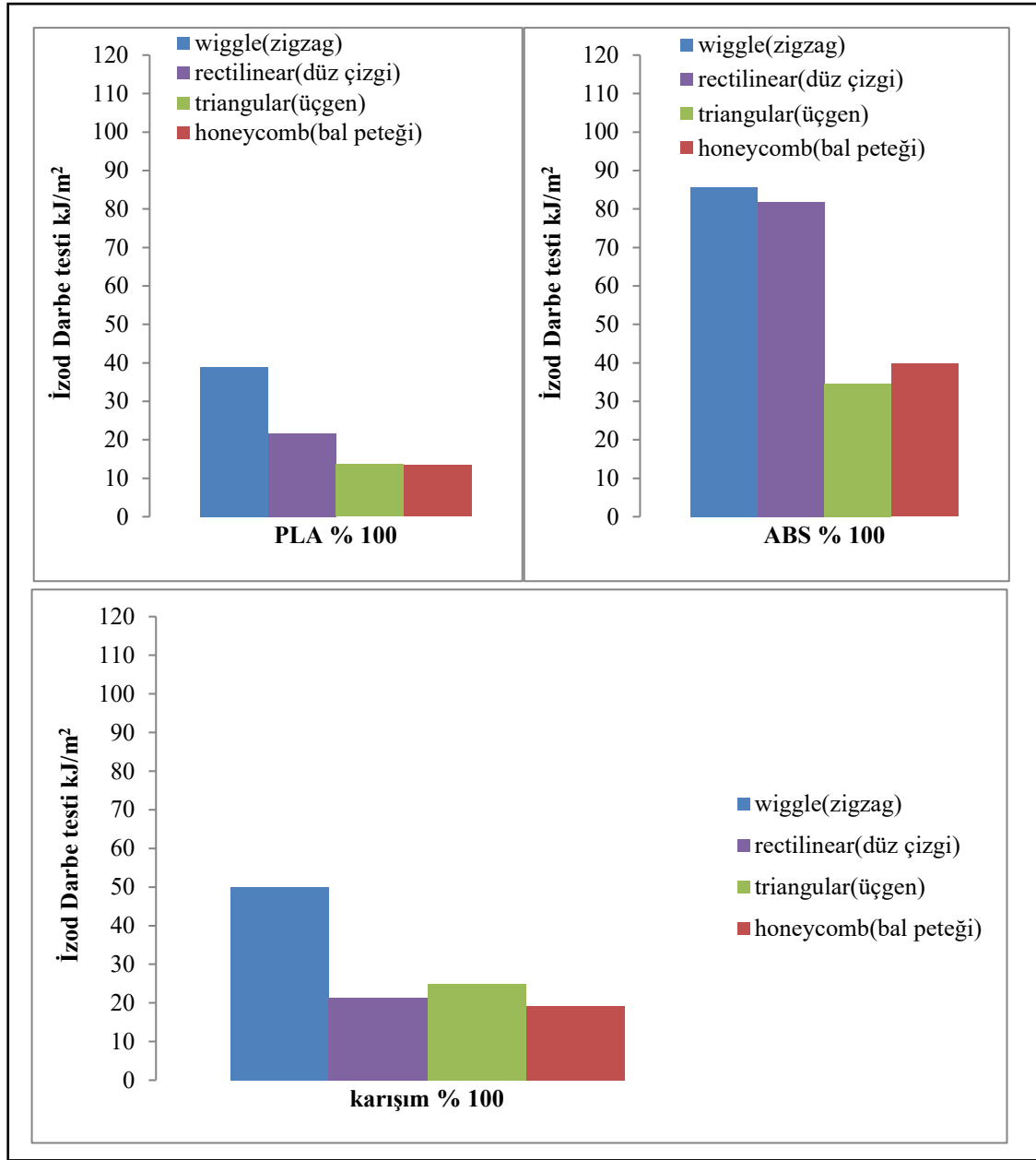
PLA, ABS ve karışım malzemelerinin (PLA40/ABS60) işleme yönlerine göre %100 doluluk oranındaki dayanım karşılaştırması Şekil 5.4'te verilmiştir. Grafikler incelendiğinde tüm işleme yönlerinde ABS malzeme en yüksek dayanım özellikleri sergilemiştir. Üçgen ve bal peteği işleme yönündeki numunelerde PLA malzemenin dayanım özelliklerinden daha yüksek değerler elde edilmişken, düz çizgi yönteminde ise PLA ile arasında çok fazla bir dayanım değişimi görülmemiştir. Tüm işleme yönleri birlikte değerlendirildiğinde karışım malzemesi en yüksek dayanım özelliğini zigzag işleme yönünde sergilemiştir. Zigzag işleme yönü diğer işleme yönlerindeki PLA malzemenin dayanım özelliklerinden de daha yüksek darbe dayanımı sergilemiştir. Bu da %100 doluluk oranında en iyi parça dayanımının zigzag işleme yönünde olduğunu ifade ederken darbe dayanımının istendiği PLA40/ABS60 malzemedan üretilecek parçalarda zigzag işleme yönünün tercih edilebileceğini göstermektedir.



Şekil 5.4. PLA, ABS ve karışım malzemelerinin işleme yönlerine göre %100 doluluk oranındaki dayanım karşılaştırması.

İşleme yönlerinin malzeme türlerine etkileri Şekil 5.5'teki grafiklerde görülmektedir. ABS malzeme, tüm işleme yönlerinde PLA ve Karışım malzemesi (PLA40/ABS60) karşısında daha mukavemetli bir durum sergilemiştir. ABS malzeme zigzag işleme yönünde en yüksek mukavemet özelliği sergilerken düz çizgi yöntemi de benzer sonuçlar sergilemiştir. Üçgen işleme yönü en zayıf darbe dayanımı sergilemiştir, zigzag işleme yönü ile kıyaslandığında neredeyse 3 kat daha düşük darbe dayanımı sergilemiştir. PLA malzemenin en iyi dayanımı olan zigzag işleme yönündeki darbe dayanımı ABS malzemenin en düşük olan dayanımına yakın değerler sergilemiştir. ABS'de üçgen ve bal peteği işleme yönleri benzer dayanım özellikleri sergilemiştir. Karışım malzemesinin en iyi dayanımı da zigzag işleme yönünde elde edilmişken genel olarak PLA malzeme dayanımlarından yüksek ancak ABS malzeme dayanımlarından daha düşük darbe dayanımı elde edilmiştir. Karışım malzemesinin de en kötü dayanım sergilediği işleme

yönü üçgen işleme yönü olarak değerlendirilebilir.

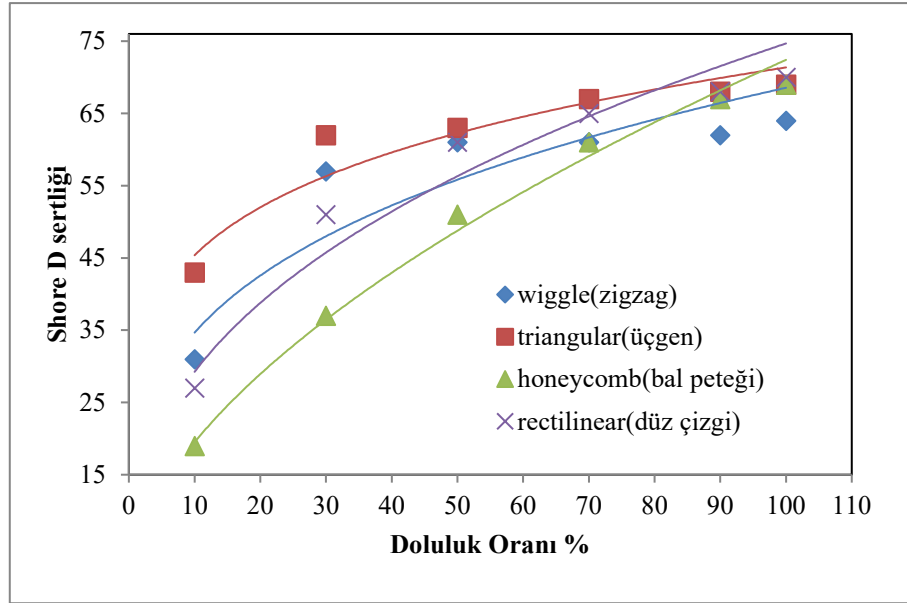


Şekil 5.5. İşleme yönlerinin malzeme türlerine etkileri.

5.2. SHORE SERTLİK DENEYİ BULGULARI

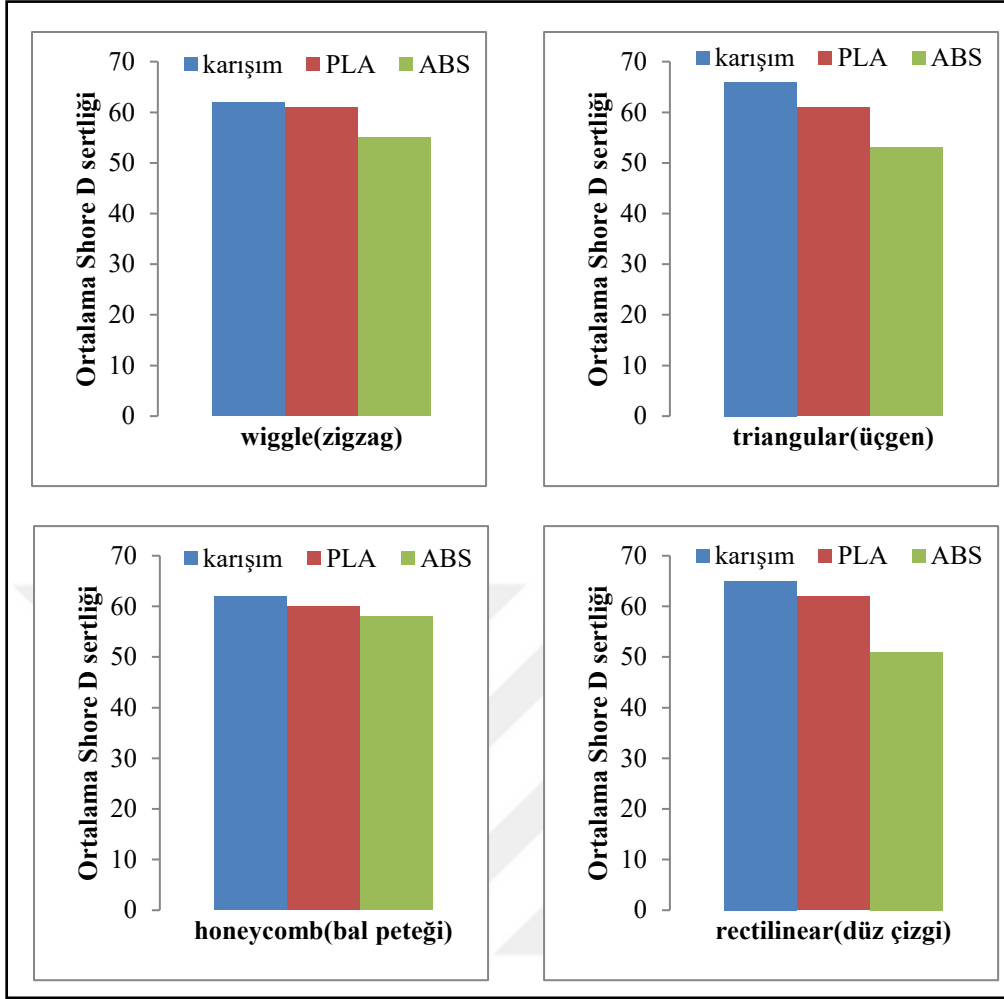
Karışım malzemesinin shore D cinsinden sertlik değerleri Şekil 5.6'daki gibidir. Grafik incelendiğinde doluluk oranlarının azalması ile tüm yazdırma koşullarında sertlik değerinde bir azalma görülmektedir. Darbe dayanımının aksine üçgen işleme yönünde en yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. Bu da parçanın sertleşirken aynı zamanda esnekliğinde büyük oranda kaybettiğini göstermektedir. En düşük sertlik değerleri bal

peteği işleme yönünde oluşmuştur. %100 doluluk oranında ise tüm parametrelerde birbirine yakın değerler görülmektedir. Bu da %100 doluluk oranında işleme yönünün sertliği değiştirmede çok fazla bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Doluluk oranlarının artmasıyla malzeme sertlik değerlerinin arttığı söylenebilir, yapılan literatür çalışmalarında da benzer sonuçları elde etmişlerdir [32], [39].



Şekil 5.6. Karışım malzemesinin (PLA40/ABS60) farklı doluluk oranı ve farklı işleme yönlerindeki sertlik değişimi.

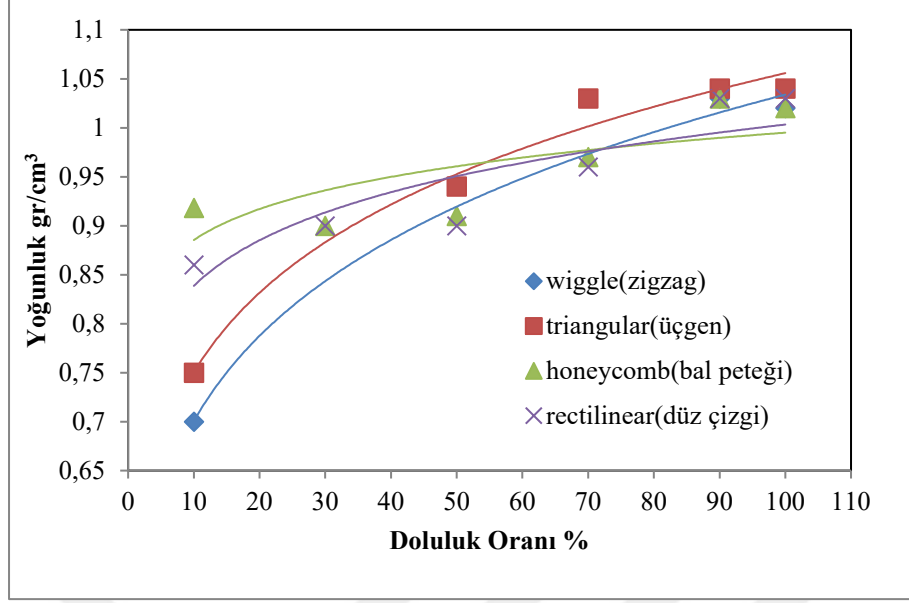
İşleme yönlerine karışım, PLA ve ABS malzeme türlerine göre sertlik değişimleri Şekil 5.7’de görülmektedir. Grafikler incelendiğinde yüksek sertlik değerleri tüm işleme yönlerinde karışım malzemesinde görülmüştür. Dikkati çeken bir diğer nokta ise zigzag ve bal peteği işleme yönlerinin tüm parametrelerde birbirine yakın sertlik değerlerinde olduğu görülmektedir. Üçgen ve düz çizgi işleme yönlerinin de birbirine yakın değerler sergilediği dikkati çeken bir diğer nokta olmuştur. Bal peteği işleme yönünde PLA, ABS ve Karışım malzemesi sertlik değerleri arasında pek fazla bir fark görülmemiştir. ABS malzeme darbe dayanımı en yüksek malzeme olmasına karşın sertlik değeri olarak en düşük sertlikler bu malzeme türünde gözlenmiştir. Bu da ABS malzemenin diğer malzemelere göre daha sünek bir malzeme olduğunu göstermektedir. Karışım malzemesi ise en sert malzeme olduğu için darbe dayanımları ABS’ten daha düşük çıkmıştır. Sertliğin artmasının darbe dayanımını da etkilediği söylenebilir.



Şekil 5.7. İşleme yönlerine karışım(PLA40/ABS60), PLA ve ABS malzeme türlerine göre sertlik değişimleri.

5.3. DOLULUK ORANLARININ PARÇA YOĞUNLUĞUNA ETKİLERİ

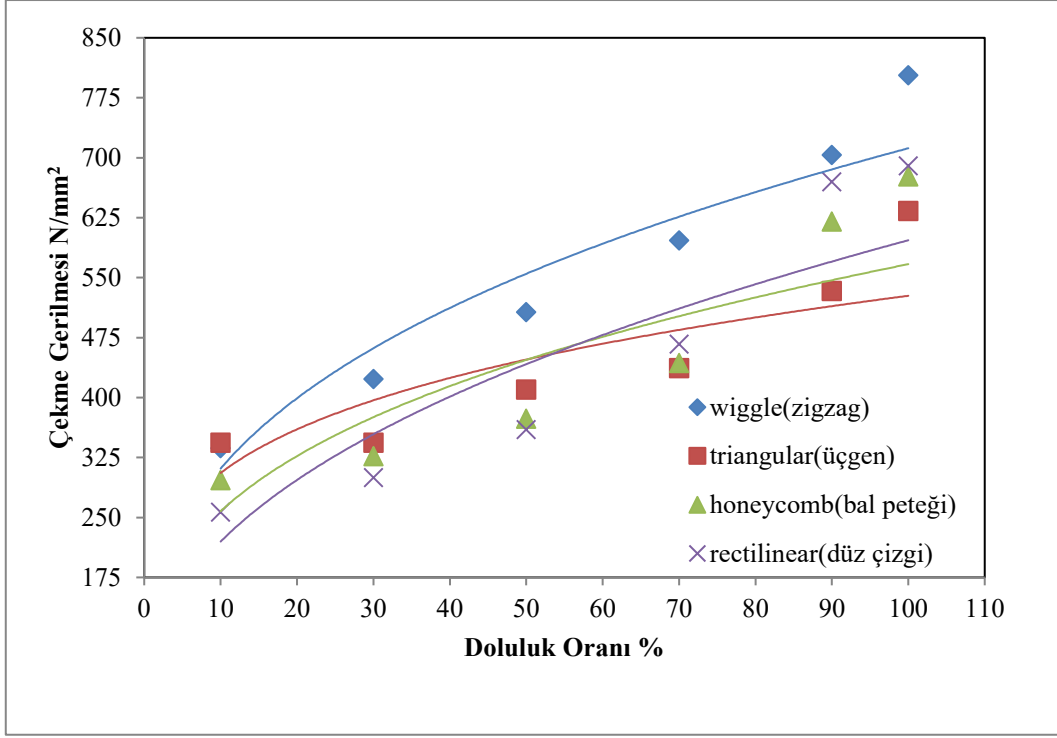
Doluluk oranlarının ve yazdırma yönlerinin parça yoğunluğuna etkileri Şekil 5.8'de gösterilmiştir. %50 doluluk oranının üzerindeki oranlarda parça yoğunluğunun pek fazla etkilenmediği buna karşın %50 doluluk oranından daha düşük oranlarda ise yoğunlukta azalmaların olduğu görülmektedir. Üçgen ve zigzag işlemede birbirine benzer eğilim sergilemiştir. Bal peteği ve düz çizgi yönlerindeki değişim daha az görülmüştür. %10 doluluk oranında en düşük yoğunluğu zigzag işleme yönü sergilerken en yüksek yoğunluk değerlerini bal peteği işleme yönü sergilemiştir. En az yoğunluk dalgalanması düz çizgi ve bal peteği işleme yönlerinde görülmüştür.



Şekil 5.8. Doluluk oranlarının ve yazdırma yönlerinin parça yoğunluğuna etkileri

5.4. ÇEKME DENEYİ BULGULARI

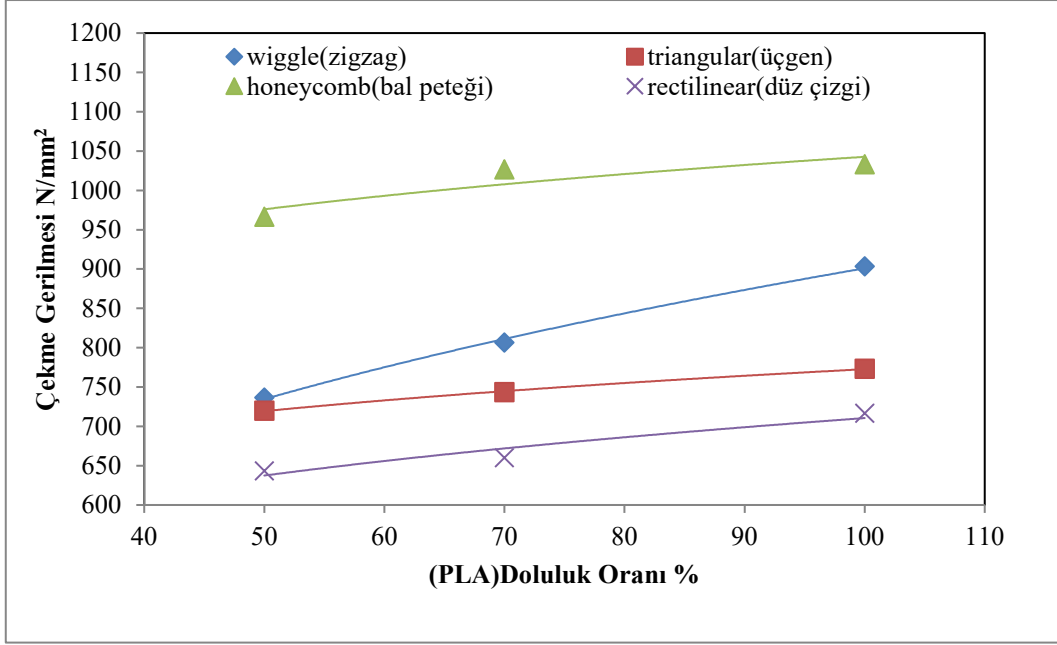
Çekme deneyi malzeme mukavemetini belirleyen önemli deneylerden biridir. Çekme deneyleriyle malzemenin akma gerilmesi, elastikiyet modülü, rezilyans modülü, malzemenin tokluğu, çekme gerilmesi, kopma gerilmesi, malzeme de oluşan yüzde uzama gibi önemli mukavemet değerleri elde edilir. Yapılan çalışmadaki çekme deneyi test cihazının bilgisayar bağlantısı probleminden dolayı sadece çekme gerilmesi değerleri elde edilebilmiş olup grafik yorumları çekme gerilmesi değerlerine göre yapılmıştır. Şekil 5.9 incelendiğinde karışım malzemesinde, doluluk oranlarına karşılık malzeme işleme yönlerinin çekme gerilmeleri görülmektedir. Zigzag işleme yönü hemen hemen tüm doluluk oranlarında en yüksek mukavemeti sergilemiştir. Üçgen işleme yönündeki doluluk oranlarına karşılık gerilme değerlerinde pek fazla bir değişim olduğu söylenemez. %50 doluluk oranının altında en düşük gerilme değerleri bal peteği işleme yönünde görülürken %70 doluluk oranından sonra ise üçgen işleme yönünde en düşük mukavemet sergilemiştir. %10 doluluk oranında neredeyse tüm işleme yönlerinde birbirine yakın gerilme değerleri elde edilmiştir. Doluluk oranlarının azalmasıyla mukavemet değerlerinde belirgin azalmalar olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmalarda da benzer sonuçları elde etmişlerdir [31]-[33].



Şekil 5.9. Doluluk oranlarının karışım malzemesi çekme gerilmesi değerleri.

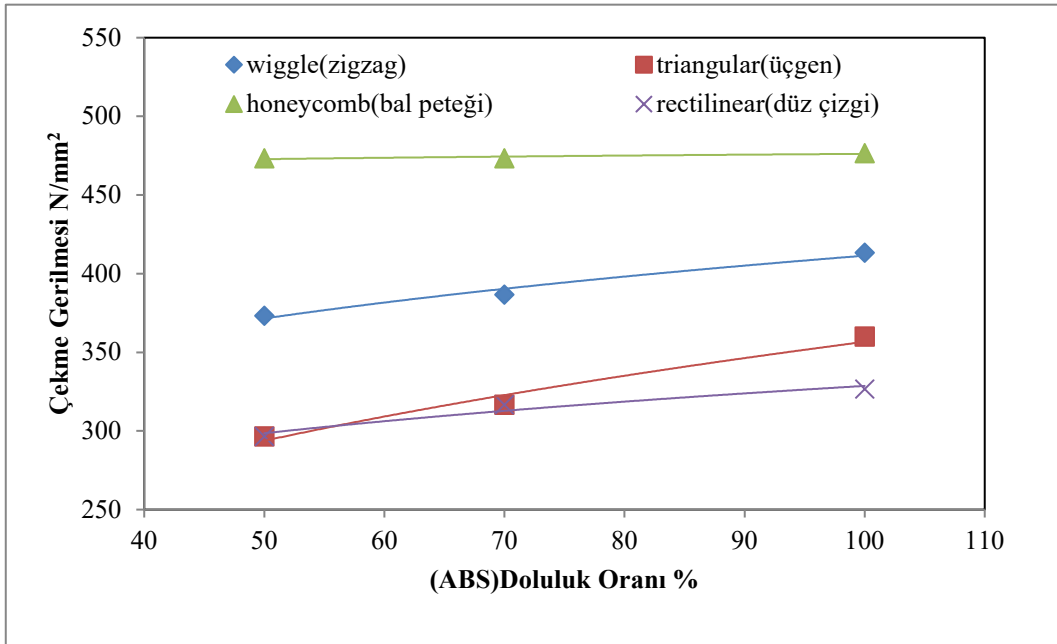
Saf PLA filament ile farklı işleme yönlerinde üretilen numunelerin çekme gerilmeleri Şekil 5.10'da gösterilmektedir. Bal peteği işleme yönünde tüm doluluk oranlarındaki numuneler en yüksek çekme gerilmesi sergilemiştir. Bal peteği, düz ve üçgen işleme yönlerinde doluluk oranının %50'ye kadar azalması çekme gerilmelerini pek fazla etkilememiştir. Zigzag işleme yönünde ise doluluk oranının azalmasıyla birlikte çekme gerilmelerinde de azalma meydana gelmiştir. Üçgen ve düz çizgi işleme yönü birbirine yakın değerler sergilemiştir. Düz çizgi ve bal peteği işleme yönü arasında %50 oranında çekme gerilmesi farkı oluşmuştur. Bal peteği işleme yönü PLA malzeme için en mukavemetli yapı sergileyerek mukavemet gerektirecek parçalar için güçlü bir alternatif oluşturmuştur.

Saf ABS filament ile farklı işleme yönlerinde üretilen numunelerin çekme gerilmesi değerleri Şekil 5.11'deki gibidir. Üçgen işleme yönü haricinde diğer işleme yönlerinde doluluk oranının azalmasıyla birlikte çekme gerilmelerinde çok fazla bir azalış olmadığı görülmektedir. Bal peteği işleme yönü en yüksek mukavemet özelliği sergilerken doluluk oranının %50'ye kadar düşmesi mukavemet değişimine neden olmamıştır.



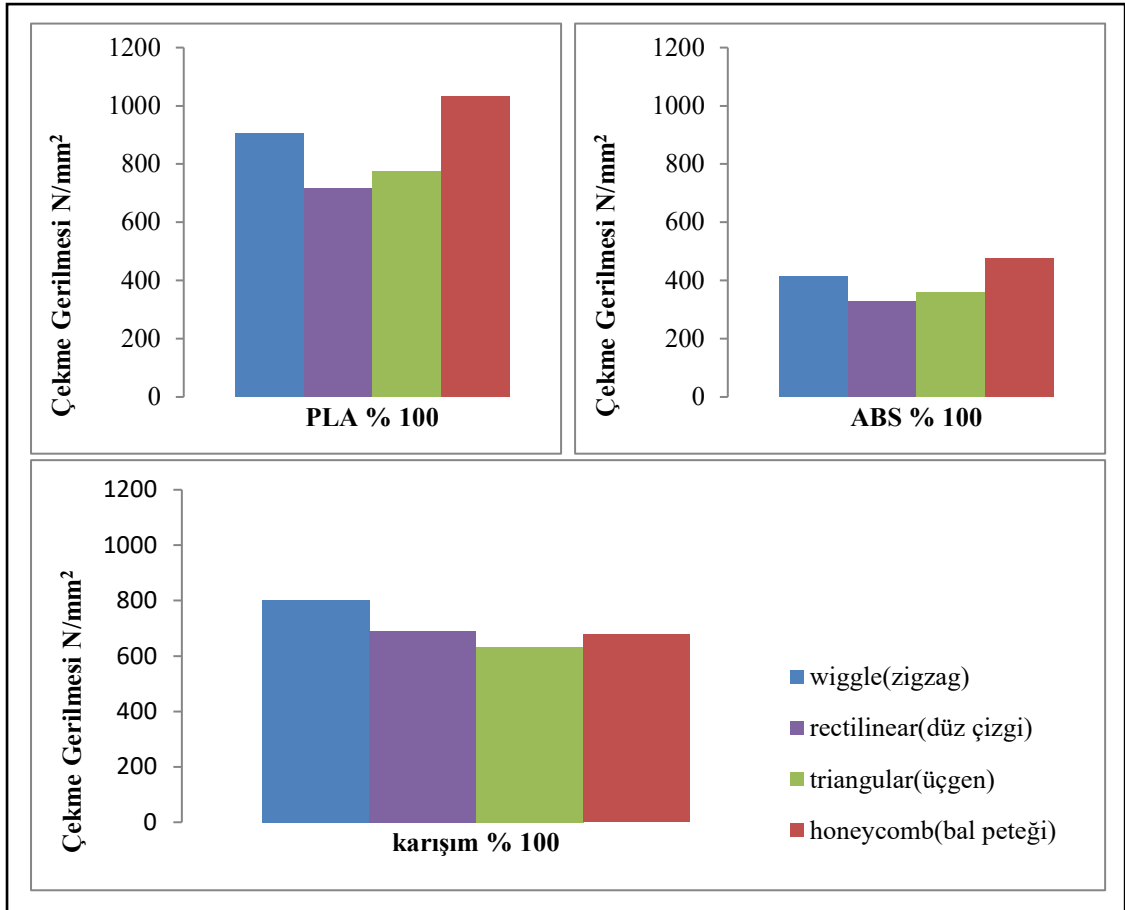
Şekil 5.10. Doluluk oranları ve işleme yönlerine göre PLA malzemesi çekme gerilmesi değişimi.

Şekil 5.11 incelendiğinde düz çizgi ve üçgen işleme yönlerinde birbirine yakın mukavemet değerleri alındığı görülmektedir. ABS malzeme de tüm işleme yönleri arasında az bir mukavemet farkı görülmektedir.



Şekil 5.11. Doluluk oranları ve işleme yönlerine göre ABS malzemesi çekme gerilmesi değişimi.

Karışım malzemesi (PLA40/ABS60), PLA, ABS'in %100 doluluk oranında farklı işleme yönlerindeki çekme gerilmesi değerleri Şekil 5.12'de gösterilmektedir. Karışım malzemesi en yüksek mukavemeti zigzag işleme yönünde sergilerken en düşük mukavemet değerini üçgen işleme yönü sergilemiştir. Bal peteği ve düz çizgi yönlerinde ise birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Karışım malzemesi tüm işleme koşullarında ABS malzemenin gerilme değerlerinden daha yüksek mukavemet sergilemişken PLA malzemenin mukavemet özelliklerinden daha düşük gerilme değerleri sergilemiştir. Karışım malzemesindeki ABS oranının daha yüksek olması dolayısıyla ABS malzemenin özelliklerinden biraz daha mukavemet gösterirken PLA malzemenin mukavemet değerlerinden daha düşük dayanım göstermiştir. ABS ve PLA malzemenin mukavemet özelliklerinin arasında bir mukavemet sergilemiştir. ABS ve PLA malzemelerinin en yüksek mukavemet değerini bal peteği işleme yönü sergilerken Karışım malzemesinde en yüksek mukavemeti zigzag işleme yönü sergilemiştir.



Şekil 5.12. İşleme yönlerinin karışım(PLA40/ABS60), PLA ve ABS malzeme türlerine göre çekme gerilmesindeki değişimi.

5.5. FİLAMENT AKIŞ TESTİ BULGULARI

Filamentler 3B yazıcılarda kullanılan bir nevi ham malzemelerdir. Çeşitli renklerde ve malzeme türlerinde üretilerek son kullanıcıya hitap etmektedir. Standart malzemelerin akış indeksleri satıcı firmalar tarafından tespit edilip alıcısına sunulabilmektedir. PLA40/ABS60 malzemenin de akış testleri Melt Flow Index Tester (Model 6934) test cihazında tespit edilerek Çizelge 5.1’de sunulmuştur. Çizelge 5.1 incelendiğinde üretilen karışım malzemesinin akış indeksi ABS ve PLA malzemenin indekslerinden çok düşük çıkmıştır. Bu da akış özelliğinin çok düşük olduğunu göstermektedir. Akış indeksinin düşük çıkması yoğunluğu da etkilemiş ve yine PLA malzemenin yoğunluğundan daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 5.1 incelendiğinde; yeni malzemenin (PLA40/ABS60) akış indeksinde azalma olması termal özelliğini olumsuz etkilediği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 5.1. Filament malzemelerin akış indeksi test sonuçları.

Malzeme	Sıcaklık °C	Akış indeksi cm ³ /10dk	Yük kg	Test uzunluğu mm	Yoğunluk g/cc
PLA40/ ABS60	220	2,160	2,16	25	1,12
PLA	220	10,3	2,16	25	1,25
ABS	220	9,7	2,16	25	1,04

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

PLA40/ABS60 filament malzemenin farklı doluluk oranları ve farklı yazdırma yönlerindeki darbe mukavemeti, sertlik değerleri ve yoğunluğu karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışmanın sonunda malzemenin termal özelliğini olumsuz etkilemiştir ancak mekanik özelliklerinden sertliğinde ABS malzemeye göre %20 artış saptanmıştır.

- PLA40/ABS60 malzemenin akış indeksinde malzemenin yoğunluğunun azaldığını yani viskozitesinin arttığı gözlenmiştir.
- Izod darbe testinde yeni malzemenin mekanik özelliklerinde PLA malzemesine göre zigzag işleme yönünde %25 artma gözlenmiştir.
- Sertlik testinde de yeni malzemenin sertlik değerleri ABS malzemeye göre %20 arttığı gözlenmiştir bu da malzemenin mekanik özelliğinde iyileşme olduğunu göstermektedir.
- Yoğunluk testinde karışım malzemesinin yoğunluğunun %50 doluluk oranı ve üzerindeki oranlardaki maksimum %5'lik değişimin ihmal edilecek kadar küçük olduğu sonucuna varılmıştır.
- Doluluk oranlarının azalması darbe mukavemetini tüm işleme yönlerinde %50 oranına kadar düşürmektedir.
- Tüm işleme yönlerinde ABS malzeme, karışım malzemesine göre %80'lere kadar artış göstererek en yüksek darbe dayanımı özelliği sergilemiştir.
- Doluluk oranlarının azalması sertlik değerlerinin de tüm işleme yönlerinde maksimum %40 oranına kadar azalmasına sebep olmuştur.
- %50 doluluk oranının altındaki oranlarda yoğunluk değişimi %30 ile %10 arasında tüm işleme yönlerinde azalma sergilemiştir.
- Zigzag işleme yönü hemen hemen tüm doluluk oranlarında en yüksek çekme gerilmesi sergilemiştir.
- %50 doluluk oranının altında en düşük çekme gerilmesi değerleri bal peteği işleme yönünde görülmüştür.

- %70 doluluk oranından sonra üçgen işleme yönü en düşük çekme mukavemeti sergilemiştir.
- Doluluk oranlarının azalmasıyla çekme mukavemeti değerlerinde %60'lara varan belirgin azalmalar olduğu tespit edilmiştir.
- Saf PLA ile yapılan deneylerde, bal peteği işleme yönünde tüm doluluk oranlarındaki numuneler en düşük çekme gerilmesi olan düz çizgi işleme yönüne göre %50 daha yüksek çekme gerilmesi sergilemiştir.
- Saf ABS ile yapılan deneylerde, bal peteği işleme yönü en yüksek mukavemet özelliği sergilerken doluluk oranının %50 ye kadar düşmesi mukavemet değişimine neden olmamıştır.
- Karışım malzemesi (PLA40/ABS60) tüm işleme koşullarında ABS malzemenin gerilme değerlerinden daha yüksek mukavemet sergilemişken PLA malzemenin mukavemet özelliklerinden daha düşük gerilme değerleri sergilemiştir.

PLA40/ABS60 malzemenin Eriyik biriktirme metodu ile basılması sonucunda, bu malzemenin özellikleri saptanmaya çalışılmış olup, tez çalışması sonunda ileriye dönük çalışmalara ışık olması açısından aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

- PLA30/ABS70, PLA70/ABS30, PLA60/ABS40 gibi karışım oranları değiştirilerek yeni oluşturulan karışım üzerinde deneysel çalışmalar yapılabilir.
- PLA40/ABS60 karışım malzemesinin mekanik özelliklerini arttırabilmek için, grafen, karbon, epoksi, kardanol gibi çeşitli katkı maddeleri eklenerek yeni bir filament oluşturulabilir.
- PLA40/ABS60 karışım malzemesine dışarıdan sürekli karbon fiber filament takviyesi yapılarak eş zamanlı baskı yapılabilir.
- ABS malzemenin mukavemetini arttırmak üzere farklı malzemelerle belirli oranlarda karıştırılarak yeni malzemeler geliştirilebilir.
- PLA malzemenin mukavemetini arttırmak üzere farklı malzemelerle belirli oranlarda karıştırılarak yeni malzemeler geliştirilebilir.

7. KAYNAKLAR

- [1] X. Wang, M. Jiang, Z. Zhou, J. Gou and D. Hui, “3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective”, *Composites Part B: Engineering*, c. 110, ss. 442-458, 2017.
- [2] K.Babak, “3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry”, *Engineering and Technolog*, c. 21, ss. 335, 2016.
- [3] Y. He, H. G. Xue and Z.J. Fu. “Fabrication of low cost soft tissue prostheses with the desktop 3D printer”, *Scientific reports*, c. 4, ss. 6973, 2014.
- [4] Z. Quan, A. Wu, M. Keefe, X. Qin, J. Yu, J. Suhr and T. W. Chou, “Additive manufacturing of multidirectional preforms for composites: opportunities and challenges”, *Materials Today*, c. 18, sayı 9, ss. 503-512, 2015.
- [5] B. Eling, S. Gogolewski and A. J. Pennings, “Biodegradable materials of poly (l-lactic acid) 1. Melt-spun and solution-spun fibres”, *Polymer* c. 23, sayı 11, ss. 1587–1593, 1982.
- [6] E. Pei, J. Shen and J. Watling, “Direct 3D printing of polymers onto textiles: experimental studies and applications”, *Rapid Prototyping Journal*, c. 21, sayı 5, ss. 556-571, 2015.
- [7] F. Fina, A. Goyanes, S. Gaisford and A. W. Basit, “Selective laser sintering (SLS) 3D printing of medicines”, *International journal of pharmaceutics*, c. 529, sayı 1-2, ss. 285-293, 2017.
- [8] E. H. Baran and H. Y. Erbil, “Surface Modification of 3D Printed PLA Objects by Fused Deposition Modeling: A Review”, *Colloids and Interfaces*, c. 3, sayı 2, ss. 43, 2019.
- [9] R. T. L. Ferreira, I. C. Amatte, T. A. Dutra and D. Bürger, “Experimental characterization and micrography of 3D printed PLA and PLA reinforced with short carbon fibers”, *Composites Part B: Engineering*, c. 124, ss. 88-100, 2017.
- [10] X. Tian, T. Liu, C. Yang, Q. Wang and D. Li. “Interface and performance of 3D printed continuous carbon fiber reinforced PLA composites”, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, c. 88, ss. 198-205, 2016.
- [11] M. Y. Jo, Y. J. Ryu, J. H. Ko and J. S. Yoon, “Effects of compatibilizers on the mechanical properties of ABS/PLA composites”, *Journal of Applied Polymer Science*, c. 125, sayı 2, ss. 231-238, 2012.
- [12] A. Rigoussen, J. M. Raquez, P. Dubois and P. Verge, “A dual approach to compatibilize PLA/ABS immiscible blends with epoxidized cardanol derivatives”, *European Polymer Journal*, c. 114, ss. 118-126, 2019.
- [13] Y. L. Yap, W. Toh, R. Koneru, K. Lin, K. M. Yeoh, C. M. Lim and K. I. Chan, “A Non-Destructive Experimental-cum-Numerical Methodology for the Characterization of 3D-Printed Materials–Polycarbonate-Acrylonitrile Butadiene Styrene (PC-ABS)”, *Mechanics of Materials*, c. 132, ss. 121-133, 2019.

- [14] T. Yao, Z. Deng, K. Zhang and S. Li, “A method to predict the ultimate tensile strength of 3D printing polylactic acid (PLA) materials with different printing orientations”, *Composites Part B: Engineering*, c. 163, ss. 393-402, 2019.
- [15] H. S. Sucuoglu, I. Bogrekci, P. Demircioglu and A. Gultekin, “The Effect of Three Dimensional Printed Infill Pattern on Structural Strength”, *Science and Engineering*, c. 5, sayı 3, ss. 785-796, 2018.
- [16] G. Gomez, R. Jerez, J. A. Travieso and J. Lluma, “Fatigue performance of fused filament fabrication PLA specimens”, *Materials & Design*, c. 140, ss. 278-285, 2018.
- [17] Z. Su, Q. Li, Y. Liu, G. H. Hu and C. Wu, “Compatibility and phase structure of binary blends of poly (lactic acid) and glycidyl methacrylate grafted poly (ethylene octane)”, *European Polymer Journal*, c. 45, sayı 8, ss. 2428-2433, 2009.
- [18] S. Dul, L. Fambri, A. Pegoretti, “Fused deposition modelling with ABS–graphene nanocomposites”, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, c. 85, ss. 181-191, 2016.
- [19] T. D. Ngo, A. Kashani, G. Imbalzano, K. T. Nguyen and D. Hui, “Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges”, *Composites Part B: Engineering*, c. 143, ss. 172-196, 2018.
- [20] X. G. Zhao, K. J. Hwang, D. Lee, T. Kim and N. Kim, “Enhanced mechanical properties of self-polymerized polydopamine-coated recycled PLA filament used in 3D printing”, *Applied Surface Science*, c. 441, ss. 381-387, 2018.
- [21] M. Dawoud, I. Taha and S. J. Ebeid, “Strain sensing behaviour of 3D printed carbon black filled ABS”, *Journal of Manufacturing Processes*, c. 35, ss. 337-342, 2018.
- [22] A. Rigoussen, J. M. Raquez, P. Dubois and P. Verge, “A dual approach to compatibilize PLA/ABS immiscible blends with epoxidized cardanol derivatives”, *European Polymer Journal*, c. 114, ss. 118-126, 2019.
- [23] J. M. Chacón, M. A. Caminero, E. García and P. J. Núñez, “Additive manufacturing of PLA structures using fused deposition modelling: Effect of process parameters on mechanical properties and their optimal selection”, *Materials & Design*, c. 124, ss. 143-157, 2017.
- [24] G. Postiglione, G. Natale, G. Griffini, M. Levi and S. Turri, “Conductive 3D microstructures by direct 3D printing of polymer/carbon nanotube nanocomposites via liquid deposition modeling”, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, c. 76, ss. 110-114, 2015.
- [25] M. Y. Jo, Y. J. Ryu, J. H. Ko and J. S. Yoon, “Effects of compatibilizers on the mechanical properties of ABS/PLA composites”, *Journal of Applied Polymer Science*, c. 125, sayı 2, ss. 231-238, 2012.
- [26] A. R. T. Perez, D. A. Roberson and R. B. Wicker, “Fracture surface analysis of 3D-printed tensile specimens of novel ABS-based materials”, *Journal of Failure Analysis and Prevention*, c. 14, sayı 3, ss. 343-353, 2014.
- [27] Y. Li and H. Shimizu, “Improvement in toughness of poly (l-lactide)(PLLA) through reactive blending with acrylonitrile–butadiene–styrene copolymer (ABS): Morphology and properties”, *European Polymer Journal*, c. 45, sayı 3, ss. 738-746, 2009.

- [28] F. S. Senatov, K. V. Niaza, A. A. Stepashkin and S. D. Kaloshkin, “Low-cycle fatigue behavior of 3d-printed PLA-based porous scaffolds”, *Composites Part B: Engineering*, c. 97, ss. 193-200, 2016.
- [29] M. Dawoud, I. Taha and S. J. Ebeid, “Mechanical behaviour of ABS: An experimental study using FDM and injection moulding techniques”, *Journal of Manufacturing Processes*, c. 21, ss. 39-45, 2016.
- [30] S. Lin, W. Guo, C. Chen, J. Ma and B. Wang, “Mechanical properties and morphology of biodegradable poly (lactic acid)/poly (butylene adipate-co-terephthalate) blends compatibilized by transesterification”, *Materials & Design (1980-2015)*, c. 36, ss. 604-608, 2012.
- [31] Ö. Öz, M. Aydın, A. S. Kara ve M. S. Sancak, “Üç boyutlu yazıcılarda kullanılan doluluk oranının hasar yüküne olan etkisinin belirlenmesi”, *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, c. 2 sayı. 1, ss. 32-39, 2018.
- [32] H. Evlen, G. Erel ve E. Yılmaz, “3 boyutlu yazıcı tasarımı ve yazdırma doluluk oranının mekanik özellikler üzerine etkisinin incelenmesi”, *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, c. 2 sayı 1, ss. 23-31, 2018.
- [33] H. Evlen, G. Erel ve E. Yılmaz, “Açık ve kapalı sistemlerde doluluk oranının parça mukavemetine etkisinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, c. 21, sayı 3, ss. 651-662, 2018.
- [34] E. Çantı, M. Aydın ve F. Yıldırım, “Production and characterization of composite filaments for 3D printing”, *Politeknik Dergisi*, c. 21, sayı 2, ss. 397-402, 2018.
- [35] H. K. Sezer, O. Eren, H. R. Börklü and V. Özdemir, “Additive manufacturing of carbon fiber reinforced plastic composites by fused deposition modelling: effect of fiber content and process parameters on mechanical properties”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, c. 34, sayı. 2, ss. 663-674, 2018.
- [36] N. Hill and M. Haghi, “Deposition direction-dependent failure criteria for fused deposition modeling polycarbonate”, *Rapid Prototyping Journal*, c. 20, sayı. 3, ss. 221-227, 2014.
- [37] F. Ning, W. Cong, J. Qiu, J. Wei and S. Wang, “Additive manufacturing of carbon fiber reinforced thermoplastic composites using fused deposition modeling”, *Composites Part B: Engineering*, c. 80, ss. 369-378, 2015.
- [38] Z. Weng, J. Wang, T. Senthil and L. Wu, “Mechanical and thermal properties of ABS/montmorillonite nanocomposites for fused deposition modeling 3D printing”, *Materials & Design*, c. 102, ss. 276-283, 2016.
- [39] H. Evlen, M. A. Özdemir and A. Çalışkan, “Doluluk Oranlarının PLA ve PET Malzemelerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri”, *Politeknik Dergisi*, 2019.
- [40] M. Aydın, B. Güler ve K. Çetinkaya, “Dikey ekstrüzyon (filament) sistemi tasarım ve prototip imalatı”, *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, c. 2, sayı 1, ss. 1-10, 2018.
- [41] K. Oktay, “Ergitmeli yığılma yöntemiyle üretim yapan 3d yazıcılarda çift filament süren ekstruder tasarımı”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.

- [42] M. C. Kayacan, Y. B. Baykal, T. Karaaslan, K. Özsoy, İ. Alaca, B. Duman and Y. E. Delikanlı, “Monitoring the osseointegration process in porous Ti6Al4V implants produced by additive manufacturing: an experimental study in sheep”, *Journal of applied biomaterials & functional materials*, vol. 16, no. 2, pp. 68-75, 2018.
- [43] İ. Alaca, “Kişiyeye özel-gözenekli kafatası implant tasarımı ve ti6al4v toz malzemeden eklemeli imalat ile üretilerek tavşana uygulanıp kemik gelişiminin izlenmesi”, Uzmanlık Tezi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2014.
- [44] H. Baş, “Eriyik yığıma tekniği ile çalışan üç boyutlu yazıcı tasarımı imalatı ve elde edilen numunelerin bazı özelliklerinin belirlenmesi”, Yüksek lisans tezi, Akıllı Sistemler Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye, 2017.
- [45] O. E. Akbaş, “Filament beslemeli 3d yazıcının nozul bölgesinin sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi ve analizi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [46] H. Baş and F. Yapıcı, “Ergonomik tasarım ve üretimde hızlı prototipleme teknolojisi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, c. 3, sayı 3, ss. 199-204, 2015.
- [47] X. Wang, M. Jiang, Z. Zhou, J. Gou and D. Hui “3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective”, *Composites Part B: Engineering*, c. 110, ss. 442-458, 2017.
- [48] J. Zhou, Z. Lu, K. Miao, Z. Ji, Y. Dong and D. Li, “Quick fabrication of aeronautical complicated structural parts based on stereolithography”, *Propulsion and Power Research*, c. 4, sayı 2, ss. 63-71, 2015.
- [49] T. Trosch, J. Strößner, R. Völkl and U. Glatzel, “Microstructure and mechanical properties of selective laser melted Inconel 718 compared to forging and casting”, *Materials letters*, c. 164, ss. 428-431, 2016.
- [50] H. Zhang, H. Zhu, T. Qi, Z. Hu and X. Zeng, “Selective laser melting of high strength Al-Cu-Mg alloys: Processing, microstructure and mechanical properties”, *Materials Science and Engineering: A*, c. 656, ss. 47-54, 2016.
- [51] J. H. Martin, B. D. Yahata, J. M. Hundley, J. A. Mayer, T. A. Schaedler and T. M. Pollock, “3D printing of high-strength aluminium alloys”, *Nature*, c. 549, ss. 365-369, 2017.
- [52] W. Zhu, C. Yan, Y. Shi, S. Wen, J. Liu and Y. Shi, “Investigation into mechanical and microstructural properties of polypropylene manufactured by selective laser sintering in comparison with injection molding counterparts”, *Materials & Design*, c. 82, ss. 37-45, 2015.
- [53] İ. Çelik, F. Karakoç, M. C. Çakır ve A. Duysak, “Hızlı prototipleme teknolojileri ve uygulama alanları”, *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, sayı 31, ss. 53-70, 2013.
- [54] Y. Y. Chiu, Y. S. Liao, C. C. Hou, “Automatic fabrication for bridged laminated object manufacturing (LOM) process”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 140, sayı 1-3, ss. 179-184, 2003.

- [55] D. Ahn, J. H. Kweon, J. Choi and S. Lee, “Quantification of surface roughness of parts processed by laminated object manufacturing”, *Journal of Materials Processing Technology*, c. 212, sayı 2, ss. 339-346, 2012.
- [56] M. Karamanlioglu, R. Preziosi and G. D. Robson, “Abiotic and biotic environmental degradation of the bioplastic polymer poly (lactic acid): a review”, *Polymer Degradation and stability*, c. 137, ss. 122-130, 2017.
- [57] N. Peelman, P. Ragaert, B. De Meulenaer, D. Adons, R. Peeters, L. Cardon, F. Devlieghere, “Application of bioplastics for food packaging”, *Trends in Food Science & Technology*, c. 32, sayı2, ss. 128-141, 2013.
- [58] Anım, (2019, Eylül 12). [Online]. Erişim: <https://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/39-3d-> .
- [59] M. Kunioka, F. Ninomiya and M. Funabashi, “ Biodegradation of poly (lactic acid) powders proposed as the reference test materials for the international standard of biodegradation evaluation methods”, *Polymer degradation and stability*, c. 91, sayı 9, ss. 1919-1928, 2006.
- [60] Anım, (2019, Eylül 12). [Online]. Erişim: <http://www.polytechsan.com/urunler/acrylonitrile-butadiene-styrene-abs>.
- [61] Anım, (2019, Eylül 12). [Online]. Erişim: <http://www.teknikicerik.com/abs-plastik-nedir>.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Samet YAMAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 22/05/1988 GEREDE
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : sametyamangebze@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y.Lisans	İmalat Mühendisliği ABD	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Makine Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Makine Eğitimi	Dumlupınar Üniversitesi	2012
Ön lisans	Makine Bölümü	Kocaeli Üniversitesi	2008
Lise	Makine Bölümü	STFA Anadolu Teknik Lis.	2006

YAYINLAR

S.Yaman ve M. Ayyıldız, “Eriyik Biriktirme metodu ile PLA40/ABS60 Filament malzemesinin Termal ve Mekanik Özelliklerinin Deneysel incelenmesi”, 3. *Uluslararası mühendislik araştırma sempozyumu*, Düzce, Türkiye, 2019