PELET ESASLI 3B KOMPOZİT YAZICI, KARMA ELYAF TEKNİĞİ İLE PARÇA ÜRETİMİ VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Emir EMİNOĞLU

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PELET ESASLI 3B KOMPOZİT YAZICI, KARMA ELYAF TEKNİĞİ İLE PARÇA ÜRETİMİ VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Emir EMİNOĞLU
0009-0001-9775-4276

Prof. Dr. Murat YAZICI
(Danışman)
0000-0002-8720-7594

Dr. Yücel CAN
(2. Danışman)
0000-0003-2086-2129

YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PELET ESASLI 3B KOMPOZİT YAZICI, KARMA ELYAF TEKNİĞİ İLE PARÇA ÜRETİMİ VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Emir EMİNOĞLU

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Murat YAZICI

Bu çalışma, sürekli elyaf takviyeli termoplastik kompozitler ve 3B kompozit baskı teknolojisinin avantajlarından yararlanarak otomotiv parçalarının yeniden tasarlanması alanında gerçekleşmiştir. Bu çalışmanın ana odak noktası, kompozit fiber yöntemi kullanarak parçaların üretimi ve performans özelliklerinin değerlendirilmesidir. Bu tezin amacı, bu yöntemle daha hafif, daha dayanıklı ve geri dönüştürülebilir kompozit parçalar elde etme potansiyelini vurgulamak ve böylece otomotiv sektöründe, özellikle elektrikli araçlar için uygulamalarını ilerletmektir. Bu araştırmada, UMİMAG Laboratuvarı'nda incelenen bir projenin sonucu olarak ortaya çıkan ekstrüderli bir 3B yazıcı kullanılmıştır, bu da bu malzeme teknolojisinin önemini vurgulamaktadır. 3B baskı teknolojisinde kullanılan çeşitli malzemeler, polimerler, metaller, seramikler, kompozitler ve biyomalzemeler hakkında kapsamlı bir analiz sunulmakta, özellikle 3B kompozit ve granül malzemelerin baskısı üzerine odaklanmıştır. Ayrıca, 3B yazıcılarda kullanılan hammaddelerin çeşitliliğini, kaliteye olan etkileri ve genel çalışma prensipleri detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Ekstruderli 3B yazıcının kullanımı ve bakımı, granül malzemelerin ve cam fiberlerin seçimi ve karşılaştırılması, cam fiberin 3B yazıcı filamenti haline getirilme prosedürü, üç nokta eğilme testi için numune standartları ve basımı detaylı olarak ele alınmaktadır. Tez, cam fiber takviyeli kompozit numunelerin mukavemetinde %18,46'lik bir artış olduğunu kanıtlayarak sonuçlandı, bu da sürekli elyaf takviyeli termoplastik kompozitlerin otomotiv endüstrisindeki kullanım potansiyelini vurgular ve 3B kompozit yazıcı teknolojisinin geliştirilmesi için daha fazla araştırma yapılmasını teşvik etmektedir.

Anahtar Kelimeler: 3B kompozit yazıcı, eklemeli üretim, hafifleştirme, kompozit malzeme tasarımı.
2023, x + 97 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

PELLET BASED 3D COMPOSITE PRINTER, FABRICATION OF PART BY COMMINGLED FIBER TECHNIQUE, AND INVESTIGATION OF PERFORMANCES

Emir EMİNOĞLU

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Automotive Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Murat YAZICI

This dissertation delves into the realm of automotive parts redesign, leveraging continuous fiber-reinforced thermoplastic composites and 3D composite printing technology. The main focus of this work revolves around manufacturing parts using a hybrid fiber method and evaluating their performance characteristics. The aim of this exploration is to highlight the potential of these composites in achieving lighter, more durable, and recyclable components, thereby advancing their application within the automotive sector, particularly for electric vehicles. An extruder-based 3D printer, which is the outcome of a project studied in AMAMRG Lab., is utilized in this research, further emphasizing the significance of this material technology. A comprehensive analysis of various materials, including polymers, metals, ceramics, composites, and biomaterials used in 3D printing technology, is presented, with a specific focus on 3D printing of composites and granulated materials. This study also examines the range of raw materials employed in 3D printers, their associated quality implications, and the general operating principles. The work meticulously dissects the operational and maintenance aspects of the extruder-based 3D printer, the selection and comparison of granular and glass fiber materials, the process of converting glass fiber into 3D printer filament, and the standards for three-point bending test samples. The research culminates in proving an 18.46% enhancement in the strength of glass fiber-reinforced composite specimens, thereby reinforcing the potential use of these composites in the automotive sector and advocating for further advancements in 3D composite printing technology.

Keywords: 3D composite printer, additive manufacturing, lightweighting, composite material design.
2023, x + 97 pages.

TEŞEKKÜR

Bu eserin yazımı sırasında maddi ve manevi katkılarını esirgemeyen, bana bu süreçte her zaman destek olan annem Merve Eminoğlu, babam Eymen Eminoğlu ve kardeşim Emre Eminoğlu'na teşekkür ederim.
Lisansüstü eğitim hayatımız boyunca bizleri akademik olarak yetiştiren ve her türlü desteğini her zaman yanımda hissettiğim değerli hocam Prof. Dr. Murat Yazıcı ve Dr. Yücel Can'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu eserin yazımında manevi desteklerinden ötürü kendilerinden çok şey öğrendiğim ağabeylerim, Gönenç Duran, Harun Güçlü, Burak Matyar ve mesai arkadaşlarım Mehmet Umut Erdaş ve Mehmet Kopar 'a teşekkür ederim.
Son olarak manevi desteklerini her zaman bana hissettiren yakın arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Emir Eminoğlu
04/07/2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vii
ŞEKİLLER DİZİNİ viii
ÇİZELGELER DİZİNİ x
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI 3
2.1 3B Yazıcı Çalışma Prensibi 3
2.2 3B Yazıcının Tarihçesi ve Gelişimi 4
2.2.1 3B yazıcının tarihçesi 4
2.2.2 3B Yazıcının gelişimi 5
2.3 3B Yazıcı Çeşitleri 7
2.3.1 Füzyon tabancası modelleme / fused deposition modeling (FDM) 7
2.3.2 Stereolitografi / Stereolithography (SLA) 8
2.3.3 Dijital ışık işleme / digital light processing (DLP) 9
2.3.4 Seçici lazer sinterleme / selective laser sintering (SLS) 9
2.3.5 Seçici lazer eritme / selective laser melting (SLM) 10
2.3.6 Elektron ışın eritme / electron beam melting (EBM) 11
2.3.7 Lamine nesne üretimi / laminated object manufacturing (LOM) 12
2.4 3B Yazıcılarında Kullanılan Hammaddelerin Çeşitliliğini 13
2.4.1 Polimerler 13
2.4.2 Metaller 16
2.4.3 Seramikler 17
2.4.4 Kompozit malzemeler 17
2.4.5 Biyomalzemeler 18
2.5 3B Yazıcının Kullanım Alanları 19
2.5.1 İnşaat ve mimarlık 19
2.5.2 Otomotiv endüstrisi 19
2.5.3 Sağlık sektörü 20
2.5.4 Eğitim 20
2.5.5 Gıda endüstrisi 20
2.5.6 Havacılık ve uzay endüstrisi 21
2.5.7 Sanat ve tasarım 21
2.5.8 Moda ve giyim endüstrisi 21
2.5.9 Elektronik endüstrisi 21
2.5.10 Enerji sektörü 22
2.6 3B Yazıcı Baskısının Kalitesine Etki Eden Faktörler 22
2.6.1 Malzeme seçimi 22
2.6.2 Katman yüksekliği ve çözünürlük 23
2.6.3 Yazılım ve donanım 23
2.6.4 Baskı hızı 23
2.6.5 Yazdırma teknolojisi 23
2.6.6 Yazdırma parametreleri 24

2.6.7 Nozul ve iğne çapı 24
2.6.8 Yazılım ve dil ayarları 24
2.6.9 Doldurma oranı ve destek yapıları 24
2.6.10 Post-proses işlemler 25
2.6.11 Eğitim ve beceri düzeyi 25
2.6.12 3B Yazdırma çevresi 25
2.7 3B Yazıcılarda Kompozit Malzeme Üretimi 26
2.7.1 Kompozit malzemelerin tanımı ve türleri 27
2.7.2 3B Yazıcılar ve Kompozit Malzeme Üretimi 27
2.8 3B Yazıcılarda granül malzeme Üretimi 30
2.8.1 Granül Polipropilen (PP) Üretimi 30
2.8.2 Granül Polilaktik Asit (PLA) Üretimi 30
2.8.3 3B Yazıcılarda Granül PP ve Granül PLA Kullanımı 31
2.8.4 3B Yazıcı Teknolojisi ve Granül Malzemelerin Geleceği 31
3. MATERYAL VE YÖNTEM 33
3.1 Kullanılan 3B Yazıcı Tanıtımı 33
3.2 3B Yazıcı Bakımı ve Hazırlaması 38
3.3 Kabloların Düzenlenmesi ve Kontrol Ünitesinin Korunması 38
3.3.1 Sürücülerin doğru bağlanması 40
3.3.2 Isı kontrolü ve malzeme tıkanıklığının önlenmesi 40
3.3.3 Malzeme akışının düzenlenmesi 42
3.3.4 Yazıcı yatağının temizlenmesi ve yapışkanlı etiket kullanımı 43
3.4 Yazıcı Kalibrasyonu ve Ayarları 44
3.4.1 Yazıcı boyutlandırma ve koordinat tanımlama 44
3.4.2 Ekstrüzyon oranının ayarlanması 45
3.4.3 Katman kalınlığı 45
3.4.4 Yatağın temizliği 46
3.5 Granül Çeşitliliği ve Seçimi 47
3.5.1 D-Basf Ultramid® (PA) plastik granülleri 47
3.5.2 REPSOL PRIMEVA® P1820C EVA kopolimer plastik granülleri 48
3.5.3 Repol H110MA plastik granülleri 49
3.5.4 SABIC® PP plastik granülleri 50
3.5.5 PLA plastik granülleri 53
3.6 Cam Fiber Tanıtımı ve Seçimi 55
3.6.1 Cam fiber 55
3.6.2 Polipropilen (PP) fiber 57
3.6.3 Ekstruderli yazıcı kullanarak cam ve PP fiberlerin işlenmesi 58
3.6.4 Fiberlerin farklı eritme sıcaklıkları 61
3.7 Üç Nokta Eğilme Testi İçin Numune Standartları ve Basımı 62
3.7.1 ASTM-D-790 standardının açıklaması 62
3.7.2 Numune boyutları ve hazırlığı 62
3.7.3 Sabic PP ile basılan numunelerin hazırlanması ve detayları 63
3.7.4 PLA ile basılan numunelerin hazırlanması ve detayları 66
3.8 Numune Basımındaki Kompozit Malzemelerin Uyumculuğuyla İlgili Yaşanan Sorunlar 69
3.8.1 PLA granül ile 20 kat PP ve cam fiberleriyle numune alma 69
3.8.2 PLA granül ile 6 kat PP ve cam fiberleriyle numune alma 71
3.9 Üç Nokta Eğilme Testi: Tanıtım ve Hazırlama 72

3.9.1 Test öncesi hazırlıklar 74
3.9.2 Üç nokta eğilme testi parametreleri 78
4. BULGULAR 79
4.1 Kısa 70mm'lik Saf PLA Granül Numuneleri 79
4.2 Uzun 120mm'lik Saf PLA Granül Numuneleri 80
4.3 Kısa 70mm'lik Saf PP Granül Numuneleri 82
4.4 Kısa 70mm'lik PLA Granül ile Cam ve PP Fiber Kompozit Numuneleri 84
4.5 Uzun 120mm'lik Saf PLA Granül ile Cam ve PP Fiber Kompozit Numuneleri 86
4.6 Kısa 70mm'lik PP Granül ile PP ve Cam Fiber Kompozit Numuneleri 88
5. TARTIŞMA ve SONUÇ 91
KAYNAKLAR 93
ÖZGEÇMİŞ 97

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
A_0	Başlangıçtaki kesit alanı
ε	Çekme uzaması
σ	Eğilme mukavemeti
L	destek noktaları arasındaki mesafe
δ	Eğilme
E	Elastik modül
σ_{fc}	Kopma mukavemeti / Fracture strength
F_f	Kopma anındaki kuvvet
F	kuvvet
B	Numune genişliği
d	Numune kalınlığı
h	Numune yüksekliği

Kısaltmalar	**Açıklama**
3B	Üç boyutlu
ABS	Akrilonitril Bütadien Stiren / Acrylonitrile butadiene styrene
cm	Santimetre
DLP	Dijital ışık işleme / Digital light processing
EBM	Elektronik ışın erime / Electron beam melting
Elast.	Elastik
FDM	Eriyik birikim modelleme / Fused deposition modelling
Flex.	Eğilme / Flexural
g	Gram
GPa	Gigapascal
kg	Kilogram
LOM	Lamine nesne imalatı / Laminated object manufacturing
m	Metre
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
Muk.	Mukavemeti
N	Newton
S	Saniye
SLA	Stereolitografi / Stereolithography
SLM	Seçici lazer eritme / Selective laser melting
SLS	Seçici lazer sinterleme / Selective laser sintering
PLA	Polilaktik Asit / Polylactic acid
PP	Polipropilen / Polypropylene
Uza.	Uzaması

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1	3B baskı aşamaları (Özgel Felek, 2019).	3
Şekil 2.2	Füzyon Tabancası Modelleme yöntemin çalışma şekli (Uludağ, 2020).	8
Şekil 2.3	Stereolitografi teknolojisi kullanan 3B yazıcı (Uludağ, 2020).	8
Şekil 2.4	DLP yazıcı örneği (Uludağ, 2020).	9
Şekil 2.5	Seçici Lazer Sinterleme yazıcı örneği (Uludağ, 2020).	10
Şekil 2.6	Seçici Lazer Eritme yazıcı örneği (Uludağ, 2020).	11
Şekil 2.7	Elektron Işın Eritme yazıcı örneği (Uludağ, 2020).	12
Şekil 2.8	Lamine Nesne Üretimi LOM yazıcı örneği (Uludağ, 2020).	12
Şekil 2.9	PLA malzemesiyle yazdırılmış parça örnekleri (Uludağ, 2020).	14
Şekil 2.10	PETG malzemesiyle yazdırılmış şişe örneği (Uludağ, 2020).	15
Şekil 3.1	Yazıcı dış görüntüleri	34
Şekil 3.2	Ekstrüderin sökülmüş parçalar; A: ekstrüder vidası step motoruna bağlamış görseli, B: ekstrüder vidası, C: nozul, D: ekstrüder tipi hotend, E: ekstrüder tipi hotend üst görünüşü, F: step motor, G: granül haznesinin üst görünüşü, H: granül haznesinin yan görünüşü, I: ekstrüder ısıtma ünitesi (mosfet).	35
Şekil 3.3	Pelet ekstrüderinin şematik gösterimi (Kılınç, 2021).	36
Şekil 3.4	kullanılan Adriano kartı ve güç kaynağı	37
Şekil 3.5	İyileştirilmiş yazıcı görseli.	39
Şekil 3.6	Yanık sürücü tespiti	40
Şekil 3.7	Granül tıkanıklığı	41
Şekil 3.8	Granül tıkanığı soncunda yaşanan başarısız kesintili baskı	41
Şekil 3.9	Önceki ve sonraki çıktının görüntüsü	42
Şekil 3.10	Yatağın kaplanmış ve temizlenmiş son hali	43
Şekil 3.11	Yanlış koordinat tanımlanmış parça örneği.	44
Şekil 3.12	Yanlış koordinat atanmış parça kıyaslaması	45
Şekil 3.13	Katman örneği.	46
Şekil 3.14	Doğru kalibrasyon yapılmış örneği	46
Şekil 3.15	D-basf PA granülleri.	47
Şekil 3.16	Erimeyen D-basf PA görseli.	48
Şekil 3.17	REPSOL PRIMEVA® P1820C EVA granülü	49
Şekil 3.18	Repol H110MA Plastik Granülü.	50
Şekil 3.19	SABIC® PP Plastik Granülü.	50
Şekil 3.20	SABIC® PP baskı alırken yataktan kalkması.	51
Şekil 3.21	SABIC® PP baskının oval şekil alması.	51
Şekil 3.22	SABIC® PP tek katmanlı baskı örneği.	52
Şekil 3.23	Plakası üstünde Sabic PP baskı almak.	52
Şekil 3.24	Geç soğuma sorununa fan kullanıp kullanılmadığında arasındaki çıktı farkı.	52
Şekil 3.25	PLA granülü.	54
Şekil 3.26	PLA ile yapılan iyi sonuçları.	54
Şekil 3.27	PP ve cam fiberi.	57
Şekil 3.28	Fiberlerin kat kat sarıma yöntemi.	58
Şekil 3.29	Cam fiberlerin tıkanması.	59
Şekil 3.30	PP ve cam fiber çıktıları.	60

Şekil 3.31	Isı görmüş PP ve cam fiberleri.	61
Şekil 3.32	Saf PP'den yapılan 2 numunenin çekimi.	64
Şekil 3.33	PP granül + 10 kat PP cam fiberin farklı hızlardaki üretimi (üst görünüş).	64
Şekil 3.34	PP granül + 10 kat PP cam fiberin farklı hızlardaki üretimi.	65
Şekil 3.35	PP granül + 10 kat PP cam fiberin 6mm/s hızında numune çekimi.	65
Şekil 3.36	PP granül + 10 kat PP cam fiberin 10mm/s hızında numune çekimi.	65
Şekil 3.37	PP granül + 20 kat PP cam fiberin 6mm/s hızında numune çekimi.	66
Şekil 3.38	Uzun ve kısa saf PLA numunelerin basımı.	66
Şekil 3.39	Uzun saf PLA numuneleri.	67
Şekil 3.40	Kısa saf PLA numuneleri.	67
Şekil 3.41	Uzun ve kısa granül PLA ile cam ve PP fiber kompozit numunelerin basımı.	68
Şekil 3.42	Kısa granül PLA ile cam ve PP fiber kompozit numuneleri.	68
Şekil 3.43	Uzun granül PLA ile cam ve PP fiber kompozit numuneleri.	69
Şekil 3.44	PLA granül ile 20 kat PP ve cam fiber kompozit numune üretimi.	70
Şekil 3.45	PLA granül ile 6 kat PP ve cam fiber kompozit numune üretimi.	71
Şekil 3.46	Test öncesi kısa saf PLA granül numunelerinin konumlandırması.	75
Şekil 3.47	Test öncesi kısa PLA granül + cam fiber kompozit numunelerinin konumlandırması.	75
Şekil 3.48	Test öncesi saf PP granül numunelerinin konumlandırması.	76
Şekil 3.49	Test öncesi PP granül + PP ve cam fiber kompozit numunelerinin konumlandırması.	76
Şekil 3.50	Test öncesi uzun saf PLA granül numunelerinin konumlandırması.	77
Şekil 3.51	Test öncesi uzun PLA granül + cam fiber kompozit numunelerinin konumlandırması.	77
Şekil 4.1	Kısa saf PLA numunelerin kuvvet ile eğilme gerilimi grafiği	80
Şekil 4.2	Uzun saf PLA numunelerin kuvvet ile eğilme gerilimi grafiği.	82
Şekil 4.3	Saf PP numunelerin kuvvet ile eğilme gerilimi grafiği.	84
Şekil 4.4	Kısa PLA Granül ile Cam ve PP Fiber Kompozit Numuneleri kuvvet ile eğilme gerilimi grafiği	86
Şekil 4.5	Uzun saf granül PLA ile Cam ve PP Fiber Kompozit numunelerin kuvvet ile eğilme gerilimi grafiği.	88
Şekil 4.6	Kısa saf granül PP ile Cam ve PP Fiber Kompozit numunelerin kuvvet ile eğilme gerilimi grafiği.	90

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 3.1	Tekstil cam fiberlerinin karışım oranları (Yüksek, 2011).	56
Çizelge 3.2	Saf kısa PLA numune sonuçları.....	63
Çizelge 4.1	Saf kısa PLA numune sonuçları.....	79
Çizelge 4.2	Üç saf kısa PLA numunelerin sonuç ortalamaları	80
Çizelge 4.3	Saf uzun PLA numune sonuçları	81
Çizelge 4.4	Üç saf uzun PLA numunelerin sonuç ortalamaları.....	81
Çizelge 4.5	Saf kısa PP numune sonuçları.....	83
Çizelge 4.6	İki saf kısa PP numunelerin sonuç ortalamaları.....	83
Çizelge 4.7	Kısa granül PLA ile Cam ve PP Fiber Kompozit numune sonuçları..	85
Çizelge 4.8	Üç kısa granül PLA ile Cam ve PP Fiber Kompozit numunelerin sonuç ortalaması.....	85
Çizelge 4.9	Uzun granül PLA ile Cam ve PP Fiber Kompozit numune sonuçları	87
Çizelge 4.10	Üç uzun granül PLA ile Cam ve PP Fiber Kompozit numunelerin sonuç ortalaması.....	87
Çizelge 4.11	Saf kısa granül PP ile Cam ve PP Fiber Kompozit numune sonuçları	89
Çizelge 4.12	İki saf kısa granül PP ile Cam ve PP Fiber Kompozit numunelerin sonuç ortalaması.....	89
Çizelge 5.1	Saf ile Fiber Kompozit numunelerin sonuç ortalamaları.....	91
Çizelge 5.2	Saf ile Fiber Kompozit numunelerin fark oranları.....	91

1. GİRİŞ

Modern dünyada, teknolojik yeniliklerin hızı, inanılmaz bir şekilde, gelecekte neyin mümkün olabileceğini sadece hayal etme kabiliyetimizi değil, aynı zamanda bu vizyonları gerçeğe dönüştürme yolunda da araçlar sunmaktadır. Bu teknolojik evrimin doruk noktasında, endüstriyel üretimin pek çok alanını değiştiren ve son on yılda büyük bir atılım yapan eklemeli üretim teknolojileri ve 3B yazıcılar bulunmaktadır. Bu tez, granül tabanlı 3B kompozit yazıcı, karma fiber tekniği ile parça üretimi ve performanslarının incelenmesi konusuna odaklanarak, bu alandaki öncü çalışmaları ve gelişmeleri derinlemesine incelemeyi amaçlamaktadır.

Otomotiv endüstrisi, sürekli olarak gelişen ve değişen bir endüstri olup, teknolojik dönüşüm ve yenilikçi çözümler konusunda sürekli olarak ilerleme kaydetme ihtiyacı duymaktadır. Bu yenilikçi çözümler ve malzemeler içinde, sürekli elyaf takviyeli termoplastik kompozitler büyük önem taşır. Bu malzemeler, ağırlığı önemli ölçüde azaltırken, mukavemet ve dayanıklılık gibi kritik performans özelliklerini koruyabilmektedir. Ayrıca, geri dönüştürülebilir olmaları, bu günlerde özellikle sürdürülebilirlik konusunda büyük bir değer sunmaktadır. Özellikle modern otomotiv teknolojileri, elektrikli araçlar gibi, bu malzemelerin kullanımıyla birlikte, daha hafif ve daha verimli hale gelme potansiyeline sahip olabilmektedir.

Bu teknolojilerin 3B eklemeli üretim teknolojileri ile birleştirilmesi, özellikle yüksek maliyetli karmaşık kalıplar gerektiren parçaların üretiminde etkileyici bir alternatif sunabilmektedir. Prof. Dr. Murat Yazıcı'nın yürüttüğü TÜBİTAK-ARDEB-1005 projesinde, bu alanda ciddi bir atılım yapıp bir cihaz geliştirilmiş ve uluslararası patent başvurusunda bulunulmuştur.

Bu tez kapsamında, karma elyaf tekniği ile 3B kompozit parça yazdırma ve bu malzemelerin 3B eklemeli üretim ile üretilerek karakterizasyonu üzerine yoğunlaşılmaktadır.

Karma elyaf yaklaşımı, takviye ve matris malzemesinin elyaf formunda kullanımını hedefler, bu sayede daha etkili ve verimli üretim süreçlerini mümkün kılar. Bu teknik, malzemelerin performansını optimize etme ve üretim süreçlerini daha maliyet etkin hale getirme potansiyeline sahiptir.

3B yazıcılar ve eklemeli üretim teknolojileri, bir dizi endüstriyel uygulamada zaten aktif olarak kullanılmaktadır. Ancak, bunların daha geniş çapta ve özellikle seri üretimde kullanılabilmesi için, hala daha yüksek üretim hızlarına ulaşılması gerekmektedir. Bu, yüksek özgül mukavemet ve yüksek özgül rijitliğe sahip malzemelerin kullanılması ile mümkün olabilir ve bu malzemelerin kullanımı eklemeli üretim teknolojilerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynayabilmektedir.

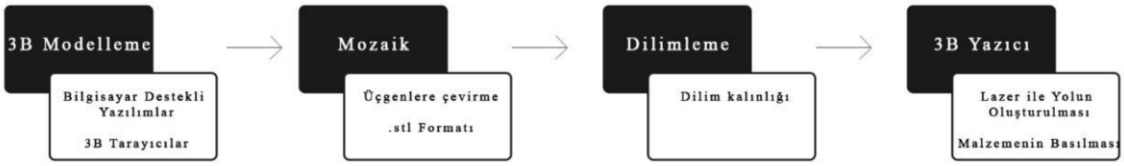
Bu tezde, otomotiv endüstrisi özelinde, karma elyaf tekniği ile 3B kompozit parça yazdırma ve bu parçaların performanslarının incelenmesi konusuna odaklanılmaktadır. Bu sürecin bir parçası olarak, 3B yazıcı üretim parametrelerinin belirlenmesi de önemli bir odaktır. Bu çalışma, otomotiv endüstrisi içerisinde eklemeli üretim ve 3B yazıcıların daha geniş bir ölçekte kullanılması için gerekli bilgileri sağlamayı hedeflemektedir.

Sonuç olarak, bu tez, otomotiv endüstrisindeki yenilikçi malzeme ve üretim tekniklerinin geniş çaplı kullanımını ele alarak, bu konudaki bilgi ve anlayışı artırmayı hedeflemektedir. Bu çalışma, otomotiv endüstrisinin gelecekteki potansiyel zorluklarına yanıt vermek ve bu alandaki gelişen teknolojilere katkı sağlamak amacıyla yürütülmektedir. Bu teknolojik dönüşümün otomotiv endüstrisi üzerindeki etkisini ve bu dönüşümün yeni ve etkili çözümler sunma potansiyelini gözler önüne sermektedir. Bu çalışma, aynı zamanda, bu alandaki teknolojik gelişmeleri desteklemek ve gelecek nesil otomotiv endüstrisine yön vermek için kritik bir önem taşımaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 3B Yazıcı Çalışma Prensibi

Günümüzde hızla gelişen teknolojinin etkisiyle, üretim ve ürün tasarımı alanlarında önemli değişiklikler meydana gelmiştir. Bu değişimlerin başında ise üç boyutlu (3B) yazıcılar gelmektedir. 3B yazıcılar, katmanlı üretim sürecini kullanarak karmaşık geometrilere sahip nesnelerin hızlı ve uygun maliyetle üretilmesine olanak tanımaktadır. Bu teknoloji, otomotiv, havacılık, tıp, inşaat ve eğitim gibi pek çok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, 3B yazıcının temel çalışma prensiplerine odaklanarak, bu teknolojinin nasıl işlediğini ve uygulama alanlarına getirdiği yenilikleri detaylı bir şekilde ele alınacaktır (Oropallo ve Piegl, 2016).



Şekil 2.1 3B baskı aşamaları (Özgel Felek, 2019).

3B yazıcılar, üç boyutlu nesnelerin üretiminde kullanılan bir çeşit katmanlı üretim teknolojisidir. Bu teknolojinin temel prensibi, nesnenin tabanından başlayarak üst katmanlara doğru katmanlar halinde inşa edilmesidir. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi 3B yazıcıların çalışma süreçleri şu şekildedir:

1. Nesne Tasarımı: İlk olarak, 3B yazıcıyla üretilecek nesnenin tasarımı gerçekleştirilir. Bu tasarım, bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları kullanılarak oluşturulur. Tasarım tamamlandığında, üç boyutlu modelin STL (stereolitografi) formatına dönüştürülmesi gereklidir. STL formatı, 3B yazıcıların okuyabileceği ve katmanlı üretime uygun hale getirebileceği bir dosya formatıdır (Özgel Felek, 2019).
2. Dilimleme: STL formatındaki dosya, dilimleme adı verilen süreçle işlenir. Dilimleme, 3B modelin ince katmanlara bölünerek üretilebilecek hale getirilmesidir. Dilimleme işlemi sırasında, her bir katmanın kalınlığı, doldurma oranı ve destek yapıları gibi üretim parametreleri belirlenir. Dilimleme işlemi

tamamlandığında, nesnenin katmanlarının sırasıyla üretilmesini sağlayacak G-kod adı verilen komut dosyası oluşturulur (Özgel Felek, 2019).

3. Üretim: G-kod dosyası 3B yazıcıya yüklenir ve üretim işlemi başlar. 3B yazıcı, G-kod dosyasında belirtilen katmanları sırasıyla üreterek nesneyi inşa etmeye başlar. Katmanlar, genellikle eriyik plastik, reçine, metal tozu veya diğer malzemeler kullanılarak oluşturulur. Bu malzemeler, ısı, ışık veya kimyasal reaksiyonlar gibi farklı yöntemlerle katılaştırılır ve birbirine bağlanır. Üretim süreci, tüm katmanların üretilip bir araya getirilmesiyle tamamlanır (Özgel Felek, 2019).
4. Son İşlemler: Nesne tamamen üretildikten sonra, destek yapıları ve artıkların temizlenmesi gibi son işlemler gerçekleştirilir. Bazı durumlarda, yüzey pürüzlülüğünü azaltmak veya malzeme özelliklerini iyileştirmek için ek işlemler uygulanabilir (Anjum ve diğerleri, 2017).

2.2 3B Yazıcının Tarihçesi ve Gelişimi

Günümüzde hızla gelişen teknolojik yenilikler ve ilerlemeler, endüstriyel ve günlük yaşamda önemli ölçüde değişiklikler yaratmaktadır. Bu değişikliklerin başında, üretim süreçlerini ve malzeme kullanımını radikal bir şekilde dönüştüren 3B yazıcılar gelmektedir. 3B yazıcının tarihçesi ve gelişimi, bu teknolojinin küresel çapta yayılmasının ve etkisine vurgu yaparak, gelecekte daha da büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Bechtold, 2016).

2.2.1 3B yazıcının tarihçesi

3B yazıcıların kökleri, 1980'li yıllara kadar uzanmaktadır. 1981 yılında, Hideo Kodama adlı Japon bilim adamı, 3B yazıcıların temelini atan fotoğraf ile ışınlama sürecini geliştirmiştir. Kodama'nın çalışması, bir yüzey üzerine yerleştirilmiş fotopolimerik reçinelerin, ultraviyole ışıkla sertleştirilerek katman katman nesneler oluşturulmasına olanak sağlamıştır (Bechtold, 2016).

1984 yılında, Amerikalı mühendis Charles Hull, stereolitografi (SLA) adı verilen ve lazer ışınları kullanarak fotopolimer reçineleri katılaştıran bir teknik geliştirdi. Hull, bu

teknolojiyi temel alarak 3B Systems şirketini kurdu ve 1988 yılında dünyanın ilk ticari 3B yazıcısını piyasaya sürdü (Bechtold, 2016).

1990'ların başında, sektöre yeni bir katkı olarak seçici lazer sinterleme (SLS) adlı teknoloji ortaya çıktı. SLS, malzemenin katılaşması için termoplastik tozları veya metal tozları gibi malzemelerin ısıtılmasında lazer ışınları kullanır. Bu süreç, daha geniş bir yelpazede malzemelerin kullanılmasına olanak tanıdı ve 3B yazıcıların uygulama alanını artırdı (Bechtold, 2016).

Bu dönemde, özellikle otomotiv, havacılık ve tıp endüstrilerindeki 3B yazıcılar giderek daha fazla kullanılmaya başlandı. Prototip üretimi, özelleştirilmiş parçalar ve hızlı üretim süreçlerine olanak sağlayan bu teknoloji, endüstrilerin verimlilik ve esneklik açısından büyük kazanımlar elde etmelerine yardımcı oldu (Bechtold, 2016).

2.2.2 3B Yazıcının gelişimi

2000'li yıllarda, 3B yazıcılar daha geniş bir kitleye yayılmaya başladı ve hobi ve kişisel kullanım için uygun fiyatlı modeller piyasaya sürüldü. Bu dönemde, özellikle Fused Deposition Modeling (FDM) ve PolyJet gibi teknolojiler sayesinde, 3B yazıcılar daha uygun maliyetli ve erişilebilir hale geldi. FDM, termoplastik malzemelerin eritilerek ve katman katman bir yüzeye püskürtülerek nesneler oluşturma sürecini temel alırken, PolyJet ise fotopolimer reçinelerin jet püskürtme yöntemiyle kullanılmasına dayanmaktadır (Bechtold, 2016).

2010'lu yıllarda, 3B yazıcılar daha da yaygınlaştı ve birçok endüstride vazgeçilmez bir araç haline geldi. Bu dönemde, metal, seramik ve hatta biyolojik materyaller gibi daha geniş bir malzeme yelpazesinin kullanılması mümkün hale geldi. Bu sayede, 3B yazıcıların uygulama alanları daha da genişledi ve özellikle tıp, inşaat, gıda ve moda endüstrilerinde önemli başarılar elde edildi (Bechtold, 2016).

Özellikle tıbbi alanda, 3B yazıcıların kullanılması sayesinde protezler, implantlar ve özelleştirilmiş cerrahi aletler üretimi mümkün hale geldi. Ayrıca, biyoyazıcılar adı verilen

özel 3B yazıcılar sayesinde, doku mühendisliği ve organ nakli alanlarında önemli ilerlemeler kaydedildi (Bechtold, 2016).

İnşaat sektöründe ise, 3B yazıcılar beton, plastik ve diğer yapı malzemeleriyle yapıların hızlı ve verimli bir şekilde inşa edilmesine olanak sağladı. Bu teknoloji sayesinde, daha az işçilik ve malzeme kullanarak, enerji verimli ve sürdürülebilir binalar inşa edilebilir hale geldi (Bechtold, 2016).

Gıda endüstrisinde, 3B yazıcılar, özelleştirilmiş ve karmaşık şekilli yiyeceklerin üretimini mümkün kıldı. Bu, özellikle restoranlar ve gıda üreticileri için yeni ürün ve sunum fırsatları yaratırken, aynı zamanda gıda israfını azaltmaya yardımcı oldu (Bechtold, 2016).

Moda endüstrisinde ise, 3B yazıcılar, tekstil üretimi ve özelleştirilmiş aksesuarlar için büyük bir potansiyel sunmaktadır. Özellikle ayakkabı, kıyafet ve takı üretiminde, sınırsız tasarım olanakları ve kişiselleştirme imkânı sunarak moda dünyasına yeni bir soluk getirdi (Bechtold, 2016).

3B yazıcının tarihçesi ve gelişimi, bu teknolojinin küresel çapta önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. 1980'lerde başlayan bu süreç, günümüzde hızla gelişmeye devam eden bir teknoloji olarak 3B yazıcıların, gelecekte daha büyük bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Gelecek nesiller için sürdürülebilir ve enerji verimli çözümler sunan, özelleştirilmiş ve yenilikçi ürünler üreten 3B yazıcılar, günümüzde farklı endüstrilerde kabul görmeye başlamıştır (Bechtold, 2016).

Gelecekte, 3B yazıcılar ve ileri materyallerin kombinasyonu ile daha karmaşık ve dayanıklı nesneler üretmek mümkün hale gelecektir. Ayrıca, nanoteknoloji ve biyoyazıcılar gibi yeni alanlarda yapılan araştırmalar sayesinde, tıp ve biyoteknoloji alanlarında daha da büyük başarılar elde edilebilmektedir (Bechtold, 2016).

Yapay zekâ ve dijital ortamların 3B yazıcılarla entegrasyonu, tasarım süreçlerini hızlandırarak ve üretim verimliliğini artırarak, daha akıllı ve sürdürülebilir üretim

süreçlerine yol açacaktır. Ayrıca, yenilikçi malzeme ve enerji tüketimini azaltan teknolojilerin geliştirilmesi, 3B yazıcının çevresel etkisini de olumlu yönde etkileyecektir (Bechtold, 2016).

Eğitim sektöründe, 3B yazıcıların kullanımı öğrencilere ve öğretmenlere, öğrenme süreçlerini zenginleştirecek ve pratik uygulamaları daha erişilebilir kılacak imkanlar sunacaktır. Bu, eğitim kurumlarında daha etkili ve yenilikçi öğrenme deneyimlerinin yaşanmasını sağlayarak, gelecek nesillerin beceri ve bilgi düzeyini yükseltecektir (Bechtold, 2016).

Sonuç olarak, 3B yazıcının tarihçesi ve gelişimi, bu teknolojinin günümüzde olduğu kadar gelecekte de önemli bir etkiye sahip olacağını göstermektedir. Farklı endüstrilerde ve günlük yaşamda yarattığı değişim ve yeniliklerle, 3B yazıcılar, küresel çapta daha verimli, sürdürülebilir ve yenilikçi bir dünyaya doğru ilerlememize katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, 3B yazıcı teknolojisinin daha da geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması, küresel ekonomi ve toplum için büyük faydalar sunacak ve yaşam kalitemizi önemli ölçüde artıracaktır (Bechtold, 2016).

2.3 3B Yazıcı Çeşitleri

Son yıllarda, 3B yazıcılar teknoloji dünyasında büyük bir sıçrama yaparak, endüstriyel uygulamalardan, medikal uygulamalara, eğitim sektörüne ve hatta hobi amaçlı kullanıma kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır. Bu sürekli gelişen teknolojinin çeşitli versiyonları ve türleri mevcuttur, bu da kullanıcıların belirli ihtiyaçlarına ve uygulamalarına yönelik en uygun 3B yazıcıyı seçmelerini kolaylaştırır. Bu çalışmada, 3B yazıcıların farklı çeşitleri hakkında detaylı bir inceleme sunmayı amaçlanmaktadır.

2.3.1 Füzyon tabancası modelleme / fused deposition modeling (FDM)

Fused Deposition Modeling (FDM), yaygın olarak kullanılan bir 3B yazıcı türüdür. FDM, termoplastik malzemeyi eriterek ve ince tabakalar halinde nesnenin şeklini oluşturarak katı nesneler üretir. Bu yöntem, dayanıklı ve işlevsel parçalar üretmek için popülerdir ve düşük maliyetli prototipler oluşturarak üretim süreçlerini hızlandırmaktadır. FDM

yazıcıları, eğitim ve hobi amaçlı kullanım için uygun fiyatlı seçenekler sunar ve endüstride sıklıkla kullanılır. Şekil 2.2'de FDM yazıcılara bir görsel örneği verilmiştir (Uludağ, 2020).



Şekil 2.2 Füzyon Tabancası Modelleme yöntemin çalışma şekli (Uludağ, 2020).

2.3.2 Stereolitografi / Stereolithography (SLA)

Stereolitografi (SLA), 3B baskı teknolojisinin ilk yöntemlerinden biridir ve ultraviyole (UV) ışığı ile hassaslaştırılan fotopolimer reçine kullanarak katı nesneler oluşturur. SLA, yüksek çözünürlük ve yüzey kalitesi sunar, bu nedenle hassas ve ayrıntılı parçaların üretimi için uygundur. Bu yöntem, özellikle dişçilik ve mücevherat endüstrisi gibi hassas parçalar gerektiren sektörlerde yaygın olarak kullanılır. SLA yazıcılarının maliyeti, FDM yazıcılara göre daha yüksektir, ancak daha hassas ve profesyonel sonuçlar elde etmek için tercih edilir. Şekil 2.3'te Stereolitografi teknolojisi kullanan 3B yazıcı görseli yer almaktadır (Uludağ, 2020).



Şekil 2.3 Stereolitografi teknolojisi kullanan 3B yazıcı (Uludağ, 2020).

2.3.3 Dijital ışık işleme / digital light processing (DLP)

Dijital Işık İşleme (DLP), Stereolitografi ‘ye (SLA) benzer bir 3B yazıcı türüdür. DLP, UV ışığı ile hassaslaştırılan reçineyi kürlenerek katı nesneler oluşturur. DLP, SLA'dan daha hızlı baskı süreleri sunar ve hassas, yüksek çözünürlüklü parçalar üretir. DLP yazıcıları, özellikle mücevher, dişçilik ve tıbbi modelleme gibi hassas ve ayrıntılı parçalar gerektiren sektörlerde tercih edilir. DLP yazıcıları, SLA yazıcılarına kıyasla daha düşük maliyetli olabilir, ancak yine de profesyonel sonuçlar elde etmek için uygun bir seçenektir. Şekil 2.4’te Dijital Işık İşleme teknolojisi kullanan 3B yazıcı görseli yer almaktadır (Uludağ, 2020).



Şekil 2.4 DLP yazıcı örneği (Uludağ, 2020).

2.3.4 Seçici lazer sinterleme / selective laser sintering (SLS)

Selective Laser Sintering (SLS), toz malzemeyi yüksek enerjili bir lazer ile birleştirerek katı nesneler oluşturan bir 3B yazıcı teknolojisidir. SLS, genellikle naylon, poliamid veya

metal tozlar gibi termoplastik ve metal malzemeleri kullanır. SLS yazıcıları, yüksek mukavemetli ve işlevsel parçalar üretme yeteneği ile endüstride popülerdir. Otomotiv, havacılık ve tıbbi sektörler gibi yüksek performanslı parçalar gerektiren alanlarda kullanılır. SLS yazıcılarının maliyeti, diğer 3B yazıcı türlerine göre daha yüksektir ve genellikle endüstriyel uygulamalar için tercih edilir. Şekil 2.5'te Seçici Lazer Sinterleme yazıcı örneği görülmektedir (Uludağ, 2020).



Şekil 2.5 Seçici Lazer Sinterleme yazıcı örneği (Uludağ, 2020).

2.3.5 Seçici lazer eritme / selective laser melting (SLM)

Selective Laser Melting (SLM) veya Lazer Toz Yatak Füzyon (PBF) yöntemi, metal tozlarını yüksek enerjili bir lazerle eriterek katı nesneler oluşturan bir 3B yazıcı teknolojisidir. SLM, yüksek mukavemetli ve dayanıklı metal parçalar üretir ve özellikle havacılık, otomotiv ve medikal endüstrilerinde kullanılır. SLM yazıcıları, karmaşık geometrileri ve hafif yapıları ile yüksek performanslı parçalar üretme yeteneğine sahiptir. Bu yazıcılar, diğer 3B yazıcı türlerine göre daha yüksek maliyete sahiptir ve endüstriyel

uygulamalar için tercih edilir. Şekil 2.6’da Seçici Lazer Eritme türü yazıcının örneği görülmektedir (Uludağ, 2020).



Şekil 2.6 Seçici Lazer Eritme yazıcı örneği (Uludağ, 2020).

2.3.6 Elektron ışın eritme / electron beam melting (EBM)

Elektron Işın Eritme (EBM) yöntemi, metal tozlarını yüksek enerjili bir elektron ışını ile eriterek katı nesneler oluşturan bir 3B yazıcı teknolojisidir. EBM, SLM'ye benzer avantajlar sunar, ancak daha yüksek sıcaklıklarda çalışır ve daha büyük metal parçaların üretimine olanak tanır. EBM yazıcıları, özellikle havacılık ve enerji sektörlerinde kullanılır. EBM teknolojisi, yüksek mukavemetli ve dayanıklı metal parçalar üretme yeteneği ile endüstride değerlidir, ancak yüksek maliyeti nedeniyle endüstriyel uygulamalar için daha uygun bir seçenektir. Şekil 2.7’de Elektron Işın Eritme yazıcılara bir örnek gösterilmiştir (Uludağ, 2020).



Şekil 2.7 Elektron Işın Eritme yazıcı örneği (Uludağ, 2020).

2.3.7 Lamine nesne üretimi / laminated object manufacturing (LOM)

Laminated Object Manufacturing, ince katmanlar halinde kesilmiş malzemenin yapıştırılarak ve üst üste konularak katı nesnelerin oluşturulduğu bir yöntemdir. LOM, ahşap, plastik veya kâğıt gibi malzemelerle çalışabilir ve hızlı prototip üretimi için uygun bir tekniktir. Şekil 2.8'de LOM yazıcı örneği yer almaktadır (Uludağ, 2020).



Şekil 2.8 Lamine Nesne Üretimi LOM yazıcı örneği (Uludağ, 2020).

3B yazıcılar, geniş bir yelpazede uygulamalar için kullanılabilen çeşitli teknolojilere sahiptir. İhtiyaçlarınıza ve uygulamanıza bağlı olarak, FDM, SLA, DLP, SLS, SLM ve EBM gibi farklı 3B yazıcı türleri arasından seçim yapabilirsiniz. Her bir 3B yazıcı türü, belirli avantajlar ve dezavantajlar sunar (Uludağ, 2020).

FDM ve SLA, düşük maliyetli ve hızlı prototipleme için uygun seçeneklerdir, ancak hassasiyet ve yüzey kalitesi açısından sınırlıdırlar. DLP, yüksek çözünürlük ve hassasiyet sunar, ancak maliyeti daha yüksektir. SLS ve SLM, yüksek mukavemetli ve işlevsel parçalar üretme yeteneği ile endüstride değerli olan daha karmaşık ve profesyonel uygulamalar için uygundur, ancak yüksek maliyetli seçeneklerdir. EBM, büyük metal parçaların üretimi için kullanılabilir, ancak yine de endüstriyel uygulamalar için daha uygun bir seçenektir (Uludağ, 2020).

Sonuç olarak, 3B yazıcının çeşitleri arasından seçim yaparken, üretim hızı, malzeme maliyeti, hassasiyet, yüzey kalitesi ve kullanım amacı gibi faktörleri göz önünde bulundurarak en uygun yöntemi belirlemelisiniz. Bu inceleme, mevcut 3B yazıcı teknolojilerinin genel bir bakışını sunarak, belirli ihtiyaçlara ve uygulamalara göre en uygun 3B yazıcıyı seçmeye yardımcı olmayı amaçlamaktadır (Uludağ, 2020).

2.4 3B Yazıcılarında Kullanılan Hammaddelerin Çeşitliliğini

3B yazıcı teknolojisi, son yıllarda önemli ölçüde gelişmiş ve birçok sektörde kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknolojinin başarısı ve çok yönlülüğü, büyük ölçüde kullanılan hammaddelerin çeşitliliğine bağlıdır. Bu çalışmada, 3B yazıcılarında kullanılan hammaddelerin çeşitliliğini ve her malzemenin kendine özgü özelliklerini incelenecektir (Uslu, 2020).

2.4.1 Polimerler

Polimerler, 3B yazıcılarında en yaygın kullanılan malzeme türüdür ve termoplastikler ile termosetler olarak iki ana kategoriye ayrılır;

A. Termoplastik Polimerler

Termoplastik polimerler, ısıtıldığında yumuşayan ve soğudukça yeniden sertleşen polimerlerdir. Füzyon Depozisyon Modellemesi (FDM) ve Seçici Lazer Sinterleme (SLS) gibi 3B yazıcı tekniklerinde kullanılmaktadır (Uslu, 2020).

1) Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)

ABS, 3B yazıcılarında kullanılan en popüler termoplastik polimerlerden biridir. Yüksek darbe direnci, mukavemet ve sıcaklık dayanıklılığı sayesinde otomotiv, oyuncak ve elektronik endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Uludağ, 2020).

2) Polilaktik asit (PLA)

PLA, biyobozunur ve yenilenebilir bir termoplastik polimerdir. Düşük erime sıcaklığı ve iyi baskı özellikleri nedeniyle 3B yazıcılar için popüler bir seçimdir. PLA, paketleme, tıbbi implantlar ve tek kullanımlık ürünler gibi çeşitli uygulamalar için kullanılabilmektedir. Şekil 2.9'da farklı renkte PLA malzemesi ile yazdırılmış örnekler verilmiştir (Uludağ, 2020).



Şekil 2.9 PLA malzemesiyle yazdırılmış parça örnekleri (Uludağ, 2020).

3) Polyethylene terephthalate glycerol (PETG)

PETG, kimyasal direnç ve sıcaklık dayanımı ile mükemmel baskı özellikleri sunan bir termoplastik polimerdir. Gıda ambalajları, tıbbi cihazlar ve otomotiv parçaları gibi çeşitli uygulamalar için kullanılır. Şekil 2.10'da günlük hayatta sık kullanılan PETG Malzemesinden üretilmiş su şişesi olarak kullanıldığı bir görselde yer almıştır (Uludağ, 2020).



Şekil 2.10 PETG malzemesiyle yazdırılmış şişe örneği (Uludağ, 2020).

4) Poliamid (Naylon)

Poliamid, yüksek mukavemet, esneklik ve aşınma direnci nedeniyle 3B yazıcılar için popüler bir termoplastik seçenektir. Otomotiv, havacılık ve spor ekipmanları gibi yüksek performanslı uygulamalar için kullanılır (Tümer, 2020).

B. Termoset Polimerler

Termoset polimerler, ısıtıldığında kalıcı olarak sertleşen ve bir daha erimeyen polimerlerdir. Stereolitografi (SLA) ve Dijital Işık İşleme (DLP) gibi 3B yazıcı tekniklerinde kullanılır (Bıyıkoğlu, 2019).

1) Epoksi Reçineler

Epoksi reçineler, yüksek mukavemet, kimyasal direnç ve sıcaklık dayanımı özellikleriyle bilinir. Bu özellikler, elektronik bileşenlerin korunması ve yapısal yapıştırıcılar gibi endüstriyel uygulamalar için idealdir. 3B yazıcılar için epoksi reçineleri, hassas prototipler ve modellerin üretimi için kullanılır (Bıyıkoğlu, 2019).

2) Poliüretan Reçineler

Poliüretan reçineler, esneklik ve yüksek darbe direnci özellikleri sayesinde 3B yazıcılar için popüler bir termoset seçeneğidir. Bu malzeme, esnek ve dayanıklı ürünlerin üretimi için kullanılabilir, özellikle otomotiv, ayakkabı ve mobilya endüstrilerinde tercih edilir (Tokdemir, 2022).

2.4.2 Metaller

Metaller, 3B yazıcıların kullanımı için önemli bir malzeme türüdür, özellikle endüstriyel ve biyomedikal uygulamalar için. Metallerin 3B yazıcılarında kullanımı, genellikle Seçici Lazer Eritme (SLM), Elektron Işın Eritme (EBM) ve Yatak Üzerinde İnşa Edilen Lazer Metal (LMD) gibi tekniklerle gerçekleştirilir (Çevik, 2018).

A. Titanyum

Titanyum, 3B yazıcılar için popüler bir metaldir, çünkü yüksek mukavemet, düşük yoğunluk ve biyouyumluluk özelliklerine sahiptir. Bu özellikler, titanyumu havacılık, otomotiv ve biyomedikal uygulamalar için ideal kılar, özellikle tıbbi implantlar ve protezler için (Çevik, 2018).

B. Alüminyum

Alüminyum, hafif ve yüksek mukavemet özellikleri nedeniyle 3B yazıcılar için popüler bir metal seçeneğidir. Alüminyum, havacılık, otomotiv ve elektronik endüstrilerinde kullanılır (Çevik, 2018).

C. Paslanmaz Çelik

Paslanmaz çelik, yüksek mukavemet ve korozyon direnci özellikleri nedeniyle 3B yazıcılar için tercih edilen bir metaldir. Paslanmaz çelik, gıda işleme, inşaat ve tıbbi ekipmanlar gibi çeşitli uygulamalar için kullanılabilir (Çevik, 2018).

D. Kobalt Krom

Kobalt krom, yüksek sıcaklık direnci ve aşınma direnci özellikleriyle bilinir. Bu özellikler, kobalt kromun havacılık ve biyomedikal endüstrilerinde kullanılmasını sağlar, özellikle dental ve ortopedik implantlar için uygundur (Çevik, 2018).

2.4.3 Seramikler

Seramikler, ısıya, aşınmaya ve kimyasallara karşı yüksek direnç özellikleriyle bilinir ve 3B yazıcılar için giderek daha popüler hale gelen bir malzeme seçeneğidir. Seramiklerin 3B yazıcılarında kullanımı, Seçici Lazer Sinterleme (SLS) ve Direct Inkjet Printing (DIP) gibi tekniklerle gerçekleştirilir (Çevik, 2018).

A. Alümina

Alümina (Alüminyum Oksit), yüksek sıcaklık direnci, sertlik ve dielektrik özellikleri nedeniyle 3B yazıcılar için popüler bir seramik malzemedir. Alümina, elektronik bileşenler, tıbbi cihazlar ve yüksek sıcaklık uygulamaları için kullanılır (Doymuş, 2021).

B. Zirkonyum Oksit

Zirconium Oxide, yüksek mukavemet ve kırılma tokluğu özellikleriyle bilinir ve 3B yazıcılar için popüler bir seramik seçeneğidir. Zirkonyum, dental restorasyonlar, yüksek sıcaklık uygulamaları ve aşınma direnci gerektiren parçalar için kullanılır (Akça, 2019).

C. Silikon Nitrat

Silikon nitrat, yüksek sıcaklık direnci, mukavemet ve kimyasal direnç özellikleri nedeniyle 3B yazıcılar için kullanılan bir seramik malzemedir. Silikon nitrat, havacılık, otomotiv ve enerji üretimi gibi endüstrilerde kullanılır (Petousis ve diğerleri, 2023).

2.4.4 Kompozit malzemeler

Kompozit malzemeler, birden fazla malzemenin kombinasyonuyla oluşturulan ve gelişmiş özellikler sunan malzemelerdir. 3B yazıcılar için kompozit malzemeler, genellikle polimer matrisli kompozitler ve metal matrisli kompozitler olarak iki ana kategoriye ayrılır.

A. Polimer matrisli kompozitler (PMC)

Polimer matrisli kompozitler, bir polimer matris içinde dağıtılan takviye malzemeleri ile oluşur. Bu takviye malzemeleri, karbon fiber, cam fiber veya doğal lifler olabilir. PMC'ler, hafiflik, yüksek mukavemet ve esneklik gibi özellikler sunar ve otomotiv, havacılık ve spor ekipmanları gibi uygulamalar için kullanılmaktadır (Yakout ve Elbestawi, 2017).

B. Metal Matrisli Kompozitler (MMC)

Metal matrisli kompozitler, bir metal matris içinde dağıtılan takviye malzemeleri ile oluşur. Takviye malzemeleri genellikle seramik partiküller, karbon fiber veya diğer metallerdir. MMC'ler, yüksek mukavemet, aşınma direnci ve sıcaklık direnci gibi özellikler sunar ve havacılık, otomotiv ve elektronik endüstrileri gibi uygulamalar için kullanılır (Yakout ve Elbestawi, 2017).

2.4.5 Biyomalzemeler

Biyomalzemeler, biyolojik ve tıbbi uygulamalar için geliştirilmiş malzemelerdir. 3B yazıcılar için biyomalzemeler, biyouyumlu polimerler, hidrojeller ve hücre kültürleri gibi çeşitli malzemeleri içerir (Tulum, 2020).

A. Biyouyumlu Polimerler

Biyouyumlu polimerler, insan vücudu ile uyumlu olan ve biyomedikal uygulamalarda kullanılabilen polimerlerdir. Polikaprolakton (PCL) ve poliglikolik asit (PGA) gibi biyobozunur ve biyouyumlu polimerler, tıbbi implantlar, dikiş telleri ve doku mühendisliği uygulamaları için kullanılır (Tulum, 2020).

B. Hidrojeller

Hidrojeller, suyun yüksek oranda emilimi ile oluşan polimer ağ yapılarıdır. Hidrojeller, biyouyumluluk ve esneklik özellikleri nedeniyle 3B yazıcılar için popüler bir biyomalzeme seçeneğidir. Hidrojeller, doku mühendisliği, ilaç salınımı ve yara iyileşmesi gibi tıbbi uygulamalar için kullanılır (Tulum, 2020).

C. Hücre Kültürleri

Hücre kültürleri, doku mühendisliği ve rejeneratif tıp uygulamalarında kullanılan canlı hücrelerdir. 3B biyoyazıcılar, hücrelerin belirli bir yapıya göre yerleştirilmesini sağlayarak, fonksiyonel doku ve organların üretilmesine olanak tanır (Tulum, 2020).

2.5 3B Yazıcının Kullanım Alanları

3B yazıcılarında kullanılan hammaddelerin çeşitliliği, bu teknolojinin çok yönlülüğünü ve başarısını sağlar. Polimerler, metaller, seramikler, kompozit malzemeler ve biyomalzemeler gibi farklı malzeme türleri, 3B yazıcıların geniş bir uygulama yelpazesine sahip olmasına imkân tanır. Her malzeme türünün kendine özgü özellikleri ve avantajları, belirli endüstriler ve uygulamalar için ideal kılar. Bu nedenle, 3B yazıcı teknolojisi, farklı sektörlerde ve çeşitli alanlarda devrim niteliğinde yenilikler sunmaya devam etmektedir.

Üç boyutlu (3B) yazıcılar, katmanlı üretim teknolojisinin temelini oluşturan cihazlardır. Bu teknoloji, son yirmi yılda büyük ölçüde gelişmiş olup farklı endüstrilerde önemli uygulamaları ve etkileri bulunmaktadır. İnşaat, otomotiv, sağlık, eğitim ve hatta gıda gibi alanlarda 3B yazıcıların kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada, 3B yazıcıların kullanım alanlarına detaylı bir şekilde değinilerek, bu teknolojinin önemi ve sağladığı faydalar ele alınacaktır

2.5.1 İnşaat ve mimarlık

3B yazıcılar, inşaat ve mimarlık sektöründe önemli bir etkiye sahip olup, karmaşık yapılar ve özelleştirilmiş tasarımların üretimini mümkün kılmaktadır. 3B yazıcılar sayesinde inşaat süreleri kısaltılabilir, daha az malzeme tüketimi ve enerji verimliliği sağlanabilmektedir. Bu teknoloji, özellikle betonarme yapılar, çelik konstrüksiyonlar ve prefabrike bileşenlerin üretimi için kullanılmaktadır (Wu ve diğerleri, 2016).

2.5.2 Otomotiv endüstrisi

Otomotiv endüstrisinde 3B yazıcılar, parça üretimi ve prototipleme süreçlerinde kullanılmaktadır. Bu teknoloji sayesinde, otomotiv şirketleri daha hızlı ve maliyet etkin

şekilde yeni ürünler geliştirebilir, hızlı prototipleme sağlayarak tasarım süreçlerini kısaltabilir ve üretim maliyetlerini azaltabilir. Ayrıca, 3B yazıcılar ile üretilen parçalar daha hafif ve daha dayanıklı olup, araçların enerji verimliliğini artırmaktadır (Kumar ve Kumar, 2020).

2.5.3 Sağlık sektörü

Sağlık sektöründe 3B yazıcılar, özelleştirilmiş protezler, implantlar ve doku mühendisliği gibi alanlarda kullanılabilir. Örneğin, 3B yazıcılar sayesinde hastanın kendi anatomisine uygun protezler üretilebilir ve cerrahi planlama süreçlerinde karmaşık anatomik yapıların 3B modelleri kullanılabilir. Ayrıca, 3B yazıcılar ile biyolojik malzemeler kullanarak doku ve organlar üretilebilir, bu da ileride organ nakli için yeni bir umut olabilir (Pavan ve diğerleri, 2022).

2.5.4 Eğitim

Eğitim sektöründe, 3B yazıcılar öğrencilere karmaşık konuları anlamalarına yardımcı olacak şekilde kullanılabilir. Özellikle STEM (bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik) alanlarında, 3B yazıcılar öğrencilere somut modeller sağlayarak teorik bilgilerin uygulamaya dökülmesine olanak tanır. Bu sayede öğrenciler, daha iyi öğrenme deneyimi yaşar ve problem çözme becerilerini geliştirir. Ayrıca, 3B yazıcılar sayesinde öğretmenler özelleştirilmiş eğitim materyalleri üretebilir ve öğrencilere yaratıcılıklarını geliştirebilecekleri projeler sunabilir (Wilk, 2020).

2.5.5 Gıda endüstrisi

3B yazıcıların gıda endüstrisindeki kullanım alanları, özellikle özelleştirilmiş gıda üretimi ve gastronomi alanında dikkate değerdir. 3B yazıcılar ile şekil, boyut ve yapı açısından özelleştirilmiş yiyecekler üretilebilir. Bu teknoloji, aynı zamanda gıda israfını azaltmaya ve gıda üretiminin sürdürülebilirliğini artırmaya yardımcı olabilir. Özellikle, gelecekte alternatif protein kaynaklarına dayalı gıda ürünleri geliştirilmesinde 3B yazıcılar önemli bir rol oynayabilir (Kumar ve Kumar, 2020).

2.5.6 Havacılık ve uzay endüstrisi

Havacılık ve uzay endüstrisinde, 3B yazıcılar hafif ve dayanıklı bileşenler üretmek için kullanılır. Bu bileşenler, uçakların ve uzay araçlarının enerji verimliliğini ve performansını artırır. Ayrıca, 3B yazıcılar ile üretilen bileşenlerin üretim süreçleri, geleneksel üretim yöntemlerine göre daha hızlı ve maliyet-etkindir. Uzay araştırmalarında ise, 3B yazıcılar ile yerinde üretim yapılarak uzayda yapılandırılmış ve onarılmış araç ve ekipmanlar kullanılabilir, bu da uzay misyonlarının sürdürülebilirliğini ve başarısını artırır (Kumar ve Kumar, 2020).

2.5.7 Sanat ve tasarım

3B yazıcılar, sanat ve tasarım alanlarında yeni olanaklar sunar. Bu teknoloji sayesinde, sanatçılar ve tasarımcılar karmaşık ve özgün yapılar yaratabilir, sınırlı üretim ve özelleştirilmiş ürünler tasarlayabilir. Ayrıca, 3B yazıcılar ile üretilen eserlerin maliyetleri ve üretim süreleri azalırken, esneklik ve yaratıcılık ön plana çıkar. Bu sayede, küçük ölçekli üreticiler ve bağımsız tasarımcılar da büyük şirketlerle rekabet edebilir hale gelir (Kumar ve Kumar, 2020).

2.5.8 Moda ve giyim endüstrisi

3B yazıcılar, moda ve giyim endüstrisinde özelleştirilmiş ve sürdürülebilir ürünlerin üretimine imkân sağlar. Örneğin, 3B yazıcılar ile üretilen ayakkabılar, kullanıcıların ayak anatomisine uygun tasarımlar sunarak konfor ve performansı artırır. Ayrıca, 3B yazıcılar kullanılarak yapılan giysiler, vücut ölçülerine göre özelleştirilebilir ve atık malzeme miktarını en aza indirerek çevresel etkiyi azaltır (Kumar ve Kumar, 2020).

2.5.9 Elektronik endüstrisi

3B yazıcılar, elektronik endüstrisinde küçük ve karmaşık bileşenlerin üretimine olanak tanır. Özellikle, esnek ve fonksiyonel malzemeler kullanılarak üretilen esnek elektronik cihazlar ve giyilebilir teknolojiler bu alanda önemli gelişmelere yol açmaktadır. Ayrıca, 3B yazıcılar sayesinde elektronik cihazların prototipleme süreçleri hızlanır ve üretim maliyetleri düşer (Kumar ve Kumar, 2020).

2.5.10 Enerji sektörü

3B yazıcıların enerji sektöründeki kullanım alanları, özellikle enerji üretimi, depolama ve dağıtım sistemlerinin geliştirilmesinde önem taşımaktadır. Bu teknoloji sayesinde, enerji verimliliği yüksek olan ve az malzeme tüketen bileşenler üretilerek, enerji sistemlerinin çevresel etkisi azaltılabilir. Özellikle, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı sistemlerin geliştirilmesinde 3B yazıcılar büyük potansiyele sahiptir (Kumar ve Kumar, 2020).
3B yazıcılar, farklı endüstrilerde ve sektörlerde geniş bir kullanım alanına sahip olan ileri teknoloji ürünleridir. Bu teknoloji, üretim süreçlerini hızlandırarak, maliyetleri düşürür, özelleştirme ve yaratıcılığı teşvik eder ve çevresel sürdürülebilirliği destekler. 3B yazıcılar, gelecekte daha da gelişerek, insan yaşamının her alanında önemli bir etkiye sahip olmaya devam edecektir. Bu nedenle, 3B yazıcıların kullanım alanlarını anlamak ve bu teknolojinin sunduğu avantajları değerlendirmek, iş dünyası ve toplum açısından büyük önem taşımaktadır (Kumar ve Kumar, 2020).

2.6 3B Yazıcı Baskısının Kalitesine Etki Eden Faktörler

3B yazıcılar, üç boyutlu nesnelerin üretiminde kullanılan bir teknolojidir. Bu teknoloji, birçok sektörde kullanılarak, daha önce hayal bile edilemeyen ürünler ve hizmetler sağlamaktadır. 3B yazıcıların başarılı bir şekilde kullanılması, bir dizi faktöre bağlıdır ve bu faktörlerin analizi, bu teknolojinin daha geniş kullanımı ve geliştirilmesi için önemlidir. Bu çalışmada, 3B yazıcılara etki eden faktörlerin detaylı bir incelemesi yapılmaktadır (Kabir ve diğerleri, 2020).

2.6.1 Malzeme seçimi

3B yazıcı baskısının kalitesi, kullanılan malzemeye de bağlıdır. Malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri, nesnenin dayanıklılığı, yüzey pürüzlülüğü ve renk gibi çıktıların kalitesini etkiler. FDM yazıcılar için PLA, ABS ve PETG gibi termoplastikler yaygındır, SLA ve DLP yazıcılar ise reçine malzemeler kullanırken, SLS yazıcılar polimer ve metal tozları kullanabilir (Kabir ve diğerleri, 2020).

2.6.2 Katman yüksekliği ve çözünürlük

Katman yüksekliği, her bir katmanın kalınlığını ifade eder ve 3B yazıcı baskı kalitesinde önemli bir faktördür. Daha ince katmanlar, daha pürüzsüz bir yüzey ve daha iyi detaylar sağlar, ancak baskı süresini artırır. Çözünürlük ise, yazıcının X ve Y eksenlerindeki hareket kabiliyetini temsil eder. Daha yüksek çözünürlük, daha hassas parçaların üretilmesine olanak tanır (Favero ve diğerleri, 2020).

2.6.3 Yazılım ve donanım

3B yazıcıların performansı ve güvenilirliği, kullanılan yazılım ve donanımın kalitesine bağlıdır. Yazılım, 3B modelin tasarımı, dilimleme ve yazdırma parametrelerinin kontrolü gibi süreçlerden sorumludur. Bu nedenle, yazılımın doğru ve güncel olması, ürünün kalitesi ve verimliliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Donanım, 3B yazıcıların hassasiyeti, hızı ve kararlılığı ile ilgilidir ve bu faktörler de nihai ürünün kalitesini ve uygunluğunu etkilemektedir (Matias ve Rao, 2015).

2.6.4 Baskı hızı

Baskı hızı, 3B yazıcının parçayı ne kadar hızlı oluşturabileceğini gösterir. Daha hızlı baskılar, üretim sürecini hızlandırır, ancak katmanlar arasındaki bağlantı zayıflayabilir ve baskı kalitesi düşebilir. Baskı hızının optimize edilmesi hem üretim süresini hem de baskı kalitesini dikkate alarak dengelenmelidir (Hernandez, 2015).

2.6.5 Yazdırma teknolojisi

3B yazdırma teknolojileri, farklı işlemler ve prensipler kullanarak nesnelerin üretimini gerçekleştirir. Bu teknolojiler arasında Fused Deposition Modeling (FDM), Stereolithography (SLA), Selective Laser Sintering (SLS) ve Digital Light Processing (DLP) gibi yöntemler bulunmaktadır. Her yöntem, belirli avantajlar ve dezavantajlar sunar ve uygulama alanlarına göre farklı sonuçlar elde edilir. Bu nedenle, projenin gereksinimlerine ve hedeflerine göre uygun yazdırma teknolojisinin seçimi önemlidir (Kim ve diğerleri, 2022).

2.6.6 Yazdırma parametreleri

3B yazıcılarla üretilen nesnelerin kalitesi ve performansı, yazdırma parametrelerine bağlıdır. Bu parametreler, katman yüksekliği, doluluk oranı, destek yapıları, yazdırma hızı ve sıcaklık gibi faktörleri içerir. Optimal yazdırma parametrelerinin belirlenmesi, nesnenin mukavemeti, hassasiyeti ve yüzey kalitesi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Matias ve Rao, 2015).

2.6.7 Nozul ve iğne çapı

3B yazıcılar, malzemeyi eriterek veya sıvılaştırarak ve ardından nozul veya iğne vasıtasıyla çıktıya ekleyerek çalışır. Nozul ve iğne çapı, baskının hassasiyetini ve yüzey kalitesini etkileyebilir. Daha ince çaplar, daha hassas baskılar ve düşük yüzey pürüzlülüğü sağlar, ancak baskı süresini uzatabilir ve tıkanma riskini artırabilir (Liu, 2019).

2.6.8 Yazılım ve dil ayarları

3B yazıcılar, CAD yazılımından alınan tasarım verilerini işleyerek baskı sürecini yönetir. Baskı kalitesini etkileyen faktörlerden biri de yazılım ve dil ayarlarıdır. Bu ayarlar, baskı hızı, katman yüksekliği, doldurma oranı ve destek yapılarını kontrol eder. Uygun ayarlar, baskı kalitesini optimize etmeye yardımcı olur (Matias ve Rao, 2015).

2.6.9 Doldurma oranı ve destek yapıları

Doldurma oranı, 3B yazıcı baskısının iç kısmındaki doluluk derecesini belirler. Daha yüksek doldurma oranları, daha dayanıklı ve ağır parçalar üretir, ancak daha fazla malzeme kullanır ve baskı süresini uzatır. Destek yapıları ise, baskının üzerinde yer çekimi etkisi nedeniyle çökme riski olan kısımları desteklemek için kullanılır. Bu yapılar, parçanın bütünlüğünü ve kalitesini artırır, ancak çıkarılması zor olabilir ve yüzey pürüzlülüğünü artırabilir (Liu, 2019).

2.6.10 Post-proses işlemler

3B yazıcılarla üretilen nesneler, genellikle post-proses işlemlere tabi tutulur. Bu işlemler, nesnenin yüzey kalitesini ve mekanik özelliklerini iyileştirmeyi amaçlar. Post-proses işlemleri, destek yapılarının çıkarılması, yüzey düzeltme, boyama ve kaplama gibi yöntemler içerir. Post-proses işlemlerin doğru ve etkili bir şekilde uygulanması, nihai ürünün kalitesi ve performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Taşcıoğlu ve diğerleri, 2022).

2.6.11 Eğitim ve beceri düzeyi

3B yazıcıların kullanımında başarı, operatörün eğitim ve beceri düzeyine bağlıdır. Kullanıcılar, yazılım ve donanımın kullanımı, malzeme seçimi, yazdırma teknolojileri ve parametreler gibi konularda bilgi ve deneyime sahip olmalıdır. Ayrıca, kullanıcıların problem çözme ve analitik düşünme becerilerine de sahip olması, üretim sürecinde karşılaşılan zorlukların ve sorunların üstesinden gelmeye yardımcı olacaktır (Matias ve Rao, 2015).

2.6.12 3B Yazdırma çevresi

3B yazıcıların başarılı bir şekilde çalışabilmesi için uygun bir çevreye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu, uygun sıcaklık ve nem koşullarının yanı sıra, toz ve kir gibi zararlı maddelerden arınmış bir ortamı içerir. Ayrıca, 3B yazıcıların doğru şekilde yerleştirilmesi ve sabitlenmesi, titreşim ve hareketten kaynaklanabilecek hataların önlenmesine yardımcı olacaktır (Khosravani ve Reinicke, 2020).

3B yazıcıların etkin ve başarılı bir şekilde kullanılması, bir dizi faktöre bağlıdır. Bu faktörler, malzeme seçimi, yazılım ve donanım, yazdırma teknolojisi, yazdırma parametreleri, post-proses işlemler, eğitim ve beceri düzeyi ve 3B yazdırma çevresi gibi alanları kapsar. Bu faktörlerin doğru şekilde yönetilmesi ve optimize edilmesi, 3B yazıcıların potansiyelini en üst düzeye çıkarmaya ve daha geniş uygulama alanlarında kullanılmasına yardımcı olacaktır. Bu nedenle, 3B yazıcılara etki eden faktörlerin detaylı

bir incelemesi, bu teknolojinin geliştirilmesi ve yaygınlaşması için önemlidir (Taşcıoğlu ve diğerleri, 2022).

Bununla birlikte, 3B yazıcıların başarıyla kullanılması ve yaygınlaşması için hem eğitim ve endüstri sektörlerinde hem de politika yapıcılar ve düzenleyiciler arasında farkındalığın ve anlayışın artırılması gerekmektedir. Bu amaçla, 3B yazıcılar ve etkileyen faktörlerle ilgili eğitim programları ve atölyeler düzenlenebilir, araştırma ve geliştirme projeleri desteklenebilir ve kullanıcıların deneyim ve bilgi paylaşımını teşvik eden platformlar oluşturulabilmektedir.

Ayrıca, 3B yazıcıların daha geniş kullanımı için, teknolojinin maliyetinin ve erişilebilirliğinin iyileştirilmesi de önemlidir. Bu, daha uygun fiyatlı ve kullanıcı dostu yazılım ve donanım çözümlerinin geliştirilmesi ve 3B yazdırma hizmetlerinin yaygınlaştırılması ile sağlanabilmektedir.

Son olarak, 3B yazıcılarla ilgili etik, yasal ve çevresel konuların da dikkate alınması gerekmektedir. Özellikle, fikri mülkiyet hakları, ürün sorumluluğu ve geri dönüşüm gibi konular, 3B yazıcıların kullanımı ve geliştirilmesi için önemli faktörlerdir. Bu nedenle, bu konuların ele alınması ve uygun düzenlemelerin yapılması, 3B yazıcıların sürdürülebilir ve etik bir şekilde kullanılmasına katkı sağlayacaktır.

3B yazıcıların etkileyen faktörlerin detaylı bir incelemesi, bu teknolojinin daha geniş kullanımı ve geliştirilmesi için önemli bir adımdır. Bu çalışma, 3B yazıcıların etkin ve başarılı bir şekilde kullanılması için gereken faktörlerin anlaşılmasına ve uygulanmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu sayede, 3B yazıcıların sunduğu fırsatlar ve avantajlar daha geniş bir kitle tarafından değerlendirilebilir ve bu teknolojinin gelecekteki gelişimi için temel atılabilmektedir.

2.7 3B Yazıcılarda Kompozit Malzeme Üretimi

Günümüzde, üretim teknolojileri geliştikçe, mühendisler ve araştırmacılar sürekli olarak yeni ve daha performanslı malzemeler aramaktadırlar. Bu bağlamda, kompozit

malzemeler önemli bir yer tutmaktadır, çünkü üstün mekanik, kimyasal ve termal özelliklere sahip olmaları nedeniyle birçok endüstride kullanılmaktadır. 3B yazıcılar ise, bu tür malzemelerin üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, 3B yazıcılarda kompozit malzeme üretimi süreçleri ve bu alandaki mevcut teknikler detaylı bir şekilde incelenmektedir.

2.7.1 Kompozit malzemelerin tanımı ve türleri

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla farklı malzemenin bir araya gelerek oluşturduğu yeni ve üstün özelliklere sahip malzemelerdir. Bu malzemeler, genellikle bir matris ve takviye malzemesi olmak üzere iki bileşenden oluşur. Matris, takviye malzemesini sararak ona şekil verir ve mekanik dayanım sağlar, takviye malzemesi ise kompozit malzemenin özelliklerini geliştirir (Rajak ve diğerleri, 2019).

Kompozit malzemeler, matris ve takviye malzemelerine göre sınıflandırılabilmektedir. Matris malzemeleri genellikle polimerler, metaller veya seramikler olabilirken, takviye malzemeleri lifler, partiküller veya lameller şeklinde olabilir. Bu nedenle, karbon fiber takviyeli plastikler (CFRP), fiber takviyeli polimerler (FRP), metal matrisli kompozitler (MMC) ve seramik matrisli kompozitler (CMC) gibi çeşitli kompozit türleri vardır (Rajak ve diğerleri, 2019).

2.7.2 3B Yazıcılar ve Kompozit Malzeme Üretimi

3B yazıcılar, katkı maddesi üretim (AM) olarak da bilinen bir üretim yöntemi kullanarak üç boyutlu nesnelerin katmanlı olarak üretilmesini sağlar. Bu teknoloji, özellikle karmaşık geometrilere sahip parçaların üretiminde avantajlar sunmaktadır. 3B yazıcılar, kompozit malzeme üretiminde de büyük öneme sahiptir, çünkü bu süreç boyunca her katmanda matris ve takviye malzemesinin dağılımı ve oranı optimize edilebilmektedir.

3B yazıcılarla kompozit malzeme üretimi yaparken kullanılan temel teknikler şunlardır:

A. Doğrudan Enerji Yönlendirme (DED)

DED, metal matrisli kompozitler (özellikle alüminyum ve titanyum alaşımları) üretiminde yaygın olarak kullanılan bir 3B yazıcı teknolojisidir. Bu yöntemde, lazer veya elektron ışını enerjisi, bir toz malzeme ile metalik bir yüzeyin üzerine yönlendirilir. Enerji, malzemeyi eriterek ve katılaştırarak katmanlar oluşturur. Takviye malzemeleri, genellikle partikül veya kısa lif formunda eklenir ve enerji kaynağı tarafından eriyen matris malzemesine karıştırılır. DED yöntemi, yüksek enerji yoğunluğu ve hızlı katman oluşumu nedeniyle, özellikle havacılık ve otomotiv endüstrilerinde kullanılmaktadır (Ligon ve diğerleri, 2017).

B. Füzyon Filamenti Üretimi (FFF)

FFF, polimer matrisli kompozitlerin üretimi için yaygın olarak kullanılan bir 3B yazıcı teknolojisidir. Bu süreçte, termoplastik bir polimer matris ve takviye lifleri içeren bir filaman, yazıcı başlığındaki nozuldan ısıtılarak ekstrüde edilir. Isıtılan filaman, katmanlar halinde bir yüzeye ekstrüde edilerek soğutulur ve katılaştırılır. FFF yöntemi, düşük maliyetli ve esnek bir üretim süreci sunarak, özellikle otomotiv, inşaat ve spor ekipmanları gibi endüstrilerde tercih edilmektedir (Veteška ve diğerleri, 2021).

C. Kazan Fotopolimerizasyonu / Vat Photopolymerization

Kazan Fotopolimerizasyonu yöntemi, özellikle seramik ve polimer matrisli kompozitlerin üretimi için kullanılır. Bu yöntemde, ışığa duyarlı bir sıvı reçine, ultraviyole ışık veya lazer ışınıyla katılaştırılır. Takviye malzemeleri, genellikle ince partikül formunda eklenir ve homojen bir şekilde dağıtılır. Bu süreç, yüksek çözünürlük ve hassasiyet sunarak, özellikle biyomedikal uygulamalar ve mikro-elektro-mekanik sistemler (MEMS) için uygun bir seçenek haline gelmektedir (Velu ve diğerleri, 2019).

D. Kompozit Malzeme Üretiminde 3B Yazıcıların Avantajları ve Zorluklar

3B yazıcılarla kompozit malzeme üretiminin avantajları şunlardır:

- Karmaşık geometrilere sahip parçaların üretimi mümkündür.
- Matris ve takviye malzemesi dağılımı ve oranları optimize edilebilmektedir.
- İşleme ve montaj süreçlerinde maliyet ve zaman tasarrufu sağlar.

- Minimum malzeme israfı ve daha sürdürülebilir üretim süreçleri sunar.

Buna karşın, 3B yazıcılarla kompozit malzeme üretiminde bazı zorluklar da bulunmaktadır:

- Takviye malzemelerinin homojen dağılımı ve uyumlu bir bağlantı sağlamak zordur.
- Mekanik özelliklerin optimize edilmesi için süreç parametrelerinin dikkatlice kontrol edilmesi gereklidir.
- 3B yazıcılarla üretilen kompozit malzemelerin özellikleri, geleneksel üretim yöntemleriyle üretilen malzemelerle tam olarak karşılaştırılamaz.
- Yüksek maliyetli ve enerji yoğun süreçler, özellikle DED ve vat fotopolimerizasyonu yöntemleri gibi bazı yöntemler için geçerlidir.

Kompozit malzemeler, üstün mekanik, kimyasal ve termal özellikler sunarak, birçok endüstride önemli bir rol oynamaktadır. 3B yazıcılar ise, bu tür malzemelerin üretiminde önemli bir potansiyele sahiptir. Bu çalışmada, 3B yazıcılarda kompozit malzeme üretimi süreçleri ve bu alandaki mevcut teknikler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Doğrudan Enerji Yönlendirme (DED), Füzyon Filamenti Üretimi (FFF) ve Vat Photopolymerization gibi yöntemler, farklı matris ve takviye malzemeleri kullanarak kompozit malzemelerin üretimini sağlar (Park ve diğerleri, 2022).

3B yazıcılarla kompozit malzeme üretiminin avantajları, karmaşık geometriler, optimize edilmiş malzeme dağılımı ve oranları, maliyet ve zaman tasarrufu ve sürdürülebilir üretim süreçleri olarak özetlenebilir. Bununla birlikte, takviye malzemelerinin homojen dağılımı, süreç parametrelerinin kontrolü ve malzeme özelliklerinin optimizasyonu gibi zorluklar da bulunmaktadır (Park ve diğerleri, 2022).

İleride, 3B yazıcıların kompozit malzeme üretimindeki potansiyelini daha da geliştirmek için, süreç kontrolü ve optimizasyonu, malzeme karakterizasyonu ve performans analizi, enerji verimliliği ve maliyet optimizasyonu gibi alanlarda daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Bu sayede, 3B yazıcılar, kompozit malzeme üretiminde daha etkili ve yaygın bir teknoloji olarak kullanılabilmektedir (Park ve diğerleri, 2022).

2.8 3B Yazıcılarda granül malzeme Üretimi

Gelişen teknoloji ile birlikte, 3B yazıcılar mühendislik, tıp, eğitim ve hatta ev kullanımı gibi bir dizi uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. 3B yazıcıların çalışma prensibi, genellikle granül veya filament hali bulunan termoplastik malzemeleri eriterek ve bu malzemeyi katman katman bir nesneyi oluşturacak şekilde yüzeye uygulayarak, dijital bir modeli fiziksel bir objeye dönüştürmektir. Bu yazıda, 3B yazıcılarda kullanılan iki yaygın termoplastik malzeme olan granül Polipropilen (PP) ve granül Polilaktik Asit (PLA) üretimini ayrıntılı olarak ele alacağız.

2.8.1 Granül Polipropilen (PP) Üretimi

Polipropilen (PP), yüksek kimyasal direnci, düşük yoğunluğu ve ısıya karşı dayanıklılığı nedeniyle 3B yazıcılarda kullanılan yaygın bir termoplastiktir. PP'nin granül formu, 3B yazıcıların ekstrüzyon işlemi sırasında kullanılır. PP granülleri, propilen monomerinin polimerizasyonuyla elde edilir. Bu süreç, yüksek basınç ve sıcaklık altında bir katalizör yardımıyla gerçekleştirilir. Sonuçta elde edilen polimer, granül formuna dönüştürülür ve daha sonra 3B yazıcıda kullanılmak üzere paketlenir (Nuri ve diğerleri, 2020).

2.8.2 Granül Polilaktik Asit (PLA) Üretimi

Polilaktik Asit (PLA), yenilenebilir kaynaklardan üretilebilen, biyolojik olarak parçalanabilen ve yüksek mekanik mukavemete sahip bir termoplastiktir. PLA genellikle mısır nişastası, şekerkamışı veya tatlı patates gibi bitkisel kaynaklardan elde edilir. PLA'nın granül formunun üretimi, fermantasyon ve polimerizasyon adımlarını içerir (Nuri ve diğerleri, 2020).

Fermantasyon sürecinde, bitkisel kaynaklardan elde edilen şeker, bakteriler veya maya tarafından laktik asite dönüştürülür. Daha sonra, bu laktik asit polimerizasyon işlemine tabi tutulur. Bu, genellikle yüksek sıcaklıkta ve bir katalizörün varlığında gerçekleştirilir. Bu işlem sonucunda elde edilen polilaktik asit, daha sonra granül formuna getirilir ve 3B yazıcıda kullanılmak üzere paketlenir (Nuri ve diğerleri, 2020).

2.8.3 3B Yazıcılarda Granül PP ve Granül PLA Kullanımı

3B yazıcılarda granül formdaki PP ve PLA'nın kullanımı, malzemenin eritilerek bir nozul tarafından katman katman bir yüzeye uygulanmasını içerir. Bu süreç, "ekstrüzyon" olarak adlandırılır ve genellikle Fused Deposition Modeling (FDM) veya Fused Filament Fabrication (FFF) gibi tekniklerle gerçekleştirilir (Nuri ve diğerleri, 2020).
Granül PP ve PLA'nın 3B yazıcılarda kullanılması için, öncelikle uygun sıcaklıkta eritilmesi gerekir. PP için genellikle bu sıcaklık 220-260°C arasında, PLA için ise 180-220°C arasında olur. Eritilmiş malzeme daha sonra bir nozul üzerinden çıkarılır ve bir yapı platformuna katmanlar halinde uygulanır. Bu katmanlar, bir nesnenin şeklini oluşturmak için bir araya gelir (Nuri ve diğerleri, 2020).

3B yazıcılarda granül PP ve PLA kullanmanın birçok avantajı vardır. Öncelikle, bu malzemeler düşük yoğunluğa sahip olduğu için, hafif ve mukavim parçaların üretimine olanak sağlarlar. Ayrıca, PLA'nın biyolojik olarak parçalanabilen özelliği, çevresel açıdan sürdürülebilir bir seçenek sunar. Öte yandan, PP'nin yüksek kimyasal direnci, korozif maddelere karşı dayanıklı parçaların üretimine olanak sağlar (Nuri ve diğerleri, 2020).

3B yazıcılar, hızlı prototipleme ve özelleştirilmiş üretim alanlarında devrim yaratmıştır. Granül PP ve PLA, bu teknolojinin temel bileşenleri arasında yer alır. Her iki malzemenin de kendi üretim süreçleri, özellikleri ve avantajları vardır. Ancak, bu malzemelerin seçimi, üretilecek parçanın uygulama alanına, mekanik gereksinimlerine ve çevresel etkisine bağlıdır. Bu nedenle, 3B yazıcılarda granül malzeme seçimi, özellikle büyük ölçekli ve karmaşık projelerde kritik bir karar noktasıdır. Sonuç olarak, PP ve PLA gibi malzemelerin doğru bir şekilde anlaşılması ve kullanılması, 3B yazıcıların potansiyelini tam anlamıyla ortaya çıkarabilir (Nuri ve diğerleri, 2020).

2.8.4 3B Yazıcı Teknolojisi ve Granül Malzemelerin Geleceği

3B yazıcı teknolojisi, son on yılda inanılmaz bir hızla gelişmiştir ve bu hızın gelecekte de devam etmesi beklenmektedir. Granül PP ve PLA gibi malzemelerin 3B yazıcı teknolojisinin ilerlemesindeki rolü, bu alandaki araştırma ve geliştirmenin önemli bir

parçasını oluşturmaktadır. Örneğin, yeni ve daha etkin polimerizasyon teknikleri, PP ve PLA'nın üretim sürecini daha verimli ve çevre dostu hale getirebilir. Ayrıca, bu malzemelerin mekanik ve termal özelliklerini iyileştirmeye yönelik araştırmalar, 3B yazıcılardan üretilen parçaların performansını artırabilir (Stefaniak ve diğerleri, 2022).
Bununla birlikte, yeni malzemelerin geliştirilmesi ve mevcut malzemelerin özelliklerinin geliştirilmesi, 3B yazıcı teknolojisinin gelecekteki potansiyelini belirleyecektir. Örneğin, biyolojik olarak parçalanabilen, yüksek performanslı veya özel özelliklere sahip yeni termoplastikler, 3B yazıcıların kullanım alanını genişletebilir. Aynı zamanda, granül malzemelerin daha verimli ve hassas bir şekilde ekstrüzyonunu sağlayan gelişmiş ekstrüzyon teknikleri ve 3B yazıcı tasarımları, bu teknolojiyi daha geniş bir uygulama yelpazesine açabilmektedir (Mania ve diğerleri, 2019).

Son olarak, granül PP ve PLA'nın 3B yazıcılarla uyumlu hale getirilmesi, özellikle eğitim ve ev kullanımı için uygun maliyetli ve erişilebilir 3B yazıcılara olan talebi artırabilir. Bu malzemelerin kullanılabilirliği ve düşük maliyeti, 3B yazıcı teknolojisini daha geniş bir kullanıcı kitlesine açabilir ve bu teknolojiyi daha geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılabilir hale getirebilmektedir.

3B yazıcılar ve granül PP ve PLA gibi termoplastik malzemeler, hızlı prototipleme ve kişiselleştirilmiş üretimde yeni olanaklar sunmaktadır. Bu teknoloji ve malzemelerin potansiyelini tam olarak anlamak ve kullanmak, gelecekteki teknolojik gelişmeler ve uygulamalar için kritik önem taşımaktadır. Bu nedenle, bu alanlarda devam eden araştırma ve geliştirme çalışmaları hem bilimsel topluluk hem de genel toplum için büyük bir değer taşımaktadır (Stefaniak ve diğerleri, 2022).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

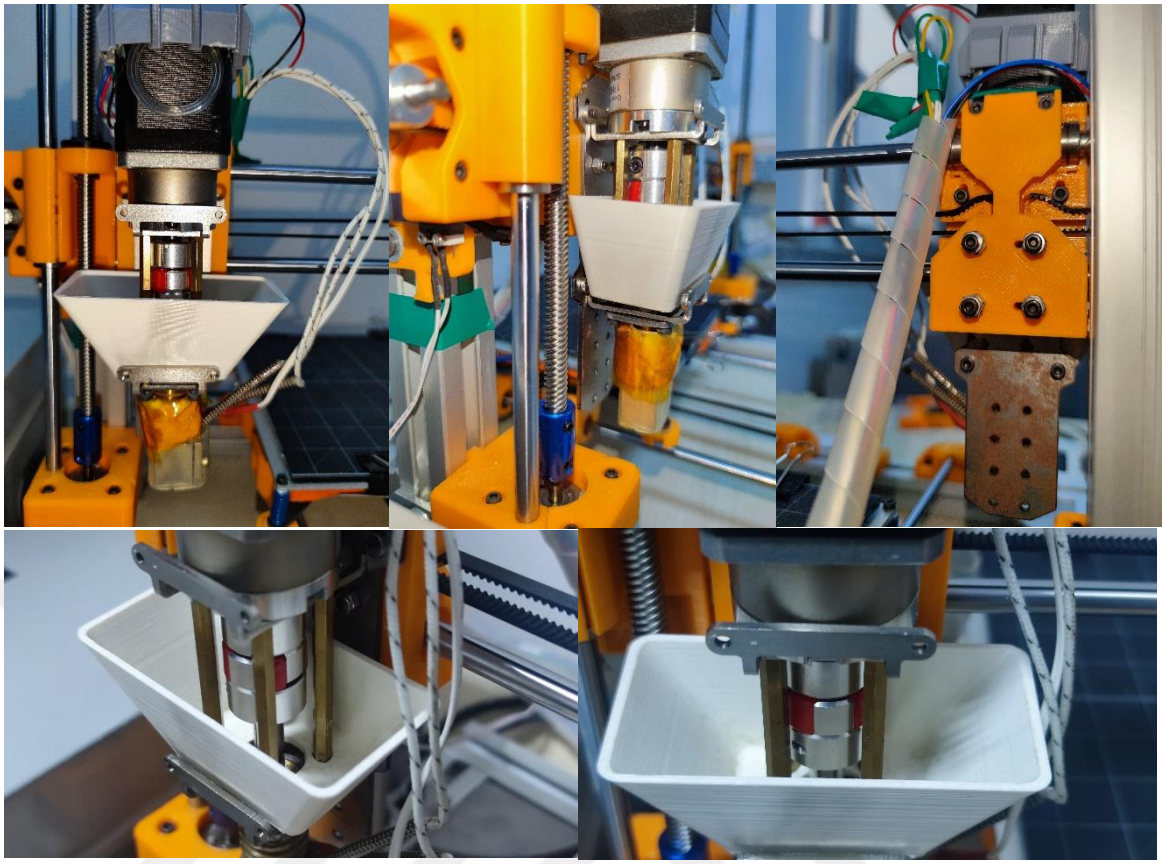
Bu tez çalışması kapsamında, ekstrüderli bir 3B yazıcı kullanılarak PP ve PLA granül plastiklerle cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin üretimi üzerine yapılan deneysel çalışmalar sunulmaktadır. Kullanılan 3B yazıcının görsel özellikleri dikkate alınarak, Marlin yazılım altyapısı kullanılarak gerçekleştirilen bu süreçte, belirli standartlara uygun numuneler alınarak çeşitli mekanik testlere tabi tutulmuştur.

Bu tezde ele alınan 3B yazıcı geliştirilerek daha verimli ve optimize bir hale getirilmiş olup, ayrıca farklı granül plastik türlerinin kullanımı ve dolum şekilleri de incelenmiştir. Bu sayede, 3B yazıcı teknolojisi kullanılarak cam elyaf takviyeli polimer kompozitlerin üretimi için etkin ve yenilikçi bir yöntem önerilmektedir.

Tezimizin metodoloji bölümünde, ekstrüderli 3B yazıcının detaylı çalışma prensipleri, süreç parametrelerinin belirlenmesi ve optimizasyonu, kullanılan malzemelerin özellikleri ve seçimi, geliştirilen 3B yazıcının performansının değerlendirilmesi, alınan numunelerin test prosedürleri ve analizleri ile ilgili detaylar yer almaktadır. Bu bölüm, elde edilen verilere dayalı olarak yapılan sonuçların güvenilir ve tekrarlanabilir olmasını sağlamak amacıyla sistematik ve dikkatli bir şekilde hazırlanmıştır.

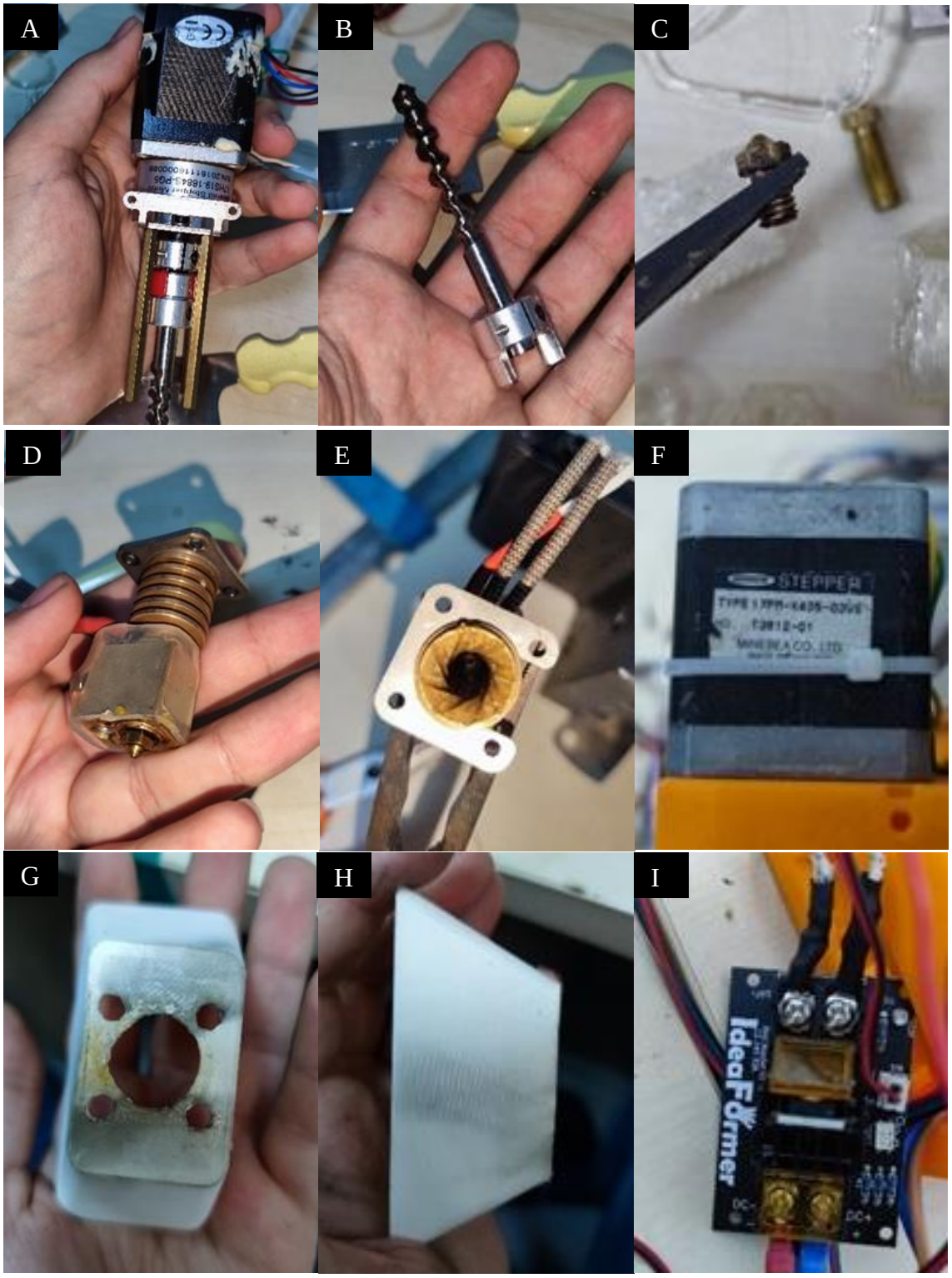
3.1 Kullanılan 3B Yazıcı Tanıtımı

Bu çalışmada, Malkoç'un (2020) yüksek lisans tezinde tasarlanan ekstrüderli 3B yazıcı kullanılmıştır. Bu tür yazıcılar, granül plastiği eritip, nozuldan basarak üç boyutlu nesneler oluşturur. Ekstrüder, bu sürecin kritik bir bileşenidir ve şekil 3.1 ve 3.2'de gösterildiği gibi bir dizi parçadan oluşur: sürücü dişli, filament yolu, ısıtma bloğu ve nozul. Filament, sürücü dişli tarafından itilir ve granül yolu boyunca yönlendirilir. Isıtma bloğu, granülün erimesi için gerekli olan ısının sağlandığı yerdir. Eritilmiş granül, nozuldan çıkar ve yüzey üzerinde katman katman basılır.



Şekil 3.1 Yazıcı dış görüntüleri

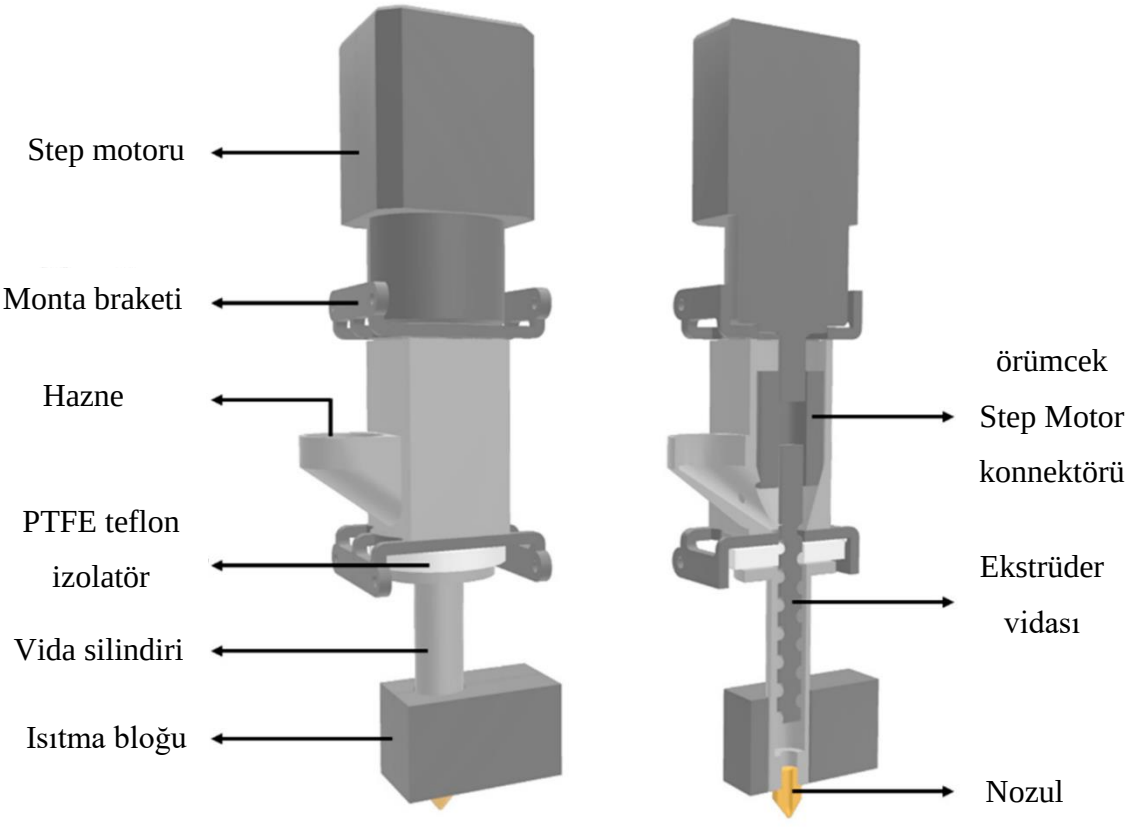
Ekstruderli 3B yazıcılar hem yüksek hassasiyetli baskılar üretebilme hem de geniş bir malzeme yelpazesiyle çalışabilme yetenekleri nedeniyle popülerdir. Ancak, bu tür bir yazıcı kullanmanın zorlukları da vardır. Özellikle, ekstrüderin doğru bir şekilde kalibre edilmesi ve bakımının yapılması gerekmektedir. Ayrıca, ekstrüderin sıcaklığının ve hızının doğru şekilde ayarlanması da önemlidir, çünkü bu faktörler basım kalitesini ve hızını doğrudan etkiler.



Şekil 3.2 Ekstrüderin sökülmüş parçalar; A: ekstrüder vidası step motoruna bağlamış görseli, B: ekstrüder vidası, C: nozul, D: ekstrüder tipi hotend, E: ekstrüder tipi hotend üst görünüşü, F: step motor, G: granül haznesinin üst görünüşü, H: granül haznesinin yan görünüşü, I: ekstrüder ısıtma ünitesi (mosfet).

Bu çalışmada kullanılan ekstruderli 3B yazıcı, sadece granül malzeme basmaktadır. Granül malzeme kullanmanın bir dizi avantajı bulunmaktadır. Öncelikle, granül malzemeler genellikle filamentlere göre daha ucuzdur, bu da malzeme maliyetlerini önemli ölçüde düşürür. İkincisi, granül malzemeler, filamentlerden daha geniş bir malzeme yelpazesi sunar. Bu, daha fazla malzeme seçeneği ve daha fazla esneklik sağlar.

Bununla birlikte, granül malzeme kullanmanın da bazı dezavantajları bulunmaktadır. Öncelikle, granül malzemelerin ekstrüderden düzgün bir şekilde beslenmesi ve eritilmesi genellikle daha zordur. Bu, ekstrüder ve besleme sistemi üzerinde daha fazla kontrol gerektirir ve daha fazla bakım ve kalibrasyon gerektirebilir. İkincisi, bazı granül malzemeler filamentlerden daha düşük erime noktasına sahip olabilir, bu da yazıcının sıcaklık ayarlarının daha hassas olmasını gerektirebilmektedir.



Şekil 3.3 Pelet ekstrüderinin şematik gösterimi (Kılınç, 2021).

Şekil 3.3 incelendiğinde, ekstrüderin ve granül besleme sisteminin konumu ve tasarımı açıkça görülmektedir. Ekstrüder, yazıcının üst kısmında yer alır ve granül malzemeyi alıp eritir. Eritilmiş malzeme, yazıcının alt kısmında bulunan nozuldan çıkar ve istenen şekli oluşturacak şekilde tablaya basılır. Granül besleme sistemi, malzemeyi ekstrüdere taşır ve sürekli bir basım işlemi sağlar. Bu tasarım, granül malzemelerin düzgün bir şekilde beslenmesini ve ekstrüderin istikrarlı bir şekilde çalışmasını sağlar.

Yazılım olarak, şekil 3.4'te gösterildiği gibi Adriano kartı kullanıp Marlin altyapısı ile kontrol edilmektedir. Marlin, açık kaynaklı bir 3B yazıcı yazılımıdır ve genellikle ekstruderli 3B yazıcılarla kullanılır. Bu yazılım, yazıcının hareketini kontrol eder ve basım işlemini yönetir. Marlin'in en önemli özelliklerinden biri, geniş bir donanım yelpazesiyle uyumluluk ve özelleştirilebilirliktir. Ayrıca, yazıcıyı ayrıntılı olarak kontrol etme ve yazdırma işleminin her yönünü ayarlama yeteneği sağlar.



Şekil 3.4 kullanılan Adriano kartı ve güç kaynağı

Marlin'in bir başka önemli özelliği de yazıcı üzerinde tam kontrol sağlama yeteneğidir. Kullanıcı, yazdırma hızı, ekstrüder sıcaklığı, katman yüksekliği ve diğer birçok parametre üzerinde kontrol sahibi olabilir. Bu, yazıcıyı belirli bir uygulama için özelleştirmek ve en iyi baskı sonuçlarını elde etmek için büyük bir esneklik sağlar.

Marlin ayrıca, yazıcıyı ağ üzerinden kontrol etme yeteneğine de sahiptir. Bu, kullanıcının yazıcıyı uzaktan izlemesine ve kontrol etmesine olanak sağlar, bu da baskı işlemini daha

verimli ve esnek hale getirir. Ayrıca, Marlin'in geniş bir topluluk desteği vardır, bu da kullanıcıların sorunları çözme ve yazılımı en iyi şekilde kullanma konusunda yardımcı olur.

Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan ekstruderli 3B yazıcı, granül malzemeleri basma yeteneği ve Marlin yazılımının kullanımı ile etkili bir 3B baskı çözümü sunmaktadır. Granül malzemelerin kullanılması, daha geniş bir malzeme yelpazesi ve düşük maliyetli baskı seçenekleri sağlar, ancak ekstrüder ve besleme sistemi üzerinde daha fazla kontrol gerektirebilir. Marlin yazılımı, yazıcı üzerinde tam kontrol ve özelleştirilebilirlik sağlar, bu da belirli uygulamalar için yazıcıyı özelleştirmek ve en iyi baskı sonuçlarını elde etmek için büyük bir esneklik sağlar. Bu faktörlerin hepsi, bu 3B yazıcının etkin ve esnek bir 3B baskı çözümü sunmasını sağlar.

3.2 3B Yazıcı Bakımı ve Hazırlaması

3B yazıcıların bakım ve hazırlama süreçlerini incelerken, özellikle kabloların düzenlenmesi, kontrol ünitesinin korunması, sürücülerin doğru şekilde bağlanması, ısı kontrolü ve yüzey temizliği konularına odaklanmaktadır.

3.3 Kabloların Düzenlenmesi ve Kontrol Ünitesinin Korunması

3B yazıcıların karşılaştığı ilk ve en yaygın sorunlardan biri, kabloların düzensiz ve kontrol kartının toz maruz kalmasıdır. Toz, elektronik cihazlar için önemli bir sorun oluşturabilir çünkü toz birikintisi, devrelerin kısa devre olmasına sebep olabilir. Bu durum, yazıcının ömrünü önemli ölçüde kısaltabilmektedir.



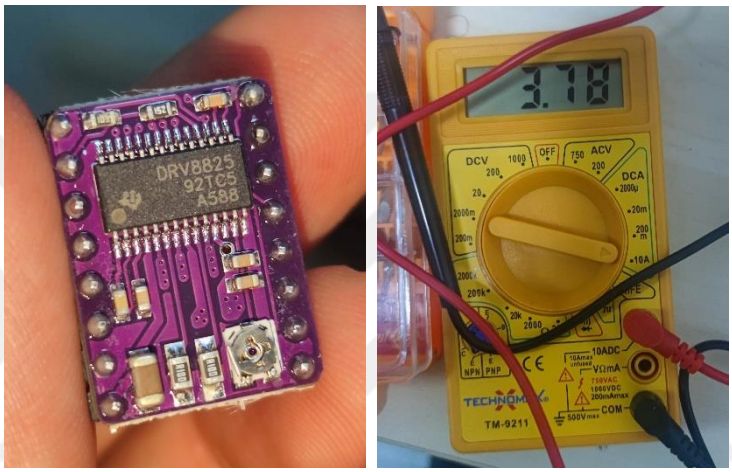
Şekil 3.5 İyileştirilmiş yazıcı görseli.

Bu sorunun çözümü şekil 3.5'te gösterildiği gibi, yazıcı kablolarının düzenli ve tertipli bir şekilde bağlanmasını ve kontrol kartının bir kutu içerisine alınarak korunmasını içerir. Kabloların düzgün bir şekilde düzenlenmesi, onların toza ve diğer partiküllere maruz kalmasını önlerken, kontrol kartının kutulanması da hem tozdan hem de dış etkenlerden

korunmasını sağlar. Ayrıca, kontrol kartının aşırı ısınmasını önlemek için, kutuya fanlar eklenmiştir. Bu fanlar, kontrol kartının uzun süreli ve etkin bir şekilde çalışmasını sağlar.

3.3.1 Sürücülerin doğru bağlanması

3B yazıcılarda, yanlış kablo bağlantısı ve yanık sürücüler, cihazın yanlış veya hatalı çalışmasına neden olabilir şekilde 3.6'da gösterildiği gibi. Yanlış kablo bağlantısı, yazıcının hareketlerinin kontrol edilmesini güçleştirirken, yanık sürücüler de yazıcının performansını olumsuz etkileyebilmektedir.

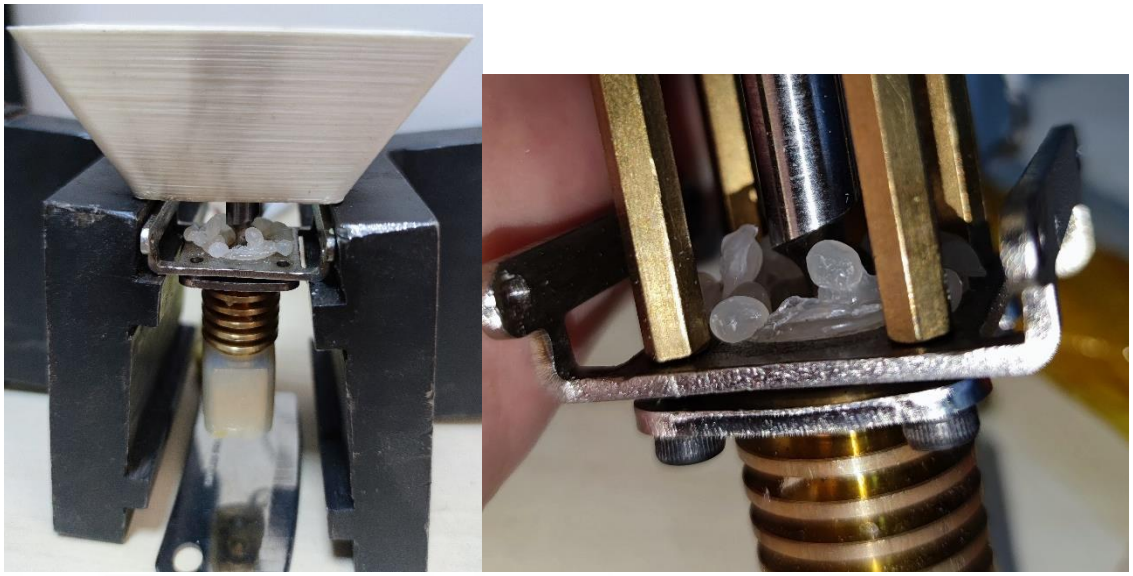


Şekil 3.6 Yanık sürücü tespiti

Bu sorunun çözümü, sürücülerin değiştirilmesi ve doğru şekilde bağlanmasını içerir. Değiştirilen sürücüler, yazıcının hareketlerinin doğru şekilde kontrol edilmesini sağlarken, doğru kablo bağlantıları, cihazın genel performansını iyileştirir.

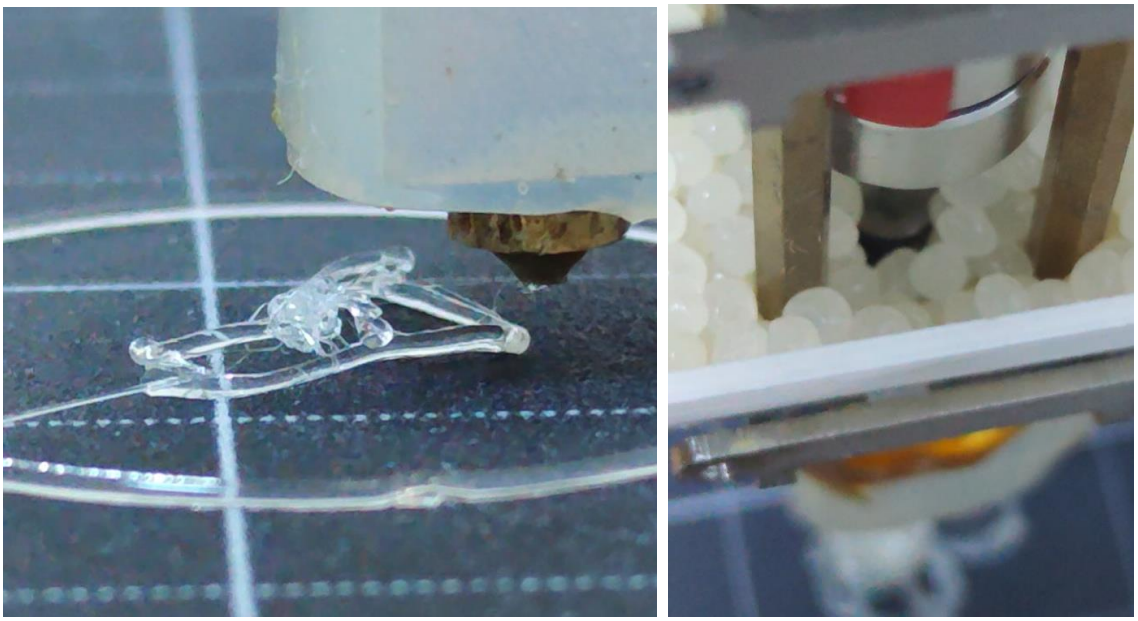
3.3.2 Isı kontrolü ve malzeme tıkanıklığının önlenmesi

3B yazıcılar, işlevlerini gerçekleştirebilmek için yüksek ısılara ihtiyaç duyarlar. Ancak bu yüksek ısı, bazı durumlarda, yazıcının düzgün çalışmasını engelleyebilir. Özellikle, granüllerin vida mekanizması ile hazneden alınıp nozula gönderilmeden önce eriyerek tıkanıklığa yol açma problemi şekil 3.7'de gösterildiği gibi.



Şekil 3.7 Granül tıkanıklığı

Bu durum, yazıcının sürekli ve doğru çıktı vermesini engeller ve genellikle kullanılan malzemenin erime sıcaklığının, yazıcının çalışma sıcaklığından düşük olması durumunda ortaya çıkar. Malzeme, hazneden alınırken erir ve bu durum, malzemenin düzgün bir şekilde nozula ulaşmasını engeller. Bu sorun, yazıcının performansını olumsuz etkiler ve üretim sürecini kesintiye uğratır şekil 3.8'de gösterildiği gibi.



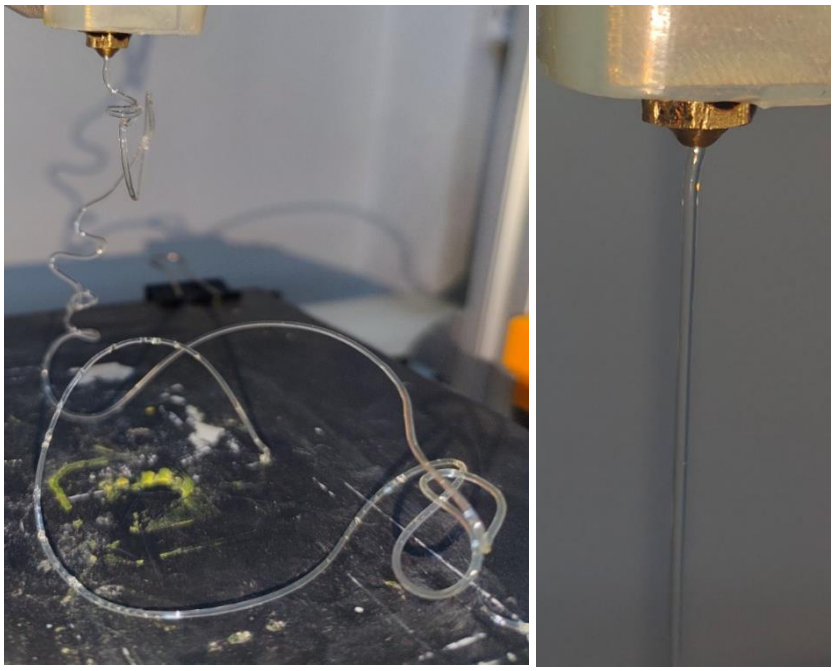
Şekil 3.8 Granül tıkanığı soncunda yaşanan başarısız kesintili baskı

Bu sorunu çözmek için, malzemenin erime sıcaklığına uygun bir ısı ayarı yapılması önemlidir. Yazıcı, kullanılan malzemenin erime sıcaklığını aşacak şekilde ayarlanmamalıdır. Bu, malzemenin erken erimesini önler ve tıkanıklık sorununu çözer.

Ayrıca, yazıcı çalışmıyor olduğu zamanlarda ısıtıcının kapalı tutulması, ısının hazneye doğru yükselmesini ve gereksiz yere enerji tüketimini önler. Bu hem enerji verimliliğini artırır hem de ısınma ve soğuma döngülerinin yazıcı üzerindeki aşındırıcı etkisini azaltır. Sonuç olarak, malzemenin erime sıcaklığına uygun ısı ayarları ve yazıcının çalışmıyor olduğu zamanlarda ısıtıcının kapalı tutulması, malzemenin erken erimesini ve tıkanıklık sorununu önlemek için etkili stratejilerdir. Bu yaklaşımlar, yazıcının performansını iyileştirir ve üretim sürecinin sürekliliğini sağlar.

3.3.3 Malzeme akışının düzenlenmesi

Nozuldan çıkan malzemenin düzensiz olması ve hava boşlukları içermesi, 3B baskıda önemli bir sorundur. Bu sorun, baskının kalitesini ve doğruluğunu etkileyebilir. Bu durum genellikle, nozuldan çıkan malzemenin hızının ve sıcaklığının doğru şekilde ayarlanmamasından kaynaklanır.

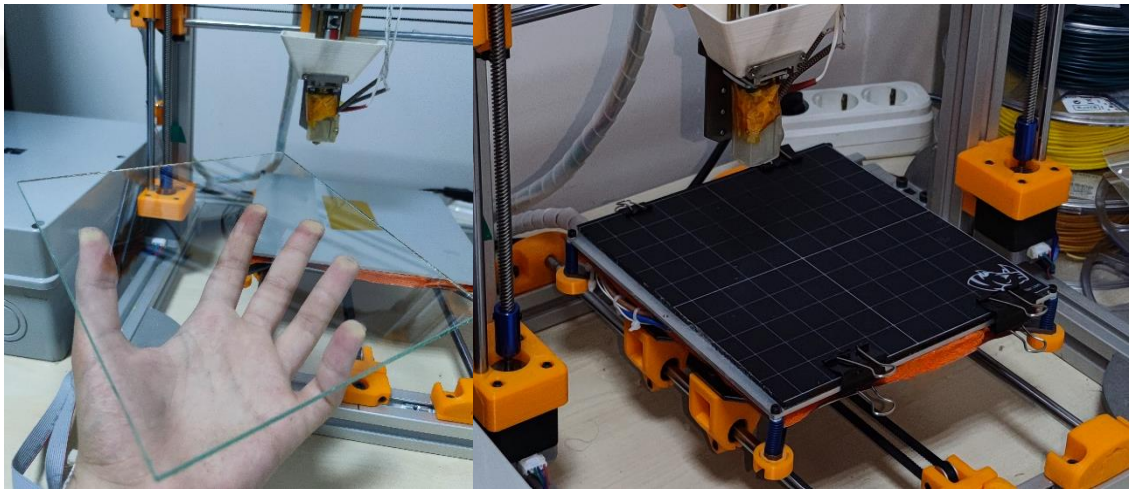


Şekil 3.9 Önceki ve sonraki çıktının görüntüsü

Bu sorunun çözümü, hız ve sıcaklık ayarlarının deneysel bir yaklaşımla belirlenmesi ve optimize edilmesidir. Bu, nozuldan çıkan malzemenin düzensizliğini ve hava boşluklarını azaltır. Ayrıca, bu ayarlamalar, Şekil 3.9'da gösterildiği gibi baskının kalitesini ve doğruluğunu önemli ölçüde artırır.

3.3.4 Yazıcı yatağının temizlenmesi ve yapışkanlı etiket kullanımı

3B yazıcıların yatakları, sürekli kullanımdan dolayı kirlenebilir ve bu durum, baskıların kalitesini olumsuz etkileyebilir. Ayrıca, baskı sırasında malzemenin düzgün bir şekilde yapışabilmesi için, Şekil 3.10'da yatağın düzgün bir şekilde hazırlanması gerekmektedir.



Şekil 3.10 Yatağın kaplanmış ve temizlenmiş son hali

Bu sorunun çözümü, yazıcı yatağının düzenli olarak temizlenmesi ve yeni bir yapışkanlı etiket kullanılmasıdır. Düzenli temizlik, yatakta biriken toz ve diğer partikülleri temizlerken, yeni bir yapışkanlı etiket, baskı sırasında malzemenin düzgün bir şekilde yapışmasını sağlar. Bu, baskıların kalitesini artırır ve 3B yazıcıların genel performansını iyileştirmektedir.

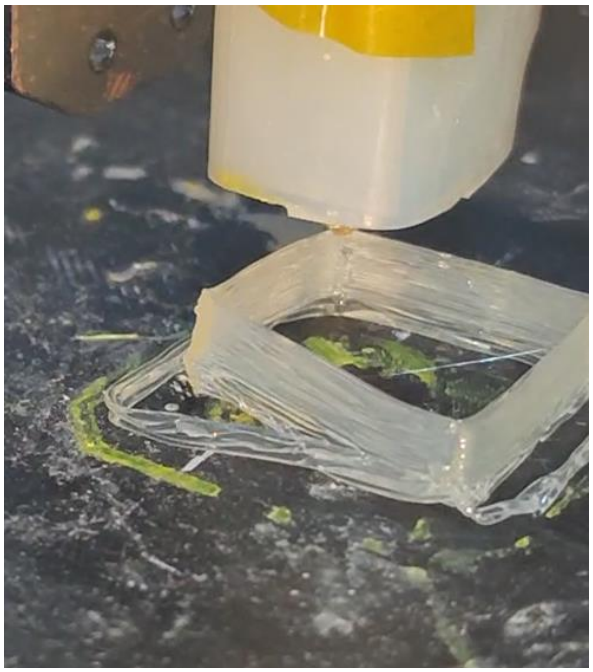
Sonuç olarak, 3B yazıcıların bakımı ve hazırlanması, bir dizi farklı süreci ve adımı içerir. Bu süreçler ve adımlar, 3B yazıcıların etkin ve verimli bir şekilde çalışabilmesi için önemlidir. Bu tezde incelenen adımlar, 3B yazıcıların bakım ve hazırlama süreçlerini daha iyi anlamak ve bu süreçleri optimize etmek için bir çerçeve sağlamaktadır.

3.4 Yazıcı Kalibrasyonu ve Ayarları

Gelişmekte olan 3B yazıcı teknolojisi, geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Ancak, teknolojinin etkili bir şekilde kullanılması, yazıcı ayarlarının ve kalibrasyonunun doğru bir şekilde gerçekleştirilmesini gerektirir. Bu kısımda, bir 3B yazıcının uygun boyutlandırma, ekstrüzyon oranı ve katman kalınlığı ile ilgili ayarları ve kalibrasyonlarını ele almayı amaçlamaktadır.

3.4.1 Yazıcı boyutlandırma ve koordinat tanımlama

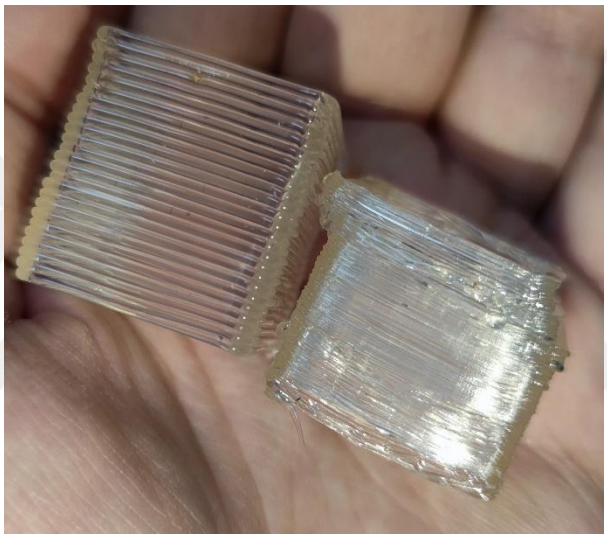
Yazıcının doğru bir şekilde boyutlandırılması ve koordinatlarının tanımlanması, kalibrasyonun ilk adımlarındandır. Öncelikle, yazıcının X, Y ve Z eksenlerindeki koordinatları tanımlanmalıdır. Z ekseni, düz bir yatakla karşılanmalıdır. nozulun yatakla doğru bir mesafede olmaması durumunda, nozul ya yatağı yakıp deler, ya da yüksekten başlayıp yanlış çıktı alır. Bu sorunu çözmek için, yatağın farklı noktalarında manuel olarak referans alınarak Z ekseninin düzgünlüğü sağlanır. Bu süreç, her baskı alınmadan önce gerçekleştirilmelidir. Gelecekte, otomatik mesh eklemesi ile bu sürecin otomatikleştirilmesi önerilir. Şekil 3.11'de yapışmamış ve basmaya yüksekten başlamış bir çıktı örneğidir.



Şekil 3.11 Yanlış koordinat tanımlanmış parça örneği.

3.4.2 Ekstrüzyon oranının ayarlanması

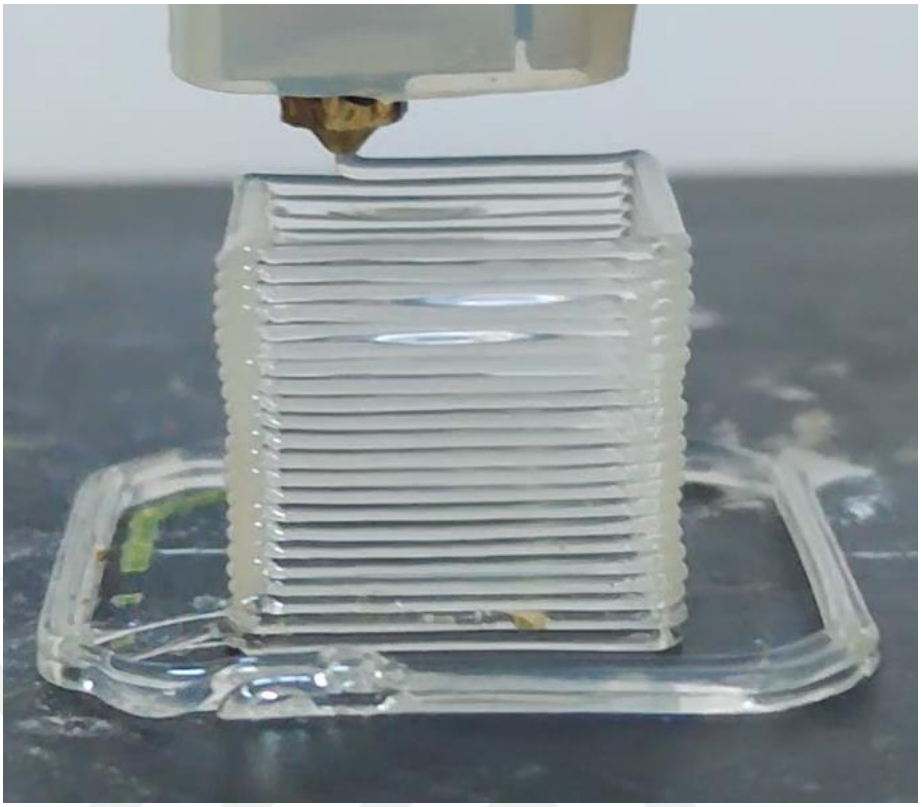
Ekstrüzyon oranı, bir 3B yazıcının verimliliği ve doğruluğu için hayati bir faktördür. Her yazıcının ekstrüzyon oranı farklı olabilir ve yanlış bir ekstrüzyon oranı girilmesi durumunda, kesintiler ya da fazla kalın çıktı alabiliriz. Ekstrüzyon oranını doğru bir şekilde belirlemek için deneysel bir yaklaşım önerilmektedir. Bu süreçte, belirli bir ekstrüzyon oranı ile bir çıktı alınır ve sonuç ölçülür. Ardından, oranın istenen katman kalınlığı ve yüksekliği elde etmek için orantılı bir şekilde ayarlanması gerekmektedir. Şekil 3.12'de gösterildiği gibi yanlış ve doğru ekstrüzyon oranı tanımlanmış örneği sunulmuştur.



Şekil 3.12 Yanlış koordinat atanmış parça kıyaslaması

3.4.3 Katman kalınlığı

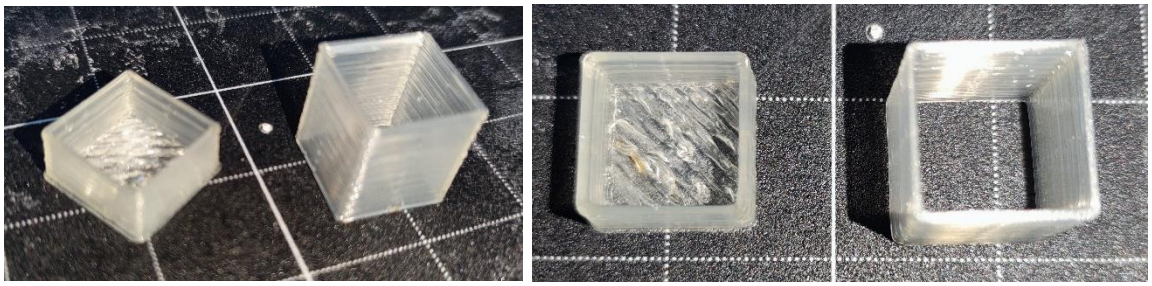
Katman kalınlığı, bir 3B yazıcının çıktısının kalitesini belirleyen bir diğer önemli faktördür. Genellikle, katman kalınlığının nozul çapının %70 ile %50 arasında olması önerilir. Bu oran hem çıktının kalitesini hem de yazıcının genel performansını optimize eder olup şekil 3.13'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.13 Katman örneği.

3.4.4 Yatağın temizliği

3B yazıcının baskı yatağının temiz ve kalıntısız olması, başarılı bir baskı işlemi için oldukça önemli. Yatakta bulunan kalıntılar veya kirletici maddeler, baskının düzgün bir şekilde tamamlanmasını engelleyebilir. Ayrıca, kullanılan granül plastik türüne bağlı olarak, yatağa yapışmama sorunları yaşanabilir. Bu durumda, baskı yatağının uygun bir şekilde hazırlanması ve temizlenmesi, bu tür sorunları önlemek için önemlidir.



Şekil 3.14 Doğru kalibrasyon yapılmış örneği

Sonuç olarak, 3B yazıcı teknolojisinin doğru bir şekilde kullanılabilmesi için, yazıcının boyutlandırılması, ekstrüzyon oranının doğru bir şekilde belirlenmesi, katman kalınlığının ayarlanması ve baskı yatağının temizliği gibi faktörlerin dikkatlice değerlendirilmesi gerekmektedir. Şekil 3.14'te gösterildiği gibi kalibrasyon yönetimleri hassas oldukça daha iyi sonuçlar elde edilmektedir.

3.5 Granül Çeşitliliği ve Seçimi

Bu çalışmada, farklı plastik granülleri ve onların 3B yazıcı performansları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kullanılan plastik granülleri arasında D-Basf Ultramid® (PA), REPSOL PRIMEVA® P1820C EVA copolymer, Repol H110MA, SABIC® PP PHC31-81PP IMPACT COPOLYMER ve PLA bulunmaktadır.

3.5.1 D-Basf Ultramid® (PA) plastik granülleri

D-Basf Ultramid® (PA) poliamid (PA) bazlı bir termoplastik olup otomotiv, elektrik ve elektronik, inşaat ve tüketici malları gibi birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.15'teki malzemenin erime sıcaklığı genellikle 220°C- 300°C arasında değişmekte olup kullanılan granülün (Ultramid® T) erime sıcaklığı 295°C'dır. Ancak, bu çalışmada kullanılan yazıcının maksimum sıcaklık limiti 260°C olduğu için, Ultramid® granülleri tamamen erimeyerek yazıcının tıkanmasına neden olmuştur şekil 3.16'da gösterildiği gibi. Bu durum, malzeme seçiminin yazıcı özelliklerine uygun olması gerektiğini göstermektedir ve projenin başarısını doğrudan etkileyebilmektedir.



Şekil 3.15 D-basf PA granülleri.



Şekil 3.16 Erimeyen D-basf PA görseli.

3.5.2 REPSOL PRIMEVA® P1820C EVA kopolimer plastik granülleri

Etilen Vinil Asetat (EVA) kopolimeri, genellikle yüksek darbe direnci, esneklik ve kimyasal direnç özellikleriyle bilinir. Bu özellikler, EVA'yı ayakkabı tabanları, spor ekipmanları ve ambalaj malzemeleri gibi çok çeşitli uygulamalar için ideal bir seçenek haline getirir. REPSOL PRIMEVA® P1820C, özellikle yüksek Vinil asetat içeriği ve mükemmel optik özellikleri ile bilinen bir EVA kopolimeri türüdür. Polimerin ayrışmasını önlemek için önerilen erime sıcaklığı 200ºC'nin altında, bu da çoğu 3B yazıcıda kullanılabilmesini sağlar.

Bu çalışmada, şekil 3.17'de gösterildiği gibi EVA copolymer REPSOL PRIMEVA® P1820C plastik granülleri ile yapılan 3B baskılar, malzemenin erime sıcaklığının yazıcı ile uyumlu olmasına rağmen, istenen şekil ve sonucun elde edilemediği durumlarla karşılaşıldı. Bu durum, malzemenin işleme özelliklerinin yanı sıra baskı parametrelerinin ve ekipman ayarlarının 3B baskı sonuçları üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.17 REPSOL PRIMEVA® P1820C EVA granülü

Sonuç olarak, EVA copolymer REPSOL PRIMEVA® P1820C'nin 3B baskı için bir malzeme olarak potansiyeli vardır, ancak malzemenin özelliklerini ve işleme gereksinimlerini dikkate almak ve baskı parametrelerini buna göre ayarlamak önemlidir. Bu bulgular, malzeme seçiminin ve işlem parametrelerinin 3B baskı sonuçları üzerindeki önemli etkisini vurgular ve gelecekteki araştırmalar için değerli bir perspektif sunar.

3.5.3 Repol H110MA plastik granülleri

Repol H110MA şekil 3.18'de gösterildiği gibi, genellikle enjeksiyon kalıplamada kullanılan bir polipropilen granülüdür ve geniş bir erime sıcaklığı aralığına sahip olabilmektedir. Bu çalışmada, erime sıcaklığı uyum sağlamış olmasına rağmen, istenen şekil ve sonuç elde edilememiştir. Ayrıca, bu granüllerle yapılan baskılarda yapışma sorunu yaşanmıştır. Bu, malzemenin yüzey enerjisi ve yapışma özelliklerinin, katmanlar arası bağlanma ve nihai ürün kalitesi üzerinde kritik bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.18 Repol H110MA Plastik Granülü.

3.5.4 SABIC® PP plastik granülleri

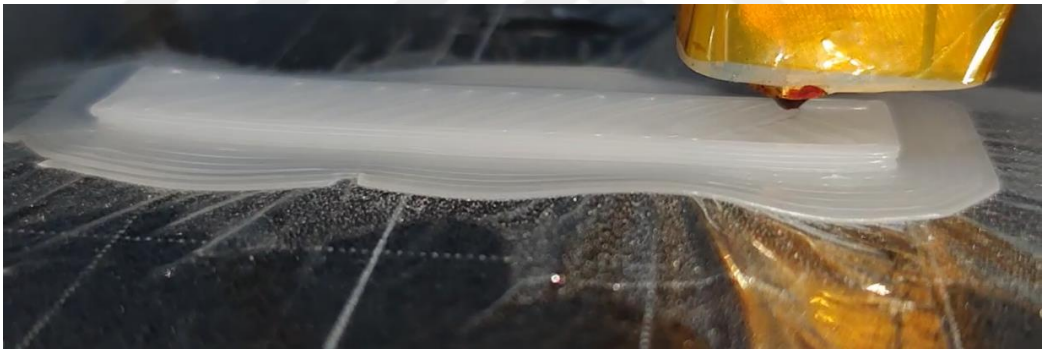
SABIC® PP PHC31-81PP IMPACT COPOLYMER, polipropilen bazlı bir termoplastik malzemedir. Gelişmiş darbe direnci ve yüksek ısı deformasyonu direnci özellikleri nedeniyle, bu malzeme otomotiv sektöründen ambalajlama, tüketici ürünleri ve beyaz eşya üretimine kadar çok çeşitli uygulamalarda kullanılır. Genel erime sıcaklığı aralığı, 190°C ile 240°C arasında değişmektedir. Şekil 3.19'da SABIC® PP PHC31-81PP IMPACT COPOLYMER' 230°C'ta erimekte olup çoğu 3B yazıcıda kullanılabilir olduğunu gösterir.



Şekil 3.19 SABIC® PP Plastik Granülü.

Bu çalışmada, SABIC® PP PHC31-81PP IMPACT COPOLYMER granülleri ile yapılan 3B baskılar, malzemenin erime sıcaklığının yazıcı ile uyumlu olmasına rağmen, istenen şekil ve sonucun elde edilemediği durumlarla karşılaşıldı. Ayrıca, bu malzeme ile baskı yaparken önemli bir yapışma sorunu yaşandı. Bu durum, polipropilen malzemelerin kendine özgü yapışma özelliklerinden kaynaklanıyor olabilmektedir. Polipropilen malzemeler genellikle sadece kendilerine yapışma eğilimindedirler ve bu durum, ilk katmanın yatak yüzeyine tam olarak yapışmaması durumunda üst katmanların yanlış şekil almasına veya baskı parçasının tamamlanmadan kalkmasına neden olabilmektedir.

Bu çalışmada da benzer bir sorun yaşandı ve baskılar, hem bant yardımıyla hem de PP plastikten yapılmış bir plakya parçası kullanarak yatağa yerleştirildi. Ancak bu çözüm, şekil 3.20,21 ve 22'de gösterildiği gibi bandın baskı sürecinde kalkması ve baskının oval bir şekil alması gibi yeni sorunlara yol açtı, aynı şekil 3.23'te gösterildiği gibi zamanda PP plakasıyla denendiği zaman baskı hiç yapışmadan plakadan çok ince katman alarak kalkmıştır.



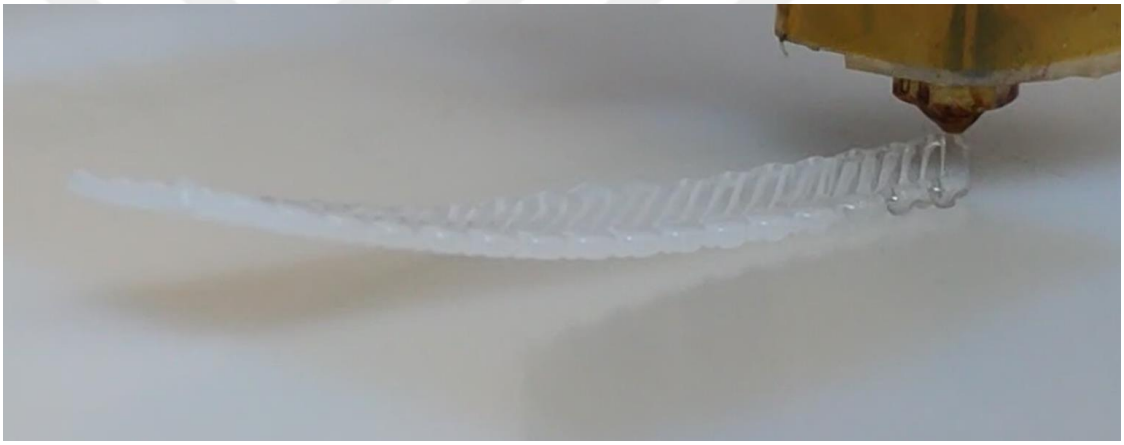
Şekil 3.20 SABIC® PP baskı alırken yataktan kalkması.



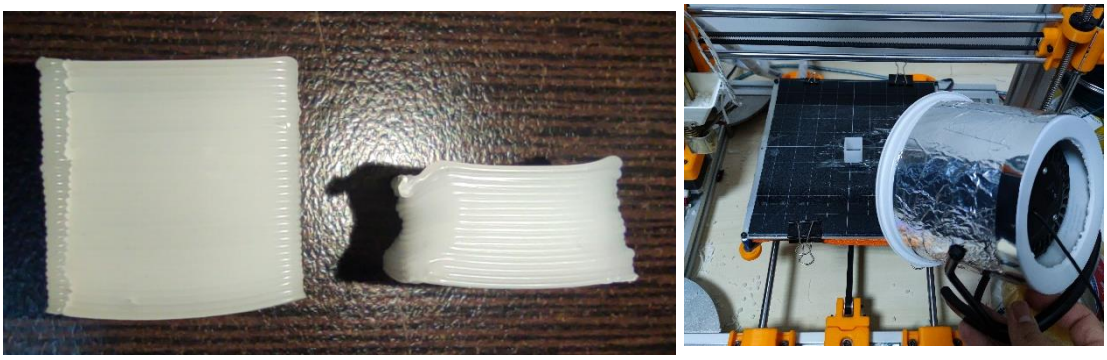
Şekil 3.21 SABIC® PP baskının oval şekil alması.



Şekil 3.22 SABIC® PP tek katmanlı baskı örneği.



Şekil 3.23 Plakası üstünde Sabic PP baskı almak.



Şekil 3.24 Geç soğuma sorununa fan kullanıp kullanılmadığında arasındaki çıktı farkı.

SABIC® PP PHC31-81PP IMPACT COPOLYMER plastik granülleri ile yapılan 3B baskılarda yaşanan başka bir sorun, geç soğuma ve şekil bozukluğudur. Bu sorunun temel sebebi, basılan katmanlar üzerinde yeterli soğutma sağlanamamasıdır. Katmanlar yükseldikçe, malzemenin geç soğuması nedeniyle şekil bozuklukları meydana gelir ve sonuçta baskının kalitesi ve doğruluğu düşer.

Bu çalışmada, SABIC® PP PHC31-81PP plastik granülleriyle yapılan baskılarda, soğutma fanı kullanılmadığı zaman şekil bozukluğu yaşandığı gözlemlenmiştir. Bu tür bir soğutma eksikliği, termal streslerin oluşmasına ve sonuç olarak baskının yapısında ve şeklinde sorunlara neden olur. Bu sorunu çözmek için, baskının üzerine bir soğutma fanı yerleştirilerek istenen anlık soğuma elde edilebilmektedir. Şekil 3.24'te gösterildiği gibi, bu uygulama, baskı kalitesini ve doğruluğunu önemli ölçüde artırmıştır.
Bu durum, malzeme seçiminin yanı sıra yatak yüzeyinin doğru hazırlanmasının ve malzemenin uygun yapışma özelliklerinin 3B baskı sürecinde kritik önem taşıdığını göstermektedir. Polipropilen gibi zorlu malzemelerle çalışırken, özel baskı yüzeyleri veya yapıştırıcılar gibi ek araçlar kullanmak gerekebilmektedir. Bu sonuçlar, malzemenin yapışma özelliklerinin, baskı kalitesi ve başarı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ve bu faktörlerin 3B baskı sürecinde dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

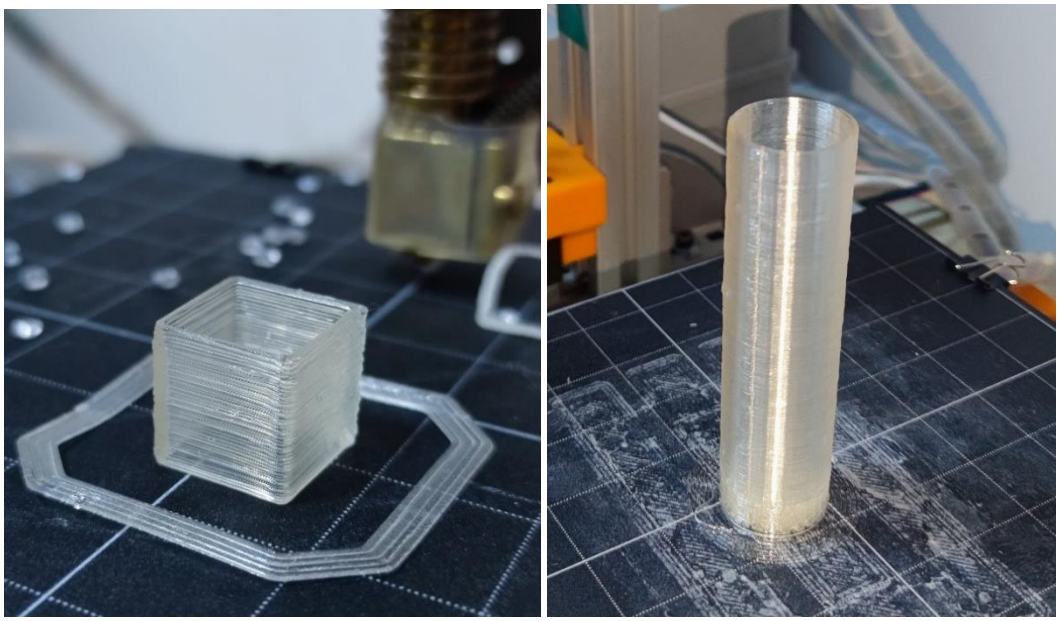
3.5.5 PLA plastik granülleri

PLA, yani Polilaktik Asit, genellikle mısır nişastası, şeker kamışı ve diğer yenilenebilir kaynaklardan üretilen biyolojik olarak parçalanabilir bir termoplastiktir. Çevresel açıdan sürdürülebilir bir seçenek olması, düşük erime sıcaklığı ve genelde kolay işlenebilir olması nedeniyle, şekil 3.25'teki PLA genellikle 3B baskı uygulamalarında tercih edilen bir malzeme olmuştur. Genelde 180-220°C arasındaki erime sıcaklığı, çoğu 3B yazıcıda PLA'nın kullanımına olanak sağlar.



Şekil 3.25 PLA granülü.

Bu tezde, PLA plastik granülleri ile yapılan 3B baskılar için malzemenin erime sıcaklığı, kullanılan yazıcı ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Ancak PLA'nın kendine özgü yapışma özelliklerini de göz önünde bulundurarak, yatak iyi temizlenmiş ve yapıştırıcı (glue stick) kullanılmıştır. Bu da PLA'nın 3B baskıda kullanılabilirliğini ve doğru yüzey hazırlığı ile mükemmel sonuçlar elde edilebileceğini göstermekte şekil 3.26'da gösterildiği gibi.



Şekil 3.26 PLA ile yapılan iyi sonuçları.

PLA'nın biyolojik olarak parçalanabilir özelliği, çevresel etkisini azaltırken, aynı zamanda baskı sonrası atık yönetimini de kolaylaştırır. Ancak, PLA'nın bazı mekanik özellikleri, özellikle yüksek sıcaklık koşullarında ve uzun süreli kullanımda sınırlı olabilmektedir. Bu malzemenin kullanım alanlarını belirli uygulamalara sınırlar ve genellikle prototipler, sanatsal objeler ve kısa ömürlü parçalar için tercih edilir.

Bu kısımda, farklı granül çeşitlerinin 3B baskı performansı üzerindeki etkisini anlamamıza yardımcı olmuştur. Ayrıca, granül seçiminin, erime sıcaklığı, yapışma özellikleri ve şekillendirme kabiliyeti gibi faktörleri dikkate alarak yapılması gerektiğini göstermiştir. Bu nedenle, her 3B baskı uygulaması için en uygun malzemenin seçilmesi, projenin başarısında kritik bir rol oynamaktadır. Her malzemenin kendine özgü özellikleri ve uygulamaları vardır ve bu, malzeme seçim sürecinde göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışma, gelecekteki araştırmalar için bir temel oluşturabilir ve malzeme biliminde ve 3B baskı teknolojilerinde daha iyi anlayış ve bilgi birikimi sağlayabilmektedir.

3.6 Cam Fiber Tanıtımı ve Seçimi

Cam fiber ve polipropilen (PP) fiberler Yüksek mukavemet, düşük ağırlık ve mükemmel kimyasal direnç gibi özelliklerinden dolayı endüstride ve akademik araştırmalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir.

3.6.1 Cam fiber

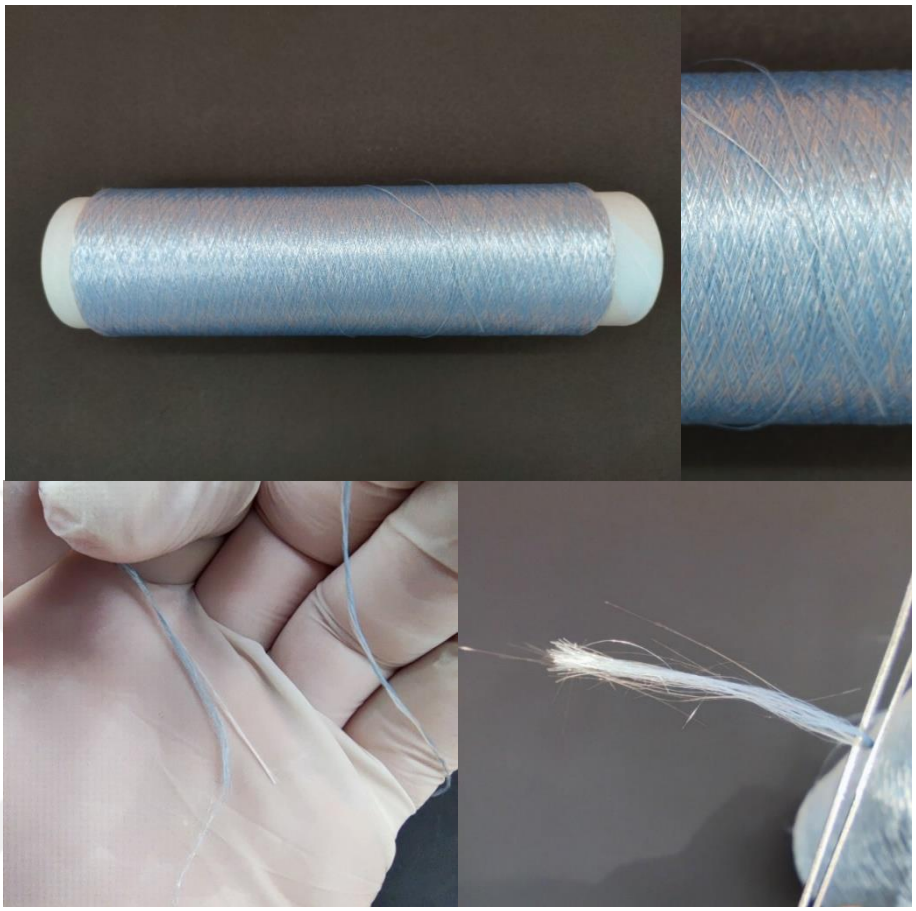
Cam fiber, camın çeşitli bileşenlerinin yüksek sıcaklıkta eritilip soğutulmasıyla oluşan ince, uzun ve esnek ipliklerdir. Bu iplikler genellikle çok sayıda cam filamentinin bir araya getirilmesiyle oluşturulur. Genellikle E-cam, S-2cam, AR- cam, A-cam, D- cam ve C-cam gibi çeşitli türleri bulunur, Çizelge 3.1’de bu cam tiplerin içindeki maddelerinin oranları verilmiştir. Camın yapısal özellikleri ve bu türler arasındaki farklar, cam fiberin geniş bir yelpazede uygulamalar için ideal bir malzeme olmasını sağlayıp bu çalışmada E- tipi cam fiber kullanılmıştır

Çizelge 3.1 Tekstil cam fiberlerinin karışım oranları (Yüksek, 2011).

Cam tipi	A Tipi %	C Tipi %	D Tipi %	E Tipi %	AR Tipi %	S-2 Tipi %
Silikon iki Oksit (SiO2)	63-72	64-68	72-75	52-56	55-75	64-66
Alüminyum Oksit (Al2O3)	0-6	3-5	0-1	12-16	0-5	24-26
Boron üç oksit (B2O3)	0-6	4-6	21-24	5-10	0-8	<0,05
Kalsiyum Oksit, Sönmüş Kireç (CaO)	6-10	11-15	0-1	16-25	1-10	0-0,2
Magnezyum oksit (MgO)	0-4	2-4	-	0-5	-	9,5-10,3
Çinko Oksit (ZnO)	-	-	-	-	-	-
Baryum Oksit (BaO)	-	0-1	-	-	-	-
Lityum Oksit (Li2O)	-	-	-	-	0-1,5	-

Cam fiberin benzersiz özelliklerinden biri, mükemmel mekanik mukavemettir. Yüksek çekme mukavemeti ve sertliğe sahip olan cam fiberler, yapısal uygulamalar için idealdir. Ayrıca, cam fiber düşük termal iletkenlik gösterir, bu da onu termal izolasyon uygulamaları için uygun hale getirir. Cam fiber ayrıca yüksek kimyasal dirence sahiptir ve çoğu asit, baz ve çözücüye karşı dayanıklıdır.

3.6.2 Polipropilen (PP) fiber



Şekil 3.27 PP ve cam fiberi.

Polipropilen veya kısaltmasıyla PP, termoplastik bir polimer olup, geniş bir uygulama yelpazesine sahip olan popüler bir malzemedir. PP fiberler, polipropilenin eritilip soğutulması ve sonrasında çekilmesiyle oluşturulan ipliklerdir. Bu fiberler genellikle beton, asfalt ve plastik ürünler gibi malzemelerin mukavemetini ve dayanıklılığını artırmak için kullanılır.

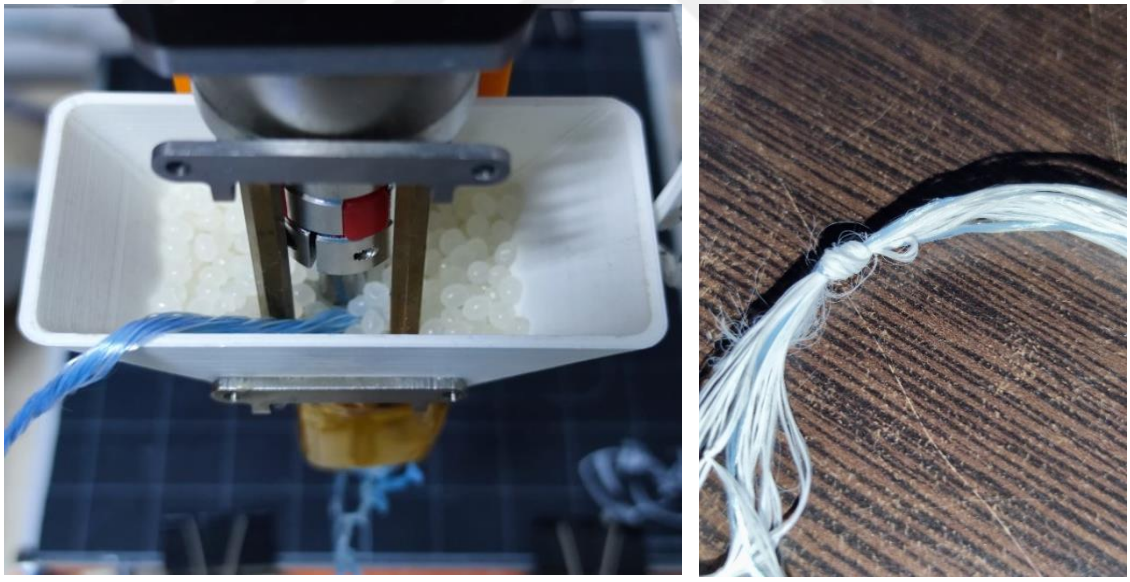
PP fiberler, mükemmel kimyasal direnç, yüksek çekme mukavemeti, düşük yoğunluk ve mükemmel aşınma direnci özelliklerine sahiptir. Ayrıca, polipropilen, su emme özelliği olmadığından, bu tür fiberler çeşitli uygulamalarda suya dayanıklı bir çözüm olarak kullanılır.

Bu çalışmada, cam fiber ve PP fiberlerin bir arada kullanımı incelenmektedir. Her iki tip fiberin kombinasyonu, şekil 3.27'de gösterildiği gibi. Birbirlerinin mekanik ve kimyasal özelliklerini tamamlar ve bir dizi uygulama için ideal bir çözüm sunar. Cam fiber, yüksek mukavemet ve kimyasal direnç sağlarken, PP fiber, aşınma direnci ve su direnci özelliklerini artırır.

Bu tezde, cam fiber ve PP fiberlerin optimal kullanımı için çeşitli deneyler ve analizler yapılacaktır. Bu analizler, bu malzemelerin bir arada kullanımının çeşitli uygulamalardaki performansını anlamak ve optimize etmek için kritik öneme sahiptir.

3.6.3 Ekstruderli yazıcı kullanarak cam ve PP fiberlerin işlenmesi

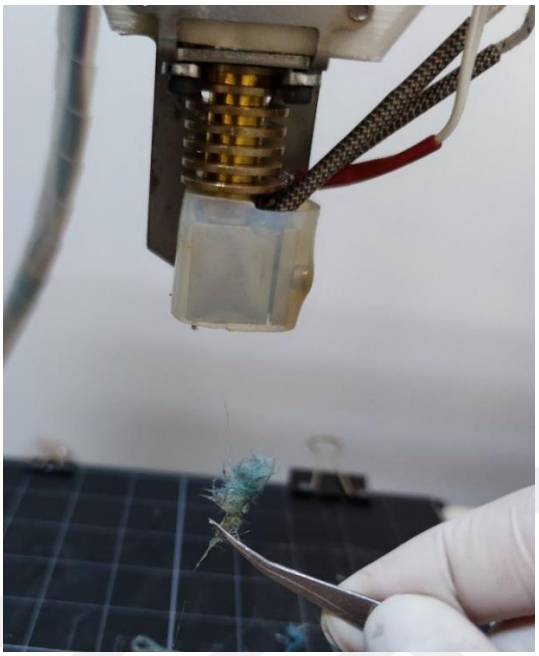
Fiberlerin nispeten ince olması sebebiyle, ekstrüderin bloğunu doldurmak önemli bir süre gerektirmiştir. Bu süreci hızlandırmak adına, fiberler 20 kez katlanarak ip şeklinde ekstrüdere verilmiştir, şekil 3.28'de gösterildiği gibi. Bu yaklaşım, ekstrüderin bloğunu doldurma süresini kısaltmayı amaçlamıştır.



Şekil 3.28 Fiberlerin kat kat sarıma yöntemi.

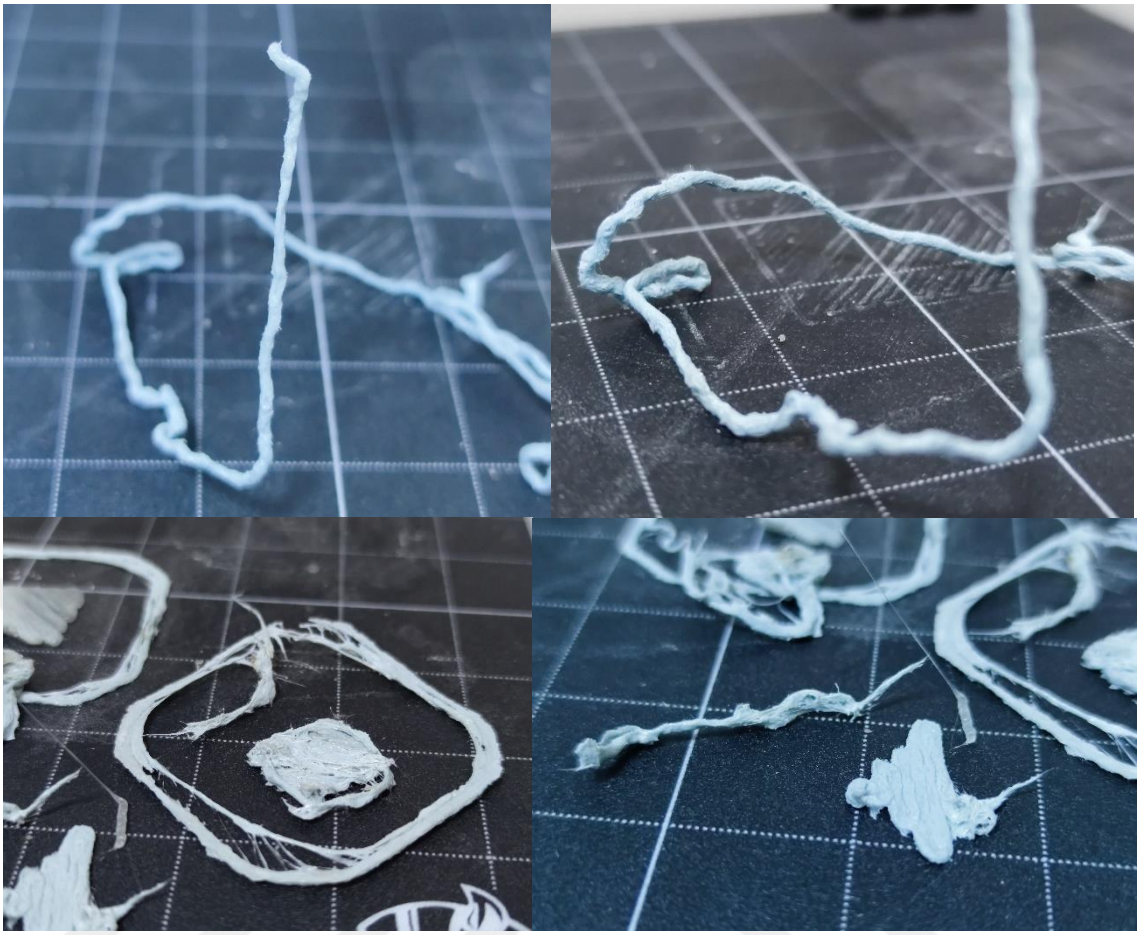
Bununla birlikte, bu işlem cam fiberler için başarısız oldu. Cam fiberlerin düşük sıcaklıklarda erime özelliği olmadığından, ekstrüderin vidalı mekanizması ile alınırken fiberler kırılmış ve bu durum şekil 3.29'da gösterildiği gibi blokun içinde tıkanmalara yol

açmıştır. Bu, çıktının sürekliliğini olumsuz etkilemiş ve istenilen sonucu elde etmeyi zorlaştırmıştır.



Şekil 3.29 Cam fiberlerin tıkanması.

Bir diğer zorluk ise, cam fiberlerin 3B yazıcıyla çıktı alacak kadar eriyik hale gelmemesi oldu şekil 3.30'da gösterildiği gibi. Bu, cam fiberlerin yüksek erime noktası ve termal direncinden kaynaklanmaktadır. Bu durum, cam fiberlerin 3B yazıcı teknolojisi ile işlenmesinin belirli zorlukları olduğunu göstermiştir.



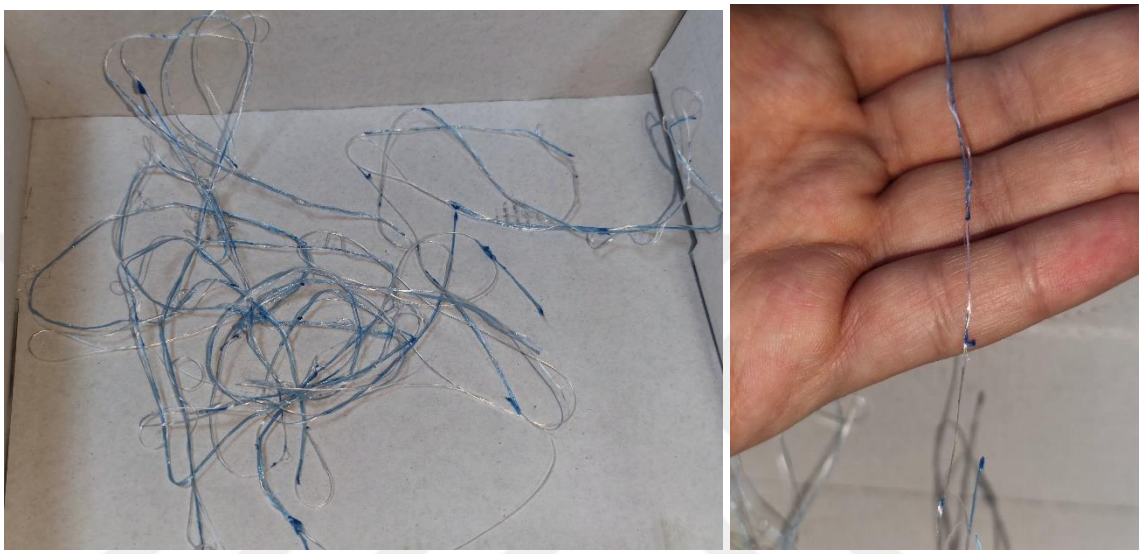
Şekil 3.30 PP ve cam fiber çıktıları.

Bu zorlukları aşmak adına, gelecekte yapılacak çalışmalarda cam ve PP fiberlerin farklı işleme teknikleri ve parametrelerinin kullanılması düşünülmektedir. Cam fiberlerin kırılmasını önlemek ve ekstrüder bloğunda tıkanıklığı azaltmak için fiberlerin işlenme şekli, ekstrüderin sıcaklık ayarları ve besleme hızı gibi faktörler üzerinde değişiklikler yapılabilecektir. Ayrıca, fiberlerin 3B yazıcıyla daha uyumlu hale getirilmesi için belki de yeni tür cam fiberler veya farklı malzemeler kullanılabilmektedir.

Sonuç olarak, bu deney, cam ve PP fiberlerin 3B yazıcıda işlenmesinin belirli zorlukları olduğunu göstermiştir. Ancak, bu zorluklar aynı zamanda gelecekteki araştırmalar için yeni fırsatları da beraberinde getirmektedir. Bu deney, cam ve PP fiberlerin 3B yazıcı teknolojisi ile daha etkin bir şekilde işlenebilmesi için gerekli bilimsel ve teknik bilginin geliştirilmesine yardımcı olacaktır.

3.6.4 Fiberlerin farklı eritme sıcaklıkları

Cam ve PP fiberlerin farklı erime sıcaklıkları, filamenti oluşturma sürecinde önemli bir rol oynar. Isıtmalı blok kullanılarak, maksimum 260°C sıcaklıkta işlem yapabilirken, bu sıcaklık PP fiberlerin erime noktasını aşmaktadır. Ancak, cam fiberlerin erime noktası 1720°C olup, bu durum fiberlerin işlenmesi sürecini zorlaştırır.



Şekil 3.31 Isı görmüş PP ve cam fiberleri.

Bu durum, şekil 3.31'de gösterildiği gibi fiberlerin blok içinden geçerken kırılma veya bozulma olasılığını artırır. Cam fiberlerin yüksek erime noktası, fiberlerin ısıtmalı bloktan düzgün bir şekilde geçişini engeller ve bu da fiberlerin kopmasına veya yüzey kalitesinin bozulmasına neden olabilmektedir.

Fiberlerin katılaştırılması, ısıtmalı blok kullanılarak işlenmesi ve fiberlerin farklı erime sıcaklıkları, bu sürecin önemli unsurlarıdır. Bu aşamaların her birinde karşılaşılan zorluklar, fiberlerin 3B yazıcı filamenti olarak dönüştürülmesi sürecinde geliştirilmesi gereken alanları belirlemektedir. Bu çalışma, bu alandaki ilerlemelerin, 3B yazıcı teknolojilerinde kullanılan malzemelerin çeşitliliğini ve bu teknolojilerin potansiyel uygulamalarını genişletebileceğini vurgulamaktadır.

3.7 Üç Nokta Eğilme Testi İçin Numune Standartları ve Basımı

3.7.1 ASTM-D-790 standardının açıklaması

Üç Nokta Eğilme Testi, malzemelerin eğilme mukavemeti ve elastikiyet modülünün belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir deney yöntemidir. Bu test yöntemi, ASTM-D-790 standardına göre gerçekleştirilir. ASTM-D-790, termoplastik malzemelerin eğilme özelliklerinin değerlendirilmesi için standart bir test yöntemi olarak kabul edilir. Bu standarda göre, test edilecek numune, iki destek noktası üzerinde yer alır ve ortasından bir yük uygulanır. Uygulanan yük, numunenin eğilmesine ve sonunda kırılmasına neden olur. Test sırasında elde edilen veriler, malzemenin eğilme mukavemeti ve elastikiyet modülünün hesaplanmasında kullanılır. Bu standart hem statik hem de tekrarlanan yükler altında malzemenin eğilme özelliklerini değerlendirir.

ASTM-D-790 standardı, eğilme özelliklerini belirleyen iki ana parametreyi ölçer: Eğilme Mukavemeti ve Eğilme Modülü. Eğilme mukavemeti, malzemenin eğilme yükü altında kırılmadan önce ne kadar dayanabileceğini gösterirken, eğilme modülü, malzemenin eğilme yükü altında ne kadar esnek olduğunu gösterir. Bu parametreler, malzeme seçimi ve tasarım sürecinde önemli bir rol oynar.

3.7.2 Numune boyutları ve hazırlığı

Numunenin boyutları, ASTM-D-790 standardına göre belirlenir. Numunenin boyutları, malzemenin eğilme mukavemetinin ve elastikiyet modülünün doğru bir şekilde belirlenebilmesi için önemlidir. Bu tezde kullanılan iki farklı boyuttaki numuneler, (kısa) 3x12.70x**70mm** ve (uzun) 3x12.70x**120mm**'dir. Burada belirtilen boyutlar sırasıyla kalınlık, genişlik ve uzunluğu ifade etmekte olup çizelge 3.2'de bütün numunelerin ölçümü verilmiştir.

Çizelge 3.2 Saf kısa PLA numune sonuçları

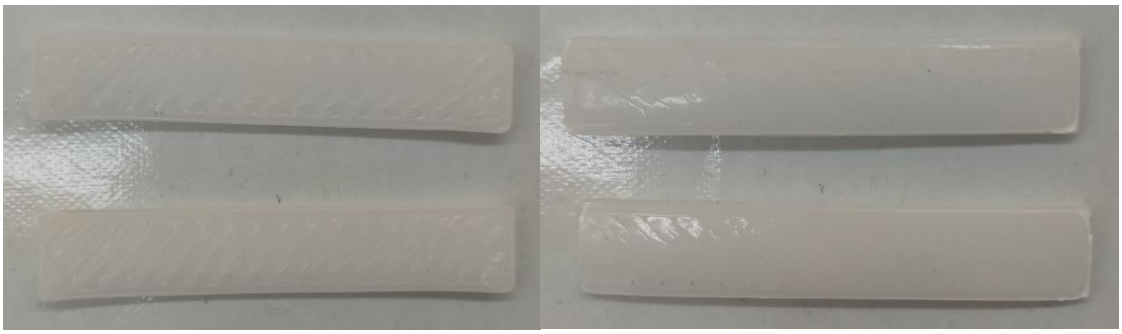
numune türü	Uzunluğu mm	Genişliği mm	Kalımlığı mm
1. saf kısa PLA	70	12,71	3
2. saf kısa PLA	70,01	12,69	3
3. saf kısa PLA	70,03	12,70	3,01
1. kompozit kısa PLA	70,02	12,70	3
2. kompozit kısa PLA	70	12,72	3,02
3. kompozit kısa PLA	69,99	12,68	3
1. saf uzun PLA	120	12,71	3
2. saf uzun PLA	120	12,70	3,01
3. saf uzun PLA	120	12,70	3
1. kompozit uzun PLA	120,01	12,72	3,02
2. kompozit uzun PLA	119,98	12,70	3
3. kompozit uzun PLA	120	12,71	3,01
1. saf kısa PP	70,01	12,70	3
2. saf kısa PP	70	12,71	3
1. kompozit kısa PP	70,02	12,72	3,02
2. kompozit kısa PP	70,03	12,70	3,03
3. kompozit kısa PP	70,04	12,73	3,01

Bu boyutlar, ASTM-D-790 standardına uygun olarak seçilmiştir. 3x12.70x70mm boyutlarındaki numunenin seçilmesi, özellikle daha kısa ve hızlı bir test süresi için tercih edilmiştir. Diğer yandan, 3x12.70x120mm boyutlarındaki numunenin seçilmesi, daha geniş bir deformasyon alanı ve dolayısıyla daha detaylı bir eğilme analizi elde etmek amacıyla yapılmıştır.

3.7.3 Sabic PP ile basılan numunelerin hazırlanması ve detayları

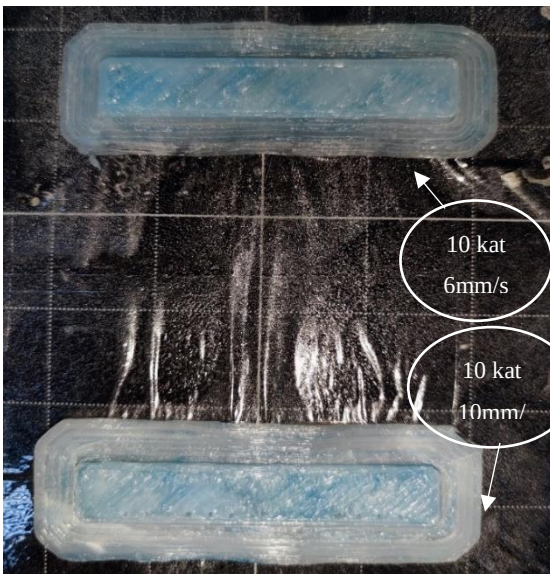
Bu çalışmada, iki tür numune kullanılmıştır: iki saf Sabic PP granül ve üç Sabic PP granül ile cam fiber kompoziti. bu iki numune tipi de belirli bir katman yüksekliği (1,44 mm), katman kalınlığı (0,6 mm), ekstrüzyon oranı (0,67) ve basım hızı (6 mm/s) kullanılarak

şekil 3.32’de gösterildiği gibi basılmıştır. Basım sırasında, numunelerin oval şekil almasını önlemek için bant kullanılmıştır. Bant, numunenin düzgün bir şekil almasını sağlar ve böylece test sonuçlarının daha doğru olmasını sağlar.

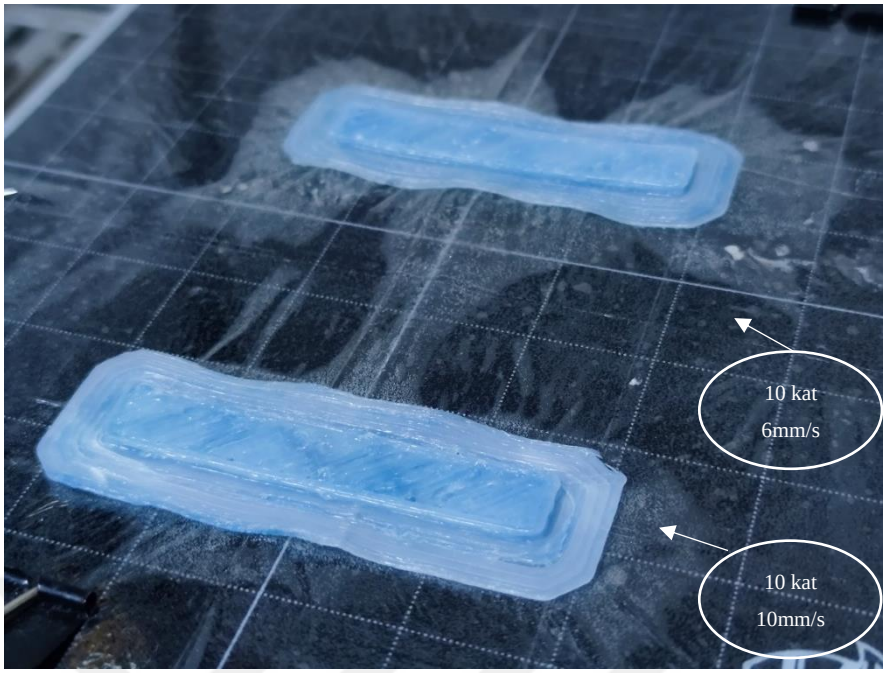


Şekil 3.32 Saf PP'den yapılan 2 numunenin çekimi.

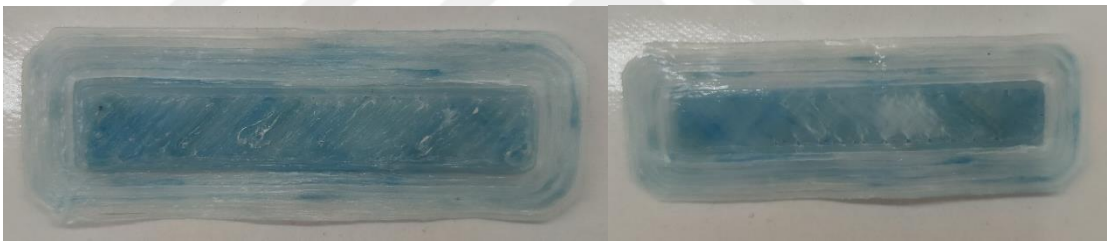
Cam fiber kompozit numuneler, farklı cam fiber miktarları ve basım hızları kullanılarak hazırlanmıştır. Birinci numune, Sabic PP granül ve 10 kat PP cam fiberini şekil 3.35’te gösterildiği gibi 10mm/s hızında içerirken, ikinci numune, aynı cam fiber miktarını ancak 6mm/s hızında içerir, şekil 3.36’da gösterildiği gibi. Üçüncü numune ise, şekil 3.37’de gösterildiği gibi Sabic PP granül ve 20 kat PP cam fiberini 6mm/s hızında içerir. Ayrıca şekil 3.33 ve 3.34’te numunelerin yapışmama sorununa karışı PP bandı ile nasıl basıldığını gösterilmiştir.



Şekil 3.33 PP granül + 10 kat PP cam fiberin farklı hızlardaki üretimi (üst görünüş).



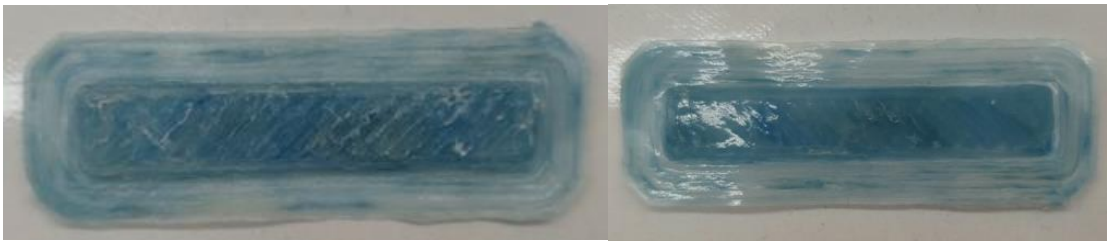
Şekil 3.34 PP granül + 10 kat PP cam fiberin farklı hızlardaki üretimi.



Şekil 3.35 PP granül + 10 kat PP cam fiberin 6mm/s hızında numune çekimi.



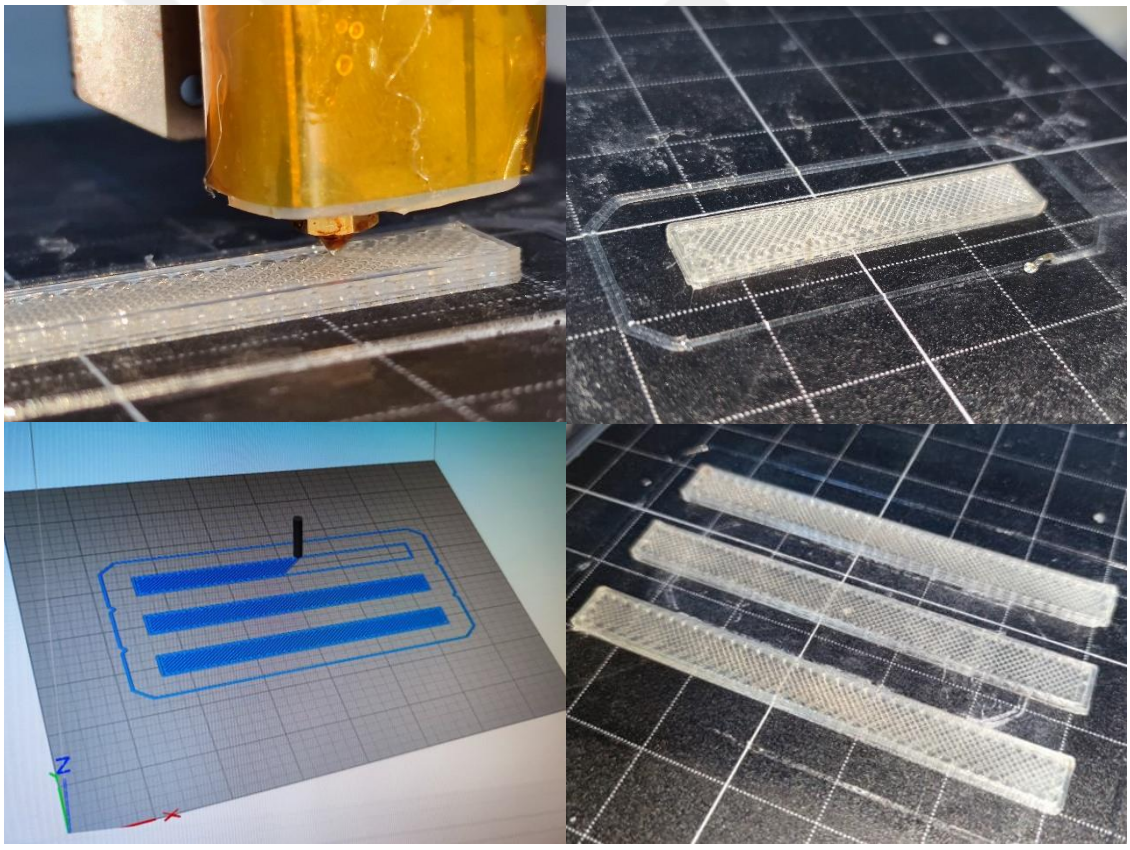
Şekil 3.36 PP granül + 10 kat PP cam fiberin 10mm/s hızında numune çekimi.



Şekil 3.37 PP granül + 20 kat PP cam fiberin 6mm/s hızında numune çekimi.

3.7.4 PLA ile basılan numunelerin hazırlanması ve detayları

Bu çalışmada, iki tür PLA numune kullanılmıştır: saf PLA granül ve PLA granül ile cam ve PP fiber kompoziti. Her iki numune tipi de belirli bir katman yüksekliği (1,44 mm), katman kalınlığı (0,6 mm), ekstrüzyon oranı (0,67) ve basım hızı (6 mm/s) kullanılarak şekil 3.38'de gösterildiği gibi basılmıştır.

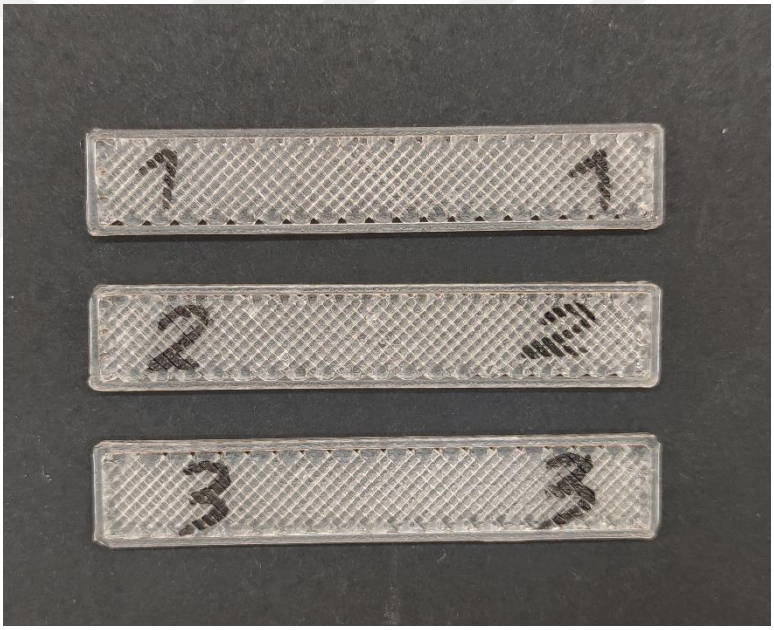


Şekil 3.38 Uzun ve kısa saf PLA numunelerin basımı.

Saf PLA granüllerinden oluşan numuneler, şekil 3.40'de gösterildiği gibi 3 tane kısa (3x12.70x70mm) ve şekil 3.39'da gösterildiği gibi, 3 tane uzun (3x12.70x120mm) olarak hazırlanmıştır. Numuneler, doğru kalibrasyon ve temiz bir yatak kullanılarak elde edilmiştir.

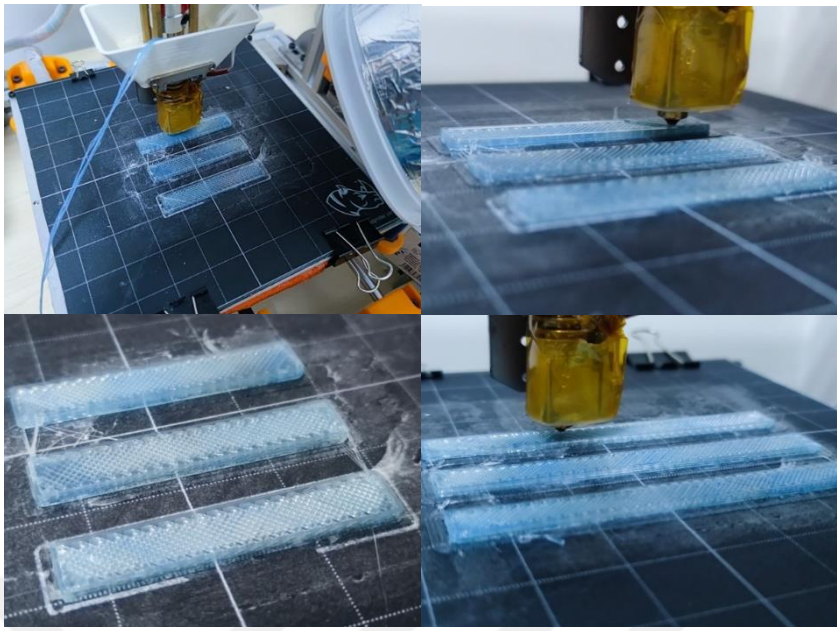


Şekil 3.39 Uzun saf PLA numuneleri.



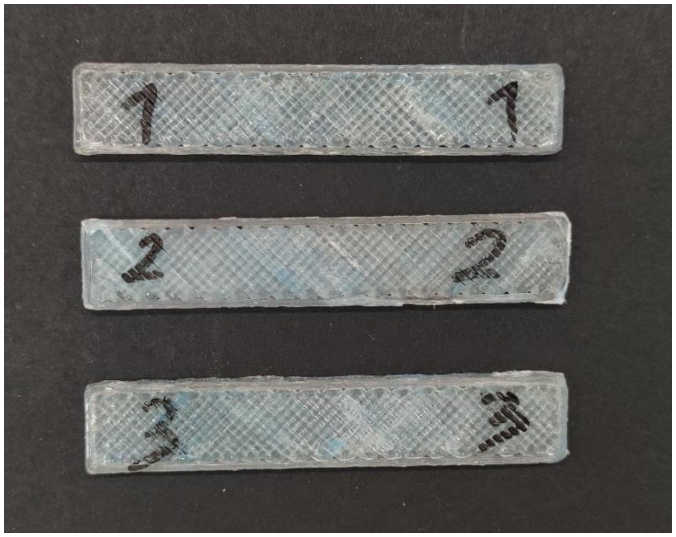
Şekil 3.40 Kısa saf PLA numuneleri.

Cam fiber kompozit numuneler, 4 kat cam ve PP fiber ile hazırlanmıştır. Bu numuneler şekil 3.41'de gösterildiği gibi, 3 tane kısa (3x12.70x70mm) ve 3 tane uzun (3x12.70x120mm) olarak hazırlanmıştır. Basım öncesi, ekstrüder haznesi, cam fiberleriyle doldurulmuş ve böylece numunelerde homojen bir fiber dağılımı elde edilmiştir şekil 3.42 ve 3.43'te gösterildiği gibi.

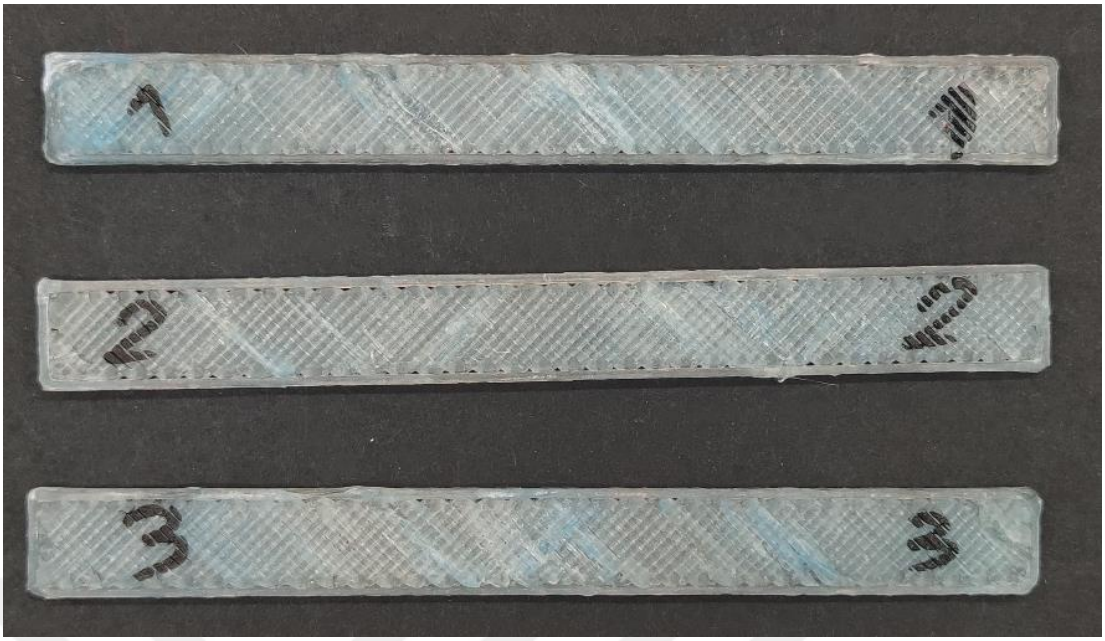


Şekil 3.41 Uzun ve kısa granül PLA ile cam ve PP fiber kompozit numunelerin basımı.

özet olarak, bu çalışmada, 3 nokta eğilme testi için numune standartları ve basımı konusunda önemli bir kaynak olmuştur. Numunelerin hazırlanması ve test edilmesi sürecinde, ASTM-D-790 standardı takip edilmiş ve bu, test sonuçlarının güvenilirliğini ve doğruluğunu sağlamıştır. Ayrıca, çalışmanın sonuçları, PP ve PLA gibi farklı malzemelerin ile cam ve PP fiber kompozitlerin eğilme özelliklerinin karşılaştırılmasında önemli bir rol oynamaktadır.



Şekil 3.42 Kısa granül PLA ile cam ve PP fiber kompozit numuneleri.

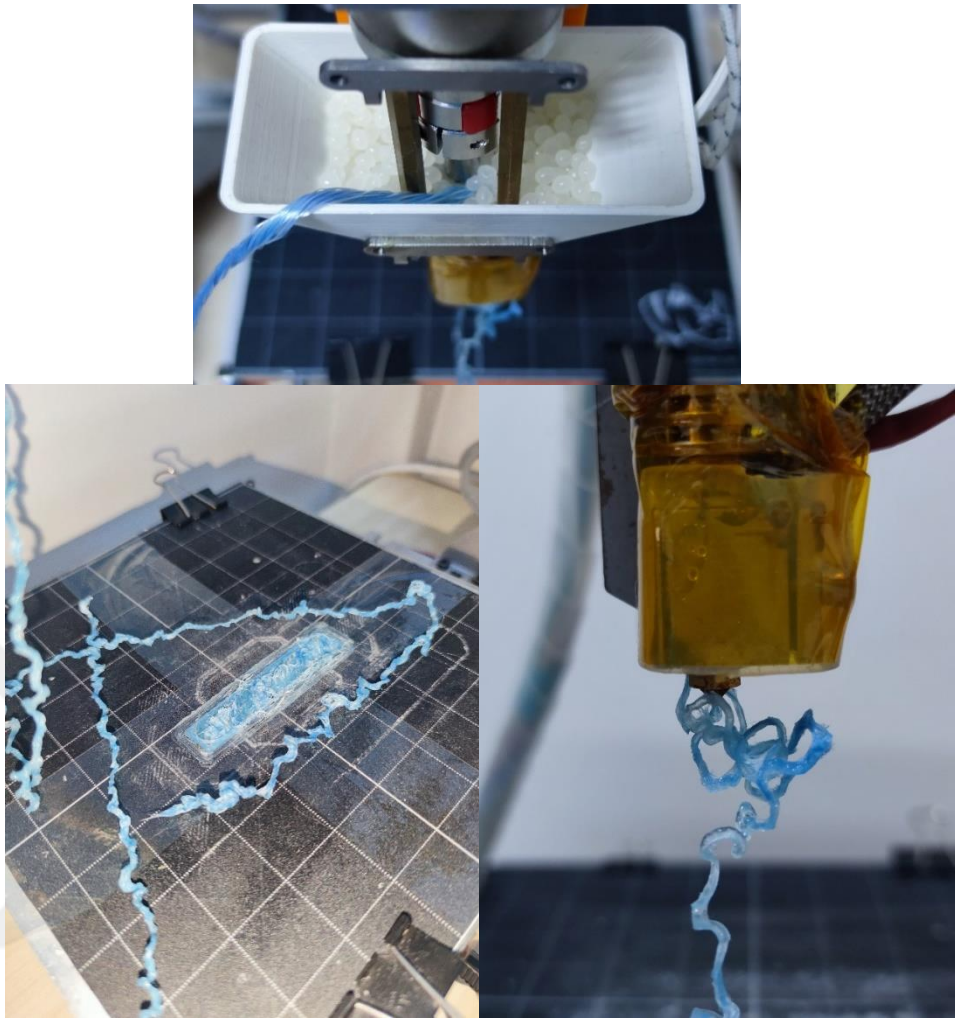


Şekil 3.43 Uzun granül PLA ile cam ve PP fiber kompozit numuneleri.

3.8 Numune Basımındaki Kompozit Malzemelerin Uyumculuğuyla İlgili Yaşanan Sorunlar

3.8.1 PLA granül ile 20 kat PP ve cam fiberleriyle numune alma

Granül PLA ve PP ile 20 kat cam fiber kompozit numunelerin basılması da denenmiştir. Ancak, bu deneme sonucunda başarılı olunamamıştır. Cam fiberlerin neden olduğu yüksek dolgu oranı, basım sürecinin karmaşıklığını ve zorluğunu artırmaktadır. İdeal olarak, cam fiberlerin, termoplastik matris içinde düzgün bir şekilde dağılması ve akışkanlığın sağlanması hedeflenmektedir. Ancak bu durumda, cam fiberlerin yüksek oranda katılımı, matrisin akışkanlığını önemli ölçüde azaltmış ve dolayısıyla basım sürecini engellemiştir.



Şekil 3.44 PLA granül ile 20 kat PP ve cam fiber kompozit numune üretimi.

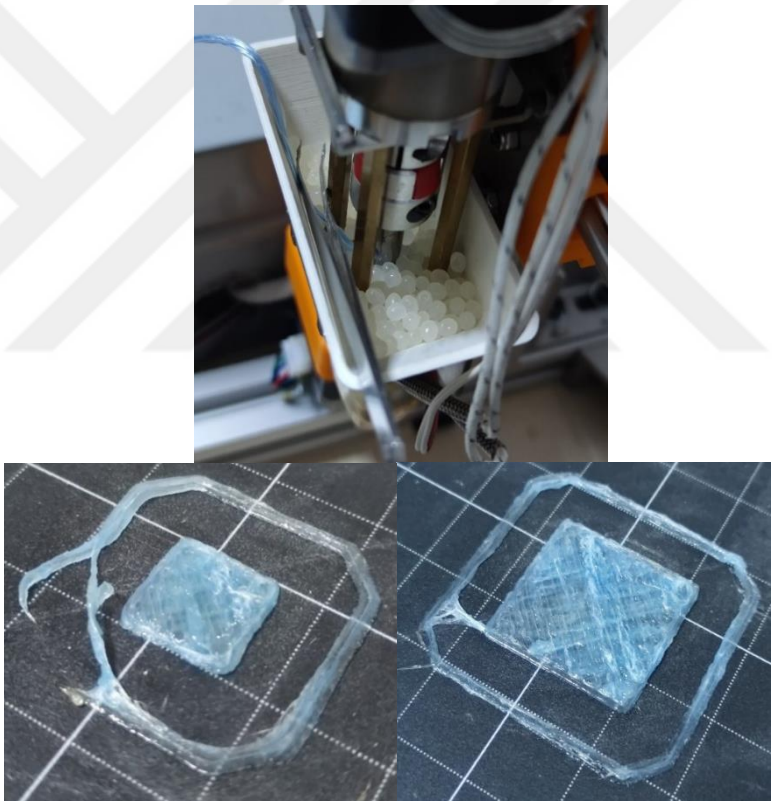
Şekil 3.44'teki görseller, cam fiberlerin çoğunlukla kırıldığını ve bu kırılmanın basım sürecini olumsuz etkilediğini göstermiştir. Kırılan cam fiberleri, termoplastik matris içerisinde düzgün bir dağılım gösterememiş ve dolayısıyla numunenin mekanik özelliklerini istenilen düzeyde iyileştirememiştir. Bu nedenle, bu yaklaşımın 3B yazıcı ile başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için cam fiberlerinin oranının azaltılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Bu durum, fiber takviyeli kompozit malzemelerin basımı sırasında karşılaşılabilecek önemli bir zorluk olduğunu göstermektedir. Cam fiberlerin yüksek oranda kullanılması, malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirebilir, ancak aynı zamanda basım sürecinin karmaşıklığını ve zorluğunu da artırabilir. Bu nedenle, cam fiber takviyeli kompozit

malzemelerin başarılı bir şekilde basılabilmesi için, fiber oranının dikkatlice seçilmesi ve basım parametrelerinin bu orana göre ayarlanması gerekmektedir. Böylece hem malzemenin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi hem de basım sürecinin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi sağlanabilmektedir.

3.8.2 PLA granül ile 6 kat PP ve cam fiberleriyle numune alma

İlk başta, PLA granülleri ve cam fiberlerle güçlendirilmiş 6 kat PP fiberli kompozit numunelerin basımı hedeflenmiştir. Ancak bu numunelerin başarılı bir şekilde üretimi, teknik zorluklarla karşılaştırılmıştır. Özellikle, PP fiberlerin PLA granüllerinden daha yüksek bir erime sıcaklığına sahip olması, numunelerin üretim sürecini engellemiştir.



Şekil 3.45 PLA granül ile 6 kat PP ve cam fiber kompozit numune üretimi.

PLA granülleri ve PP fiberlerin ayrı ayrı erime sıcaklıkları, bu malzemelerin birlikte kullanılmasında bir zorluk oluşturmuştur. PLA granülleri daha düşük bir sıcaklıkta erirken, PP fiberler ancak daha yüksek bir sıcaklıkta erimeye başlar. Bu durum, PLA granüllerinin ve PP fiberlerinin aynı anda erimesinin mümkün olmamasına sebep

olmuştur. Bu sorun, PLA granüllerinin erime sıcaklığına ulaşıldığında, PP fiberlerin henüz erimemiş olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu erime farklılıkları, baskı sürecinde çeşitli sorunlara yol açmıştır. PP fiberlerin PLA granülleri ile tam olarak karışmaması ve düzgün bir şekilde erimemesi, Şekil 3.45'te gösterildiği gibi ekstrüderden geçiş sırasında formu bozmuştur. Ayrıca, PP fiberlerin erime sıcaklığına ulaşıldığında, PLA granüllerinin hızla eriyerek ekstrüderin girişinde tıkanmalara sebep olmuştur.
Bu sorunlarla karşı karşıya kaldıktan sonra, farklı bir yaklaşım uygulanmıştır. PLA granülleri ile cam fiberlerle güçlendirilmiş kompozit numunelerin üretimi için, PP fiberlerin ayrıştırılması kararlaştırılmıştır. Bu yöntemle, hem PP fiberlerin yüksek erime sıcaklığı sorunu aşılmış, hem de PLA granülleri ve cam fiberlerin daha uyumlu bir karışımı sağlanmıştır.

Bu yeni metodoloji, malzemeler arasındaki uyumsuz erime sıcaklıklarını gidermiş ve daha stabil bir numune üretim süreci sağlamıştır. Bu, cam fiberlerin PLA granülleri ile daha düşük sıcaklıklarda homojen bir şekilde karışabilmesini ve böylece daha tutarlı bir kompozit malzeme oluşturabilmesini sağlamıştır. Sonuçta, daha düşük erime sıcaklığına sahip PLA granülleri ile güçlendirilmiş cam fiberler, 3 nokta eğilme testi için daha uygun numuneler oluşturmuştur.

3.9 Üç Nokta Eğilme Testi: Tanıtım ve Hazırlama

Üç nokta eğilme testi, mukavemet mühendisliği ve malzeme bilimi disiplinlerinde yaygın olarak kullanılan bir deney yöntemidir. Bu test, bir malzemenin eğilme mukavemetini ve esneklik modülünü belirlemek için kullanılır. Test sırasında, malzeme numunesi iki destek noktası üzerine yerleştirilir ve üçüncü bir noktadan aşağıya doğru bir yük uygulanır. Bu, malzemenin eğilme veya eğilme altında nasıl davrandığını gözlemlememizi sağlar.

Üç nokta eğilme testi, malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemenin bir yoludur. Bu test vasıtasıyla, belirlenebilecek özellikler arasında elastik modül, eğilme mukavemeti,

çekme uzaması, kopma mukavemeti ve kopma uzaması bulunmaktadır. İlgili özelliklerin hesaplanması için kullanılan formüllere aşağıda yer verilmiştir:

Elastik Modül (E):

Bu değer, bir materyalin strese karşı ne kadar deformasyon göstereceğini ifade eder. Üç noktalı eğme testi sırasında, elastik modül aşağıdaki denklem ile belirlenir:

$$E = (FL^3)/(4bd^{3\delta}) \tag{3.1}$$

Burada F uygulanan kuvvet (N), L numunenin etkili uzunluğunu (destek noktaların arasındaki mesafe) (m), b numune genişliği (m), d numune kalınlığı (m) ve δ eğilme, merkezi yük altında numunenin orta noktasındaki maksimum yer değiştirmeyi temsil eder (m).

Eğilme Mukavemeti (σ):

Bu değer, bir materyalin eğilme yüküne karşı dayanıklılığını ifade eder. Eğilme mukavemeti aşağıdaki denklem ile belirlenir:

$$\sigma = (3FL)/(2bd^2) \tag{3.2}$$

Çekme Uzaması (eğilmede meydana gelen birim şekil değiştirme) (%):

Çekme uzaması ya da deformasyonunu (ε) bir üç noktalı eğme testinden türetilmiş verilerle hesaplamak için, bazı deneysel formülleri kullanabiliriz. Ancak, bu formül çekme uzamasını tam anlamıyla ifade etmez; daha çok bükülme veya eğilme sırasında malzemenin yaptığı deplasmanla ne kadar deformasyona uğradığını ifade eder:

$$\varepsilon = \frac{\delta L}{4d\,(\frac{L}{h})^2} \tag{3.3}$$

Burada ε çekme uzaması (%) ve h numunenin yüksekliğini temsil eder.

Kopma Mukavemeti (σ_{fc}):

Bu değer, bir malzemenin ne kadar stres taşıyabileceğini ifade eder. Kopma mukavemeti genellikle çekme testi sırasında belirlenir ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$\sigma_f = F_f / A_0 \tag{3.4}$$

Burada F_f= Kopma anındaki kuvvet (N) ve A_0 = Başlangıçtaki kesit alanı (m^2)

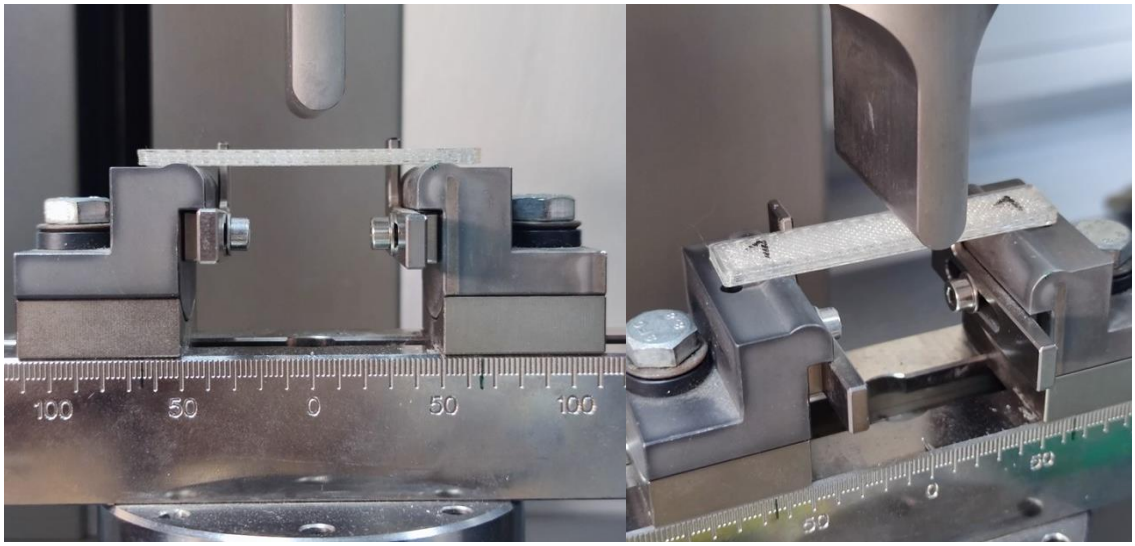
Kopma Uzaması (%):

Bu değer, bir malzemenin ne kadar uzayabileceğini ifade eder. Kopma uzaması aşağıdaki denklem ile belirlenir:

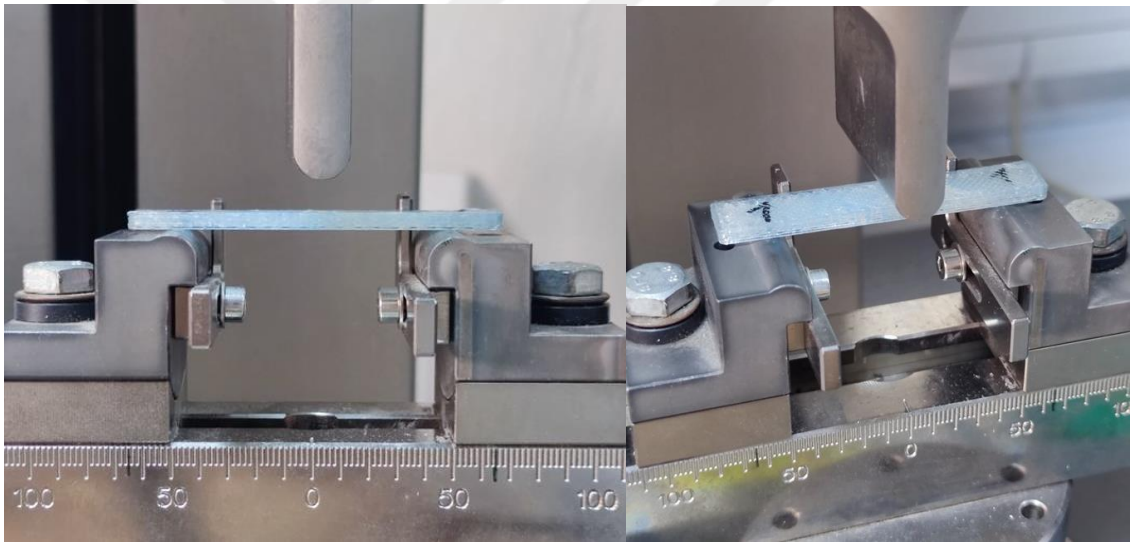
$$Kopma\ Uzaması\ (\%) = [(Kopma\ uzunluğu - Başlangıç\ uzunluk)\ /\ Başlangıç\ uzunluk]\ 100\% \tag{3.5}$$

3.9.1 Test öncesi hazırlıklar

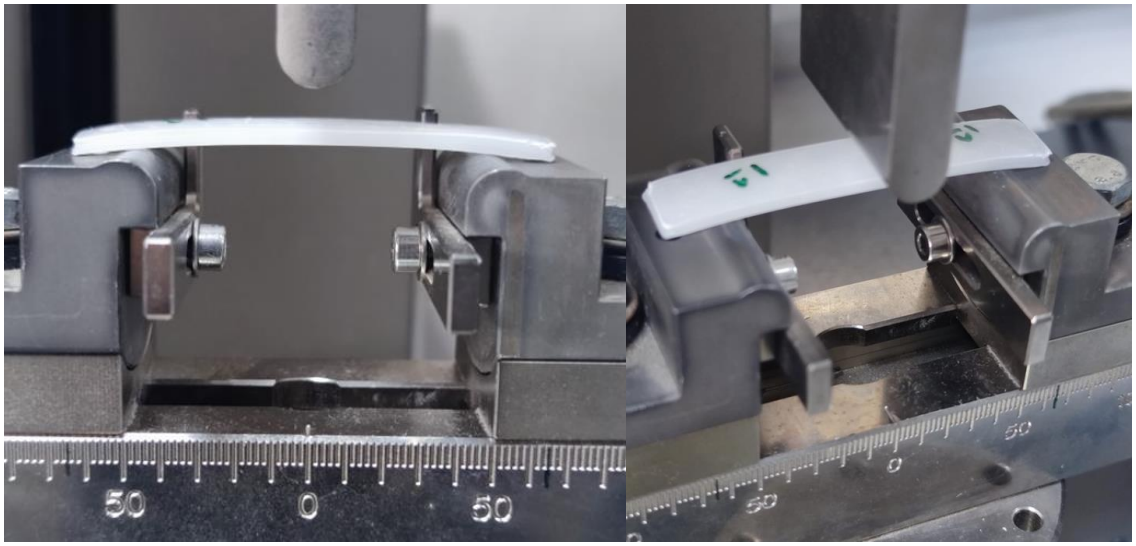
Bir üç nokta eğilme testi gerçekleştirilmeden önce, malzeme numuneleri uygun bir şekilde hazırlanmalı ve düzenlenmelidir. Bu durumda, şekil 3.46-3.51'de gösterildiği gibi 21 numunenin üstüne numaraları yazılarak tanımlanmış ve test sırasında baskının alt yüzü yukarıya bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu, numunelerin doğru konumlandırılması ve test sırasında tutarlılık sağlaması için önemlidir.



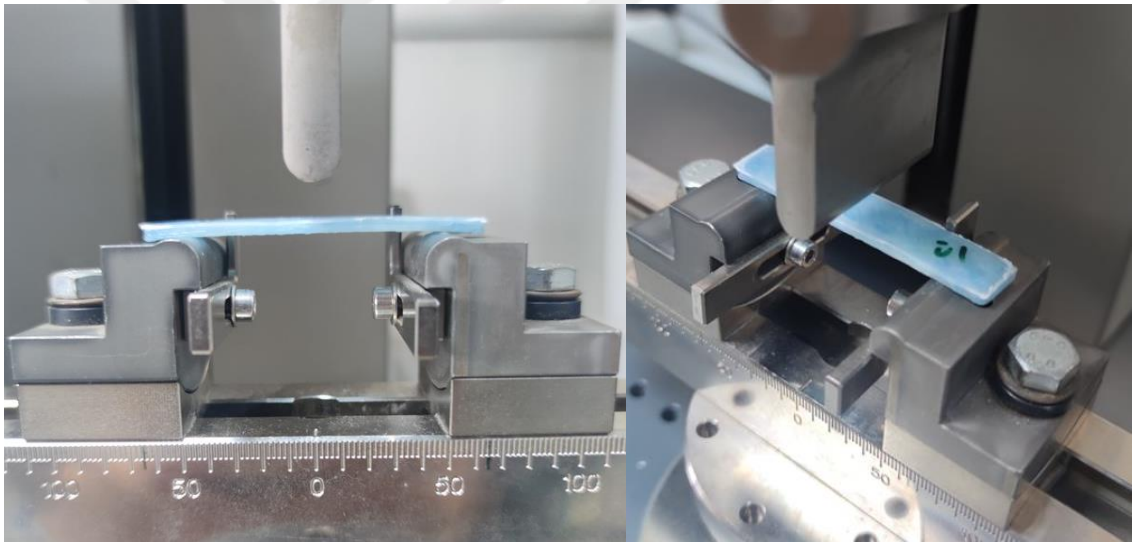
Şekil 3.46 Test öncesi kısa saf PLA granül numunelerinin konumlandırması.



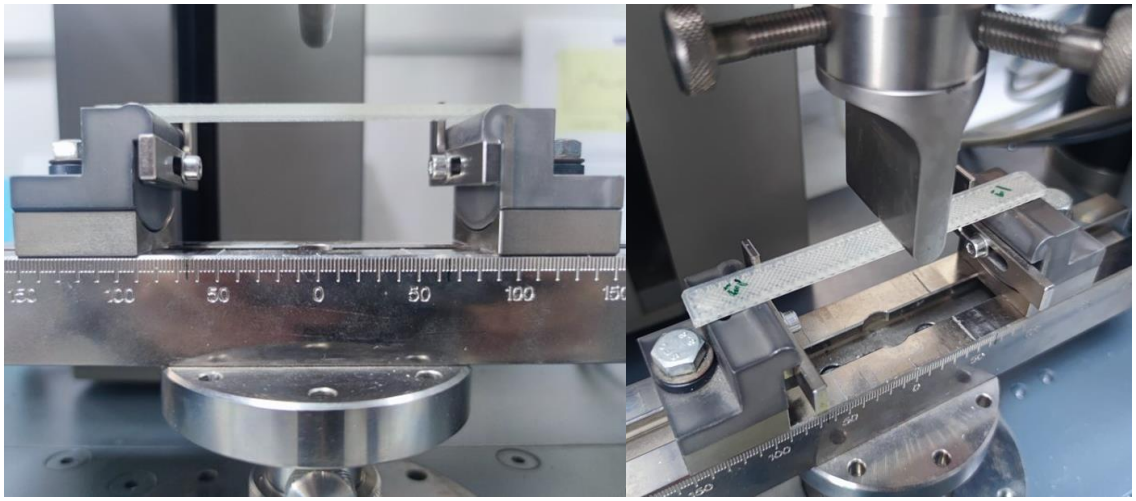
Şekil 3.47 Test öncesi kısa PLA granül + cam fiber kompozit numunelerinin konumlandırması.



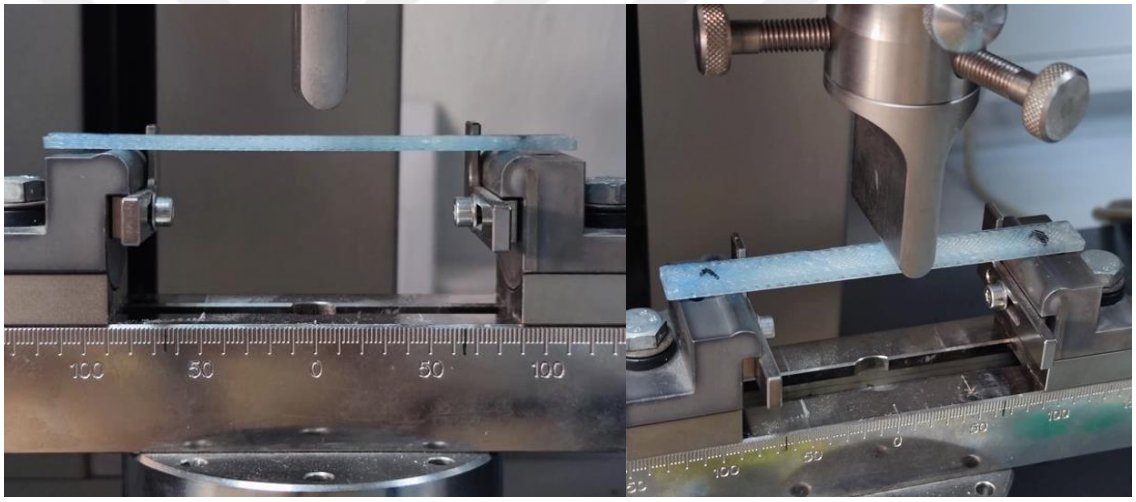
Şekil 3.48 Test öncesi saf PP granül numunelerinin konumlandırması.



Şekil 3.49 Test öncesi PP granül + PP ve cam fiber kompozit numunelerinin konumlandırması.



Şekil 3.50 Test öncesi uzun saf PLA granül numunelerinin konumlandırması.



Şekil 3.51 Test öncesi uzun PLA granül + cam fiber kompozit numunelerinin konumlandırması.

Destek aralığı, üç nokta eğilme testinde kritik bir faktördür, çünkü numunenin üzerine uygulanan yükün dağılımını belirler. ASTM-D-790 standardına göre, bu deney için destek aralığının (3x12.70x70mm) kısa numuneler için 50mm, (3x12.70x120mm) uzun numuneler için ise 90mm olması gerekmektedir. Bu özellikler, numunelerin doğru bir şekilde eğilmesini sağlar ve test sonuçlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini artırır.

Ayrıca, numunelerin test sırasında video görüntüleri kaydedilmiş olup deney sürecinin detaylı bir şekilde belgelenmesine ve incelenmesine olanak sağlar. Bu, testin düzgün bir

şekilde gerçekleştirildiğini ve sonuçların güvenilir olduğunu doğrulamak için önemlidir. Bu durumda, numuneler eşit ve aynı yönde yerleştirilmiştir, bu da test sırasında tutarlılık ve eşit dağılımı sağlamaktadır.

3.9.2 Üç nokta eğilme testi parametreleri

Üç nokta eğilme testi gerçekleştirilirken belirli parametrelerin ayarlanması gerekmektedir. Bu parametreler, deneyin güvenilir ve doğru sonuçlar vermesini sağlar. Elastik modül hızı, numunenin ne kadar hızla eğildiğini belirler. Bu durumda, elastik modülü **4mm/dakika** olarak ayarlanmıştır. Bu hız, numunenin eğilme sırasında gösterdiği davranışı daha net bir şekilde gözlemlememizi sağlar.

Test hızı, yükün numune üzerine ne kadar hızla uygulandığını belirler. Bu durumda, test hızı da **4mm/dakika** olarak ayarlanmıştır. Bu, numunenin eğilme mukavemetini ölçerken doğru sonuçlar elde etmek için önemlidir.

Kırılma fark edilmesi, numunenin ne zaman kırıldığının belirlenmesine yardımcı olur. Bu durumda, kırılmanın maksimum kuvvetin **%10**'u olduğu belirlenmiştir. Bu, numunenin kırılma noktasının doğru bir şekilde belirlenmesini sağlar.

Maksimum kuvvet, numune üzerine uygulanabilecek en yüksek yükü belirtir. Bu durumda, maksimum kuvvet **8000N** olarak belirlenmiştir. Bu, numunenin ne kadar yüksek bir yüke dayanabileceğini belirler.

Maksimum yol ise, numunenin ne kadar mesafeyi kat edileceğini belirtir. Bu durumda, maksimum yol **35mm** olarak belirlenmiştir. Bu, numunenin eğilme sırasında ne kadar esnek olduğunu gösterir.

Sonuç olarak, üç nokta eğilme testi, malzemenin eğilme mukavemeti ve esneklik modülü hakkında değerli bilgiler sağlar. Bu parametreler, malzemenin farklı yük ve stres koşulları altında nasıl performans göstereceğini anlamamızı sağlar. Ayrıca, testin doğru şekilde gerçekleştirilmesi ve sonuçların doğru bir şekilde yorumlanması için test parametrelerinin dikkatlice ayarlanması gerekmektedir.

4. BULGULAR

4.1 Kısa 70mm'lik Saf PLA Granül Numuneleri

Ekstruderli 3B yazıcı ile üretilmiş ve üç farklı numune üzerinde uygulanan 3 nokta eğilme testi sonuçlarını incelenmektedir. Bu numuneler, aynı PLA (Polilaktik Asit) granülleri kullanılarak ve aynı şartlar altında basılmışlardır. Bu kapsamlı ve standartlaştırılmış deney, numunelerin mukavemet özelliklerine dair kapsamlı bir görüş sağlamıştır.

Çizelge 4.1, bu sonuçların detaylı bir incelemesini sunmaktadır. Burada 3 numaralı numune, diğer numunelere göre en yüksek elastik modülü, eğilme ve kopma mukavemeti ve kopma uzamasını göstermiştir. Bununla birlikte, 1 numaralı numune, 3 numaralı numuneye kıyasla eğilme mukavemeti konusunda %11,30 daha düşük bir değer göstermiştir. Bu karşılaştırmalar, malzemenin mekanik özelliklerinin, malzeme içindeki minimal değişikliklere bağlı olarak farklılık gösterebileceğini belirtmektedir.

Çizelge 4.1 Saf kısa PLA numune sonuçları

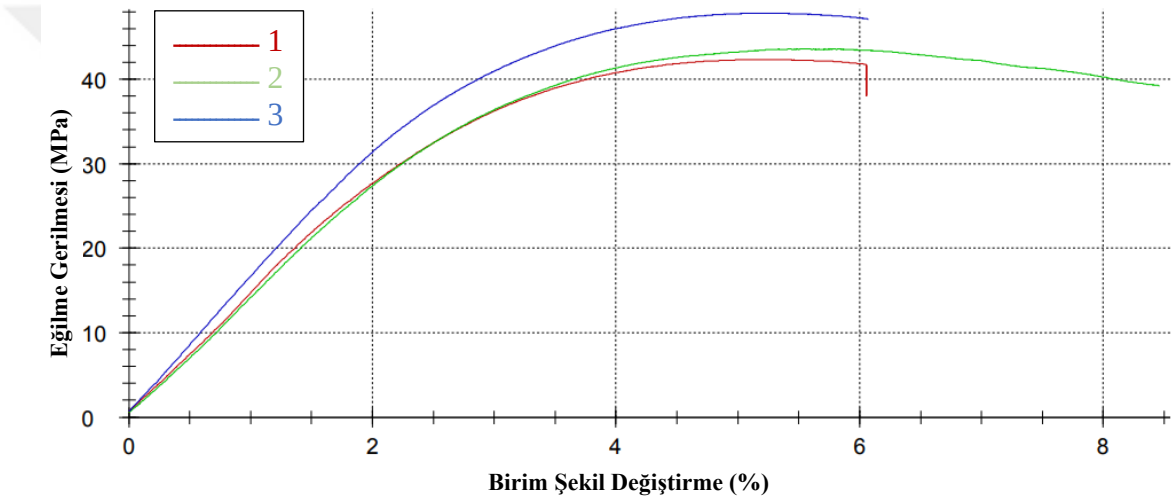
	Elast. Modülü (Flex. Modulus) MPa	σ_{fC} MPa	Eğilme Muk. (Flex. strength) MPa	Çekme Uza. %	Kopma Muk. (Flex. stress at break) MPa	Kopma Uza. (Flex. Stain at break) %
1	1330	37,7	42,4	5,2	38,0	6,1
2	1310	37,9	43,6	5,8	39,2	8,5
3	1550	42,5	47,8	5,2	47,1	6,1

Birden çok numune üzerinde test gerçekleştirilmesi, sonuçların güvenilirliğini ve tekrarlanabilirliğini artırmaktadır. Bu, hata marjını düşürerek ve malzemenin genel özelliklerini daha doğru bir şekilde belirlememizi sağlar. Çizelge 4.2'de gösterildiği üzere, 3 numunenin eğilme mukavemeti, elastik modül, kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerlerinin ortalamaları verilmiştir. Bu ortalama değerler, malzemenin genel performansını değerlendirmek için önemli bir ölçüt olarak kabul edilmektedir.

Çizelge 4.2 Üç saf kısa PLA numunelerin sonuç ortalamaları

Elast. Modülü (Flex. Modulus) MPa	σ_{fC} MPa	Eğilme Muk. (Flex. strength) MPa	Çekme Uza. %	Kopma Muk. (Flex. stress at break) MPa	Kopma Uza. (Flex. Stain at break) %
1400	39,3	44,6	5,4	41,5	6,9

Şekil 4.1'de numuneler üzerine uygulanan kuvvete karşılık numunelerin eğilme gerilimi görsel olarak sunulmuştur. Bu grafik, malzemenin deformasyonunu ve mukavemetini ölçen önemli bir parametre olan eğilme gerilimini detaylı bir şekilde sergilemektedir.



Şekil 4.1 Kısa saf PLA numunelerin kuvvet ile eğilme gerilimi grafiği

4.2 Uzun 120mm'lik Saf PLA Granül Numuneleri

Ekstruderli 3B yazıcı kullanılarak basılmış saf uzun PLA granül numunelerin 3 nokta eğilme testi sonuçları incelenmiştir. Bu numuneler, standartlaştırılmış şartlarda basılmış ve test edilmiştir. Sonuçlar, belirgin bir tutarlılık göstermiş olup, farklı numuneler arasında yalnızca küçük farklılıklar görülmüştür.

Çizelge 4.3'te sunulan sonuçlar, 2 numaralı numunenin elastik modül, eğilme mukavemeti, kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerlerinin diğer numunelere göre en yüksek olduğunu göstermektedir. Ancak, 1 numaralı numunenin kopma mukavemeti,

2 numaralı numuneye göre %18,6 daha düşük bulunmuştur. Bu, malzemenin içindeki mikro düzeydeki varyasyonların bile bu tür mekanik özellikler üzerinde belirgin bir etkisi olabileceğini işaret etmektedir.

Çizelge 4.3 Saf uzun PLA numune sonuçları

	Elast. Modülü (Flex. Modulus) MPa	σ_{fC} MPa	Eğilme Muk. (Flex. strength) MPa	Çekme Uza. %	Kopma Muk. (Flex. stress at break) MPa	Kopma Uza. (Flex. Stain at break) %
1	2450	25,3	61,7	3,9	55,4	5,7
2	2990	30,7	75,6	4,0	68,1	4,9
3	2570	26,9	68,0	3,8	61,1	4,4

Birden fazla numune testi yapılması, bu tür testlerin güvenilirliğini artırma konusunda önemlidir. Ortalamalar, aynı materyal grubundan gelen farklı numuneler arasındaki potansiyel varyasyonları ortadan kaldırır ve genel bir eğilim sağlar. Çizelge 4.4'te sunulan ortalama değerler, PLA granülleri ile üretilen numunelerin genel performansı hakkında daha kesin bir fikir verir.

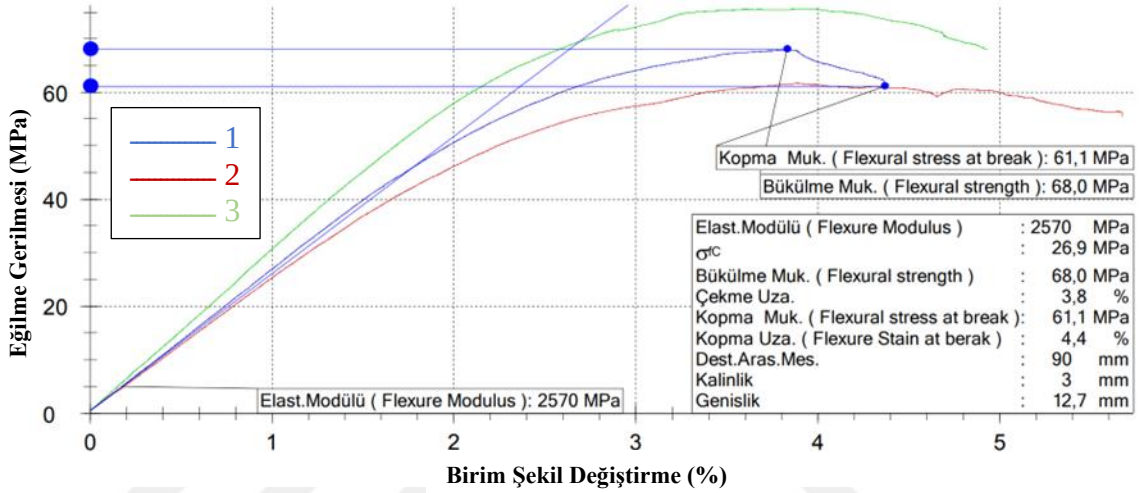
Çizelge 4.4 Üç saf uzun PLA numunelerin sonuç ortalamaları

Elast. Modülü (Flex. Modulus) MPa	σ_{fC} MPa	Eğilme Muk. (Flex. strength) MPa	Çekme Uza. %	Kopma Muk. (Flex. stress at break) MPa	Kopma Uza. (Flex. Stain at break) %
2670	27,6	68,4	3,9	61,5	5,0

Şekil 4.2'de numuneler üzerine uygulanan kuvvete karşılık numunelerin eğilme gerilimi görsel olarak sunulmuştur. Bu grafik, malzemenin deformasyonunu ve mukavemetini ölçen kritik bir parametre olan eğilme gerilimini detaylı bir şekilde sergilemektedir. Bu

sonuçlar, uzun PLA granüllerinin mukavemet, elastikiyet ve deformasyon kapasitesine dair detaylı bilgiler sunmaktadır.

Bu analizler ve bulgular, 3B baskı malzemelerinin ve tekniklerinin daha geniş bir anlayışını sağlar. Dolayısıyla, bu bilgiler, gelecekteki uygulamalar ve araştırmalar için değerli bir referans kaynağı oluşturmaktadır.



Şekil 4.2 Uzun saf PLA numunelerin kuvvet ile eğilme gerilimi grafiği.

4.3 Kısa 70mm'lik Saf PP Granül Numuneleri

Deneylerin üçüncü aşamasında, ekstruderli 3B yazıcı kullanılarak oluşturulan saf PP (Polipropilen) granül numunelerin analizi gerçekleştirildi. Bu süreçte, sadece iki numune test edildi. Bunun nedeni, PP numunelerin üretiminin karşılaştığımız zorluklardan dolayı sınırlı olmasıydı. Ancak, bu iki numune arasında da belirgin bir şekilde yakın sonuçlar gözlemlendi.

Çizelge 4.5'e göre, 1 numaralı numune, test edilen tüm özellikler açısından en yüksek değerleri gösterdi. Bu özellikler elastik modül, eğilme mukavemeti, kopma mukavemeti ve kopma uzamasını içeriyor. Ancak, 2 numaralı numune, 1 numaralı numune ile karşılaştırıldığında, kopma mukavemetinde yalnızca %6,20 daha düşük bir değer gösterdi. Bu sonuç, PP numunelerinin daha homojen bir yapıya sahip olabileceğini ve bu durumun daha tutarlı sonuçlara yol açabileceğini düşündürüyor.

Çizelge 4.5 Saf kısa PP numune sonuçları

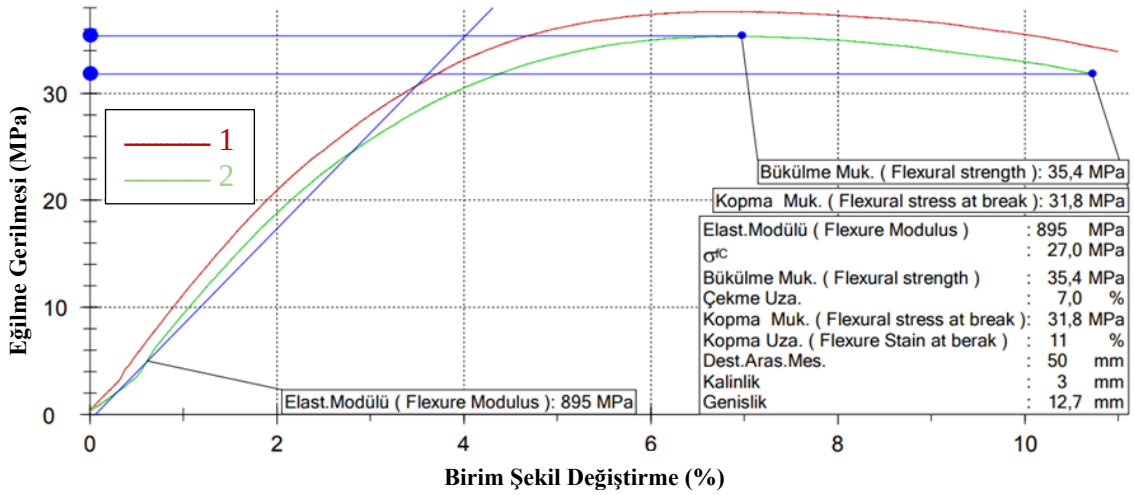
	Elast. Modülü (Flex. Modulus) MPa	σ_{fC} MPa	Eğilme Muk. (Flex. strength) MPa	Çekme Uza. %	Kopma Muk. (Flex. stress at break) MPa	Kopma Uza. (Flex. Stain at break) %
1	1110	29,4	37,7	6,7	33,9	11
2	895	27,0	35,4	7,0	31,8	11

Ancak, numune sayısının sınırlı olması, sonuçları genelleme kapasitemizi belirgin şekilde etkileyebilmektedir. İdeal olarak, daha fazla numune üzerinde testler gerçekleştirilmeli ve sonuçların ortalaması alınmalıdır. Ancak, PP numunelerinin üretiminin zorluğu göz önüne alındığında, çizelge 4.6'da belirtilen iki numunenin ortalaması en iyi temsiliyeti sağlar.

Çizelge 4.6 İki saf kısa PP numunelerin sonuç ortalamaları

Elast. Modülü (Flex. Modulus) MPa	σ_{fC} MPa	Eğilme Muk. (Flex. strength) MPa	Çekme Uza. %	Kopma Muk. (Flex. stress at break) MPa	Kopma Uza. (Flex. Stain at break) %
1000	28,2	36,5	6,8	32,9	11

Şekil 4.3'teki eğilme gerilimi grafiği, numuneler üzerine uygulanan kuvvete karşılık numunelerin eğilme gerilimini göstermektedir. Bu, malzemenin deformasyon ve mukavemet özelliklerini belirlemek için önemli bir parametredir. Grafik, saf PP granüllerinin eğilme gerilimi kapasitesine dair önemli bir perspektif sağlar.



Şekil 4.3 Saf PP numunelerin kuvvet ile eğilme gerilimi grafiği.

4.4 Kısa 70mm'lik PLA Granül ile Cam ve PP Fiber Kompozit Numuneleri

Testlerin dördüncü kısmı, ekstruderli 3B yazıcı kullanılarak üretilen kısa PLA granül ile cam ve PP fiber kompozit numunelerin 3 nokta eğilme testi sonuçlarını incelemektedir. Bu kompozit numuneler, belirlenen standart şartlar altında basılmış ve test edilmiştir. Bu süreçte elde edilen sonuçlar birbirine yakın olmuştur.

Çizelge 4.7'ye göre, 1 numaralı numune en yüksek elastik modül, eğilme ve kopma mukavemeti, kopma uzaması değerlerini göstermektedir. Ancak 3 numaralı numunenin kırılma mukavemeti, 1 numaralı numuneye kıyasla %10.1 daha düşük gözlemlenmiştir. Bu durum, üretim sürecindeki mikro düzeydeki varyasyonların ve malzeme özelliklerinin bileşenlerin mekanik dayanımını ve performansını etkileyebileceğini göstermektedir.

Çizelge 4.7 Kısa granül PLA ile Cam ve PP Fiber Kompozit numune sonuçları

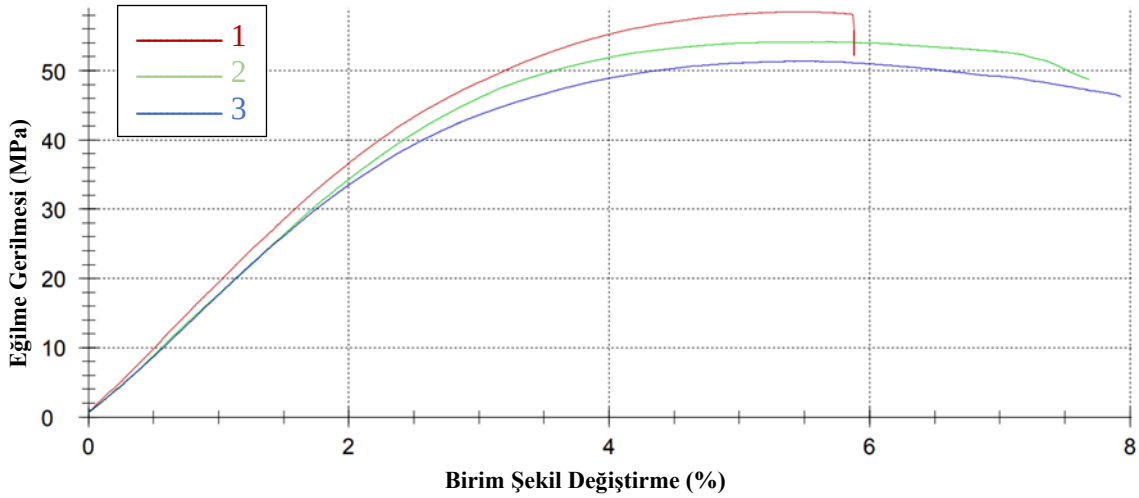
	Elast. Modülü (Flex. Modulus) MPa	σ_{fC} MPa	Eğilme Muk. (Flex. strength) MPa	Çekme Uza. %	Kopma Muk. (Flex. stress at break) MPa	Kopma Uza. (Flex. Stain at break) %
1	1750	50,3	58,5	5,5	58,5	5,5
2	1590	48,0	54,2	5,7	48,7	7,7
3	1560	45,2	51,3	5,5	46,2	7,9

Birden fazla numunenin test edilmesi, toplu verilerin doğruluğunu artırır ve geniş bir anlayış sağlar. Bu, nispeten geniş bir veri setinin sağlandığı durumlarda, özellikle değerli olur. Çizelge 4.8, 3 numunenin ortalama değerlerini gösterir ve bu, test sonuçlarını geniş bir bakış açısıyla yorumlamak için mükemmel bir araçtır.

Çizelge 4.8 Üç kısa granül PLA ile Cam ve PP Fiber Kompozit numunelerin sonuç ortalaması

Elast. Modülü (Flex. Modulus) MPa	σ_{fC} MPa	Eğilme Muk. (Flex. strength) MPa	Çekme Uza. %	Kopma Muk. (Flex. stress at break) MPa	Kopma Uza. (Flex. Stain at break) %
1630	47,8	54,7	5,5	51,2	7,0

Şekil 4.4'te ise numunelerin eğilme gerilimine dair grafik bulunmaktadır. Bu grafik, numunelerin kuvvet uygulandığında nasıl bir tepki verdiğini ve deformasyon özelliklerini göstermektedir. Bu sonuçlar, malzeme seçimine ve bu malzemelerin 3B baskı uygulamalarında nasıl davrandıklarına dair daha fazla bilgi sağlar.



Şekil 4.4 Kısa PLA Granül ile Cam ve PP Fiber Kompozit Numuneleri kuvvet ile eğilme gerilimi grafiği.

4.5 Uzun 120mm'lik Saf PLA Granül ile Cam ve PP Fiber Kompozit Numuneleri

Araştırmanın bu bölümü, uzun PLA granül ile cam fiber kompozit numunelerin ekstruderli 3B yazıcı kullanılarak nasıl üretileceğine ve bu numunelerin 3 nokta eğilme testi sonuçlarının ne olduğuna odaklanmaktadır. Bu numuneler, belirlenen standart şartlar altında basılmış ve test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar birbirine çok yakın olmuştur, bu da üretim sürecinin istikrarını göstermektedir.

Çizelge 4.9'a bakıldığında, 2 numaralı numunenin en yüksek elastik modülü, eğilme ve kopma mukavemeti, kopma uzaması değerlerini gösterdiği görülürken, 1 numaralı numunenin kırılma mukavemeti, 2 numaralı numuneye kıyasla %15.66 daha düşük bulunmuştur. Bu bulgu, kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin, bileşenlerin özelliklerinin yanı sıra, malzemenin üretim süreci ve geometrisi tarafından da belirlenebileceğini göstermektedir.

Çizelge 4.9 Uzun granül PLA ile Cam ve PP Fiber Kompozit numune sonuçları

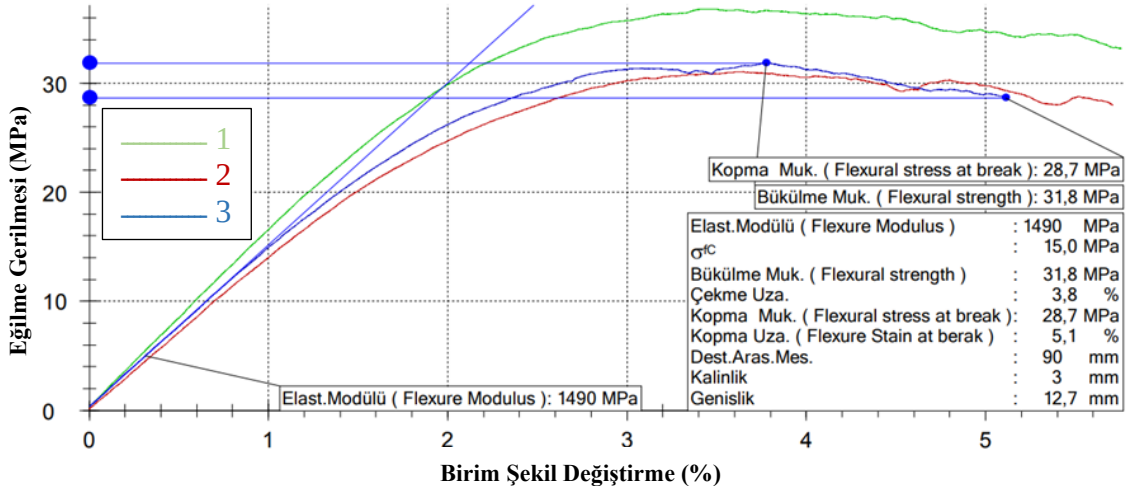
	Elast. Modülü (Flex. Modulus) MPa	σ_{fC} MPa	Eğilme Muk. (Flex. strength) MPa	Çekme Uza. %	Kopma Muk. (Flex. stress at break) MPa	Kopma Uza. (Flex. Stain at break) %
1	1410	14,0	31,1	3,6	28,0	5,7
2	1650	16,6	36,8	3,4	33,2	5,8
3	1490	15,0	31,8	3,8	28,7	5,1

Birden fazla numune test edilmesi, ortalama değerlerin doğruluğunu artırır. Böylece elde edilen veriler, bireysel numunelerin performanslarından daha geniş bir perspektif sunar. Çizelge 4.10, bu üç numunenin ortalama değerlerini sunmaktadır ve bu da genel performans değerlendirmesi için önemli bir başvuru noktası sağlar.

Çizelge 4.10 Üç uzun granül PLA ile Cam ve PP Fiber Kompozit numunelerin sonuç ortalaması

Elast. Modülü (Flex. Modulus) MPa	σ_{fC} MPa	Eğilme Muk. (Flex. strength) MPa	Çekme Uza. %	Kopma Muk. (Flex. stress at break) MPa	Kopma Uza. (Flex. Stain at break) %
1520	15,2	33,2	3,6	29,9	5,5

Şekil 4.5, uygulanan kuvvetin eğilme gerilimi üzerindeki etkisini grafik şeklinde gösterir. Bu grafik, numunelerin yük altında nasıl tepki verdiğini ve hangi noktada deformasyona uğradığını gözler önüne serer. Bu sonuçlar, bu tür kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini anlama ve onların 3B baskı teknolojisinde nasıl davrandığını belirleme konusunda kritik öneme sahiptir.



Şekil 4.5 Uzun saf granül PLA ile Cam ve PP Fiber Kompozit numunelerin kuvvet ile eğilme gerilimi grafiği.

4.6 Kısa 70mm'lik PP Granül ile PP ve Cam Fiber Kompozit Numuneleri

Bu testlerin altıncı ve son kısmında, ekstruderli 3B yazıcıyla basılan PP granül ile PP ve cam fiber kompozit numunelerin üç nokta eğilme testi sonuçları analiz edilmiştir. Bu testler, çeşitli basım şartları ve hızlar altında gerçekleştirildi ve bu da geniş bir sonuç yelpazesi elde etmemize olanak sağladı.

Çizelge 4.11'e bakıldığında, 20 kat fiber ile basılan 3 numaralı numune, en yüksek elastik modül, eğilme mukavemeti, kopma mukavemeti ve kopma uzamasını gösterdiği görülmektedir. Bu, malzeme mukavemetinin basım parametrelerine ve özellikle fiber miktarına duyarlı olduğunu açıkça gösterir. Öte yandan, 10 kat fiber ve 10 hızında basılan 1 numaralı numune, 3 numaralı numunenin kopma mukavemetine kıyasla % 10.1 daha düşük bir değer göstermiştir. Bu, basım hızının ve fiber katman sayısının malzemelerin mukavemet özellikleri üzerinde belirli bir etkisi olduğunu gösterir.

Çizelge 4.11 Saf kısa granül PP ile Cam ve PP Fiber Kompozit numune sonuçları

	Elast. Modülü (Flex. Modulus) MPa	σ_{fC} MPa	Eğilme Muk. (Flex. strength) MPa	Çekme Uza. %	Kopma Muk. (Flex. stress at break) MPa	Kopma Uza. (Flex. Stain at break) %
1	936	27,3	34,4	6,8	31,0	11
2	1120	30,2	39,7	7,4	35,7	11
3	1290	35,8	40,8	5,9	36,7	10

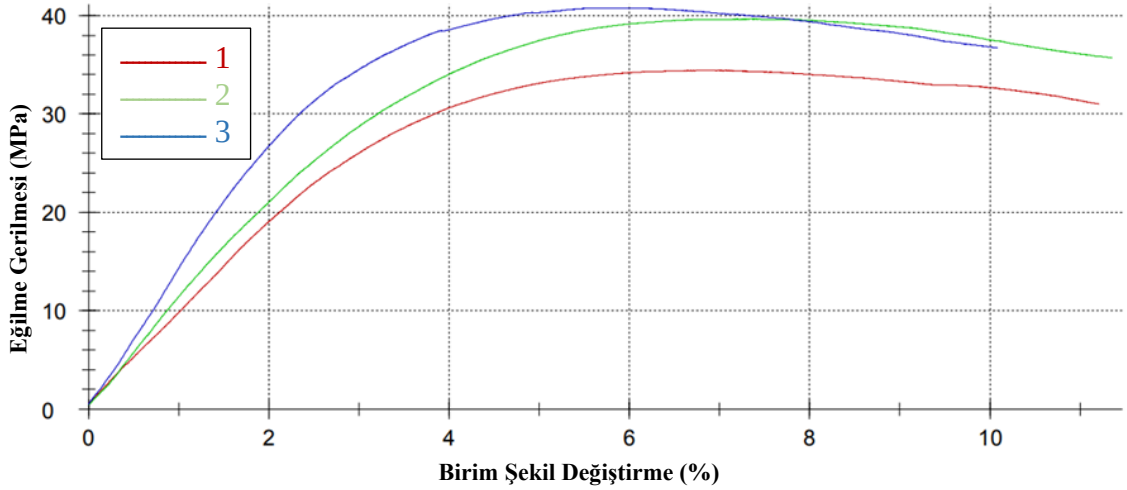
Üretim sürecindeki zorluklar nedeniyle, yalnızca üç numune PP malzemeden başarıyla basıldı ve test edildi. Buna rağmen, bu sonuçlar, PP malzeme ve cam fiberin birleşiminin potansiyelini açığa çıkarmak için yeterli oldu.

Ortalama değerlerin hesaplanması, çizelge 4.12'de gösterildiği üzere, genel sonuçların daha doğru bir anlamda yorumlanmasını sağlar. PP granülleri ve cam fiber kompozit numuneler üzerinde yapılan bu çalışma, PP malzemelerin genel mekanik özelliklerinin, özellikle cam fiber eklenmesiyle nasıl değişebileceğini göstermiştir.

Çizelge 4.12 İki saf kısa granül PP ile Cam ve PP Fiber Kompozit numunelerin sonuç ortalaması

Elast. Modülü (Flex. Modulus) MPa	σ_{fC} MPa	Eğilme Muk. (Flex. strength) MPa	Çekme Uza. %	Kopma Muk. (Flex. stress at break) MPa	Kopma Uza. (Flex. Stain at break) %
1110	31,1	38,3	6,7	34,5	11

Şekil 4.6, numunelerin uygulanan kuvvete karşılık olarak nasıl bir eğilme gerilimi gösterdiğini grafiksel olarak sunmaktadır. Bu sonuçlar, malzeme mukavemetinin, basım parametrelerine nasıl bağlı olduğunu daha iyi anlamamızı sağlar ve 3B basım süreçlerinin malzeme özelliklerine nasıl etki ettiğini belirlememiz açısından kritik öneme sahiptir. Bu bilgiler, malzeme seçimine ve baskı parametrelerine ilişkin daha bilinçli kararlar vermek için son derece değerlidir.



Şekil 4.6 Kısa saf granül PP ile Cam ve PP Fiber Kompozit numunelerin kuvvet ile eğilme gerilimi grafiği.

Sonuç olarak, bu çeşitli deneyler, PLA ve PP malzemelerin genel mekanik özelliklerini ve cam fiberle güçlendirilmiş kompozitlerin bu özelliklere nasıl etki edebileceğini daha iyi anlamamızı sağlamaktadır. Ayrıca, bu bulgular, PLA ve PP malzemelerin cam fiberle güçlendirilmiş kompozitlerin üretimi ve uygulamasında önemli bir rol oynayabileceğini düşündürmektedir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmanın sonuçları, termoplastik granüller ile cam ve PP fiberlerin birleşiminden elde edilen kompozit malzemelerin mukavemet özelliklerinin optimizasyonuna dair önemli bilgiler sağlamıştır. Bulgular, PLA gibi termoplastik bir matrisle birleştirilen bu tür takviyelerin, malzeme mukavemetinde belirgin bir artışa yol açtığını kanıtlar. Aynı zamanda, kompozit malzemelerin daha hafif ve sağlam özelliklere sahip olabilmesi ve bu sayede 3B katkı maddesi üretimi ve fiber kombinasyonları yoluyla çeşitli uygulamaların geliştirilmesi olasılığı ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 5.1 Saf ile Fiber Kompozit numunelerin sonuç ortalamaları

Numune türü	Elast. Modülü MPa	σ_{fC} MPa	Eğilme Muk. MPa	Çekme Uza. %	Kopma Muk. MPa	Kopma Uza. %
PLA	1400	39,3	44,6	5,4	41,5	6,9
PLA*	1630	47,8	54,7	5,5	51,2	7,0
PLA^	2670	27,6	68,4	3,9	61,5	5,0
PLA^*	1520	15,2	33,2	3,6	29,9	5,5
PP	1000	28,2	36,5	6,8	32,9	11
PP*	1110	31,1	38,3	6,7	34,5	11

* işareti Cam ve PP fiber takviyeli kompozit numune olduğunu anlamına gelmektedir.
^ işareti 120'lik uzun numune olduğunu anlamına gelmektedir.

Çizelge 5.2 Saf ile Fiber Kompozit numunelerin fark oranları

numune türü	Elast. Modülü MPa	σ_{fC} MPa	Eğilme Muk. MPa	Çekme Uza. %	Kopma Muk. MPa	Kopma Uza. %
PLA*	+14,1%	+17,7%	+18,46%	+1,8%	+18,94%	+1,42%
PLA^*	-43,11%	-44,9 %	-51,46%	-7,7%	-51,4%	+9%
PP*	+9,9%	+9,3%	+4,7%	-1.5%	+4,6%	0%

* işareti Cam ve PP fiber takviyeli kompozit numune olduğunu anlamına gelmektedir.
^ işareti 120'lik uzun numune olduğunu anlamına gelmektedir.

Bu çalışma, cam ve PP fiberlerin eklenmesinin, PLA ve PP matrisli kompozitlerin mukavemet değerlerini artırdığını göstermiştir, çizelge 5.1'deki ortalama değerler

aracılığıyla daha ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. çizelge 5.2'de takviyeli kompozit ile saf numunelerin ortalama sonuçlarını karşılaştırarak, her parametrede gösterdiği farkı oranlı bir şekilde gösterilmiştir.

Ancak, uzun numuneler, kısa numunelerle kıyaslandığında daha düşük performans göstermiştir. Bunun nedenlerinden biri, daha geniş destek aralığının stres altındaki alanının artması ve bu durumun basım sırasındaki fiberlerin homojen dağılımını daha da önemli hale getirmektedir. Bu durumda, kullanılan yöntemle fiberlerin ekstrüderin içinde kopmasıyla beraber homojen bir dağılım elde etmek zor hale getirmektedir. İkinci bir neden olarak, üç nokta eğilme testinde, destek aralığının genişlemesi numunelerin daha fazla kayma gerilimine maruz kalmasına neden olmaktadır.

Buna rağmen, genel sonuçlar, cam ve PP fiber takviyelerinin PLA ile birleştirilmesinin, materyalin genel mukavemetini artırdığını göstermektedir. Bu, özellikle otomotiv sektöründe büyük bir potansiyel sunmaktadır, çünkü bu bileşenlerin daha hafif ve daha dayanıklı olmasını sağlar. Ayrıca, bu bileşenlerin daha yüksek bir geri dönüşüm oranına sahip olması olasılığını arttırmadır.

Son olarak, cam ve PP fiberlerin termoplastik granüllerle birleştirilmesi, otomotiv sektöründe 3B baskı teknoloji üretiminin yararlarını daha da genişletebilecek bir yaklaşımı temsil eder. Ancak, daha etkin bir fiber dağılımı sağlamak için yöntemlerin iyileştirilmesine yönelik daha fazla araştırma gerekmektedir. Bu, uzun ömürlü ve yüksek performanslı kompozitlerin üretiminde kritik bir faktör olabilmektedir. Sonuç olarak, 3B baskı ve kompozit malzemelerin kullanımı, otomotiv bileşenlerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi konusunda önemli bir potansiyel taşır. Bu anlayış, gelecekte daha hafif, daha dayanıklı ve daha geri dönüştürülebilir otomobil bileşenlerinin üretimini mümkün kılacak ilerlemeler için kritik bir rol oynamaktadır

KAYNAKLAR

Akça, H. (2019). 3D yazıcı ile kemik tozundan Biyo-UYUMLU İmplant üretimi ve performansının incelenmesi (Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi). Erişim adresi: https://acikerisim.sakarya.edu.tr/handle/20.500.12619/79543

Anjum, T., Dongre, P., Misbah, F., & Nanyam, V. N. (2017). Purview of 3DP in the Indian built environment sector. Procedia engineering, 196, 228-235. Erişim adresi: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.194

Bechtold, S. (2016). 3D printing, intellectual property and innovation policy. IIC-International Review of Intellectual Property and Competition Law, 47(5), 517-536. Erişim adresi: https://doi.org/10.1007/s40319-016-0487-4

Bıyıkoğlu, M. (2019). Eriyik yığma yöntemiyle üretilen sürekli fiber takviyeli kompozit malzemelerin darbe davranışlarının deneysel olarak incelenmesi (Yüksek lisans tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). Erişim adresi: http://acikerisim.btu.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12885/1747

Çevik, D. (2018). Üç boyutlu yazıcı teknolojisinin seri ve kesikli üretim sistemleri üzerine etkisi (doktora tezi, Sakarya Üniversitesi). Erişim adresi: https://www.proquest.com/dissertations-theses/üç-boyutlu-yazıcı-teknolojisinin-seri-ve-kesikli/docview/2700374240/se-2

Doymuş, Y. Ş. (2021). Üç boyutlu yazıcıyla üretilmiş total protez kaide materyalinde yapılan farklı yüzey işlemlerinin renk stabilitesine etkisi. (Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi). Erişim adresi: http://www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080/xmlui/handle/11655/25593

Favero, C. S., English, J. D., Cozad, B. E., Wirthlin, J. O., Short, M. M., & Kasper, F. K. (2017). Effect of print layer height and printer type on the accuracy of 3-dimensional printed orthodontic models. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 152(4), 557-565. Erişim adresi: https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.06.012

Felek, S. Ö. (2019). Mimari yapilarda 3 boyutlu yazicilarin kullanimi. International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, 3 (3), 289-296. Erişim adresi: https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/issue/51591/630599

Hernandez, D. D. (2015). Factors affecting dimensional precision of consumer 3D printing. International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace, 2(4), 2. Erişim adresi: https://commons.erau.edu/ijaaa/vol2/iss4/2/

Kabir, S. F., Mathur, K., & Seyam, A. F. M. (2020). A critical review on 3D printed continuous fiber-reinforced composites: History, mechanism, materials and properties. Composite Structures, 232, 111476. Erişim adresi: https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111476

Kalyan, P. B. G., & Kumar, L. (2022). 3D printing: Applications in tissue engineering, medical devices, and drug delivery. AAPS PharmSciTech, 23(4), 92. Erişim adresi: https://doi.org/10.1208/s12249-022-02242-8

Khosravani, M. R., & Reinicke, T. (2020). On the environmental impacts of 3D printing technology. Applied Materials Today, 20, 100689. Erişim adresi: https://doi.org/10.1016/j.apmt.2020.100689

Kim, H. J., Lim, S. W., Lee, M. K., Ju, S. W., Park, S. H., Ahn, J. S., & Hwang, K. G. (2022). Which three-dimensional printing technology can replace conventional manual method of manufacturing oral appliance? A preliminary comparative study of physical and mechanical properties. Applied Sciences, 12(1), 130. Erişim adresi: https://doi.org/10.3390/app12010130

Kılınç, A. Ç., Goktas, A. A., Keskin, Ö. Y., & Köktaş, S. (2021). Extrusion-based 3d printing of cusn10 bronze parts: production and characterization. Metals, 11(11), 1774. Erişim adresi: https://doi.org/10.3390/met11111774

Kumar, R., & Kumar, S. (2020). Trending applications of 3D printing: A study. Asian Journal of Engineering and Applied Technology, 9(1), 1-12. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/profile/Santosh-Kumar-101/publication/353925735_Trending_Applications_of_3D_Printing_A_Study/links/6350485096e83c26eb37d962/Trending-Applications-of-3D-Printing-A-Study.pdf

Ligon, S. C., Liska, R., Stampfl, J., Gurr, M., & Mülhaupt, R. (2017). Polymers for 3D printing and customized additive manufacturing. Chemical reviews, 117(15), 10212-10290. Erişim adresi: https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00074

Liu, Y., Liang, X., Saeed, A., Lan, W., & Qin, W. (2019). Properties of 3D printed dough and optimization of printing parameters. Innovative food science & emerging technologies, 54, 9-18. Erişim adresi: https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.03.008

Malkoç, S. (2020). Termoplastik granül ekstrüzyonu esasli piezokompozit algilayicilar üretimi için yeni bir 3B yazici tasarimi, prototip üretimi ve performansinin incelenmesi (Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Universitesi). Erişim adresi: http://hdl.handle.net/11452/11501

Mania, S., Ryl, J., Jinn, J. R., Wang, Y. J., Michałowska, A., & Tylingo, R. (2019). The production possibility of the antimicrobial filaments by co-extrusion of the PLA pellet with chitosan powder for FDM 3D printing technology. Polymers, 11(11), 1893. Erişim adresi: https://doi.org/10.3390/polym11111893

Matias, E., ve Rao, B. (2015, August). 3D printing: On its historical evolution and the implications for business. In 2015 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET) (pp. 551-558). IEEE. Erişim adresi: https://doi.org/10.1109/PICMET.2015.7273052

Nuri, Ş. E. N., ŞENGÜL, Ö., & UYGUR, İ. (2020). Geri dönüşümü yapılmış PP ve ABS prototip malzemelerin bazı mekanik ve termal özelliklerinin incelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(1), 246-257. Erişim adresi: https://dergipark.org.tr/en/pub/dubited/issue/49725/655553

Oropallo, W., & Piegl, L. A. (2016). Ten challenges in 3D printing. Engineering with Computers, 32, 135-148. Erişim adresi: https://doi.org/10.1007/s00366-015-0407-0

Park, S., Shou, W., Makatura, L., Matusik, W., & Fu, K. K. (2022). 3D printing of polymer composites: Materials, processes, and applications. Matter, 5(1), 43-76. Erişim adresi: https://www.cell.com/matter/pdf/S2590-2385(21)00517-8.pdf

Petousis, M., Michailidis, N., Papadakis, V. M., Korlos, A., Mountakis, N., Argyros, A., ... ve Vidakis, N. (2023). Optimizing the rheological and thermomechanical response of acrylonitrile butadiene styrene/silicon nitride nanocomposites in material extrusion additive manufacturing. Nanomaterials, 13(10), 1588. Erişim adresi: https://doi.org/10.3390/nano13101588

Rajak, D. K., Pagar, D. D., Menezes, P. L., & Linul, E. (2019). Fiber-reinforced polymer composites: Manufacturing, properties, and applications. Polymers, 11(10), 1667. Erişim adresi: https://doi.org/10.3390/polym11101667

Stefaniak, A. B., Bowers, L. N., Cottrell, G., Erdem, E., Knepp, A. K., Martin Jr, S. B., ... & Sirinterlikci, A. (2022). Towards sustainable additive manufacturing: The need for awareness of particle and vapor releases during polymer recycling, making filament, and fused filament fabrication 3-D printing. Resources, Conservation and Recycling, 176, 105911. Erişim adresi: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105911

Taşcıoğlu, E., Kıtay, Ö., Keskin, A. Ö., & Kaynak, Y. (2022). Effect of printing parameters and post-process on surface roughness and dimensional deviation of PLA parts fabricated by extrusion-based 3D printing. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 44(4), 139. Erişim adresi: https://doi.org/10.1007/s40430-022-03429-7

Tokdemir, V. (2022). 3d yazıcılar için ahşap biyo-kompozit filament üretimi ve bazı özelliklerinin incelenmesi (doktora tezi, Karabük Üniversitesi). Erişim adresi: http://acikerisim.karabuk.edu.tr:8080/xmlui/handle/123456789/1696

Tulum, P. (2020). Kıkırdak doku mühendisliğinde kullanılmak üzere nanokompozit hidrojelin sentezlenmesi ve in vitro denemeleri (Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). Erişim adresi: https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/363342

Tümer, M. B. (2020). Üç boyutlu yazıcılar ve günümüz mimarisinde kullanımı (Yüksek lisans tezi, Işık Üniversitesi). Erişim adresi: https://acikerisim.isikun.edu.tr/xmlui/handle/11729/2915

Uludağ, F. Ş. (2020). Radyoterapide 3B modelleme yapılarak 3B yazıcı ile farklı filamentler kullanarak bolus üretimi ve kıyaslanması (Yüksek lisans tezi, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi). Erişim adresi: https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/264392

Uslu, O. (2019). Bikomponent ve karışım hdpe/ldpe liflerinin eriyikten çekim yöntemi ile üretimi ve 3d yazıcılarda kullanımı (doktora tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi). Erişim adresi: https://www.proquest.com/dissertations-theses/bikomponent-ve-karışım-hdpe-ldpe-liflerinin/docview/2606879865/se-2

Velu, R., Raspall, F., & Singamneni, S. (2019). 3D printing technologies and composite materials for structural applications. In Green composites for automotive applications (pp.

171-196). Woodhead Publishing. Erişim adresi: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102177-4.00008-2

Veteška, P., Hajdúchová, Z., Feranc, J., Tomanová, K., Milde, J., Kritikos, M., ... & Janek, M. (2021). Novel composite filament usable in low-cost 3D printers for fabrication of complex ceramic shapes. Applied Materials Today, 22, 100949. Erişim adresi: https://doi.org/10.1016/j.apmt.2021.100949

Yakout, M., & Elbestawi, M. A. (2017, May). Additive manufacturing of composite materials: an overview. In Proceedings of the 6th International Conference on Virtual Machining Process Technology (VMPT), Montréal, QC, Canada (Vol. 29). Erişim adresi: https://www.researchgate.net/profile/Mostafa-Yakout/publication/316688880_Additive_Manufacturing_of_Composite_Materials_An_Overview/links/590c9667458515978182e951/Additive-Manufacturing-of-Composite-Materials-An-Overview.pdf

Yüksek, M. (2011). Cam lifi esaslı poliester reçineli çok eksenli çözgülü örme kompozit yapıların mekanik özelliklerinin geliştirilmesi (doktora tezi, Marmara Üniversitesi). Erişim adresi: https://www.proquest.com/dissertations-theses/cam-lifi-esaslı-poliester-reçineli-çok-eksenli/docview/2570390111/se-2

Wilk, R., Likus, W., Hudecki, A., Syguła, M., Różycka-Nechoritis, A., & Nechoritis, K. (2020). What would you like to print? Students' opinions on the use of 3D printing technology in medicine. PloS one, 15(4), e0230851. Erişim adresi: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230851

Wu, P., Wang, J., & Wang, X. (2016). A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. Automation in Construction, 68, 21-31. Erişim adresi: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.005