



Polimer Esaslı Filamentten 3 Boyutlu Yazıcıyla Cıvata Üretiminin Mekanik Özelliklerine Etkisi

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Muazzez Kaçak

ORCID 0000-0002-4508-4602

Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Özgür Seydibeyoğlu

Haziran 2022

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi **Muazzez Kaçak** tarafından hazırlanan **Polimer Esaslı Filamentten 3 Boyutlu Yazıcıyla Cıvata Üretiminin Mekanik Özelliklerine Etkisi** başlıklı bu çalışma tarafımızca okunmuş olup, yapılan savunma sınavı sonucunda kapsam ve nitelik açısından başarılı bulunarak jürimiz tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

ONAYLAYANLAR:

Tez Danışmanı: **Prof. Dr. M.Özgür SEYDİBEYOĞLU**
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Jüri Üyeleri: **Prof. Dr. İbrahim Etem Saklakoğlu**
Ege Üniversitesi

Doç. Dr. Onur Ertuğrul
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Savunma Tarihi: 30.06.2022

Yazarlık Beyanı

Ben, **Muazzez Kaçak**, başlığı **Polimer Esaslı Filamentten 3 Boyutlu Yazıcıyla Cıvata Üretiminin Sürtünme Katsayısına ve Mekanik Özelliklerine Etkisi** olan bu tezimin ve tezin içinde sunulan bilgilerin şahsıma ait olduğunu beyan ederim.

Ayrıca:

- Bu çalışmanın bütünü veya esası bu üniversitede Yüksek Lisans derecesi elde etmek üzere çalıştığım süre içinde gerçekleştirilmiştir.
- Daha önce bu tezin herhangi bir kısmı başka bir derece veya yeterlik almak üzere bu üniversiteye veya başka bir kuruma sunulduysa bu açık biçimde ifade edilmiştir.
- Başkalarının yayımlanmış çalışmalarına başvurduğum durumlarda bu çalışmalara açık biçimde atıfta bulundum.
- Başkalarının çalışmalarından alıntıladığımda kaynağı her zaman belirttim. Tezin bu alıntılar dışında kalan kısmı tümüyle benim kendi çalışmamdır.
- Kayda değer yardım aldığım bütün kaynaklara teşekkür ettim.
- Tezde başkalarıyla birlikte gerçekleştirilen çalışmalar varsa onların katkısını ve kendi yaptıklarımı tam olarak açıkladım.

İmza:

Tarih: 30.06.2022

Polimer Esaslı Filamentten 3 Boyutlu Yazıcıyla Cıvata Üretiminin Mekanik Özelliklerine Etkisi

Özet

Eklemeli imalatta son yıllarda yaygın olarak kullanılan 3 boyutlu yazıcıların kullanımını genişletmiş olup, çeşitli ürün grupları üretilmeye başlanmıştır. Bu yöntemle; geleneksel üretim yöntemlerinden farklılık gösterilerek, çelik malzemenin imal edilen cıvata ve somunların, yeni bir üretim yöntemi olan 3 boyutlu yazıcıyla üretilerek, 3D- yazıcı yönteminde polimer esaslı PA6, PETG, PLA, PA6 %10 karbon fiber filamentten M8x50 DIN 933 cıvata ve M8 DIN 934' e göre somun tasarlanmıştır. Üretilen bu cıvata ve somunların 3 boyutlu yazıcıda üretimi esnasında uygulanan nozul baskı yönlerine ($\pm 45^\circ$ ve $0/90^\circ$) göre üretilmiştir. Somunların üretilmesinin asıl nedeni; cıvatalara uygulanacak olan tork vb. gibi mekanik testlerde somun ile bağlanması gerektiğinden üretimi yapılmıştır. Baskı yönlerinin cıvata ve somunlarda mekanik özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen veriler kullanılan çeşitli malzemeler ile kıyaslanarak malzeme seçimi ve baskı yönünün optimum verimlilikte nasıl davranışlar sergileyeceği gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: 3 boyutlu yazıcı, polimer, baskı yönü, mekanik özellik, cıvata, somun

The Effect of Bolt Production from Polymer-Based Filament with 3D Printer on Mechanical Properties

Abstract

In this study ; the use of 3D printers, which have been widely used in additive manufacturing in recent years, has expanded and various product groups have begun to be produced. With this method; differing from traditional production methods, bolts and nuts made of steel material were produced with a 3D printer, a new production method, and M8x50 DIN 933 bolts and nuts according to M8 DIN 934 were produced from polymer-based PA6, PETG, PLA, PA6 10% carbon fiber filament in 3D-printing method. These produced bolts and nuts are produced according to the nozzle pressure directions ($\pm 45^\circ$ and $0/90^\circ$) applied during the production of the 3D printer. The main reason for the production of nuts; torque etc. to be applied to the bolts in mechanical tests, it is produced because it needs to be connected with a nut. The mechanical properties of the printer directions on bolts and nuts were investigated. By comparing the obtained data with various materials used, it has been observed how the material selection and printing direction will behave in optimum efficiency.

Keywords: 3D Printer, polymer, nozzle direction, bolt, nut, mechanical properties

Teşekkür

Bu tezi yapmamdaki asıl amacım; günümüzde geleneksel yöntemlerle üretilen cıvata ve somunların yeni bir üretim metoduyla üretilerek, polimer malzeme çeşitliliği kazandırılarak, bilgi sahibi olmak ve incelemeler yapmaktır. Tez çalışmasına katkılarından ve yönlendirmelerinden dolayı başta değerli hocam Prof. Dr. M. Özgür Seydibeyoğlu olmak üzere tez kapsamında yardımlarını esirgemeyen Öğr. Gör. Alperen Doğru'ya, Obel Cıvata çalışanlarına ve bugüne kadar desteğini esirgemeyen aileme ve eşime teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2022

Muazzez KAÇAK

İçindekiler

Yazarlık Beyanı	ii
Özet	iii
Abstract	iv
Teşekkür	v
İçindekiler	vi
Şekiller Listesi	viii
Tablolar Listesi	xi
Kısaltmalar Listesi	xii
Semboller Listesi	xiii
1 Giriş	1
1.1 Tezin Amacı ve Uygulama Alanları	2
1.2 Literatür Özeti	2
2 Cıvatalar	8
2.1 Genel Bilgiler	8
2.1.1 Cıvata Temel Prensipleri ve Standartlar	8
2.1.2 Cıvata Toleransları	9
2.1.3 Cıvataların Gösterimi	10
2.1.4 Cıvata Bağlantı Türleri ve Birbirine Sabitlenmesi	10
3 Somunlar	12
3.1 Somunlar Hakkında Genel Bilgiler	12
3.1.1 Somun Temel Prensipleri ve Standartları	12

4	Üretim Yöntemleri	14
4.1	Eklemeli İmalat Teknikleri.....	14
4.2	Ergiyik Filament Fabrikasyonu(FFF)	15
5	Malzeme Türleri.....	18
5.1	Plastik Malzemeler.....	18
5.1.1	Termoplastik Malzemeler.....	20
5.1.2	Termoset Malzemeler ve Özellikleri	20
5.2	Tez Kapsamında Kullanılan Malzemelerin Genel Özellikleri	21
6	Deneysel Çalışmalar ve Tasarımı.....	26
6.1	Tasarım Süreci ve Üretimi.....	26
6.2	Cıvata ve Somunların Üretimi	30
6.3	Üretilen Cıvata ve Somunlara Uygulanan Yüzey Temizleme.....	32
6.4	Cıvata ve Somunlara Uygulanan Mekanik Testler	33
6.4.1	Sertlik (Shore D) Testi	33
6.4.2	Tork Testi	36
6.4.3	Stereo Mikroskobu	40
6.4.4	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi	41
7	Sonuçlar ve Değerlendirme	42
7.1	Sertlik (Shore D) Testi Sonuçları.....	42
7.2	Tork Testi Sonuçları.....	48
7.3	Stereo Mikroskop İncelemeleri.....	52
7.4	SEM Görüntüleri	55
7.5	Değerlendirme	57
	Kaynaklar	58
	Özgeçmiş	62

Şekiller Listesi

Şekil 1.1	M16 Somun ve Cıvatanın Modellemesi	3
Şekil 1.2	3 Boyutlu Yazıcı İle Üretilen PLA Esaslı Cıvata ve Somunlar	5
Şekil 1.3	FDM Sürecinin Şeması	6
Şekil 2.1	Cıvatanın Temel Boyutsal Terminolojisi	9
Şekil 2.2	Cıvatalı Bağlantı Tür Çeşitleri	11
Şekil 2.3	Tork Kuvvet Ön Gerilme ve Sıkma Kuvveti Arasındaki İlişkinin Şekilsel Gösterimi.....	11
Şekil 3.1	Somun Ölçülerinin Standart Gösterimi.....	12
Şekil 4.1	Eklemeli İmalat Tekniklerinin Sınıflandırılması.....	15
Şekil 4.2	Ergiyik Filament Fabrikasyonu 3B Yazıcı Şematik Gösterimi.....	16
Şekil 5.1	Termoplastiklerde Zincir Yapısı.....	20
Şekil 5.2	Termosetlerde Zincir Yapısı.....	21
Şekil 5.3	3B Baskıda Kullanılan Termoplastikler PLA'nın Örümcek Ağı Grafikleri	22
Şekil 5.4	Naylon Zincir Yapısı	23
Şekil 6.1	M8 Cıvatanın Modellenmesi	27
Şekil 6.2	M8 Cıvatanın Teknik Resmi	27
Şekil 6.3	M8 Somunun Modellenmesi	28
Şekil 6.4	M8 Somunun Teknik Resmi	28
Şekil 6.4	FFF Teknolojisinde Cıvata Üretimi.....	31
Şekil 6.5	Pafta ile Son Yüzey Temizleme İşlemi Görüntüsü	32
Şekil 6.6	Pafta ile Temizlenen Cıvataların Master Kontrolleri Görüntüleri.....	33
Şekil 6.7	Durometre Çalışma Standı	34

Şekil 6.8	Shore D Sertlik Analizi Yapılan Numunelere Ait Bazı Görüntüler	35
Şekil 6.9	Shore D Sertlik Analizi Yapılan Numunelere Ait Bazı Somun Görüntüleri	36
Şekil 6.10	PETG ($\pm 45^\circ$) ve (0/90 $^\circ$) Baskı Yönlerine Ait Somun ve Cıvata Numuneleri.....	37
Şekil 6.11	PLA ($\pm 45^\circ$) ve (0/90 $^\circ$) Baskı Yönlerine Ait Somun ve Cıvata Numuneleri.....	38
Şekil 6.12	PA6 %10 Karbon Fiberli ($\pm 45^\circ$) ve (0/90 $^\circ$) Baskı Yönlerine Ait Somun ve Cıvata Numuneleri	39
Şekil 6.13	PA6 ($\pm 45^\circ$) ve (0/90 $^\circ$) Baskı Yönlerine Ait Somun ve Cıvata Numuneleri.....	40
Şekil 7.1	Sertlik Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 %10 Karbon Fiberli Cıvatanın Baskı Yönlerinin Göre Kıyaslanması	43
Şekil 7.2	Sertlik Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 %10 Karbon Fiberli Cıvatanın $\pm 45^\circ$ Baskı Yönüne Göre Malzemelerin Kıyaslanması	44
Şekil 7.3	Sertlik Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 %10 Karbon Fiberli Cıvatanın 0/90 $^\circ$ Baskı Yönüne Göre Malzemelerin Kıyaslanması	44
Şekil 7.4	Sertlik Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 %10 Karbon Fiberli Aynı Malzeme Türlerinin Farklı Baskı Yönlerine Göre Genel Olarak Kıyaslanması (cıvatalar için ölçülen değerleri içerir).....	45
Şekil 7.5	Sertlik Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 %10 Karbon Fiberli Somunun Baskı Yönlerine Kıyaslanması	46
Şekil 7.6	Sertlik Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 %10 Karbon Fiberli Somunun $\pm 45^\circ$ Baskı Yönüne Göre Malzemelerin Kıyaslanması	47
Şekil 7.7	Sertlik Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 %10 Karbon Fiberli Somunun 0/90 $^\circ$ Baskı Yönüne Göre Malzemelerin Kıyaslanması	47
Şekil 7.8	Sertlik Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 %10 Karbon Fiberli Aynı Malzeme Türlerinin Farklı Baskı Yönlerine Göre Genel Olarak Kıyaslanması (somunlar için ölçülen değerleri içerir).....	48
Şekil 7.9	Tork Testine Tabi Tutulan Numunelere Ait Görüntüler	49
Şekil 7.10	Tork Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 %10 Karbon Fiberli Cıvatanın Baskı Yönlerinin Göre Kıyaslanması	50

Şekil 7.11	Tork Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 %10 Karbon Fiberli Cıvatanın $\pm 45^\circ$ Baskı Yönüne Göre Malzemelerin Kıyaslanması	50
Şekil 7.12	Tork Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 %10 Karbon Fiberli Cıvatanın $0/90^\circ$ Baskı Yönüne Göre Malzemelerin Kıyaslanması	51
Şekil 7.13	Tork Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 %10 Karbon Fiberli Aynı Malzeme Türlerinin Farklı Baskı Yönlerine Göre Genel Olarak Kıyaslanması	51
Şekil 7.14	PA6 %10 Karbon Fiberli a) $0/90^\circ$ Cıvata Dış b) $\pm 45^\circ$ Cıvata Dış Görüntüleri	52
Şekil 7.15	PA6 %10 Karbon Fiberli a) $0/90^\circ$ Somun Dış b) $\pm 45^\circ$ Somun Dış Görüntüleri	53
Şekil 7.16	PA6 a) $0/90^\circ$ Cıvata Dış b) $\pm 45^\circ$ Cıvata Dış Görüntüleri	53
Şekil 7.17	PA6 a) $0/90^\circ$ Somun Dış b) $\pm 45^\circ$ Somun Dış Görüntüleri	53
Şekil 7.18	PETG a) $0/90^\circ$ Cıvata Dış b) $\pm 45^\circ$ Cıvata Dış Görüntüleri	54
Şekil 7.19	PETG a) $0/90^\circ$ Somun Dış b) $\pm 45^\circ$ Somun Dış Görüntüleri	54
Şekil 7.20	PLA a) $0/90^\circ$ Cıvata Dış b) $\pm 45^\circ$ Cıvata Dış Görüntüleri	54
Şekil 7.21	PLA a) $0/90^\circ$ Somun Dış b) $\pm 45^\circ$ Somun Dış Görüntüleri	55
Şekil 7.22	PA6 %10 Karbon Fiber $0/90^\circ$ Baskı Yönündeki a) 100X b) 250X SEM Görüntüsü	56
Şekil 7.23	PA6 %10 Karbon Fiber $\pm 45^\circ$ Baskı Yönündeki a) 100X b) 250X SEM Görüntüsü	56
Şekil 7.24	PA6 $0/90^\circ$ Baskı Yönündeki a) 100X b) 250X SEM Görüntüsü	56
Şekil 7.25	PA6 $\pm 45^\circ$ Baskı Yönündeki a) 100X b) 250X SEM Görüntüsü	57

Tablolar Listesi

Tablo 2.1	DIN EN ISO 965'e Göre Toleransları.....	10
Tablo 2.2	Vida Gösterimi	10
Tablo 3.1	Somunların Boyutsal Ölçülerini Gösteren Tablo	13
Tablo 3.2	Normal Somunların (Stil 1) ve Yüksek Somunların (Stil 2) Cıvata Özellik Sınıflarıyla Kombinasyonu (Kalite Sınıflarının Karşılığı)	13
Tablo 5.1	Plastik Malzemelerin Özellikleri.....	19
Tablo 5.2	PLA ve PET Malzemelerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	23
Tablo 5.3	Deneylerde Kullanılan PA6 Malzemesinin Mekanik ve Fiziksel Özellikleri.....	24
Tablo 6.1	Kullanılan Malzeme Türlerine Göre Üretilen Toplam Numune Adedi.....	29
Tablo 6.2	FFF Teknolojisinde Kullanılan Üretim Parametreleri.....	30

Kısaltmalar Listesi

AM	Additive Manufacture
PA6	Poliamid 6
PA6 % 10 CF	Poliamid 6 % 10 carbon fiber
CAD	Computer Aided Design
PC	Personal Computer
PETG	Glikol ile Modifiye Edilmiş Polietilen Tetraflat
PLA	Polilaktik Asit
ABS	Akrilonitril Bütadiyen Stiren
STL	Standard Tessellation Language
FFF	Fused Filament Fabrication
ASTM	American Society for Testing and Materials
DIN	Deutsche Institute für Normung/Alman Standartlar Enstitüsü
SLA	Stereolitografi
SLS	Seçimtive Lazer Sinterleme
LOM	Lamine Nesne Üretimi
FDM	Fused Deposition Modelling

Semboller Listesi

M	Metrik
g	Gram
lb	Libre
F	Kuvvet [N]
S	Saniye
mm	Milimetre
m	Kütle [kg]

Bölüm 1

Giriş

Günümüzde kullanılan bağlantı elemanların çoğu düşük ve orta karbonlu çeliklerden imal edilmektedir. Geleneksel üretim yöntemleri ile üretilen cıvatalar otomotiv ve havacılık sektöründe bağlantı elemanları olarak hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. Otomotiv ve havacılık sektöründe belirli kalite sistem gerekliliği içerisinde üretimleri yapılmaktadır. Günümüzde kullanılan bağlantı elemanlarında; cıvata ve somunun üretiminde hammadde çeşitliliğini yaygınlaştırmak için plastik malzemelerden imal edilerek bağlantı elemanları, yeni üretim metotları denenmeye başlanmıştır.

Bu üretim metotları ihtiyaçlara göre birkaç kategoriye ayrılır. Bu kategorilerden biri Ek İmalat (veya) 3D Baskı ve Eksiltmeli İmalattır. Eksiltmeli İmalat, malzemelerin ve eylemlerinin kaldırılmasından başka bir şey olmayan geleneksel imalattır. Bu delme, sıkıcı, pah kırma, tırtıl çekme gibi çeşitli operasyonları içerir. Bunların hepsi talaşlı imalat olarak adlandırılır. Ancak eklemeli imalatta bir nesne öncelikle Creo, Auto Cad gibi 3 boyutlu kullanılan modelleme yazılımları ile tasarlanır.[1] (fabrication analyse) Bu tez kapsamında; M8 DIN 933 standartına sahip standart altı köşe cıvatanın hammaddesi çelik yerine çeşitli plastik hammaddeler kullanılarak yeni üretim metodu olan 3 boyutlu yazıcı ile üretmektir. PA6(Poliamid 6), PA6CF(Karbon fiber takviyeli Poliamid 6) ,PETG(Glikol ile modifiye edilmiş Polietilen Tetraflat) kullanılarak , sertlik dayanımı ,tork testi gibi mekanik özellikler genel bilgi edinilecektir.

1.1 Tezin Amacı ve Uygulama Alanları

Otomotiv ve uçak sanayisinde önemli bağlantı elemanları çelik malzemeden imal edilerek, birçok alanda kullanılması sebebiyle önemli rol oynamaktadır. Malzeme biliminde önemli olan bu bakış açısına yeni üretim modeli olan 3D printer kullanarak üretilen cıvata ve somunların, üretilirken oluşan baskı yönlerine göre $\pm 45^\circ$ ve $\pm 90^\circ$ şeklinde üretilerek, plastik malzemelerde yeni bir bakış açısı sağlamaktadır. Yapılacak çalışmanın deneysel olması deney sisteminin nasıl kurulduğunu tecrübesi elde edilmesine ve mühendislik için çok önemli olan deneysel çalışma tecrübesi edilmesine yardımcı olmuştur. Deneylere başlamadan önce yapılacak olan testlere ile alınan numunelerin, önceden kontrolleri yapılmış olup cıvata ve somunların yüzeyi temizlenmiş ve master kontrolleri yapılmıştır. Malzeme dayanımının belirlenmesi için en yaygın olarak kullanılan tork ve sertlik testi uygulaması yapılmıştır. Tork testine de tabi tutulan cıvataların çözünme ve sıkma tork kuvvetleri hakkında bilgi edinilmiştir. Bu doğrultuda plastik malzemelerin dayanabileceği kuvvetler ve malzemelerin Shore-d sertlikleri saptanmıştır. Saptanan değerlerin uygulanabilirliği ve deneysel sonuçlar grafik haline getirilerek yorumlanmıştır. Yorumlanan cıvataların durumu yeni bir üretim yönteminin incelenmesi için parametrelerin belirlenmesine yardımcı olmuştur.

Uçak-uzay sanayisinde cıvatalar kanat- gövde bağlantıları, iniş takımları bağlantıları, uçak motorları bağlantıları (kanatlara ya da motor bağlantı sehpalarna) gibi kritik bağlantıların yanı sıra takılıp sökülmesi gereken birçok bağlantılarda çelik malzemeler kullanılmaktadır. 3D yazıcı ile üretilen plastik cıvata ve somunların tasarımında yeni bir bakış açısı kazandırarak, çelik malzemelerin olduğu noktalarda alternatif malzeme kullanımının güvenilirliği hakkında bilgi vermiştir.

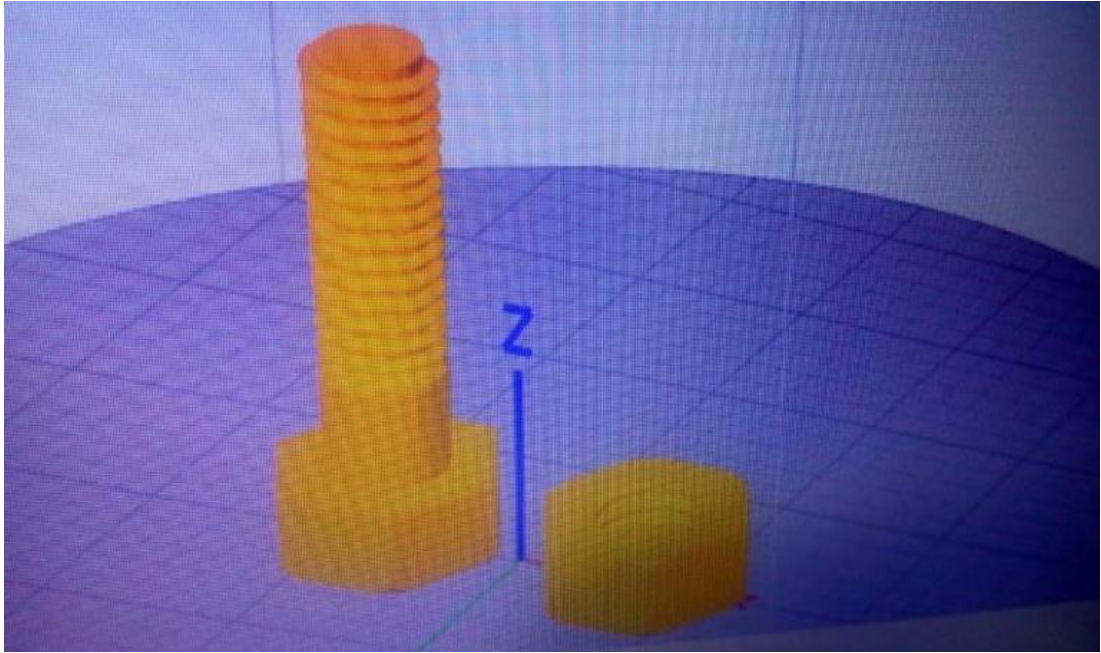
1.2 Literatür Özeti

Eklemeli imalat, ince toz yapısında erişilebilir olan malzemeleri katman katman segmentler halinde geliştirir. Katkı maddelerinin üretimi ya da hızlı prototipleme ya da 3 boyutlu yazıcı olarak adlandırılır. Malzemeyi kademeli olarak, katman katman üretir. 3D baskı olarak adlandırılır ve çoğunlukla, katman tasarımında bir katmana malzemeyi azar azar ekleyerek üç boyutlu parçalar üreten prosedürleri ima

etmektedir. Bu benzersiz konu, özellikle yeni montaj prosedürleriyle ve ayrıca seçmeli hammadde malzemeleri ve kalemleriyle tanımlanan araştırma ve ilerlemeleri AM'de bir araya getirmeyi planlıyor. Polimer ve metal bazlı ham malzemeler ve öğeler AM (additive manufacture) sistemlerinde geniş çapta araştırılmıştır. Bu deneme çalışmasında konvansiyonel vida, somun ve rondela programlama kullanılarak 3 boyutlu yazıcı ile teslim edilmektedir. Bağlantı somunu ve pul, profesyonel E programlama ile yapılandırılmış ve 3 boyutlu yazıcı tarafından üretilmiştir.[1]

Bu makalede; polimer ve metal bazlı ham malzemeler için; AM stratejilerinde geniş çapta araştırılmıştır. Prosedürle ilgili temel gelişmeler aşağıdaki gibidir.

1. CAD modelinin planını yapmak



Şekil 1.1: M16 Somun ve Cıvatanın Modellemesi [1]

2. CAD modelini STL tasarımına çevirmek

3. STL belgesini hafif enine kesit katmanları halinde kesmek.

4. Modeli bir katman üzerine yerleştirmek

5. Modeli temizleyin ve tamamlamak [1]

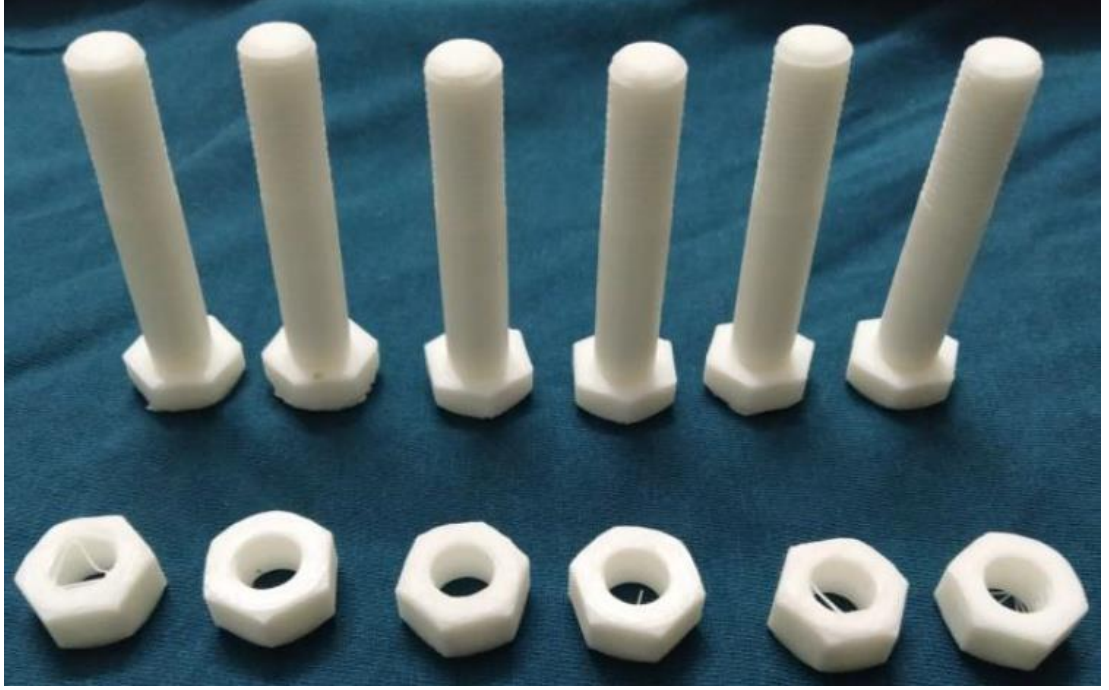
3D baskı prosedürü, toz haline getirilmiş bir polimer malzemeye sıvı bağlı beslemesi uygulayan için uygulanan püskürtmeli ağızlara bağlıdır. STL tasarımına geçildikten sonra CAD modeli, uygun PC programı kullanılarak birkaç gelişmiş çapraz segmente kesilmelidir. Baskı prosedürü, hazneyi ısıtarak ve polimer tozu tabakasını uygulayarak başlar.[1]

Eklemeli imalat ile imal edilecek malzeme Creo, Auto CAD gibi 3 boyutlu kullanılan modelleme yazılımları ile tasarlandıktan sonra STL formatına çevrilmesi ile bu STL dosyası, G-Kodları ile binlerce katmana bölünmüş bir CAD dosyasından başka bir şey değildir. Bu dil 3 boyutlu yazıcıların okunması için uygundur. G Kodları, her katman için bir ekstrüderin hareketini katman katman açıklar.[2]

Üst uçtaki ekstrüder, substrat malzemesi ile bağlantılıdır. Ayrıca G Kodlarını okuyan ve ekstrüderi X, Y, Z eksenleri ile hareket ettiren 3 Step Motor ile bağlantılıdır. Substrat malzemesi bir ekstrüderde eritilir ve bu filament, malzemeye eklemeli olarak üretildiği yatak üzerine katman katman uygulanır. Bu yöntemden, herhangi bir karmaşık, farklı veya küçük boyutlu düzensiz geometrik nesne üretilebilir. Prototip imalat için bu yöntem tercih edilmektedir. Eklemeli imalat için alt tabaka malzemesi (PLA, ABS, Naylon, HIPS, PETG, ASA) vb. içerir. Ancak en çok tercih edilen malzemeler yalnızca incelemek için seçilir. Bir malzeme daha ileri testler ve araştırma amaçları için somun ve civata şeklinde üretilen katkı maddesidir.[2]

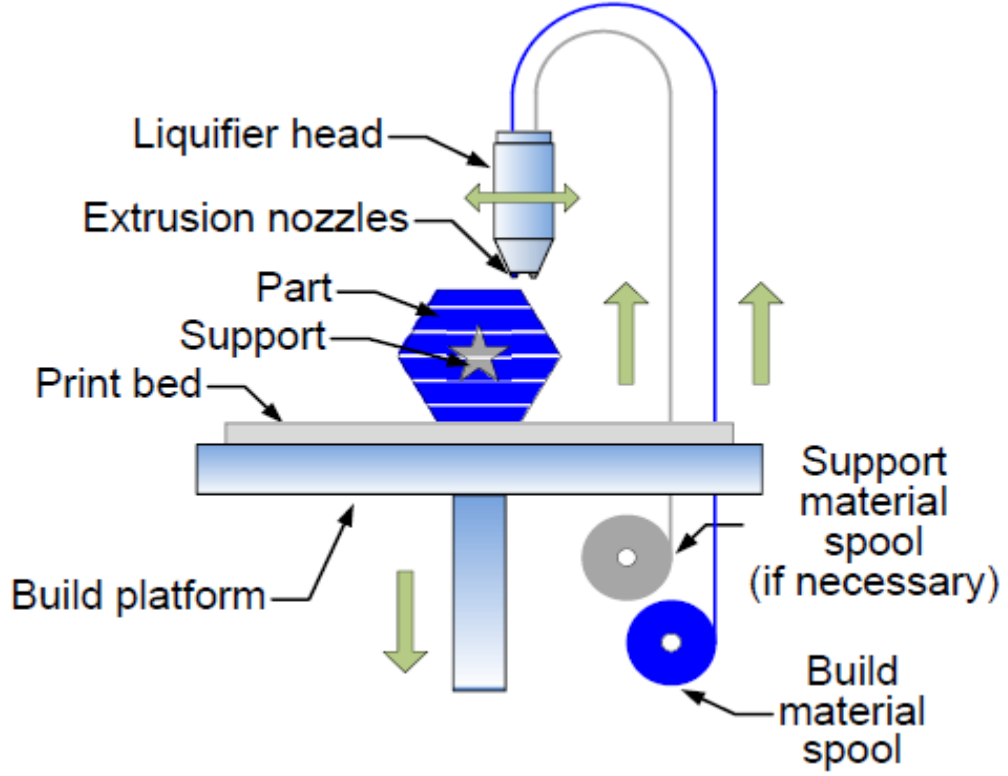
Eklemeli imalat, Tıp Endüstri'sin de ve Tıp Eğitimi'nde de devrim yaratmıştır. PLA kompozit esaslı vidalar, eskiden beri uzun süredir kullanılan titanyum vidaların yerini almaktadır. Cerrahi operasyonlar sırasında bu başarı yabancı ülkelerde başarıyla yapılmıştır. Ayrıca diz cerrahisi implantında Polilaktik Asit malzemenin üretilen vidaların titanyum civatalara göre daha fazla verim ve güç verdiği gözlemlenmiştir. Sadece eklemeli üretilen organlar, tıp öğrencilerini cerrahi operasyonlar için eğitmek için kullanılmamaktadır. Organlar insan vücudunun parçalarına benzediği ve şekil, boyut, görünüm, duyu vb. özellikleriyle uyduğu için kullanılır. [2]

Bu çalışmada PLA ile çelik malzemenin karşılaştırılması yapılmış olup sertlik analizleri yapıp karşılaştırılmıştır. Kullanılan 3D yazıcı tipi MAKERBOT'tur.[2]



Şekil 1.2: 3 Boyutlu Yazıcı ile Üretilen PLA Esaslı Cıvata ve Somunlar [2]

Diğer bir eklemeli imalat yöntemlerinden kaynaşmış biriktirme modellemesi (FDM), en yaygın kullanılan yöntemdir. Hızlı prototipler olarak kullanılan termoplastik parçaların imalatı düşük maliyet, minimum fire ve malzeme değiştirme kolaylığı avantajlarıdır. Kendinden sınırlı olması nedeniyle saf termoplastik malzemelerin mekanik özellikleri, malzemeler (karbon fiberler gibi) termoplastik matris oluşturmak için plastik malzemelere karbon fiber takviyeli gibi gerçek uygulama alanlarında doğrudan kullanılabilen plastik kompozitler havacılık, otomotiv kullanılmaktadır. Bu makale, termoplastik matrisli kompozitlerinin FDM'sini sunarak ve karbon fiberin (farklı içerik ve uzunluk) eklenmesinin FDM ile üretilen parçaların mekanik özelliklerini iyileştirip iyileştirmediğini test etmektedir.[3]



Şekil 1.3: FDM Sürecinin Şeması [3]

Şekil 3'te de gösterildiği gibi, FDM'de prosesinde, makara üzerindeki filament, bir tane dişliden ve bir yataktan oluşturulan besleme basıncı yardımıyla sıvılaştırıcı kafasına beslenir. Plastik parçalar katman katman oluşturulabilir. Cam geçiş durumuna ısıtılan ve sabit bir sıcaklıkta ekstrüzyon memesinden ekstrüde edilen filament malzemesinin biriktirilir. Sıvılaştırıcı kafası, yazılım tarafından oluşturulan takım yolu olarak X ve Y düzleminde hareket eder ve istenen ilk katmanı biriktirir, parça için bir temel oluşturmak üzere baskı oluşturur. Ne zaman katman tamamlandığında, yapı platformu, sonraki filament malzeme imalat katmanı için bir katman kalınlığı için aşağı doğru hareket eder. Her bir katman, bir öncekinin üzerine tekrar tekrar yerleştirilmektedir. Parça tamamlanana kadar aynı şekilde devam ederek üretilir.[3]

FDM imalatından sonra çekme özelliklerine etkileri (çekme mukavemeti, young modülü, tokluk, akma mukavemeti ve süneklik dahil) ve eğilme özellikleri (esneme gerilimi, eğilme modülü, eğilme tokluğu ve eğilme akma mukavemeti dahil) örnekler deneysel olarak incelenmiştir. Çekme sırasında parçaların kırılma nedenlerini

araştırmak için ve eğilme testleri, çekme testi ve eğilme testi sonrasında kompozit numunelerin kırılma arayüzü SEM mikrografi kullanılarak gözlemlenmiş ve analiz edilmiştir [3].

Bölüm 2

Cıvatalar

2.1 Genel Bilgiler

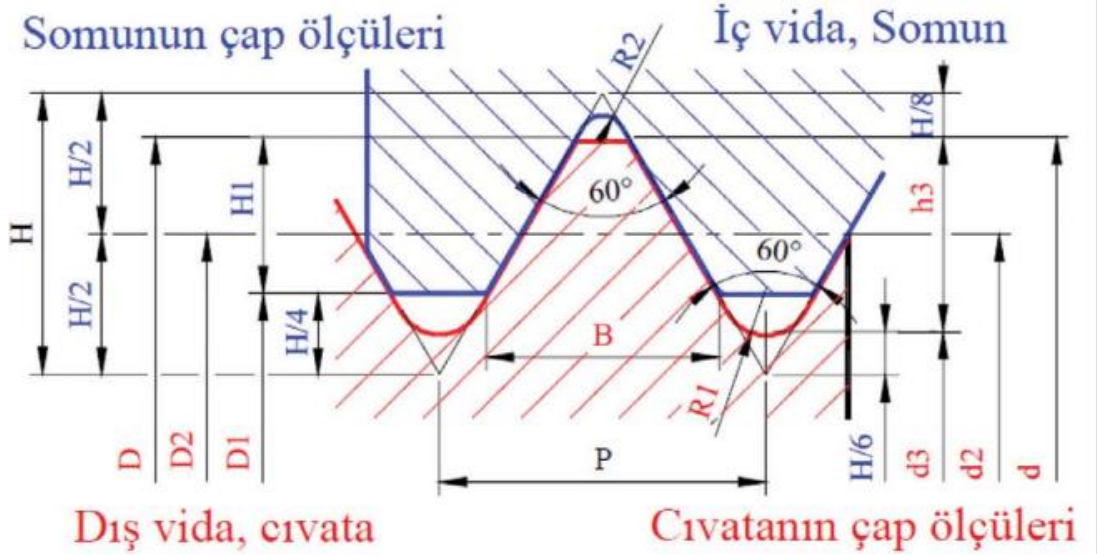
Cıvatalar en çok kullanılan çözülebilen bağlama elemanlarıdır. Bağlama ve hareket cıvataları olarak kullanılabilir. Enine veya aksel kuvvetleri karşılayan cıvata sistemleri; cıvata, bağlanan parçalar ve somun olmak üzere üç elemandan meydana gelmektedir. Cıvata dış yüzeyinde vida bulunan, somun ise iç yüzeyinde dış bulunan elemandır. Değişik imalatçı veya ülkeler arasında değişik ölçü ve profiller kullanıldığı takdirde, bu tam bir karmaşayı beraberinde getirir. Bu yüzden vidalı bağlantılar I. Dünya savaşı sonrasında standartlaştırılmıştır. Cıvatalar için DIN (Deutsches Institut für Normung) metrik standardı 1919 yılında oluşturulmuş ve sonrasında bu standart günümüzde ISO metrik standardına (1948) dönüşmüştür.[4]

Bu bölümde cıvata çeşitleri, özellikleri ve standartlardan bahsedilecek olup, üretim yöntemine göre hangi türün seçildiği hakkında bilgi verilecektir.

2.1.1 Cıvata Temel Prensipleri ve Standartlar

Cıvatalar makina imalatında değil, birçok endüstri de kullanıldığı için amaçlarına uygun birçok türleri geliştirilip, standartlaştırılmıştır. Cıvatalara genel olarak bakıldığında geometrisine ve büyüklüğüne, helis adımına ve sarıldığı silindir çapına bağlı olarak çok sayıda çeşitli cıvata üretmek mümkündür. Bu sayede birçok cıvata üretmek mümkün olacağından belirli standartlara koyulmuştur. Bu standartlardan en yaygın olarak kullanılanı metrik cıvatalardır. Bu cıvatalar aşağıdaki şekilde gösterilmekte olup, eşkenar üçgen şeklinde tasarlanmıştır. Tepe açısı 60° 'dir.

Dişlerin uçları üçgen yüksekliğinin 1/8'i kadar kırılmış, cıvataya açılan diş dipleri gerilme yığılmasını azaltmak ve imalatı kolaylaştırmak için yuvarlatılmıştır [4,5].



Şekil 2.1: Cıvatanın Temel Boyutsal Terminolojisi

2.1.2 Cıvata Toleransları

Cıvatalarda; kılavuz çekilmiş deliğe ya da somuna göre bağlanarak dönmesi fonksiyonu oluşur. Burada oluşan dönme hareketinin oluşabilmesi için; cıvata ve somun dişleri arasında bir boşluk olması gerekir. Bu boşluk çok fazla olduğu takdirde temas edecek olan yan yüzeyler oturmaz ve bağlantı elemanlarının yük taşınması zorlaşır. Tam tersi durumda ise; bağlantı elemanlarının döndürülmesi zorlaşır veya yabancı madde boşluklar arasına girebilir. Bu hataların oluşumunu engellemek amacıyla dişler tanımlanmış ve DIN EN ISO 965 'te tanımlanarak standartlaştırılmıştır.

Tablo 2.1: DIN EN ISO 965'e Göre Toleransları [6]

Tolerans Sınıfı	İç Vida Dişi			Dış Vida Dişi		
	Tolerans Bandı			Tolerans Bandı		
	G	H	e	f	g	h
İnce	-	5H	-	-	(4g)	4h
Orta	6G	6H	6e	6f	6g	6h
Kaba	(7G)	7H	8e	-	8g	-

2.1.3 Cıvataların Gösterimi

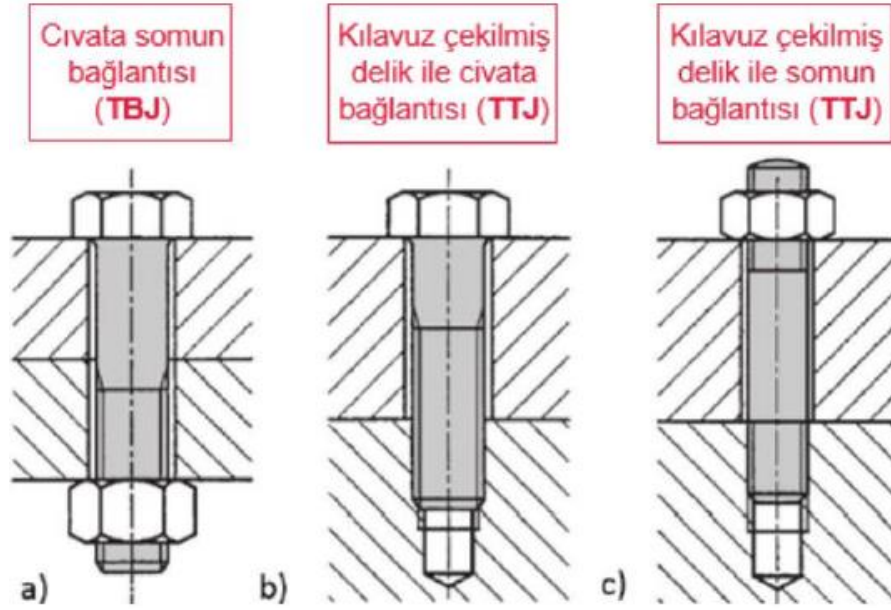
Cıvataların gösterimi tamamen standarttır ve gösterimleri aşağıdaki çizelgeye göre yapılmaktadır.

Tablo 2.2: Vida Gösterimi [7]

Vida Türü	Sembol	Ana Boyut	Örnek
Metrik Vida (Standart)	M	Diş başı çapı, mm	M16
Metrik Vida (İnce Diş)	M	Diş başı çapı x hatve, mm	M20x1,5

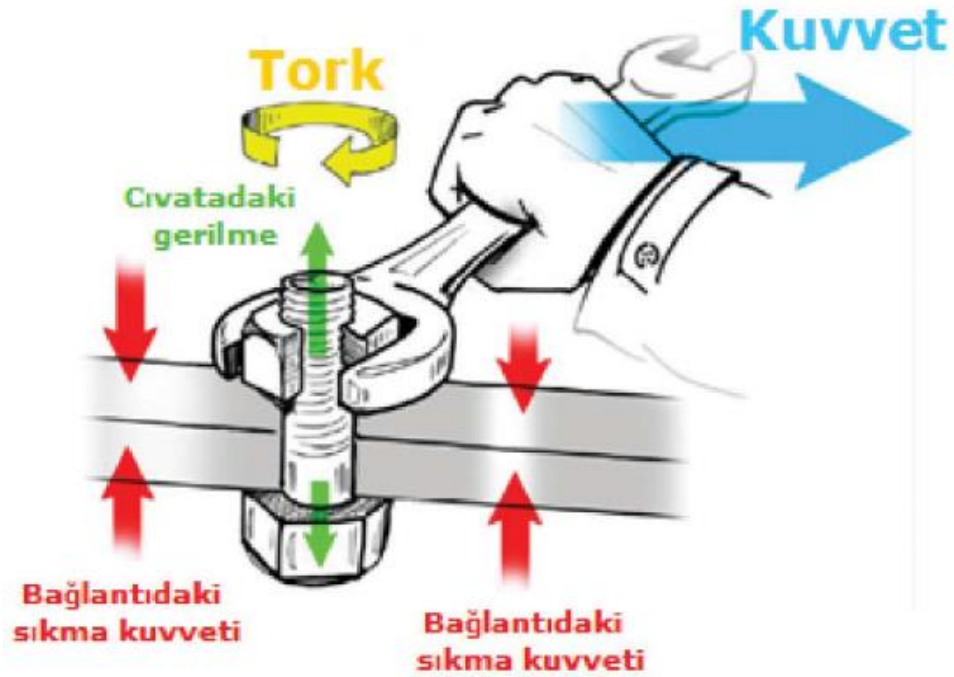
2.1.4 Cıvata Bağlantı Türleri ve Birbirine Sabitlenmesi

Cıvata veya saplama kullanılarak yapılan kuvvet bağlı bağlantıları üç ana kategoride toplamak mümkündür.



Şekil 2.2: Cıvatalı Bağlantı Tür Çeşitleri [8]

Cıvata ve somun seçiminde montaj yapılacak yerin, montajın sağlayacağı olanaklar büyük rol oynamaktadır. Montaj açısından herhangi bir problem yoksa genellikle altı köşe olan cıvata ve somunlar tercih edilirler.



Şekil 2.3: Tork Kuvvet Ön Gerilme ve Sıkma Kuvveti Arasındaki İlişkinin Şekilsel Gösterimi [4]

Bölüm 3

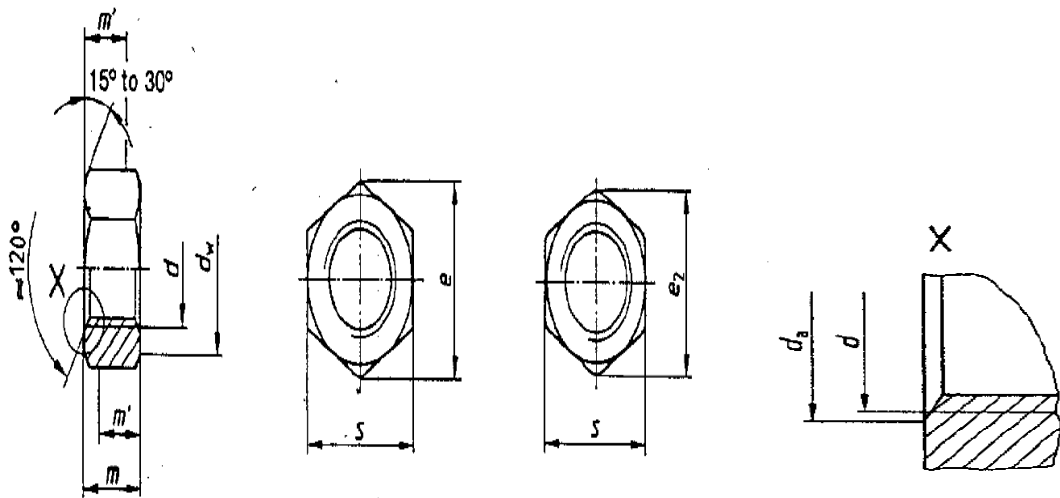
Somunlar

3.1 Somunlar Hakkında Genel Bilgiler

Somunlar ile ilgili olarak cıvata kısmında da bahsedilen standartlaştırılma yapılmış olup, bu standart DIN 934 'tür. Somunlarda da birçok çeşit olup en çok kullanılan altı köşe somunlardır. Somunların iç yüzeyi aynı cıvatalarda olduğu gibi 60° açığa sahip olacak şekilde tasarlanmıştır.

3.1.1 Somun Temel Prensipleri ve Standartları

Somun standardı olan DIN 934 şartnamesine göre; M1 ve M160 ölçülerine ait olan somunlar için gerekliliklerini kapsar. Bu ölçülerde olan somunlar derecelendirilmiş ve ölçüleri belirli bir standart içine alınmıştır.[9]



Şekil 3.1: Somun Ölçülerinin Standart Gösterimi [9]

Tablo 3.1: Somunların Boyutsal Ölçülerini Gösteren Tablo [9]

Thread size (<i>d</i>)	M 8	M 10	M 12	(M 14)	M 16	(M 18)	M 20	
	M 8 x 1	M 10 x 1	M 12 x 1,5	(M 14 x 1,5)	M 16 x 1,5	(M 18 x 1,5)	M 20 x 2	
	-	M 10 x 1,25	M 12 x 1,25	-	-	(M 18 x 2)	M 20 x 1,5	
<i>P</i> ¹⁾	1,25	1,5	1,75	2	2	2,5	2,5	
<i>d_a</i>	min.	8	10	12	14	16	18	20
	max.	8,75	10,8	13	15,1	17,3	19,5	21,6
<i>d_w</i>	min.	11,3	15,3	17,2	20,2	22,2	25,3	28,2
<i>e</i>	min.	14,38	18,9	21,1	24,49	26,75	29,56	32,95
<i>m</i>	max. = nominal size	6,5	8	10	11	13	15	16
	min.	6,14	7,64	9,64	10,3	12,3	14,3	14,9
<i>m'</i>	min.	4,91	6,11	7,71	8,24	9,84	11,44	11,92
<i>s</i> ²⁾	max. = nominal size	13	17	19	22	24	27	30
	min.	12,73	16,73	18,67	21,67	23,67	26,16	29,16

Somunların boyutsal ölçülerinin standartlaştırılmasının yanı sıra ISO 898-2 'ye göre de mekanik özellikleri belirtilmiştir. Bu şartnameye göre hangi kalitedeki somunun nasıl olması gerektiği ile ilgili bilgi vermektedir. 898-2 şartnamesinde anlatılan özellikler çelik malzemeye ait olup, markalaştırılması ile ilgili olarak aşağıdaki tabloya göre gösterilmektedir.

Tablo 3.2: Normal Somunların (Stil 1) ve Yüksek Somunların (Stil 2) Cıvata Özellik Sınıflarıyla Kombinasyonu (Kalite Sınıflarının Karşılığı) [10]

Nut property class	Maximum property class of mating bolt, screw and stud
5	5.8
6	6.8
8	8.8
9	9.8
10	10.9
12	12.9/12.9

Bölüm 4

Üretim Yöntemleri

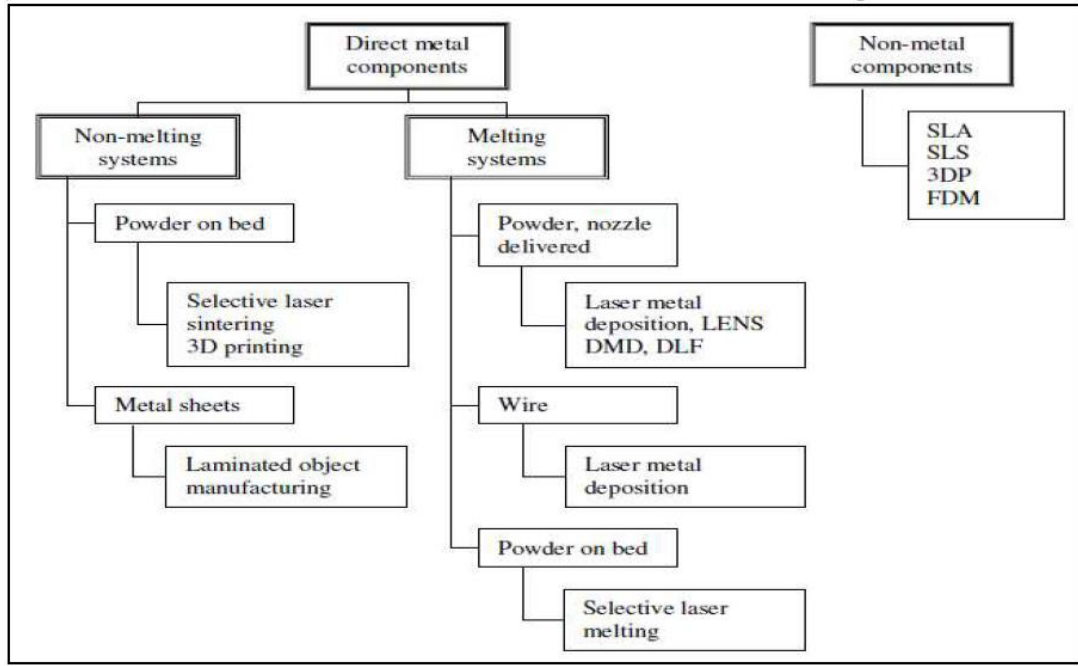
Bu bölümde bahsedilen yöntemlerin yanı sıra hangi yöntemin bu çalışmada kullanıldığı ve genel olarak eklemeli imalat yöntemlerini ele alınacaktır.

4.1 Eklemeli İmalat Teknikleri

Giriş bölümünde bahsedilen 3D-printer yöntemlerinden farklı olarak yapılan tez çalışmasında “Fused Deposition Modelling” (FDM)' den bahsedilmiştir. Anlatılan makalede erimiş biriktirme modellemesi (FDM) olarak PLA malzemesi kullanılarak ‘MAKERBOT’ markasıyla bir cihaz kullanılmıştır ve bu konuya değinilmiştir.[2]

Üretim için yeni endüstriyel ürünlerin geliştirilmesi için tedarik süresinin ve maliyetinin azaltılması çok önemlidir. Sanayi zamandan beri en önemli küresel imalat sorunlarından biridir [11]. Eklemeli imalat (AM), Bir ürünün katman katman yapıldığı üreticiye en iyi çözümler. Her katman, 3D CAD' in bir bölümüne karşılık gelir ve ürünün modelini oluşturur. AM, işlem kolaylığı ve prototipler görsel hale getirme amacı nedeniyle plastik malzeme kullanmaya başlandı. Süreç, her türlü malzemeyi içerecek şekilde büyümüştür. Ancak seramikte başarılı değildir. Bugün, en büyük şans ve çabalar, uzun vadeli sabit metal parçaların doğrudan imalatına harcanmaktadır [11].

Metal için üretim süreçleri farklı kategorilere ayrılabilir; erimeyen, eriyen ve metal olmayan bileşenler (Şekil 4.1)'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Eklemeli İmalat Tekniklerinin Sınıflandırılması [12]

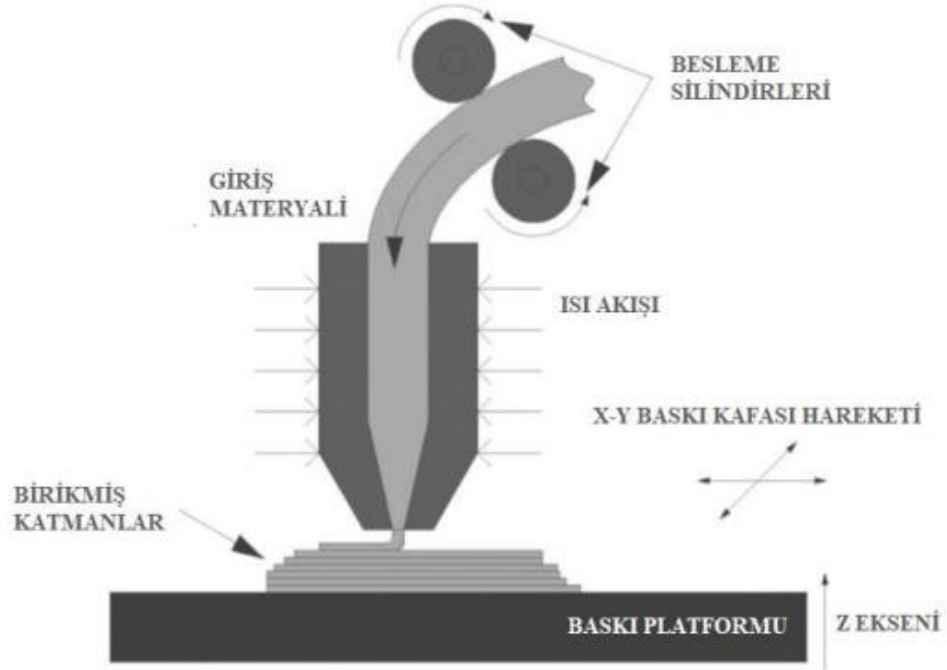
Ergiyik filament fabrikasyonu ve üretimi (FFF), stereolitografi (SLA), seçitme lazer sinterleme (SLS) ve lamine nesne üretimi (LOM) bu teknolojilerin bazı örnekleridir [14,15]

Yukarıda belirtilen genel üretim yöntemlerinin FDM'nin yanı sıra aşağıda ergiyik filament fabrikasyonu ve üretimi (FFF) daha detaylı işlenilmiştir.

4.2 Ergiyik Filament Fabrikasyonu (FFF)

Ergiyik filament fabrikasyonu, polimer malzemeler ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin çalışma prensibi lülenin ergiyik malzemeyi (filament halinde) yüzeye itmesi ve katmanlı bir yapı oluşturması esasına dayanmaktadır. Filamentler, tüp geometrisinde üretilen malzemelerdir. 3B yazıcı mekanizmalarında çalışması için bu şekilde üretilmeleri gerekmektedir. Nozula sabit malzeme akışı filament formunda gerçekleşir ve ürün analitik olarak baskı uzayındaki noktalardan oluşur. Şekil 4.2'de ergiyik filament fabrikasyonu 3B yazıcı şematik olarak gösterilmiştir. [13]

Filamentin özellikleri, ortaya çıkan ürünü doğrudan etkiler. Ergiyik filament fabrikasyonu sistemlerinin mekanizmaları birçok yönden ortaktır ve filament kalitesini ve içeriğini kontrol ederek imalat özelliklerini kontrol etmek mümkündür.[13]



Şekil 4.2: Ergiyik Filament Fabrikasyonu 3B Yazıcı Şematik Gösterimi [13]

Bir başka makalede; FFF, en popüler katı tabanlı 3D baskı teknolojilerinden biridir. Farklı malzemelerden önemli miktarda ve zor üretildiği geleneksel üretim tekniklerin yerine parça üretmek için, FFF teknolojisi önemli olmayan miktarda atık üretir ve bu teknolojilerden biridir. Toksik olmayan, koku yapmayan ve çevreye zarar vermeyen masaüstü prototipleme tesisidir. Bununla birlikte, daha önce yayınlanmış literatürde, çoğu araştırmacının; parçaların daha iyi bir şekilde yazdırılabilmesi için FFF yazıcıda yüzey kalitesine bağlı olduğu saptanmıştır. Bu makalenin amacı ise; kullanılan çeşitli parça tasarımlarını ve bunların montajını tartışmaktır.[16]

Sistemi ve nozulun geliştirilmesi de birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır. En çok kullanılan katı tabanlı 3D yazıcılar FFF tabanlı yazıcılar olmasına rağmen, ayrıca

tasarımları ve yazılımları açık kaynaklıdır, ancak FFF 3D yazıcıların tasarımı ve montajı çok daha az sorunludur. [16]

FFF, basit tasarımı nedeniyle popülerdir. Çok fazla miktarda atık, toksik olmayan, kokmayan, çevresel güvenli masaüstü prototipleme tesisi ve uygun maliyetli 3D baskı sistemidir. FFF teknolojisinin temel prensibi, erimiş malzemeyi ekstrüde etmektir. Bir memeden geçirilir ve tanımlanmış bir yol üzerinde katmanlar halinde biriktirir. Bu teknolojinin ana bileşeni ekstrüderdir. Malzeme hassas miktarda beslenir. Isıtma bloğunda erir, ekstrüder ve daha sonra erimiş malzeme bir meme kullanarak yapı platformunda biriktirilir. Ekstrüzyon tabanlı 3D baskı yönteminde besleme materyali, filamentin yanı sıra pelet şeklinde olabilir. Eğer besleme malzeme filament şeklinde ise kaynaşmış filament olarak bilinir (FFF). Genel olarak, filamentler termoplastiklerden yapılır. PLA ve ABS en yaygın kullanılan termoplastiklerdir. FFF teknoloji basit, esnektir ve küçük çıkıntılara izin verebilir parçalardır. Diğer 3D baskı yöntemleriyle karşılaştırıldığında, birçok besleme malzemesi mevcuttur. En ucuz 3D baskı teknolojisidir. [18]

Yapılan bu tez çalışmasında ergiyik filament fabrikasyonunun tercih edilmesinin en önemli sebebi atıkların zararsız olması ile maliyetini azaltmak olup, yukarıda bahsedilen başka bir makalede de buna benzer kanıtlar sunulmuştur.

Bölüm 5

Malzeme Türleri

5.1 Plastik Malzemeler

Plastikler, kimyasal yönden polimerler grubundadır. Küçük molekül bireylerinin (monomerler) birbirine eklenmesi sonucu elde edilir. Moleküler yapıdaki bireylerin (mer) sayısına bağlı olarak gaz, sıvı ve katı halde bulunurlar. Sıvı halde bulunan boyalar, vernikler, andezitler vb. malzemeler de polimer sayılır. [23].

Plastik malzemelerin metal malzemelere göre özellikleri değişiklik göstermektedir. Bu farklılıklara göre özellikleri ele alınacak olursa;

Metal atomları tamamlanmış bir elektron kabuğuna (dış kabuk) sahip olduklarından, kimyasal maddelere karşı dayanıksızdırlar. Plastik malzemeler ise kimyasal bileşikler olarak moleküler yapıdadır ve molekülleri doymuştur. Atomları ise kimyasal bağlar ile soy gaz karakterine sahip olmuşlardır. Bu nedenle birçok kimyasal maddelere karşı dayanıklıdırlar. [23]

Plastik malzemelerin değişik olan bağ ve yapı türü, fiziksel davranışlarının metalik malzemelere göre tamamen farklı olması sonucunu doğurur. Çizelge 5.1'de plastik malzemelerin değişik özellikleri verilmiştir. Plastik malzeme molekülleri karbonun az miktarda metal olmayan malzemelerle yaptığı bileşiklerdir. Bu maddeler genellikle oda sıcaklığında gaz halindedir. [23]

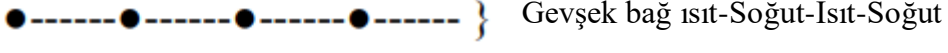
Tablo 5.1: Plastik Malzemelerin Özellikleri [23]

Özellik	Plastik malzemelerin davranışı
Yoğunluk	Plastik malzemeler metallerden daha hafiftir. Kısmen su üzerinde yüzerler. Yoğunluk 0,9 ile 2,0/dm ³ arasındadır.
Katılık (E-Modül)	Plastiklerin eğilme yumuşaklığı metallerden fazladır. Yani E-modülü oldukça düşüktür ve sıcaklığa bağlıdır. Bu durum plastik borularda görebiliriz. Plastik borular ısınınca yumuşar, soğukta ise sertleşir.
Isıl genleşme	Plastik malzemeler ısıtılınca metallerle göre oldukça daha fazla genişler (5-15 defa). Profillerin üzerindeki plastik kaplamalar ısınınca kalkarlar ve profil üzerinde kayabilirler.
Elektrik ve ısı iletkenliği	Plastik malzemeler kötü ısı ileticilerdir; elektrik iletkenlerinde ise iyi bir yalıtkan malzemesidir. Isı iletim kabiliyeti yaklaşık olarak çeliğin 1/300'ü dür.
Kimyasal dayanıklılık	Plastik malzemeler asitlere, bazlara ve tuz çözeltilerine karşı iyi ve kısmen çok iyi dayanıklılık gösterirler. Bazı çözümlendirici maddeler plastik malzemeleri çözümlendirirler veya eritirler.
Alev alma kabiliyeti	Plastik malzemenin kısmen yanıcı ve alev alıcı özellikleri vardır.
Boyanma kabiliyeti	Plastik malzemeler kolaylıkla renk verebilir ve bu renklerin dayanıklılığı selülozik boya tabakalarından daha iyidir.
Su alma kabiliyeti	Plastik malzemeler kısmen su alma özelliği gösterirler, böylelikle elektrik ve mekanik özellikleri değişime uğrar.
Sürekli yükleme altındaki davranışları	Plastik malzemeler devamlı olarak zorlanırlarsa, şekillerini muhafaza edemezler ve yük altında sürünürler
Isıl mukavemet	Plastik malzemeler yüksek sıcaklıkta ayrışırlar. Renk değişimleri ve gazların parçalanmasıyla kabarcıklar oluşur.

Plastik malzemeler termik özellikleri bakımından termoset ve termoplastik malzemeler olarak 2 gruba ayrılır.

5.1.1 Termoplastik Malzemeler

Termoplastikler mühendislik plastikleri olarak da bilinir. En önemli özellikleri ise geri kazanılabilme özellikleridir. Kolay şekil alabilen ve hafif olmaları nedeni ile kolay şekillendirilebilirler. Sertlikleri orta derecededir ve amorf kristal ya da yarı kristal yapıda olabilirler. Korozyona dayanıklı olmalarına karşılık rutubete karşı hassastırlar. Aşağıda gösterildiği gibi termoplastik zincirlerde bağ termosetlere göre daha uzundur [24]. Bu nedenle bağlar daha gevşek olduğundan süneklığe sahiptirler ve birkaç defa ısıtılıp soğutulabilirler. (Şekil 5.1.)



Şekil 5.1: Termoplastiklerde Zincir Yapısı [24]

Termoplastik türlerinden yaygın olarak kullanılanlar;

- Alçak ve yüksek yoğunluklu polietilen - Lineer alçak yoğunluklu polietilen - Yüksek molekül ağırlıklı polietilen - Polivinilchlorür ve vinil kopolimerleri - Polistiren - Polipropilen - Termoplastik poliamid - Poliamid - Sulfon polimerleri - Polimetil penten - Fenilen oksit kökenli reçine - Asetal hopolimerleri - Asetal kopolimerleri - Polikarbonat - Termoplastik polyester - Polibütillen - Poliüretan - Selülozikler - Stiren akrilonitril - ABS - Poliakrilat - Naylon - Nitril reçine - Polifenilen sülfid - Termoplastik elastomerler

5.1.2 Termoset Malzemeler ve Özellikleri

Termosetlerin geri kazanılamaz olmaları en önemli özellikleridir. Kolay şekil alabilen ve hafif olmaları nedeni ile kolay işlenebilirler. Serttirler ama amorf yapıdadırlar bu nedenle kırılmağa sahiptirler. İşlem sıcaklıkları yüksektir. Korozyona dayanıklı olmalarına karşılık rutubete karşı daha az hassastırlar. Aşağıda şekil 5.2'de gösterildiği gibi termoset zincirlerde bağ termoplastiklere göre daha kısadır. Bu nedenle bağlar daha sıkı olduğundan süneklığe sahip değildirler. Bunun yanında sıkı düzeydeki yapıları nedeni ile yüksek dayanıma sahiptirler ve bir defa ısıtılıp soğutulabilirler. Termoseti katılaştırma işlemine 'curing' denmektedir. [24]



Şekil 5.2: Termosetlerde Zincir Yapısı [24]

Termosetler oda sıcaklığında sıvı halde bulunurlar. Geçirdikleri çeşitli kimyasal işlemlerden sonra katı hal alabilirler. Isıtıldıklarında sertleşirler. [25]

Termosetlere örnek olarak polyester, epoksi, PVC ve asetol verilebilir [25]

Termosetlerdeki polimer zincirleri arasında kuvvetli bağlar oluşur ve bunun neticesinde üç boyutlu ağ yapısı meydana gelir. Bu da termosetleri, termoplastiklere göre daha dayanımlı ve rijit yapar. Termosetler de polimerizasyon işlemi ile elde edilirler. Termosetlerin polimerizasyonu genelde iki aşamalı bir süreçtir. İlk aşamada termoseti oluşturacak monomerler bir araya getirilir. İkinci aşama ise üretim sürecinin içerdiği kalıpta meydana gelir. Yüksek basınç ve sıcaklıkta monomerler reaksiyona girer ve polimer zincirleri oluşur. Bu durumda polimer zincirlerinde reaksiyona girmemiş birimler bulunmaktadır. Basınç ve sıcaklık etkisi ile polimer zincirleri arasında yan bağlar meydana gelir ve kalıplanmış bir termoseti oluşturan polimer zincirleri arasında ağ yapısında bağlar oluşur. [25]

5.2 Tez Kapsamında Kullanılan Malzemelerin Genel Özellikleri

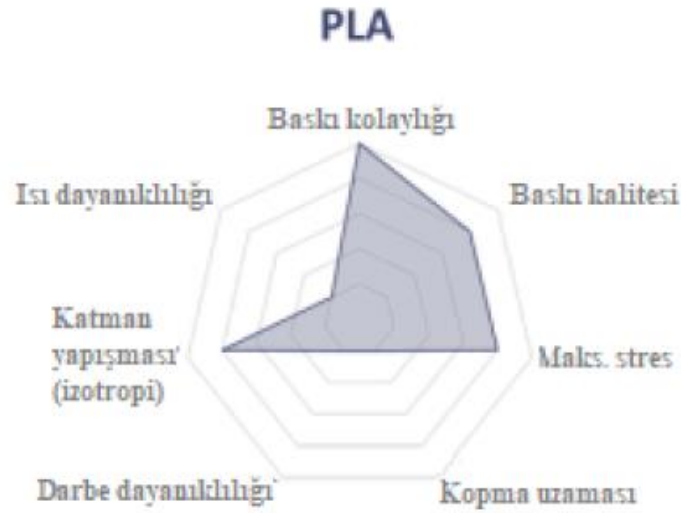
Bu tez çalışması kapsamında ergiyik filament fabrikasyonunda kullanılan malzeme türleri üretim yöntemi esas alınarak belirlenmiştir.

Kullanılan malzemelerin türleri; PLA (Polilaktik Asit), PETG (Polietilen Tereftalat Glikol), PA6(Poliamid 6), PA 6 % 10 CF (Poliamid 6 % 10 karbon fiberli) hammadde filamentler kullanılmıştır. Bu filamentler 2,85 mm çapında yazıcıya uygun olarak seçilmiştir.

Eklemeli imalat teknolojisinde en yaygın olarak kullanılan malzemelerden biri PLA'dır. PLA, biyoyumlu ve biyoçözünür özellikle olması ve düşük maliyeti ile öne çıkmaktadır. [17] ve gıda paketlenme sektöründe (%60'a varan kullanım oranı [19], kişisel bakım ürünlerinde, mutfak eşyalarında ve biyomedikal sektöründe en çok tercih edilen termoplastiklerden birisidir [16].

Geri dönüşümü olan kaynaklardan üretilen polilaktik asit yani PLA, ön plana çıkan bir 3B yazıcı malzemesidir. Geri dönüştürülebilme özelliğinden dolayı çevre dostu olmakla beraber, insan vücudu içinde parçalanma süresi 6 ay ile 2 yıl arasında olması bakımında medikal ve dental uygulamalarda da kullanılmaktadır.[26]

PLA malzemesinin dezavantajı ise ABS'den daha düşük mukavemete sahip olmasıdır. Yani 3B yazıcısı ile yük taşıyacak ya da darbe alması muhtemel bir parça üretmek isteniyorsa bu noktada PLA doğru seçim olmayabilir. [26]



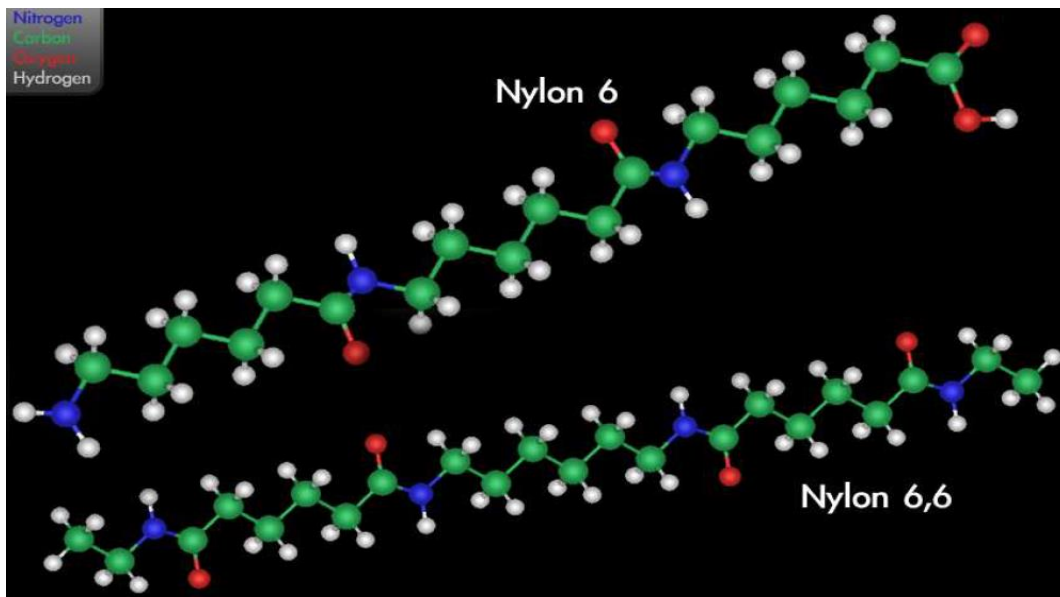
Şekil 5.3: 3B Baskıda Kullanılan Termoplastikler PLA'nın Örümcek Ağı Grafikleri [20]

Diğer bir FFF teknolojisinde kullanılmış olan PET-G, Polietilen Tereftalat'ın kısaltması olup, G glikolün modifiye edildiğini ifade eder. Bu modifikasyon, ergime noktasını ve kristalleşme kabiliyetini artırır, yüksek tokluğa sahip amorf bir malzeme eldesi sağlar. Su şişeleri, gıda paketlenme gibi işlemler için kullanılır [21]. PET-G filament, ABS filamente nazaran daha rijit ve iyi mekanik özelliklere sahip olup, PLA gibi üretimi kolaydır. Bu nedenle, bu iki filament türünün iyi özelliklerinin birleşimi olarak düşünülebilir. [21].

Tablo 5.2: PLA ve PET Malzemelerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri [22] (Physical and mechanical properties of PLA and PET materials)

		PET	PLA
Fiziksel Özellikler	Yoğunluk	0.0700 - 1.45 g/cc	1.24 g/cc
	Erime akış hızı		7.00 - 9.00 g/10 dk.
	Erime Sıcaklığı	245 °C	165-180 °C
Mekanik Özellikler	Çekme Dayanımı	90 MPa	43 MPa
	Darbe Dayanımı	0.200 J/cm ²	0.310 J/cm
Termal Özellikler	Erime Noktası	245 °C	165-180 °C
	Maksimum Servis Sıcaklığı, Havada	100 °C	70 °C
	Camsı Geçiş Sıcaklığı, T _g	98.0 °C	55-60 °C
	Nozul Erime Sıcaklığı	230 °C	220 °C

Poliamid tipi plastikler bu genel isimle bilinirler. Naylonlar bir dibazik asitle bir diaminin yoğunlaşma polimerleştirilmesiyle elde edilirler. Naylonlar amino asitlerin yoğunlaşma polimerleştirilmeleriyle de yapılırlar. Naylonlarda en güçlü molekül arası kuvvetler hidrojen bağlarıdır. Naylon eriyikten sarma ile fiber haline getirilebilir. Elde edilen fiber gerilerek çekme dayanımı yükseltilir. Tekstil endüstrisinde, halat, fırça kılı, tenis raket örgüsü gibi ürünlerde kullanılır. Naylonların atmosferik rutubet, soğurulma özellikleri (Bir özdeğin başka bir özdek içinde tutulması) ve diğer ısı plastiklerden daha yüksektir. Soğurum miktarı çeşitli naylonlar arasında değişir ve plastiğin özelliklerini etkiler. Bunların en sakıncası plastiğin elektriksel uygulamalarını sınırlayan yalıtım direncidir.



Şekil 5.4: Nylon Zincir Yapısı [23]

Poliamid 6 mühendislik polimerleri sınıfında olup diğer geleneksel polimerler ile karşılaştırıldığında, üstün mekaniksel özellikleri nedeniyle elektrik/elektronik, otomotiv, ambalaj ve tekstil uygulamalarında yaygın olarak kullanım alanı bulan yüksek performanslı termoplastik bir polimerdir. [27]. Ancak, poliamid 6 polimerinin düşük ısı sapma sıcaklığı, yüksek su emme özelliği ve ölçüsel kararsızlığı daha geniş uygulama alanlarında kullanımını sınırlandırmaktadır. Poliamid 6 polimerine katı yağlayıcılar ilave edilerek kullanım alanları daha da genişletilebilmektedir. Polimerlerin tribolojik davranışları çevre, proses şartları ve katkının tipi, boyutu ve miktarından etkilenmektedir [28]. Polimerlerin aşınma ve sürtünme davranışları üzerine literatürde birçok çalışmaya rastlanmaktadır.

Poliamid 6 ergiyik filament fabrikasyonunda (FFF) teknolojisinde kullanılan bir hammadde olup, genel olarak mekanik özelliklerini içeren tablo aşağıda verilmiştir.

Tablo 5.3: Deneylede Kullanılan PA6 Malzemesinin Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

Malzemeler	Çekme mukavemeti (MPa) (ASTM D638)	Elastiklik Modülü (MPa) (ASTM D638)	% uzama (ASTM D 638)	Sertlik, (Shore D) (ASTM D 2240)
Poliamid 6	69	2820	7	75

PA6, PA12, PA46 ve PA66 gibi türleri bulunan poliamitlerin içerisinde PA6 polimeri, görece düşük camsı geçiş sıcaklığı, düşük yoğunluk ve yüksek mekanik özellikleri ile yarı-kristal bir polimerdir. Bu özellikleri nedeniyle PA6 polimeri başta fiber olmak üzere film, otomotiv, tekstil ve kalıp parçalarında geniş bir şekilde kullanılmaktadır [29-30]. Ancak, düşük darbe dayanımı ve polar amid grupların bulunması sebebiyle yüksek nem emme kapasitesine sahip olması PA6 polimerinin kullanımını sınırlamaktadır [31]. PA6 polimerinin rijitliğini ve dayanımını geliştirmek için genellikle mineral, cam elyaflar, cam küreler, karbon elyaflar ve gibi birçok malzeme katkı elamanı olarak kullanılmaktadır. Karbon fiber takviyeli karbon elyaflar ise yüksek performanslı termoplastik polimerleri için en önemli dolgu elemanıdır. Karbon elyaf dolgulu termoplastikler, cam elyaf dolgulu olanlara göre daha iyi sürtünme ve aşınma özelliklerine sebep olurlar [32-33]. Bunun sebebi ise

cam elyafa göre yüksek spesifik modüle ve kendinden yağlamalı özelliğe sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Poliamid6 olan malzemeye %10 karbon fiber ilave edilerek sürtünme katsayısının düşürdüğü ve mekanik özellikleri iyileştirdiği bilimsel tezlerle ispatlanmıştır.[34]

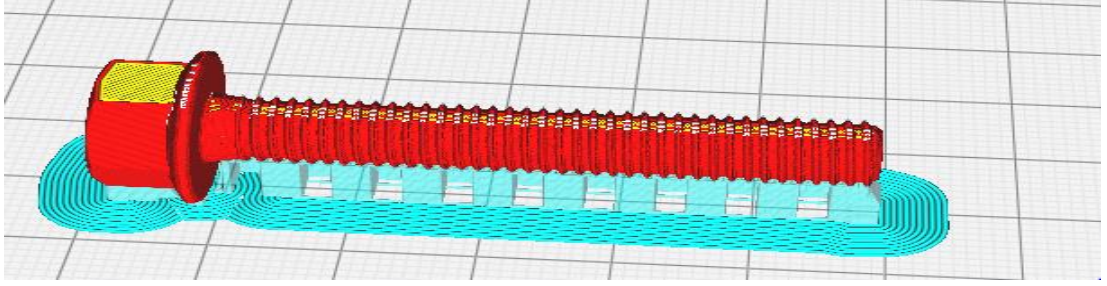
Bölüm 6

Deneysel Çalışmalar ve Tasarımı

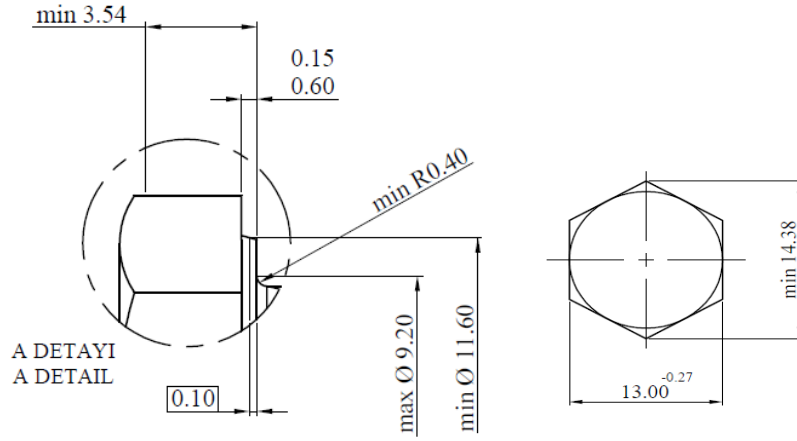
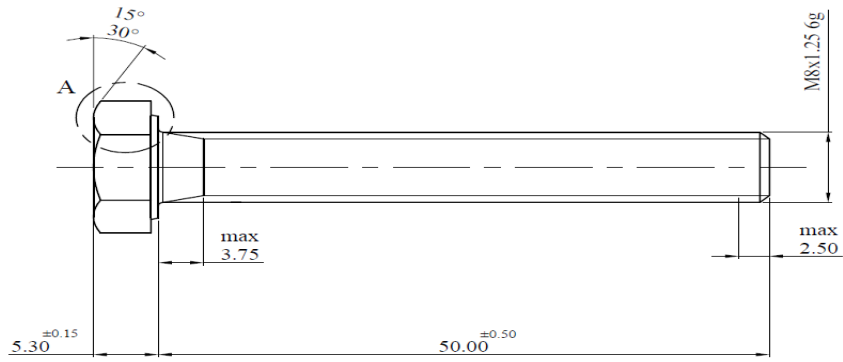
Deneysel çalışmalarda M8x1,25x50 DIN 933 standartına uygun olarak cıvatalar ve M8x1,25 DIN 934 uygun somunlar üretilmiştir. Üretilen cıvataların tasarımları katı modelleme de çizilerek, ergiyik filament fabrikasyonun (FFF) yani 3 boyutlu yazıcılarda üretilerek, baskı yönlerinin (± 45) ° ve (0,90) ° mekanik özelliklere ve polimer malzemelerde sürtünme katsayısına etkisi incelenmek istenmiştir. Fakat çelik malzemelerden imal edilmiş olan cıvataların kaplamalarında sürtünme katsayısı testi yapılarak hesaplanabilirken, plastik malzemelerin çeliğe göre dayanımlarından düşük olmasından dolayı yapılamamıştır. Bu sebeple baskı yönlerinin durumunun polimer esaslı malzemelerde sertlik, tork, optik mikroskobu ve PA6%10 karbon fiberli malzemenin ve PA6 polimerinin SEM görüntüleri incelenmiş olup, PETG,PLA polimerler için optimum üretim parametreleri gözlemlenmiştir.

6.1 Tasarım Süreci ve Üretimi

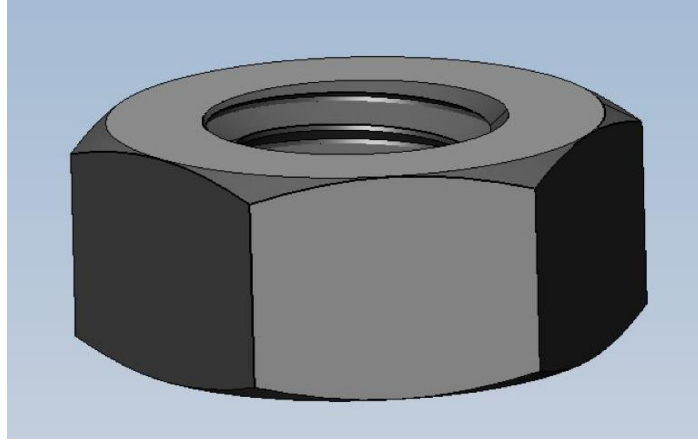
M8x1,25x50 DIN 933 cıvatalar ve M8x1,25 DIN 934 standartlarına uygun olarak katı modellemede cıvatalar tasarlanmıştır. Tasarımları pdf. formatında tezin ek kısmında olup, standartına uygun olarak aşağıdaki şekilde de görülmektedir.



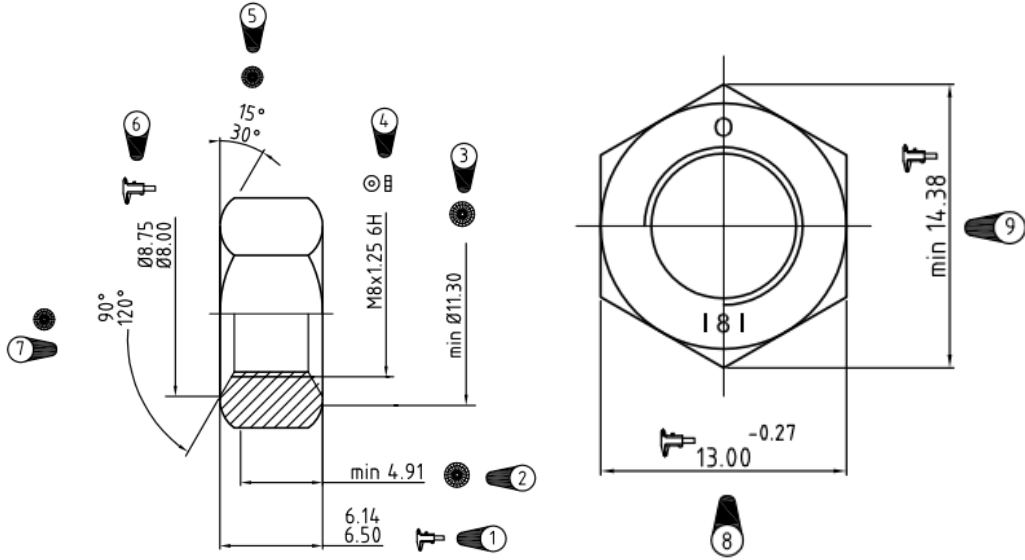
Şekil 6.1: M8 Cıvatanın Modellenmesi



Şekil 6.2: M8 Cıvatanın Teknik Resmi



Şekil 6.3: M8 Somunun Modellenmesi



Şekil 6.4: M8 Somunun Teknik Resmi

Deneyisel çalışmalarda kullanılacak olan M8x1,25x50 DIN 933 standartına sahip cıvatalar ve M8x1,25 DIN 934 uygun somunlar PA6, PA6%10 karbon fiber, PETG, PLA olmak üzere her bir polimerden baskı yönlerine göre (± 45)^o ve (0,90)^o olmak üzere ergiyik filament fabrikasyonu ile üretilen numune adetleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 6.1: Kullanılan Malzeme Türlerine Göre Üretilen Toplam Numune Adedi

NUMUNE ADETLERİ					
YAPILMASI PLANAN TESTLER		PETG	PA6	PA6 CF	PLA
SEM ANALİZİ/OPTİK MİKROSKOBU	(±45°)	5 ADET	5 ADET	5 ADET	5 ADET
	(0/90°)	5 ADET	5 ADET	5 ADET	5 ADET
TORK TESTİ	(±45°)	5 ADET	5 ADET	5 ADET	5 ADET
	(0/90°)	5 ADET	5 ADET	5 ADET	5 ADET
SERTLİK TESTİ (SHORE A /D)	(±45°)	5 ADET	5 ADET	5 ADET	5 ADET
	(0/90°)	5 ADET	5 ADET	5 ADET	5 ADET

Numune adetleri yapılacak testlere göre belirlenmiş olup toplam somun ve cıvata adedini göstermektedir. Her bir ($\pm 45^\circ$) ve ($0/90^\circ$) baskı yönü için 5'er adet olmak üzere toplamda 10 adet somun üretilmiştir. Cıvatalar ise 10'ar adet olmak üzere iki farklı baskı yönünde üretim yapılması tasarlanmıştır.

Literatürde yalnızca tek polimerden üretilen PLA kullanılarak üretim yapılan bilgiler ışığında değerlendirilmiştir.[2] Literatüre çeşitlik kazandırmak için tasarım aşamasında kullanılacak polimer türlerinin ergiyik filament fabrikasyonunda üretilebilirliği göz önüne alınarak PA6, PA6%10 karbon fiber, PETG, PLA belirlenilerek, malzeme çeşitliliği kazandırılmak istenmiştir.

6.2 Cıvata ve Somunların Üretimi

Ergiyik filament fabrikasyonu ile üretilen (FFF), termoplastik malzemenin baskı tablası üzerine, katman katman akıtılıp eklenmesiyle üretim yapılan 3D baskı teknolojisiyle üretimi yapılmıştır. Bu üretimin tercih edilmesinin esas nedeni; üretim kolaylığı ve malzeme çeşitliliği olmasıdır.

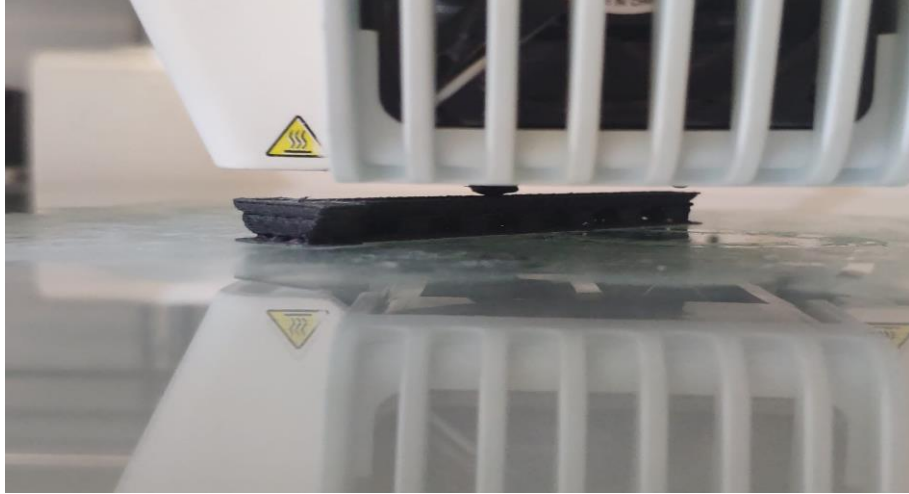
Üretim esnasında katı modelleme yapılan veriler STL dosyasına çevrilerek 3 boyutlu yazıcıya uygun olacak şekilde hazırlanmıştır.

Yazıcıya hazır hale getirilen cıvatalar katman kalınlığı, dolgu, nozul sıcaklığı, malzeme akışı, plaka oluşturma sıcaklığı, yazıcı hızı parametreleri dikkate alınmıştır.

Tablo 6.2: FFF Teknolojisinde Kullanılan Üretim Parametreleri

Üretim Parametreleri	Kullanılan Veriler
Katman Kalınlığı	0,2 mm
Doluluk	100%
Nozul Sıcaklığı	265 °C
Malzeme Akışı	105%
Plaka Oluşturma Sıcaklığı	70 °C
Yazıcı Hızı	33 mm/s
Soğutma	Yok

Parametreleri belirlenen 3 boyutlu yazıcıyla birlikte acı yönleri çaprazda ($\pm 45^\circ$) ve boylamasına ($0/90^\circ$) olacak şekilde üretim yapılmıştır. Parametreleri ve üretilecek baskı yönleri belirtilen FFF tipi yazıcıda nozuldan filament ergiyerek katman oluşturma işlemini gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmalarda nozulun istenilen sıcaklığa gelmesi için bir süre beklenilmiştir. Bekleme işleminden sonra nozuldan ergiyen filament katman katman üst üste serilmesiyle istenilen üretimin gerçekleşmiştir. İstenilen şekilde üretim yapabilmek için nozulun sıcaklığının yüksek olması, filamentin düzgün yayılmasını sağlamıştır. Nozuldan eriyerek çıkan filament yüzeyde yayılır yayılmaz donarak, katı formuna geçer. Tüm katmanlar tamamlandıktan sonra model tamamen katı formda hazır hale gelmiştir.



Şekil 6.4: FFF Teknolojisinde Cıvata Üretimi

3 boyutlu yazıcıların literatürde (additive manufacture) yeniliğin dayandığı temel standart, başlangıçta 3D görüntüleme için CAD programlamasında yapılması gereken modeli oluşturmak ve daha sonra benzer bir model, mekanik prosedürlerin ayrıntılı bir şekilde düzenlenmesi ve üretilmesi gerekmeden uygun aygıtı üretmektir. Bu nedenle, CAD dosyalarından katman katman madde üreten inovasyon, hızlı prototipleşme ve hızlı montajdan yararlanmanın iki temel boyutuna sahip olduğundan bahsedilmiştir.[1]

6.3 Üretilen Cıvata ve Somunlara Uygulanan Yüzey Temizleme

Farklı malzemelerden üretilmiş olan M8x1,25x50 DIN 933 cıvata ve M8x1,25 DIN 934 standartına sahip somunlar üretildikten sonra pafta ve kılavuz aparatları kullanılarak, son yüzey işlemi olarak uygulanmıştır. Uygulamanın amacı; dişlerdeki kalıntıları gidererek bağlantı elemanlarının birbiriyle bağlanmasını sağlamaktır.



Şekil 6.5: Pafta ile Son Yüzey Temizleme İşlemi Görüntüsü

Son yüzey işleminden sonra yapılan cıvataların somunlarla birbirine bağlandığını kontrol etmek amacıyla master kontrolleri yapılmıştır. Master kontrolü cıvataların diş açısına göre tasarlanmış olan aparatlardır. Genellikle metalden imal edilen cıvatalarda kullanılmaktadır.



Şekil 6.6: Pafta ile Temizlenen Cıvataların Master Kontrolleri Görüntüleri

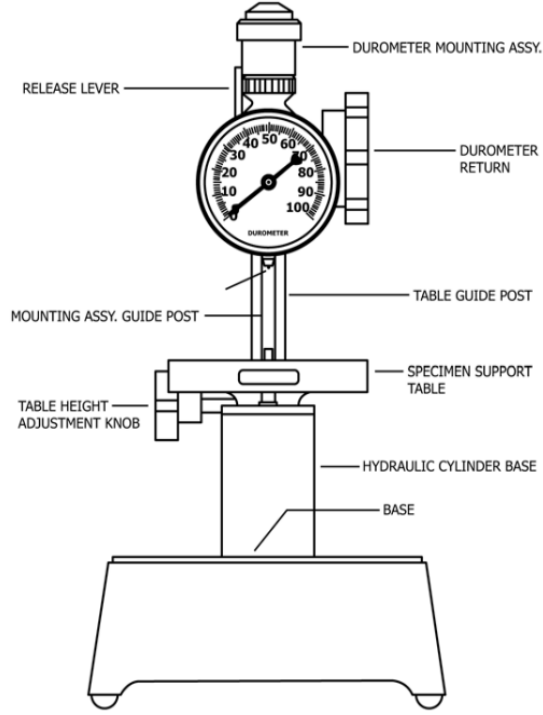
Yapılan kontroller sonrasında mastara çalışan tüm cıvatalar ve kılavuz ile yüzey işlemi uygulanmış somunlar mekanik testlere hazır hale gelmiştir.

6.4 Cıvata ve Somunlara Uygulanan Mekanik Testler

6.4.1 Sertlik (Shore D) Testi

Deneyisel çalışmalarda M8x1,25x50 DIN 933 cıvatalar ve M8x1,25 DIN 934 somunlar PA6, PA6%10 karbon fiber, PETG, PLA polimerlerden oluşan malzeme çeşitliği üretim yöntemindeki (± 45) ° ve (0,90) ° nozul açısına göre kıyaslayabilmek adına sertlik analizleri yapılmıştır. Yapılan sertlik analizi ASTM D2240 standartı referans alınarak deneysel gerçekleştirilmiştir. Durometre tipi ASTM standartına uygun olarak belirlenmiştir.

Bu test yöntemi, on iki tip kauçuk sertliğini kapsar. Durometre olarak bilinen ölçüm cihazları: Tip A, B, C, D, DO, E, M, O, OO, OOO, OOO-S ve R. olarak sınıflandırılan maddelerin girinti sertliğini belirleme termoplastik elastomerler, vulkanize (termoset) kauçuk, elastomerik malzemeler, hücresel malzemeler, jel benzeri malzemeler ve bazı plastikler de açıklanmıştır.[35]



Şekil 6.7: Durometre Çalışma Standı [35]

Shoremetre cihazının diğer bir ismi **Durometre**'dir. Sertlik; referans ve numuneye aynı ortam sıcaklığında bakılması gerekmekte olup, standartına uygun olarak yapılmıştır.[35] Malzemeye 15 sn. boyunca bir yük uygulanmış, düz zemine, yaklaşık 3 mm kalınlığında, numunenin zemini sert bir yüzeye yapışıkken uygulandıktan sonra ucu derinliğine bağlıdır. Shore testinin birimi yoktur. Shore D: 10 lb (4536 g) olarak bir yük uygulanmıştır.



Şekil 6.8: Shore D Sertlik Analizi Yapılan Numunelere Ait Bazı Görüntüler



Şekil 6.9: Shore D Sertlik Analizi Yapılan Numunelere Ait Bazı Somun Görüntüleri

6.4.2 Tork Testi

Standart bir 8.8 veya 10.9 kaliteye sahip çelikten imal edilmiş olan bir cıvatanın tork değerleri DIN 267-27 standartında geçen kalite ve değerlere göre sıkma ve sökme tork değerleri şeklinde uygulanmaktadır. Fakat PA6, PA6%10 karbon fiber, PETG, PLA imal edilen somun ve cıvatalar yönlenmesine nozul açısına bağlı olarak esas alınarak değerleri torkmetre ile sıkma ve kırılma işlemi gerçekleştirilene kadar işlem devam etmiştir. Buradaki amaç; cıvata ve somunların etkisinin emniyetli yük altında etkisini görmek amaçlanmıştır. Literatürde yapılan bazı araştırmalarda da cıvatalı bağlantıların emniyetle kullanılabilmesi ve bunun yanı sıra kullanıldığı yerde bir arada tuttuğu parçalara zarar vermemesi için o bağlantıya özgü, hesaplanabilir bir emniyetli tork değeri vardır. Hesaplama yoluyla elde edilen sıkma tork değerinin, gerçek koşullar altında uygunluğunun deneylerle test edilmesi ve sonuçların kıyaslanması olarak belirtilmiştir.[4]

Bu çalışmada cıvata ve somunlar sabit bir plaka üzerine sabitlenerek, torkmetre yardımı ile sıkılmıştır. Aşağıdaki şekilde numuneler hazırlanmıştır.



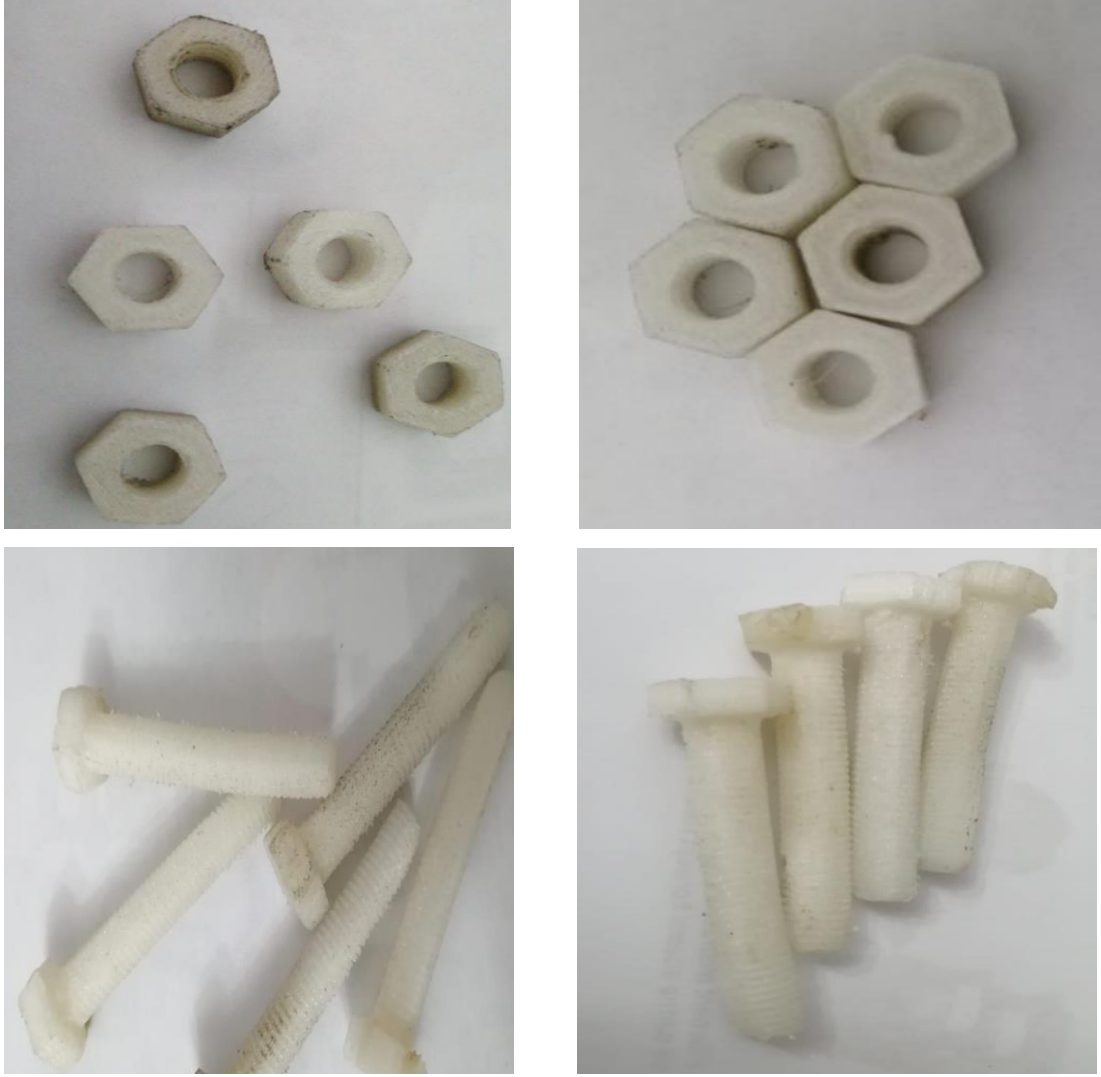
Şekil 6.10: PETG ($\pm 45^\circ$) ve ($0/90^\circ$) Baskı Yönlerine Ait Somun ve Cıvata Numuneleri



Şekil 6.11: PLA ($\pm 45^\circ$) ve ($0/90^\circ$) Baskı Yönlerine Ait Somun ve Cıvata Numuneleri



Şekil 6.12: PA6 %10 Karbon Fiberli ($\pm 45^\circ$) ve ($0/90^\circ$) Baskı Yönlerine Ait Somun ve Cıvata Numuneleri



Şekil 6.13: PA6 ($\pm 45^\circ$) ve ($0/90^\circ$) Baskı Yönlerine Ait Somun ve Cıvata Numuneleri

6.4.3 Stereo Mikroskobu

Üretilmiş olan numunelerin hepsinin yüzeyinin incelenmesi, üretilen cıvata ve somunların dişlerinin 3 boyutlu yazıcıdaki durumu hakkında bilgi edinilmesi için kullanılmıştır. Üretilen tüm numuneler tek tek stereo mikroskobunda incelenmiştir. İncelenen numunelerin görüntüleri ve yorumları sonuçlar kısmında anlatılmıştır.

6.4.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

%100 doluluğına sahip, 265 °C 'de nozul sıcaklığına sahip olan numunelerden PA6 ve PA6 %10 karbon fiberli malzemenin yapılan tork testleri sonucunda kırılma morfolojisinin durumunu anlayabilmek için taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Amaç; fiberli yapının yüksek sıcaklıklarda üretilmiş olan cıvata ve somunların mekanik özelliklere etkisini inceleyebilmektir. Böylelikle, taramalı elektron mikroskobunun da düşürülmüş olan elektron demetinin yardımıyla görüntü elde edilmiştir.

Bölüm 7

Sonuçlar ve Değerlendirme

Deney sonuçlarında malzemelerin numunelerin üretiminde farklı malzemelerin mekanik özellikleri olan durumunun incelenmiştir. İnceleme esnasında cıvata ve somunların ayrı ayrı sertlikleri bakılmış olup, sertlikleri; malzeme türüne göre üretim esnasında baskı yönünün farklılık gösterdiği, malzeme türüne göre optimum baskı yönünün önceden belirlenmesi gerektiğini sonucuna varılmıştır. Tork testinde ise tüm malzemelerin sıkılarak, kırılana kadar ki tork testine maruz bırakılmıştır.

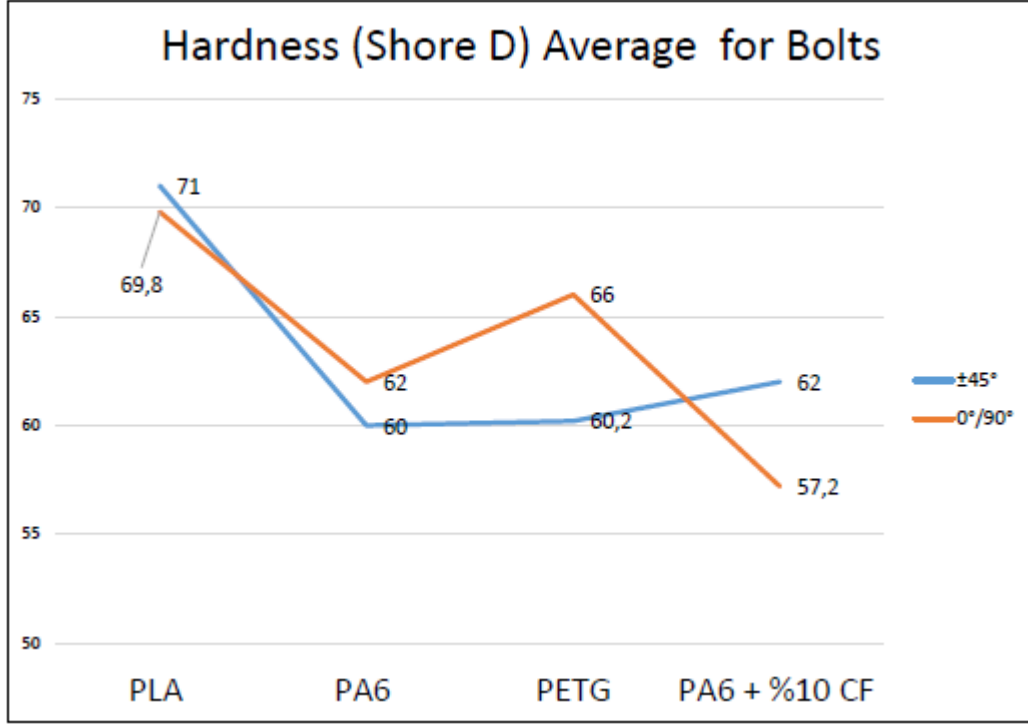
Böylelikle tork testi uygulanan cıvatalar aynı malzeme ve aynı baskı yönüne göre sahip somunlar yardımıyla sıkılmıştır. Tork testinden kıyaslanarak hangi malzemenin hangi baskı yönünde üretilmesinin uygunluğunun sonucuna varılmıştır. Tork testine maruz bırakılmış olan PA6 ve PA6 %10 karbon fiberli malzemenin SEM analizine tabi tutularak görüntüleri incelenmiştir. Sürtünme katsayısı testi incelenmek istenmiş olup, polimerlerden imal edilen cıvata ve somunların, sürtünme katsayısı testinin yapılamamasından dolayı test gerçekleştirilememiştir.

Testlerin detaylı olarak incelenmesi, uygulanan test sonucuna göre grafikler halinde yorumlanmıştır. Ayrıca üretilen cıvata ve somunların stereo mikroskopundaki görüntüleri incelenerek, detaylandırılmıştır.

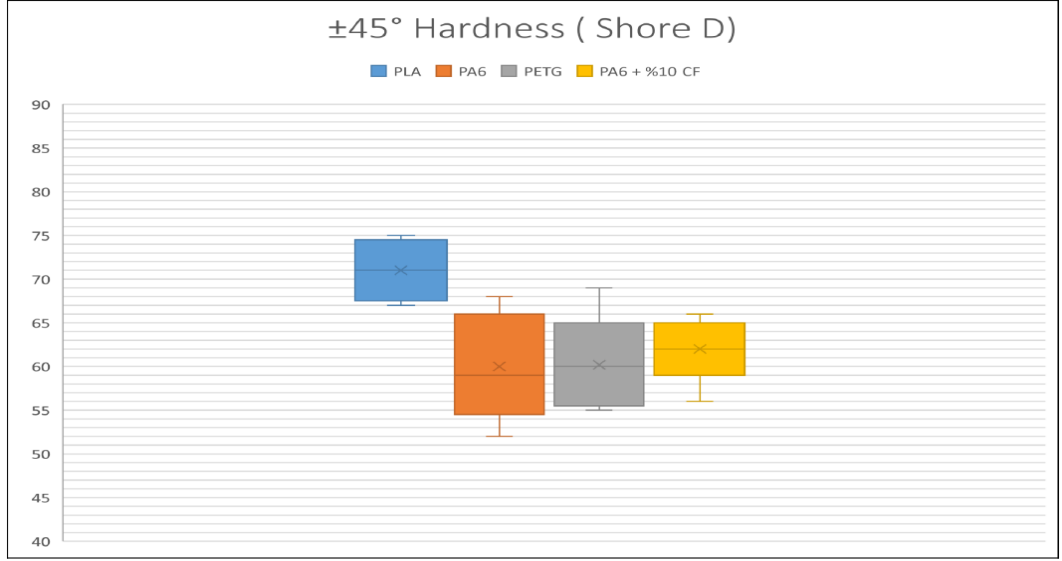
7.1 Sertlik (Shore D) Testi Sonuçları

Farklı malzemelerden imal edilen cıvataların sertlik değerleri malzeme türüne göre 3 boyutlu yazıcıda baskı yönünün etkisinin değiştiği görülmüştür. Deneysel sonuçlar grafik haline getirilerek PLA, PA6, PETG ve PA6 %10 karbon fiberli cıvataların sertliklerinde PLA'nın $\pm 45^\circ$ baskı yönüne sahip malzemenin sertliğinin en yüksek olduğu görülmüştür. Fakat ergiyen filamentin içerisinde üretilirken porozitelerin

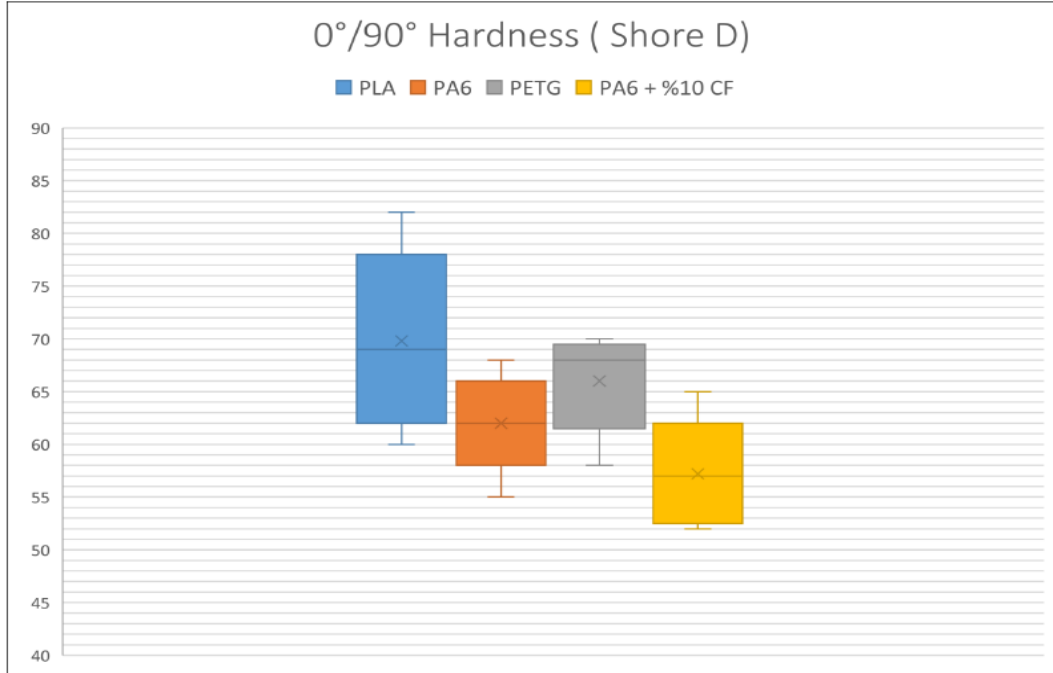
oluşmasından dolayı sertlik değerleri farklılık göstermiştir. PA6 malzemedeki imal edilen cıvatanın $\pm 45^\circ$ baskı yönüne göre en düşük sertlik değeri 60 olarak ölçülmüştür. Bu durumu açıklayan grafik Şekil 7.1' de verilmiştir. Ayrıca literatür araştırması kısmında bahsedilen PLA'dan üretilmiş cıvatalarla benzer özellikler gösterdiği görülmüştür.[2]



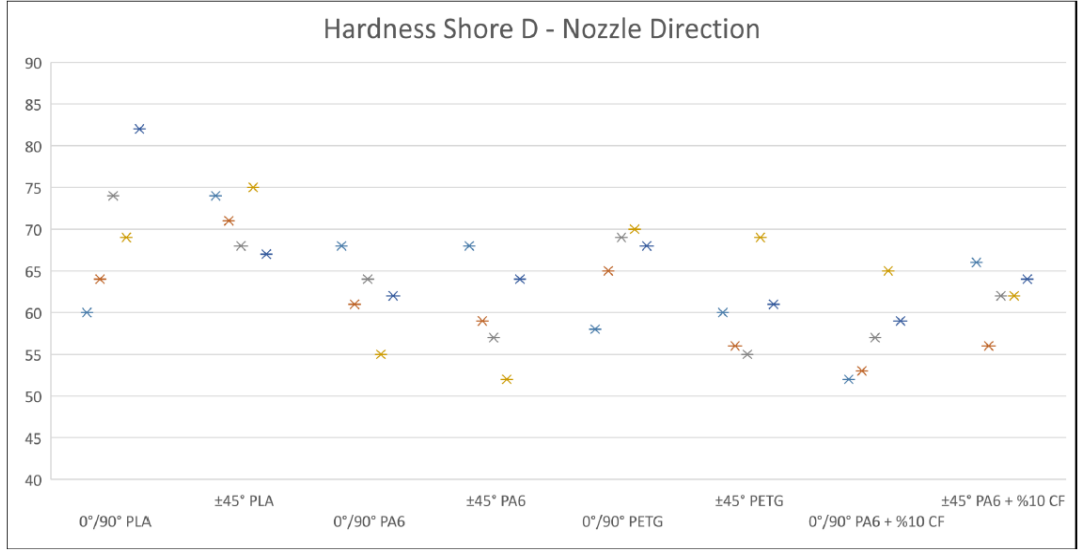
Şekil 7.1: Sertlik Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 % 10 Karbon Fiberli Cıvatanın Baskı Yönlerinin Göre Kıyaslanması



Şekil 7.2: Sertlik Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 %10 Karbon Fiberli Cıvatanın ±45° Baskı Yönüne Göre Malzemelerin Kıyaslanması



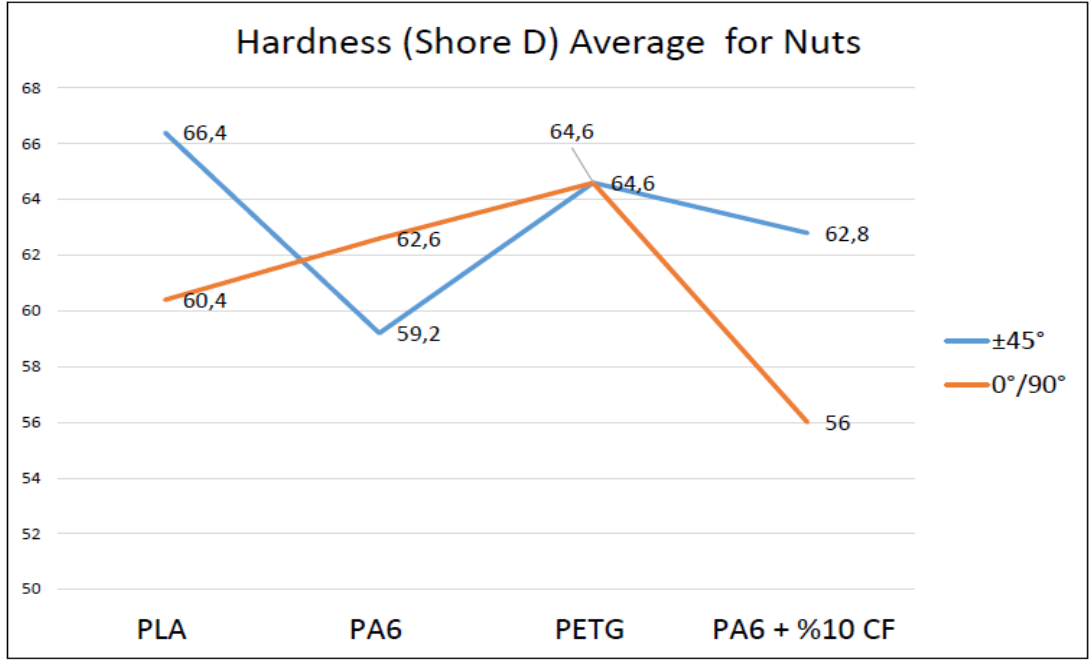
Şekil 7.3: Sertlik Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 %10 Karbon Fiberli Cıvatanın 0/90° Baskı Yönüne Göre Malzemelerin Kıyaslanması



Şekil 7.4: Sertlik Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 % 10 Karbon Fiberli Aynı Malzeme Türlerinin Farklı Baskı Yönlerine Göre Genel Olarak Kıyaslanması (cıvatalar için ölçülen değerleri içerir)

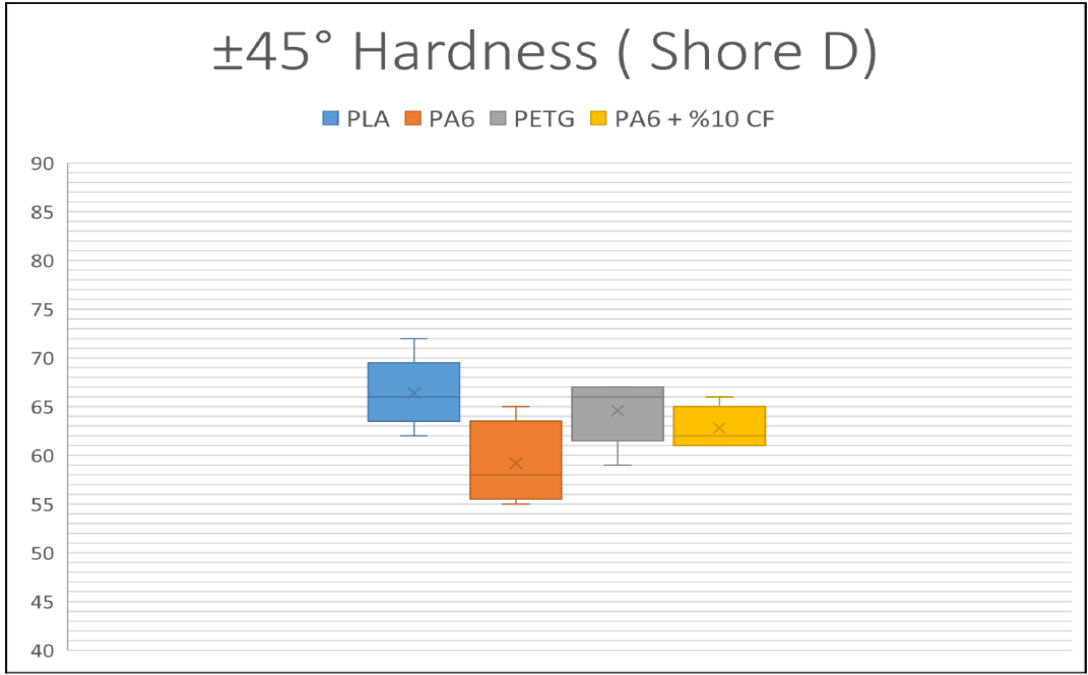
PLA-PA6-PETG-PA6 % 10 Karbon fiberli filamentlerden 3 boyutlu yazıcıda üretilen cıvatalarda; PLA'nın ASTM D 2240 standartına göre gerçekleşen Shore D sertlik analizinde diğer malzemelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. PA6, PETG, PA6 % 10 karbon fiberli malzemelerin sertlik değerleri daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Fakat, 3 boyutlu yazıcılarda üretilirken uygulanan baskı yönlerinin sertliklerine etkisinden daha çok, malzemenin kristal yapısının etkili olduğu saptanmıştır.

PLA-PA6-PETG-PA6 % 10 Karbon fiberli filamentlerden üretilen somunların sertlik değerleri cıvatalarda olduğu gibi gerçekleştirilmiştir. M8x1,25 somunların sertlikleri içeren grafikler aşağıdaki gibidir.

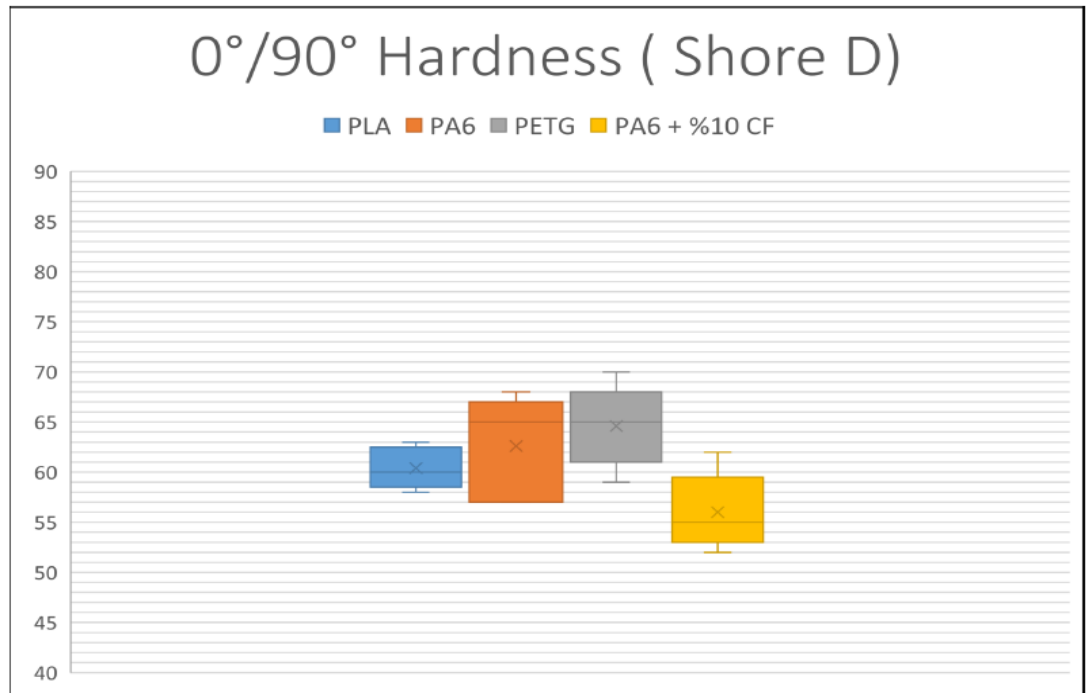


Şekil 7.5: Sertlik Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 % 10 Karbon Fiberli Somunun Baskı Yönlerine Kıyaslanması

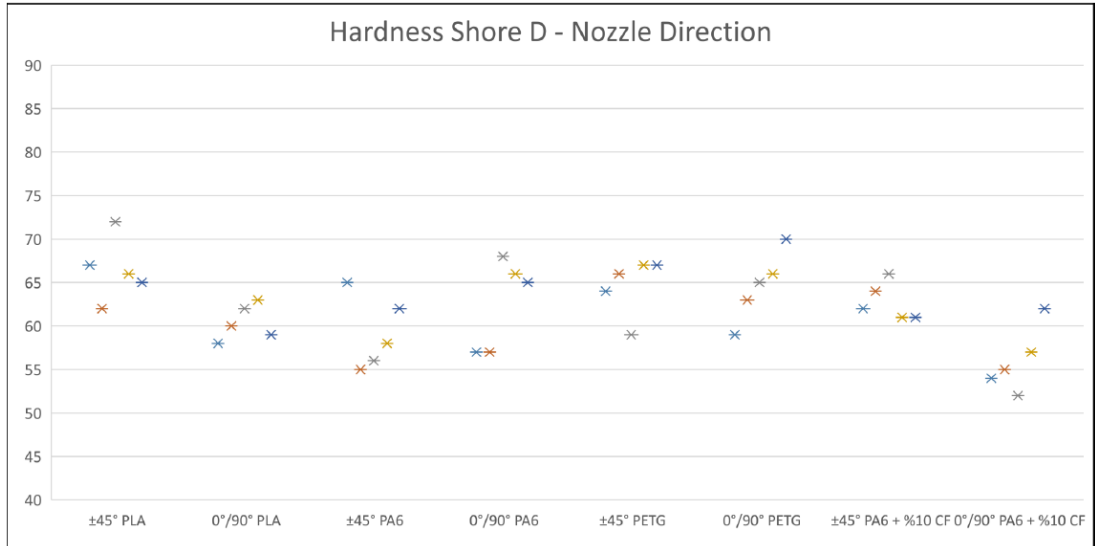
Genel olarak bakıldığında PLA dan imal edilmiş somunların sertlikleri diğer malzemelere göre fazladır. PLA'nın 3 boyutlu yazıcılarda yaygın olarak kullanılmasının nedenini ortaya koymaktadır. Aynı şekilde $\pm 45^\circ$ ve $0/90^\circ$ baskı yönleri kıyaslandığında $\pm 45^\circ$ baskı yönünün en düşük sertlik değeri 59,2 PA6 ait olurken, PA6 %10 CF malzemenin $0/90^\circ$ baskı yönüne ait sertlik 56 olarak ölçülmüştür. Grafik sonuçlarında görüldüğü üzere; baskı yönündense malzeme cinsi, ergime sıcaklığı, malzemenin doluluğu önem bir etken olmuştur.



Şekil 7.6: Sertlik Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 % 10 Karbon Fiberli Somunun ±45° Baskı Yönüne Göre Malzemelerin Kıyaslanması



Şekil 7.7: Sertlik Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 % 10 Karbon Fiberli Somunun 0/90° Baskı Yönüne Göre Malzemelerin Kıyaslanması



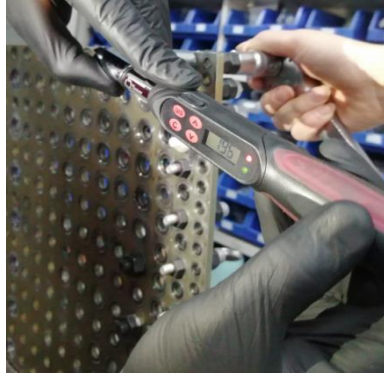
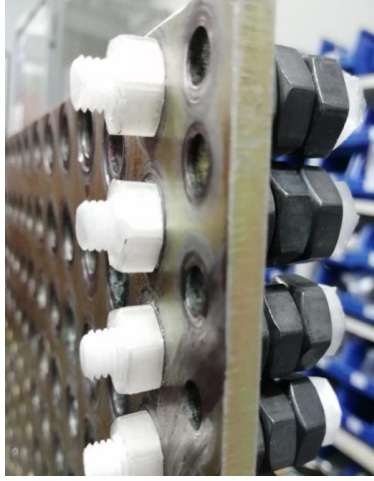
Şekil 7.8: Sertlik Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 %10 Karbon Fiberli Aynı Malzeme Türlerinin Farklı Baskı Yönlerine Göre Genel Olarak Kıyaslanması (somunlar için ölçülen değerleri içerir)

Baskı yönlerinin civata ve somunlar üzerinde etkisinden daha çok malzeme türüne göre baskı yönünün üretim yapılmadan önce olarak belirlenmesi gerektiği görülmüştür. Günümüzde yaygın olarak kullanılan 3 boyutlu yazıcılarda hammaddenin önemi ispat edilmek istenmiştir. Mekanik özelliklerin malzemenin kristal yapısına doğrudan etkilediği saptanmıştır. PA6 ve PA6 %10 CF malzeme kıyaslandığında; PA6 civata ve somunlara baskı yönleri arasında çok farklılık görülmemesine rağmen PA6 %10 CF civata ve somunlarda $\pm 45^\circ$ baskı yönünde daha yüksek sertlik değeri elde edilmiştir. PETG için sertlik değerlerinin ortalamasına bakıldığında $0/90^\circ$ baskı yönünün $\pm 45^\circ$ baskı yönüne daha fazla sertlik değeri ölçülmüş olsa da PETG $0/90^\circ$ baskı yönünde görülen sertlik değerinin $\pm 45^\circ$ baskı yönüne fazladır diye kesin bir yargıya varılamamıştır.

7.2 Tork Testi Sonuçları

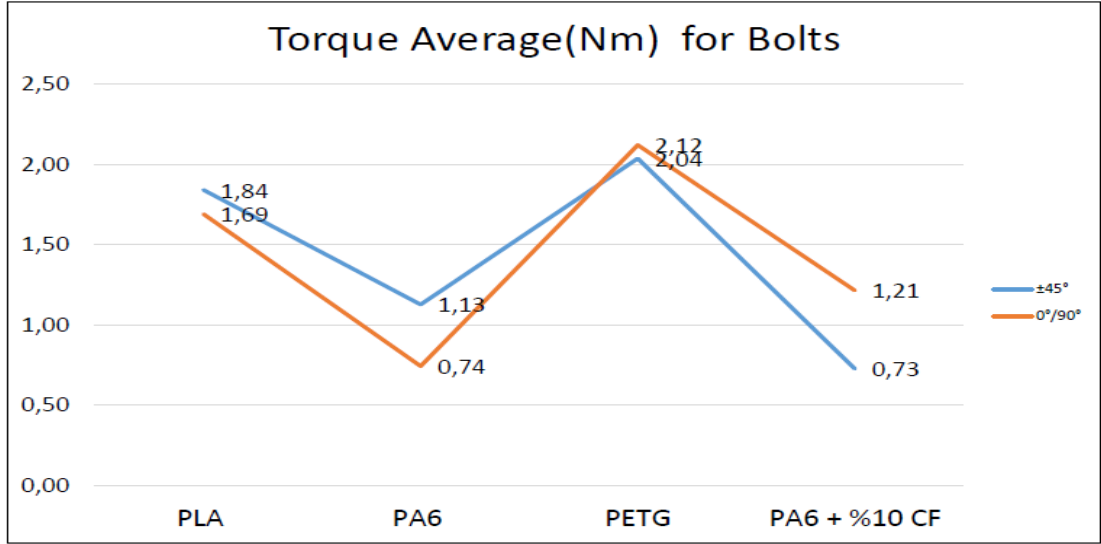
Tork testi; çelik malzemedan imal edilmiş uygulanan standartlar esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Her bir PLA-PA6-PETG-PA6 %10 CF üretilmiş civata ve somunlar baskı yönünün aynı olacak şekilde metal bir tablaya sabitlenmiştir. Torkmetre yardımı ile sabitlenen civatalara kuvvet uygulanmıştır. Uygulanan kuvvet öngörülebilir kuvvet ve emniyet yükü hakkında fikir vermiştir. Deneyler esnasında

her bir malzeme türüne ait 5 numune test edilmiştir. Testlere ait görüntüler aşağıdaki gibidir;

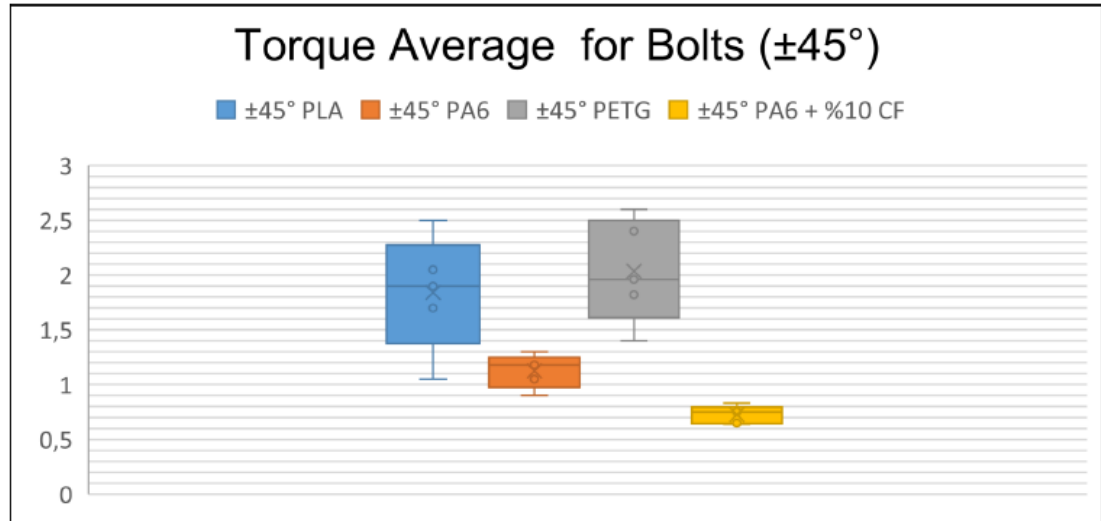


Şekil 7.9: Tork Testine Tabi Tutulan Numunelere Ait Görüntüler

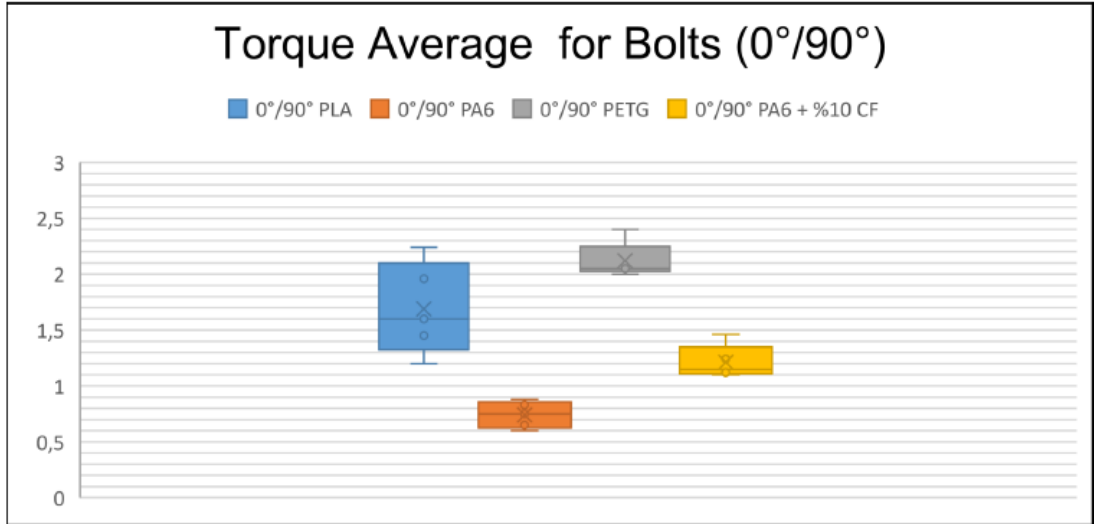
Numuneler torkmetre yardımıyla test edildikten sonra sonuçlar grafik haline getirilmiştir.



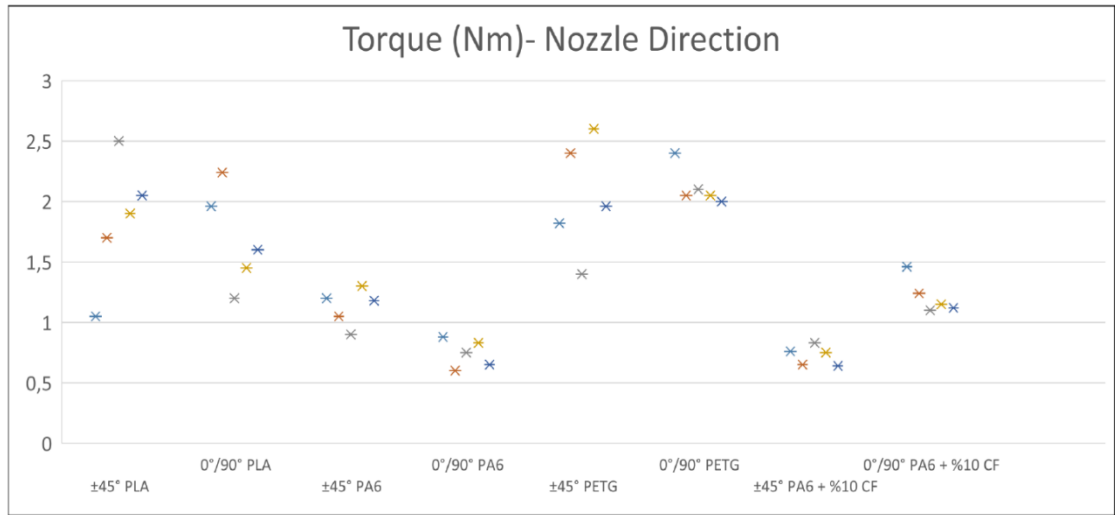
Şekil 7.10: Tork Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 %10 Karbon Fiberli Cıvatanın Baskı Yönlerinin Göre Kıyaslanması



Şekil 7.11: Tork Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 %10 Karbon Fiberli Cıvatanın ±45° Baskı Yönüne Göre Malzemelerin Kıyaslanması



Şekil 7.12: Tork Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 %10 Karbon Fiberli Cıvatanın 0/90° Baskı Yönüne Göre Malzemelerin Kıyaslanması



Şekil 7.13: Tork Değerlerinin PLA-PA6-PETG-PA6 %10 Karbon Fiberli Aynı Malzeme Türlerinin Farklı Baskı Yönlerine Göre Genel Olarak Kıyaslanması

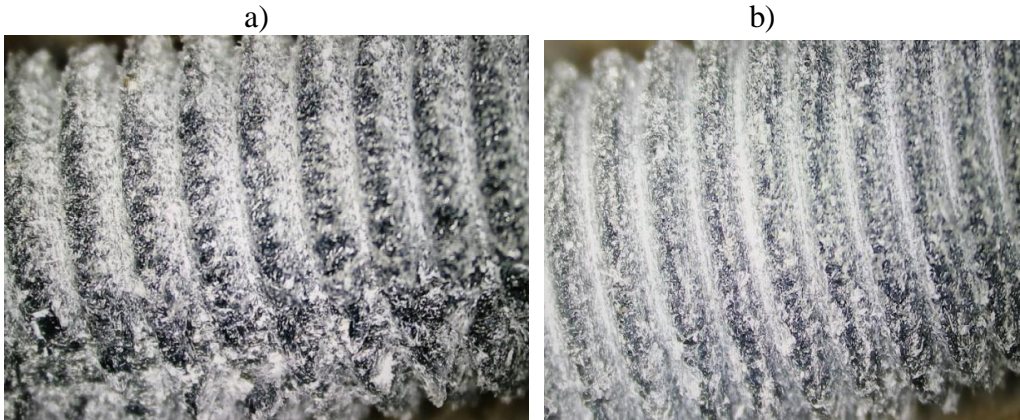
PETG cıvata $\pm 45^\circ$ baskı yönüne ait en yüksek tork değeri görülmüştür. PLA cıvata ise $\pm 45^\circ$ baskı yönüne ait 2. en yüksek tork değeri tespit edilmiştir. Burada ön görülebilir yük değeri ve sertlik değerleri göz önüne alındığında genel olarak PLA malzemesi 3 boyutlu yazıcılarda kullanmanın daha uygun olabileceği saptanmıştır. Diğer bir taraftan PA6 ve PA6 %10 karbon fiberli cıvatalar kıyaslandığında tork değerlerinde baskı yönünün zıttı bir durum söz konusudur. PA6 %10 karbon fiberli

malzemenin sertlik ve tork değerleri kıyaslandığında PA6'ya göre daha istikrarlı değerler sergilemiştir.

PA6 %10 karbon fiberli ve PA6 cıvataların tork testinden sonra kırılma yüzeylerinden numuneler alınarak SEM analizinde incelemeler yapılmıştır. PLA-PA6-PETG-PA6 %10 karbon fiberli tüm cıvataların stereo mikroskobunda cıvata diş yüzeyleri de incelenmiştir.

7.3 Stereo Mikroskop İncelemeleri

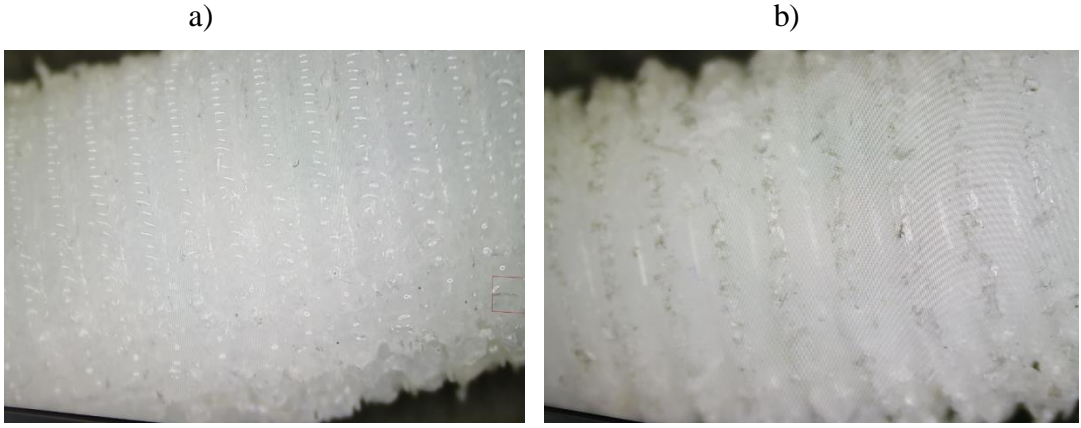
Stereo mikroskop incelemelerinde cıvata dişlerinin standart bir cıvatanın iki diş arası 60° olacak şekilde üretilmiştir. 3 boyutlu yazıcılarda cıvata doluluğu %100 olacak şekilde üretim yapılmıştır. Fakat bazı yüzeylerde diş yüzeyinin tepe noktasında doluluk sağlanmış olup sırasıyla mikroskop görüntüleri aşağıdaki gibidir.



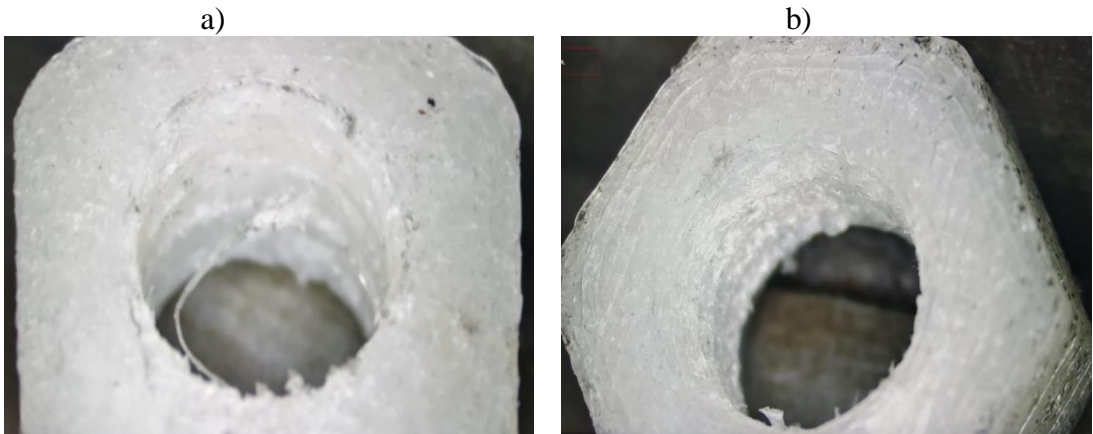
Şekil 7.14: PA6 %10 Karbon Fiberli a) 0/90° cıvata diş b) ±45° cıvata diş görüntüleri



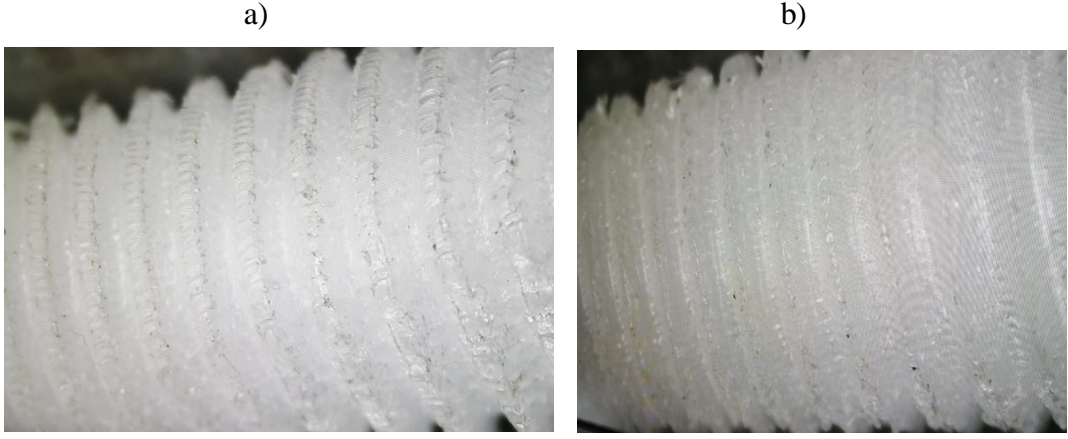
Şekil 7.15: PA6 %10 Karbon Fiberli a) 0/90° Somun Diş b) ±45° Somun Diş Görüntüleri



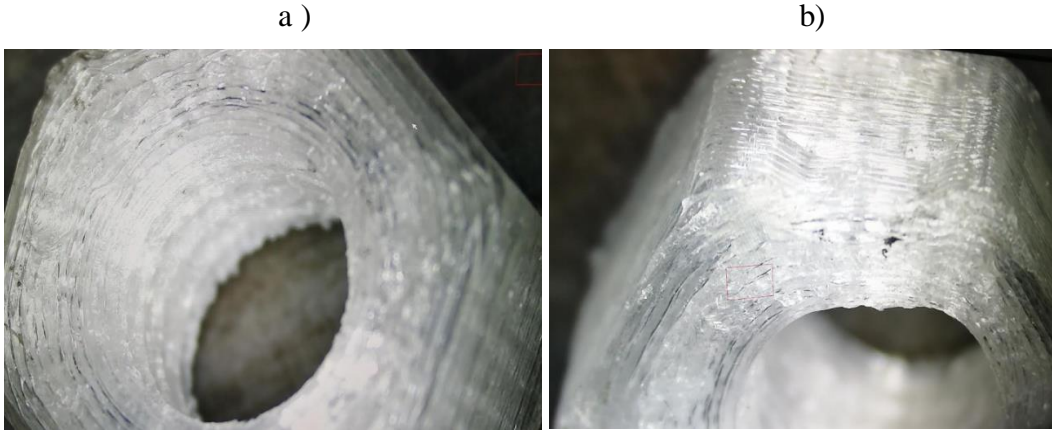
Şekil 7.16: PA6 a) 0/90° Cıvata Diş b) ±45° Cıvata Diş Görüntüleri



Şekil 7.17: PA6 a) 0/90° Somun Diş b) ±45° Somun Diş Görüntüleri



Şekil 7.18: PETG a) 0/90° Cıvata Diş b) ±45° Cıvata Diş Görüntüleri



Şekil 7.19: PETG a) 0/90° Somun Diş b) ±45° Somun Diş Görüntüleri



Şekil 7.20: PLA a) 0/90° Cıvata Diş b) ±45° Cıvata Diş Görüntüleri

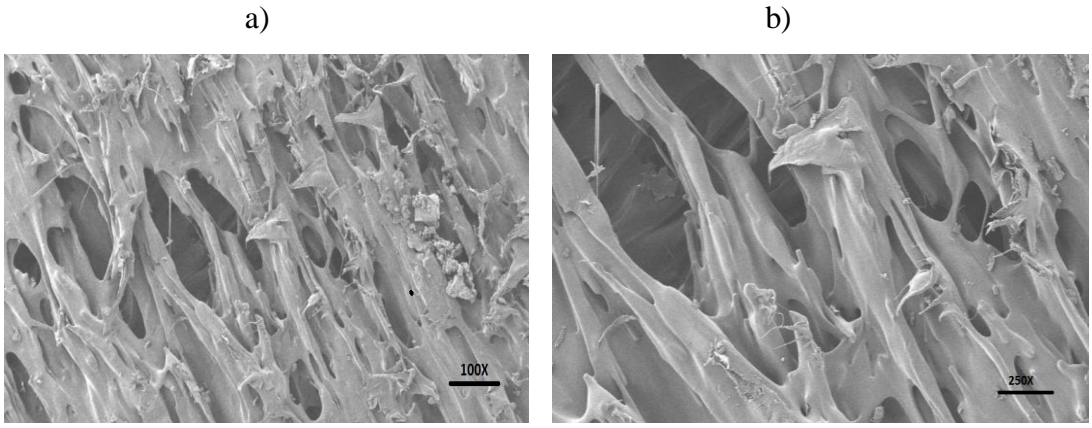


Şekil 7.21: PLA a) 0/90° Somun Diş b) ±45° Somun Diş Görüntüleri

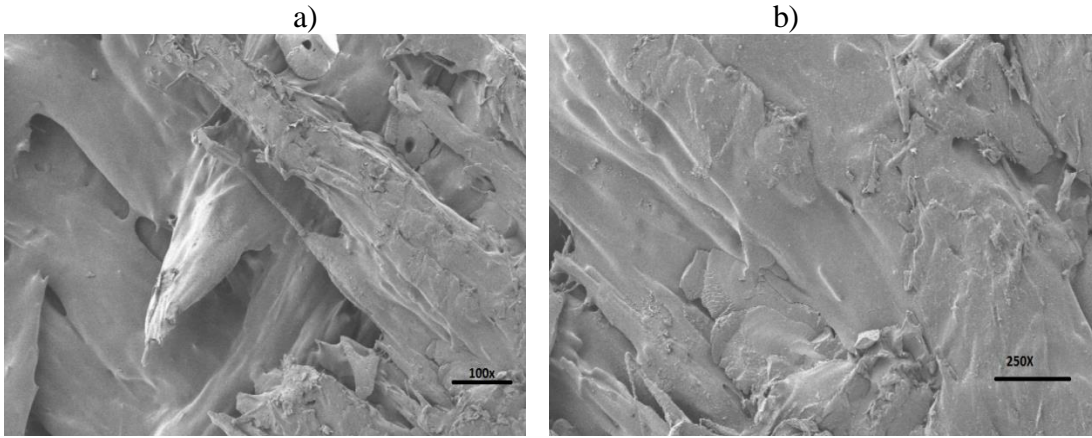
Tüm malzemelerin cıvata ve somun dişlerinde birbirleriyle bağlantı yapılabilecek şekilde üretim yapılmıştır. Fakat bazı kısımlarda deformasyon görülmüştür. Bunun nedeni üretim esnasında nozulden ergiyen filamentin iyi nüfuz etmemesinden kaynaklanabilmektedir.

7.4 SEM Görüntüleri

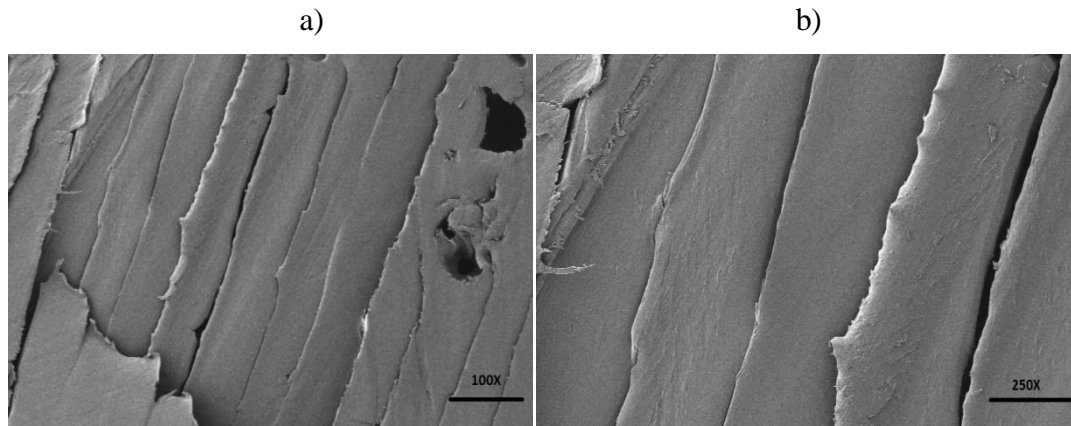
DeneySEL çalışmalar tamamlandıktan sonra kırılan numuneler ve kırık yüzeyleri için SEM analizi yapılmıştır. Kırılan numuneler ve kırık yüzeyleri taramalı elektron mikroskopunda (SEM) numunelerin kırılma PA6 ve PA6 %10 karbon fiberli cıvataların baskı yönleri incelenmiştir. Buradaki amaç; katkı maddesi olan karbon fiberin durumunun PA6 malzemesine göre üretilirken uygulanan baskı yönünü de incelemektir.



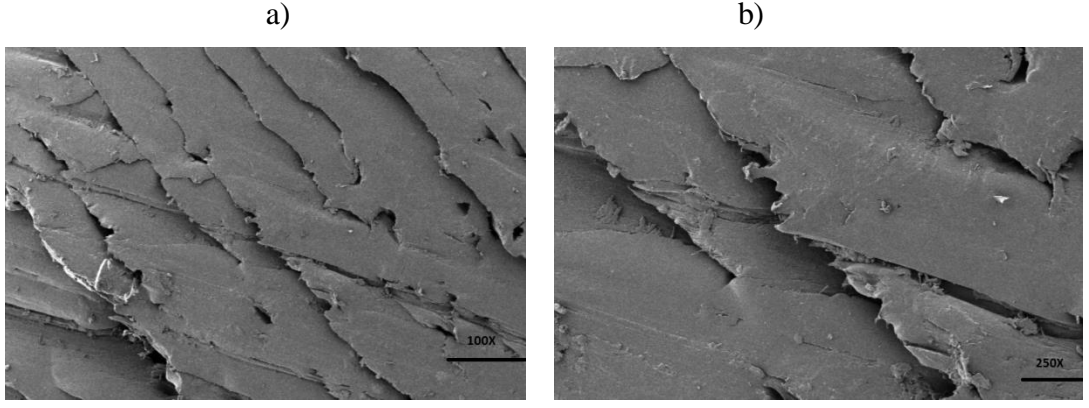
Şekil 7.22: PA6 %10 Karbon Fiber 0/90° Baskı Yönündeki a) 100X b) 250X SEM Görüntüsü



Şekil 7.23: PA6 %10 Karbon Fiber ±45° Baskı Yönündeki a) 100X b) 250X SEM Görüntüsü



Şekil 7.24: PA6 0/90° Baskı Yönündeki a) 100X b) 250X SEM Görüntüsü



Şekil 7.25: PA6 $\pm 45^\circ$ Baskı Yönündeki a) 100X b) 250X SEM Görüntüsü

3 boyutlu yazıcılarda üretilmiş olan cıvataların baskı yönleri SEM analizi ile açısal olarak görüntülerle ispat edilmiştir. PA6 %10 karbon fiberli cıvatanın yoğunluğu PA6'ya göre daha fazladır. $\pm 45^\circ$ baskı yönündeki nozulun hareketlerinde çapraz olarak üretilirken 0/90°'de boylamasına bir üretim yöntemi söz konusudur. PA6 ve PA6 %10 karbon fiber takviyeli cıvatalar kıyaslandığında baskı yönlerinin mekanik özellikleri açısından çok fark olmadığı gözlemlenmiştir. Fakat $\pm 45^\circ$ baskı yönünün 0/90°'ye göre biraz daha iyi olduğu söylenebilir.

7.5 Değerlendirme

Çalışmada 3 boyutlu yazıcılarda üretilecek olan malzeme çeşitliliğe göre cıvata ve somun üretiminin baskı yönlerine etkisi incelenmek istemiştir. Malzeme çeşitliliğinin baskı yönüne etkisinin olduğu fakat malzemenin 3 boyutlu yazıcıya üretim uygunluğunun olması gerektiğini göstermektedir. PLA diğer polimer malzemelere göre daha iyi mekanik özelliklere sahip olup, $\pm 45^\circ$ baskı yönünün mekanik özellikleri iyileştirdiği görülmüştür. PETG' de ise durum 0/90° baskı yönüyle üretiminin daha iyi mekanik özellik elde edildiği halde $\pm 45^\circ$ baskı yönüne göre çok fark olmadığı tespit edilmiştir. PA6 ve PA6 %10 karbon fiberin baskı yönleri tork ve sertlik açısından değişkenliklerin olduğu saptanmıştır. 3 boyutlu yazıcı da üretimi yapılacak olan cıvata ve somunlarda baskı yönünün malzemeye etkisinden, malzemenin 3 boyutlu yazıcıya göre uygunluğunun daha önemli olduğu ortaya çıkmaktadır.

Kaynaklar

- [1] S. Boopathy¹ TTM.Kannan² R.Elangovan³ (2019) Fabrication and analysis of polymer bolt and nut assembly by additive manufacturing system. Erişim sitesi www.jetir.org (ISSN-2349-5162)
- [2] D.B. Naga Muruga¹, R. Samuel Sundar², K.R. Mathivani³ (2019) Fabrication and Analysis of PLA based Nuts, Bolts and Study erişim adresi www.irjet.net p-ISSN: 2395-0072
- [3] Fuda Ning^a, Weilong Cong^{a, *}, Jingjing Qiu^b, Junhua Wei^b, Shiren Wang Additive manufacturing of carbon fiber reinforced thermoplastic composites using fused deposition modeling erişim adresi www.elsevier.com/locate/composites
- [4] Adatepe, H., Güneř, T. (2012). Cıvatalı Bağlantılarda Emniyetli Tork Değerinin Teorik ve Deneysel Olarak Belirlenmesi. TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 53, sayı 633, s. 43-51
- [5] Graves, F. (1984). Nuts and Bolts, Scientific American, 136-144.
- [6] Kurz, U., Wittel, H. (2017). *Konstruktives Zeichnen Maschinenbau*, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- [7] Decker, K.H. (1990). *Maschinenelemente, 10. Auflage*, Carl Hanser Verlag
- [8] Haberhauer, H., Bodenstern, F. (2011). *Maschinenelemente, 16. Auflage*, Springer.
- [9] DIN 934:1897, Hexagon nuts metric coarse and fine pitch thread
- [10] ISO 898-2:2012, Nuts with specified property classes — Coarse thread and fine pitch thread

- [11] J.Mazumdar, D.Dutta, N.Kikuchi, A.Ghosh, Closed loop direct metal deposition: art to part, *Optics and Lasers in Engineering*, 34,(2000), 397-414.
- [12] Levy, G.N., Schindel, R., and Kruth, J.P., Rapid manufacturing and rapid tooling with layer manufacturing (LM), state of the art and future perspectives. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 2003. 52(2): pp.589-609.
- [13] Jerez, R., Travieso, J.A., Corbella, X., “Finite element analysis of the thermal behavior of a RepRap 3D printer liquefier”, *Mechatronics*, 2016, 36, pp.119-126.
- [14] M. Taufik, P.K. Jain, *Int. J. Manuf. Technol. Manag.* 27 (2013) 47–73.
- [15] M. Taufik, P.K. Jain, *Virtual Phys. Prototyp.* 11 (2016) 319–341.
- [16] (2025) Lactic Acid Market & Polylactic Acid (PLA) Market Industry Report Lactic 2025, Retrieved
- [17] T. Tabi, I.E. Sajo, F. Szabo, A.S. Luyt, J.G. Kovacs, Crystalline structure of annealed polylactic acid and its relation to processing, *Express Polymer Letters*. 2010,4: 659–668.
- [18] Krishnanand, Shivam Soni, Mohammad Taufik, (2020) Design and assembly of fused filament fabrication (FFF) 3D printers erişim adresi: www.elsevier.com/locate/matpr
- [19] M. Murariu, P. Dubois, PLA composites: From production to properties, *Advanced Drug Delivery Reviews*, 2016, 107: 17–46.
- [20] 3D Hubs, <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/fdm-3d-printingmaterials-compared>
- [21] A.B. Martínez, N. León, D. Arencón, J. Rodríguez, A. Salazar, “On the effect of the different notching techniques on the fracture toughness of PETG”, *Polymer Testing*, vol. 32, no. 7, pp.1244-1252, 2013.
- [22] www.matweb.com

- [23] Akkurt, S., "Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı", Birsen Yayınevi, İstanbul (2007).
- [24] Marancı, Ş., "Metal Plastik Birleştirmelerde Ara Yüzey İncelemesi", (Yüksek Lisans), Fen bilimleri, Trakya Üniversitesi, Trakya (2009).
- [25] Yaşar H., 2001, "Plastikler Dünyası", MMO Yayınları, Ankara, 2. Baskı, (3-89,97,107,112,115,116,118,119,121,123,125,127,131,132)
- [26] Şahin K., Turan O.B. Üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin karşılaştırmalı analizi (2018)
- [27] Ünal, H., Mimaroglu, A., "Friction and wear performance of polyamide 6 and graphite and wax polyamide 6 composites under dry sliding conditions", *Wear*, 289, 132–137, 2012.
- [28] Kukureka, S.N., Chen, Y.K., Hooke, C.J. ve Liao, P., "The wear mechanisms of acetal in unlubricated rolling-sliding contact", *Wear*, 185, 1-8, 1995
- [29] H. Unal, "Morphology and mechanical properties of composites based on polyamide 6 and mineral additives", *Materials & Design*, vol. 25, pp. 483-487, 2004
- [30] E. Kuram, E. Tasci, A. I. Altan, M. M. Medar, F. Yilmaz and B. Ozcelik, "Investigating the effects of recycling number and injection parameters on the mechanical properties of glass-fibre reinforced nylon 6 using Taguchi method", *Materials & Design*, vol. 49, pp. 139-150, August 2013.
- [31] X. Q. Liu, W. Yang, B. H. Xie and M. B. Yang, "Influence of multiwall carbon nanotubes on the morphology, melting, crystallization and mechanical properties of polyamide 6/acrylonitrile–butadiene–styrene blends", *Materials & Design*, vol. 34, pp. 355-362, February 2012.
- [32] Y. Yamamoto and M. Hashimoto, "Friction and wear of water lubricated PEEK and PPS slidingcontacts: part 2. Composites with carbon or glass fibre", *Wear*, vol. 257 no 1, pp. 181-189, 2004.

- [33] K. Tanaka, "Friction and wear of glass and carbon fiber-filled thermoplastic polymers", Journal of Tribology, vol. 99, no.4, pp. 408-414, 1997.
- [34] Murat KOYUNBAKAN1, S. Hakan YETGİN1, *, Ferhat YILDIRIM2, Gözde KUŞ3, Volkan ESKİZEYBEK4, Abdurrahman GENÇ3 Karbon Elyaf Dolgulu Pa6 Polimer Kompozitlerinin Aşınma Özellikleri Üzerine Uygulanan Yük ve Kayma Hızının Etkisi
- [35] ASTM 2240-15 International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States,2017.

Özgeçmiş

Adı Soyadı: Muazzez Kaçak

Eğitim:

Lisans: 2011-2016 Karadeniz Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme
Mühendisliği