

**KOMPOZİT BASKI YAPAN 3 BOYUTLU  
YAZICININ GELİŞTİRİLMESİ**

**2018  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Mustafa GÜNEŞ**

# **KOMPOZİT BASKI YAPAN 3 BOYUTLU YAZICININ GELİŞTİRİLMESİ**

**Mustafa GÜNEŞ**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Eylül 2018**

Mustafa GÜNEŞ tarafından hazırlanan “KOMPOZİT BASKI YAPAN 3 BOYUTLU YAZICININ GELİŞTİRİLMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim ÇAYIROĞLU  
Tez Danışmanı, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 26/09/2018

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Murat LÜY (KKÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Can Bülent FİDAN (KBÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim ÇAYIROĞLU (KBÜ)



...../...../2018

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.





*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Mustafa GÜNEŞ

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **KOMPOZİT BASKI YAPAN 3 BOYUTLU YAZICININ GELİŞTİRİLMESİ**

**Mustafa GÜNEŞ**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Dr. Öğr. Üyesi İbrahim ÇAYIROĞLU**

**Eylül 2018, 55 sayfa**

3 boyutlu yazıcı ile üretilen modeller henüz daha günlük yaşamda direk eşya ya da parça olarak kullanım sahası bulamamaktadır. Bunda en büyük etken malzemelerin mukavemet değerleri ya da tek bir parçanın üretim maliyetidir. Özellikle mukavemet konusunun aşılabilmesi için, PLA ya da ABS ile oluşturulacak faz yapının içerisine parçalı karbon fiber katılması gibi birtakım yöntemler kullanılmaktadır. Kompozit yapı üretmek için başka bir yol ise faz yapının içerisine sürekli tel şeklinde ek bir takviye yapılması fikridir. Bu fikir doğrultusunda yapılan çalışmada, öncelikle, kompozit yapıyı üretmek için geliştirilen bir ekstruder mekanizması, üretilen yazıcıya montajlanmıştır. Yazıcı da Matris malzeme olarak 3 farklı termoplastik polimer; takviye malzeme olarak ise 304 kalite paslanmaz çelik tel ve 316L kalite çelik tel kullanılarak; kompozitin dağılmasını önleyebilecek uygun polimer naylon olarak belirlenmiştir. Bu polimer ve belirtilen 2 farklı çelik tel ile öncelikle, aynı üretim desenine sahip 3 numune basılarak çekme testine tabi tutulmuştur.

Sadece naylon kullanılarak üretilen numunenin çekme mukavemeti 33 MPa; 304 kalite çelik tel ile üretilen kompozit numunenin 42,7 MPa; 316L kalite çelik tel kullanılarak üretilen kompozit numunenin ise 123,9 MPa olmuştur. Böylelikle en mukavemetli kompozit yapının 316L kalite tel ile üretildiği belirlenmiştir. Kompozit yapıyı oluşturan üretim deseninin mukavemete olan etkisini araştırmaya yönelik, belirtilen 3 numunede kullanılan desen dışında, 3 farklı üretim deseni ile 6 numune daha basılarak, çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, 159 MPa çekme mukavemeti ile en iyi üretim desenin eş merkezli olduğunu ortaya koymuştur. Ardından günlük hayatta direkt olarak karşılığı bulunan bir kanca modeli tasarlanıp üretilerek, mukavemet performansını incelemek için çekme testi gerçekleştirilmiştir. 316L kalite çelik tel ile üretilen kancanın çekme mukavemeti 20,5 MPa iken; sadece naylon kullanılarak üretilen eşdeğerinin çekme mukavemeti 6,2 MPa olmuştur.

**Anahtar Sözcükler :** 3 Boyutlu Yazıcı, Kompozit Baskı, Termoplastik.

**Bilim Kodu** : 929.1.193

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **DEVELOPMENT OF 3D PRINTER CAPABLE OF COMPOSITE PRINTING**

**Mustafa GÜNEŞ**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechatronics Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Dr. İbrahim ÇAYIROĞLU**

**September 2018, 55 pages**

Models produced with a 3D printer are not yet available as direct objects or parts in everyday life. The major factor in this is the strength values of the materials or the production cost of a single piece. Particularly in order to overcome the strength issue, a number of methods are used, such as the incorporation of particulate carbon fiber into the phase structure to be formed with PLA or ABS. Another way to produce a composite structure is to make an additional reinforcement in the form of a continuous wire in the phase structure. In this work in the direction of this idea, firstly, an extruder mechanism developed for producing composites is assembled to the manufactured printer. The printer also has 3 different thermoplastic polymers as Matrix material; using 304 quality stainless steel wire and molybdenum alloy steel wire as reinforcement material; a suitable polymer nylon capable of preventing the dispersion of the composite. This polymer and the 2 steel wires mentioned were subjected to tensile test first by printing 3 samples with the same production pattern.

The tensile strength of the sample produced using only nylon is 33 MPa; 42.7 MPa of composite specimen produced with 304 quality steel wire; while the composite sample produced using molybdenum alloy steel wire was 123.9 MPa. Thus, it has been determined that the most resistant composite structure is produced with molybdenum alloy wire. Tensile tests were carried out by printing 6 more samples with 3 different design patterns besides the design used in the 3 samples to investigate the strength effect of the production pattern that composes the composite structure. The obtained results show that the best production pattern is concentric with 159 MPa tensile strength. Then, a hook model with direct correspondence in daily life was designed and produced, and a tensile test was carried out to examine the strength performance. The tensile strength of the hook produced with molybdenum alloy steel wire is 20.5 MPa; the tensile strength of the equivalent produced using only nylon has been 6.2 MPa.

**Key Word** : 3D Printer, Composite Print, Thermoplastic.

**Science Code** : 929.1.193



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Dr.Öğr. Üyesi İbrahim AYIROğLU'na sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne bu tez çalıőmasına vermiő oldukları destekten dolayı teşekkür ederim. (Proje numarası: KBÜBAP-18-YL-096)

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	6
METERYAL VE YÖNTEM.....	6
2.1. METERYAL .....	6
2.1.1. ABS .....	6
2.1.2. PLA.....	7
2.1.3. Naylon (Poliamit) Filament .....	8
2.1.4. 304 ve 316L Kalite Paslanmaz Çelik.....	9
2.2. YÖNTEM.....	11
2.2.1. 3 Boyutlu Yazıcının İmalatı.....	12
BÖLÜM 3 .....	17
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	17
3.1. 0,8 MM NOZUL VE ABS İLE YAPILAN TESTLER .....	20
3.1.1. Çubuk Test Örneği.....	21
3.1.2. Silindir Test Örneği .....	22
3.1.3. Çerçeve Test Örneği .....	23

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.2. 0,8 MM NOZUL VE PLA İLE YAPILAN TESTLER.....	24
3.2.1. Çubuk Test Örneği.....	24
3.2.2. Silindir Test Örneği .....	25
3.2.3. Çerçeve Test Örneği .....	27
3.3. 0,8 MM NOZUL VE NAYLON İLE YAPILAN TESTLER .....	28
3.3.1. Çubuk Test Örneği.....	29
3.3.2. Silindir Test Örneği .....	30
3.3.3. Çerçeve Test Örneği .....	31
3.4. NUMUNELERİN HAZIRLANIŞI .....	33
3.5. ÇEKME TESTİ SONUÇLARI .....	38
BÖLÜM 4 .....	43
BULGULAR VE TARTIŞMA .....	43
BÖLÜM 5 .....	48
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	48
KAYNAKLAR .....	50
ÖZGEÇMİŞ .....	55

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

- Şekil 1.1. İki farklı türde hidrojel mürekkep ile baskı yapabilmek için geliştirilen özel bir ekstruder. i) pistonlar, ii) şırınga varilleri, iii) ultraviyole ışık kaynağı ve (iv) baskı kafası..... 4
- Şekil 1.2. ABS içerisine karbon fiber takviyesi için geliştirilen extruder tasarımı. ... 5
- Şekil 2.1. Yazıcının kurulumu a) şasenin kurulumu ve b) ısıtıcı tabla takılmadan önce çalışır haldeki son görünümü..... 12
- Şekil 2.2. Kalibrasyon amaçlı basılan kübün a) katı model görünümü, b) kalibrasyon öncesi ve c) kalibrasyon sonrası ürünler. .... 13
- Şekil 2.3. Yaygın olarak kullanılan ekstruder türleri. a) E3D v6 ve b) MK8. .... 14
- Şekil 2.4. Çalışma kapsamında geliştirilen ekstruder mekanizmasının ön tasarımı. 15
- Şekil 2.5. Tasarlanan ekstruder mekanizması ve yazıcının son halinin görünümü. .. 16
- Şekil 3.1. Tasarlanan test örnekleri. a) Çubuk, b) çerçeve ve c) dairesel..... 17
- Şekil 3.2. Çubuk test örneğinin a) çelik tel kullanılmadan basılan örneği ve b) baskı işlemi esnasında test örneğinin bir ucunda meydana gelen kalkma. .... 21
- Şekil 3.3. Silindir test örneğinin a) çelik tel kullanılmadan basılan örneği, b) tel kopması sonucu yüzeyde kalan tel parçaları ve c) test örneğinin bir kenarında meydana gelen kalkma. .... 22
- Şekil 3.4. Çerçeve test örneğinin a) çelik tel kullanılmadan baskısı, b) bir duvar hattı boyunca sürülmüş çelik telin görünümü ve c) bir köşede kopmalar sonucu meydana gelen kalkma. .... 23
- Şekil 3.5. Çubuk test örneğinin a) çelik tel kullanılmadan basılan örneği, b) nozul ucunun tablaya temas ettiği ve çelik tel iletiminin ilk başladığı nokta ve c) çelik tel ile basılan test örneği..... 24
- Şekil 3.6. Daha iyi donmayı sağlamak amacıyla basılan parça ve ekstruder mekanizmasına montajı..... 26
- Şekil 3.7. Silindir tet örneğinin a) çelik tel kullanılmadan basılan test örneği, b) çelik tel sürümünün başladığı nokta ve c) çelik tel ile basılan parça... 27
- Şekil 3.8. Çerçeve test örneğine ait a) keskin köşelerin yuvarlatılması sonucu elde edilen yeni tasarım, b) çelik tel kullanılmadan basılan test örneği ve c) çelik tel ile basılan test örneği ve kesilen A noktası. .... 28
- Şekil 3.9. Çubuk test örneğinin a) çelik telsiz basılan örneği, b) nozul ucunun tabla yüzeyine ilk temas ettiği nokta, c) çelik tel ile basılan test örneği. . 30

Şekil 3.10. Silindir test örneğinin a) baskı işlemi esnasında çekilmiş bir fotoğrafı, b) birkaç katmanda meydana gelen kalkmalar, c) çelik tel ile basılmış olan örneği.....	31
Şekil 3.11. Çerçeve test örneğinin a) bir duvar hattından diğer duvar hattına yapılan ani dönüşler sonucu meydana gelen kalkmalar ve b) çelik tel ile basılmış olan test örneği.....	32
Şekil 3.12. Basılan örneklerin tabla yüzeyinden kalkmaması için kullanılan malzemelerden a) maskeleme bandı ve b) katı kıvamdaki yapıştırıcı. ....	35
Şekil 3.13. Numunelerin baskısında kullanılmak üzere tasarlanan model .....	37
Şekil 3.14. Kullanılan üretim desenleri. a) Izgara, b) çapraz çizgi, c) eş merkezli ve d) düz çizgi. ....	37
Şekil 3.15. Düz çizgi üretim deseni ile hazırlanan numuneler, a) sadece naylon, b) 304 kalite çelik tel, c) 316L kalite çelik tel kullanılarak basılmıştır....	38
Şekil 3.16. Düz çizgi üretim deseni ile üretilen numunelerin gerilme-gerinim eğrileri (A0 sadece naylon; A1 304 kalite; A2 316L kalite çelik tel ile üretilmiştir).....	41
Şekil 3.17. Çelik tel takviyeli olarak üretilen numunelerin gerilme-gerinim eğrileri (A1 304; A2, B1, C1 ve D1 316L kalite çelik tel ile üretilen numuneleri göstermektedir). ....	41
Şekil 3.18. Tasarlanan kanca modeli.....	41
Şekil 3.19. Kanca tasarımına ait a) katı model görünümü, b) 316L kalite çelik tel kullanılarak ve c) sadece naylon kullanılarak üretimi.....	42
Şekil 4.1. Kancalara ait gerilme-gerinim eğrisi (K0 sadece naylon; K1 316L kalite çelik tel ile üretilen kancayı göstermektedir). ....	46
Şekil 4.2. Eş merkezli üretim deseni ile üretilen numunelere ait gerilme gerinim eğrisi (C0 sadece naylon; C1 316L kalite çelik tel ile üretilmiştir). ....	46

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. 304 ve 316L kalite paslanmaz çeliğe ait kimyasal bileşenler. ....	10
Çizelge 2.1. 304 ve 316L kalite paslanmaz çeliğe ait kimyasal bileşenler. ....	10
Çizelge 3.1. Uygun nozul ve filament türünü belirlemek için planlanan işlem adımları. ....	18
Çizelge 3.2. Test örnekleri için belirlenen dilimleme parametreleri.....	19
Çizelge 3.3. Numunelerin basımında kullanılan dilimleme parametreleri. ....	36
Çizelge 3.4. Düz çizgi üretim deseni ile elde edilen çekme testi sonuçları (A0 naylon; A1 naylon +304 kalite paslanmaz çelik tel; A2 naylon + 316L kalite çelik tel). ....	39
Çizelge 3.5. Çapraz çizgi, eş merkezli ve ızgara üretim deseni ile elde edilen çekme testi sonuçları. ....	40
Çizelge 3.6. Üretilen kanca modellerine ait çekme testi sonuçları. ....	42
Çizelge 4.1. Dört farklı üretim deseni ile üretilen numunelere ait çekme testi sonuçları. ....	45
Çizelge 4.2. Literatür araştırması sonucu elde edilen bazı çekme testi sonuçları (CF: Karbon Fiber).....	47

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

GO : grafen oksit

CO<sub>2</sub> : karbondioksit

C : karbon

Mn : mangan

P : fosfor

S : kükürt

Si : silisyum

Ni : nikel

Cr : krom

### KISALTMALAR

ABS : Akrilonitril Bütadien Stiren

PLA : Polilaktik Asit

PBT : Polibütilen Tereftalat

EPP : Expanded Polypropylene (Genişletilmiş Polipropilen)

CNT : Carbon Nanotube (Karbon Nano-Tüpçük)

FDM : Fused Deposition Modelling (Eriyik Yığıma Modelleme)

TS : Türk Standardı

EN : Europeane Norm (Avrupa Standartları)

ISO : International Organization for Standardization (Uluslararası Standart Organizasyonu)

LAB : Laboratuvar

CF : Carbon Fiber (Karbon Fiber)

PC : Polikarbonat

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Geleceğin teknolojisi olarak görülen 3 boyutlu yazıcılar, hayal edilen bir parçayı, nesneyi bilgisayar ortamında herhangi bir tasarım programı ile modelleyip, hızlı bir şekilde fiziksel nesnelere dönüştürdükleri için, yeni bir ürünün üretim sürecine katkıları büyüktür [1]. Piyasada sürekli olarak artan rekabet ortamı, ürünlerin pazarda kalma süreçlerini kısaltmaktadır ve bu da geliştirilme süreçlerinde bir iyileştirme yapılması gereğini ortaya çıkarmaktadır. Birçok sektörde gelişen teknolojik olanaklar üretilecek ürünlerin geliştirilme süreçlerini kısaltmaktadır ve bu durum etkilerini bizzat üretim sektöründe de göstermektedir. Ayrıca üretilecek bir ürünün tasarım ve üretim süreci artık günümüzde müşteri odaklı olduğu ve birçok sektörün bu durum üzerine yoğunlaştığı gözlemlenmektedir [2]. Böyle bir durum da ilgili sektörleri bizzat 3 boyutlu yazıcı teknolojisini kullanmaya yöneltmektedir.

Eklemeli imalat olarak da bilinen 3 boyutlu yazıcı teknolojisi, temel olarak bir 3 boyutlu nesneyi üretmek için sıvı, toz, metal, plastik, seramik gibi malzemeleri katmanlar halinde biriktirerek ya da kaynaştırarak nesnelere oluşturulmasını sağlayan bir imalat yöntemidir [3]. Bu imalat yöntemi daha hızlı, ucuz ve kolay bir şekilde herhangi bir parçayı üretebildiğinden bu noktada geleneksel imalat yöntemlerine nazaran daha çok tercih edilmektedir [4-5]. Üretim süreci açısından ele alındığında herhangi bir boyutta küp ya da bu küp ile aynı hacimde daha karmaşık bir yapı aynı süre zarfında üretilebilmektedir. Bu teknoloji basit düzeyde ki modellerin imalatı ile başlamıştır. Daha sonra kullanılacak malzemenin ve üretilecek parçanın kalitesi ile birlikte parçanın hassasiyeti konusunda iyileştirmeler yapılarak, modellerin özelliklerine ait bilgileri verebilir konumuna gelmiştir. Ayrıca bu teknolojinin üretimde devrim niteliğinde olduğu ve son kapasitesine ulaştığı bilinen imalat yöntemlerinin artık kullanılmayacağı öngörülmektedir.

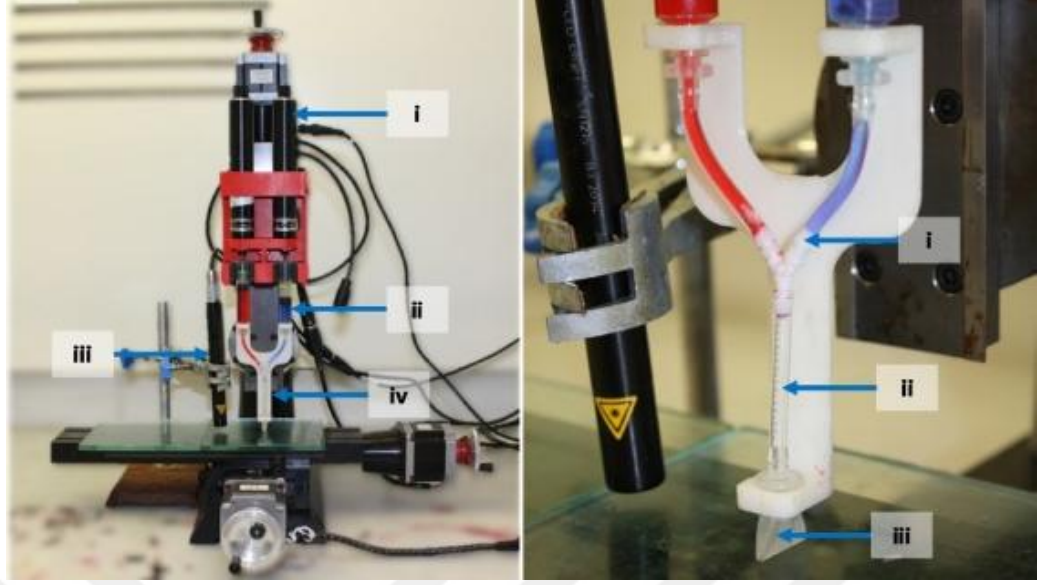


Son yıllarda 3 boyutlu yazıcı teknolojisine verilen önemle birlikte bu teknoloji; otomotiv [6], tekstil [7], havacılık-uzay [8], tıp [9-10], gıda [11-14], eczacılık [15] ve inşaat [16] gibi birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır ve kullanım alanı hızla yaygınlaşmaktadır. 3 boyutlu yazıcılar da kullanılan üretim teknolojisine benzer birçok imalat teknolojileri vardır. Bu imalat teknolojileri arasında en düşük maliyetli, daha çok malzeme çeşidi ve en az atık ile çalışan teknoloji 3 boyutlu yazıcı teknolojisidir. Bu teknolojinin bilimsel açıklaması basitçe, viskozitesi yüksek malzemelerin uygun bir nozuldan ekstrüzyonu şeklindedir. Bundan dolayı bu teknoloji ile çalışan 3 boyutlu yazıcılarda kullanılan malzemeler genel olarak amorf yapıdaki termoplastik polimerlerdir. Bu polimerlerin belirli bir erime sıcaklığı yoktur. Sıcaklığın artması ile birlikte yumuşarlar ve böylelikle viskoziteleri düşer. Uygulanan basınç altında ekstrüde edilebildikleri sıcaklık değerinde viskoziteleri yüksektir. Ekstrüde edildikten sonra özelliklerini korurlar ve hızlıca katılaşır. Ayrıca modeli oluşturan duvarlar yan yana eklendiğinde veya herhangi bir katmanın üzerine başka bir katman eklendiğinde modelin duvar ve katmanları birbirine kolayca ve iyi bir şekilde yapışır. Bu teknolojiye en çok kullanılan malzemelerden biri yüksek dayanıma sahip, ağırlıkça hafif ve rijit bir malzeme olan ABS'dir. Ayrıca düşük dayanıma sahip ve nişasta esaslı olan PLA'de yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Bu malzeme nişasta esaslı olduğundan sağlık açısından uygun olup genellikle medikal uygulamalarda tercih edilmektedir. Bu malzemelerin yanısıra mukavemeti oldukça iyi olan PC ile ABS'nin belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilen yeni malzemede bu teknoloji ile kullanılabilir [17-18]. Bu şekilde elde edilen malzemeler yüksek mukavemet ve hafifliğe sahip olduklarından özellikle otomotiv ve havacılık sektöründe tercih edilmektedir.

3-boyutlu yazıcılarda baskı işlemi için kullanılan malzemeler de çeşitlilik günden güne artmaktadır. Bu malzemeler arasında en sık tercih edilen ikili PLA ve ABS'dir. Bu ikili aynı işlem parametreleri ve üretim desenleri ile basılıp test edildiğinde ABS'nin daha mukavemetli olduğu ortaya konulmuştur [19]. Ayrıca bu iki malzemeyi kendi içerisinde ayrı ayrı değerlendirme için de deneysel çalışmalar yapılmıştır. Hem bu amaçla hem de farklı işlem sıcaklıklarının mukavemete olan etkisini araştırmaya yönelik yapılmış çalışmalar sıcaklık artışının katmanlar arası yapışmayı üst seviyeye çıkardığını ve mukavemeti arttırdığını göstermiştir [20-21]. Bu teknolojiye

kullanılmaya yönelik birçok filament türü hâlihazırda mevcuttur. Fakat bu şekilde çeşitlilik olması, üretici firma çeşitliliğini de beraberinde getirmiştir. Bu nedenle tedarik edilecek tür seçilirken içerdiği kimyasal vb. katkı maddeleri dikkate alınmalıdır. Çünkü aynı türün farklı renkleri bile özellikle mukavemet konusunda farklılık gösterebilmektedir [22-23]. Filament türlerindeki çeşitlilik beraberinde baskı işlemi için kullanılacak olan 3 boyutlu yazıcı çeşitliliğini de getirmiştir. Bu yazıcılar hazır olarak temin edilebileceği gibi bunlara alternatif olarak birçok açık kaynaklı 3 boyutlu yazıcılarda mevcuttur. Bu noktada seçim yapılırken dikkatli olunması gerekmektedir. 3 boyutlu yazıcıda kullanılacak olan filamentin türü ve kalitesinin yanı sıra, tedarik edilen yazıcı türünün, bu yazıcıya özgü ayarların ve çalışması için bazı hususların baskılı ürünlerin kalitesi üzerinde büyük rolü vardır [24]. Bu yazıcı türlerinden özelliklede açık kaynaklı olanlar üzerlerinde her türlü yazılımsal ve donanımsal değişikliğe izin vermektedir. Bu sayede bu tür yazıcılarda ekstruder mekanizmaları üzerinde değişiklikler yapılarak termoplastiklerin dışında farklı türde malzemelerin de kullanılması mümkün olmaktadır (Şekil 1.1). Bu sayede; nişasta, süt tozu, selüloz gibi protein ve lif bakımından zengin gıdalar [25], indirgenmiş GO [26], CO<sub>2</sub> gazı içeren EPP boncuklar [27], CNT (Karbon nano-tüpçük) ve Grafen bazlı PBT [28], şeker ve/veya çikolatan oluşturulmuş macunlar [29-30], CNT'den elde edilen iplik ile termoplastik bir malzemenin karışımı [31], manyetik demir oksit tozları ile elde edilen karışımlar [32], plastik forma getirilmiş nişasta [33] ve patates püresi[34] gibi katı sıvı veya gaz formundaki birçok materyal 3 boyutlu yazıcı teknolojinde kullanılabilir hale getirilebilmektedir. Ayrıca ekstruder mekanizmasında yapılan değişiklikler ile 2 farklı filament türü direkt olarak nozul içerisinde karıştırılarak da baskı yapılabilmektedir [35].

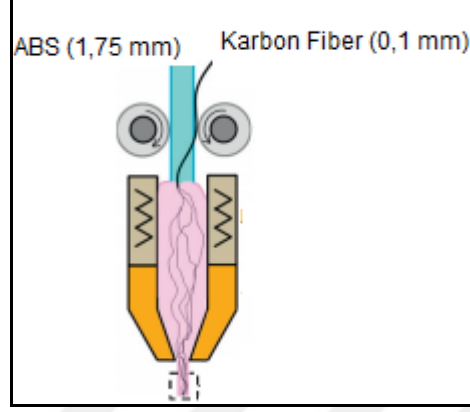
Günümüzde 3 boyutlu yazıcı teknolojisinin kullanım alanı hızla büyümesine rağmen, üretilen modellerin mukavemet değerleri henüz istenilen seviyelere çıkarılamamıştır. Bu engelin önüne geçebilmek için sürekli olarak yeni çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan çoğu henüz araştırma aşamasındadır. Kompozit baskı konusunda yapılmış çalışmalara bakıldığında, 3 boyutlu yazıcı ile kompozit baskı konusunda birçok çalışmaya rastlamak mümkündür. Fakat bunlar bu çalışma kapsamında geliştirilen uygulamadan tamamen farklı şekildedir.



Şekil 1.1. İki farklı türde hidrojel mürekkep ile baskı yapabilmek için geliştirilen özel bir ekstruder. i) pistonlar, ii) şırınga varilleri, iii) ultraviyole ışık kaynağı ve (iv) baskı kafası [36].

Yapılan çalışmalar genel olarak karbon fiber takviyeli ABS veya PLA kompozitleri şeklinde olup, baskıya uygun bir ekstruder tasarımı ile numuneler basılmıştır (Şekil 1.2). Kompozit yapı üretmek için başka bir yol ise faz yapının içerisine tel şeklinde ek bir takviye yapılması fikridir. Bu konuda literatürde parçalı Karbon fiber ve/veya cam fiber takviyesi yapan çalışmalar bulunmaktadır [37-42]. Ayrıca sürekli tel şeklinde karbon fiber takviyesi ile üretim yapan az sayıda çalışma bulunmaktadır [43-46]. Bu çalışmada ise PLA, ABS ve naylon filament kullanılarak basılacak olan parçanın içerisine sürekli olacak şekilde çelik tel takviyesi yapılarak benzer desenlerde kompozit yapılar üretilmiştir. Lif yapının sürekli olması ve üretim esnasında ortaya çıkan desen şeklinin mukavemet artışını hangi düzeyde yapacağı araştırılmıştır. Bu şekilde farklı filament türlerinin kullanılmasında ki amaç çelik tel ile uyumlu en uygun faz yapının belirlenebilmesidir. Bu amaca yönelik tasarlanıp üretilen yazıcıda, çelik tel ile baskı işlemi esnasında en büyük zorluk hem faz yapının hem de lif yapının nozuldaki uygun bir şekilde çıkışını sağlamak ve üretilecek olan desenlerde çok küçük dönüşleri gerçekleştirebilmektir. Bu noktada çözüme ulaşabilmek için kullanılacak olan nozul çapının iyi bir şekilde belirlenebilmesi gereklidir. Bu sebepten dolayı telin zorlanmadan nozul içerisinde rahat hareket edebilmesi için 3 farklı çapta nozul; uygun sıcaklığı belirleyebilmek için ise baskı işlemi esnasında sıcaklığı artırma yöntemi

kullanılmıştır. Bu gibi birçok önemli parametre belirlendikten sonra çekme testine tabi tutulacak numuneler basılarak sonuçlar kendi içerisinde ve literatür araştırması sonucu elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 1.2. ABS içerisine karbon fiber takviyesi için geliştirilen bir extruder tasarımı [47].

Bu çalışmada çelik tel ile kompozit baskı yapabilen bir 3 boyutlu yazıcı geliştirilmiştir. 0,05 mm çapında 304 kalite paslanmaz çelik tel ve 316L kalite çelik tel olmak üzere iki farklı tel kullanılmıştır. Her iki tel ile birleşim yapacak en uygun faz yapının belirlenebilmesi için PLA, ABS ve naylon malzemeleri ile çeşitli denemeler yapılmıştır. Uygun faz yapı belirlendikten sonra 4 farklı üretim deseni ile üretilen numuneler çekme testine tabi tutularak mukavemet değerleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ardından günlük hayatta kullanımı olan bir kanca modeli çelik tel ile üretilip, kullanım performansı incelenmiştir.

## BÖLÜM 2

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 2.1. MATERYAL

Sürekli şekilde çelik tel takviyesi ile en iyi kompozit yapıyı oluşturacak filament türünü belirleme için ABS, PLA ve naylon olmak üzere 3 farklı türde filament kullanılmıştır. Bu filamentler temin edildikten sonra herbirinin karakteristik özellikleri ve baskı işlemi için uygun işlem parametreleri araştırılarak test edilmiştir. Baskı işleminde kaliteyi olumsuz yönde etkileyen en önemli unsur filamentin rutubete maruz kalmasıdır. Özellikle de naylon filament ağırlığının %10'u kadar rutubeti 24 saat gibi kısa bir süre zarfında bünyesine alabilmektedir. Bu problemi önlemek için 50 gramlık paketler halinde 3 adet slika jel temin edilip herbir filamentin kutusuna konulmuştur. Bu işlem ABS ve PLA için etkili ve yeterli olmuştur. Naylon filament ek olarak numunelerin basılacağı gün 100 °C'ye ayarlanmış bir fırın vasıtasıyla 2 saat kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlem gerçekleştirildikten yaklaşık 3 saat sonra numuneler basılmıştır. Kullanılan çelik tel ve filament aynı anda baskıya sürerken uygun nozulu belirleyebilmek için 0.4, 0.8 ve 1 mm çaplarında 3 farklı nozul temin edilmiştir. Çelik tel ile baskı işlemi esnasında hem çelik tel hemde kullanılan herhangi bir filament aynı nozul içerisinde baskıya sürüleceğinden bu seçim son derece önemli bir aşamadır. Kullanılmış olan herbir nozulun besleme giriş çapı 1,75 mm olup vida çapı 6 mm'dir. Ayrıca kullanılmış olan herbir nozul pirinç malzemedен üretilmiştir.

##### 2.1.1. ABS

ABS, petrol bazlı bir termoplastik olup mukavemeti PLA'ya kıyasla daha yüksektir. FDM teknolojisini kullanan bir 3 boyutlu yazıcı da ABS ile baskı yapabilmek için ısıtıcı tabla kullanılmalıdır. Prototip amaçlı 3 boyutlu modeller, elektrik ekipmanları,

arabalar gibi modellerin üretiminde dayanıklılık ve sağlamlık önemli bir nokta olduğundan bu tarzda modellerin üretiminde ABS sıklıkla tercih edilebilmektedir. Ayrıca ABS, özellikle de sıcak olan yiyecekler ve içecekler ile temas halinde olmamalıdır. Böyle bir kullanımda insan sağlığına zarar verebilmektedir. Bu termoplastiğin genel özellikleri ve baskı işlemi için ideal bir kaç parametre şöyledir:

1. Yüksek sertliğe sahiptir ve darbelere karşı dirençlidir.
2. Esnekliği düşüktür.
3. Aseton kullanılarak çözülebilir.
4. Yiyecek ve içecekler ile kullanılması önerilmez.
5. Baskı işlemi için nozul sıcaklığı 230°C – 250°C arasında olmalıdır.
6. Soğuma esnasında basılan modelin tablaya temas eden yüzeyinde kalkma olmaması ve modelde çatlama sorunları ile karşılaşılması için kapalı sisteme sahip bir 3 boyutlu yazıcı önerilmektedir.
7. Isıtıcı tabla kullanılmalı ve sıcaklık 80°C – 120°C arasında olmalıdır.
8. Yine modelin tablaya temas edecek yüzeyinde kalkma olmaması ve daha güzel çıktılar alabilmek için tabla kalibrasyonu ayarlarının iyi bir şekilde yapılması gerekmektedir.

### **2.1.2. PLA**

PLA, genellikle mısır nişastası ve şeker kamışından üretilen ve insan sağlığına zararı olmayan bir organik biyopolimer ve termoplastiktir. Bu biyopolimer FDM teknolojisini kullanan bir 3 boyutlu yazıcı da rahatlıkla kullanılabilir. 3 boyutlu yazıcılarda kullanımın dışında, bazı paketleme malzemelerinde, streç filmlerde, plastik kaplar ve plastik su şişelerinde de üretim aşamasında kullanılmaktadır.

PLA diğerlerine oranla daha parlak bir görüntüye sahip olduğundan göze hitap eden alanlarda ve insan sağlığına zararı olmadığından insan ile temas halinde olabilecek parçaların imalatında sıkça kullanılmaktadır. Bu tarz kullanımına pasta kalıpları, oyuncaklar, mimari modeller, saklama kapları ve basit mutfak gereçleri gibi örnekler verilebilir. Ayrıca güneş ışığına sürekli maruz kalacak modellerin imalatında PLA

kullanımı önerilmemektedir. PLA'ya ait genel özellikleri ve baskı işlemi için ideal bir kaç parametreyi sıralayacak olursak başlıcaları şöyledir:

1. Dayanıklı ve darbelere karşı dirençlidir.
2. Esnekliği çok azdır ve kırılğan yapıya sahiptir.
3. Aseton kullanılarak çözümlenmesi zordur.
4. Baskı işlemi için 190°C – 220°C arasında nozul sıcaklığı yeterlidir.
5. Soğuma esnasında modelin tabla yüzeyinden kalkması ve modeled çatlaklar oluşması sorunları ile karşılaşılmaz.
6. 50°C – 70°C arasında tabla sıcaklığı yeterlidir.
7. Sıcaklık, tabla kalibrasyonu ve baskı hızı gibi parametreler bir kere iyi bir şekilde ayarlandığında, bu parametreler ile sorunsuz baskı yapılabilir.

### **2.1.3. Naylon (Poliamit) Filament**

Endüstriyel alanda birçok uygulamada kullanılan poliamit halk arasında naylon sözcüğü ile nitelendirilmektedir ve çok popüler bir sentetik polimerdir. Ayrıca naylon, dünya genelinde üretilmiş olan ilk sentetik polimerdir. Mekanik dayanımı oldukça iyi olan naylon özellikle de giyim sektöründe çok geniş bir kullanım alanı oluşturmuştur. Mekanik dayanımı sayesinde dayanıklı olması istenilen kumaş türlerine ve diğer elyaf türlerine karıştırılarak kullanılabilir. Kimyasal dayanımının çok iyi olmamasına karşın, seyreltik bazlı asit ve bazlara karşı dirençlidir.

3 boyutlu yazıcılarda filament türü olarak da kullanılan naylon filamentler uygun fiyatıyla kullanıcıya güçlü, hafif, esnek ve aşınmaya karşı daha dirençli özellikler sunmaktadır. ABS ve PLA filamentleri ile karşılaştırıldığında naylon filament daha dayanıklı ve güçlü olmasına karşın kolay kırılabilir. Naylon filamentler 3 boyutlu yazıcılarda çeşitli makina parçaları, kutular, saklama kablaları ve oyuncak gibi parçaların üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır. Fakat bu filament türünün muhafazası çok iyi şekilde yapılmalıdır. Çünkü diğer filament türlerine kıyasla naylon filamentler nemi çok hızlı bir şekilde absorbe edebilmektedir. Gerekli olan önlemler alınmazsa taktirde bir gün gibi kısa bir zaman zarfında bozulmaya uğrayarak baskı kalitesini düşürebilmektedir. Ayrıca bu filament türü fabrika boyaları kullanılarak kolaylıkla

boyanabilmektedir. Naylon filamentin özellikleri ve baskı için gerekli uygun bir kaç parametre şu şekildedir:

1. Güçlü, dayanıklı ve esnek olması açısından büyük avantaj sağlamaktadır.
2. Mekanik, yapısal, dişli ve dinamik gibi mukavemet ihtiyacı olan parçaların basımı için uygundur.
3. Suda çözülemez, geri dönüştürülebilir.
4. Gıda ile teması olacak parçaların imalatı için filamentin imalat klavuzuna bakılmalıdır.
5. Baskı esnasında nozul sıcaklığı 235°C – 265°C aralığında olmalıdır.
6. Kaliteli bir baskı için baskı işlemi öncesi nemden arındırılmış ve kuru olması gereklidir.
7. 3 boyutlu baskı sonrası soğuma anında büzülme görülebilir
8. Baskı işlemi esnasında tabla sıcaklığının 75°C – 100°C arasında olması gereklidir.
9. Baskı zorluğu diğer filamentlere yapılan baskılara oranla daha fazladır. Tabla ve sıcaklık kalibrasyonu çok iyi bir şekilde yapılmalıdır. Özellikle de tabla kalibrasyonu iyi olmadığı takdirde katmanlar arasında kırılmalar meydana gelebilir.

#### **2.1.4. 304 ve 316L Kalite Paslanmaz Çelik**

Paslanmaz çelikler günümüzde özellikle de endüstrisinin vazgeçilmez malzemeleri arasına girmişlerdir. Bu çelikler esas itibari ile demir, karbon ve nikel içeren alaşımlardan oluşup, temel özelliklerini ise kroma borçludurlar ve paslanmazlık özelliğine sahip olabilmeleri için en az % 12 oranında krom içermeleri gereklidir. Paslanmaz çelikleri oluşturan kimyasal bileşimlerde bir takım değişiklik yapılarak farklı özelliklere sahip paslanmaz çelikler elde edilebilmektedir. Örneğin krom miktarı artırılarak ya da nikel ve molibden gibi alaşımlar ilave edilerek korozyona karşı dirençleri artırılabilir. Paslanmaz çeliklerin içyapısını belirleyen önemli elementlerin önem sırası ise krom, nikel, molibden ve mangan şeklindedir. Demir alaşımlarının maruz kaldığı aşınma dirençlerini arttırmaya yönelik geliştirilmiş olan paslanmaz çeliklerin, endüstriyel alanları dışında da uygulama alanları her geçen gün artmaktadır.



Bu şekilde bir artışın temel nedeni ise demir alaşımlarına kıyasla korozyona maruz bırakabilecek ortamlarda, mekanik özelliklerini kaybetmeden göstermiş oldukları yüksek korozyon dirençleridir [48].

Çalışmada takviye teli olarak 2 çeşit çelik tel ile denemeler yapılmıştır. Birincisi EN standartlarına göre 1.4301 paslanmaz çelik olarak numaralandırılan ve 304 kalite olarak bilinen X5CrNi18-10'dur. İkincisi ise EN standartlarına göre 1.4435 paslanmaz çelik olarak numaralandırılan ve 316L kalite olarak bilinen X2CrNiMo18-14-3'tür. 304 Kalite Paslanmaz Çelik tel kolay kıvrılabilmesi, paslanmaya karşı direnci ve yaygın olarak piyasada bulunabilmesi nedeniyle tercih edilmiştir. 316L çelik ise daha çok mukavemet özelliklerinin iyi olması nedeniyle tercih edilmiştir. Her iki malzemenin de fiziksel ve mekaniksel özellikleri Çizelge 2.1'de, kimyasal bileşenleri ise Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. 304 ve 316L kalite paslanmaz çeliğe ait kimyasal bileşenler.

Fiziksel ve Mekaniksel Özellikler		
Malzeme No:	1.4301	1.4435
Elastisite modülü	193 GPa	200 GPa
Özgül ağırlık	8000 $kg/m^3$	8000 $kg/m^3$
Elektrik direnci	$0,072 \times 10^{-6} \Omega m$	$0,075 \times 10^{-6} \Omega m$
Kopma mukavemeti	515-720 MPa	500-700 MPa
Akma mukavemeti (%0.2)	210 MPa (min.)	200 MPa (min.)

Çizelge 2.1. 304 ve 316L kalite paslanmaz çeliğe ait kimyasal bileşenler.

Kimyasal Bileşenleri(%)								
Malzeme No	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo
1.4301	0.07 max	2.0 max	0.045 max	0.03 max	1.0 max	17- 19.5	8-10.5	-
1.4435	0.03 max	2.0 max	0.045 max	0.03 max	1.0 max	17-19	12.5- 15	2.5- 3.0

## 2.2. YÖNTEM

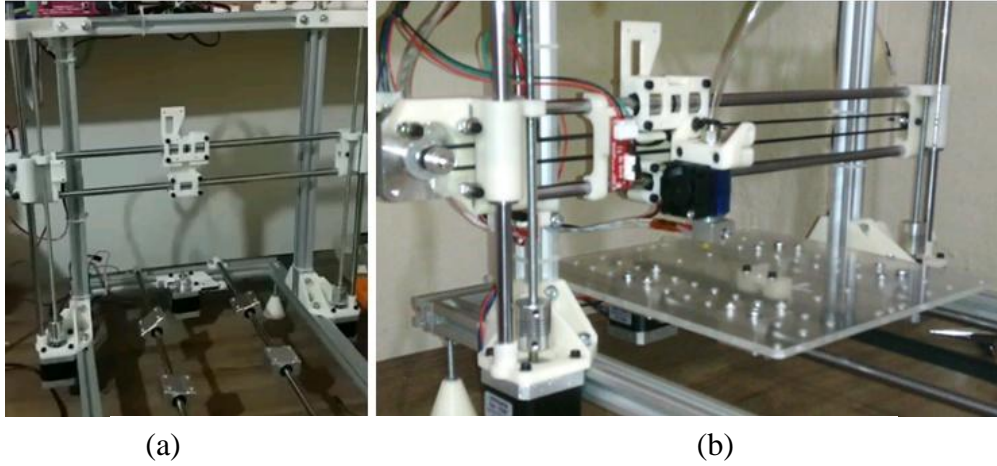
Literatürde ki çalışmalara bakıldığında, çalışmaların çoğunda, karbon fiber takviyesi, cam elyaf takviyesi, kevlar elyafı takviyesi gibi yöntemler ile kompozit ürünler üretilip, bu ürünler üzerinde mukavemete yönelik testlerin yapıldığı gözlemlenmektedir. Bu çalışmada uygulanan yöntem üç aşamaya ayrılmıştır. Birinci aşamada sürekli çelik tel iletimi sağlayarak kompozit baskı yapabilen yeni bir 3 boyutlu yazıcının tasarlanıp üretilmesi hedeflenmiştir. Bu yazıcı mevcut 3 boyutlu yazıcılarla benzer özellikte fakat üzerindeki tel ve filamentleri aynı anda alarak baskıya sürebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu yazıcının yazılım ve donanım kısmı tamamen kullanıcı kontrolünde olacak şekilde ayarlanmıştır. Farklı çapta ve türde lifler denenirken hız ve nozul ucunun ayarlanabilir olması büyük avantaj sağlayacağından böyle bir yol seçilmiştir.

Bu yazıcıda ki senaryo en basit haliyle, bir makaradan çelik teli başka bir makaradan ise filamentleri aynı anda alıp tek nozullu bir ekstruder içerisinde baskıya sürebilmek şeklinde belirlenmiştir. Eğer bu işlem ile başarı ile sonuçlanmasaydı, B planı olarak çift nozullu bir ekstruder mekanizmasının tasarımı düşünülmekteydi. Fakat buna gerek kalmamıştır.

3 boyutlu yazıcı bu şekilde tasarlanıp üretildikten sonra, ardından çelik tel ile en iyi uyumu sağlayacak filamentleri belirleme denemeleri yapılmıştır. Bu konuda yapılan çalışmalar "deneysel çalışmalar" konu başlığı altında toplanmıştır. Bu denemeler esnasında uygun nozul ve tabla sıcaklığı, baskı işlemi ve soğutucu fan için uygun hız değerleri gibi birçok parametre de belirlenmiştir. Üçüncü aşama da ise gerekli işlem parametreleri ve belirlenmiş olan en uygun filament kullanılarak çekme testine tabi tutulacak numuneler lif içermeyen ve 2 farklı çelik lifleri ile üretilerek, 3 farklı tipte hazırlanmıştır. Bu numunelerde kullanılan örme desenlerinin aynı olmasına dikkat edilmiştir. En mukavemetli kompozit yapı ortaya konulduktan sonra, farklı üretim desenleri kullanılarak hangisinin malzemeye en fazla mukavemet kattığı araştırılmıştır. Uygun desenlerde bulunduktan sonra gerçek dünyadan özellikle mukavemet ihtiyacının olduğu bir parça üretilip, kullanım performansları incelenmiştir.

### 2.2.1. 3 Boyutlu Yazıcının İmalatı

Çalışmanın bu aşamasında kompozit baskıda kullanılacak olan yazıcının tasarımı ve prototipi gerçekleştirilmiştir. Gerekli olan, bağlantı elamanları (kaplin, rulman, cıvata vb.), elektronik donanım elamanları (motor sürücü, fan, termistör vb.), şase için 20x20mm sigma profiller ve 8mm çapında miller vb. donanım temin edildikten sonra öncelikle yazıcının şase kısmı kurulmuştur. Daha sonra yazıcının elektronik bağlantı elamanları tamamen bağlandıktan sonra ısıtıcı tabla için “pleksiglass” malzemedен 20x20x5 mm boyutlarında kesilen parça yazıcının y eksenine monte edilmiştir (Şekil 2.1). Bu işlem adımları bitirildikten ve yazıcıya ısıtıcı tabla da monte edildikten sonra yazıcının kurulum işlemi genel olarak tamamlanmıştır. Yazıcıya başlangıç olarak, tamamen açık kaynaklı olan ve üzerinde isteğe bağlı her türlü değişikliğe ve geliştirmeye izin verilen Marlin 2.0 yazılımı yüklenmiştir. Bu yazılım indirildikten sonra tasarlanan yazıcıya uygun olacak şekilde gerekli kısımları değiştirilmiştir.

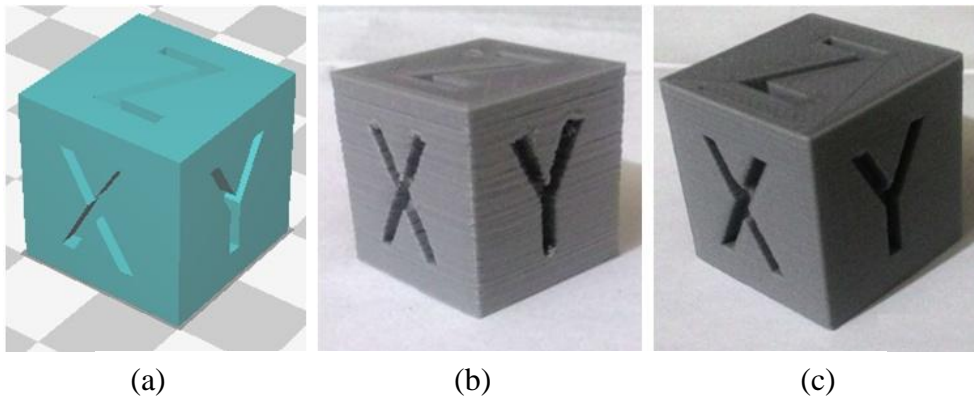


Şekil 2.1. Yazıcının kurulumu a) şasenin kurulumu ve b) ısıtıcı tabla takılmadan önce çalışır haldeki son görünümü.

Yazıcıda x ve y eksenlerinde bir adet, z ekseninde ise iki adet motor kullanılmıştır. x eksenini ekstruder mekanizmasını üzerinde taşımaktadır ve z eksenini üzerine monte edilmiştir. Bu eksenindeki motor ve motor miline bağlanmış olan kayış ve kasnak, ekstruder mekanizmasına sabitlenmiş olan 3 adet rulmanı 2 adet mil üzerinde hareket ettirerek ekstruderin sağa ve sola hareketini sağlamaktadır. Y eksenini motordan aldığı hareketi, yine motor miline bağlı olan kayış ve kasnak ile aktararak ısıtıcı tablanın

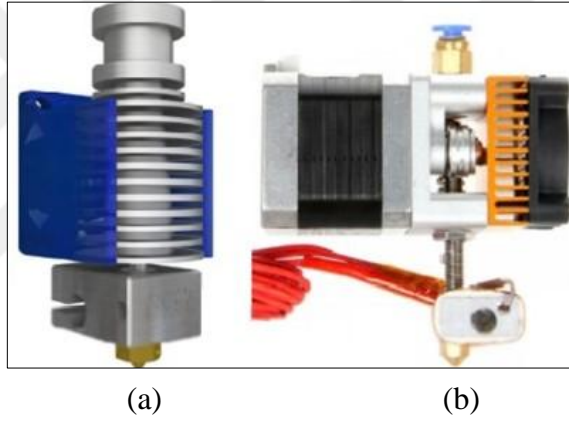
hareketini sağlamaktadır. Isıtıcı tabla 4 adet rulmana sabitlenmiştir ve bu rulmanlar kayış ve kasmağın hareketi ile 2 adet mil üzerinde hareket etmektedir. Z eksenini ise üzerine monte edilmiş olan x eksenini aşağı ve yukarı hareket ettirmektedir.

Prototipi yapılan 3 boyutlu yazıcı genel olarak elektronik donanım, ekstruder mekanizması ve yazıcının eksenlerde (x, y ve z) sabit bir şekilde durmasını sağlayan iskelet sisteminden oluşmaktadır. Yazıcıda ki sigma profiller ve milleri birbirlerine sabitlemek için, ayrıca motor ve birkaç elektronik ekipmanı iskelete tutturmak için gerekli parçalar, Zortrax M200 3 boyutlu yazıcıda ABS filamentini kullanılarak üretilmiştir. Yazılımsal ve donanımsal iyileştirmeler yapıldıktan sonra birçok baskı alınmış ve yazıcının çeşitli kalibrasyon işlemleri yapılmıştır. Bu adımlardan ilki basılacak olan parça boyutlarının x, y ve z eksenleri boyunca doğru olup olmadığını anlamaya yönelik olmuştur. Bu amaçla Thingiverse'den stl formatında 20x20x20 mm boyutlarındaki küp indirilerek en iyi sonuçları alana kadar defalarca basılmıştır. Boyutsal olarak doğru sonuçlar alındıktan sonra basılacak olan parçanın yüzey kalitesini iyileştirmeye yönelik ekstruder kalibrasyonu yapılmıştır. Burada ki amaç en basit tanımıyla basılacak her bir katman için ekstruder motorunun iletmesi gereken filament miktarının doğru bir şekilde hesaplanmasıdır. Bu değer hesaplanıp yazıcının yazılımında ilgili yere yazılmıştır. Ardından küp tekrardan basılarak bir önceki baskılar ile karşılaştırılmıştır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Kalibrasyon amaçlı basılan kübün a) katı model görünümü, b) kalibrasyon öncesi ve c) kalibrasyon sonrası ürünler.

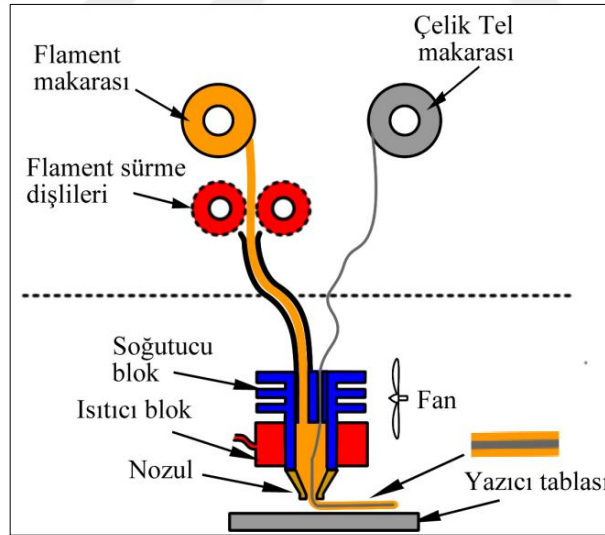
Ekstruder mekanizmasının temel görevi ısıtıcı blok vasıtası ile eritilen plastik malzemeyi nozul ucuna iletmektedir. Bu işlem ekstruder mekanizmasına dâhil edilmiş olan bir adet motor ile sağlanmaktadır. Piyasada yaygın olarak kullanılan E3D v6 ve MK8 olmak üzere 2 tip ekstruder mekanizması bulunmaktadır (Şekil 2.3). İkisinin de çalışma prensibi aynı mantığa dayanmaktadır. Başlangıç olarak bu mekanizmaların ikisi de temin edilmiştir. Bu mekanizmalar tek tek denenerek üzerinde değişiklik yapılmaya (örneğin; yeni bir dişli eklemek) uygun olanı belirlenmeye çalışılmıştır. Buradaki amaç kompozit baskı yapabilmek için tasarlanacak olan ekstruder mekanizmasına bir alt yapı oluşturmaktır. Yapılan çeşitli denemeler sonucu MK8'in daha uygun olduğu belirlenmiştir ve kompozit baskı da kullanılacak son halini alana kadar bu mekanizma üzerine sürekli eklemeler yapılmıştır.



Şekil 2.3. Yaygın olarak kullanılan ekstruder türleri. a) E3D v6 ve b) MK8.

MK8 ve E3D v6 ekstruder mekanizmalarını karşılaştırmalı olarak inceleyebilmek için sıcaklığa bağlı bir test yapılmıştır. Dilimlenmiş bir küp modelinin basımında PLA filament kullanılarak sıcaklık başlangıç olarak 210 °C ayarlanmıştır. Baskı işlemi esnasında farklı katmanlarda sıcaklık değeri 5 °C'lik aralıklarla artırılarak 270 °C'ye kadar çıkartılmaya çalışılmıştır. Ayrıca Şekil 4'te görüldüğü gibi E3D v6'nın üzerinde ki soğutucu bloğa monte edilen fanın tam güçte çalışması sağlanmıştır. 245 °C değeri geçildiğinde filament iletiminin sağlandığı boğazda tıkanma olduğu tespit edilmiştir. Bu işlem hem çelik tel ile hem de çelik tel kullanılmadan ayrı ayrı test edilmiştir ve her ikisinde de aynı sonuca ulaşılmıştır.

PLA, ABS ve Naylon ile yapılacak kompozit baskı deneylerinde bu sıcaklık değerinin gerektiğinde 260-270 °C'ye kadar ayarlanabilir olması gereklidir. Böyle bir durumda E3D v6 ile çalışmak mümkün olmayacağından bu şekilde bir mekanizmanın kullanımı uygun görülmemiştir. Benzer bir test örneği MK8 ile de yapılmıştır. Bu testte öncelikle tıkanma yaşanıp yaşanmayacağı sorusunun cevabı bulunmaya çalışılmıştır. Sıcaklık yine başlangıç olarak 210 °C'ye ayarlanarak 270 °C'ye kadar yükseltilmeye çalışılmıştır. Daha sonra nozul ucundan hem erimiş haldeki plastiğin hem de çelik telin zorlanmadan çıkıp çıkmayacağı izlenmiştir. Elde edilen izlenimler böyle bir problemin yok denecek seviyede olacağını göstermiştir. Aynı zamanda sıcaklık değeri 270 °C'ye kadar yükseltilebilmiştir. Ardından bu mekanizma üzerinde değişiklik yapılarak ve çeşitli tasarımlar denenerak uygun bir sistem ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla ilk olarak Şekil 4'te ki gibi ekstruder mekanizmasına monte edilmiş olan motor sökülerek mekanizmadan bağımsız olması sağlanmıştır. Aradaki bağlantı 1.75 mm iç çapa sahip 50 cm uzunluğunda ki teflon boru ile sağlanmıştır. Daha sonra geriye kalan mekanik kısımda ki tüm yay ve bağlantı elamanları çıkarılarak Şekil 2.4'teki gibi tasarlanmış olan ön tasarım referans alınarak uygun forma dönüştürülmüştür.

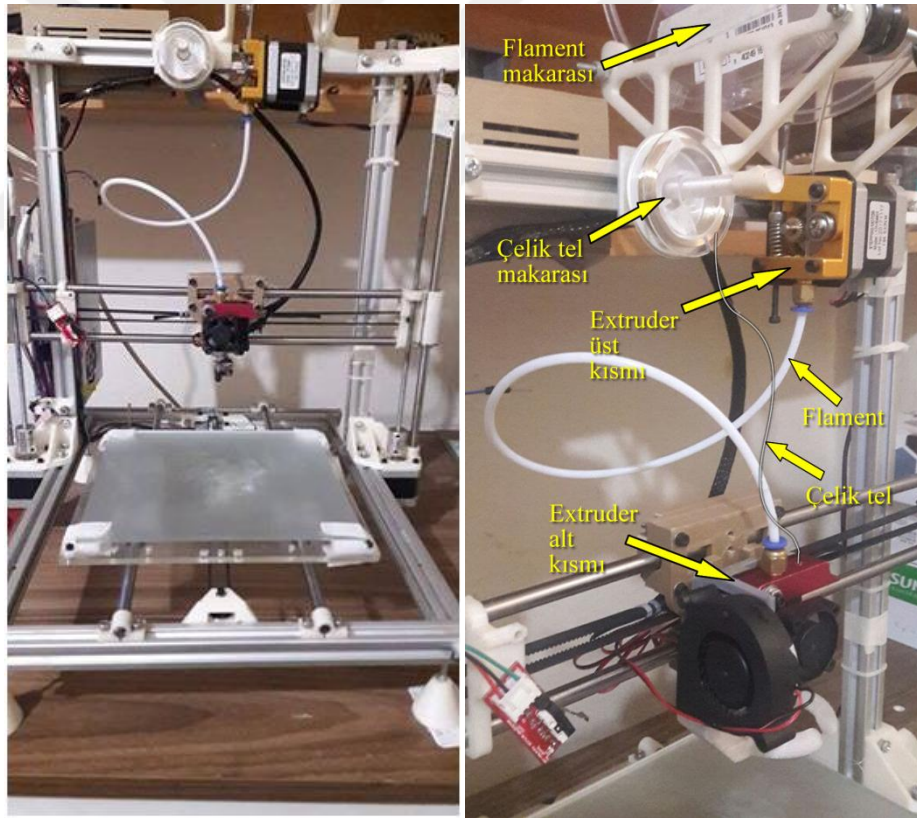


Şekil 2.4. Çalışma kapsamında geliştirilen ekstruder mekanizmasının ön tasarımı.

Bu tasarım için gerekli donanımın bir kısmı ve bu tasarımı x eksenine monte edebilmek için uygun parçalar AutoCAD 2015 programı kullanılarak tasarlanıp yeni yazıcı ile üretilmiştir. Motorun ekstruder mekanizmasından ayrılması, nozul

değişikliği yapma konusunda büyük kolaylık sağlamıştır. Ayrıca motorun aşırı ısınma problemi de bu sayede ortadan kaldırılmıştır.

Şekil 2.4'te ki gibi bir sistemin tasarlanması filament ve çelik telin iletimi esnasında bu iki malzemenin birbirine dolanmasını engellemiştir. Şayet hem filament hem de çelik tel teflon boru içerisinden geçirilip nozul ucuna iletmeye çalışılırsa yaşanacak olan dolanmadan dolayı teflon boru da tıkanma meydana gelecektir. Böyle bir problem ise sürekli olarak çelik tel sürülebilmesine engel olarak çelik telde sık sık kopmalara sebep olacaktır. Bu tür kopmalar ile karşılaşmamak için Şekil 2.4'te gösterildiği gibi çelik telin ve filamentin birleştiği nokta ile nozul ucu arası mesafe çok kısa tutularak 40 mm'nin altında olması sağlanmıştır. Arada ki bağlantı 6 mm vida çapına sahip 26 mm uzunluğunda bir çelik barel ile sağlanmıştır (Şekil 2.5).

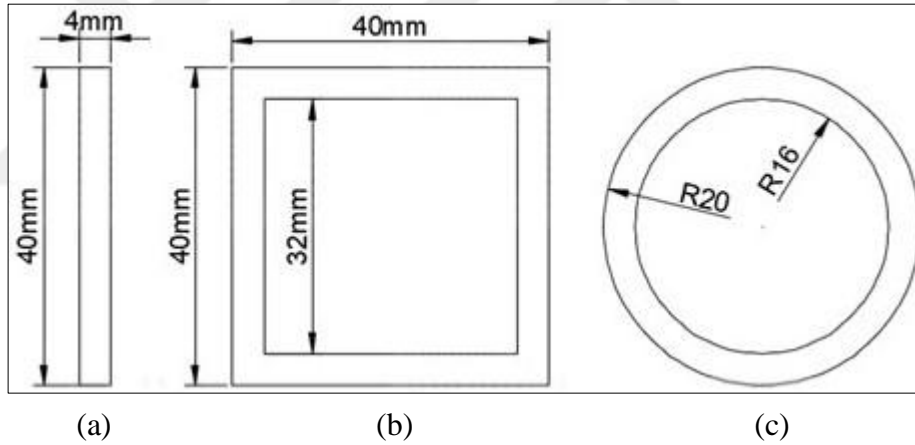


Şekil 2.5. Tasarlanan ekstruder mekanizması ve yazıcının son halinin görünümü.

## BÖLÜM 3

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yazıcının tasarım ve montajı bittikten sonra ilk olarak çelik tel ile baskı işlemi için uygun faz yapısı ve nozul çapının belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu iki önemli parametre dışında uygun işlem sıcaklığı, fan hızı, tabla sıcaklığı gibi diğer parametreler de tespit edilmiştir. Uygun nozul çapı ve faz yapısını belirleyebilmek ve veriler arası karmaşıklığı önlemek için öncelikle çubuk, dairesel ve çerçeve olarak isimlendirilen, 2 mm kalınlığa sahip 3 farklı test örneği tasarlanmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Tasarlanan test örnekleri. a) Çubuk, b) çerçeve ve c) dairesel.

Daha sonra her bir test örneği Çizelge 3.1’de belirtilen sıra numarasına göre çelik tel ile basılmaya çalışılmıştır. Bu noktadaki yapılan işlem basitçe şöyledir: Birinci sırada 0,4 mm nozul ve PLA bulunmaktadır. Bu da yazıcıya 0,4 mm nozul takılarak, PLA ve çelik tel ile 3 farklı test örneğinin 0,4 mm nozul ile basılması gerektiğini göstermektedir. Herhangi bir filament ile testler gerçekleştirilirken, o anda kullanılan nozul ile istenilen sonuç elde edilmiş ise; kullanılan filament türü ile bir sonraki nozul testinin yapılmaması tercih edilmiştir. Örneğin PLA ile yapılan bir testte 0,8 mm çapında nozul ile en iyi sonuç alınmış ise 1 mm çapındaki nozul ile tekrardan test yapılmamıştır. Çünkü nozul çapı büyüdükçe birçok sorun da beraberinde gelmektedir.



Baskı işlemi esnasında plastiğin nozuldaki sızma olasılığının artması bu sorunların başında gelmektedir. Bir başka sorun ise büyük çapta bir nozul kullanımının baskı kalitesini olumsuz yönde etkilemesidir.

Çizelge 3.1. Uygun nozul ve filament türünü belirlemek için planlanan işlem adımları.

Sıra numarası	Nozul çapı (mm)	Filament türü
1	0,4	ABS
2	0,4	PLA
3	0,4	Naylon
4	0,8	ABS
5	0,8	PLA
6	0,8	Naylon
7	1	ABS
8	1	PLA
9	1	Naylon

Çizelge 3.1’de de belirtildiği gibi çalışmada 3 farklı çapta nozul kullanılmıştır. Bu şekilde belirlenmesindeki temel amaç, kompozit baskı işlemi esnasında çelik telin nozul içerisinde rahat bir şekilde ilerleyebilmesini sağlayacak ve telde meydana gelecek olası kopmaları ortadan kaldıracak nozulu belirlemektir. Başka bir amaç ise baskı işlemini gerçekleştirecek olan en küçük çapta nozulu belirlemektir. Nozul çapı büyüdükçe basılan katmanlar belirginleşmekte ve parça yüzeyi kavisli olarak görünmektedir. Test örnekleri tasarlanıp ve izlenecek yol belirlendikten sonra, baskı işlemi için en önemli kısımlardan biri olan dilimleme parametreleri belirlenmiştir (Çizelge 3.2). Her bir test örneği Ultimaker Cura 3.2.1 dilimleme programı kullanılarak dilimlenmiştir. Bu parametrelerden özellikle uygun işlem hızını belirleyebilmek için basit düzeyde birkaç deneme yapılmıştır. Örneğin; düz bir çizgi çizdirmek gibi.

Çizelge 3.2. Test örnekleri için belirlenen dilimleme parametreleri.

Parametre	PLA	ABS	Naylon
Katman yüksekliği (mm)	0.1	0.1	0.1
Duvar kalınlığı (mm)	0.8	0.8	0.8
Üst/Alt kalınlık (mm)	0.8	0.8	0.8
Dolgu yoğunluğu (%)	40	40	40
Yazdırma sıcaklığı (°C)	220-245	235-260	250-270
Tabla sıcaklığı (°C)	65	75	20-25
Yazdırma hızı (mm/s)	12	12	12
İlk katman yazdırma hızı (mm/s)	12	9	9
Dolgu deseni	Izgara	Izgara	Izgara

Her bir filament için belirtilen sıcaklık aralığı test edilirken, sıcaklık ilk olarak minimum seviyeye ayarlanarak test işlemi başlatılmıştır. Örneğin; PLA için minimum seviye 220 °C'dir. Yazıcıya komut gönderilerek ekstruder motorunun 50 mm filament iletmesi sağlanmıştır ve nozul ucundan çıkan filamentin akışı izlenmiştir. Daha sonra sıcaklık maksimum seviyeye ulaşana kadar 5 °C'lik aralıklarla artırılarak, her bir sıcaklık değerinde 50 mm filament iletimi sağlanmıştır. Elde edilen izlenimler sonucu her bir filamentte ait bir maksimum sıcaklık değeri belirlenmiştir. PLA için bu değer 245 °C'dir. Çelik tel kullanılarak ya da kullanılmadan yapılacak bir baskıda belirtilen maksimum seviyenin üzerine çıkılmaması önemli bir husustur. Bu sınır aşıldığında filament oldukça sıvı bir kıvama geleceğinden baskı esnasında parça yüzeyinde istenmeyen plastik birikimine neden olacaktır.

Herhangi bir parçanın baskı işlemi ister çelik tel kullanılmadan ister çelik tel kullanılarak başlatıldığında karşılaşılabilecek muhtemel ilk sorun, basılacak olan parçanın ilk katmanının tabla yüzeyine yapışıp yapışmayacağı konusudur. PLA ile yapılan baskılarda, nozul ucu ile tabla arası mesafenin iyi ayarlanmaması dışında, böyle bir problem ile karşılaşılmemiştir. Ancak ABS ve naylon filament ile yapılan hem çelik lifli hem de çelik lif kullanılmayan baskılarda bu sorun ile sık sık karşılaşılmiştir. Bu sorunu mümkün olduğu kadar minimum seviyeye çekebilmek için bu iki filament türü

için ilk katman hızı 9 mm/s olarak belirlenmiştir. Ayrıca baskı işlemi esnasında herhangi bir problem ile karşılaşıldığında baskıyı durdurabilmek veya baskı işlemini anında sonlandırabilmek ve aynı zamanda durdurulmuş bir baskıyı devam ettirebilmek için, Repetier-Host V2.0.5 3 boyutlu yazıcı kontrol programı kullanılarak tüm baskılar bilgisayar kontrollü yapılmıştır. Kullanılan bu arayüz programı sayesinde aynı zamanda nozul sıcaklığı, fan hızı, iletilen filament miktarı, tabla sıcaklığı gibi birkaç parametreye anında müdahale edilebilmektedir. Bu gibi avantajlarından dolayı yaygın olarak kullanılan hafıza kartından yazdırma yöntemi yerine bu yol seçilmiştir.

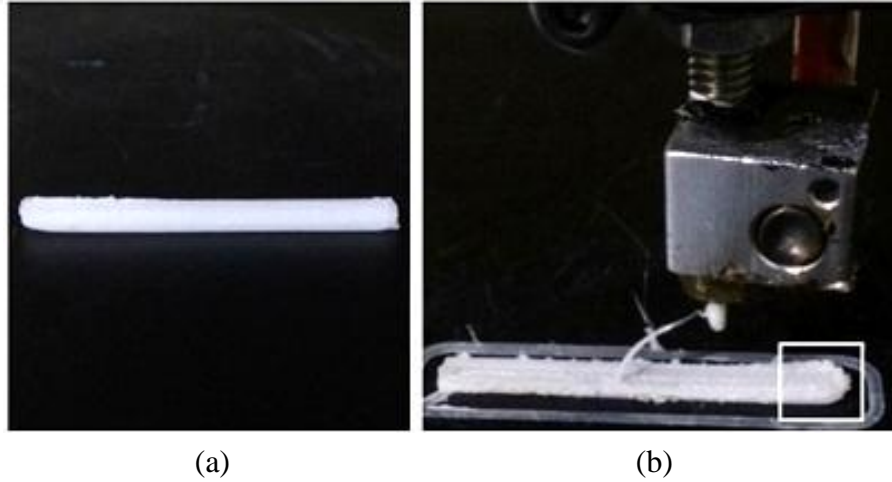
### **3.1. 0,8 MM NOZUL VE ABS İLE YAPILAN TESTLER**

Çalışmanın bu aşamasında yazıcıya 0,8 mm nozul takıldıktan sonra, her 3 test örneği ayrı ayrı çelik tel ile basılmaya çalışılmıştır. Bu aşamada kullanılmış olan filament türü ABS olup, baskı işlemi esnasında karşılaşılan problemler ilgili başlıklar altında belirtilmiştir. Karşılaşılan her bir problem bir sonraki işlem adımında ortadan kaldırılmaya çalışılarak, baskı işlemi için en uygun parametreler tespit edilmiştir.

Normalde test adımları nozul çapına göre sıralanarak ilk testlerin 0,4 mm nozul ile yapılması planlanmıştı (Çizelge 3.1). Fakat 0,4 mm nozul ile ABS, PLA ve Naylon filamentleri kullanılarak yapılan tüm testler başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Bir başka deyişle hiçbirinde çelik tel sürülebilmesi mümkün olmamıştır. Bu noktada en büyük sorun baskı işlemi başladıktan kısa bir süre sonra nozul ucunun tıkanması şeklinde olmuştur. Tıkanmadaki başlıca sebep 0,4 mm nozul içerisinde çelik telin rahat bir şekilde ilerleyememesi ve aynı zamanda çelik telin zorlanmalara maruz kalmasıdır. Zorlanmalar telin kopmasına neden olarak ekstruder motoru tarafından sürekli olarak iletilen tel ve filamentin nozul içerisinde birikmesine ve ardından ekstruder motorunun zorlanma neticesinde aşırı ısınmasına neden olmuştur. Yazıcıya zarar gelmemesi açısından karşılaşılan bu sorunlarda baskı işlemi iptal edilmiştir.

### 3.1.1. Çubuk Test Örneği

Nozul ucu ile tabla arasındaki mesafenin doğru bir şekilde ayarlandığından emin olmak için, öncelikle çubuk test örneği çelik tel kullanılmadan basılmıştır (Şekil 3.2 a). Daha sonra çelik tel nozul içerisinden geçirilip baskı işlemi yeniden başlatılmıştır. Baskı işlemi başladıktan sonra, ilk 3 katmanın bitimine kadar çelik tel sürülebilmiştir. Dördüncü katmanın baskı işlemi esnasında çelik telde kopma meydana gelmiştir. Bu kopma aynı zamanda test örneğinin bir miktar tabla yüzeyinden kalkmasına sebep olmuştur. Baskı işlemi 12. katmana kadar sürdürülmüştür. 0,8 mm nozul kullanıldığından dolayı nozul ucundan filament çıkışı sağlanmıştır. 0,4 mm çaplı nozulda böyle bir durum da filament çıkışı mümkün olmayacaktı. İki nozul arasındaki uç noktadaki çap farkı 0,8 mm nozul ile telin kopmasından 12. katmana kadar geçen süre boyunca filament çıkışını mümkün kılmıştır. Fakat 0,4 mm nozulda karşılaşıldığı gibi 12. katman sonrası nozul ucu tamamen tıkanmıştır. Ardından baskı işlemi iptal edilmiştir (Şekil 3.2 b). Buradaki başarısızlığın en büyük sebebi çelik tel ve ABS'nin birbirleri ile iyi yapışma özelliği sergilememesi şeklinde belirlenmiştir.

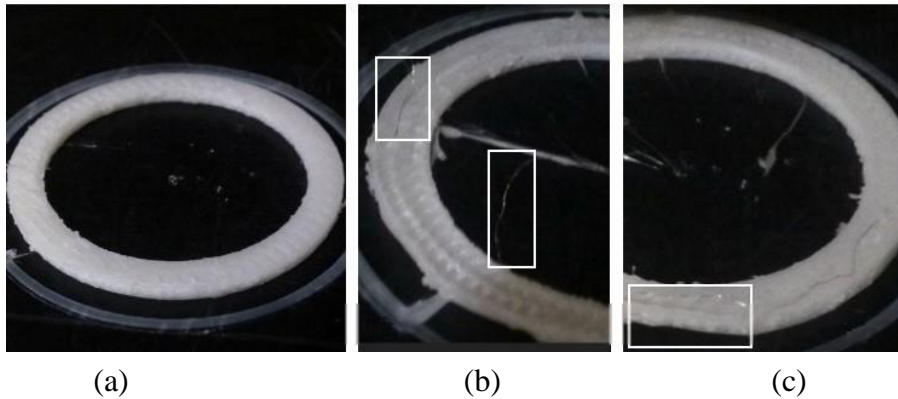


Şekil 3.2. Çubuk test örneğinin a) çelik tel kullanılmadan basılan örneği ve b) baskı işlemi esnasında test örneğinin bir ucunda meydana gelen kalkma.

### 3.1.2. Silindir Test Örneği

Yine bir önceki adımda olduğu gibi burada da öncelikle silindir şeklindeki tasarım örneği çelik tel kullanılmadan basılmıştır (Şekil 3.3 a). Her bir adımda nozul sökölüp temizlendiğinden dolayı çok küçük miktarlarda (0,05-0,1 mm aralığında) nozul ucu ile tabla arası mesafe değerinde hatalar olabilmektedir. Böyle bir durum ve ABS'nin diğerlerine oranla daha hassas olması ilk katmanın tablaya yapışmasını daha da zorlaştırmaktadır.

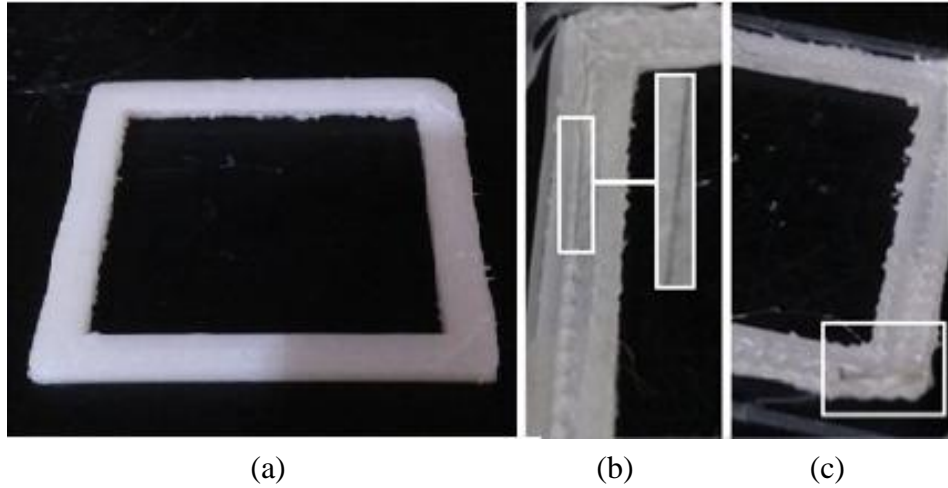
Bu işlem adımında bir önceki işlem adımında basılan çubuk test örneğinde olan keskin dönüşlerin olmamasından dolayı daha fazla miktarda çelik tel sürülebilmiştir. Fakat kopmalardan dolayı bir süreklilik elde edilememiştir. Bir önceki işlem adımında sıcaklık minimum seviye değerine ayarlanmıştı. Bu işlem adımında 10 °C artırılarak 245 °C'ye çıkarılmıştır. Yapılan bu işlem, tel kopmasından sonra nozul ucundan tekrardan tel çıkışını mümkün kılmıştır. Fakat çelik telin nozul içerisinde rahat hareket etme konusunu tam olarak çözüme ulaştıramamıştır. Hem bu sorun hem de yeterli yapışma olmaması sorunu meydana gelen zorlanmalarda telin kopmasına neden olmuştur (Şekil 3.3 b). Kopmanın yoğun olduğu bölgede ise test örneğinin tablaya temas eden yüzeyinde yine kalkmalar meydana gelmiştir (Şekil 3.3 c). Baskı işlemi sonuna kadar devam ettirilmiştir. Test örneğinin tabla yüzeyine yapışmaması dışında bir sorun ile karşılaşılmamıştır.



Şekil 3.3. Silindir test örneğinin a) çelik tel kullanılmadan basılan örneği, b) tel kopması sonucu yüzeyde kalan tel parçaları ve c) test örneğinin bir kenarında meydana gelen kalkma.

### 3.1.3. Çerçeve Test Örneği

Çerçeve test örneği öncelikle çelik tel kullanılmadan basılmıştır (Şekil 3.4 a). Bu test örneği 4 keskin köşeye sahip olduğundan, çelik tel ile basılacağı zaman çubuk ve dairesel test örneklerine nispeten daha az miktarda tel sürülebileceği beklenmekteydi. Fakat beklenenin aksine bu örnekte, bir duvar hattı boyunca, daha fazla miktarda tel baskıya sürülebilmektedir. Test örneğinin bir kenarına ait duvar hattı boyunca (40 mm) tel sürülebilirken; bu duvar hattından diğer kenara ait duvar hattına dönüşte genel olarak telde kopmalar olmuştur (Şekil 3.4 b). Bu kopma noktalarında ki en büyük sorun yine yeterli yapışmanın sağlanamaması olmuştur. Yeterli yapışma sağlanabilseydi herhangi bir katmandaki tüm duvar ve dolgu hatları boyunca tel sürümü mümkün olabilirdi. Bu işlem adımında sıcaklık maksimum seviye olan 260 °C'ye yükseltilmesine rağmen çelik telin nozul içerisinde rahat hareket edebilmesi sorunu tam olarak çözülememiştir. Normalde böyle bir durumun tel sürülebilirliğine büyük oranda katkısının olması beklenirken, tam tersi bir durum söz konusu olmuştur. Keskin köşelerden dönüşlerde sık sık kopmalar meydana geldiğinden, bir müddet sonra köşelerin tablaya temas eden yüzeylerinde kalkmalar meydana gelmeye başlamıştır (Şekil 3.4 c). Baskı işlemi 13. katmana kadar sürdürülmüştür. 14. katmana geçişte parça tabla yüzeyinden tamamen kalkmıştır.

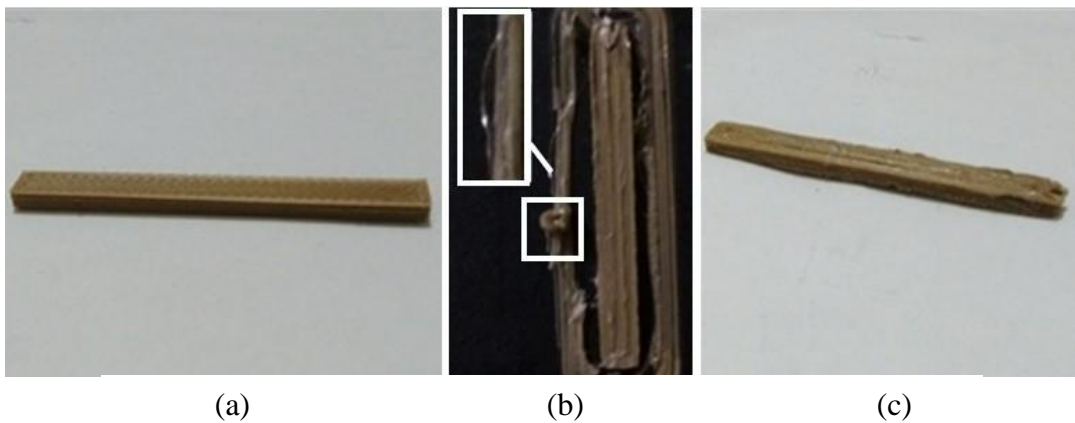


Şekil 3.4. Çerçeve test örneğinin a) çelik tel kullanılmadan baskısı, b) bir duvar hattı boyunca sürülmüş çelik telin görünümü ve c) bir köşede kopmalar sonucu meydana gelen kalkma.

## 3.2. 0,8 MM NOZUL VE PLA İLE YAPILAN TESTLER

### 3.2.1. Çubuk Test Örneği

Testin bu aşamasında da yine çelik tel kullanılmadan çubuk test modelinin bir örneği PLA kullanılarak basılmıştır (Şekil 3.5 a). Daha sonra çelik tel nozul içerisinden geçirilerek baskı işlemi başlatılmıştır. Baskı işlemi başlayıp, nozul ucu ilk konumuna gelip tablaya temas ettiği anda çelik tel PLA ile tablaya yapışmıştır. Bu şekilde bir durum tel sürülebileceğin bir göstergesidir (Şekil 3.5 b). Bir önceki işlem adımında yapılmış olan ABS- 0,08 mm nozul testi ile karşılaştırıldığında, çelik telin ABS'ye kıyasla PLA ile daha iyi yapışma özelliği sergilediği tespit edilmiştir. Ayrıca çelik telin nozul içerisinde rahat hareket edememesi ve tel kopmasına sebep olması durumuna bu işlem adımında ABS ile yapılan teste oranla daha az rastlanılmıştır. Buda çelik telin nozul içerisinde rahat hareket edememesi sonucu kopmaya maruz kalmasının dışında, yeterli yapışma elde edilemediği takdirde de kopmalar yaşanacağını ortaya koymaktadır. Ayrıca ABS ile sık karşılaşılan kopmalarda ABS'nin PLA'ya kıyasla daha katı bir yapıya sahip olmasının da etkisi vardır. Yedinci katmanın bitiminde çelik telde kopma meydana gelmiştir. Fakat PLA ile anında yapışma özelliği göstermediğinden son 4 katman harici arada kalan 9 katman da tel sürülemediği (Şekil 3.5 c).



Şekil 3.5. Çubuk test örneğinin a) çelik tel kullanılmadan basılan örneği, b) nozul ucunun tablaya temas ettiği ve çelik tel iletiminin ilk başladığı nokta ve c) çelik tel ile basılan test örneği.

Bu test örneğinin basımında gözlemlenen bir başka sorun ise çelik tel ve PLA'nın nozul ucundan çıkıp, bir duvar hattı boyunca sürüldüğünde hemen donmamasıdır. Bu durum bir duvar hattından diğer hatta dönüşte (özellikle keskin köşelerde) telin bir önceki katman yüzeyine yapışmamasına sebep olmaktadır. Bunun sonucunda da katmanlar arasında yaklaşık 0,02 mm kadar boşluklar oluşmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için bir sonraki işlem adımında ekstruder mekanizmasına ek bir soğutucu fan eklenerek testler gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.2. Silindir Test Örneği

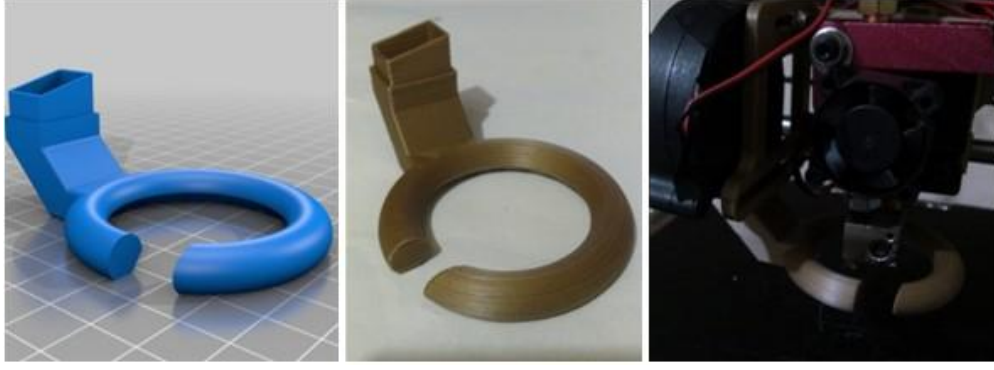
Bu işlem adımına geçmeden önce çelik tel ve PLA'nın nozul ucundan çıktıktan hemen sonra donması ve parça yüzeyinde (katmanlar arası) kalkma olmaması için Thingiverse'den hazır olarak stl formatında indirilen tasarım basılıp, yazıcının ekstruder mekanizmasına montajlanmıştır (Şekil 3.6). Bu tasarımın seçilmesinin başlıca sebebi ise dairesel kesitli olması ve baskı esnasında fandan aldığı hava akımını basılacak parçanın her yerine eşit miktarda iletmesidir. Çubuk test örneğinde sıcaklık minimum seviye değerindeyken test gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık değeri yine 10 °C artırılarak bu işlem adımında 230 °C'ye ayarlanmıştır.

Silindir test örneği ekstruder mekanizmasına montajlanan fan ile ilk olarak çelik tel kullanılmadan basılmıştır. Baskının ilk katmanından itibaren fan aktif edildiğinde ilk katmanın tabla yüzeyine yapışmadığı gözlemlenmiştir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için silindir şeklindeki ve ileride basılacak olan tüm test örneklerinin dilimleme esnasında oluşturulan “gcode” dosyalarında değişiklik yapılarak ilk katmanda fanın kapatılması sağlanmıştır. Eklenen kodlar ise şu şekildedir:

M107; Fanı kapat (ilk katmanın başlangıcına eklenmiştir.)

M106; Fanı aç (ilk katmanın bitişine eklenmiştir.)

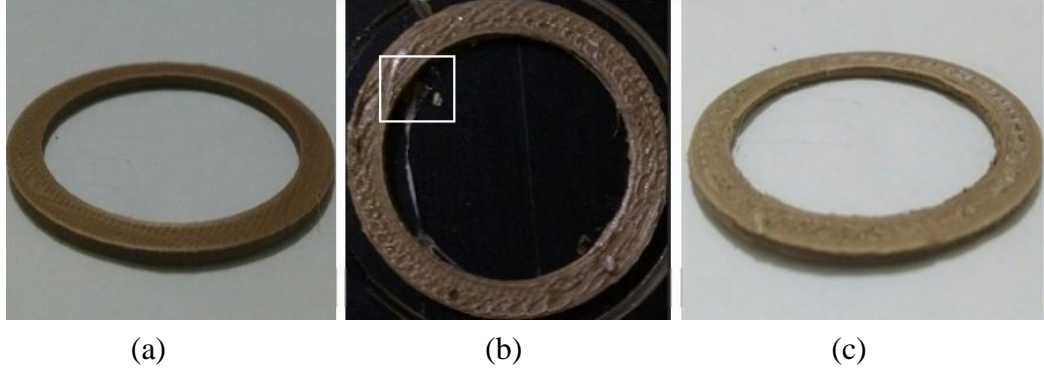




Şekil 3.6. Daha iyi donmayı sağlamak amacıyla basılan parça ve ekstruder mekanizmasına montajı.

Gerekli olan kodlar da eklendikten sonra çelik telsiz basılacak olan numune tekrardan basılmıştır ve numunenin tabla yüzeyine temas eden kısımlarında herhangi bir kalkma olmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.7 a). Ardından çelik tel ile baskı süreci başlatılmıştır.

Bir önceki ABS testi ile karşılaştırıldığında eklenen fanın tel sürülebilirliği açısından büyük katkısı olmuştur. Fakat basılan parça dairesel kesitli olduğundan ve parçada herhangi bir düz duvar hattı olmadığından donma tam olarak gerçekleşmemiştir. Bunun bir başka nedeni ise sürekli dönüşlerin olmasıdır. Sürekli dönüşlerden dolayı nozul ucu bir noktadan diğer bir noktaya ilerlerken telde ara ara kopmalar meydana gelmiştir. Bu kopmalarda ki diğer iki unsur yine yapışma sorunu ve çelik telin nozulda rahat hareket edememesi olmuştur. Sıcaklığın 245 °C'ye çıkarılmasının rahat hareket edebilmesi açısından katkısı olmuştur fakat tam istenilen başarı elde edilememiştir. Bu noktada çözüm olarak, yeterli yapışma için farklı bir türde filament kullanılarak; donma olayını tam olarak gerçekleştirebilmek için ise daha güçlü bir fan kullanılması gerektiği düşünülmüştür. Basılan parça genel olarak ele alındığında, baskı başlatılıp nozul tablaya ilk temas ettiği anda tel tablaya yapışmıştır ve ilk 2 katmanda sorunsuz bir şekilde tel sürülmüştür (Şekil 3.7 b). Diğer katmanlarda da tel sürülebilmiştir fakat sık sık kopmalar ile karşılaşmıştır. Ayrıca parçanın tablaya temas eden yüzeyinde herhangi bir kalkma olmadığından baskı sonuna kadar sürdürülmüştür (Şekil 3.7 c). Parçanın tamamında yaklaşık olarak 23 m kadar tel sürülebilmiştir.



Şekil 3.7. Silindir tet örneğinin a) çelik tel kullanılmadan basılan örneği, b) çelik tel sürümünün başladığı nokta ve c) çelik tel ile basılan parça.

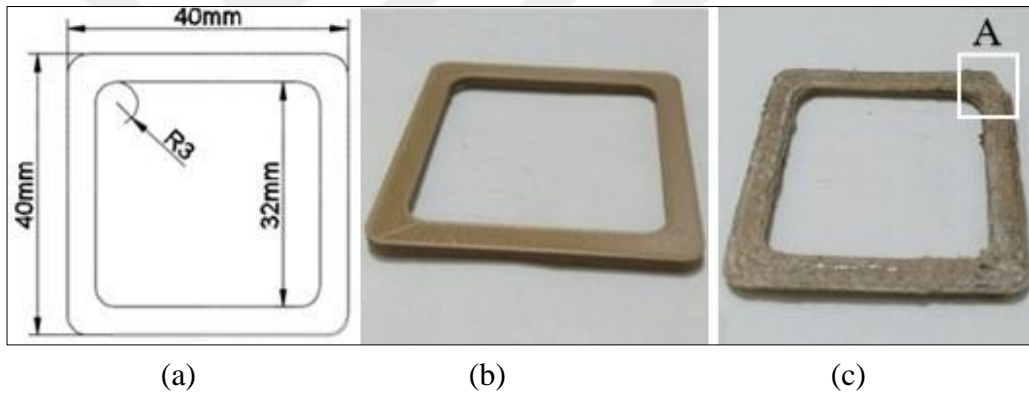
### 3.2.3. Çerçeve Test Örneği

ABS-0,8 mm çaplı nozul testi göz önüne alındığında çerçeve test örneğinde var olan 4 adet keskin köşe baskı kalitesi ve tel sürebilme açısından bir takım sorunlara yol açmıştı. Bu sorunları en aza indirgeyebilmek için bu adımda, çerçevede test örneğindeki 4 keskin köşeye Radius verilerek tasarım güncellenmiştir (Şekil 3.8 a). Elde edilen yeni tasarım yine aynı dilimleme parametreleri ile dilimlendikten sonra baskıya sürülmüştür (Şekil 3.8 b).

Baskı başlatıldıktan sonra keskin köşelere Radius verilmesinin ve özellikle eklenen soğutucu fanın tel sürülebilirliğine katkısı ABS ile yapılmış olan teste nazaran daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. ABS testinde sık gözlemlenen bir duvar hattından diğer duvar hattına dönüşte telin kopması, yüzeye iyi yapışmama, tabla yüzeyinde kalkmalar ve telin nozul içerisinde rahat hareket edememesi gibi problemlere bu test adımı daha az rastlanılmıştır. Bu noktada özellikle PLA'in ABS'e oranla daha iyi yapışma özelliği sergilemesi ve bu test örneğinde sıcaklığın maksimum seviye olan 245 °C'ye çıkarılmasının katkısı büyük olmuştur. İlk dokuz katmanda istenilen değere yakın bir miktarda tel kopması yaşanmadan tel sürülebilmektedir. Fakat donma tam olarak sağlanamadığından, özellikle dönüşlerde, ara ara kalkmalar meydana gelmiştir.

Sıcaklığın 245 °C'ye çıkarılmasının telin nozul içerisinde rahat etmesi, zorlanmaması açısından katkısı olmuştur. Ancak baskı işlemi çok düşük hızlarda gerçekleştirildiğinden ve sıcaklık maksimum seviyede olduğundan bu test adımı

nozolda sızmalar oluşmasına sebep olmuştur. Bu sızmalar sonucu, nozul etrafında biriken fazla filament bir müddet sonra basılan parçaya temas etmiştir. Temas sonucu parçada hem istenmeyen bir filament birikimi hem de telde kopma olmuştur (Şekil 3.8 c). Kopma oluştuktan sonra biriken filament miktarı daha da artmaya başlayıp ekstruder motorundan sesler gelmesine sebep olmuştur. 14. katmanın bitiminden hemen sonra baskı işlemi sonlandırılmıştır. Şekil 3.8 c’de gösterilmiş olan A noktası filament birikiminin en fazla olduğu ve telin kopmasına sebep olan noktadır. Bu noktada biriken fazla filament baskı sonlandırıldıktan sonra kesilerek atılmıştır. Her bir filament için yapılan sıcaklık testinde PLA için maksimum bir değer belirlenmişti. Bu değer kullanılarak daha yüksek hızlarda (örneğin 25 mm/s) baskı yapılabilir. Ancak hız değeri düştüğünde PLA için sıcaklık değerinin 230-238 °C aralığında olması ideal olacaktır.



Şekil 3.8. Çerçeve test örneğine ait a) keskin köşelerin yuvarlatılması sonucu elde edilen yeni tasarım, b) çelik tel kullanılmadan basılan test örneği ve c) çelik tel ile basılan test örneği ve kesilen A noktası.

### 3.3. 0,8 MM NOZUL VE NAYLON İLE YAPILAN TESTLER

Geliştirilen yazıcıda uygulanan iyileştirme aşamalarında sürekli olarak PLA ve ABS ile çalışılmıştır. Ancak naylon filament ile daha önceden çalışılmadığı için bu filament ile yapılacak baskılarda uygun parametreleri elde edebilmek için çeşitli testler gerçekleştirilmiştir. Testlerdeki başlıca amaç Naylon filamentin tablaya iyi yapışması ve baskı işlemi için ideal olacak tabla ve nozul sıcaklığını belirlemek şeklinde belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda tabla sıcaklığı 70-95 °C aralığında, nozul sıcaklığı ise 250-270 °C aralığında olacak şekilde testler yapılmıştır. Bu testler

sırasında çubuk test örneği yaklaşık 50 adet basılmıştır. Fakat belirtilen sıcaklık aralıklarında gerçekleştiren tüm baskılar başarısızlık ile sonuçlanmıştır. Başarısızlıkta ki en büyük sorunun tablaya yapışma olduğu belirlendikten sonra bu sorunu ortadan kaldıracak çözümler üzerinde araştırmalar yapılmıştır.

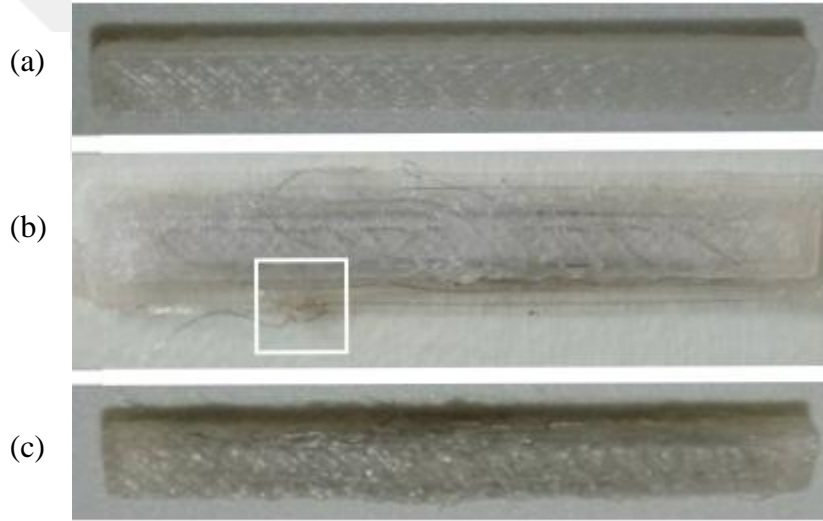
Yapılan araştırmalar sonucunda naylon filamentin tabla yüzeyine iyi yapışmasını sağlamak için tabla yüzeyine mutlaka bir ön işlemin uygulanması gerektiği kanaatine varılmıştır. Bu şekilde bir işlem gerçekleştirebilmek için sırasıyla; tutkal, katı kıvamda bir yapıştırıcı, mukavva, kapton bant, maskeleme bandı ve kanal bandı şeklinde farklı malzemeler temin edilmiştir. Yapılan denemeler sonucu en iyi sonuçlar maskeleme bandının tabla yüzeyine yapıştırılması ve bu bant üzerine baskı alınması sonucu elde edilmiştir. Böylelikle tabla yüzeyine yapışma problemi ve katmanlar arası kalkma problemlerinin önüne geçilmiştir. Ayrıca naylon filament ile baskı işlemi (çelik tel kullanılmadan) için en iyi nozul sıcaklığı 257 °C, tabla sıcaklığının ise 20-25 °C arasında olması öngörülmüştür. Gerekli olan işlemler uygulandıktan sonra elde edilmiş olan bir baskı örneği Şekil 3.9 a'da gösterilmiştir.

### **3.3.1. Çubuk Test Örneği**

Naylon filament ile baskı konusunda yukarıda belirtilen işlemler gerçekleştirildikten sonra çelik tel ile baskı yapma adımına geçilmiştir. Bu kapsamda öncelikle ekstruder mekanizması tamamen sökülüp, nozul içerisinde kalan ve ısıtıcı bloğa yapışmış olan plastik tamamen temizlenmiştir. Ardından montaj işlemleri gerçekleştirilip tabla kalibrasyonu (nozul ucu ile tabla arası mesafe) baştan yapılmıştır. Baskı işlemi başlayıp nozul ucunun tablaya temas ettiği ilk anda, baskı işleminin başladığı nokta, çelik tel naylon filament ile tablaya yapışmıştır (Şekil 3.9 b). Böyle bir durum daha öncede belirtildiği gibi tel sürülebilirliği açısından son derece önemlidir. Bu işlem adımında sıcaklık 260 °C'ye ayarlanarak ilk olarak bu değerde baskı denenmiştir. Ayrıca donmaya yardımcı olması için ekstruder mekanizmasına monte edilen fan PLA testlerinde %100 hızda çalıştırılmıştır. Fakat bu işlem adımında bu değer %20 olarak ayarlanmış olup ilk olarak bu değerde testler gerçekleştirilmiştir. Fan hızının bu şekilde düşürülmesinin temel nedeni naylon filament ile baskı esnasında basılacak

olan katmanların birbirine iyi yapışmasını engellemesi ve tabla yüzeyine yapışma olayını olumsuz yönde etkilemesidir.

Çelik tel ile iyi yapışmanın sağlanamaması sorununa bu işlem adımında neredeyse hiç rastlanılmamıştır. Buda ABS ve PLA filamentlerine kıyasla naylon filamentin çelik tel ile daha iyi yapışma sergilediğini ortaya koymuştur. Basılan test örneğinin bir duvar hattı boyunca ve bir hattan diğer hatta dönüşte çelik tel rahatlıkla sürülebilmştir (Şekil 3.9 c). Belirtilen katmanlarda tel sürülememesinin nedeninin çelik telin nozul içerisinde rahat hareket edememesi ve teli koparması ve yeterli donmanın sağlanamaması şeklinde olabileceği düşünülmüştür. Bu iki sorunu çözmek için bir sonraki işlem adımında sıcaklık 270 °C'ye, fan hızı ise %20 değerinden %30'a çıkartılmasına karar verilmiştir.

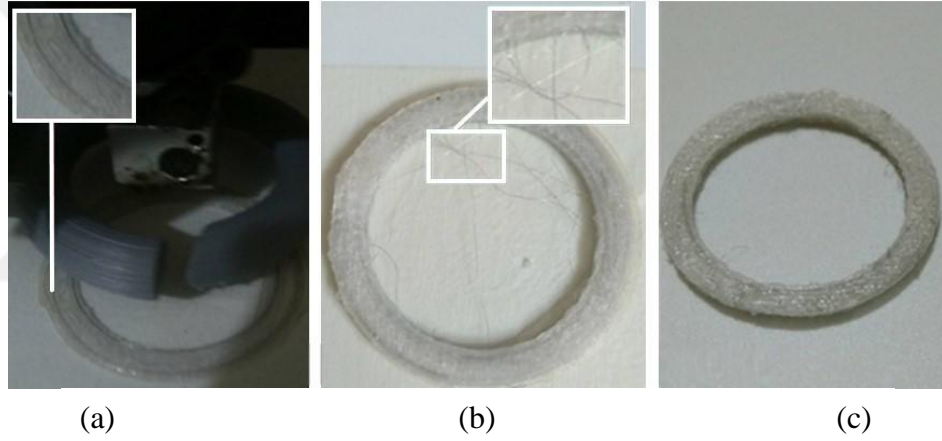


Şekil 3.9. Çubuk test örneğinin a) çelik telsiz basılan örneği, b) nozul ucunun tabla yüzeyine ilk temas ettiği nokta, c) çelik tel ile basılan test örneği.

### 3.3.2. Silindir Test Örneği

Çelik telin naylon filament ile ABS ve PLA'ye kıyasla daha iyi yapışma özeliği gösterdiği (Şekil 3.10 a) da verilen fotoğraftan da anlaşılacağı üzere, iyi yapışma sayesinde dairesel dönüşlerde çelik tel rahatlıkla ve düzgün bir şekilde sürülebilmştir. Önceden yapılmış olan 0,8 mm nozul-PLA testi göz önüne alındığında, silindir şeklindeki tasarımın basımında sürekli dönüşlerin olması çoğu katmanda tel

kopmasına ve tel sürülememesine neden olmuştu. Ayrıca bu sürekli dönüşlerden dolayı yeterli donmanın sağlamadığı da gözlemlenmişti. Bu sürekli dönüşler bu işlem adımında da boy göstererek dönüş esnasında bir noktadan diğer noktaya gidişte ara ara kalkmalar oluşmasına sebep olmuştur (Şekil 3.10 b). Fakat 11 numaralı katman haricinde hiçbir katmanda telde kopma meydana gelmemiştir. Sıcaklığın 270 °C'ye çıkarılması çelik telin nozul içerisinde rahat hareket edememesi problemini ortadan kaldırmıştır. Ayrıca fan hızının %30 oranında artırılmasının tel sürülebilirliğine katkısı büyük olmuştur. Yapılan baskı, tablaya temas eden yüzeyinin tabla yüzeyine yapışması açısından ele alındığında çok az bir miktarda temas yüzeyinde kalkma olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum baskının ilerleyişinde herhangi bir olumsuzluğa sebep olmadığından baskı işlemi sonuna kadar sürdürülmüştür (Şekil 3.10 c).



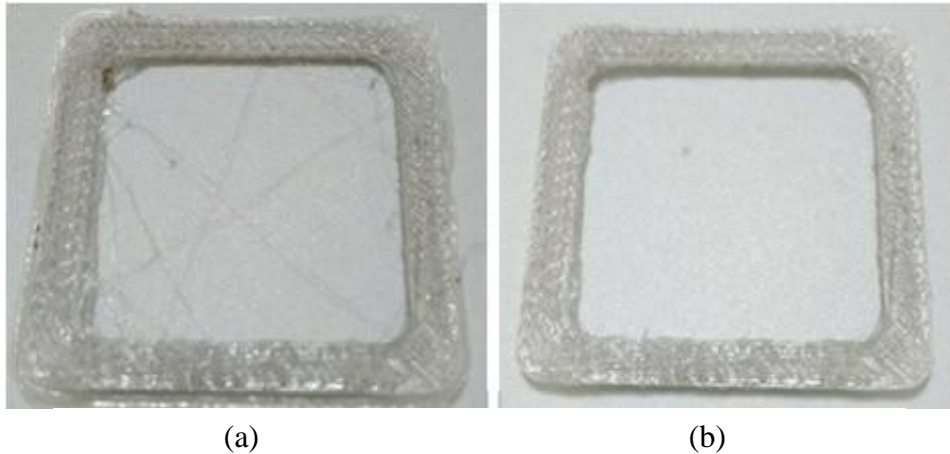
Şekil 3.10. Silindir test örneğinin a) baskı işlemi esnasında çekilmiş bir fotoğrafı, b) birkaç katmanında meydana gelen kalkmalar ve c) çelik tel ile basılmış olan örneği.

### 3.3.3. Çerçeve Test Örneği

Baskı iletimi başlatılıp, nozul ucunun tablaya temas ettiği ilk noktada çelik tel tablaya yapışmış olup, aynı zamanda baskının ilk katmanı tabla yüzeyine sorunsuz bir şekilde yapışmıştır. 0,8 mm nozul ve PLA ile gerçekleştirilen çerçeve testinde yüksek sıcaklık ve hız sonucu nozulda sızmalar meydana gelerek, test örneğinin yüzeyinde istenmeyen plastik birikimi söz konusuydu. Bu noktada sonradan fark edilen ve mutlaka müdahale edilmesi gereken bir diğer neden ise; baskı işlemi esnasında, iletilen filament miktarının fazla olduğu şeklindedir. Örneğin çubuk test örneğinin çelik tel kullanılmadan basılacağını varsayarsak; 0,1 mm katman kalınlığı ile dilimleme

yapıldığında toplam 20 katman oluşacaktır. Dilimleme programı her bir katman için iletilmesi gereken filament miktarını hesaplamaktadır. Bu hesaplanan değer in ekstruder tarafından doğru iletilmesi için yazıcının yazılımında ilgili yere bir katsayı girilmelidir. Bu katsayı değiştirilerek filamentin akış miktarı isteğe bağlı olarak azaltılabilmektedir. Hesaplanmış olan bu katsayı çelik tel kullanılmadan basılan herhangi bir model için normal düzeydedir. Fakat çelik tel ile baskı işlemi esnasında nozuldan hem çelik tel hem de filament çıkışı olacağından bu katsayının mutlaka düşürülmesi gerekmektedir. Belirtilen sorunun önüne geçebilmek için naylon filament le gerçekleştirilmiş testlerde filament akış oranı %100 değerinden %84'e çekilerek bu sorun ortadan kaldırılmıştır.

Bu test adımında basılan parçanın tüm katmanlarında tel sürülebilirliğine engel olacak herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır. Sıcaklık bu işlem adımında da 270 °C olarak ayarlanmış olup, çelik telin nozul içerisinde rahat hareket etmesini, fan hızının ise %30 olarak ayarlanması yeterli donmanın elde edilmesini sağlamıştır. Kullanılan naylon filament çelik tel ile çok iyi yapışma sergilediğinden yapışma problemi ile ilgili herhangi bir soruna da rastlanılmamıştır. Sadece baskı işlemi esnasında 5, 11 ve 16 numaralı katmanların bir duvar hattında kalkma meydana gelmiştir (Şekil 3.11 a).



Şekil 3.11. Çerçeve test örneğinin a) bir duvar hattından diğer duvar hattına yapılan ani dönüşler sonucu meydana gelen kalkmalar ve b) çelik tel ile basılmış olan test örneği.

Bu katmanlarda oluşan kalkma belirtilen problemlerden bağımsız olarak, bir duvar hattından diğer duvar hattına yapılan ani dönüşten kaynaklanmıştır. Böyle bir soruna

müdahale etmek mümkün olmadığından ve baskının ilerleyişine herhangi bir zararı olmadığından göz ardı edilebilir niteliktedir. Baskı işlemi sonuna kadar sürdürülerek, istenilen düzeyde tel sürümü bu baskıda mümkün olmuştur (Bkz. Şekil 3.11 b).

Yapılmış olan bu üç test ABS ve PLA filamentleri ile mukayese edildiğinde en iyi yapışmanın naylon filament ile gerçekleşeceğini ortaya koymuştur. Sıcaklık başlangıç olarak 260 °C'ye ayarlanmış olup, bazı katmanlarda çelik telin nozul içerisinde rahat hareket edememesi sonucu tel kopması ile karşılaşmıştır. 270 °C'ye ayarlanan sıcaklık değeriyle bu sorun ortadan kaldırılmıştır. Böylelikle naylon filament ile basılacak olan asıl numunelerde en önemli parametrelerden biri olan sıcaklık değeri tespit edilmiştir. Yeterli donmanın sağlanabilmesi için gerekli olan fan hızı ise dairesel kesitli bir model için maksimum hızın %45'i; dikdörtgen veya kare şeklindeki herhangi bir model için ise maksimum hızın %30'u olacak şekilde ayarlanması öngörülmüştür. Eğer basılacak model her iki kesiti de içeriyorsa ortalama bir değer olan %35 oranında fan hızı yeterli olacaktır. Çekme, eğilme gibi testlere tabi tutulacak olan numunelerin basımına geçmeden önce farklı çapta nozul ve farklı filamentler ile bu şekilde testlerin yapılmasının temel nedeni, çelik tel ile baskı işlemi için uygun olacak en küçük çapta nozulu ve en iyi yapışmayı sergileyen filamentini belirlemektir. 0,8 mm nozul ile ve belirtilmiş olan sıcaklık, fan hızı değerleri ile istenilen düzeyde sonuçlar alındığından naylon filament ile basılacak olan herhangi bir numunede 0,8 mm nozul kullanımına karar verilmiştir. Böylelikle en iyi filament türü ve uygun nozul çapı belirlenmiş olup, Çizelge 3.1'deki gibi planlanan 1 mm çapında ki nozul ile testlerin gerçekleştirilmesine gerek duyulamamıştır.

#### **3.4. NUMUNELERİN HAZIRLANIŞI**

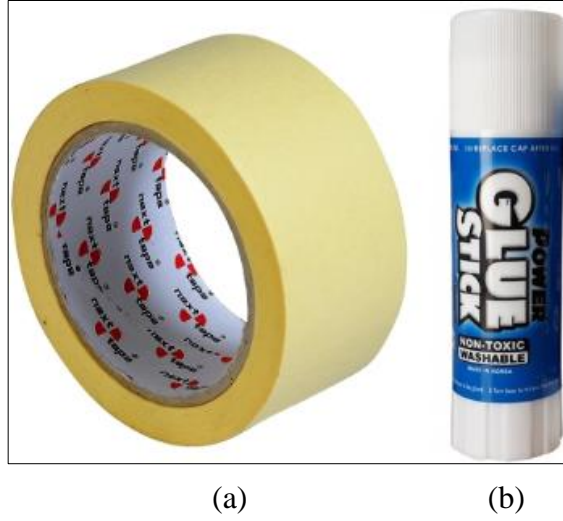
Çalışma planı doğrultusunda öncelikle, kompozit baskı için uygun bir yazıcı geliştirilmiştir ve numune basımına geçmeden önce uygun nozul çapı 0,8 mm; baskı işleminde kullanılacak olan filament türü ise naylon olarak belirlenmiştir. Naylon filament ile basılan 3 farklı test örneği tabla yüzeyine maskeleme bandı yapıştırılarak, bu bandın üzerine basılmıştır. Kullanılan maskeleme bandı bu noktada etkili olmuştur (Şekil 3.12 a). Fakat her bir test örneği 2 mm yüksekliğe sahip olduğundan, 2 mm'nin üzerinde bir yükseklik değerine sahip herhangi bir parça, maskeleme bandı



kullanılarak basılmamıştı. Bu noktada emin olabilmek için, Şekil 2.2'deki 20x20x20 mm boyutlarındaki küpün naylon filament ile basılmasına karar verilmiştir. Baskı işlemi başlatılıp basılan küpün yüksekliği 8mm'ye ulaşana kadar bir problem ile karşılaşılmamıştır. Fakat bu yükseklik değeri aşıldıkça basılan katmanlar arasında kalkmalar olduğu ve küpün tabla yüzeyinden kalktığı gözlemlenmiştir. Yani basılan parçanın tabla yüzeyine yapışmaması ve katmanlar arası iyi yapışmama sonucu meydana gelen kalkmalar için kesin çözümün maskeleme bandı olmadığı tespit edilmiştir. Bu sorunu tamamen çözmek ve çekme testine tabi tutulacak numunelerin basımında sorun yaşamamak için daha detaylı bir araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırmalar da 3 neden tespit edilmiştir:

1. Kullanılan tabla yüzeyi naylon ile uyumlu değildir.
2. Naylon rutubete maruz kalmıştır ve yüzey kalitesini bozarak katmanlar arası iyi yapışmayı engellemektedir.
3. Kullanılan soğutucu fan katmanlar arası yapışmayı olumsuz etkilemektedir.

1 numaralı sorunu çözebilmek için 19x19 cm boyutlarında cam temin edilerek tabla yüzeyine monte edilmiştir. İlk olarak camın yüzeyine herhangi bir işlem uygulamadan baskı alınmıştır. Bu deneme başarısız olunca katı bir kıvama sahip yapıştırıcı kullanıma karar verilmiştir (Şekil 3.12 b). Yapıştırıcı tabla yüzeyine sürüldükten hemen sonra baskı işlemi başlatıldığında elde edilen sonuçlar maskeleme bandına kıyasla daha iyi olmuştur. Ancak basılan küp modelinin son katmanlarına doğru belirtilen 2 problem ile tekrardan karşılaşmıştır. Böylelikle Sonuçlar maskeleme bandına oranla daha iyi olmuştur fakat sorun tam olarak ortadan kalkmamıştır. Buradan yapıştırıcının yanlış kullanıldığı sonucuna varılarak, uygulanan yöntem değiştirilmiştir. Yapıştırıcı önce cam yüzeye çok kalın olmayacak şekilde sürülmüştür. Ardından ekstruder mekanizmasına bağlı olan soğutucu fan tam güçte çalıştırılarak yapıştırıcı sürülen yüzeye üzerinde 5 dakika kadar bekletilerek yapıştırıcının iyice donması sağlanmıştır. Bu işlemler uygulandıktan sonra baskı işlemi tekrardan başlatılıp baskı sonuna kadar sürdürülmüştür ve tabla yüzeyinden kalkma ile ilgili bir problemin olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.12. Basılan örneklerin tabla yüzeyinden kalkmaması için kullanılan malzemelerden a) maskeleme bandı ve b) katı kıvamdaki yapıştırıcı.

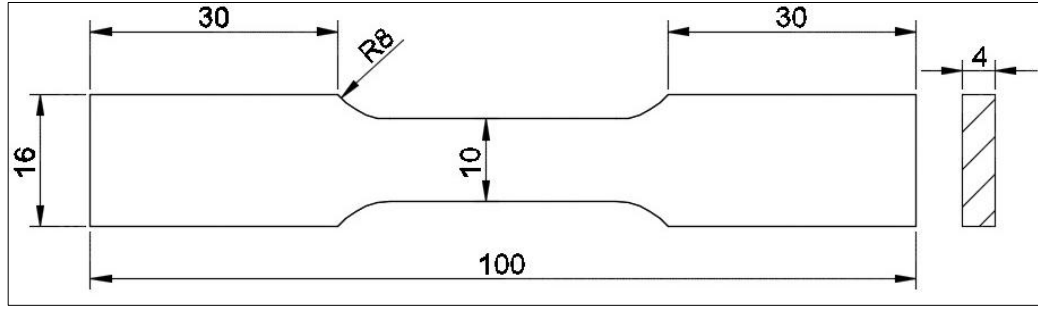
2 numaralı yani rutubet ile ilgili sorunu çözmek için, naylon filament bir fırın vasıtasıyla yaklaşık 2 saat kurutulmaya bırakılmıştır. Bu şekilde rutubet sorunu da ortadan kaldırılmıştır. Soğutucu fanın baskıyı olumsuz yönde etkileyip etkilemediğini tespit etmek için baskı işlemi esnasında fan hızı %10 değerinden başlatılarak %100'e kadar çıkartılıp baskı izlenmiştir. Öncelikle küp 0,1 mm katman kalınlığı ile dilimlenerek, toplam 200 katman oluşturulmuştur. Kullanılan bilgisayar kontrollü Program vasıtasıyla her 20 katmanda bir fan hızı %10 arttırılarak %100'e ulaşılmaya çalışılmıştır. Baskı bu şekilde başlatılıp, fan hızı %80'i aştığında katmanlar arasında kalkmalar meydana geldiği tespit edilmiştir ve baskı iptal edilmiştir. Son olarak fan hızı %70 olacak şekilde baskı tekrardan yapılmıştır ve herhangi bir problem ile karşılaşılmamıştır.

Çalışmanın bu kısmındaki temel amaç; geliştirilen yazıcı ile üretilen kompozit yapı içerisine sürekli bir şekilde takviye edilen çelik telin ve aynı zamanda kompozit yapı elde edilirken kullanılmış olan üretim deseninin mukavemete olan etkisini araştırmaktır. 3 boyutlu yazıcı ile basılacak herhangi bir parça temel olarak; alt-üst kalınlık, duvar kalınlığı, katman yüksekliği ve kullanılan üretim deseni (dolgu türü) olmak üzere 4 parametreden oluşmaktadır. Bu 4'lü üretilen herhangi bir parçanın mukavemeti üzerinde büyük rol oynamaktadır. Nozul sıcaklığı, tabla sıcaklığı, baskı hızı ve fan hızı gibi diğer parametreler ise kullanıcıya ve kullanılacak olan filament

türüne göre değişim göstermektedir ve mukavemete olan etkileri belirtilen 4'lüye kıyasla daha azdır. Belirtilen 4'lünün değerleri değiştirilerek, aynı boyutlarda fakat mukavemet değerleri farklı olan numuneler elde edilebilmektedir. Özellikle kullanılan üretim desenindeki değişiklik bu değerde yüksek farklara yol açabilmektedir. Bundan dolayı alt-üst kalınlık, katman kalınlığı ve duvar kalınlığı başta olmak üzere, gerekli olan birkaç parametre sabit tutularak; öncelikle aynı üretim desenine sahip sadece naylon, 316L kalite çelik tel ve 304 kalite çelik tel kullanılarak 3 farklı numune basılmıştır (Çizelge 3.3). Numuneler çekme testine tabi tutularak, mukavemeti en yüksek olan numune ve bu numunede kullanılmış olan lif türü belirlenmiştir. Daha sonra bu lif türü ile basılmış olan 3 farklı numunede kullanılmış olan üretim deseninin dışında, 3 farklı üretim desenine sahip 6 numune daha basılarak çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Böylelikle mukavemete katkısı en fazla olan üretim deseni de belirlenmiş olmuştur. Numunelere ait tasarım Şekil 3.13'te verilmiştir.

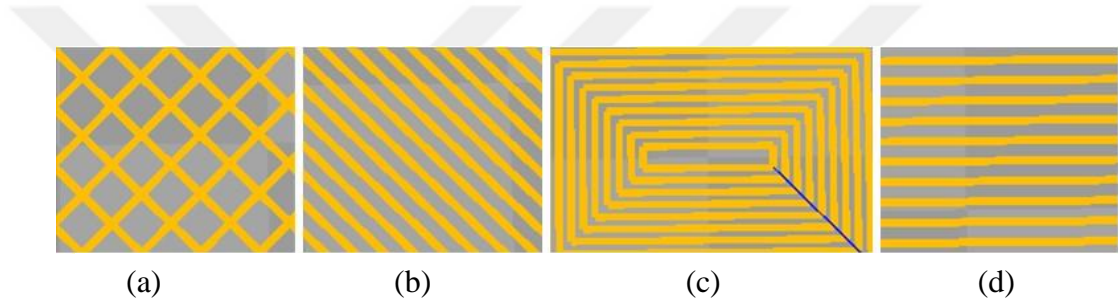
Çizelge 3.3. Numunelerin basımında kullanılan dilimleme parametreleri.

<b>Parametreler</b>	<b>Değerler</b>
Katman yüksekliği (mm)	0.1
Duvar kalınlığı (mm)	0.8
Alt-üst kalınlık (mm)	0.8
Dolgu yoğunluğu (%)	100
Baskı hızı (mm/s)	23
İlk katman baskı hızı (mm/s)	12
Fan hızı (mm/s)	50
Nozul sıcaklığı (°C)	270
Tabla sıcaklığı (°C)	20-25



Şekil 3.13. Numunelerin baskısında kullanılmak üzere tasarlanan model.

Numunelerde ızgara deseni, çapraz çizgi deseni, eş merkezli desen ve düz çizgi deseni olmak üzere 4 farklı üretim deseni kullanılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Kullanılan üretim desenleri. a) Izgara, b) çapraz çizgi, c) eş merkezli ve d) düz çizgi.

Aynı üretim desenine sahip ilk 3 numune düz çizgi isimli üretim deseni ile basılmıştır. Çubuk, dairesel ve çerçeve test örneklerinin basımında baskı hızı 12 mm/s olarak belirlenmişti. Numuneler bu 3 test örneğine oranla daha büyük olduğundan baskı hızı artırılmıştır. Uygun değer ise tasarlanan numunenin sadece ilk katmanının çelik tel kullanılarak basılması sonucu elde edilmiştir. Baskı işlemi 12 mm/s hızla başlatılıp, 1 mm/s'lik aralıklarla bu değer baskı esnasında yükseltilmiştir. Böylelikle uygun değer 18 mm/s olarak belirlenmiştir.

Çekme testine tabi tutulan ilk 3 set numune ilk grup olacak şekilde, diğer 3 farklı üretim desenine sahip numuneler ise kendi içerisinde ikişerli gruplara ayrılmıştır. Her bir grubun baskı süreci ve elde edilen mukavemet değerleri kendi aralarında değerlendirilmiştir. Genel bir karşılaştırma ise sonuçlar kısmında yapılmıştır. Mukavemeti üst seviyelere çeken tel türü ve üretim deseni belirlendikten sonra, günlük

hayatta direkt karşılığı bulunan bir kanca modeli tasarlanıp üretilerek, kullanım performansı incelenmiştir.

### 3.5. ÇEKME TESTİ SONUÇLARI

İlk etapta basılan numuneler düz çizgi isimli üretim deseni ile basılmıştır. 2 farklı Çelik tel kullanılarak ve çelik tel kullanılmadan Çizelge 3.3'deki parametreler ile 3 set numune hazırlanmıştır (Şekil 3.15). Yapılmış olan çekme testlerinin tamamı Karabük Üniversitesi MARGEM LAB'da TS EN ISO 6892-1 Çekme Testi Standartlarıncı oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

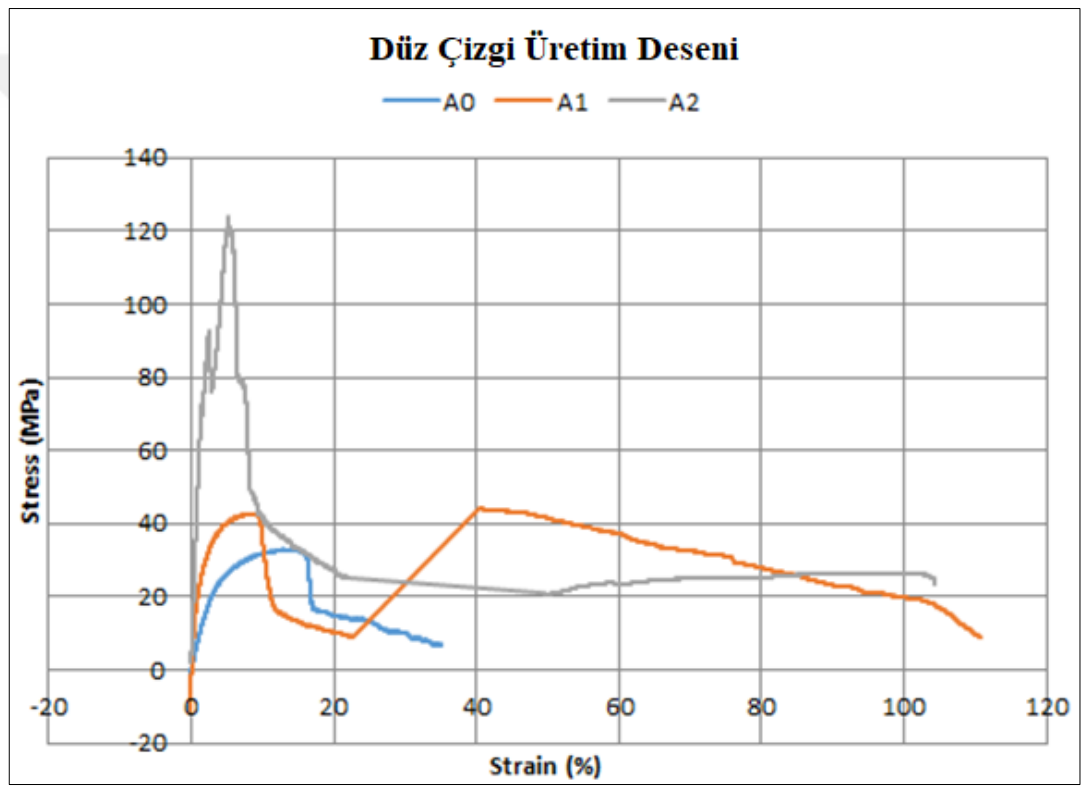
Numunelere ait çekme testi sonuçları Çizelge 3.4'te verilmiştir. A0 naylon kullanılarak üretilen numuneyi; A1 304 kalite çelik tel kullanılarak ve A2 316L kalite çelik tel kullanılarak üretilen kompozit numuneleri temsil etmektedir. Ayrıca üretilen numunelerin gerilme-gerinim eğrileri Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.15. Düz çizgi üretim deseni ile hazırlanan numuneler. a) sadece naylon, b) 304 kalite çelik tel, c) 316L kalite çelik tel kullanılarak basılmıştır.

Çizelge 3.4. Düz çizgi üretim deseni ile elde edilen çekme testi sonuçları (A0 naylon; A1 naylon +304 kalite paslanmaz çelik tel; A2 naylon + 316L kalite çelik tel).

Numune	Akma gerilmesi (MPa)	Çekme gerilmesi (MPa)	Maksimum Çekme kuvveti (kN)
A0	7.765	33.0	1.384
A1	13.668	42.7	1.811
A2	61.714	123.9	5.306



Şekil 3.16. Düz çizgi üretim deseni ile üretilen numunelerin gerilme-gerinim eğrileri (A0 sadece naylon; A1 304 kalite; A2 316L kalite çelik tel ile üretilmiştir).

Çekme testi sonuçları karşılaştırmalı olarak incelendiğinde, numuneye sürekli olarak 304 kalite çelik tel takviyesinin, çekme mukavemetini %29,39 oranında; akma mukavemetini ise %76,02 oranında arttırmıştır. Aynı durum 316L kalite çelik tel ile karşılaştırıldığında bu telin, çekme mukavemetini %275,45; akma mukavemetini ise %694,77 oranında arttırdığı görülmektedir. Böylelikle çekme mukavemetini daha üst seviyelere çeken çelik tel türü 316L kalite çelik tel olarak belirlenmiş olup; üretim

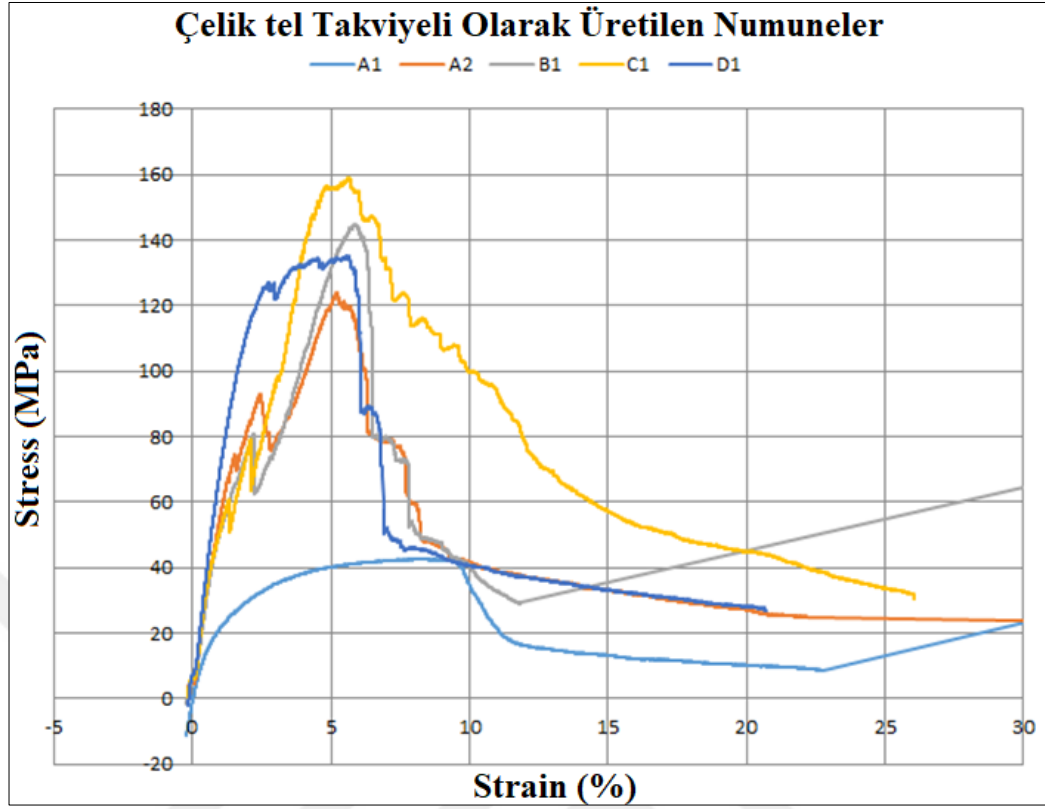
desenini belirleyebilmek için bu tel ile farklı üretim desenine sahip 6 set numune daha hazırlanmıştır. Daha sonra çekme testleri sonuçları karşılaştırılmıştır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Çapraz çizgi, eş merkezli ve ızgara üretim deseni ile elde edilen çekme testi sonuçları.

Numune	Akma gerilmesi (MPa)	Çekme gerilmesi (MPa)	Maksimum çekme kuvveti (kN)
B0	7.523	28.0	1.199
B1	52.759	144.8	5.908
C0	6.581	20.5	0.084
C1	50.094	159.0	6.813
D0	5.725	26.8	1.147
D1	87.247	135.3	5.798

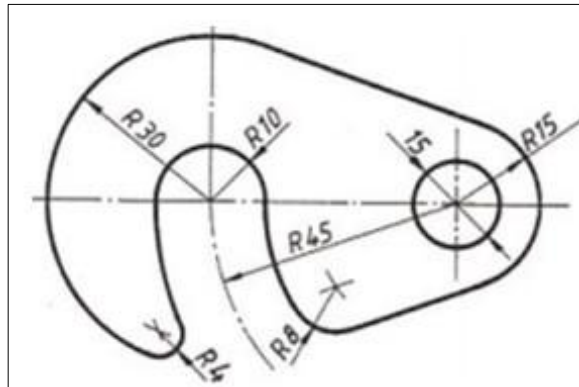
B grubu çapraz çizgi üretim deseni, C grubu eş merkezli üretim deseni ve D grubu ızgara üretim deseni ile üretilmiş olup; B0, C0 ve D0 sadece naylon kullanılarak, B1, C1 ve D1 ise 316L kalite çelik tel kullanılarak üretilen kompozit numuneleri göstermektedir. Numuneler Çizelge 3.3'teki parametreler ile üretilmiştir.

Çekme testi sonuçları incelendiğinde, çapraz çizgi üretim deseni ile üretilen B grubunda, çekme mukavemetinin %417,14 oranında; akma mukavemetinin ise %601,30 oranında arttığı görülmektedir. Izgara üretim deseni ile üretilen D grubunda ise, çekme mukavemetinin %404,85 oranında; akma mukavemetinin ise %1423,96 oranında arttığı görülmektedir. Fakat aynı durum eş merkezli üretim deseni ile üretilen C grubu için incelendiğinde, çekme mukavemetinin %675,60 oranında; akma mukavemetinin ise %661,19 oranında arttığı görülmektedir. Sonuçlar 304 kalite çelik tel ile üretilen A1 numunesi ile de karşılaştırıldığında çekme mukavemetini üst seviyelere çıkaran üretim deseninin; eş merkezli üretim deseni olduğu ortaya konulmuştur. Çelik tel takviyeli olarak üretilen numunelerin gerilme-gerinim eğrilerini gösteren grafik Şekil 3.17'de verilmiştir.



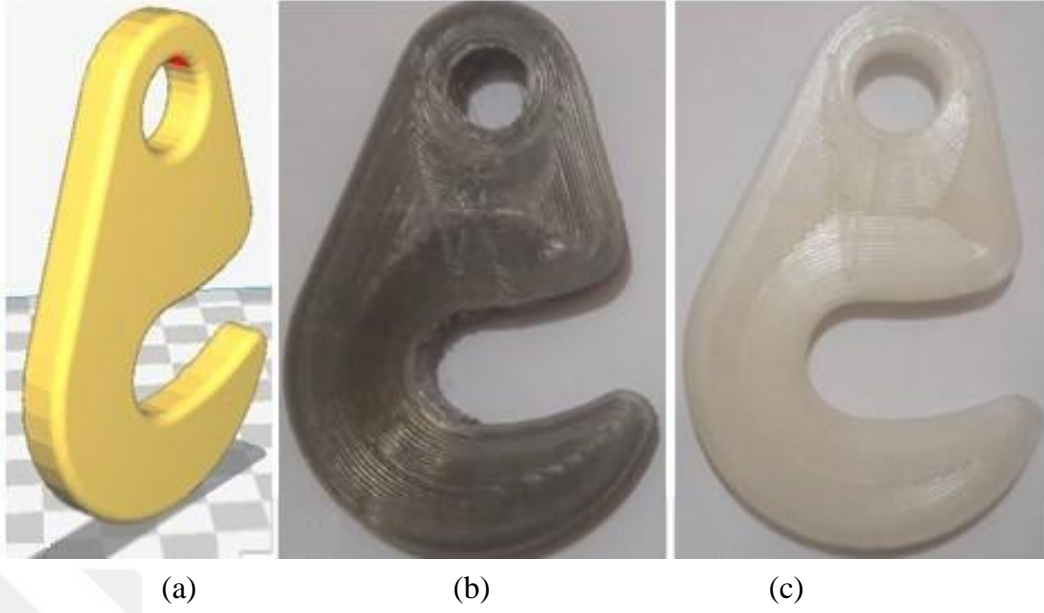
Şekil 3.17. Çelik tel takviyeli olarak üretilen numunelerin gerilme-gerinim eğrileri (A1 304; A2, B1, C1 ve D1 316L kalite çelik tel ile üretilen numuneleri göstermektedir).

Üretim deseni de belirlendikten sonra 9 mm kalınlığa sahip olacak şekilde bir kanca tasarlanmıştır (Şekil 3.18). Tasarlanan kancanın katı model görünümü ise şekil 3.19 a'da olduğu gibidir. Karşılaştırma yapabilmek için 316L kalite çelik tel ile ve sadece naylon kullanılarak modeller üretilmiştir (Şekil 3.19 b ve c).



Şekil 3.18. Tasarlanan kanca modeli.





Şekil 3.19. Kanca tasarımına ait a) katı model görünümü, b) 316L kalite çelik tel kullanılarak ve c) sadece naylon kullanılarak üretimi.

Kanca modeli 2 farklı şekilde eş merkezli üretim deseni ile üretildikten sonra kullanım performansı hakkında bilgi alabilmek için her ikisi de çekme testine tabi tutulmuştur (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. Üretilen kanca modellerine ait çekme testi sonuçları.

Numune	Akma gerilmesi (MPa)	Çekme gerilmesi (MPa)	Maksimum çekme kuvveti (kN)
K0	3.039	6.2	0.500
K1	12.629	20.5	1.658

İki numune arasında karşılaştırma yapıldığında; sadece naylon kullanılarak üretilen kancanın(K0) 50,985 kg; 316L kalite çelik tel ile üretilen kancanın(K1) ise 169,07 kg yük kaldırabildiği görülmektedir. Üretilen modele sürekli olacak şekilde çelik tel takviyesi ve kullanılan üretim deseni modelin çekme mukavemetini %230,64 oranında arttırmıştır. Ayrıca modelin akma mukavemeti %315,56 oranında artmıştır.

## BÖLÜM 4

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Kompozit malzeme üretimindeki amaç, birbirleri içerisinde çözünemeyen iki veya daha fazla malzeme kullanarak, üretilen cisimlere dayanım, esneklik, hafiflik vb. özellikleri katarak kullanım alanlarını genişletmektir. Kompozit bir malzemenin oluşumundaki temel iki bileşen ise matris malzeme (polimer vb.) ve takviye malzeme (çelik, karbür vb.) şeklindedir. Yapılan çalışmada da benzer bir amaç ve yöntem benimsenmiştir. Kompozit malzeme üretimi için bir 3 boyutlu yazıcı tasarlanıp üretilmiştir. Aynı zamanda üretilen yazıcıda Matris malzeme olarak, filament olarak bilinen, 3 farklı termoplastik polimer; takviye malzeme olarak da 0.05 mm çapında 316L kalite ve 304 kalite paslanmaz çelik tel kullanılmıştır.

Kompozit bir yapıda yapının dağılmaması, bir bütün halinde durabilmesi önemli bir husustur. Bu problemi önleme, bir başka deyişle kompozit yapıyı oluşturan malzemeleri bir arada tutma görevi matris malzemenin görevidir. Bu tip problemler ile karşılaşmamak için öncelikle; çalışma kapsamında geliştirilen 3 boyutlu yazıcı ile üretilen kompozit yapıya sürekli olacak şekilde çelik tel takviyesini bir arada tutacak matris malzeme belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla ABS, PLA ve Naylon olmak üzere 3 farklı filament temin edilip, her biriyle çeşitli testler gerçekleştirilmiştir. Testler kolaylık olması ve karmaşıklığı önlemek için, çubuk, dairesel ve çerçeve olarak isimlendirilen 3 model üzerinde yapılmıştır. Testler gerçekleştirilirken, sırası ile ABS, PLA ve Naylon filament kullanılmış olup; bu aşamalarda kullanım kolaylığından dolayı sadece 304 kalite çelik tel ile çalışılmıştır. 316L kalite çelik tel sadece numune basımında kullanılmıştır. Bu filamentler ile basılan test örnekleri ise çubuk, dairesel, çerçeve sırasına göre basılmıştır. Bu örneklerin basımında temel olarak 3 tip problem tespit edilmiştir ve uygun çözümler bulunmaya çalışılmıştır. Karşılaşılan problem şu şekildedir:

1. Çelik telin nozul içerisinde rahatça ilerleyememesi ve meydana gelen zorlanmada telin koparak sürekli çel tel iletimine engel olması.
2. Çelik tel ve filamentin aynı anda nozul ucundan çıkışından sonra yeterli donma sağlanmadığından dolayı meydana gelen kopmalar ve aynı zamanda test örneğinin duvar hatlarına iletilen çelik telin parçayı tabla yüzeyinden kalkmaya zorlaması.
3. Kullanılan filament türünün Çelik tel ile iyi yapışma özelliği sergilememesi. Bu problem çalışmada en büyük problem olmuştur. Tel kopmalarına, katmanlar arası iyi yapışmamaya, keskin köşelerden dönüş esnasında bu köşelerin tabla yüzeyinden kalkmasına gibi birçok probleme neden olmuştur.

1 numaralı problemin çözümü için 3 farklı çapta nozul kullanılarak testlerin gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Testlerin 0,4, 0,8 ve 1 mm nozullar ile yapılması planlanmış olup; uygun olanı belirlendikten sonra bir sonraki nozul ile test yapılmamıştır. Çünkü bu noktadaki bir başka amaç, daha kaliteli bir yüzey elde edebilmek ve baskı esnasında nozulda meydana gelebilecek olası sızmaları en aza indirmektir. Bu çözüm adımında ayrıca farklı sıcaklık değerleri denenerek bu problemin ortadan kaldırılmasına çalışılmıştır. 2 numaralı problemin çözümü için ekstruder mekanizmasına direkt olarak baskıyı soğutacak şekilde bir fan monte edilmiştir. Ayrıca fanın iletmiş olduğu hava akımının baskının her yerine eşit olarak dağılması için dairesel kesite sahip ek bir aparat ekstruder mekanizmasına dâhil edilmiştir. Bu işlemin tel iletimi açısından büyük katkısı olmuştur. 3 numaralı problemin çözümü için ise farklı türde filamentler ile testler gerçekleştirilip, oluşturulacak kompozit ile en iyi uyumu sağlayan tür tespit edilmeye çalışılmıştır.

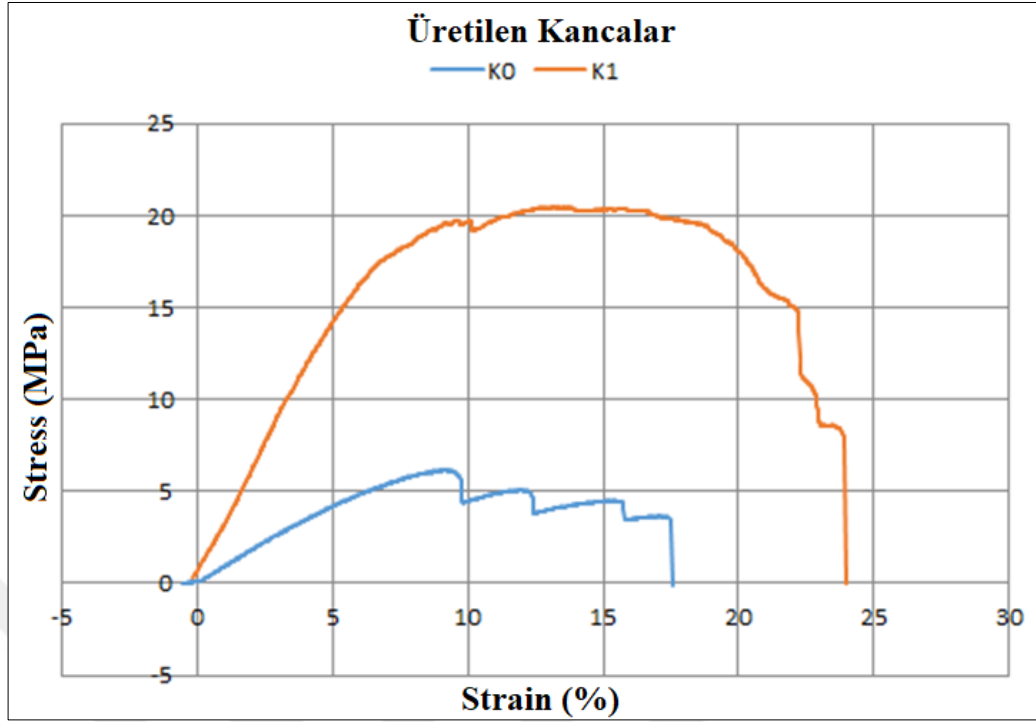
Problemleri çözmeye yönelik belirtilen teknikler uygulanıp testler gerçekleştirildiğinde, baskı esnasında uygun nozul çapının 0,8 mm; sürekli çelik tel takviyesi esnasında elde edilecek kompozit yapının dağılmaması için en iyi yapışma özelliği sergileyen filament türünün ise naylon olması gerektiği kanaatine varılmıştır. Ayrıca baskı işlemi esnasında uygun nozul sıcaklığı 270 °C ve tabla sıcaklığı 20-25 °C aralığında olması öngörülmüştür. Bu 3 sorun böylelikle ortadan kaldırılmış olup; çekme testine tabi tutulacak olan numunelerin basımı aşamasına geçilmiştir.

Numuneler ızgara, çapraz çizgi, eş merkezli ve düz çizgi olarak isimlendirilen 4 üretim deseni ile üretilmiştir. Daha sonra üretilen numuneler çekme testine tabi tutulmuştur (Çizelge 4.1). Bu numunelerden ilk 3'ü; A0 sadece naylon, A1 304 kalite paslanmaz çelik tel ve A2 316L kalite çelik tel kullanılarak üretilerek; 2 farklı çelik tel arasında mukavemeti daha üst seviyelere çeken tür belirlenmeye çalışılmıştır. Çekme testi sonuçları, çekme mukavemetini üst seviyelere çeken telin, 316L kalite çelik tel olduğunu göstermiştir. Çelik tel türü belirlendikten sonra çapraz çizgi (B0 ve B1), eş merkezli (C0 ve C1) ve ızgara (D0 ve D1) üretim deseni ile 6 numune daha basılarak, karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuçlar eşdeğerine oranla, %661,19 fark ile en yüksek çekme mukavemetine sahip numunenin eş merkezli üretim deseni ile üretilen C1 numunesi olduğunu göstermiştir.

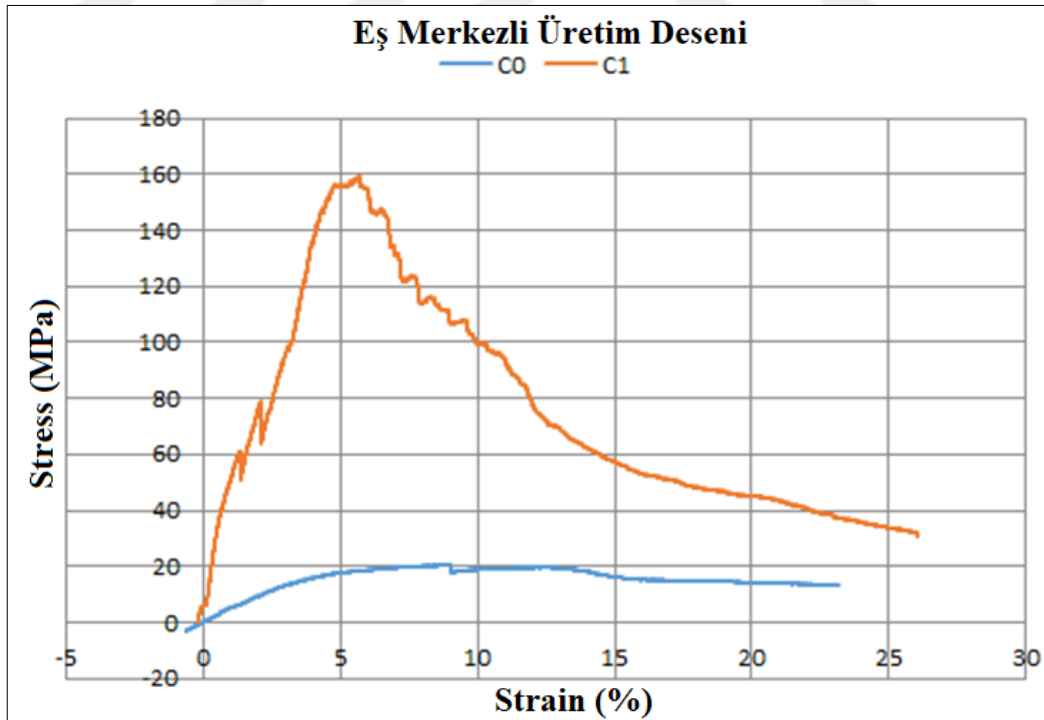
Çizelge 4.1. Dört farklı üretim deseni ile üretilen numunelere ait çekme testi sonuçları.

Numune	Akma gerilmesi (MPa)	Çekme gerilmesi (MPa)	Maksimum çekme kuvveti (kN)
A0	7.765	33.0	1.384
A1	13.668	42.7	1.811
A2	61.714	123.9	5.306
B0	7.523	28.0	1.199
B1	52.759	144.8	5.908
C0	6.581	20.5	0.084
C1	50.094	159.0	6.813
D0	5.725	26.8	1.147
D1	87.247	135.3	5.798

Uygun desen türü de belirlendikten sonra, günlük hayatta karşılığı bulunabilecek bir kanca tasarlanıp, sürekli bir şekilde 316L kalite çelik tel takviyesi ile üretimi yapılmıştır. Aynı zamanda bir eşdeğeri de sadece naylon kullanılarak üretilmiştir. Kullanım performansı ve çekebilecekleri maksimum yükü tespit edebilmek için her iki kanca çekme testine tabi tutulmuştur. Çelik tel takviyesi ile üretilen kancanın çekme mukavemeti 20,5 MPa; naylon ile üretilen kanca modelinin ise 6,2 MPa olmuştur. Kancalara ait gerilme-gerinim eğrilerini gösteren grafik Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Kancalara ait gerilme-gerinim eğrisi (K0 sadece naylon; K1 316L kalite çelik tel ile üretilen kancayı göstermektedir).



Şekil 4.2. Eş merkezli üretim deseni ile üretilen numunelere ait gerilme gerinim eğrisi (C0 sadece naylon; C1 316L kalite çelik tel ile üretilmiştir).

Çalışma genelinde elde edilen en yüksek mukavemet farkı 7,756 kat ile eşmerkezli üretim deseni ve 316L kalite çelik tel kullanılarak üretilen C1 numunesinden elde edilmiştir. Belirtilen üretim deseni ile baskısı yapılan numunelerin gerilme-gerinim eğrilerinden de bu fark açıkça görülmektedir(Bkz. Şekil 4.2). Ayrıca diğer numunelerde de ortalama 5 kat fark elde edilebilmiştir.

Yapılmış olan bu çalışma, literatür araştırması sonucu incelenen çalışmalar ile üretilecek herhangi bir modelin mukavemetini arttırmaya yönelik karşılaştırıldığında, bu şekilde bir fark hiç birinde elde edilememiştir Yapılan araştırmalar sonucu elde edilen birkaç çalışmanın deney sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çalışmalarda çekme testi sonucu elde edilen en düşük ve en yüksek mukavemet değerleri alınmıştır.

Çizelge 4.2. Literatür araştırması sonucu elde edilen bazı çekme testi sonuçları (CF: Karbon Fiber).

<b>Referans No</b>	<b>Yöntem</b>	<b>Karşılaştırılan numunelerin mukavemet değerleri (MPa)</b>	<b>Mukavemet farkı</b>
[22]	Farklı filamentler ile çekme testleri	HIPS: 19,55; PC:49,08	2,51 kat
[33]	Nişasta-ABS alaşımı	Alaşım A:34,8; Alaşım B:48,3	1,38 kat
[37]	Parçalı CF takviyesi	34-42 (ortalama değerler)	1,23 kat
[41]	Parçalı Cf takviyesi	30-75 (ortalama değerler)	2,5 kat
[43]	Sürekli CF takviyesi	28 MPa-91 MPa	3,25 kat
[46]	Sürekli CF, cam ve Kevlar elyafi takviyesi	CF:61-216; Cam:61-150; Kevlar:61-194	3,54; 2,45; 3,18 kat

## BÖLÜM 5

### SONUÇ VE ÖNERİLER

3 boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak üretilen ürünlerin mukavemetini daha üst seviyelere çıkarma yönünde yapılan bu çalışmada; öncelikle kompozit baskı yapabilen bir 3 boyutlu yazıcı tasarlanıp üretilmiştir. Üretilen bu yazıcıda kompozit yapıyı üretmek için matris malzeme olarak ABS, PLA ve naylon olmak üzere 3 farklı termoplastik polimer; takviye malzeme olarak ise 0,05 mm çapında 304 kalite paslanmaz çelik tel ve 316L kalite çelik tel kullanılmıştır. Yapılan çeşitli testler kompozit yapının dağılmasını önlemede kullanılacak olan polimerin naylon olması gerektiğini ortaya koymuştur. Daha sonra bu polimer ve 2 farklı çelik tel ile 3 set numune hazırlanarak çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarında 123,9 MPa'lık değeriyle çekme mukavemetini daha üst seviyelere çeken çelik telin 316L kalite çelik tel olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın devamında herhangi bir ürünün üretiminde kullanılacak olan üretim deseninin de mukavemete olan etkisini araştırmaya yönelik bu 3 numunede kullanılan desen dışında 3 farklı desen ile 6 set numune daha hazırlanıp çekme testleri yapılmıştır. Test sonuçları incelendiğinde, mukavemeti en üst seviyeye çıkaran üretim deseninin 159 MPa çekme mukavemeti değeriyle eş merkezli üretim deseni olduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışma kapsamında üretilen numunelerin tamamında 100x16x4 mm boyutlarında çubuk şeklinde bir tasarım kullanılmıştır. Kullanılan bu tasarımdan farklı olarak üretilecek bir modelde yazıcının davranışını ve üretilecek modelin kullanım performansını incelemek için günlük hayatta karşılığı bulunan bir kanca modeli de tasarlanıp üretilmiştir. Bu amaç ile sadece naylon ve 316L kalite çelik tel kullanılarak üretilen 2 kanca çekme testine tabi tutulmuştur. 316L kalite çelik tel ile üretilen kancanın çekme mukavemeti 20,5 MPa; sadece naylon kullanılarak üretilen kancanın çekme mukavemeti ise 6,2 MPa olmuştur.

Bu çalışma sonunda elde edilen teknolojik birikiminin, yeni teknolojik uygulamalara kapı açması beklenmektedir. Örneğin; bu sistemle çalışabilecek bina yapımı için demir tel ile takviye edilmiş çimento ile baskı yapabilen bir 3 boyutlu yazıcı geliştirilebilecektir. Dünya genelinde 3 boyutlu yazıcı teknolojisi ile takviyeli çimento kullanılarak bina vb. yapıları üretmek için birçok çalışma yapılmıştır ve daha ileri uygulamalar için çalışmalar hız kesmeden devam etmektedir. Fakat takviye çeliği ve çimento kullanılarak bina vb. yapı üretmek adına çalışmalar yok denecek seviyedir. Bir başka örnek ise plastik ya da kompozit reçineler kullanılarak içerisine lif döşenmiş büyük boyutlu baskıların yapılması şeklindedir. Bu hedef öncelikle mini elektrikli otomobillerin şase yapısının kompozit olarak üretilmesi doğrultusunda olabilir. Eğer bu iki konunun teknolojisi yeterince geliştirilirse günümüz yaşamının en temel iki sorunu (barınma ve ulaşım) 3 boyutlu yazıcı teknolojisi ile en ucuz ve kişiye özgü şekilde çözülmüş olacaktır. Büyük çaplı yazıcıların araştırmasından önce küçük çaplı olarak bu teknolojinin geliştirilmesi hem maliyetler hem de zaman kaybı açısından avantaj katacaktır. Ayrıca verilen iki örnekteki teknolojik gelişimin hem inşaat sanayisinde hem de otomotiv sanayisinde büyük bir çığır açacağı tahmin edilmektedir.



## KAYNAKLAR

1. Roopavath, U.K. and Kalaskar, D.M., “1 - Introduction to 3D printing in medicine” Editor(s): D.M. Kalaskar, *3D Printing in Medicine*, Woodhead Publishing, 1-20 (2017).
2. Delikanlı, K., Sofu, M.M. ve Bekçi, U., “Üretim sektöründe hızlı direkt imalat sistemlerinin yeri ve önemi”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (4): 33-39 (2006).
3. Bakhtiar, S.M., Butt, H.A., Zeb, S., Quddusi, D.M., Gul, S. and Dilshad, E., “Chapter 10 - 3D Printing Technologies and Their Applications in Biomedical Science”, Editor(s): Barh, D. and Azevedo, V., *Omics Technologies and BioEngineering*, Academic Press, 167-189 (2018).
4. Sood, A.K., Ohdar, R.K. and Mahapatra, S.S., “Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts”, *Materials & Design*, 31 (1): 287-295 (2010).
5. Yakovlev, A., Trunova, E., Grevey, D., Pilloz, M. and Smurov, I., “Laser-assisted direct manufacturing of functionally graded 3D objects”, *Surface and Coatings Technology*, 190 (1): 15-24 (2005).
6. “GKN buys 3D printer for automotive parts”, *Metal Powder Report*, 71 (5): 364 (2016).
7. Tenhunen, T.-M., Moslemian, O., Kammiovirta, K., Harlin, A., Kääriäinen, P., Österberg, M., Tammelin, T. and Orelma, H., “Surface tailoring and design-driven prototyping of fabrics with 3D-printing: An all-cellulose approach”, *Materials & Design*, 140: 409-419 (2018).
8. Nickels, L., “AM and aerospace: an ideal combination”, *Metal Powder Report*, 70 (6): 300-303 (2015).
9. Roopavath, U.K. and Kalaskar, D.M., “1 - Introduction to 3D printing in medicine”, *In 3D Printing in Medicine*, Woodhead Publishing, 1-20 (2017).
10. Capelli, C. and Schievano, S., “4 - Computational analyses and 3D printed models: A combined approach for patient-specific studies”, *In 3D Printing in Medicine*, edited by Kalaskar, D.M., Woodhead Publishing, 73-90 (2017).
11. Sun, J., Peng, Z., Zhou, W., Fuh, J.Y.H., Hong, G.S. and Chiu, A., “A review on 3D printing for customized food fabrication”, *Procedia Manufacturing*, 1: 308-319 (2015).

12. Dankar, I., Haddarah, A., Omar, F.E.L., Sepulcre, F. and Pujolà, M., “3D printing technology: The new era for food customization and elaboration”, *Trends in Food Science & Technology*, 75: 231-242 (2018).
13. Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B. and Wang, Y., “3D printing: Printing precision and application in food sector”, *Trends in Food Science & Technology*, 69 (Part A): 83-94 (2017).
14. Sun, J., Zhou, W. and Huang, D., “3D Printing of Food”, *Reference Module in Food Science*, Elsevier, (2018).
15. Economidou, S.N., Lamprou, D.A. and Douroumis, D., “3D printing applications for transdermal drug delivery”, *International Journal of Pharmaceutics*, 544 (2): 415-424 (2018).
16. Camacho, D.D., Clayton, P., O'Brien, W.J., Seepersad, C., Juenger, M., Ferron, R. and Salamone, S., “Applications of additive manufacturing in the construction industry – A forward-looking review”, *Automation in Construction*, 89: 110-119 (2018).
17. Chakraborty, D., Reddy, B.A. and Choudhury, A.R., “Extruder path generation for Curved Layer Fused Deposition Modeling”, *Computer-Aided Design*, 40 (2): 235-243 (2008).
18. Novakova-Marcincinova, L., Novak-Marcincin, J., Barna, J. and Torok, J., “Special materials used in FDM rapid prototyping technology application”, *2012 IEEE 16th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES)*, Lisbon, 73-76 (2012).
19. Kim, H., Park, E., Kim, S., Park, B., Kim, N. and Lee, S., “Experimental study on mechanical properties of single- and dual-material 3D printed products”, *Procedia Manufacturing*, 10: 887-897 (2017).
20. Aliheidari, N., Tripuraneni, R., Ameli, A. and Nadimpalli, S., “Fracture resistance measurement of fused deposition modeling 3D printed polymers”, *Polymer Testing*, 60: 94-101 (2017).
21. Song, Y., Li, Y., Song, W., Yee, K., Lee, K.-Y. and Tagarielli, V.L., “Measurements of the mechanical response of unidirectional 3D-printed PLA”, *Materials & Design*, 123: 154-164 (2017).
22. Tanikella, N.G., Wittbrodt, B. and Pearce, J.M., “Tensile strength of commercial polymer materials for fused filament fabrication 3D printing”, *Additive Manufacturing*, 15: 40-47 (2017).
23. Wittbrodt, B. and Pearce, J.M., “The effects of PLA color on material properties of 3-D printed components”, *Additive Manufacturing*, 8: 110-116 (2015).

24. Tymrak, B.M., Kreiger, M. and Pearce, J.M., “Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under realistic environmental conditions”, *Materials & Design*, 58: 242-246 (2014).
25. Lille, M., Nurmela, A., Nordlund, E., Metsä-Kortelainen, S. and Sozer, N., “Applicability of protein and fiber-rich food materials in extrusion-based 3D printing”, *Journal of Food Engineering*, 220: 20-27 (2018).
26. Zhang, D., Chi, B., Li, B., Gao, Z., Du, Y., Guo, J. and Wei, J., “Fabrication of highly conductive graphene flexible circuits by 3D printing”, *Synthetic Metals*, 217: 79-86 (2016).
27. Yoo, C.J., Shin, B.S., Kang, B.S., Gwak, C.Y., Park, C., Ma, Y.W. and Hong, S.M., “A study on a new 3D porous polymer printing based on EPP beads containing CO<sub>2</sub> gas”, *Procedia Engineering*, 184: 10-15 (2017).
28. Gnanasekaran, K., Heijmans, T., van Bennekom, S., Woldhuis, H., Wijnia, S., de With, G. and Friedrich, H., “3D printing of CNT- and graphene-based conductive polymer nanocomposites by fused deposition modeling”, *Applied Materials Today*, 9: 21-28 (2017).
29. Ferreira, I.A. and Alves, J.L., “Low-cost 3D food printing”, *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, 29 (1): e265-e269 (2017).
30. Lanaro, M., Forrestal, D.P., Scheurer, S., Slinger, D.J., Liao, S., Powell, S.K. and Woodruff, M.A., “3D printing complex chocolate objects: Platform design, optimization and evaluation”, *Journal of Food Engineering*, 215: 13-22 (2017).
31. Gardner, J.M., Sauti, G., Kim, J.-W., Cano, R.J., Wincheski, R.A., Stelter, C.J., Grimsley, B.W., Working, D.C. and Siochi, E.J., “3-D printing of multifunctional carbon nanotube yarn reinforced components”, *Additive Manufacturing*, 12 (Part A): 38-44 (2016).
32. Bollig, L.M., Hilpisch, P.J., Mowry, G.S. and Nelson-Cheeseman, B.B., “3D printed magnetic polymer composite transformers”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 442: 97-101 (2017).
33. Kuo, C.-C., Liu, L.-C., Teng, W.-F., Chang, H.-Y., Chien, F.-M., Liao, S.-J. Kuo, W.-F. and Chen, C.-M., “Preparation of starch/acrylonitrile-butadiene-styrene copolymers (ABS) biomass alloys and their feasible evaluation for 3D printing applications”, *Composites Part B: Engineering*, 86: 36-39 (2016).
34. Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B. and Yang, C., “Impact of rheological properties of mashed potatoes on 3D printing”, *Journal of Food Engineering*, 220: 76-82 (2018).

35. Zhuang, Y., Song, W., Ning, G., Sun, X., Sun, Z., Xu, G., Zhang, B., Chen, Y. and Tao, S., "3D-printing of materials with anisotropic heat distribution using conductive polylactic acid composites", *Materials & Design*, 126: 135-140 (2017).
36. Bakarich, S.E., Gorkin, R., Gately, R., Naficy, S., in het Panhuis, M. and Spinks, G.M., "3D printing of tough hydrogel composites with spatially varying materials properties", *Additive Manufacturing*, 14: 24-30 (2017).
37. Ning, F., Cong, W., Qiu, J., Wei, J. and Wang, S., "Additive manufacturing of carbon fiber reinforced thermoplastic composites using fused deposition modeling", *Composites Part B: Engineering*, 80: 369-378 (2015).
38. Hambach, M. and Volkmer, D., "Properties of 3D-printed fiber-reinforced Portland cement paste", *Cement and Concrete Composites*, 79: 62-70 (2017).
39. Kwok, S.W., Goh, K.H.H., Tan, Z.D., Tan, S.T.M., Tjiu, W.W., Soh, J.Y., Ng, Z.J.G., Chan, Y.Z., Hui, H.K. and Goh, K.E.J., "Electrically conductive filament for 3D-printed circuits and sensors", *Applied Materials Today*, 9: 167-175 (2017).
40. Panda, B., Paul, S.C. and Tan, M.J., "Anisotropic mechanical performance of 3D printed fiber reinforced sustainable construction material", *Materials Letters*, 209: 146-149 (2017).
41. Tekinalp, H.L., Kunc, V., Velez-Garcia, G.M., Duty, C.E., Love, L.J., Naskar, A.K., Blue, C.A. and Ozcan, S., "Highly oriented carbon fiber-polymer composites via additive manufacturing", *Composites Science and Technology*, 105: 144-150 (2014).
42. Szykiedans, K., Credo, W. and Osiński, D., "Selected mechanical properties of PETG 3D prints", *Procedia Engineering*, 177: 455-461 (2017).
43. Li, N., Li, Y. and Liu, S., "Rapid prototyping of continuous carbon fiber reinforced polylactic acid composites by 3D printing", *Journal of Materials Processing Technology*, 238: 218-225 (2016).
44. Tian, X., Liu, T., Yang, C., Wang, Q. and Li, D., "Interface and performance of 3D printed continuous carbon fiber reinforced PLA composites", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 88: 198-205 (2016).
45. Melenka, G.W., Cheung, B.K.O., Schofield, J.S., Dawson, M.R. and Carey, J.P., "Evaluation and prediction of the tensile properties of continuous fiber-reinforced 3D printed structures", *Composite Structures*, 153: 866-875 (2016).
46. Dickson, A.N., Barry, J.N., McDonnell, K.A. and Dowling, D.P., "Fabrication of continuous carbon, glass and Kevlar fibre reinforced polymer composites using additive manufacturing", *Additive Manufacturing*, 16: 146-152 (2017).

47. Mori, K.-I., Maeno, T. and Nakagawa, Y., “Dieless forming of carbon fibre reinforced plastic parts using 3D Printer”, *Procedia Engineering*, 81: 1595-1600 (2014).
48. Anil, K. S., “Dynamic strain ageing of various of steels”, *Metallurgical Transactions A*, 13 (A): 1793-1798 (1982).



## ÖZGEÇMİŞ

Mustafa GÜNEŞ 1991 yılında Kars'ta doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Sarıkamış Şehit Binbaşı Bedir Karabıyık Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2016 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2016 yılında KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tamamladı.

### **İletişim Bilgileri**

Adres : Battalgazi mah. Selçukhan cad. No:131 Altın-tepe  
Sultanbeyli / İSTANBUL

Tel : (541) 506 3957

E-posta : mustafa.327@hotmail.com