



**İNDÜKSİYON YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN  
TERMOPLASTİK MALZEMELİ BAĞLANTININ  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**2023  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ**

**Mustafa ACAROĞLU**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Özkan ÖZ**

**İNDÜKSİYON YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN TERMOPLASTİK MALZEMELİ  
BAĞLANTININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Mustafa ACAROĞLU**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Özkan ÖZ**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Temmuz 2023**

Mustafa ACAROĞLU tarafından hazırlanan “İNDÜKSİYON YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN TERMOPLASTİK MALZEMELİ BAĞLANTININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Özkan ÖZ

.....

Tez Danışmanı, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 07/07/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Şaban BÜLBÜL (NEÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Özkan ÖZ (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahim TEMİZ (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

*“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 ACAROĞLU

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

**TEZİNİZİN BAŞLIĞINI BÜYÜK HARFLERLE YAZINIZ**

**İNDÜKSİYON YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN TERMOPLASTİK MALZEMELİ  
BAĞLANTININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Dr. Öğr. Üyesi Özkan ÖZ**

**Temmuz 2023, 61 sayfa**

Yapılan tezin amacı induksiyonlu ısıtmanın termoplastik malzemelerin bağlantılarında yapıştırıcının yerine kullanımının araştırılmasıdır. Bu amaçla, termoplastik malzemelerin bağlantılarını yapmak üzere induksiyon makinesi yeniden tasarlanmış ve üretilen termoplastik malzemeli bağlantının mekanik özellikleri incelenmiştir. Tezin deneysel aşamalarında, 3B yazıcıda üretilen numuneler ayrı ayrı yapıştırıcı ve induksiyonlu ısıtma ile birleştirilmiştir. İndüksiyonla ısıtma prosesinde, 3 tel, 5 tel ve levha iletken malzeme olarak seçilmiştir. Birleştirilen bu parçalardaki bağlantı dayanımlarını incelenmek için çekme testleri yapılmıştır. Çekme test sonuçlarında bağlantı dayanımları yapıştırırmalı bağlantı, levha ile birleştirme, 3 tel ile birleştirme ve 5 tel ile birleştirme için sırasıyla, 2378 N, 1003 N, 1393 N ve 2057 N olarak elde edilmiştir. Çalışma sonucunda, 5 saniye ve 30 kHz ısıtma koşullarında, 5 tel ile hazırlanan bağlantıların yapışma mukavemetinin yapıştırıcı ile hazırlanan parçaya yakın olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Basit bindirmeli bağlantı, bağlantı dayanımı, indüksiyonlu ısıtma

**Bilim Kodu** : 91414.

## **ABSTRACT**

**Master Thesis**

### **INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE JOINT WITH THERMOPLASTIC MATERIAL MANUFACTURED BY INDUCTION METHOD**

**Mustafa ACAROĞLU**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Industrial Design Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Asst. Prof. Dr. Özkan ÖZ**

**July 2023, 61 pages**

The aim of this thesis is to investigate the use of induction heating instead of adhesive in the joints of thermoplastic materials. For this purpose, the induction machine was redesigned to make the joints of thermoplastic materials, and the mechanical properties of the produced thermoplastic joints were investigated. In the experimental stages of the thesis, samples manufactured by the 3D printer were individually bonded using adhesive and induction heating. In the case of induction heating process, 3 wires, 5 wires, and iron sheet were used as conductive materials. Tensile tests were performed to evaluate the joint strengths of these joined parts. Tensile test results showed that the maximum joint strengths for adhesive bonding, joining with a sheet, joining with 3 wires and joining with 5 wires were 2378 N, 1003 N, 1393 N and 2057 N, respectively. As a conclusion, it was determined that the joint strength of the parts prepared with 5

wires at 5 seconds and 30 kHz heating conditions was close to the joint strength of the parts prepared with adhesive.

**Key Word** : Single lap joint, joint strength, induction heating.

**Science Code** : 91414.



## TEŞEKKÜR

2019 yılında başladığım Karabük Üniversitesi/ Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim dalında “İndüksiyon Yöntemiyle Üretilen Termoplastik Malzemeli Bağlantının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesini” konu alan çalışmayı bana tavsiyede bulunarak, engin bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Özkan Öz’e şükran ve saygılarımı sunmayı borç bilirim.

Çalışmalarımın birçok alanında yoğun bir çalışma ortamında olmasına rağmen bana desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan Arş.Gör.Dr. Fatih Huzeyfe ÖZTÜRK’e şükran ve saygılarımı sunmayı borç bilirim.

Bu tezi hayatımın her alanında yanımda olan ve her daim çalışmalarımında desteklerini esirgemeyen rahmetli abim Mehmet Emin ACAROĞLU’NA atfetmekteyim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
PLASTİKLER.....	3
2.1. TERMOPLASTİKLER .....	4
2.2. TERMOSETLER.....	5
2.3. ELASTOMERLER.....	7
BÖLÜM 3 .....	8
3 BOYUTLU YAZICILAR .....	8
3.1. EYM TEKNOLOJİSİ.....	10
3.1.1. EYM’de Kullanılan Filamentler .....	11
3.1.2. EYM Yazdırılmış Parçaların Mekanik Özellikleri.....	12
3.1.3. EYM Yazdırılmış Parçaların Termal Özellikleri.....	14
3.1.4. EYM Kullanım Alanları .....	15
BÖLÜM 4 .....	16
POLİMER BİRLEŞTİRME TEKNİKLERİ .....	16

4.1. YAPIŞTIRMALI BAĞLANTI .....	17
4.2. MEKANİK BAĞLANTI.....	19
4.3. KAYNAK.....	20
BÖLÜM 5 .....	24
İNDÜKSİYON KAYNAĞI.....	24
5.1. İNDÜKSİYON KAYNAĞI .....	24
5.2. İNDÜKSİYONLA ISITMA PARAMETRELERİ.....	26
5.2.1. Frekans.....	27
5.2.2. Güç.....	27
5.2.3. Basınç .....	28
5.2.4. Boşluk.....	28
5.2.5. Kalış Süresi.....	28
5.3. ISITMA ELEMANLARI .....	28
5.4. İNDÜKSİYON KAYNAĞA ETKİ EDEN FAKTÖRLER .....	29
5.4.1. Kenar Etkisi .....	29
5.4.2. Yakınlık Etkisi ve Türevleri .....	30
5.4.3. Yüzey Etkisi .....	31
BÖLÜM 6 .....	33
6.1. NUMUNELERİN ÜRETİMİ.....	33
6.2. İNDÜKSİYON MAKİNESİ HAZIRLIK AŞAMASI .....	36
6.3. BAĞLANTILARIN HAZIRLANMASI.....	38
6.4. ÇEKME TESTİ .....	40
BÖLÜM 7 .....	42
DENEYSEL SONUÇLAR .....	42
BÖLÜM 8 .....	46
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	46
KAYNAKLAR .....	48
ÖZGEÇMİŞ .....	61

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Plastiklerin sınıflandırılması [12].	3
Şekil 3.1. EYM yazdırma şeması [65].	11
Şekil 3.2. 3 Farklı yazdırma oryantasyonu [72].	13
Şekil 4.1. Polimerleri birleştirmenin ana işlemi [104].	17
Şekil 4.2. Yapıştırılmalı bağlantıların performansını test etmek için kullanılan bağlantı örnekleri: sırasıyla, basit bindirmeli bağlantı, tüp uç uca bağlantı ve tüp bindirmeli kesme bağlantısı [114].	18
Şekil 4.3. Sol tarafta vida/somunla ve sağ tarafta perçinle birleştirilmiş mekanik bağlantı [104].	20
Şekil 5.1. İndüksiyon kaynak prosesi [145].	25
Şekil 5.2. Temel bobin şekilleri, (a) tek turlu, (b) selenoid ve (c) yassı [150].	26
Şekil 5.3. İndüksiyon kaynak parametreleri [151].	27
Şekil 5.4. İş parçası geometrisindeki değişikliklerden kaynaklanan kenar etkileri [144].	30
Şekil 5.5. Akım yönünün manyetik alan çizgilerine etkisi, (a) tek tel, (b) aynı akım yönleri ve (c) zıt akım yönleri [144].	31
Şekil 5.6. Penetrasyon derinliğini etkileyen değişkenler [169].	32
Şekil 6.1. CCH X30 3B Yazıcı.	33
Şekil 6.2. Bağlantı geometrisi (Ölçüler mm cinsinden).	35
Şekil 6.3. Kullanılan indüksiyon makinası.	36
Şekil 6.4. Helezon bobin.	37
Şekil 6.5. İndüksiyon makinası son hali.	37
Şekil 6.6. Bindirme bölgesi tel yerleşimi a) 3 tel ve b) 5 tel.	38
Şekil 6.7. İndüksiyon ile bağlantıların üretimi.	39
Şekil 6.8. Hazırlanan bağlantılar.	40
Şekil 6.9. Çekme test cihazı.	41
Şekil 7.2. Hasar yüzeyleri.	42
Şekil 7.3. Yapıştırıcı ve indüksiyon ile 5 sn. ısıtılan bağlantıların Y-D eğrileri. ....	43
Şekil 7.4. Yapıştırıcı ile indüksiyon ile 15 sn. ısıtılan bağlantıların Y-D eğrileri... ..	44

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Eİ yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları [59].....	9
Çizelge 3.2. EYM yönteminde kullanılan filamentlerin özellikleri ve uygulama alanları [67–69].....	11
Çizelge 4.1. Polimerlerin kaynaklanması için farklı teknik türleri ve bunların avantajları ve dezavantajları [98].....	22
Çizelge 6.1. Yazdırma Parametreleri .....	34
Çizelge 6.2. Üretilen bağlantıların kısaltmaları. ....	35
Çizelge 7.2. Yapıştırıcı ve indüksiyon ile 5 sn. ısıtılan bağlantıların hasar yükleri..	43
Çizelge 7.3. Yapıştırıcı ve indüksiyon ile 15 sn. ısıtılan bağlantıların hasar yükleri. .....	44

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

V : Volt

I : Akım

F : Frekans

mm/s : milimetre/saniye

°C : Santigrat derece

° : Derece

N : Newton

kN : Kilo Newton

## KISALTMALAR

ASTM : American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)

YYPE : Yüksek Yoğunluklu Polietilen

DYPE : Düşük Yoğunluklu Polietilen

PA : Poliamid

PEEK : Polieter Eter Keton

PP : Polipropilen

PPS : Polifenilen Sülfid

ABS : Akrilonitril bütadiyen Stiren

PC : Polikarbonat

PET : Polietilen Tereftalat

PS : Polistiren

PVC : Polivinil Klorür

TPU : Termoplastik Poliüretan

3B : 3 Boyutlu

CAD : Bilgisayar Destekli Tasarım

Eİ : Eklemeli İmalat

EYM : Eriyik Yığıma Modelleme

SLS : Seçici Lazer Sinterleme

SLM : Seçici Lazer Eritme

BP : Bağlayıcı Püskürtme

SLA : Stereolitografi

DEB : Doğrudan Enerji Biriktirme

LNÜ : Lamine Nesne Üretimi

PTFE : Teflon

ASA : Akrilonitril Stiren Akrlat

CFTP : Cam Fiber Takviyeli Polimer

KFTP : Karbon Fiber Takviyeli Polimer

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günümüzde işletmelerin rekabet ortamında ayakta durabilmeleri için kullandıkları malzeme ve üretim teknolojilerinin minimum maliyet maksimum performans ilişkisini sağlaması gerekmektedir. Bu sebepten, birçok mevcut malzeme ve cihaz her geçen gün yerini yeni malzemelere ve yeni teknolojilere bırakmaktadır. Özellikle plastik malzeme çeşitliliğindeki gelişmeler bu grup malzemelerin endüstriyel ve evsel kullanım alanlarını önemli ölçüde arttırmıştır. Plastik malzeme kullanımlarında PAGEV raporuna göre 2020 ila 2021 yılları arasındaki arz-talep dengelerinin değişimi üretimde %3'lük, ithalatta %11,4'lük ve ihracatta %8,6'lık bir oran ile artış göstermiştir [1]. Gelişen teknoloji ile geçmişte metallerin plastıklara kıyasla daha avantajlı olduğu ancak, günümüzde bu avantajın plastiklerin lehine olduğu da söylenebilir. Teknoloji ile paralel gelişen plastik endüstrisinde de artık üretim süreçlerinde eski teknikler yerine otomasyona dayalı yeni teknolojilerin kullanıldığı ve üretim proseslerinde yaygın kullanım alanına sahip olduğu da söylenebilir. Aynı zamanda, plastik malzemelerin ekstrüzyon, enjeksiyon gibi çeşitli üretim teknikleri ile kitlesel üretimde avantaj sağlaması da metallere karşı var olan avantajını güçlendirmiştir [2].

Polimer, çok sayıda monomer adı verilen küçük moleküllerin kovalent bağlarla birbirlerine bağlanarak oluşturduğu makromoleküldür. Polimer molekülleri monomerlerin uygun koşullarda polimerizasyonu sonucunda kimyasal bağ yaparak dönüşürler. Moleküllerinin büyüklüğü polimerleri diğer kimyasal maddelerden ayıran en önemli özelliğidir. Polimer kelimesi bütün yüksek molekül ağırlıklı maddeleri kapsar. Polimerler kendi içlerinde sahip oldukları zincir biçimlerine bağlı olarak termoplastikler, termosetler ve elastomerler olarak üç temel gruba ayrılır. Termoplastikler ısı etkisi ile yumuşar ve tekrar şekillendirilebilirler. Uygun çözücüler kullanılması durumunda çözümleri kolaydır. Elastomerler (kauçuklar) elastik



polimer grubunu temsil eder. Termosetler, elastomerlere benzer şekilde eritilerek tekrar şekillendirilemezler. Polimer malzemelerin sahip oldukları özellikler üretim ve şekillendirme metotlarını belirleyen temel parametrelerdir [3]

Teknolojik ilerlemeye bağlı olarak son yıllarda enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon yöntemlerine ek olarak 3B yazdırma sistemlerinin özellikle termoplastik polimer malzeme imalatında önemi giderek artırmış ve neredeyse tüm sektörlerde kullanılır hale gelmiştir. Eklemeli imalatın alt grubu olan 3B yazdırma teknolojisi nesnelerin ardışık olarak katmanlar halinde birleştirilmesini temel alır. Çok çeşitli 3B yazdırma teknikleri bulunmaktadır. Bunların başlıcalarına Eriyik Yığılma Modellemesi (EYM), Stereolitografi (SLA) ve seçici lazer sinterleme (SLS) örnek olarak verilebilir. Hem kullanım kolaylığı sağlaması hem de ucuz olması nedeniyle günümüzde plastik malzemelerden prototip ve son ürün imalatlarında 3B yazıcılar sıklıkla kullanılmaktadır. 3B yazdırma teknikleri kullanılarak tek bir işlemde eksiksiz modeller oluşturabilmek avantaj sağlamaktadır. Bu avantajlar zamandan, maliyetten ve çalışan personelden tasarruf sağlanması olarak verilebilmektedir. 3B yazıcılar ile işletmelerde oluşturulacak yeni prosesler veya imalat ürünleri için üretim öncesi test edilebilmesi açısından olarak tanınmaktadır. Bu imalat yöntemiyle üretim öncesi test işlemlerinde pahalı üretim süreçlerinden ziyade 3B modelleme teknikleri ile üretilmesi ve test edilmesi daha etkin ve yeterli seviyede sağlanabilmektedir. 3B yazıcıların kullanılmasının çevreye de çeşitli faydaları bulunmaktadır. Bu faydaların başlıcaları emisyonun azaltılması, çevre kirliliklerinin önlenmesi ve kaynak/enerji taleplerinin minimize edilmesini olarak verilebilmektedir [4–6]

Plastik malzemeler ile farklı metotlar kullanılarak üretilen ürünlerin bağlantı ve tamirinde yeni ve geleneksel yöntemlerin uygulanabilir olması ve geliştirilmesi kullanım alanlarının yaygınlaştırılması açısından önemlidir. Yapıştırıcılar bu anlamda önemli bir bağlantı elemanı olarak plastiklerde yaygın olarak kullanılmaktadır ve geleneksel bağlantı yöntemi olarak sınıflandırılabilir. Yapıştırma işleminden önce, yüzey işlemlerine tabi tutulmasıyla ciddi oranlarda malzeme yüzey direncinin ve mukavemetinin arttırıldığı bilinmektedir [7]. Plastik malzemeleri yapıştırma işleminde yüzeyler arasında oluşan bağlar, malzemelerin sahip oldukları temas açıları ve yüzey enerjileri ile doğrudan ilişkilidir. Yapılan çeşitli çalışmalar kapsamında plastik

malzemelerin yüzeylerinin modifikasyonlarının farklı ekipmanlarla değiştirilmesiyle deformasyonların engellendiği ortaya konulmuştur [8].

Endüstrileşme ile teknolojik gelişmelerin de birbirini takip etmesiyle üretim proseslerinde kullanılan çok yönlü yöntemler ortaya çıkmıştır. Bunlardan birisi de indüksiyon yöntemidir. Günümüzde indüksiyon kullanımıyla özellikle yüzey sertleştirme işleminin yapılması otomotiv ve havacılık sanayi başta olmak üzere birçok sektörde kullanılmaktadır. Bu yöntemin kullanılmasıyla parçaların kalite ve ömürlerinin artırılması sağlanmaktadır. Bu yöntem genellikle parçaların belirli bölümlerinde sertlik arttırımı elde etmek amacıyla üretim proseslerinde kullanılmaktadır. İndüksiyon tekniği ile yüzey sertleştirmelerinin yapılmasının en büyük avantajı hassas parçalardaki aşınma direncinin ve yorulma dayanımlarının artırılmasını sağlamaktır. İndüksiyon proseslerinin çalışma prensibi genel olarak güç ve frekansla ilişkilidir. İstikrarlı tekrarı olan proseslerin yaratılabilmesinin kolaylığı, indüksiyonlar ile yüzey sertleştirme proseslerinin seri üretim ve yüksek hacimli üretimler için uygun olmasını sağlamaktadır. İndüksiyon yönteminde işlenen parçaların elektro-manyetik özelliğe sahip olması gerekmektedir. Bu özelliği sağlayan malzemelerin ısı etkisiyle plastikleri ergitme özelliğinden yararlanarak plastiklerin birleştirilmesinde, indüksiyon ile ısıtmanın yapıştırma yöntemine alternatif olabileceği düşünülmektedir [9–11]

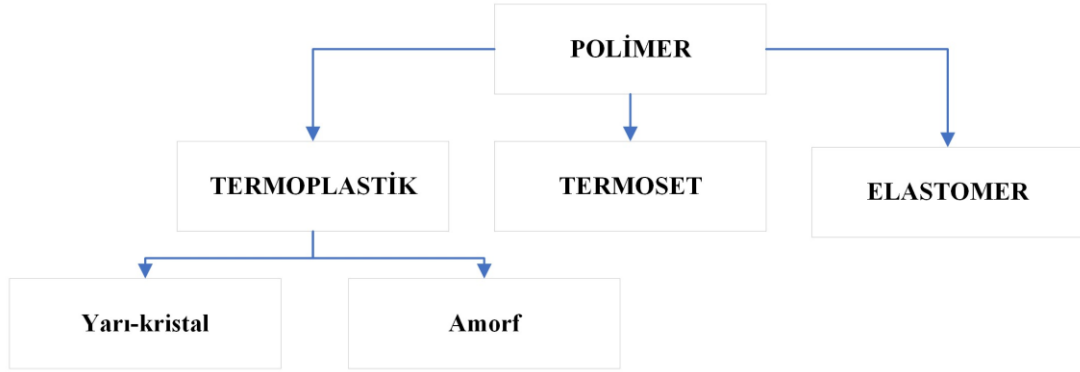
Yapılan bu çalışmanın amacı indüksiyon prosesinin kullanımıyla termoplastik malzemelerin birleştirilmesinin sağlanmasıdır. Ayrıca, çalışmanın diğer bir amacı ise literatürde indüksiyon makinesinin kullanımıyla plastik malzemelerin birleştirilmesi konusundaki yapılan çalışmalara katkı sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda, indüksiyon makinesi plastik bağlantıların hazırlanmasına imkân verecek şekilde geliştirilmiş ve bağlantı testleri ile bu yöntemin etkinliği test edilmiştir.

## BÖLÜM 2

### PLASTİKLER

Genel olarak plastikler, döküm, presleme veya ekstrüzyon prosedürleriyle şekillendirilebilen tüm makromoleküler bileşikleridir. Kimyasal yapılarına bağlı olarak sınıflandırılmaktadır (Pascault vd., 2002). Bunlar, termoplastik ve termoset polimerlerdir ve modern endüstrilerin ilerlemesi açısından önemli potansiyel sunmaktadır.

Plastik malzemelerin sınıflandırılmasında öncelikli olarak malzemenin bağlantı kuvvetlerine ve molekül yapılarına dikkat edilerek sınıflandırılması yapılmaktadır. Plastiklerin sınıflandırılması Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Plastiklerin sınıflandırılması [12].

Şekil 2.1’de de görüldüğü gibi plastik malzemelerin sınıflandırılması temelde 3 kategoriye ayrılabilir. Bunlar termoplastikler, termosetler ve elastomerlerdir. Termoplastikler ise kendi içerisinde yarı kristaller ve amorf olarak ikiye ayrılmaktadır. Yarı kristallere örnek olarak, yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE), düşük yoğunluklu polietilen (DYPE), poliamid (PA), polieter eter keton (PEEK), polipropilen (PP) ve polifenilen sülfid (PPS) verilebilir. Amorf polimerler ise, akrilonitril bütadiyen stiren (ABS), polikarbonat (PC), polietilen tereftalat (PET), polistiren (PS) ve polivinil

klorür (PVC)'dür. Elastomer malzemeye verilebilecek en yaygın örnek termoplastik poliüretan (TPU)'dir. Termoset malzemeye de epoksi örnek verilebilir [12].

## 2.1. TERMOPLASTİKLER

Termoplastikler ısıtıldıklarında sıvı hale gelen ve soğutulduklarında da katılaştıran polimer reçinelerden imal edilen plastik türüdür. Bu sebepten termoplastikler defalarca ısıtılabilen ve şekillendirilebilmektedir. Aynı zamanda termoplastiklerin bu özellikleri sonucunda geri dönüştürülebilir formda oldukları da söylenebilir [13]. Termoplastikler kendi içlerinde kristal yapılarına göre ve yoğunluklarına göre farklılaşmaktadır [14].

Termoplastik malzemeler eritilebilme özelliği ve sınırsız kullanım imkânı sağlaması özelliğiyle yeniden dökülebilen polimerler olarak da nitelendirilmektedirler. Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle birlikte termoplastik malzemelerin üretimlerinde sıklıkla hammadde olarak fosil ve biyolojik bazlı maddeler kullanılmaktadır [13,15,16].

PE, Etilen monomerinin ilave polimerizasyonu ile oluşmaktadır. Termoplastiklerin yarı kristal grubu içerisinde yer alan PE en sık kullanılan ve düşük maliyetli plastik türüdür. Saydam yapıya sahip, sudan hafif ve simetrik moleküler yapısı sebebiyle optimum düzeyde kristalleşebilmektedirler. PE ayrıca ekstrüzyonla işlenebilir. Bununla birlikte, DYPE, YYPE'den daha kolay ekstrüde edilebilir. PE yarı kristal bir polimerdir. Bu maddelerin kristalliklerinin artmasıyla özgül ağırlıkları, mukavemetleri ve yumuşama sıcaklıkları yükselmektedir. Genellikle paketleme, boru/hortum gibi malzemelerde, mutfak eşyalarında veya ev eşyalarında kullanılmaktadır [17,18].

PA ya da naylon, mükemmel mekanik ve termal özelliklere sahip en popüler mühendislik termoplastiklerinden biridir [19]. PA, PLA ve ABS'ye kıyasla daha yüksek mekanik özelliklere sahiptir [20]. Olağanüstü mekanik niteliklere ve olağanüstü işlenebilirliğe sahip biyoyumlu polimerdir.

PP, tüm polimerler arasında en düşük yoğunluğa sahip olan bir termoplastik malzemedir. Yoğunluğu yaklaşık olarak 0.906 kg/dm<sup>3</sup>tür. Polipropilen, mekanik özellikleri yoğunluğa ve erime noktasına bağlı olan bir malzemedir. Polipropilen, polietilene kıyasla daha yüksek dayanıklılığa ve yüzey sertliğine sahiptir. Ayrıca, daha iyi termal özelliklere sahiptir [21] Polipropilen, su emme özelliği çok düşüktür. Bu özellik, polipropilenin neme ve sıcaklığa karşı dayanıklı olduğu anlamına gelmektedir [22].

PLA biyolojik kaynaklı, biyolojik olarak emilebilir, biyolojik olarak kompostlanabilir ve biyolojik olarak parçalanabilir bir polimerdir [23–26]. Ayrıca PLA, ticari olarak temin edilebilen biyoplastik malzemeler arasında yüksek üretim kapasitesine sahiptir. Yüksek üretkenliği ve kolay erişimi olan PLA, ekonomik madde olarak bilinmektedir [27] PLA, petrokimyasal kaynaklardan türetilen biyolojik olarak parçalanabilir biyoplastik üretimi için yeşil alternatif maddedir [28,29]. PLA, iyi mekanik mukavemete, mükemmel optik özelliklere, iyi kompostlanabilirliğe, yüksek biyoyumulluluk kapasitesine ve iyi işlenme yeteneğine sahip yetenekli bir termoplastik alifatik polyesterdir [30,31] Bu malzemenin yumuşak ve elastikten serte kadar çeşitli mekanik özellikleri vardır. ve yüksek mukavemeti PLA'yı geniş bir uygulama yelpazesine uygun hale getirir [32].

PC, yapısında yüksek tokluk, şeffaflık ve yüksek darbe dayanımı gibi özellikler barındıran karbonat grubunun varlığı nedeniyle son zamanlarda endüstriden akademiye kadar sıklıkla kullanılmaktadır [33].

PEEK, yüksek mekanik ve termal özellikleri nedeniyle medikal malzeme olarak kullanılmaya uygun, yarı kristal, yüksek performanslı termoplastik polimerdir [34–36]. Ayrıca, düşük sertliğine rağmen aşınma direnci metal alaşımlarıyla karşılaştırılabilir düzeydedir [37].

## **2.2. TERMOSETLER**

Termoset polimerler, ısı veya kimyasal reaksiyonlarla sertleşen ve ardından geri dönüştürülemeyen polimer tipidir. Bu tür polimerler, bir kez sertleştikten sonra eritilip

tekrar şekillendirilemezler. Termosetlerde, zincirler, kütleme işlemi sırasında oluşan üç boyutlu ağda kovalent bağlar (veya kimyasal çapraz bağlantılar) yoluyla bağlanmaktadır. [38,39]. Bu nedenle akış, yalnızca çapraz bağların termal veya kimyasal olarak kırılmasıyla mümkün olabilir ve bu da polimerin geri dönüşü olmayan bir şekilde bozulmasına yol açmaktadır [40,41].

Günümüzde termosetler küresel plastik malzeme üretiminin yaklaşık %15'ini oluşturmaktadır ve genel olarak çevresel çatlama, solvente veya aleve karşı dirençlidir [42]. Boyutsal stabilitenin ve düşük sürünmenin gerekli olduğu tüm ürünlerde bulunabilir. Çapraz bağlı doğalarından kaynaklanan bu özellikler genellikle termoplastiklere göre daha üstün veya daha düşük maliyetle olmasını sağlamaktadır [43]. Boya, yapıştırıcı ve çimento pazarının büyük çoğunluğunu termoset malzemeler karşılamaktadır [44].

Termoset poliüretanlar (PU) buzdolaplarının, binaların ve tren vagonlarının ısı yalıtımı için sert köpükler olarak kullanılırken, otomotiv koltuklarında, mobilyalarda ve yataklarda esnek köpükler kullanılmaktadır. PU kaplamalar özellikle aşınmaya ve hava koşullarına karşı dirençlidir ve bu nedenle otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır [44].

Doymamış polyesterler, maliyet ve mekanik/termal özellikler arasında uygun bir oran sunan, özellikle cam ile fiber takviyeli kompozitler için emtia termosetini temsil etmektedir. Doymamış polyesterler bazlı kompozitler otomobil bileşenlerinde (tavan, çamurluk, gövde) olarak ve denizcilik endüstrisinde yelkenli ve motorlu teknelerin gövdesini oluşturmak için kullanılmaktadır [44].

Epoksi reçineler, diğer termoset polimerlere kıyasla üstün mekanik mukavemetleri ve hava koşullarına dayanıklılıkları nedeniyle mühendislik termosetleri olarak kabul edilmektedir. Üretim hacimleri nispeten daha düşük ve maliyetleri daha yüksektir ancak üstün performansları onları koruyucu ve korozyon önleyici kaplamalar, yapısal yapıştırıcılar, tıbbi ve diş yapıştırıcıları için birincil tercih haline getirmektedir. Ayrıca, havacılık ve uzay uygulamalarına yönelik mühendislik kompozitlerinin çoğu epoksi bazlıdır [44].

### 2.3. ELASTOMERLER

Elastomer hem elastik hem de viskoz özelliklere sahip polimerik malzemedir. Bu elastomerler, zayıf moleküller arası kuvvetlerle eğilimli daha uzun polimerik zincirlerle tutunmaktadır. Adı, malzemenin uygulanan kuvvet/gerilimden kurtulduktan sonra orijinal şekline geri dönen benzersiz özelliğe sahip olduğunu belirtmektedir. Gerildiği zaman, zayıf bağ kuvvetleri bunların büyük ölçüde uzamasına ve esnek ya da yapışkan hale gelmesine neden olmaktadır [45,46].

Elastomerler, ağır yükler altında tersine çevrilebilir şekilde deforme olma kapasiteleri nedeniyle lastikler, contalar, koruyucu eldivenler ve sönümlenme emiciler gibi endüstriyel alanda daha fazla kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yüksek deforme olabilirliğin korunması, üst sınırdaki rijitlik gerektirmektedir. Kapsamlı durumlarda, katkı maddeleri/takviyeler içermeyen elastomerler, kritik elastisite modül değerinin üzerinde kırılma davranışı göstermektedir [47–49]. Son yıllarda elastik özelliklere sahip biyolojik olarak parçalanabilen polimerik malzemeler, tıbbi alanda kan damarları, kalp kapakçıkları, kırık, tendonlar ve mesane gibi elastik yumuşak dokulara yönelik potansiyel uygulamaları nedeniyle ilgi çekmektedir. Pek çok bozunabilir elastomer üretilmiş olmasına rağmen, pahalı üretim süreçlerine ihtiyaç duymaktadır. Sonuç olarak doku mühendisliğinde kullanımları klinik uygulamalar için tamamen ve ticari olarak uygun değildir [50,51].

## BÖLÜM 3

### 3 BOYUTLU YAZICILAR

Eklemeli imalat (Eİ) veya hızlı prototipleme olarak da bilinen üç boyutlu yazdırma teknolojisi son yıllarda sıklıkla kullanılmaktadır. Çalışan ilk 3 boyutlu yazıcı, 1984 yılında 3-D Systems Corp'tan Charles W. Hull tarafından oluşturulmuştur. Makineye “Sterolithgraphy Apparatus” adını vermiştir [52]. 3B yazıcı, standart mürekkep püskürtmeli yazıcıya çok benzer şekilde çalışmaktadır, ancak kağıt üzerine mürekkep katmanları yazdırmak yerine, 3B yazıcı üç boyutlu nesne oluşturmak için malzemeler kullanmaktadır [53]. Eİ terimi, 3B yazdırma, hızlı prototipleme, doğrudan dijital üretim, katmanlı üretim ve eklemeli imalat gibi alt kümeler de dahil olmak üzere birçok teknolojiyi kapsamaktadır.

Katmanlı üretim ya da 3B yazdırmanın endüstriyel versiyonu, halihazırda birçok sektörde ürünlerin yapımında kullanılmaktadır. 3B yazdırma ve eklemeli üretim terimleri birbirlerinin yerine kullanılabilir hale gelmiştir. Katmanlı üretim terimi, birbirini takip eden ince malzeme katmanlarını biriktirerek nihai üç boyutlu ürün üreten teknolojiyi veya katmanlı süreci ifade etmektedir. Her katman yaklaşık 0,001 ila 0,1 inç kalınlığındadır [54]. Plastikler, reçineler, kauçuklar, seramikler, camlar, betonlar ve metaller gibi çok çeşitli malzemeler kullanılmaktadır [52]. Bir parçanın veya bitmiş ürünün modelini/prototipini hızlı şekilde oluşturma süreci olarak adlandırılabilir. Bu parça veya bitmiş ürün, seri üretim gerçekleşmeden önce daha fazla test edilecek ve incelenecektir. Ticari 3B yazıcıların çoğu benzer işlevselliğe sahiptir. 3B yazıcılar, tasarımı üç boyutlu bir nesneye dönüştürmek için bilgisayar destekli tasarım (CAD) kullanmaktadır. Tasarım daha sonra, 3B yazıcıya malzeme katmanlarının nereye yerleştirileceği talimatını veren birkaç iki boyutlu plana dilimlenmektedir.



Eİ yöntemleri, karmaşık yapıların ince çözünürlüklerde basılması talebini karşılamak için geliştirilmiştir. Hızlı prototipleme, büyük yapıların basılabilmesi, yazdırma hatalarının azaltılması ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesi Eİ teknolojilerinin gelişmesini sağlayan temel faktörlerden bazılarıdır. Esas olarak polimer filamentler kullanan en yaygın 3B yazdırma yöntemi, EYM olarak bilinmektedir. Ayrıca, üç boyutlu yazdırmada seçici lazer sintereleme (SLS), seçici lazer eritme (SLE) veya sıvı bağlama yoluyla tozların katkılı üretiminin yanı sıra mürekkep püskürtmeli yazdırma (bağlayıcı püskürtme, (BP)), kontur işçiliği, stereolitografi (SLA), doğrudan enerji biriktirme (DEB) ve lamine nesne üretimi (LNÜ) Eİ'nin ana yöntemleridir [55]. Bu yöntemlerin kapsamlı bir incelemesi Bhushan ve Caspers çalışmalarında bulunabilir [56]. Bu tez çalışmasında EYM yöntemi tercih edilmiştir. Diğer Eİ yöntemleri avantaj ve dezavantajları ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.1'de verilmiştir.

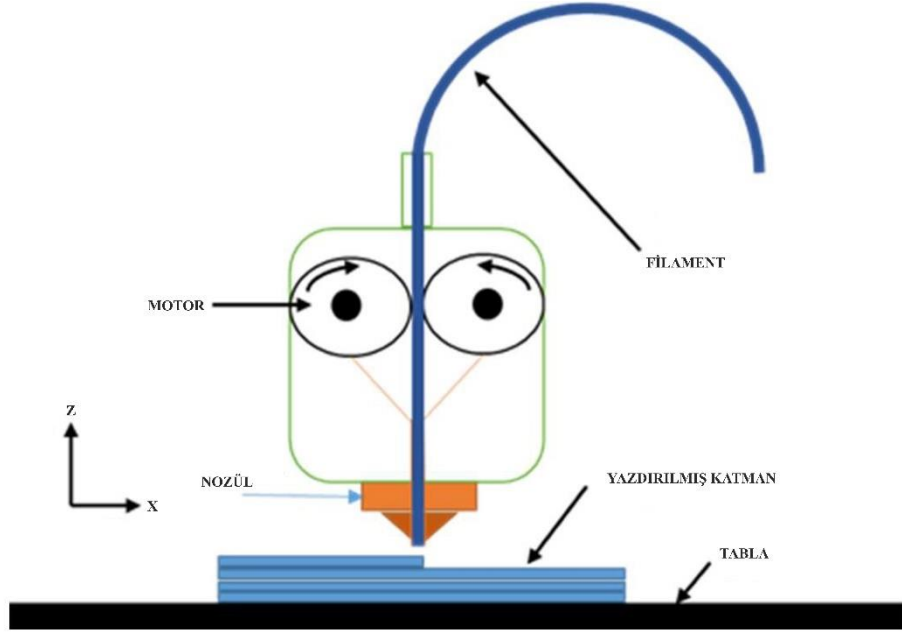
**Çizelge 3.1.** Eİ yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları [57].

<b>Eİ yöntemi</b>	<b>Avantajları</b>	<b>Dezavantajları</b>
SLA	Yüksek yüzey kalitesi. Karmaşık parçalar kolayca üretilebilir. Yüksek doğruluk. Yüksek termal dayanıklılık. Bu işlemlerle yapılan 3B yazdırmalı parçalar döküm için kalıp görevi görebilir.	Lazere daha az yüzey alanı maruz kalır (yaklaşık 0,15 mm), bu da onu yavaş bir süreç haline getirir. Yüksek ilk yatırım maliyeti. Sarkan parçaların üretimi zordur. Işığa duyarlı reçinenin kullanımı zordur.
EYM	Yüksek yüzey kalitesi. Daha az ilk yatırım maliyeti. Karmaşık şekiller kolayca yapılabilir. Hurda oluşumu yok. Yüksek esneklik	Yavaş bir süreçtir, ancak geçen süre üretilecek parçaya bağlıdır. Kalite SLS kadar iyi değildir.
Toz Yatağı Füzyonu	Düşük maliyetli. Harici destek gerekmez. Geniş malzeme seçeneği. Toz geri dönüşümü.	İşlem sonrası gerekli. Bu işlemlerle oluşturulan malzemelerin zayıf yapısal özellikleri. Zaman alan bir süreçtir.
SLS	Yukarıdaki iki süreçle üretilemeyen karmaşık parçalar SLS kullanılarak kolayca üretilebilir. Seri üretim için uygundur. İyi doğruluk ve hassasiyet.	Yüksek üretim maliyeti Sonradan işleme gerektirir Büyük yüzeylerin, küçük deliklerin doğru bir şekilde üretilmesi zordur.

BP	Yüksek çözünürlük. Yüksek yüzey kalitesi. Sonradan işlemeye gerek yoktur. Geniş bir alana yazdırma yapılabilir. Tek seferde birden fazla yazdırma.	Sınırlı malzeme mevcuttur. Düşük parça mukavemeti. Yazdırma için alt tabaka gereklidir.
DEB	Daha yoğun parçalar oluşturmak mümkündür. Özellikleri geliştiren yönlü katılaşmaya izin verir. Bileşenlerin onarımı ve yenilenmesi için etkili bir şekilde kullanılır.	Zaman alan süreç. Düşük çözünürlük ve yüzey kalitesi. Sınırlı malzeme mevcuttur.
LNÜ	Harici destek gerekli değildir. Ucuzdur. Hızlı işlem. Büyük parçalar için uygundur.	İşlem sonrası gereklidir Zayıf boyutsal doğruluk. Kötü yüzey kalitesi Karmaşık parçaların üretimi zordur.

### 3.1. EYM TEKNOLOJİSİ

EYM yönteminde, malzeme katmanlarını 3B yazdırmak için termoplastik polimerin sürekli filamentini kullanılmaktadır (Şekil 3.1). Filament, yarı sıvı duruma ulaşmak için nozulda ısıtılmakta ve daha sonra platform üzerinde veya önceden basılmış katmanların üzerine ekstrüde edilmektedir. Polimer filamentin termoplastik özelliği, filamentlerin yazdırma sırasında birbirine kaynaşmasını ve yazdırmadan sonra oda sıcaklığında katılaşmasını sağlayan bu yöntem için temel bir özelliktir. Katman kalınlığı, filamentlerin genişliği ve oryantasyonu ve hava boşluğu (aynı katmanda veya katmanlar arasında), yazdırılmış parçaların mekanik özelliklerini etkileyen ana işlem parametreleridir [58]. Katmanlar arası bozulma, mekanik zayıflığın ana nedeni olarak bulunmuştur [59]. Düşük maliyet, yüksek hız ve işlemin basitliği EYM'nin temel avantajlarıdır. Öte yandan, zayıf mekanik özellikler, katman katman görünüm, düşük yüzey kalitesi [60] ve sınırlı sayıda termoplastik malzeme EYM'nin ana dezavantajlarıdır [58]. EYM kullanılarak elyaf takviyeli kompozitlerin geliştirilmesi, 3B yazdırılmış parçaların mekanik özelliklerini güçlendirmiştir [61]. Bununla birlikte, elyaf oryantasyonu, elyaf ve matris arasındaki bağlanma ve boşluk oluşumu, 3B yazdırılmış kompozit parçalarda ortaya çıkan ana zorluklardır [61,62].



Şekil 3.1. EYM yazdırma şeması [63].

### 3.1.1. EYM’de Kullanılan Filamentler

3B yazıcılarda kullanılan filamentler genel olarak termoplastik bazlı hammaddelerden imal edilmektedir. Filamentler, granül halinde bulunan termoplastikler ve katkı malzemelerinden tek veya bütün bir şekilde kullanılmasıyla eritilmesi ve 1.75-3 mm çaplarında bulunan nozullar aracılığıyla tekrardan şekillendirilmesi ilkelerine dayanmaktadır [64]. Çizelge 3.2, çeşitli malzeme sınıflarının ve örneklerinin özelliklerini ve uygulamalarını detaylandırmaktadır.

Çizelge 3.2. EYM yönteminde kullanılan filamentlerin özellikleri ve uygulama alanları [65–67].

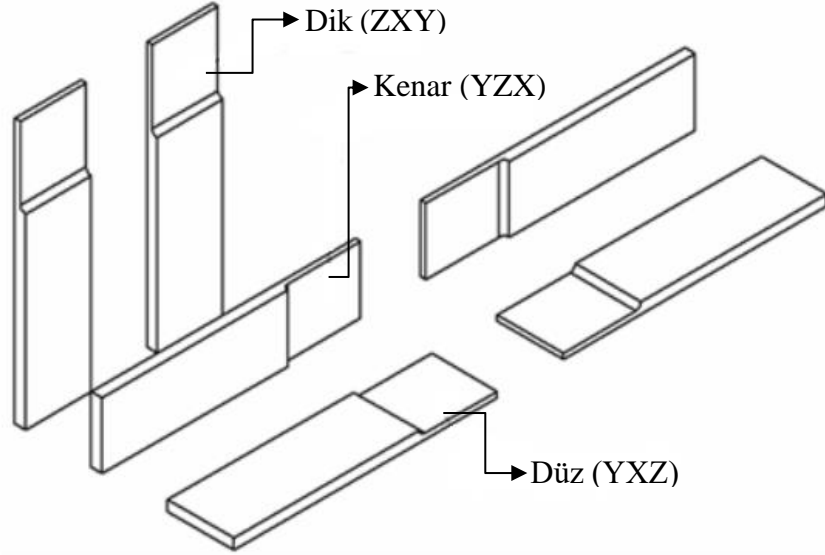
Malzeme Sınıfı	Malzeme	Özellik	Uygulamaları
Termoplastik Polimer	PLA, ABS, HDPE, PPSF, PC, PETG, Ultem 9085, PTFE, PEEK, Akriilonitril Stiren Akriyat (ASA), Naylon 12, vb.	Bununla ilişkili özellikler arasında tokluk ve mukavemet, UV stabilitesi, iyi kimyasal direnç ve yüksek darbe mukavemeti ile birlikte yüksek yorulma direnci bulunur.	Mükemmel termal direnç özellikleri nedeniyle, havacılık ve aerodinamik uygulamaları için uygundur.

Polimer Matrisli Kompozitler	Cam Fiber Takviyeli Polimer (CFTP), Karbon Fiber Takviyeli Polimer (KFTP)	Tokluk, süneklik, akma dayanımı vb. ile uyumluluk.	Yapısal uygulamalar.
Biyolojik Malzemeler	Biyomürekkep	Kolay basılabilir, istenen mekanik özelliklere sahip, kolayca biyolojik olarak parçalanabilir ve yüzeye kolayca değiştirilebilir fonksiyonel gruplar yerleştirebiliriz, yazdırma sonrası olgunlaşma yeteneği daha iyidir, biyolojik olarak uyumludur ve basıldıktan sonra 3B yazdırmalı yapıyı koruyabilir.	Biyoyazdırma organlar ve iskeleler.

### 3.1.2. EYM Yazdırılmış Parçaların Mekanik Özellikleri

Roy ve Mukhopadhyay [68], ABS ve PLA malzemelerinin EYM parçalarını, silindirin sabit dönme hızı ve kuru durumda sabit yuvarlanma süresi altında düşük yüklerde EN 8 çelik silindire karşı sürtünme ve aşınma dirençlerini kontrol etmek için test etmişlerdir. PLA parçalarda boyutsal sapmanın daha fazla olduğu ve PLA'daki aşınma oranının ABS'den daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. Sezer ve Eren tarafından yapılan çalışmada [69], çok duvarlı karbon nanotüpler, çift vidalı ekstrüder kullanılarak malzeme içinde homojen şekilde dağıtıldığında ABS malzemesinin mekanik ve elektriksel özelliklerinde artış görmüşlerdir. Daha yüksek çok duvarlı karbon nanotüp oranından oluşan numunelerin çekme mukavemetinin daha düşük orandan oluşanlara göre daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. Kovan vd. [70], PLA malzemesini kenar, düz ve dik yönlerde farklı bağlantılar kullanarak kullanmayı denemişlerdir. Numunenin yazdırılmasını 125  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$  ve 500  $\mu\text{m}$ 'lik farklı katman kalınlıklarıyla yapmışlardır. Çalışmalarında, kalınlık arttıkça yüke karşı dayanımın azaldığını bulmuşlardır. Kenar yönünde basılan parçanın, daha düşük katman kalınlığında en yüksek bağlantı dayanımını, düz olarak basılan parçanın, daha yüksek katman kalınlığında en yüksek bağlantı dayanımını gösterdiğini belirtmişlerdir. Christyan vd. [71], numunelerin çekme ve eğilme mukavemetlerini kontrol etmek için farklı ASTM D638 ve ATSM D790 standartlarına sahip dokuz ABS

silikat kompozit malzeme numunesini test etmişlerdir. Numunelerin kalınlığı yazdırma hızıyla birlikte arttıkça maksimum çekme ve eğilme mukavemetlerinde azalma fark etmişlerdir.



Şekil 3.2. 3 Farklı yazdırma oryantasyonu [70].

Yazdırılmış parçanın yazdırma boşluğu, aynı katmanın iki bitişik tarama arasındaki boşluktur. Bu boşluk, yazdırılacak parçanın yazdırma açısı ve katman kalınlığı gibi diğer parametrelerden doğrudan etkilenmektedir [72]. Sood vd. [59], hava boşluğuna bağlı olarak mekanik özelliklerde görülen değişiklikleri anlamak için ABS P400 numunesini çekme, eğme ve darbe dayanımını test etmişlerdir. Küçük hava boşluklarının oluşmasının, iki tarama arasında güçlü bağ oluşmasına yardımcı olduğunu ve çekme dayanımını artırdığı bulmuşlardır. İki katman arasında küçük hava boşlukları mevcut olduğundan, ısı dağılımı sorunlarının oluştuğunu ve bu durumdan dolayı artık gerilmeler meydana geldiğini belirtmişlerdir. Eğilme mukavemeti için hava boşluğu değerinin artmasının numunenin dayanımının artırdığını bildirmişlerdir. Enjeksiyonla kalıplanmış parçalar ile EYM parçaları arasındaki karşılaştırma Dawoud vd [54], tarafından yapılmıştır. ABS parçanın EYM’de, negatif hava boşluklarının kullanılmasıyla maksimum yoğunluğa ulaştığını ve pozitif hava boşluklarının kullanılmasıyla nispeten düşük yoğunlukla sonuçlandığını belirtmişlerdir. EYM parçalar için -0,05 mm’lik negatif katmanın,

enjeksiyonla kalıplanmış parçalara neredeyse eşdeğer yoğunluğa ulaştığı sonucuna varmışlardır.

### **3.1.3. EYM Yazdırılmış Parçaların Termal Özellikleri**

Yang vd. [73], tarafından yapılan araştırmada, yazdırılabilirlik için kristalleşme erime davranışını ve erime akış hızını test etmek amacıyla EYM işlemi için PLA/karbon nanotüp kompozit filamentler hazırlamışlardır. Hazırladıkları filamentin reolojik özelliklerin yanı sıra karbon nanotübün çekme ve eğilme dayanımları üzerindeki etkisini de test etmişlerdir. Sonuçlar, saf PLA'ya kıyasla PLA'ya karbon nanotüp ilavesinin çekme ve eğilme dayanımında artış sağladığını görmüşlerdir [45]. Kumar vd. [74], alüminyum metal tozunu çift vidalı ekstrüzyon ve EYM teknikleriyle güçlendirerek eriyik akış özelliklerini belirledikten sonra ABS ve PA6'nın uyumluluk analizini incelemek için test gerçekleştirmişlerdir. PA6'da alüminyum takviyesinin erime noktasında hafif artışa neden olduğunu bulmuşlardır.

Filament ekstrüderden geçerken belirli sıcaklıkta ısıtılmaktadır. Bu sıcaklık, termoplastik filamentin özelliklerine, yazdırma hızına ve yazdırılan parçanın son kullanımına bağlı olmaktadır. Nozul ve tabla sıcaklıkları, yazdırılan kompozitlerin eriyik akışkanlığını ve kristalleşmesini etkilemektedir [75]. Ding vd. [76], nozul ve tabla sıcaklığının PEEK ve PEI parçaların mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. PEEK'in eğilme dayanımının nozul sıcaklığıyla birlikte arttığını ancak 390 °C'ye ulaştıktan sonra sabit olduğunu, PEI'nin eğilme dayanımının 390 °C'nin altında değişiklik göstermediğini ancak 390 °C'den sonra arttığını belirtmişlerdir. Yazdırılmış parçanın mikro yapısını anlamak için Wang vd. [77], ağırlıkça %5 karbon fiber ve cam fiber takviyeli PEEK kompozit filamentlerin çekme, eğilme ve darbe dayanımını araştırmışlardır. Nozul sıcaklığı arttıkça daha iyi şekillendirilebilirlik ve erime akışkanlığının elde edildiği sonucuna varmışlardır. Ayrıca hız oranının ve katman kalınlığının artmasının bu malzeme üzerinde ters etki oluşturduğunu da kaydetmişlerdir.

### 3.1.4. EYM Kullanım Alanları

EYM teknolojisi, geleneksel talaşlı imalatla üretilemeyen, dayanıklı ve aynı zamanda ULTEM, ABS, PLA, polikarbonat, polifenilsülfon gibi yüksek mukavemetli termoplastik malzemelerden üretilen bileşenlerin imalatına izin veren en popüler Eİ teknolojilerinden biridir [78–80]. Son kullanıcılar için hızlı ve ucuz parçalar, prototipler veya kaba ve sert parçalar gerektiren çok yönlü uygulamalar EYM teknolojisi ile üretilebilir. EYM ayrıca, ağırlığı azaltmak ve yine de yeterince sağlam ürün için geleneksel metal bileşenlerin yerini EYM fabrikasyon parçalarının aldığı Havacılık ve Uzay endüstrisinde de uygulamalarda yer bulmuştur. EYM teknolojisinin uygulanmasının bir sonucu olarak parça onarımı için geri dönüş süresi de azalmıştır. NASA'dan Mars Rover'ın, uzayın zorlu ortamına dayanabilmesi için hafifliği ve dayanıklılık özellikleri nedeniyle 70'e yakın üretim sınıfı termoplastik parçaya sahip olduğu bildirmiştir [81]. EYM parçaları aynı zamanda daha az yüzey kalitesi ve daha az çözünürlük gerektiren prototip uygulamalarında da kullanılmaktadır. Çünkü maliyeti düşürmekte ve hiçbir kimyasal son işlem gerektirmemektedir [82]. Son zamanlarda Stratasy ve Aurora Flight Sciences tarafından ULTEM 9085 malzemesi ve iç kanat tasarımında petek iç yapının kullanıldığı EYM teknolojisi ile düşük ağırlıklı ancak yüksek mukavemetli insansız hava aracının üretildiği bildirilmiştir. Boeing, 777-300ER kapı kolu ve kamera kasası için EYM parçalarını kullanılmıştır. Ayrıca Moog Aircraft Group, bakım fikstürlerinin üretimi için EYM'yi de benimsemiştir [83–87]. Ayrıca, Otomotiv Mühendisleri Derneği için otomobil emme manifoldlarının EYM kullanılarak üretildiği de bildirilmiştir [88]. EYM aynı zamanda kişiselleştirilmiş tıp için tıbbi endüstrilerde de uygulamalar bulmuştur [89]. Ek olarak EYM, iskele ve doku mühendisliğinde de yaygın olarak kullanılmaktadır [90–92]. .

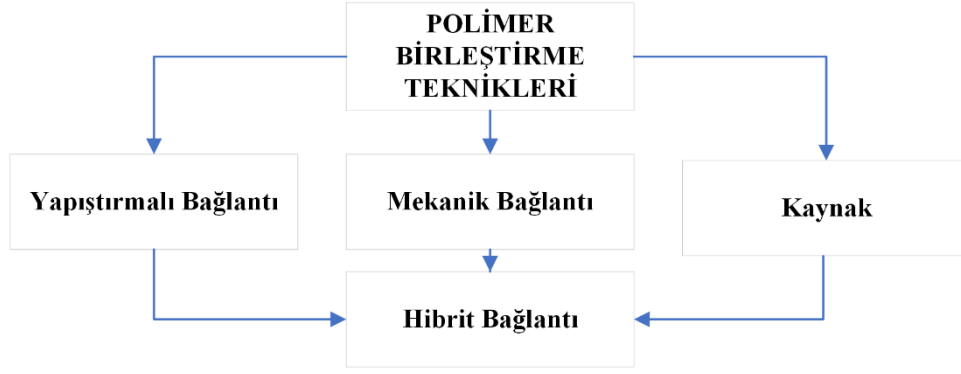
## BÖLÜM 4

### POLİMER BİRLEŞTİRME TEKNİKLERİ

Modern toplum, ileri mühendislik polimerleri ve polimerik matrisli kompozitlerin kullanımıyla mümkün olan çeşitli araçları, bileşenleri ve ekipmanları oldukça çok kullanmaktadır. Otomobiller, cep telefonları, bilgisayarlar ve tıbbi cihazlar, ekonomik olarak büyük ölçekte üretilmesi gereken bu nesnelere örneklerini oluşturmaktadır. Bu ürünlerin karmaşık tasarımı nedeniyle birleştirme teknolojileri bunların yapımında önemli rol oynamaktadır ve polimerik malzemelerin birleştirilmesinin önemi bu nedenle önemli ölçüde artmıştır. Tasarım esnekliğini artıran, polimerik bileşenlerin mekanik davranışını iyileştiren ve dayanıklılıklarını artıran, hasarları azaltan ve hizmet ömrünü artıran birleştirme teknolojilerinin geliştirilmesine önemli çaba sarf edilmiştir [93–95]. Polimer birleştirme teknikleri artık hem yapısal hem de yapısal olmayan uygulamalarda, örneğin termal sistemlerde ve kaplamalarda geniş kullanım alanı bulmaktadır. Biyouyumlu malzemelerle üretilen biyomedikal bileşenlerde olduğu gibi, düşük kimyasal reaktivitenin gerekli olduğu uygulamalar için özel polimerik birleştirme teknikleri de mevcuttur [96–98].

Literatürün genel analizi, polimerlerle kullanıma uygun birleştirme işlemlerinin sayısının çok fazla olduğunu ve sürekli gelişim halinde olduğunu, klasik birleştirme yöntemlerinin sınırlamalarını aşan yeni alternatifler sağladığını göstermektedir [99–101]. Mevcut tekniklerin sayısı çok fazla olmasına rağmen, polimerleri birleştirme yöntemlerinin tümü üç ana grupta sınıflandırılabilir. Bunlar Şekil 4.1’de gösterildiği gibi yapıştırma, mekanik birleştirme ve kaynaktır. Ayrıca bu farklı teknikleri tek bir bağlantıda birleştiren hibrit birleştirme yöntemleri de geçerli bir çözüm olmuştur.





**Şekil 4.1.** Polimerleri birleştirmenin ana işlemi [102].

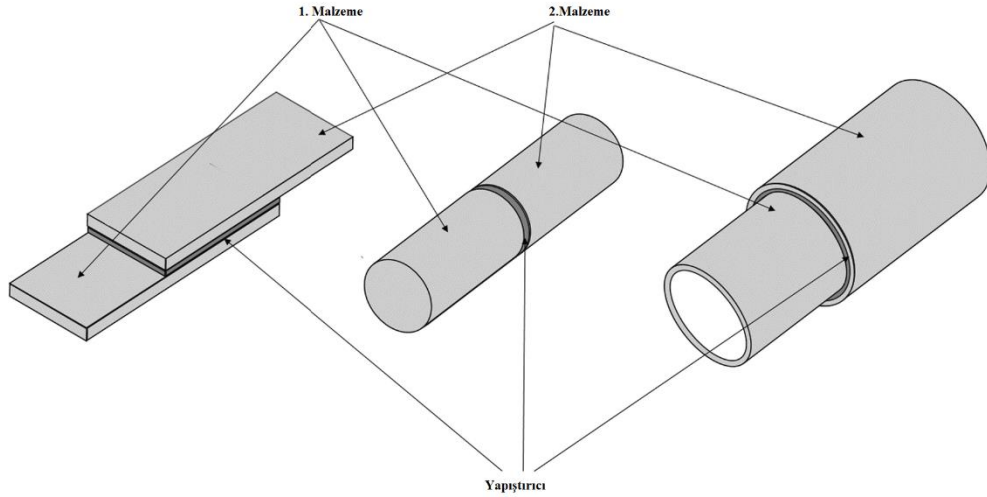
Polimer birleştirme tekniklerini analiz ederken dikkate alınması gereken önemli husus, bunların termoplastik veya termoset polimerlerle kullanıma uygunluğu arasındaki ayrımın yapılmasıdır [103,104]. Bu, bağlantıyı sağlamak için malzemenin kaynaşmasına dayanan yöntemler için özellikle önemlidir. Ek olarak, bazı metodolojilerin karmaşık geometrilere uygulanabilirliği konusunda sınırlamaları vardır ve bu da bağlantı konfigürasyonlarını ve konturlarını kısıtlamaktadır [105]. Bu spesifik özellikler göz önünde bulundurulduğunda, daha yüksek performanslı bağlantı noktaları elde etmek ve daha az kısıtlı süreçler tasarlamak için çoklu birleştirme süreçleri arasındaki sinerjileri araştıran hibrit süreçlerin uygulanması giderek daha popüler hale gelmiştir [101,104].

#### **4.1. YAPIŞTIRMALI BAĞLANTI**

Mühendislik amaçlı kullanımı nispeten yeni olmasına rağmen, yapıştırıcıyla birleştirme eski bir tekniktir ve ilk olarak ilk uygarlıklar, aletler ve diğer ilkel aletler üretmek için ağaç liflerinden elde edilen doğal yapıştırıcı olan lignin gibi çeşitli doğal malzemelerin yapıştırıcı özelliklerini keşfetmeye başladığında kullanılmıştır. Her ne kadar bu ilk yapıştırıcıların mekanik performansı çok sınırlı olsa da sonraki teknolojik gelişmeler giderek daha güçlü yapıştırıcıların ortaya çıkmasına yol açmıştır. Kimyasal sentez yoluyla elde edilen bu yapısal yapıştırıcılar çok daha büyük yapısal mekanik yükleri desteklemektedir. Bu tekniğin uygulanmasına öncülük eden endüstriyel sektörler, yapıştırıcıların metalleri, polimerleri ve kompozitleri birleştirdiği oldukça karmaşık çok malzemeli araç yapıları üretmek için kullanan otomotiv ve havacılık endüstrileri olmuştur [95,98,106].

Yapıştırırmalı bağlantı birçok farklı malzemenin yapıştırılması için uygundur [106–111]. Ancak en önemli özelliği, farklı malzemeleri birleştirme konusundaki diğer yöntemlere göre oldukça avantajlıdır. Bu uygulamaların çoğunda, birleştirilecek iki malzemenin biri genellikle polimer veya fiberle güçlendirilmiş bir polimer kompozit olmuştur.

En temelde, yapıştırıcıyla birleştirme tekniği, yapıştırıcı adı verilen sabitleme malzemesi kullanılarak iki malzemenin (levhaların) bağlantıyı oluşturmak üzere birleştirilmesinden oluşmaktadır. Yapıştırıcı genellikle kurlenmemiş sıvı formda veya macun formunda iki levha arasına uygulanmakta ve daha sonra katı nihai ürün halinde polimerize edilmektedir. Aynı zamanda katı halde de uygulanabilir, ek yerini oluşturmak için eritilebilir ve daha sonra katı bağlantı oluşturmak için soğutulabilir. Her iki yöntem de daha kaliteli, hatasız bağlantı oluşturmak için baskı kullanabilir. Yapışkan bağlantının gücünü veya yapıştırıcının gücünü değerlendirmek için birçok farklı türde bağlantı geometrisi mevcuttur [102]. Şekil 4.2’de en sık kullanılan geometrilerden bazılarının örnekleri gösterilmektedir.



**Şekil 4.2.** Yapıştırırmalı bağlantıların performansını test etmek için kullanılan bağlantı örnekleri: sırasıyla, basit bindirmeli bağlantı, tüp uç uca bağlantı ve tüp bindirmeli kesme bağlantısı [112].

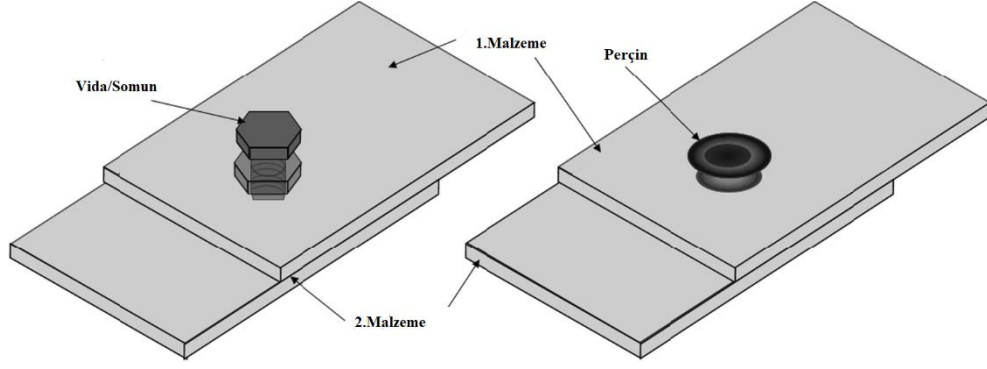
Birçok uygulama için son derece avantajlı olmasına rağmen, polimerlerin yüzey enerjisi oldukça düşük olduğundan, polimerik levhaların yapıştırıcı ile bağlanması

oldukça karmaşıktır. Modern yapıştırıcılar da çoğunlukla polimerik yapıda olduğundan, düşük seviyede yüzey enerjisi sergilerler ve bu neredeyse kaçınılmaz olarak yapıştırıcı-polimer arayüzünde düşük yapışmaya yol açmaktadır [95]. Bu nedenle uygun yüzey işlemlerinin uygulanmasıyla bu sorunun önüne geçilmesi gerekmektedir. Bu tedaviler doğası gereği pasif veya aktif olabilir. Pasif tedavi levha yüzeyinin morfolojisini değiştirirken, aktif tedavi levhanın kimyasını etkili şekilde değiştirerek yüzey enerjisini büyük ölçüde artırmaktadır. Ebnesejad vd. [113] polimer yapıştırılmalı bağlantılar için yüzey hazırlama tekniklerinin ayrıntılarını açıklamıştır.

Yapıştırılmalı bağlantılarda bağlantıların zorlu çevre koşulları altındaki davranışı birçok çalışmanın hedefi olmuştur [114,115]. Borges vd. [116], bu durumun, birleştirilmiş polimerik bileşenlerin tasarımı için kritik konu olduğunu belirtmiştir. Çünkü bu polimerik malzemelerin, yapıştırıcı ile alt tabaka arayüzüne geçebilen ve bağlantı mukavemetini azaltabilen ve yapıştırıcının bozulmasına neden olabilen suyu emdiğini rapor etmişlerdir.

## **4.2. MEKANİK BAĞLANTI**

Polimerlerin mekanik olarak birleştirilmesi, iki veya daha fazla malzemeyi bir araya getiren bağlantı kuvvetleri oluşturmak için mekanik yüklerin veya yardımcı mekanik bileşenlerin kullanılmasından oluşmaktadır. Polimerlerde plastik deformasyon yoluyla mekanik birleştirme mümkündür, ancak polimerlerin düşük elastisite modülü genellikle bu yaklaşımı engellediğinden metallerde daha yaygındır. Bu nedenle, polimerlerin mekanik birleştirilmesinde genellikle vidalar, perçinler ve pimler gibi bağlantı elemanları kullanılmaktadır [102]. Şekil 4.3'te gösterildiği gibi basit bindirmeli bağlantıları temsil etmektedir.



**Şekil 4.3.** Sol tarafta vida/somunla ve sağ tarafta perçinle birleştirilmiş mekanik bağlantı [102].

Kullanımları sıklıkla olmasına rağmen, mekanik bağlantıların dayanımı, uygulamanın etkinliğini büyük ölçüde etkileyen birkaç farklı değişken ve parametreye bağlı olmaktadır [117]. Yüksek performanslı uygulamalar için bu, önemli tasarım zorluklarına neden olmaktadır. Ancak daha basit ve daha az maliyetli birçok uygulamada, özellikle farklı malzemelerin yapıştırıldığı ve düşük sızdırmazlık kapasitesinin gerekli olduğu durumlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [118,119]. Bu tekniğin ana dezavantajlarından biri, bağlantı elemanlarının konumunda meydana gelen oldukça lokalize gerilimler oluşturmalarıdır. Bu, polimerler ve bazı polimer kompozitler gibi yumuşak ve düşük mukavemetli malzemeler için alt tabakada hasar olasılığının yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Bu teknik, inşaat mühendisliği ve mekanik inşaat sektörlerinin yanı sıra elektronik uygulamalar için de kullanılmaktadır [120–122]. Birçok uygulamada polimerlerin yapıştırılmasında mekanik birleştirme yaygın olarak kullanılmaktadır ve son gelişmelerin ve çalışmaların çoğu, uzun elyaf takviyeli kompozitlerin, metallerin ve hatta betonun birleştirilmesi için bağlantı elemanlarının kullanımına odaklanmaktadır [101,123–125].

### 4.3. KAYNAK

Polimerlere yönelik kaynak teknikleri günümüzde birçok endüstriyel alanda kullanılan yöntemlerdir. Ancak bunların uygulamaları hala bazı polimer sınıfları ve bağlantı konfigürasyonlarıyla sınırlı kalmaktadır. Son yıllarda daha geniş malzeme yelpazesine uygulanabilecek iyileştirilmiş kaynak proseslerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar artmıştır. Kızılötesi kaynak, zorlamalı karışık ekstrüzyon tekniği ve sürtünme

karıştırma kaynağı gibi bazı yeni işlemler geliştirilmiştir [126,127]. Termoplastik kompozit kaynak alanı, birleştirme teknolojisinde hala yeni alandır. Ageorges vd. [128], termoplastik matris kompozitleri için füzyon bazlı birleştirme yöntemlerine ilişkin inceleme gerçekleştirmişlerdir. Fiber kırılması veya yeniden hizalanması yoluyla kompozitin mikroyapısal bozulmasına neden olabilecek sürtünme kaynak yöntemleri dışında, plastikler için neredeyse tüm kaynak yöntemlerinin termoplastik kompozitler için de yeterli olduğunu bulmuşlardır. Kompozitlerde en çok kullanılan kaynak tekniklerinden bir diğeri direnç kaynağıdır. McKnight vd. [129], karbon fiber takviyeli polieterketon kompozit parçaların mekanik özelliklerini ve mikro yapılarını değerlendirerek direnç kaynağını araştırırken, Ageorges vd. [130], kaynaklanabilirliği ve proses değişkenlerinin cam elyafı ve karbon elyafı ile güçlendirilmiş polieterimit kompozit levhaların özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Polimer kompozit kaynağına ilişkin diğer örnekler [101,131,132]'de bulunabilir.

Termosetler ve termoplastikler yapıştırılarak birleştirilebilir ve mekanik olarak sabitlenebilirken, kaynak yalnızca termoplastikler üzerinde yapılabilir. Bunun nedeni kaynağın, termoplastik malzemenin erimesine (veya yumuşamasına) dayanması ve termosetlerin yüksek düzeyde çapraz bağlı yapıları nedeniyle erimemesidir [133]. Polimerler ve ilgili malzemeler için kaynak teknikleri çeşitli belgelerde ve teknik yayınlarda anlatılmıştır [134–137]. Bu polimer kaynak teknikleri, termal enerjiye, sürtünmeye veya elektromanyetik alanlara dayanabilen çalışma prensiplerine göre kategorize edilmektedir [96]. Çizelge 4.1, bu polimer kaynak tekniklerini, ilgili avantajlarını ve dezavantajlarını göstererek listelemektedir.

**Çizelge 4.1.** Polimerlerin kaynaklanması için farklı teknik türleri ve bunların avantajları ve dezavantajları [96].

<b>Prensip</b>	<b>Kaynak Metodu</b>	<b>Avantajları</b>	<b>Dezavantajları</b>
Termal	Lazer	Tek adımlı işlem, son derece lokal ısıtma, anında bağlanma, titreşim, temas veya parçacık yok, düşük artık gerilimler. Geniş yelpazede lazer emiciler ve karşılık gelen dalga boyları mevcuttur.	Arayüzde lazer absorpsiyonu gerektirir, üst kısmın lazeri geçirgen olmasını gerektirir, parça kalınlığı sınırlamaları vardır, pigmentasyon gerektirebilir, yüksek sermaye maliyetleri.
	Kendiliğinden Yapışan	Yüksek bağlantı mukavemeti elde edilebilir.	Dahili bileşenler de dahil olmak üzere numunenin tamamı ısıtılır.
	Sıcak plaka	Basit ve ekonomik.	İki aşamalı işlem, ısıtma elemanının teması, uzun işlem süresi, aşırı ısınma ve bozulma meydana gelebilir, yüksek erime noktasına sahip polimerler için uygun değildir.
	Sıcak gaz	Ekonomik, karmaşık geometriler.	Manuel süreç—operatörün becerisi gereklidir.
	Ekstrüzyon	Sıcak gaza göre daha kısa işlem süresi.	Manuel süreç—operatörün becerisi gereklidir.
	Kızılötesi	Temassız ısıtma, kısa işlem süresi, yüksek erime noktasına sahip polimerler için uygundur.	Büyük ölçüde polimerin absorbe özelliklerine bağlı olan iki aşamalı işlem.

Sürtünme veya Viskoelastik	Sürtünme Karıştırma Kaynağı	Yüksek mukavemetleri elde edilebilir.	Dahili bileşenler de dahil olmak üzere numunenin tamamı ısıtılır.
	Titreşim	Kısa işlem süresi.	Daha büyük bileşenlerle sınırlı, düz yüzeylerle sınırlı, sıkı tolerans gereksinimleri için değil, ince duvar parçaları için değil, yüksek iç bükme kuvvetleri için.
	Dönme	Basit ve ekonomik.	Bileşenler simetrik ve dairesel kesite sahip olmalıdır.
	Ultrasonik	Ekonomik, seri üretim, kısa işlem süresi.	Dikişlere enerji direktörlerinin dahil edilmesini gerektirir. Yarı kristal polimerlerle ilgili sınırlamalar.
Elektromanyetik	Rezistans	Karmaşık geometriler.	Yavaş işlem süresi.
	Mikrodalga	Kısa işlem süresi, karmaşık geometriler.	Polar gruplara sahip polimerler için malzeme bozulma riski.
	İndüksiyon	Kısa işlem süresi, karmaşık geometriler.	Pahalı makineler. Bağlantı yerindeki ek parça paslanabilir.
	Radyo frekansı	Kısa işlem süresi, basit ve ekonomik.	İnce tabakalar/filmlerle sınırlı, polar gruplara ve yüksek dielektrik kayıp faktörüne sahip polimerler gerektirir.

## BÖLÜM 5

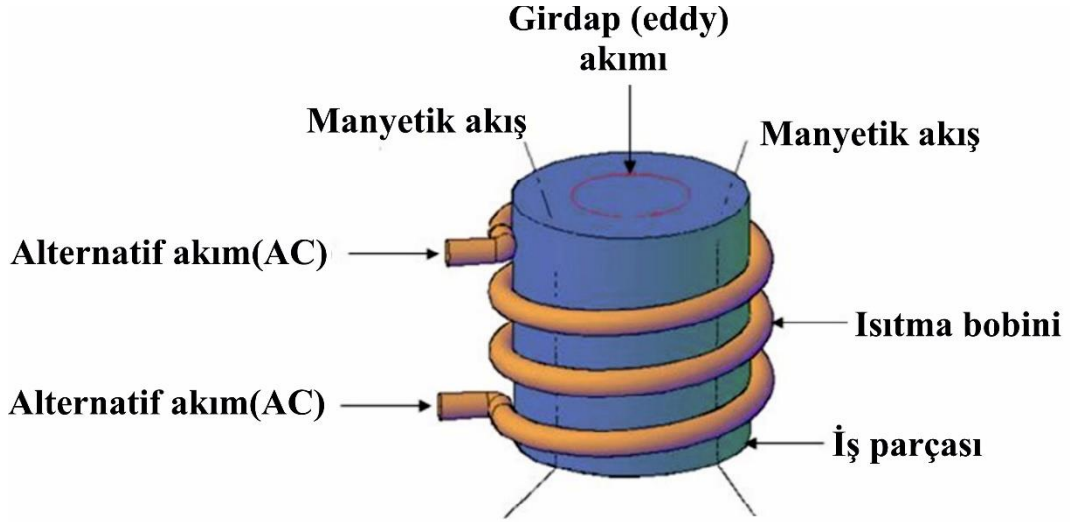
### İNDÜKSİYON KAYNAĞI

#### 5.1. İNDÜKSİYON KAYNAĞI

İndüksiyon kaynağı, indüksiyon bobini veya iş parçası arasında herhangi temas gerektirmemesi ve istenen kaynak alanı dışında ısı üretilmeyecek şekilde tasarlanabilmesi açısından benzersiz bir işlemdir. İndüksiyonla ısıtma işlemi yeni bir teknoloji değildir ve 1916'dan beri metallerin ısıtılmasında kullanılmaktadır [138]. Bu tür ısıtma, kompozitlerin ısıtılması kapsamına ancak son yirmi yılda girmiştir ve fiber takviyeli termoplastik kompozitlerin yüksek hızda kaynaklanması için çok etkili bir yöntem olduğunu kanıtlamıştır [139]. Buna ek olarak, kaynaklanabilen benzer ve farklı termoplastiklerin yanı sıra termoplastikten termoplastik olmayan malzemelere kadar proses son derece çok yönlü olmuştur [140,141].

İndüksiyon kaynağı prensibine göre iletken bobine alternatif voltaj uygulandığında alternatif akım üretilmektedir. Daha sonra bu alternatif akım, buna neden olan alternatif akımla aynı frekansa sahip, zamanla değişen manyetik alanı indüklemektedir. Bobinin ve onunun alternatif manyetik alanının yakınına manyetik olarak duyarlı ve/veya elektriksel olarak iletken bir malzeme yerleştirildiğinde, manyetik alanın frekansına uygun frekansta girdap akımları indüklenmektedir. Malzemeye uygulanan koşul, girdap akımlarının indüklenmesi için kapalı döngü devrelerinin mevcut olması gerekliliği olmaktadır. Elyaf takviyeli termoplastiklerde, örneğin örgüler veya çapraz katlar yoluyla iletken ağ formundaki kapalı devre devreleri üretilmektedir. Girdap akımları malzemenin direnciyle karşılaşmakta ve enerji ısı şeklinde kaybolmaktadır. Isı üretimiyle sonuçlanan dört mekanizma vardır. Kaynak işlemini tamamlamak için ısıtma sırasında veya sonrasında basınç uygulanabilir [142]. Şekil 5.1'de şematik diyagram gösterilmektedir.



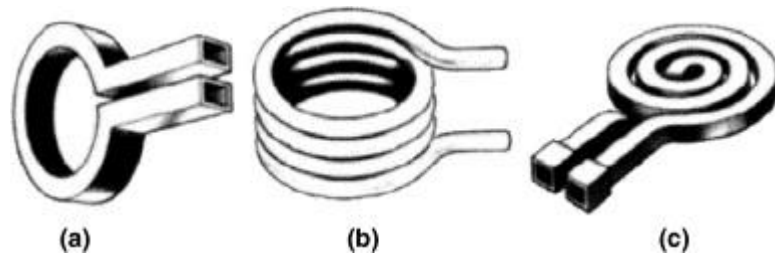


Şekil 5.1. İndüksiyon kaynak prosesi [143].

Genel olarak standart termoplastikler manyetik değildir, dolayısıyla bunların indüksiyon kaynağıyla birleştirilmesi durumunda, metal folyo gibi bağlama maddesinin veya ferromanyetik parçacıklar içeren özel olarak birleştirilmiş termoplastik malzemenin bağlantı arayüzüne yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu tür bağlama malzemesi, hızla değişen polariteye sahip manyetik alana maruz bırakıldığında, ferromanyetik parçacıklar atomik seviyede polariteyle hizalanmaya çalışmaktadır. Bu atomik hareket, termoplastik matrise füzyon sıcaklığına kadar iletilen ısıyı oluşturturken, küçük bağlantılar için bu yalnızca bir ila iki saniye sürer ve çok büyük düzenekler için on ila otuz saniye sürebilir [143].

Bobin geometrisinin iş parçası içinde üretilen ısı üzerinde de büyük etkisi vardır ve tasarımın önemi [144,145]'de tartışılmıştır. İndüksiyon bobinini, ilgili manyetik alanın ısıtılması gereken spesifik kaynak bölgesine odaklanacağı şekilde tasarlamak mümkündür. Bobin geometrisini tasarlarken, en verimli ve eşit ısıtma etkisini elde etmek için çeşitli tasarım hususlarının dikkate alınması gerekmektedir. Bobinin yakınındaki manyetik akı yoğunluğunun daha yüksek olması nedeniyle, maksimum enerji transferini sağlamak için bobin iş parçasına mümkün olduğunca yakın ve kaynak alanının tamamı üzerinde olmalıdır [138,146]. Kaynak süresi aynı zamanda mesafeden de etkilenir ve iş parçası-bobin ayrımının iki katına çıkarılmasının kaynak süresini %300-400 oranında arttırdığı bulunmuştur [147].

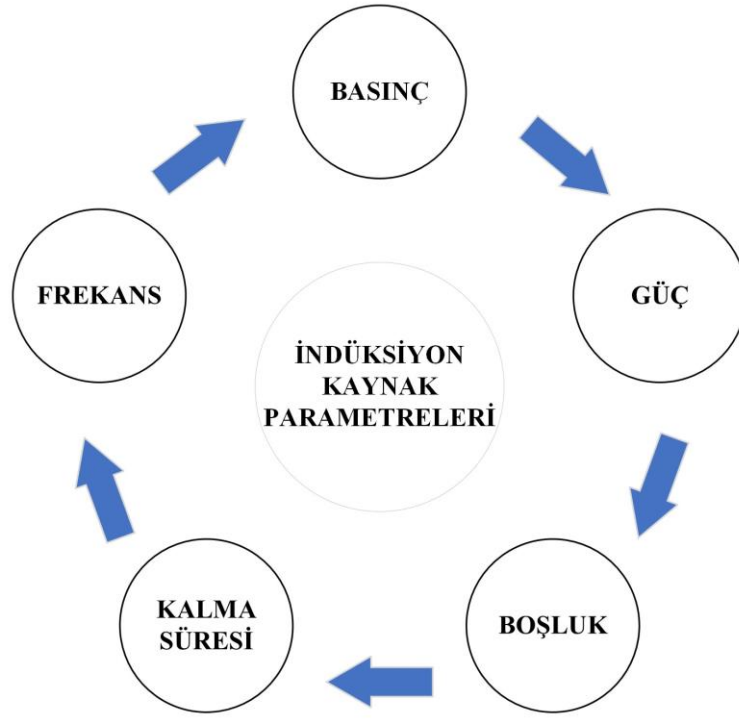
Kompozitler üzerinde ısıtma uygulaması için, Şekil 5.2’de gösterildiği gibi üç farklı (tek turlu bobin, selenoid bobin ve yassı bobin) bobin tipi vardır: Tek turlu bobin, çapı etrafında yoğunlaşan bir manyetik alana sahiptir ve bu nedenle dairesel alanların ısıtılması gereken uygulamalarda kullanılmaktadır. Selenoid etkili şekilde büyütülmüş tek turlu bobindir ve merkezinden geçen daha büyük silindirik alanları ısıtabilmektedir. Son olarak, yassı bobin geniş düz alanları ısıtabilmekte ve iyi lokal ısıtma sağlamak için kaynak bölgesinin her iki tarafında da kullanılabilir [141].



**Şekil 5.2.** Temel bobin şekilleri, (a) tek turlu, (b) selenoid ve (c) yassı [148].

## 5.2. İNDÜKSİYONLA ISITMA PARAMETRELERİ

Şekil 5.2’de indüksiyon sisteminde kullanılan parametreler gösterilmiştir.



Şekil 5.3. İndüksiyon kaynak parametreleri [149].

### 5.2.1. Frekans

Frekans kritik değişkendir çünkü girdap akımları levhadaki alternatif mıknatıs alanı aracılığıyla üretilmekte ve referans derinliğini etkilemektedir. Frekans ne kadar yüksek olursa referans derinliği o kadar düşük olmaktadır [150]. Rudolf vd. [147], optimum sıcaklıkta frekans arttıkça kompozit levhanın ısıtılması için gereken sürenin azaldığı sonucunu bulmuşlardır. Levhanın içinde daha fazla enerji üretimi için daha yüksek frekansa ihtiyaç duyulmaktadır [151].

### 5.2.2. Güç

Güç girişi, malzemenin belirli alanında üretilen güç miktarıyla orantılı olması koşuluyla en kritik işlem parametrelerinden biridir. İş parçası tarafından üretilen ısı da frekansın karesi ile orantılıdır [152]. Bu, manyetik alan genliği iş parçasının spiralinden uzaklaştıkça üretim kapasitesindeki azalmanın frekanstaki artışla dengelenmesine neden olmaktadır. Güç, ısıtma süresi üzerinde ortalama etkiye sahiptir. Yararlı kaynak uygulamaları için kısa işlem süreleri, dolayısıyla ısıtma

süreleri gerekmektedir [153]. Özdirenç ve gerçek ısı gibi diğer parametreler malzeme için geçerli olduğundan ve geniş sınırların ötesinde farklılık gösterdiğinden, ısı süresi cihazın tasarımında gerekli gücü ölçmek için kullanılabilir [154].

### **5.2.3. Basınç**

Uygun basınç uygulaması yüksek kaliteli kaynak için önemlidir. Rudolf vd. [155], uygulanabilecek basıncın pratik sınırı olduğunu tespit etmiştir. Karbon elyaf takviyeli termoplastiklerin sürekli kaynağını incelemişler ve daha yüksek basıncın daha düşük kaynak kalitesiyle sonuçlandığı görmüşlerdir.

### **5.2.4. Boşluk**

Lif demetlerinin basınç ve ısı altında deforme olmasıyla elastik enerjinin açığa çıkması, sıkışan gaz kabarcıklarının genişmesi, hava ceplerinin çökmesi ve gerekli sıcaklığın altına soğutmadan önce basıncın ortadan kaldırılması nedeniyle termal gerilmeler, boşluk oluşumuna katkıda bulunmaktadır [156]. Boşlukları önlemek için yüksek yüzey düzgünlüğü sağlamaya çalışmak ve boşlukların oluşumunu bastırmak için yüksek kaynak basıncı uygulamak gerekmektedir [157].

### **5.2.5. Kalış Süresi**

Genel olarak, daha uzun kalma süresine izin vermek daha yüksek kaynak kalitesi ile sonuçlanmaktadır çünkü daha fazla polimer zincirine kaynak arayüzü boyunca hareket etmesi için zaman verilmektedir [158,159].

## **5.3. ISITMA ELEMANLARI**

Levhaların manyetik olarak duyarlı olmadığı veya kontrollü ve bölgesel ısıtmanın gerekli olduğu durumlarda, ısıtma elemanları kaynağa ek olarak kullanılmaktadır. Tüm elektromanyetik kaynak türlerinde ortak olan indüksiyon kaynağı işlemi için toz veya örgü şeklinde iki ana tip ısıtma elemanı mevcuttur. Bu nedenle elektriksel olarak iletken herhangi bir malzeme ısıtma elemanı olarak kullanılabilir [160]. Ek parçaların

manyetik alıcı olarak kullanılmasının, fiberlerin kendilerinin kullanılmasına göre birkaç avantajı vardır. İlk olarak, ısı tam olarak ihtiyaç duyulan yerde sağlanabilir ve iş parçasının ve montajın diğer alanlarında termal gerilme oluşumu önlenebilir [141]. Bu ek parçalar ayrıca kaynak bölgesindeki boşlukları doldurmaya yardımcı olan reçine ile kaplanabilir ve farklı termoplastik malzemelerin birleştirilmesi durumunda iki matrisin karışımı sağlanabilir. Birçok çalışma termoplastik reçine içinde dağılmış metalik toz kullanımına odaklanmıştır [141,158,161]

Metal örgü etkili ek malzeme olarak ortaya çıkmıştır [160,162,163], ancak bu malzemelerin etkinliğini etkileyen farklı parametreler vardır. Örgü malzemenin levhaya iyi şekilde bağlanması için yeterli reçinenin mevcut olması ve dolayısıyla örgünün gerekli polimere gömülmesi gerekmektedir. Metal örgü malzemelere odaklanan çalışmalar, indüksiyon bobini tarafından üretilen manyetik alanın homojen olmaması nedeniyle kompozit levhanın homojen şekilde ısıtılmasıyla ilgili sorunlar olduğunu belirtmiştir [164]. Yarlagadda vd. [164], örgünün bölümlerini seçici olarak kaldırarak bu sorunu çözmeye çalışmışlardır. Bununla birlikte, ek parça, termal genişlemedeki farklılıklar ve kaynağın çevresel bozulması nedeniyle gerilme konsantrasyonlarını ve artık gerilmeleri arttırabilir [139]. Mahdi vd. [165], metal örgü ile kullanılan reçine arasında zayıf yapışma olduğunu tespit etmişlerdir. Bindirmeli bağlantı testi sırasında kayma dayanımında büyük ölçüde kayıp gözlenmemiş olsa da yorulma yükleri altında bu tür zayıf yapışmanın etkileri olumsuz olabilmektedir. Bu durum, bu tür örgülerin yeterli yüzey hazırlığının önemini vurgulamaktadır.

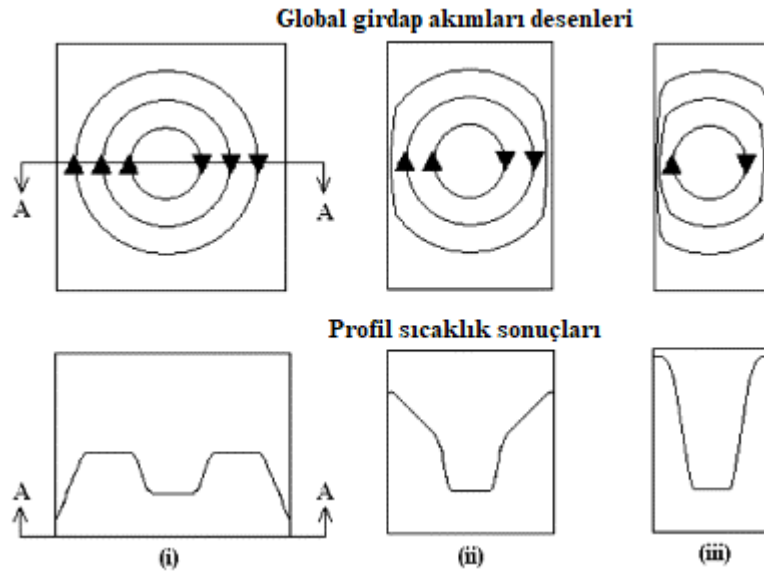
#### **5.4. İNDUKSİYON KAYNAĞA ETKİ EDEN FAKTÖRLER**

Isıtma mekanizmasının ürettiği kenar etkisi, yakınlık etkisi ve yüzey etkisi olmak üzere üç tür ısıtma etkisi vardır.

##### **5.4.1. Kenar Etkisi**

İndüksiyon kaynağı ile ilgili en önemli sorunlardan biri kaynak bölgesinin geometrisinden kaynaklanan etkidir. Kenar etkisi olarak adlandırılan bu etki, bobinin iş parçasının bir kenarına yakınlığından kaynaklanmaktadır. Örnek olarak, basit bir

dairesel yassı bobini düşünülürse, iş parçasında indüklenen girdap akımları, doğası gereği dairesel olan küresel akım döngüleri oluşturmaktadır. Şekil 5.4.(i), bobin tarafından üretilen girdap akımı yolunu ve bobinden daha büyük bir iş parçası için A-A hattı boyunca alınan ilgili sıcaklık profilinin örneğini göstermektedir. Kenarlarda ve özellikle köşelerde, girdap akımlarının akması için geniş alan vardır. Bu bölgelerde daha düşük akım yoğunlukları meydana gelmekte ve iş parçasının kenarlarında az ısı üretilmektedir [146].



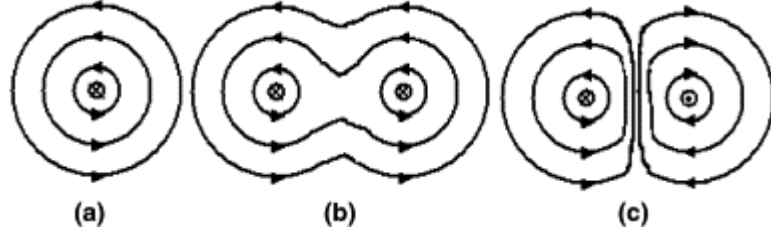
**Şekil 5.4.** İş parçası geometrisindeki değişikliklerden kaynaklanan kenar etkileri [142].

Şekil 5.4 (ii) ve (iii)'de gösterildiği gibi iş parçasının boyutu küçültülürse, akımlar bobinin şeklini takip edememektedir. Kapalı döngü yolları oluşturmak için, girdap akımları bobine en yakın olan levhanın kenarı boyunca ilerlemeye zorlanmaktadır [146]. Sıcaklık profillerinin de gösterdiği gibi, bu bölgelerde daha yüksek akım yoğunlukları ve daha yüksek sıcaklıklar ortaya çıkmaktadır.

#### 5.4.2. Yakınlık Etkisi ve Türevleri

Tek iletken telin alternatif akım taşıdığı düşünülüğünde, akım kendisini yüzey üzerinde eşit olarak dağıtmaktadır. Birincinin yakınına ikinci bir iletken tel yerleştirildiğinde, iki akımın elektrik alanı birbirini etkilemekte ve alan dağılımı

asimetrik hale gelmektedir. Bu nedenle ilgili manyetik alanda değişiklik oluşmaktadır. Zıt akım yönlerinde manyetik akım çizgileri, daha yüksek akım yoğunluğunun sonucu olarak teller arasında yoğunlaşmaktadır. Karşı taraflarda, manyetik alan kuvveti tek telli duruma göre güçsüz olmaktadır. İki aynı akım yönü olması durumunda, manyetik akı çizgileri iki tel arasındaki merkezden dışarı doğru sürülmekte ve Şekil 5.5'te görülebileceği gibi manyetik alan daha da sıkılaşmaktadır. Halka şeklindeki bobinlerden kaynaklanan halka etkisi, yakınlık etkisinin bilinen örneklerinden biridir. Halka boyunca bölümler arasındaki manyetik alanın etkileşimi nedeniyle bobin içindeki manyetik akım yoğunluğu beklenen manyetik akım yoğunluğundan daha yüksektir [10]. İndüksiyonla ısıtma uygulaması için bu, en verimli ısıtmanın indüksiyon bobininin içinde gerçekleştiği anlamına gelmektedir.

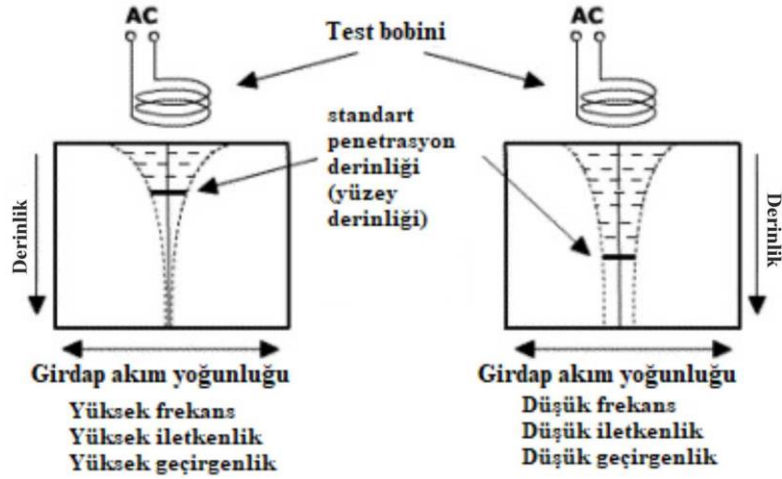


**Şekil 5.5.** Akım yönünün manyetik alan çizgilerine etkisi, (a) tek tel, (b) aynı akım yönleri ve (c) zıt akım yönleri [142].

Yakınlık etkisi aynı zamanda indüksiyon bobinindeki akım ile iş parçasında indüklenen girdap akımları arasında da meydana gelmektedir. Bobindeki akımın büyük bir kısmı iş parçasına en yakın yüzey boyunca akmaya zorlanmaktadır. İş parçasında indüklenen akım her zaman bobin geometrisinin ayna görüntüsüdür, dolayısıyla aynı şekle sahiptir ancak ters yönde akmaktadır. Bu olumlu bir etkidir çünkü akımlar birbirine çekilmektedir. İndüksiyon bobini ile iş parçası arasındaki yakınlık etkisini arttırmak için indüktörün tepesine akım yoğunlaştırıcı yerleştirilebilir. Akım yoğunlaştırıcı, manyetik akımın hareket etmesi için daha kolay yol sağlayabilen ve manyetik alanları havadan daha verimli ve etkili şekilde iletebilen, manyetik olarak iletken malzemedir [10].

### 5.4.3. Yüzey Etkisi

İletken malzemededen doğru akım geçtiğinde, bu iletken malzemenin kesit alanı üzerindeki akım dağılımı düzgündür. Aynı iletken elemana alternatif akım uygulandığında dağılım düzgün olmamaktadır. İndüklenen akım, aynı yoğunlukta kesite nüfuz etmek yerine malzemenin yüzeyinden dışarı doğru akma eğilimindedir. Bu etkiye yüzey etkisi denmektedir [10]. Yüzey etkisinin sonucu, ısının çoğunun yüzeydeki belirli bölgede üretilmesidir. Daha yüksek frekans, daha küçük referans derinliğine ve dolayısıyla daha sığ yüzey etkisine yol açmaktadır. Ayrıca manyetik geçirgenlik ve elektriksel direncin her ikisi de sıcaklığın bir fonksiyonu olduğundan sıcaklık etkilerinin de hesaba katılması gerekmektedir [166]. Şekil 5.6, bu değişkenlerin etkisini göstermektedir.



Şekil 5.6. Penetrasyon derinliğini etkileyen değişkenler [167].

İş parçası malzemelerine göre elektromanyetik olarak kalın ve ince gövdeleri ayırmak mümkündür. Birincisi, nüfuz derinliği gövde kalınlığından az olan gövde tipi, ikincisi ise referans derinliği gövde kalınlığından büyük olan gövde tipidir. Bu tip gövdelerde frekansın hiçbir etkisi yoktur. İndüksiyonla ısıtma uygulamaları için, kompozit parçanın iyi şekilde birleştirilmesi için malzemenin toplam kalınlığı boyunca ısı bölgesi oluşturmak amacıyla gövdeyi elektromanyetik olarak ince tutmak genellikle tercih edilirken [146], kaynak uygulamaları için, arayüzey oluşana kadar basitçe ısıtmak tercih edilmektedir [166].



## BÖLÜM 6

### DENEYSEL ÇALIŞMA

#### 6.1. NUMUNELERİN ÜRETİMİ

Birleştirme işlemi yapılacak levhalar, CCH X30 kartezyen tipi 3B yazıcı kullanılarak üretilmiştir. Kullanılan 3B yazıcı Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



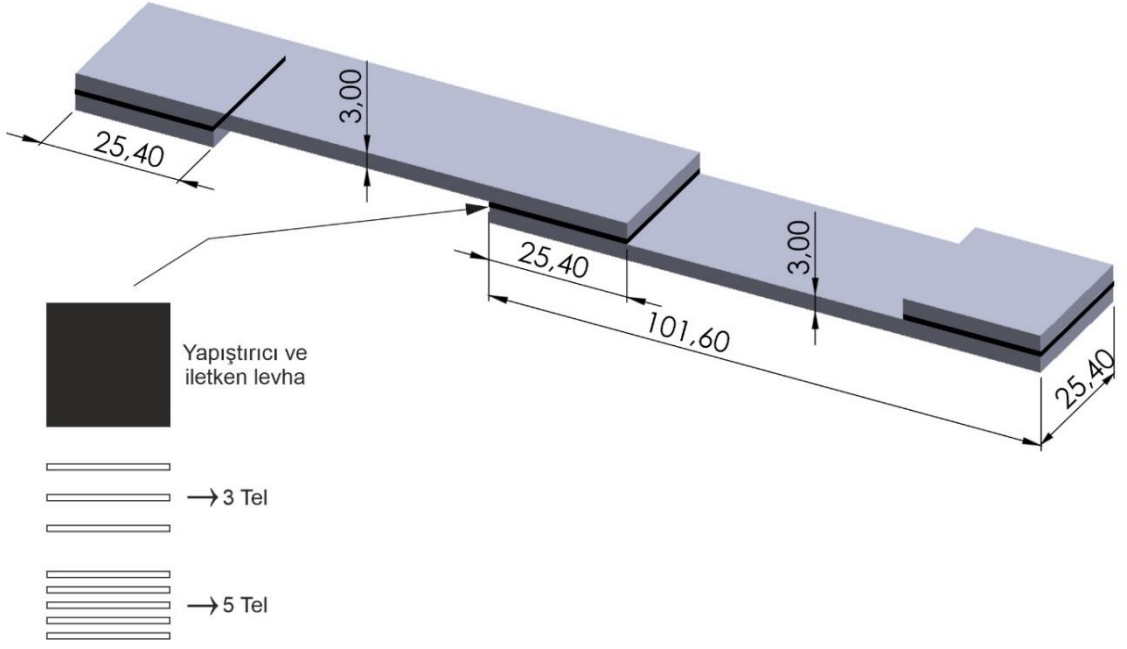
Şekil 6.1. CCH X30 3B Yazıcı.

Parçaların üretiminde Flashforge PLA (Çin) kullanılmıştır. Dilimleme programı olarak CURA tercih edilmiş ve PLA için önerilen yazdırma parametreleri kullanılmıştır. Tez çalışmasında yazdırma parametrelerinin etkisi incelenmemiştir. Levhalar, bilgisayar destekli tasarım programında (Solidworks) 3 Boyutlu olarak çizilmiştir. 3B tasarım dosyası dilimleme programında açılarak levhaların G-kod dosyaları oluşturulmuştur. Ardında oluşturulan G-kod dosyaları 3B yazıcıya aktarılarak levhaların yazdırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan yazdırma parametreleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

**Çizelge 6.1.** Yazdırma Parametreleri

<b>Parametre</b>	<b>Değer</b>
Yazdırma hızı (mm/s)	60
Katman kalınlığı (mm)	0.2
Yazdırma sıcaklığı (°C)	200
Tabla sıcaklığı (°C)	60
Nozul çapı (mm)	0.4
Yazdırma deseni	Çizgiler
Doluluk oranı (%)	100

Yazdırılan levhaların birleştirilmesinde ASTM D3163-01 standardı kullanılmıştır. Bağlantı geometrisi Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



**Şekil 6.2.** Bağlantı geometrisi (Ölçüler mm cinsinden).

Şekil 6.2, dört farklı bağlantı konfigürasyonunu göstermektedir. Bindirme bölgesinde yapıştırıcı, iletken levha, 3 ve 5 iletken tel ayrı ayrı kullanılmıştır. İletken tel için 0,25 mm çapa sahip siyah tavlı tel kullanılmıştır. İletken levha olarak 0.25mm kalınlığında sac malzeme tercih edilmiştir. Tablo 2’de üretilen bağlantıların kısaltmalarına yer verilmiştir. Örnek olarak, Y, yapıştırıcı ile üretilmiş bağlantıyı ve İ/B-30, 30 kHz frekans değerinde, 5 tel ile indüksiyon yöntemi kullanılarak birleştirilmiş bağlantıyı ifade etmektedir. Tablo 2’de A grubu 3 tel ve B grubu 5 tel ile oluşturulan bağlantıyı temsil etmektedir. Her parametre için 3 adet bağlantı numunesi üretilmiştir.

**Çizelge 6.2.** Üretilen bağlantıların kısaltmaları.

Kısaltma	Yöntem	Malzeme	kHz
Y	Yapıştırma	Siyanoakrilat	-
İ/L-30	İndüksiyon	Levha	30
İ/A-30		3 Tel	
İ/B-30		5 Tel	
İ/L-10		Levha	10
İ/A-10		3 Tel	
İ/B-10		5 Tel	

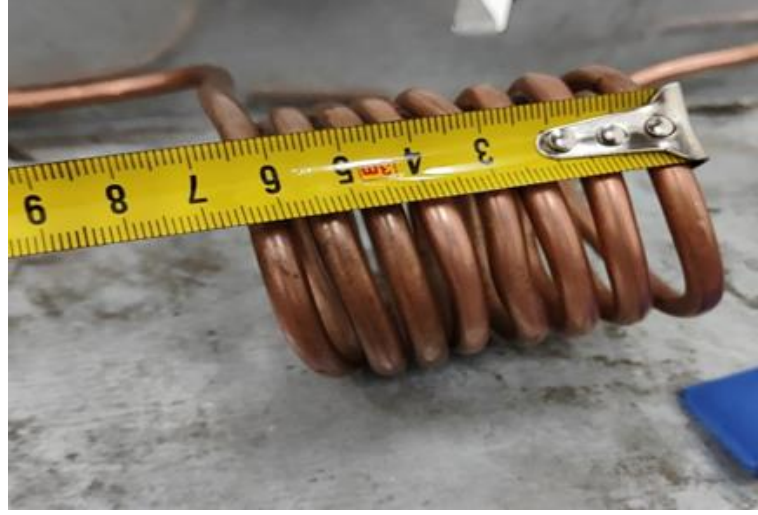
## 6.2. İNDÜKSİYON MAKİNESİ HAZIRLIK AŞAMASI

Bu tez çalışmasında ONX İndüksiyon Makinaları (Türkiye) tarafından üretilen ve 30 kHz 50 kW güç üreten indüksiyon makinası iletken malzemeleri plastik levhalara birleştirmek için kullanılmıştır. Kullanılan indüksiyon makinesi Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



Şekil 6.3. ONX indüksiyon makinası.

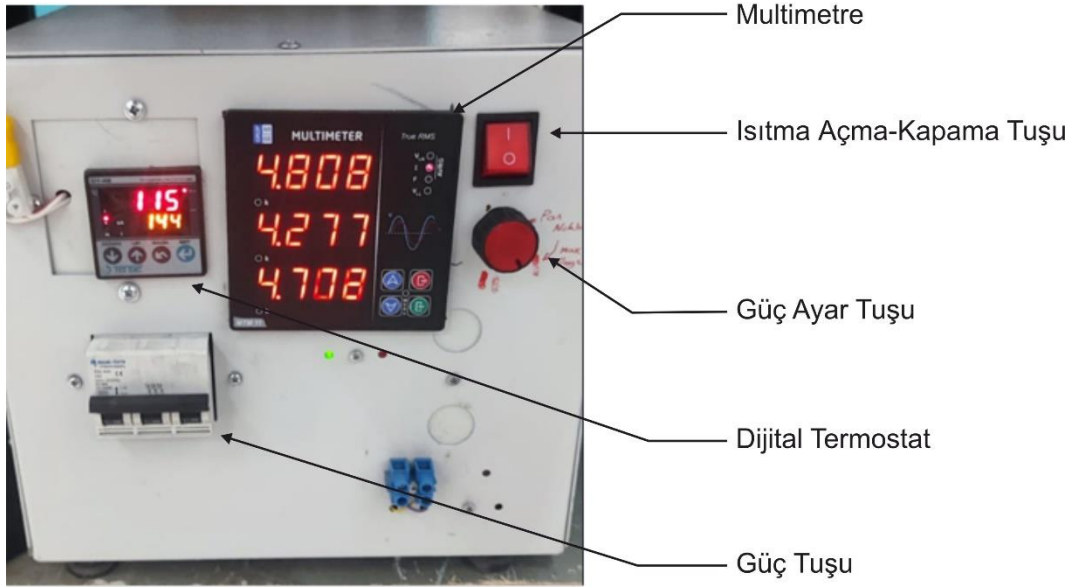
İndüksiyon bobiniyle yapılacak birleştirme işlemi için bindirme alanına uygun şekilde bobin hazırlanmıştır (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. Helezon bobin.

Şekil 6.4’te helezon bobin için, 2,5 metre boyunda ve  $t=0,8\text{mm}$  cidar kalınlığına sahip 6,42 mm çapında bakır boru kullanılmıştır. Bakır boru, 5 cm çapında sarılarak 6,5 cm uzunluğunda olacak şekilde helezon bobin hazırlanmıştır.

İndüksiyon makinasına deneysel çalışma için gerekli olabilecek Volt(V), Amper(I) ve Frekans(F) değerlerini ölçmek için akım trafoları ve multimetre eklenmiştir (Şekil 6.5).



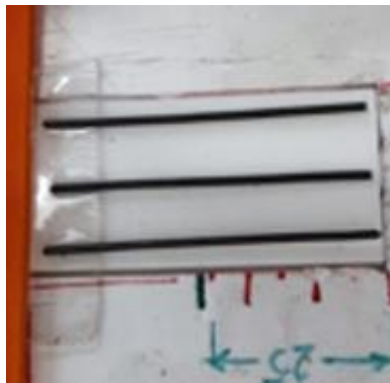
Şekil 6.5. İndüksiyon makinası son hali.

İlk olarak simit tipi 300/5 akım trafoları takılmıştır. Daha sonra çalışmada kullanılan cihazın ölçtüğü amper miktarı dengesiz olduğu görülmüş ve bu durum için cihazın üzerinde bulunan analog multimetre dijital multimetre ile değiştirilmiştir. Takılan multimetrenin akım değerlerine ulaşılabilmesi için çalışmada kullanılan akım trafoları sistemin ana girişine bağlanılarak R-S-T fazlarına ayrı bir şekilde bağlanmıştır. R fazı sıfır fazlı, S fazı 120°geri fazlı ve T fazı 120°ileri fazlı olması anlamına gelmektedir. Cihaza bağlanan akım trafolarınının bağlantı uçları K1-L1 olacak şekilde multimetrede bulunan bağlantı noktasına bağlanmıştır. İndüksiyonla ısıtma işlemi sırasında numune üzerindeki sıcaklığı kontrol edebilmek ve ısıtma işlemi istenilen sıcaklık değerlerine ulaştıktan sonra durdurma işlemi yapabilecek röle ve SSR Çıkışlı Dijital Termostat (DT-48EM) termostat kullanılmıştır. Ek olarak indüksiyon makinasının ısıtılması sırasında bakır helezon sarmalın soğutulması, kompresörden elde edilen hava ile gerçekleştirilmiştir.

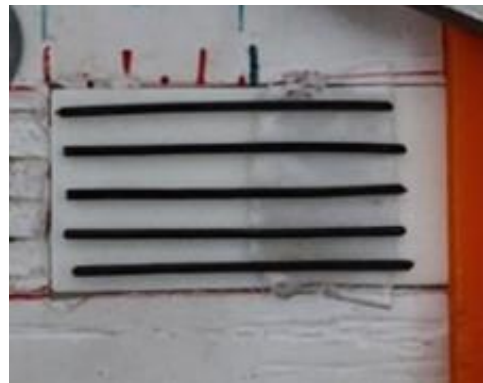
### 6.3. BAĞLANTILARIN HAZIRLANMASI

İndüksiyon ile birleştirme yönteminde elde edilen numunelerin bağlantı dayanım değerlerini ve hasar yüzeylerini karşılaştırmak için yapıştırılmalı bağlantıların üretiminde VODABOND 104 siyanoakrilat tipi yapıştırıcı kullanılmıştır.

Tel ile üretilen bağlantılarda bindirme bölgesinde bulunan 3 ve 5 tel konfigürasyonu için kalıp hazırlanmıştır. Böylelikle teller arası mesafe bindirme genişliği boyunca eşit olacak şekilde bağlantılar üretilmiştir (Şekil 6.6).



(a)



(b)

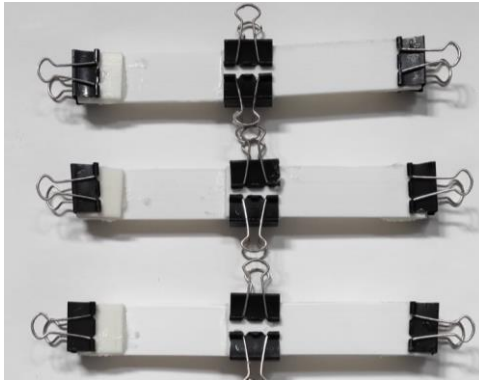
Şekil 6.6. Bindirme bölgesi tel yerleşimi a) 3 tel ve b) 5 tel.

İndüksiyon ile birleştirme işlemi için hazırlanan numuneler helezon sarmal içine yerleştirilerek Çizelge 6.2’de belirtilen frekans değerlerinde ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 6.7, indüksiyon ile ısıtma işlemi sırasında oluşturulan bağlantıyı göstermektedir.

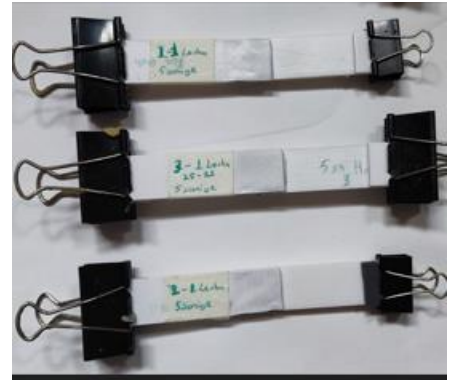


**Şekil 6.7.** İndüksiyon ile bağlantıların üretimi.

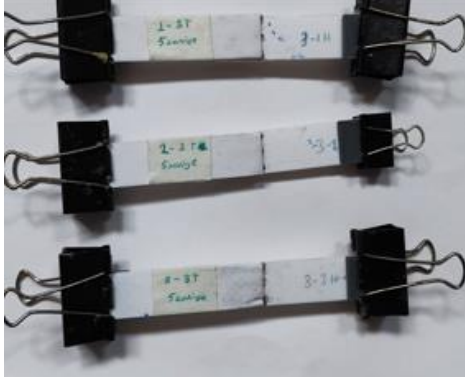
Çizelge 6.2’de belirtilen parametreler için üretilen bağlantılar Şekil 6.8’de gösterilmektedir. Her parametre için bindirme bölgesi birleştirme işlemi yapıldıktan sonra hizalama parçaları yapıştırıcı ile birleştirilmiş ve metal kısıkaç yardımıyla sabitlenmiştir.



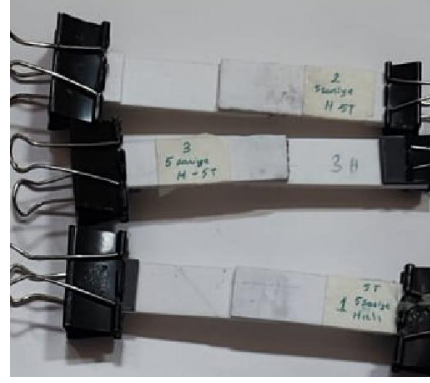
(a) Y



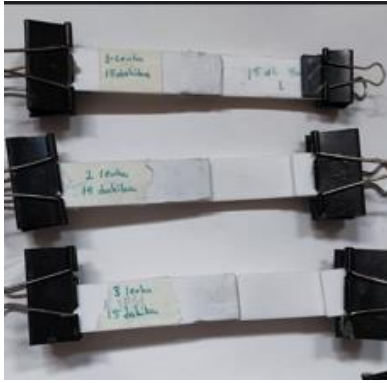
(b) İ/L-30



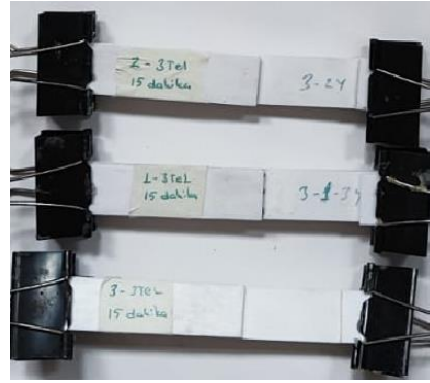
(c) İ/A-30



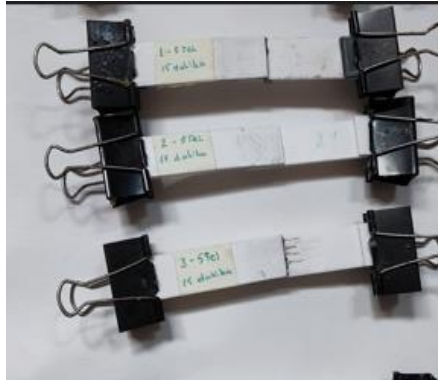
(d) İ/B-30



(e) İ/L-10



(f) İ/A-10



(g) İ/B-10

Şekil 6.8. Hazırlanan bağlantılar.

#### 6.4. ÇEKME TESTİ

Hazırlanan bağlantıların dayanım değerlerinin belirlenmesi için numunelere, SHIMADZU marka 50 kN yük hücresine sahip çekme test cihazında oda sıcaklığında ve 1 mm/dk hızda numuneler hasara uğrayana kadar çekme testi uygulanmıştır. Kullanılan çekme test cihazı Şekil 6.9'da gösterilmiştir.





**Şekil 6.9.** Çekme test cihazı.

## BÖLÜM 7

### DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölümde 3B yazdırma teknolojisi ile üretilen PLA levhaların yapıştırırmalı ve indüksiyon yöntemi ile bağlantı dayanım değerlerinin karşılaştırılmasına yer verilmiştir. Bağlantı dayanım değerleri üretilen bağlantıların, çekme testi sonrası elde edilen maksimum yük değerlerini temsil etmektedir.

#### 7.1. Çekme Test Sonuçları

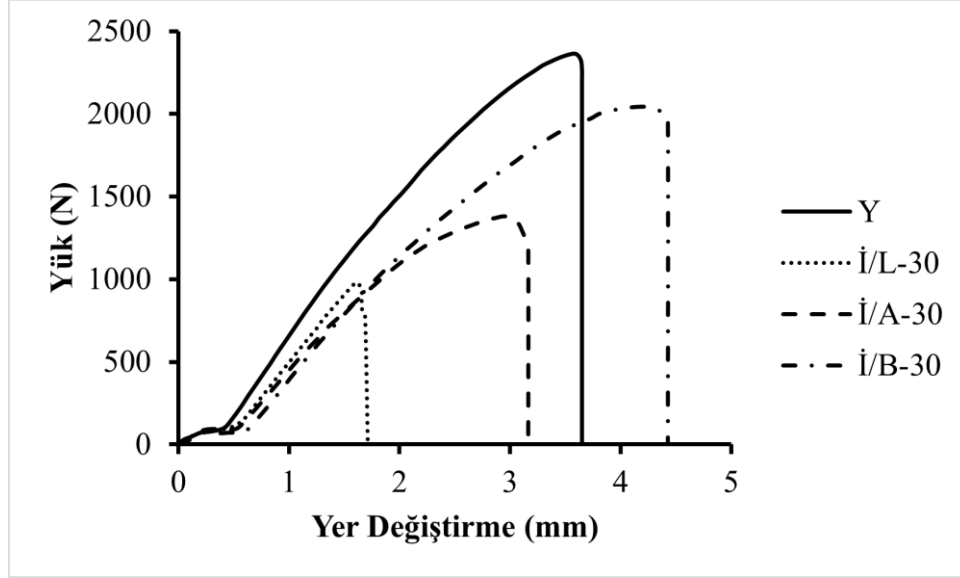
Şekil 7.1’de çekme test sonrasında numunelerde oluşan hasar yüzeyleri gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Hasar yüzeyleri.

Şekil 7.1 incelendiğinde, yapıştırırmalı bağlantıda levha hasarı olmuştur. İ/L ve İ/A grubu bağlantılar incelendiğinde, iletkenlerin sadece alt yazdırılan levhada kaldığı ve üst levhaya tutunmadığı görülmektedir. İ/B grubu bağlantılarda hasar, levha ve bindirme bölgesinde olmuştur. İndüksiyon yöntemi ile bağlantı hazırlanmasında, ısıtma süresinin ve uygulanan frekansın bağlantı hasar tipine etkisi görülmemiştir.

Şekil 7.2’de indüksiyon yöntemi ile hazırlanan ve 30 kHz frekans değerinde ısıtılan bağlantıların yük-deplasman (Y-D) eğrileri gösterilmiştir.



**Şekil 7.2.** Yapıştırıcı kullanılan ve indüksiyon ile 30 kHz frekans değerinde ısıtılan bağlantıların Y-D eğrileri.

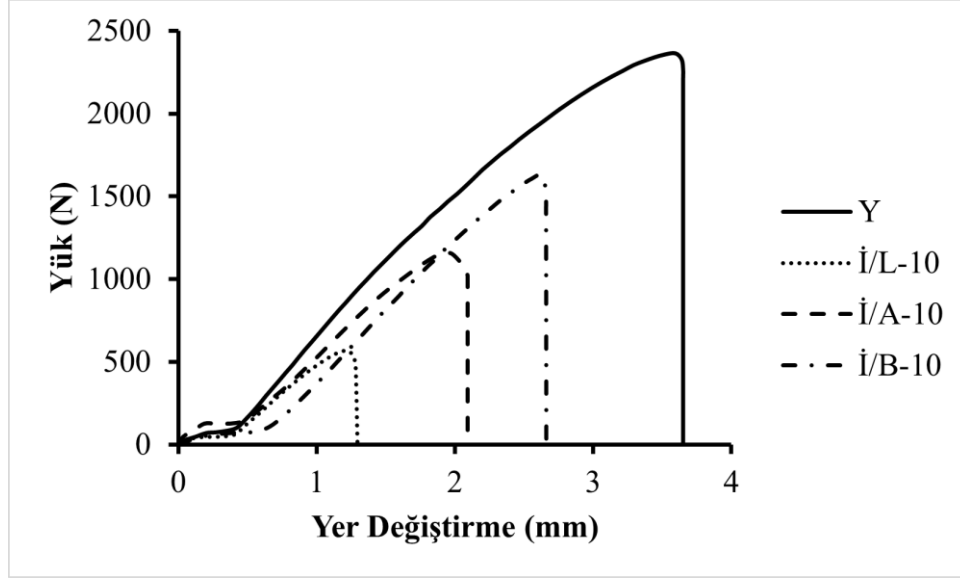
Şekil 7.2, en yüksek yük değeri Y bağlantıda ve en düşük yük İ/L-30 bağlantıda elde edilmiştir. Artan tel sayısının bağlantı dayanımını arttırdığı görülmektedir. İ/B-30 bağlantı, Y bağlantıya yakın değer göstermiştir. Ayrıca tel sayısındaki artışın deplasmanı da arttırdığı görülmüştür. Çizelge 7.1’de hasar yükleri verilmiştir.

**Çizelge 7.1.** Yapıştırıcı kullanılan ve indüksiyon ile 30 kHz frekans değerinde ısıtılan bağlantıların hasar yükleri..

Numune	Yük (N)
Y	2378
İ/L-30	1003
İ/A-30	1393
İ/B-30	2057

Y bağlantıya göre tüm bağlantı konfigürasyonları düşük çıkmıştır. İndüksiyon yöntemi ve kimyasal yöntemler karşılaştırıldığında en yüksek fark %57,82 ve en düşük fark %13,50 olmuştur. Tel sayısı arttıkça bağlantı dayanımındaki artış %47,67 olmuştur.

Şekil 7.3'te indüksiyon yöntemi ile hazırlanan ve 10 kHz frekans değerinde ısıtılan bağlantıların yük-deplasman (Y-D) eğrileri gösterilmiştir.



**Şekil 7.3.** Yapıştırıcı kullanılan ve indüksiyon ile 10 kHz frekans değerinde ısıtılan bağlantıların Y-D eğrileri.

Şekil 7.3 incelendiğinde aynı şekilde yapıştırıcı ile üretilen bağlantı en yüksek ve iletken levha ile üretilen bağlantı en düşük dayanım değerini göstermiştir. Tel sayısındaki artış hasar yükünü ve deplasmanı artırmıştır. Çizelge 7.2'de yapıştırıcı ve indüksiyon ile hazırlanan bağlantıların hasar yükleri verilmiştir.

**Çizelge 7.2.** Yapıştırıcı kullanılan ve indüksiyon ile 10 kHz frekans değerinde ısıtılan bağlantıların hasar yükleri.

Numune	Yük (N)
Y	2378
İ/L-10	585
İ/A-10	1270
İ/B-10	1643

İndüksiyon ile hazırlanan bağlantılarda hasar yükleri yapıştırıcı ile hazırlanan bağlantı hasar yükünden düşük çıkmıştır. En düşük hasar yükü İ/L-10 bağlantıda 585N ve en yüksek hasar yükü Y bağlantıda 2378N olmuştur. Kimyasal yöntem ile indüksiyon yöntemi karşılaştırıldığında en yüksek fark %75,40 ve en düşük fark %30,91 olarak hesaplanmıştır. Tel sayısındaki artış hasar yükünü %29,37 artırmıştır.

Bütün bağlantı konfigürasyonları karşılaştırıldığında en yüksek dayanım değeri Y bağlantıda 2378 N ve en düşük bağlantı dayanımı İ/L-10 bağlantıda olmuştur. Tel sayısının artışı genel olarak bağlantı dayanımını ve deplasmanı artırmıştır. İndüksiyon yöntemi ile hazırlanan bağlantılarda ısıtma süresindeki artış bağlantı dayanımını düşürmüştür. Bu düşüş İ-L grubu için %41,68, İ/A grubu için % 8,83 ve İ/B grubu için % 20,13 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak indüksiyon yöntemi kendi arasında karşılaştırıldığında 5 sn. ısıtma süresinin daha iyi sonuçlandığı görülmüştür. Yapıştırılmalı bağlantı en yakın değer %13,50 azalış ile İ/B-30 bağlantıda 2057N olmuştur.

## BÖLÜM 8

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan tez çalışmasında, termoplastik malzemelerin indüksiyon yöntemi ile birleştirme işlemi incelenmiştir. Termoplastik malzeme olarak PLA malzeme kullanılmış ve 3B yazıcı ile levhalar yazdırılmıştır. İndüksiyon yöntemi ile birleştirme işlemi yapılması için iletken levha ve iletken tel kullanılmıştır. İndüksiyon ısıtma sisteminde bağlantının bekleme süresi ve frekansın bağlantı dayanımına ve hasar yüzeyine etkisine bakılmıştır. İndüksiyon yöntemi ile hazırlanan bağlantıların dayanımı yapıştırırmalı bağlantılar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar:

- Yapıştırırmalı bağlantıda levha hasarı olmuştur. İ/L ve İ/A grubu bağlantılar incelendiğinde, iletkenlerin sadece alt yazdırılan levhada kaldığı ve üst levhaya tutunmadığı görülmektedir. İ/B grubu bağlantılarda hasar, levha ve bindirme bölgesinde olmuştur. İndüksiyon yöntemi ile bağlantı hazırlanmasında, ısıtma süresinin ve uygulanan frekansın bağlantı hasar tipine etkisi görülmemiştir.
- Yapıştırırmalı bağlantıya göre tüm bağlantı konfigürasyonları düşük çıkmıştır. İndüksiyon yöntemi ve kimyasal yöntemler karşılaştırıldığında en yüksek fark %57,82 ve en düşük fark 13,50 olmuştur. Tel sayısı arttıkça bağlantı dayanımındaki artış %47,67 olmuştur.
- İndüksiyon ile hazırlanan bağlantılarda hasar yükleri yapıştırıcı ile hazırlanan bağlantı hasar yükünden düşük çıkmıştır. En düşük hasar yükü İ/L-10 bağlantıda 585N ve en yüksek hasar yükü Y bağlantıda 2378N olmuştur. Kimyasal yöntem ile indüksiyon yöntemi karşılaştırıldığında en yüksek fark %75,40 ve en düşük fark %30,91 olarak hesaplanmıştır. Tel sayısındaki artış hasar yükünü %29,37 artırmıştır.

- Bütün bağlantı konfigürasyonları karşılaştırıldığında en yüksek dayanım değeri Y bağlantıda 2378 N ve en düşük bağlantı dayanımı İ/L-10 bağlantıda olmuştur. Tel sayısının artışı genel olarak bağlantı dayanımını ve deplasmanı artırmıştır. İndüksiyon yöntemi ile hazırlanan bağlantılarda ısıtma süresindeki artış bağlantı dayanımını düşürmüştür. Bu düşüş İ-L grubu için %41,68, İ/A grubu için %8,83 ve İ/B grubu için %20,13 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak indüksiyon yöntemi kendi arasında karşılaştırıldığında 5 sn. ısıtma süresinin daha iyi sonuçlandığı görülmüştür. Yapıştırılmalı bağlantı en yakın değer %13,50 azalış ile İ/B-30 bağlantıda 2057 N olmuştur.

Yapılan deneysel çalışmalar, uygun parametrelerin seçilmesi durumunda, indüksiyon yönteminin termoplastik malzemelerin birleştirilmesinde önemli bir alternatif olabileceğini göstermiştir. İletken malzeme olarak levha yerine tel kullanımının yapıştırılmalı bağlantı dayanımına yakın bağlantı değerleri sağladığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, tel sayısının artırılması dayanımı olumlu yönde değiştirmiştir. Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, tel sayısının daha fazla artırılması ve indüksiyon parametrelerinin tel sayısına bağlı olarak değiştirilmesi ile dayanımda artışın devam edebileceği öngörülmektedir. Bu yöntemin yaygınlaşması ile tamamen geri dönüştürülebilir komponentlerden oluşan polimer bağlantıların elde edilmesi mümkündür. Yöntemin yaygınlaşması için benzer çalışmaların artması ve farklı iletken malzemeler, plastik grupları ve ısıtma parametrelerinin deneysel olarak uygulanarak sonuçların tartışılması önem kazanmaktadır.

## KAYNAKLAR

1. Internet: Vidco, "PAGEV", <https://pagev.org/turkiye-plastik-sektor-izleme-raporu-2021-8> (2023).
2. Stevens, M. J. and Covas, J. A., "Extruder Principles and Operation", *Springer Science & Business Media*, 502 (2012).
3. Saçak, M., "Polimer Kimyasına Giriş", *AÜ FF Döner Sermaya İşletmesi Yayınları*, 50: (1998).
4. Jandyal, A., Chaturvedi, I., Wazir, I., Raina, A., and Ul Haq, M. I., "3D printing – A review of processes, materials and applications in industry 4.0", *Sustainable Operations And Computers*, 3: 33–42 (2022).
5. Nagarajan, H. P. N. and Haapala, K. R., "Characterizing the influence of resource-energy-exergy factors on the environmental performance of additive manufacturing systems", *Journal Of Manufacturing Systems*, 48: 87–96 (2018).
6. Prince, J. D., "3D Printing: An Industrial Revolution", *Journal Of Electronic Resources In Medical Libraries*, 11 (1): 39–45 (2014).
7. Kaner, S. and Şekercioğlu, T., "Plastik malzemelerin yapıştırılmasında yüzey işlemleri ve yaşlandırma etkisinin incelenmesi", (2017).
8. David, E., Lazar, A., and Armeanu, A., "Surface modification of polytetrafluoroethylene for adhesive bonding", *Journal Of Materials Processing Technology - J MATER PROCESS TECHNOL*, 157: 284–289 (2004).
9. Lucía, O., Maussion, P., Dede, E. J., and Burdío, J. M., "Induction Heating Technology and Its Applications: Past Developments, Current Technology, and Future Challenges", *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 61 (5): 2509–2520 (2014).
10. Rudnev, V., Loveless, D., and Cook, R. L., "Handbook of Induction Heating", *CRC Press*, (2017).
11. Semiatin, S. L., "Elements of Induction Heating: Design, Control, and Applications", *ASM International*, 342 (1988).
12. Kent, R., "Design guides for plastics", (2021).
13. Biron, M., "Thermoplastics and Thermoplastic Composites", *William Andrew*, 1073 (2012).



14. Tjong, S. C., "Structure, morphology, mechanical and thermal characteristics of the in situ composites based on liquid crystalline polymers and thermoplastics", *Materials Science And Engineering: R: Reports*, 41 (1): 1–60 (2003).
15. Karagöz, İ., "Termoplastiklerin sürtünme karıştırma kaynak özellikleri", PhD Thesis, *Marmara Üniversitesi (Turkey)*, (2014).
16. Khalil, M. T., Fatima, I., Abbas, F., and Tahir, M., "Synthesis of Bio Based Polymers and Its Applications", (2019).
17. Palabiyik, M. and Bahadur, S., "Mechanical and tribological properties of polyamide 6 and high density polyethylene polyblends with and without compatibilizer", *Wear*, 246 (1): 149–158 (2000).
18. Cantor, K. M. and Watts, P., "1 - Plastics Materials", Applied Plastics Engineering Handbook, *William Andrew Publishing*, Oxford, 3–5 (2011).
19. Gao, X., Zhang, D., Wen, X., Qi, S., Su, Y., and Dong, X., "Fused deposition modeling with polyamide 1012", *Rapid Prototyping Journal*, 25 (7): 1145–1154 (2019).
20. Lay, M., Thajudin, N. L. N., Hamid, Z. A. A., Rusli, A., Abdullah, M. K., and Shuib, R. K., "Comparison of physical and mechanical properties of PLA, ABS and nylon 6 fabricated using fused deposition modeling and injection molding", *Composites Part B: Engineering*, 176: 107341 (2019).
21. Maddah, H. A., "Polypropylene as a Promising Plastic: A Review", *American Journal Of Polymer Science*, (2016).
22. Deng, H., Reynolds, C. T., Cabrera, N. O., Barkoula, N.-M., Alcock, B., and Peijs, T., "The water absorption behaviour of all-polypropylene composites and its effect on mechanical properties", *Composites Part B: Engineering*, 41 (4): 268–275 (2010).
23. "Melt Electrospinning Process Optimization of Polylactic Acid Nanofibers", <https://journals.sagepub.com/doi/epdf/10.1177/1528083715610297?src=getftr> (2023).
24. Casasola, R., Thomas, N. L., and Georgiadou, S., "Electrospinning of poly(lactic acid): Theoretical approach for the solvent selection to produce defect-free nanofibers", *Journal Of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 54 (15): 1483–1498 (2016).
25. Ming, L., Zhipeng, Y., Fei, Y., Feng, R., Jian, W., Baoguo, J., Yongqiang, W., and Peixun, Z., "Microfluidic-based screening of resveratrol and drug-loading PLA/Gelatine nano-scaffold for the repair of cartilage defect", *Artificial Cells, Nanomedicine, And Biotechnology*, 46 (sup1): 336–346 (2018).
26. Ioannidou, S. M., Ladakis, D., Moutousidi, E., Dheskali, E., Kookos, I. K., Câmara-Salim, I., Moreira, M. T., and Koutinas, A., "Techno-economic risk assessment, life cycle analysis and life cycle costing for poly(butylene succinate)

- and poly(lactic acid) production using renewable resources", *Science Of The Total Environment*, 806: 150594 (2022).
27. de Albuquerque, T. L., Marques Júnior, J. E., de Queiroz, L. P., Ricardo, A. D. S., and Rocha, M. V. P., "Polylactic acid production from biotechnological routes: A review", *International Journal Of Biological Macromolecules*, 186: 933–951 (2021).
  28. Stefaniak, K. and Masek, A., "Green Copolymers Based on Poly(Lactic Acid)—Short Review", *Materials*, 14 (18): 5254 (2021).
  29. Ahmad, A., Banat, F., and Taher, H., "A review on the lactic acid fermentation from low-cost renewable materials: Recent developments and challenges", *Environmental Technology & Innovation*, 20: 101138 (2020).
  30. Norazlina, H. and Kamal, Y., "Graphene modifications in polylactic acid nanocomposites: a review", *Polymer Bulletin*, 72 (4): 931–961 (2015).
  31. Żenkiewicz, M., Richert, J., Rytlewski, P., Moraczewski, K., Stepczyńska, M., and Karasiewicz, T., "Characterisation of multi-extruded poly(lactic acid)", *Polymer Testing*, 28 (4): 412–418 (2009).
  32. Farah, S., Anderson, D. G., and Langer, R., "Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review", *Advanced Drug Delivery Reviews*, 107: 367–392 (2016).
  33. Jadhav, V. D., Patil, A. J., and Kandasubramanian, B., "Polycarbonate Nanocomposites for High Impact Applications", *Handbook of Consumer Nanoproducts*, Springer Nature, Singapore, 257–281 (2022).
  34. Hahnel, S., Scherl, C., and Rosentritt, M., "Interim rehabilitation of occlusal vertical dimension using a double-crown-retained removable dental prosthesis with polyetheretherketone framework", *The Journal Of Prosthetic Dentistry*, 119 (3): 315–318 (2018).
  35. Harb, I. E., Abdel-Khalek, E. A., and Hegazy, S. A., "CAD/CAM Constructed Poly(etheretherketone) (PEEK) Framework of Kennedy Class I Removable Partial Denture: A Clinical Report", *Journal Of Prosthodontics*, 28 (2): e595–e598 (2019).
  36. Ali, Z., Baker, S., Sereno, N., and Martin, N., "A pilot randomized controlled crossover trial comparing early OHRQoL outcomes of cobalt-chromium versus PEEK removable partial denture frameworks", *The International Journal Of Prosthodontics*, 33 (4): 386–392 (2020).
  37. Wimmer, T., Huffmann, A. M. S., Eichberger, M., Schmidlin, P. R., and Stawarczyk, B., "Two-body wear rate of PEEK, CAD/CAM resin composite and PMMA: Effect of specimen geometries, antagonist materials and test set-up configuration", *Dental Materials*, 32 (6): e127–e136 (2016).

38. Mashhadani, A. and A, A., "Viscoelastic behaviour of thermosets-thermoplastic polymer composite", masterThesis, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2018).
39. Dodiuk, H., "Handbook of Thermoset Plastics", *William Andrew*, 1118 (2021).
40. Pascault, J.-P. and Williams, R. J. J., "Chapter 1 - Overview of thermosets: Present and future", *Thermosets (Second Edition)*, *Elsevier*, 3–34 (2018).
41. Winne, J. M., Leibler, L., and Prez, F. E. D., "Dynamic covalent chemistry in polymer networks: a mechanistic perspective", *Polymer Chemistry*, 10 (45): 6091–6108 (2019).
42. Fortman, D. J., Brutman, J. P., De Hoe, G. X., Snyder, R. L., Dichtel, W. R., and Hillmyer, M. A., "Approaches to Sustainable and Continually Recyclable Cross-Linked Polymers", *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6 (9): 11145–11159 (2018).
43. Ratna, D., "3 - Thermal properties of thermosets", *Thermosets*, *Woodhead Publishing*, 62–91 (2012).
44. Biron, M., "Chapter 2: The Plastics Industry: Economic Overview | GlobalSpec", *Thermosets and Composites, (Second Edition)*. Ed., *William Andrew Publishing*, Oxford (2014).
45. Jagadeesh, P., Mavinkere Rangappa, S., Siengchin, S., Puttegowda, M., Thiagamani, S. M. K., G., R., Hemath Kumar, M., Oladijo, O. P., Fiore, V., and Moure Cuadrado, M. M., "Sustainable recycling technologies for thermoplastic polymers and their composites: A review of the state of the art", *Polymer Composites*, 43 (9): 5831–5862 (2022).
46. Parameswaranpillai, J., Midhun Dominic, C. D., Mavinkere Rangappa, S., Siengchin, S., and Ozbakkaloglu, T., "1 - Introduction to elastomers", *Elastomer Blends and Composites*, *Elsevier*, 1–9 (2022).
47. Jagadeesh, P., Puttegowda, M., Mavinkere Rangappa, S., and Siengchin, S., "Influence of nanofillers on biodegradable composites: A comprehensive review", *Polymer Composites*, 42 (11): 5691–5711 (2021).
48. Jagadeesh, P., Puttegowda, M., Thyavihalli Girijappa, Y. G., Rangappa, S. M., and Siengchin, S., "Effect of natural filler materials on fiber reinforced hybrid polymer composites: An Overview", *Journal Of Natural Fibers*, 19 (11): 4132–4147 (2022).
49. Ducrot, E., Chen, Y., Bulters, M., Sijbesma, R. P., and Creton, C., "Toughening Elastomers with Sacrificial Bonds and Watching Them Break", *Science*, 344 (6180): 186–189 (2014).
50. Vinod, A., Pulikkalparambil, H., Jagadeesh, P., Rangappa, S. M., and Siengchin, S., "Recent advancements in lignocellulose biomass-based carbon fiber: Synthesis, properties, and applications", *Heliyon*, 9 (3): e13614 (2023).

51. Yang, J., Webb, A. R., Pickerill, S. J., Hageman, G., and Ameer, G. A., "Synthesis and evaluation of poly(diols citrate) biodegradable elastomers", *Biomaterials*, 27 (9): 1889–1898 (2006).
52. Bogue, R., "3D printing: the dawn of a new era in manufacturing?", *Assembly Automation*, 33 (4): 307–311 (2013).
53. Berman, B., "3-D printing: The new industrial revolution", *Business Horizons*, 55 (2): 155–162 (2012).
54. Wohlers, T., "Wohlers report 2017 : 3D printing and additive manufacturing state of the industry : annual worldwide progress report", (*No Title*), .
55. Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., and Hui, D., "Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges", *Composites Part B: Engineering*, 143: 172–196 (2018).
56. Bhushan, B. and Caspers, M., "An overview of additive manufacturing (3D printing) for microfabrication", *Microsystem Technologies*, 23 (4): 1117–1124 (2017).
57. Jandyal, A., Chaturvedi, I., Wazir, I., Raina, A., and Ul Haq, M. I., "3D printing – A review of processes, materials and applications in industry 4.0", *Sustainable Operations And Computers*, 3: 33–42 (2022).
58. Mohamed, O. A., Masood, S. H., and Bhowmik, J. L., "Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects", *Advances In Manufacturing*, 3 (1): 42–53 (2015).
59. 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).
60. Chohan, J. S., Singh, R., Boparai, K. S., Penna, R., and Fraternali, F., "Dimensional accuracy analysis of coupled fused deposition modeling and vapour smoothing operations for biomedical applications", *Composites Part B: Engineering*, 117: 138–149 (2017).
61. Parandoush, P. and Lin, D., "A review on additive manufacturing of polymer-fiber composites", *Composite Structures*, 182: 36–53 (2017).
62. Wang, X., Jiang, M., Zhou, Z., Gou, J., and Hui, D., "3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective", *Composites Part B: Engineering*, 110: 442–458 (2017).
63. Chaudhry, M. S. and Czekanski, A., "Evaluating FDM Process Parameter Sensitive Mechanical Performance of Elastomers at Various Strain Rates of Loading", *Materials*, 13 (14): 3202 (2020).
64. Lee, J.-Y., An, J., and Chua, C. K., "Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials", *Applied Materials Today*, 7: 120–133 (2017).

65. Jandyal, A., Chaturvedi, I., Wazir, I., Raina, A., and Ul Haq, M. I., "3D printing – A review of processes, materials and applications in industry 4.0", *Sustainable Operations And Computers*, 3: 33–42 (2022).
66. Pati, F., Jang, J., Lee, J. W., and Cho, D.-W., "Chapter 7 - Extrusion Bioprinting", *Essentials of 3D Biofabrication and Translation*, *Academic Press*, Boston, 123–152 (2015).
67. Gopinathan, J. and Noh, I., "Recent trends in bioinks for 3D printing", *Biomaterials Research*, 22 (1): 11 (2018).
68. Roy, R. and Mukhopadhyay, A., "Tribological studies of 3D printed ABS and PLA plastic parts", *Materials Today: Proceedings*, 41: 856–862 (2021).
69. Sezer, H. K. and Eren, O., "FDM 3D printing of MWCNT re-inforced ABS nano-composite parts with enhanced mechanical and electrical properties", *Journal Of Manufacturing Processes*, 37: 339–347 (2019).
70. Kovan, V., Altan, G., and Topal, E. S., "Effect of layer thickness and print orientation on strength of 3D printed and adhesively bonded single lap joints", *Journal Of Mechanical Science And Technology*, 31 (5): 2197–2201 (2017).
71. Christiyan, K. G. J., Chandrasekhar, U., and Venkateswarlu, K., "A study on the influence of process parameters on the Mechanical Properties of 3D printed ABS composite", *IOP Conference Series: Materials Science And Engineering*, 114 (1): 012109 (2016).
72. "The 3D Printing Handbook", <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/3199991> (2023).
73. Yang, L., Liu, Y., Peng, M., and Li, M., "A gamma-ray dose rate assessment method for arbitrary shape geometries based on voxelization algorithm", *Radiation Physics And Chemistry*, 158: 122–130 (2019).
74. Kumar, R., Singh, R., and Ahuja, I. P. S., "Investigations of mechanical, thermal and morphological properties of FDM fabricated parts for friction welding applications", *Measurement*, 120: 11–20 (2018).
75. Mwema, F. M. and Akinlabi, E. T., "Fused Deposition Modeling: Strategies for Quality Enhancement", *Springer Nature*, 77 (2020).
76. Ding, S., Zou, B., Wang, P., and Ding, H., "Effects of nozzle temperature and building orientation on mechanical properties and microstructure of PEEK and PEI printed by 3D-FDM", *Polymer Testing*, 78: 105948 (2019).
77. Wang, P., Zou, B., Ding, S., Li, L., and Huang, C., "Effects of FDM-3D printing parameters on mechanical properties and microstructure of CF/PEEK and GF/PEEK", *Chinese Journal Of Aeronautics*, 34 (9): 236–246 (2021).
78. Negis, E., "A short history and applications of 3D Printing technologies in Turkey", (2009).

79. Bayar, M. S. and Aziz, Z., "Rapid Prototyping and Its Role in Supporting Architectural Design Process", *Journal Of Architectural Engineering*, 24 (3): 05018003 (2018).
80. Najmon, J. C., Raeisi, S., and Tovar, A., "2 - Review of additive manufacturing technologies and applications in the aerospace industry", *Additive Manufacturing for the Aerospace Industry*, *Elsevier*, 7–31 (2019).
81. Syrlybayev, D., Zharylkassyn, B., Seisekulova, A., Akhmetov, M., Perveen, A., and Talamona, D., "Optimisation of Strength Properties of FDM Printed Parts— A Critical Review", *Polymers*, 13 (10): 1587 (2021).
82. Klippstein, H., Diaz De Cerio Sanchez, A., Hassanin, H., Zweiri, Y., and Seneviratne, L., "Fused Deposition Modeling for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Review", *Advanced Engineering Materials*, 20 (2): 1700552 (2018).
83. Hiemenz, J., "Additive Manufacturing Trends In Aerospace", *Additive Manufacturing*, .
84. Klippstein, H., Diaz De Cerio Sanchez, A., Hassanin, H., Zweiri, Y., and Seneviratne, L., "Fused Deposition Modeling for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Review", *Advanced Engineering Materials*, 20 (2): 1700552 (2018).
85. Bayar, M. S. and Aziz, Z., "Rapid Prototyping and Its Role in Supporting Architectural Design Process", *Journal Of Architectural Engineering*, 24 (3): 05018003 (2018).
86. Negis, E., "A short history and applications of 3D Printing technologies in Turkey", (2009).
87. Najmon, J. C., Raeisi, S., and Tovar, A., "2 - Review of additive manufacturing technologies and applications in the aerospace industry", *Additive Manufacturing for the Aerospace Industry*, *Elsevier*, 7–31 (2019).
88. Ilardo, R. and Williams, C. B., "Design and manufacture of a Formula SAE intake system using fused deposition modeling and fiber-reinforced composite materials", *Rapid Prototyping Journal*, 16 (3): 174–179 (2010).
89. Okwuosa, T. C., Stefaniak, D., Arafat, B., Isreb, A., Wan, K.-W., and Alhnan, M. A., "A Lower Temperature FDM 3D Printing for the Manufacture of Patient-Specific Immediate Release Tablets", *Pharmaceutical Research*, 33 (11): 2704–2712 (2016).
90. Hutmacher, D. W., Sittinger, M., and Risbud, M. V., "Scaffold-based tissue engineering: rationale for computer-aided design and solid free-form fabrication systems", *Trends In Biotechnology*, 22 (7): 354–362 (2004).
91. Yeong, W.-Y., Chua, C.-K., Leong, K.-F., and Chandrasekaran, M., "Rapid prototyping in tissue engineering: challenges and potential", *Trends In Biotechnology*, 22 (12): 643–652 (2004).

92. Domanski, J., Skalski, K., Grygoruk, R., and Mróz, A., "Rapid prototyping in the intervertebral implant design process", *Rapid Prototyping Journal*, 21 (6): 735–746 (2015).
93. Marczis, B. and Czigány, T., "POLYMER JOINTS", *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 46 (2): 117–126 (2002).
94. Visco, A., Scolaro, C., Quattrocchi, A., and Montanini, R., "Response to fatigue stress of biomedical grade polyethylene joints welded by a diode laser", *Journal Of The Mechanical Behavior Of Biomedical Materials*, 86: 390–396 (2018).
95. "Handbook of Adhesion Technology", 2011th edition. Ed., *Springer*, Heidelberg, 1602 (2011).
96. Amanat, N., James, N. L., and McKenzie, D. R., "Welding methods for joining thermoplastic polymers for the hermetic enclosure of medical devices", *Medical Engineering & Physics*, 32 (7): 690–699 (2010).
97. Evers, F., Schöppner, V., and Lakemeyer, P., "The influence of welding processes on the weld strength of flame-retardant materials", *Welding In The World*, 61 (1): 161–170 (2017).
98. Banea, M. D., da Silva, L. F. M., Campilho, R. D. S. G., and Sato, C., "Smart Adhesive Joints: An Overview of Recent Developments", *The Journal Of Adhesion*, 90 (1): 16–40 (2014).
99. Grewell, D. and Benatar, A., "Welding of Plastics: Fundamentals and New Developments", *International Polymer Processing*, 22 (1): 43–60 (2007).
100. Troughton, M. J., "Handbook of Plastics Joining: A Practical Guide", 2nd edition. Ed., *William Andrew*, Norwich, NY Cambridge, UK, 600 (2008).
101. Amancio-Filho, S. t. and dos Santos, J. f., "Joining of polymers and polymer–metal hybrid structures: Recent developments and trends", *Polymer Engineering & Science*, 49 (8): 1461–1476 (2009).
102. Silva, L. R. R., Marques, E. A. S., and da Silva, L. F. M., "Polymer joining techniques state of the art review", *Welding In The World*, 65 (10): 2023–2045 (2021).
103. Rasmussen, P. A. D. and Brown, J. M., "Integral thermoset/thermoplastic composite joint", (1997).
104. Schieler, O. and Beier, U., "Induction Welding of Hybrid Thermoplastic-thermoset Composite Parts", *Applied Science And Engineering Progress*, 9 (1): 27–36 (2016).
105. "Modeling of Adhesively Bonded Joints", *Springer*, Berlin, Heidelberg, (2008).
106. Mansouri, N.-E. E. and Salvadó, J., "Structural characterization of technical lignins for the production of adhesives: Application to lignosulfonate, kraft, soda-

- anthraquinone, organosolv and ethanol process lignins", *Industrial Crops And Products*, 24 (1): 8–16 (2006).
107. Zhang, X., Bai, L., Sun, J., Li, Z., Jia, Z., and Gu, J., "Design and fabrication of PVAc-based inverted core/shell (ICS) structured adhesives for improved water-resistant wood bonding performance: II. Influence of copolymerizing-grafting sequential reaction", *International Journal Of Adhesion And Adhesives*, 99: 102571 (2020).
  108. Vargas Villanueva, J. G., Sarmiento Huertas, P. A., Galan, F. S., Esteban Rueda, R. J., Briceño Triana, J. C., and Casas Rodriguez, J. P., "Bio-adhesion evaluation of a chitosan-based bone bio-adhesive", *International Journal Of Adhesion And Adhesives*, 92: 80–88 (2019).
  109. Kandalam, U., Bouvier, A. J., Casas, S. B., Smith, R. L., Gallego, A. M., Rothrock, J. K., Thompson, J. Y., Huang, C.-Y. C., and Stelnicki, E. J., "Novel bone adhesives: a comparison of bond strengths in vitro", *International Journal Of Oral And Maxillofacial Surgery*, 42 (9): 1054–1059 (2013).
  110. Shi, J.-W., Cao, W.-H., and Wu, Z.-S., "Effect of adhesive properties on the bond behaviour of externally bonded FRP-to-concrete joints", *Composites Part B: Engineering*, 177: 107365 (2019).
  111. Cho, B. H., Nam, B. H., Seo, S., Kim, J., An, J., and Youn, H., "Waterproofing performance of waterstop with adhesive bonding used at joints of underground concrete structures", *Construction And Building Materials*, 221: 491–500 (2019).
  112. "Testing Adhesive Joints: Best Practices", 1st edition. Ed., *Wiley-VCH*, Weinheim, 468 (2012).
  113. Ebnesajjad, S., "Handbook of Adhesives and Surface Preparation: Technology, Applications and Manufacturing", 1st edition. Ed., *William Andrew*, Amsterdam, 450 (2010).
  114. Akhavan-Safar, A., Barbosa, A. Q., Ayatollahi, M. R., and da Silva, L. F. M., "Influence of microcork particles on the lap shear strength of an epoxy adhesive subjected to fatigue loading and different environmental conditions", *Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part L: Journal Of Materials: Design And Applications*, 234 (6): 851–858 (2020).
  115. Banea, M. D., Da Silva, L. F. M., Carbas, R. J. C., Cavalcanti, D. K. K., and De Souza, L. F. G., "The effect of environment and fatigue loading on the behaviour of TEPs-modified adhesives", *The Journal Of Adhesion*, 96 (1–4): 423–436 (2020).
  116. Borges, C., Marques, E., Carbas, R., Ueffing, C., Weißgraeber, P., and Silva, L. da, "Review on the effect of moisture and contamination on the interfacial properties of adhesive joints", *Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part C: Journal Of Mechanical Engineering Science*, 235 (3): 527–549 (2021).



117. Bukhari, M. D., Gohar, G. A., Akhtar, A., Ullah, S., Akram, M., Abid, J., and Raza, H., "Adhesion Theories and Effect of Surface Roughness on Energy Estimation and Wettability of Polymeric Composites Bonded Joints: A-Review", *VW Applied Sciences*, 2 (1): 74–86 (2019).
118. Ibrahim, R. A. and Pettit, C. L., "Uncertainties and dynamic problems of bolted joints and other fasteners", *Journal Of Sound And Vibration*, 279 (3): 857–936 (2005).
119. Ageorges, C. and Ye, L., "State of the Art in Fusion Bonding of Polymer Composites", *Fusion Bonding of Polymer Composites*, Springer, London, 7–64 (2002).
120. Thoppul, S. D., Finegan, J., and Gibson, R. F., "Mechanics of mechanically fastened joints in polymer–matrix composite structures – A review", *Composites Science And Technology*, 69 (3): 301–329 (2009).
121. Vinson, J. R., "Mechanical fastening of polymer composites", *Polymer Engineering & Science*, 29 (19): 1332–1339 (1989).
122. Karpat, F. and Kucukoglu, A., "A review of the mechanical joining techniques for thermoplastics", *Juniper Online J. Mater. Sci.*, 3 (2): 6–7 (2017).
123. Khoo, T. S., Ratnam, M. M., Shahnaz, S. A. B., and Abdul Khalil, H. P. S., "Wood Filler-recycled Polypropylene (WF-RPP) Composite Pallet: Study of Fastening Method", *Journal Of Reinforced Plastics And Composites*, 27 (16–17): 1723–1731 (2008).
124. Lambiase, F., Durante, M., and Ilio, A. D., "Fast joining of aluminum sheets with Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) by mechanical clinching", *Journal Of Materials Processing Technology*, 236: 241–251 (2016).
125. Kah, P., Suoranta, R., Martikainen, J., and Magnus, C., "Techniques for joining dissimilar materials: Metals and polymers", *Reviews On Advanced Materials Science*, 36: 152–164 (2014).
126. "Plastics and Composites Welding Handbook", *Hanser*, Munich, 407 (2003).
127. Nelson, T. W., Sorenson, C. D., and Johns, C. J., "Friction stir welding of polymeric materials", (2004).
128. Ageorges, C., Ye, L., and Hou, M., "Advances in fusion bonding techniques for joining thermoplastic matrix composites: a review", *Composites Part A: Applied Science And Manufacturing*, 32 (6): 839–857 (2001).
129. McKnight, S. H., Holmes, S. T., Gillespie Jr., J. W., Lambing, C. L. T., and Marinelli, J. M., "Scaling issues in resistance-welded thermoplastic composite joints", *Advances In Polymer Technology*, 16 (4): 279–295 (1997).

130. Ageorges, C., Ye, L., and Hou, M., "Experimental investigation of the resistance welding for thermoplastic-matrix composites. Part I: heating element and heat transfer", *Composites Science And Technology*, 60 (7): 1027–1039 (2000).
131. Xiong, X., Wang, D., Wei, J., Zhao, P., Ren, R., Dong, J., and Cui, X., "Resistance welding technology of fiber reinforced polymer composites: a review", *Journal Of Adhesion Science And Technology*, 35 (15): 1593–1619 (2021).
132. Rudrapati, R., "Effects of welding process conditions on friction stir welding of polymer composites: A review", *Composites Part C: Open Access*, 8: 100269 (2022).
133. Mistry, K., "Tutorial Plastics welding technology for industry", *Assembly Automation*, 17 (3): 196–200 (1997).
134. Regnier, G. and Le Corre, S., "Modeling of Thermoplastic Welding", Heat Transfer in Polymer Composite Materials, *John Wiley & Sons, Ltd*, 235–268 (2016).
135. Gonçalves, L. F. F. F., Duarte, F. M., Martins, C. I., and Paiva, M. C., "Laser welding of thermoplastics: An overview on lasers, materials, processes and quality", *Infrared Physics & Technology*, 119: 103931 (2021).
136. Ahmed, T. J., Stavrov, D., Bersee, H. E. N., and Beukers, A., "Induction welding of thermoplastic composites—an overview", *Composites Part A: Applied Science And Manufacturing*, 37 (10): 1638–1651 (2006).
137. Bhudolia, S. K., Gohel, G., Leong, K. F., and Islam, A., "Advances in Ultrasonic Welding of Thermoplastic Composites: A Review", *Materials*, 13 (6): 1284 (2020).
138. Haimbaugh, R. E., "Practical Induction Heat Treating, Second Edition", *ASM International*, 381 (2015).
139. Border, J. and Salas, R., "Induction heated joining of thermoplastic composites without metal susceptors", *Tomorrow's Materials: Today.*, 34: 2569–2578 (1989).
140. Chookazian, S. M., "Electromagnetic welding of thermoplastics and specific design criteria with emphasis on polypropylene", *ANTEC94*, 1352–5 (1994).
141. Sanders, P., "Electromagnetic welding: an advance in thermoplastics assembly", *Materials & Design*, 8 (1): 41–45 (1987).
142. Ahmed, T. J., Stavrov, D., Bersee, H. E. N., and Beukers, A., "Induction welding of thermoplastic composites—an overview", *Composites Part A: Applied Science And Manufacturing*, 37 (10): 1638–1651 (2006).

143. Banik, N., "A review on the use of thermoplastic composites and their effects in induction welding method", *Materials Today: Proceedings*, 5 (9, Part 3): 20239–20249 (2018).
144. W, L., "Induction heating model for graphite fiber/thermoplastic matrix composites", *SAMPE Journal*, 27 (6): 45–51 (1991).
145. Benatar, A. and Gutowski, T. G., "Method for fusion bonding thermoplastic composites", *SAMPE Q.; (United States)*, 18:1: (1986).
146. K, M. A., "The nature of induction heating in graphite-fiber, polymer-matrix composite materials", *SAMPE Journal*, 26 (4): 37–54 (1990).
147. Rudolf, R., Mitschang, P., and Neitzel, M., "Induction heating of continuous carbon-fibre-reinforced thermoplastics", *Composites Part A: Applied Science And Manufacturing*, 31 (11): 1191–1202 (2000).
148. Yousefpour, A., Hojjati, M., and Immarigeon, J.-P., "Fusion Bonding/Welding of Thermoplastic Composites", *Journal Of Thermoplastic Composite Materials*, 17 (4): 303–341 (2004).
149. Velmurugan, P., Manohar, J., Ramesh Kannan, C., Manivannan, S., Vairamuthu, J., and Stalin, B., "A Study On development of Induction Welding of Thermoplastic Composites", *IOP Conference Series: Materials Science And Engineering*, 988 (1): 012109 (2020).
150. Ghaffarpour, M., Akbari, D., Moslemi Naeeni, H., and Ghanbari, S., "Improvement of the joint quality in the high-frequency induction welding of pipes by edge modification", *Welding In The World*, 63 (6): 1561–1572 (2019).
151. Dede, E. J., Jordán, J., and Esteve, V., "The practical use of SiC devices in high power, high frequency inverters for industrial induction heating applications", *2016 IEEE 2nd Annual Southern Power Electronics Conference (SPEC)*, (2016).
152. Ma, W., Zhan, X., Yang, H., Bu, H., Li, Y., and Wang, F., "Study on the interface morphology in the induction welding joint of PEEK plate at low power", *Journal Of Polymer Engineering*, 40 (5): 432–439 (2020).
153. R.k., B. M., Maji, P., Samadhiya, A., Ghosh, S. K., Roy, B. S., Das, A. K., and Saha, S. C., "A study on induction welding of mild steel and copper with flux under applied load condition", *Journal Of Manufacturing Processes*, 34: 435–441 (2018).
154. Schieler, O., Beier, U., and Mitschang, P., "Control of the through-thickness temperature distribution in carbon composite aerospace parts during induction welding", *Journal Of Thermoplastic Composite Materials*, 31 (12): 1587–1608 (2018).

155. RUDOLF, R., MITSCHANG, P., NEITZEL, M., and RUECKERT, C., "Welding of high-performance thermoplastic composites", *Welding Of High-Performance Thermoplastic Composites*, 7 (5): 309–315 (1999).
156. Ageorges, C. and Ye, L., "Resistance welding of thermosetting composite/thermoplastic composite joints", *Composites Part A: Applied Science And Manufacturing*, 32 (11): 1603–1612 (2001).
157. Mitschang, P., Rudolf, R., and Neitzel, M., "Continuous Induction Welding Process, Modelling and Realisation", *Journal Of Thermoplastic Composite Materials*, 15 (2): 127–153 (2002).
158. Suwanwatana, W., Yarlagadda, S., and Gillespie, J. W., "Induction bonding of composite materials using nickel/polysulfone films", (2002).
159. Zach, T., Lew, J., North, T. H., and Woodhams, R. T., "Joining of high strength oriented polypropylene using electromagnetic induction bonding and ultrasonic welding", *Materials Science And Technology*, 5 (3): 281–287 (1989).
160. Stavrov, D., Bersee, H., and Beukers, A., "The influence of the heating element on resistance welding of thermoplastic composite materials", *14th International Conference On Composite Materials*, 1–10 (2003).
161. Stokes, V. K., "Experiments on the Induction Welding of Thermoplastics (856)", (2001).
162. T, N., "Evaluation of PEEK matrix composite", *32nd International SAMPE Symposium*, 396–407 (1987).
163. Hodges, W. T., Tyeryar, J. R., and Berry, M., "Bonding and nondestructive evaluation of graphite/PEEK composite and titanium adherends with thermoplastic adhesives", (1985).
164. Yarlagadda, S., Fink, B. K., and Gillespie, J. W., "Resistive Susceptor Design for Uniform Heating during Induction Bonding of Composites", *Journal Of Thermoplastic Composite Materials*, 11 (4): 321–337 (1998).
165. Mahdi, S., Kim, H.-J., Gama, B. A., Yarlagadda, S., and Gillespie, J. W., "A Comparison of Oven-cured and Induction-cured Adhesively Bonded Composite Joints", *Journal Of Composite Materials*, 37 (6): 519–542 (2003).
166. Karamuk, E., Wetzel, E. D., and Gillespie Jr, J. W., "Modeling and design of induction bonding process for infrastructure rehabilitation with composite materials", *Society Of Plastics Engineers(USA)*, 1239–1243 (1995).
167. "Nondestructive Evaluation Physics: Electricity", <https://www.nde-ed.org/Physics/Electricity/depthcurrentdensity.xhtml> (2023).

## ÖZGEÇMİŞ

Mustafa ACAROĞLU ilk ve orta öğrenimini Kastamonu ilinde tamamladı. Kastamonu Anadolu Ticaret Meslek Lisesi Bilişim Teknolojileri Alanı /Web Programcılığı programından mezun oldu. 2009 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği Bölümü'nde öğrenimine başlayıp 2019 yılında mezun oldu. 2019 yılında Karabük Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır. 2020 yılında Kastamonu Acaroğlu Elektrik İnş. San. Tic. Ltd. Şti'ni kurmuştur. Aktif olarak aynı şirkette görevine devam etmektedir.