

**3 BOYUTLU YAZICILARDA PARÇACIK FİBER
TAKVİYELİ FİLAMENT İLE YAZDIRILAN
PARÇALARIN YAPIŞTIRMA DAYANIMLARININ
BELİRLENMESİ**

**2019
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ**

Can GÜLEÇ

**3 BOYUTLU YAZICILARDA PARÇACIK FİBER TAKVİYELİ FİLAMENT
İLE YAZDIRILAN PARÇALARIN YAPIŞTIRMA DAYANIMLARININ
BELİRLENMESİ**

Can GÜLEÇ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Eylül 2019

Can GÜLEÇ tarafından hazırlanan “ÜÇ BOYUTLU YAZICILARDA PARÇACIK FİBER TAKVİYELİ FİLAMANT İLE YAZDIRILAN PARÇALARIN YAPIŞTIRMA DAYANIMLARININ BELİRLENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğretim Üyesi Özkan ÖZ

Tez Danışmanı, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği A.B.D.



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27/09/2019

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Yakup KAYA (KBÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Engin ERBAYRAK (BÜ)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Özkan ÖZ (KBÜ)

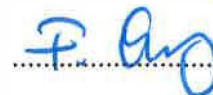


...../...../2019

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

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.





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

Can GÜLEÇ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

3 BOYUTLU YAZICILARDA PARÇACIK FİBER TAKVİYELİ FİLAMENT İLE YAZDIRILAN PARÇALARIN YAPIŞTIRMA DAYANIMLARININ BELİRLENMESİ

Can GÜLEÇ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Özkan ÖZ

Eylül 2019 54, sayfa

3 boyutlu (3B) yazıcılar ile yazdırılan ürünlerin endüstriyel uygulamalarda kullanımı ürün dayanımının artırılmasına bağlıdır. Ürün dayanımının artırılması amacıyla, takviye elemanlarının kullanılması tercih edilen yöntemlerin başında gelmektedir. Bu yöntemde takviye elemanları matris yapıyı oluşturan PLA (Polilaktik Asit) veya ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) termoplastik malzemelerin içerisinde belli oranlarda karıştırılmaktadırlar. Karbon veya cam fiber toz veya parçacıkları bu malzemelerde sıklıkla tercih edilen takviye elemanlarıdır.

Tez çalışmasının ilk kısmında, PLA matris malzemesi ile PEO (Polietilen Oksit) malzemesi sabit oranla (%3 gr) karıştırılarak üretilen filamentte PEO'nun etkisine bakılmıştır. Aynı PLA+PEO oranına 100-400 mikron ölçülerinde KET (Karbon Elyaf Tozu) kullanılarak PLA matrisli kompozit filament üretilmiştir. Çalışmanın devamında, kompozit filamentler kullanılarak, belirlenen ölçülerde çekme test

numunesi ve levhalar yazdırılmıştır. Çekme test numunesi için ASTM (American Society for Testing and Materials) D638-4 geometrisi ve yapıştırırmalı bağlantıların hazırlanmasında basit bindirmeli bağlantı geometrisi kullanılmıştır. Numunelerin hasar yükleri ve davranışları çekme yükü altında belirlenmiştir. Ayrıca, sadece PLA filament kullanılarak yazdırılan numunelerin dayanımları, kompozit filament ile üretilen numunelerin dayanımları ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak üretilen numunelerde %5 ve %10 PLA+PEO+KET karışımları PLA+PEO numunelerinden dayanımı yüksek çıkmış %15 karışımında düşüş gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler : Kompozit filament, basit bindirmeli bağlantı, bağlantı dayanımı.

Bilim Kodu : 91417

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DETERMINATION OF BOND STRENGTH OF PARTS PRINTED WITH 3 DIMENSIONAL PRINTER USING PARTICLE FIBER REINFORCED FILAMENT

Can GÜLEÇ

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Design Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Özkan ÖZ

September 2019 54, pages

The use of printed products with 3D printers in industrial applications depends on increasing the strength of the product. In order to increase the strength of the product, the use of reinforcing elements is one of the preferred methods. In this method, reinforcing elements are mixed in certain proportions in PLA (Polylactic Acid) or ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) thermoplastic materials which form the matrix structure. Carbon or glass fiber powders or particles are often preferred reinforcing elements in these materials.

In the first part of the thesis, the effect of PEO on the filament produced by mixing PLA matrix material and PEO (Polyethylene Oxide) material at a fixed ratio (3 g) was examined. PLA matrix composite filament is produced by using CFP (Carbon Fiber Powder) in the dimensions of 100-400 micron in the same PLA + PEO ratio. In the

continuation of the study, tensile test specimens and plates of specified dimensions were printed using composite filaments. ASTM (American Society for Testing and Materials) D638-4 geometry for tensile test specimen and single lap joint geometry were used for the preparation of bonded joints. Failure loads and behavior of specimens were determined under tensile load. In addition, the strengths of the specimens printed using only PLA filament were compared with the strengths of the specimens produced with composite filament. As a result, 5% and 10% PLA + PEO + KET mixtures were higher than PLA + PEO samples and 15% mixture decreased.

Key Word : Composite filament, single lap joint, joint strength.

Science Code : 91417

TEŐEKKÖR

Öncelikle danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Özkan ÖZ'e tezimle alakalı bütün konularda yardımlarını, engin bilgisini ve tecrübesini aktardığı için teşekkür ediyorum.

Aileme bana maddi ve manevi katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde KBÜBAP-17-YL-186 numaralı proje kapsamında maddi destek sağlayan Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Ofisi'ne teşekkür ederim.

Çalışma sırasında teknik bilgi, numunelerin üretimi, deneyler ve analiz konularında yardımını esirgemeyen Arş. Gör. Fatih Huzeyfe ÖZTÖRK'e teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
KOMPOZİT MALZEME	4
2.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI.....	7
2.1.1. Polimer Matrisli Kompozitler.....	8
2.1.1.1. Termoplastikler	8
2.1.1.2. Termosetler	8
2.2. KOMPOZİTLERDE TAKVİYE ELAMANLARI VE ÖZELLİKLERİ	8
2.2.1. Karbon Elyaf.....	9
2.2.2. Cam Elyaf	9
2.2.3. Organik Elyaf lar	9
BÖLÜM 3	11
EKSTRUDER	11
3.1. EKSTRUDER ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	11
3.2. HAREKET ÜNİTESİ.....	11
3.3. BESLEME KOVANI.....	12

	<u>Sayfa</u>
3.4. ISITICI REZİTANSLAR	13
3.5. BESLENME HUNİSİ	13
3.7. SOĞUTMA HAVUZU	16
3.8. MERDANE VE MAKARA SARIM SİSTEMİ	17
BÖLÜM 4	18
ÜÇ BOYUTLU YAZICILAR	18
4.1. HIZLI PROTOTİP OLUŞTURMA TEKNOLOJİSİ	18
4.2. ÜÇ BOYUTLU YAZICI	18
4.2.1. Eriyik Yığıma Modelleme	19
4.3. 3B YAZICIDA KULLANILAN MALZEMELER	20
4.4. EYM AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI	21
BÖLÜM 5	23
YAPIŞTIRICILAR	23
5.1. YAPIŞTIRICILAR	23
5.2. YAPIŞTIRICILAR SINIFLANDIRILMASI	24
5.2.1. Epoksi	24
5.2.2. Poliüretan	24
5.2.3. Akrilikler	25
5.2.4. Siyanoakrilikler	25
5.2.5. Anaerobikler	25
5.2.6. Silikonlar	25
5.2.7. Fenolikler	26
5.3. YÜKLEME ÇEŞİTLERİ	26
5.3.1. Kesme	26
5.3.2. Çekme	27
5.3.3. Soyulma	27
5.3.4. Çekme Makaslama	27
5.4. YAPIŞTIRMALI BAĞLANTI ÇEŞİTLERİ	27

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6	29
DENEYSEL ÇALIŞMA	29
6.1. EKSTRUDER İLE KOMPOZİT FİLAMENT ÜRETİMİ.....	29
6.2. ÜRETİLEN FİLAMENTLERİN 3B YAZICIDA BASKI İŞLEMİ	37
BÖLÜM 7	42
DENEYSEL SONUÇLAR	42
7.1. ÇEKME TESTİ SONUÇLARI	42
7.2. YAPIŞTIRMALI BAĞLANTI ÇEKME TESTİ SONUÇLARI.....	45
BÖLÜM 8	49
SONUÇLAR	49
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Tek yönlü %60 fiber oranlı kompozit malzemelerin charpy darbe deneyi sonuçlarının çelik ve alüminyum ile karşılaştırılması	6
Şekil 2.2.	Metal ve türevi malzemeler ile kompozit malzemelerin karşılaştırılması	7
Şekil 2.3.	Kompozitlerin sınıflandırılması.....	7
Şekil 3.1.	Ekstrüzyon bölümleri.	11
Şekil 3.2.	Kovan vidalı mil kesiti	12
Şekil 3.3.	Isıtıcı rezitans.....	13
Şekil 3.4.	Besleme hunisi.....	14
Şekil 3.5.	Vida bölümleri.....	15
Şekil 3.6.	Extruder vidalı mil görüntüsü.....	16
Şekil 3.7.	Havuz sistemi.	16
Şekil 3.8.	Merdane ve makara sarım sistemi.	17
Şekil 4.1.	Hızlı prototip oluşturma teknolojisi.....	18
Şekil 4.2.	EYM şematik gösterimi.....	20
Şekil 5.1.	Gerilme çeşitleri.	26
Şekil 5.2.	Bazı yaygın yapıştırma bağlantı tipleri, (a) Tek tesirli bindirme, (b) Çift tesirli bindirme, (c) Boyun bindirme, (d) Açılı bindirme, (e) Teraslama, (f) Tek takviyeli bindirme, (g) Çift takviyeli bindirme, (h) Alın bağlantı, (i) Silindirik bindirme, (j) Soyulma.....	28
Şekil 6.1.	Karbon elyaf tozu.	30
Şekil 6.2.	Granül öğütme değirmeni.....	32
Şekil 6.3.	Etüv.....	33
Şekil 6.4.	Turbula.	33
Şekil 6.5.	Isıtıcı sıcaklık değerleri	34
Şekil 6.6.	Tek vidalı filament çekme cihazı.	35
Şekil 6.7.	Lazer kontrol ünitesi.....	35
Şekil 6.8.	Filament kırma makinası.	36
Şekil 6.9.	Üretilen filamentler.	36
Şekil 6.10.	Yapıştırılmalı bağlantı geometrisi	37
Şekil 6.11.	Çekme testi numunesi.....	37

	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.12. Yapıştırılmalı bağlantı geometrisi dilimlenmesi.	38
Şekil 6.13. Çekme testi geometrisi dilimlenmesi.	38
Şekil 6. 14. Yapıştırılmalı bağlantı ve çekme testi numunesi baskı işlemi.....	39
Şekil 6.15. Hizalama plakalarının yazdırılması.	39
Şekil 6.16. Bağlantı işlemi.....	40
Şekil 6.17. Çekme testi cihazı.....	41
Şekil 7.1. PLA ve PLA+PEO çekme testi numunelerinin yük uzama eğrisi.....	42
Şekil 7.2. Karbon elyaf tozu takviyeli çekme testi numunelerinin yük uzama eğrisi.	43
Şekil 7. 3. PLA, PLA+PEO ve PLA+PEO+KET çekme testi numuneleri yük uzama eğrisi.....	44
Şekil 7.4. PLA ve PLA+PEO yapıştırılmalı bağlantı yük uzama eğrisi.	45
Şekil 7.5. Karbon elyaf tozu takviyeli bağlantıların yük uzama eğrisi.....	46
Şekil 7.6. PLA, PLA+PEO ve PLA+PEO+KET bağlantıların yük uzama eğrisi. .	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. EYM teknolojisinde kullanılan malzemeler	21
Çizelge 6.1. Karbon elyaf tozu özellikleri.	31
Çizelge 6.2. Okside polietilen özellikleri.....	31
Çizelge 6.3. Yapıştırıcının özellikleri	31
Çizelge 6.4. Karışım oranları	32
Çizelge 7.1. Çekme testi numuneleri hasar yükleri.....	44
Çizelge 7.2. Karışım oranlarına göre % değişim	45
Çizelge 7.3. Bağlantıların hasar yükleri.....	47
Çizelge 7.4. Bağlantılarda oluşan yüzde değişim	48

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

- °C : santigrat derece
gr : gram
µm : mikron
gr/cm³ : gram / santimetreküp
MPa : megapaskal
% : yüzde
gr/dm³ : gram / desimetreküp

KISALTMALAR

- PLA : Polilaktik Asit
ABS : Akrilonitril bütadien stiren
KET : Karbon elyaf tozu
PEO : Polietilen oksit
ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerikan Malzeme Ve Test Derneği)
SEM : Scanning Electron Microscope
EYM : Eriyik Yığılma Modelleme

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde 3B yazıcılar kullanılarak üretilen polimer malzemeler, düşük dayanım değerlerine sahip olmalarından dolayı, son ürün olarak kullanım alanı bulamamaktadır. 3 boyutlu yazdırma yönteminin etkili olarak kullanılabilmesi ve üretilen parçaların son ürün olarak endüstride tercih edilebilir duruma gelmesi, üretilen parçaların dayanımlarının artırılması ile sağlanabilir. 3 boyutlu yazıcılarda kullanıma uygun polimer malzeme çeşidinin sınırlı olması, dayanım artışının sağlanması için takviye elemanlarının kullanımını zorunlu hale getirmektedir. Takviye elemanlarının dayanımına olan etkileri belirlenmesi amacıyla literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur.

Zhong v.d., çalışmalarında, düşük dayanım ve sertliğe sahip ABS malzemenin özelliklerini, kısa cam fiber, plastikleştirici ve uyumlaştırıcı ekleyerek geliştirmişler ve 3B yazıcıda kullanılması amacıyla, ekstrüder yöntemi ile filament haline getirmişlerdir. ABS malzeme içine eklenen cam fiberin, filament dayanımını önemli oranda arttırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca, ekstrüder yöntemi ile hazırlanan filamentin yazıcı ile uyumlu şekilde çalıştığını açıklamışlardır [1].

Namıkı v.d., çalışmalarında, 3B yazıcı kullanarak, sürekli fiber takviyeli PLA matrisli çekme test numuneleri üretmişlerdir. PLA filament ile sürekli fiber takviyesini yazıcı kafası içerisine ayrı ayrı iletmişlerdir. Ürettikleri çekme test numuneleri ile elde ettikleri deney sonuçları, rijitlik ve dayanımda artış sağlandığını göstermiştir [2].

Tekinalp v.d., çalışmalarında kısa fiber takviyeli ABS matrisli kompozit malzeme üretiminde 3B yazıcı ve geleneksel baskı kalıplama yöntemini kullanmışlardır. 3B yazıcı ile hazırlanan numunelerde, çekme dayanımı ve elastisite modülünün sırasıyla %115 ve %700 oranlarında arttığını belirlemişlerdir. 3B yazıcı ile üretilen numunelerin çekme dayanımının, basınçlı kalıp kullanılarak hazırlanan numunelerin çekme

dayanımından daha düşük olduğunu belirlediler. Bununla birlikte, kullanılan her iki yöntemin numunelerin çekme dayanımı ve elastisite modülünü önemli oranda arttırdığı sonucuna ulaştılar. Ayrıca, 3B yazıcılar ile hazırlanan numuneler içerisinde önemli oranda boşlukların meydana geldiğini belirttiler [3].

Perez v.d., ABS malzeme ve ağırlıkça %5 hint keneviri elyafını ekstruder ortamında karıştırarak kompozit filament ürettir. ABS ve kompozit filament kullanarak, 3B yazıcıda hazırladıkları çekme test numunelerini dayanımlarını karşılaştırdılar. Kompozit filament ile hazırlanan numunelerin çekme dayanımının, ABS filament ile hazırlanan numune çekme dayanımlarından %9 oranında düşük olduğunu belirlediler. Bununla birlikte, hint keneviri elyafının kırılma yükünü %29 oranında arttırdığını açıkladılar [4].

Ning v.d., plastik pelet ve karbon fiber toz kullanarak kompozit filament ürettir. Ürettikleri filamentlerin çekme özelliklerini (çekme dayanımı, elastisite modülü, tokluk ve akma dayanımı) belirlediler ve plastik numune özellikleri ile karşılaştırdılar. Plastik malzemeye karbon fiber eklenmesi ile çekme dayanımı ve elastisite modülünün arttığını, ancak tokluk ve akma dayanımlarında düşüş olduğunu belirttiler [5].

Bade v.d., 3B yazıcıda kullanılması amacıyla, karbon fiber takviyeli, PLA matris malzemedен oluşan kompozit filament ürettir. Karbon fiber takviye elemanını, yazıcı üzerinde ikinci bir kafa kullanarak ısıtma haznesine ilettiler. PLA ve kompozit filament ile 3B yazıcıda çekme test numuneleri yazdırdılar. PLA filament ile hazırladıkları çekme test numune dayanımlarının kompozit filament ile yazdırdıkları çekme test numune dayanımlarına göre %66 daha düşük olduğunu belirttiler [6].

Literatürde yapılan çalışmaların büyük kısmı üretilen filamentlerin dayanıma olan etkilerinin belirlenmesi şeklindedir. Tez çalışması kapsamında, üretilecek olan kompozit filamentlerin dayanımlarının belirlenmesi ile beraber bağlantı durumlarında performansları da detaylı olarak incelenecektir. Tez çalışmasının ilk adımında granül formda temin edilen PLA, granül öğütme değirmeni kullanılarak toz haline getirilecektir. Tezin devamında, toz PLA ile PEO oranı sabit tutulup, KET malzeme farklı oranlarda (ağırlıkça %5, 10 ve 15) homojen yapı elde edilene kadar TURBULA

cihazında karıştırılacaktır. Homojen karışım ekstruder yardımı ile filament formuna getirilecektir. Hazırlanan filamentler kullanılarak 3B yazıcıda %100 doluluk oranında çekme eksenine dik doğrultuda çekme numunesi ve levha yazdırılacaktır. Levhalar kullanılarak hazırlanan bağlantılar ve çekme testi numunelerine çekme test cihazında hasara uğrayana kadar yük uygulanacak ve hasar yükleri tespit edilecektir.



BÖLÜM 2

KOMPOZİT MALZEME

Kompozit malzemeler; birbirinden farklı birden fazla malzemenin bir araya getirilmesi ile oluşturulur. Kompozitler genel anlamıyla kendini bir araya getiren malzemelerin özelliklerini gösterecek şekilde biçimlenirler. Bu sebeple; yüksek mukavemet ve düşük ağırlık gereken kompozit malzemeler tercih edilebilmektedir. Kompozit malzemeler daha düşük ağırlık, ve ısıya dayanım gibi temel özellikler kazanılabilmektedir. Fakat tüm bu özellikler aynı anda sağlanamaz. Kullanım yerlerine ve alanlarına göre ihtiyaç duyulan özellikleri artırılabilir. Kompozit malzemeler kullanılan fiberin temel özelliklerini taşıyacak biçimde elde edilebilirler [7]. Günümüzde çok sayıda kompozit imalat yöntemi vardır. En çok kullanılan yöntemler Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

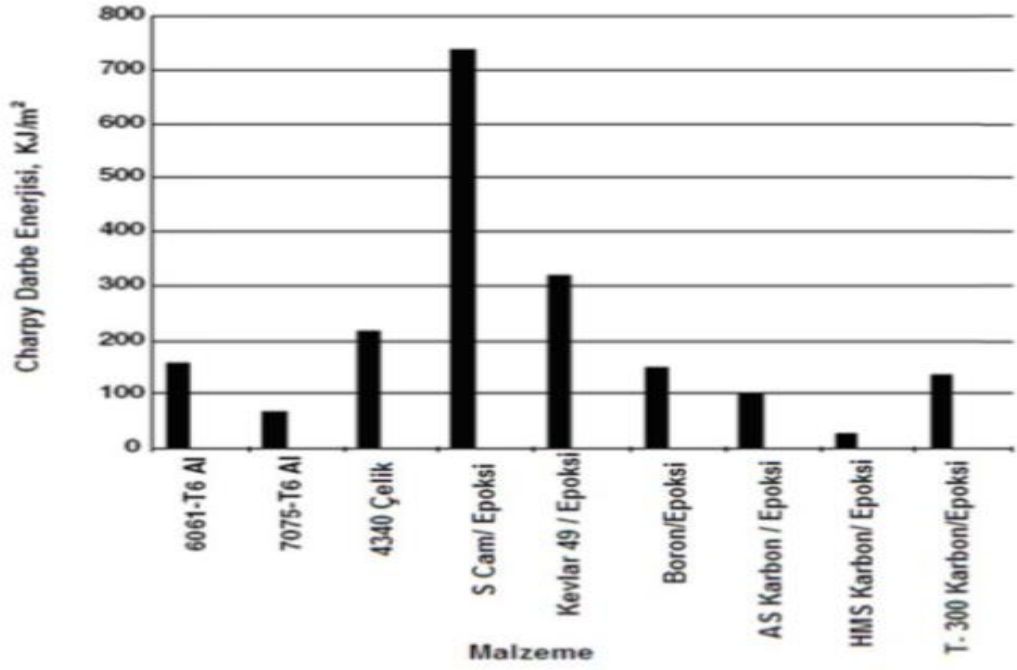
Yöntem	Açıklama
Ekstrüzyon üretim [8]	Takviyeli plastik yani plastik matrisli kompozit malzeme üretimi için kullanılan bir üretim yöntemidir. Bu üretim prosesini diğer üretim yöntemlerinden farklı kılan yönü ise plastik ekstrüzyon üretim yönteminin sürekli bir proses olmasıdır.
El yatırma	El yatırma veya kontak kalıplama prosesi cam elyaf takviyeli parça üretiminde en eski ve en basit metottur.
Püskürtme	Püskürtme yöntemi elle yatırma yönteminin aletli şekli olarak kabul edilebilir. Kırılmış elyaflar kalıp yüzeyine, içine sertleştirici katılmış reçine ile birlikte özel bir tabanca ile püskürtülür.
Reçine Transfer kalıplama (RTM)	Bu kompozit üretim yönteminde üretilen parçalar elle yatırma sistemlerine göre daha hızlı üretilmekte ve daha uzun ömürlü olmakla birlikte bu metotta iki parçalı kalıp kullanmak gereklidir.
Hazır Kalıplama	Hazır kalıplama bünyesinde cam elyafı, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri içeren hazır kalıplama bileşimleri olarak adlandırılan kompozit malzemelerin sıcak pres kalıplarla ürüne dönüştürülmesidir.
Vakum İnfüzyon	Karmaşık şekiller ve nispeten geniş parçaların üretilmesi kolaylıkla yapılabilir. Bu yöntem sıklıkla elyaf sarma ve yatırma teknikleri ile bağlantılı olarak uygulanır.

Şekil 2.1. Kompozit malzeme üretim yöntemleri [8].

Kompozit malzemenin avantajları aşağıdaki gibidir [8];

- Kompozit malzemelerin dayanımları oldukça yüksektir.
- Kompozit malzemelerin korozyon dayanımlarında oldukça yüksektir.elik türevi malzeme alaşımları hava ve su karşısında paslanırlar bu yüzden korozyona karşı özel kaplama uygulanırlar.Kompozit türevi malzemeler yüzeyleri plastik olaması sebebiyle kimyasal ve korozyon dayanımları oldukça yüksektir.
- Kompozit malzemeler çeşitli üretim yöntemleri ile işleme ve işçilik yapılmadan net bir şekilde elde edilebilir.Bu durum zaman ve işçilik yönünden tasarruf sağlar.
- Metallerin retimi ise çeşitli proses ve üretim aşamalarından oluşur.Talaşlı imalat , kaynak , ısıl işlem vb yöntemler.
- Kompozit malzeme üretimi için tasarlanan kalıp ve ekipmanların maliyeti metallere nazaran çok daha düşüktür.

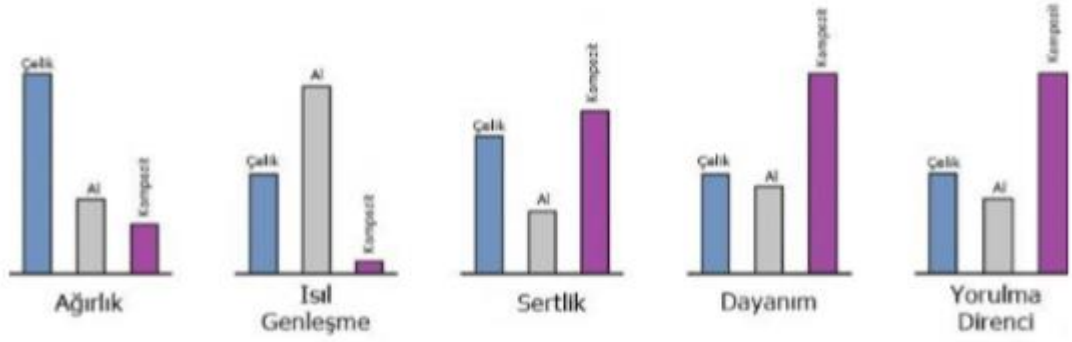
Kompozit türevi malzemelerin darbe dayanımlarının yaygın kullanılan metal türevi malzemeler ile karşılaştırması şekil 2.2'de gösterilmektedir ;



Şekil 2. 2. Tek yönlü %60 fiber oranlı kompozit malzemelerin charpy darbe deneyi sonuçlarının çelik ve alüminyum ile karşılaştırılması [9].

Şekil 2.2’de görüldüğü üzere Charpy darbe deneyleri sonucunda S Cam/Epoksi ve Kevlar/epoksi gibi malzemelerin darbe dayanımları çelik ve alüminyumdan fazladır [8].

Kompozit malzemeler istenilen özellikleri belirlemede mühendislik tasarımı adına büyük esneklik sağlamıştır. Tasarımcılar kompozit malzemelerle istedikleri mekanik özellikleri elde ederken ağırlık ve maliyetten tasarruf edebilirler. Şekil 2.3’te geleneksel malzemeler ve kompozit malzemeler arasında karşılaştırma yapılarak mekanik özelliklere etkisi gösterilmiştir [10].

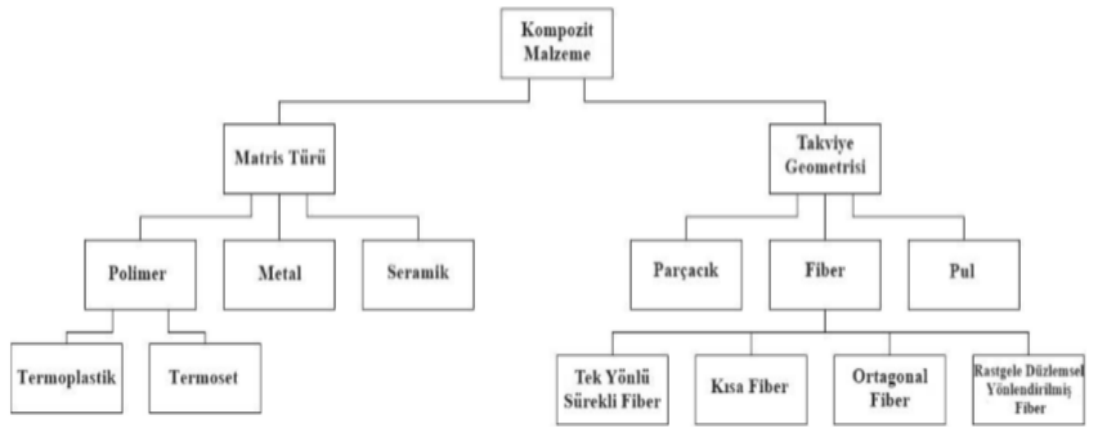


Şekil 2.3. Metal ve türevi malzemeler ile kompozit malzemelerin karşılaştırılması [10].

Şekil 2.3'te görüldüğü gibi kompozit malzemelerin sertlik, dayanım ve yorulma direnci çelik ve alüminyum malzemelerle karşılaştırıldığında daha yüksektir.

2.1. KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI

Kompozit malzemeler takviye geometrilerine veya matris türlerine göre Şekil 2.4'teki gibi sınıflandırılmaktadır.



Şekil 2.4. Kompozitlerin sınıflandırılması [11].

Kompozit malzemeler matris türüne göre polimer, metal ve seramik olarak üç gruba ayrılır. Aynı zamanda takviye geometrisine bağlı olarak parçacık, fiber ve pul olarak ayrılmaktadır.

2.1.1. Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer türevi malzemeler ile karmaşık parçaları üretmek kolaydır. Polimerler birbirleriyle ve diğer malzemelerle kolay bir şekilde birleşebilirler. Metal ve türevi malzemelere nazaran polimerlerin talaşlı ve talaşsız işlemeleride kolaydır. Fakat, genel anlamda metallere göre mekanik özellikleri ve termal dayanımları daha düşüktür. Kompozit malzemelerde polimer matris olarak kullanılan polimerler; termosetler ve termoplastiklerdir [12–14].

2.1.1.1. Termoplastikler

Termoplastikler düşük sıcaklıklarda katı, ısıtıldıklarında ise yumuşarlar. Raf ömürleri uzun, toklukları yüksek, geri dönüşümleri kolaydır. Ayrıca, termoplastik parçalar ısıtılarak yeniden şekil alabilirler. PLA rijit ve doğada çözülebilir ve ABS yüksek mukavemet ve darbe dayanımına sahiptir. Kolay işlenebilir, metal ve ahşaba alternatif oluşturabilecek bir plastik çeşididir [12–14].

2.1.1.2. Termosetler

Akışkan formunda olan termoset malzemeler, ısı ve kimyasal tepkimeler ile katılaşırlar. Termoplastikler gibi yüksek sıcaklıklar karşısında yumuşamazlar. Termosetler izotropik özellik gösterirler. Termoset malzemelerin avantajları ise ; termal stabilite, kimyasal direnç, düşük yoğunluk olarak sıralanabilir. Düşük çalışma zamanı, düşük raf ömrü , uzun katılma ve kopma anındaki düşük süneklik ise dezavantajlarındandır [15–17].

2.2. KOMPOZİTLERDE TAKVİYE ELAMANLARI VE ÖZELLİKLERİ

Takviye elamanlarının bir çoğu elyaf şeklinde imal edildiklerinde, katı haldeki durumlarına göre dayanımları ve rijitlikleri artarak yüksek performans ortaya koyarlar. Elyafın çapları genellikle 5-20 µm'dur. Matris ile elyaf arasındaki ara yüzey bağları arttıkça mekanik özellikleride artar. Kompozit parça üzerine gelen takviye elemanı kuvvetin büyük bir kısmını taşır. Elyaf arasındaki kuvvetin iletilmesi için ara yüzey

bağlarının güçlü ve fazlar arasındaki fiziksel ve kimyasal ilişkinin iyi olması gerekmektedir. Elyaf, düşük yoğunluk, yüksek dayanım, üretim esnekliği ve kolaylığı, kimyasal ve fiziksel uyumluluk gibi kriterlere göre seçilirler [14].

2.2.1. Karbon Elyaf

Karbon elyaf günümüzde teknoloji ürünü olan bir hammaddedir. Yüksek elastisite modülü ve yüksek dayanıma sahiptir. Kullanılan hammaddelere göre adlandırılırlar [14]. Daha yüksek dayanım ve elastisite modülü sağlamak için 2000-3000 °C'de ısıtma işlemi uygulanır. Yüksek dayanım ve yüksek elastisite modülüne sahip olan karbon elyaflar 7-8 µm çaplı ve karbonun alotropik formu olan turbostratik grafit kristallerinden oluşmaktadır. Karbon elyafların yapısal özellikleri bazı dış etkenlere bağlı olarak değişebilmektedir. Yönlendirilmiş elyaf doğrultusunda; boyuna çekme dayanımı, elastisite modülü, ısı ve elektrik iletkenliği ve boyuna negatif ısı genleşme katsayısı artmasına rağmen enine çekme dayanımı ve modülü azaldığı görülmektedir [16].

2.2.2. Cam Elyaf

Eritilmiş camların çekilmesiyle ve cam minerallerinin birleştirilmesiyle elde edilmiş liflerden oluşmaktadır. Polimer katkıli kompozitler içerisinde cam elyaf, en yaygın ve en ucuz takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Cam elyaflar oldukça sağlam yanıcılığı ve emiciliği olmayan çekme ve gerilmelere karşı dayanıklı bir ipliklidir. Bozulmalara ve korozyona karşı dirençleri yüksektir [11].

2.2.3. Organik Elyaf

Organik moleküler yapıdan oluşan organik elyaflar uyumlu yapıya sahip olmaları durumunda yüksek çekme dayanımı, basma dayanımı ve sertliğe sahip olurlar. Üstün aksenal özellikleri sağlamak amacıyla çekilip uzatılarak halkalı zincir dizilimi elde edilir. Buna en iyi örnek olarak aromatik poliamid verilebilir. Kevlar'ın iki çeşidi mevcuttur. Kevlar 29 ve kevlar 49 olarak adlandırılır. Kevlar 29, genel itibarıyla örme veya dokuma şeklinde üretilirler. Kurşun işlemez yelek, halat ve lastiklerde

kullanılırlar. Kevlar 49 ise yüksek modüllere sahip olduklarından takviye elamanı olarak yorulma ve kimyasal etkilere karşı direnci artırmak için kullanılırlar. Organik elyaflar suya ve ultraviyole ışığına uzun süre maruz kalmaları halinde mekanik özelliklerini yitirmeye başlarlar [11].



BÖLÜM 3

EKSTRUDER

3.1. EKSTRUDER ÇALIŞMA PRENSİBİ

Ekstruder, malzemeyi basınç ve sıcaklıkla eritip ileten makinadır. Vidalı ekstruderler, katı polimerleri ergiyik haline getirir ve yüksek viskozitedeki ergiyik malzemeyi iterek basınç altında çıkışa sevk eder. Ekstrüzyon süresi sonunda polimerin kimyasal özelliklerinde önemli bir değişiklikler görülmemektedir [18]. Şekil 3.1’de ekstruder sisteminin gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Ekstrüzyon sistemi.

3.2. HAREKET ÜNİTESİ

Sistemi tahrik eden ünitedir. Dişli kutusu ve motordan oluşmaktadır. Ekstrüzyon üretim sisteminde kullanılan vidalı mil belirli bir devirde dönmesi gerekir. Bu işlemde vidalı mile bağlı olan elektrik motoru gerçekleştirir. Vidalı milin devir sayısı ekstruderde çekilebilecek malzemelere, üretilen mamülün geometrisine ve hacmine

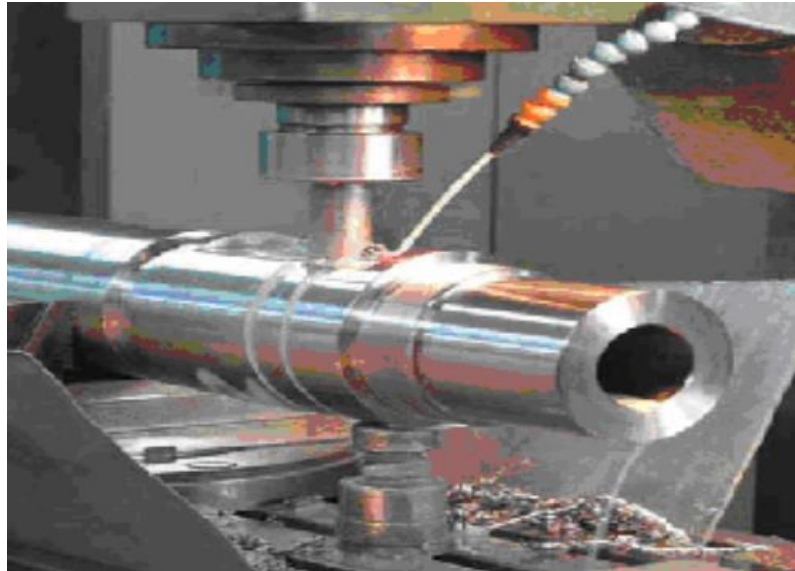
göre değişmektedir. Bundan dolayı vidalı milin döndürülmesinde kullanılan elektrik motorunun devri ayarlanabilir nitelikte olmalıdır [19].

3.3. BESLEME KOVANI

Ekstrüderde katı granül olarak işlenecek malzemenin düzenli olarak beslenmesini sağlayan elemandır. Plastik ekstrüzyon imalat yönteminde iki türlü besleme işlemi ile gerçekleştirilir;

- Doğrudan besleme yöntemi.
- Dolaylı besleme yöntemi.

Ekstrüzyon imalat işleminde kullanılacak olan ilave elemanlarının ayrı ayrı besleme hunilerinden ilave edilmesi suretiyle gerçekleştirilen besleme yöntemine doğrudan besleme yöntemi adı verilir. rnlerin besleme hunilerinden boşaltılmasıyla işlem gerçekleştirilmiş olacaktır. Besleme işlemi elde edilmesi istenen malzemelerin mukavemeti içinde çok büyük rol alır. Bundan dolayı besleme yöntemi iyi belirlenmelidir. Besleme nitesi vidalı mil imalatı Şekil 3.2'de gösterilmektedir [19].



Şekil 3.2. Kovan [19].

3.4. ISITICI REZİTANSLAR

Kovan dışında bulunan ısıtıcı rezistansların verdiği ısı kovan içindeki plastik malzemelerin erimesini sağlar. Bu karışımlar kovan içerisindeki ekstrüzyon vidasının dönme hareketiyle karıştırılarak yapılır. Bu sebeple homojen bir karışımın elde edilmesi sağlanır. Şekil 3.3' te ısıtıcı rezistans örnekleri yer almaktadır [19].



Şekil 3.3. Isıtıcı rezitans [19].

3.5. BESLENME HUNİSİ

Ekstruderde işlem göreceğ malzemelerin sürekli ve düzenli olarak beslenmesini sağlayan elemandır. Şekil 3.4'te besleme hunisi gösterilmektedir.

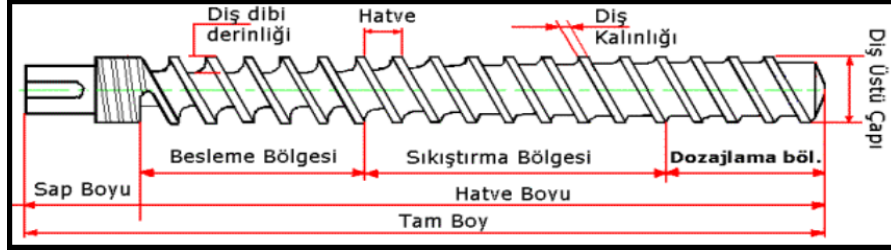


Şekil 3.4. Besleme hunisi.

3.6. VİDALI MİL

Vidalı mil plastik granül hammalzemeyi ileten elemana verilen isimdir. Vidalı mil yüzeyi oldukça düzgün olmalıdır. Eksenel dönme hareketi yapan vidalı mil mesnetli yapıya sahiptir.[24].Kovan içerisinde değişen sıcaklık ve basınç oranları etkisiyle vidalı mil mekanizması çeşitli zorlamalara maruz kalır. Sebebi ise malzemenin karakteristik yapısı ve ani ısı değişimleridir. Zorlamalardan en önemlileri eğilme ve burulma etkisidir. Bu sebepten vidalı mil düzgün bir şekilde yataklanmış ve dayanımı yüksek çelik malzemelerden imal edilmelidir. [24].Plastikler ekstrudere besleme hunisi üzerinden granül veya toz halinde takviye edilir. Hammadde vidanın dişleri arasında çevirme hareketi ile silindirin sonuna doğru ilerler. [27]. Kovan deliğinin ve vidalı mil dış çapının sürtünme kat sayıları çok düşük olmalıdır. Aksi durumda hammaddenin iletme işlemi yapılamayabilir ve hammadde topaklaşarak vida boşa dönmeye başlar. Sürtünme katsayısı iki değişik maddenin yüzeylerinin birbirine

sürtünmesi sonucu yüzeyde oluşan bir kuvvettir. Şekil 3.5 'te vidanın bölümleri gösterilmektedir [27].



Şekil 3.5. Vida bölümleri [19].

Vidalı mil granülün beslenmesi, taşınması ergitilmesi ve homojenleştirilmesi gibi birçok işlevi yerine getirir. Bu bakımdan ekstruderin en önemli parçasıdır. En çok kullanılan vida, üç bölgeye olup termoplastiklerin çoğunu ısı ve ekonomik açıdan maliyeti az şekilde işler.

Katı madde besleme bölümü içerisinde sürülür ve ileri doğru zorlanır. Vidanın akış derinliği sıkıştırma bölgesinde azaltılarak malzeme sıkıştırılır. Ergitilmiş malzeme dozaşlama bölgesinde homojen hale ve istenilen işleme sıcaklığına getirilir. Sıkıştırma bölgesinde basınç; vida diş derinliklerinin giderek küçültülmesi ile sağlanır. Böylece ergiyikte kalan hava; basınç altında sıkıştırma ile çıkartılır. Bu şekilde ısı transferinin artması sağlanır [28]. Şekil 3.6'da kovanın içindeki vidalı mil gözükmektedir.



Şekil 3.6. Extruder vidalı mil görüntüsü.

3.7. SOĞUTMA HAVUZU

Kalıp ucundan çıkan filament soğutma işlemine tabi tutulmaktadır. Soğutma işlemi sıvı (su) tarafından yapılmaktadır. Su pompası tarafından alt kısımdaki tankdan alınan su üst kısımda bulunan sıvı havuza pompalanır. İçi su ile dolu havuz tamamen dolmadan sıvı tahliyesi, tahliye deliklerinden tahliye edilir. Şekil 3.7’de havuz sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Havuz sistemi.

3.8. MERDANE VE MAKARA SARIM SİSTEMİ

Merdane sistemi, havuzda soğutulan filamentı döndürülerek filament sarım kısmına yönlendirilmesini sağlamaktadır. Sistemde redüktörlü motor kullanılmaktadır. Ayrıca dijital ekranı sayesinde merdane dönme hızları manuel olarak ayarlanabilmektedir. Filament sargı sistemi, merdaneler yardımıyla sürüklenen filamentin makara ekrafına sarılmasını sağlayan sistemdir. Sistem mil üzerine rulmanlar sayesinde yataklanmış makara tutma sistemi şeklinde tasarlanmıştır. Şekil 3.8’de merdane sistemi ve makara sarım sistemi gösterilmiştir.



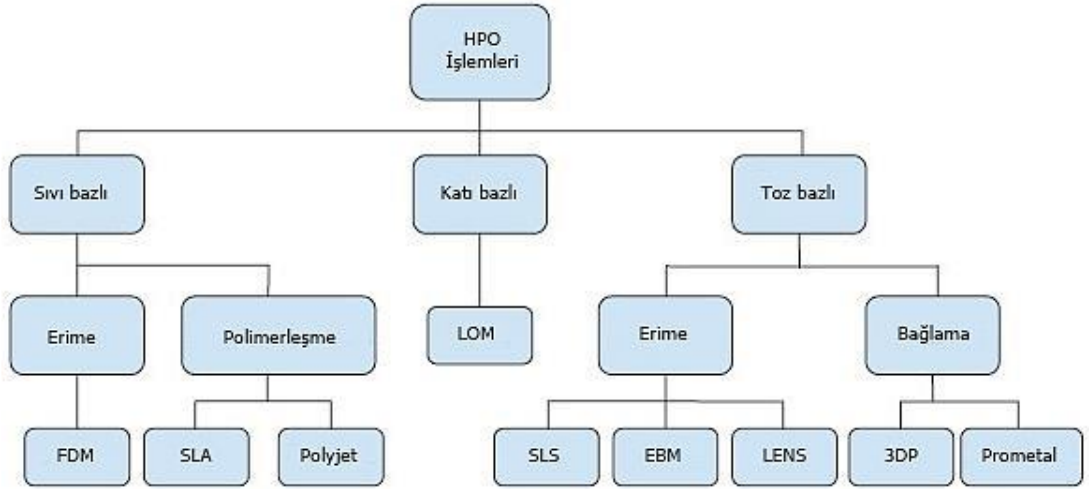
Şekil 3.8. Merdane ve makara sarım sistemi.

BÖLÜM 4

ÜÇ BOYUTLU YAZICILAR

4.1. HIZLI PROTOTİP OLUŞTURMA TEKNOLOJİSİ

Günümüzde yaygın olarak kullanılan hızlı prototip oluşturma cihazlarının çalışma prensiplerindeki ortak nokta, parçaların katmanlar halinde imal edilmesidir. Hammaddeleri ve katmanları imal etme yöntemlerindeki değişiklikler ise hızlı prototip oluşturma teknolojileri arasındaki farklılıkları belirlemektedir. Şekil 4.1’de hızlı prototip oluşturma teknolojisi katman inşa tekniğine göre sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 4.1. Hızlı prototip oluşturma teknolojisi [20].

4.2. ÜÇ BOYUTLU YAZICI

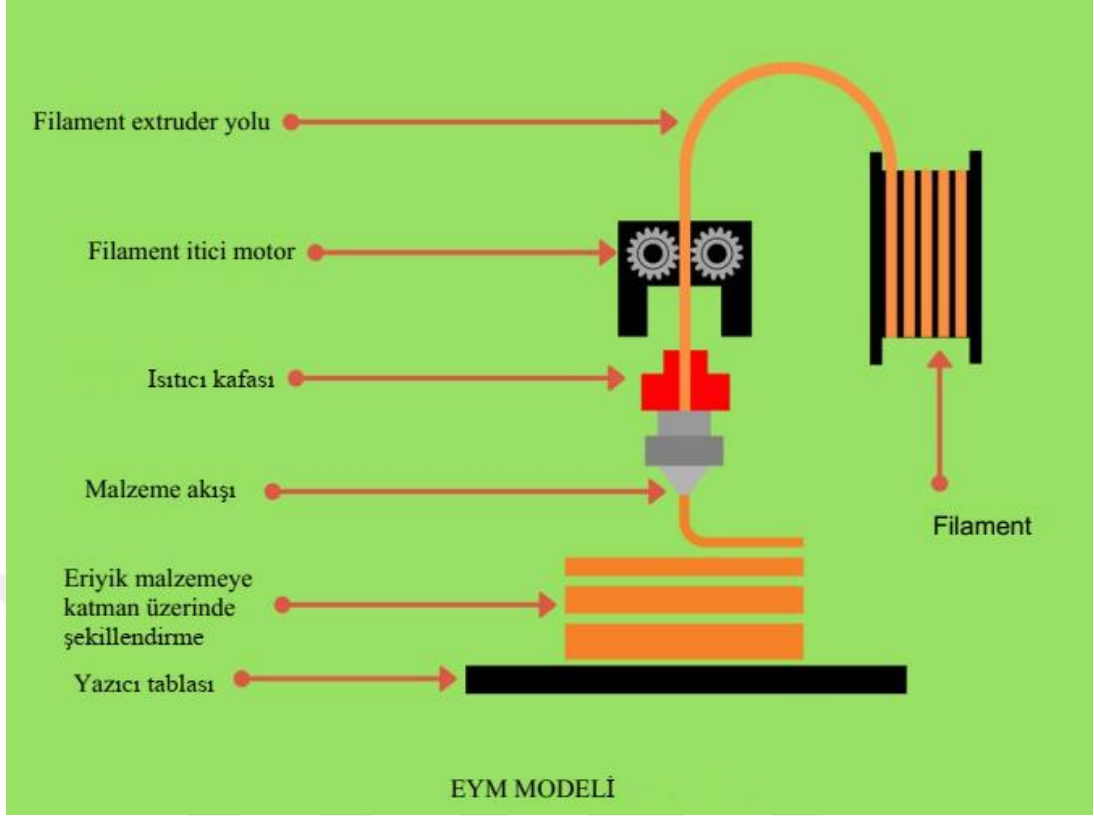
3B baskı teknolojisi 1980’li yılların başlarında kullanılmaya başlanılmıştır. Günümüzde bir çok alanda sağlık, medikal, gıda, havacılık ve makina sanayisinde kullanımı fazladır. Katmanlı üretim yöntemiyle, bilgisayar ortamında tasarlanmış 3B katı bir model dışaradın sabitlemeye veya kesici bir ekipmana gerek kalmadan son ürün haline getirilmektedir. Katmanlı üretim yöntemi, aynı zamanda çevre dostu ürün

tasarımlarını ve imalatlarını mümkün kılar. Katmanlı üretim yöntemi günümüz imalat yöntemlerine göre malzeme ve zaman israfının önüne geçilmesini sağlar. Karmaşık geometriye sahip olan bir ürünün parçalarının, geleneksel yöntemlerle ancak ayrı ayrı farklı metodlarda üretilebilmesinin yerine, katmanlı üretim sayesinde tüm parçaları tek seferde ve bir bütün olarak üretilebilmesi mümkündür [21].

4.2.1. Eriyik Yığıma Modelleme

(Eriyik Yığıma Modelleme) teknolojisinde, makara üzerine sarılı olarak 3B yazıcıya yüklenebilen tel formunda filamentler kullanılmaktadır. Hammadde ekstrüzyon başlığında ısıya maruz kalarak sıvı veya macun kıvamında 0,2-1 mm çapındaki nozuldan geçirilerek gerekli kordinatlarda işleme başlanılır. İşleme, platformun katman kalınlığı kadar aşağı inmesi ile yeniden başlar ve parça inşa edilene kadar bu çevrim devam eder. Eriyik biriktirme tekniği imalat aşamasında, termoplastik malzeme katılma noktasının hemen üzerindedir. Her katman, bir önceki katmana yarı eriyik halde yapıştırılır. Filamentlerin besleme hızları kontrol edilebilmektedir. Bu sebeple, herhangi bir zamanda baskı alınan malzeme miktarı kontrol edilerek hassas parçalar oluşturulabilir. Katman kalınlıkları kullanılan ham malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliğine, nozul çıkış çapına, ekstrüzyon basıncına göre değişiklik gösterebilir. Katman kalınlıkları, nozul çapına göre genel olarak 0,15 mm ile 0,5 mm arasında değişmektedir. Yol genişliği ise 0,20 mm ile 6 mm arasında değişmektedir. 3 boyutlu yazıcılarda kullanılan filamentler ise genel olarak 1,75 mm veya 3.00 mm çapındadır [22–24].

3B yazıcı çalışma prensibi Şekil 4.2. de gösterilmiştir. Sarım halinde olan filament ekstruder yolundaki motorun hareketi ile saat yönünde nozula besleme yapılır. Nozulda eriyen hammalzeme ısıtıcı tabla üzerine katmanlı bir şekilde işlenir. Nozul sıcaklığı ve tabla sıcaklığı filamentin kimyasal özelliklerine göre değişiklik göstermektedir.



Şekil 4.2. EYM şematik gösterimi [25].

4.3. 3B YAZICIDA KULLANILAN MALZEMELER

EYM, hassas döküm mumu ve Poliamidin (termoplastik elastomerler) yanı sıra ABS ve PLA gibi yüksek erime sıcaklığına sahip imal malzemeleri olarak kullanılabilir. Bu yöntemde parça üretiminde bazen destek malzemelerine ihtiyaç duyulur. Destek malzemesi kullanabilmesi için sisteme ek bir nozul ilave edilebilir [11].

EYM teknolojisi kullanılan filamentlerin basımı ile ilgili basım, tabla sıcaklığı , uygunluğu Çizelge 4.1. de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. EYM teknolojisinde kullanılan filamentler [26].

Filament	Güçlü Yanı	Uygunluk	Basım Sıcaklığı	Yatak Sıcaklığı
PLA	Tamamen doğal ve doğada çözünür.	Prototipleme ve diğer ürünler	200 - 235°C	50 - 65°C
ABS	Güçlü ve dayanıklı	Son kullanım parçaları ve koruyucu kutular	240 - 260°C	80 - 100°C
PETG	Son derece dayanıklı ve esnek	Yüksek darbe ve yüksek gerilimli parçalar	245 - 265°C	70 - 80°C
Antibakteriyel	Bakteri barındırmayan formül	Sağlık araç gereçleri ve protezler	195 - 205°C	50 - 65°C
Ahşap	Ahşap dokusu	Moda, dekor ve aksesuar	195 - 220°C	40 - 50°C
Esnek PLA	Oldukça esnek polimer	Esnek ve dayanıklı parçalar	235 - 255°C	60 - 70°C
Karbon Fiber	ABS'den daha güçlü ve sert	Fonksiyonel parçalar	255 - 275°C	100 - 110°C
PC (Polikarbonat)	Sert, dayanıklı ve kırılmaya dayanıklı	Rijit (bükülmez) parçalar ve cama alternatif güç	280 - 300°C	90 - 100°C
Naylon	Son derece dayanıklı, esnek ve düşük sürtünme yüzeyi	Yüksek darbeli veya yüksek gerilimli parçalar	255 - 275°C	100 - 110°C
HIPS	Yüksek darbe direnci ve çözünebilir destek	ABS'ye alternatif ve limonen ile çözünebilir destek yapısı	230 - 240°C	80 - 100°C
PVA	Suda çözünen destek	Suda kolayca çözünür	190 - 210°C	50 - 65°C

4.4. EYM AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

EYM tekniğinin genel avantajları ve dezavantajları [11];

Avantajları ;

- Üretim kolaylığı.
- Yüksek doğruluk .
- Güvenli olması, zehirsiz maddelerin kullanılması.
- Hızlı, tek adımlı işlem, kısa işlem süresi.

Dezavantajları ;

- Düşük yüzey kalitesi.
- Nozul kesiti dairesel olduğu için keskin dış yüzeylerin yapılması zordur.

- Değişken parça yoğunluğu.
- Tek ekstrüzyon yöntemi ile yoğunluğu yüksek parçaların imalat süresinin uzun olması.

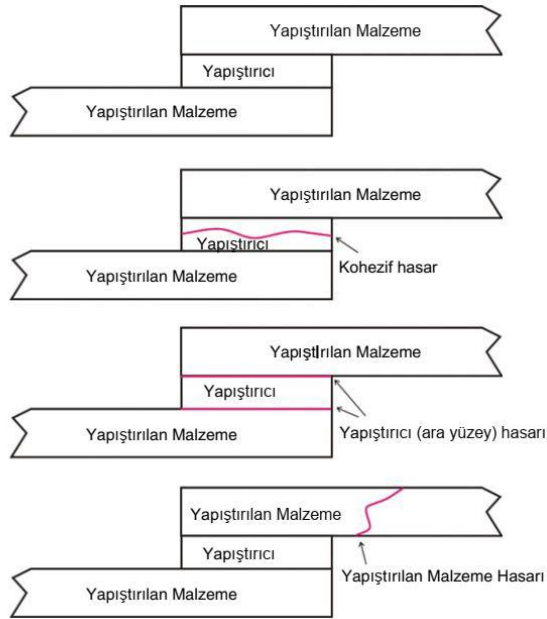


BÖLÜM 5

YAPIŞTIRICILAR

5.1. YAPIŞTIRICILAR

Yapıştırıcıların temel özelliği birden fazla malzemeyi bir arada tutmasıdır. Günümüzde yapıştırıcılar organik, inorganik elemanların karışımından oluşmaktadır. Yapıştırıcı elemanları genellikle yapıştırıcıdan beklenen özelliklere göre belirlenir [27]. Yapıştırıcıda hasar mekanizmaları “kohezif” ve “adhezif” olacak şekilde ikiye ayrılır. Şekil 5.1’de yapıştırıcı bağlantıda meydana gelen hasar tipleri gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Hasar tipleri [28].

5.2. YAPIŞTIRICILAR SINIFLANDIRILMASI

Yapıştırılacak malzemenin cinsi, yapıştırıcının fiziksel formu, sertleşme olayı, bağlantı mukavemet özellikleri, çalışma şartlarındaki sürekliliği ve yapıştırıcının uygulama metodu sınıflamada rol oynayan faktörlerdir. Ayrıca, yapıştırıcılar içindeki ana malzemenin kimyasal türüne göre de sınıflandırılabilirler. Bunlardan en çok kullanılan yapıştırıcıdaki ana malzemenin kimyasal türüne göre yapılan sınıflandırmadır.

5.2.1. Epoksi

Bütün uygulamalar da kullanılacak yüksek mukavemetli yapıştırıcıdır. Sertleştirici ve reçine olarak iki çeşit olarak alınıp uygulama yapılmadan önce karıştırılması gerekmektedir. Kürleşme süreleri bir kaç saatlik periyottan bir kaç günlük periyoda kadar çıkabilen türleri mevcuttur. Kürleştirilen yapıştırıcılar gevrek oldukları için nemli alanlara karşı hassaslaşabilirler. Kürleşme anında yapıştırıcılar üzerinde daralmalar meydana gelir. Bu daralmalar sonucunda gerilmeler oluşur. Epoksi yapıştırıcıların plastik türevi malzemelerde bağlama, yapıştırma yüzeyleri zayıftır. Bu yüzden bağlantı esnasında oluşan hasar, adheziftir. Bununla birlikte, epoksi yardımıyla yapıştırılmış ahşap uygulamalarında hasar bağlantıları yerinden çok ahşap malzemenin kendi içerisinde oluşmuştur [29].

5.2.2. Poliüretan

Poliüretanlar genellikle katalizör ve reçine olmak kaydıyla iki bileşen şeklinde satılmaktadır. Epoksi reçinelere göre çalışma ömürleri çok daha sınırlı olup nemli ortamlara karşı daha hassastırlar. Isıtılarak veya oda sıcaklığında kürleştirilirler. Kürleşme anında boyutsal değişikliklerden kaynaklı artık gerilmeler az oluşamaz. Poliüretan yapıştırıcılar, genel itibarıyla düşük sıcaklıklarda, epoksi reçinelerden daha iyi mukavemet ve tokluğa sahiptirler. Bununla birlikte toksik özelliklere sahip oldukları için bileşimlere elle dokunulduğu takdirde tehlikeli olabilirler [30].

5.2.3. Akrilikler

Akrilikler, plastik ve metallerin birleştirilmesinde kullanıldığı durumlarda iyi soyulma gerilme mukavemetine sahiptirler. Akrilik yapıştırıcılar rutubetli ve nemli ortamlara karşı direnç gösterirler, nemden ve rutubetten kaynaklı mukavemetlerinde bozulmalar oluşmaz. Bununla birlikte akrilik yapıştırıcılar yanıcı olup yüksek sıcaklıklarda zamanla bozulurlar [30].

5.2.4. Siyanoakrilikler

Bu yapıştırıcılar içersinde akriliklerle beraber siyano da bulundururlar. Süper yapıştırıcı olarak da bilinirler. Bu yapıştırıcılar, plastik ve metal türevi yapıştırmada kullanılmaktadır. Uygulamadan önce çok iyi yüzey hazırlama gerektirir. Bağlama işleminin iyi olabilmesi için, yapıştırıcı çok ince sürülmelidir. Nem ile reaksiyona girilerek kürleşme sağlanır. Siyanoakriliklerin maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen soyulma mukavemetleri düşüktür [30].

5.2.5. Anaerobikler

Ortamda ki oksijen uzaklaştırılarak kürleşirler. Bu yüzden yapıştırma işleminin sonra yapıştırma bölgesi, havanın girişi engellenecek şekilde kapatılır. Anaerobik yapıştırıcılar, iyi rutubet ve çözeltili direncine sahiptirler [30].

5.2.6. Silikonlar

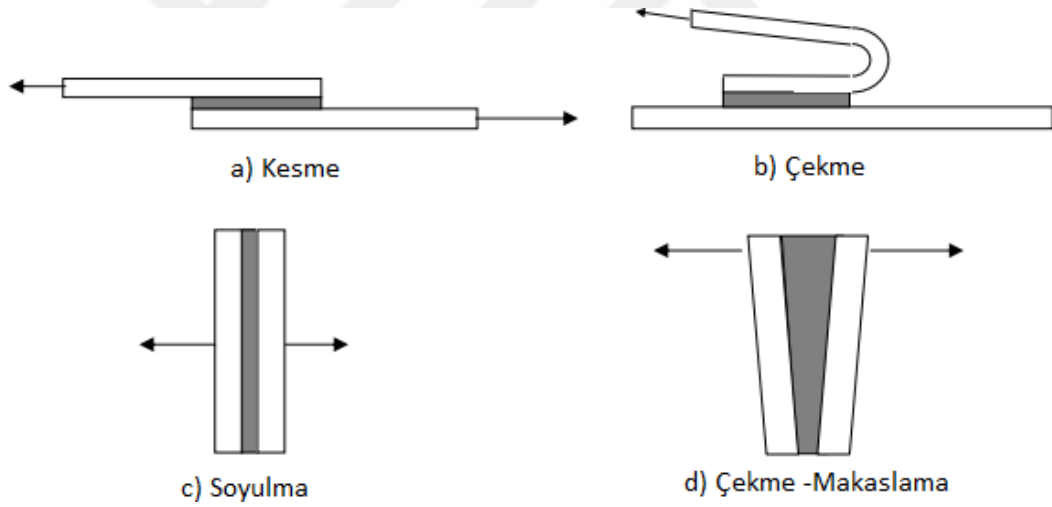
Silikon yapıştırıcılar sınırlı koheziv dayanıma sahiptirler. Zincir yapısı çok esnek olup iyi soyulma mukavemeti gösterirler. Metal, cam ve plastiklerin yapıştırılmasında, mikro elektronik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bununla birlikte, kısmen maliyetlidirler [30].

5.2.7. Fenolikler

Fenolik yapıştırıcılar, doğal bileşenlerden elde edilemeyen ilk yapıştırıcıdır. Molekül iskeleti, benzen halkalarının birleştirilmesi ile elde edilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda ısıtılarak kürleşirler. Pahalı olup çevresel faktörlere dirençlidir. Ahşap ve tabakalı yapılarda en çok tercih edilen yapıştırıcılardır [31].

5.3. YÜKLEME ÇEŞİTLERİ

Yapıştırırmalı bağlantılarda dört yüklem türü etkili olmaktadır. Bu yüklemeler; çekme, kesme, soyulma ve çekme-makaslamadır. Bağlantı mukavemetinde en yüksek verimi elde edebilmek için bu yüklem çeşitleri göz önünde bulundurulmalıdır [30]. Şekil 5.2'de yapıştırırmalı bağlantıdaki yüklem çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Yüklem çeşitleri [30].

5.3.1. Kesme

Kesme yükleri yapıştırılan yüzeyin tümüne düzgün etki eder. Bu tip yüklemde yapışma yüzeyinin tamamına yük taşımaya olan katkısı artar. Mümkün olduğu yerlerde bağlantılar yükün büyük bir kısmı kesme yükü olarak iletilebilecek şekilde oluşturulmalıdır [30].

5.3.2. Çekme

Bu tarz yüklemelerde kuvvetler yapıştırıcı tabakasına dik olarak etkimektedir. Bu tarz kuvvetlerden doğabilecek gerilmeler, yapışma yüzeyine düzgün ve eşit bir şekilde dağılmaktadır. Fakat bağlantıyı sadece bu tip gerilmelerin etkilendiğinden emin olmak her zaman mümkün değildir. Yapıştırılan malzemelerin kalın olması gereklidir. Bu önemli bir husustur. Malzemeler kalın değilse o zaman gerilme dağılımı eşit olmayacaktır [30].

5.3.3. Soyulma

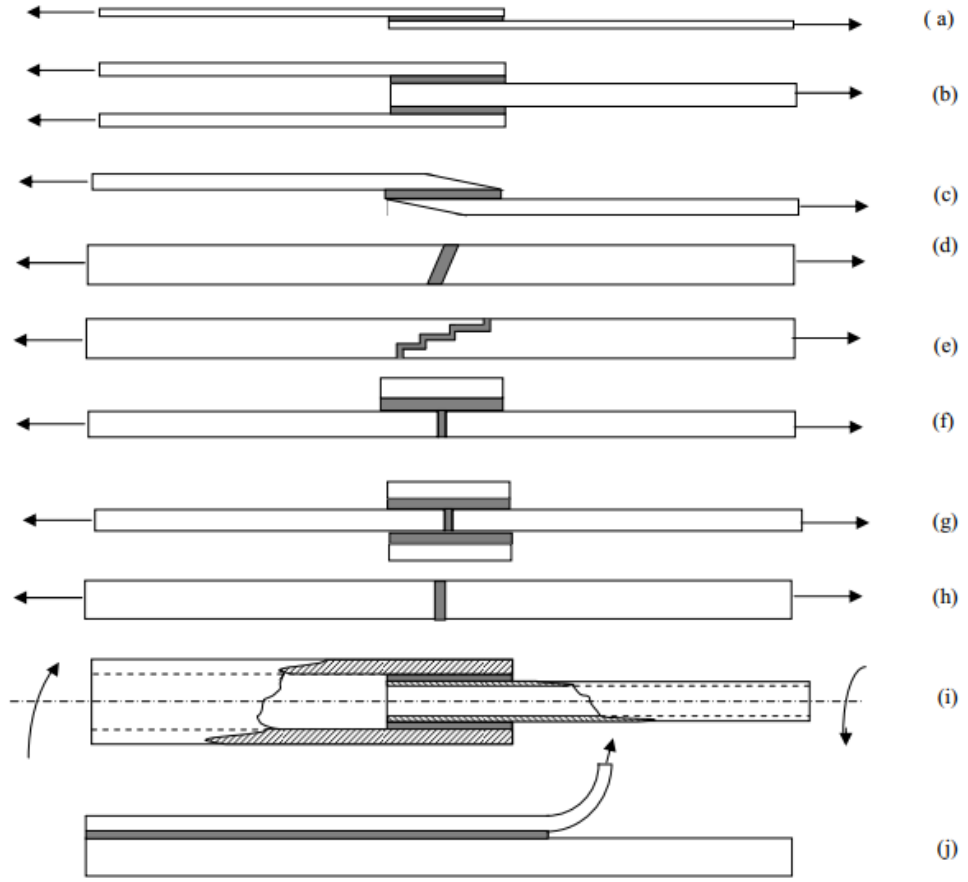
Soyulma gerilmelerin oluşabilmesi için yapıştırılan malzemeler birçoğu esnek olmalıdır. Bu tip yüklemelerde bağlantı sınırında oluşabilecek gerilmeler çok yüksektir [30].

5.3.4. Çekme Makaslama

Bu yüklemelerde gerilme yapışma yüzeyine düzensiz bir şekilde etkimekte ve yapışma alanının tek tarafında yoğunlaşmaktadır. Bu tarz gerilmeleri karşılamak için yeterli derecede yapışma yüzeyine ihtiyaç vardır [30].

5.4. YAPIŞTIRMALI BAĞLANTI ÇEŞİTLERİ

Şekil 5.3’de çeşitli yapıştırma bağlantı tipleri gösterilmiştir. Bu bağlantılardan en çok kullanılanı Şekil 5.3.a’da gösterilen tek tesirli bindirme bağlantısıdır. Bu bağlantı çeşidi yapıştırma bağlantılarının mekanik özelliklerinin tespit edilmesinde araştırmacılar tarafından diğer bağlantı tiplerine göre üretim kolaylığından dolayı daha çok tercih edilmektedir.



Şekil 5.3. Bazı yaygın yapıştırma bağlantı tipleri, (a) Tek tesirli bindirme, (b) Çift tesirli bindirme, (c) Boyun bindirme, (d) Açılı bindirme, (e) Kademeli, (f) Tek takviyeli bindirme, (g) Çift takviyeli bindirme, (h) Alın bağlantı, (i) Silindirik bindirme, (j) Soyulma [32].

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmada, PLA matris ile PEO sabit oranla (%3 gr) karıştırılarak üretilen filamentte PEO'nun etkisine bakılacaktır. Aynı PLA+PEO oranına 100-400 mikron ölçülerinde KET kullanılarak PLA matrisli kompozit filament üretilacaktır. Çalışmanın devamında, kompozit filamentler kullanılarak, belirlenen ölçülerde çekme test numunesi ve levhalar yazdırılacaktır. Numunelerin hasar yükleri ve davranışları çekme yükü altında belirlenecektir.

6.1. EKSTRUDER İLE KOMPOZİT FİLAMENT ÜRETİMİ

Kompozit ve saf filament üretiminde tek vidalı ekstruder kullanılacaktır.

Kompozit malzeme üretimindeki işlem sırası aşağıda belirtilmiştir.

- Değirmende granül PLA'nın toza dönüştürülmesi
- Toz PLA'nın etüv ortamında neminin alınması
- Numune karışımlarının belirlenen yüzdelerde hazırlanarak türbülada karıştırılması
- Hazırlanan karışımın tek vidalı ekstrüderde çekilerek filament formuna getirilmesi
- Hazırlanan filamentlerin kırılarak granül formuna getirilmesi
- Granül formundaki malzemenin tekrar etüv ortamında kurutulması
- Kurutulan granüllerin tek vidalı ekstrüderde çekilerek 3B yazıcıda kullanılacak filamentlerin sarılması

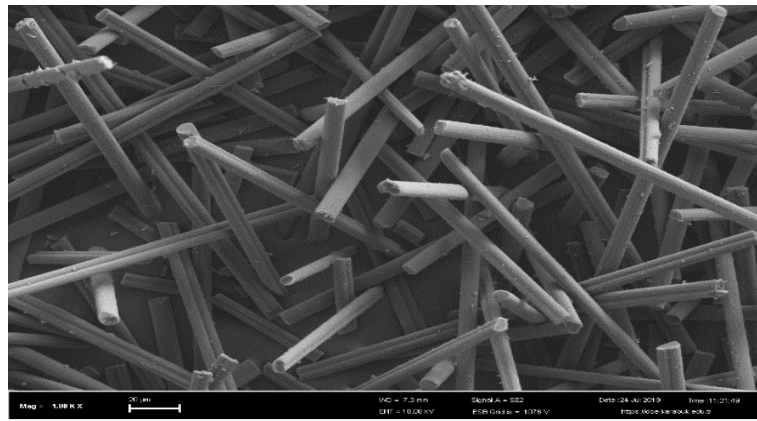
Kompozit filament üretiminde termoplastik matris olarak PLA, takviye elemanı olarak karbon elyaf tozu ve toklaştırıcı olarak oksit (PEO) polietilen kullanılmıştır. Şekil

6.1’de kullanılan karbon elyaf tozu SEM görüntüsü gösterilmektedir. Karbon elyaf tozu Dost Kimya firmasından temin edilmiştir. Karbon elyaf tozu (KET) yüksek performans gerektiren termoset ve termoplastik malzemelerde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. (dost kimya alıntı). Sem analizlerine göre karbon elyaf tozunun çapı 7.4 µm ve uzunluğunun 100 ile 400 µm arası değişmektedir.

PLA, petrokimyasal polimerlerin yerini almak için adaydır çünkü biyolojik olarak parçalanabilir ve yıllık olarak yenilenebilir kaynaklardan üretilir. Yüksek gerilme mukavemeti ile karakterize edilir ancak PLA'nın kırılabilirliği ve sertliği uygulanabilirliğini sınırlamaktadır [33]. PLA'nın teknik özellikleri çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. PLA teknik özellikleri [34].

Özellik	Değer
Spesifik yer çekimi	1.24 g/cm ³
Çekme Dayanımı	110 MPa
Uzama	100 %
Gerilim modülleri	3309 MPa
Erime noktası	210+/-6 °C



Şekil 6.1. Karbon elyaf tozu [35].

Karbon elyaf tozu malzeme özellikleri çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Karbon elyaf tozu özellikleri [36].

Yoğunluk (gr/cm ³)	1.6-1.76
Renk	Siyah
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	1,81
Uzama (%)	1,5
Karbon yüzdesi (%)	95
Tanecik boyutu (mikron)	100 – 400

PLA matris içerisinde toklaştırıcı olarak kullanılan okside polietilen Empisan Kimya Sanayi tarafından temin edilmiştir. Kopma sırasında uzamadaki artış ve hasar yükündeki azalma, PEO'nun PLA üzerindeki plastikleştirici etkisine işaret etmektedir [37]. Çizelge 6.3’te kullanılan okside polietilen malzeme özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 6.3. Okside polietilen özellikleri [38].

Karakteristik Özelliği	Değer
Yoğunluk (gr/dm ³ , 200 °C)	520
Çalışma Sıcaklığı(°C)	95 - 108
Vizkosite , 1400 °C, Brookfield	28

Yapıştırırmalı bağlantıların hazırlanmasında akrilik yapıştırıcı olan ve plastiklerin birleştirilmesinde kullanılan 3M firması tarafından üretilen DP8005 sünek yapıştırıcı tercih edilmiştir. DP8005 yapıştırıcının mekanik özellikleri çizelge 6.4’te gösterilmektedir.

Çizelge 6.4. Yapıştırıcının özellikleri [39].

Elastisite modülü	590 MPa
Poisson oranı	0.35
Kayma modülü	159 MPa
Çekme dayanımı	6.3 MPa
Kayma dayanımı	8.4 MPa

Çizelge 6.5'te kompozit filamentlerin hazırlanmasında kullanılan karışım oranları gösterilmektedir. Karışımların tamamında PEO oranı sabit tutulmuştur. KET oranları %5,10 ve 15 olacak şekilde karışıma eklenmiş ve hazırlanan toz, PLA ile karıştırılmıştır.

Çizelge 6.5. Karışım oranları.

Numue	Toz PLA (gr)	Karbon Elyaf Tozu (gr)	PEO (gr)
PLA+PEO+%15KET	82	15	3
PLA+PEO+%10KET	87	10	3
PLA+PEO+%5KET	92	5	3

OOKUMA A.Ş. firmasından PLA granül formunda temin edilmiştir. Granül PLA ile toz karbon elyafın boyutsal farklılıklarının fazla olması nedeni ile homojen olarak karışması mümkün değildir. Belirtilen bu sebepten dolayı granül PLA toz formuna getirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, Şekil 6.2'de gösterilen granül öğütme değirmeni kullanılmıştır. PLA granülleri öğütme işlemine tabi tutularak toz haline getirilmiştir.



Şekil 6.2. Granül öğütme değirmeni.

Karışım malzemelerinin içerisindeki nemin etkisiyle kompozit malzeme karışımında meydana gelebilecek bozulmaları, topaklanmaları ve kırılganlığı önlemek için PLA ve Karbon Elyaf Tozu'nun kurutulması, 60 °C'de 24 saat süreyle etüv ortamında yapılmıştır . Kurutma işlemi Nuve FN400 marka etüv fırınında gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.3).



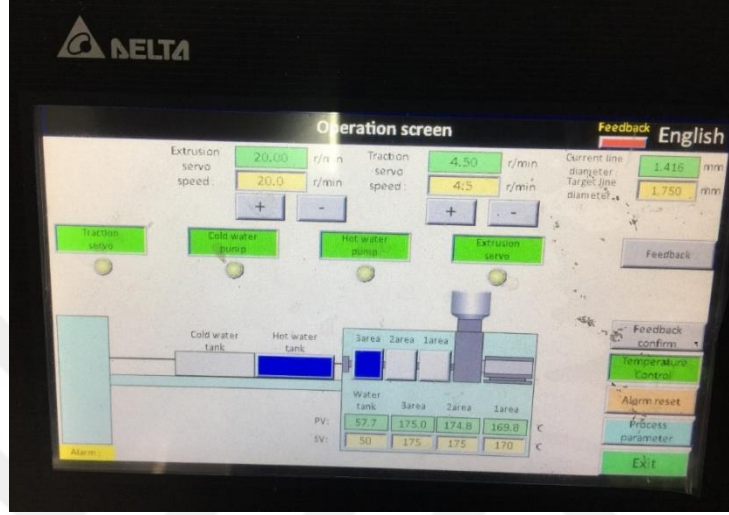
Şekil 6.3. Etüv.

Hassas terazi ile oranları ayarlanıp etüve konulur. Konulan PLA tozu, PEO ve Karbon Elyaf Tozu karıştırma kabına dökülmüştür. Homojen bir karışım elde etmek için ortalama olarak 1-2 saat arasında karıştırma işlemi yapılması gerekmektedir. Kullanılan TURBULA karıştırıcı Şekil 6.4'de gösterilmektedir. TURBULA da her oran için iki saat karıştırma işlemi yapılmıştır. Karıştırma işleminden sonra malzemeler 60 °C ve 24 saat süreyle etüv de bekletilmiştir.



Şekil 6.4. Turbula.

PLA malzemesinin ergime sıcaklığı 170-210 °C arasında değişmektedir. Ekstruder makinasında kovan boğaz sıcaklığı 170 °C, orta ve çıkış sıcaklıkları 175 °C olarak ayarlanmıştır. Malzemenin ekstrüzyon hızı 20 dev/dk olarak belirlenmiştir. Şekil 6.5'te ekstruder komut ekranı gösterilmiştir.



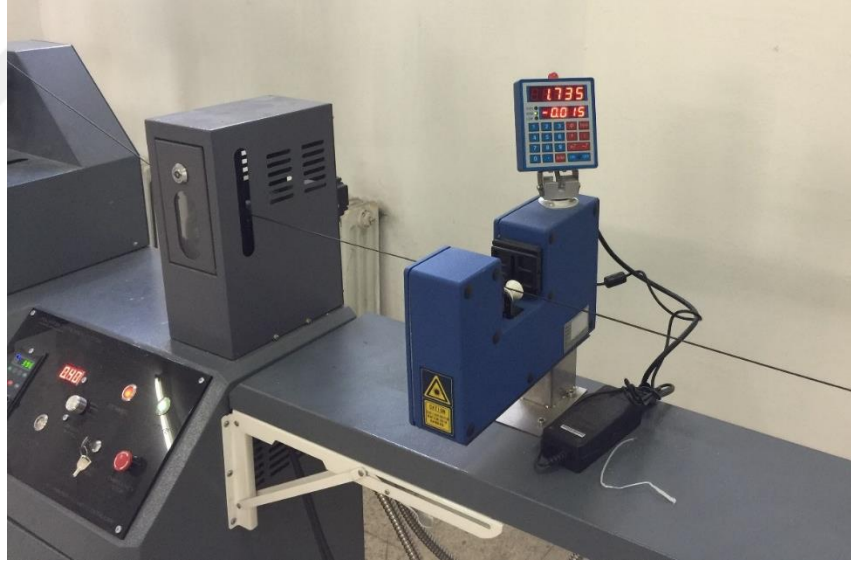
Şekil 6.5. Ekstruder komut ekranı.

Kullanılan ekstrüzyon makinesi Şekil 6.6'da gösterilmiştir. Bu makine komut ekranı, ekstrüzyon kovani, sıcak ve soğuk banyo, lazer ile kalınlık ölçme, filament çekme ve filament sarma ünitesinden oluşmaktadır. Çalışmada ilk olarak %20 oranında Karbon Elyaf Tozu kullanılmıştır. Ancak bu oranın ekstruder vidasını sıkıştırması, makinenin ağzını tıkaması, filamentlerin düzgün şekillerde çekilememesi ve numunelerin çok kırılmalı olmasından dolayı takviye oranının düşürülmesine karar verilmiştir.



Şekil 6.6. Tek vidalı filament çekme cihazı.

Üretilen filamentlerin çapı lazer ölçüm cihazıyla kontrol edilmiştir. Filament çapları 1,65-1,85 mm arasında değişmektedir. Şekil 6.7’de lazer kontrol ünitesi gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Lazer kontrol ünitesi.

Üretilen filamentler homojen karışım sağlanması için Şekil 6.8’de görülen kırıcı yardımıyla granül hale tekrar getirilmiştir. Aynı zamanda toz halde bulunan ilk karışımlarda topaklanma daha çok meydana gelmiştir. Kırma işlemi ile birlikte üretilen yeni granül malzemeler tekrar filament çekme makinasında aynı işleme tabii tutulmuştur.



Şekil 6.8. Filament kırma makinası.

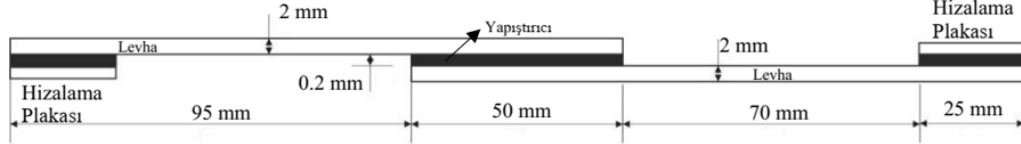
Filament kırma işleminden sonra elde edilen granül malzemeler ile çekilen filamentlerde topaklanma meydana gelmemiştir. Şekil 6.9'da üretilen filamentler gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Üretilen saf ve kompozit filamentler.

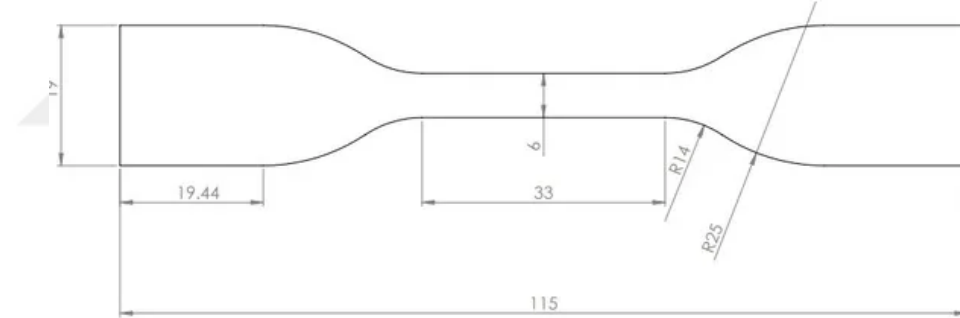
6.2. ÜRETİLEN FİLAMENTLERİN 3B YAZICIDA BASKI İŞLEMİ

Üretilen filamentler 3B yazıcıda yapıştırırmalı bağlantı numuneleri ve çekme testi numuneleri üretimi için kullanılacaktır. Şekil 6.10'da yapıştırırmalı bağlantı geometrisi gösterilmektedir.



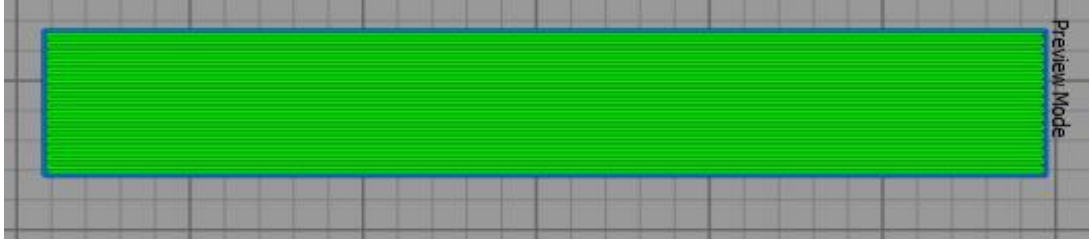
Şekil 6.10. Yapıştırırmalı bağlantı geometrisi [37].

Şekil 6.11'de ASTM D638-4 çekme testi numunesi geometrisi kullanılmıştır. Kalınlık 4 mm olarak belirlenmiştir.



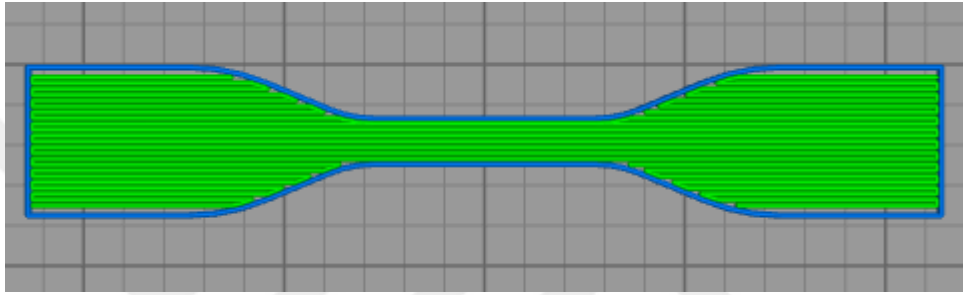
Şekil 6.11. Çekme testi numunesi.

Dilimleme programı olarak Simplfy3d kullanılmıştır. Numuneler çekme eksenine dik olarak dilimlenmiştir. Yazdırma parametreleri, 0.6 mm uç, 0.3 mm katman kalınlığı, %100 doluluk oranı, 200 °C uç sıcaklığı, 60 °C tabla sıcaklığı ve 2400 mm /dk hız olarak belirlenmiştir. Yapıştırırmalı bağlantı da kullanılacak levhaların dilimlenmesi Şekil 6.12'de gösterilmiştir.



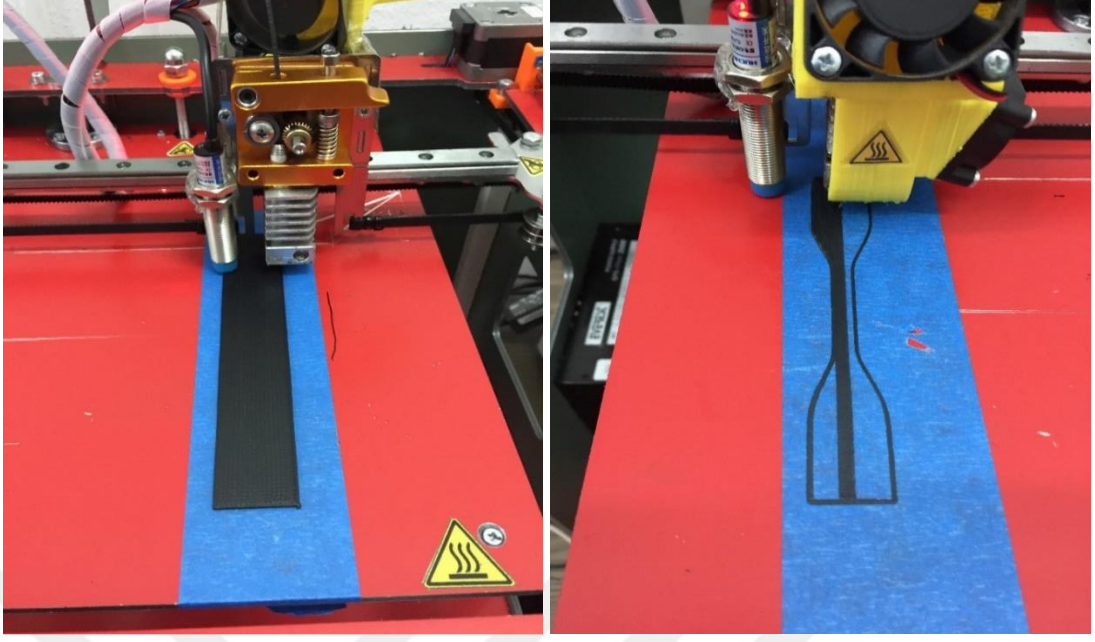
Şekil 6.12. Levha geometrisi dilimlenmesi.

Çekme test numunesi dilimlenme işlemi Şekil 6.13'te gösterilmektedir.



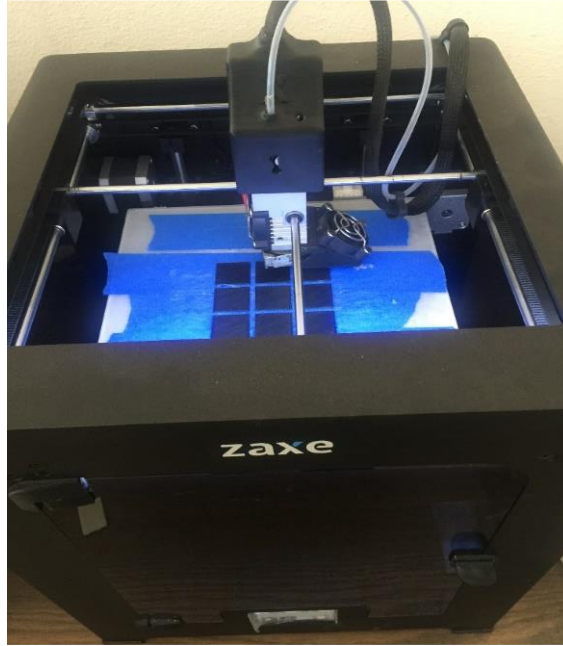
Şekil 6.13. Çekme test numunesi dilimlenmesi.

Üretilen kompozit filamentler PLA ve PLA+PEO için pirinç karbon elyaf tozu takviyeli kompozit filamentler için çelik uçta baskı işlemi yapılmıştır. Karbon elyaf tozu pirinç uçta aşınma ve tıkanma yaptığı için çelik uç tercih edilmiştir. Şekil 6.14'te levha ve çekme test numunesi baskı işlemi gösterilmektedir.



Şekil 6.14. Yapıştırırmalı bağlantı ve çekme testi numunesi baskı işlemi.

Yapıştırırmalı bağlantılar için hizalama plakaları başka bir 3B yazıcı kullanılarak ayrı olarak yazdırılmıştır. Levhaların yazdırılmasında PLA filament kullanılmıştır. Şekil 6.15'te hizalama plakası baskı işlemi gösterilmektedir.



Şekil 6.15. Hizalama plakalarının yazdırılması.

Üretilen levhaların 3M DP8005 yapıştırıcı birleştirilerek yapıştırırmalı bağlantı hazırlanmıştır. Bindirme bölgesi kaskaç yardımıyla sabitlenmiştir. Şekil 6.16'da yapıştırırmalı bağlantılar ve çekme test numuneleri gösterilmektedir.



Şekil 6.16. Yapıştırırmalı bağlantılar ve çekme test numuneleri.

Yapıştırırmalı bağlantı ve çekme testi numuneleri ZwickRoell Z050 çekme testi cihazında 1 mm/dk hızda hasara uğrayana kadar çekme işlemine tabii tutulmuştur. Yükler 50kN'luk bir yük hücresi yardımıyla izlenmiştir. Şekil 6.17'de kullanılan çekme testi cihazı gösterilmektedir.



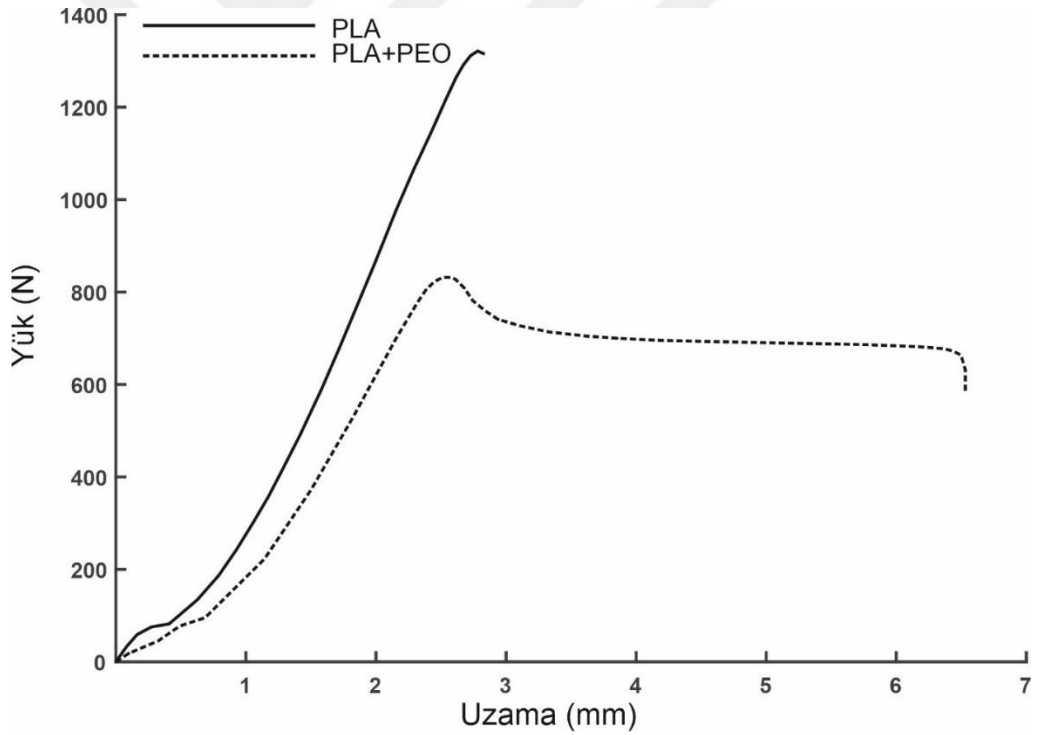
Şekil 6.17. ZwickRoell çekme testi cihazı.

BÖLÜM 7

DENEYSEL SONUÇLAR

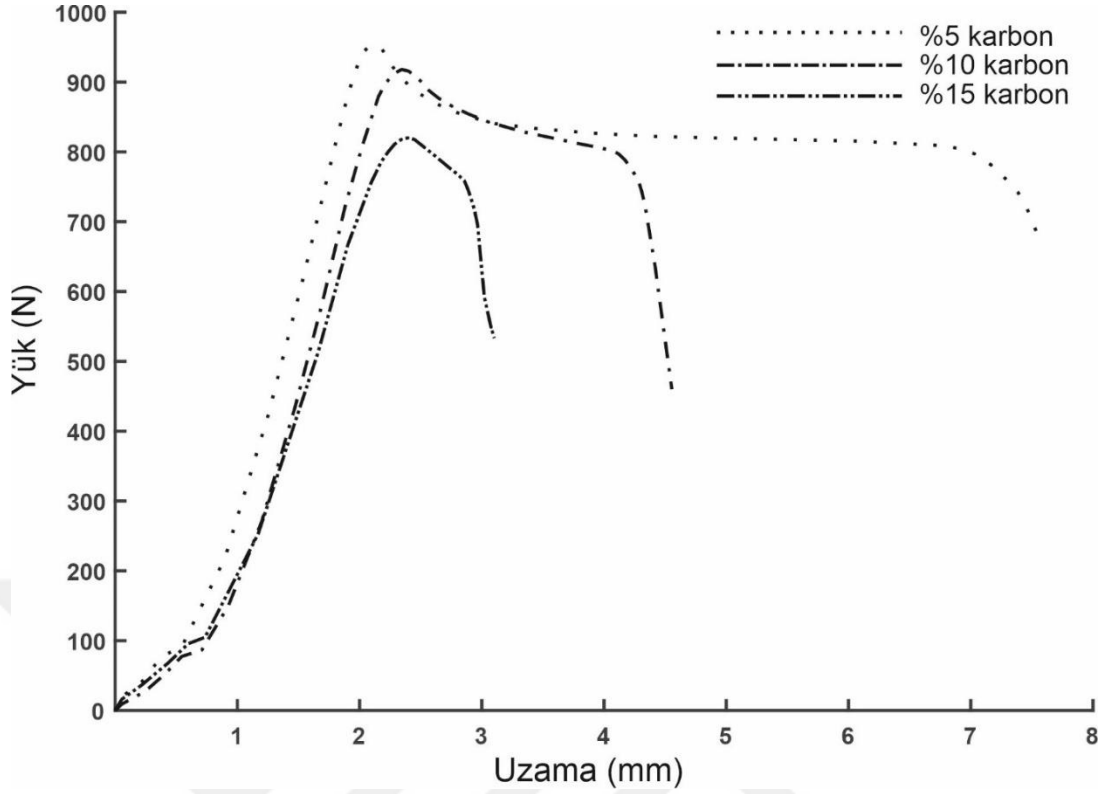
7.1. ÇEKME TESTİ SONUÇLARI

Şekil 7.1’de saf PLA ve PLA+PEO çekme test numunesi ile yapılan test sonucunda PLA malzemenin hasar yükü 1321 N ve PLA+PEO malzemenin 831.8 N olarak elde edilmiştir. PEO PLA’nın hasar yükünü düşürmüş ancak tokluğunu önemli derecede arttırmıştır.



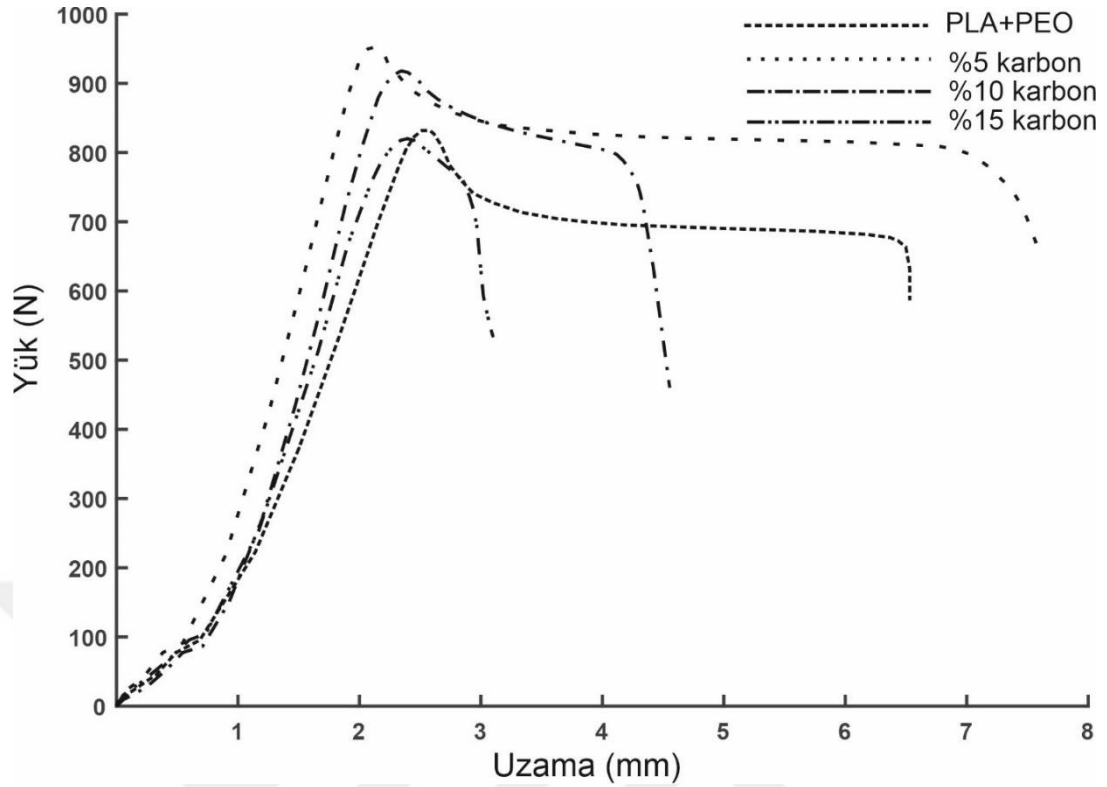
Şekil 7.1. PLA ve PLA+PEO çekme test numunelerinin yük uzama eğrisi.

Şekil 7.2’de KET katkılı çekme test numunelerinde en yüksek hasar yükü değeri %5 karışımdan elde edilmiştir. KET takviye oranı arttıkça hasar yükünde azalma meydana gelmiştir. %5 karışım oranı için hasar yükü 952.2 N, %10 için 918 N ve %15 için 820 N olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.2. Karbon elyaf tozu takviyeli çekme test numunelerinin yük uzama eğrisi.

Şekil 7.3'te çekme test sonucunda en yüksek değer saf PLA numunesinden elde edilmiştir. PLA+PEO'nun hasar yükü %37 azalış göstermiş ancak PEO, PLA'nın tokluğunu arttırdığından dolayı KET karışımlarında da PEO kullanılmıştır. PLA+PEO'ya göre %5 ve %10 KET katkılı çekme test numunelerinde hasar yükü daha fazla çıkmış ancak, %15 KET katkılı numunelerde hasar yükünde azalış gözlemlenmiştir. Bu yüzden, %15 oranının üzerindeki oranlar denenmemiştir.



Şekil 7.3. PLA, PLA+PEO ve PLA+PEO+KET çekme testi numuneleri yük uzama eğrisi.

Çizelge 7.1’de çekme test numunelerinin hasar yükü değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Çekme test numuneleri hasar yükleri.

Numune	Hasar yükü (N)
Saf PLA	1321
PLA+PEO	831.8
PLA+PEO+%5KET	952.2
PLA+PEO+%10KET	918
PLA+PEO+%15KET	820

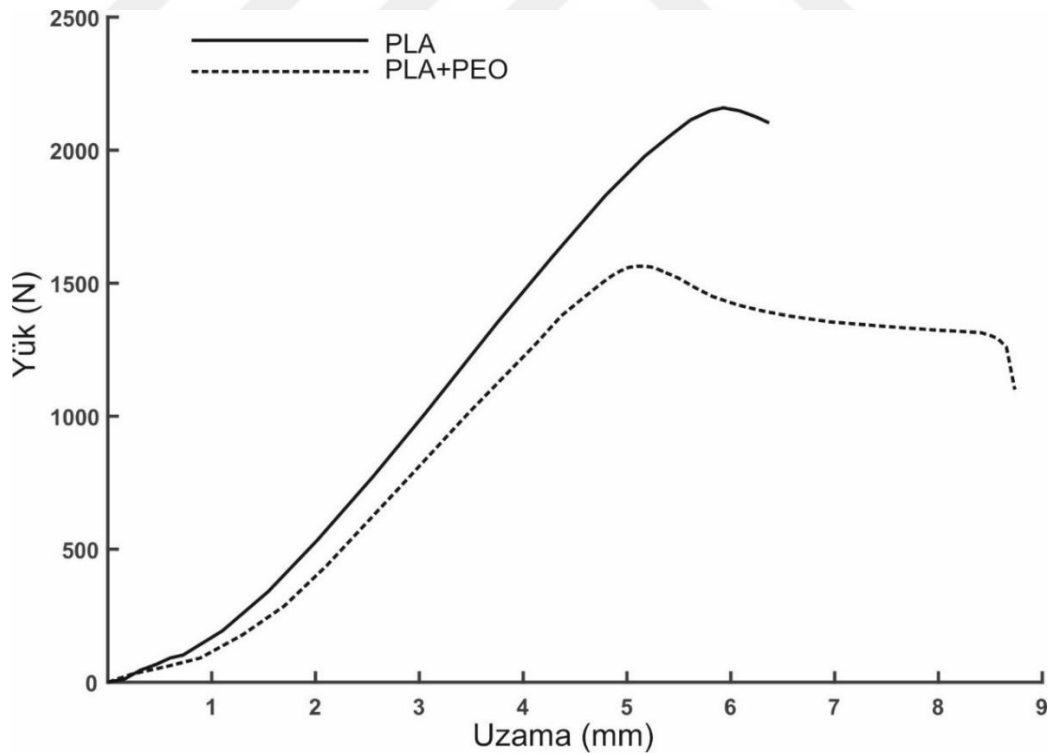
PLA+PEO’ya göre hasar yüklerinde %5 KET katkılı numunede %14.4, %10 KET katkılı numunede %10.3 artış görülmüş ve %15 KET katkılı numune %1.4 azalış meydana gelmiştir. Çizelge 7.2’de PLA+PEO numuneye göre KET katkı oranları hasar yüklerindeki yüzde değişim gösterilmiştir.

Çizelge 7.2. KET karışım oranları hasar yüküne göre % değişim.

Karışım Oranları	% Değişim
PLA+PEO+%5KET	+14.4
PLA+PEO+%10KET	+10.3
PLA+PEO+%15KET	-1.4

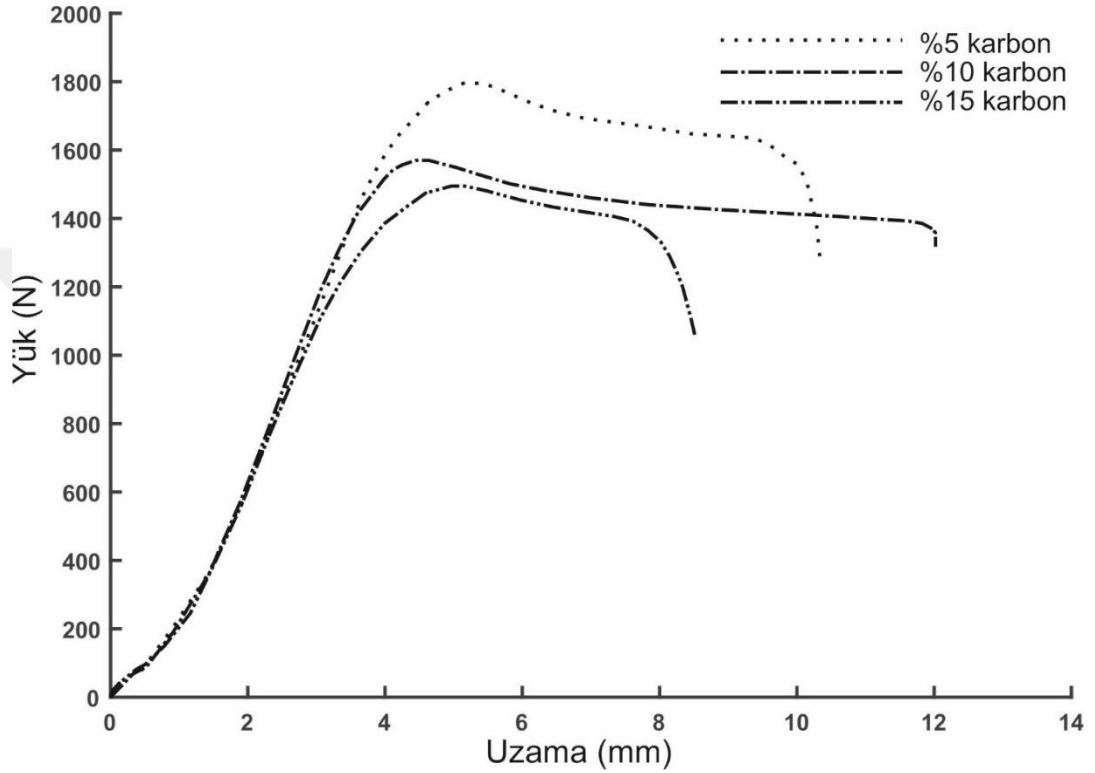
7.2. YAPIŞTIRMALI BAĞLANTI ÇEKME TESTİ SONUÇLARI

Şekil 7.4'te PLA ve PLA+PEO ile hazırlanan yapıştırımlı bağlantı numuneleri hasar yükleri karşılaştırıldığında PLA ile hazırlanan bağlantı hasar yükü en yüksek çıkmıştır. Çekme testi sonuçlarında olduğu gibi PEO, PLA'nın tokluğunu yapıştırımlı bağlantıdadada arttırmıştır. PLA'nın bağlantı hasar yükü 2159 N, PLA+PEO'nun bağlantı hasar yükü 1564 olarak belirlenmiştir. Yapıştırımlı bağlantıların tamamında levha hasarı meydana gelmiş, yapıştırma bölgesinde hasar oluşmamıştır.



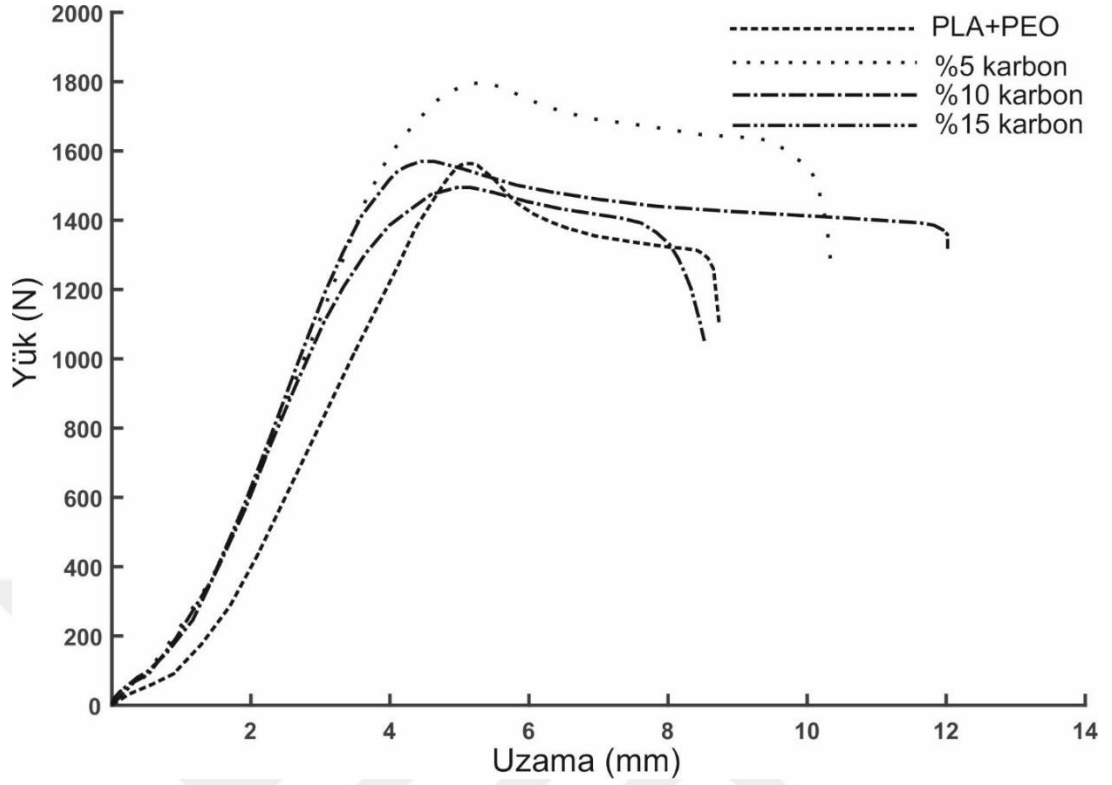
Şekil 7.4. PLA ve PLA+PEO yapıştırımlı bağlantı yük uzama eğrisi.

Şekil 7.5'te KET takviyeli karışımlarda bağlantı hasar yükü en yüksek %5 karışımda elde edilmiştir. Karbon oranı arttıkça bağlantı hasar yükü azalmıştır. %5 karışımda hasar yükü 1795 N, %10 karışımda 1570 N ve %15 karışimli bağlantıda hasar yükü 1495 N olarak belirlenmiştir. karbon elyaf tozu takviyeli bağlantıların çekme testi sonuçları verilmiştir.



Şekil 7.5. KET takviyeli bağlantıların yük uzama eğrisi.

Şekil 7.6'da saf PLA ile hazırlanan yapıştırırmalı bağlantılarda hasar yükü en yüksek çıkmıştır. PLA+PEO karışımda hasar yükü saf PLA'ya göre azalmıştır. %5 ve %10 KET karışimli bağlantılarda hasar yükü PLA+PEO hasar yükünden yüksek çıkmıştır. %15 KET bağlantıda hasar yükü düşmüştür. PLA+PEO bağlantının hasar yükü PLA bağlantıdan %27.5 düşük çıkmıştır.



Şekil 7.6. PLA, PLA+PEO ve PLA+PEO+KET bağlantıların yük uzama eğrisi.

PLA+PEO bağlantı hasar yüküne göre %5KET bağlantı hasar yükü %14.7 ve %10 KET bağlantı hasar yükü %0.3 artmıştır. %15 KET bağlantı PLA+PEO bağlantı hasar yüküne göre %4.4 azalmıştır. Çizelge 7.3'te bağlantıların hasar yükleri verilmiştir.

Çizelge 7.3. Bağlantıların hasar yükleri.

	Hasar Yükü (N)
Saf PLA	2159
PLA+PEO	1564
PLA+PEO+%5KET	1795
PLA+PEO+%10KET	1570
PLA+PEO+%15KET	1495

Çizelge 7.4'te bağlantıların yüzde değişimleri gösterilmiştir.

Çizelge 7.4. Bağlantılarda oluşan yüzde değişim.

Bağlantı	Değişim (%)
PLA+PEO+%5KET	+14.7
PLA+PEO+%10KET	+0.3
PLA+PEO+%15KET	-4.4

PLA malzemenin hasar yükü çekme testi ve yapıştırırmalı bağlantı testinde en yüksek çıkmıştır. PLA+PEO çekme testinde PEO'nun PLA'ya süneklik kattığı görülmüş ve üretilen numunenin tokluğunu arttırmıştır. Bu tokluk artışı görülerek karbon elyaf tozunun bağlantıdaki etkisi incelenmiştir. PEO oranı her karışım için sabit tutulmuştur. Karbon elyaf tozunun ağırlıkça artışı bağlantıda ki ve çekme testi numunesinde ki hasar yükünü arttırmıştır. Ancak oran arttıkça bu artışın azaldığı görülmüştür.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında, üretilecek olan kompozit filamentlerin dayanımlarının belirlenmesi ile beraber bağlantı durumlarında performansları da detaylı olarak incelenmiştir. Tezin devamında, toz PLA ile PEO oranı sabit tutulup, KET malzeme farklı oranlarda (ağırlıkça %5, 10 ve 15) homojen yapı elde edilene kadar TURBULA cihazında karıştırılmıştır. Hazırlanan filamentler kullanılarak 3B yazıcıda %10 doluluk oranında çekme eksenine dik doğrultuda çekme numunesi ve levha yazdırılmıştır. Levhalar kullanılarak hazırlanan bağlantılar ve çekme test numunelerine çekme test cihazında hasara uğrayana kadar yük uygulanmış ve hasar yükleri tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar maddeler halinde listelenmiştir.

- PEO kullanımının kompozit ve saf PLA filamentlerden üretilen numunelerde kırılma dayanımı azalttığı tokluğu arttırdığı görülmüştür.
- Çekme test sonucunda en yüksek değer saf PLA numunesinden elde edilmiştir. PLA+PEO'nun hasar yükü %37 azalış göstermiş ancak PEO, PLA'nın tokluğunu arttırmıştır. PLA+PEO'ya göre %5 ve %10 KET katkıli çekme test numunelerinde hasar yükü daha fazla çıkmış ancak, %15 KET katkıli numunelerde hasar yükünde azalış gözlemlenmiştir.
- PLA+PEO'ya göre hasar yüklerinde %5 KET katkıli numunede %14.4, %10 KET katkıli numunede %10.3 artış görülmüş ve %15 KET katkıli numune %1.4 azalış meydana gelmiştir.
- saf PLA ile hazırlanan yapıştırılmalı bağlantılarda hasar yükü en yüksek çıkmıştır. PLA+PEO karışımında hasar yükü saf PLA'ya göre azalmıştır. %5 ve %10 KET katkıli bağlantılarda hasar yükü PLA+PEO hasar yükünden yüksek çıkmıştır. %15 KET bağlantıda hasar yükü düşmüştür. PLA+PEO bağlantısının hasar yükü PLA bağlantıdan %27.5 düşük çıkmıştır.

- PLA+PEO bağlantı hasar yüküne göre %5KET bağlantı hasar yükü %14.7 ve %10 KET bağlantı hasar yükü %0.3 artmıştır. %15 KET bağlantı PLA+PEO bağlantı hasar yüküne göre %4.4 azalmıştır.

PLA+PEO karışım malzeme daha düşük KET takviyesi ile (%2.5, 1 ve 0.5 gibi) denenebilir. PLA, KET ile PEO kullanılmadan aynı oranlarla prosedür tekrar edilebilir. Ancak kullanılan PEO kırılabilir halde olan PLA'ya süneklik kattığı için PLA kırılabilirliği görülmemiştir. Yüzde karbon oranı arttıkça saf PLA ile karışım işlemi zor olabilir.



KAYNAKLAR

1. Zhong, W., Li, F., Zhang, Z., Song, L., And Li, Z., "Short Fiber Reinforced Composites For Fused Deposition Modeling", *Materials Science And Engineering*, A301: 125–130 (2001).
2. Namiki, M., Ueda, M., Todoroki, A., Hirano, Y., And Matsuzaki, R., "3D Printing Of Continuous Fiber Reinforced Plastic", *International SAMPE Technical Conference*, (2014).
3. Tekinalp, H. L., Kunc, V., Velez-Garcia, G. M., Duty, C. E., Love, L. J., Naskar, A. K., Blue, C. A., And Ozcan, S., "Highly Oriented Carbon Fiber-Polymer Composites Via Additive Manufacturing", *Composites Science And Technology*, 105: 144–150 (2014).
4. Torrado Perez, A. R., Roberson, D. A., And Wicker, R. B., "Fracture Surface Analysis Of 3D-Printed Tensile Specimens Of Novel ABS-Based Materials", *Journal Of Failure Analysis And Prevention*, 14 (3): 343–353 (2014).
5. Ning, F., Cong, W., Qiu, J., Wei, J., And Wang, S., "Additive Manufacturing Of Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic Composites Using Fused Deposition Modeling", *Composites Part B: Engineering*, 80: 369–378 (2015).
6. Bade, L., Hackney, P. M., Shyha, I., And Birkett, M., "Investigation Into The Development Of An Additive Manufacturing Technique For The Production Of Fibre Composite Products", *Procedia Engineering*, 132: 86–93 (2015).
7. Aktaş, M., "Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri", 27–38 (2013).
8. İnançer, G., "Farkli Takviye Malzemeli Plastik Kompozitlerin Darbe Davranışına Çevrenin Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2015).
9. Mazumdar, S., "Composites Manufacturing: Materials, Product, And Process Engineering", 1st Editio. Ed., *CRC Press*, 396 (2002).
10. Chawla, K. K., "Composite Materials", Science And Engineering, Third Edit. Ed., *Springer*, (2012).
11. Eren, O., "Fdm 3b Yazıcı İle Kompozit Parça Tasarımı Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2017).
12. Lubin, G., "Handbook Of Composites", Handbook Of Composites, *Van Nostrand Reinhold Co.*, 196 (1982).

13. Demircioğlu, G., "Kısa Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerde Elyaf Boyutunun Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2006).
14. Şahin, Y., "Kompozit Malzemelere Giriş", *Ankara: Gazi Kitapevi*, (2000).
15. Ersoy, H.Y., "Kompozit Malzeme", *Literatür Yayıncılık*, 248 (2001).
16. Kaw, A. K., "Kompozit Malzeme Mekaniği", *Efil Yayınevi Yayınları*, 496 (2014).
17. Demirel, A., "Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2007).
18. Demiryürek, O., "Sentetik Lif Üretiminde Kullanılan Ekstrüderler Ve Ekstrüder-Pompa Sisteminin Tasarım Esasları", Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2004).
19. Ekşi, O., "Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2007).
20. Wong, K. V. And Hernandez, A., "A Review Of Additive Manufacturing", *ISRN Mechanical Engineering*, 2012: 1–10 (2012).
21. Kolitsky, M. A., "Reshaping Teaching And Learning With 3D Printing Technologies", E-Mentor, *Szkola Główna Handlowa W Warszawie, Fundacja Promocji I Akredytacji Kierunków Ekonomicznych*, 84–94 (2014).
22. Çelik, İ., Karakoç, F., Çakir, M. C., And Duysak, A., "Hızlı Prototipleme Teknolojileri Ve Uygulama Alanları", *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (31): 53–70 (2013).
23. Raja, V. And Fernandes, K. J., "Reverse Engineering An Industrial Perspective", *Springer*, 117 (2009).
24. Apak S., "Farklı Hızlı Prototipleme Cihazlarında Üretilen Parçaların Üretim Zamanı ve Maliyet Açısından Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2010).
25. "How FDM/FFF 3D Printing Technology Works? - MANUFACTUR3D", <https://Manufactur3dmag.Com/Working-Fdm-Fff-3d-Printing-Technology/> (2019).
26. "Filamentlerin Detaylı Karşılaştırılması - Artiboyut", <https://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/67-filamentlerin-detayli-karsilastirilmesi> (2019).
27. Kayacan, R., "Yapıştırma Ve Metal Bağlantılar İçin Yapıştırıcı Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (1988).

28. Adams, R. D., Öchsner, A., And Silva, L. F. M. Da 1973-, "Handbook Of Adhesion Technology", *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, (2011).
29. Temiz, Ş., "Yapıştırma Bağlantılarının Mekanik Özellikleri Üzerine Çevresel Faktörlerin Etkisinin İncelenmesi", Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2003).
30. Adin, H., "Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Ters Z Tipi Kompozit Malzeme Bağlantılarının Mekanik Analizi", Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2007).
31. Brandon, D. And Kaplan, W. D., "Joining Processes: An Introduction", *General & Introductory Materials Science*, 378 (1997).
32. Adams, R. D. And Wake, W. C., "Structural Adhesive Joints In Engineering", Elsevier Applied Science, *Elsevier Applied Science*, London And New York, 309 (1984).
33. Murariu, M., Da Silva Ferreira, A., Alexandre, M., And Dubois, P., "Polylactide (PLA) Designed With Desired End-Use Properties: 1. PLA Compositions With Low Molecular Weight Ester-Like Plasticizers And Related Performances", *Polymers For Advanced Technologies*, 19 (6): 636–646 (2008).
34. "HT220", <https://www.oo-kuma.com.tr/store/p297/ht220.html> (2019).
35. Öztürk, F.H., "Derecelendirilmiş Yapıştırma Çizgisi İle Birleştirilmiş Basit Bindirmeli Bağlantıların Dayanım Ve Hasar Davranışlarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2019).
36. "Karbon Elyaf Tozu 100-400 Micron", <https://www.kompozitshop.com/karbon-elyaf-tozu-100-400-micron> (2019).
37. Fernandes, T. A. B., Campilho, R. D. S. G., Banea, M. D., And Da Silva, L. F. M., "Adhesive Selection For Single Lap Bonded Joints: Experimentation And Advanced Techniques For Strength Prediction", *Journal Of Adhesion*, 91 (10–11): 841–862 (2015).
38. "Okside Polietilen Wax - Empisan Kimya Sanayi İzmir", <http://empisan.com.tr/okside-polietilen-wax/> (2019).
39. Da Silva, L. F. M., Da Silva, R. A. M., Chousala, J. A. G., And Pintob, A. M. G., "Alternative Methods To Measure The Adhesive Shear Displacement In The Thick Adherend Shear Test", *Journal Of Adhesion Science And Technology*, 22 (1): 15–29 (2008).

ÖZGEÇMİŞ

Can Güleç 1991 yılında Eskişehir’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Eskişehir ilinde tamamladı. Turgut Reis Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Makina Eğitimi Bölümünden mezun oldu. 2009 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2014 yılında mezun oldu. Aynı yıl Eskişehir’de Zet Redüktör firmasında işe başladı ve şu anda üretim şefi olarak çalışmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Şirintepe Mahallesi Özgür Sokak No:23
Tepebaşı / ESKİŞEHİR
Tel : 05434040222
E-posta : cangulec@zetreduktor.com