

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLA VE ABS MALZEMELERİNDEN EKLEMELİ İMALATLA ÜRETİLEN
PARÇALARIN YAPIŞTIRILMASI İŞLEMİNDE YAPIŞTIRMA
PARAMETRELERİNİN BAĞLANTININ MEKANİK DAYANIMINA ETKİSİNİN
İNCELENMESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NEZİHAN POLAT ÇOBAN

ARALIK 2022

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLA VE ABS MALZEMELERİNDEN EKLEMELİ İMALATLA ÜRETİLEN
PARÇALARIN YAPIŞTIRILMASI İŞLEMİNDE YAPIŞTIRMA
PARAMETRELERİNİN BAĞLANTININ MEKANİK DAYANIMINA ETKİSİNİN
İNCELENMESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nezihan POLAT ÇOBAN

DANIŞMAN : Dr. Öğr. Üyesi Nergizhan ANAÇ

İKİNCİ DANIŞMAN : Dr. Öğr. Üyesi Faruk MERT

ZONGULDAK

Aralık 2022

KABUL:

Nezihan POLAT ÇOBAN tarafından hazırlanan “PLA ve ABS Malzemelerinden Eklemeli İmalatla Üretilen Parçaların Yapıştırılması İşleminde Yapıştırma Parametrelerinin Bağlantının Mekanik Dayanımına Etkisinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle/oyçokluğuyla kabul edilmiştir. 06/12/2022

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nergizhan ANAÇ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine
Mühendisliği Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Oğuz KOÇAR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Serdar GÜLDİBİ

Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./....../20....

Prof. Dr. Fikret GÖLGELEYEN
Fen Bilimleri 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.”

Nezihan POLAT ÇOBAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PLA VE ABS MALZEMELERİNDEN EKLEMELİ İMALATLA ÜRETİLEN PARÇALARIN YAPIŞTIRILMASI İŞLEMİNDE YAPIŞTIRMA PARAMETRELERİNİN BAĞLANTININ MEKANİK DAYANIMINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Nezihan POLAT ÇOBAN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Nergizhan ANAÇ

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Faruk MERT

Aralık 2022, 83 sayfa

Plastik malzemeler, geçmişten günümüze plastiğin şekillendirme yetenekleri sayesinde endüstrinin her alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda katmanlı üretim alanında masaüstü 3D yazıcıların yaygınlaşmasıyla birlikte termoplastikler en çok kullanılan plastik malzeme haline geldi. Ayrıca bu işlemle yapılan malzemelerin montajı çok önemli hale gelmiştir. Ancak plastik malzemelerin yüzey enerjisi düşük olduğu için bir birleştirme yöntemi olan yapıştırma işlemini gerçekleştirmede zorluklar vardır ve bazı hususlara (yapıştırıcı tipi, parça yüzey temizliği vb.) dikkat edilmelidir. Bu çalışmada; eklemeli imalat yöntemi ile PLA ve ABS malzemelerden öncelikle çekme testi numunesi üretilmiş ardından üretilen bu numunelerin doluluk oranına göre değerlendirmesi yapıp basılacak parçanın doluluğuna karar verilmiştir.

ÖZET (devam ediyor)

%100 dolu levhaların basılmasına kararverildikten sonra levhalar üretilmiş, yapıştırıcı (Loctite 9492 ve Terason 9225) ile birleştirilmiştir. Yüzey hazırlığı için 320 ve 600 SiC zımpara kullanılarak mekanik zımparalama yapılmıştır. Çeşitli yapıştırıcı kalınlıkları (0,3 0,18 ve 0,1mm) ile PLA-PLA, PLA-ABS ve ABS-ABS çiftlerinden yapıştırma bağlantıları oluşturulmuştur. Bağlantılar çekme testine tabi tutulmuş ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Çekme testine tabi tutulan parçaların SEM görüntüsü alınmış ve kırılma yüzeyleri yorumlanarak mekanik özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar, 3B baskıda doluluk oranının yüksek olmasının parça mukavemetini arttırdığını göstermiştir Ayrıca, yapıştırma bağlantı mukavemeti yapıştırıcı çeşidine bağlı olarak yapıştırma kalınlığının değişiminden etkilenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli imalat, PLA, ABS, Yapıştırma Bağlantısı, Mekanik Dayanım

Bilim Kodu: 625.02.05.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE ADHESIVE PARAMETERS ON THE MECHANICAL STRENGTH OF THE BONDING PROCESS OF THE PARTS MANUFACTURED FROM PLA AND ABS MATERIALS

Nezihan POLAT ÇOBAN

**Zonguldak Bulent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Nergizhan ANAÇ

Co-Advisor: Assist. Prof. Dr. Faruk MERT

December 2022, 83 pages

Plastic materials are widely used in all areas of the industry, thanks to the shaping capabilities of plastic from past to present. Especially in recent years, with the spread of desktop 3D printers in the field of additive manufacturing, thermoplastics have become the most widely used plastic material. In addition, the assembly of materials made with this process has become very important. However, since the surface energy of plastic materials is low, there are difficulties in performing the bonding process, which is a bonding method, and some issues (adhesive type, part surface cleaning, etc.) should be considered. In this study; Firstly, tensile test specimens were produced from PLA and ABS materials by additive manufacturing method, and then these produced samples were evaluated according to the fill rate and the fullness of the part to be printed was decided. After it was decided to print 100% filled, the boards were produced and joined with adhesive (Loctite 9492 and Terason 9225). For surface preparation, mechanical

ABSTRACT (continued)

sanding was done using 320 and 600 SiC sandpaper. Adhesive joints were created from PLA-PLA, PLA-ABS and ABS-ABS pairs with various adhesive thicknesses (0.3, 0.18 and 0.1mm). The connections were subjected to the tensile test and their mechanical properties were examined. SEM, fracture surfaces of the parts subjected to tensile test were interpreted and their mechanical properties were examined. The results showed that the high fill rate in 3D printing increases the part strength. Also, the bond strength of the bond is affected by the variation of the bond thickness depending on the adhesive type.

Keywords: Additive Manufacturing, PLA, ABS, Adhesive Bonding Joint, Mechanical Strength

Science Code: 625.02.05.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesi adına bana yön veren, destek ve emeğini hiç esirgemeyen öğrencisi olmaktan gurur duyduğum danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Nergizhan ANAÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca bana maddi manevi desteğini hiç esirgemeyen her durumda yanımda olan annem Nuray POLAT, kardeşim Ekinsu POLAT ve sevgili eşim Samet ÇOBAN'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından 2021-77654622-05 nolu proje ile desteklenmiştir.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
 BÖLÜM 1 GİRİŞ	 1
1.1 EKLEMELİ İMALAT VE YAPIŞTIRMA İŞLEMİ.....	1
1.2 LİTERATÜR ÖZETİ.....	2
1.3 ÇALIŞMANIN AMACI.....	13
 BÖLÜM 2 EKLEMELİ İMALAT	 15
2.1 EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİNİN TARİHÇESİ.....	17
2.2 EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİNİN AVANTAJLARI VE SINIRLARI.....	18
2.3 EKLEMELİ İMALATTA BASIMI ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	19
 BÖLÜM 3 YAPIŞTIRMA İŞLEMİ	 21

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

3.1 YAPIŞTIRMA İŞLEMİNİN AVANTAJLARI VE SINIRLARI.....	26
3.2 YAPIŞTIRMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	27
3.2.1 Yüzey Hazırlama İşlemleri	28
3.2.2 Yapıştırma Geometrisi	29
3.2.3 Yapıştırma Kalınlığı.....	31
BÖLÜM 4 MATERYAL VE METOD.....	33
4.1 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	34
4.1.1 Deney Numuneleri Özellikleri	34
4.1.2 Numunelerin Üretim Prosesi.....	35
4.1.3 Deneylerde Kullanılan Yapıştırıcıların Özellikleri	42
4.1.4 Deney Numunelerinin Yüzey Hazırlık İşlemleri	43
4.1.5 Zımparalama İşlemi	44
4.1.6 Deney Numunelerinin Yapıştırılması	45
4.1.7 Deney Cihazları.....	47
BÖLÜM 5 ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	51
5.1 DOLULUK ORANINA GÖRE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	62
5.2 YÜZEY HAZIRLIĞINA GÖRE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	63
5.3 YAPIŞTIRICI ÇEŞİDİNE GÖRE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	63
5.4 YAPIŞTIRMA KALINLIĞINA GÖRE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	63
BÖLÜM 6 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

KAYNAKLAR.....	67
EK AÇIKLAMALAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ	83





ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 FDM teknolojisi sistem görünümü.....	17
Şekil 3.1 Selüloz molekülünün kimyasal yapısı	24
Şekil 3.2 Selülozun eterleşme reaksiyonu	25
Şekil 3.3 Pürüzlü yüzeyde yapıştırıcı ve yüzeyin yapısı	28
Şekil 3.4 Parça yüzey birleşmesi	28
Şekil 3.5 Bindirme ölçüleri.....	29
Şekil 3.6 Yapıştırılan parçanın sıkıştırılması.....	30
Şekil 4.1 ASTM D638-10 standardı.....	36
Şekil 4.2 Çekme numunesi	36
Şekil 4.3 Yazıcı tablasının hazırlanması.....	37
Şekil 4.4 PLA numunelerin basım aşaması	37
Şekil 4.5 ABS numunelerde karşılaşılan kalkma eğilimi sorunları.....	38
Şekil 4.6 ABS filamenti ile çözelti hazırlama	38
Şekil 4.7 ABS numunelerinin basım aşaması.....	39
Şekil 4.8 Yapıştırma bağlantıları yapılacak numuneler.....	39
Şekil 4.9 Basılıp markalanmış plakalar	40
Şekil 4.10 ABS filamentindeki bozukluklar.....	41
Şekil 4.11 ABS plakalar basılırken	41
Şekil 4.12 ABS plakalar basıldıktan sonra	42
Şekil 4.13 Numunelerin ölçülüp işaretlenme aşaması.....	43
Şekil 4.14 Zımparalanmış plakalar	44
Şekil 4.15 Plakaların yüzey pürüzlülük ölçümü	45
Şekil 4.16 Spatula yardımı ile yapıştırıcının sürülmesi.....	46
Şekil 4.17 Yapıştırma işlemi yapılmış bağlantılar.....	46
Şekil 4.18 Çekme testi görüntüleri	47
Şekil 4.19 Zaxe x1 cihaz	47
Şekil 4.20 3D3 Technology S1 cihaz	48

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil 4.21 Besmak BMT 100E cihaz	49
Şekil 4.22 Mahr MarSurf PS 10 cihazı.....	49
Şekil 4.23 HITACHI SU5000 FE-SEM cihazı.....	50
Şekil 5.1 ABS-ABS Teroson PU 9225 ile bağlantı yapılmış çiftler (320SiC).....	56
Şekil 5.2 ABS-ABS Loctite EA 9492 ile bağlantı yapılmış çiftler (600SiC)	57
Şekil 5.3 PLA-ABS Teroson PU 9225 ile bağlantı yapılmış çiftler (320SiC).....	58
Şekil 5.4 PLA-ABS 320 SiC zımpara ve Loctite EA 9492 ile bağlantı yapılmış çiftler.....	58
Şekil 5.5 PLA-ABS 600 SiC zımpara ve Loctite ile bağlantı yapılmış çiftler	59
Şekil 5.6 PLA-PLA 600 SiC zımpara ve Loctite ile bağlantı yapılmış çiftler	59
Şekil 5.7 PLA-PLA 600 SiC zımpara ve Teroson PU 9225 ile bağlantı yapılmış çiftler.....	60
Şekil 5.8 PLA-PLA yapıştırma bağlantılarının kopma yüzeyinden alınan SEM görüntüleri ..	61
Şekil 5.9 ABS-ABS yapıştırma bağlantılarının kopma yüzeyinden alınan SEM görüntüleri ..	61
Şekil 5.10 PLA-ABS yapıştırma bağlantılarının kopma yüzeyinden alınan SEM görüntüleri	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Metal eklemeli imalat kronolojik gelişim süreci	18
Çizelge 3.1 Yapıştırıcının sınıflandırılması.....	22
Çizelge 4.1 Teroson PU 9225 (Poliüretan polimer) özellikleri	42
Çizelge 4.2 Loctite EA 9492 (İki bileşenli epoksi) mekanik özellikleri	43
Çizelge 5.1 Deney numunelerinin doluluk oranına göre ortalama gerilme değeri	51
Çizelge 5.2 PLA-PLA Teroson ile bağlantı yapılmış çiftler	52
Çizelge 5.3 PLA-PLA Loctite ile bağlantı yapılmış çiftler	52
Çizelge 5.4 ABS-ABS Teroson ile bağlantı yapılmış çiftler.....	53
Çizelge 5.5 ABS-ABS Loctite ile bağlantı yapılmış çiftler.....	54
Çizelge 5.6 PLA-ABS Teroson ile bağlantı yapılmış çiftler	55
Çizelge 5.7 PLA-ABS Loctite ile bağlantı yapılmış çiftler	56



EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
EK A: PLA-PLA (320 SiC-600 SiC) Teroson-Loctite Malzeme Çiftleri	75
Şekil A.1 PLA-PLA 320 SiC-600 SiC Teroson Malzeme Çiftlerinin Kırılma Yüzey Görüntüsü	75
Şekil A.2 PLA-PLA 320 SiC-600 SiC Loctite Malzeme Çiftlerinin Kırılma Yüzey Görüntüsü	76
EK B: ABS-ABS (320 SiC-600 SiC) Teroson-Loctite Malzeme Çiftleri	77
Şekil B.1 ABS-ABS 320 SiC-600 SiC Teroson Malzeme Çiftlerinin Kırılma Yüzey Görüntüsü	77
Şekil B.2 ABS-ABS 320 SiC-600 SiC Loctite Malzeme Çiftlerinin Kırılma Yüzey Görüntüsü	78
EK C: PLA-ABS (320 SiC-600 SiC) Teroson-Loctite Malzeme Çiftleri	79
Şekil C.1 PLA-ABS 320 SiC-600 SiC Teroson Malzeme Çiftlerinin Kırılma Yüzey Görüntüsü	79
Şekil C.2 PLA-ABS 320 SiC-600 SiC Loctite Malzeme Çiftlerinin Kırılma Yüzey Görüntüsü	80



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

% : Yüzde

KISALTMALAR

3B	: 3 Boyut
3D	: 3 Dimensional (3 Boyut)
ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
ASTM	: American Society for Testing and Materials
BDT	: Bilgisayar Destekli Tasarım
DMSL	: Direct Metal Laser Sintering (Direk Metal Lazer Sinterleme)
BJ	: Binder Jetting (Bağlayıcı (Yapıştırıcı) Püskürtme)
DPL	: Digital Light Processing (Dijital Işık İşleme)
EBAM	: Electron Beam Additive Manufacturing (Elektron Işınlı Eklemeli İmalat)
EBM	: Electron Beam Melting (Elektron Işınlı Ergitme)
EM	: Eklemeli İmalat
FDM	: Fused Deposition Modeling (Eriyik Yığarak Modelleme)
LENS	: Laser Engineered Net Shape (Lazerle Net Şekillendirme)
LOM	: Laminated Object Manufacturing (Nesne İmalatı)
PDF	: Portable Document Format (Taşınabilir Belge Biçimi)
PE	: Polietilen
PC	: Personal Computer (Kişisel Bilgisayar)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

(devam ediyor)

PET	: Polietilen Tereftalat
PU	: Poliüretan polimer
PJ	: Polyjet (Çoklu Püskürtme)
PLA	: Polilaktik asit
PP	: Polipropilen
PVC	: Polivinil Klorür
SL (SLA)	: Stereolithography
SLS	: Selective Laser Sintering (Seçmeli Lazer Sinterleme)
SLM	: Selective Laser Melting (Seçmeli Lazer Ergitme)
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SiC	: Silisyum Karbür
SNP	: Single Nucleotide Polymorphism (Tek Nükleotid değişimleri)
STL	: Standard Triangle Language
USB	: Universal Serial Bus

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 EKLEMELİ İMALAT VE YAPIŞTIRMA İŞLEMİ

Herhangi bir malzemeye işlem uygulayarak yeni bir ürün oluşturma işlemine imalat denir. İmalatın asıl amacı, düşük maliyetle en kaliteli ürün meydana getirmektir. İmalat yöntemleri talaşlı imalat ve talaşsız imalat olmak üzere ikiye ayrılır (Apak, 2019).

Eklemeli imalat bir talaşsız imalat yöntemidir. Eklemeli imalat, karmaşık parçaların üretiminde kolaylık sağlar ve aynı zamanda talaşlı imalat yöntemlerinde ortaya çıkan atık malzeme gibi unsurların olmamasından dolayı temiz ve pratik bir üretim sağlar. Eklemeli imalat, üretilen parça kadar malzeme kullanılarak aynı zamanda malzeme giderlerinden de kazanç sağlanmaktadır. Bu yöntemin uygulanması hakkında araştırmalar hala devam etmektedir. Üretim hızı, ağırlığın az olması ve bağlantı elemanı sayısının az olması gibi avantajları sayesinde havacılık, otomotiv, biyomedikal, savunma sanayi, enerji sektörü gibi önemli endüstriyel sektörlerde parça imalatında kullanılır (M. Frascio vd., 2021). Çeşitli malzeme gruplarında üretim yapılabilirse de en çok tercih edilen eklemeli imalat malzemesi plastiktir ve günümüzde eklemeli imalat teknolojisinde kullanılan malzemelerin %92' sini oluşturmaktadır (M. Kariz vd., 2017). Plastik malzemeler, şekillenebilme yetenekleri sayesinde geçmişten bu yana her alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak plastiklerin yüzey enerjisi düşük olduğu için birleştirme işlemi olan yapıştırma işlemi yapılırken dikkat edilmesi gereken birkaç nokta vardır. Yapıştırma bağlantısının gücü; birleştirilecek parçaların boyutuna, kalınlığına, elastisite modülüne, yapıştırıcının kayma modülüne, geometrisine, yapışma uzunluğuna, yapıştırılacak yüzeylerin ön işlemine, yapıştırılan bağlantının maruz kaldığı koşullara bağlıdır (J.M. Arenas vd., 2012). Plastiklerin yapıştırıcıyla birleştirilmesi işlemi, plastik malzemenin türüne, yapıştırıcıların yapıldığı malzemelere ve kimyasallara karşı göstermiş olduğu dirence bağlıdır. Ayrıca; plastik malzemelerde bağlantı öncesi uygulanan yüzey işlemleri ile birlikte yüzeyde elde edilen enerjinin artırılması, bağlantının mukavemetini ve kalitesini artırır. Basit mekanik sabitlemedir (tr.lamscience.com). Yapıştırma bağlantıları iki farklı malzeme

Plastik malzemelerde birleştirme yöntemlerinden popüler olanlarından bazıları solvent bağlama, titreşim kaynağı ve indüksiyon kaynağıdır. Plastik birleştirmenin diğer bir yolu da arasında genellikle sentetik esaslı malzeme ile yapılan çözilemeyen bağlantılardır (web.itu.edu.tr). Yapılan bu tezde talaşsız imalat yöntemlerinden birisi olan eklemeli imalat yöntemi ile plastik parçalar basılmış ve basılan parçalar yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiştir. Birleştirilen parçalar bir çekme testlerine tabi tutularak mekanik özellikleri incelenmiştir.

1.2 LİTERATÜR ÖZETİ

Literatür çalışmasında eklemeli imalatın adımları, kullanım yerleri ve kullanılan materyaller üzerinde durulmuştur. Ayrıca PLA ve ABS filamentlerinin kullanım esaslarına bakılmıştır. Bunların yanı sıra yapıştırma bağlantısı parametreleri ve plastiklerde yapıştırma işlemleri incelenmiştir.

Yalçın ve Ergene (2017), modern imalat alanında yapılan çalışmaları değerlendirmiştir. Çalışmalarında 3B eklemeli imalat alanında gelinen noktaları, imalat yöntemleri ve uygulama alanlarını araştırmışlardır. Eklemeli imalat teknolojisi, bilgisayar destekli tasarım (BDT) ile başlayıp daha sonra BDT'lerin STL'ye dönüştürülmesinden ortaya çıkmıştır. İlk kez 1987'de 3B polimer yazıcı, lazer ultraviyole ışını kullanılarak ışığa duyarlı termoset polimerlerin tabakalar halinde katılaştırılması ile geliştirilmiştir. Tıp alanına 1980'li yılların sonlarında eklemeli imalat, kalıp tasarımı ve kompleks şekilli tıbbi parçaların imalatı ile prototipleme amacıyla sektöre girmiştir. Günümüzde protez, implant gibi birçok medikal cihazın imalatında kullanılmaktadır. Polimer esaslı eklemeli imalat sürecinde bu yöntem kullanılarak metal parça üretimini anlayabilmek için 3B polimer partiküller kullanılarak bilimsel çalışmalar yapılmıştır.

Kaner (2017), çalışma farklı plastik malzemeler kullanarak yapıştırma bağlantısı yapılmıştır. Yapıştırılacak yüzeyler üç farklı yüzey hazırlık işlemine (zımparalama, korona ve plazma) tabi tutulmuştur. Yapıştırılan numuneler üç ayrı sıcaklıkta (-20°C, 0°C, 20°C) bir ay boyunca yaşlandırılmıştır. Ayrıca yüzey işlemi uygulanan numuneler 50°C sıcaklık ve %95 nem oranı sabit tutularak üç farklı süre ile (30, 60, 90 gün) yaşlandırma işlemi yapılmıştır. Yapıştırma bağlantılarının dayanımları ortam koşullarına, yüzey hazırlıklarına ve sıcaklığa bağlı değişkenlik göstermiştir. PE, PP, PVC, Veicon Easy-Mix PE-PP 45 metil akrilik bazlı çift bileşenli yapısal yapıştırıcı malzemeler kullanılmıştır. Numunelerdeki dayanımları ölçmek için ise çekme (ALŞA Servo hidrolik çekme/basma deney cihazı) ve izod darbe deneyleri yapılmıştır. düşüğe sırasıyla PVC, PE, PP, PVC, PE ve PP olarak gözlenmiştir.

Korona yüzey hazırlığı çekme ve darbe testi sonuçlarına göre yüzey hazırlığı yapılmayan numunelerde dayanım oldukça düşüktür. Zımparalama işleminden sonra dayanım testinde en yüksekten işlem süresi arttırıldığında yüzeyde oluşan akının yüzeydeki bağlarda oluşan ısı nedeniyle hasarmeydana getirmektedir. Genel olarak korona işlemi görmüş yüzeyin hiç işlem görmemiş yüzeye kıyasla dayanımı daha yüksektir. Plazma işlemi yapılmış numune ise hiç işlem görmemiş numune ile karşılaştırıldığında dayanımda büyük ölçüde farklılıklar gözlenmiştir.

Apak (2019), PLA ve ABS malzemeler incelendiğinde PLA malzemelerin şekillenebilme kabiliyeti açısından ABS malzemelere göre daha kullanışlı olduğuna değinmiştir. ABS malzemeler kullanılırken zararlı gazlar açığa çıkmasından dolayı çok tercih edilmemektedir. 3D yazıcılarda çalışma prensibinde öncelikle bir ürün tasarımına ihtiyaç vardır. Solidworks, AutoCAD, Inventor, 3DsMax gibi programlar ile tasarım yapılmalıdır. 3D baskı alınırken ise filamentler nozuldan eriyik halde tabla üzerinde katmanlar meydana getirir. Bu katmanlar plastik ergitme, lazer sinterleme ve sterolitografi gibi yöntemler ile gerçekleşir. Üç boyutlu yazıcı makinesi olarak HyperCube 3D printer ve basım malzemesi olarak PLA kullanılmıştır. Sıcaklık sabit tutularak %20, %60, %100 farklı doluluk oranlarında ve 20mm/s 40mm/s, 60mm/s olarak farklı hızlarda ürünler basılmıştır. Basılan numuneler çekme testine tabi tutulmuş ve mekanik özellikler incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucu doğrusal basımı yapılan numuneler, üçgen ve petek yapılı numunelere oranla daha fazla uzama gerilme mukavemeti ve yüzde uzama değeri göstermektedirler. Ayrıca malzemedeki yoğunluk oranlarındaki artış hasar yüklerinde de artışa sebep olmuştur. Nozul sıcaklığı arttıkça üst çekme dayanımının arttığı, dolgu yoğunluğu azaldıkça ise dayanım ve elastikiyetin azaldığı gözlemlenmiştir. Sertlik ölçüm sonucunda en yüksek sertlik %100 doluluk oranında 20 mm/s üretim hızındaki malzemeye aitken en düşük değere ise %20 doluluk oranında 60 mm/s hızdaki numuneye aittir. Dolgu deseni aynı olup, doluluk deseni aynı olup dolgu oranı artıp, üretim hızı azaldıkça sertlik değeri artmaktadır. Doluluk oranı ve üretim hızı sabit tutulduğunda ise dolgu deseninin sertlik açısından bir önemi olmadığı tespit edilmiştir.

Özer (2017), eklemeli imalat yönetimini hızlı prototipleme ve hızlı üretim olarak iki bölüme ayırmaktadır. Prototipleme maket modelin tasarlanmasını kapsarken üretim ise parça ve ürünlerin üretilmesidir. Eklemeli üretimin avantajlarına değinecek olursak üretim süreçlerini ve maliyeti azaltır, özel parçalar üretilebilir, zor şekilli parçaları üretilebilir, kalıba ihtiyaç duymaz, az malzeme harcanır ve atık malzeme çıkarmaz. Eklemeli üretimin metotlarına değinecek olursak, yapıştırıcı püskürtme, direkt enerji biriktirme, malzeme ekstrüzyonu, malzeme

püskürtme, toz yataklı birleştirme, plaka tabakalaştırma, yapıştırıcı püskürtme, direkt enerji biriktirme, malzeme ekstrüzyonu, malzeme püskürtme, toz yataklı birleştirme ve havuz fotopolimerizasyonu olarak sıralayabiliriz. Teknolojinin gelişmesiyle eklemeli imalat teknolojisi çok fazla önem kazanmıştır. Kişiyi özel tasarımları sayesinde, gelecek yıllarda eklemeli imalat teknolojisi kullanımı oldukça artacaktır. Birçok ekleme imalat yöntemi vardır. Bu yöntemlerin arasında polimer filamentlerin yarı eriyik halde biriktiği FDM fotonpolimer reçinenin katılaştığı SLA metal tozların sinterlendiği SLS ve plastik kağıt metal tabakaların bağlandığı LOM bulunmaktadır. Bu metodların arasında ise en düşük maliyetli en az atık ve fazla malzeme çeşitliliğine sahip olan FDM'dir. FDM teknolojisinde en iyi sonuç veren polimer, viskos macun kıvamında ekstrüze edilen polimerler olduğu için 3D baskı malzemelerinde genellikle amorf yapıdaki polimerler kullanılmaktadır. Amorf yapılan belirli bir ergime sıcaklığı yoktur, artan sıcaklıkta yumuşaklık gösterir ve viskoziteleri düşer. Katman olarak eklendiğinde ise birbirlerine kolayca yapışabilirler. Plastik enjeksiyon sektöründe ağırlıkça hafif ve sert bir malzeme olan petrol ürünü ABS, en çok kullanılan üründür. Bunun yanı sıra daha düşük dayanımlı ama medikal sektörde kullanılan nişasta bazlı PLA da çok kullanılır. Sezer vd. (2017) çalışmalarında ABS granül matris malzeme, kısa karbon fiber takviye malzeme, karıştırmak için çift vidalı mikro karıştırıcı, elde edilen karışımı 3B yazıcıda kullanmak için tek vidalı masaüstü masaüstü ekstrüzer kullanmışlardır. Ve üretilen kompozitlerle çekme testi numuneleri üretilmiştir. Hazırlanan filamentler 3D yazıcıda çekme numunesi olarak basılıp çekme testi uygulanmıştır. Ektrüzyon sıcaklık ve hızının filament kalitesinde önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. ABS filament 250°C de bozulmaya başlamaktadır. 200°C altı sıcaklıklarda ise yarı eriyik özelliklerde olmadığı için pürüzlü yüzey oluşmasına neden olmaktadır. Karbon fiber katkısı malzemenin elastisite modülü, tokluk, süneklik ve çekme dayanımı gibi değerlerini etkilemektedir. Karbon fiber miktarının artması çekme dayanımını arttırmaktadır. Fakat karbonfiber oranının çok fazla artması, belirli miktar üzerindeki karışımlarda çekme dayanımını düşürdüğünü gözlemlenmiştir. Bunun sebebi çok fazla gözenekli yapı oluşur ve bu da dayanımın düşmesine sebep olur. Ayrıca karbon fiber boyu dayanımı etkileyen faktörlerden biridir. Eriyik biriktirme işlemi, yarı erimiş termoplastik malzemelerin katman katman üst üste istiflendiği bir eklemeli üretim sürecidir. Eklemeli imalat yöntemi çok çeşitli olmasına rağmen bunlardan en yaygın kullanım eriyik biriktirme yöntemidir. Karaman ve Çolak (2020), deneylerinde ABS plus filamentleri, kısa karbon elyaf ABS kompozit malzeme ve 3D yazıcı kullanmışlardır. Her bir parçada aşınmayı önlemek için nozul uçlar değiştirilerek %20, %60 ve

%100 dolulukta çekme testi numuneleri üretilmiş ve numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Deneylerde doluluk oranlarının artmasıyla mekanik özelliklerin iyileştiği tespit edilmiştir. Ayrıca üretim açılarının basılan numuneler üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır. %20 doluluk oranında üretilen numunelerin mekanik özellikleri incelendiğinde ABS plus malzemesinin mukavemet değeri karbon katkılı numunelere oranla daha yüksektir. Katman içerisindeki boşluk oluşturan elyaf sıklığının az oluşu elyaflar arasındaki yük transferini azaltmıştır. Bu nedenle karbon katkısı mukavemet değişimini önemli oranda etkilememiştir. %20 doluluk oranındaki malzemelere karbon takviyesi elastisite modülünü arttırmıştır. En yüksek çekme dayanımı %100 doluluktaki numunede tespit edilmiştir.

Bacak vd. (2021), çalışmalarında FDM yöntemi kullanılarak yapılan çalışmaları inceleyip, baskı hızı, doluluk oranı ve nozul sıcaklığı gibi çeşitli parametrelerin mekanik özellikleri etkilediğini tespit etmiştir. Çalışmada FDM esaslı 3B yazıcı ile PLA filamentler kullanılmıştır. %20 ve %100 iki farklı doluluk oranında ve 100, 150 ve 200mm/s üç farklı baskı hızında 180°C, 205°C ve 200°C üç farklı nozul sıcaklığında çekme numuneleri üretilmiştir ve çekme testi uygulanmıştır. En fazla çekme dayanımı 200°C’ de elde edilmiştir. Desende en yüksek dayanım grid deseninde olmuştur. Hız parametresinin etkisi diğer parametrelerden az olup en yüksek dayanım 100mm/s de ortaya çıkmıştır. Tüm parametreler incelendiğinde ise %20 doluluk oranında elde edilen en yüksek çekme değeri 220°C sıcaklıkta ve 100 mm/s hızda ve grid deseni olarak ölçülmüştür.

Öz vd. (2018), çalışmada 3B yazıcıda farklı doluluk oranlarında ve farklı filamentler ile basılan numunelerin çekme hasar yükleri incelenmiştir. Deney malzemeleri olarak 3B yazıcı, PLA, ABS, naylon, polistiren filamentleri ve çekme test cihazı kullanılmıştır. %15 %50 ve %100 doluluk oranında polistiren, naylon, ABS ve PLA çekme numuneleri yazıcıda basılmış ve çekme testine tabi tutulmuştur. Doluluk oranlarındaki artış, hasar yükündeki artışa sebep olmuştur. Doluluk oranına bağlı olarak en belirgin artış ise polistiren filament ile basılan numunede ortaya çıkmıştır. Naylon filament ile basılan numunede ise iç doluluk oranının çok etkili olmadığı gözlemlenmiştir.

Bacak vd. (2021), çalışmalarında eriyik modelleme yani FDM tekniği ile 3B yazıcı kullanılarak farklı doluluk, sıcaklık, baskı hızı, nozul sıcaklığı ve iç doluluk desenleri ile PLA numuneler üretmişlerdir. Daha sonra numunelerin çekme dayanımları ölçülmüştür. Deney cihazları olarak 3B yazıcı, PLA filament, çekme test cihazı kullanılmıştır. %20 ve %100 iki farklı doluluk

oranında ve 100 ve 130 mm/s iki farklı baskı hızında 180°C ve 220°C iki farklı nozul sıcaklığında gyroid cross 3D ve grid olarak üç farklı iç doluluk deseninde çekme numuneler üretilmiştir ve çekme testi uygulanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde %20 doluluk oranındaki numunede %100 doluluk oranındaki numuneye göre daha az çekme gerilmesi olduğu tespit edilmiştir. %20 doluluk oranındaki numuneler kıyaslandığında ise en yüksek çekme gerilmesi değeri 100 mm/s baskı hızında ve 220 °C nozul sıcaklığında üretilen grid desen çeşidinde elde edilmiştir. Özgül dayanım açısından karşılaştırma yapıldığında ise tam dolu parçaya en yakın desen cross 3D deseni olarak belirlenmiştir.

Fraschio vd. (2021), çalışmalarında eklemeli imalat ile üretilen bileşenlerin birleştirme süreçleri üzerinde durmuşlardır. PLA filamentlerle 3B baskı modelleme ile üretim yapıp üretilen numunelerle üç ayrı birleştirme yöntemi üzerine çalışma yapılmıştır. Numuneler çekme testine tabi tutulmuş ve sonuçları incelenmiştir. Kullanılan malzemeler 3B yazıcı, PLA, endüstriyel yapıştırıcı Teroson, çekme test cihazı olmuştur. Deneysel çalışmada %100 dolulukta dikdörtgen şekilde deney numuneleri üretilmiş ve bu deney numunelerinin, kaynaklı yapıştırma bağlantısı (hibrit) ve kaynak bağlantısı olarak iki ayrı metot ile birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından birleştirilen bu parçalar çekme testine tabi tutulmuştur. Deney sonuçları incelendiğinde hibrit bağlantılı birleşmelerde, birleştirme numunesinin bağlantı performansı açısından bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Çekme testi sonuçlarına göre en iyi performansa sahip birleştirmenin kaynak birleştirmesi daha sonra yapıştırma ve son olarak da hibrit birleştirme olduğu belirlenmiştir.

Şekercioğlu ve Kaner (2013), yapıştırma işlemi üzerine açıklamalar yapmıştır. Yapışma sırasında yüzeylerin yapışmaya karşı göstermiş olduğu dirençe vurgu yapıp, yapıştırma olacak yüzeylerde iyileştirme yapılması gerektiğinden bahsetmişlerdir. Plastik malzemelerde yüzey işlemleri bir enerji transferi olarak düşünülebilir. Plastik malzemeler arasındaki düşük yüzey enerji probleminin çözülebilmesi için bazı özel epoksi bazlı yapıştırıcılar bulunmaktadır. Bu yapıştırıcılar arasında iyi sonuçlar alınmasını sağlayan yapıştırıcılardan biri ise epoksi-poliamid yapıştırıcılardır. Yapıştırılacak yüzeyin hazırlanması için su, gliserin, alkol, asit, glikol ve alkali gibi kimyasallardan yapılmış karışımlar ile elde edilmiş çözeltiler kullanılmaktadır. Çözelti öncelikle yapıştırılacak yüzeye dökülerek nüfuz etmesi için bir süre beklenir. Malzemenin yüzey kısmının yapısındaki fazlar ve tane sınırları anot, diğer alanları katotla ilişkilendirilir. Anot bölgeleri aşınırken katot bölgeleri aşınmaz ve aşınmış bölgeler yapışma mukavemetini artırır. Kromik asit aşındırma genellikle ABS, poliolefin, polistiren, polipenol oksit ve asetal

gibi plastikler için önerilir. Aşındırma süresini ve sıcaklığını artırmak, polipropilen için yalnızca aşındırma derinliğini artırırken, polietilen için oksitlenme derecesi de derinlikle birlikte artar. Kimyasal aşındırma genellikle hidrojen, dipol, van der Waals, iyonik ve kovalent bağlara sahip malzemelere uygulanabilir. İşlem yapılmış olan yüzey temizlendikten sonra (deterjan veya sabun gibi) yeni işlem uygulanabilir. Aksi takdirde yapıştırma bağlantısı için ıslanma yeterli olmayabilir. Bu durumda kimyasal aşındırıcıların kullanılması mantıklıdır. Kullanılan solüsyon asidik, bazik, oksitleyici veya klorlayıcı aktif kimyasal ürünler içerir. Kimyasal aşındırma, tek başına veya zımparalama, yani mekanik aşındırma ile birlikte kullanılabilir. İşlemden sonra yüzey yüksek sıcaklıkta kurutulup, su ile yıkanır ve yapıştırma işlemi uygulanmadan kimyasal aşındırma yüzeyden uzaklaştırılmalıdır.

Kaygusuz ve Özerinç (2018), üç boyutlu yazıcı, PLA filamenti, çekme test cihazı ve x-ışını kırınımı cihazı kullanmışlardır. ASTM D638-4 standardına uygun çekme numuneleri üretilmiş çekme test cihazında çekilip gerinim grafikleri ve basılan numunelerin kristal yapısı incelenmiştir. Numuneler basılırken 190-215°C arası dört farklı nozul sıcaklığı denenmiştir. 215°C derece üstü sıcaklıklarda PLA numunesinin bozulmayı başladığı tespit edilmiş ve daha üst sıcaklarda deneme yapılmamıştır. Her sıcaklık için özdeş beşer tane numune basılmıştır. Tabla ısındıkça filamentin tablaya daha iyi tutunmasından dolayı tabla sıcaklığı tavsiye edilen sıcaklık olan 60°C’ de tutulmuştur. Farklı nozul sıcaklıklarının yanı sıra farklı dolgu yoğunlukları üzerinde de çalışmalar yapılmıştır. Sıcaklığı 190°C ye sabitleyip %10-%100 yoğunluk aralığı incelenmiştir. 200°C ve 210°C nozul sıcaklığındaki basılmış numunelerin ölçümleri 190°C nozul sıcaklığında basılmış ürünler ile benzer sonuçlar göstermiştir. Farklı nozul sıcaklıkları ile basılmış numunelerin çekme testi sonuçları incelendiğinde nozul sıcaklığı elastik şekil değiştirmede önemli bir etki göstermemiştir. Dolayısıyla elastik gözlemlenebilir ölçüde değişmemektedir. Çekme dayanımları ise nozul sıcaklığı arttıkça artmaktadır. Bu artış %10’a varan oranda artmaktadır. Mekanik davranış açısından bir başka önemli unsur ise malzemenin sünekliğidir. 190°C numunenin kopma noktasındaki uzama miktarı diğer numunelerden fazla olduğu görünmektedir. Fakat 200°C ve 210°C arasında fazla bir fark gözlenmemiştir. Sonuçlara bakıldığında genellikle düşük nozul sıcaklığında yüksek sünekliğe, yüksek nozul sıcaklığında ise yüksek dayanıma sahip olduğu görülmüştür. Nozul sıcaklıklarının değiştirilmesi, malzemenin amorf yapısında önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Sadece 215°C sıcaklığındaki yapılarda kısmi kristalleşmeye neden olmaktadır. Öte yandan, nozul sıcaklığı ve dolgu yoğunluğu mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemiştir. Dolgu yoğunluğunun azalmasıyla akma mukavemeti ve elastisite modülü önemli ölçüde azalmaktadır.

Günay vd. (2020) çalışmalarında FDM metoduyla üç boyutlu yazıcı kullanarak doluluk oranı, baskı hızı, tarama açısı gibi parametreler ile PLA malzemeden baskı almış ve çekme dayanımı üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Deney sırasında kullanılan malzemeleri PLA filament, üç boyut yazıcı, çekme test cihazı olarak sıralayabiliriz. %50 %75 %100 olarak üç farklı doluluk oranında, 30, 60 ve 90 mm/s olarak üç farklı baskı hızında ve $-45/45^{\circ}$, $0/90^{\circ}$ iki farklı tarama açısıyla çekme numuneleri üretilmiş ve çekme testine tabi tutulmuştur. İki tarama açısında da baskı hızı arttıkça dayanım azalmış, iç doluluk oranı arttıkça ise dayanım değeri artmıştır. Ayrıca bütün baskı hızları ve doluluk oranlarındaki ölçümlerde $0/90^{\circ}$ ile üretilen numunenin çekme dayanımı $-45/45^{\circ}$ tarama açısı ile üretilen numuneden daha fazladır.

Evlen vd. (2019), bu çalışmada FDM teknolojisi ile üretim yapan üç boyutlu yazıcı modellenmiş ve modellenen bu yazıcıda üretilen numunelerin doluluk oranının mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemiştir. Deney sırasında PET ve PLA malzeme, üç boyutlu yazıcı, çekme test cihazı, sertlik ve yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır. PET ve PLA malzemeler ile %10, 20, 30, 40 ve %50 doluluk oranlarında test numuneleri üretilmiş ve tek eksenli çekme testine tabi tutulmuştur. Daha sonrasında yüzey pürüzlülük ve sertlik değerleri ölçülmüştür. Yapılan sertlik ölçüm sonuçlarında PET ve PLA malzemelerde iç doluluk oranı arttıkça sertliğinde arttığı fark edilmiştir. Aynı zamanda çekme değerinin ve pürüzlülük değerlerinin ise ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Çekme mukavemeti değerleri %10 ve %20 doluluk oranındakinin aksine %30 oranından itibaren arttığı görülmüştür.

Sezer vd. (2019), eklemeli imalat yöntemleri arasında en ucuz ve popüler olanının eriyik biriktirme yöntemi olduğunu savunmuşlardır. Bu çalışmada eriyik biriktirme yöntemi ile basılmış ABS kompozit filamentlerinin baskısı alınarak karbon elyaf takviyesinin parça mukavemetine mekanik özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada üç boyutlu yazıcı, ABS filament, karbon elyaf takviye maddesi, çift vidalı mikro karıştırıcı, tek vidalı ekstrüder, çekme test cihazı kullanılmıştır. Öncelikle kompozit filament elde etmek adına ABS granül matris malzemesi ile kısa karbon fiber takviye malzemesi farklı oranlarda homojen bir karışımını elde etmek için laboratuvar tipi aynı anda dönen çift vidalı mikro mikser ile karıştırılır. Karışımı filament haline getirebilmek için de tek vidalı ekstrüder kullanılmıştır. Elde edilen filament ile üç boyutlu yazıcıda çekme numunesi üretilmiş daha sonra bu numunenin çekme testleri yapılmıştır. Ticari ekstrüzyon sıcaklığı ve hızı filament kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Karbon fiber takviyeli ABS ile katkısız ABS karşılaştırıldığında ise karbon fiber etkisi, doğrusal baskıda çekme mukavemetini ve elastik modülünü önemli ölçüde arttırmıştır.

Süneklik ve tokluk ise azalmıştır. -45/45 çapraz baskıda katkısız ABS ile katkılı ABS'yi karşılaştırıldığında karbon fiber etkisi, elastik modülü artırmış, ancak gerilme mukavemetini, tokluğu ve sünekliği azaltmıştır. Yazdırma deseni katkısız ABS de etki yaratmazken takviyeli ABS de mekanik özellikleri önemli ölçüde değiştirmektedir. Takviyeli malzemeler anizotropik özellikler göstermektedir.

Sürmen (2019), yaptıkları çalışmada, eklemeli imalat teknolojisinin çalışma prensiplerinden bahsetmiş ve uygulama alanları üzerinde durmuştur. Eklemeli imalat metal, plastik, kompozit ve organik maddeler kullanılarak üç boyutlu geometrik şekilleri üst üste ekleme metoduyla üreten bir imalat yöntemidir. Eklemeli imalat işlem adımları ise ilk adımda üç boyut (3B) çizim ya da üç boyut tarama (3B) işlemi yapılır. İkinci adımda modelleme dosyasını STL, ABJ, X3D, 3MF şeklinde kaydedilir. Üçüncü adımda dilimleme işlemi yapılır bu işlemde malzeme tipi, katman kalınlığı, baskı yoğunluğu, baskı sıcaklığı, baskı hızı, obje konumu, G-kod ayarlanır. Dördüncü adımda bu dosya çıkarılabilir disk ya da ağ üzerinden transfer edilir. Beşinci adımda malzeme yazıcıya yüklenir, yazıcının kalibrasyon ve sıcaklık ayarları yapılır. Son işlemde ise destek yapıları sökülür, zımparalama, polisaj, boyama, dolgu yapma ve epoksi kaplama işlemleri yapılır. Eklemeli imalat yöntem ve teknolojileri teknolojileri malzeme ekstrüzyon (FDM), fotopolimerizasyon (SLA, DLP, PJ), sac laminasyon (LOM), toz yataklı eritme (SLS, DMSL, SLM, EBM), direk enerji depolama (LENS, EBAM), yapıştırıcı püskürtme (BJ) olarak sıralanabilir. Geleneksel imalat yöntemleri ile üretilmesi zor parçaları eklemeli imalat yöntemiyle üretilebilmektedir. Eklemeli imalat metodunun kullanımını otomotiv, havacılık, eğitim, sağlık, gıda ve eğlence gibi bir çok sektörde kullanılmaktadır.

Özsoy ve Duman (2017), bu çalışmada eklemeli imalat teknolojileri tanıtılmış ve eğitim alanında kullanılabilirliği üzerine araştırma yapmışlardır. Eklemeli imalat son yıllarda endüstride oldukça önemli bir rol oynayacaktır. Bu nedenle sanayiye teknik eleman yetiştiren ticaret okullarında katmanlı imalat eğitimi verilmesinin üretime yardımcı olacağını söylemişlerdir. Öğrencilerin bu eğitim ile birlikte üç boyutlu düşünme yetisinin artacağını ve tasarım becerilerinin gelişeceğini savunmuşlardır.

Çelik ve Özkan (2017) çalışmalarında eklemeli imalatın ortaya çıkışı, gelişimi metotları, avantajlar üzerinde durmuştur. Eklemeli imalat başta prototip üretimi için kullanılmış olsa da şu an bir çok sektörde üretim yöntemi olarak kullanılmaktadır. Eklemeli imalat yöntemleri metal malzeme kullanılanlar ve metal olmayan malzeme kullanılanlar olarak iki ana başlıkta

incelenmiştir. Metal malzeme kullanılan yöntemleri malzeme biriktirme yöntemi (tel besleme ve toz püskürtme), toz yığıma yöntemi (lazer sinterleme, elektron ışıın eritme ve lazer eritme) olarak sıralanmıştır. Metal olmayan malzemeler kullanılan yöntemler ise, malzeme biriktirme yöntemi (eriyik biriktirme / ekstrüzyon), malzeme yığıma yöntemleri (lazer sinterleme, sıvı faz imalat), hibrit yöntemler (üç boyutlu baskılama) olarak sıralanmıştır. Çok sayıda çeşidi olan eklemeli imalat teknolojisinin yalnızca üretimi yapılabiliyor olması değil tamir de yapılabiliyor olması kullanılabilirliği arttırmaktadır. Bu sebeple birçok firma geleneksel imalatın yerine eklemeli imalat tercih etmektedir.

Özsola (2019), bu çalışmada katmanlı üretim yöntemleri ve kullanılan malzemeleri incelemişlerdir. Katmanlı üretim farklı malzemelerden parçaların tasarımında ve üretiminde esneklik sağlayan bir teknolojidir. Eklemeli imalat yöntemi, malzemenin eritilme yöntemiyle oluştuğundan dolayı kullanılan malzemelerin termofiziksel özellikleri önem arz etmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte çelik, alüminyum ve titanyum gibi malzemelerin de eklemeli imalat ile üretimi mümkün olmuştur.

Aydın vd. (2019), PLA filamenti farklı parametreler ile üç boyutlu yazıcıda üretmiş ve daha sonra en uygun parametreleri belirlemişlerdir. Çalışma sürecinde PLA filament, üç boyut yazıcı, çekme test cihazı, Color Striker renk analiz cihazı, sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Numuneler basılırken 190, 200, 210, 220°C dört farklı nozul sıcaklığı ve 30, 50, 70 mm/saniye olan farklı yazdırma hızı kullanılmıştır. Daha sonrasında basılan çekme numunelerinin sertlikleri ölçülüp çekme testine tabi tutulmuştur. Ayrıca malzemenin sıcaklığa bağlı değişimi renk analizörü ile de test etmişlerdir. Düşük viskozite nedeniyle yazdırma işleminin 200°C üzerinde yapılması gerektiği gözlemlenmiştir. En yüksek sertlik değeri en yüksek sıcaklık parametresi olan 220°C de ölçülmüştür. Malzemenin en yüksek sertliği 70mm/s hızda ve 220°C sıcaklıkta olduğu gözlemlenmiştir. Malzemenin yazdırma sıcaklığı arttıkça çekme gerilmesi de artmaktadır. Aynı sıcaklıkta yazdırma hızı arttıkça çekme gerilmesi yani dayanımı düşmektedir.

Lang vd. (1998), çalışmasında çeşitli oluk geometrisine sahip tek bindirmeli yapışkanla birleştirilmiş numunelerin gerilmelerini incelemiştir. Geometride daha yumuşak bir geçiş sağlamak için parçanın şekillendirilmesinin yapışkanın ara yüzündeki gerilim konsantrasyonlarını önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. Buradaki amaç, geometrideki değişimin birleşme gücünü nasıl etkilediğini belirlemektir. Genel olarak, çoğu yaklaşım

bağlantı mukavemetini artırmak için alt tabaka profilini değiştirmeye odaklanırken, yapışkan profili değiştirmeye çok az vurgu yapıldığını veya hiç vurgulanmadığını belirtmişlerdir.

Kinloch (1987), yapıştırıcılardaki adezyon özelliğini açıklamış ve birçok teori incelemiştir. Çalışma sonucunda yapışma tekniğinde malzeme yüzeylerinin hazırlanmasına ve kullanılacak yapıştırıcıların sertleşmesi ile ilgili bazı noktaların önemli olduğuna değinmiştir.

Lee S.J. ve Lee D.G. (1996) çalışmalarında, yapıştırıcı türü olarak epoksi reçine kullanmış ve çalışma sonucunda 0,05-0,15mm yapıştırma kalınlığı aralığı olan bağlantılarda maksimum moment kapasitesi elde etmişlerdir. Yapıştırıcı boşluğu boyunca yapıştırıcının kalınlığı arttıkça taşıma kapasitesi azalmıştır.

Sawa ve Uchida (1997) tek taraflı bindirme bağlantılarında yapıştırma bağlantısının ara yüzeyindeki kayma ve soyulma gerilmelerinin, yapıştırıcı kalınlığıyla olan ilişkisini incelemiştir. Deney sonuçlarında yapıştırıcı kalınlığının artmasıyla, yapıştırma ara yüzeyindeki serbest uçlara yakın bölgelerde oluşan gerilmenin de arttığı gözlemlenmiştir.

Ramani ve Zhao (1997) yapıştırma bağlantısı hazırlanırken birçok faktör yapıştırma işlemini etkiler. Örneğin, yüzeyi hazırlamak için yapılan ısıtma ve soğutma işlemi, yapıştırma işlemi sırasında bölgeye uygulanan basınç, eriyiğin yeniden kristalleşme sıcaklığında kalma süresi, bağ mukavemeti üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.

Kinloch (1997), otomotiv ve havacılık endüstrilerinde kompozit malzemelerin üretiminde yapıştırıcıların kullanımını incelemiştir. Teorik olarak, birleştirme geometrisinin farklı kuvvetler altındaki birleştirmeler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapışkan bağların ömrü üzerindeki çevresel koşulların etkilerinin önemini anlatılmıştır.

Goudarzia (2015), yapıştırma bağlantılarının mekanik ilişkileri ve bozulma süreçleri çok karmaşıktır. Yapıştırıcının türü, bağlantının gücü, yapıştırılan malzemenin türü, yapıştırıcının kalınlığı ve yapıştırma süresinin uzunluğu gibi birçok faktörden etkilenir. Bu nedenle farklı malzemeler ve yapıştırıcılar kullanılarak bu etkilerin daha iyi anlaşılması gerekir.

Adams (1992), yapıştırma bağlantılarını güvenli ve verimli bir şekilde tasarlamak, doğru malzeme modeli ve hasar kriterlerinin doğru uygulanması çok önemlidir. Ayrıca yapıştırma

bağlantılarının sıcaklık değişimleri, yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme arasındaki uyumsuzluklar farklı gerilme koşullarına neden olabilir.

Özel vd. (2003), farklı özelliklerde iki farklı yapıştırıcı ile bir bağlantı oluşturmuşlardır. Oluşturulan bu tek taraflı bindirme bağlantısının dört farklı noktasından eğme yüküne maruz bırakıp gerilme analizi yapmışlardır. Yapılan bu deneyler sonucunda yapıştırılan malzemenin kalınlığı, bağlantı performansı üzerinde çok fazla önemli etkilerinin olduğu saptanmıştır.

Da Silva (2011), enerji hasarı kriterlerini kullanarak yapıştırıcıdaki çatlak yayılımını araştırmıştır. Sonuç olarak, yapıştırıcının sünekliğinin veya kırılabilirliğinin çatlak ilerlemesi üzerinde etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Hem sünek hem de kırılabilir yapıştırıcılar için çatlak yayılmasını tahmin etmek için yeni hasar kriterleri önermiştir.

Mazumdar ve Mallick (1998), yapıştırıcı tekniği ile birleştirilen kompozit malzemelerin bağlantıları üzerine çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalar, epoksi bazlı yapıştırıcı ile yapıştırılmış iki kompozit panelin statik ve yorulma mukavemetini değerlendirmiştir. Sonuçlar statik çekme mukavemetinin hem bindirme uzunluğuna hem de yapıştırıcının kalınlığına bağlı olduğu görülmüştür. Maksimum kesme mukavemeti 0,33 mm yapıştırıcı kalınlığında bulunmuştur.

Ashcroft (2002), yüksek kayma gerilimi altında yapıştırma bağlantısının yorulma davranışını araştırmıştır. Artan kayma gerilimi ile yorulma dayanımının azaldığı gözlemlenmiştir.

Gürsel ve Yıldız (2021), yapıştırıcı birleştirmelerinde bağlantı mukavemeti üzerinde durmuş, yüzey morfolojisi ve yüzey enerjisini incelemişlerdir. İmalat sektöründe birleştirme teknolojisinin önemi her geçen gün artmaktadır. Birleştirme teknolojileri ürün birleştirmelerinden kompleks yapılara, kompozit malzeme üretimin eklemeli imalat teknolojilerine kadar her alanda kullanılmaktadır. Bu sebeple yapıştırma bağlantıları farklı tür malzemelerin birleştirmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca birleştirme bağlantısı yapılan malzemeler üzerinde deformasyon yaratmadığı için de büyük avantaj sağlamaktadır. Yüksek mukavemetli yapıştırma bağlantısı işlemlerinde yüzey hazırlama süreci çok büyük önem taşımaktadır. Yüzey hazırlama işleminde yapışma sağlanacak yüzeylerin optimum düzeyde yüzey pürüzlülüğüne sahip olması gerekmektedir. Bu işlem sayesinde bağlatında istenen mukavemet elde edilmiş olur. Yapıştırma bağlantısı yapılacak malzemenin yüzey enerjisi, hem

yapıştırıcı reçinenin absorbe edilmesi açısından hem de yapıştırıcı ile bağ oluşturma bakımından oldukça önem taşımaktadır.

Franziska Bürenhaus vd. (2019) FDM ile yapılan parçaların yüzeysel karakteri, yapıştırıcı yüzeyi tipi ve tasarımının yapıştırma bağlantısı gücü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yapıştırma bölgesinin tasarımıyla ilgili olarak altı farklı tasarım (finger, scarf, butt, tongue groove, t-peel, and overlap joint) ve altı farklı yapıştırıcı (akrilat reçine, poliüretan yapıştırıcı ve çeşitli epoksi reçineler) kullanmışlardır. Yüzeyin karakterini belirlemek için çeşitli ön işlemlerin (mekanik taşlama, plazma) ve çeşitli yüzey yapılarının etkisi test edilmiştir. Test edilen tüm yapıştırıcılar ile parçalar arasında iyi bir yapışma elde edildi ve ayrıca, özellikle iki bileşenli epoksi reçine kullanıldığında, geometrik tasarımın ek bir ön işlemine veya ayarlanmasına gerek olmadığı da kaydedildi. Çalışmada, her iki yüzey işleminin de bağ mukavemeti üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu bulunmuştur.

Karabıyık ve Apak (2021), polilaktik asit malzemesi (PLA) 'nın çizgi, ızgara, eşmerkezli' olarak üç farklı doldurma deseni, üç farklı doluluk oranı '%20, %60, %100 ve üç farklı üretim hızı (baskı hızı) '20 mm/ s, 40 mm/s, 60 mm/s ile baskı alarak mekanik özellikleri incelemişlerdir. Test sonuçlarına göre; doldurma hızı arttıkça numunelerin çekme dayanımının arttığı tespit edilmiştir. Dolgu desenleri aynı olup, dolum oranı arttıkça ve üretim hızı azaldıkça sertlik değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ancak dolgu desenindeki farklılığın sertlik, uzama ve çekme mukavemetinde önemli bir değişikliğe neden olmadığı anlaşılmıştır.

Ando vd. (2021) FDM teknoloji ile üretilen farklı iki renkte PLA parçalar üretilmiş, üretilen bu parçaların çekme testleri yapılmıştır ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Özellikle ara yüzey yapışma yetenekleri incelenmiştir.

1.2 ÇALIŞMANIN AMACI

Eklemeli imalat ya da katmanlı imalat adı verilen yöntem; parça sayısının az oluşu, kalıp ihtiyacının bulunmaması, üretim hızının artışı ve kullanım kolaylığı sayesinde çok cazip bir imalat tekniği olmuştur. Hızla gelişmeye devam eden bu teknik günümüzde, paketlenme ve ambalaj üretiminden, medikal alana, havacılık ve uzay sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu nedenle; eklemeli imalat hakkında yapılan akademik çalışmaların ve sanayi uygulamalarının sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu proje de; PLA ve ABS plastik

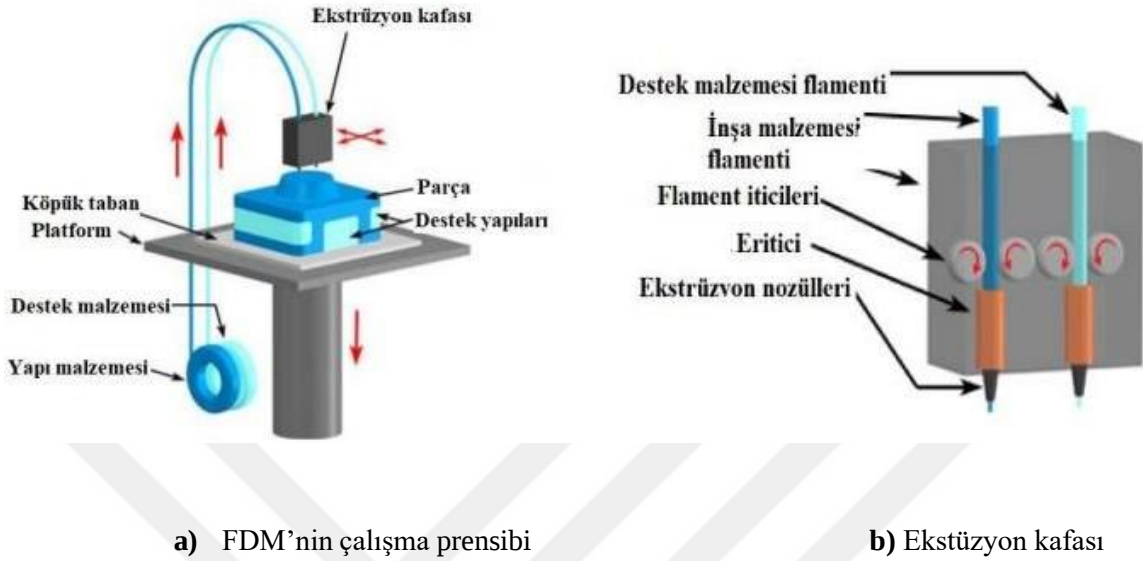
malzemelerinin farklı parametreler kullanılarak (tabla ve nozul sıcaklıkları, fan ayarları ve iç doluluk oranları) eklemeli imalat ile üretilmesini ve bu parametrelerin parça mukavemetlerine olan etkilerinin araştırılması ve uygun bulunan parametreler ile numune üretilip birleştirme bağlantısı oluşturmalarını kapsamaktadır. Eklemeli imalatla üretilen PLA ve ABS levhaların PLA-PLA, PLA-ABS, ABS-ABS kombinasyonları iki farklı endüstriyel yapıştırıcı ile birleştirilecek ve oluşturulan yapıştırma bağlantılarının dayanımına etki eden faktörler incelenecektir. Çalışmanın amacı eklemeli imalat ile üretilen numunelerin yapıştırma bağlantılarının gerçekleştirilmesi ve yapıştırma parametrelerinin bağlantının mekanik dayanımına etkisini incelemektir. Parçalar yapıştırma bağlantısı yapıldıktan sonra çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testine tabi tutulan numunelerin SEM görüntüsü alınmış ve kırılma yüzeyleri yorumlanarak mekanik özellikleri incelenmiştir. Çıkan test sonuçlarıyla parçaların dayanımına etki eden unsurlar birlikte değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2

EKLEMELİ İMALAT

Eklemeli imalat (EM) teknolojisi metal, plastik, kompozit, ve organik maddeler kullanılarak üç boyutlu geometrik şekilleri üst üste ekleme metodu ile üretim yapılan bir imalat yöntemidir. Bu yöntem geleneksel yöntemlerin aksine karmaşık parçaların üretiminde kolaylık sağlaması, bir kalıba ihtiyaç duymaması ve gerektiği kadar malzeme kullanılması, hızlı prototipleme ve kişiye özel tasarım yapılabilmesi sayesinde endüstride çok fazla tercih edilen ve hızla gelişmekte olan bir üretim tipidir. Eklemeli imalat teknolojisi tıp, dişçilik, havacılık ve uzay sanayi, otomotiv, kuyumculuk, eğitim, gıda, eğlence gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Eklemeli imalat teknolojisinin işlem adımları genel olarak altı basamakta gerçekleşmektedir (Sürmen 2019). İlk adımda üç boyutlu (3B) çizim ya da tarama işlemi gerçekleştirilir. Modelleme işleminde birçok bilgisayar destekli tasarım programları mevcuttur (CAD, Catia, Solidwork vb.). Veyahut 3B tarama cihazı ile basılacak numune taranabilir (lazer, MR, optik, CT vb.). İkinci adımda hazırlanan model dilimleyici programa programda çalıştırabilmesi için dosyanın uygun formatta kaydedilmesi gerekir. Bu adımda dosya farklı kaydet (save as) veya export seçenekleri ile kaydedilebileceği gibi dosya dönüştürücüler ile de kaydedilebilir. Kaydedilmiş dosya üç boyutlu baskı işlemlerinde en çok STL formatında kullanılır. Bunun yanı sıra.obj, .X3D, .3MF gibi formatları da bir çok yazılım formatı tanımaktadır. Üçüncü adım ise dilimleme adımdır. Bu adımda uygun formatta kaydedilen dosyalar baskı işleminden önce dilimleyici bir yazılım programına aktarılır. Bu programda üç boyutlu yazıcı tablası üzerindeki numunenin pozisyonu, yönü, katman kalınlığı, kullanılacak malzemenin cinsi, sıcaklık, baskı yoğunluğu, baskı hızı, destekleyici taban, iç duvar ve dış duvar katman sayıları ve fan ayarları gibi birçok özellikler ayarlanır. Bu özellikler ayarlandıktan sonra model dilimlenir ve G-kodları üretilir. Bu işlem bittikten sonra numunenin baskı simülasyonu da izlenebilmektedir. Bu dilimleyici yazılımların birçoğu ücretsiz açık kodludur (Cura, MatterControl, Craftware, Slic3r, Netfabb Basic vb.). Dördüncü adım dosya transferi adımdır. Beşinci adım üç boyutlu baskı alma adımdır. Bu adımda yazıcının düzgün bir zemin üzerinde konumlandırılmasına dikkat edilmelidir. Daha sonra kalibrasyon ayarlar yapılmalıdır. Hangi filament ile çalışılacak ise o filament cihaza tanımlanır ve sıcaklık ayarları girilir. Tablanın temiz olması gerekmektedir. Kullanılan filament, cihaz ve tabla özelliklerine göre zemin hazırlama işlemi yapılmalıdır (tablaya

yapıştırıcı sürmek gibi). Son işlem ise malzemenin basımının tamamlandığı aşamadır. Bu aşamada parça tabladan alınır eğer herhangi bir destek parçası ya da yapıştırıcı kullanılmışsa tabla temizlenir. Standart ve ayrılabilir olmak üzere iki tür destek vardır. Standart destekler, doğru aletlerle parçadan kolayca çıkarılabilir. Çözünür destek yapıları suda veya malzemeye özel çözümlerde çözülerek temizlenir. Destek parçalarından ayrılan malzemeye daha sonra yüzey iyileştirme yapmak için zımparalama, boyama, epoksi kaplama, dolgu, polisaj, ve yüzey buharlaştırma gibi işlemler yapılabilir. Eklemeli imalat teknolojisinin birçok çeşidi mevcuttur. Bunları FDM, SL(SLA), DPL, PJ, LOM, SLS, DMSL, SLM, EBM, LENS, EBAM ve BJ olarak sıralayabiliriz. FDM (Fused Deposition Modeling) eriyik yığarak modelleme işlemidir. Üç boyutlu modelleme denince akla ilk gelen teknoloji FDM teknolojisi olmaktadır. Şekil. 2.1’de çalışma prensibi verilen bu teknoloji malzeme olarak termoplastikler kullanılmaktadır. Makaralara sarılmış filamentler halinde kullanılan malzemeler genellikle PLA, ABS ve karbon fiber malzemelerdir. FDM yazıcılarda basım yapılmadan önce filament nozül ucuna yerleştirilir, filament ergime sıcaklığına ulaştıktan sonra nozül ucundan ekstrüde edilerek basım tablasına doğru itilir ve basım işlemi başlamış olur. Bu basım tekniğinde birçok renkte basım yapılabilir. Karmaşık geometrilili yapıların basımında büyük kolaylıklar sağlayan bu basım yönteminde elde edilen numunenin dış yüzeyinde katman çizgileri görülebilir. Fakat işlem sonrasında zımparalama yapılarak bu etki azaltılabilir. Bu teknoloji ile elde edilen malzemelerin yapısı oldukça dayanıklıdır. FDM teknolojisinde baskı hızı yavaş olsa da kullanıcı dostu olması, çevre dostu olması ve yazıcı maliyetinin düşük olması nedeniyle tercih edilen yöntemlerden biridir. Ancak FDM teknolojisinde yüzey kalitesi düşüktür ve metal parçaların basımı için uygun değildir bu durum basım alanını kısıtlamıştır. Diğer yandan FDM teknolojisinde seramik ve metal tozlarını çeşitli termoplastik malzeme ile karıştırıp kullanmak mümkündür.



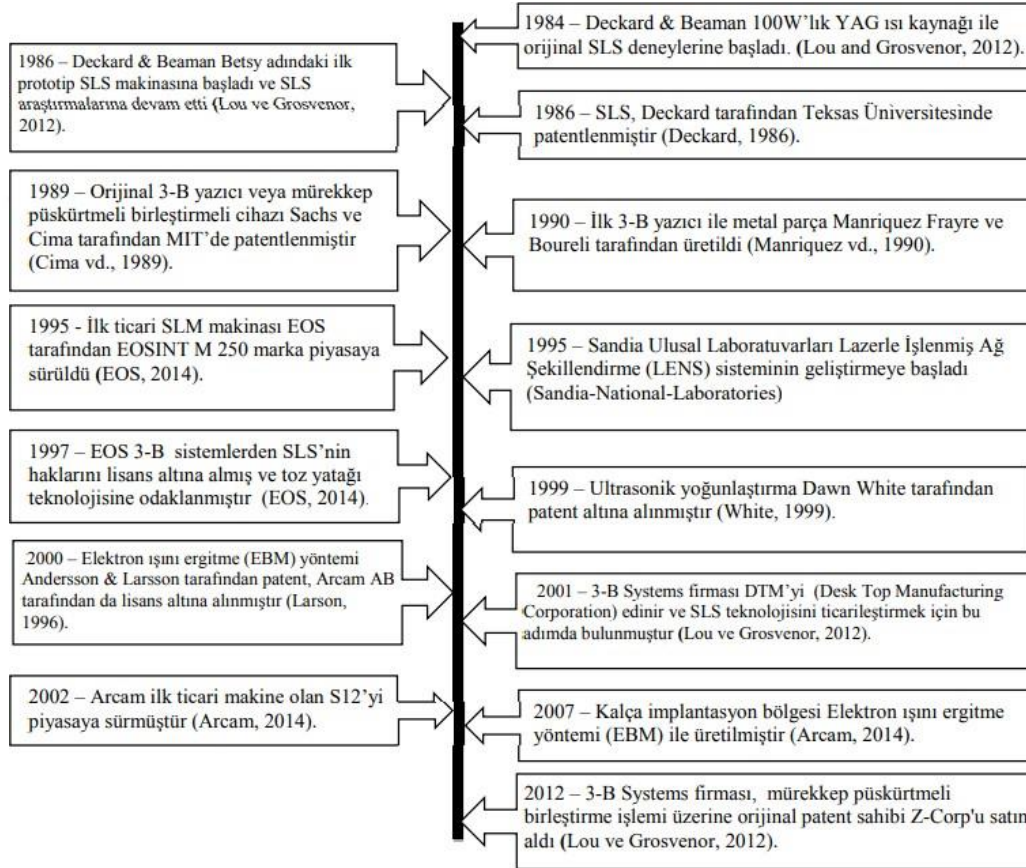
Şekil 2.1 FDM teknolojisi sistem görünümü

2.1 EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİNİN TARİHÇESİ

Eklemlerli imalat teknolojisi 1890'lı yılların sonlarında ABD'de ortaya çıkmıştır (inovax.net). Bilgisayar destekli tasarım (BDT) ile başlamış ve daha sonra BDT, STL formatına dönüştürülmüştür (Yalçın ve Ergene (2017)). Başlangıçta hızlı model ve prototip imalatı için kullanılsa da günümüzde birçok sektörde nihai ürün üretiminde kullanımı mevcuttur. İlk çıkmış olduğu sıralarda kullanım amacından dolayı bu teknoloji “Hızlı Prototipleme” olarak anılmıştır. Günümüzde bu teknolojiyi tanımlamak için birçok farklı isim (üç boyutlu yazıcı, katmanlı imalat, hızlı imalat, katmanlı üretim, direkt imalat, sayısal imalat, masaüstü imalat) kullanılmaktadır. Katmanlı üretim Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) ile başladı ve daha sonra STL formatına dönüştü. İlk olarak 1987'de ışığa duyarlı termoset polimerleri katmanlar halinde katılaştırmak için ultraviyole lazer ışığı kullanan bir polimer 3D yazıcı geliştirildi. 1980'lerin sonlarında eklemeli imalat, kalıp tasarımı ve kompleks şekilli medikal parçaların imalatı ile tıp alanına girmiştir. Günümüzde birçok medikal ürünün imalatında özellikle protezler ve implantların yapımında eklemeli imalat kullanılmaktadır. Polimer bazlı eklemeli imalat sürecinde bu yöntem kullanılarak metal parçaların üretimini anlamak için 3 boyutlu polimer parçacıkları ile bilimsel çalışmalar yapılmıştır (Deckard, 1988; Bourell vd., 1992; Marcus vd., 1993). Bu araştırmalarda, Seçici Lazer Sinterleme (SLS) olarak patenti alınan toz (parçacık)

beslemeli lazer sinterleme üzerine yoğunlaştı. 1990'da Manriquez-Frayre ve Bourell (Manriquez-Frayre, J.A, Bourell, D.L. 1990), 3B parçanın bakır metal tozlarından SLS yöntemi ile yapılabileceğini bildirmiştir. Günümüzde ark kaynağı ile ergitme/sinterleme prensibi ile polimer, seramik, metal tozlarından lazer ergitme/sinterleme ile elektron ışıını ve lazerden parça yapmak mümkündür.

Çizelge 2.1 Metal eklemeli imalat kronolojik gelişim süreci (Yalçın ve Ergene 2017)



Üç boyutlu baskı tarihi aslında tahmin edilenden çok daha geçmişe dayanmaktadır. 19.yüzyıla bakılacak olursa topografik haritaların üretilmesi ile ilgili üç boyutlu heykeller yapılmaya çalışılmıştır. Metal eklemeli imalat kronolojik gelişim süreci Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Üç boyutlu baskı gelişimi (<https://ryamanoglu.wordpress.com/>); Kor Ecologic ilk 3D baskılı araba Urbee'yi (2011), LayerWise ise ilk 3D baskılı çeneyi (2012) üretmiştir. Şimdilerde ise Amerika'da dünyanın ilk 3D baskılı silahı için tasarımlara başlanmıştır.

2.2 EKLEMELİ İMLAT YÖNTEMİNİN AVANTAJLARI VE SINIRLARI

Eklemeli imalat tekniklerinin birçok avantajı bulunmaktadır. Eklemeli imalat konveksiyonel döküm ve makineyle işlemeye nazaran daha fazla ürün tasarım serbestliği ve karmaşık yapılı parçaların üretiminde kolaylık sunmaktadır (eklemeliimalat.info). Talaş kaldırma işlemi veya atık parça miktarının olmaması önemli avantajlardır. Yalnızca parça üretimi kadar malzeme kullanımı sağlanması üretim maliyetlerini azaltmaktadır. Geleneksel üretime kıyasla 25 kata kadar daha az hammadde tüketimi sağlamaktadır (eklemeliimalat.info). Kalıp ya da ekstra ekipmana ihtiyaç duymaması, temiz üretim olanağı sağlaması ve karmaşık parçaların üretim sürecini kısaltması gibi birçok faydaları ve avantajları bulunmaktadır. Eklemeli imalatın sınırlandırıldığı belli hususlar da bulunmaktadır. Çok büyük ve yüksek parçaların üretimi sınırlıdır ve üretimi çok uzun saatler sürmektedir. Eklemeli imalat genellikle küçük boyutlu parçalar için uygun bir prosestir. Fakat bu konuda iyileştirme işlemleri hala devam etmektedir. Parça tasarımı yapılırken 45°'nin altında olduğu zaman destek yapılar ihtiyaç duyabilir. Bir diğer husus, malzeme seçimi eklemeli imalatla kısıtlı bir alandır. Birçok metal alaşımları ile üretim yapılamamakla birlikte kaynaklanabilir olmayan metaller eklemeli imalat ile üretilemez ve kaynaklanabilir metaller ise özel çözümlere ihtiyaç duyar. Eklemeli imalat ile üretilen numuneler %99,9 doluluğa ulaşabilmektedir. Ancak bazen üretilen numunelerin yapısında gözenekler oluşabilmektedir. Özellikle, döküm teknolojisi ile üretilen parçalara nazaran daha gözenekli yapılar oluşmaktadır. Eklemeli imalat ile üretilen parçalar, Z eksen (yapım yönü) anizotropi (eşyönsüzlük) gösterme eğilimindedir. Anizotropi, malzemede fiziksel özelliklerin malzemenin içindeki farklı yönler boyunca değişmesidir. (eklemeliimalat.info).

2.2 EKLEMELİ İMALATTA BASIMI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Eklemeli imalatla basım sırasında basımın kalitesini etkileyen bazı koşullar bulunmaktadır. Bu koşullardan en önemlilerinden biri sıcaklık etkenidir. Kullanılan filamentin cinsine bağlı olarak hem nozul hem de tabla sıcaklığı büyük önem taşımaktadır. Optimum sıcaklık dışındaki sıcaklığa çıkıldığı zaman filamentte problemler meydana gelebileceği gibi üretilcek parçanın mekanik ve mukavemet değerlerini de etkilemektedir. Sıcaklık etkeni kadar basım hızı da numune üretim sürecinde bir etkiye sahiptir. Numune üretim sürecinde basım hızı azaldıkça sertlik değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Diğer bir faktör, destek unsurudur. Bazı parçaların basım sürecinde destekleyici taban ya da destek malzemesi gerekmektedir. Özellikle boşluklu

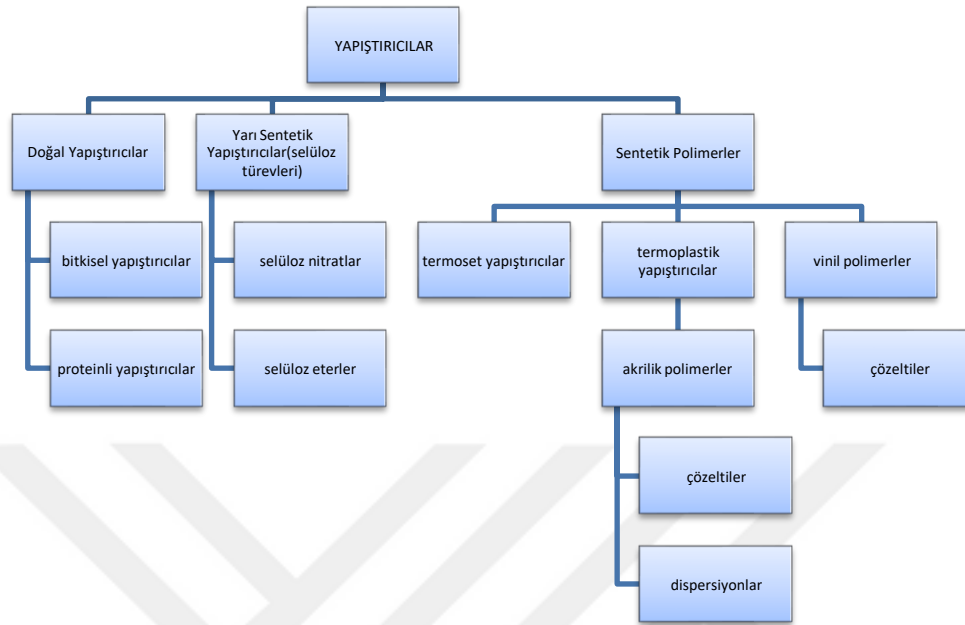
yapılarda basım alınacağı zaman desteksiz bölümlerde malzeme akma eğilimi gösterebilmektedir. Numune basım özelliklerini inceleyecek olursak iç doluluk oranı numunenin mukavemetini etkileyen unsurlardan biridir. Yapılan gözlemlerde malzemenin iç doluluk oranı arttıkça dayanımı da aynı oranda artmaktadır. Dolgu yoğunluğu azaldıkça ise dayanım ve elastikiyetin azaldığı gözlemlenmiştir. Dolgu yoğunluğu kadar dolgu deseninin ve yazdırma açısının da parça üzerinde etkileri bulunmaktadır. Yapılan bir çalışmada grid deseni ile basılan numunelerin diğer basım desenlerine göre yüksek dayanıma sahip olduğu gözlemlenmiştir (Bacak vd., 2021). Diğer bir çalışmada ise ölçümlerde 0/90° ile üretilen numunenin çekme dayanımı -45/45° tarama açıysa üretilen numuneden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir (Günay vd., 2020). Filament kalitesi ve cinside basım faktörlerini etkileyen faktörlerdendir. Örnek vermek gerekirse nişasta bazlı olan PLA numunesi petrol bazlı ABS numunesine nazaran daha sağlıklı bir malzemedir. ABS filamenti ile basım yapıldığı sırada eser miktarda zehirli gaz açığa çıkmaktadır ve bu durumdan dolayı ortamın havalandırması iyi olmalıdır. ABS üretim sürecinde stabil ortam sıcaklığı da çok önemlidir. Basım sırasında filamentin tablaya tutunmaması ile ilgili de sorunlar yaşanmaktadır. Ayrıca ABS filamenti PLA filamentine nazaran daha gevrek bir malzemedir. Tüm bu etkenler göz önüne alındığı zaman ise PLA filament kullanımı daha çok tercih edilmektedir.

BÖLÜM 3

YAPIŞTIRMA İŞLEMİ

Yapıştırıcılar, malzemeleri bir arada tutmaya yarayan birleştirici maddelerdir. Yapıştırma mekanizması, adezyon ve kohezyon kuvvetlerine bağlıdır. Adezyon kuvveti yüzeye tutunmada yapışmanın en önemli faktörlerinden biridir. Eğer yapıştırıcı yapıştırılacak yüzeylerle tam temas edemezse moleküller arası çekim zayıflar. Bu nedenle yapıştırıcı yüzeye tam olarak oturmalı ve tüm yüzeyi ıslatmalıdır. Aynı zamanda yüzeyin kirli oluşu da ıslanmayı olumsuz etkiler (metalluzmani.com). Yapıştırma kuvveti, hem yüzeyin ıslatılmasına hem de yüzeyin yapışma özelliklerine bağlıdır. Yapıştırma teknolojisi iki ya da daha fazla parçayı yapıştırıcı ile birleştirmektir. Yapıştırma işlemi genellikle tek seferlik bir birleştirme işlemidir, cıvata ile birleştirmedeki gibi tekrardan söküp birleştirilme yapılamaz. Yapıştırma teknolojisinin temel unsurları, malzemeyi tam olarak tanıma ve doğru planlamadır. Yapıştırma işlemi hemen hemen her malzemeye uygulanabilen, uygulaması kolay ve ucuz olan bir yöntem olduğundan, ısıtma işlem uygulamaları gerekmediği için gerilmeler olmaz. Ayrıca parça üzerinde perçin ve cıvata bağlantılarındaki gibi delik açma zorunluluğu olmamasından dolayı gerilme yığılması da olmaz. Çok ince ve kalın parçalarda rahatlıkla uygulanabildiği gibi gerilmeler her noktada yaklaşık aynı değerdedir ve bu sebeple de sürekli mukavemette yorulma hasarı riski düşüktür. İşlem iyi bir sızdırmazlık sağlar ve boşluklara rahatça dolabildiği için aralık ve galvanik korozyon riski de azdır. Aynı zamanda yüzeylere dolmasından kaynaklı hassas tolerans aralığı yoktur. Çok iyi sönümlenme ve yalıtım özellikleri vardır. Bu kadar avantajlı birleştirme sağlayan bu yöntemin güçlendirilmesi için bazı yollara başvurulmuştur. Örneğin, yapışkan malzemenin içine ekstra malzemeler katarak, malzemenin dayanıklılığı artırılmıştır. Bu yöntem uygulanırken yapışma bağlantılarının iyi sonuçlar vermesi içinde bazı koşulların (yüzey pürüzlülüğü, kalınlık, sıcaklık gibi) sağlanması gereklidir. Yapıştırma bağlantılarını güçlendirecek katkıların belli oranlarda olması koşuluyla, yapışkanın özelliklerini geliştirdiği, korozyona ve mukavemete karşı dirençli olduğu saptanmıştır. Çizelge 3.1’te yapıştırıcı türleri gösterilmiştir. Yapıştırıcılar üç ana gruba ayrılır bunlar, doğal yapıştırıcılar, yarı sentetik yapıştırıcılar ve sentetik polimerlerdir.

Çizelge 3.1 Yapıştırıcıların Sınıflandırılması (acikders.ankara.edu.tr)



İnsanoğlu sanayi devriminin gerçekleşmesine kadar yalnızca doğal yapıştırıcıları kullanmıştır. Neolitik çağda seramiklerin yapıştırılmasında reçine ve sakız kullanılırken, günümüzden 20,000 yıl öncesine kadar Fransa ve İspanya’da duvar resimleri yapılırken tükürük ve kan gibi kolay bulunan maddeler kullanılmaktaydı. (<https://acikders.ankara.edu.tr>). Ayrıca Sümerler’in yapıştırma işleminde çeşitli bitki özleri ve zift kullanıldığı bilinmektedir. İlk ve orta çağda yaygın şekilde kullanılan bu yapıştırıcıların ilk patenti 1750 yılında İngiltere’de alınmıştır. İngiltere bu yapıştırıcıyı mersin balığının hava keselerinden elde ediliyordu. Bunun yanı sıra dünyanın birçok yerinde tatlı su levreğinin solungaç ve yüzgeçlerinden, yılan balığının ise derisinden yapışkan üretilmiştir.

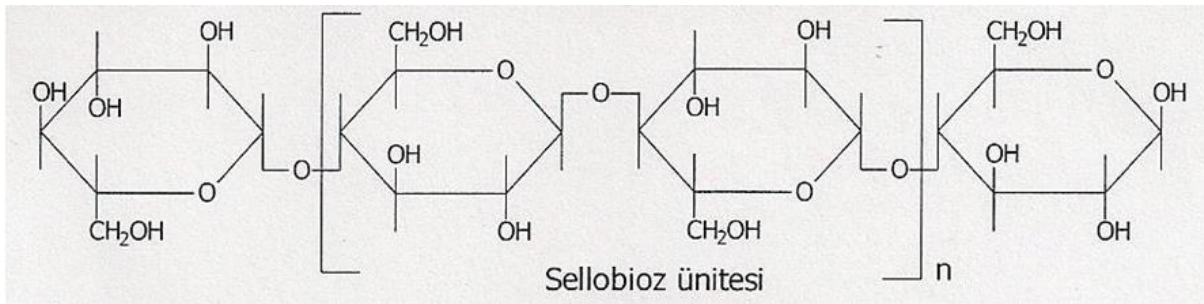
1930’lu yıllarda plastik endüstrisinin gelişmesiyle birlikte sentetik yapıştırıcıların üretilmesi de mümkün olmuştur. Artık ticari sektörde yaygın olarak kullanılan neopren, epoksi ve akrilonitril gibi sentetik yapıştırıcılar ilk olarak II. Dünya Savaşı sırasında askeri kullanım için üretilmiştir. Günümüzde uçaklar ve uzay araçları gibi birçok ileri teknolojiye kullanılmaktadır.

Eski zamanlarda, doğal yapıştırıcılar, kemik, deri ve bezler gibi hayvan parçaları işlenerek ayrıca bitkilerden elde edilirdi. Güçlü yapışkan özellik gereken alanlarda hayvan özleri kullanılırken, kağıt gibi ince malzemeler için yapışkan özellik gereken yerlerde ise bitkisel (nişasta vb.) gibi ürünler kullanılıyordu.

Orta çağda hayvansal yapıdaki doğal yapıştırıcılar; inek, boğa, manda gibi sığırların yağ, sinir dokusu, tendon ve kemiklerinden yapılırken, at ve eşek gibi hayvanların toynaklarından yapılmıştır. Tutkallar ayrıca çeşitli balık türlerinin solungaçları, tavşan derilerinden elde edilmiştir.

Doğal Organik yapıştırıcılarda bulunan polimerik maddeler, diğer polimerik maddeler gibi yüksek moleküler ağırlıklı maddelerdir. Genellikle suda çözünürler ve iki gruba ayrılırlar. Bunlar; bitkisel ve protein bazlı yapıştırıcılardır. Bitkisel yapıştırıcılar esas olarak nişastalı bitkilerin işlenmesinden elde edilir. Ayrıca bazı ağaçtürlerinin reçineleri bitki yapıştırıcılarıdır. Nişasta, yüksek moleküler ağırlıklı polimerik bir malzemedir. Buğday ve patates gibi bitkilerde bol miktarda bulunur. Nişasta, soğuk uygulanan(ısıtılma işlemi gerektirmez) ve kokusuz bir glikoz polimeridir. Nişasta güçlü bir yapıştırıcı değildir, aynı zamanda düşük su direncine sahiptir. Nişasta içerisine %5 ile %15 arasında üre formaldehit veya melamin formaldehit eklenerek suya dayanıklı hale getirilebilmektedir. Dekstrin, nişastanın ısıtılması ve parçalanması ile elde edilir. Dekstrin, nişastadan daha nemli dayanıklıdır. Bu nedenle nişasta yerine dekstrin tercih edilir. Üç tür dekstrin vardır: beyaz dekstrin, sarı ve kanarya dekstrin, İngiliz zıncıdır. Dekstrine baroks eklendiğinde yapışkanlığı ve mukavemeti artmaktadır. İngiliz zıncı ise nişastanın 150°C'ye ısıtılmasıyla yapılır ve çok güçlü bir yapıştırıcıdır (<https://acikders.ankara.edu.tr>). Dekstrinler elde edildikleri nişastaların özelliklerini taşırlar ancak suda tam çözünemezler, yalnızca dispersiyon halde çözelti oluştururlar. Osmanlı döneminde Anadolu'da dericilikte kullanılan çiriş adındaki yapıştırıcı çeşidi, bugünkü derby ve bali gibi yapıştırıcıların yerlerine kullanılmıştır (<https://acikders.ankara.edu.tr>). Bu yapıştırıcı zambakgillerden olan bir çiçeğin çiriş köklerindeki dekstrinden yapılmaktadır. Proteinli yapıştırıcılar; hayvanların deri, kemik ve solungaç gibi kısımlarından oluşmuştur. Hayvanların deri ve kemiklerinden elde edilen bu yapıştırıcılar koyu mor kahverengi bir yapıya sahip olup, suyla karıştırıldığında jelatinsi bir yapıya dönüşür. Piyasada çoğunlukla granül şeklinde bulunur ve sıcak suda çözündürülerek kullanılır. Fakat protein içerdiği için bozulabilir veya nemli ortamlarda küf ve mantar geliştirebilir. Kazein, Orta Çağ'da kitapları birbirine yapıştırmak için kullanıldı. Kazein, ekşi süttan kireç yardımıyla elde edilen ve soğuk yapıda kullanılan doğal proteinli bir yapıştırıcıdır (<https://acikders.ankara.edu.tr>). Hayvansal yağı yakarak, bir kazanda eriterek ve az miktarda şap ekleyerek basit bir hayvansal yapıştırıcı yapılabilir. Odun, yarı sentetik yapıştırıcıların ve selüloz türevlerinin üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır. Selüloz türevlerinden yapılacak birçok ürün belirli özelliklere sahip olmalıdır(örneğin saflık derecesi ve selülozun yapısı).

Selüloz molekülleri $C_6H_{10}O_5$ formülüyle anhidroglikozların uçtan uca eklenmesiyle oluşur. Moleküller arasındaki çekim kuvvetleri tarafından bir arada tutulurlar. Bu birimlerin sayısına polimerizasyon derecesi DP denir. Birbirine 1,4- β -glikosidik bağ ile 180°'lik açı ile eğik olarak bağlanır. Bu, gerilimsiz bir çizgi yapısı oluşturur. Selüloz polimer yapılı bir ürün olduğundan, kağıt, karton gibi ürünlerdeki kullanımının yanı sıra, birçok kullanım alanı vardır. Selüloz molekülü doğal, doğrusal bir polimer yapıya sahiptir ve her monomer biriminde oksidasyona duyarlı üç hidroksil grubu içerir (Şekil 3.1). Bu OH grupları, başka bir selüloz zincirindeki OH gruplarıyla birleşme özelliğini gösterir. Hidrojen bağları olarak adlandırılan bu bağlar, selüloz moleküllerinin hidrofil (suyu seven) özellik kazanmasını sağlar.

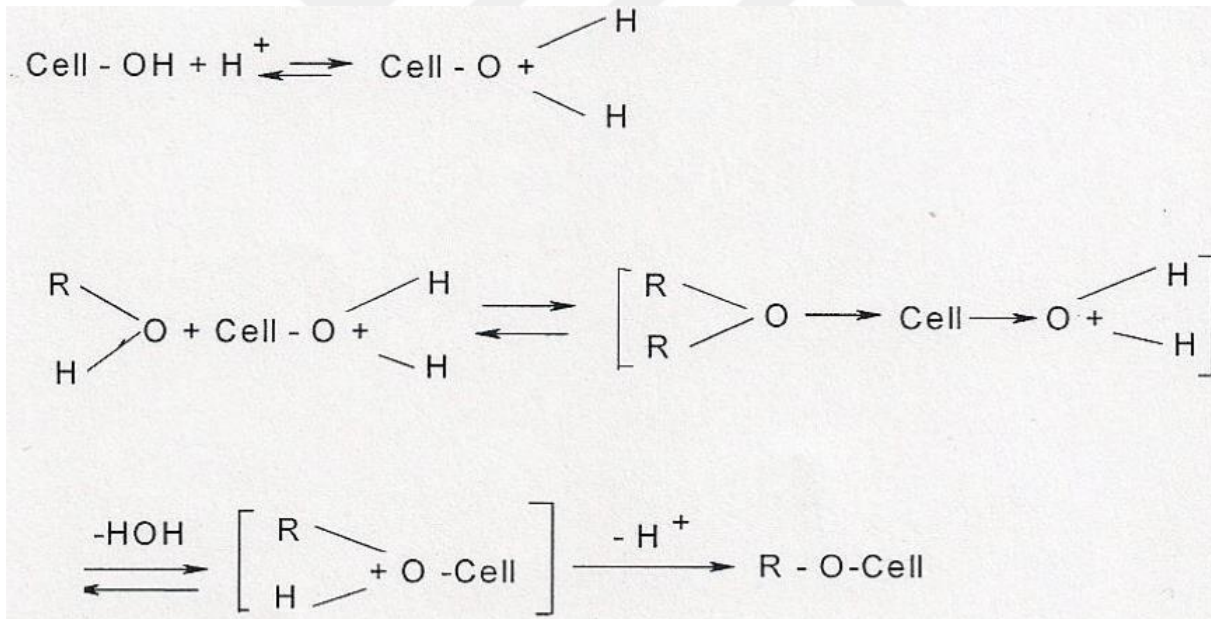


Şekil 3.1 Selüloz molekülünün kimyasal yapısı (Selülozun DP si = $2n+2$)

Çözelti ve dispersiyon yapıştırıcılarda, sıcakta eriyen yapıştırıcı sıvı faz bittikten sonra bir film olarak yüzeyde kalır ve yüzeye yapışır. Katı olan termoplastik malzemeler sıvı halde eritilerek soğumaya bırakılır ve yapışma sağlanır. Yapıştırıcı olarak selüloz türevleri, polivinil asetat, polivinil klorür, polietilen, polipropilen, polivinil alkol, poliakrilat, polieter ve birçok termoplastik malzeme kullanılmaktadır. Bu maddelerin çoğu organik çözücülerde çözünür. Bu nedenle esas olarak solvent bazlı yapıştırıcılar olarak kullanılırlar. Ayrıca emülsiyon, disk ve katı formlarda yapıştırıcı olarak kullanılırlar. Birçok termoplastik yapıştırıcı 100°C sıcaklığa kadar dayanıklıdır. Yapışma güçlüdür, ancak gerilme mukavemeti o kadar güçlü değildir. Bazı koruyucu önlemler alınmadığı takdirde hava ve çalışma koşullarına bağlı olarak çatlayabilirler. Metal olmayan parçaların, plastiklerin, deri, kağıt, kumaş ve benzeri malzemelerin yüksek yük gerektirmeyen ortamlarda birleştirilmesinde kullanılırlar. Selüloz nitratlar, çeşitli amaçlarla üretilen ve selülozun inorganik asitlerle reaksiyonu sonucu oluşan en önemli selüloz esterlerinden biridir. Selüloz nitrat, pamuktan elde edilen selülozun nitrik asit ve sülfürik asit ile reaksiyona girmesiyle oluşur. Selüloz odundan yapılmış olmasına rağmen, sınıflandırma için selülozun içindeki nitrojen kullanılır. Ürünün çözünürlüğü, selüloz

nitrat içindeki nitrojen yüzdesine bağlı olarak değişir. Selüloz nitratlar opak ve şeffaf olabilir, ancak güneş ışığına maruz kaldıklarında renkleri koyulaşır. Bu malzeme suya, yağlara, organik çözücülere, zayıf asitlere ve alkalilere, orta dereceli sıcaklıklara ve biyolojik bozunmaya karşı dayanıklı olmasına rağmen, ısı, ışık ve nemden kolayca etkilenir. Selüloz nitratlar çabuk sertleşen, güçlü ve esnek yapıştırıcılardır. Eski yapıştırıcılar geri dönüştürülebilir, ancak raf ömürleri sınırlıdır. Optik netlik ve şeffaflığın gerekli olduğu yerlerde yapıştırıcı olarak aseton şerbeti kullanılır. Hazırlanan harç kağıt, deri ve tekstilde kullanılır. Termoplastik yapıya sahip nitro selüloz 60-70°C üzerinde yapısal yapıştırıcı olarak kullanılır.

Selüloz eterleri, alkali bir ortamda (genellikle NaOH ile) uygun bir alkolün sülfat veya klor tuzları ile etkileşimi yoluyla oluşturulur (Şekil 3.2). Selüloz eterler, alkali tüketen işlemlerle üretilenler ve alkali tüketilmeden üretilenler olmak üzere iki grupta incelenir. Selülozdaki eterler, soğuk suda bile çözünürlük özelliği verir. Suda ve düşük alkalilerde hidrofobik davranış



Şekil 3.2 Selülozun eterleşme reaksiyonu

Piyasada toz halde, organik çözücülerde veya suda çözündürülerek jel şeklinde kullanılmaktadır. Çözücü buharlaştıkça sertleşir ve büzülme gösteren polimer yapısında kalır. Bileşimlerine bağlı olarak, çoğu hem suda hem de organik çözücülerde çözünür. Yapısal gücün gerekli olduğu yerlerde yapıştırıcı olarak uygun değildir.

Termoplastik yapıştırıcılardan akrilik polimerler, akrilik polimerler akrilik ve metakrilit asitlerinden üretilmiş termoplastikler olup, basınca duyarlı, yapıştırıcı yapımında kullanılan polimerlerdir. Akrilik polimerler atmosferik şartlara dayanıklı olmasıyla birlikte, asit ve tuzlu sudan etkilenmezler. Birçok kimyasal maddeye karşı dayanımları yüksektir. Ancak alkoller, kuvvetli çözücüler ve kostiğe karşı çok dayanıklı değildirler. Akrilik yapıştırıcılar genellikle suya karşı dayanıklıdır ve ışığa karşı stabilite gösterirler. Ancak çeşitli maddeler eklenerek dayanımları daha da arttırılabilmektedir. Akrilik polimerler organik çözücü içerisinde istenen yoğunlukla hazırlanabilmektedirler. Su içerisinde dağılmış olarak (dispersiyon) kullanılırlar. Çözelti halindeki akrilik polimer uygulandığı yüzeyde çözücü maddenin uçmasıyla birlikte yapıştırılacak yüzeyleri bir arada tutan katı polimer ortaya çıkarır. Ancak bu sırada bir miktar bulunmaktadır. Kuvvetli yapışma özelliği gösterirler, şeffaftırlar, sertleştiklerinde çözücülerle yeniden çözünürler ve yüzeyden sıyrılarak temizlenebilirler (geri dönüşümü mümkündür), boşluk doldurma özellikleri iyidir, zaman içinde yapısal özelliklerini kaybetmezler, cam geçiş ısısı oda sıcaklığının üstündeki değerlerden yüksektir. Bu nedenle bir kere sertleştiklerinde yumuşamaları veya şişmeleri zordur, yapıştırıcı, yüzey kaplayıcı veya kuvvetlendirici olarak etkilidirler, ıslak veya kuru objelere uygulanabilirler. Akrilik yapıştırıcı kullanımının aynı zamanda dezavantajları da bulunmaktadır. Çözücünün buharlaşması uzun sürebilir. Kalın kenarlı birleşme yüzeyleri söz konusu olduğunda kurumanın tamamlanması haftalar alabilir. Bu durumda destekleyici elemanlar kullanmak gerekebilir, yapıştırılan yüzeylerin sonradan açılması (ayrılması) uzun sürebilir. Yapıştırma bağlantılarının mekanik ilişkilerini ve bozulma süreçlerini birçok unsur belirler. Yapıştırıcının türü, bağlantının dayanımı, yapıştırılacak malzemenin türü, yapışkanın kalınlığı, yapışma süresinin uzunluğu gibi bu unsurları sıralamak

3.1 YAPIŞTIRMA İŞLEMİNİN AVANTAJLARI VE SINIRLARI

Yapıştırma işleminin birçok avantajı vardır (web.itu.edu.tr). İşlemin uygulanması kolay ve ucuzdur. Birleştirilecek malzemede delik, çentik vb. olmadığından dolayı gerilme yığılması da yoktur. Isıl işlem olmadığı için artık gerilmeler yoktur. Hemen hemen tüm malzemelere uygulanabilir. Çok ince veya kalın parçalara kolaylıkla uygulanabilir. Gerilmeler her noktada yaklaşık olarak aynı olduğu için yorulma hasarı riski düşüktür. Sızdırmazlık özelliği vardır. Boşluklar kolayca doldurulabildiğinden boşluk veya temas korozyonu riski yoktur. Çok iyi düzeyde yalıtım özelliklerine sahiptir. Güç/ağırlık oranı oldukça makuldür. Dezavantajlarını sıralamak gerekirse (web.itu.edu.tr), Çalışma sıcaklığı artarsa (80-120°C) dayanımı azaltır. Yeni nesil yapıştırıcılar ile çalışma limit sıcaklığının değeri 450°C 'ye kadar yükselmiştir. Yüzey temizliği oldukça özen ve dikkat gerektirmektedir. Gerilme ve bükülmeden kaynaklanan

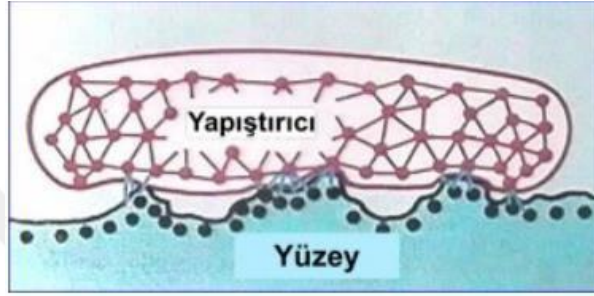
deformasyona karşı dayanıklılığı iyi değildir. Bazı yapıştırıcıların sertleşme süresi oldukça uzundur. Viskoelastik olduklarından dolayı malzemelerde zamanla yaşlanma ve sürünme olayları ile karşılaşılabilir. Kritik uygulamalar için çok karmaşık stres analizi gerekir. Tahribatsız muayene ile kontrolü kolay değildir. Yapıştırma bağlantısının ömrü çevre koşullarından etkilenir.

3.1 YAPIŞTIRMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Yapıştırma bağlantısı hazırlanırken yüzey hazırlanmak için uygulanan birçok işlem bağlantı dayanımı üzerinde büyük etkiye sahiptir (Ramani ve Zhao 1997). Yapıştırma işlemi sırasında yüzeylerin yapışmaya karşı göstermiş olduğu bir direnç vardır. Belirli işlemler ile yapıştırma olacak yüzeylerde iyileştirme yapılır (Kinloch 1987). Plastik malzemelerde yüzey işlemleri bir enerji transferi olarak düşünülebilir. Plastik malzemeler arasındaki düşük yüzey enerjilerinin yenilebilmesi için bazı özel epoksi bazlı yapıştırıcılar bulunmaktadır. Bu yapıştırıcılar arasında iyi sonuçlar alınmasını sağlayan yapıştırıcılardan biri ise epoksi-poliamid yapıştırıcılardır (Şekercioğlu ve Kaner 2013). Yüzeyde su, alkol, gliserin, glikol, asit ve alkali gibi kimyasallardan yapılmış karışımlar ile elde edilmiş çözeltiler kullanılmaktadır. Çözelti öncelikle yapıştırılacak yüzeye dökülerek nüfuz etmesi için bir süre beklenir. Malzemenin yüzey kısmının yapısındaki fazlar ve tane sınırları anot, diğer alanları katotla ilişkilendirilir. Anot bölgeleri aşınırken katot bölgeleri aşınmaz ve aşınmış bölgeler yapışma mukavemetini arttırır. ABS, poliolefin, polistiren, polipenol oksit ve asetal gibi plastikler için genel olarak kromik asitle aşındırma önerilir. Aşındırma süresini ve sıcaklığını arttırmak, polipropilen için yalnızca aşındırma derinliğini artırırken, polietilen için oksitlenme derecesi de derinlikle birlikte artar. Kimyasal aşındırma genellikle hidrojen, dipol, Van DerWaals, iyonlar ve kovalent bağlara sahip malzemeye uygulanabilir. İşlem yapılan yüzey deterjan veya sabunla temizlendikten sonra uygulama yapılabilir. Aksi takdirde yapıştırma bağlantısı için ıslanma enerjisi yeterli olmayabilir. Bu durumda kimyasal aşındırıcıların kullanılması mantıklıdır. Kullanılan solüsyon asidik, bazik, oksitleyici veya klorlayıcı aktif kimyasal maddeler içerir. Kimyasal aşındırma tek başına veya mekanik aşındırma ile birlikte kullanılabilir. İşlem sonra yüzey, yüksek sıcaklıkta kurutup su ile yıkanır, ayrıca yapıştırma işlemi uygulanmadan kimyasal dağlayıcı yüzeyden temizlenmelidir. Yapıştırma bağlantısı yaparken bağlantı gücü yapışkanın türünden yapıştırma süresine kadar birçok unsur etki etmektedir (Goudarzia, 2015). Yapışmayı etkileyen unsurlar, yüzey koşulları (dış faktör), bütün yüzeyin ıslatılması (yüzeye/yapıştırıcıya bağlıdır) olarak iki ana başlıkta incelenebilir.

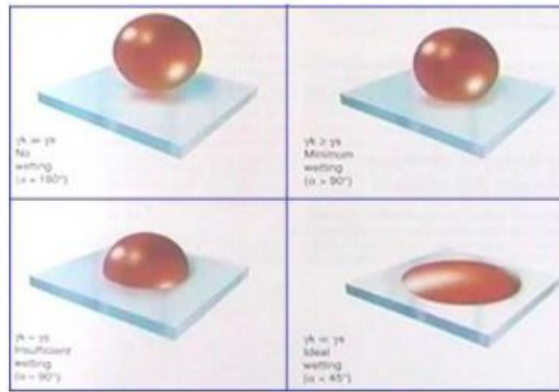
3.2.1 Yüzey hazırlama işlemleri

Yüzey koşulları (dış faktörler) kirli yüzeyler, yapışmadaki başarısızlıklarda en çok karşılaşılan örnektir. Bu nedenle yapışma sağlanacak yüzeyin tam olarak temizlenmesi çok önemli bir unsurdur (www.metaluzmani.com). Ayrıca yüzey çok fazla pürüzlü ise boşlukların içine iyi bir şekilde nüfuz etmez ise yapıştırıcı ile yüzey arasındaki bağlantı zayıf kalır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Pürüzlü yüzeyde yapıştırıcı ve yüzeyin yapısı (www.metaluzmani.com)

Yüzeyin ıslatılması, yüzey koşulları iyi bir şekilde sağlanırsa, yapıştırıcının mukavemeti ıslatmaya bağlıdır. Islatma, yapıştırıcının parça yüzeyiyle ne kadar iyi bir bütünleşme sağladığı ile ilgili bir kavramdır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Parça yüzey birleşmesi (www.metaluzmani.com)

Islatma iki faktöre bağlıdır. Bu faktörler, parça yüzey enerjisi ve yapıştırıcı yüzey enerjisi, her parça ve yapıştırıcı doğası gereği benzersiz bir enerjiye sahiptir. Yeterli ıslatma, yalnızca

parçanın yüzey enerjisinin yapıştırıcının yüzey enerjisine eşit veya bundan büyük olması durumunda gerçekleşir. Parçanın ıslatılabilirliği için yapıştırıcının viskozitesi az olmalıdır. Kohezyon, yapıştırıcı molekülleri arasındaki kuvvettir ve yapıştırıcıyı bir arada tutmaya yarar. Moleküller arası çekim kuvvetleri (Van der Waals kuvvetleri) polimer moleküllerinin kendi aralarında kenetlenebilmesi, bir zincirin gücünün en zayıf halkası tarafından belirlendiği kuralına göre, yapıştırma işleminde yapıştırıcı ve kohezyon kuvvetleri yaklaşık olarak eşit olmalıdır. Adezyonda kohezyon gibi yapışma anlamı taşımaktadır. Adezyon farklı moleküllerin birbirini çekmesi olayı ile gerçekleşir. Bir maddenin başka türdeki bir maddeye yapışması olarak da tanımlayabiliriz (fizikdersi.gen.tr).

3.2.2 Yapıştırma Geometrisi

Yapıştırma bağlantılarında yapıştırılacak malzemenin şekline ve cinsine göre farklı parametreler kullanılmaktadır. Yapıştırma bağlantılarında bindirme oranı önemli bir unsurdur. Bindirme bağlantılarında, plakaların üst üste gelen kısımların uzunluğu bağlantının mukavemetini doğrudan etkiler.

Bindirme oranı (t : levha kalınlığı olmak üzere):

$$u = l/t \quad (3.1)$$

olarak belirtilir.

Tavsiye edilen oranlar: Çelik için $u=7,5\ldots5$ Al-alışımları $u=5\ldots10$ Takviyesiz plastik $u=2\ldots4$ Elyaf takviyeli plastik $u=5\ldots10$ (web.itu.edu.tr). Bindirme oranı hesaplanırken yapıştırıcının ve levhanın aynı kuvveti kaldıracağı varsayımı yapılırsa optimum bindirme oranı için kaba bir hesap yapılabilir.



Şekil 3.5 Bindirme ölçüleri (web.itu.edu.tr/)

Yapı elemanı tarafından taşınan maksimum kuvvet:

$$F1 = b \cdot t \cdot \sigma_{Ak} \quad (3.2)$$

Burada;

b= levha genişliği

σ_{Ak} : yapı elemanının akma mukavemeti

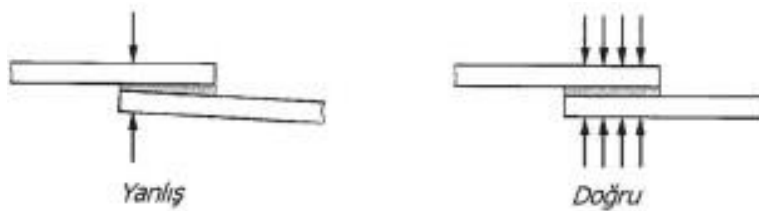
Yapıştırma bağlantısı tarafından taşınan maksimum kuvvet:

$$F2 = r_{yap} \cdot l \cdot b = r_{yap} \cdot u \cdot t \cdot b \quad (3.3)$$

Burada r_{yap} , yapıştırıcı malzemesinin kesme mukavemetidir. İki kuvvet (F_1 ve F_2) eşitlenirse:

$$u_{optimum} = \sigma_{Ak} / r_{yap} \quad (3.4)$$

Hesaplanan yapıştırma bölgesi ölçüleri belirlendikten sonra sıkıştırma işleminin düzgün yapılması da önemli bir husustur. Birleşme sağlanacak bölgede sıkıştırma işleminin doğru ve yanlış gösterimi Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6 Yapıştırılan parçanın sıkıştırılması (web.itu.edu.tr)

3.2.3 Yapıştırma Kalınlığı

Yapıştırma işlemleri sırasında yüzeylerin yapışmaya karşı göstermiş olduğu bir direnç vardır. Bunlardan birisi de yapıştırma kalınlığıdır. Yapıştırıcı kalınlığının fazla olması, yapıştırma mukavemetini olumsuz etkiler. Sıvı anaerobik veya siyanat tipi yapıştırıcılar için $\delta=0,02...0,1$ mm, orta viskoziteli epoksiler için $\delta=0,1...0,25$ mm, silikon pasta veya epoksi dolgular için $\delta>0,25$ mm (web.itu.edu.tr).





BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, eklemeli imalat ile farklı iç doluluklarda çekme test çubuğu şeklinde numuneler üretilmiş ve çekme testine tabi tutulmuştur. Daha sonrasında tam dolu plakalar basılarak yapıştırma bağlantısı yapılmıştır. Üretim sürecinde PLA ve ABS filamentleri ile hazırlanan numuneler Zaxe ve 3D3 Teknoloji marka 3D yazıcılar ile ASTM D638-10 standardına göre üretilmiştir. Çalışmada ilk önce parçalar Catia üç boyutlu tasarım programında ASTM D638-10 standardına göre tasarlanmıştır. Standart kapsamında parça ölçüleri dört ayrı doluluk oranında parça basılmıştır. Bu doluluk oranları %100 doluluktan başlayıp %80 %60 %40 ve %20 olarak üçer adet referans numune basılmıştır. Hem PLA hem ABS için aynı doluluk oranlarında basım yapılmıştır. Parça boyutları ASTM D638-10 standardına uygundur. Parça katman kalınlığı 0, iç desen çapraz yani grid adı verilen desen olarak belirlenmiştir. Basıma başlamadan önce yazıcının cam tablası iyice temizlenmiştir. Temizlendikten sonra program başlatılmıştır ve tabla sıcaklığı %80 olduğu noktada tabla üzerine prit yapıştırıcı sürülmüştür. PLA çekme numunesi basımında Zaxe yazıcının otomatik sıcaklıkları kullanılmıştır. Daha sonrasında Çekme testi cihazı Besmak BTM 100 E marka 10kN ile çekme numunelerinin deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çekme numunelerinin basımından sonra yapıştırılacak plakalar tekrardan ASTM D3163 standardına uygun bir şekilde Catia programında tasarlanarak üretimi yapılmıştır. PLA deney plakaları Zaxe marka cihaz ve Zaxe marka filament ile çekme testinde de olduğu gibi yazıcının otomatik ayarları ile basılmıştır. ABS plakalar ise 3D3 marka baskı cihazı ile otomatik ayarlarda Zaxe marka filament ile basılmıştır. Daha sonra parça temizlenmiştir. Basılan numuneler vakumlu hava geçirilmeyen paketlere konularak saklanmıştır. Hazırlanan bu plakaların 320 SiC ve 600 SiC numaralı zımparalar ile mekanik aşındırması gerçekleştirilmiştir. Mekanik aşındırması tamamlanan numuneler Teroson PU 9225 SF ve Loctite EA 9492 yapıştırıcı bileşenler aplikatör yardımı ile birleştirme oranı kadar sıkılıp spatula ile karıştırılarak yapıştırma bağlantısı sağlanmıştır. Birleştirmeler, 0,3 0,18 ve 0,1mm olarak üç ayrı yapıştırma kalınlığında yapılmıştır. Birleştirmesi yapılan deney numuneleri ile çekme testi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen test sonuçları ile parçaların dayanımına etki eden unsurlar değerlendirilmiştir.

4.1 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1.1 Deney Numuneleri Özellikleri

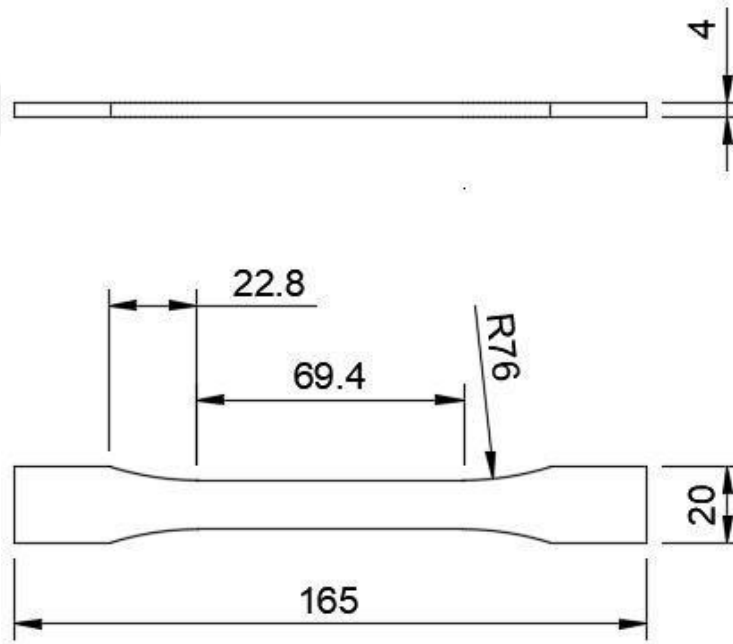
PLA numuneleri polilaktik asit olarak adlandırılan üç boyutlu yazıcı teknolojisinde kullanılan en popüler filament malzemesidir (www.boyutkat.com). Birçok farklı rengi bulunan bu filament düşük maliyetli bir malzemedir. Kolay basılabilirliği ve çok yönlülüğünden kaynaklı olarak fazlaca tercih edilen bir malzemedir. Bitki bazlı ve biyolojik olarak çözünebilir plastik malzemedir ve yenilenebilir kaynaklardan üretilir. Petrol bazlı diğer termoplastiklerden farklı olarak nişasta bazlı bir malzemedir. Bazı PLA malzemeler mısır nişastası, topyoka kökleri veya şeker kamışlarından üretilmektedir. Bu nedenden dolayı kullanıcılar çevreye daha az zararlı olmasından dolayı PLA malzeme seçimine yönelmektedirler. PLA, psödoplastik, non-Newtonian bir sıvıdır. Bu, vizkozitenin baskıya maruz kaldığı strese göre değişeceği anlamına gelmektedir. PLA plastik malzeme gerilme kuvveti ve eğilme dayanımı açısından iyi bir mekanik özelliğe sahip, yarı kristal polimer olarak sınıflandırılabilir. Ergime sıcaklığı 180° C'dir. ABS malzemeye göre ergime sıcaklığı daha düşüktür, yanabilir olduğundan dikkatli kullanılması gerekmektedir. PLA malzemelerde sıcaklık ayarlamaları yapılırken belirli renklerde farklı sıcaklıklarda basılabileceği unutulmamalıdır. Ayrıca PLA malzemeler ABS malzemelere oranla daha kırılgan malzemelerdir. PLA filamenti için ideal sıcaklık yoktur deneme yanılma yöntemi ile bulunabilir. Sıcaklık söz konusu olduğunda oldukça esnektir ve çok sıcak veya çok soğuk olmadığı sürece düzgün baskı alınabilir. PLA malzeme için önerilen yatak sıcaklığı 70°C olmasına rağmen bu aralık 55°C ile 70°C arasında tutulmaktadır. Yatak sıcaklığı doğru seçilmediğinde bir takım sorun ortaya çıkmaktadır. Tabla az ısıtıldığı zaman üretim sırasında filament tablaya yapışmamaktadır. Fazla ısıtıldığı takdirde ise numunenin ilk katmanında yanlara doğru yayılmalar meydana gelmektedir. PLA filamenti saklama koşullarına çok dikkat edilmelidir. Açık bırakıldığı takdirde ortamdan nem çekmeye meyillidir ve bu durum basım sırasında sıkıntılar yaratabilir. Su ve nem kapalı filamentin çapında genişleme, gevreklik artışı, filament kabarcıklanması veya filament bozulması meydana gelebilir. En sağlıklı saklama yöntemi hava geçirmez bir ambalajla saklama yöntemidir. ABS numuneleri ise eklemeli imalatla PLA'dan sonra en çok kullanılan 3D yazıcı filamentidir (www.boyutkat.com). Akrilonitril Butadien Stilen olarak adlandırılır. Birçok rengi bulunan bu malzeme plastik enjeksiyon kalıplama için popüler bir plastik olduğu için bulunması kolay bir malzemedir. Petrol bazlı bir üründür. İşlemesi kolay olduğu için sanayide çokça tercih edilen bir üründür. Renksiz ve sarımsı bir tonu olan ABS malzeme genellikle endüstriyel kullanım

için küçük parçalar halinde teslim edilir. ABS malzemenin avantajlarına bakacak olursak, bu filamentler termoplastik polimer olarak kimyasal özelliklerini değiştirmeden eriyip katılaşabilirler. Ayrıca yüksek mukavemet ve sıcaklık dayanımına sahiptirler ve aynı zamanda günlük kimyasallara karşı da iyi direnç göstermektedirler. ABS filament PLA filamentine göre daha gevrek bir malzemedir. ABS filamentin avantajları kadar dezavantajları da bulunmaktadır. ABS filament ile baskı alınmak istendiği zaman uygun bir sıcaklık yakalamak gerekmektedir. Aksi takdirde baskıda çatlaklar veya ayrık tabakalar oluşabilir. ABS filament ile düzgün sonuçlar elde edilebilmesi için kapalı yapıda yazıcı tiplerinin kullanılması gerekmektedir. Parçanın tablaya yapışmaması, ilk katmanın bozuk olması, duvarlarda oluşan çatlaklar ve parçanın kenarlarında oluşan bükülmeler sıkça karşılaşılan sorunlardandır. ABS filamentini saklama koşullarından biri ise direkt olarak gün ışığında tutulmaması gerekmektedir aksi takdirde filament bozulabilir. ABS malzeme basılırken eser miktarda zehirli gaz açığa salar ve ortama bir miktar kötü koku yayılabilir. Bu malzeme ile çalışılırken ortamın havalandırılması önerilmektedir. Doğada çözünmeyen bu malzeme geri dönüşümü için ise çok fazla enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bu malzemenin öne çıkan en iyi özelliği yüzey sertliğidir. ABS filament de PLA filament gibi sudan ve nemden etkilenmektedir. Bu yüzden bu ürünün en iyi saklama koşulu yine kapalı hava geçirmez bir ambalaj içinde olmalıdır.

4.1.2 Numunelerin Üretim Prosesi

Üretim sürecinde ilk olarak PLA ve ABS filamentleri ile Zaxe marka 3D yazıcıda ASTM D638-10 standardına göre çekme testi numuneleri üretilmiştir. ASTM D638-10 standardı Şekil 4.1’de verilmiştir.

Şekil 4.1 ASTM D638-10 standardı (Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics)Tasarlanan çekme numunesi parçası Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



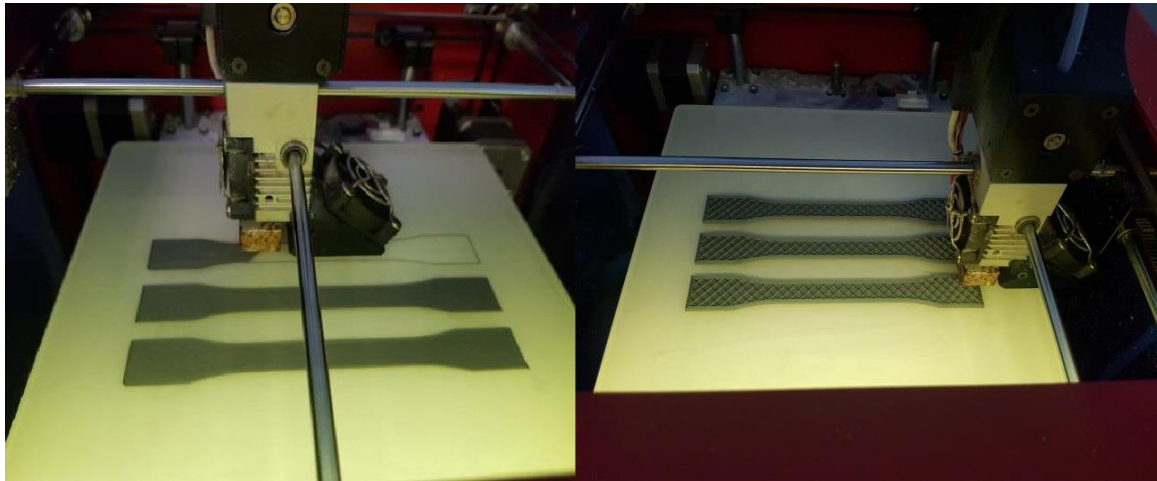
Şekil 4.2 Çekme numunesi

Basım aşamasına geçildiği süreçte cihaz öncelikle basıma hazır hale getirilmiştir Şekil 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.3 Yazıcı tablasının hazırlanması

PLA malzeme basımında yazıcının otomatik sıcaklıkları kullanılmıştır. Bu değerler, extrüder sıcaklığı 210°C tabla sıcaklığı 60°C olarak seçilmiştir. Ayrıca diğer basım ayarları dikiş tipi rastgele, dikiş yeri gizli, destekleyici taban yok, destekleyici taban tipi zemin, katman kalınlığı 0,1 mm duvar sayısı 4 üst kapalı katman sayısı 4 alt kapalı katman sayısı 4 olarak seçilmiştir ve Uzaras marka filament kullanılmıştır. PLA numunelerin basım aşaması Şekil 4.4' gösterilmiştir.



Şekil 4.4 PLA numunelerin basım aşaması

ABS malzeme üretiminde malzeme tablaya tutunmadı ve kalkma meydana geldi (Şekil 4.5) ve bu nedenle sıcaklıklar değiştirilip farklı sıcaklıklarla yeniden basıldı. Sıcaklıklar ilk olarak,

extrüder sıcaklığı 235⁰C tabla sıcaklığı 110⁰C hazne sıcaklığı 35⁰C olarak seçilmiştir daha sonra, extrüder sıcaklığı 250⁰C tabla sıcaklığı 110⁰C hazne sıcaklığı 10⁰C denendi ama başarısız olundu daha sonra destekleyici tabla konuldu fakat sonuçta değişiklik olmadı.



Şekil 4.5 ABS numunelerde karşılaşılan kalkma eğilimi sorunları

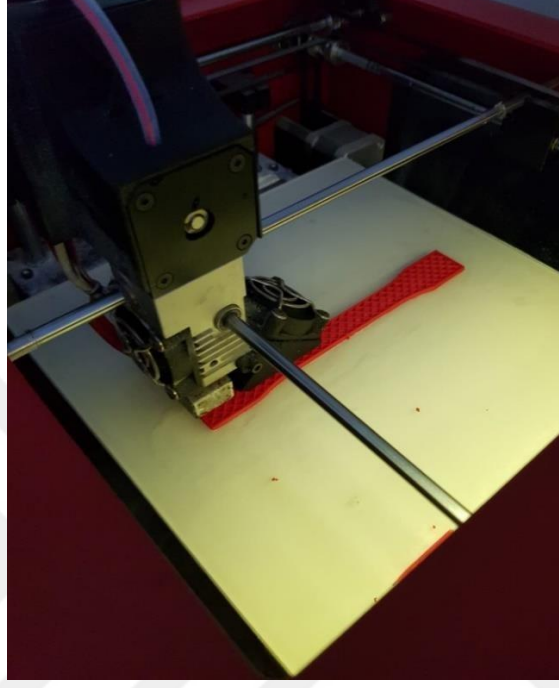
Daha sonra malzemenin tablaya yapışabilmesi için ABS parçalar ile asetonlu çözelti hazırlandı (Şekil 4.6) rijit parçaların çözünmesi zor olunca filamentler ile çözelti hazırlandı. Fakat filamentler uygun şekilde çözünmeyince çözeltinin sıcaklığı artırıldı ama sonuç istenilen sonuca ulaşamadı.



Şekil 4.6 ABS filamenti ile çözelti hazırlama

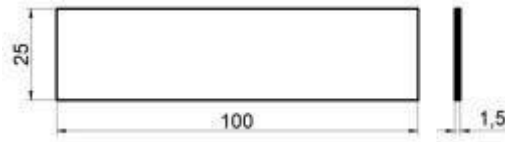
Çalışmalar istenilen sonucu vermeyince sıcaklıklar yeniden düzenlenip, extrüder sıcaklığı 250⁰C tabla sıcaklığı 105⁰C hazne sıcaklığı 10⁰C olarak seçilmiştir son olarak fan kapatılıp

yeniden basılmıştır ve bu kez istenilen sonuç elde edilmiştir. Diğer basım ayarları dikiş tipi rastgele, dikiş yeri gizli, destekleyici taban yok, destekleyici taban tipi zemin, katman kalınlığı 0,1 mm duvar sayısı 2 üst kapalı katman sayısı 6 alt kapalı katman sayısı 6 olarak seçilmiştir ve filament markası olarak Uzaras kullanılmıştır. ABS numunelerinin basım aşaması Şekil 4.7’de verilmiştir.



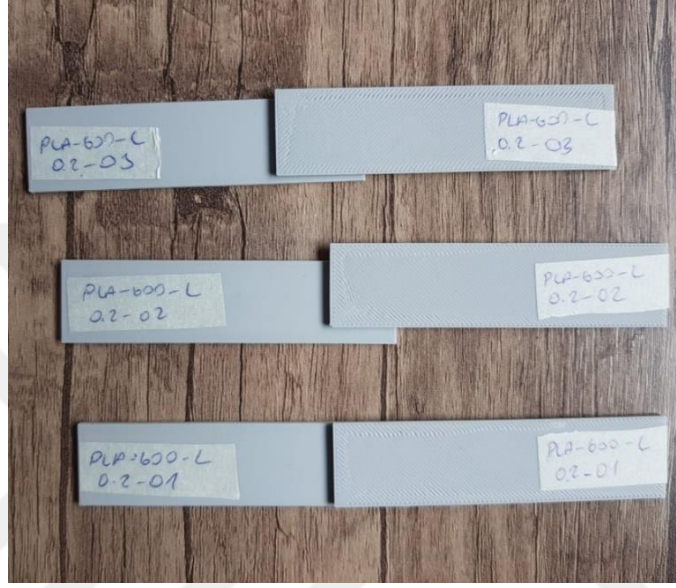
Şekil 4.7 ABS numunelerinin basım aşaması

Çekme numunelerinin basımından sonra yapıştırılacak plakalar tekrardan ASTM D3163 standardına uygun bir şekilde Catia programında tasarlanarak üretimi yapılmıştır (Şekil 4.8).



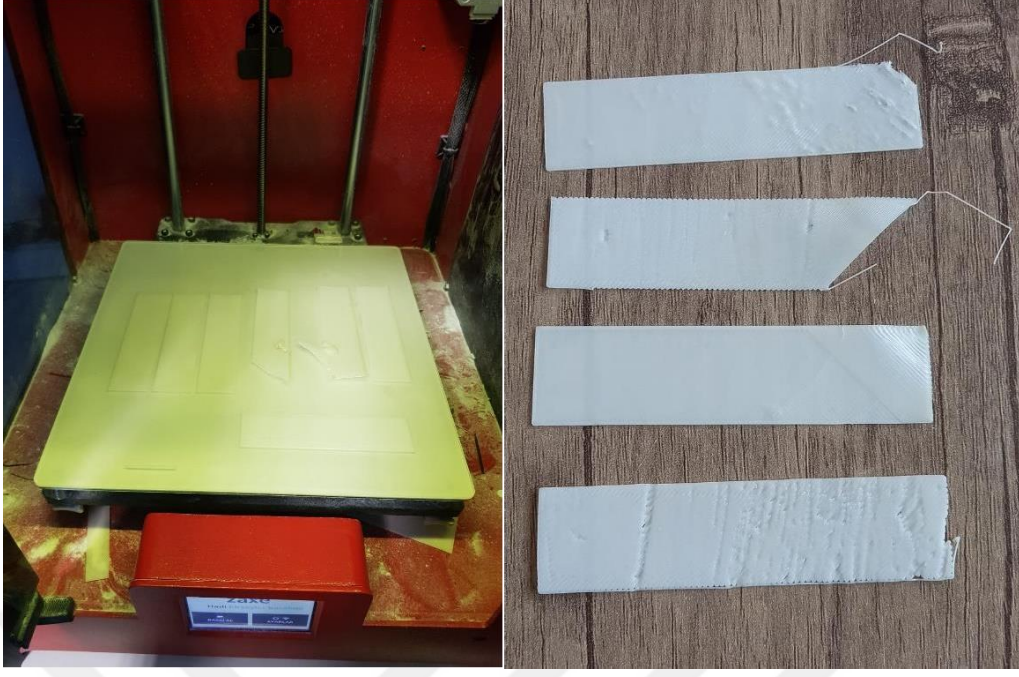
Şekil 4.8 Yapıştırma bağlantıları yapılacak numuneler

PLA plaka basımında çekme testinde de olduğu gibi yazıcının otomatik sıcaklıkları kullanılmıştır. Bu değerler, extrüder sıcaklığı 210°C tabla sıcaklığı 60°C olarak seçilmiştir. Dikiş tipi rastgele, dikiş yeri gizli, destekleyici taban yok, destekleyici taban tipi zemin, katman kalınlığı 0,1mm duvar sayısı 4 üst kapalı katman sayısı 4 alt kapalı katman sayısı 4 olarak seçilmiştir ve Zaxe marka filament kullanılmıştır. Basılan parçalar filament çeşidi, yapıştırma kalınlığı ve zımpara numarasına göre markalanmıştır (Şekil 4.9).



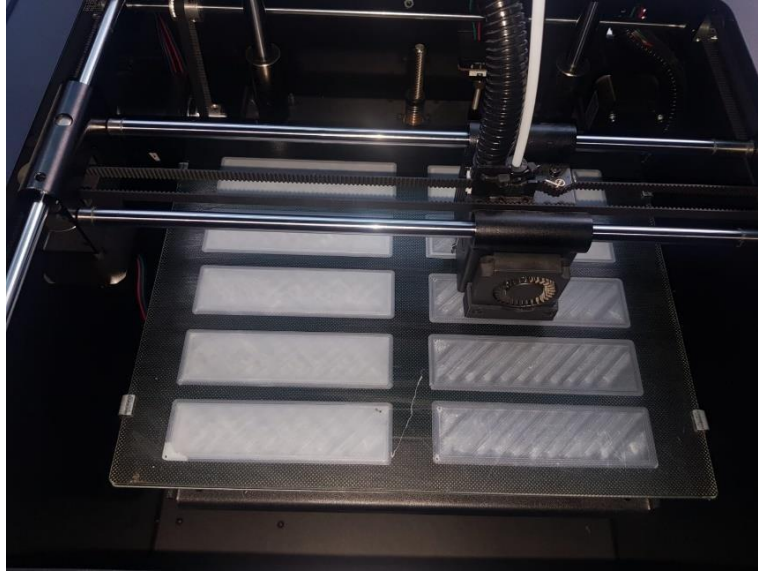
Şekil 4.9 Basılıp markalanmış plakalar

Fakat ABS basımında yine birtakım aksaklıklar yaşanmıştır. Tabla da kalkma durumları meydana gelmiştir. Sıcaklıklar artırıldığı zaman ise filamentte bozukluklar meydana gelmiştir (extrüder sıcaklığı 250°C'ye çıktığında). Sıkıntıların giderilmesi için farklı marka filament (Uzaras, Zaxe), farklı marka yapıştırıcılar (pritt, uhu stick) ve farklı değerler (Zaxe otomatik ABS ayar, custom ayarları) kullanılmıştır ama sıkıntılar devam etmiştir Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10 ABS filamentindeki bozukluklar

Daha sonra baskı cihazı 3D3 marka baskı cihazıyla değiştirilmiş ve değerler yeniden belirlenmiştir. Extrüder sıcaklığı 240°C, tabla sıcaklığı 95°C, katman kalınlığı 0.1mm, fan kapalı, brim raft ayarında Zaxe marka filament ile basılmıştır. Daha sonra parça temizlenmiştir. Plakanın basım aşaması Şekil 4.11’de ve basılmış plakalar ise Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.11 ABS plakalar basılırken



Şekil 4.12 ABS plakalar basıldıktan sonra

Basılan numuneler vakumlu hava geçirmeyen saklama ambalajlarına konularak saklanmıştır.

4.1.3 Deneylerde Kullanılan Yapıştırıcıların Özellikleri

Teroson PU 9225 SF, iki bileşenli yapıştırıcı hızlı kürleşen, poliüretan bir onarım yapıştırıcısıdır (www.henkel-adhesives.com). Uygulama süresi iki dakika olarak belirtilmiştir. Tipik olarak tamponlarda bulunan özellikle çizikler veya delikler gibi küçük hasarlara yönelik yapıştırma yüzeylerinde kullanılan bir yapıştırıcı türüdür. Boyanabilir iç ve dış plastik parçalarda onarım işlerinde kullanılır. Bu yapıştırıcı 60°C’de kızıl ötesi ışıktaki kürlenebilir. Yapıştırıcı özellikleri Çizelge 4.1’de değerler açıkça verilmiştir.

Çizelge 4.1 Teroson PU 9225 (Poliüretan polimer) özellikleri (<http://tds.henkel.com>)

Sabitlenme (fixture) zamanı (sn) (ISO4587:2003)	1800
Kürleme zamanı (saat) 22 ° C	5
Çekme modülü (MPa)	576.9 ± 16.1
Maks. çekme mukavemeti (MPa)	13.3 ± 0.3
Viskozite (Pa.s)	A bileşeni 800 B bileşeni 60

Loctite EA 9492 yüksek sıcaklığa dayanıklı, iki bileşenli bir epoksi yapıştırıcıdır (www.loctiteyapistirici.com). Tamamen kürleşmiş olan bu yapıştırıcı bağları, üstün termal şok direnci, mekanik, elektriksel ve darbeye dayanıklı özellikler içermektedir. Hacimce karışım oranı 2:1'dir. Viskozitesi 30000mPa.s'dir. Yapıştırıcı özellikleri Çizelge 4.2'de değerler açıkça verilmiştir.

Çizelge 4.2 Loctite EA 9492 (İki bileşenli epoksi) mekanik özellikleri (<http://tds.henkel.com>)

Young Modülü [GPa]	6.7
Poisson oranı	0.3
Yoğunluk [g/cm ³]	1.51
Çekme Mukavemeti [MPa]	31.0

4.1.4 Deney Numunelerinin Yüzey Hazırlık İşlemleri

Yüzey hazırlık işlemleri sırasında, malzeme yüzeyinde aşındırma işlemi yapılmalı ve daha sonra işlem yapılan bölgenin dikkatli bir şekilde temizlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada yüzey hazırlama işlemleri yapılırken deney numuneleri öncelikle yapıştırma alanı kısmı kumpas ile ölçülüp bant ile işaretlenmiştir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 Numunelerin ölçülüp işaretlenme aşaması

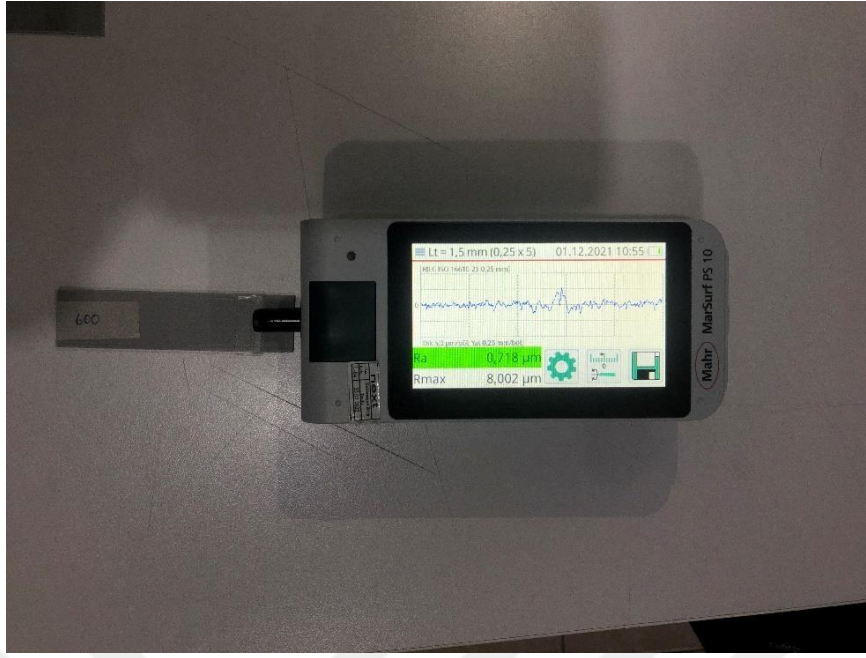
İşaretlenen parçalar mekanik aşındırma yani zımparalama işlemi yapılmıştır. İşlem yapılırken 320 SiC ve 600 SiC numaralı zımparalar ile önce boşluk kalmayacak şekilde enine zımparalama işlemi yapılmıştır. Daha sonrasında yüzey temizleme işlemi için zımparalama yapılan yüzeyler Loctite sf 7061 cleaner ile temizlenmiştir. Daha sonra yapıştırma işlemi yapılmıştır.

4.1.5 Zımparalama İşlemi

Zımparalama işlemi yapılmadan önce hesaplanan yüzeyler kumpas ile ölçülmüştür. Daha sonra 320 SiC ve 600 SiC numaralı zımparalar ile önce boşluk kalmayacak şekilde enine zımparalama işlemi yapılmıştır. Daha sonra aynı yüzey tekrardan boşluk kalmayacak şekilde boyuna zımparalanmıştır (Şekil 4.14). İki farklı değer ile zımparalama işlemi yapılan plakalar etiketlenip yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür (Şekil 4.15). Yüzey pürüzlülük ölçümünün daha sağlıklı olması açısından ölçümler üçer kez yapıp ortalama hesaplanmıştır. PLA numunede 320 SiC ile zımparalama yapılan işlemde yüzey pürüzlülüğü 1,414 μm , 600 SiC ile zımparalama yapılan işlemde yüzey pürüzlülüğü 0,736 μm çıkmıştır. ABS parçalarının yüzey pürüzlülükleri ise 320 SiC ile zımparalama yapılan işlemde yüzey pürüzlülüğü 1,126 μm , 600 SiC ile zımparalama yapılan işlemde yüzey pürüzlülüğü 0,404 μm dir.



Şekil 4.14 Zımparalanmış plakalar



Şekil 4.15 Plakaların yüzey pürüzlülük ölçümü

4.1.6 Deney Numunelerinin Yapıştırılması

Bu çalışmada plakaların yapıştırılması için öncelikle yüzey hazırlama işlemi yapılmıştır. Yapıştırılacak yüzeyler kumpas ile ölçülmüş, ardından bant yardımı ile işaretlenmiştir. Belirlenen bölgeler yapışmanın daha kuvvetli olabilmesi adına mekanik aşındırma yapılmıştır. Yüzeyler zımpara işlemine tabi tutulmuş daha sonra temizlemek için ise Loctite spreyle yüzey temizlenmiştir. Daha sonrasında bir zemin üzerinde yapıştırıcı bileşenler aparat ile birleştirme oranı kadar karıştırılmıştır. 0,3mm 0,18mm ve 0,1mm olarak üç ayrı yapıştırma kalınlığında birleştirmeler yapılmıştır. Karıştırılan yapıştırıcı bir spatula yardımı ile yapıştırılacak yüzeye uygulanmıştır, daha sonrasında bantlı kısım sökülüştür (Şekil 4.16). 0,3 kalınlığı için plakalar yapıştırıcı uygulanınca direkt üst üste bindirilip taşan kısımlar temizlenip, metal kağıt klipsi ile tutturulmuştur (Şekil 4.17). 0,18mm ve 0,1mm kalınlıkları için ise ince teller kullanılmıştır.



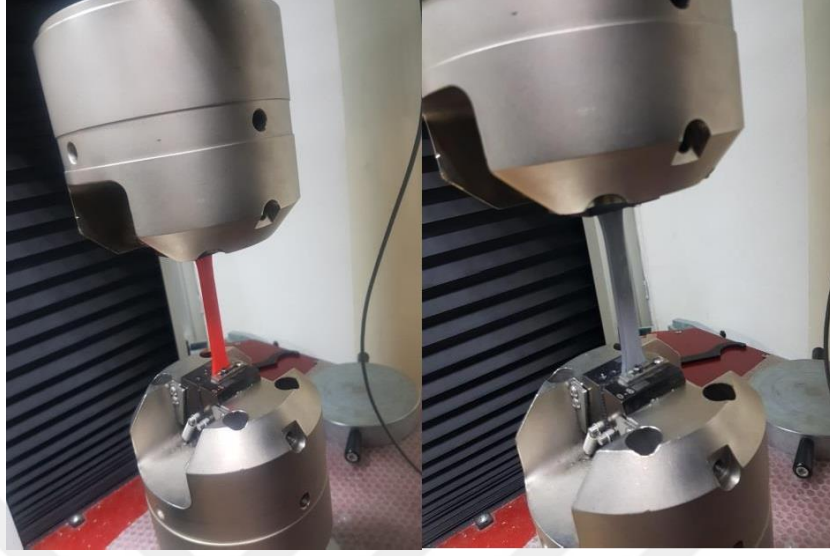
Şekil 4.16 Spatula yardımı ile yapıştırıcının sürülmesi



Şekil 4.17 Yapıştırma işlemi yapılmış bağlantılar

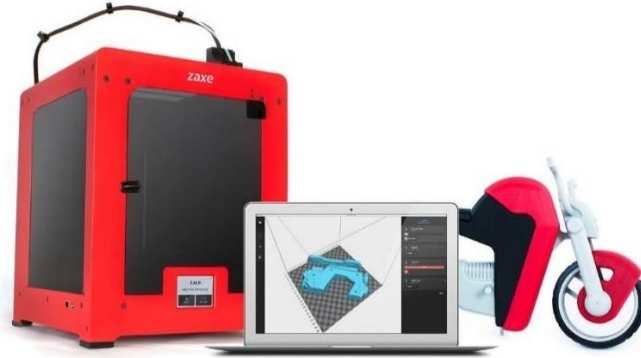
Deneyisel çalışmalar yürütülürken ilk önce çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çekme testleri için ASTM D638-10 standardına göre çekme test hızı 1mm/dk olarak belirlendi. Çekme testi

Besmak BTM 100 E marka 10kN ile yapıldı. Çekilen numunelerin görüntüleri Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18 Çekme testi görüntüleri

4.1.7 Deney Cihazları



Şekil 4.19 Zaxe x1 cihaz (URL-17)

Şekil 4.19’de gösterilen, Zaxe X1 üç boyutlu yazıcı, kutudan çıktığı gibi herhangi bir işlem gerektirmeden kullanıma hazır bir cihazdır (www.zaxe.com). İnternet ağ bağlantısı sayesinde

birden fazla cihaza baskı verebilme ve baskıların ne durumda olduğunu kontrol edebilme özelliklerine sahiptir. Cihazın internete bağlanma özelliği sayesinde internet üzerinden güncelleme yapmak da mümkündür. Kademeli bir nozzle içyapısına sahiptir. 50 mikrona kadar yüksek çözünürlüklü baskı alınabilir (<https://3dedi.com/>). 70° açılara kadar desteksiz baskı alabilmek mümkündür.



Şekil 4.20 3D3 Technology S1 cihaz (URL-18)

Şekil 4.20’de gösterilen, 3D3 Technology S1 üç boyutlu yazıcı, Türkçe ara yüzü ile kullanılabilir bir cihazdır (<https://3d3teknoloji.com/>). Baskı hacmi 250x210x210mm’dir. PLA, ABS, PC, WOOD, PETG, ASA, Metal Katkılı PLA, FLEX, YARI-FLEX filamentleri ile baskı alınabilir. Dokunmatik ekran özelliğine sahip bir cihazdır. Elektrik kesintisinden sonra baskı almaya devam edebilme özelliği bulunmaktadır. Filament sensörü sayesinde filament bittiğinde ya da herhangi bir sorun oluştuğu sırada baskı durarak malzemedan tasarruf sağlar. 50 mikron çözünürlük ve 1.75 mm filament çapına sahiptir.



Şekil 4.21 Besmak BMT 100E cihaz (URL-19)

Şekil 4.21’de gösterilen, Besmak BMT 100E çekme test cihazı yer tipi bir cihazdır. Elektromekanik motor tahrikli bilgisayar aracılığı ile yazılım kontrollüdür (<http://besmaklab.com>). Çeşitli çene ve aparatlar kullanarak birçok standarda uygun çekim yapabilmektedir. Standartları ISO 7500-1, ASTM E4, DIN 51221, AFNOR A03-501 olarak sıralayabiliriz. Çalışmaya uygun ortam sıcaklığı 10°C-30°C, nem <80% olarak belirtilmiştir. Minimum yük kontrol hızı 0,001kN/s’dir.



Şekil 4.22 Mahr MarSurf PS 10 cihazı (URL-22)

Şekil 4.22’de gösterilen, Mahr MarSurf PS 10 yüzey pürüzlülük cihazı laboratuvarında kullanılan masaüstü bir cihazdır. Yükseklik ayarları sistem içinde entegre olarak bulunmaktadırlar. Şarj etmeden 1200 üzerinde yüzey pürüzlülük ölçümü yapabilmektedir (megadanismanlik.com). Ölçüm sonuçlarını pdf olarak kayıt altına alabilmektedir. USB bağlantısı sayesinde PC’ye kolayca transfer işlemi sağlamaktadır. Otomatik kesme boyu seçme özelliği ile kullanıcı hatasına izin vermez.



Şekil 4.23 HITACHI SU5000 FE-SEM cihazı (URL-23)

Şekil 4.23’de gösterilen, taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), katı nesnelerin yüzeylerini çok ince ayrıntılara kadar görmemizi sağlayan bir alettir. HITACHI SU5000 FE-SEM cihazının teknik özelliklerinde, ikincil elektron detektörü: topolojik ve morfolojik bilgi, 3D görüntüde 5 segmentli backscattered, electron detektörü: atomik kompozisyon bilgisi ve Z kontrast, ultra değişken basınç detektörü: düşük basınçta, özellikle iletken olmayan numunelerin (polimer, seramik, vb.) görüntülenmesi, EDS detektörü: Oxford X-MaxN 80 model, 80mm² detektör alanına sahip EDS detektörü bulunmaktadır (aybu.edu.tr).

BÖLÜM 5

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

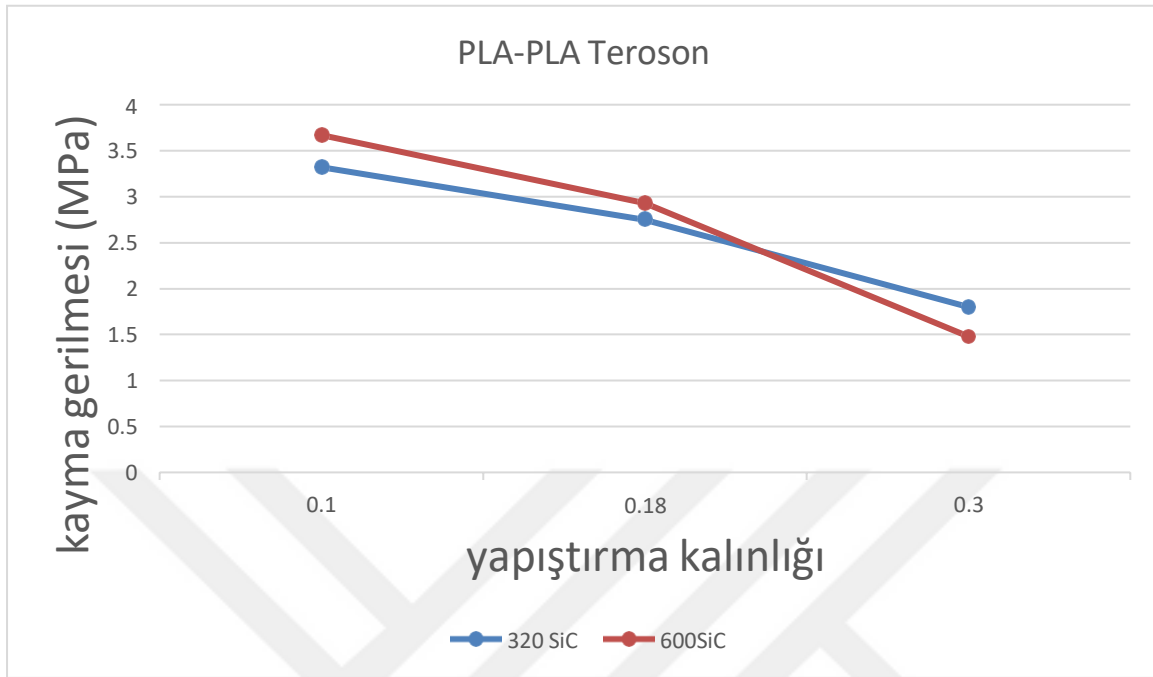
Bu bölümde PLA ve ABS numunelerini çekme testine tabi tutarak iç doluluk oranlarına göre mukavemeti incelenmiştir. Çekilen numunelerin üstlerine sırasıyla etiket basılmıştır. Ve her parçanın ortalama çekme dayanımları hesaplanmıştır. Deney numunelerinin doluluk oranına göre ortalama gerilme değeri Çizelge 5.1’ de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Deney numunelerinin doluluk oranına göre ortalama gerilme değeri

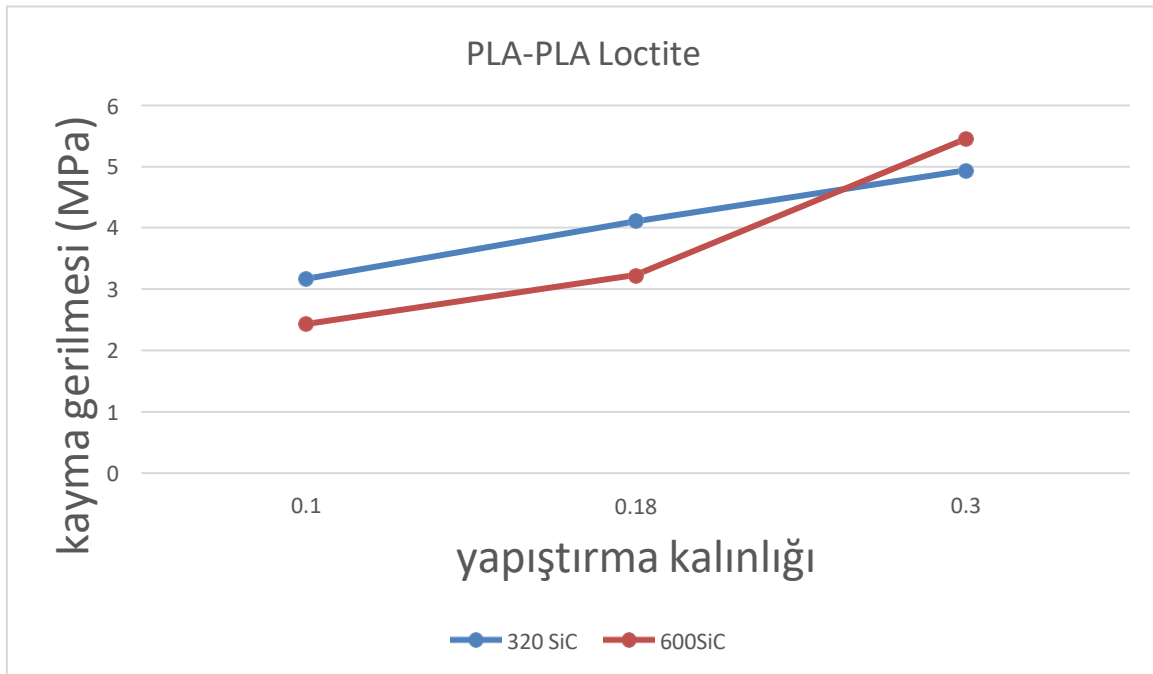
Doluluk oranı	Malzeme	
	PLA	ABS
	Ortalama Çekme Mukavemeti (MPa)	
%20	5,11	8,04
%40	5,65	9,49
%60	6,07	9,78
%80	6,10	11,63
%100	9,25	13,02

Ayrıca PLA-PLA PLA-ABS ve ABS-ABS olarak hazırlanmış yapıştırma bağlantılarının yüzey hazırlığı, yapıştırma kalınlığı, yapıştırıcı türü bakımından mukavemeti incelenmiştir. Yapıştırılan numune çiftleri çekme testine tabi tutulmuş ve kayma gerilmeleri hesaplanmıştır. Değerler Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4, Çizelge 5.5, Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7’de grafikler üzerinde gösterilmiştir. 320 SiC ile zımparalamada oluşan pürüzlülük değeri, 600 SiC ile zımparalamaya kıyasla daha fazladır. Çekme testi grafikleri Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5’de verilmiştir.

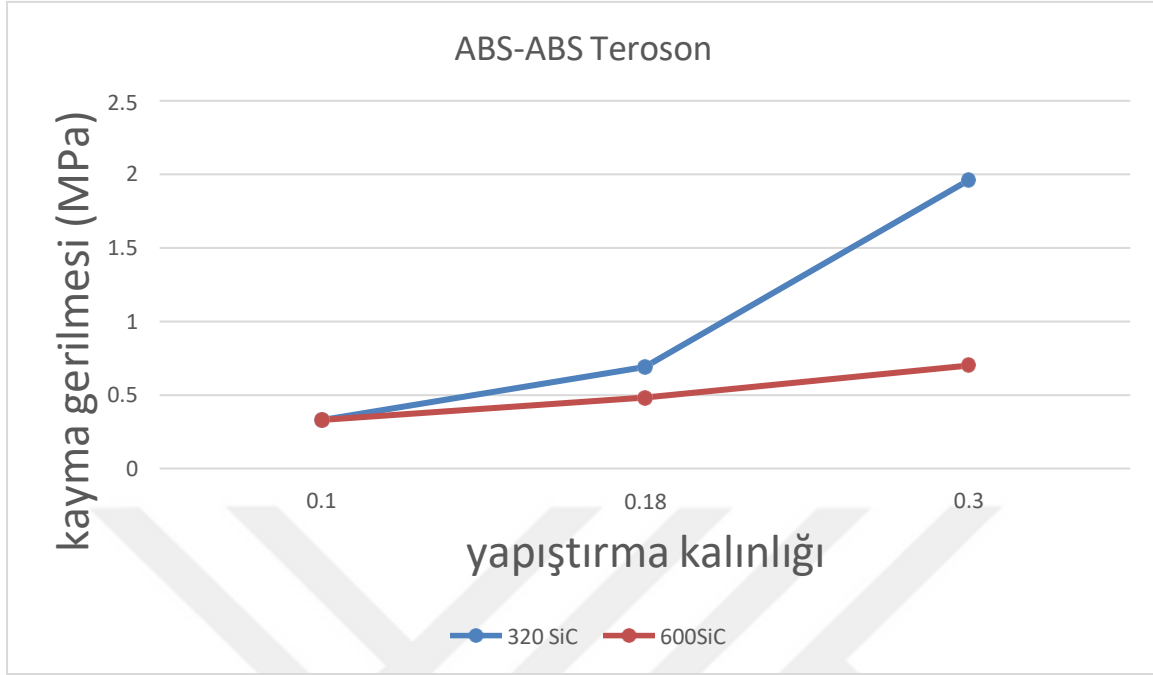
Çizelge 5.2 PLA-PLA Teroson ile bağlantı yapılmış çiftler



Çizelge 5.3 PLA-PLA Loctite ile bağlantı yapılmış çiftler



Çizelge 5.4 ABS-ABS Teroson ile bağlantı yapılmış çiftler



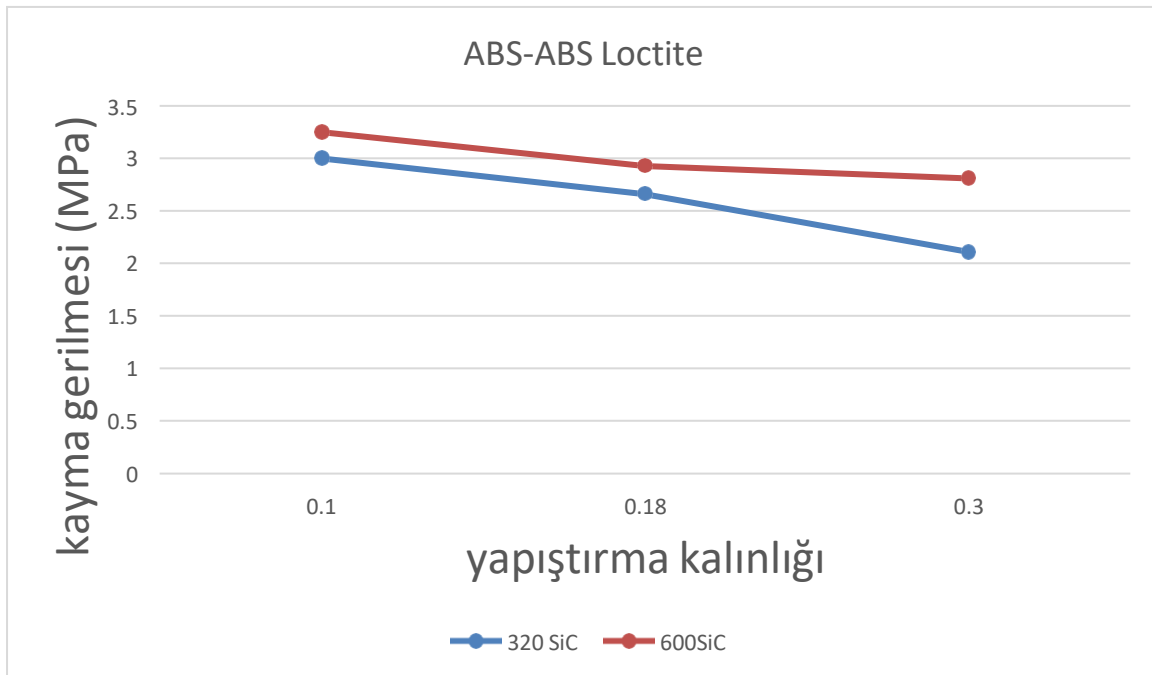
PLA-PLA malzeme çifti için Teroson PU 9225 ile 0.3 mm yapıştırma kalınlığında yapıştırılan numunelerde 320 SiC zımpara ile pürüzlendirilen bağlantıların dayanımı 600 SiC le yapılan bağlantılara kıyasla daha iyi çıkmıştır. Burada, yüzey pürüzlülüğünün artmasıyla yapıştırıcının yüzeye tutunma kabiliyetinin arttığı ve buna bağlı olarak da bağlantı mukavemetinin yükseldiği düşünülmektedir. 600 SiC zımparalama ile elde edilen yüzeyler 0.1 ve 0.18 mm yapıştırma kalınlıklarında 320 SiC e göre daha iyi mukavemet sonuçları vermiştir. Düşük yapıştırma kalınlıklarında, yapıştırılan yüzeyin pürüzlülük değerinin yüksek olması Teroson PU 9225' le yapıştırılan numunelerde bağlantı mukavemetini düşürmektedir (Çizelge 5.2). Bununla birlikte, Teroson PU 9225'li bağlantılarda yapıştırma kalınlığının artmasıyla bağlantı dayanımının düştüğü görülmektedir. Yapıştırıcı kalınlığındaki artışın bağlantı dayanımını azaltması, bindirme bağlantı ara yüzeyindeki yapıştırıcının içindeki çatlak veya gözenek oluşumundan kaynaklanabilir. Bununla birlikte, değişik türde yapıştırıcılarla gerçekleştirilen bağlantıların dayanımları için yapıştırıcı kalınlığının değişimleri de farklı (artma-azalma) olabilmektedir.

Düşük yapıştırma kalınlıklarında, yapıştırılan yüzeyin pürüzlülük değerinin yüksek olması Loctite EA 9492'le yapıştırılan numunelerde bağlantı mukavemetini arttırmaktadır. Buna rağmen 600 SiC zımpara ile yüzeyi hazırlanarak Loctite EA 9492'le yapıştırılan numunelerde bağlantı dayanımı, 0.3 mm yapıştırma kalınlığında 320 SiC'le yapılan bağlantılara kıyasla daha

yüksek bulunmuştur. Burada yüzey pürüzlülüğünün artmasıyla Loctite EA 9492 yapıştırıcının malzeme yüzeyine tutunma kabiliyetinin arttığı ve buna bağlı olarak da bağlantı mukavemetinin yükseldiği düşünülmektedir. Loctite EA 9492 ile yapılan bağlantılarda yapıştırma kalınlığının artmasıyla bağlantı dayanımının arttığı görülmektedir (Çizelge 5.3).

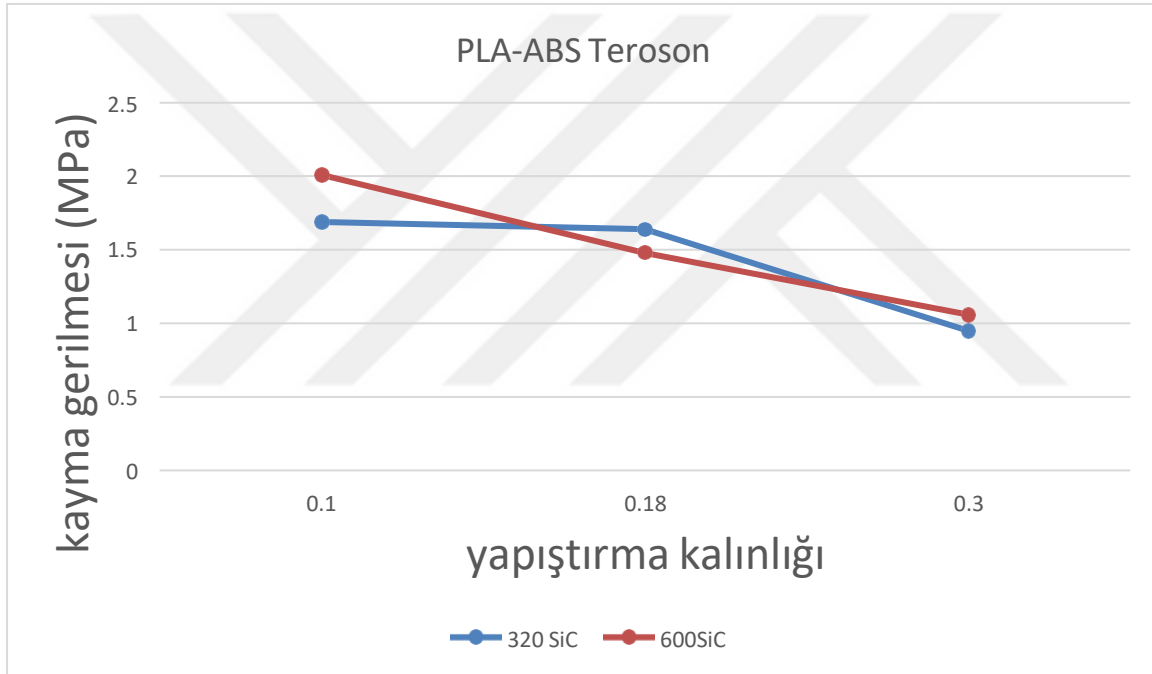
Malzemelerle yapıştırma bağlantıları gerçekleştirilirken 0,3, 0,18 ve 0,1 mm olarak üç ayrı yapıştırma kalınlığı belirlenmiştir. Loctite EA 9492 ile yapıştırılan PLA-PLA çiftlerinde yapıştırıcı kalınlığı arttıkça bağlantı dayanımının arttığı gözlemlenirken Teroson PU 9225 ile yapıştırılan PLA-PLA bağlantılarda ise bu durumun tam tersi görülmüştür. Aynı yapıştırma kalınlıklarında parça yüzey pürüzlülüğünün bağlantı dayanımına fazla bir etkisi olmamasına rağmen, yapıştırma kalınlıklarının değişmesiyle bağlantı mukavemetinde yüzey hazırlığının önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. ABS-ABS Teroson için 320 SiC zımparalama ile elde edilen yüzeyler tüm yapıştırma kalınlıklarında elde edilen bağlantılar 600 SiC e göre daha iyi mukavemet sonuçları vermiştir (Çizelge 5.4). Yapıştırılan yüzeyin pürüzlülük değerinin yüksek olması Teroson PU 9225’le yapıştırılan ABS-ABS numunelerde bağlantı mukavemetine olumlu etkide bulunmuştur. Bununla birlikte, Teroson PU 9225’li ABS-ABS bağlantılarda yapıştırma kalınlığının artmasıyla bağlantı dayanımının yükseldiği görülmektedir. En yüksek mukavemet 0.3 mm yapıştırma kalınlığında 1.96 MPa olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.5 ABS-ABS Loctite ile bağlantı yapılmış çiftler



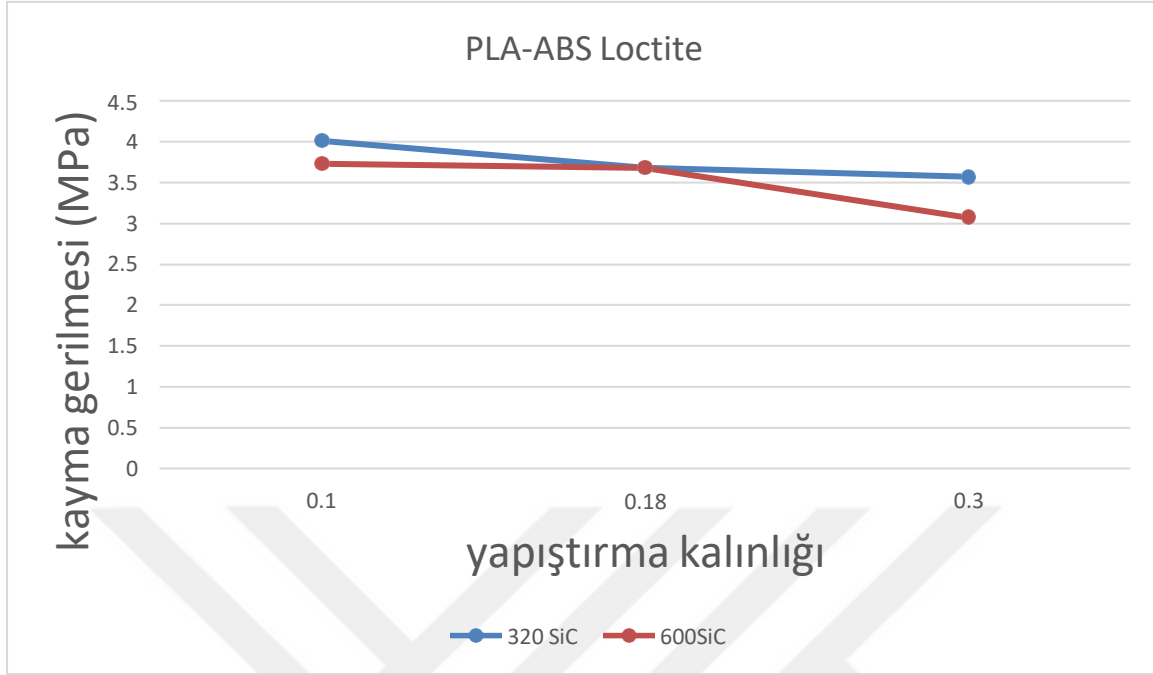
Yapıştırılan yüzeyin pürüzlülük değerinin düşük olması Loctite EA 9492’le yapıştırılan ABS-ABS numunelerde bağlantı mukavemetini arttırmaktadır (Çizelge 5.5). 600 SiC zımpara ile yüzeyi hazırlanarak Loctite EA 9492’le yapıştırılan numunelerde bağlantı dayanımı, tüm yapıştırma kalınlıklarında 320 SiC’le yapılan bağlantılara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Loctite EA 9492 ile yapılan bağlantılarda yapıştırma kalınlığının artmasıyla bağlantı dayanımının düştüğü görülmektedir. En yüksek mukavemet 0.1 mm yapıştırma kalınlığında 3.25 MPa olarak hesaplanmıştır. ABS-ABS Loctite en düşük mukavemet değeri, Teroson PU 9225’le elde edilenden daha yüksektir.

Çizelge 5.6 PLA-ABS Teroson ile bağlantı yapılmış çiftler



PLA-ABS malzeme çiftlerinin yapıştırılması işleminde en yüksek mukavemet 0.1 mm yapıştırma kalınlığında 2.01 MPa olarak hesaplanmıştır. Yapıştırma kalınlığı arttıkça PLA-ABS çiftlerinde Teroson PU 9225 yapıştırıcı ile yapılan bağlantıların mukavemeti düşmektedir (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.7 PLA-ABS Loctite ile bağlantı yapılmış çiftler

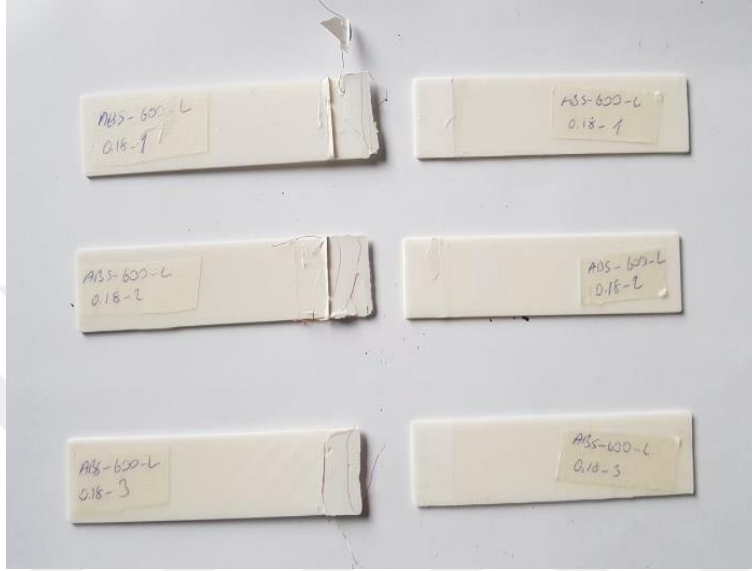


PLA-ABS çiftleri için Teroson ile yapılan yapıştırılmalarda yüzey pürüzlülüğü farklılığına rağmen 0.18 bağlantı kalınlığında birbirine yakın değer, Loctite ile yapılan bağlantılarda ise aynı mukavemet değeri bulunmuştur. Loctite ile elde edilen en düşük mukavemet değeri Teroson ile elde edilen en yüksek mukavemetten bile daha yüksektir.



Şekil 5.1 ABS-ABS Teroson PU 9225 ile bağlantı yapılmış çiftler (320 SiC)

ABS-ABS Teroson PU 9225 ile bağlantı yapılmış çiftlerin Şekil 5.1’de kırılma yüzeyleri verilmiştir. 320 SiC zımparayla yüzey hazırlığı yapılmış ABS-ABS Teroson PU 9225 çiftlerinin tüm yapıştırma kalınlığındaki bağlantılarında adhezyon hasar tipi gözükmemektedir.



Şekil 5.2 ABS-ABS Loctite EA 9492 ile bağlantı yapılmış çiftler (600 SiC)

320 SiC ve 600 SiC zımparayla yüzey hazırlığı yapılmış ABS-ABS malzeme çiftinin Loctite EA 9492 ile tüm yapıştırma kalınlığındaki bağlantılarında tümünde adhezyon hasar tipi gözükmemektedir. ABS-ABS Loctite EA 9492 ile bağlantı yapılmış çiftlerin Şekil 5.2’de kırılma yüzeyleri verilmiştir.



Şekil 5.3 PLA-ABS Teroson PU 9225 ile bağlantı yapılmış çiftler (320 SiC)

PLA-ABS Teroson PU 9225 ile bağlantı yapılmış çiftlerin Şekil 5.3’de kırılma yüzeyleri verilmiştir. 320 SiC ve 600 SiC zımparayla yüzey hazırlığı yapılmış PLA-ABS Teroson PU 9225 ile tüm yapıştırma kalınlığındaki bağlantıların tümünde adhezyon hasar tipi gözükmemektedir.



Şekil 5.4 PLA-ABS 320 SiC zımpara ve Loctite EA 9492 ile bağlantı yapılmış çiftler

320 SiC zımparayla yüzey hazırlığı yapılmış 0.1 mm yapıştırma kalınlığındaki PLA-ABS Loctite EA 9492 bağlantılarında yapıştırılan malzemede tabaka hasar tipi (katman kusuru) olmuştur. 0.18 mm ve 0.3 mm kalınlıkları için yapıştırılan malzemede tabaka hasar tipi (katman kusuru) ve adhezyon hasar tipinin her ikisi de görülmüştür. PLA-ABS 320 SiC zımpara ve Loctite EA 9492 ile bağlantı yapılmış çiftlerin Şekil 5.4’de kırılma yüzeyleri verilmiştir.



Şekil 5.5 PLA-ABS 600 SiC zımpara ve Loctite ile bağlantı yapılmış çiftler

600 SiC zımparayla yüzey hazırlığı yapılmış tüm yapıştırma kalınlıklarında PLA-ABS Loctite EA 9492 bağlantılarında yapıştırılan malzemede tabaka hasar tipi (katman kusuru) olmuştur. PLA-ABS 6000 SiC zımpara ve Loctite EA 9492 ile bağlantı yapılmış çiftlerin Şekil 5.5’de kırılma yüzeyleri verilmiştir.



Şekil 5.6 PLA-PLA 600 SiC zımpara ve Loctite ile bağlantı yapılmış çiftler

PLA-PLA 600 SiC zımpara ve Loctite EA 9492 ile bağlantı yapılmış çiftlerin kırılma yüzeyleri Şekil 5.6’da verilmiştir. PLA-PLA malzeme çifti için 320 SiC ve 600 SiC zımparayla yüzey hazırlığı yapılmış tüm yapıştırma kalınlığındaki Loctite EA 9492 bağlantılarında yapıştırılan malzemede tabaka hasar tipi (katman kusuru) olmuştur.



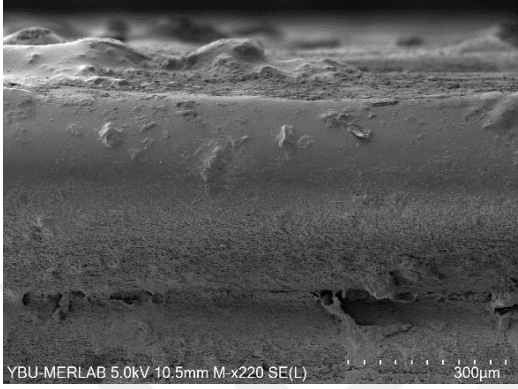
Şekil 5.7 PLA-PLA 600 SiC zımpara ve Teroson PU 9225 ile bağlantı yapılmış çiftler

PLA-PLA 600 SiC zımpara ve Teroson PU 9225 ile bağlantı yapılmış çiftlerin kırılma yüzeyleri Şekil 5.7’de verilmiştir. 600 SiC zımparayla yüzey hazırlığı yapılmış Teroson PU 9225 ile 0.1 mm yapıştırma kalınlığındaki bağlantıların tümünde yapıştırılan malzemede tabaka hasar tipi (katman kusuru) gözükmemektedir. 320 SiC bağlantılarında ise yapıştırılan malzemede tabaka hasar tipi (katman kusuru) ve adhezyon hasar tipi görülmüştür. 0.1 mm yapıştırma kalınlığında, yapışkan bağ kuvvetlidir. Bu nedenle hasar, yapıştırılan yüzeyde meydana gelmiştir.

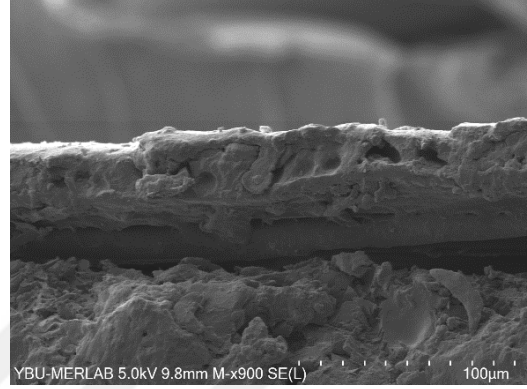
PLA-PLA çifti için 320 SiC ve 600 SiC zımparayla yüzey hazırlığı yapılmış Teroson PU 9225 ile 0.18 ve 0.3 yapıştırma kalınlığındaki bağlantılarda adhezyon tipi hasar bulunduğu gözükmemektedir.

PLA ve ABS yapıştırma bağlantılarının SEM görüntüleri taramalı elektron mikroskobu ile alınmıştır. SEM görüntüleri Şekil 5.8’de Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’de verilmiştir. SEM görüntüleri, kırılma yüzeyleri ve mukavemet sonuçları ile birlikte değerlendirilmiştir. SEM görüntüleri alınan numuneler, bağlantı mukavemet değerleri dikkate alınarak seçilmiştir. En düşük değerdeki mukavemetlere sahip Teroson PU 9225 bağlantılar ve en yüksek mukavemet değerlerine sahip Loctite EA 9492 bağlantılardan SEM alınmıştır. Örneğin; PLA-600-T-03-03 olarak numaralandırılmış numunede yapıştırıcının parçaya tutunma kabiliyeti en az, PLA-600-L-03-03 numaralandırılmış numunede ise en yüksek durumdadır. Teroson PU 9225 ile yapıştırılan yüzeylerde tam istenilen bir yapışma oluşmadığı, Loctite EA 9492 yapıştırıcının ise

kuvvetli bağ oluşturduğu görülmektedir. PLA-PLA ve ABS-ABS bağlantılarında Teroson PU 9225'lu SEM görüntülerinde yapıştırıcının, yapıştırılan tabakadan kalktığı yani tam bir kenetlenme yapmadığı görülmektedir. Buna karşın PLA-PLA ve ABS-ABS bağlantılarında Loctite EA 9492 yapıştırıcısının yapıştırılan tabaka yüzeyinde kaldığı ve yüzey hazırlığının yapışmaya uygun olduğu anlaşılmaktadır.

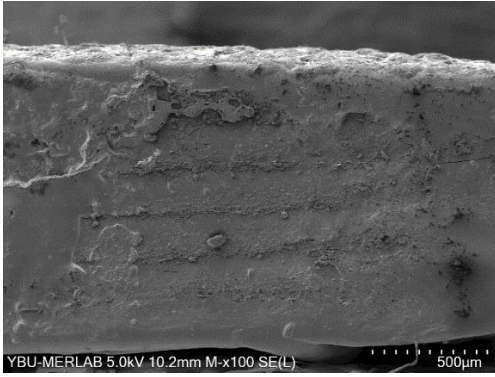


PLA-PLA-600-T-03-03

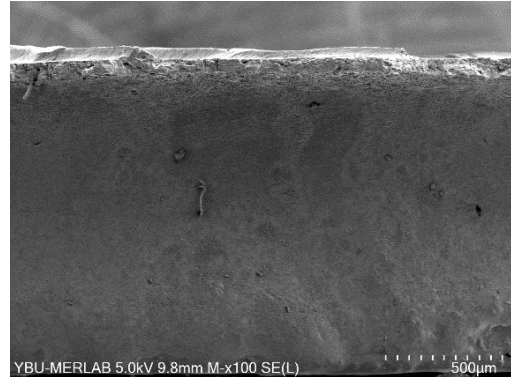


PLA-PLA-600-L-03-03

Şekil 5.8 PLA-PLA yapıştırma bağlantılarının kopma yüzeyinden alınan SEM görüntüleri

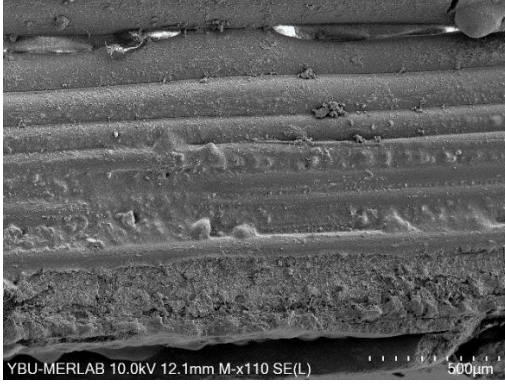


ABS-ABS-320-T-01-02

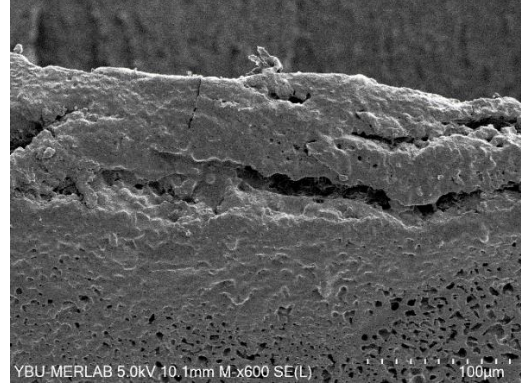


ABS-ABS-600-L-01-02

Şekil 5.9 ABS-ABS yapıştırma bağlantılarının kopma yüzeyinden alınan SEM görüntüleri



PLA-ABS -320-T-03-02



PLA-ABS-320-L-01-02

Şekil 5.10 PLA-ABS yapıştırma bağlantılarının kopma yüzeyinden alınan SEM görüntüleri

PLA-ABS bağlantılarında ise SEM görüntülerinden de anlaşılabileceği üzere, Teroson PU 9225'li bağlantılarda yapıştırıcının tabaka yüzeyine iyi yapışmadığı, Loctite EA 9492'de ise yapıştırıcının yüzeyde yayılımının daha iyi olduğu gözlemlenmektedir.

5.1 DOLULUK ORANINA GÖRE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

%20, %40, %60, %80 ve %100 olarak beş ayrı doluluk oranında üçer adet basılmış olan PLA ve ABS çekme numuneleri test sonuçlarına göre PLA da en yüksek çekme mukavemeti 10,28 MPa ile %100 doluluktaki 1 numaralı çekme numunesi olmuştur. ABS numunesinde en yüksek çekme mukavemeti ise 13,57 MPa ile %100 doluluktaki 3 numaralı numune olmuştur. Ortalama değerlere bakacak olursak üç numunenin ortalama değeri ile en yüksek çekme mukavemeti PLA için %100 dolulukta 9,25 MPa, ABS numunesi için ise %100 dolulukta 13,02 MPa olmuştur. En düşük çekme mukavemetine sahip PLA numunesi, 5,03 MPa ile %20 dolulukta 2 numaralı numune olmuştur. ABS numunesinde ise en düşük çekme mukavemet değeri 7,81 MPa ile %20 dolulukta 2 numaralı numune olmuştur. Ortalama değerlere bakacak olursak üç numunenin ortalama değeri en düşük çekme mukavemeti PLA için %20 dolulukta 5,11 MPa, ABS için ise %20 dolulukta 8,04 MPa olmuştur. Genel bir değerlendirme yapmak gerekirse en düşük ortalama çekme mukavemeti %20 dolulukta 8,04 MPa ile PLA numunesi olurken en yüksek ortalama çekme mukavemeti %100 dolulukta 13,02 MPa ile ABS numunesi olmuştur. Sonuç olarak; doluluk oranına göre mukavemet karşılaştırması yapıldığı zaman %100 dolu yani tam dolu numunelerin %20 dolu numunelere göre daha yüksek mukavemete sahip olduğu

görülmektedir. Numunenin iç doluluk oranı arttıkça çekme mukavemeti değeri artmaktadır. Ayrıca ABS malzemeden yapılmış numunelerin PLA malzemeden yapılmış numunelere kıyasla daha yüksek mukavemete sahip bir malzeme olduğu anlaşılmaktadır.

5.2 YÜZEY HAZIRLIĞINA GÖRE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

320 SiC ve 600 SiC numaralı zımparalar ile boşluk kalmayacak şekilde enine ve boyuna zımparalama işlemi yapılan ABS ve PLA numuneler yüzey temizleme işlemleri yapıldıktan sonra yapıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Zımpara yapılan yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerleri ölçüldüğü zaman 320 SiC ile zımparalama yapılan işlemde PLA yüzey pürüzlülüğü 1,414 μm ve ABS yüzey pürüzlülüğü 1,126 μm çıkmıştır. 600 SiC ile zımparalama yapılan işlemde ise ölçülen yüzey pürüzlülüğü PLA'da 0,736 μm ve ABS 'de 0,404 μm çıkmıştır. Elde ettiğimiz bu verilere göre 320 SiC ile zımparalama yapılan işlemde 600 SiC ile zımparalama yapılan işleme göre daha fazla yüzey pürüzlülüğü oluşturmaktadır. Deney sonuçlarının incelenmesi sonucunda, 320 SiC ile zımparalamada oluşan kayma gerilmesi değeri, 600 SiC ile zımparalamaya kıyasla daha fazladır. Farklı yüzey hazırlama işleminin bağlantının yapışma dayanımını değiştirdiği anlaşılmıştır.

5.3 YAPIŞTIRICI ÇEŞİDİNE GÖRE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışma kapsamında endüstriyel yapıştırıcı çeşitlerinden olan Teroson PU 9225 SF, iki bileşenli yapıştırıcı hızlı kürleşen, poliüretan yapıştırıcı çeşidi ile Loctite EA 9492 yüksek sıcaklığa dayanıklı, iki bileşenli bir epoksi yapıştırıcı kullanılmıştır. İki tür yapıştırıcı kullanılan bu çalışmada farklı çeşit yüzey hazırlıkları ve yapıştırma kalınlıkları ile PLA-PLA, PLA-ABS ve ABS-ABS deney çiftlerinden mukavemet verileri elde edilmiştir. Bu verilere göre Loctite EA 9492 yapıştırıcısının PLA ve ABS malzemelerinin yapıştırılmasında mukavemetinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

5.4 YAPIŞTIRMA KALINLIĞINA GÖRE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

PLA ve ABS plaka çiftleri yapıştırma bağlantıları gerçekleştirilirken 0,3, 0,18 ve 0,1 olarak üç ayrı yapıştırma kalınlığı belirlenmiştir. Yapıştırma kalınlığı değişiminin bağlantı mukavemetini önemli oranda etkilediği alınan sonuçlardan anlaşılmaktadır. Malzeme çiftine göre bu etki artmaktadır. PLA- PLA bağlantılarında Teroson PU 9225 yapıştırma çiftleri ile oluşturulan

yapıştırma bağlantılarının kalınlığı arttıkça mukavemet azalırken, ABS-ABS bağlantılarında kalınlık arttıkça mukavemet artmıştır. PLA- PLA bağlantılarında Loctite EA 9492 ile yapıştırma bağlantılarının kalınlığı arttıkça mukavemet artarken, ABS-ABS bağlantılarında azalmaktadır. PLA-ABS bağlantılarında ise Teroson PU 9225 ve Loctite EA 9492 kullanılan yapıştırma çiftleri ile oluşturulan bağlantının kalınlığının artmasıyla bağlantı mukavemeti azalma eğilimi göstermiştir.



BÖLÜM 6

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada; 3B baskı tekniğiyle üretilen PLA ve ABS malzemelerin yapıştırılmasında işlem parametrelerinin (yapıştırıcı tipi, yapıştırma kalınlığı, yüzey işlemleri gibi) değişiminin bağlantı mukavemetine etkisi araştırılmıştır. Eklemeli imalat yöntemi ile basılmış olan PLA (polilaktik asit) ve ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) parçaların iç dolgu oranlarına bağlı mukavemetleri ve yapıştırma bağlantı dayanımları incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Parça doluluk oranının artmasıyla parça mukavemetinin arttığı ortaya çıkmıştır.
- Çekme numunelerinin deney sonuçlarında ABS numunesinin PLA numunesine nazaran daha yüksek mukavemete sahip bir malzeme olduğu anlaşılmıştır.
- Yüzey hazırlama parametresi olan zımparalama işleminin, yapıştırıcı türüne göre bağlantının yapışma mukavemetini oldukça etkilediği görülmüştür.
- PLA- PLA bağlantılarında Teroson PU 9225 yapıştırma çiftleri ile oluşturulan bağlantının kalınlığı arttıkça mukavemetinin azaldığı, Loctite EA 9492 ile olan bağlantılarda arttığı,
- ABS-ABS bağlantılarında Teroson PU 9225 yapıştırma çiftleri ile oluşturulan bağlantının kalınlığı arttıkça mukavemetinin arttığı, Loctite EA 9492 ile olan bağlantılarda azaldığı,
- PLA-ABS bağlantılarında ise Teroson PU 9225 ve Loctite EA 9492 kullanılan yapıştırma çiftleri ile oluşturulan bağlantının kalınlığının artmasıyla bağlantı mukavemetinin azaldığı görülmüştür.
- PLA ve ABS malzemelerin yapıştırma bağlantılarında Loctite EA 9492 yapıştırıcının Teroson PU 9225 yapıştırıcıya göre daha iyi bağ oluşturduğu mukavemet değerlerinden anlaşılmaktadır. Sonuç olarak; eklemeli imalat sürekli gelişen bir teknolojidir. 3d yazıcı teknolojisinde kullanılan malzeme grupları henüz sınırlıdır. Bu malzemelerden olan ve sıklıkla kullanılan PLA ve ABS plastik ürünlerin üretilmesi ve birleştirilmesi üzerine çalışmalar devam etmektedir. Birbirinden farklı malzemelerin birleştirilmesi dikkat isteyen bir işlemdir. Ergime sıcaklıklarının ve mekanik özelliklerinin farklılığı oluşturulan bağlantıların mukavemetlerini ve çalışma şartlarındaki performanslarını etkiler. Bu çalışmada eklemeli imalat yöntemiyle

Çalışma şartlarındaki performanslarını etkiler. Bu çalışmada eklemeli imalat yöntemiyle üretilen PLA ve ABS malzemelerin yapıştırıcı ile birleştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Yapıştırma işlemi, farklı türde malzemelerin birleştirilmesinde tercih edilen bir yöntemdir. Burada dikkat edilmesi gereken ilk parametre yüzey n hazırlığıdır. PLA ve ABS malzemelerin yapıştırma bağlantısı yapılmadan önce yüzey hazırlığı yapılmalıdır. Mekanik yüzey ön işlemi olarak zımparalama tercih edilebilir. Çalışmada ulaşılan sonuçlar, bu çalışmada 320 SiC zımparalamanın yapıştırma işlemi için daha uygun olduğunu göstermiştir. PLA ve ABS malzemelerin yapıştırmasında yapıştırma kalınlığının önemli olduğu ve doğru yapıştırıcı seçiminin mukavemeti olumlu etkileyeceği ortaya çıkmıştır.

Eklemeli imalatla üretilen parçaların birleştirilmesi konusunda yapılan çalışmalar kısıtlıdır. Gelecekte, farklı malzeme ve yapıştırma parametreleri (farklı yapıştırıcılar, yapıştırma kalınlığı ve yüzey işlemleri uygulamaları) ile çalışılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Adams, R. D, Coppendale J, Mallick V and Al-Hamdan H**, (1992), *Int. J. Adhes. Adhes*, Cilt 12, Sayı 3, Sayfa 129-214
- Apak K**, (2019), PLA Malzemesinden Eklemeli İmalat Yöntemiyle Üretilen Ürünlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta
- Arenas J. M, Alia C, Blaya F, Sanzet A**, (2012), *International Journal of Adhesion & Adhesives*
- Ashcroft I. A, and Shaw S. J**, (2002), Mode I Fracture of Epoxy Bonded Composite Joints 2. Fatigue Loading, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Cilt 22, Sayı 2 , Sayfa 151-167
- Aydın M, Yıldırım M, Çantı E**, (2019), Farklı Yazdırma Parametrelerinde PLA Filamentin İşlem Performansının İncelenmesi, *Uluslararası 3B Yazıcı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Dergisi*, Cilt 3, Sayı 2, 102 - 115
- Aydın S**, (2019) Karbon Nanopartiküllerin Epoksi Yapıştırıcılarda Etkilerinin İncelenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 34, Sayı 3, 143 - 154
- Andó M, Birosz M, Jeganmohan S**, (2021), Measurement Surface bonding of Additive Manufactured Parts From Multi-Colored PLA Materials, Cilt 169, 108583
- ASTM International, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics**
- Bacak S, Varol Özkavak H, Tatlı M**, (2021), FDM Yöntemi ile Üretilen PLA Numunelerin Çekme Özelliklerine İşlem Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, Cilt 9, Sayı 1, 209 - 216
- Bacak S, Varol Özkavak H, Sofu M. M**, (2021) FDM Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojisinde Farklı İçyapı Geometrilere Üretilmiş Numunelerin Çekme Dayanımlarının Karşılaştırılması, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(2): 1444-1454
- Başcı Ü. G, Yamanoglu R**, (2021), Yeni Nesil Üretim Teknolojisi: FDM ile Eklemeli İmalat, *Uluslararası 3B Yazıcı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Dergisi*, Cilt 5, Sayı 2, 339 – 352

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Bürenhaus F, Moritzer E, Hirsch A**, (2019), Adhesive bonding of FDM- manufactured parts made of ULTEM 9085 considering surface treatment, *Surface Structure and Joint Design*, Weld World 63:1819–1832
- Chavooshiana M, Kamalia R, Tutunchi A, Kianvash A**, (2017), Effect of Silicon Carbide Nanoparticles on The Adhesion Strength of Steel–Epoxy Composite Joints Bonded With Acrylic Adhesives, *Journal of Adhesion Science and Technology*, Cilt 31,Sayı 4
- Çelik K, Özkan A**, (2017), Eklemeli İmalat Yöntemleri ile Üretim ve Onarım Uygulamaları, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Cilt 5, Sayı 1, 107 - 121
- Da Silva L. F. M, Öchsner A, Adams R. D**, (2011), Handbook of Adhesion Technology, Springer, 978-3-319-55410-5
- Douba A, Genedy M, Matteo E. N, Kandil U. F, Stormont J, Reda T. M. M**, (2017) The Significance of Nanoparticles on Bond Strength of Polymer Concrete to Steel, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, Sayfa 77-85
- Evlen H, Özdemir M. A, Çalışkan A**, (2019), Doluluk oranlarının PLA ve PET malzemelerin mekanik özellikleri üzerine etkileri, *Politeknik Dergisi*, 22(4): 1031-1037
- Frascio M, Mandolino C, Moroni F, Jilich M, Lagazzo A, Pizzorni M, Bergonzi L, Morano C, Alfano M, Avalue M**, (2021), Appraisal of Surface Preparation in Adhesive Bonding of Additive Manufactured Substrates, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, Cilt 106 , 102802
- Frascio M, Moroni F, Marques E, Carbas R, Reis M, Monti M, Avalue M, Da Silva L. F. M**, (2021), Feasibility Study on Hybrid Weld-Bonded Joints Using Additive, Manufacturing and Conductive Thermoplastic Filament, *Journal of Advanced Joining Processes*, Cilt 3 , 100046
- Goudarzia R. H, Khedmati M. R**, (2015), An Experimental Investigation of Static Load Capacity of AL-GFRP Adhesively Bonded Single Lap And Double Butt Lap Joints, *Latin American Journal of Solids and Structures*, 12(8):1583-1594
- Günay M, Gündüz S, Yılmaz H, Yaşar N, Kaçar R**, (2020), PLA Esaslı Numunelerde Çekme Dayanımı İçin 3D Baskı İşlem Parametrelerinin Optimizasyonu, *Politeknik Dergisi*, 23(1) : 73-79

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kariz M, Kuzman M. K, Sernek M,** (2017), Adhesive Bonding of 3D-Printed ABS Parts and Wood, *Journal of Adhesion Science and Technology*, Cilt 31, Sayı 15
- Kaner S,** (2017), Plastik Malzemelerin Yapıştırılmasında Yüzey İşlemleri ve Yaşlandırma Etkisinin İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, 128
- Karaman E, Çolak O,** (2020), Eriyik Biriktirme Yönteminde Üretim Parametrelerinin Mekanik Özelliklere ve Parçaların İç Yapısına Etkisinin İncelenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Cilt 8, Sayı 1, 617 - 630
- Kaygusuz B, Özerinç S,** (2018), 3 Boyutlu Yazıcı ile Üretilen PLA Bazlı Yapıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, Cilt 16, Sayı 1, 1 - 6
- Karabıyık Ö, Apak K,** (2021), Eklemeli imalat yöntemiyle PLA malzemeden üretilen ürünlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*,13(2), 62-68.
- Krenk S, Jönsson J and Hansen L. P,** (1996), Fatigue Analysis and Testing of Adhesive Joints, *Engineering Fracture Mechanics*
- Kinloch A. J,** (1987), Adhesion and Adhesives Science and Technology, *Chapman and Hall, London*, 978-0-412-27440-4
- Kinloch A. J,** (1997), Adhesives in Engineering, *Proc. Instn. Mech. Engrs*, Cilt 211, Sayı 5
- Lang T. P, Mallick P. K,** (1998), Effect Of Spew Geometry on Stresses in Single Lap Adhesive Joints, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, Cilt 18, Sayı 3, Sayfa167-177
- Lee S. J and Lee D. G,** (1996), Development of Fatigue Failure Modal Fort Headhesively Bonded Tubular Single Lap Joint Under Dynamic Torsional Loading, *Journal of Adhesion*, Cilt 40, Sayı 1
- Mazumdar S. K and Mallick P. K,** (1998), Static and Fatigue Behaviour of Adhesive Joints in SMC-SMC Composites, *Polymer Composites*, Sayfa 139-146
- Manriquez-Frayre J. A, Bourell D. L,** (1990), Selective Laser Sintering of Binary Metallic Powder. *Solid Freeform Fabrication Symposium*, 99–106, Austin, USA

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Nassar S. A, Wu A. Z, Moustafa K, Tzelepis D,** (2015) Effect of Adhesive Nanoparticle Enrichment on Static Load Transfer Capacity and Failure Mode of Bonded Steel–Magnesium Single Lap Joints, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 137(5): 051024 (6 sayfa)
- Özer G,** (2020), Eklemeli Üretim Teknolojileri Üzerine Bir Derleme, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 9, Sayı 1, 606 - 621
- Öz Ö, Aydın M, Kara A. S, Sancak M. S,** (2018), Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Doluluk Oranının Hasar Yüküne Olan Etkisinin Belirlenmesi, *Uluslararası 3B Yazıcı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Dergisi*, Cilt 2, Sayı 1, 32 - 39
- Özsoy K, Duman B,** (2017), Eklemeli İmalat (3 Boyutlu Baskı) Teknolojilerinin Eğitimde Kullanılabilirliği, *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, Cilt 1, Sayı 1, 36 - 48
- Özsolak O,** (2019), Eklemeli İmalat Yöntemleri ve Kullanılan Malzemeler, *International Journal of Innovative Engineering Applications*, Cilt 3, Sayı 1, 9 - 14
- Özel, A., Kadioğlu, F., Sen S. and Sadeler R.,** (2003), Finite Element Analysis of Adhesive Joints in Four Point Bending Load, *Journal of Adhesion*, Sayfalar 683-697
- Ramani K and Zhao W,** (1997), The Evaluation of Residual Stresses in Thermoplastic Bonding to Metal, *International Journal of Adhesion and Adhesives, Proceedings of ICCM–11*, Gold Coast, Australia, 14th-18th
- Sawa T and Uchida H,** (1997), A Two Dimensional Stress Analysis and Strength Evaluation of Hand Adhesive Butt Joints Subjected to Tensile Loads, *J. Of Adhesion Science and Technology*, vol. 59, no. 563, p. 1763-1770
- Sezer H. K, Eren O, Börklü H. R,** (2017), Ergiyik Biriktirme Yöntemi ile Karbon Fiber Takviyeli Plastik Kompozitlerin Eklemeli İmalatı: İşlem Parametrelerinin Çekme Özelliklerine Etkisi, *2nd International Symposium On 3d Printing Technologies*, İstanbul, Türkiye, 3 - 04 Nisan
- Sezer H. K, Eren O, Börklü H. R,** (2017), Ergiyik Biriktirme Yöntemi ile Karbon Fiber Takviyeli Kompozitlerin Eklemeli İmalatı: İşlem Parametrelerinin Çekme Özelliklerine Etkisi, *2nd Inter. Sym. on 3D Printing*, İstanbul, Türkiye, 3 - 4 Nisan

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Sezer H. K, Eren O, Börklü H. R, Özdemir V,** (2019), Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kompozitlerin Ergiyik Biriktirme Yöntemi ile Eklemeli İmalatı: Fiber Oranı ve Yazdırma Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisi, *Gazi Üniversitesi MühendislikMimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 34, Sayı 2, 663 - 674
- Sürmen H. K,** (2019), Eklemeli İmalat (3B Baskı): Teknolojiler ve Uygulamalar, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 24, Sayı 2, 373 - 392
- Suzhu Y, Tong M. N, Critchlow G,** (2010), Use Ofcarbon Nanotubes Reinforced Epoxy as Adhesives to Join Aluminum Plates, *Materials and Design*, 0261-3069
- Şekercioğlu T, Kaner S,** (2013) Plastiklerin Yapıştırılmasında Yüzey Hazırlama Yöntemlerinin İncelenmesi, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Cilt 55, Sayı 648
- Yalçın B, Ergene B,** (2017), Endüstride Yeni Eğilim Olan 3-B Eklemeli İmalatYöntemi ve Metalurjisi, *SDU International Journal of Technological Science*, Cilt 9, Sayı 3, 65 - 88
- Yang C, Lin W, Li Z, Zhang R, Wen H, Gao B, Chen G, Gao P, Yuen M. M. F and Wong C. P,** (2011), Water-Based Isotropically Conductive Adhesives: Towards Greenand Low-Cost Flexible Electronics, Cilt 21, Sayı 23, Sayfa 4582-4588
- URL-1** <<https://tr.lamsience.com/plastic-joining-methods>>, Ziyaret tarihi: 16.12.2021
- URL-2** <<https://ryamanoglu.wordpress.com/>>, Ziyaret tarihi: 15.12.2021
- URL-3** <<https://inovax.net/inovax/2019/08/eklemeli-3d-imalat-teknolojileri/>>, Ziyaret tarihi: 13.12.2021
- URL-4** <<http://eklemeliimalat.info.tr/1-giris/>>, Ziyaret tarihi: 11.12.2021
- URL-5** <[Kaynaşmış Biriktirme Modellemesi \(FDM\) \(custompartnet.com\)](#)>, Ziyaret tarihi: 07.12.2021
- URL-6**
<https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/74929/mod_resource/content/1/Unit_4.pdf>, Ziyaret tarihi:08.01.2021
- URL-7**
<https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/74931/mod_resource/content/1/Unit_5.pdf>, Ziyaret tarihi: 08.01.2021
- URL-8**
<https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/74934/mod_resource/content/1/Unit_6.pdf>, Ziyaret tarihi: 25.01.2021

KAYNAKLAR (devam ediyor)

URL-9

<https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/74941/mod_resource/content/1/Unit_8.pdf>, Ziyaret tarihi: 25.01.2021

URL-10 < <https://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Yapistirma.pdf> >, Ziyaret tarihi: 28.12.2021

URL-11 <<https://www.metaluzmani.com/yapistirma-teknolojisi/>>, Ziyaret tarihi: 16.12.2020

URL-12 <<https://fizikdersi.gen.tr/adezyon-kohezyon-nedir-tanim-ornekler/>>, Ziyaret tarihi: 17.01.2021

URL-13 <<https://www.boyutkat.com/3d-yazici-filament/pla-filament-nedir/>>, Ziyaret tarihi: 21.12.2021

URL-14

<https://www.henkeladhesives.com/tr/tr/product/structuraladhesives/teroson_pu_9225_sf.html>, Ziyaret tarihi: 22.12.2021

URL-15 <<https://www.loctiteyapistirici.com/loctite-ea-9492/>>, Ziyaret tarihi: 24.12.2021

URL-16 <<https://www.zaxe.com/tr/post/neden-zaxe-x1-3d-printer/>>, Ziyaret tarihi: 26.12.2021

URL-17 <<https://3dedi.com/3d-yazici/zaxe-x1-3d-yazici/>>, Ziyaret tarihi: 26.12.2021

URL-18 <<https://3d3teknoloji.com/3d3-3d-yazici/>>, Ziyaret tarihi: 26.12.2021

URL-19

<http://besmaklab.com/katalog/elektromekanik_universal_malzeme_test_cihazı.pdf>, Ziyaret tarihi: 26.12.2021

URL-20 <<https://www.hydraulicuniversaltestingmachine.com/tr/universal-tensile-testing-machine.html>>, Ziyaret tarihi: 26.12.2021

URL-21 <<http://laboratuar.kocaeli.edu.tr/konstruksiyon/index.php?c=Altyapi>>, Ziyaret tarihi: 27.12.2021

URL-22 <<https://www.megadanismanlik.com.tr/urun-2179-ps-10>>, Ziyaret tarihi: 27.12.2021

KAYNAKLAR (devam ediyor)

URL-23 <<https://aybu.edu.tr/GetFile?id=0d6552e8-1507-4096-8192-dbe66518bfe9.pdf>

> Ziyaret tarihi: 13.05.2022





EK AÇIKLAMALAR

EK A: PLA-PLA (320 SiC-600 SiC) Teroson-Loctite Malzeme Çiftleri



Şekil A.1 PLA-PLA 320 SiC-600 SiC Teroson Malzeme Çiftlerinin Kırılma Yüzey Görüntüsü



Şekil A.2 PLA-PLA 320 SiC-600 SiC Loctite Malzeme Çiftlerinin Kırılma Yüzey Görüntüsü

EK B: ABS-ABS (320 SiC-600SiC) Teroson-Loctite Malzeme Çiftleri



Şekil B.1 ABS-ABS 320 SiC-600 SiC Teroson Malzeme Çiftlerinin Kırılma Yüzey Görüntüsü



EK C: PLA-ABS (320 SiC-600SiC) Teroson-Loctite Malzeme Çiftleri



Şekil C.1 PLA-ABS 320 SiC-600 SiC Teroson Malzeme Çiftlerinin Kırılma Yüzey Görüntüsü



Şekil C.2 PLA-ABS 320 SiC-600 SiC Loctite Malzeme Çiftlerinin Kırılma Yüzey Görüntüsü





ÖZGEÇMİŞ

Nezihan POLAT ÇOBAN lisans eğitimini 2019 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi makine mühendisliği bölümünde tamamlamıştır. 2018 yılında İstanbul Üniversitesi açık öğretim fakültesi iş sağlığı ve güvenliği lisans bölümüne başlamıştır. Lisans döneminde Romanya Bükreş IF IM CAT sempozyumuna katılıp özel sunum ödülü almıştır. Bu süre zarfında IATF, PPAP, ISO kalite kontrol ve Catia sertifika programına yazılıp başarı ile tamamlamıştır.

