



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**3D YAZICI İLE ÜRETİLMİŞ POLİMER PARÇALARIN YAPIŞMA
PERFORMANSININ TAGUCHİ YÖNTEMİYLE OPTİMİZE EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih YETİŞ

DANIŞMAN

Dr.Öğr.Üyesi İsmail SARAÇ

AKSARAY, 2025

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 222304405 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Fatih YETİŞ tarafından hazırlanan “(3D YAZICI İLE ÜRETİLMİŞ POLİMER PARÇALARIN YAPIŞMA PERFORMANSININ TAGUCHİ YÖNTEMİYLE OPTİMİZE EDİLMESİ)” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İsmail SARAÇ

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Üye: Prof. Dr. Fazliye KARABÖRK

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Erkin AKDOĞAN

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Tez Savunma Tarihi: 29/05/2025

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Fazliye KARABÖRK

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinallliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

İmza

Fatih YETİŞ

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren ve her konuda destek olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi İsmail Saraç'a teşekkürlerimi sunarım. Deney parçalarının üretiminde desteklerini sunan Dr. Öğr. Üyesi Atıl Emre Coşgun ve Öğr. Gör. Dr. Murat Horasan hocalarıma teşekkürü borç bilirim. Öğrenim hayatım boyunca, her türlü maddi ve manevi desteğini eksik etmeyen ve her konuda desteğini daima hissettiğim sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin gerçekleşmesinde 2024-017 numaralı proje ile maddi destek sağlayan Aksaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (ASÜBAP) Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Fatih YETİŞ
AKSARAY, 2025

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
1. GİRİŞ	1
2. TEORİK ARAŞTIRMALAR	4
2.1 Yapıştırma Bağlantıları	4
2.1.1 Giriş	4
2.1.2 Yapışma işlemi.....	5
2.2 Eklemeli İmalat	7
2.2.1 Giriş	7
2.2.2 Eklemeli imalat teknolojisi	8
2.2.3 Eriyik yığma modelleme teknolojisinin avantajları ve dezavantajları	10
2.2.4 Eklemeli imalatta ürün özelliklerini etkileyen faktörler	11
2.3 Deney Tasarımı	11
2.3.1 Taguchi Sinyal/Gürültü Analizi	12
2.3.2 Taguchi Deney Tasarım Basamakları.....	13
2.3.2.1 Faktörlerin belirlenmesi ve seçilmesi	13
2.3.2.2 Faktör seviyelerinin belirlenmesi	13
2.3.2.3 Uygun ortogonal düzenin belirlenmesi.....	14
2.3.3.4 Faktör veya seviyelerin ortogonal dizi tablosuna atanması	14
2.3.3.5 Deneylerin yapılması	14
2.3.3.6 Sonuçların analiz edilmesi	15
2.3.3.7 Doğrulama deneylerinin yapılması.....	15
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	16
4. MALZEME VE YÖNTEM.....	20
4.1 Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve 3D Yazıcı.....	20
4.2 Deney Tasarımı	21
4.3 Yapıştırma Bağlantılarının Üretilmesi	23
4.3.1 Bağlantı plakalarının üretimi	23
4.3.2 Tek tesirli yapıştırma bağlantılarının üretimi.....	24
4.4 Çekme Deneylerinin Yapılması	26
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	28
5.1. Çekme-Uzama Grafikleri	28
5.2. Taguchi Analiz Sonuçları	37
5.3. ANOVA Analizi Sonuçları.....	40
5.4. Regresyon Analizi Sonuçları	41
5.5. Hasar Değerlendirmesi	44
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	45
KAYNAKLAR.....	48
EKLER.....	53
Ek A. Hasar Değerlendirmesi Fotoğrafları.....	54
ÖZGEÇMİŞ	63

YÜKSEK LİSANS TEZİ

3D YAZICI İLE ÜRETİLMİŞ POLİMER PARÇALARIN YAPIŞMA PERFORMANSININ TAGUCHİ YÖNTEMİYLE OPTİMİZE EDİLMESİ

Fatih YETİŞ

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İsmail SARAÇ

ÖZET

Son yıllarda teknolojik olarak büyük gelişmeler gösteren eklemeli imalat yöntemi, yaygın imalat teknikleri ile karşılaştırıldığında önemli üstünlüklere sahiptir. Eklemeli imalat ile üretilen parça boyutları, teknolojik nedenlerden dolayı belirli sınırlar içerisinde kalmaktadır. Eklemeli imalat ile üretilen parçaların sonradan birleştirilmesi boyutsal sınırlamaları aşmanın önemli bir çözümüdür. Endüstride kullanımı gittikçe artan yapıştırma bağlantıları diğer bağlantı tekniklerine göre üç boyutlu baskı malzemelerin birleştirilmesinde daha pratik çözümler sağlamaktadır. Bu çalışmada, Eriyik Yığılma Modelleme teknolojisi (Fused Deposition Modeling, FDM) kullanılarak Polilaktik Asit (PLA) ve Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS) filamentten üretilmiş plakaların yapışma performansı tek tesirli yapıştırma bağlantı geometrisi kullanılarak çeşitli üretim parametrelerine göre araştırılmıştır. Tek tesirli yapıştırma bağlantılarının üretiminde, üç farklı epoksi yapıştırıcı (DP460, Loctite 9492, Loctite 9466) kullanılmıştır. PLA ve ABS plakalar, farklı doluluk oranlarında (%50, %75 ve %100) ve farklı raster (tarama) açısı kombinasyonlarında (0°, 0°/90°, 45°/45°) üretilmiştir. Deneysel çalışma Taguchi L₁₈ deney tasarım yöntemine göre planlanarak çekme testi numuneleri üretilmiştir. Üretim parametrelerinin deneysel sonuçlara etkisi Taguchi ve ANOVA analizleriyle yorumlanmıştır. Çekme deneyleri sonucunda maksimum hasar yükü 1989 N, minimum hasar yükü 916 N olarak bulunmuştur. Deneyler sonunda elde edilen hasar yükleri ve çalışmada kullanılan parametreler arasındaki ilişki regresyon analizleri ile modellenmiştir. Çalışma sonunda, FDM-üç boyutlu (3D) baskı polimerlerin yapıştırma bağlantılarında, üretim parametrelerinin hasar yüküne etkisi belirgin bir şekilde görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli İmalat, PLA, ABS, Taguchi, Yapıştırma Bağlantıları.

Mayıs, 2025; 63 sayfa

M.Sc. THESIS

**OPTIMIZING THE ADHESIVE PERFORMANCE OF POLYMER PARTS
PRODUCED WITH A 3D PRINTER USING THE TAGUCHI METHOD**

Fatih YETİŞ

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Advanced Technologies**

Supervisor: Dr.Öğr.Üyesi İsmail SARAÇ

ABSTRACT

The additive manufacturing technique, which has developed technologically in the last years, has considerable superiority when it is compared to conventional manufacturing methods. The part sizes manufactured by additive manufacturing are within certain limits owing to technological constraints. The joining of parts produced by additive manufacturing is an important solution to break dimensional restrictions. Adhesive joints, which are gradually increasing their usage in the industry, offer more feasible and practical ways of joining three-dimensional printed materials than other joining methods. In this work, the adhesion performance of sheets fabricated from Polylactic Acid (PLA) and Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) filaments by using Fused Deposition Modeling (FDM) technology was researched with respect to different fabrication parameters using a single-lap adhesive joint geometry. In the production of single-lap adhesive joints, 3 different epoxy adhesives (DP460, Loctite 9492, Loctite 9466) were employed. PLA and ABS sheets were fabricated with different infill ratios (50%, 75% and 100%) and various raster angle combinations (0°, 0°/90°, 45°/45°). The experimental work was designed in accordance with the Taguchi L18 experimental design method and tensile test samples were produced. The effects of the production parameters on the experimental results were commented by Taguchi and ANOVA analyses. At the end of the tensile tests, the maximum failure load was determined as 1989 N and the minimum failure load as 916 N. The relationship between the failure loads calculated at the end of the experiments and the parameters employed in the study was modeled via regression analyses.

Keywords: Additive Manufacturing, PLA, ABS, Taguchi, Bonding Joints.

May, 2025; 63 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Yapıştırma yüzeyinde oluşan kuvvetler.	5
Şekil 2.2. Adezyon ve kohezyon bağlarının gösterilmesi	7
Şekil 2.3. FDM teknolojisi genel görünümü	9
Şekil 4.1. Loctite 9466, Loctite 9492 ve DP460 epoksi yapıştırıcılar.	20
Şekil 4.2. Tek tesirli yapıştırma bağlantısı.	21
Şekil 4.3. PLA ve ABS plakaların üretilmesi	23
Şekil 4.4. Yüzeylerin zımparalanması.	24
Şekil 4.5. Yapıştırıcı hazırlama aşaması.	25
Şekil 4.6. Tek tesirli yapıştırma bağlantılarının üretimi.	26
Şekil 4.7. Tek tesirli yapıştırma bağlantı numuneleri.	26
Şekil 4.8. Çekme deneylerinin uygulanması.	27
Şekil 5.1. Numunelere ait ortalama hasar yükleri.	35
Şekil 5.2. Numunelere ait kuvvet-uzama eğrileri.	36
Şekil 5.3. Ortalamalar için ana etki grafiği.	38
Şekil 5.4. Doğrulama deneyleri çekme uzama grafikleri.	39
Şekil 5.5. Parametre etkileşimleri grafiği.	40
Şekil 5.6. Ortalama hasar yükü için normal olasılık grafiği.	41
Şekil 5.7. Deneysel sonuçlarla Taguchi tahmin modeli.	43
Şekil 5.8. Deneysel sonuçlarla lineer regression tahmin modeli.	43
Şekil 5.9. Deneysel sonuçlarla poisson regression tahmin modeli.	44
Şekil A.1. T-1 numunesi hasar şekilleri.	54
Şekil A.2. T-2 numunesi hasar şekilleri.	54
Şekil A.3. T-3 numunesi hasar şekilleri.	55
Şekil A.4. T-4 numunesi hasar şekilleri.	55
Şekil A.5. T-5 numunesi hasar şekilleri.	56
Şekil A.6. T-6 numunesi hasar şekilleri.	56
Şekil A.7. T-7 numunesi hasar şekilleri.	57
Şekil A.8. T-8 numunesi hasar şekilleri.	57
Şekil A.9. T-9 numunesi hasar şekilleri.	58
Şekil A.10. T-10 numunesi hasar şekilleri.	58
Şekil A.11. T-11 numunesi hasar şekilleri.	59
Şekil A.12. T-12 numunesi hasar şekilleri.	59
Şekil A.13. T-13 numunesi hasar şekilleri.	60
Şekil A.14. T-14 numunesi hasar şekilleri.	60
Şekil A.15. T-15 numunesi hasar şekilleri.	61
Şekil A.16. T-16 numunesi hasar şekilleri.	61
Şekil A.17. T-17 numunesi hasar şekilleri.	62
Şekil A.18. T-18 numunesi hasar şekilleri.	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. PLA ve ABS malzemesinin mekanik özellikleri.	20
Çizelge 4.2. Yapıştırıcıların mekanik özellikleri.	21
Çizelge 4.3. Deneysel çalışma parametreleri ve seviyeleri.	21
Çizelge 4.4. Taguchi L ₁₈ 'a göre deney tasarım parametreleri.	21
Çizelge 4.5. Taguchi L ₁₈ 'a göre deney tasarımı.	22
Çizelge 4.6. Ender 3B yazıcı özellikleri.	23
Çizelge 4.7. Çalışmada kullanılan yazdırma parametreleri.	23
Çizelge 4.8. Shimadzu çekme test makinesinin teknik özellikleri.	27
Çizelge 5.1. PLA malzemeden üretilen yapıştırma bağlantılarının deney sonuçları.	28
Çizelge 5.2. ABS malzemeden üretilen yapıştırma bağlantılarının deney sonuçları.	29
Çizelge 5.3. Ortalama hasar yükleri ve S/N oranları.	37
Çizelge 5.4. Ortalama hasar yükü S/N yanıt tablosu.	38
Çizelge 5.5. İdeal parametre kombinasyonları.	39
Çizelge 5.6. Varyans analizi.	41
Çizelge 5.7. Deneysel hasar yükleri, Taguchi ve regresyon analizleri sonucu elde edilen tahmini hasar yükleri.	42

SİMGELER VE KISALTMALAR

ABS	Akrilonitrit Bütadien Stiren
ASTM	American Society for Testing and Materials
BJ	Binder Jetting (Bağlayıcı (Yapıştırıcı) Püskürtme)
DMSL	Direct Metal Laser Sintering (Direk Metal Lazer Sinterleme)
DPL	Digital Light Processing (Dijital Işık İşleme)
EBAM	Electron Beam Additive Manufacturing
EBM	Electron Beam Melting (Elektron Işınlı Ergitme)
FDM	Fused Deposition Modeling (Eriyik Yığarak Modelleme)
LENS	Laser Engineered Net Shape (Lazerle Net Şekillendirme)
LOM	Laminated Object Manufacturingcad (Nesne İmalatı)
MPa	Megapaskal
nm	Nanometre
PC	Personal Computer (Kişisel Bilgisayar)
PLA	Polilaktik Asit
PJ	Polyjet (Çoklu Püskürtme)
SL (SLA)	Stereolithography
SLS	Selective Laser Sintering (Seçmeli Lazer Sinterleme)
SLM	Selective Laser Melting (Seçmeli Lazer Ergitme)
STL	Standard Triangle Language
°C	Santigrat Derece
%	Yüzde
3D	3 Dimensional (3 Boyut)

1. GİRİŞ

İmalat, hammadde ve yarı mamullerin makine ve iş gücü ile işlenerek ürün elde edilme süreci olarak tanımlanabilir. İmalatın temel hedefi, en az maliyetle en kısa zamanda en kaliteli ürünü açığa çıkarmaktır. İmalat, talaşlı imalat ve talaşsız imalat olmak üzere ikiye ayrılır. Eklemeli imalat talaşsız bir imalat yöntemidir (Apak, 2019).

Eklemeli imalat; objelerin üç boyutlu (3D) model verilerine göre oluşturulan katmanlarının üst üste eklenmesi prensibine dayanan pratik bir imalat yöntemidir. Eklemeli imalat, karmaşık parçaların üretiminde kolaylık sağlar ve aynı zamanda talaşlı imalat yöntemlerinde ortaya çıkan atık malzemelerin olmamasından dolayı temiz ve pratik bir üretim sağlar. Eklemeli imalat, üretilecek parça kadar malzeme kullanılarak malzeme giderlerinden de kazanç sağlanmaktadır. Eklemeli imalat, üretim kolaylığı, hafiflik ve bağlantı elemanı sayısının az olması gibi avantajları sayesinde havacılık, otomotiv, biyomedikal, savunma sanayi, enerji sektörleri gibi önemli endüstriyel sektörlerde fonksiyonel parça imalatında kullanılmaktadır (Fraschio vd., 2021).

Eklemeli imalat, malzemelerin tabaka tabaka eklenerek üretim yapılması anlamına gelir. Eklemeli imalat teknolojisinin getirdiği sistemler ile katman kalınlıkları ayarlanabilmektedir (URL-1).

Çeşitli malzeme gruplarında üretim yapılabilse de en çok tercih edilen eklemeli imalat malzemesi polimerdir ve günümüzde eklemeli imalat teknolojisinde kullanılan malzemelerin %92' sini oluşturmaktadır (Kariz vd., 2017).

Eklemeli imalat yöntemiyle ilgili çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir, bu teknolojiler ASTM 2792-12a standartında sınıflandırılmıştır. Bu teknolojilerden birisi olan Eriyik Yığma Modelleme Yöntemi (Fused Deposition Modeling, FDM), polimer filamentler kullanarak parça üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde, bilgisayar destekli tasarım (CAD) verisine göre hareket eden başlıkta ergitilen filament, katman katman yığılarak parça üretimi sağlanır. ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren), PLA (Polilaktik Asit) ve PC (Personal Computer) FDM'de kullanılan tipik malzemelerdir (Lee vd., 2017).

Polimer malzemeler, kolay şekillenebilme yetenekleri sayesinde geçmişten bu yana her alanda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ancak polimerlerin yüzey enerjisi düşük olduğu için yapıştırma işlemi yapılırken dikkat edilmesi gereken bazı önemli detaylar 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 (Arenas vd., 2012).

Polimerlerin yapıştırıcıyla birleştirilmesi işlemi, polimer malzemenin türüne, yapıştırıcı tipine ve kimyasallara karşı göstermiş olduğu dirence bağlıdır. Ayrıca, polimer malzemelerde bağlantı öncesi uygulanan yüzey işlemleri ile birlikte yüzeyde elde edilen enerjinin arttırılması, bağlantının mukavemetini ve kalitesini arttırır (URL-2).

3D baskı polimerlerin endüstriyel alanda kullanımının yaygınlaşması için üretilen parçaların birleştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle, 3D baskı polimerlerin üretildiği makinelerin boyutsal sınırlamalar içermesi, büyük boyutlu parçaların üretilmesinde bir sorun meydana getirmektedir. Dolayısıyla, 3D baskı polimerlerin daha yaygın bir şekilde kullanılabilmesi için parçalı üretim yapıldıktan sonra birleştirilmesi gerekmektedir. Cıvatalı, kaynaklı veya perçinli klasik birleştirme yöntemlerinin 3D baskı polimerlerin birleştirilmesinde kullanılmasının çeşitli zorlukları vardır. Yapıştırma bağlantıları, 3D baskı polimerlerin birleştirilmesinde çok büyük kolaylıklar sağlama potansiyeline sahiptir. Bu durumda, 3D baskı parametreleri, yapıştırıcı çeşiti ve polimer özelliklerinin analiz edilerek optimum bağlantı parametrelerinin belirlenmesi, 3D baskı polimerler ve yapıştırma bağlantılarının kesişiminde bulunan ve literatürde yeterli derinliğe sahip olmaya önemli bir araştırma konusudur. Bu noktadan hareketle, tez çalışmasının temel hipotezi 3D baskı polimerlerin yapıştırılmasında belirtilen bu parametrelerin (polimer çeşiti, yapıştırıcı çeşiti ve baskı parametreleri) bağlantı dayanımını önemli oranda etkileme potansiyelinin olmasıdır.

Buna göre tez çalışmasında, 3D baskı polimerler kullanılarak ASTM 3163-01 standartına uygun olarak tek tesirli yapıştırma bağlantı numuneleri üretilmiştir. Çalışmada önerilen hipotezi ölçmek amacıyla yapıştırma bağlantılarının üretiminde dört farklı parametre kullanılmıştır. Bu parametreler; yapıştırılan malzeme (PLA ve

ABS), yapıştırıcı çeşiti (DP460, Loctite-9492 ve Loctite-9466), raster açısı (0° , $0^\circ/90^\circ$ ve $+45^\circ/-45^\circ$) ve dolgu oranıdır (%50, %75 ve %100). Test numunelerinin üretiminde Taguchi deney tasarımı kullanılmıştır. Numune üretim aşamasından çekme deneyleri yapılarak bağlantı dayanımları ölçülmüştür. Deneysel sonuçların ve araştırma hipotezinin değerlendirilmesinde bilimsel çalışmalarda kullanılan temel istatistiki yaklaşımlardan olan Sinyal/Gürültü (S/N) analizi, ANOVA analizi ve regresyon analizi kullanılmıştır.

Tez çalışmasının amacı, 3D baskı polimerlerin yapışma performansını, yapıştırıcı tipi, raster açısı, doluluk oranı ve 3D baskıda kullanılacak malzeme tipine bağlı olarak deneysel ve istatistiksel yöntemler kullanılarak araştırmaktır. Bu amaca uygun olarak tez çalışmasının yürütülmesi için 5 hedef belirlenmiştir. 1. hedefte; FDM yöntemi kullanılarak üretilen 3D polimerlerin yapıştırma bağlantılarıyla ilgili literatür araştırması yapıldı ve yapılan çalışmalar değerlendirildi. 2. hedefte; araştırma konusu hakkında temel teorik araştırmalar yapıldı ve konu hakkındaki bilgiler geliştirildi. 3. hedefte; malzeme temini sağlandıktan sonra test numuneleri deney tasarımına göre üretildi. 4. hedefte; çekme deneyleri yapılarak numunelerin hasar yükleri belirlendi. 5. hedefte, deneysel sonuçların analizi istatistiksel yöntemler kullanılarak yapıldı ve üretim parametrelerinin deneysel sonuçlara etkileri yorumlandı.

2. TEORİK ARAŞTIRMALAR

2.1 Yapıştırma Bağlantıları

2.1.1 Giriş

Geçmişte olduğu gibi günümüzde de yapısal malzemeleri bağlamak ve onları kullanım ömürleri süresince bir arada tutmak için birçok malzeme ve yöntem kullanılmaktadır.

Eski çağlardan beri, tahta, deri, kâğıt, kumaş gibi malzemeler bitkisel veya hayvansal yapıştırıcılarla birbirlerine bağlanarak, çeşitli eşyalar üretilmektedir. Günümüzde, yapay reçine bazlı yeni yapıştırıcıların üretilmesiyle metallerin yapıştırılması da sağlanmış ve yapıştırıcılar uçaklarda, hafif metal konstrüksiyonlarında, kavrama ve fren balatalarında, mil-göbek bağlantılarında, cıvatayla sıkılan flanşların sızdırmazlığında, kompozit malzeme üretiminde ve boru bağlantılarında yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yapıştırıcılar, özellikle hafif yapı konstrüksiyonlarında perçinin yerini almıştır (Babalık, 2006).

Çeşitli özelliklerdeki malzemeleri birleştirme ihtiyacı çeşitli gereksinimlerden dolayı devam etmektedir. II. Dünya Savaşı sonrasında polimer-yapıştırıcı teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, yapıştırma bağlantılarının endüstride kullanımı yaygınlaşmıştır. Geçmişte daha çok günlük yaşam malzemelerinin yapımında kullanılan yapıştırıcılar günümüzde birçok mühendislik alanında kullanılmaya başlanmıştır. Dolayısıyla, yapıştırma bağlantılarının mekanik davranışlarının her yönüyle incelenmesi son derece önem kazanmıştır (Saraç, 2018).

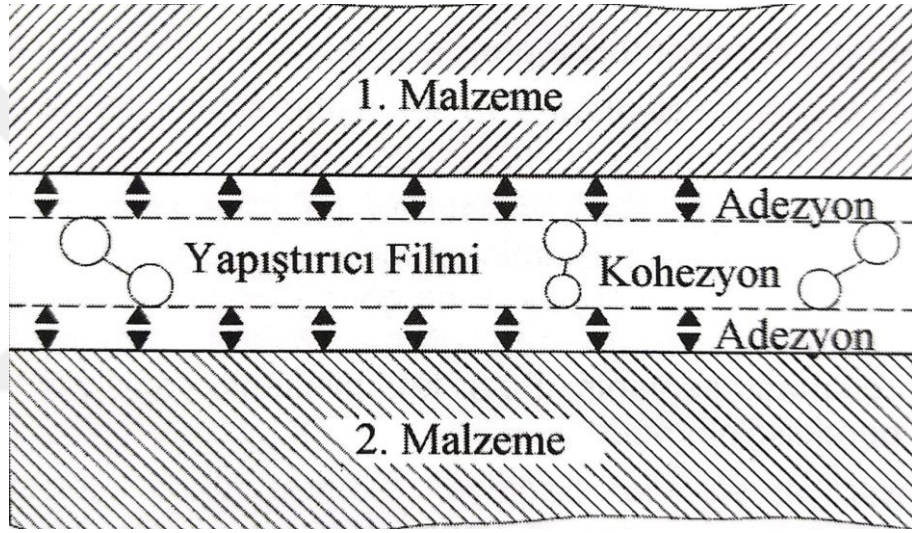
Yapıştırma bağlantılarının mühendislik alanlarında kullanılması, endüstrinin başlangıç yıllarına dayanır. Teknolojinin gelişmesiyle enerjiye olan ihtiyaç artmış ve enerji kaynaklarının tabiatta azalmasıyla, teknolojik ürünlerde mümkün olan en az enerji kullanımına cevap olabilecek olanaklar araştırılmıştır. 1960'lı yıllara kadar alüminyum malzemelerden üretilen bağlantı elemanları çok sayıda mühendislik alanında olduğu gibi havacılık endüstrisinin de temel bağlantı elemanı olmuştur (Çalık, 2008). Daha sonraki yıllarda yapıştırıcı kullanımı gittikçe artmıştır.

Herhangi bir sistemdeki enerji tüketimini azaltmak için çeşitli yöntemler vardır. Örneğin yakıtta tasarrufa gitmenin başlıca yollarından bir tanesi de sistemlerin

ağırlığını azaltmaktır. Yapısal parçaları birleştirmek için kullanılan cıvata, perçin ve kaynak yerine daha hafif bir bağlantı yöntemi olan yapıştırıcıların kullanımı yapıları hafifletmiştir (Temiz, 2003).

2.1.2 Yapışma işlemi

Yapıştırma, iki yüzeyin; moleküler, iyonlar ve atomlar arası etkileşimden dolayı oluşan çekim kuvvetleriyle ile birbirine bağlanmasıdır (Şekil 2.1). Yapıştırma işlemi, oda sıcaklığında ve herhangi bir bası kuvveti uygulamadan yapılabildiği gibi, yüksek basınç uygulanarak ve/veya 150-200 °C'ye kadar sıcaklıkta da gerçekleştirilebilir (Babalık, 2006).



Şekil 2.1. Yapıştırma yüzeyinde oluşan kuvvetler.

Yapıştırıcı, yapıştırdığı malzemeler arasında bir köprü görevi görür ve malzemeleri bir arada tutar. Yapıştırma bağlantısının mukavemeti, yapıştırıcı-ana malzeme arasındaki yüzeyde oluşan yapışma kuvvetine (adezyon) ve yapıştırıcının kendi molekülleri arasındaki bağa (kohezyon) bağlıdır. Adezyon kuvvetinin büyük olması, yapıştırıcının ana malzemenin tüm yüzeyine yayılmasıyla mümkün olur. Bunu sağlayabilmek için yapıştırılacak yüzeyler toz, pas, yağ, boya gibi yapışmayı engelleyecek etkenlerden temizlenmeli, ardından da yüzey kum püskürtme, zımpara, çelik tel fırça ile küçük bir pürüzlendirmeye tabi tutulmalıdır. Hafif metallerde ve alaşımlarında bu işlem kimyasal yöntemlerle de yapılabilir (Babalık, 2006).

2.1.2.1 Adezyon kuvveti

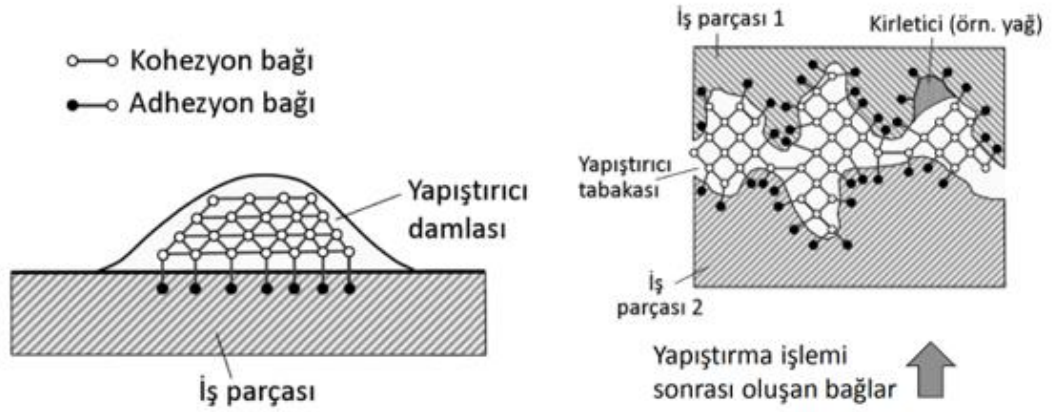
Adhezyon, iki malzemenin temas bölgelerinde meydana gelen yapışma kuvvetidir. Yapıştırma bağlantılarında adhezyon kuvvetleri, yapıştırıcı malzeme ile yapıştırılacak yüzeyler arasında meydana gelir. Kısacası, iki yüzeyin, ara yüzey kuvvetleri vasıtasıyla bir arada tutulması adhezyon olarak tanımlanır (Saraç, 2018).

Çekim kuvveti ve yüzeye tutunma kuvveti olan “Van der Waals” kuvvetleri yapıştırma mekanizmasında en önemli faktördür. Mekanik olarak aşındırılmış yüzeylerde oluşan pürüzlü bölgeleri yapıştırıcı eğer tam olarak ıslatamazsa, moleküller arası kuvvetler düşük olur. Bu nedenle, iyi bir yapıştırma bağlantısı için, yüzeydeki pürüzlere yapıştırıcının tam olarak penetre etmesi ve bütün yüzeyi ıslatması önemlidir. Dolayısıyla yapıştırma kuvveti veya adhezyon kuvvetleri yüzeyin ıslatılabilirliğine ve yüzeyin yapışma özelliklerine bağlıdır. Islatma mekanizması ise, yapıştırıcı sürülmüş yüzeyin gerilimine ve yapıştırıcı viskozitesine bağlıdır. Yüzeylerde kirleticilerin olması ıslatmayı olumsuz şekilde etkilemektedir. Adhezyon kuvveti; mekanik aşındırma, yağ alma, asitle dağlama, kimyasal temizleme ve yüzey kaplama işlemleri ile artırılabilir (Doru, 2019).

2.1.2.2 Kohezyon kuvveti

Kohezyon kuvvetleri, yapıştırıcının kendi molekülleri arasında oluşan ve yapıştırıcının bir bütün halinde kalmasını sağlayan kuvvetlerdir. Başka bir ifadeyle, yapıştırıcıyı oluşturan kütlenin kimyasal ve fiziksel kuvvetler sayesinde bir arada tutulması kohezyon olarak adlandırılır. Bir zincirin dayanımı en zayıf halkası tarafından belirlenmesi kuralına göre, yapıştırmada adhezyon ve kohezyon kuvvetlerinin yaklaşık olarak eşit olması istenir. Ayrıca, yapıştırma bağlantılarında yapıştırıcının sağlam bir köprü görevi görmesi için kohezyon kuvvetlerinin de yüksek olması gerekir (Yıldız, 2021).

Polimerizasyon işlemi sonucunda, yapıştırıcının sertleşerek kendi içerisinde oluşan kohezyon bağları ve malzemeler ile yapıştırıcı arasında oluşan adezyon bağları aracılığıyla iki malzemeyi bir arada nasıl tuttuğu Şekil 2.2’de gösterilmiştir (Saraç, 2018).



Şekil 2.2. Adezyon ve kohezyon bağlarının gösterilmesi (Temiz, 2003).

2.2 Eklemeli İmalat

2.2.1 Giriş

Eklemeli imalat (Additive Manufacturing) geçmişten günümüze kadar olan imalat süreçlerine göre tersine çalışan bir yapıya sahiptir. Uzun yıllardır bir hammaddeye belirli standart işlemler uygulayarak yeni bir ürün oluşturma süreci ile devam eden imalat, eklemeli imalat teknolojilerinin de gelişmesiyle farklı bir hal almıştır. Katmanları üst üste ekleyerek imalat işlemi birçok endüstri alanı için önemli bir alternatif oluşturmuştur. Günümüzde, tıptan havacılığa kadar birçok alanda kullanılmaya başlanan eklemeli imalat yöntemleri gittikçe gelişmekte ve yaygınlaşmaktadır. Özellikle metal eklemeli imalat teknolojilerinin ucuzlaması ve yaygınlaşması, aynı zamanda seri imalata uygun hale gelmesi, bu teknolojinin kullanım alanını oldukça arttıracaktır.

Eklemeli imalat teknolojisi 1890'lı yılların sonlarında ABD'de ortaya çıkmıştır. İlk çıkmış olduğu sıralarda kullanım amacından dolayı bu teknoloji "Hızlı Prototipleme" olarak anılmıştır. Günümüzde bu teknolojiyi tanımlamak için birçok farklı isim kullanılmaktadır.

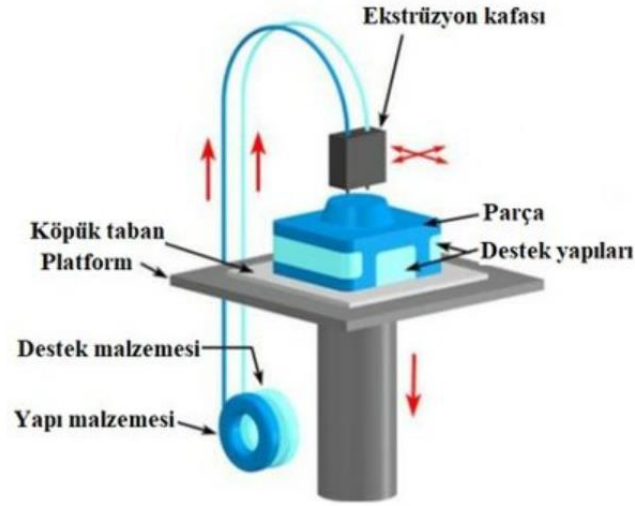
İlk olarak 1987'de ışığa duyarlı termoset polimerleri katmanlar halinde katılaştırmak için ultraviyole lazer ışığı kullanan bir polimer 3D yazıcı geliştirildi. 1980'lerin sonlarında eklemeli imalat, kalıp tasarımı ve kompleks şekilli medikal parçaların imalatı ile tıp alanına girmiştir. Günümüzde birçok medikal ürünün imalatında

özellikle protezler ve implantların yapımında eklemeli imalat kullanılmaktadır. Ark kaynağı ile ergitme/sinterleme ve lazer-elektron ışını ergitme/sinterleme yöntemleri ile polimer, seramik, metal tozlarından, 3D imalat yapmak mümkündür (Polat Çoban, 2022).

2.2.2 Eklemeli imalat teknolojisi

3D baskı olarak da bilinen eklemeli imalat; nesnelerin geometrik modellerinin doğrudan bir bilgisayar destekli tasarım dosyasından alınarak, bir baskı kafası veya nozül kullanılarak malzemenin katman katman biriktirilmesi yoluyla üretilmesidir. 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 teknolojisinin birçok çeşidi mevcuttur. Bunları FDM (Fused Deposition Modeling), SLA (Stereolithography), DPL (Digital Light Processing), PJ (Polyjet), LOM (Laminated Object Manufacturing), SLS (Selective Laser Sintering), DMLS (Direct Metal Laser Sintering), SLM (Selective Laser Melting), EBM (Electron Beam Melting), LENS (Laser Engineered Net Shape), EBAM (Electron Beam Additive Manufacturing) ve BJ (Binder Jetting) olarak sıralayabiliriz. FDM, eriyik yığarak modelleme işlemidir. Üç boyutlu modelleme denince akla ilk gelen teknoloji FDM teknolojisi olmaktadır. Şekil 2.3'te şematik olarak gösterilen bu teknolojiye malzeme olarak termoplastikler kullanılmaktadır. Makaralara sarılmış filamentler halinde kullanılan malzemeler genellikle PLA, ABS ve diğer malzemelerdir. FDM yazıcılarda basım yapılmadan önce filament nozül ucuna yerleştirilir, filament ergime sıcaklığına ulaştıktan sonra nozül ucundan ekstüde edilerek basım tablasına doğru itilir ve basım işlemi başlamış olur. Bu basım tekniğinde birçok renkte basım yapılabilir. Karmaşık geometrili yapıların basımında büyük kolaylıklar sağlayan bu basım yönteminde elde edilen numunenin dış yüzeyinde katman çizgileri görülebilir. Fakat işlem sonrasında zımparalama yapılarak bu etki azaltılabilir. 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.



Şekil 2.3. FDM teknolojisi genel görünümü (URL-3).

Eklemeli imalat teknolojisinin işlem süreci genel olarak altı basamaktan oluşmaktadır (Sürmen, 2019).

1. İlk basamakta, üretilecek parça üç boyutlu (3D) modellenir. Modelleme işlemi için çok sayıda bilgisayar destekli tasarım programları mevcuttur.
2. İkinci basamakta, hazırlanan model, dilimleyici programa aktarılır. Model verisinin, programda çalıştırabilmesi için katıl modelleme dosyasının uygun formatta kaydedilmesi gerekir. Bu adımda dosya farklı kaydet veya export seçenekleri ile kaydedilebileceği gibi dosya dönüştürücüler de kullanılabilir. Kaydedilmiş dosya 3D baskı işlemlerinde genellikle STL formatında kullanılır. Bunun yanı sıra obj, .X3D, .3MF gibi formatları da bir çok dilimleme yazılımı tanımaktadır.
3. Üçüncü basamak ise dilimleme adıımıdır. Bu adımda uygun formatta kaydedilen dosyalar baskı işleminden önce dilimleyici bir yazılım programına aktarılır. Bu programda 3D 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.
4. Dördüncü basamak dosya transferi adıımıdır.

5. Beşinci basamak 3D baskı alma adımıdır. Bu adımda yazıcının düzgün bir zemin üzerinde konumlandırılmasına dikkat edilmelidir. Daha sonra kalibrasyon ve 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.
6. Son işlem basamağı 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 yapılabilmektedir.

2.2.3 Eriyik yığma modelleme teknolojisinin (FDM) avantajları ve dezavantajları

Eriyik yığma modelleme teknolojisinin avantajları ve dezavantajları şu şekildedir (URL-6).

Avantajları:

- FDM özel termoplastik parçalar ve prototipler üretmenin en uygun maliyetli yoludur.
- Teknolojinin yüksek kullanılabilirliği sayesinde termin süreleri kısadır. Bu süre aynı gün veya ertesi güne kadar kısadır.
- Hem prototipleme için hem de ticari olmayan bazı fonksiyonel uygulamalar için uygun çok çeşitli termoplastik malzemeler mevcuttur.

Dezavantajları:

- FDM, diğer 3D baskı teknolojilerine kıyasla en düşük boyutsal doğruluk ve çözünürlüğe sahiptir. Bu nedenle karmaşık ayrıntılara sahip parçalar için uygun değildir.

- FDM parçalarının görünür katman çizgileri olması muhtemeldir. Bu nedenle düzgün bir son işlem için sonradan işleme gereklidir.

2.2.4 Eklemeli imalatla ürün özelliklerini etkileyen faktörler

Eklemeli imalatla ürün kalitesini etkileyen koşullardan en önemlilerinden biri sıcaklık etkenidir. Kullanılan filamentin cinsine bağlı olarak hem nozul hem de tabla sıcaklığı büyük önem taşımaktadır. Optimum sıcaklık aşıldığı zaman filamentte sorunlar meydana gelebileceği gibi üretilecek parçanın mekanik özellikleri de etkilenmektedir.

Sıcaklık etkeni kadar basım hızı da numune üretim sürecinde önemli bir etkiye sahiptir. Numune üretim sürecinde basım hızı azaldıkça sertlik değerinin arttığı gözlemlenmektedir.

Bir başka faktör ise destek unsurudur. Bazı parçaların basım sürecinde destekleyici taban ya da destek malzemesi gerekmektedir. Özellikle boşluklu yapılarda basım yapılacağı zaman desteksiz bölümlerde malzeme akma eğilimi gösterebilmektedir.

Doluluk oranı parçanın mukavemetini etkileyen unsurlardan biridir. Yapılan gözlemlerde malzemenin iç doluluk oranı arttıkça dayanımı da artmaktadır. Dolgu yoğunluğu kadar dolgu deseninin ve yazdırma açısının da parça üzerinde etkileri bulunmaktadır (Polat Çoban, 2022).

2.3 Deney Tasarımı

Deney tasarımı ve Taguchi metodu, ürün kalitesini ve proses performansını geliştirmek için kullanılan ileri düzeyde istatistik tekniklerdir. Deney tasarımı proses optimizasyonu ve davranışlarının analizi için güçlü bir araçtır.

Taguchi, kalite maliyetlerini azaltmanın bir yolu olarak parametre tasarımında deneysel tasarımın kullanılmasını vurgular. Taguchi metodu, gerçek üretim şartları süresince kontrol edilemeyen ve istenmeyen dış etkiler sebebiyle varyasyonun azaltılması ile ürün ve proses sağlamlığını maksimize etmek için kullanılır (Durmaz,2008).

2.3.1 Taguchi sinyal/gürültü analizi

Taguchi deney tasarımı tekniğinde, kalitenin ölçülmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılan yöntem, ölçülmek istenilen sinyalin (S), gürültü'ye (N) oranıdır. Sinyal değeri sistemin verdiği ve ölçülmek istenilen gerçek değeri, gürültü ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen etkilerin payını gösterir.

Taguchi, varyasyonu azaltmak amacıyla, deney tasarımında performans kriteri olarak kullanılmak üzere, sinyal/gürültü oranı olarak adlandırılan bir dizi istatistik yöntem geliştirmiştir. Taguchi, uygulamadaki problemleri, hedefin türüne göre üçe ayırmış ve her biri için farklı bir sinyal/gürültü oranı tanımlamıştır (Şirvancı, 1997). Bunlar aşağıda tanımlanmıştır:

En küçük en iyi durumu:

“En küçük en iyi” durumunda, y 'nin (ölçülen değer) hedef değeri sıfırdır. Buna göre S/N oranı Eşitlik 2.1'e göre tanımlanmaktadır:

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r y_i^2 \right] \quad (2.1)$$

Eşitlikte 2.1'de; y_i , deneysel verileri, n ise deney sayısını belirtmektedir.

En büyük en iyi durumu:

“En büyük en iyi” durumunda, kalite değişkeni y 'nin hedef değeri sonsuzdur. Bu durumda sinyal / gürültü oranı Eşitlik 2.2'ye göre tanımlanabilir.

$$\frac{S}{N} = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^r \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2.2)$$

En nominal en iyi:

“Hedef değer en iyi” durumunda, y için belli bir hedef değer (örneğin, ürün boyutları gibi) verilmiştir. Bu durumda S/N oranı, Eşitlik 2.3'e göre hesaplanır.

$$\frac{S}{N} = 10 \cdot \log \left(\frac{\bar{y}^2}{s^2} \right) \quad (2.3)$$

Eşitlik 2.3'te, y , performans karakteristiği değerini, " s^2 " ise varyansı tanımlamaktadır (Taylan, 2009).

2.3.2 Taguchi Deney Tasarım Basamakları

Taguchi deneysel tasarım basamakları aşağıda sıralanmıştır (Anagün, 2000):

1. Faktörlerin belirlenmesi ve seçilmesi,
2. Faktör seviyelerinin belirlenmesi,
3. Uygun ortogonal düzenin belirlenmesi,
4. Faktör veya seviyelerin ortogonal dizi tablosuna atanması,
5. Deneylerin uygulanması,
6. Sonuçların analizi,
7. Doğrulama deneylerinin uygulanması.

2.3.2.1 Faktörlerin belirlenmesi ve seçilmesi

İlk olarak problemin çözümüne yönelik hedef belirlenir ve daha sonra klasik tasarımdakine benzer şekilde, beyin fırtınası, süreç akış şeması ve sebep-sonuç diyagramı gibi teknikler kullanılır. Faktörler belirlendikten sonra faktör seviyeleri belirlenir. Taguchi yönteminde faktörler, kontrol edilebilen faktörler ve kontrol edilemeyen (gürültü) faktörler olarak ikiye ayrılır. Kontrol edilebilen faktörlere göre tasarım belirlenmekte ve deneyler yapılmaktadır (Taylan, 2009).

2.3.2.2 Faktör seviyelerinin belirlenmesi

Faktörler belirlendikten sonra belirlenen her bir faktör için seviye belirlenmektedir. Faktörler için iki veya daha fazla seviye belirlenebilir. Faktör seviyeleri serbestlik derecesi ile ilgili bir fonksiyondur ve faktör seviyelerinden hareketle serbestlik derecesi hesaplanmaktadır. Serbestlik derecesi ise deney sayısını belirler ve serbestlik derecesi faktör sayısının bir eksigidir. Faktör seçimi faktörlerin bireysel etkisinin yanı sıra birbirleriyle olan etkileşimlerini de gösterir. Etkileşim etkileri "interaction effect" olarak da bilinmektedir. Etkileşen faktörlerin serbestlik dereceleri çarpımı etkileşim için serbestlik derecesini verir. Her bir faktörün serbestlik derecesi ayrı ayrı toplanır ve toplam serbestlik derecesi bulunur (Taylan, 2009).

2.3.2.3 Uygun ortogonal düzenin belirlenmesi

Ortogonal diziler deney tasarımımda hangi gözlem sırasında hangi parametrenin hangi seviyesinin olacağını belirten dizilerdir. Ortogonal düzen ilk kez 1897’de Fransız matematikçi, Jacques Hadamard tarafından matematiksel bir buluş olarak ortaya konmuştur.

Ortogonal dizinler, Taguchi yönteminin önemli adımlarından biridir. Taguchi, çok sayıda deneysel durumu açıklamak için ortogonal dizileri oluşturmuştur. Ortogonal diziler metodu birden fazla faktörün eş zamanlı incelenebilmesi için uygun bir yöntemdir. Deneylerde parametrelerin ne şekilde değiştirileceğini, nasıl düzenleneceğini uygun ortogonal dizinin seçimi belirler. Ortogonal dizinin en önemli özelliği, birçok faktörün en az sayıda test edilmesi ve faktör seviyelerini eş zamanlı olarak değiştirme yapmaya olanak sağlamasıdır. Ortogonal diziler problemin özelliğine göre, 2 kademeli, 3 kademeli, 2 ve 3 kademeli olarak belirlenmektedir. Ortogonal diziler tasarım matrisi olarak da bilinir. Genel gösterimi; d toplam deney sayısı, a faktörlerin düzey sayısı, k faktör sayısı, L ortogonal diziyi ifade etmek üzere $L_{d(a)k}$ ya da L_d ortogonal dizinin gösterimidir. Genelde kullanılan ortogonal diziler 2 seviyeliler için L_4 , L_8 , L_{16} ve L_{32} ve 3 seviyeliler için L_9 , L_{18} ve L_{27} dizileri olmaktadır. Ortogonal diziler, toplam serbestlik derecesi ve seviye sayısının bilinmesi ile bulunur. Ortogonal dizinler tam faktöriyel tasarım gereği çok sayıda yapılması gereken denemeleri büyük oranda azaltmaktadır (Taylan, 2009).

2.3.3.4 Faktör veya seviyelerin ortogonal dizi tablosuna atanması

Faktör ve/veya etkileşimlerin seçilen ortogonal düzene göre kolonlara atanmasında, Taguchi tarafından geliştirilen doğrusal grafikler ve üçgensel tablolar kullanılmaktadır (Taylan, 2009).

2.3.3.5 Deneylerin yapılması

Performans istatistiği seçimi, problemin çözümü için birden fazla performans karakteristiğinin özelliklerine uygun olarak yapılır. Seçilen performans istatistiği sayesinde verilerin analizi yapılır. Bu nedenle problemin çözümü açısından performans istatistiğinin doğruluğu çok önemlidir. Taguchi tasarımlarında en sık

kullanılan performans istatistiği oranı S/N dir. Sağlam tasarım performansını ölçmek için bu oran kullanılır.

Problemin gerektirdiği ortogonal dizi sisteminin satırlarında öngörülen deneyler uygulanır. Gözlem değerleri sayısının çokluğu deneydeki hatayı minimize edebilmeyi ve gürültü faktörlerinin etkisini net bir şekilde görebilmeyi sağlar. Seçilen her bir deney tasarımı ne kadar çok test edilirse deneydeki hata miktarı o kadar azalır ve deneyin güvenilirliği o ölçüde artmış olur (Taylan, 2009).

2.3.3.6 Sonuçların analiz edilmesi

Bu aşamada sadece kritik olan faktör ve/veya etkileşimler yer alır. Daha sonra bir model oluşturulur ve analiz yapılır. Elde edilen gözlem değerlerinin analizinde, varyans analizi, faktör etkilerinin grafiksel gösterimi metodu, hesap tablosu metodu gibi yöntemler kullanılmaktadır (Taylan, 2009). Ayrıca regresyon analizi yapılarak bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki matematiksel olarak belirlenebilmektedir.

2.3.3.7 Doğrulama deneylerinin yapılması

Taguchi deney tasarımının son kısmı doğrulama deneylerinin yapılmasıdır. Önemli olduğu belirlenen parametreler için optimum değerler, önemsiz olduğu düşünülen parametreler için ekonomik değerler seçilir ve belirli sayıda deney tekrarı yapılır. Doğrulama deneylerinin sonuçlarının ortalaması alınır ve tahmin edilen ortalamalar ile kıyaslanır. Taguchi yönteminde doğrulama deneyleri en önemli basamak olarak kabul edilir ve mutlaka yapılmalıdır. Deneylerin yapılması ve çıkan sonuçların güven aralığında olduğunun anlaşılması faktör-seviye kombinasyonunun en iyi performans karakteristiği değerini veren kombinasyon olduğunu ve deney tasarımının amacına ulaştığını, deneylerin doğru olduğunu gösterir. Eğer sonuçlar güven aralığı içinde çıkmazsa deneyler tekrarlanır (Taylan, 2009).

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

FDM-3D baskı malzemelerin yapıştırma bağlantılarıyla ilgili çalışmalar son yıllarda yapılmaya başlanmıştır. Literatürde bulunan dikkat çekici bazı çalışmalar kronolojik olarak bu bölümde verilmiştir.

Cavalcanti vd. (2019), PLA filament kullanılarak, FDM-3D baskı yöntemi ile üretilmiş parçaların, epoksi yapıştırıcıyla birleştirilmesiyle üretilen tek tesirli yapıştırma bağlantılarında bindirme bölgesi formu ve baskı oryantasyonunun bağlantı dayanımına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Sinusoid formdaki bindirme bölgesine sahip olan numunede, düz forma sahip numuneye göre % 62'ye varan dayanım artışı görülmüştür. Baskı oryantasyonunun dayanıma etkisi düz ve sinusoid bindirme formunda sahip numunelerde farklı çıkmıştır. Çalışma sonunda bağlantı dayanımı açısından bindirme bölgesi konfigürasyonunun etkisinin, baskı oryantasyonuna göre daha belirgin olduğu vurgulanmıştır.

Bürenhaus vd. (2019), FDM yöntemi ile ULTEM 9085 filament kullanılarak üretilen parçaların yapışma performansına, yapıştırıcı tipi, yüzey özellikleri ve yapıştırma bölgesi tasarımının etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonunda iki bileşenli epoksi tipi yapıştırıcı ile ULTEM 9085 filament arasında iyi bir yapışma performansı elde edilmiştir. Ayrıca plazma yüzey işleminin sadece polyürethan yapıştırıcı kullanıldığında dayanıma pozitif etki ettiği belirtilmiştir.

Yap vd. (2020), FDM tekniği ile Akrilonitril Stiren Akrilat (ASA) ve Nylon 12 Karbon Fiber (NCF) polimerler kullanılarak üretilen parçaları epoksi ve cyanoacrylate yapıştırıcılarla birleştirerek tek tesirli yapıştırma bağlantıları üretmişlerdir. Yapılan çekme testleri sonuçlarına göre epoksi tipi yapıştırıcının ASA ve NCF için uygun bir yapıştırıcı olmadığını kesin olarak gösterilmiştir.

Ando vd. (2021), farklı temas yüzeylerine sahip çok renkli PLA çekme testi numuneleri FDM teknolojisi kullanılarak üretilmiştir. Çalışmada kontak açısının filamentler arasındaki adhezyon kuvvetini etkileyerek mekanik özellikleri değiştirdiği gösterilmiştir.

Khosravani vd. (2021), FDM-PLA parçalarla tek tesirli yapıştırma bağlantıları üretmişlerdir. Çalışmada çeşitli baskı parametrelerinin ve yapıştırıcı kalınlığının

bağlantı dayanımına etkisi deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Optimum dayanım değeri 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığında elde edilmiştir. Yapıştırılan plakaların rijitliği hasar yükünü etkilemiştir, rijitliğin artması hasar yükünü arttırmıştır. Genel olarak baskı parametrelerinden bağımsız olarak kohezyon hasar tipiyle karşılaşmıştır.

Fraschio vd. (2021), FDM-ABS parçaların yapıştırma bağlantılarında, yüzey hazırlama işlemlerinin bağlantı dayanımına etkisini araştırmışlardır. Çalışmada yüzey hazırlama işlemleri olarak; mekanik aşındırma, atmosferik basınçta plazma (Atmospheric Pressure Plasma) ve düşük basınçta plazma (Low-Pressure Plasma) yöntemleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda, düşük basınçlı plazma ön işleminin yapıştırıcı ve yüzey arasındaki temas açısını (contact angle) açısını düşürerek yapıştırıcı ıslatma kabiliyetini arttırdığı belirtilmiştir. Buna paralel olarak düşük basınçlı plazma ön işleminin uygulandığı yapıştırma bağlantılarında kayma dayanımı daha yüksek bulunmuştur.

Khosravani vd. (2021), FDM-PETG (Polyethylene terephthalate glycol) parçalar ve epoksi yapıştırıcı kullanılarak üretilen tek tesirli yapıştırma bağlantılarında, raster açısı, raster genişliği, katman kalınlığı ve yapıştırıcı kalınlığı parametrelerinin bağlantıların hasar davranışına etkilerini deneysel ve sonlu elemanlar analizleriyle incelemişlerdir. Çalışma sonunda deneysel sonuçlarla sayısal modelin uyumlu olduğu gösterilmiştir.

Anaç vd. (2022), FDM-3D baskı PLA Plus parçaların yapıştırma bağlantılarında doluluk oranı (% 100 ve % 20) ve yüzey zımparalama etkisinin (240 SiC ve 600 SiC) bağlantı dayanımına etkisini tek tesirli yapıştırma bağlantılarında çekme deneyleri ile araştırmışlardır. Çalışma sonunda %100 doluluk oranında üretilen ve 240 SiC zımpara kağıdı ile aşındırılan numunelerin kullanıldığı yapıştırma bağlantılarının mukavemeti daha yüksek çıkmıştır.

Vamshinath vd. (2022), FDM-3D baskı PETG (Polyethylene terephthalate glycol) parçalar kullanılarak imal edilmiş tek tesirli yapıştırma bağlantılarında, 3D baskı parametrelerinin (raster açısı, raster genişliği ve katman kalınlığı) bağlantı dayanımına etkisini çekme deneyleri ile araştırmışlardır. Maksimum bağlantı

dayanımı, 0° raster açısı, 0,2 mm katman kalınlığı ve 1 mm raster genişliği baskı parametrelerinde elde edilmiştir.

Cavalcanti vd. (2023), FDM yöntemiyle ürettikleri PLA ve ABS plakaları farklı tip fiber kumaşlarla takviyelendirerek güçlendirmişler ve güçlendirilmiş PLA-Fiber kompozitlerin yapışma performansını araştırmışlardır. Bağlantı dayanımında önemli oranlarda artışlar gözlemlenmiştir.

Çetin ve Fossi (2023), FDM-3D baskı PLA parça kullanarak ürettikleri tek tesirli yapıştırma bağlantılarının performansını Taguchi deneysel tasarım metodunu kullanarak araştırmışlardır. Çalışmada, yapışma yüzey deseni, yaşlandırma süreleri ve yapıştırıcı tipi parametreleri kullanılmıştır. Taguchi analizine göre optimum parametreler, Loctite EA 9466 yapıştırıcı, 45° yüzey deseni ve yaşlandırma prosesi uygulanmayan 3D baskı parçalar olarak belirlenmiştir.

Polat Çoban vd. (2023), FDM-3D baskı PLA malzemelerin yapıştırılmasında yapıştırıcı tipi, yapıştırıcı kalınlığı ve yüzey aşındırma parametrelerinin bağlantı mukavemetine etkisini tek tesirli yapıştırma bağlantılarında çekme testleri ile araştırmışlardır. PLA malzemelerin yapıştırılmasında epoksi tipi iki bileşenli yapıştırıcı, poliüretan yapıştırıcıya göre daha iyi performans göstermiştir. Yapıştırıcı kalınlığı ve yüzey işlemlerinin etkisi yapıştırıcı çeşidine göre değişiklik göstermiştir.

Hiremath vd. (2023), FDM-3D baskı PLA parçalar ile üretilen tek tesirli yapıştırma bağlantılarında 3D baskı oryantasyonu değişiminin bağlantı dayanımına etkisini araştırmışlardır. En yüksek dayanım 0° oryantasyonunda elde edilmiştir.

Karabağ vd. (2023), odun katkılı PLA filamentten eklemeli imalat yöntemi ile üretilen plakalar kullanarak oluşturdukları yapıştırma bağlantılarının performansını çekme deneyleri ile araştırmışlardır. Azami bağlantı dayanımı Loctite 9466 yapıştırıcı kullanıldığında elde edilmiştir.

Khosravani vd. (2023), FDM-3D baskı PLA plakalar kullanarak oluşturdukları tek tesirli basamaklı yapıştırma bağlantılarının yük taşıma kapasitelerini üç farklı basamak tasarımında araştırmışlardır. Basamak tasarımının dayanıma etkisi gösterilmiştir.

Paygozar ve Görgülüarslan (2023), FDM-3D baskı PLA malzeme kullanılarak üretilen plakalarla oluşturulan açılı yapıştırma bağlantılarında (adhesive scarf joints), bağlantı açısının ve tarama açısının (raster angle) bağlantı dayanımına etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonunda optimum bağlantı açısı (scarf angle) 30° olarak bulunmuştur.

Kurt Benli (2024), % 50 ve %100 doluluk oranlarında FDM-3D baskı PLA Plus ve PLA CF (Karbon fiber katkılı PLA) tek malzemeli ve çok malzemeli plakalar kullanarak farklı kombinasyonlarda tek tesirli yapıştırma bağlantıları üretmişlerdir. Çekme deneyleri sonucunda, % 100 doluluk oranında mukavemet değerleri daha yüksek bulunmuştur.

3.1 Çalışmanın Literatürdeki Yeri

FDM-3D baskı polimerlerin yapıştırma bağlantılarıyla ilgili literatürde bulunan çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde, baskı parametrelerinin etkisi, yapıştırıcı çeşidi ve yapıştırıcı kalınlığı konularının incelendiği görülmektedir. Yapıştırılan parçaların üretilmesinde ise genellikle PLA polimer kullanılmıştır. 3D baskı polimerlerin yapışma özelliklerinin farklı parametreler kullanılarak incelenmesi araştırmaya açık bir konudur. Özellikle, 3D baskı polimer parçaların farklı oryantasyon açısı kombinasyonlarında araştırılması ile ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır. Konuyla ilgili literatürdeki çalışmalarda görülen bir eksiklik ise deneysel çalışmaların optimizasyon teknikleriyle birlikte yapıldığı çalışmaların çok az olmasıdır. Deneysel tasarım ve optimizasyon teknikleri, deneysel çalışmaların yürütülmesini oldukça kolaylaştırmakta ve sonuçlara etki eden faktörlerin etki derecelerini anlamamızı sağlamaktadırlar. Böylece etki derecesi düşük olan faktörler imalat proseslerinden çıkarılarak veya etkileri sabit tutularak maliyetler azaltılabilmektedir. Buna göre yapılan tez çalışmasında, ilk olarak, PLA ve ABS olmak üzere iki tip polimer kullanılarak farklı oryantasyon açısı kombinasyonları ve farklı doluluk oranları ile üretilen plakalar kullanılarak tek tesirli yapıştırma bağlantıları üretilmiştir. Yapıştırma bağlantıları üretiminde 3 farklı tip yapıştırıcı kullanılmıştır. 3D baskı yapıştırma bağlantıları üretildikten sonra çekme testleri yapılarak bağlantı performansı araştırılmıştır. Deney planı ve optimizasyon çalışmalarında Taguchi metodu, ANOVA ve regresyon analizleri kullanılmıştır.

4. MALZEME VE YÖNTEM

Tez çalışmasının bu bölümünde, tek tesirli yapıştırma bağlantı modellerinin üretilmesinde kullanılan malzemeler ve üretim yöntemi tanıtılmıştır.

4.1 Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve 3D Yazıcı

Yapıştırma bağlantılarının üretiminde kullanılan 3D baskı plakaları üretmek için 1,75 mm çapındaki ABS ve PLA filamentler kullanılmıştır (Polat Çoban, 2022; URL-5). Filamentlerin mekanik özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Yapıştırma bağlantıları, epoksi tipi iki bileşenli DP460, Loctite 9466 ve Loctite 9492 yapıştırıcılar kullanılarak üretilmiştir (Şekil 4.1). Yapıştırıcıların mekanik özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir (Akpınar vd., 2017; Çetin ve Fossi, 2023; Khosravani vd., 2021).



Şekil 4.1. Loctite 9466, Loctite 9492 ve DP460 epoksi yapıştırıcılar.

Çizelge 4.1. PLA ve ABS malzemesinin özellikleri.

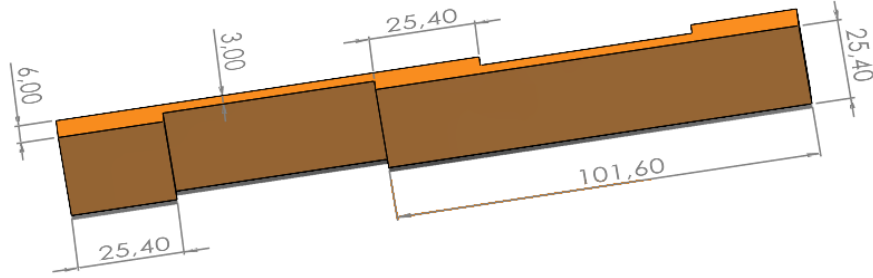
Mekanik özellikler	PLA	ABS
Yoğunluk (g/cm ³)	1,24	1,08
Çekme dayanımı (MPa)	53,60	50
Çekme Uzaması (%)	6	30
Elastiklik Modülü (MPa)	3500	2800
Erime Sıcaklığı (°C)	155-170	210-240

Çizelge 4.2. Yapıştırıcıların mekanik özellikleri.

Mekanik özellikler	DP460	Loctite 9466	Loctite 9492
Çekme dayanımı (MPa)	38,4	32	32
Çekme modülü (MPa)	2077	1718	6700
Poisson oranı (ν)	0,38	0,33	0,3

4.2 Deney Tasarımı

Deneyisel çalışmada kullanılan tek tesirli yapıştırma bağlantılarının üretim aşaması Taguchi L_{18} deney tasarımına göre planlanmıştır. Tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinin boyutları ASTM D3163-01 standardına göre belirlenmiştir (Şekil 4.2). Çalışmada kullanılan parametreler ve seviyeleri Çizelge 4.3’de, Taguchi L_{18} deney tasarımı ise Çizelge 4.4’de verilmiştir. Çalışmada 18 adet deney yapılmıştır. Her deney 5 defa tekrarlanmıştır. Buna göre toplamda 90 adet numune üretilmiştir.



Şekil 4.2. Tek tesirli yapıştırma bağlantısı.

Çizelge 4.3. Deneyisel çalışma parametreleri ve seviyeleri.

Seviye	Malzeme tipi (A)	Yapıştırıcı (B)	Raster açısı (C)	Doluluk oranı (D)
1	PLA	DP460	0°/0°	% 50
2	ABS	Loctite 9492	0°/90°	% 75
3	-	Loctite 9496	+45°/-45°	% 100

Çizelge 4.4. Taguchi L_{18} ’a göre deney tasarım parametreleri.

Deney no	Parametreler			
	A	B	C	D
T-1	1	1	1	1
T-2	1	1	2	2
T-3	1	1	3	3

Çizelge 4.4 (devam). Taguchi L₁₈'a göre deney tasarım parametreleri.

T-4	1	2	1	1
T-5	1	2	2	2
T-6	1	2	3	3
T-7	1	3	1	2
T-8	1	3	2	3
T-9	1	3	3	1
T-10	2	1	1	3
T-11	2	1	2	1
T-12	2	1	3	2
T-13	2	2	1	2
T-14	2	2	2	3
T-15	2	2	3	1
T-16	2	3	1	3
T-17	2	3	2	1
T-18	2	3	3	2

Deney numunelerinin üzerine üretildikten sonra, doluluk oranı – yapıştırıcı - raster açısı şeklinde (%50-DP460-0/0 gibi) bir kodlama yapılmıştır. Deney planı ve yapıştırma bağlantıları üretim parametreleri detaylı olarak Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Taguchi L₁₈'a göre deney tasarımı.

Deney numarası	Kod	Malzeme	Yapıştırıcı	Raster Açısı	Doluluk Oranı
T-1	%50-DP460-0/0	PLA	DP460	0°	50
T-2	%75-DP460-0/90	PLA	DP460	0°/90°	75
T-3	%100-DP460-45/45	PLA	DP460	45°/-45°	100
T-4	%50-9492-0/0	PLA	9492	0°	50
T-5	%75-9492-0/90	PLA	9492	0°/90°	75
T-6	%100-9492-45/45	PLA	9492	45°/-45°	100
T-7	%75-9466-0/0	PLA	9466	0°	75
T-8	%100-9466-0/90	PLA	9466	0°/90°	100
T-9	%50-9466-45/45	PLA	9466	45°/-45°	50
T-10	%100-DP460-0/0	ABS	DP460	0°	100
T-11	%50-DP460-0/90	ABS	DP460	0°/90°	50
T-12	%75-DP460-45/45	ABS	DP460	45°/-45°	75
T-13	%75-9492-0/0	ABS	9492	0°	75
T-14	%100-9492-0/90	ABS	9492	0°/90°	100
T-15	%50-9492-45/45	ABS	9492	45°/-45°	50
T-16	%100-9466-0/0	ABS	9466	0°/0°	100
T-17	%50-9466-0/90	ABS	9466	0°/90°	50
T-18	%75-9466-45/45	ABS	9466	45°/-45°	75

4.3 Yapıştırma Bağlantılarının Üretilmesi

4.3.1 Bağlantı plakalarının üretimi

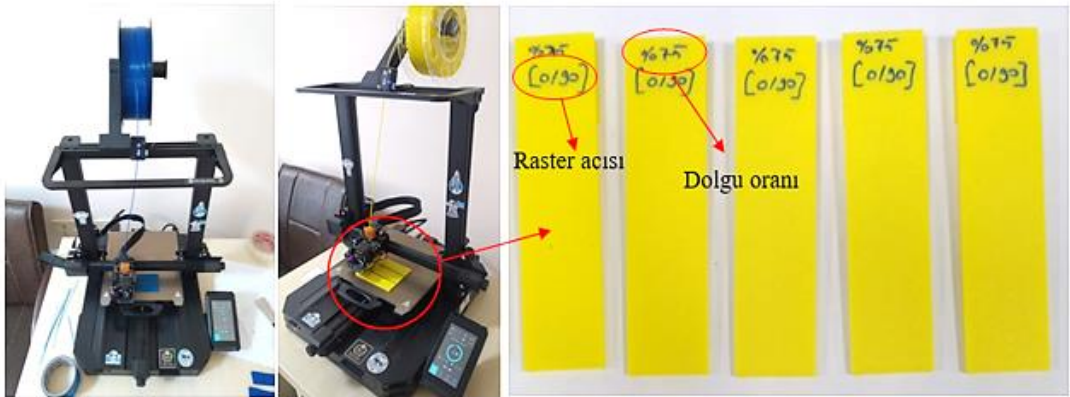
İlk olarak ABS ve PLA numuneler Ender marka 3B yazıcı ile üretilmiştir (Şekil 4.3). Ender marka 3B yazıcıya ait özellikler Çizelge 4.6’da verilmiştir. Çalışmada kullanılan yazdırma parametreleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Ender 3B yazıcı özellikleri.

Baskı hacmi	220 x 220 x 250 mm
Nozzle	Tek, 0,4 mm
Filament Çapı	1.75 mm
Yatak Sıcaklığı	110°C
Katman Çözünürlüğü	0,1 – 0,4 mm
Bağlantı	SD kart okuyucu

Çizelge 4.7. Çalışmada kullanılan yazdırma parametreleri.

FDM 3D baskı parametreleri	Malzeme		Birim
	PLA	ABS	
Baskı hızı	50	50	mm/s
Raster açısı	0, 0/90, +45/-45	0, 0/90, +45/-45	°
Katman yönelimi	Tablaya paralel	Tablaya paralel	-
Dolgu oranı	50, 75, 100	50, 75, 100	%
Nozul sıcaklığı	215	240	°C
Tabla sıcaklığı	55	100	°C
Katman kalınlığı	0,2	0,2	mm



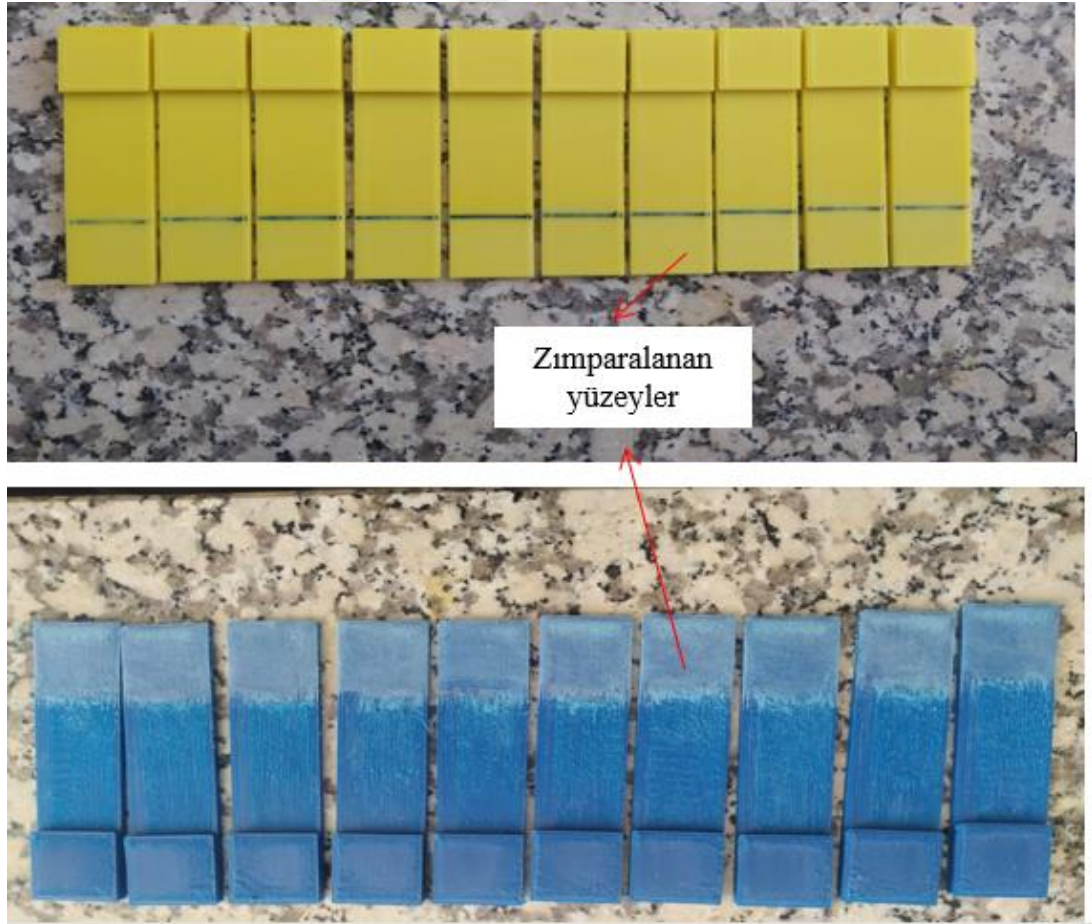
Şekil 4.3. PLA ve ABS plakaların üretilmesi.

4.3.2 Tek tesirli yapıştırma bağlantılarının üretimi

Yapıştırıcı ile plakaların arasında herhangi bir kirlenici veya tabaka olmadan doğrudan temas halinde olması yapışma özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Bu yüzden, hazırlanan bütün test numunelerinde aynı yüzey hazırlama yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan yüzey hazırlama işlemleri aşağıda sıralanmıştır.

- 1) Yapıştırılacak plakaların kenarları ve yüzeylerini temizlemek için P240 numara zımpara kağıdı kullanılmıştır (Şekil 4.4.).
- 2) Plakaların su ile yıkaması yapılmıştır.
- 3) Plakalar temiz bir bezle kurularak kapalı bir kaptaki saklanmıştır.

Literatürde bulunan bazı çalışmalarda aseton kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada da yüzeyleri aseton dolu bir kaba daldırma yöntemi denenmiştir. Ancak aseton ile PLA malzeme arasında kimyasal bir etkileşim gözlemlendiği için yüzey hazırlama işlemlerinde aseton kullanılmamıştır.



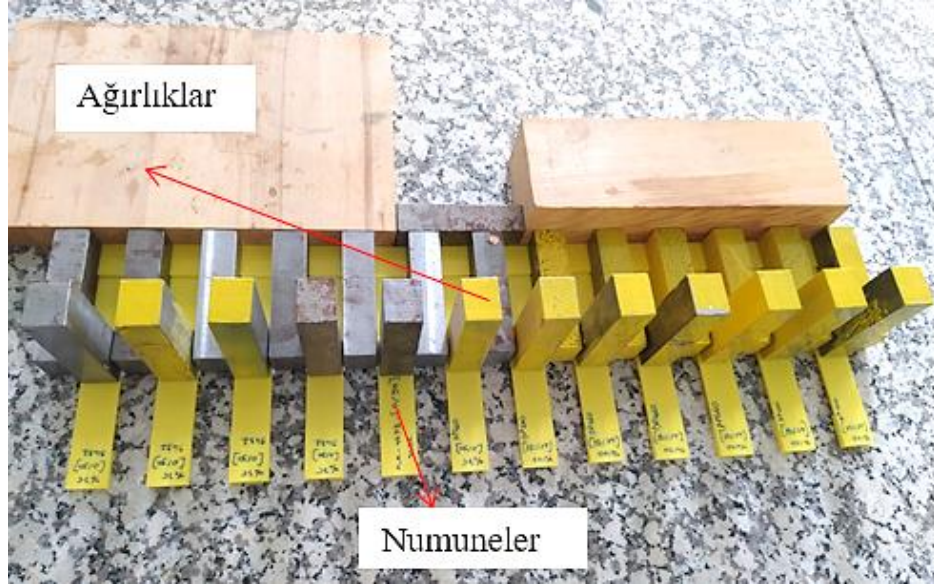
Şekil 4.4. Yüzeylerin zımparalanması.

Bağlantı modellerini üretmek amacıyla, ilk olarak yapıştırıcı hazırlanmıştır. Buna göre, temiz bir kaba, uygulama tabancası kullanılarak bir miktar epoksi yapıştırıcı boşaltılıp tahta bir çubukla birkaç dakika boyunca karıştırma işlemi yapılmıştır. Homojen bir yapıştırıcı görünümü sağlandıktan sonra, yapıştırıcı uygulama aşamasına geçilmiştir (Şekil 4.5).

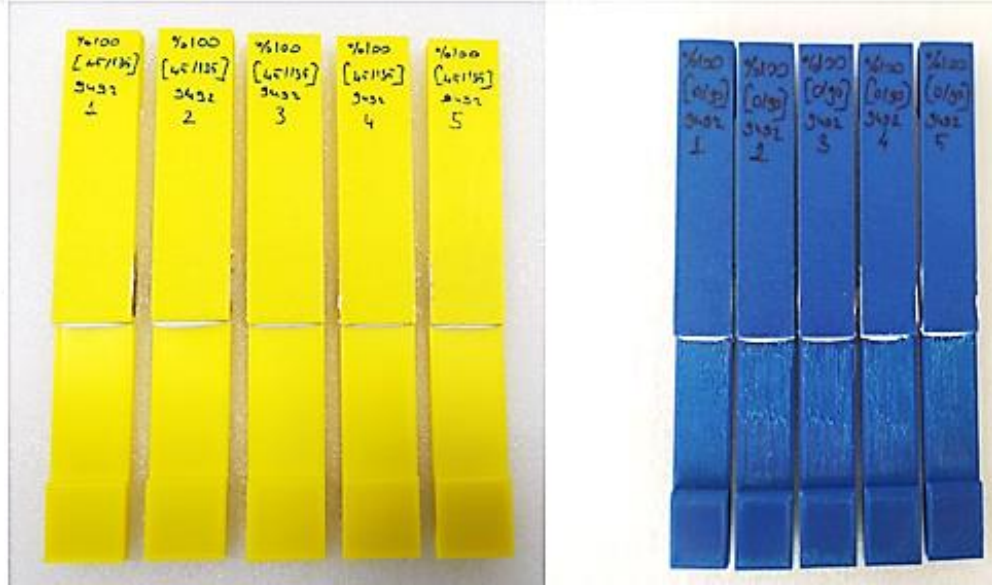


Şekil 4.5. Yapıştırıcı hazırlama aşaması.

Hazırlanan yapıştırıcılar, plakaların 25,4 mm boyundaki bindirme bölgelerine tahta bir çubuk kullanılarak, ince bir tabaka halinde sürülmüştür. Yapıştırıcı uygulandıktan hemen sonra kürleşme oluşmadığı için plakaların kayma riski vardır. Bu durum deneysel çalışmanın doğruluğunu etkilediği için ve standart bir numune üretimi yapılmasını engellediği için mutlaka dikkate alınmalıdır. Bundan dolayı, plakaların kaymaması ve bağlantıların uygun geometride üretilebilmesi için çok sayıda destek parçaları kullanılmıştır. Plakalar yerleştirildikten sonra yapıştırıcının tüm yüzeye düzgün olarak yayılabilmesi ve bindirme hattı boyunca eşit yapıştırıcı kalınlığı elde edebilmek için bindirme bölgesine ağırlık uygulaması yapılmıştır (Şekil 4.6). Yapıştırıcıların kürleşmesi için ağırlıklar 24 saat bekletilmiştir daha sonra ağırlıklar alınarak numuneler kapalı bir kaptaki oda sıcaklığında deneylerin yapılacağı zamana kadar bekletilmiştir (Şekil. 4.7).



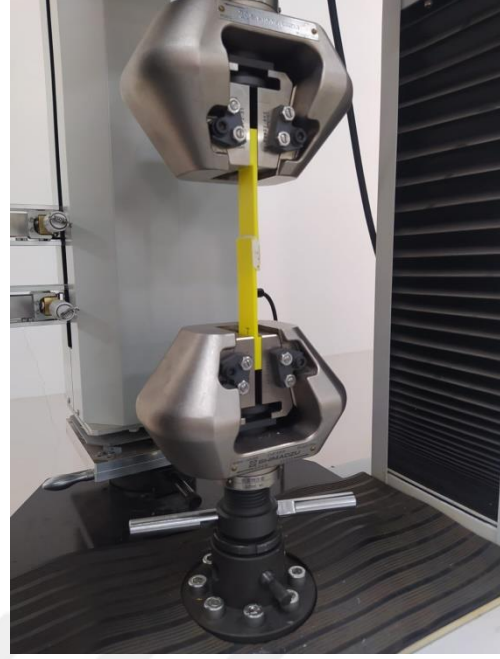
Şekil 4.6. Tek tesirli yapıştırma bağlantılarının üretimi.



Şekil 4.7. Tek tesirli yapıştırma bağlantı numuneleri.

4.4 Çekme Deneylerinin Yapılması

Çekme testleri, 50 kN yük hücreğine sahip Shimadzu marka test cihazı kullanılarak laboratuvar şartlarında yapılmıştır (Şekil 4.8). Shimadzu çekme test makinesinin teknik özellikleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. Çekme testleri 1 mm/dak. çekme hızında uygulanmıştır. Çekme deneyleri sonucunda kuvvet-uzama grafikleri elde edilerek hasar yükleri ve maksimum uzama miktarları belirlenmiştir.



Şekil 4.8. Çekme deneylerinin uygulanması.

Çizelge 4.8. Shimadzu çekme test makinesinin teknik özellikleri.

Yük Kapasitesi	50kN
Yük doğruluğu	Görüntülenen değerin $\pm\%0,5$ 'i
Test hızı	0,0005 ~ 1000 mm/dak
Çaprazkafa hızı doğruluğu	$\%0,1$

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

5.1. Çekme-Uzama Grafikleri

Çekme testleri sonucunda her numune tipi için elde edilen maksimum yük ve maksimum uzama değerleri PLA ve ABS malzemeler için numune tiplerine göre Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de gösterilmiştir. Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de her numune tipi için yapılan 5 deneyin sonuçları ile birlikte ortalama hasar yükleri ve standart sapmalar da verilmiştir.

Çizelge 5.1. PLA malzemeden üretilen yapıştırma bağlantılarının deney sonuçları.

Tip No	Malzeme	Yapıştırıcı	Raster açısı	Doluluk oranı (%)	Hasar Yüğü (N)	Maksimum Uzama (mm)
T-1.1	PLA	DP460	°0	50	1899,38	1,53
T-1.2	PLA	DP460	°0	50	1875,31	1,58
T-1.3	PLA	DP460	°0	50	2181,56	1,78
T-1.4	PLA	DP460	°0	50	1904,69	1,71
T-1.5	PLA	DP460	°0	50	1791,88	1,50
T-1 Ortalama					1930,56	1,62
T-1 Std. Sapma					147,41	0,12
T-2.1	PLA	DP460	°0/°90	75	2022,19	2,98
T-2.2	PLA	DP460	°0/°90	75	2160,00	3,00
T-2.3	PLA	DP460	°0/°90	75	2086,88	3,21
T-2.4	PLA	DP460	°0/°90	75	2115,94	2,86
T-2.5	PLA	DP460	°0/°90	75	1564,69	1,91
T-2 Ortalama					1989,94	2,79
T-2 Std. Sapma					242,93	0,50
T-3.1	PLA	DP460	°45/°45	100	1302,50	1,27
T-3.2	PLA	DP460	°45/°45	100	1399,69	1,23
T-3.3	PLA	DP460	°45/°45	100	1479,69	1,38
T-3.4	PLA	DP460	°45/°45	100	1514,06	1,38
T-3.5	PLA	DP460	°45/°45	100	1641,88	1,64
T-3 Ortalama					1467,56	1,39
T-3 Std. Sapma					127,03	0,151
T-4.1	PLA	9492	°0	50	1366,88	1,22
T-4.2	PLA	9492	°0	50	1301,25	1,18
T-4.3	PLA	9492	°0	50	1225,31	1,16
T-4.4	PLA	9492	°0	50	1427,19	1,27
T-4.5	PLA	9492	°0	50	1390,94	1,30
T-4 Ortalama					1342,31	1,23
T-4 Std. Sapma					79,91	0,05
T-5.1	PLA	9492	°0/°90	75	1548,75	2,09
T-5.2	PLA	9492	°0/°90	75	2170,00	3,04
T-5.3	PLA	9492	°0/°90	75	2000,63	3,06

Çizelge 5.1 (devam). PLA malzemeden üretilen yapıştırma bağlantılarının deney sonuçları.

T-5.4	PLA	9492	°0/°90	75	1996,88	2,63
T-5.5	PLA	9492	°0/°90	75	2128,13	3,15
T-5 Ortalama					1968,88	2,79
T-5 Std. Sapma					247,03	0,44
T-6.1	PLA	9492	+°45/-°45	100	1364,38	1,22
T-6.2	PLA	9492	°45/-°45	100	1439,69	1,54
T-6.3	PLA	9492	°45/-°45	100	1443,44	1,47
T-6.4	PLA	9492	°45/-°45	100	1382,50	1,47
T-6.5	PLA	9492	°45/-°45	100	1225,94	1,25
T-6 Ortalama					1371,19	1,39
T-6 Std. Sapma					88,29	0,14
T-7.1	PLA	9466	°0	75	1363,75	1,20
T-7.2	PLA	9466	°0	75	1339,38	1,23
T-7.3	PLA	9466	°0	75	1358,44	1,22
T-7.4	PLA	9466	°0	75	1412,81	1,31
T-7.5	PLA	9466	°0	75	1321,25	1,18
T-7 Ortalama					1359,13	1,23
T-7 Std. Sapma					34,38	0,05
T-8.1	PLA	9466	°0/°90	100	1430,00	1,28
T-8.2	PLA	9466	°0/°90	100	1405,31	1,26
T-8.3	PLA	9466	°0/°90	100	1483,44	1,28
T-8.4	PLA	9466	°0/°90	100	1494,69	1,33
T-8.5	PLA	9466	°0/°90	100	1636,25	1,62
T-8 Ortalama					1489,94	1,35
T-8 Std. Sapma					89,75	0,14
T-9.1	PLA	9466	°45/-°45	50	1590,00	3,70
T-9.2	PLA	9466	°45/-°45	50	1577,81	3,49
T-9.3	PLA	9466	°45/-°45	50	1586,56	3,52
T-9.4	PLA	9466	°45/-°45	50	1595,63	3,51
T-9.5	PLA	9466	°45/-°45	50	1536,25	4,42
T-9 Ortalama					1577,25	3,73
T-9 Std. Sapma					23,81	0,39

Çizelge 5.2. ABS malzemeden üretilen yapıştırma bağlantılarının deney sonuçları.

Tip No	Malzeme	Yapıştırıcı	Raster açısı	Doluluk oranı (%)	Hasar Yüğü (N)	Maksimum Uzama (mm)
T-10.1	ABS	DP460	°0	100	1079,38	1,07
T-10.2	ABS	DP460	°0	100	1396,56	1,40
T-10.3	ABS	DP460	°0	100	1156,25	1,26
T-10.4	ABS	DP460	°0	100	1308,75	1,36
T-10.5	ABS	DP460	°0	100	1237,19	1,24
T-10 Ortalama					1235,63	1,27

Çizelge 5.2 (devam). ABS malzemeden üretilen yapıştırma bağlantılarının deney sonuçları.

T-10 Std. Sapma					124,46	0,12
T-11.1	ABS	DP460	°0/°90	50	1135,63	2,15
T-11.2	ABS	DP460	°0/°90	50	971,250	1,99
T-11.3	ABS	DP460	°0/°90	50	1109,69	2,09
T-11.4	ABS	DP460	°0/°90	50	1069,69	1,95
T-11.5	ABS	DP460	°0/°90	50	1140,63	2,23
T-11 Ortalama					1085,38	2,08
T-11 Std. Sapma					69,71	0,11
T-12.1	ABS	DP460	°45/-°45	75	1140,12	1,19
T-12.2	ABS	DP460	°45/-°45	75	1041,25	1,56
T-12.3	ABS	DP460	°45/-°45	75	1317,50	1,91
T-12.4	ABS	DP460	°45/-°45	75	1075,06	1,48
T-12.5	ABS	DP460	°45/-°45	75	1174,38	1,67
T-12 Ortalama					1141,79	1,56
T-12 Std. Sapma					134,46	0,26
T-13.1	ABS	9492	°0	75	1949,69	2,84
T-13.2	ABS	9492	°0	75	2000,31	2,65
T-13.3	ABS	9492	°0	75	1725,94	2,13
T-13.4	ABS	9492	°0	75	1810,63	2,39
T-13.5	ABS	9492	°0	75	1870,51	1,61
T-13 Ortalama					1871,00	2,32
T-13 Std. Sapma					126,15	0,48
T-14.1	ABS	9492	°0/°90	100	1359,69	1,42
T-14.2	ABS	9492	°0/°90	100	1231,25	1,27
T-14.3	ABS	9492	°0/°90	100	1255,63	1,28
T-14.4	ABS	9492	°0/°90	100	1213,44	1,29
T-14.5	ABS	9492	°0/°90	100	1443,13	1,42
T-14 Ortalama					1300,63	1,34
T-14 Std. Sapma					97,76	0,07
T-15.1	ABS	9492	°45/-°45	50	823,438	1,64
T-15.2	ABS	9492	°45/-°45	50	1094,06	2,37
T-15.3	ABS	9492	°45/-°45	50	915,02	1,40
T-15.4	ABS	9492	°45/-°45	50	803,125	1,66
T-15.5	ABS	9492	°45/-°45	50	946,250	2,26
T-15 Ortalama					916,75	1,86
T-15 Std. Sapma					134,65	0,42
T-16.1	ABS	9466	°0	100	1145,94	1,15
T-16.2	ABS	9466	°0	100	1201,56	1,21
T-16.3	ABS	9466	°0	100	1166,56	1,17
T-16.4	ABS	9466	°0	100	1132,19	1,17
T-16.5	ABS	9466	°0	100	1117,19	1,13
T-16 Ortalama					1152,69	1,17

Çizelge 5.2 (devam). ABS malzemeden üretilen yapıştırma bağlantılarının deney sonuçları.

T-16 Std. Sapma					32,81	0,02
T-17.1	ABS	9466	°0/°90	50	978,438	1,79
T-17.2	ABS	9466	°0/°90	50	1051,56	1,93
T-17.3	ABS	9466	°0/°90	50	979,375	1,84
T-17.4	ABS	9466	°0/°90	50	1036,25	1,81
T-17.5	ABS	9466	°0/°90	50	1047,19	2,01
T-17 Ortalama					1018,56	1,88
T-17 Std. Sapma					36,62	0,09
T-18.1	ABS	9466	°45/-°45	75	1110,00	1,68
T-18.2	ABS	9466	°45/-°45	75	1310,63	2,23
T-18.3	ABS	9466	°45/-°45	75	1306,25	1,95
T-18.4	ABS	9466	°45/-°45	75	1389,69	2,14
T-18.5	ABS	9466	°45/-°45	75	1186,25	1,83
T-18 Ortalama					1260,56	1,97
T-18 Std. Sapma					111,19	0,22

DeneySEL sonuçların daha iyi karşılaştırılabilmesi için numune tiplerine ait ortalama hasar yükleri Şekil 5.1’de sütun grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 5.2’de ise, çekme deneylerinde elde edilen ortalama değerlere en yakın kuvvet-uzama grafikleri referans alınarak, numune tiplerinin kuvvet-uzama eğrileri karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.1’de verilen sütun grafikte görüldüğü gibi, numune tiplerine bağlı olarak yapıştırma bağlantılarının hasar yüklerinde önemli değişimler gözlemlenmiştir. Maksimum hasar yükleri T-2 ve T-5 numune tiplerinde sırasıyla 1989 N ve 1968 N ölçülmüştür. T-2 numunesinin üretim parametreleri; PLA plaka, DP460 yapıştırıcı, 0°/90° raster açısı ve %75 dolgu oranıdır. T-5 numunesinin üretim parametreleri ise; PLA plaka, 9492 yapıştırıcı, 0°/90° raster açısı ve %75 dolgu oranıdır. Minimum hasar yükü T-15 numune tipinde ölçülmüştür. T-15 numunesinin üretim parametreleri; ABS plaka, 9492 yapıştırıcı, +45°/-45° raster açısı ve %50 dolgu oranıdır.

Yapıştırma bağlantılarında, hasarın yapıştırıcı bölgesinde adhezyon veya kohezyon hasarı formunda oluşması en çok karşılaşılan durumdur. Genellikle yapıştırıcı mukavemeti, yapıştırılan parçaların dayanımından daha düşüktür, dolayısıyla hasarın yapıştırıcı tabakasında oluşması normaldir. Özellikle metallerin yapıştırma bağlantılarında hasar yapıştırıcı tabakasında oluşmaktadır (Saraç, 2018).

Kompozitlerin yapıştırma bağlantılarında da benzer bir durum söz konusudur (Neto vd., 2012). Metal ve kompozitlerin dayanımlarının yapıştırılara göre çok yüksek olduğu bilinmektedir. Yapıştırma bağlantılarıyla ilgili, son zamanlarda çalışılan bir konu olan, FDM-3D baskı polimerlerin yapıştırma bağlantılarında ise üretim parametrelerine bağlı olarak, adezyon ve kohezyon hasarlarının yanında, yapıştırılan parçaların kırılması şeklinde hasar şekilleriyle karşılaşmaktadır (Çetin ve Fossi, 2023; Polat Çoban vd., 2023; Vamshinath, 2022). Polimer malzemeler ile yapıştırıcıların dayanım değerleri arasında çok önemli farklar yoktur. Özellikle FDM-3D baskıda kullanılan PLA ve ABS malzemelerin çekme dayanımları 40-50 MPa civarındadır, yapıştırıcıların dayanım değerleri de genellikle 30-40 MPa aralığındadır. Ayrıca 3D baskı parametreleri de mukavemeti önemli oranlarda düşürebilmektedir (Polat Çoban vd., 2023; Günay vd., 2020; Khosravani vd., 2022). Dolayısıyla FDM-3D baskı polimerlerin kullanıldığı yapıştırma bağlantılarında, bu çalışmadaki T-2 ve T-5 numunelerinde görüldüğü gibi üretim parametrelerinde bağlı olarak hasarın yapıştırılan plakalarda oluşması literatürle uyumludur.

Tek tesirli yapıştırma bağlantılarında, hasarın yapıştırıcı tabakasında oluşmadığı durumlarda, yapıştırılan plakaların dayanımı, bağlantı mukavemetini doğrudan etkilemektedir. Yapıştırılan malzeme olarak kullanılan FDM-3D baskı malzemelerin dayanımını da raster açısı gibi baskı parametreleri etkilemektedir. Günay vd. (2020), yaptıkları çalışmada, PLA+ filamentten %75, %100 dolgu oranlarında ve +45°/-45°, 0°/90° raster açılarında ürettikleri bulk numunelere çekme testleri uygulamışlardır. Çalışma sonunda en yüksek mukavemet değerleri 0°/90° raster açısında elde edilmiştir. +45°/-45° raster açısındaki numunelerde ise uzama miktarları, 0°/90° raster açısına göre çok daha yüksek bulunmuştur. Maksimum hasar yükünün elde edildiği T-2 ve T-5 numunelerinde, PLA plaka raster açısı 0°/90°'dir. Dolayısıyla, hasarın yapıştırıcı tabakasında oluşmadığı T-2 ve T-5 numune tiplerinde bağlantı mukavemetini etkileyen parametrelerden birisinin raster açısı olduğu düşünülmektedir.

Deneyler sonucunda genellikle ABS malzeme kullanılan numune tiplerinde düşük hasar yükleri elde edilmiştir. Bu durum, ABS filament kullanılarak üretilen plakaların yapışma performansının PLA'ya göre daha düşük olduğunu göstermektedir. Genel olarak polimer malzemelerin yüzey enerjileri oldukça

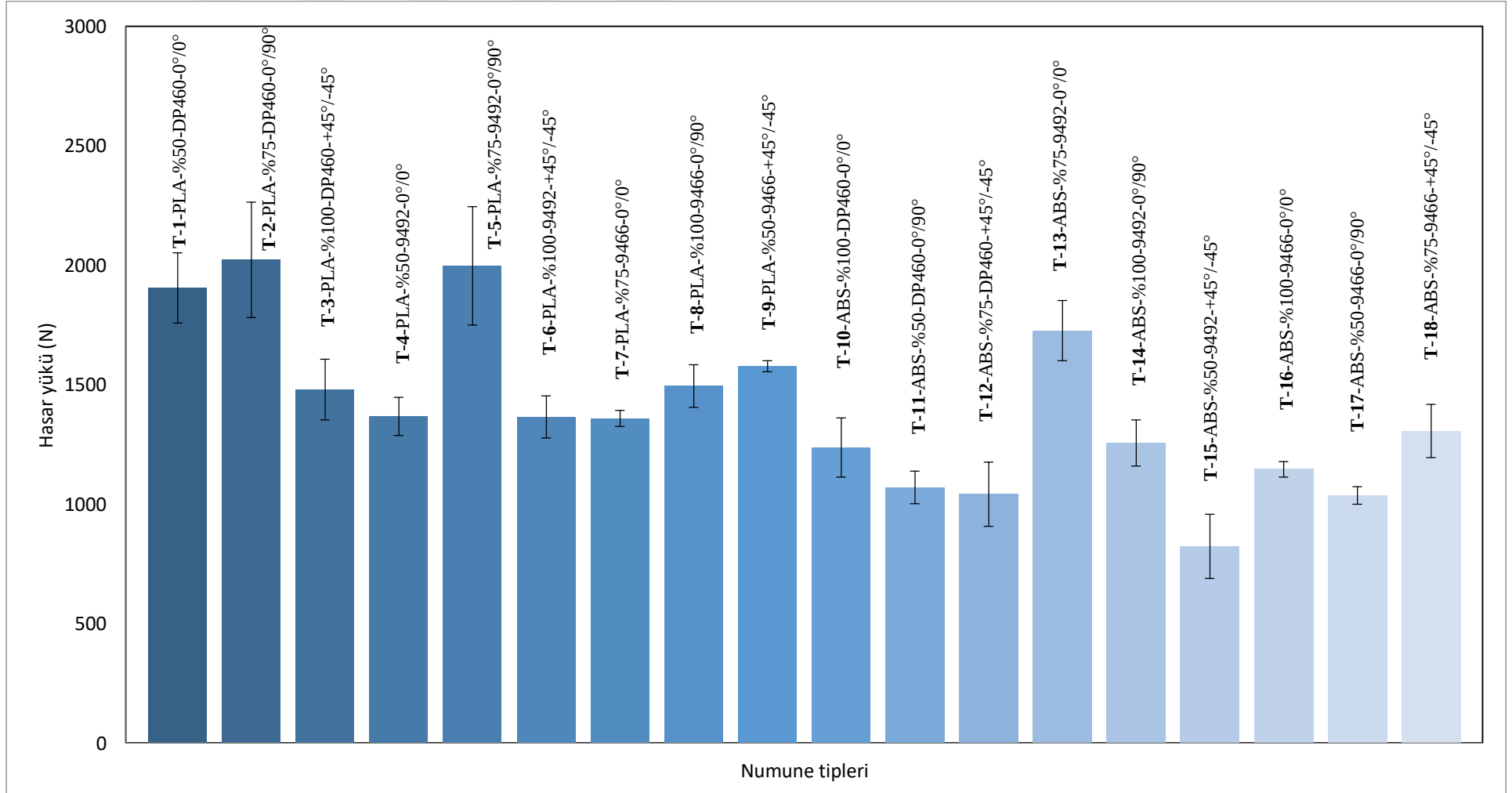
düşüktür. Bu durum yapışma performansını olumsuz etkilemektedir (Polat Çoban vd., 2023). Metal ve seramiklerin kolay yapıştırılabilirmelerinin en önemli nedenlerinden birisi de yüzey enerjilerinin yüksek olmasıdır. PLA'nın polimerler içerisinde yüksek yüzey enerjisiyle 3D baskıya uygun olduğu belirtilmiştir (URL-4). Benzer yaklaşım PLA malzemelerin yapıştırma bağlantıları için de düşünülebilir.

Şekil 5.2'de verilen numune tiplerine ait kuvvet uzama grafiği incelendiğinde, T-9 numunesinin diğer numunelere göre hasar öncesi belirgin bir şekilde daha yüksek uzama göstermesi dikkat çekmektedir. T-9 numunesinin üretim parametreleri; PLA plaka, 9466 yapıştırıcı, $+45^{\circ}/-45^{\circ}$ raster açısı ve %50 dolgu oranıdır. T-9 numunesinin hasar yükü 1577 N olarak birçok numune tipinden yüksek bir değerde ölçülmüştür. Şekil 5.2'de görüldüğü gibi T-9 numunesinde hasar PLA plakalarda oluşmuştur. Gültekin vd. (2024), yaptığı deneysel çalışmada PLA bulk numunelerde dolgu oranı ve raster açısının dayanım ve rijitliği etkilediğini belirtmişlerdir. Dolgu oranının %75'ten %100'e çıkmasıyla dayanım ve rijitlik artmıştır. 0° raster açısında, 45° raster açısına göre dayanım ve rijitlik daha yüksek bulunmuştur. Karabıyık ve Apak (2021), yaptıkları çalışmada dolgu oranının artmasının PLA numunelerin dayanımını arttırdığını buna karşın bazı numunelerde uzama miktarlarında azalmalar olduğunu rapor etmişlerdir. Buna göre; T-9 numune tipinde, dolgu oranının düşük olması ve raster açısının çekme doğrultusuna göre $+45^{\circ}/-45^{\circ}$ olmasının rijitliği düşürdüğü bunun sonucunda da deplasmanın arttığı düşünülmektedir.

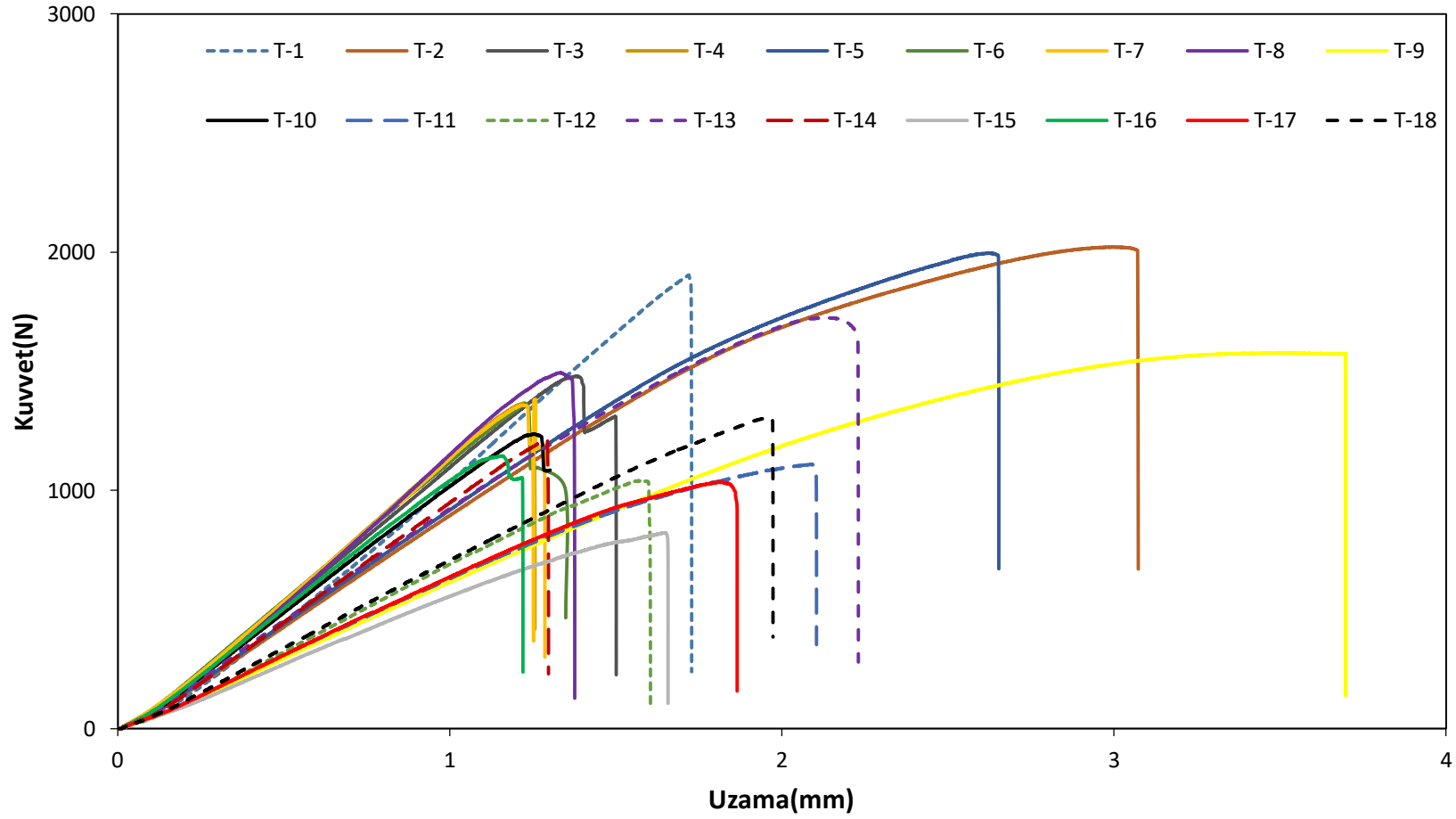
Yapıştırma bağlantılarında, yapıştırılan plakaların rijitliğinin yapıştırıcı tabakasında oluşan gerilme dağılımı üzerinde çok önemli bir etkisi bulunmaktadır. Yapıştırma bağlantılarıyla ilgili genel tasarım prensibi, yapıştırıcı tabakasına etki eden yükün kayma zorlaması oluşturacak şekilde etki etmesinin sağlanmasıdır. Çünkü yapıştırıcıların çekme ve soyulma zorlamasına karşı dirençleri düşüktür (Şekercioğlu, 2018). Özellikle tek tesirli yapıştırma bağlantılarında, bağlantıya uygulanan yükün yapıştırma bölgesi uç kısımlarında (bindirme bölgesi uç kısımları) dönme etkisiyle gerilme yığılmaları oluşturduğu ve buna bağlı olarak yapıştırıcı tabakası uç kısımlarında soyulma (peeling) etkisinin hasara neden olduğu çok sayıda çalışmada vurgulanmıştır (Adin vd., 2010; Çalık ve Yıldırım, 2017; Saraç, 2020; Saraç, 2021). Yapıştırılan plakaların rijitliği, bindirme uç bölgelerinde oluşan dönme momentini etkilemektedir. Rijitliği düşük olan malzemeler daha fazla dönme etkisi

göstererek yapıştırıcı tabakasında gerilme yığılmalarına neden olmaktadır. Yüksek rijitliğe sahip malzemeler ise yapıştırıcı tabakasında daha düzgün bir gerilme dağılımı oluşmasını sağlayarak bağlantı dayanımının artmasına neden olmaktadır. FDM-3D baskı malzemelerin rijitliğini baskı parametreleri doğrudan etkilemektedir. Böylece düşük rijitliğe sahip olan FDM-3D plakalar yapıştırma bölgesinde dönme etkisiyle deforme olarak soyulma etkisinin artmasına neden olmaktadır. Soyulma etkisi ise yapıştırıcı bölgesinde gerilme yığılmalarına neden olarak yapıştırıcı hasarını hızlandırmaktadır. Bu çalışmada, özellikle %50 dolgu oranı ve $+45^{\circ}/-45^{\circ}$ raster açısı kombinasyonunda üretilen plaka kullanılan yapıştırma bağlantılarında hasarın nedenlerinden birisinin bu olduğu düşünülmektedir. Günay vd. (2020), yaptığı çalışmada $+45^{\circ}/-45^{\circ}$ raster açısında üretilen PLA numunelerin $0^{\circ}/90^{\circ}$ raster açısında üretilen numunelere göre rijitliğinin çok düşük olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde Gültekin vd., (2024), dolgu oranı ve raster açısının rijitliği etkilediğini yaptığı çalışmada göstermişlerdir.

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi, maksimum hasar yükünün elde edildiği T-2 ve T-5 numunelerinde de diğer numune tiplerine göre belirgin bir şekilde hasar öncesi daha fazla uzama meydana gelmiştir. T-2 ve T-5 numunelerinde hasar Şekil ve Şekilde görüldüğü gibi PLA plakalarda meydana gelmiştir. Bu durumda, yapıştırıcı tabakası yük taşımaya devam etmiş ve %75 dolgu oranına sahip PLA plakaların dolgu boşlukları şekil değiştirmeye katkı vermiştir. Khosravani vd. (2021), FDM-3D baskı yöntemiyle ürettiği PETG (Polyethylene terephthalate glycol) plakaların yapışma performansını SLJ numunelerde çekme testleriyle araştırmıştır. Yapılan deneyler sonunda, 3 farklı hasar modu gözlemlenmiştir. Bunlar; adhezyon, kohezyon ve yapıştırılan plaka (adherend) hasarlarıdır. Bu hasar tiplerinin görüldüğü numunelere ait çekme-uzama grafikleri incelendiğinde, en büyük hasar yükü ve uzama miktarları plaka hasarının olduğu numunelerde görülmüştür. Adhezyon hasarının olduğu numunelerde ise hasar yükü ve şekil değiştirme miktarları çok daha düşük çıkmıştır. Benzer bir durumla T-2 ve T-5 numune tiplerinde karşılaşmıştır.



Şekil 5.1. Numunelere ait ortalama hasar yükleri.



Şekil 5.2. Numunelere ait kuvvet-uzama eğrileri.

5.2. Taguchi Analiz Sonuçları

Taguchi L_{18} deney planına göre üretilen yapıştırma bağlantılarının ortalama hasar yükleri deneysel olarak belirlendikten sonra, kontrol parametrelerini optimize etmek için S/N oranları kullanılmıştır. Çizelge 5.3’de, her deneyin 5 defa tekrarlanması sonucu elde edilen ortalama hasar yükleri, S/N oranları, tahmini hasar yükleri ve tahmini S/N oranları verilmiştir.

Çizelge 5.3. Ortalama hasar yükleri ve S/N oranları.

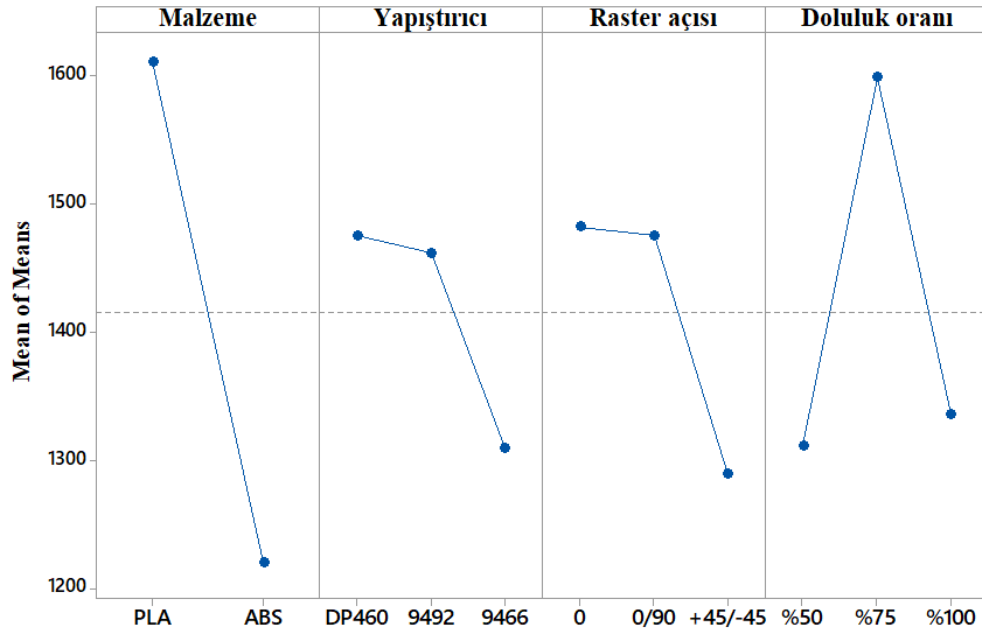
Deney no	Parametreler ve seviyeleri				Deneysel ortalama hasar yükü (Std. Sap.) (N)	Taguchi tahmini hasar yükü (N)	S/N oranları	Tahmini S/N oranları
	Malzeme	Yapıştırıcı	Raster açısı (°)	Dolgu oranı (%)				
1	PLA	DP460	0	50	1930,56 (147)	1728,40	65,71	64,71
2	PLA	DP460	0/90	75	1989,94 (242)	1883,86	65,97	65,47
3	PLA	DP460	-45/+45	100	1467,56 (127)	1398,69	63,33	62,87
4	PLA	9492	0	50	1342,31 (79)	1715,16	62,55	64,61
5	PLA	9492	0/90	75	1968,88 (247)	1870,62	65,88	65,38
6	PLA	9492	-45/+45	100	1371,19 (88)	1385,44	62,74	62,77
7	PLA	9466	0	75	1359,13 (34)	1563,47	62,66	63,67
8	PLA	9466	0/90	100	1489,94 (89)	1544,56	63,46	63,88
9	PLA	9466	-45/+45	50	1577,25 (24)	1406,56	63,95	62,89
10	ABS	DP460	0	100	1235,63 (124)	1237,57	61,83	61,79
11	ABS	DP460	0/90	50	1085,38 (69)	1170,24	60,71	60,98
12	ABS	DP460	-45/+45	75	1141,79 (134)	1432,10	61,15	62,87
13	ABS	9492	0	75	1871,64 (126)	1575,25	65,44	63,72
14	ABS	9492	0/90	100	1300,63 (97)	1379,27	62,28	62,63
15	ABS	9492	-45/+45	50	916,75 (134)	845,67	59,24	59,01
16	ABS	9466	0	100	1152,69 (32)	1072,11	61,23	60,92
17	ABS	9466	0/90	50	1018,56 (37)	1004,78	60,15	60,11
18	ABS	9466	-45/+45	75	1260,56 (112)	1266,64	62,01	62,00

Kontrol faktörlerinin ortalama hasar yükü üzerindeki etkisini incelemek için S/N yanıt tablosu ve ortalama etki grafikleri kullanılmıştır (Çizelge 5.4 ve Şekil 5.3). Buna göre Çizelge 5.4 ve Şekil 5.3 incelendiğinde, ortalama hasar yükü için, en

uygun malzemenin 1. seviyede olan PLA, en uygun yapıştırıcının 1. seviyede olan DP460, en uygun raster açısının 1. seviyede olan 0° ve en uygun dolgu oranının 2. seviyede olan %75 olduğu S/N oranlarından anlaşılmaktadır. Bu parametre seviyeleri içerisinde malzeme, yapıştırıcı ve dolgu oranı için en iyi sonuçların sırasıyla, PLA malzemede, DP460 yapıştırıcıda ve %75 dolgu oranında bulunduğu Taguchi analizi sonuçlarına göre söylenebilir. Ancak raster açısının 1. ve 2. seviyeleri (0° ve $0^\circ/90^\circ$) S/N oranları arasındaki fark oldukça düşüktür. Dolayısıyla maksimum hasar yükünün elde edilebileceği ideal parametre kombinasyonları bu durum dikkate alınarak 2 şekilde belirlenmiştir (Çizelge 5.5).

Çizelge 5.4. Ortalama hasar yükü S/N yanıt tablosu.

Faktör seviyesi	Kontrol faktörleri			
	Malzeme	Yapıştırıcı	Raster açısı	Doluluk oranı
1	64,03	63,01	63,11	61,98
2	61,35	62,82	63,08	63,61
3		62,25	61,89	62,48
Delta	2,68	0,76	1,23	1,63
Rank	1	4	3	2

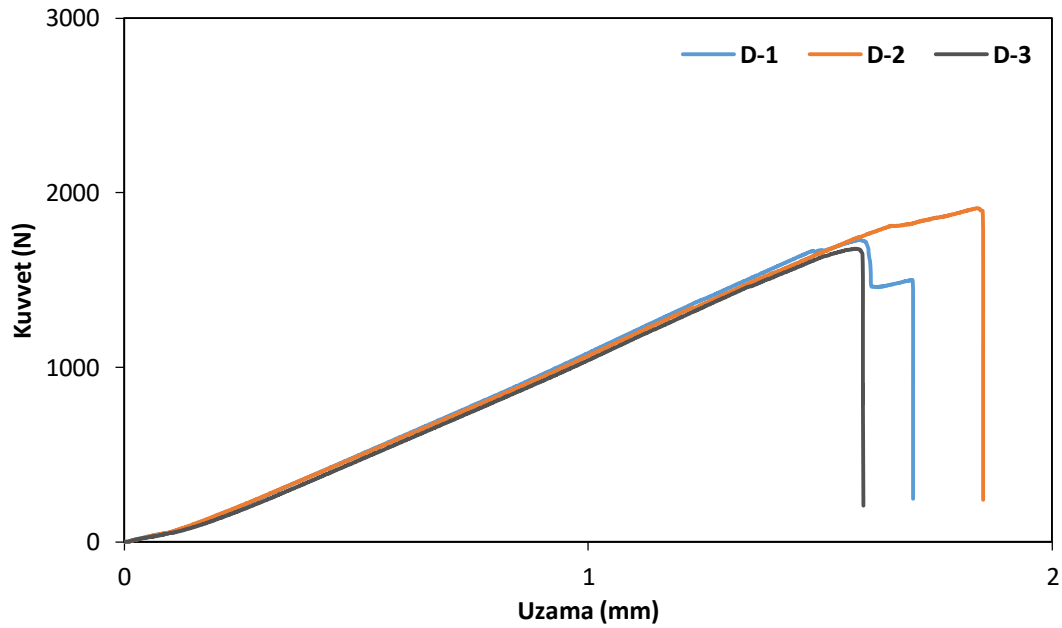


Şekil 5.3. Ortalamalar için ana etki grafiği.

Çizelge 5.5’de gösterilen, 2 numaralı kombinasyonun etkisi deney planında olan 2 numaralı deneyle ölçülmüştür, 2 numaralı kombinasyona ait deneysel ve tahmin değerleri uyumludur. Çizelge 5.5’de gösterilen 1 numaralı kombinasyon Taguchi deney planında bulunmamaktadır ve bu kombinasyonun Taguchi analizine göre tahmini hasar yükü 1728,92 N’dur. Buna göre doğrulama deneyi yapmak amacıyla, Çizelge 5.5’de gösterilen 1 numaralı kombinasyona göre 3 adet yapıştırma bağlantı numunesi üretilerek çekme deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda 1 numaralı kombinasyon için ortalama hasar yükü 1773,55 N olarak bulunmuştur. Bu durumda yapılan deneysel çalışma ve Taguchi tahmin değerleri arasındaki uyumun oldukça iyi olduğu görülmüştür. Çizelge 5.5’de gösterilen 1 numaralı kombinasyona ait doğrulama deneyleri çekme uzama grafikleri Şekil 5.4’de sunulmuştur.

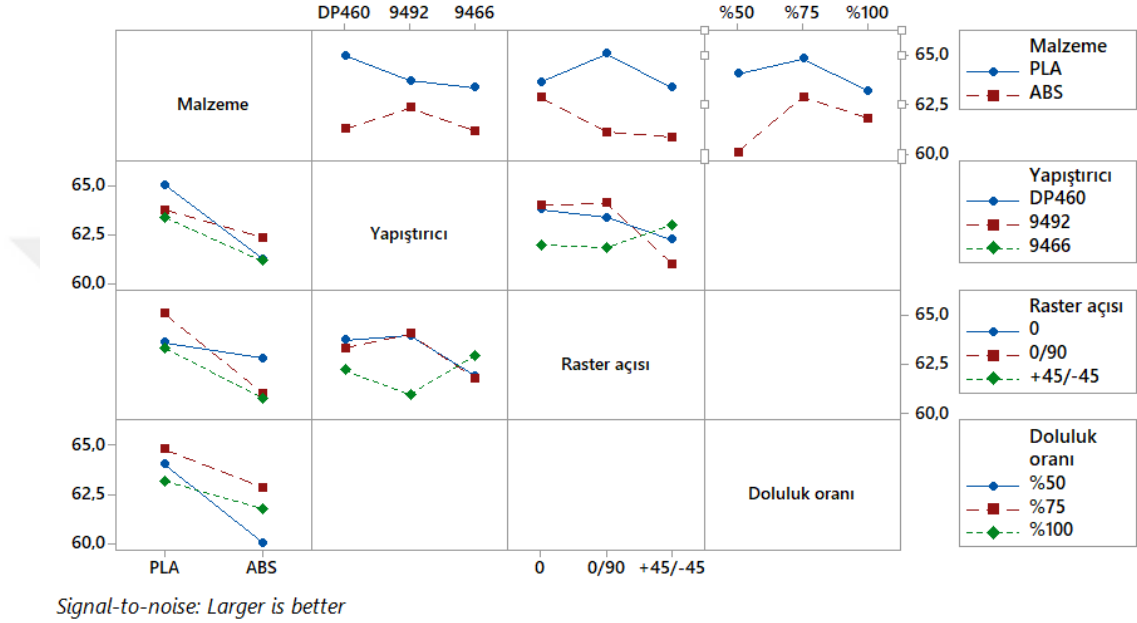
Çizelge 5.5. İdeal parametre kombinasyonları.

No	Parametreler ve seviyeleri				Deneysel ortalama hasar yükü (N)	Taguchi tahmini hasar yükü (N)
	Malzeme	Yapıştırıcı	Raster açısı (°)	Dolgu oranı (%)		
1	PLA	DP460	0	%75	1773,55	1728,92
2	PLA	DP460	0/90	%75	1989,94	1883,86



Şekil 5.4. Doğrulama deneyleri çekme uzama grafikleri.

Taguchi analizi sonucunda elde edilen parametre etkileşim grafiği Şekil 5.5’de gösterilmiştir. Etkileşim grafiklerinde, çizgilerin düz olması etkileşim olmadığı anlamına gelmektedir. Grafikteki doğruların eğimli olması parametreler arasında güçlü etkileşimler olduğunu göstermektedir. Şekil 5.5’de verilen parametre etkileşim grafikleri incelenecek olursa, parametreler arasında güçlü etkileşimler olduğu söylenebilir.



Şekil 5.5. Parametre etkileşimleri grafiği.

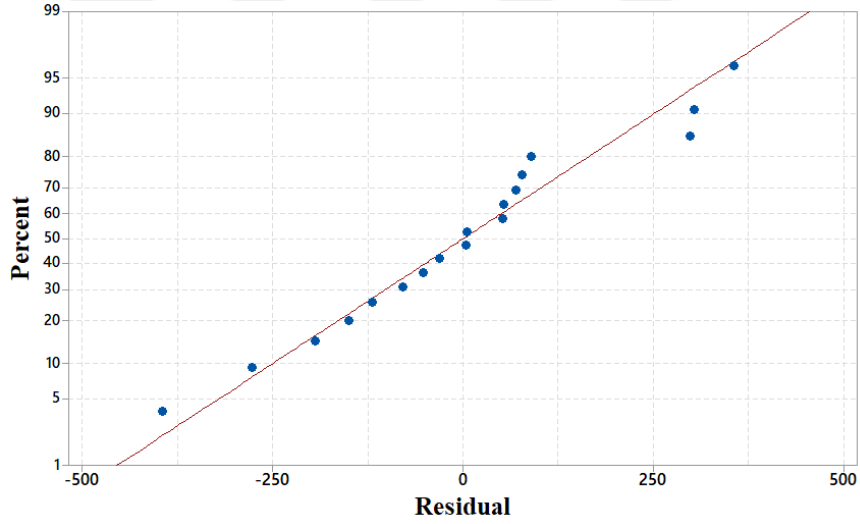
5.3. ANOVA Analizi Sonuçları

Taguchi analizinden sonra, hangi parametrelerin ortalama hasar yükü üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu veya olmadığı ANOVA analiziyle ölçülmüştür. Çizelge 5.6’da ortalama hasar yükleri kullanılarak yapılan ANOVA sonuçları gösterilmiştir. Çizelge 5.6’da %95 güven seviyesinde ve 0,05 anlamlılık düzeyinde malzeme parametresinin istatistiksel açıdan anlamlı olduğunu belirtmektedir. Bunun yanında, her faktörün ortalama hasar yüküne katkısı Tabloda görülmektedir. Buna göre sonuç üzerinde en önemli katkıyı % 36,41 ile malzeme faktörü sağlamıştır. Malzeme parametresinden sonra %16,11 katkıyla dolgu oranı gelmektedir. Raster açısının katkısı %7,64, yapıştırıcının katkısı ise % 5,39 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.6. Varyans analizi.

Kaynak	SD	Seq SS	Katkı	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Malzeme	1	685671	36,41%	685671	685671	10,57	0,009
Yapıştırıcı	2	101438	5,39%	101438	50719	0,78	0,484
Raster açısı	2	143903	7,64%	143903	71952	1,11	0,367
Doluluk oranı	2	303459	16,11%	303459	151730	2,34	0,147
Hata	10	648835	34,45%	648835	64883		
Toplam	17	1883307	100,00%				

ANOVA analizlerinde, varyasyon ve model uyumunu incelemek amacıyla artık grafiklerinden faydalanılmaktadır. Artık grafiği, bir veri setinin genel olarak normal dağılıp dağılmadığı hakkında bilgi vermektedir. Yapılan çalışma için ortalama hasar yükleri normal olasılık grafiği Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, hataların normal bir dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 5.6. Ortalama hasar yükü için normal olasılık grafiği.

5.4. Regresyon Analizi Sonuçları

Regresyon analizi bir bağımlı değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak modellemek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada bağımlı değişken ortalama hasar yükü (HY), bağımsız değişkenler ise malzeme tipi (A), yapıştırıcı tipi (B), raster açısı (C) ve dolgu oranıdır (D). Regression analizi, lineer ve poisson regresyon yaklaşımları kullanılarak yapılmıştır. Lineer regresyon bağıntısı Eşitlik 5.1'de, poisson regression bağıntısı Eşitlik 5.2'de

verilmiştir. Çizelge 5.7’de deneysel hasar yükleri, Taguchi ve regresyon analizleri sonucu elde edilen tahmini hasar yükleri verilmiştir.

$$H_{yL} = 1633 + 0,0A1 - 390A2 + 0,0B1 - 13B2 - 165B3 + 0,0C1 - 6C2 - 193C3 + 0,0D1 + 287D2 + 24D3 \quad (5.1)$$

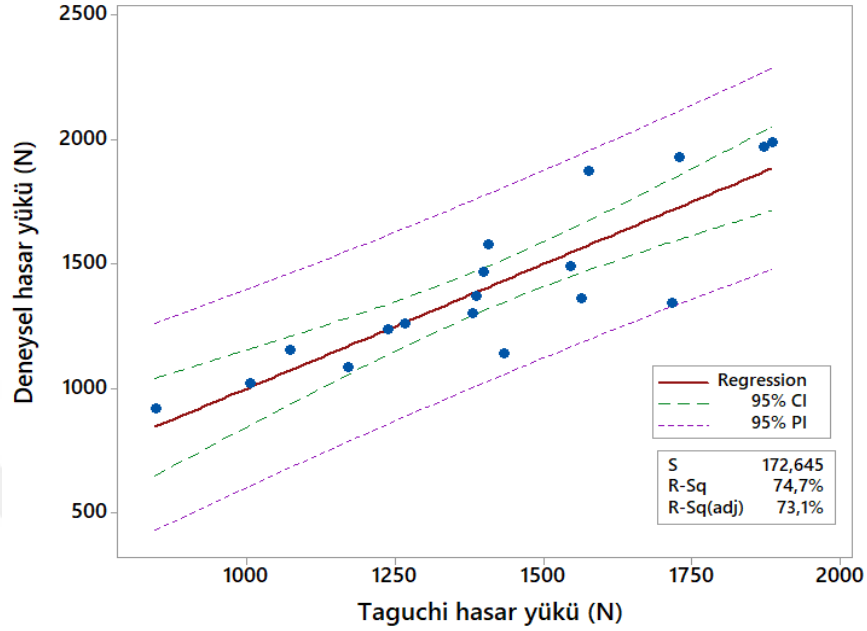
$$H_{yP} = \exp(7,3966 + 0,0A1 - 0,2735A2 + 0,0B1 - 0,0127B2 - 0,1203B3 + 0,0C1 - 0,0191C2 - 0,1343C3 + 0,0D1 + 0,1947D2 + 0,0284D3) \quad (5.2)$$

Çizelge 5.7. Deneysel hasar yükleri, Taguchi ve regresyon analizleri sonucu elde edilen tahmini hasar yükleri.

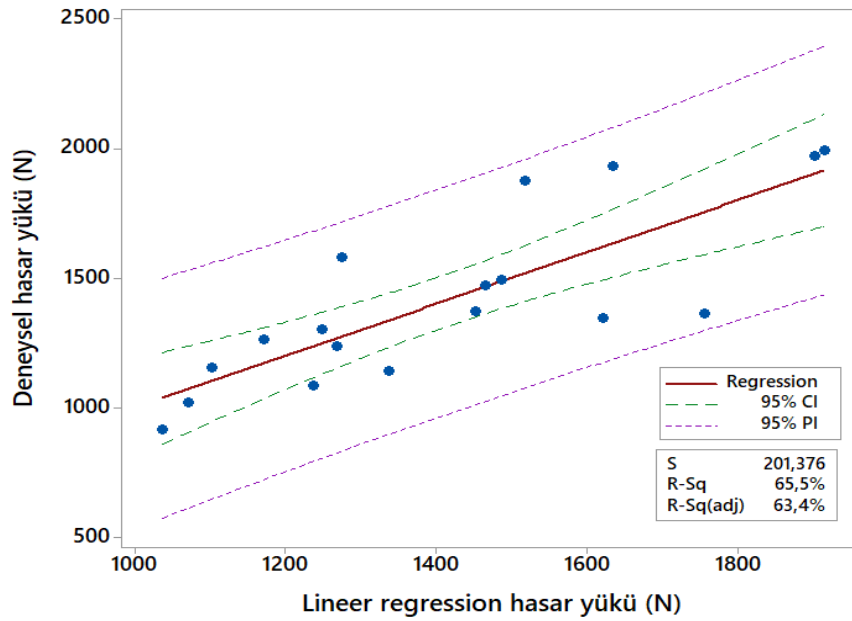
Deneysel no	Deneysel ortalama hasar yükü (N)	Taguchi tahmini hasar yükü (N)	Lineer regresyon tahmini hasar yükü (N)	Poisson regresyon tahmini hasar yükü (N)
1	1930,56	1728,40	1632,96	1630,45
2	1989,94	1883,86	1913,37	1943,36
3	1467,56	1398,69	1464,62	1466,64
4	1342,31	1715,16	1619,71	1609,84
5	1968,88	1870,62	1900,13	1918,80
6	1371,19	1385,44	1451,38	1448,11
7	1359,13	1563,47	1754,36	1756,34
8	1489,94	1544,56	1485,54	1459,23
9	1577,25	1406,56	1274,69	1263,98
10	1235,63	1237,57	1267,08	1276,08
11	1085,38	1170,24	1236,17	1216,86
12	1141,79	1432,10	1336,66	1317,47
13	1871,64	1575,25	1516,22	1487,80
14	1300,63	1379,27	1247,40	1236,12
15	916,75	845,67	1036,56	1070,73
16	1152,69	1072,11	1101,63	1131,46
17	1018,56	1004,78	1070,72	1078,95
18	1260,56	1266,64	1171,20	1168,16

Deneysel sonuçlarla tahmin modelleri arasındaki uyum durumu Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil 5.7’de deneysel sonuçlarla Taguchi tahmin modeli, Şekil 5.8’de deneysel sonuçlarla lineer regression tahmin modeli ve Şekil 5.9’da deneysel sonuçlarla poisson regression tahmin modeli karşılaştırılmıştır. Grafiklerde gösterilen R-Sq (R^2) değerleri dikkate alındığında

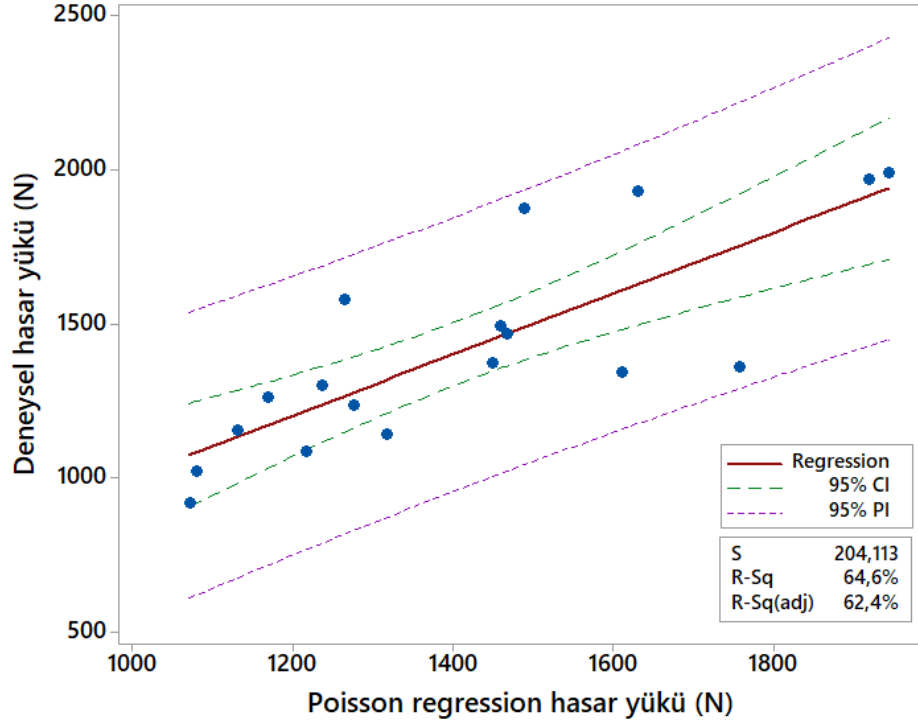
deneysel sonuçlarla en uyumlu tahmin modelinin Taguchi modeli olduğu görülmektedir. Taguchi modelinde R^2 değeri yaklaşık %75 çıkarken, lineer regression ve poisson regression tahmin modellerinde R^2 değeri sırasıyla %65,5 ve %64,6 bulunmuştur.



Şekil 5.7. Deneysel sonuçlarla Taguchi tahmin modeli.



Şekil 5.8. Deneysel sonuçlarla lineer regression tahmin modeli.



Şekil 5.9. Deneysel sonuçlarla poisson regression tahmin modeli.

5.5. Hasar Değerlendirmesi

Hasar yükünün maksimum çıktığı T-2 ve T-5 numunelerinde hasarın genellikle plaka kırılması şeklinde olduğu gözlemlenmektedir.

PLA plakaların kullanıldığı bağlantı tiplerinde, maksimum dayanımın elde edildiği T-2 ve T-5 numune tipleri dışında, hasar genellikle adhezyon ve kohezyon hasarı şeklinde oluşmuştur. Ancak baskın hasar tipi adhezyon hasarıdır. T-9 numunelerinde görülen hasarın plakada gerçekleşmesinin temel nedeninin ise plakanın dolgu yoğunluğunun %50 olmasıdır. Düşük yoğunluk plakanın dayanımını düşürdüğü için hasar yapıştırıcı tabakasından önce plakada oluşmuştur.

ABS plakaların kullanıldığı bağlantı tiplerinden, T-11 ve T-13 numunelerinin bazılarında hasarın plakalarda olduğu görülmektedir. Bunun dışında kalan bütün ABS numune tiplerinde hasar, yapıştırıcı tabakasından adhezyon/kohezyon hasarı şeklinde gözlemlenmiştir. Ancak adhezyon hasarı daha yaygındır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; FDM eklemeli imalat yöntemi ile PLA ve ABS filament kullanılarak üretilen malzemelerin yapıştırılmasında baskı parametrelerinin (raster açısı, doluluk oranı) ve yapıştırıcı tipinin bağlantı mukavemetine etkisi tek tesirli yapıştırma bağlantısı geometrisi kullanılarak çekme deneyleriyle araştırılmıştır. Üretim parametrelerinin deneysel sonuçlara etkisi Taguchi ve ANOVA analizleriyle yorumlanmıştır. Bağımlı değişken olan hasar yükü ve bağımsız değişkenler olan üretim parametreleri arasındaki ilişki regression analizleri ile modellenmiştir. Yapılan çalışma sonunda elde edilen genel sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Çekme deneyleri sonucunda maksimum hasar yükü 1989 N, minimum hasar yükü 916 N olarak ölçülmüştür. Maksimum ve minimum hasar yükü arasında % 117 gibi önemli bir fark oluşmuştur. Böylece deneysel çalışmanın temel hipotezi olan FDM-3D baskı parçaların yapışma performansına üretim parametrelerinin etki etme potansiyeli belirgin bir açığa çıkmıştır.
- Maksimum hasar yükü 1989 N, T-2 numune tipinde, PLA malzeme, DP460 yapıştırıcı, 0°/90° raster açısı ve %75 dolgu oranı üretim parametrelerinde elde edilmiştir. Bunun yanında; T-5 numune tipinde (PLA malzeme, 9492 yapıştırıcı, 0°/90° raster açısı ve %75 dolgu oranı) hasar yükü 1968 N, T-1 numune tipinde (PLA malzeme, DP460 yapıştırıcı, 0° raster açısı ve %50 dolgu oranı) hasar yükü 1930 N olarak maksimum hasar yüküne yakın ölçülmüştür.
- Minimum hasar yükü 916 N, T-15 numune tipinde, ABS malzeme, 9492 yapıştırıcı, +45°/-45° raster açısı ve %50 dolgu oranı üretim parametrelerinde elde edilmiştir.
- Maksimum hasar yükünün elde edildiği numune tipinde (T-2) hasar plakalarda oluşmuştur. Yapıştırıcı bölgesinde hasar gözlemlenmemiştir. Maksimum hasar yüküne yakın hasar yükü değerlerinin elde edildiği numune tiplerinde de (T-1 ve T-5) hasar genellikle bağlantı plakalarının kırılması şeklinde oluşmuştur.
- Minimum hasar yükünün elde edildiği bağlantı tipinde (T-15) hasar yapıştırıcı tabakasında adezyon hasarı şeklinde oluşmuştur.

- Yapılan çalışma sonucunda, PLA filamentten üretilen plakaların yapışma performansı ABS filamentten üretilen plakalara göre belirgin bir şekilde daha iyi çıkmıştır. ABS filament kullanılan numune tiplerinin büyük çoğunluğunda hasar yapıştırıcı bölgesinde oluşmuştur.
- Çalışmanın en önemli sonuçlarından biri olarak düşünülen, numune üretiminde %100 dolgu oranını kullanıldığı durumlarda hasar yükü belirgin bir şekilde azalmıştır.
- Bu çalışma kapsamında, S/N analizi sonuçlarına göre yapıştırma bağlantılarında maksimum performans elde etmek için en uygun malzemenin PLA, en uygun yapıştırıcının DP460, en uygun raster açısının 0° ve en uygun dolgu oranının %75 olduğu anlaşılmaktadır. Ancak raster açısının 1. ve 2. seviyeleri (0° ve $0^\circ/90^\circ$) S/N oranları arasındaki fark oldukça düşüktür. Dolayısıyla $0^\circ/90^\circ$ raster açısında optimum parametre olarak değerlendirilebilir.
- Taguchi analizi sonucunda elde edilen parametre etkileşim grafiklerine göre, parametreler arasında güçlü etkileşimler olduğu anlaşılmıştır.
- ANOVA sonuçlarına göre, hasar yükünü etkileyen en önemli parametrenin malzeme olduğu anlaşılmıştır. Daha sonra sırasıyla; dolgu oranı, raster açısı ve yapıştırıcı tipi hasar yükünü etkilemiştir (Malzeme katkı oranı: % 36,41, dolgu yoğunluğu katkı oranı: %16,11, raster açısı katkı oranı %7,64 ve yapıştırıcı katkı oranı: % 5,39)
- Yapılan çalışma için ortalama hasar yükleri normal olasılık grafiğine göre hatalar normal bir dağılım göstermiştir.
- Deneysel sonuçlarla en uyumlu tahmin modelinin Taguchi modeli olmuştur. Taguchi modelinde R^2 değeri yaklaşık %75 çıkarken, lineer regression ve poisson regression tahmin modellerinde R^2 değeri sırasıyla %65,5 ve %64,6 bulunmuştur.

3D baskı malzemelerin yapıştırma bağlantılarıyla birleştirilmesini etkileyen parametreler oldukça fazladır. Bu çalışmada da gösterildiği gibi ABS parçaların yapışma performansının PLA malzemeye göre oldukça düşük olması dikkat çekmektedir. İleride, 3D baskı ABS parçaların yapışma performansını arttırmaya yönelik çalışmalar yapılabilir. Yapılan bu çalışmada epoksi tipi yapıştırıcılar kullanılmıştır, farklı tip yapıştırıcılar kullanılmasının yapışma performansına etkileri

incelenebilir. Yapılan çalışmada, dolgu oranı parametresinin oldukça önemli olduğu görülmüştür. Dolgu oranının malzeme maliyetleri ve üretim hızlarını etkilediği bilinmektedir. Dolayısıyla farklı dolgu oranlarında benzer çalışmalar yapılarak optimum dolgu oranları yapıştırıcı tiplerine göre belirlenir. Ayrıca baskı parametrelerinin çeşitliliği düşünüldüğünde benzer çalışmalar farklı parametre ve seviyeleri yapılarak yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Adin, H., İşcan, B., ve Turgut, A., 2010. The effect of angle adhesive with bonded in Z type materials. *Engineering Sciences*, 5, 2, 370-380.
- Akpınar, I. A., Gültekin, K., Akpınar, S., Akbulut, H., ve Ozel, A., 2017. Experimental analysis on the single-lap joints bonded by a nanocomposite adhesives which obtained by adding nanostructures, *Composites Part B: Engineering*, 110, 420-428.
- Anaç, N., Koçar, O., ve Hazer, B., 2022. Katmanlı imalatla üretilen parçaların birleştirilmesinde yapıştırma bağlantı dayanımının incelenmesi, *Int. J. Of 3d Printing Tech. Dig. Ind.*, 6, 3, 449-458.
- Anagün, A. S., 2000. Kalite kontrolde ileri teknikler ders notları, Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, 1-40
- Ando, M., Birosz, M., ve Jeganmohan S., 2021. Surface bonding of additive manufactured parts from multi-colored pla materials, *Measurement Dergisi*, 169, 1, 108583.
- Apak, K., 2019. PLA malzemesinden eklemeli imalat yöntemleriyle üretilen ürünlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta.
- Arenas, J. M., Alia C., Blaya F., ve Sanzet A., 2012. Multi-criteria selection of structural adhesives to bond ABS parts obtained by rapid prototyping, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 33, 67-74.
- Babalık, C. F., 2006. Makine elemanları ve konstrüksiyon örnekleri, Dora Yayıncılık, Bursa.
- Bürenhaus, F., Moritzer, E., ve 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.
- Cavalcanti, D. K. K., Banea, M. D., ve De Queiroz, H. F. M., 2019. Mechanical characterization of bonded joints made of additive manufactured adherends, *Annals Of “Dunarea De Jos” University Of Galati. Fascicle XII, Welding Equipment And Technology*, 30, 27-33.
- Cavalcanti, D. K. K., De Queiroz, H. F. M., ve Banea, M. D., 2023. Performance enhancement of adhesive joints of additive manufactured parts by using different types of fibre reinforcements, *International Journal Of Adhesion And Adhesives*, 124, 103371.
- Çalık, A., 2008. Yapıştırıcılar ve köşeleri yuvarlatılmış basamaklı bindirme yapıştırıcı bağlantılarda gerilme analizi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.

- Çalık, A., ve Yildirim, S., 2017. Effect of adherend recessing on bi-adhesively bonded single-lap joints with spew fillet, *Sādhanā*, 42, 317-325.
- Çetin, E., ve Fossi, C. T., 2023. Experimental investigation on mechanical strength of adhesively bonded 3D-printed joints under hygrothermal conditions using Taguchi method, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 126, 103472.
- Doru, M. O., 2019. Farklı genişlikteki levhaların yapıştırma bağlantıları ile birleştirilmesinde mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Durmaz, S., 2008. Taguchi metodunun kauçuğun vulkanizasyonu prosesine uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Frascio, M., Mandolino, C., Moroni, F., Jilich, M., Lagazzo, A., ve Pizzorni, M., 2021. Appraisal of surface preparation in adhesive bonding of additive manufactured substrates, *Int J Adhes Adhes*, 102802.
- Frascio, M., Moroni, F., Marques, E., Carbas, R., Reis, M., Monti, M., Avallé, M., ve 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*, 3, 100046.
- Gültekin, K., Özakin, B., Yüksel, F., ve Danışmaz, E., 2024. Farklı baskı açıları ve dolgu oranlarında üretilen polilaktik asit plakalarla birleştirilmiş yapıştırma bağlantılarının deneysel analizi, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 14, 2, 789-801.
- Günay, M., Gündüz, S., Yılmaz, H., Yaşar, N., ve Kaçar, R., 2020. PLA esaslı numunelerde çekme dayanımı için 3D baskı işlem parametrelerinin optimizasyonu, *Politeknik Dergisi*, 23, 1, 73-79.
- Hiremath, V. S., Dhilipkumar, T., Reddy, D. M., ve Bagewadi, S., 2023. Effect of print orientation on tensile and shear properties of 3D printed lap joints, *Materials Today, Proceedings*.
- Karabağ, D., Tekkanat, M. A., Anaç, N., ve Koçar, O. 2023. Investigation of adhesive bonding strength of wood added PLA materials, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 6, 1, 26-38.
- Karabıyık, Ö., ve Apak, K., 2021. Eklemeli imalat yöntemiyle PLA malzemeden üretilen ürünlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi. *International Journal of Technological Sciences/Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 13, 2.
- Kariz, M., Kuzman, M. K., ve Sernek, M., 2017. Adhesive bonding of 3d-printed abs parts and wood, *journal of adhesion science and technology*, 31, 15.

- Khosravani, M. R., Soltani, P. M., Weinberg, K., ve Reinicke, T., 2021. Structural integrity of adhesively bonded 3d-printed joints. *Polymer Testing Dergisi*.
- Khosravani, M. R., Soltani, P., ve Reinicke, T., 2021. Fracture and structural performance of adhesively bonded 3d-printed petg single lap joints under different printing parameters, *Theoretical And Applied Fracture Mechanics Journal*.
- Khosravani, M. R., Božić, Ž., Zolfagharian, A., ve Reinicke, T., 2022. Failure analysis of 3D-printed PLA components: Impact of manufacturing defects and thermal ageing, *Engineering Failure Analysis*, 136, 106214.
- Khosravani, M. R., Soltani, P., ve Reinicke, T. 2023. Effects of steps on the load bearing capacity of 3D-printed single lap joints. *Journal Of Materials Research and Technology*, 23, 1834-1847.
- Kurt Benli, İ., 2024. Çok malzemeli plastik yapıların yapıştırma tekniğiyle birleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Lee, J. Y., An, J., ve Chua, C. K., 2017. Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials, *Applied Materials Today*, 7, 120-133.
- Neto, J., Campilho, R. D., ve Da Silva, L. F. M., 2012. Parametric study of adhesive joints with composites. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 37, 96-101.
- Paygozar, B., ve Gorguluarslan, R. M., 2023. Bonding additively manufactured pla materials: effects of joint scarf angle and substrate raster orientation, *Makina Tasarım Ve İmalat Dergisi*, 21, 1, 33-42.
- Polat Çoban, N., 2022. PLA ve ABS malzemelerinden eklemeli imalatla üretilen parçaların yapıştırılması işleminde yapıştırma parametrelerinin bağlantının mekanik dayanımına etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Polat Çoban, N., Anaç N., Mert F., 2023. Eklemeli imalat ile üretilen PLA parçaların yapıştırılmasında yapıştırma parametrelerinin mekanik dayanımına etkisinin incelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 25, 1, 1-2.
- Saraç, İ., 2018. Tek tesirli yapıştırma bağlantılarında epoksi yapıştırıcı içerisinde nanopartikül kullanılmasının bağlantının statik ve yorulma mukavemetine etkisinin araştırılması, Doktora Tezi, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- Saraç, İ., Adin, H., ve Temiz, Ş., 2018. Experimental determination of the static and fatigue strength of the adhesive joints bonded by epoxy adhesive including different particles, *Composites Part B: Engineering*, 155, 92-103.

- Saraç, İ., 2020. Basit bindirmeli yapıştırma bağlantılarında bindirme bölgesi uç açısı değişiminin bağlantı mukavemetine etkisinin sayısal olarak incelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25, 1, 101-110.
- Saraç, İ., 2021. Failure analysis of simple overlap bonding joints and numerical investigation of the adhered tip geometry effect on the joint strength, Materials Testing, 63, 11, 1007-1011.
- Sürmen, H. K., 2019. Eklemeli imalat (3B baskı): teknolojiler ve uygulamalar, uludağ üniversitesi mühendislik fakültesi dergisi, 24, 2, 373-39.
- Şekercioğlu, T., 2018. Makine elemanları hesap şekillendirme, Birsen yayın evi, İstanbul, Türkiye, 102-104.
- Şirvancı, M., 1997. Kalite için deney tasarımı Taguchi yaklaşımı, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Taylan, D., 2009. Taguchi deney tasarımı uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Temiz, Ş., 2003. Yapışma bağlantılarının mekanik özellikleri üzerine çevresel faktörlerin etkisinin incelenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Vamshinath, K., Kumar, N. N., Kumar, R. T., Nagaraju, D. S., Sateesh, N., ve Subbaiah, R., 2022. Analysis of the effect of the process parameters on the mechanical strength of 3D printed and adhesively bonded PETG single lap joint, Materials Today: Proceedings, 62, 4509-4514.
- Yap, Y. L., Toh, W. M., Koneru, R., Lin, R., Chan, K. L., Guang, H., Chan, W. Y. B., Teong, S. S., Zheng, G., ve Ng, T. Y., 2020. Evaluation of structural epoxy and cyanoacrylate adhesives on jointed 3d printed polymeric materials, International Journal Of Adhesion And Adhesives, 100, 102602.
- Yıldız, A., 2021. Yapıştırma bağlantılarının darbe yükleri altındaki davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan.
- URL-1<<https://www.muhendisbeyinler.net/eklemeli-imalat-ile-talasli-imalatin-farki>>, Erişim Tarihi: 11.05.2025.
- URL-2<<https://tr.lamsience.com/plastic-joiningmethods>>, Erişim Tarihi: 14.07.2023.
- URL-3<https://www.researchgate.net/figure/FDMnin-calisma-prensibi-Ekstruezyon-kafasi_fig4_336120559>, Erişim Tarihi: 08.05.2025.
- URL-4<<https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-pla#Properties>>, Erişim Tarihi: 22.05.2025.

URL-5<<https://www.madearia.com/tr/blog/the-tensile-strength-of-injection-molding-plastic/>>, Erişim Tarihi: 22.05.2025.

URL-6<[https://fibilo.com/fdm-3d-baski-teknolojisi#:~:text= FDM'nin avantajları B1ndan,nin B1rlamalar >](https://fibilo.com/fdm-3d-baski-teknolojisi#:~:text=FDM'nin%20avantajları%20B1ndan,nin%20B1rlamalar%20>)>, Erişim Tarihi: 02.06.2025.



EKLER

Ek A. Hasar Değerlendirmesi Fotoğrafları



Ek A. Hasar Değerlendirmesi Fotoğrafları



Şekil A.1. T-1 numunesi hasar şekilleri.



Şekil A.2. T-2 numunesi hasar şekilleri.



Şekil A.3. T-3 numunesi hasar şekilleri.



Şekil A.4. T-4 numunesi hasar şekilleri.



Şekil A.5. T-5 numunesi hasar şekilleri.



Şekil A.6. T-6 numunesi hasar şekilleri.



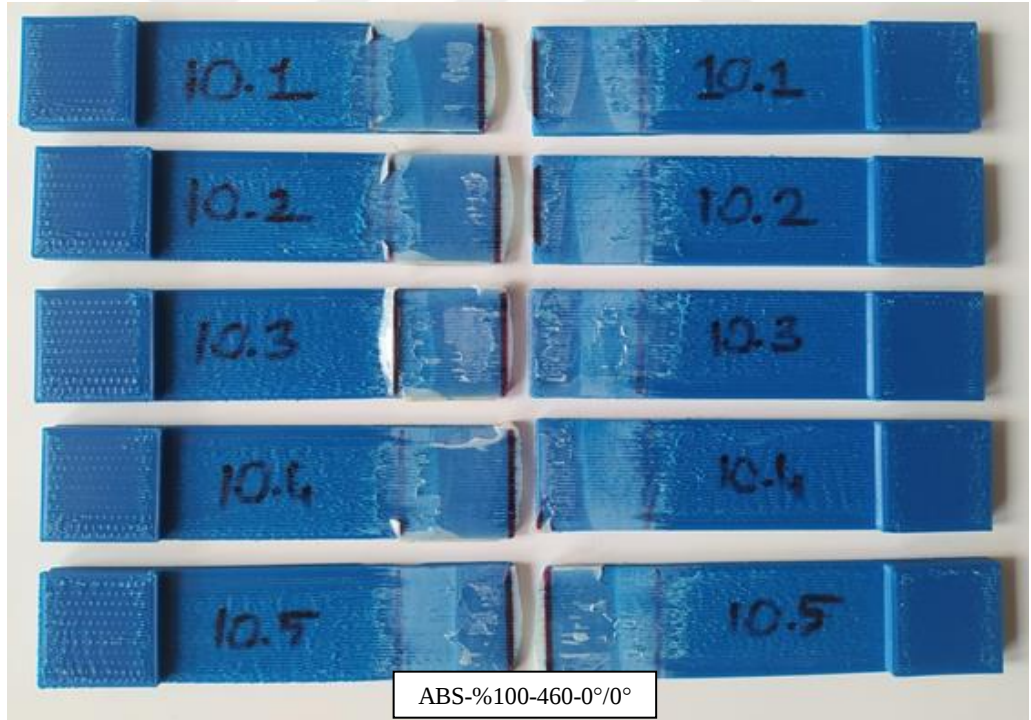
Şekil A.7. T-7 numunesi hasar şekilleri.



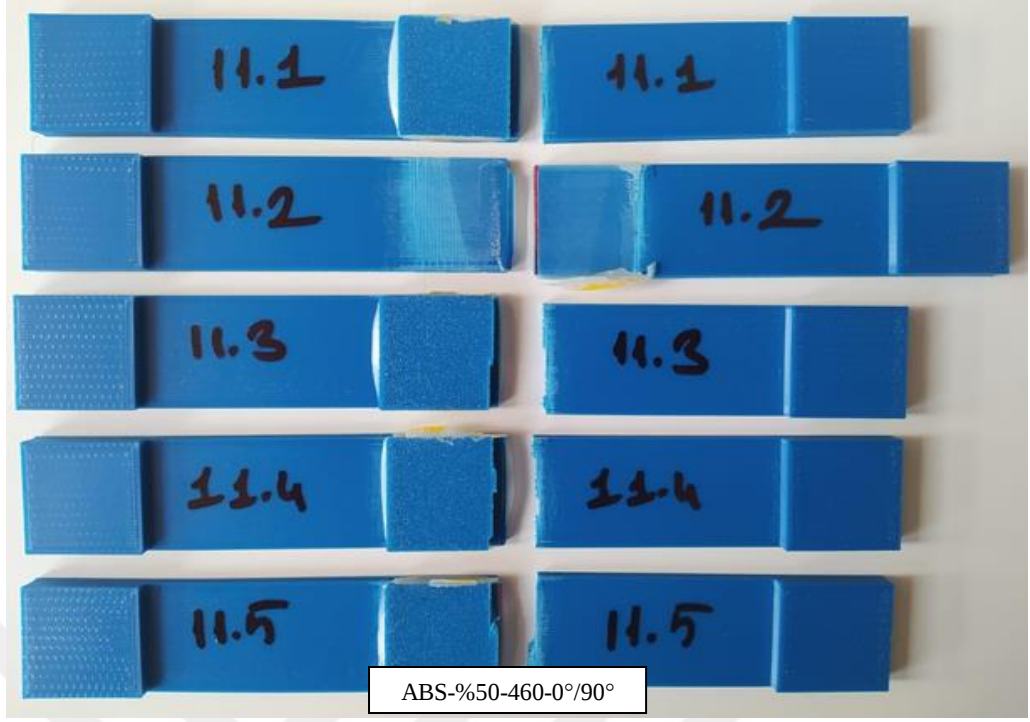
Şekil A.8. T-8 numunesi hasar şekilleri.



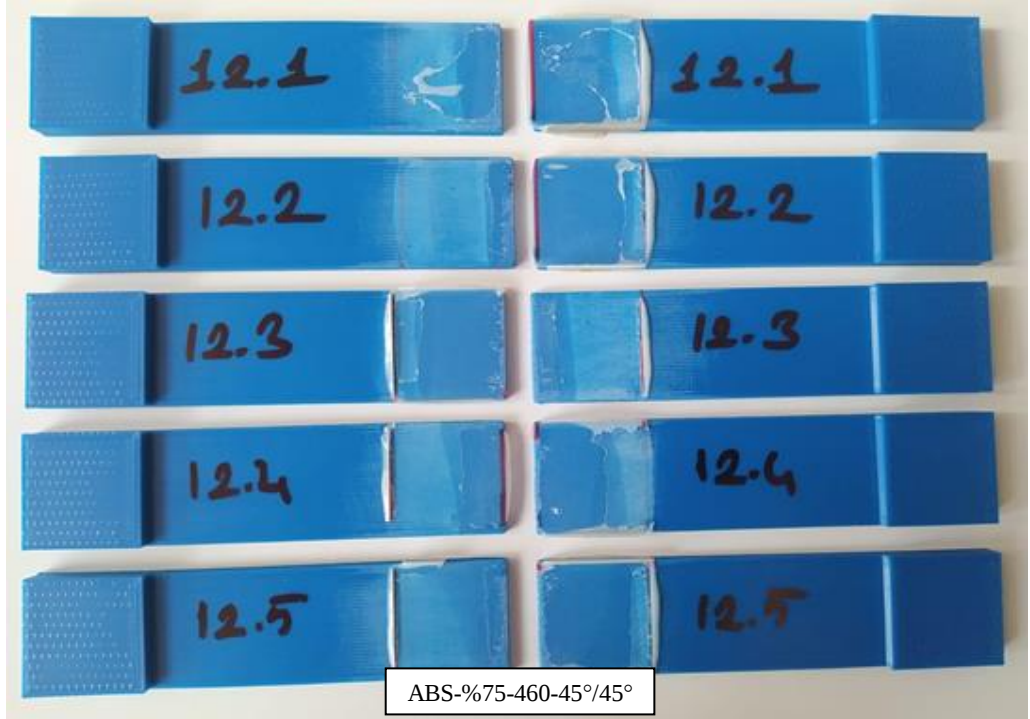
Şekil A.9. T-9 numunesi hasar şekilleri.



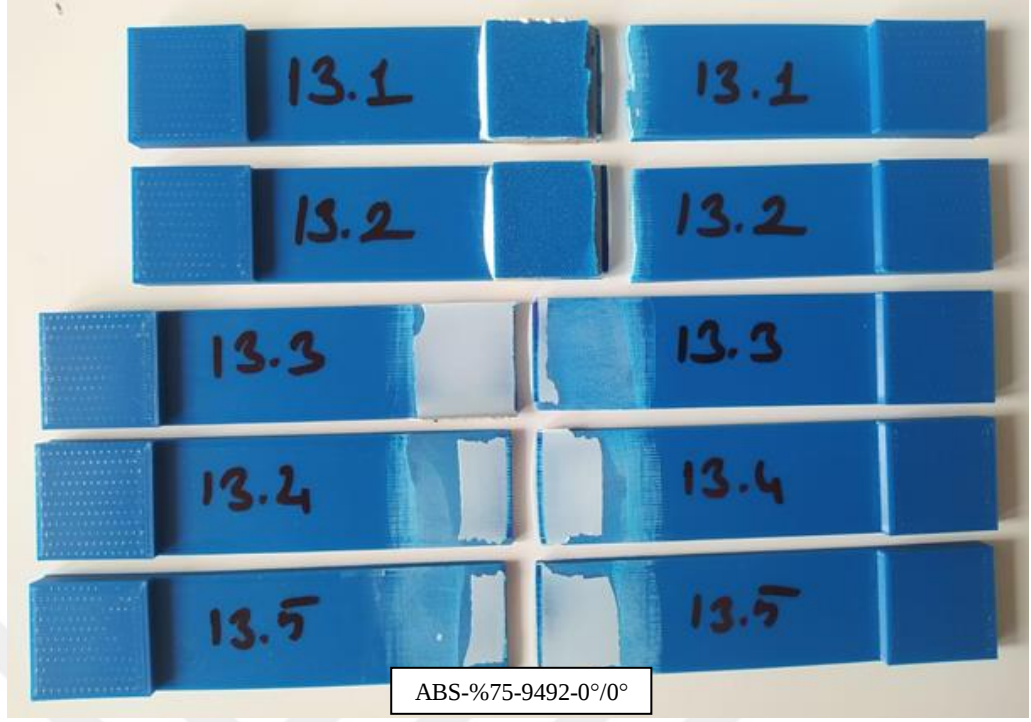
Şekil A.10. T-10 numunesi hasar şekilleri.



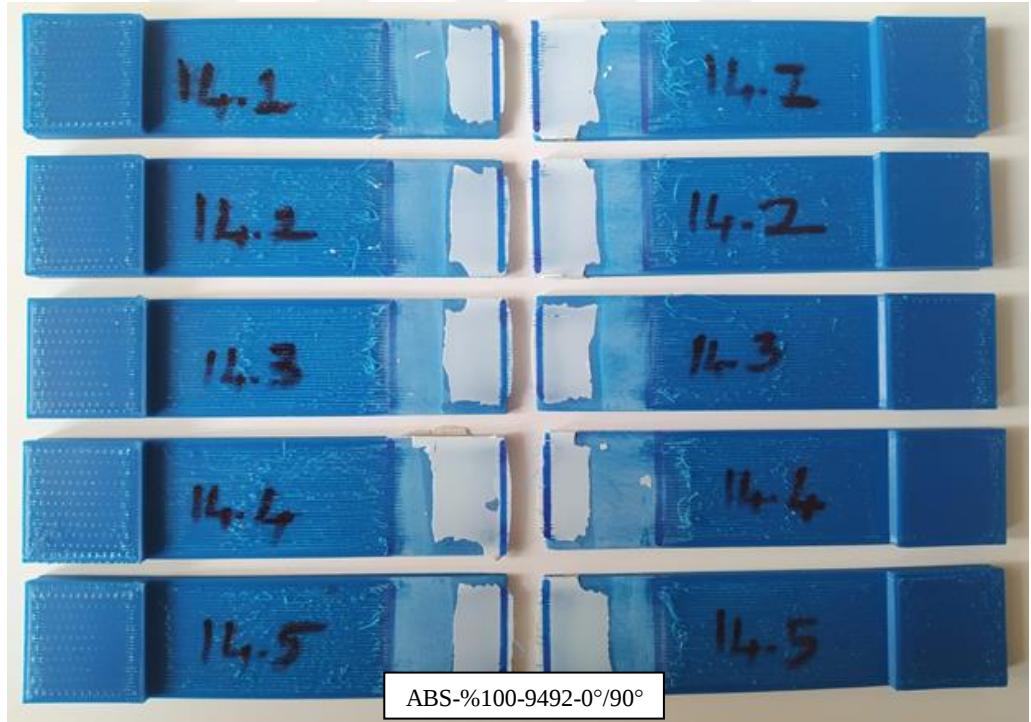
Şekil A.11. T-11 numunesi hasar şekilleri.



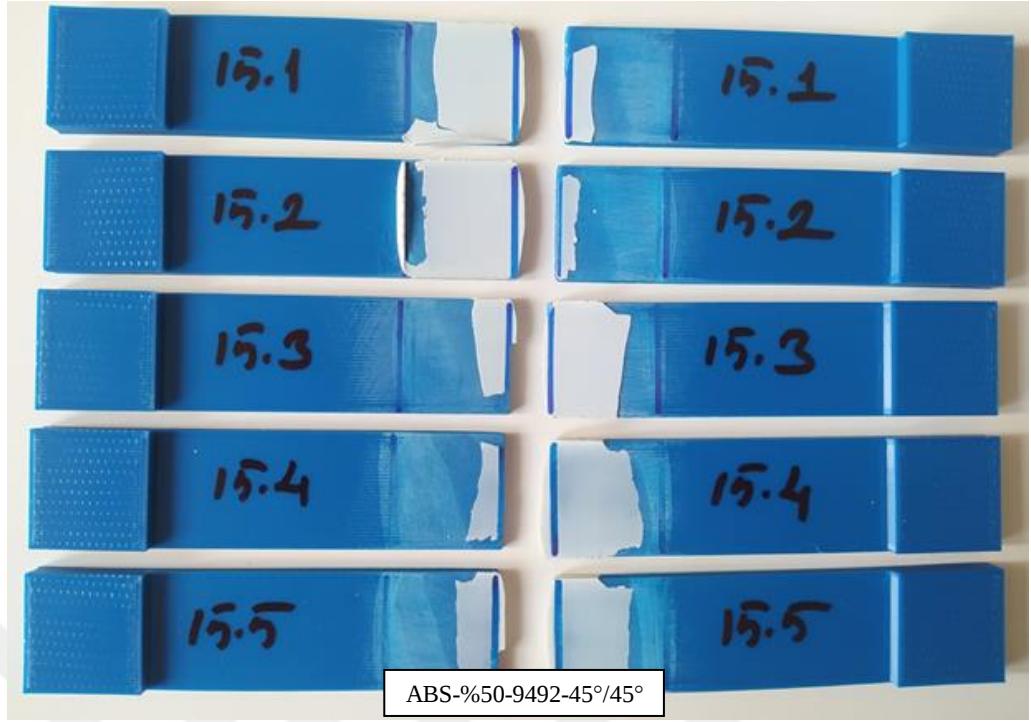
Şekil A.12. T-12 numunesi hasar şekilleri.



Şekil A.13. T-13 numunesi hasar şekilleri.



Şekil A.14. T-14 numunesi hasar şekilleri.



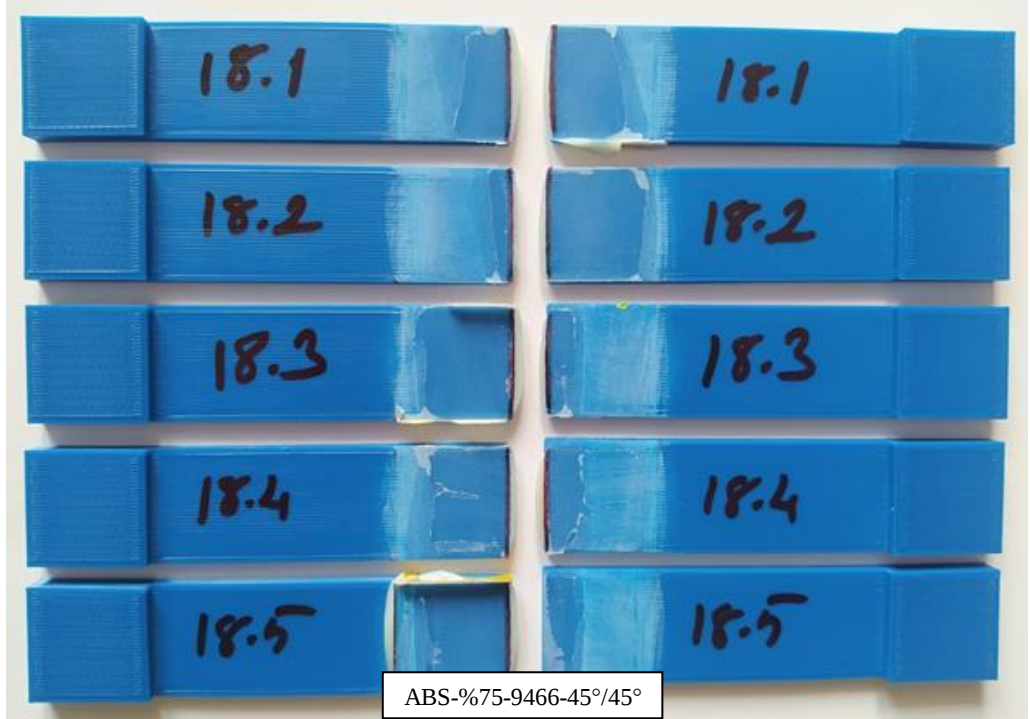
Şekil A.15. T-15 numunesi hasar şekilleri.



Şekil A.16. T-16 numunesi hasar şekilleri.



Şekil A.17. T-17 numunesi hasar şekilleri.



Şekil A.18. T-18 numunesi hasar şekilleri.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Fatih YETİŞ

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2017-2021

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2022-2025

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. AYD Automotive Industry / Yaz Stajı
2. Mekosan Makine / Yaz Stajı
3. GOS Brake Systems

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

1. Yetiş F., Saraç İ., 2024. 3D baskı polimerlerin yapışma performansının Taguchi yöntemiyle araştırılması, 15. Uluslararası Bilimsel Çalışmalar Kongresi, İstanbul, Bidiri Özet Kitabı, 15, 212.