

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÜÇ BOYUTLU (3D) YAZICIDA ÜRETİLEN POLİLAKTİK ASİT
(PLA) NUMUNELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

BURAK SAMET ELMAS

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÜÇ BOYUTLU (3D) YAZICIDA ÜRETİLEN POLİLAKTİK
ASİT (PLA) NUMUNELERİNİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

BURAK SAMET ELMAS

Doç.Dr. Nejat Yıldırım SARI

Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Prof.Dr. Taner YILMAZ

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Dr.Öğr.Üyesi Gurbet ÖRÇEN

Jüri Üyesi, Dicle Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 24.06.2021

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Üç boyutlu (3D) yazıcılar, ilgi çekici bir teknoloji olmakla birlikte giderek yaygınlaşmaktadır. Bu makinelerle yapılan imalatlarda, tasarım ve kullanılan değişkenlere (parametreler) bağlı olarak ürünlerin mekanik özellikleri de değişmektedir. Bu çalışma, üç boyutlu yazıcılar ile üretim yaparken konstrüksiyonun imalat yönüne göre tasarımların mekanik özelliklerini araştırma geliştirme amacıyla yapılmış olup bu alana ilişkin bilimsel ve endüstriyel çalışmalara katkı sağlayabilmek için de literatüre kazandırılmıştır.

Yüksek lisans danışmanım olan Doç. Dr. Nejat Yıldırım SARI'ya ve laboratuvarımın kapılarını açan Prof. Dr. Taner YILMAZ'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenciliğim boyunca gösterdikleri destek ve fedakarlık için anneme ve babama saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Haziran - 2021

Burak Samet ELMAS

İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	2
1.1. Temel Bilgiler	2
1.1.1. Polimerler hakkında genel bilgiler	2
1.1.1.1. Polimerlerin molekül ağırlıklarına göre sınıflandırılması.....	6
1.1.1.2. Polimerlerin kaynaklarına (doğada bulunup bulunmamalarına) göre sınıflandırılması	6
1.1.1.3. Polimerlerin kimyasal yapılarına (organik veya inorganik olmalarına) göre sınıflandırılması.....	7
1.1.1.4. Polimerlerin bağ yapılarına (zincirlerin fiziksel yapılarının biçimlerine) göre sınıflandırılması.....	7
1.1.1.5. Polimerlerin ısıya karşı gösterdikleri davranışa göre sınıflandırılması	9
1.1.1.6. Polimerlerin fiziksel hallerine (zincir düzenine) göre sınıflandırılması	11
1.1.1.7. Polimerlerin katkı durumlarına göre sınıflandırılması.....	13
1.1.1.8. Polimerlerin monomer türlerine göre sınıflandırılması.....	13
1.1.1.9. Polimerlerin mekanik özelliklerine (şekil değiştirme eğilimlerine) göre sınıflandırılması.....	15
1.1.1.10. Polimerlerin oluşma tepkimelerine (polimerizasyon reaksiyonlarına) göre sınıflandırılması	15
1.1.1.11. Polimerlerin teknolojik gelişmişliğe ve kullanımına göre sınıflandırılması	17
1.1.2. Polilaktik asit (PLA)	20
1.1.3. Üç boyutlu (3D) yazıcılar hakkında genel bilgiler.....	21
1.1.4. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü	22
1.1.5. Çekme deneyi.....	23
1.1.6. Üç nokta eğme deneyi.....	24
1.1.7. Aşınma deneyi.....	25
1.1.8. Taramalı elektron mikroskopu (SEM)	26
1.2. Literatürdeki Çalışmalar.....	27
1.3. Tezin Yeri Ve Önemi	34
2. MALZEME VE YÖNTEM.....	35
2.1. Numuneler Hakkında Bilgiler	35
2.1.1. Numunelerin ortak özellikleri	35

2.1.1.1. Numune boyutları ve kullanılan yazılım bilgileri	35
2.1.1.2. Üretimin yapıldığı makine (üç boyutlu yazıcı) ve kullanılan malzeme (filament) bilgileri.....	41
2.1.2. Numunelerin farklı özellikleri (Baskı yönleri).....	42
2.1.2.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçülen numuneler	43
2.1.2.2. Çekme numuneleri	44
2.1.2.3. Üç nokta eğme numuneleri	47
2.1.2.4. Aşınma numuneleri	50
2.2. Karakterizasyon.....	53
2.2.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerine ilişkin bilgiler	53
2.2.2. Çekme deneyine ilişkin bilgiler	53
2.2.3. Üç nokta eğme deneyine ilişkin bilgiler.....	54
2.2.4. Aşınma deneyine ilişkin bilgiler	55
2.2.5. Taramalı elektron mikroskobu incelemesine ilişkin bilgiler.....	55
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	57
3.1. Yüzey Pürüzlülüğü İle İlgili Bulgular Ve Tartışma	57
3.2. Çekme Deneyi İle İlgili Bulgular Ve Tartışma	59
3.3. Eğme Deneyi İle İlgili Bulgular Ve Tartışma	62
3.4. Aşınma Deneyi İle İlgili Bulgular Ve Tartışma.....	65
3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri	69
3.2.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile çekme numunelerinin incelenmesi	69
3.2.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile üç nokta eğme numunelerinin incelenmesi	71
3.2.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile aşınma numunelerinin incelenmesi	72
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	57
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	88
ÖZ GEÇMİŞ	89

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Küresel anlamda geçmiş yıllara ve tahmini olarak gelecek yıllara ilişkin plastik üretim miktarları	4
Şekil 1.2.	Küresel olarak yıllara ve sektörlere göre plastik üretim miktarları	4
Şekil 1.3.	Polimerlerden imal edilen plastik mamullerin ülkemiz Türkiye’de son yıllardaki üretim miktarları (milyon ton).....	5
Şekil 1.4.	Polimerlerden imal edilen plastik mamullerin ülkemiz Türkiye’de sektörlere göre üretim miktarları (milyon ton).....	5
Şekil 1.5.	Bağ yapılarına (zincirlerin fiziksel yapılarının biçimlerine) göre polimer sınıflarının modellemeleri	8
Şekil 1.6.	Zincir yapılarının biçimi ile çapraz bağların varlığına göre polimer sınıfları ve modelleri.....	9
Şekil 1.7.	Polimerlerin fiziksel hallerine (zincir düzenine) göre sınıflandırılması.....	12
Şekil 1.8.	Yarı kristal bir polimerde şematik olarak amorf ve kristal yapılar.....	12
Şekil 1.9.	Biyopolimerlerin elde edilmişlerine göre sınıflandırılması.....	19
Şekil 1.10.	Polilaktik asit zincirinin yapısı	20
Şekil 1.11.	İğne uçlu yüzey pürüzlülüğü sistemi a) iğne uçlu yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı [Teskon TR-200 (3200)] b) iğne uçlu ölçme sisteminin çalışma prensibi	23
Şekil 1.12.	Çekme deneyi sistemi a) çekme makinesi (TÜBİTAK UME Kuvvet Laboratuvarı Zwick Z250) b) çekme makinesi entegre sistem ve programı (testXpert).....	24
Şekil 1.13.	Üç nokta eğme deneyi sistemi a) üç nokta eğme deneyi tertibatı (Instron 68TM-10) b) üç nokta eğme deneyi prensip şeması	25
Şekil 1.14.	Pin on disk sistemi a) pin on disk düzeneği (TURKYUS PODWT) b) pin on disk deneyi prensip şeması	26
Şekil 1.15.	Taramalı elektron mikroskobu (SEM) sistemi a) taramalı elektron mikroskobu (ZEIS EVO-SEM) b) taramalı elektron mikroskobu prensip şeması	26
Şekil 2.1.	ISO 527-2 5A Standardına uygun çekme numunesi ölçüleri	35
Şekil 2.2.	ISO 178 Standardına uygun üç nokta eğme numunesi ölçüleri	36
Şekil 2.3.	Aşınma deneyi için belirlenen numune ölçüleri	36
Şekil 2.4.	Simplfy 3D programının arayüzünde tasarlanan üretim parametreleri a) profil, malzeme, kalite ve doluluk oranı temel ayarları b) ekstrüder ayarları c) katman ayarları d) ek yapılara (etek, raft vb.) dair ayarlar e) dolgu ayarları f) destek ayarları g) ekstrüder sıcaklığı ayarları h) tabla sıcaklığı ayarları i) soğutma ayarları j) G-code ayarları k) komut ayarları l) hız ayarları m) diğer ayarları n) gelişmiş ayarlar	37
Şekil 2.5.	MY 3D Printer X30 marka ve modellenmiş üç boyutlu yazıcı	41
Şekil 2.6.	Kullanılan polilaktik asit (Esun-42Natural) filament	42

Şekil 2.7.	Numunelerin boyutlarının adlandırılması a) çekme numunesi için en, boy kalınlık b) üç nokta eğme numunesi için en, boy, kalınlık c) aşınma numunesi için en, boy, kalınlık.....	43
Şekil 2.8.	Numunelerin adlandırılması a) numunelerin adlandırılma sistematığı b) numunelerin adlandırılmasına örnek	43
Şekil 2.9.	Çekme numunelerinin yönleri ve kodları a) XYZ çekme numunesi b) YXZ çekme numunesi c) XZY çekme numunesi d) YZX çekme numunesi e) ZXY çekme numunesi f) ZYX çekme numunesi.....	44
Şekil 2.10.	Çekme numunelerinin etekli ve gerekliliğe göre destekli tasarımları a) XYZ çekme numunesi (destek gereksiz) b) YXZ çekme numunesi (destek gereksiz) c) XZY çekme numunesi (destek gerekli) d) YZX çekme numunesi (destek gerekli) e) ZXY çekme numunesi (destek gerekli) f) ZYX çekme numunesi (destek gerekli)	45
Şekil 2.11.	Üç boyutlu yazıcıda üretilen çekme numunelerinin üstten fotoğrafları a) XYZ çekme numunesi b) YXZ çekme numunesi c) XZY çekme numunesi d) YZX çekme numunesi e) ZXY çekme numunesi f) ZYX çekme numunesi.....	46
Şekil 2.12.	Üç nokta eğme numunelerinin yönleri ve kodları a) XYZ üç nokta eğme numunesi b) YXZ üç nokta eğme numunesi c) XZY üç nokta eğme numunesi d) YZX üç nokta eğme numunesi e) ZXY üç nokta eğme numunesi f) ZYX üç nokta eğme numunesi	47
Şekil 2.13.	Üç nokta eğme numunelerinin etekli tasarımları a) XYZ üç nokta eğme numunesi b) YXZ üç nokta eğme numunesi c) XZY üç nokta eğme numunesi d) YZX üç nokta eğme numunesi e) ZXY üç nokta eğme numunesi f) ZYX üç nokta eğme numunesi	48
Şekil 2.14.	Üç boyutlu yazıcıda üretilen üç nokta eğme numunelerinin üstten fotoğrafları a) XYZ üç nokta eğme numunesi b) YXZ üç nokta eğme numunesi c) XZY üç nokta eğme numunesi d) YZX üç nokta eğme numunesi e) ZXY üç nokta eğme numunesi f) ZYX üç nokta eğme numunesi.....	49
Şekil 2.15.	Aşınma numunelerinin yönleri ve kodları a) XYZ aşınma numunesi b) YXZ aşınma numunesi c) XZY aşınma numunesi d) YZX aşınma numunesi e) ZXY aşınma numunesi f) ZYX aşınma numunesi.....	50
Şekil 2.16.	Aşınma numunelerinin etekli tasarımları a) XYZ aşınma numunesi b) YXZ aşınma numunesi c) XZY aşınma numunesi d) YZX aşınma numunesi e) ZXY aşınma numunesi f) ZYX aşınma numunesi.....	51
Şekil 2.17.	Üç boyutlu yazıcıda üretilen aşınma numunelerinin üstten fotoğrafları a) XYZ aşınma numunesi b) YXZ aşınma numunesi c) XZY aşınma numunesi d) YZX aşınma numunesi e) ZXY aşınma numunesi f) ZYX aşınma numunesi	52
Şekil 2.18.	Mitutoya SJ-301 yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı	53
Şekil 2.19.	Instron 4411 test makinesi -çekme çeneleriyle- görüntüsü	54
Şekil 2.20.	Instron 4411 test makinesi -üç nokta eğme çeneleriyle- görüntüsü	54

Şekil 2.21. Nanovea TRB aşınma makinesi (pin on disc)	55
Şekil 2.22. Bal-Tec SCD 005 sputter kaplama makinesi.....	56
Şekil 2.23. Jeol JCM-600 BENCHTOP taramalı elektron mikroskobu (SEM)	56
Şekil 3.1. Ra (profilin aritmetik ortalama sapması) yüzey pürüzlülük değerleri.....	57
Şekil 3.2. Yüzey pürüzlülüğü ölçülen 25x30x4 boyutlu numunelerin yüzey görüntüleri a) XYZ aşınma numunesi b) YXZ aşınma numunesi c) XZY aşınma numunesi d) YZX aşınma numunesi e) ZXY aşınma numunesi f) ZYX aşınma numunesi.....	58
Şekil 3.3. Gerilme – birim uzama grafiği	59
Şekil 3.4. Çekme dayanımı değerleri.....	60
Şekil 3.5. Elastisite modülü değerleri	60
Şekil 3.6. Çekme numunelerinin kesit görüntüleri a) XYZ çekme numunesi b) YXZ çekme numunesi c) XZY çekme numunesi d) YZX çekme numunesi e) ZXY çekme numunesi f) ZYX çekme numunesi	61
Şekil 3.7. Eğilme gerilmesi – birim uzama grafiği.....	62
Şekil 3.8. Eğilme dayanımı değerleri	63
Şekil 3.9. Eğilme modülü değerleri	63
Şekil 3.10. Üç nokta eğme numunelerinin kesit görüntüleri a) XYZ üç nokta eğme numunesi b) YXZ üç nokta eğme numunesi c) XZY üç nokta eğme numunesi d) YZX üç nokta eğme numunesi e) ZXY üç nokta eğme numunesi f) ZYX üç nokta eğme numunesi	64
Şekil 3.11. Sürtünme katsayısı – kayma mesafesi grafiği	65
Şekil 3.12. Ortalama sürtünme katsayısı grafiği.....	66
Şekil 3.13. Aşınma numunelerinin kabuklarına ait katmanların görüntüleri (dıştan içe doğru) a) XYZ aşınma numunesi b) YXZ aşınma numunesi c) XZY aşınma numunesi d) YZX aşınma numunesi e) ZXY aşınma numunesi f) ZYX aşınma numunesi.....	67
Şekil 3.14. Aşınma numunelerinin kesit görüntüleri a) XYZ aşınma numunesi b) YXZ aşınma numunesi c) XZY aşınma numunesi d) YZX aşınma numunesi e) ZXY aşınma numunesi f) ZYX aşınma numunesi.....	68
Şekil 3.15. Çekme numunelerinin kırılma yüzeylerine ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri a) XYZ çekme numunesi b) YXZ çekme numunesi c) XZY çekme numunesi d) YZX çekme numunesi e) ZXY çekme numunesi f) ZYX çekme numunesi	70
Şekil 3.16. Üç nokta eğme numunelerinin kırılma yüzeylerine ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri a) XYZ üç nokta eğme numunesi b) YXZ üç nokta eğme numunesi c) XZY üç nokta eğme numunesi d) YZX üç nokta eğme numunesi e) ZXY üç nokta eğme numunesi f) ZYX üç nokta eğme numunesi.....	71
Şekil 3.17. Aşınma numunelerinin aşınma yüzeylerine ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri a) XYZ aşınma numunesi b) YXZ aşınma numunesi c) XZY aşınma numunesi d) YZX aşınma numunesi e) ZXY aşınma numunesi f) ZYX aşınma numunesi	72

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Üretime dair temel parametreler.....	37
Tablo 2.2. Kullanılan polilaktik asitin (PLA) özellikleri.....	42
Tablo 2.3. Çekme numunelerinin üretim süreleri ve malzeme miktarları.....	46
Tablo 2.4. Üç nokta eğme numunelerinin üretim süreleri ve malzeme miktarları.....	49
Tablo 2.5. Aşınma numunelerinin üretim süreleri ve malzeme miktarları.....	52
Tablo 3.1. Numunelerin kabuk bilgileri.....	67



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

α	: Alfa
$^{\circ}$: Derece
μm	: Mikrometre
π	: Pi
$^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece
%	: Yüzde
ABS	: Akrilonitril bütadiyen stiren
AIBN	: Azobisizobütironitril
BPO	: Benzoil peroksit
CO_2	: Karbondioksit
dk:	: Dakika
g	: Gram
H_2O_2	: Hidrojen peroksit
kg	: Kilogram
kj	: Kilojoule
kN	: Kilonewton
m	: Metre
m^2	: Metrekare
Me_3COCl	: Terbütil hipoklorit
Mg	: Magnezyum
mm	: Milimetre
MPa:	: Megapaskal
N	: Newton
N_2	: Azot
PA	: Poliamit
PC	: Polikarbonat
PETG	: Glikol modifiyeli polietilen tereftalat
PNIPAM	: Poli N-izopropilakrilamid
PS	: Polistiren
PVC	: Polivinilklorür
Ra	: Yüzey pürüzlülüğü aritmetik ortalama sapması, μm
Rq	: Yüzey pürüzlülüğü aritmetik ortalama sapmalarının karekökü, μm
rpm	: Revolutions per minute (Dakikadaki devir sayısı)
Ry	: Profilin maksimum yüksekliği, μm
s	: Saniye

Kısaltmalar

3D	: Three Dimensional (Üç Boyutlu)
ANOVA	: Analysis of Variance (Varyans Analizi)
ASTM	: American Society for Testing and Materials
DLP	: Digital Light Processing (Dijital Işık Yöntemi)

EBM	: Electron Beam Melting (Elektron Işınlı Ergitme)
FDM-FFF	: Fused Deposition Modeling - Fused Filament Fabrication (Ergitilmiş Katman Modelleme)
GNPs	: Grafen Nanoplatelet
ILSS	: Interlaminar Shear Strength (En Büyük Kayma Gerilmesi)
ISO	: International Organization for Standardization
LDPE	: Low Density Polyethylene (Düşük Yoğunluklu Polietilen)
LLM	: Layer Laminated Manufacturing (Katman Laminasyonu İle Üretim)
LMW	: Low Molecular Weight (Düşük Molekül Ağırlıklı)
LOM	: Laminated Object Manufacturing (Lamine Nesne Üretimi)
PLA	: Polilaktik Asit
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
SGC	: Solid Ground Curing (Katı Zemin Kürleme)
SLA	: Stereolitografi
SLM	: Selective Laser Melting (Seçici Lazer Ergitme)
SLS	: Selective Laser Sintering (Seçici Lazer Sinterleme)
STL	: Stereolithography
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel Ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UME:	: Ulusal Metroloji Enstitüsü
UV	: Ultraviyole

ÜÇ BOYUTLU (3D) YAZICIDA ÜRETİLEN POLİLAKTİK ASİT (PLA) NUMUNELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Sundukları avantajlar sayesinde giderek yaygınlaşan üç boyutlu (3D) yazıcılarla yapılan üretimlerde, imalat yönüne göre tasarımların mekanik özelliklerini araştırma ve geliştirme amacı ile ortaya koyulan bu tez, literatür incelemesi ve gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan oluşmaktadır. Çalışmada, üç boyutlu yazıcı türlerinden birisi olan FDM (fused deposition modeling) tipi bir yazıcı ve polilaktik asit (PLA) filament kullanılarak belirlenen sabit parametrelerde, tabla eksenlerine paralel olacak şekilde, altı farklı konumlandırma numuneleri üretilip mekanik özelliklerini incelemek amacıyla yüzey pürüzlülüğü ölçümü, çekme, üç nokta eğme, aşınma deneyleri ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Numuneler, boyun paralel olduğu eksen, enin paralel olduğu eksen ve kalınlığın paralel olduğu eksenlerin sıralanmasıyla adlandırılmıştır. İnşa edilen alanları eşit, tabla düzleminde birbirlerinin 90° döndürülmüş halleri olan numunelerin eşit numuneler olduğu görülmüştür. Bu ikililerin yüzey pürüzlülüğü karşılaştırıldığında, XZY, YZX ve ZXY, ZYX ikililerinin dik doğrultudaki ölçümleri eşit olup pürüzlülüğün maksimum olduğu yöndeki değer, her yönde pürüzlülük değeri sabit olan XYZ ile YXZ ikilisinden yüksek çıkmıştır. Çekme dayanımı, elastisite modülü, eğilme dayanımı ve eğilme modülü için en yüksek değerler, XZY ile YZX ikilisinde olup çekme dayanımı ve eğilme dayanımı için en düşük değerler, ZXY ile ZYX ikilisinde iken elastisite modülü ve eğilme modülü için en düşük değerler, XYZ ile YXZ ikilisindedir. Aşınma deneylerindeki ortalama sürtünme katsayısı ile taramalı elektron mikroskobu incelemelerine göre aşınma miktarının doğru orantı gösterdiği ve maksimum aşınmanın XZY ile YZX ikilisinde, minimum aşınmanın ise XYZ ile YXZ ikilisinde olduğu görülmüştür. Deneylerde görülen mekanik özelliklerdeki değişikliklerin numune kütleleriyle orantılı olmayıp konstrüksiyonlardaki farklılardan kaynaklandığı, sunulan kesit görüntüleri ile açıklanmış ve SEM görüntüleri ile desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: FDM Tipi Üç Boyutlu Yazıcı, Konstrüksiyon, Mekanik Özellikler, Polilaktik Asit (PLA), Yön (Konumlandırma).

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF POLYLACTIC ACID (PLA) SAMPLES PRODUCED IN A THREE-DIMENSIONAL (3D) PRINTER

ABSTRACT

This thesis, which was put forward with the aim of researching and developing the mechanical properties of the designs according to the manufacturing direction, in the productions made with three-dimensional (3D) printers, which are becoming increasingly widespread thanks to the advantages they offer, consists of literature review and experimental studies. In the study, samples were produced in six different positions, parallel to the table axis, at fixed parameters determined by using a FDM type printer, which is one of the 3D printer types and polylactic acid filament. Samples were examined with surface roughness measurement, tensile, three point bending, wear tests and scanning electron microscopy (SEM). Samples were named by ordering the axis parallel to longitudinal, axis parallel to width, and axis parallel to thickness. It was observed that the samples with equal built areas and rotated 90° of each other in the table plane were identical samples. When the surface roughness of these pairs is compared, the measurements of XZY, YZX and ZXY, ZYX pairs in the vertical direction are equal and the value in the direction where the roughness is maximum is higher than the XYZ and YXZ pair which are constant roughness value in all directions. The highest values for tensile strength, modulus of elasticity, flexural strength and flexural modulus are in XZY and YZX, the lowest values for tensile strength and flexural strength are in ZXY and ZYX, while the lowest values for modulus of elasticity and flexural modulus are in XYZ and YXZ . It was seen that the average friction coefficient in the wear tests and the amount of wear by SEM examinations were in direct proportion and the maximum wear was in the pair of XZY and YZX and the minimum wear was in the pair of XYZ and YXZ. The fact that the differences in the mechanical properties seen in the experiments were not proportional to the sample masses and resulted from the changes in the constructions were explained with the presented cross-section images and supported by the SEM images.

Keywords: FDM Type 3D Printer, Construction, Mechanical Properties, Polylactic Acid (PLA), Direction (Positioning).

GİRİŞ

İnsan, hayatı kolaylaştırmak için tasarladığı çeşitli düzenekleri ortaya koyarken birçok malzemedен yararlanmıştır ve gelecekte de yararlanacaktır.

Malzeme; bir şeyler yapılan, bir şeyleri oluşturan madde olarak tanımlanır [1].

Malzemeler; metal, seramik ve polimer başlıkları altında ele alınabilmekle birlikte iki veya daha fazla sayıda farklı malzemenin birlikte kullanılması ile de kompozit malzemeler oluşturulabilmektedir [2].

Malzeme tasarımı çalışmaları; mühendislik ve teknoloji için hayati önem taşımaktadır. Bu durumun doğal bir sonucu olarak da malzeme tasarımı çalışmalarının yapılmasıyla yeni malzemeler ve üretim yöntemleri ortaya çıkmaktadır. Bu ilerleme sürecinde, polimer malzemeler de araştırma geliştirme çalışmaları ve polimer malzemelerin endüstrideki yeri bakımından önemli bir yer tutmaktadır. Tüm bunlara ve polimer malzemelerin geniş bir alan olmasına bağlı olarak polimerler ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmaktadır [3-6].

Malzeme türlerinden polimerlerde olduğu gibi üretim yöntemlerinden de üç boyutlu yazıcılar, giderek yaygın hale gelmektedir. Üç boyutlu yazıcı, tasarlanan parçaların yazılım yardımıyla çeşitli malzeme türlerinden üretilmesini sağlayan bir makinedir. Tasarlanan parçanın üretiminde kalıp gerektirmemeleri ile bu makineler pratiktir. Pratiklikleri sayesinde de üç boyutlu yazıcıların kullanımı, giderek artmaktadır.

Bu tez çalışmasında, bir polimer olan polilaktik asit (PLA) malzemesi kullanılarak üç boyutlu yazıcıda (3d yazıcı) üretilen farklı konumlandırmalarda (altı yönde) üretilen numunelerin yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, çekme, üç nokta eğme, aşınma deneyleri ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri yapılarak mekanik özellikleri ortaya koyulmuştur. Bu sayede de giderek daha da önem ve yaygınlık kazanan polimer malzemeler ve üç boyutlu yazıcılar konusunda literatüre ve bu alanda çalışan kimselere katkı sağlayacak bir araştırma geliştirme çalışması ortaya koyulmuştur.

1. GENEL BİLGİLER

Temel bilgiler, literatürdeki çalışmalar ile tezin literatürdeki yeri ve önemi olmak üzere üç başlıktan oluşan bu bölüm, tez konusuna ilişkin genel bir bilgi birikimi oluşturmak amacıyla sunulmuştur.

1.1. Temel Bilgiler

Bu bölümde polimerler, polilaktik asit (PLA), üç boyutlu yazıcılar, yüzey pürüzlülüğü ölçümü, çekme deneyi, üç nokta eğme deneyi, aşınma deneyi ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) hakkında bilgiler sunulmuştur.

1.1.1. Polimerler hakkında genel bilgiler

Numunelerin üretilmesinde kullanılan polilaktik asitin (PLA), bir polimer olması sebebiyle bu bölümde, polimerler hakkında çeşitli genel bilgiler sunulmuştur.

Polimer, monomer adı verilen çok sayıda küçük atom veya atom gruplarının kimyasal bağlarla birbirlerine eklenmesiyle oluşan yapılardır. Bu yapılardan oluşan malzemelere de polimer malzeme denilmektedir [7].

Polimerler, monomer birimlerinin kovalent bağlar ile birbirlerine bağlanmasıyla oluşan ana zincirlere sahip olup monomer birimlerinden gelen atom ya da atom gruplarından oluşan yan gruplar (dallanma) da içerebilir. Polimerin yapısındaki monomer sayısı, mol kütlesi için önemlidir. Polimerin mol kütlesi de fiziksel ve mekanik özellikler ile akabinde kullanım alanlarını etkilemektedir.

Polimer ve plastik, terimlerinin gerek yazılı kaynaklarda gerekse günlük hayatta aynı anlamda kullanıldığı görülebilmektedir. Ancak bu iki terim, birebir aynı anlama gelmemektedir. Literatür araştırmasında, polimer ve plastik terimlerinin farklılığına dair şu notlar kaydedilmiştir: Polimerler, doğal veya yapay olarak elde edilebilen malzemelerdir. Plastikler, yapay olarak elde edilen polimer yapılarıdır. Literatürde, plastiklerin fonksiyonelliğini arttırabilmek için farklı malzemeleri de ihtiva edecek şekilde üretilebildiği görülmektedir. Literatür taramasında, polimer ve

plastik farkını ortaya koyan bir diğerk ifade de polimer karışımı olan reçinelerin şekil verilmiş haline plastik denilmesidir. Bu reçinelerde, çok çeşitli katkı maddeleri bulunabilmektedir [8-11].

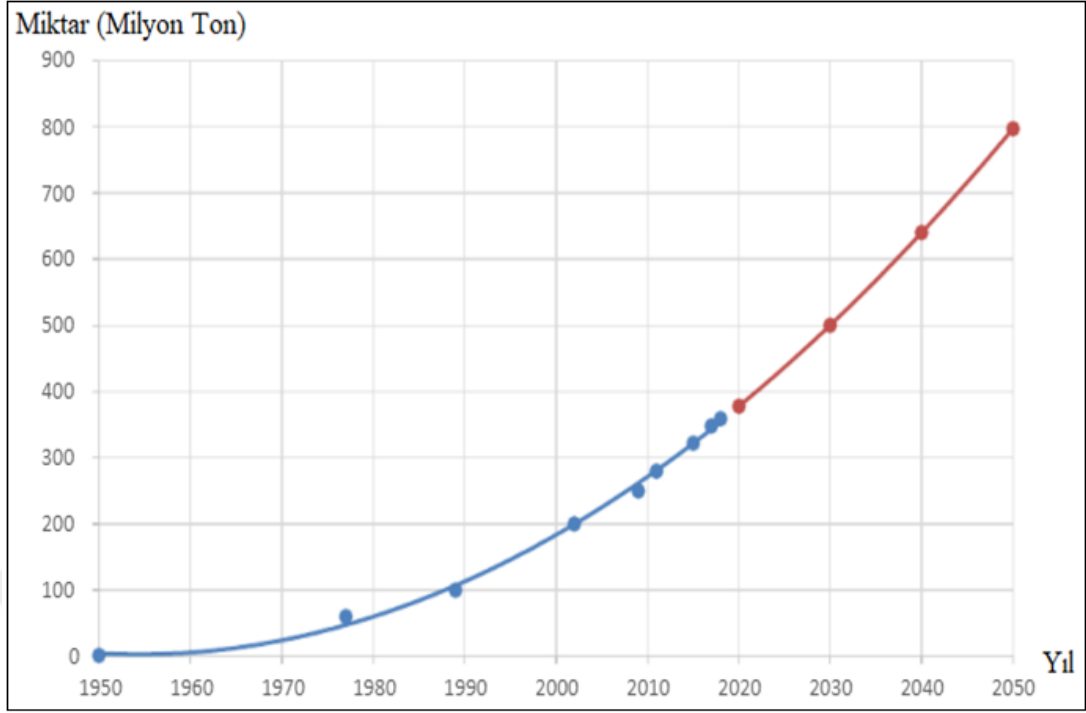
Polimer ve plastik terimlerinin farklılığı, kelime kökenleri irdelendiğinde de görülebilmektedir: Polimer, Yunan dilinde çok anlamına gelen “poli” ve parça anlamına gelen “meros” birleşerek meydana gelmiş bir kelimedir. Plastik, Eski Yunan dilinde “kalıplı, biçimlendirilmiş” anlamına gelen “plastikos” sözcüğünün Fransızca diline “biçimlendirme” anlamında geçen “plastique” sözcüğünden meydana gelmiş bir kelimedir.

Bu açıklamalar, zaman zaman yazılı kaynaklarda ve sözel anlatımlarda karıştırılarak birbirini yerine kullanılan polimer ve plastik terimleri, tezin çalışma konusu olan polilaktik asit (PLA) malzemesi de bir polimer olduğu için tezle ilgili olarak değerlendirilmiştir ve bu doğrultuda gereksinim duyularak hazırlanıp sunulmuştur.

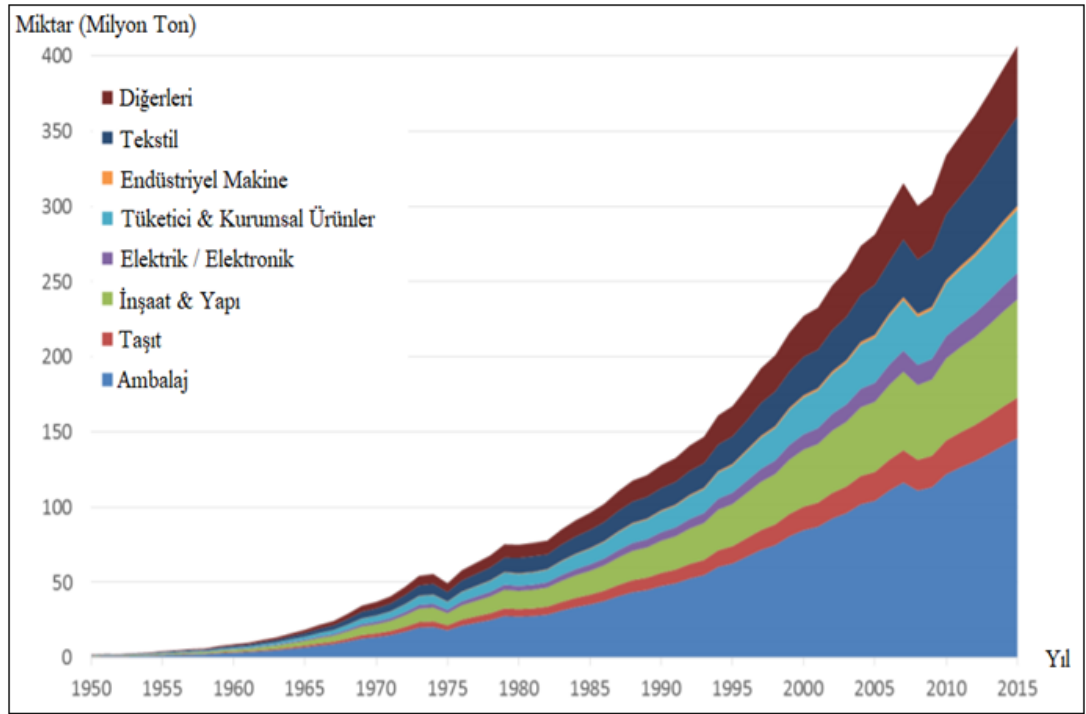
Araştırma geliştirme çalışmaları ve endüstrinin gelişmesiyle bilim ve teknolojiye gerçekleşen ilerlemeler, polimerler konusuna da yansımaktadır ve böylelikle polimer malzeme tasarımları, polimer malzemeler hakkındaki bilgi birikimi, bu malzemelerin kullanımları da giderek artmaktadır. Polimer malzemelerin kolay şekillenebilir, ucuz, hafif ve iyi korozyon direncine sahip olmaları gibi avantajları sayesinde kullanımları yaygınlaşmaktadır. Ayrıca, endüstrinin bazı alanlarında ise metal yerine de tercih edilmeye başlamıştır [12, 13].

Polimerler; otomotiv sanayi, havacılık sanayi, kompozit malzeme, kaplama, tıp, ambalaj endüstrisi, tekstil, inşaat teknolojileri, sensör uygulamaları, biyomühendislik, elektronik, robotik sistemler, optik, kozmetik, gıda, nanoteknoloji ve nanomalzeme gibi birçok alanda kullanılmaktadır [12-28].

Polimerlerden üretilmekte olan plastiklerin geçmiş yıllara göre dünya genelindeki toplam mamul üretim miktarları ve gelecek yıllar için tahmini üretim miktarları Şekil 1.1’de verilmiştir. Mavi çizgi ile 1950’den 2018’e kadar üretilen miktarlar, turuncu çizgi ile de 2020’den 2050’ye kadar olan tahmini üretim miktarları gösterilmektedir. Polimerlerden üretilmekte olan plastiklerin dünyada, yıllara göre sektör bazında mamul üretim miktarları Şekil 1.2’de verilmiştir [29, 30].



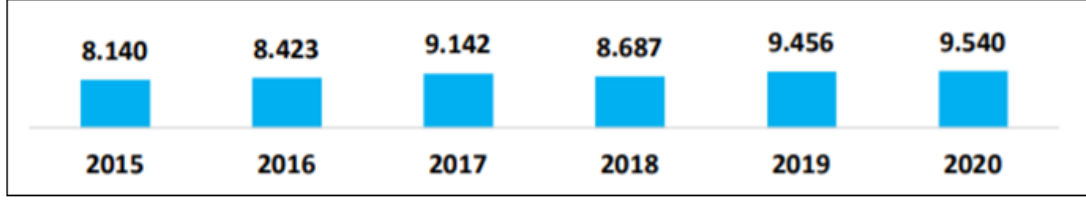
Şekil 1.1. Küresel anlamda geçmiş yıllara ve tahmini olarak gelecek yıllara ilişkin plastik üretim miktarları [29]



Şekil 1.2. Küresel olarak yıllara ve sektörlere göre plastik üretim miktarları [30]

Şekil 1.1 ve Şekil 1.2 incelendiğinde, önümüzdeki yıllarda da plastiklerin endüstri ve sanayi için giderek öneminin artacağı görülmektedir.

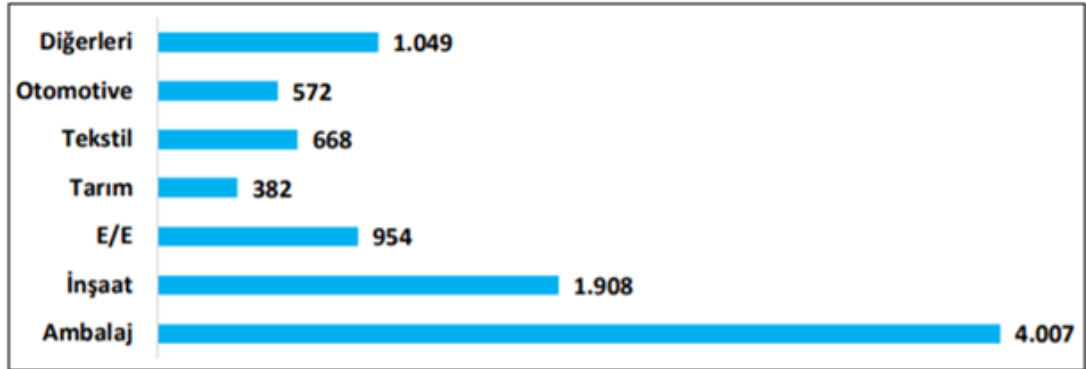
Polimerlerden üretilmekte olan plastiklerin ülkemiz Türkiye’de, son yıllardaki mamul üretim miktarları Şekil 1.3’te verilmiştir [31].



Şekil 1.3. Polimerlerden imal edilen plastik mamullerin ülkemiz Türkiye’de son yıllardaki üretim miktarları (milyon ton) [31]

Şekil 1.3, 2020 yılı için koronavirüs (covid-19) salgını nedeniyle ilan edilen pandemi süreci göz önüne alınarak incelendiğinde, Türkiye’de ve tüm dünya genelinde kullanımı giderek yaygınlaşan plastiklerin ülkemizde, mamul üretiminin miktar bazında sonraki yıllarda artış gösterebileceğine dair bir yorum yapılabilir.

Polimerlerden üretilmekte olan plastiklerin ülkemiz Türkiye’de, sektörler bazında mamul üretim miktarları Şekil 1.4’te verilmiştir [31].



Şekil 1.4. Polimerlerden imal edilen plastik mamullerin ülkemiz Türkiye’de sektörlere göre üretim miktarları (milyon ton) [31]

Şekil 1.4 incelendiğinde, polimerlerin ülkemiz Türkiye’de de kullanım alanların yaygınlaştığına dair bir yorum yapılabilir.

Dünya genelinde giderek yaygınlaşan polimerler için literatürde çeşitli amaçlara göre farklı sınıflandırma sistemleri mevcuttur. Literatür incelemeleri neticesinde, polimerlerin sınıflandırılmasına ilişkin edinilen bilgiler, alt başlıklar içerisinde derlenerek sunulmuştur [11, 17-22].

1.1.1.1. Polimerlerin molekül ağırlıklarına göre sınıflandırılması

Polimer zincirlerini meydana getiren monomer sayısı ile birlikte molekül ağırlığı da artmaktadır. Yapı; iki monomerden oluşuyorsa dimer, üç monomerden oluşuyorsa trimer, dört monomerden oluşuyorsa tetramer, beş monomerden oluşuyorsa pentamer, yirmi otuz monomerden oluşuyorsa oligomer olarak adlandırılmaktadır [36].

Polimerlerin molekül ağırlığının artması ile genellikle mukavemet değeri de artmaktadır. Ancak belli bir değerden sonra bu artış daha az oranda gerçekleşir. Buradaki durum ise asıl olarak fiziksel hal değişimden kaynaklanmaktadır. Ana zincirin molekül ağırlığı, tekrar eden monomer sayısını ifade eden polimerizasyon derecesi ile tekrar eden monomerin molekül ağırlığının çarpılmasıyla elde edilir [36].

Ayrıca yapılan literatür taramasında, kesin bir sınır değer olmamakla birlikte molekül ağırlığının 20000 g/mol'den küçük olması durumunda düşük polimer, büyük olması durumunda ise yüksek polimer şeklinde de bir sınıflandırma yapılabildiği sonucuna ulaşılmıştır [11, 35].

1.1.1.2. Polimerlerin kaynaklarına (doğada bulunup bulunmamalarına) göre sınıflandırılması

Polimerler, kaynaklarına (doğada bulunup bulunmamalarına) göre doğal, sentetik ve yarı sentetik olmak üzere sınıflandırılabilir [33, 36].

Canlı vücudunda ya da doğada bulunanlar, doğal polimerlerdir. Doğal polimerlere örnek olarak selüloz, kauçuk ağacından elde edilen lateks, canlılardaki nükleik asitler (DNA, RNA) ve proteinler verilebilir [11, 33, 35, 36].

Canlı vücudunda ve doğada bulunmayan, laboratuvar ortamlarında yapay olarak gerçekleştirilen ve çeşitli polimerizasyon yöntemleriyle oluşturulanlar sentetik polimerlerdir. Literatürde sentetik polimerler için kendi aralarında elyaflar, elastikler ve plastikler olarak da sınıflandırma yapılabilmektedir. Sentetik polimerlere örnek olarak polietilen, polilaktik asit, polipropilen, polistren, politetrafloroetilen, polivinil klorür, sentetik kauçuk, naylon verilebilir [11, 33, 35, 36, 38].

Doğal polimerlerin yapılarında değişiklik yapılmasıyla elde edilenler, yarı sentetik polimerlerdir. Yarı sentetik polimerlere örnek olarak selülozun hidroksi (OH) fonksiyonel gruplarının asetatlanması ile elde edilen selüloz asetat, selülozun nitrolanması ile elde edilen selüloit verilebilir [33, 36].

Doğal, sentetik veya yarı sentetik olmasına bakılmaksızın polimerlerden ürün oluşturulması sürecinde genellikle boya, katkı veya dolgu maddeleri gibi ilaveler yapılabilmektedir.

1.1.1.3. Polimerlerin kimyasal yapılarına (organik veya inorganik olmalarına) göre sınıflandırılması

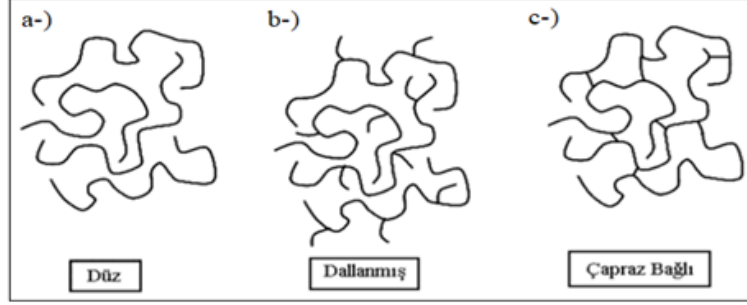
Polimerlerin organik ya da inorganik olmalarına göre sınıflandırılması, ana zinciri oluşturan atomların türüne göre yapılmaktadır. Karbon ve hidrojen atomu ağırlıklı olmak üzere azot, oksijen, flor, klor ve brom gibi elementler içerenlere organik polimerler denilmektedir. Organik polimerlere örnek olarak poliamit, polietilen, polilaktik asit, poliester, polipropilen, polivinilklorür, protein ve selüloz verilebilir [11, 35, 36, 38].

Ana zinciri karbona dayalı yapıya sahip olmayıp silisyum, bor, germanyum gibi elementler içerenlere de inorganik polimerler denilmektedir. İnorganik polimerlere örnek olarak barofan, polidimetilsiloksan ve zeolit verilebilir. İnorganik polimerlerin organik polimerlere kıyasla ısı ve mekanik olarak daha dayanıklı oldukları söylenebilir [11, 35, 36].

1.1.1.4. Polimerlerin bağ yapılarına (zincirlerin fiziksel yapılarının biçimlerine) göre sınıflandırılması

Polimerlerin bağ yapılarına göre sınıflandırılması ile bağın cinsinden ziyade temel zincirdeki fiziksel yapının biçimleri dikkate alınarak ortaya koyulan kümeler ifade edilmektedir. Polimer zincirlerinin serbest veyahut kimyasal bağlar barındırması, malzemenin özelliklerini de etkilemesi sebebiyle kullanım alanlarında da belirleyici rol almaktadır. Bağ yapılarına göre adlandırılan ve zincirlerin fiziksel yapılarının biçimlerine göre yapılan bu sınıflandırma; doğrusal (lineer) polimerler, dallanmış

polimerler ve çapraz bağı polimerler olmak üzere üç kümeden oluşmaktadır. Bu sınıflandırmaya ilişkin modellemeler Şekil 1.5'te verilmiştir [10, 11, 33, 35, 36, 39].



Şekil 1.5. Bağ yapılarına (zincirlerin fiziksel yapılarının biçimlerine) göre polimer sınıflarının modellemeleri [10]

Doğrusal (lineer) polimerler; çapraz bağ ve dallanma içermeyen, düz zincirlerden oluşan ve yalnızca yan grupların bulunabildiği hidrokarbonlardan oluşan polimerlerin adıdır. Doğrusal (lineer) polimerlere örnek olarak polietilen, polivinilklorür, polyesterler ve naylon verilebilir [10, 11, 33, 35, 36, 39].

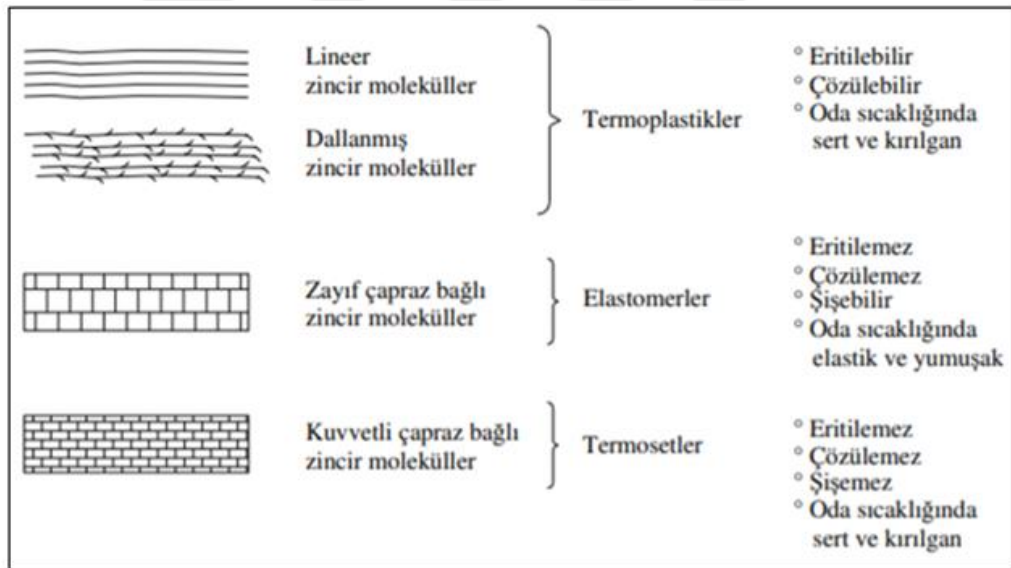
Dallanmış polimerler, temel zincirin başka polimer zincirlerine, bazı atom ya da atom gruplarına bağımsız şekilde sarkması ile oluşan polimerlerin adıdır. Dallanmış polimerlere örnek olarak polipropilen, amilopektin, glikojen, grafik kopolimer verilebilir [10, 11, 33, 35, 36, 39].

Çapraz bağı polimerler, doğrusal ya da dallanmış yapıdaki polimer zincirlerinin çapraz bağlar kurmasıyla oluşan polimerlerin adıdır. Çözücülerle karşılaştıklarında, çözünmeyip polimerin şişmesine neden olan çapraz bağların sayısının artması, şişme miktarını azaltırken çapraz bağ sayısının az olması da polimere elastomerik özellik kazandırmaktadır. Çapraz bağı polimerlere örnek olarak izopren, kısmen vulkanize edilmiş (sertleştirilmiş) kauçuk, bakalit ve formaldehit reçineler verilebilir [10, 11, 33, 35, 36, 39].

Literatürde yine bağ yapılarına göre merdiven (laddet-like) polimerler, yıldız polimerler ve dendrimer polimerler şeklinde terimler mevcuttur. Merdiven (laddet-like) polimerler, iki polimer zinciri birbiri ile çapraz bağ yapmış gibi görünen ancak iki ayrı zincir olmayan polimerlere verilen isim olup genellikle benzen türevi aromatik halkaların ardışık iki noktadan birleşmesiyle oluşan poli aromatik yapılardır. Yıldız polimerler, bir merkez atoma doğrusal polimer zincirlerinin bağı olduğu

polimerlere verilen isim olup bağı olan zincir aynı ya da farklı polimerler olabilir. Polimetakrilat divinilbenzen, yıldız yapıları bir polimerdir. Dendrimerler, çok kollu, küresel, tek noktadan dağılan ve fonksiyonel grupları çekirdekten uzak olan yeni bir polimerler sınıfıdır. Diamino merkezli ve 8 amino yüzey gruplu poliamidoamin (PAMAM) bir dendrimerdir. Dendrimerler; kanser tedavileri ve kozmetikte kullanılan toksik ve inorganik çözünenler içeren polimerlerdir [36, 40, 41].

Bu bölümdeki sınıflandırma esas alındığında çapraz bağ bulundurmayan polimerler termoplastikleri, bulunduranlar ise termosetleri ve (zayıf çapraz bağ bulunduranlar) elastomerleri oluşturmaktadır. Plastik olarak adlandırılan malzemeler ise doğrusal (lineer) veya dallanmış büyük moleküllerden oluşmaktadır. Zincirlerin fiziksel yapısının biçimine ve çapraz bağlarla ilişkin modeller ile buna dayalı olarak yapılan polimer sınıfları ve sınıflara dair birtakım pratik bilgi Şekil 1.6'da sunulmaktadır [10, 11, 33, 35, 36, 39].



Şekil 1.6. Zincir yapılarının biçimi ile çapraz bağların varlığına göre polimer sınıfları ve modelleri [39]

1.1.1.5. Polimerlerin ısıya karşı gösterdikleri davranışa göre sınıflandırılması

Polimerler, literatürde ısı özelliklerine göre termoplastikler, termosetler ve elastomerler olarak üç başlık altında incelenebilmektedir [10, 33, 36, 39, 42-45].

Termoplastikler, defalarca ısıya maruz kalsalar dahi yapılarında önemli bir değişim gerçekleşmeden tekrar şekil verilebilen bir polimer türüdür. Literatürde ısı plastikler

olarak da yer almaktadır. Doğrusal ya da dallanmış yapıda olabilen bu polimerlerin zincirleri arasında Van der Waals etkileşimleri ve hidrojen bağları mevcuttur ancak kimyasal bağlar gözlenmez. Erime sıcaklıkları çoğunlukla yüksek olan termoplastikler, erime sıcaklıklarının üzerinde ısıtılarak işlenmektedir. Termoplastiklerin kullanımı, geri dönüşüm konusunda elverişli olmaları sayesinde giderek yaygınlaşmaktadır. Termoplastiklere örnek olarak polietilen, polimetilmetakrilat, polipropilen, polistren, polivinilklorür, akrilonitril bitadien stiren (ABS) verilebilir. Termoplastikler; mutfak eşyaları, oyuncaklar, elektrik kabloları, borular, alışveriş poşetleri, ambalaj malzemeleri, şişe, laboratuvar araç gereçleri, otomotiv parçaları, oyuncak, bavul, yataklar, uçaklar, biyomedikal uygulamalarda (yapay göz ve endoskopi hortumu gibi), misina, ayakkabılar, zemin malzemeleri, kompozitlerde malzeme dayanımının artırılması ve malzemeye elastikiyet kazandırılması gibi birçok alanda kullanılmaktadır [10, 33, 36, 39, 42-45].

Termosetler, ısıya maruz kaldığı zaman yapıları değişen ve oldukça rijit yapıya sahip olan polimer türüdür. Bu rijitlikleri, polimer zincirleri arasındaki çapraz bağlar ile ilişkilendirilmektedir. Isıya maruz kaldığında yumuşayan ve hızla sertleşen termosetlerin erime noktasına ulaşıldığında kimyasal yapısında büyük değişiklikler oluşmaktadır. Termosetler, kalıplama veya ısıl işlemlerden önce termoplastiklere benzer ip şeklindeki zincirler oluşturur. Ancak kalıplama sırasında ısıya bağlı olarak moleküller, çapraz bağlar ile yüksek yoğunlukta ağ meydana getirir. Bu sebeple de kalıplanan termosetler tekrar ergitilemez. Termosetler, ısıtıldıklarında ergimeden kimyasal yapıları bozulduğu için termoplastik malzemeler gibi defalarca işlenememektedir. Bu polimerler, yeniden şekil verdirilememeleri ve ısıtılarak ergitilememeleri bakımından elastomerler ile benzerlik göstermektedir. Termosetlerin bozulması, sıcaklıklarının artırılmasıyla zincir ve bağ kırılmasından kaynaklanmaktadır. Termoset polimerler, kimyasallara ve yanmaya karşı dayanıklı malzemelerdir. Termosetlere örnek olarak bakalit, doymamış polyester, epoksi, fenoliks, formika, melamin, silikon, plaskonlar ve poliüretan verilebilir. Termosetler; elektrik yalıtımı, mutfak tezgahları, ekmek kızartma makineleri, tencere ve tava kulpları, yalıtım, döşemecilik, ütü, meşrubat kutuları, ofis eşyaları, koruyucu yüzey kaplamaları, yapıştırıcılar ve uydu çanakları gibi birçok alanda kullanılmaktadır [10, 33, 36, 39, 42-45].

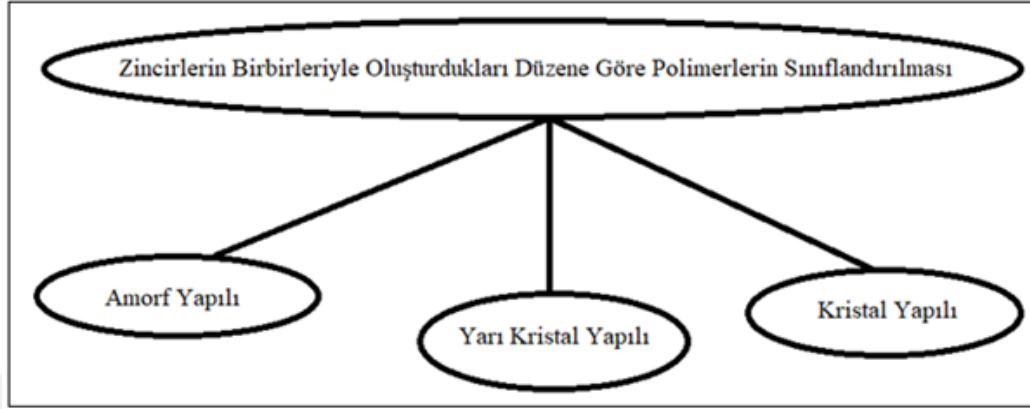
Elastomerler, çekme kuvvetinin tesiriyle şekil değiştiren ancak kuvvet ortadan kalktığı anda ilk şekline aynen (veya çok yakın) dönebilen ve ısıya karşı termoplastikler ile termosetler arasında davranış gösteren bir polimer türüdür. Elastomerler de termosetler gibi çapraz bağlar barındırmaktadır ve bu sebeple de literatürdeki çeşitli kaynaklarda sınıflandırmada termosetlere dahil edildiği görülmektedir. Ancak bağ sayısının az olması nedeniyle elastik özellik sergilememektedir. Elastomerler, sahip oldukları elastikiyet ve viskozite özelliklerinin yanı sıra ısıya maruz kaldıklarında, termosetlerde de olduğu üzere yapısı bozulmaktadır. Bu nedenle de termosetler ve elastomerler için geri dönüşümlerinin oldukça zor olduğunu söylemek mümkündür. Zira çapraz bağ oluşumundan sonra bu malzemelerin ergimesi mümkün olmamaktadır. Yine bu çapraz bağlar, malzeme içindeki akmanın kalıcı olmasını engeller ve gerilmenin ortadan kalkmasıyla malzemenin ilk şekline dönebilmesini sağlamaktadır. Kauçuk malzemeler olarak da bilinen bu malzemeler için literatürde, American Society for Testing and Materials (ASTM) tarafından “oda sıcaklığında, gerçek uzunluğunun en az iki katına kadar defalarca esnetilebilen ve tekrar orijinal uzunluğuna geri dönebilen malzemeler” şeklinde bir tanım yapıldığı da ifade edilmektedir. Elastomerlere örnek olarak izopren kauçuk, bütül kauçuk, etilvinilastat kauçuk verilebilir. Elastomerler; araç lastiklerinde, konveyör bantlarında, hortumlarda, kablolarda, otomotiv parçalarında (contalar, körükler, cam silecek lastikler, paspas), ses ve şok emici parçalarda, yer döşemeleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır [10, 33, 36, 39, 42-45].

Literatürde, termoplastik elastomerler şeklinde bir terim ve incelemesi de mevcuttur: Bu malzemeler, termoplastik gibi geri dönüşüm özelliği gösterebilen elastomer malzemelerdir. Daha düşük esneklik, elastiklik göstermeleri ve aynı zamanda üzerindeki gerilmelerin ortadan kalkması ile ilk şekillerine dönebilmeleri ile ticari olarak önem kazanmaktadır. Termoplastik polimerlere örnek olarak stiren-bütadien-stireni, çeşitli polyolefin alaşımları ve karışımları verilebilir. Sızdırmazlık elemanlarında da uygulamalarda kullanılmaktadır [10, 46].

1.1.1.6. Polimerlerin fiziksel hallerine (zincir düzenine) göre sınıflandırılması

Mol kütleleri, makromolekül olmaları sebebiyle büyük olan polimerler, diğer organik ve inorganik maddeler gibi katı, sıvı ve gaz olarak sınıflandırmaya pek uygun

değildir. Polimerleri fiziksel hallerine göre sınıflandırmada aslında kristal ve amorf olma durumlarına değinilmektedir. Polimer zincirlerinin düzenleniş yapılarına ilişkin sınıflandırma, bir şema haline getirilerek Şekil 1.7’de sunulmuştur [11, 34, 36, 39].



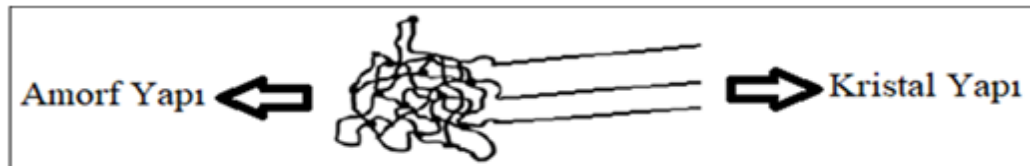
Şekil 1.7. Polimerlerin fiziksel hallerine (zincir düzenine) göre sınıflandırılması

Amorf yapılı polimerler, zincirlerin düzensiz bir şekilde iç içe girdiği malzemelerdir. Amorf yapı, polimere yumuşaklık kazandırır [11, 34, 36, 39].

Kristal yapılı polimerler, zincirlerin düzenli bir şekilde bulunduğu malzemelerdir. Kristal yapı, polimerlere sertlik kazandırır [11, 34, 36, 39].

Yarı kristal yapılı polimerler, kristal ve amorf bölgelerden oluşan malzemelerdir. Sadece amorf ya da sadece kristal polimerlere rastlanması mümkün olsa da polimerlerin çoğu, hem amorf hem de kristal halde bulunmaktadır [11, 34, 36, 39].

Yarı kristal yapılı bir polimer modellemesinde amorf ve kristal yapıları ait şematik bir görsel, Şekil 1.8’de verilmiştir [11].



Şekil 1.8. Yarı kristal bir polimerde şematik olarak amorf ve kristal yapıları [11]

Bir polimer %100 amorf yapıdan oluşuyorsa camsı geçiş sıcaklığına, %100 kristal yapıdan oluşuyorsa kristal erime sıcaklığına ve yarı kristal yapıdan oluşuyorsa hem camsı geçiş sıcaklığına hem de kristal erime sıcaklığına sahip olduğu bilgisini vermektedir [11].

1.1.1.7. Polimerlerin katkı durumlarına göre sınıflandırılması

Polimerler, katkı durumlarına göre de anılabilmektedir. Bu yönleriyle ele alındıklarında, polimerler için saf haldeki polimerler ve katkılandırılmış polimerler olarak sınıflandırma yapılabilir.

Polimerler, kullanım amacına uygunluğun ve gereken özelliklerin sağlanabilmesi için renklendiriciler, yağlayıcılar, anti statikler (elektrostatik yüklemeyi engelleyici malzemeler), stabilizatörler (UV ve ısı gibi çeşitli dış etkenlere karşı denge ve koruma sağlayıcı malzemeler), antioksidantlar (ışığa etkileri ve havadaki oksijen gibi etkilere karşı yapının tahribatını önleyen malzemeler), köpürtücüler (katı, sıvı ve gaz halde bulunabilen maddeler olup hal değiştirerek sistemden ayrılmaları ile polimerde gözenekli bir yapı oluşmasını sağlayan malzemeler), yanma dayanımı artırıcılar, floresantlar (beyazlatıcılar), biyo stabilizatörler (mikroorganizmalara karşı koruma sağlayıcı malzemeler), kristalliği düzenleyiciler (ergimiş yapının soğutulması esnasındaki kristalleşmeyi düzenleyici malzemeler) ve anti fogging agents (sis önleyici ajanlar olarak anılan bu katkılar, soğutmanın tesiriyle çığ noktasının düşmesiyle şeffaf ambalajlar gibi yapılarda yaşanan su damlacıklarını engelleyici malzemeler) gibi çeşitli işlevleri yerine getiren malzemeler ile katkılandırılmaktadır [36].

Saf haldeki polimer, katkı maddesi ihtiva etmeyen polimerlerdir.

Katkılandırılmış polimer, katkı maddesi ihtiva eden polimerlerdir.

Çeşitli malzemeler kullanılarak katkılandırılması ile polimerlerin mekanik, ısıl, optik vb. özelliklerin geliştirilmesine dair pek çok çalışma yapılmış olsa da keşfedilmeyi bekleyen verilerin çokluğu, bu alanda devam eden ve gelecekte de yapılacak olan araştırma geliştirme çalışmalarının gerekçesini oluşturmaktadır. Katedilen çalışmalardan elde edilen veriler; mühendislik, malzeme bilimi, tasarım çalışmaları ve endüstriyel üretim kuruluşları açısından önem arz etmektedir.

1.1.1.8. Polimerlerin monomer türlerine göre sınıflandırılması

Polimerler, içerdikleri monomer çeşitliliğine göre homopolimer, kopolimer ve termopolimer şeklinde adlandırmalara tabi tutulmaktadır [11, 35, 36].

Homopolimer, tek çeşit monomer barındıran zincirlerdir ve “AAAA...AAAA” ile gösterilmektedir. Bu polimerler, isimlerini de bu özellikten almaktadır. Homopolimerler, kısa süreli dayanıma ve darbe mukavemetine sahiptir. Homopolimerler; doğrusal, dallı, çapraz bağlı ve ağ homopolimer olarak kendi içinde sınıflandırılabilir. Doğrusal homopolimer, aynı monomerlerden oluşan doğrusal ve uzun zincirlerdir. Dallanmış homopolimerler, kısa veya uzun dalları ana zincire bağlanan polimerlerdir. Çapraz bağlı ve ağ homopolimerleri, ana zincir üzerinde dallara sahip olan polimerlerdir. Homopolimerlere örnek olarak poliakrilonitril, polietilen, polipropilen, polistiren naylon6 ve naylon11 verilebilir. Homopolimerler; reklam panoları, otomotiv sanayi, tekstil, alt yapı ve inşaat sektöründe (boru ve bağlantı parçaları), çeşitli ambalajlar ve mutfak ürünleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır [11, 35, 36].

Kopolimer, iki çeşit monomer barındıran zincirlerdir. Kopolimerleri daha üstün ve ucuz hale getirmek için bilimsel çalışmalar yürütülmeye devam etmektedir. Kopolimerler, uzun süreli dayanıma ve darbe mukavemetine sahiptir. Kopolimerler; alternatif (art arda), blok, rastgele (random) ve graft (aşı) kopolimer olarak kendi içinde sınıflandırılabilir. Alternatif (art arda) kopolimerler, iki tür monomerin ardı sıra eklenmesiyle oluşan polimerlerdir ve “ABABAB...ABAB” ile gösterilebilen bir düzendedir. Blok kopolimer, iki tür homopolimerden oluşan polimerlerdir ve “AAAA...AAABBB...BBBB” ile gösterilebilmekle birlikte dizilişlerine göre $(AB)_n$ tipi kopolimer, ABA tipi kopolimer ve yıldız tipi kopolimer olarak adlandırılan dizilimleri de mevcuttur. Rastgele kopolimerler, monomerlerin herhangi bir sırada eklenerek oluştuğu zincirlerdir ve “AABAABBBBBBA” ile gösterilebilir. Graft (aşı) kopolimerler, aynı tip monomerden oluşan zincirin farklı yerlerinden diğer tür monomer zincirlerinin dallandığı polimerlerdir ve “AAA...AAA ana zincirden BBBB...BBB dallanmaları” ile gösterilir. Kopolimerlere örnek olarak stiren akronitril (SAN), stiren bütadien (SBR), polietilen tereftalat (PET) ve etilen glikol verilebilir. Kopolimerler; buzdolabı parçalarında, kozmetik ambalajları, mutfak malzemeleri, otomobil lastikleri ve çeşitli plastik ürünler gibi birçok alanda kullanılmaktadır [11, 33, 35, 36].

Terpolimer, üç çeşit monomer barındıran zincirlerdir. Monomer türünün artmasıyla birlikte malzemeye farklı özellikler kazandırılabilir. Terpolimerlere örnek

olarak etilen propilen dien monomer (EPDM), akrilonitril bütadien ve sitiren (ABS) verilebilir. Terpolimerler; yalıtım malzemesi, otomotiv, müzik enstrümanları, lego, tıbbi cihazlar, borular, bağlantı elemanları, televizyon, telefon ve bilgisayar kasaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır [35, 36].

1.1.1.9. Polimerlerin mekanik özelliklerine (şekil değiştirme eğilimlerine) göre sınıflandırılması

Polimerlerin mekanik özelliklerine göre sınıflandırılmasına dair literatürde yer verilen ifade, şekil değiştirme eğilimlerine göre yapılan gruplandırma değildir. Katı, kauçuksu ve akışkan polimerler olmak üzere üç başlıkta incelenmektedir [11].

Katı polimerler, çok küçük şekil değişikliklerinde dahi yüksek kuvvet gerektiren polimerler için atfedilen adlandırma değildir. Örnek olarak oda sıcaklığındaki polistren verilebilir [11].

Kauçuksu polimerler, tersinir olarak şekil değiştiren ve amorf yapı gösteren polimerler için atfedilen adlandırma değildir. Örnek olarak ısıtıldıklarında yüksek elastiklik gösterdikleri için polistren ve polivinil alkol verilebilir [11].

Akışkan polimerler, çok küçük mekanik kuvvetlerle tersinmez olarak şekil değiştiren, amorf polimerler için atfedilen bir adlandırma değildir. Örnek olarak poliizobütilen verilebilir [11].

1.1.1.10. Polimerlerin oluşma tepkimelerine (polimerizasyon reaksiyonlarına) göre sınıflandırılması

Polimerlerin monomerlerden oluşması reaksiyonlarına polimerizasyon denir. Polimerizasyon tepkileri temel olarak katılma (zincir) polimerizasyonu ve kondenzasyon (basamaklı) polimerizasyonu olarak ikiye ayrılır. Polimerleri de oluşma tepkimelerine (polimerizasyon reaksiyonlarına) göre sınıflandırmak mümkündür [11, 33, 35, 36, 47-49].

Oluşumu katılma (zincir) polimerizasyonu şeklinde gerçekleşen polimerler, katılma polimeri olarak anılmaktadır. Katılma (zincir) polimerizasyonu, monomerlerin birbirine eklenerek uzun zincirler oluşturduğu polimerizasyon türüdür. Uygun

sıcaklık ve basınçta, katılma polimerizasyonun başlaması için katalizör gerekmektedir. Katılma (zincir) polimerizasyonu; radikalik polimerizasyon ve iyonik polimerizasyon olarak ikiye ayrılmakta olup mekanizmanın türü, gereken katalizörü de etkilemektedir. Başlangıç, gelişme ve sonlanma olmak üzere basamaklar halinde ele alınan radikalik katılma polimerizasyonları için başlangıç basamağında azobisisobütironitril (AIBN), hidrojen peroksit (H_2O_2), terbütül hipoklorit (Me_3COCl) veya benzoil peroksit (BPO) gibi moleküllerin termal veya fotokimyasal etkilerle radikalik (homolitik) olarak parçalanmasıyla oluşan radikal ile π (pi) bağının etkileşmesiyle aktif radikalik bir merkezin oluştuğu; gelişme basamağında başlangıç basamağında oluşan aktif radikalik merkezin monomerlerle etkileşmesiyle zincirin büyüdüğü ve sonlanma basamağında ise farklı reaksiyonlarla art arda gerçekleşen katılmaların kombinasyon (terminasyon, sönme) ve disproporsiyasyon (tek bir reaksiyon basamağında aynı molekülün hem yükseltgenmesi hem de indirgenmesi) reaksiyonlarının gerçekleşmesi ile polimer oluşan tepkime türü şeklinde ifade edilebilir. Radikalik katılma polimerizasyonlarında, dallanmış kısım için baş ve diğer kısım için kuyruk ifadeleri kullanılmaktadır. Radikalik katılma polimerizasyonunda, genellikle başlangıç basamağındaki aktif radikalde baş kuyruk katılmaları yaygın olmakla birlikte monomer yapısı ve ürünün kararlılığına bağlı olarak baş kuyruk katılmasının yanı sıra baş baş veya kuyruk kuyruk katılması da gerçekleşebilmektedir. İyonik katılma polimerizasyonu, radikal katılma polimerizasyonuna benzeyen ancak aktif merkezlerin radikalik değil de iyonik olduğu ve iyonik aktif merkezlerin monomerlerle reaksiyonu sonucunda polimerlerin oluştuğu polimerizasyon türüdür. Katılma polimerizasyonu ile oluşan polimerlere örnek olarak etilen, propilen ve akrinitril verilebilir [11, 33, 35, 36, 47, 48].

Kondenzasyon (basamaklı) polimerizasyonu, fonksiyonel iki grubun tepkimeye girmesiyle NH_3 , H_2O ve HCl gibi molekül ağırlığı az olan moleküllerin oluştuğu polimerizasyon türüdür. Bu türde, tepkimeden çıkanların bifonksiyonel (molekül yapısında iki reaktif grubun bulunduğu bileşikler) olması halinde kondenzasyon tepkimelerinin devamında kondenzasyon (basamaklı) polimerleri ortaya çıkar. Bifonksiyonel gruplar aynı molekülde bulunursa doğrusal polimerlerin yanı sıra halkalı yapıdaki monomer, dimer, teramer gibi lakton ve laktam gibi yapılar da oluşabilmektedir. Kondenzasyon (basamaklı) polimerizasyonu, ilerleme

mekanizması gereği olarak yavaş ve isminden anlaşılabilceği üzere basamak basamak gerçekleşir. Tepkimelerin sonucunda, farklı büyüklüklerde ve mol kütleli yüksek zincirler ortaya çıkmaktadır. Kondenzasyon (basamaklı) polimerizasyonu oluşan polimerlere örnek olarak polietilen teraftalat, polikarbonat, naylon 6-6, epoksi ve fenolik reçineler verilebilir [11, 33, 35, 36, 47, 49].

Literatürde, suda çözünmeyen monomerlerin emülsiyon yapan maddelerle suda küçük parçalara dağılmasıyla gerçekleşen polimerizasyonlar için emülsiyon polimerizasyonu, daha küçük parçaların sıvıda askıda kalmasıyla gerçekleşen polimerizasyonlar için süspansiyon polimerizasyonu ve monomerlerin doğrudan veya çözünmüş başlatıcılar ile polimerizasyonu kütle (blok) polimerizasyonu gibi çeşitli adlandırmalar da yapılmaktadır [35, 36].

1.1.1.11. Polimerlerin teknolojik gelişmişliğe ve kullanımlarına göre sınıflandırılması

Literatürde, polimerlerin teknolojik kullanım alanlarına göre plastikler, kauçuklar ve fiberler, kaplamalar şeklinde bir sınıflandırması mevcuttur. Bunun yanı sıra bilim ve teknolojideki yenilikler, gelişmişlik ve kullanıma göre farklı bir sınıflandırmaya zemin hazırlamıştır. Bilimsel ve endüstriyel gelişmeler; mutfak gereçleri, otomotiv sektörü, akıllı ev sistemleri, havacılık ve uzay sanayi, yapı malzemeleri, tıbbi cihazlar ve medikal ürünleri gibi birçok farklı alanda yüksek teknolojiye sahip ürünleri de beraberinde getirmiştir. Bunlara ileri teknoloji ürünleri denilmektedir. Bunların yüksek teknolojik özellik kazanmalarını sağlayan, üretiminde kullanılan, üretiminde teknoloji ve bilgi gerektiren malzemeler ise ileri malzemeler olarak adlandırılmaktadır. İleri malzeme gruplarından birisi de ileri polimerik malzemelerdir. Hafifliği ve ucuzluğu gibi avantajlarıyla yaygınlık kazanan polimer malzemeler de bilimsel ve teknolojik gelişmelerle birlikte ileri malzeme teknolojisinde yerini almıştır. İleri polimer malzemeler için kullanıldıkları alan ve amaçlara göre akıllı polimerler, iletken polimerler, biyopolimerler şeklinde bir sınıflandırma yapmak mümkündür [11, 36, 37, 50].

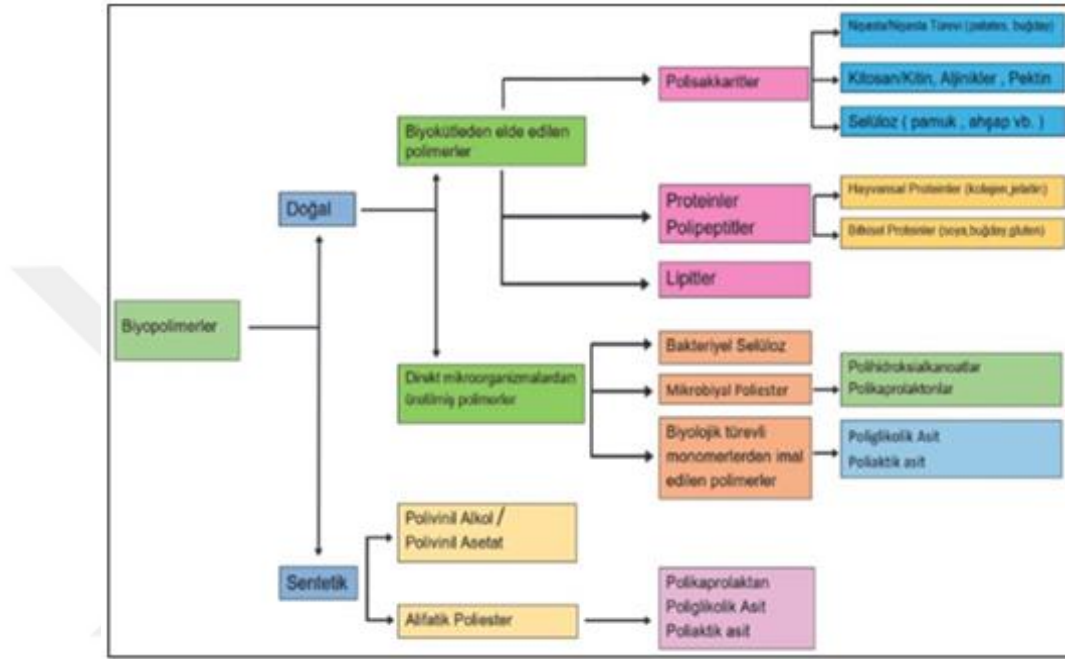
Akıllı polimerler, çözücü ile karşılaştığında çapraz bağlı zincirde meydana gelen deformasyonlara bağlı olarak şişen ve bu esasa göre kullanılan polimerlerdir. Akıllı malzemelerin jel gibi şişme veya büzülme şeklinde tepki vermelerini; sıcaklık, pH,

nem, ortam konsantrasyonu, ışık, kimyasallar, elektrik veya manyetik alan gibi farklı faktörler sağlayabilmektedir. Literatürde, çevreye duyarlı polimerler olarak da yer almaktadır. Duyarlı oldukları faktör, akıllı polimerlerin kullanım alanlarını belirlemektedir. Akıllı polimer jellerine örnek olarak vücudunun bazı bölgelerinde şişmeler gözlenebilen deniz anası, jelatinden bir gıda maddesi olan jöle, damarların duvarları ve kan, midedeki epitel hücreler, bağırsak ve akciğer yüzeyi, eklemlerdeki jeller, göz boşluğunu dolduran sıvı, sıcaklığa duyarlı poli N-izopropilakrilamid (PNIPAM), polivinilmetileter, modifiye edilmiş polilaktit (polilaktik asit), polilaktit glikolid kopolimerleri ve poliamidoamin dendrimerleri (tekrar eden, dallanmış, küre şeklindeki geniş moleküller) verilebilir. Akıllı sınıftaki polimerler; göz damlalarında, hücre implantasyonu, doku mühendisliği, kontrollü ilaç salınımı (ilacın gerekli organlara istenen doz ve sürede verilmesi), antikanser ilaçları, sensörler ve ileri teknoloji cihazlar gibi birçok alanda kullanılmaktadır [36, 37, 50].

İletken polimerler; yıllarca plastik malzeme imalatı, yüzey kaplama, tekstil ve elektriksel yalıtkan gibi amaçlarla kullanılan polimer malzemeler üzerine yapılan çalışmaların ilerlemesiyle bazı polimerlerin içinde hapsolan iyonlar yardımıyla elektriği iletebildiği görülen ve elektrokimyasal olarak üretilebileceği fark edilen polimerlerdir. İletken polimerlere örnek olarak klorofildeki merkezde bir tane Mg atomunun etrafında bulunan dört pirol polimer halkası, polianilin, politiyofen ve polifuran verilebilir. Diğer polimerlerden farklı olarak daha az korozyon gerçekleşmesi için bariyer görevi üstlenen anodik korumalar (redoks prosesleri sayesinde korozyona karşı daha kararlı bir sistem eldesinde) ve şarj olabilen piller, iletken polimerlerin kullanıldığı alanlardandır [36, 37, 50, 51].

Biyopolimerler, canlılar tarafından oluşturulabilen veya doğada var olabilen polimerler olarak tanımlanmaktadır. Ekolojik problemler ve çevre bilincinin gelişmesiyle biyopolimerlerin önemi artmıştır ve biyopolimerlerin sentetik olarak da üretimi yapılmaktadır. Biyopolimerler, farklı disiplinlere göre sınıflandırılabilir. Biyopolimerler; polisakkaritler, proteinler ve polinükleotitler olarak incelemekte olan biyokimyaya göre yapılan sınıflandırmada, örnek olarak polisakkaritler için monosakkaritlerin poliasetal ve poliketal organizasyonları, proteinler için α aminoasitlerin poliamidleri, polinükleotitler için nükleik asitlerin ve fosforik asitlerin poliesterleri verilebilir. Okul araç gereçleri, tıp, makine, inşaat, elektronik, kozmetik,

tarım, ambalaj ve paketleme gibi birçok alanda kullanılan biyopolimerler için bir başka sınıflandırma mikroorganizmalar, bitkiler ve hayvanlar tarafından üretilenler ve aminoasit, şeker, doğal yağlar gibi biyolojik kökenli materyallerden türetilen kimyasal olarak sentezlenen polimerler olarak iki grup halindedir. Bu sınıflandırma ve biyopolimer için örnekler Şekil 1.9’da verilmiştir [36, 37, 52, 53].

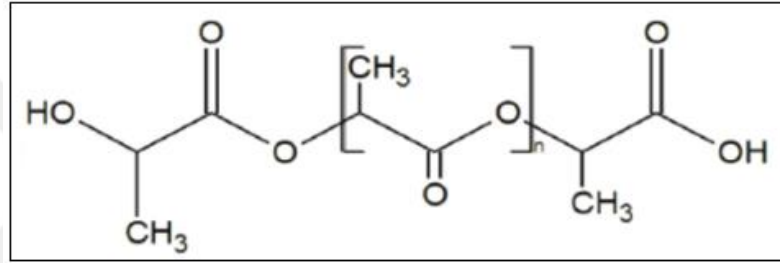


Şekil 1.9. Biyopolimerlerin elde edilme şekillerine göre sınıflandırılması [36]

Biyopolimerler, biyobozunur polimerler ve biyolojik olarak parçalanamayan polimerler olarak da ikiye ayrılabilir. Biyobozunur polimerler, biyolojik ajan (alg, bakteri, mantar vb.) etkisinde kimyasal reaksiyonlarla ayrışarak (su, tuz ve CO₂, N₂ gazları gibi maddeler oluşarak) doğadaki döngülere katılabilen polimerlerdir. Biyobozunur polimerlere örnek olarak polilaktik asit (PLA), nişasta ve poli-ε-kaprolakton verilebilir. Biyobozunur polimerler; doku mühendisliği, iskeleler, ambalaj teknolojileri ve biyomedikal cihazları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Biyolojik olarak parçalanamayan polimerler, biyolojik sistemlerde parçalanamayan polimerlerdir. Biyolojik olarak parçalanamayan polimerlere örnek olarak polietilen (LDPE), polistiren (PS), polivinilklorür (PVC) verilebilir. Biyolojik olarak parçalanamayan polimerler; denizlerde kullanılan çeşitli yapılar (duba, plastik iskeleler vb.), ambalaj sektörü, oyuncaklar, spor malzemeleri ve otomotiv parçaları (havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin kanalları, kapı ve çamurluk panelleri, iç mekan parçaları vb.) gibi birçok alanda kullanılmaktadır [36, 37, 52-58].

1.1.2. Polilaktik asit (PLA)

Polilaktik asit, tekrarlayan birimi laktik asit olan bir polimerdir. Polilaktik asitlerin bu tekrarlayan birimleri, insan vücudunda da laktik asit fermantasyonu ile ortaya çıkan monomerlerdir. Mısır, şeker kamışı ve buğday gibi bitkisel kaynaklar kullanılarak üretilen polilaktik asit, biyopolimer ve de biyobozunur malzemelerdir. Polilaktik asit polimeri, laktik asit monomerlerinin polimerizasyonu sağlanarak elde edilmektedir ve bu polimerizasyona dayalı üretim bakımından sentetik bir polimerdir. Ana zincirin barındırdığı elementlere bakılarak yapılan sınıflandırmaya göre ise organik bir polimerdir. Şekil 1.10'da polilaktik asit zincirinin yapısı verilmiştir [11, 33, 35, 36, 38, 52, 53, 59-62].



Şekil 1.10. Polilaktik asit zincirinin yapısı [52]

Polilaktik asit, doğal (katkısız) haliyle şeffaftır. Literatürde, polilaktik asitler için yarı kristal veya amorf yapılı olan termoplastik ve alifatik polimerler olduğu yer almaktadır [52, 59, 63].

Enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon gibi geleneksel yöntemlerle ve üç boyutlu yazıcılarla gerçekleştirilen üretimlerde polilaktik asit kullanılabilir. Ester gruplarının hidrolizinin uzun sürmesi, kırılkan bir yapıya sahip olması gibi dezavantajlarına karşın oluşumunda alternatiflerine göre daha az enerji harcanması, istenilen amaca uygun özellik kazandırılabilir nitelikte olması, atık hale geldiğinde doğal biçimde bozunması ve toksik maddelerin ortaya çıkmaması gibi avantajları sayesinde polilaktik asit kullanımı, çeşitli uygulamalarda yaygınlaşmıştır. Ambalaj endüstrisi, tekstil lifi, spor kıyafetleri, dış mekan uygulamaları, mobilyalar, biyomühendislik, medikal uygulamaları, çanta, ofis otomasyon ekipmanları, nanomalzemeler, üç boyutlu yazıcılarda üretilen çeşitli ürünler, elektrik ve elektronik cihazlar gibi birçok alanda polilaktik asit kullanılmaktadır [2, 59, 62, 64-67].

1.1.3. Üç boyutlu (3D) yazıcılar hakkında genel bilgiler

Polimerler kullanılarak elde edilen plastik ürünlerin imalatında genellikle plastik enjeksiyon ve ekstrüzyon (sıkıştırma – pres, transer, döküm yöntemleri) ve şişirme gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bir diğer yöntem de 1980’lerden günümüze uzanan ve yaygınlaşan üç boyutlu yazıcılardır [36, 68-73].

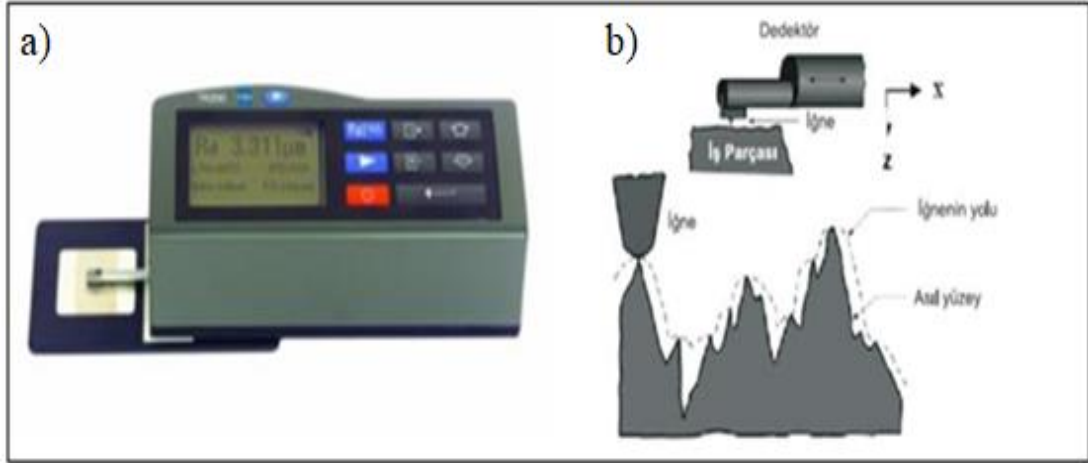
Üç boyutlu yazıcı, plastik veya metal malzemeleri ergitip iki boyutlu düzlemde üst üste katmanlar oluşturma ilkesine göre çalışan ve bilgisayar destekli programlar vasıtasıyla tasarımların üretimini gerçekleştiren makinelerdir. Temel çalışma ilkeleri benzer olan üç boyutlu yazıcı tekniğinin direkt katmanlı üretim, polimerizasyon [polimerizasyon tekniğinin çeşitleri: steryolitografi (SLA), polimer jet yöntemi (polyjet-multijet) modelleme, dijital ışık yöntemi -digital light processing- (DLP), mikro stereolitografi (Micro Stereolithography)], mikro stereolitografi (micro stereolithography), sinterleme ve ergitme [sinterleme ve ergitme tekniğinin çeşitleri: lazerle sinterleme -selective laser sintering – SLS, lazer ile ergitme -selective laser melting- (SLM), elektron ışınli ergitme (EBM)], katı zemin kütleleme (SGC), katman laminasyonu ile üretim -layer laminated manufacturing – (LLM) [katman laminasyonu ile üretim tekniğinin çeşitleri: lamine nesne üretimi -laminated object manufacturing- (LOM)], toz bağlayıcılı üretim, ekstrüzyon - ergitilmiş katman modelleme [fused deposition modeling - fused filament fabrication (FDM-FFF)] olmak üzere farklı üretim sistemleri mevcuttur [74-76].

Üç boyutlu yazıcı üretim tekniklerinden olan ergitilmiş katmanla üretim [fused deposition modeling (FDM)], günümüzde giderek daha da yaygın hale gelmektedir ve bu tez çalışmasında da kullanılmıştır. FDM üç boyutlu yazıcıları, filament olarak adlandırılan ve makaraya sarılmış üretim malzemesinin bir tahrik ünitesiyle nozula ulaştırılarak burada ısıtılmasıyla ergitilen malzemenin yazılım vasıtasıyla gerçekleştirilen harekete göre ekstrüzyon kafasındaki nozuldan akması sonucunda iki boyutlu tablada oluşturulan katmanların üst üste eklenmesiyle tasarımların üç boyutlu konstrüksiyonlarının üretimi esasına dayanan makinelerdir. FDM tipi üç boyutlu yazıcılarda üretim için PLA (Polilaktik asit), ABS (Akrilonitril Bütadiyen Stiren), PETG (Glikol Modifiyeli Polietilen Tereftalat), PC (Polikarbonat), PA [poliamit (nylon)] gibi malzemelerin filamentleri kullanılmaktadır [75, 77-79].

Üç boyutlu yazıcılar, polimer sektöründe kullanılan diğer üretim yöntemlerine göre eşit sürede daha az üretim kapasitesine sahip olsa da kalıp ve takım tasarımı gibi gerekliliklerinin olmaması yönüyle de prototip veya az sayıda parça üretimini çok daha hızlı kılmaktadır. Bu teknoloji, sağladığı pratik özelliklere bağlı olarak endüstri ve bilimle birlikte bireysel kullanıcılar tarafından da kullanılmakta ve yaygınlaşmaktadır. Öte yandan üç boyutlu yazıcıların katmanları yığıldığı tabla hacminin çok büyük olmamasının bir etkisi olarak büyük ebatlı ürünler, ancak montaj edilebilecek daha küçük parçalar halinde üretilip birleştirilerek ortaya koyulabilmektedir. Bunun bir sonucu olarak da diğer plastik ürün imalatı proseslerine kıyasla genellikle daha az hassas olan üç boyutlu yazıcılarda, ürün boyutunun artmasıyla hassasiyet sorunları da daha çok gözlenebilmektedir. Fakat üç boyutlu yazıcılar, bilgisayar destekli tasarım ile hazırlanan karmaşık yüzey geometrili tasarımları dahi pratik bir şekilde inşa edebilmeleri ve diğer yöntemlerde ihtiyaç duyulan kalıp, teçhizat, frezeleme, tornalama, üretim sonrası talaş temizleme ve işçilik gibi maliyet yükselten çeşitli faktörlerden arınma sağlayabilmesi ile avantajlı bir teknoloji olmakta ve giderek yaygınlaşmaktadır. Ayrıca, üretim malzemesi olan filamentlerin kolay ve ucuz bir şekilde tedarik edilebilmesi de üç boyutlu yazıcıları cazipleştiren unsurlardandır [75, 80].

1.1.4. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

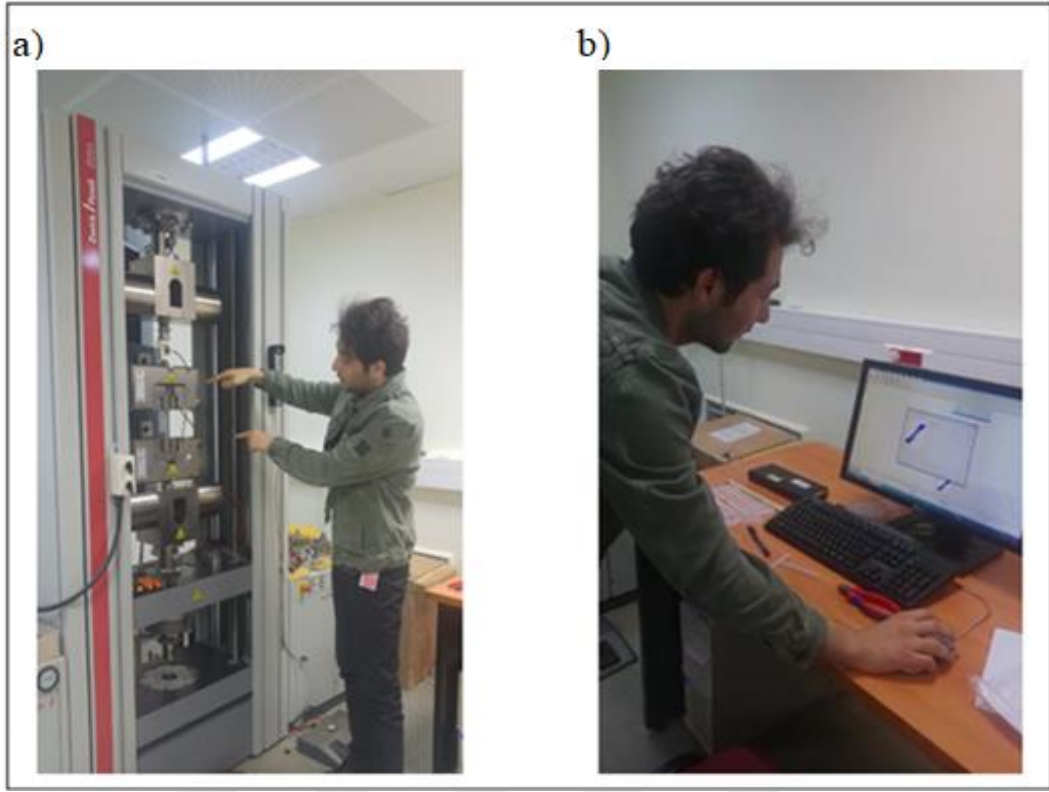
Yüzey pürüzlülüğü, imalat yöntemleri ve başka etkilerle yüzeyde meydana gelen düzensizliklerdir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ise bu düzensizliklere dair Ra (aritmetik ortalama sapması), Rq (aritmetik ortalama sapmaların karekökü), Ry (profilin maksimum yüksekliği) gibi değerlerin elde edildiği işlemdir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü için kullanılan çeşitli yöntem ve cihazlar mevcut olup bunlardan en yaygın olanı, iğne uçlu ölçüm cihazıdır. İğne uçlu ölçme cihazı, bir motor vasıtasıyla ileri ve geri hareket eden ucun yüzey boyunca yaptığı yukarı aşağı yönlü mekanik sapmaların dedektör aracılığıyla elektrik sinyallerine dönüştürülmesi ve sisteme entegre bir yazılım ile yüzey pürüzlülük değerlerinin ve yüzey profilinin elde edilmesi prensibine göre çalışmaktadır. Şekil 1.11'de, yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemlerinden iğne uçlu ölçüm cihazı ve çalışma prensibi verilmiştir [81-86].



Şekil 1.11. İğne uçlu yüzey pürüzlülüğü sistemi a) iğne uçlu yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı [Teskon TR-200 (3200)] b) iğne uçlu ölçme sisteminin çalışma prensibi [83, 86]

1.1.5. Çekme deneyi

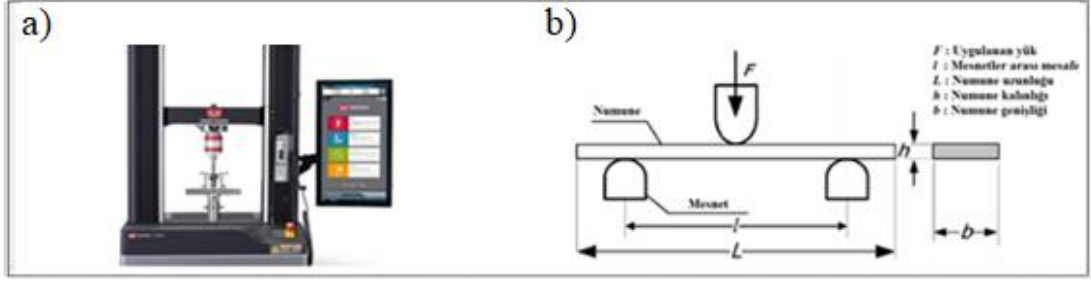
Çekme deneyi (testi), mühendislikte yaygın olarak kullanılan bir teknik olup deneye tabi tutulan numuneler üzerinden oldukça önem arz eden çeşitli mekanik özelliklere dair veriler sağlayan, elastik ve plastik davranışların karakterize edilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Çekme deneyi, prensip olarak incelenecek olursa her iki çenenin hareketli olduğu çekme deneyi makineleri olsa da genellikle sabit bir alt çene ve hareketli bir üst çene arasında yerleştirilen standartlara uygun numunelerin yine standartlara uygun bir şekilde çekilerek koparılması esasına göre gerçekleştirilmektedir. Uygulanan kuvvet ve gerçekleşen uzama miktarı gibi deneye ilişkin veriler ise sisteme entegre bir yazılım vasıtasıyla elde edilmektedir. Bu veriler kullanılarak çalışmada duyulan ihtiyaca göre de çekme deneyi eğrileri, çekme dayanımları, elastisite modülleri gibi çeşitli mekanik özellikler belirlenmektedir. Mühendislik tasarımlarındaki konstrüksiyonların imal edileceği malzemenin çekme dayanımı ve elastisite modülü, yapıların mukavemet hesaplarında büyük rol oynar. Bu sebeple de çekme dayanımı ve elastisite modülü gibi çeşitli mekanik özelliklerin belirlenmesine imkan veren çekme deneyleri, makine mühendisliği de başta olmak üzere birçok mühendislik disiplini için önemlidir. Bir çekme deneyi cihazı, (TÜBİTAK UME Kuvvet Laboratuvarları altındaki Kuvvet Laboratuvarı bünyesindeki Zwick Z250 makinesi) ve entegre yazılım ekranı fotoğraf olarak Şekil 1.12’de sunulmuştur [87, 88].



Şekil 1.12. Çekme deneyi sistemi a) çekme makinesi (TÜBİTAK UME Kuvvet Laboratuvarı Zwick Z250) b) çekme makinesi entegre sistem ve programı (testXpert)

1.1.6. Üç nokta eğme deneyi

Üç nokta eğme deneyi (testi), eğilme dayanımı ve eğilme modülü gibi verilerin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Üç nokta eğme deneyi, gerilme dağılımının numune boyunca değişkenlik göstermesiyle çekme ve basma testlerine kıyasla farklılık göstermektedir. Deneye tabi tutulan numunenin bir tarafı, çekme tesirli eğilme gerilmesine maruz kalırken diğer taraf, basma tesirli eğilme gerilmesine maruz kalmaktadır. Numunede oluşan eğilme gerilmesinin özü, eğilme momentinden kaynaklanmaktadır. Bu sebeple de eğilme gerilmesinin tayin edilebilmesinde, eğilme momenti ve mukavemet momentleri kullanılır. Eğme deneyinin gerçekleştirilme prensibi, uygun standartlardaki hız ve ölçülere göre üzerinde bulunduğu iki mesnet arasından aparatın hareket etmesiyle numuneye kuvvet uygulanmasıdır. Sisteme entegre bir yazılım ile de deney gerçekleştirilirken veriler alınmaktadır. Çalışmanın kapsamına göre de eğilme dayanımı, eğilme momenti gibi ihtiyaç duyulan mekanik özellikler irdelenmektedir. Şekil 1.13'te üç nokta eğme deneyi sistemi (Instron 68TM-10) ve prensibine ilişkin şema verilmiştir [89-92].



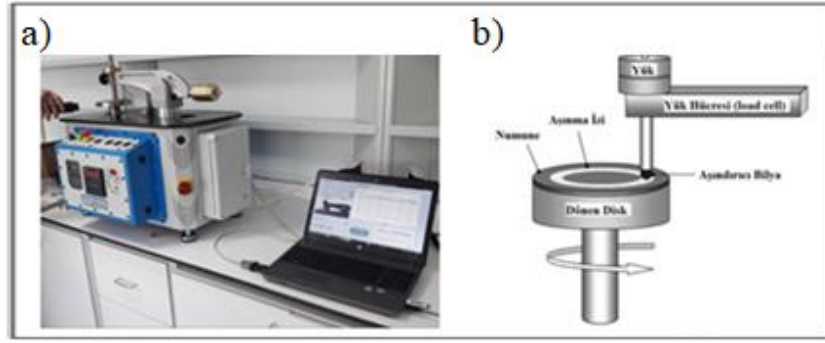
Şekil 1.13. Üç nokta eğme deneyi sistemi a) üç nokta eğme deneyi tertibatı (Instron 68TM-10) b) üç nokta eğme deneyi prensip şeması [91, 92]

1.1.7. Aşınma deneyi

Triboloji, Yunanca “sürtünme” anlamına gelen “tribos” kelimesinden gelmekte olup genellikle temas halindeki hareketli sistemlerdeki harekete karşı oluşan direnç olarak adlandırılabilen sürtünme ve sürtünme sonucu parçacıkların ayrılmasıyla meydana gelen hasar şeklinde tanımlanabilen aşınma ile aşınma için geliştirilen yağlama sistemlerini inceleyen bilim ve teknoloji dalıdır. Enerjinin değerinin artmasına bağlı olarak tasarımların ömrü de giderek önem kazanmaktadır. Buna istinaden aşınma ile ilgili çalışmaların sayısı ve önemi de artmaktadır.

Aşınmanın çeşitli türleri bulunmaktadır. Bu çalışmada temas halinde, birbirlerine göre bağlı hareket eden iki malzeme arasındaki sürtünmenin etkisiyle yüzeyden parçalar kopan kayma veya sürtünme aşınması olarak da adlandırılan ve mühendislerin sahada sıklıkla karşılaştıkları adhezif aşınma incelenmiştir.

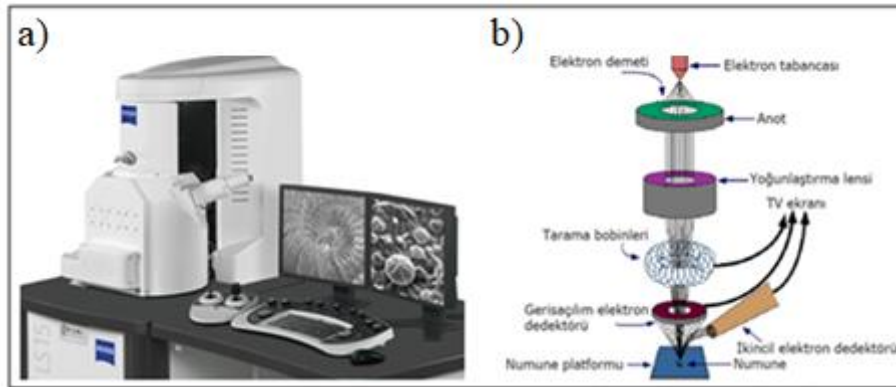
Adhezif aşınma incelemeleri için pin on disk olarak adlandırılan yöntem ve cihazlar kullanılarak deneyler yapılabilmektedir. Pin on disk prensip olarak aşındırıcı ucun bağlı olduğu yük koluna ağırlık eklenen ve numunelerin dönel hareketli bir disk üzerine konumlandırılmasıyla uç ve numune arasındaki sürtünmeye bağlı olarak aşınma gerçekleştirilmesi esasına dayanır. dönme hızı, kayma mesafesi, sürtünme yarıçapı, yük ve aşındırıcı uçtaki bilye gibi parametrelerin etkili olduğu bu sisteme uygun bir yazılım ile de zaman, sürtünme katsayısı, ortalama sürtünme katsayısı, kayma mesafesi gibi veriler alınır. Pin on disk ile yapılan aşındırılan numunelerin mekanik özelliklerine dair bilgi birikimi, deneyden elde edilen gerekli veriler kullanılarak gerçekleştirilen tribolojik incelemeler ve yorumlarla geliştirilebilmektedir. Şekil 1.14’te bir pin on disk sistemi (TURKYUS PODWT) ve prensibine ilişkin şema verilmiştir [93-98].



Şekil 1.14. Pin on disk sistemi a) pin on disk düzeneği (TURKYUS PODWT) b) pin on disk deneyi prensip şeması [97, 98]

1.1.8. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu, yüzey morfolojisi ile fiziksel yapıyı ve dokuyu ayrıntılı olarak büyüterek inceleme imkanı veren ileri teknoloji cihazlardır. Taramalı elektron mikroskobunun çalışma prensibi, yüksek voltajlar kullanılarak ve vakum etkisiyle elektronların merceklere geçirilerek numune yüzeyine gönderilmesi sonucunda, elektronların yansıma veya saçılma durumlarına göre cihaza entegre bir yazılım ile görüntü oluşturulması esasına dayanmaktadır. Taramalı elektron mikroskopları bu prensip sayesinde, görünür ışık kullanılan mikroskoplara göre çok daha yüksek çözünürlük sağlamaktadır ve yine bu çalışma prensibinden dolayı da elektriği iletmeyen numunelerin incelenebilmesi için altın, paladyum vb. iletken malzemeler ile kaplanması gerekmektedir. Şekil 1.15'te bir taramalı elektron mikroskobu (ZEISS EVO-SEM) ve taramalı elektron mikroskobunun prensibini gösteren bir şema verilmiştir [99-101].



Şekil 1.15. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) sistemi a) taramalı elektron mikroskobu (ZEISS EVO-SEM) b) taramalı elektron mikroskobu prensip şeması [100, 101]

1.2. Literatürdeki Çalışmalar

FDM tipi üç boyutlu yazıcılarda, elde edilen baskıların mekanik özelliklerine baskı yönü, baskı sıcaklığı, tabla sıcaklığı, nozul çapı, katman kalınlığı, dolgu oranı, dolgu deseni, baskı açısı, baskı hızı, filament malzemesi ve filamentin katkılı olup olmaması gibi birçok parametre etki etmektedir. Bu parametrelerin mekanik özelliklere nasıl etki ettiğini inceleyen birçok çalışma yapılmıştır. Bu bölümde, farklı parametrelerin etkilerini inceleyen çalışmalar [102-107] ve bu tez çalışmasında irdelenen baskı yönüyle ilgili çalışmalar [108-115], sunulmuştur. Bu çalışmalar irdelendiğinde, değişkenlerin etkilerinin ve etki oranlarının kullanılan filament ve yazıcıya bağlı olarak çalışmalar arasında, farklılık gösterdiği görülmektedir.

Literatürde, üç boyutlu yazıcılarda çeşitli parametre ve malzemelerin mekanik özelliklere etkisinin incelendiği çalışmalardan yapılan derleme aşağıda sunulmuştur:

Alsoufi ve arkadaşları, (2017) FDM tipi bir yazıcı ve PLA+ filament kullanarak farklı nozul çapı (0,5, 0,3, 0,2 mm) ve katman kalınlığı (0,3, 0,2, 0,1 mm) kombinasyonlarını oluşturarak diğer parametreleri sabit tutup ürettikleri numunelerin ortalama yüzey pürüzlülüklerini (Ra) 0°, 45° ve 90° açısal yönlerde ölçümler yaparak incelemiştir. Deneysel sonuçlar, nozul çapının ve katman yüksekliğinin parça kalitesi, yapım süresi ve parça maliyeti açısından önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Çalışmaya göre nozul çapı ve katman yüksekliği için optimum sonuçlar, sırasıyla 0,3 mm ve 0,1 mm için ortaya çıkmıştır. Yüzey pürüzlülüğü, 0° derece için ölçüldüğünde farklılık göstermekle beraber 45° ve 90° için küçük varyasyonlar ile benzer bir eğilim göstermiştir [102].

Ferreira ve arkadaşları, (2017) polilaktik asit (PLA) ve PLA+CF (% 15 ağırlık fraksiyonunda, yaklaşık 60 mm uzunluğunda kısa karbon elyaflarla güçlendirilmiş) malzemeler kullanarak sabit parametreler ile 0°, 90° ve 45° baskı açılarında numuneler üretmiştir. Ürettikleri numunelere uyguladıkları çekme deneyi grafiklerine göre her iki malzeme için de çekme dayanımının en yüksek değeri, 0°'de iken en düşük değeri, 45°'dedir. Açılarının ve tüm parametrelerin aynı, katkı durumlarının ise farklı olduğu malzemelerden elde ettikleri numunelerin çekme eğrileri incelendiğinde ise çekme dayanım değerlerinin yakın olduğu görülmekte

olup bunun sebebi, PLA+CF malzemesindeki kısa karbon liflerin eklenmesinin malzemeyi daha kırılğan bir hale getirmesiyle açıklanmıştır [103].

Kumar ve arkadaşları, (2018) FDM tipi bir yazıcı kullanarak polilaktik asit filamentlerden ASTM D638 Tip-I standardına uygun boyutlarda ürettikleri numunelerin çekme deneyi sonuçları ile simüle ettikleri sonuçları karşılaştırmıştır. Simüle edilmiş hal ve çekme deneyi için çekme dayanımı değerleri, sırasıyla 63.577 N/mm² ve 54.46 N/mm² olarak bulunmuştur. Bulunan 54,46N/mm² değerinin diğer araştırmacılar tarafından bulunan sonuçlara benzer olduğunu ifade etmişlerdir. Simüle edilmiş hal ve çekme deneyi için uzama miktarları, sırasıyla 2,336 mm ve 2,4940 mm olup yüzde uzamalar ise sırasıyla %4,06 ve %6,23 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca 3D baskılı PLA numunelerin mukavemetinin geleneksel olarak kullanılan çeşitli malzemelere neredeyse benzer olması sebebiyle de ambalaj, tarım, sıhhi, tepsi, paketleme, tohum kapları, kutular, kaplar, yemek takımı, süt ürünleri ve et kapları gibi bir çok yerde kullanılabileceğini vurgulamışlardır [104].

Terekhina ve arkadaşları, (2019) üç boyutlu yazıcı ile naylon filmanet ile yaptıkları üretimde, dolgu yoğunluğunun numunelerin mekanik özelliklerine etkisini araştırmak için çekme deneyinden yararlanmışlardır. Numunelerin üretimi için %20, %40, %60, %80 ve %100 dolgu yoğunluklarını kullanmışlardır. Dolgu oranıyla birlikte artış gösteren mukavemet değerlerindeki asıl yükseliş, %60 dolgu oranı itibariyle gerçekleşmiştir. Hacimsel fraksiyon hesapları, üretim esnasındaki gözlemler ve baskıda ortaya çıkan etkileri karakterize etmeleri yönündeki çalışmaları ile numunelerin mukavemet değerleri arasındaki farklılığın sadece malzeme miktarından değil, paralel hatlar arasındaki temasla da ilgili olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu çalışmalarının naylon kullanılarak yapılan çalışmalar için iç yapı ile mukavemet özellikleri arasındaki ilişkinin anlamlandırılmasını mümkün kıldığını ifade etmişlerdir. Ayrıca belirledikleri parametlerin üç boyutlu yazıcı kullanılarak naylon filament ile yapılacak üretimler için yararlı olabileceğine değinmişlerdir [105].

Günay ve arkadaşları, (2020) PLA+ filament kullanarak FDM tipi bir üç boyutlu yazıcıda baskı hızı, doluluk oranı ve tarama açısının mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında Taguchi L18 deney tasarımından yararlanmışlardır.

Parametrelerin çekme dayanımına etkisini varyans analizi (ANOVA) ile belirlemişlerdir. Ayrıca Taguchi metodu aracılığıyla da çekme dayanımı için optimum işlem parametrelerini tespit etmişlerdir. Çekme dayanımı, baskı hızının artmasıyla azalırken doluluk oranının artması ile artmıştır. Tarama açısıyla ilgili durum ise $-45/45^\circ$ ile üretilen numunelerin dayanımının $0/90^\circ$ ile üretilenlerden daha düşük olduğudur. Çekme dayanımı için en etkin parametre doluluk oranı olarak görülürken sırasıyla tarama açısı ve baskı hızı gelmiştir. Optimum işlem parametreleri ise 30 mm/s baskı hızı, %100 doluluk oranı ve $0/90^\circ$ tarama açısı olarak tespit edilmiştir [106].

Calignano ve arkadaşları, (2020) 3D baskı için karbon fiberle güçlendirilmiş naylon filamentin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Karbon fiberlerinin katkı yüzdeleri, doluluk oranları ve baskı yönleri değiştirilerek üretilen numunelerin sertlik ve çekme dayanımları incelenmiştir. Doluluk oranları %100 iken XY düzleminde üretilen numunelerin sertlik değeri, XZ düzleminde oluşturulan numunelerden daha yüksek olmasına karşın %80 doluluk oranında ise sertlik değerleri yaklaşık olarak aynı çıkmıştır. Charpy darbe testi sonuçları incelendiğinde ise XY düzleminde üretilen numunelerin rezilyans değerinin XZ düzleminde üretilen numunelerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca doluluk oranının rezilyans değeri için etkisinin oldukça küçük olduğu gözlenmiştir. Çekme deneyi sonuçlarında ise XY düzleminde üretilen numuneler için doluluk oranının elastisite modülünü pek etkilemediği, XZ düzleminde üretilen numunelerde ise doluluk oranının elastisite modülü değerini arttırdığı görülmüştür. Aynı doluluk oranlarında, XY ve XZ düzlemlerinde üretilen numuneler için elastisite modülünün XY düzlemi için daha büyük olduğu ortaya koyulmuştur. Çekme dayanımına dair sonuçlar, %15 ve %80 doluluk oranlarında üretim yönünün etkisinin olmadığını gösterirken %100 doluluk oranında, XY düzleminde üretilen numunelerin çekme dayanımının XZ düzleminde üretilen numunelerinkinden yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca çalışmanın sonuçlarında, ISO 527-1/-2 ve ASTM D638 standartlarının tam olarak karşılaştırılabilir sonuçlar sağlamadığı ifadesine yer verilmiştir [107].

Literatürde, baskı yönünün FDM tipi üç boyutlu yazıcı ile polilaktik asit (PLA) kullanılarak üretilen parçaların mekanik özelliklerine etkisinin incelendiği çalışmalardan yapılan derleme aşağıda sunulmuştur:

Alharbi ve arkadaşları, (2016) üç boyutlu yazıcıdan elde edilen ara diş restorasyonlarının mekanik özelliklerine yapı yönünün etkisini araştırmışlardır. Baskı yönüne göre 2 grup test edilmiştir. Birinci grup, katmanların yükleme yönüne dik olacağı şekilde basılmıştır. İkinci grup, katmanların yükleme yönüne paralel olacağı şekilde basılmıştır. Numuneler, DW028D 3D yazıcı kullanılarak üretilmiştir. Numuneler, 10 kN bir yük hücresi ile 1 mm/dk bir kroshead (crosshead) hızında, evrensel bir test makinesiyle yüklenmiştir. Deneyler, kuru test koşulları altında oda sıcaklığında (22 °C) gerçekleştirilmiştir. Belirlenen koşullarda, dikey olarak yazdırılan örnekler için ortalama \pm SD basınç dayanımı, 297 MPa (\pm 34) iken yatay olarak yazdırılan örnekler için 257 MPa (\pm 41) olarak çıkmıştır. Sonuçlardan hareketle katman oryantasyonunun malzemenin basınç dayanımını etkilediği bulunmuştur. Yük yönüne dikey olarak basılan katmanlara sahip numunelerin yükleme yönüne paralel basılan numunelere göre daha gelişmiş mekanik özelliklere sahip olduğu belirtilmiştir [108].

Kim ve arkadaşları, (2017) üç boyutlu yazıcıda üretilen PLA baskıların kısıtlı yeniden eritme olarak ifade edilebilen bir proses ile yüzeylerinin ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Kısıtlı yeniden eritme olarak adlandırılan bu yöntem, polimer parçayı çevreleyen bir metal kalıbın polimerin erime sıcaklığına yakın bir noktaya kadar ısıtılarak eritilip kalıp içinde yeniden şekillendirilmesi esasına dayanmaktadır. Bu çalışmada, numunelerin baskı yönünün yüzey pürüzlülüğü ve mekanik özelliklere etkisinin incelemesi amacıyla X, Y ve Z ile ifade edilen farklı yönlerde baskılar üretilmiştir. Z ile ifade edilen doğrultuda basılan numunenin çekme dayanımı, X ve Y numunelerine göre çok daha küçük çıkmıştır. Daha sonra kısıtlı yeniden eritme koşulları (yeniden eritme sıcaklığı ve başlangıç kalınlığı) belirlenerek Z kodlu numune için deneyler gerçekleştirilmiş, yüzey pürüzlülüğü ve gerilme mukavemetindeki değişiklikler incelenmiştir. Kısıtlı yeniden eritme işlemi için 160 °C yeniden eritme sıcaklığının ve 4 mm kalınlık parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve çekme dayanımı için en iyi sonucu sağladığı, bu parametreler altında işlem gören Z doğrultusu ile kodlanan numunenin X ve Y numunelerine göre daha yüksek çekme dayanımına ulaştığı da sonuçlarda kaydedilmiştir. Yeniden eritme işlemi hakkında, bir masaüstü tipi mini pres kullanılarak gerçekleştirilmesi gerekçe olarak gösterilerek üç boyutlu yazıcıda,

üretilen az sayıda ürün imalatında, parçayı son ürüne yükseltmek için kullanılabilmesi ve karmaşık parçalar için de geliştirilebileceği vurgulanmıştır [109].

Dr. David A Tanner danışmanlığındaki BTech, (2017) üç boyutlu yazıcılardaki PLA baskıların mekanik özelliklerine sıcaklığın, katman kalınlığının, dolgu yönünün ve hızın etkilerini araştıran bir çalışma ortaya koymuştur. Bu kapsamda, numunelere çekme ve üç nokta eğme testi uygulanmış, ANOVA analizi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, nozul sıcaklığı ve hız kombinasyonunun en yüksek etkiye sahip olduğu ve ardından nozul sıcaklığı ve dolgu yönü ikilisinin geldiği belirtilmiştir. Tek başına etkili parametrenin ise katman kalınlığı olduğu ifade edilmiştir. Çekme dayanımı değeri 55,467 MPa değeriyle en büyük olan numuneye 225 °C nozul sıcaklığı, 90 mm/s hız, 45° dolgu yönü ve 0,3 mm katman kalınlığı kullanılarak erişildiği kaydedilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, XYZ ve ZXY düzlemlerinde yapılacak baskıların mekanik özellikleri incelenmek istense de belirlenen değişkenlerin ZXY düzlemi için 45° örgülerle üretimin sağlanamaması ve farklı parametreler belirlenmesi halinde ise proje kapsamında yürütülen bu çalışmanın belirlenen zaman diliminde tamamlanamayacak olması gibi sebeplerle bu çalışmada düzlemler arası kıyaslama için başarıya ulaşılamamıştır [110].

Levenhagen ve arkadaşları, (2017) üç boyutlu baskı ile üretilen parçalarda, katmanlar arasındaki arayüzey yapışmasını iyileştirmek için ticari olarak temin edilebilen bir PLA'ya eklenen bir dizi sentezlenmiş düşük molekül ağırlıklı PLA bileşiminden oluşan bimodal polilaktit karışımı geliştirmişler ve çalışmalarının yönlerine ilişkin kısmında ise çekme deneyi sonuçlarına göre düşük molekül ağırlıklı (LMW) katkı maddesi yeterli boyda olduğunda, baskı kafasına enine (ortogonal) olarak basılan parçadaki modülün ve maksimum gerilmenin önemli ölçüde geliştiğini görmüşlerdir. FDM tipi üç boyutlu yazıcıda, düşük molekül ağırlıklı (LMW) bileşiminin ticari bir PLA filamentine doğru moleküler ağırlık ve yükte eklenmesiyle arayüzlerdeki dağılımın daha hızlı olmasına ve tabakalar arası yapışmadaki iyileşmeye dikkat çekerek bu konuda daha çok çalışma yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir [111].

Chacóna ve arkadaşları, (2017) FDM (fused deposition modelling) tipi bir üç boyutlu yazıcıda polilaktik asit (PLA) ile üretilen parçaların yapı yönü, katman kalınlığı ve ilerleme hızı olmak üzere üç parametreye göre mekanik özelliklerinin nasıl

değiştiğini araştırmışlardır. Mekanik özellikleri inceleyebilmek amacıyla çekme ve üç nokta eğme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. FDM tipi üç boyutlu yazıcıların katman katman üretim gerçekleştirmesi nedeniyle elde edilen parçalar, anizotropik davranış sergilemektedir. Bunun bir sonucu olarak da yapılan testlerde de en düşük mekanik özelliklerin dikey yönde basılan numunelerde olduğu ve kenar ile düz olarak adlandırılan yönlerdeki numunelerin daha iyi mekanik özellikler gösterdiği görülmüştür. Tabaka kalınlığı ve ilerleme hızı incelendiğinde ise bu parametrelerin artmasıyla sünekliğin azaldığı görülmüştür. Dik yönlerdeki baskılarda, katman kalınlığının artmasıyla mekanik özellikler gelişirken ilerleme hızının artmasıyla mekanik özellikler düşmüştür. Kenar üstü ve düz yönlendirmelerde ise çok düşük katman kalınlıkları haricinde, katman kalınlığı ve ilerleme hızının mekanik özellikler üzerindeki çok küçük olan etkisini önemsiz olarak değerlendirmişlerdir [112].

Kio ve arkadaşları, (2018) boşlukların ve baskı kusurlarının irdelenmesine olanak sağlayan interferometre ile FDM tipi bir yazıcıdan ürettikleri parçaları incelemiştir. Kullanılan interferometrelerin saçılma uzunluğu, 2 ile 5 µm olarak ayarlanmıştır, numunelerdeki ölçümler de hem dikey hem de yatay olarak gerçekleştirilmiştir. İncelenen numuneler, akrilonitril bütadien stiren (ABS) ve polilaktik asitten (PLA) imal edilen Stanford Bunnies olarak adlandırılan tavşan şeklindeki modellerdir. İnterferometre sistemi, baskı düzlemine dik yöndeki dağılma duyarlılığı için ayarlandığında, baskı düzlemine paralel yöndeki dağılma duyarlılığı için ayarlandığı hale göre daha yüksek karanlık alan yoğunlukları görülmüştür ve karanlık alan yoğunlukları için boşlukların, çatlakların ve saçılma merkezlerinin göstergesi olduğuna yer verilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri ile interferometreden elde edilen bulgular doğrulanmıştır. Ayrıca çalışma içerisinde, katman katman eğrilik (kavis) değerlerini belirlemek için geliştirilmiş olan prosedür sunulmuş ve numunenin eğrilik (kavis) değerleri ile karanlık alan yoğunluğu arasında da zayıf bir korelasyon kurulmuştur [113].

Camirero ve arkadaşları, (2019) üç boyutlu yazıcılarda yaygın olarak kullanılan polilaktik asit (PLA) malzemeye grafen nanoplatelet takviyesinin yapıların mekanik özelliklerini, boyutsal doğruluğunu ve yüzey dokusunu araştırmak amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalarında, yapı oryantasyonunun (yönünün) de etkisine yer vermişlerdir. PLA, PLA 3D850 ve PLA-Grafen malzemelerden üretilen

numunelere belirlenen standartlara uygun olarak çekme, üç nokta eğilme, Charpy darbe ve katmanlar arası kayma gerilmesi [interlaminar shear strength (ILSS)] testleri uygulanmıştır. Ayrıca çalışma içerisinde, taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri de yapılmış olup elde edilen çıkarımlar, grafen nanoplatelet (GNPs) takviyelerini geliştirmek için de irdelenmiştir. Yapı oryantasyonunun özellikle PLA bazlı malzemelerin mekanik performansı üzerinde etkili olduğuna işaret edilmiştir. Maksimum gerilme, eğilme mukavemetleri ve sertlik için kenar üstü ve düz oryantasyonların en yüksek değerleri; dik oryantasyonun ise en düşük değeri gösterdiği belirtilmiştir. PLA-Grafen kompozit numunelerinin sırasıyla PLA ve PLA 3D850 numunelerinden özellikle dik yönelim durumunda, yaklaşık 1,5 ve 1,7 kat daha yüksek çekme ve eğilme gerilmesi gösterdiği gözlenmiştir. Katmanlar arası en büyük kayma gerilmesi [interlaminar shear strength (ILSS)] için PLA-Grafen kompozit numuneleri, en yüksek değere sahip olup bu değer, PLA ve PLA 3D850 numunelerinden yaklaşık 1,2 kat daha yüksektir. Bunların yanı sıra PLA-Grafen kompozit numunelerin darbe dayanımını azaltmıştır, PLA ve PLA 3D850 numunelerinin dayanımı PLA-Grafen kompozitlerinden yaklaşık olarak sırasıyla 1,2 ve 1,3 kat daha yüksek bir darbe mukavemetine sahiptir. Grafen nanoplateletlerin eklenmesi, numunelerin boyutsal doğruluğunu genel anlamda etkilememiştir. PLA-Grafen malzemeli numuneleri için özellikle kenarda ve düz olarak basıldığında, yüzey bakımından en iyi performansı gösterdiği ifade edilmiştir. Öte yandan FDM tipi üç boyutlu yazıcı teknolojisi için biyomedikal mühendisliği gibi farklı uygulamalarda da kullanılabilme potansiyeli barındırdığı belirtilmiştir. Sonuçlarda, sıkıştırma veya enjeksiyonla kalıplama gibi geleneksel polimer işleme yöntemlerine göre 3D baskıda kullanılacak kompozit malzemelerin mekanik performansını artırmanın zorluğuna değinilmiştir. Ayrıca, FDM tipi üç boyutlu yazıcı teknolojisinin yeni bir teknik olduğunu belirterek bu konuyla ilgili daha çok sayıda çalışmaya ihtiyaç duyulduğuna dikkat çekmişlerdir [114].

Rodriguez ve arkadaşları, (2019) üç boyutlu yazıcılar ile polilaktik asit (PLA) filament kullanılarak imal edilen parçaların mekanik özelliklerini analiz etmeyi amaçladıkları bir çalışma yapmışlardır. Çalışmaları kapsamında dört nokta eğme, fraktografi ve çizik (scratch) deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Dört nokta eğilme deneyi için katman yüksekliği, filament genişliği, dolgu yoğunluğu, katman

oryantasyonu (konumlandırma), baskı hızı ve dolgu deseni parametreleri için L27 Taguchi Deneş Tasarımı yöntemini kullanmışlardır. Sonuçlara göre katman oryantasyonunun en etkili parametre olduğu ve ardından katman yüksekliğinin, filaman genişliğinin ve baskı hızının geldiği ortaya koyulmuştur. Dolgu yoğunluğu ve dolgu modelinin önemli bir etki göstermediğini ifade edilmiştir. Tüm bulguların irdelenmesi neticesinde, seçilen mekanik özelliğe bağlı olarak optimum parametrelerin değişeceği belirtilmiştir [115].

1.3. Tezin Yeri Ve nemi

Bu alışma, her geçen gün kullanımı artan FDM tipi üç boyutlu yazıcılarda, üretim malzemesi olarak yaygın olarak tercih edilen polilaktik asit (PLA) filament ile gerçekleştirilen üretimler için baskı yönünün (tablaya konumlandırmanın) mekanik özellikler üzerindeki etkisini ortaya koymak amacıyla yapılmıştır. Seçilen parametreler ve numunelerin eksnelere paralel olan tüm yönlerde (6 yn) retilmesi çalışmanın özgün yanını teşkil etmektedir. Literatürdeki mevcut çalışmalara dair incelemeler ve yüzey prznlğ ölçümü, çekme, üç nokta eğme, aşınma deneyleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri gibi deneysel bulgulara dayandırılan sonuçlar, konu ile ilgili bilimsel ve endüstriyel alanda yapılacak yeni araştırma ve geliştirme çalışmalarına da katkı sağlayabilecek şekilde sunulmuştur. Çalışma kapsamında yapılan üretimler için belirlenen parametreler, FDM tipi üç boyutlu yazıcı kullanarak üretim gerçekleştirecek kimseler tarafından rehber edinilebilir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmanın deneysel kısmına ilişkin bilgiler bu bölümde sunulmuştur.

2.1. Numuneler Hakkında Bilgiler

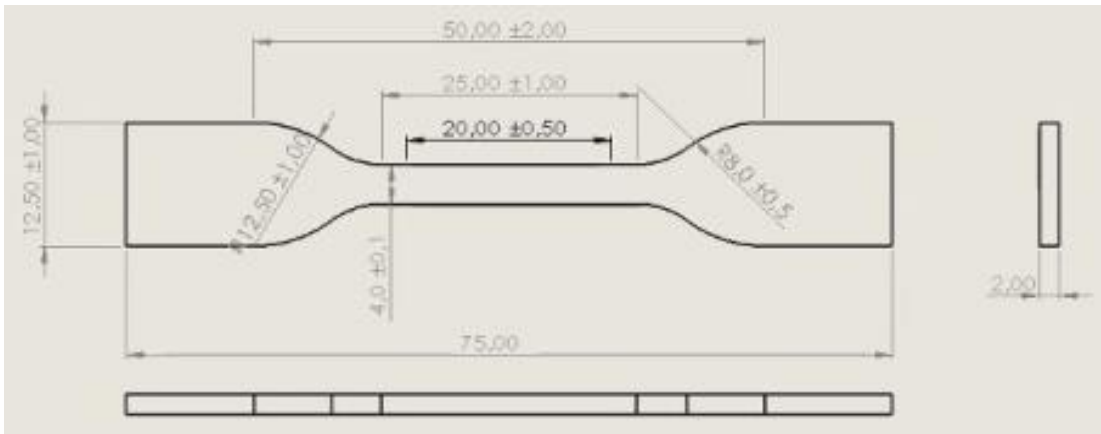
Üç boyutlu yazıcılarda, üretim yönünün (tablaya konumlandırma) tasarımın mekanik özelliklerine etkisini incelemek için hazırlanan numunelere ilişkin bilgiler, “2.1.1. Numunelerin ortak özellikleri” ve “2.1.2. Numunelerin farklı özellikleri (baskı yönleri)” başlıklarında sunulmuştur.

2.1.1. Numunelerin ortak özellikleri

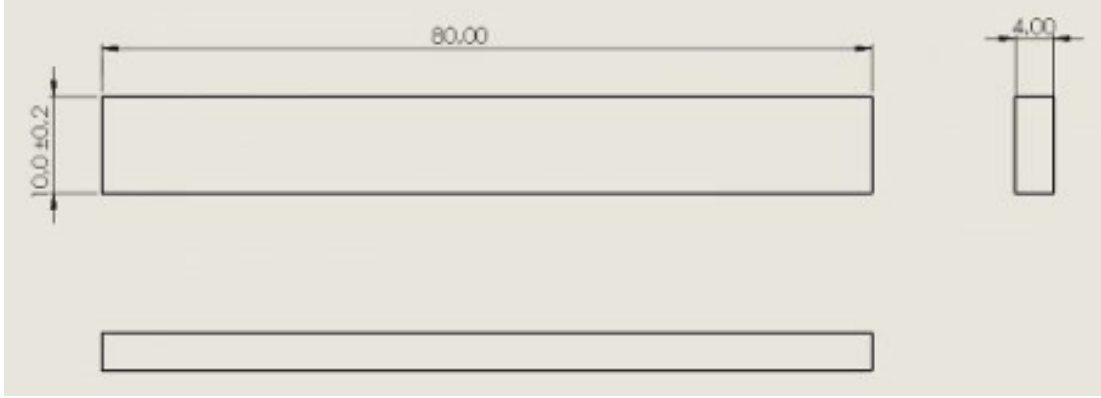
Bu bölümde, numune üretimlerindeki ortak parametre ve özellikler yer almaktadır.

2.1.1.1. Numune boyutları ve kullanılan yazılım bilgileri

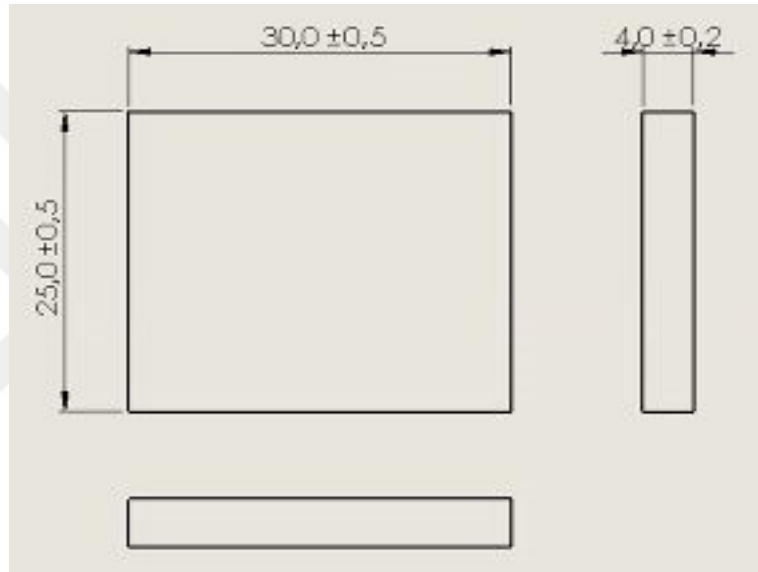
Numuneler, çekme deneyleri için “ISO 527-2 5A”, üç nokta eğme deneyleri için “ISO 178” standartlarındaki ölçülerde ve aşınma deneyleri için “25x30x4” ölçülerinde belirlenmiştir. Numuneler, “SOLIDWORKS” programı ile çizilmiştir. Şekil 2.1’de çekme deneyi, Şekil 2.2’de üç nokta eğme deneyi ve Şekil 2.3’te aşınma deneyi numunelerinin ölçüleri gösterilmiştir. Yüzey pürüzlülükleri ise aşınma deneyi için belirlenen “25x30x4” boyutlarında üretilen ve farklı bir deneye maruz kalmamış numunelerde ölçülmüştür [116, 117].



Şekil 2.1. ISO 527-2 5A Standardına uygun çekme numunesi ölçüleri



Şekil 2.2. ISO 178 Standardına uygun üç nokta eğme numunesi ölçüleri

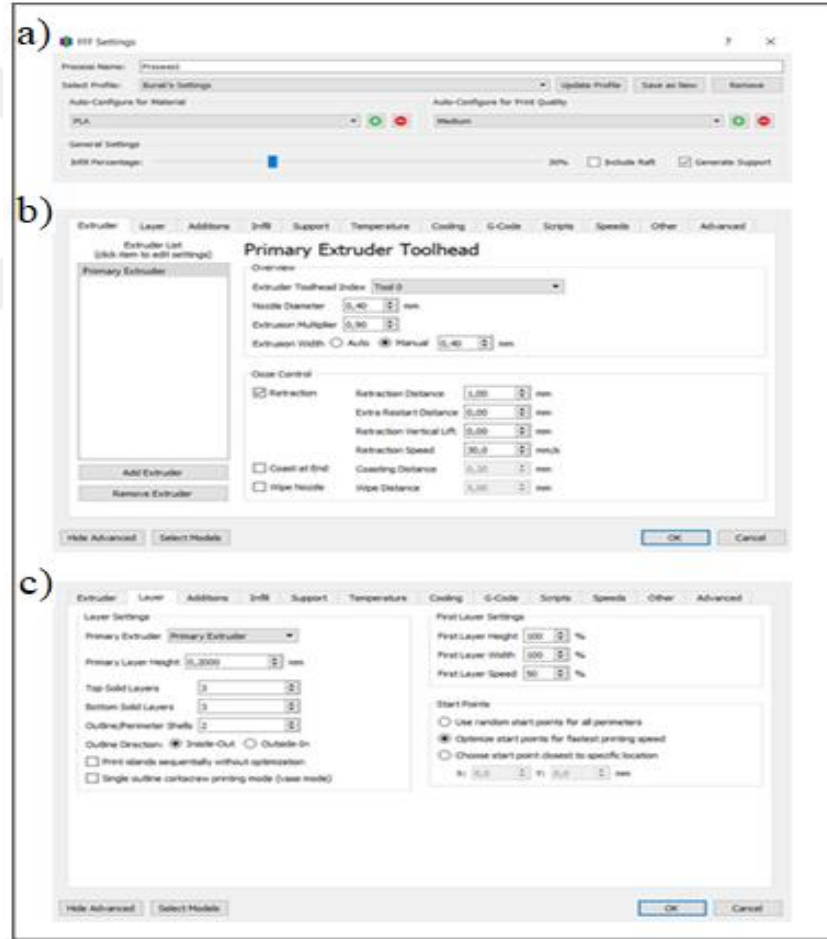


Şekil 2.3. Aşınma deneyi için belirlenen numune ölçüleri

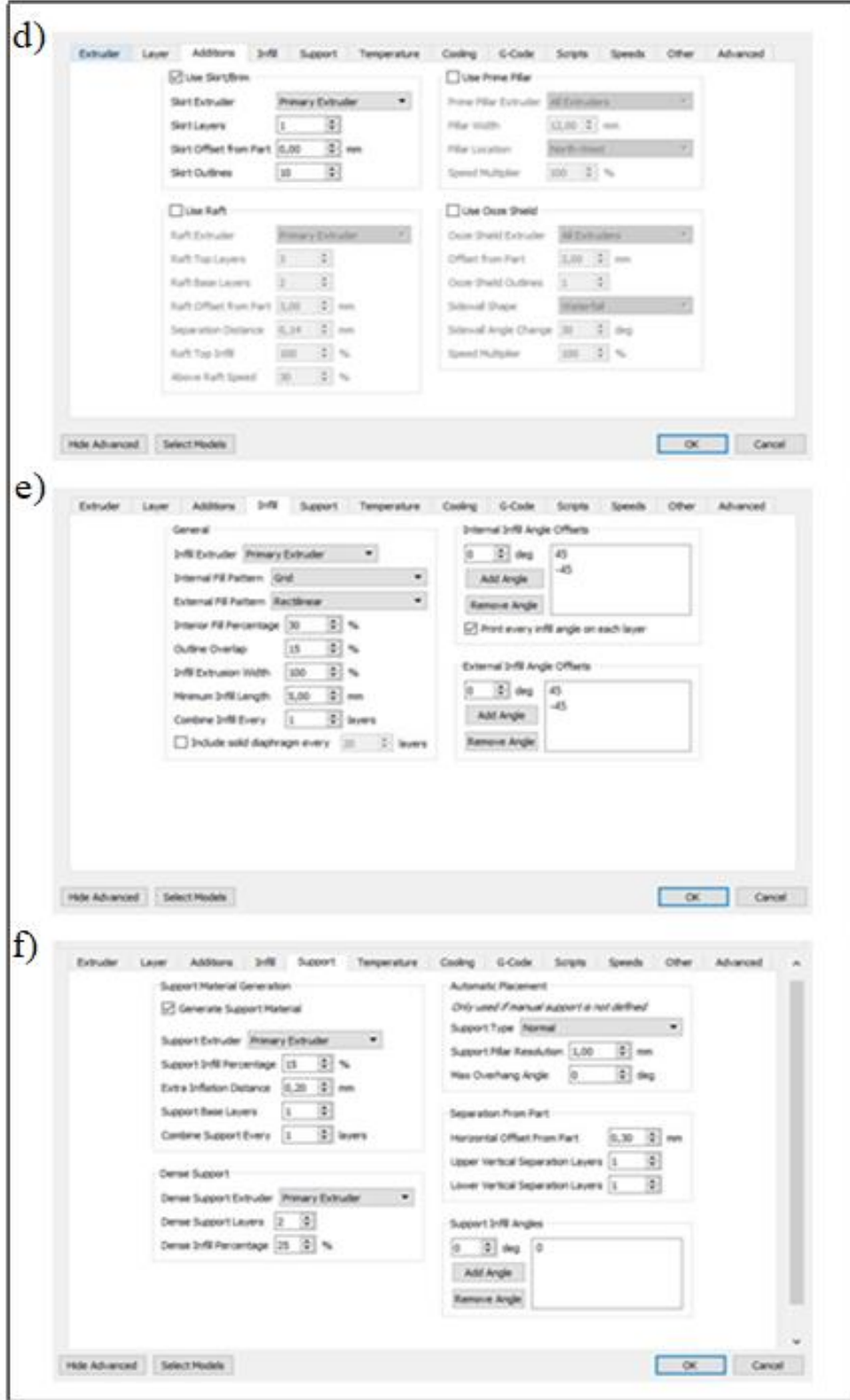
Çizimi “SOLIDWORKS” ile yapılan tüm deney (çekme, üç nokta eğme ve aşınma) numuneleri, “STL (Stereolithography)” uzantılı dosyalar halinde kaydedilmiştir. Bu dosyalar, “Simplify 3D” yazılımında açılarak numunelerin üç boyutlu yazıcıda üretiminin sağlanabilmesi için gerekliliğe göre destek ve etek ilaveleri yapılmıştır. Tasarlanan üretim parametrelerini ve yönlerini yerine getirecek komutları içeren üç boyutlu yazıcılar ile entegre çalışan “GCode” dosyalarına dönüştürülmüştür. Bu dosyalar da bir hafıza kartı yardımı ile üç boyutlu yazıcıda çalıştırılmıştır. Üç boyutlu yazıcıda yapılan üretime ait temel parametreler Tablo 2.1’de, sunulmuştur. Ayrıca “GCode” dosyalarının oluşturulduğu “Simplify 3D” programının arayüzü üzerindeki tüm parametreler ve seçilen özellikler Şekil 2.4’te sunulmuştur.

Tablo 2.1. Üretime dair temel parametreler

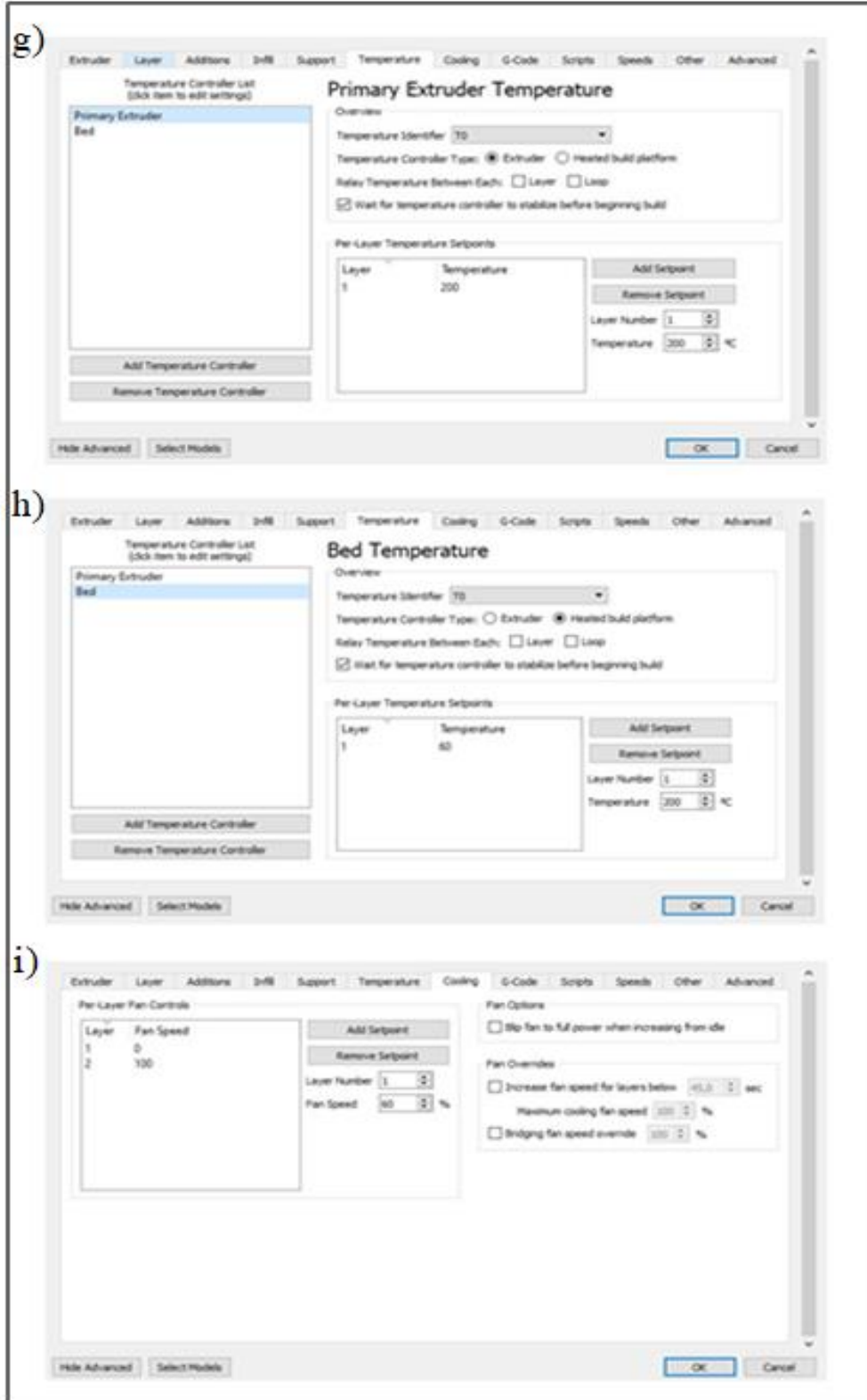
Parametre Türü	Belirlenen Parametre
Baskı kalitesi için otomatik yapılandırma	Orta
Katman kalınlığı	0,2 mm
İç dolgu deseni	Grid (Örgü-Çapraz)
Dış dolgu deseni	Rectilinear (Doğrusal)
İç dolgu yüzdesi	%30
İç dolgu açısı	$\pm 45^\circ$
Dış dolgu açısı	$\pm 45^\circ$
Destek dolgu yüzdesi	%15
Ekstrüder sıcaklığı	200 °C
Tabla sıcaklığı	60 °C
Baskı hızı	60 mm/s
Etek katman sayısı	1
Eteğin parçaya mesafesi	0 mm
Etek çerçevesi tur sayısı	10



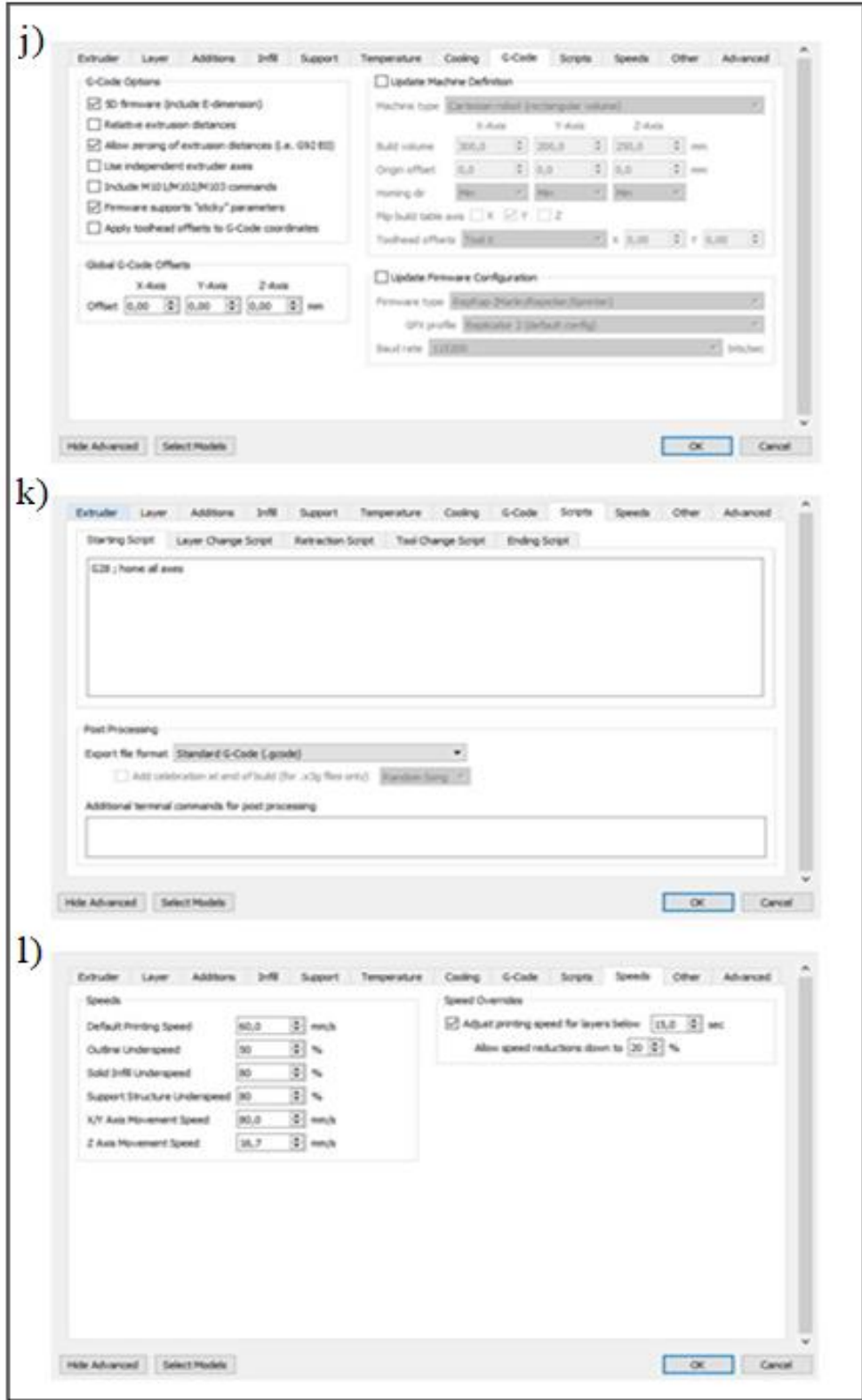
Şekil 2.4. Simplify 3D programının arayüzünde tasarlanan üretim parametreleri a) profil, malzeme, kalite ve doluluk oranı temel ayarları b) ekstrüder ayarları c) katman ayarları d) ek yapılara (etek, raft vb.) dair ayarlar e) dolgu ayarları f) destek ayarları g) ekstrüder sıcaklığı ayarları h) tabla sıcaklığı ayarları i) soğutma ayarları j) G-code ayarları k) komut ayarları l) hız ayarları m) diğer ayarları n) gelişmiş ayarlar



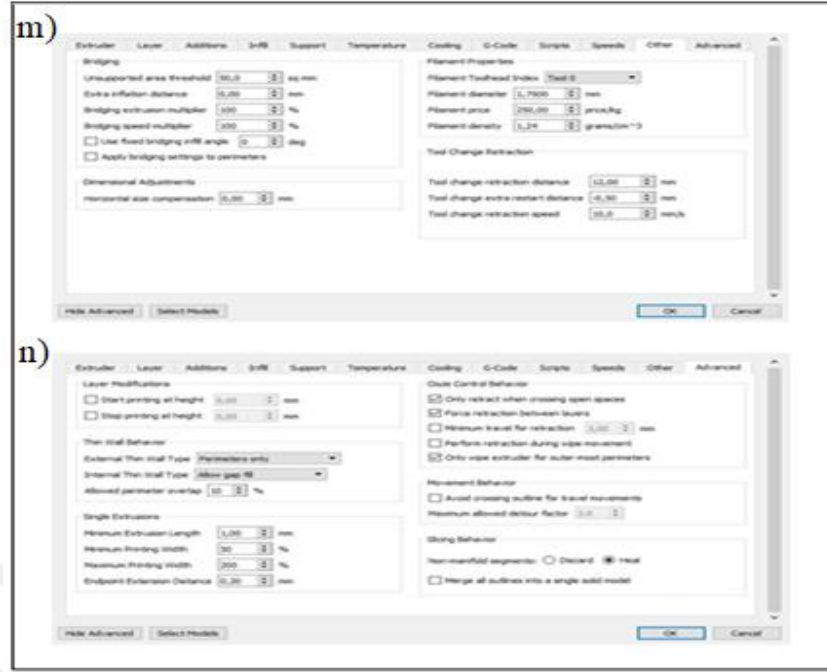
Şekil 2.4. (Devam) Simplify 3D programının arayüzünde tasarlanan üretim parametreleri a) profil, malzeme, kalite ve doluluk oranı temel ayarları b) ekstrüder ayarları c) katman ayarları d) ek yapılara (etek, raft vb.) dair ayarlar e) dolgu ayarları f) destek ayarları g) ekstrüder sıcaklığı ayarları h) tabla sıcaklığı ayarları i) soğutma ayarları j) G-code ayarları k) komut ayarları l) hız ayarları m) diğer ayarları n) gelişmiş ayarlar



Şekil 2.4. (Devam) Simplfy 3D programının arayüzünde tasarlanan üretim parametreleri a) profil, malzeme, kalite ve doluluk oranı temel ayarları b) ekstrüder ayarları c) katman ayarları d) ek yapılara (etek, raft vb.) dair ayarlar e) dolgu ayarları f) destek ayarları g) ekstrüder sıcaklığı ayarları h) tabla sıcaklığı ayarları i) soğutma ayarları j) G-code ayarları k) komut ayarları l) hız ayarları m) diğer ayarları n) gelişmiş ayarlar



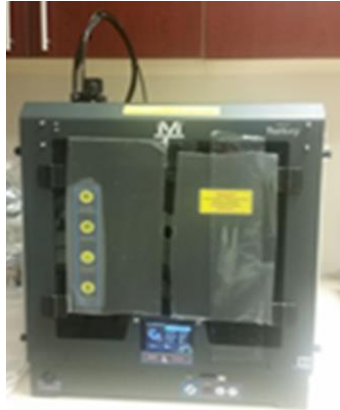
Şekil 2.4. (Devam) Simplify 3D programının arayüzünde tasarlanan üretim parametreleri a) profil, malzeme, kalite ve doluluk oranı temel ayarları b) ekstrüder ayarları c) katman ayarları d) ek yapılara (etek, raft vb.) dair ayarlar e) dolgu ayarları f) destek ayarları g) ekstrüder sıcaklığı ayarları h) tabla sıcaklığı ayarları i) soğutma ayarları j) G-code ayarları k) komut ayarları l) hız ayarları m) diğer ayarları n) gelişmiş ayarlar



Şekil 2.4. (Devam) Simplfy 3D programının arayüzünde tasarlanan üretim parametreleri a) profil, malzeme, kalite ve doluluk oranı temel ayarları b) ekstrüder ayarları c) katman ayarları d) ek yapılara (etek, raft vb.) dair ayarlar e) dolgu ayarları f) destek ayarları g) ekstrüder sıcaklığı ayarları h) tabla sıcaklığı ayarları i) soğutma ayarları j) G-code ayarları k) komut ayarları l) hız ayarları m) diğer ayarları n) gelişmiş ayarlar

2.1.1.2. Üretimin yapıldığı makine (üç boyutlu yazıcı) ve kullanılan malzeme (filament) bilgileri

Numunelerin üretildiği makine, “MY 3D Printer X30” marka ve modeli FDM tipi bir üç boyutlu yazıcıdır. Şekil 2.5’te yazıcının fotoğrafı sunulmuştur.



Şekil 2.5. MY 3D Printer X30 marka ve modeli üç boyutlu yazıcı

Numunelerin üretilmesinde, malzeme olarak polilaktik asit (PLA) filament kullanılmış olup “Esun” markasının “natural” filamentini tercih edilmiştir. Şekil 2.6’da üretimde kullanılan filamentin görsel ve Tablo 2.2’de de filamentin özellikleri sunulmuştur [118].



Şekil 2.6. Kullanılan polilaktik asit (Esun-Natural) filament

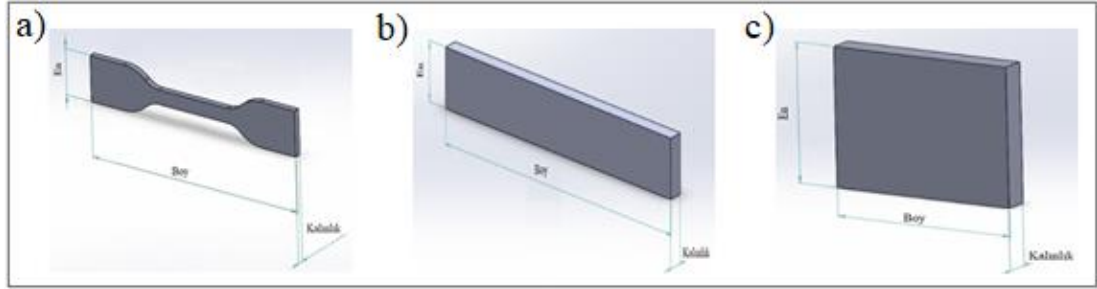
Tablo 2.2. Kullanılan polilaktik asitin (PLA) özellikleri

Filament çapı (mm)	1,75
Uygun baskı sıcaklığı aralığı (°C)	190-210
Uygun yatak sıcaklığı aralığı (°C)	25-70
Yoğunluk (g/cm³)	1,24
Isıl eğilme sıcaklığı (°C - 0,45 MPA)	56
Erime akış indisi (g/10 dk)	5(190 °C/2,16 kg)
Çekme dayanımı (MPa)	65
Kopma uzaması (%)	8
Eğilme dayanımı (MPa)	97
Eğilme modülü (MPa)	3600
IZOD darbe mukavemeti (kJ/m²)	4

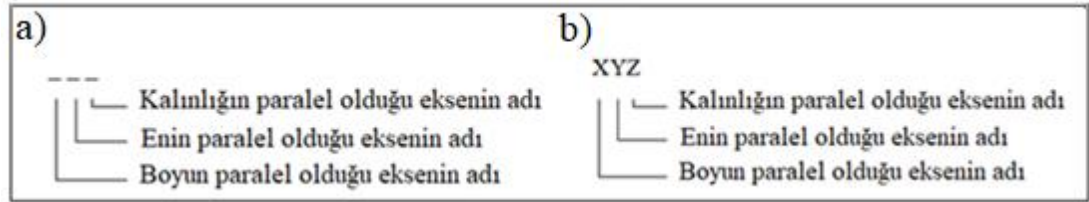
2.1.2. Numunelerin farklı özellikleri (Baskı yönleri)

Numuneler, tablaya 6 farklı yönde konumlandırılmıştır. Numuneler adlandırılırken uzun kenarın paralel olduğu eksen adı ilk harf, orta uzunluktaki kenarın paralel olduğu eksenin adı ikinci harf, kısa kenarın paralel olduğu eksenin adı son harf olacak şekilde bir sistematik belirlenmiştir. Şekil 2.1, Şekil 2.2 ve Şekil 2.3’te

ölçüleri verilen boyutların nasıl anıldığı (ifade edildiği) Şekil 2.7’de ve bu boyutlar üzerinden adlandırılma sistematığı Şekil 2.8’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Numunelerin boyutlarının adlandırılması a) çekme numunesi için en, boy kalınlık b) üç nokta eğme numunesi için en, boy, kalınlık c) aşınma numunesi için en, boy, kalınlık



Şekil 2.8. Numunelerin adlandırılması a) numunelerin adlandırılma sistematığı b) numunelerin adlandırılmasına örnek

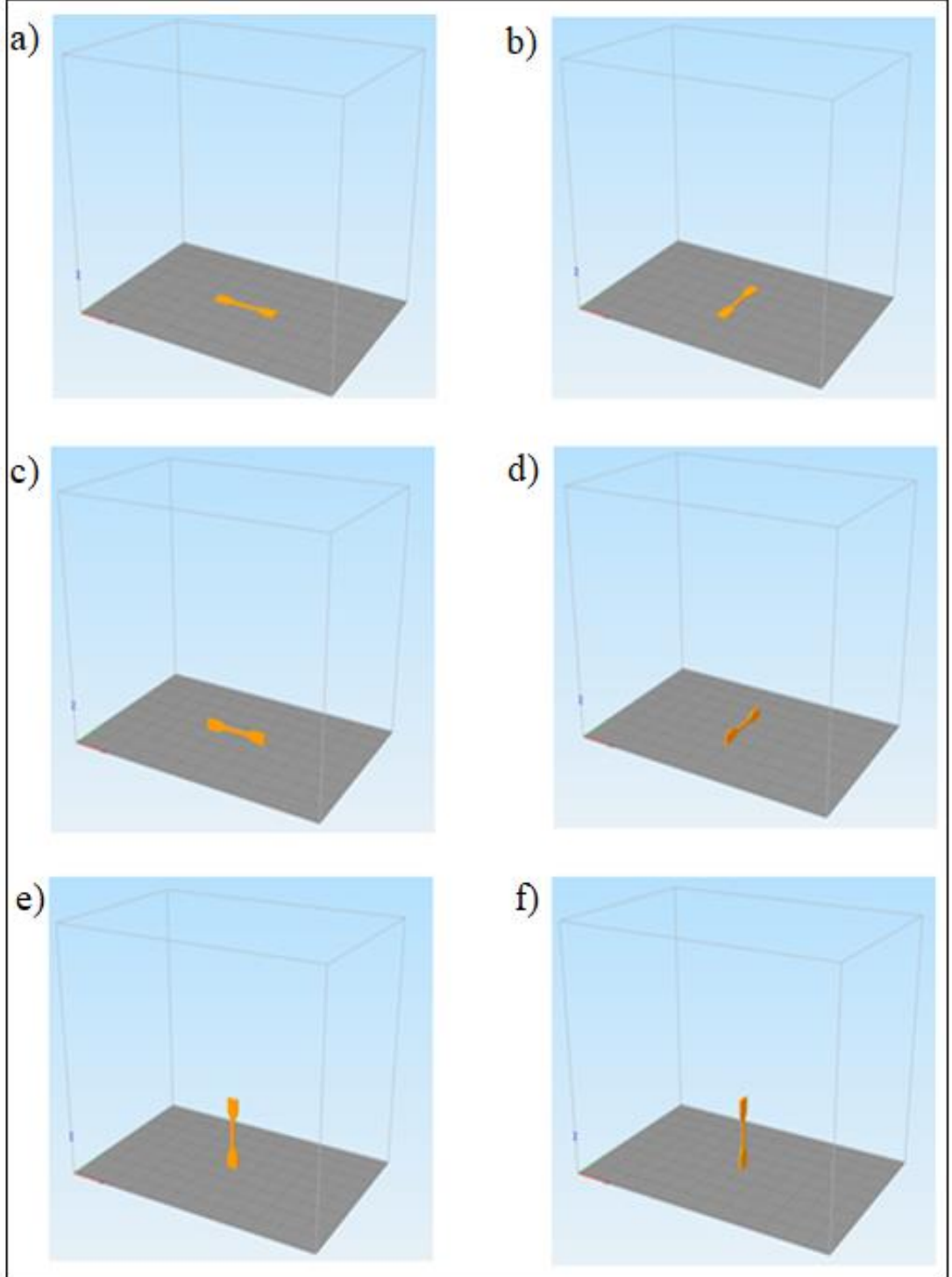
Çekme, eğme ve aşınma olmak üzere her bir deney türü için deney standartlarına uygun numunelerin tablaya 6 farklı yönde yerleştirilmelerine göre XYZ, YXZ, XZY, YZX, ZXY ve ZYX kodlu numuneler üretilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ise aşınma deneyi için belirlenen boyutlarda üretilen ve farklı bir deneye maruz kalmamış numuneler üzerinden yapılmıştır.

2.1.2.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçülen numuneler

Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde, aşınma deneyleri için belirlenen 25x30x4 boyutlarındaki numuneler kullanılmıştır. Bu numuneler, yüzey pürüzlülüğü ölçümü haricinde başka bir deneye veya işleme tabi tutulmamıştır. Bu numunelere ilişkin yönler, kodlar ve bilgiler, “2.1.2.4. Aşınma Numuneleri” başlığı altındaki şekillerde ve tabloda (“Şekil 2.15. Aşınma numuneleri yönleri ve kodları”, “Şekil 2.16. Aşınma numunelerinin etekli tasarımları”, “Şekil 2.17. Üç boyutlu yazıcıda üretilen aşınma numunelerinin üstten fotoğrafları” ve “Tablo 2.5. Aşınma numuneleri üretimine ilişkin zaman ve malzeme miktarları”) yer almaktadır.

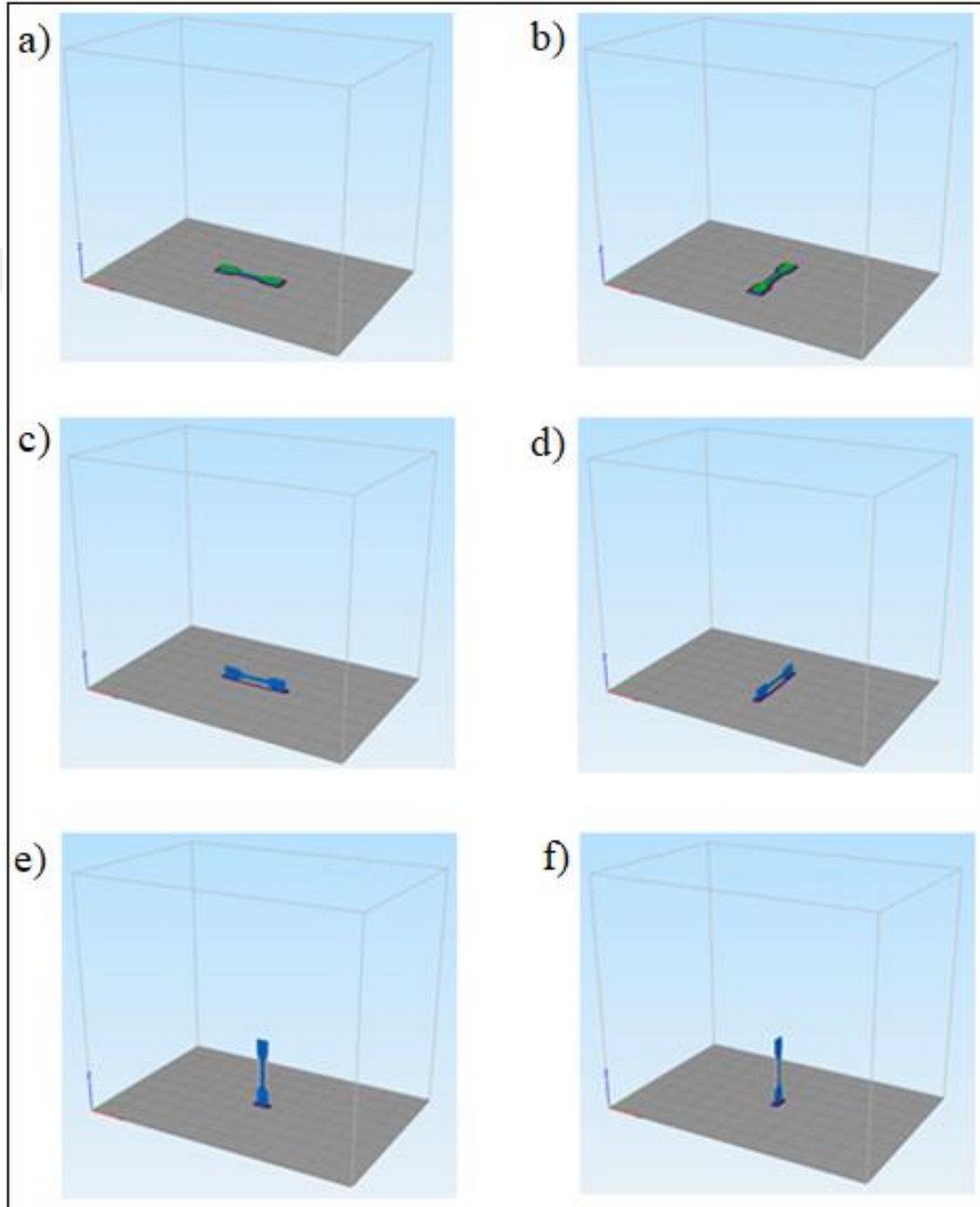
2.1.2.2. Çekme numuneleri

Çekme numuneleri için üretim yönlerine (tablaya konumlandırmalarına) ilişkin görseller ve adlandırmaları, Şekil 2.9'da sunulmuştur.



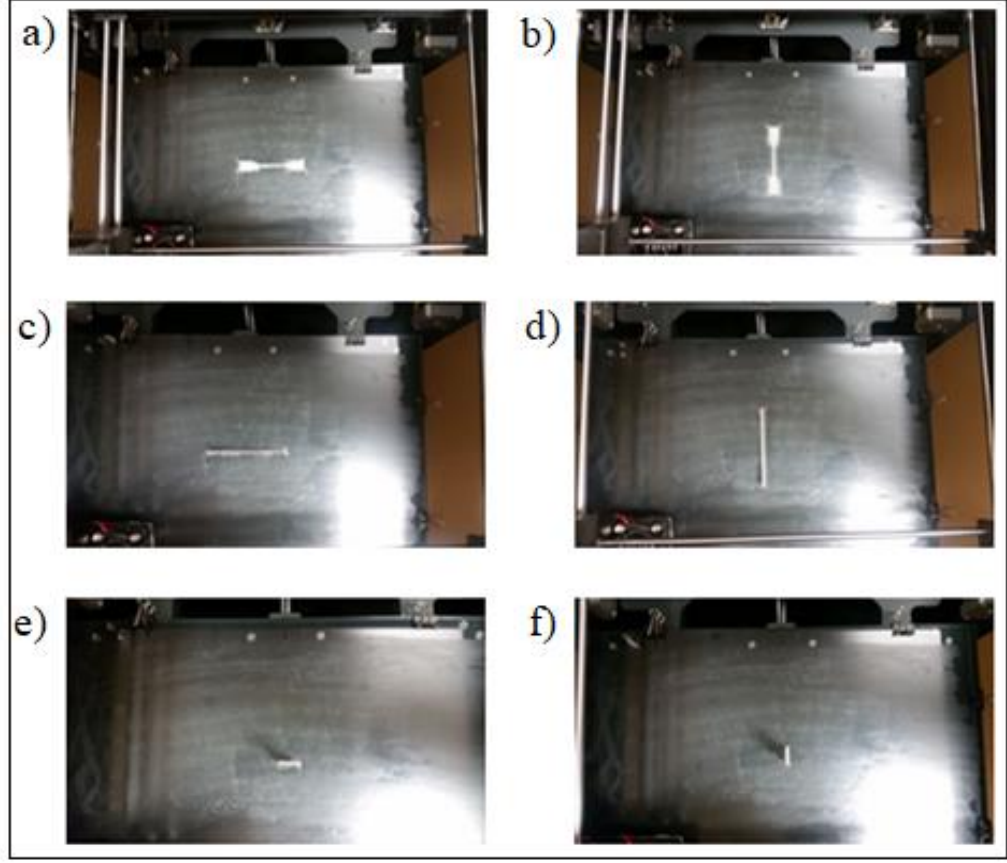
Şekil 2.9. Çekme numunelerinin yönleri ve kodları a) XYZ çekme numunesi b) YXZ çekme numunesi c) XZY çekme numunesi d) YZX çekme numunesi e) ZXY çekme numunesi f) ZYX çekme numunesi

Çekme numunelerinin üç boyutlu yazıcıda üretilebilmesi için gerekli yönlerin baskılarında destekler kullanılmıştır. Ayrıca numunelerin düzgün üretilebilmesi için tablaya daha iyi yapışmasının sağlanması amacıyla parçaların etrafına etek eklenmiştir. Çekme numuneleri için destek gerektiren ve gerektirmeyen yönlere ilişkin görseller eklenen eteklerle birlikte Şekil 2.10'da paylaşılmıştır.



Şekil 2.10. Çekme numunelerinin etekli ve gerekliliğe göre destekli tasarımları
a) XYZ çekme numunesi (destek gereksiz) b) YXZ çekme numunesi (destek gereksiz) c) XZY çekme numunesi (destek gerekli) d) YZX çekme numunesi (destek gerekli) e) ZXY çekme numunesi (destek gerekli) f) ZYX çekme numunesi (destek gerekli)

Üç boyutlu yazıcıda üretilen çekme numunelerine ait üstten çekilen fotoğraflar, Şekil 2.11’de sunulmuştur.



Şekil 2.11. Üç boyutlu yazıcıda üretilen çekme numunelerinin üstten fotoğrafları a) XYZ çekme numunesi b) YXZ çekme numunesi c) XZY çekme numunesi d) YZX çekme numunesi e) ZXY çekme numunesi f) ZYX çekme numunesi

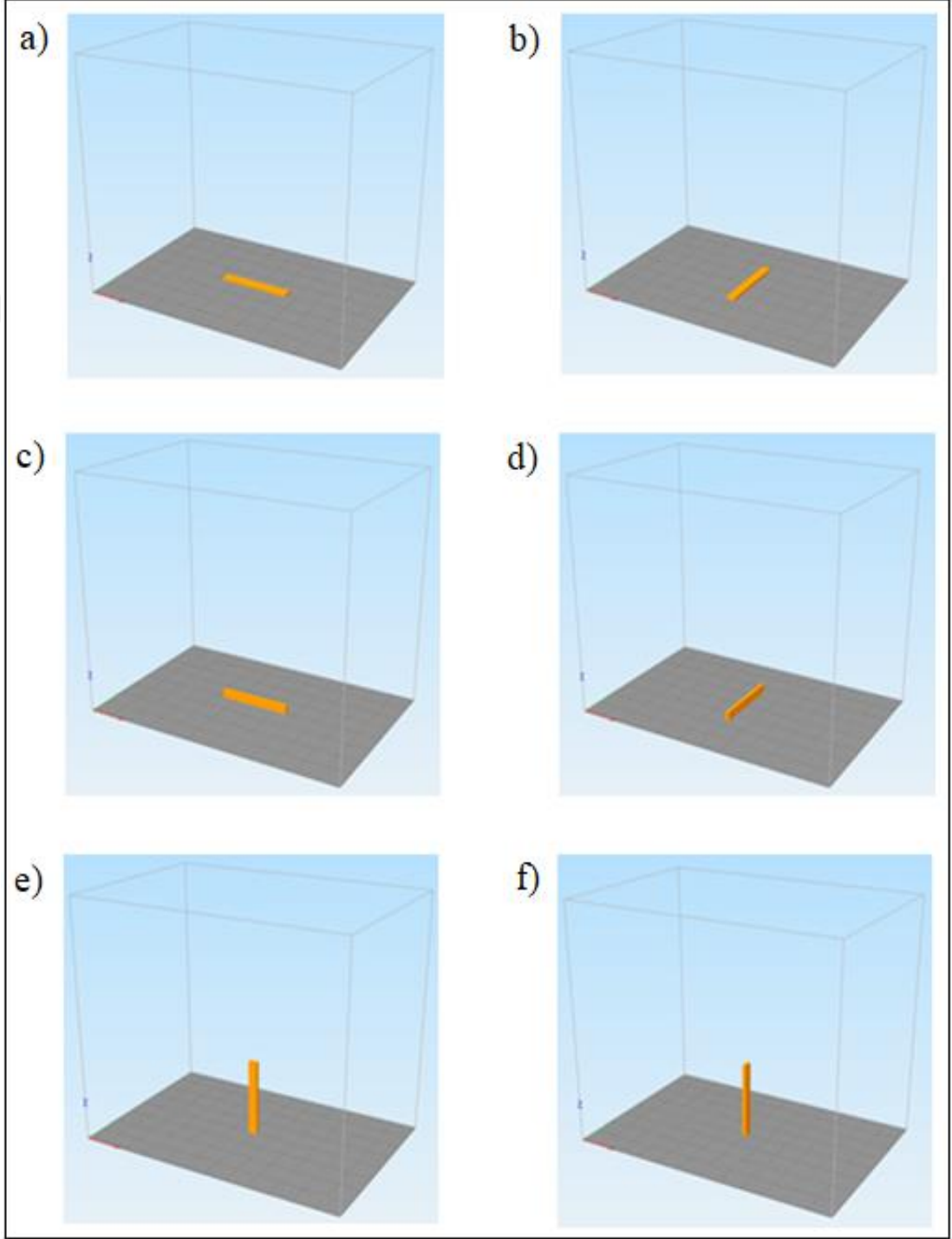
Çekme numuneleri için üretim süresi, kullanılan filament uzunluğu ve numunenin kütlesi; kullanılan etek ve desteklerin dahil olduğu ve de arındırıldığı iki hal için Simplfy3D programı ile hesaplanarak Tablo 2.3.’te sunulmuştur.

Tablo 2.3. Çekme numunelerinin üretim süreleri ve malzeme miktarları

NUMUNE TİRLERİ ÜRETİM BİLGİLERİ	Sadece numune (etekler ve destekler dahil)						Sadece numune (etekler ve destekler hariç)					
	XYZ çekme numunesi	YXZ çekme numunesi	XZY çekme numunesi	YZX çekme numunesi	ZXY çekme numunesi	ZYX çekme numunesi	XYZ çekme numunesi	YXZ çekme numunesi	XZY çekme numunesi	YZX çekme numunesi	ZXY çekme numunesi	ZYX çekme numunesi
Üretim Süresi (dk)	6	6	18	18	41	43	5	5	17	17	36	36
Kullanılan filament uzunluğu (mm)	447,2	447,2	607,8	607,8	533,7	565,8	389,8	389,8	525,9	525,9	482,5	482,5
Numune kütlesi (g)	1,33	1,33	1,81	1,81	1,69	1,59	1,16	1,16	1,57	1,57	1,44	1,44

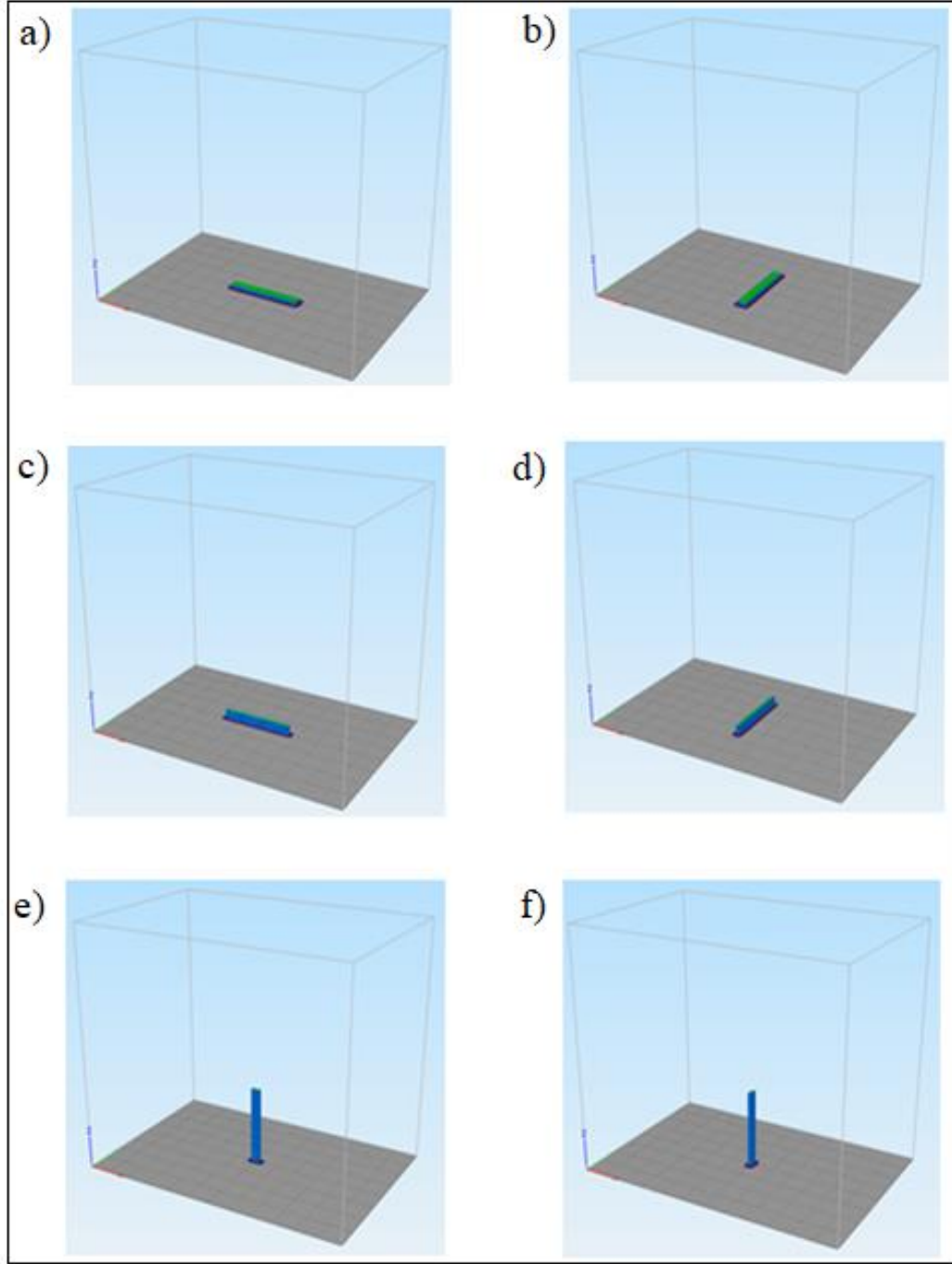
2.1.2.3. Üç nokta eğme numuneleri

Eğme numuneleri için üretim yönlerine (tablaya konumlandırmalarına) ilişkin görseller ve adlandırmaları, Şekil 2.12’de sunulmuştur.



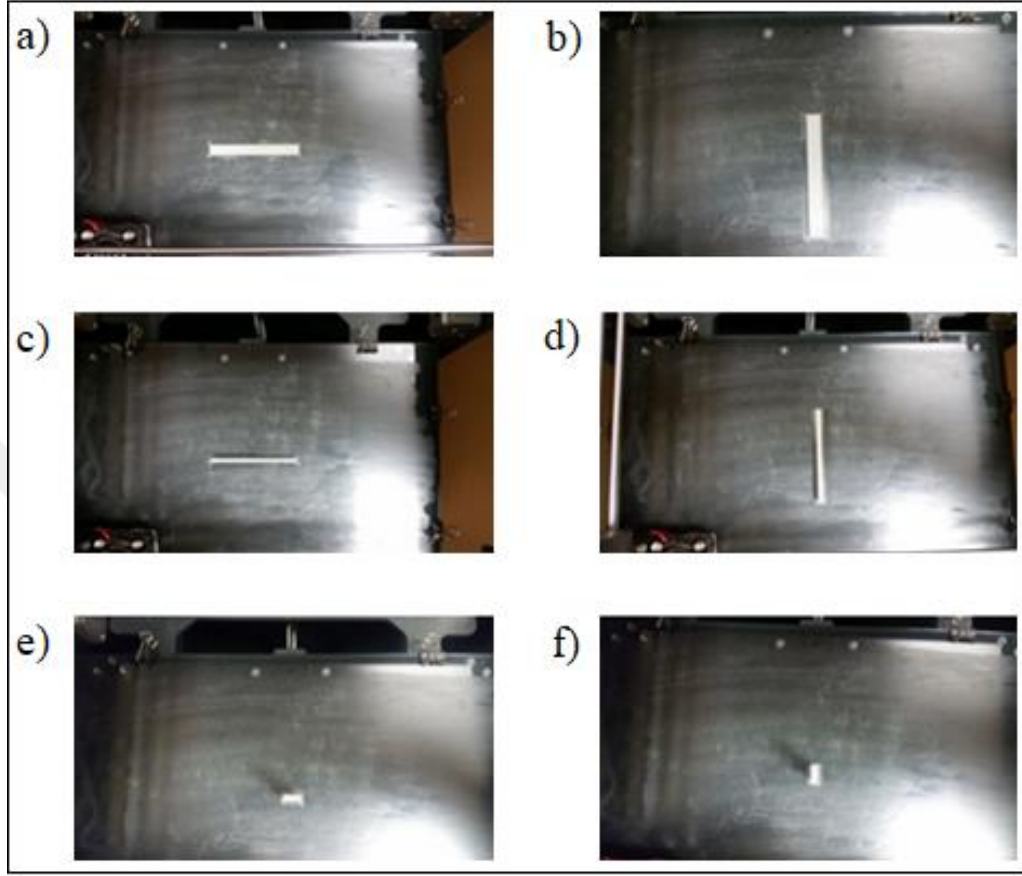
Şekil 2.12. Üç nokta eğme numunelerinin yönleri ve kodları a) XYZ üç nokta eğme numunesi b) YXZ üç nokta eğme numunesi c) XZY üç nokta eğme numunesi d) YZX üç nokta eğme numunesi e) ZXY üç nokta eğme numunesi f) ZYX üç nokta eğme numunesi

Üç nokta eğme numunelerinin üç boyutlu yazıcıda, düzgün üretilebilmesi için tablaya daha iyi yapışmasının sağlanması amacıyla parçaların etrafına etek eklenmiştir. Üç nokta eğme numunelerinin üretimi için destek gerekmemiştir. Üç nokta eğme numuneleri için yönlere ilişkin görseller eklenen eteklerle birlikte Şekil 2.13'te paylaşılmıştır.



Şekil 2.13. Üç nokta eğme numunelerinin etekli tasarımları a) XYZ üç nokta eğme numunesi b) YXZ üç nokta eğme numunesi c) XZY üç nokta eğme numunesi d) YZX üç nokta eğme numunesi e) ZXY üç nokta eğme numunesi f) ZYX üç nokta eğme numunesi

Üç boyutlu yazıcıda üretilen üç nokta eğme numunelerine ait üstten çekilen fotoğraflar, Şekil 2.14’te sunulmuştur.



Şekil 2.14. Üç boyutlu yazıcıda üretilen üç nokta eğme numunelerinin üstten fotoğrafları a) XYZ üç nokta eğme numunesi b) YXZ üç nokta eğme numunesi c) XZY üç nokta eğme numunesi d) YZX üç nokta eğme numunesi e) ZXY üç nokta eğme numunesi f) ZYX üç nokta eğme numunesi

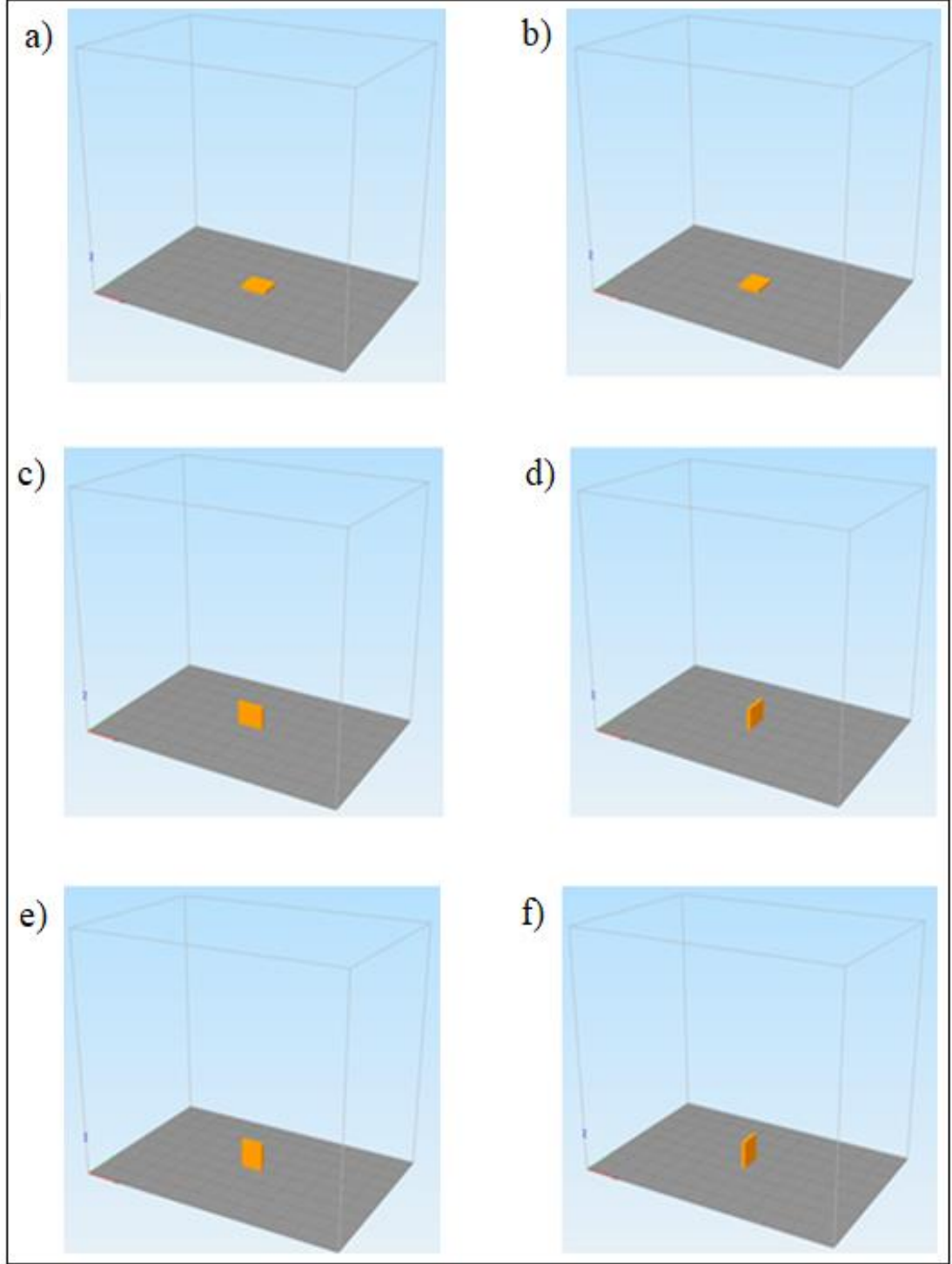
Üç nokta eğme numuneleri için üretim süresi, kullanılan filament uzunluğu ve numunenin kütlesi; kullanılan etek ve desteklerin dahil olduğu ve de arındırıldığı iki hal için Simplfy3D programı ile hesaplanarak Tablo 2.4.’te sunulmuştur.

Tablo 2.4. Eğme numunelerinin üretim süreleri ve malzeme miktarları

NUMUNE TÜRÜLERİ ÜRETİM BİLGİLERİ	Sadece numune (etekler ve destekler dahil)						Sadece numune (etekler ve destekler hariç)					
	XYZ eğme numunesi	YXZ eğme numunesi	XZY eğme numunesi	YZX eğme numunesi	ZXY eğme numunesi	ZYX eğme numunesi	XYZ eğme numunesi	YXZ eğme numunesi	XZY eğme numunesi	YZX eğme numunesi	ZXY eğme numunesi	ZYX eğme numunesi
Üretim Süresi (dk)	11	11	15	15	65	65	10	10	14	14	64	64
Kullanılan filament uzunluğu (mm)	838,9	838,9	1000,7	1000,7	954,4	954,4	781,1	781,1	946,4	946,4	942	942
Numune kütlesi (g)	2,5	2,5	2,98	2,98	2,85	2,85	2,33	2,33	2,82	2,82	2,81	2,81

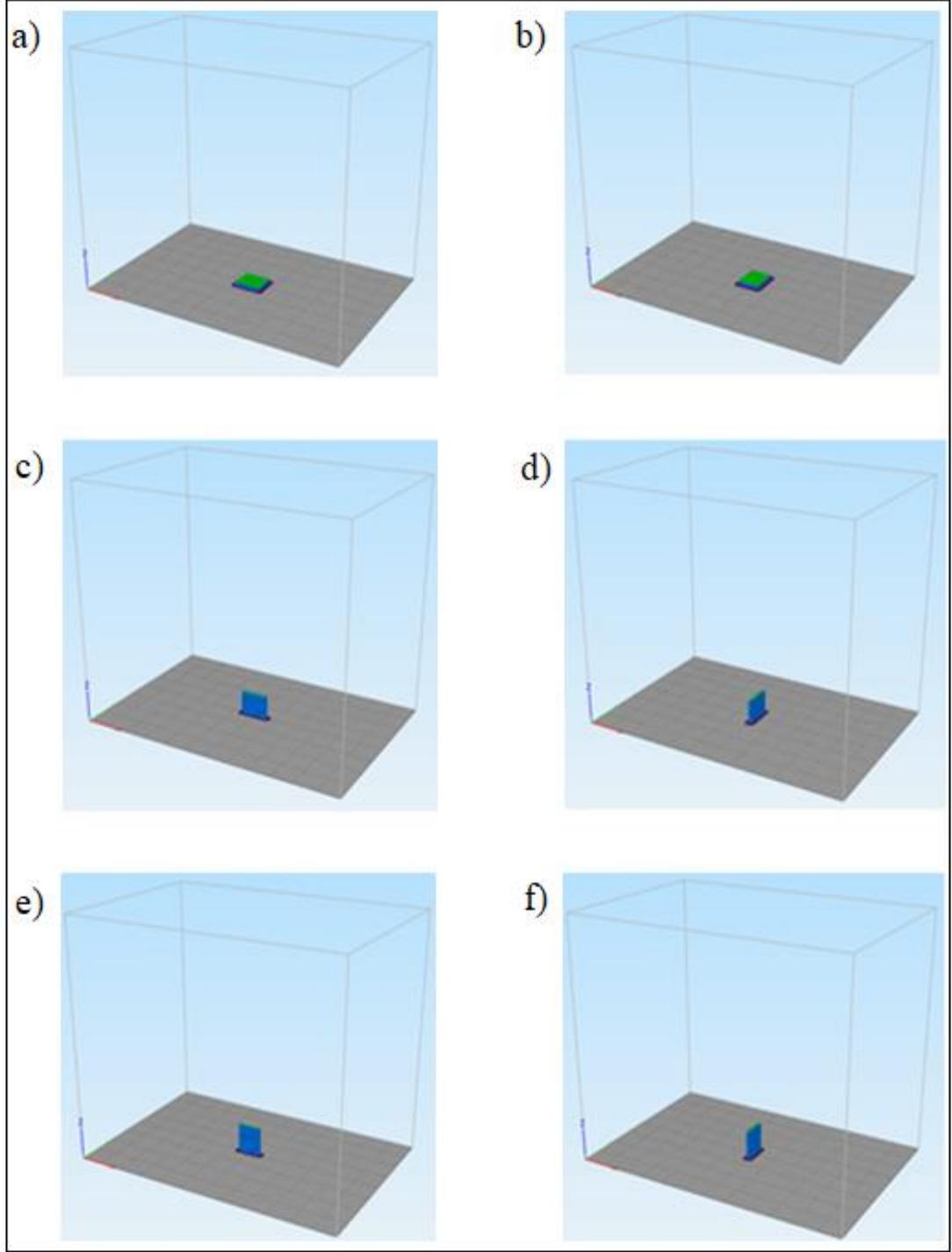
2.1.2.4. Aşınma numuneleri

Aşınma numuneleri için üretim yönlerine (tablaya konumlandırmalarına) ilişkin görseller ve adlandırmaları, Şekil 2.15'te sunulmuştur.



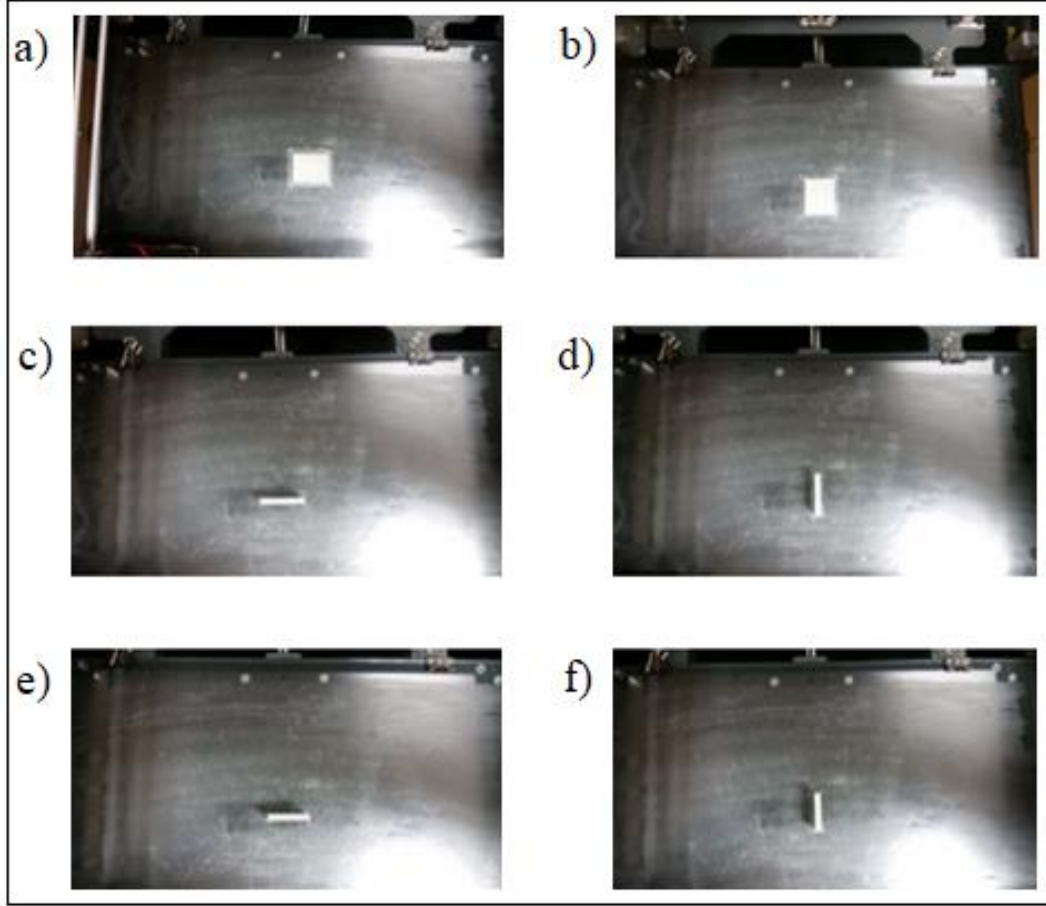
Şekil 2.15. Aşınma numunelerinin yönleri ve kodları a) XYZ aşınma numunesi b) YXZ aşınma numunesi c) XZY aşınma numunesi d) YZX aşınma numunesi e) ZXY aşınma numunesi f) ZYX aşınma numunesi

Aşınma numunelerinin üç boyutlu yazıcıda, düzgün üretilebilmesi için tablaya daha iyi yapışmasının sağlanması amacıyla parçaların etrafına etek eklenmiştir. Aşınma numunelerinin üretimi için destek gerekmemiştir. Aşınma numuneleri için yönlere ilişkin görseller eklenen eteklerle birlikte Şekil 2.16'da paylaşılmıştır.



Şekil 2.16. Aşınma numunelerinin etekli tasarımları a) XYZ aşınma numunesi b) YXZ aşınma numunesi c) XZY aşınma numunesi d) YZX aşınma numunesi e) ZXY aşınma numunesi f) ZYX aşınma numunesi

Üç boyutlu yazıcıda üretilen aşınma numunelerine ait üstten çekilen fotoğraflar, Şekil 2.17’de sunulmuştur.



Şekil 2.17. Üç boyutlu yazıcıda üretilen aşınma numunelerinin üstten fotoğrafları
a) XYZ aşınma numunesi b) YXZ aşınma numunesi c) XZY aşınma numunesi
d) YZX aşınma numunesi e) ZXY aşınma numunesi f) ZYX aşınma numunesi

Aşınma numuneleri için üretim süresi, kullanılan filament uzunluğu ve numunenin kütlesi; kullanılan etek ve desteklerin dahil olduğu ve de arındırıldığı iki hal için Simplfy3D programı ile hesaplanarak Tablo 2.5.’te sunulmuştur.

Tablo 2.5. Aşınma numuneleri üretim süreleri ve malzeme miktarları

NUMUNE TÜRÜ ÜRETİM BİLGİLERİ	Sadece numune (etekler ve destekler dahil)						Sadece numune (etekler ve destekler hariç)					
	XYZ aşınma numunesi	YXZ aşınma numunesi	XZY aşınma numunesi	YZX aşınma numunesi	ZXY aşınma numunesi	ZYX aşınma numunesi	XYZ aşınma numunesi	YXZ aşınma numunesi	XZY aşınma numunesi	YZX aşınma numunesi	ZXY aşınma numunesi	ZYX aşınma numunesi
Üretim Süresi (dk)	9	9	32	32	38	38	9	9	31	31	38	38
Kullanılan filament uzunluğu (mm)	707,8	707,8	906,5	906,5	896,1	896,1	670,9	670,9	882,2	882,2	874,7	874,7
Numune kütlesi (g)	2,11	2,11	2,7	2,7	2,67	2,67	2	2	2,63	2,63	2,61	2,61

2.2. Karakterizasyon

Bu bölümde numunelerin karakterizasyon çalışmalarına yer verilmiştir.

2.2.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerine ilişkin bilgiler

Numunelerin yüzey pürüzlülükleri hakkında bilgi edinilebilmesi için Ra (profilin aritmetik ortalama sapması) değerleri ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülükleri, 25x30x4 boyutlarında üretilen numunelerden sağlanmış olup ölçümler, Şekil 2.7-c’de gösterilen boya ve ene paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, 21 ± 3 °C ortam sıcaklığında yapılmıştır. Her bir numune için en az beş adet ölçüm yapılmış olup ortalama değerlerden yararlanılmıştır. Ölçümlerde, “Mitutoyo SJ-301” marka ve modellenli cihaz kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı “Mitutoyo SJ-301” marka ve modellenli cihazı, Şekil 2.18’de sunulmuştur.



Şekil 2.18. Mitutoyo SJ-301 yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı

2.2.2. Çekme deneyine ilişkin bilgiler

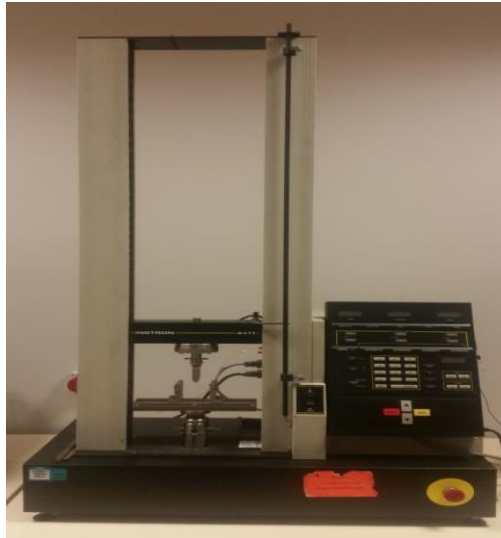
Çekme deneyleri, ISO 527-2 5A standardına göre uygulanmıştır. Çekme hızı, sabit 5 mm/dk olarak belirlenmiştir. Ortam sıcaklığı, 21 ± 3 °C’dir. Her bir numune için en az beş adet ölçüm yapılmış olup ortalama değerlerden yararlanılmıştır. Çekme deneyleri, “Instron 4411” marka ve modellenli makine ile gerçekleştirilmiş olup deneye ilişkin veriler, “Bluehill” programı vasıtasıyla elde edilmiştir. Çekme deneylerinde kullanılan “Instron 4411” marka ve modellenli makine, çekme çenelerinin takılı olduğu haliyle Şekil 2.19’da sunulmuştur.



Şekil 2.19. Instron 4411 test makinesi
-çekme çeneleriyle- görüntüsü

2.2.3. Üç nokta eğme deneyine ilişkin bilgiler

Üç nokta eğme deneyleri, ISO 178 standardına göre uygulanmıştır. Destekler arası mesafe 64 mm olup eğme hızı, sabit 2 mm/dk olarak belirlenmiştir. Ortam sıcaklığı, 21 ± 3 °C'dir. Her bir numune için en az beş adet ölçüm yapılmış olup ortalama değerlerden yararlanılmıştır. Eğme deneyleri, "Instron 4411" marka ve modellenli makine ile gerçekleştirilmiş olup deneye ilişkin veriler, "Bluehill" programı vasıtasıyla elde edilmiştir. Eğme deneylerinde kullanılan "Instron 4411" marka ve modellenli makine, eğme çenelerinin takılı olduğu haliyle Şekil 2.20'de sunulmuştur.



Şekil 2.20. Instron 4411 test makinesi
-üç nokta eğme çeneleriyle- görüntüsü

2.2.4. Aşınma deneyine ilişkin bilgiler

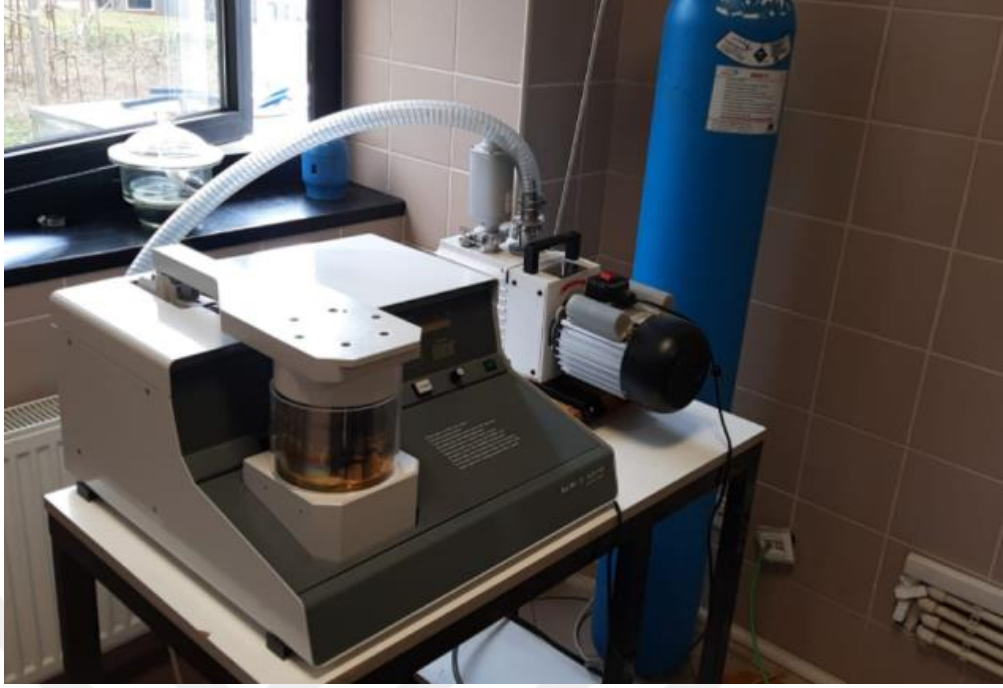
Numunelere uygulanan adhezif aşınma ile sürtünme katsayılarının incelenmesi amaçlanmıştır. Ortam sıcaklığı, 21 ± 3 °C'dir. Her bir numune için en az 5 ölçüm yapılmıştır. Deneyler, "Nanovea" markasının tribometre cihazı (pin on disc) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşındırma için kullanılan bilye, 52100 krom çeliğinden olup 3 mm yarıçapındadır. Aşınma deneyleri için 4 mm sürtünme yarıçapı, 50 m kayma mesafesi, 20 N ağırlık ve 150 rpm dönme hızına karar verilmiştir. Deneye ilişkin veriler, kullanılan makinenin kendi yazılımı olan Nanovea Tribometer Software programı vasıtasıyla elde edilmiştir. Aşınma deneylerinde kullanılan "Nanovea TRB" makinesi, Şekil 2.21'de sunulmuştur.



Şekil 2.21. Nanovea TRB aşınma makinesi (pin on disc)

2.2.5. Taramalı elektron mikroskobu incelemesine ilişkin bilgiler

Numunelerin tümünün polilaktik asit (PLA) malzemeden üretilmiş olmasından dolayı çekme ve üç nokta eğme numunelerinin kopma, aşınma numunelerinin ise aşınma yüzeyleri, taramalı elektron mikroskobunda (SEM) görüntüleyebilmek amacıyla Bal-Tec SCD 005 Sputter kaplama makinesi kullanılarak 300 saniye boyunca saf bakır ile kaplanmıştır. İncelemeler ise Jeol JCM-6000 marka ve modeli masaüstü elektron mikroskobu ile yapılmıştır. Kaplamaların yapıldığı Bal-Tec SCD 005 Sputter kaplama makinesi Şekil 2.22'de, incelemelerin gerçekleştirildiği Jeol marka JCM-6000 modeli masaüstü elektron mikroskobu ise Şekil 2.23'te sunulmuştur.



Şekil 2.22. Bal-Tec SCD 005 sputter kaplama makinesi



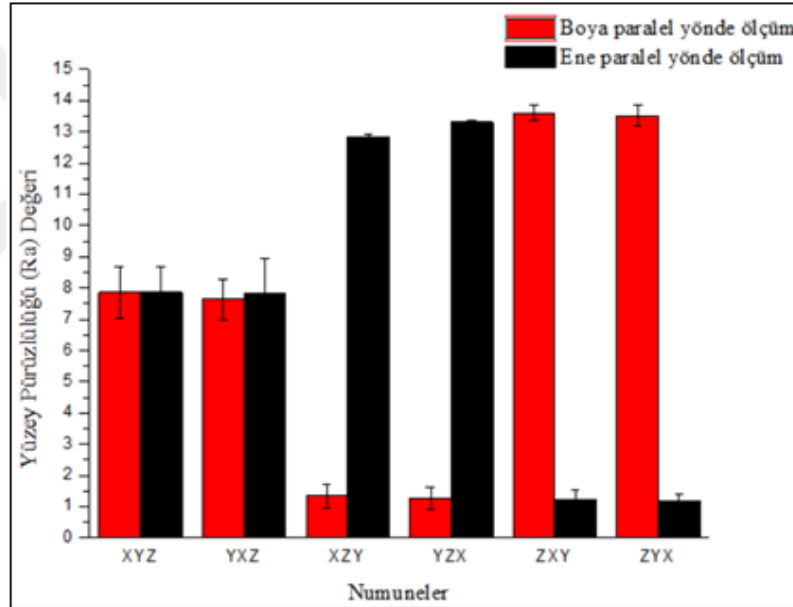
Şekil 2.23. Jeol JCM-600 BENCHTOP taramalı elektron mikroskobu (SEM)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, karakterizasyon çalışmalarına ilişkin bulgular verilerek değerlendirilmeler yapılmıştır.

3.1. Yüzey Pürüzlülüğü İle İlgili Bulgular Ve Tartışma

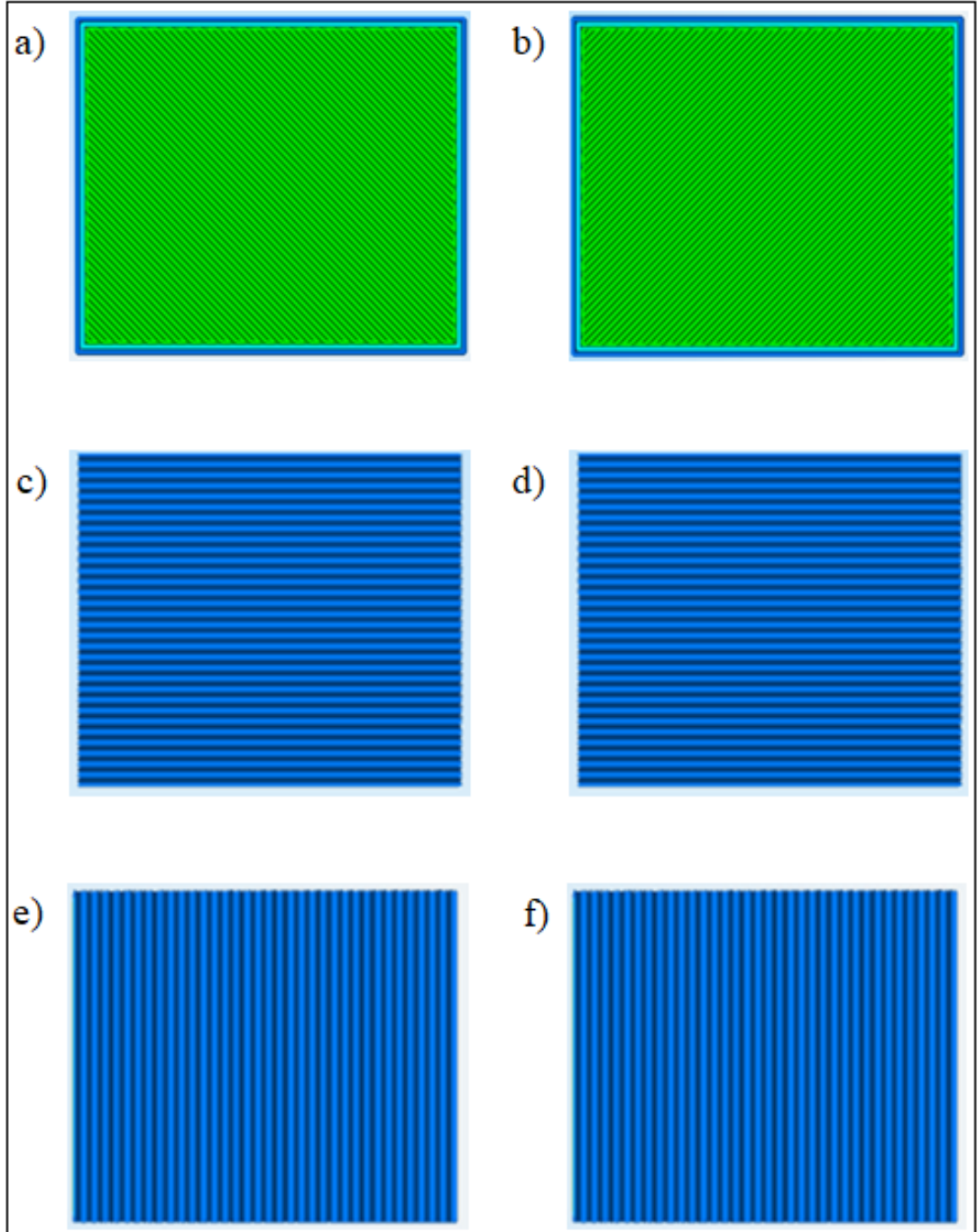
Şekil 2.7-c'de gösterilen boya ve ene paralel olarak gerçekleştirilen Ra (profilin aritmetik ortalama sapması) yüzey pürüzlülük ölçümlerinin sonuçları, Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Ra (profilin aritmetik ortalama sapması) yüzey pürüzlülük değerleri

XYZ ile YZX, XZY ile YXZ ve ZXY ile ZYX ikililerinin yüzey pürüzlülüğü bakımından karakteristiklerinin eş olduğu görülmüştür. Burada bahsedilen ikili numune gruplarının tablaya yapışan yüzey alanları aynı olan ve tabla düzleminde 90° döndürülmüş haller olduğu dikkat çekicidir. Öte yandan XZY ile YZX ikilisi ve ZXY ile ZYX ikilisi, yüzey pürüzlülükleri zıt yönlerde (boya veya ene paralel) ölçüldüğünde çok yakın değerler vermiştir. Ölçüm yönünden bağımsız olarak (en büyük değer dikkate alındığında), XZY ile YZX ve ZXY ile ZYX ikililerinin XYZ ile YXZ ikilisine göre daha büyük yüzey pürüzlülüğü gösterdiği görülmektedir.

Numunelerin yüzey pürüzlülüklerinde gösterdikleri karakteristik farklılıklar, üretim parametrelerinin sabit olmasına karşın tabladaki konumlandırmalarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü ölçülen 25x30x4 boyutlarındaki (aşınma) numunelerin yüzey yapıları Şekil 3.5'te verilmiştir.

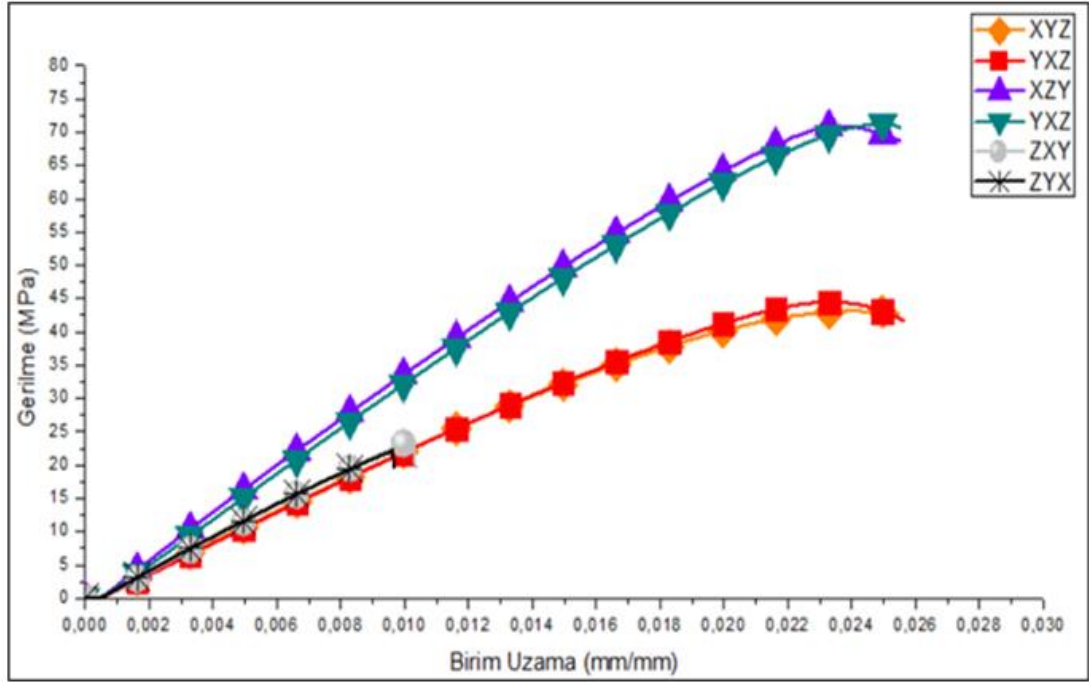


Şekil 3.2. Yüzey pürüzlülüğü ölçülen 25x30x4 boyutlu numunelerin yüzey görüntüleri a) XYZ aşınma numunesi b) YXZ aşınma numunesi c) XZY aşınma numunesi d) YZX aşınma numunesi e) ZXY aşınma numunesi f) ZYX aşınma numunesi

Numunelerin yüzeyleri incelendiğinde, farklılık gösterdiği görülmektedir. İmalata dair tüm parametrelerin aynı olmasına rağmen tabladaki farklı konumlandırma, 25x30x4 ölçülerindeki dikdörtgen aşınma numunelerinin girinti ve çıkıntı oluşturan yüzey hatlarının farklı yönlerde oluşmasını beraberinde getirmiştir. Numunelerin yüzey şekilleri incelendiğinde, deney verilerinde de olduğu üzere XYZ ile YXZ, XZY ile YZX ve ZXY ile ZYX kodlu numunelerin yapılarının aynı olduğu görülmektedir. XYZ ile YZX ikilisinde ise yüzeylerdeki çapraz desenler, XZY ile YZX ikilisinde uzun kenara paralel hatlar ve ZXY ile ZYX ikilisinde ise kısa kenara paralel hatlar oluşmuştur. XZY ile YZX ve ZXY ile ZYX ikilisinde oluşan hatlar benzer olup sadece yönleri farklıdır.

3.2. Çekme Deneyi İle İlgili Bulgular Ve Tartışma

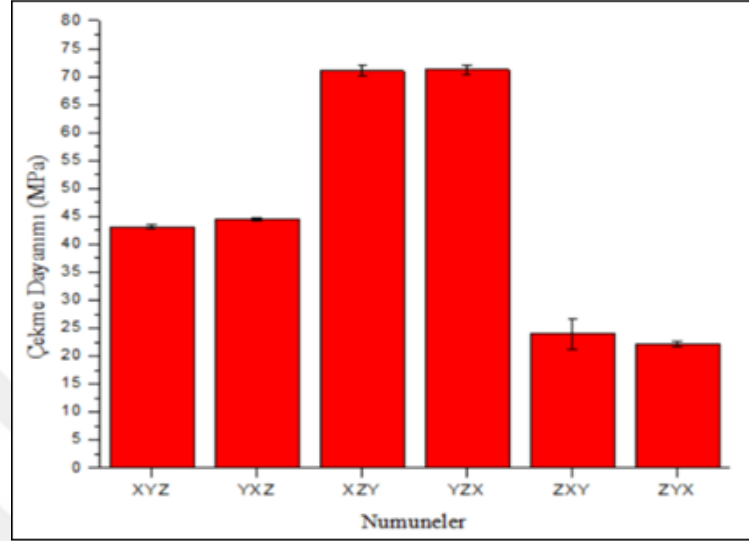
Numunelere ait çekme deneyi verilerinden elde edilen gerilme – birim uzama grafiği, Şekil 3.3.'te verilmiştir



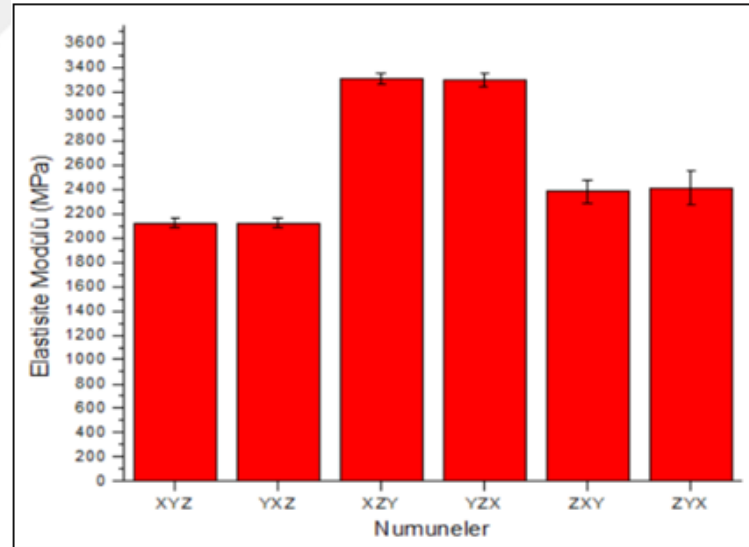
Şekil 3.3. Gerilme – birim uzama grafiği

XYZ ile YXZ, XZY ile YXZ ve ZXY ile ZYX ikililerinin çekme deneyinde, aynı kabul edilebilecek karakteristiklere sahip olduğu ifade edilebilir. Burada bahsedilen ikili numune gruplarının tablaya yapışan yüzey alanları aynı olan ve tabla düzleminde 90° döndürülmüş haller olduğu dikkat çekicidir.

Numunelerin çekme deneylerinde gösterdikleri karakteristiklerin daha iyi irdelenebilmesi için gerilme – birim uzama verileri kullanılarak Şekil 3.4'te çekme dayanımları ve Şekil 3.5'te elastisite modülü değerleri grafik üzerinde verilmiştir.



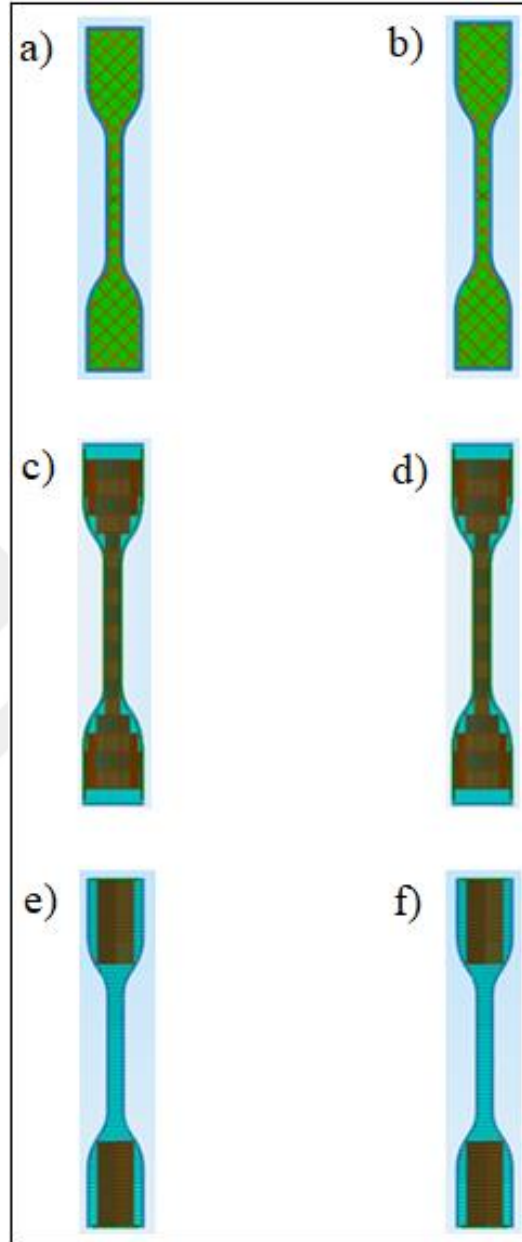
Şekil 3.4. Çekme dayanımı değerleri



Şekil 3.5. Elastisite modülü değerleri

Şekil 3.4'te, XYZ ile YXZ ikilisinin ve XZY ile YZX ikilisinin çekme dayanımı değerinin ZXY ile ZYX ikilisinin çekme dayanımından sırasıyla %90 ve %205 daha yüksek olduğu görülmüştür. Şekil 3.5'te, ZXY ile ZYX ikilisinin ve XZY ile YZX ikilisinin elastisite modülü değerinin XYZ ile YXZ ikilisinin elastisite modülü değerinden sırasıyla %14 ve %35 daha yüksek olduğu görülmüştür.

Çekme deneyi numunelerinin iç yapıları, kesit görüntüleri sunularak Şekil 3.6'da verilmiştir.



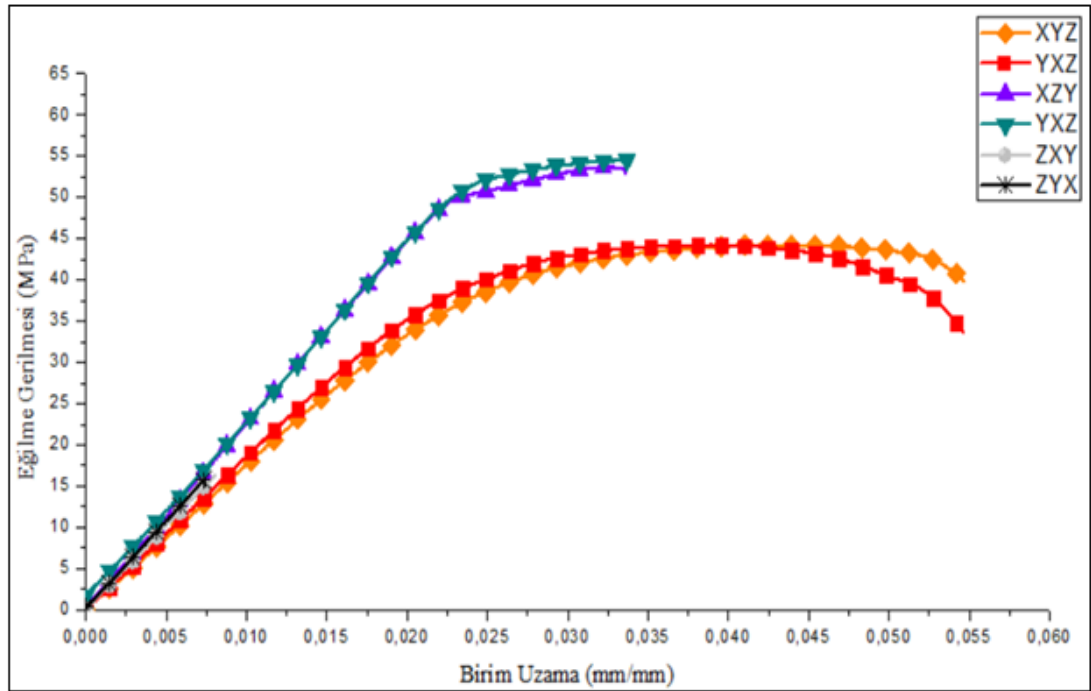
Şekil 3.6. Çekme numunelerinin kesit görüntüleri a) XYZ çekme numunesi b) YXZ çekme numunesi c) XZY çekme numunesi d) YZX çekme numunesi e) ZXY çekme numunesi f) ZYX çekme numunesi

Numunelerin kesitleri incelendiğinde, farklılıklar görülmektedir. Bu farklılıklar, tüm imalat parametrelerinin aynı olmasına karşın tablaya farklı konumlandırmalar yapılmasıyla birlikte üretimde farklı konstrüksiyonların ortaya çıkmasından ileri

gelmektedir. Çekme numunelerinin yapıları incelendiğinde, deney verilerinde de olduğu üzere XYZ ile YXZ, XZY ile YZX ve ZXY ile ZYX kodlu numunelerin yapılarının aynı olduğu görülmektedir. Bu ikili numune grupları incelendiğindeyse XZY ile YZX ikilisinde, numunenin uzun kenarına paralel olan doğrular boyunca ve sık malzeme akışıyla üretilmesi, çekme dayanımı ve elastisite modülü değerlerinin en büyük çıkmasına sebep teşkil etmektedir. XYZ ile YZX ikilisinde ise yapının çapraz bir örgü şeklinde olması, çekme dayanımı ve elastisite modülü değerlerinin ortanca sırada yer almasını sağlamıştır. ZXY ile ZYX ikilisinde de numune kulaklarının dolu olmasına karşın kopma gerçekleşen iç kısımda kalan boş bölge, çekme dayanımı ve elastisite modülü değerlerinin en düşük olmasına sebep olmuştur.

3.3. Eğme Deneyi İle İlgili Bulgular Ve Tartışma

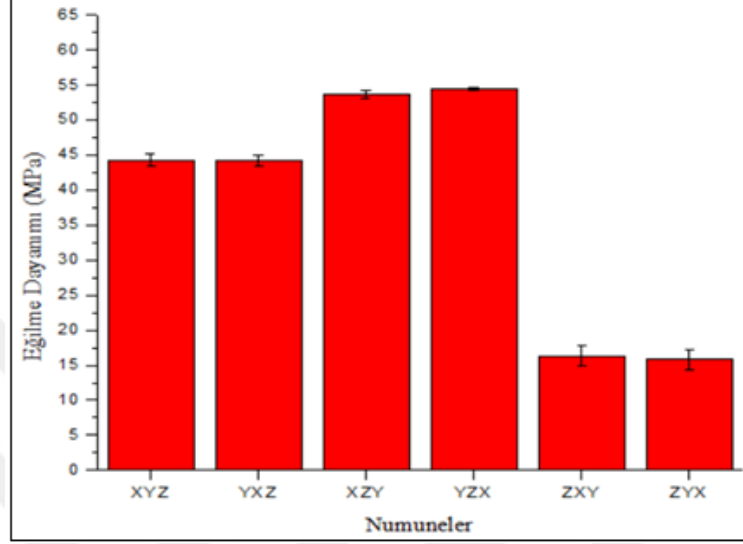
Numunelere ait üç nokta eğme deneyi verilerinden elde edilen çekme gerilmesi – birim uzama grafiği, Şekil 3.7’de verilmiştir.



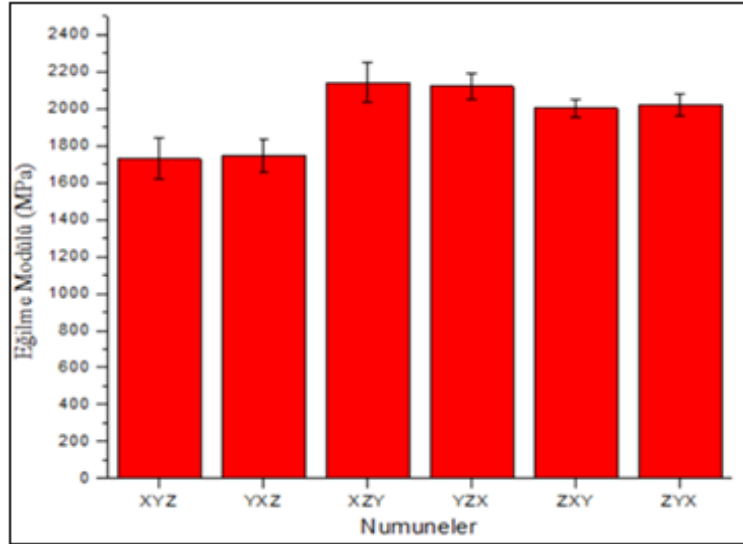
Şekil 3.7. Eğilme gerilmesi – birim uzama grafiği

XYZ ile YXZ, XZY ile YXZ ve ZXY ile ZYX ikililerinin üç nokta eğme deneyinde, aynı kabul edilebilecek karakteristiklere sahip olduğu ifade edilebilir. Burada bahsedilen ikili numune gruplarının tablaya yapışan yüzey alanları aynı olan ve tabla düzleminde 90° döndürülmüş haller olduğu dikkat çekicidir.

Numunelerin üç nokta eğilme deneylerinde gösterdikleri karakteristiklerin daha iyi irdelenebilmesi için eğilme gerilmesi – birim uzama verileri kullanılarak Şekil 3.8’de eğilme dayanımları ve Şekil 3.9’da eğilme modülü değerleri grafik üzerinde verilmiştir.



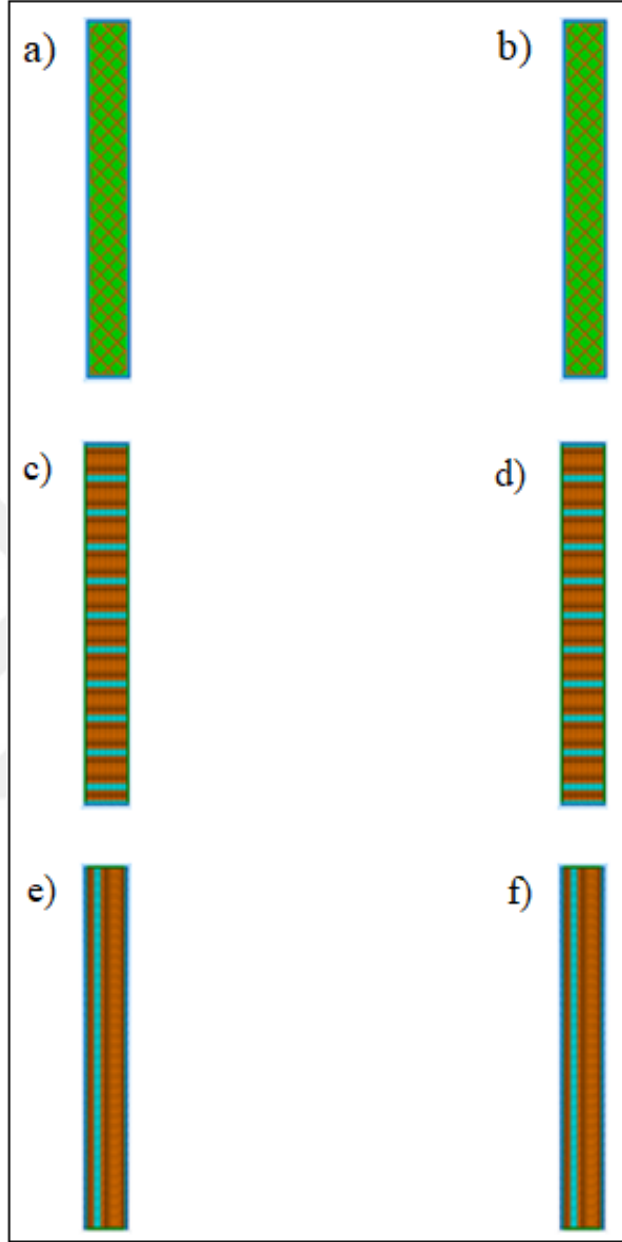
Şekil 3.8. Eğilme dayanımı değerleri



Şekil 3.9. Eğilme modülü değerleri

Şekil 3.8’de, XYZ ile YXZ ikilisinin ve XZY ile YZX ikilisinin eğilme dayanımı değerinin ZXY ile ZYX ikilisinin eğilme dayanımından sırasıyla %175 ve %237 daha yüksek olduğu görülmüştür. Şekil 3.9’da, ZXY ile ZYX ikilisinin ve XZY ile YZX ikilisinin eğilme modülü değerinin XYZ ile YXZ ikilisinin eğilme modülü değerinden sırasıyla %14 ve %22 daha yüksek olduğu görülmüştür.

Üç nokta eğme deneyi numunelerinin iç yapıları, kesit görüntüleri sunularak Şekil 3.10'da verilmiştir.



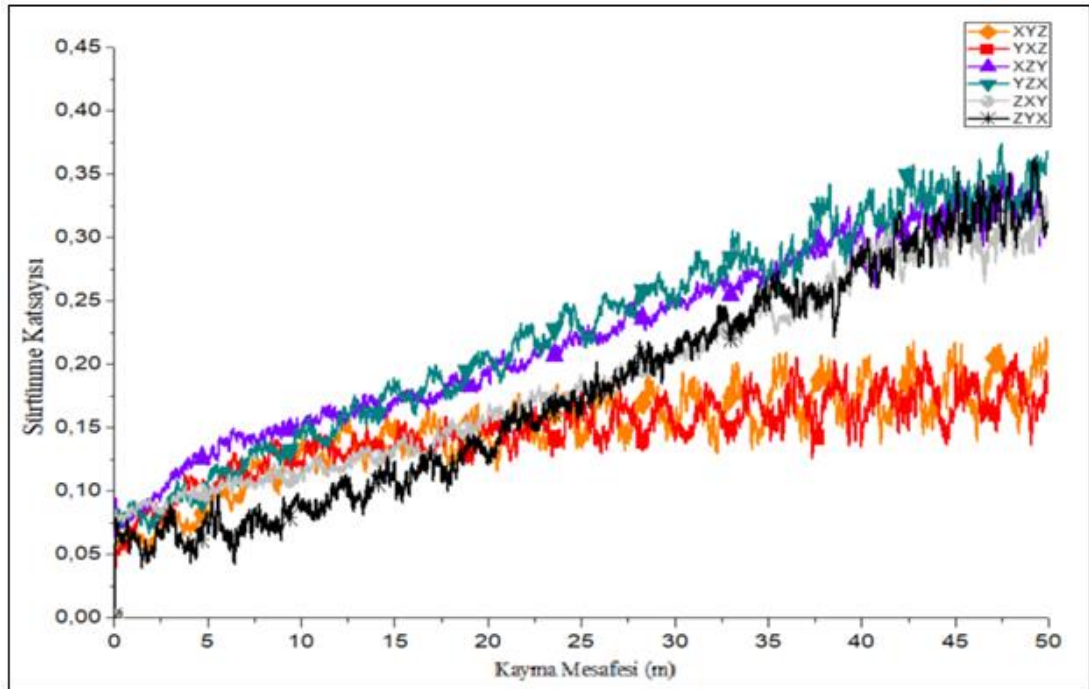
Şekil 3.10. Üç nokta eğme numunelerinin kesit görüntüleri a) XYZ üç nokta eğme numunesi b) YXZ üç nokta eğme numunesi c) XZY üç nokta eğme numunesi d) YZX üç nokta eğme numunesi e) ZXY üç nokta eğme numunesi f) ZYX üç nokta eğme numunesi

Numunelerin kesitleri incelendiğinde, farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu farklılıklar, imalata dair tüm parametrelerin aynı olmasına rağmen tablaya farklı konumlandırmalar yapılmasıyla birlikte üretimde farklı konstrüksiyonların ortaya

çıkmasından ileri gelmektedir. Çekme numunelerinin yapıları incelendiğinde, deney verilerinde de olduğu üzere XYZ ile YXZ, XZY ile YZX ve ZXY ile ZYX kodlu numunelerin yapılarının aynı olduğu görülmektedir. Bu ikili numune grupları incelendiğindeyse XZY ile YZX ikilisinde, numunenin uzun kenarına paralel olan doğrular boyunca ve sık malzeme akışıyla üretilmesi, eğilme dayanımı ve eğilme modülü değerlerinin en büyük çıkmasına sebep teşkil etmektedir. XYZ ile YZX ikilisinde ise yapının çapraz bir örgü şeklinde olması, çekme dayanımı ve elastisite modülü değerlerinin ortanca sırada yer almasını sağlamıştır. ZXY ile ZYX ikilisinde de numunenin iç kısmındaki boş bölge, eğme dayanımı ve eğme modülü değerlerinin en düşük olmasına sebep olmuştur.

3.4. Aşınma Deneyi İle İlgili Bulgular Ve Tartışma

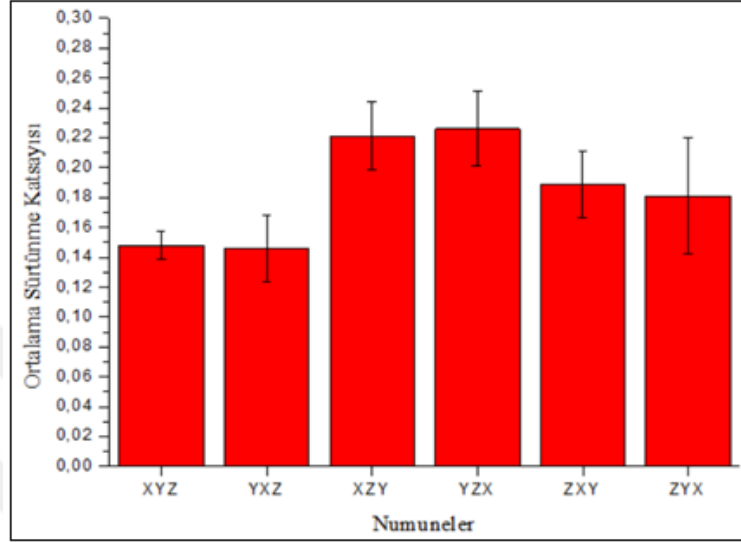
Numunelere ait aşınma deneyi verilerinden elde edilen sürtünme katsayısı – kayma mesafesi (m) grafiği, Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Sürtünme katsayısı – kayma mesafesi grafiği

XYZ ile YXZ, XZY ile YZX ve ZXY ile ZYX numunelerinin aşınma deneyinde, aynı kabul edilebilecek karakteristiklere sahip olduğu ifade edilebilir. Burada bahsedilen ikili numune gruplarının tablaya yapışan yüzey alanları aynı olan ve tabla düzleminde 90° döndürülmüş haller olduğu dikkat çekicidir.

Pin on disk ile yapılan aşınma deneylerinde, numunelerin karakteristiklerini gösteren grafiğin verilerinin elde edildiği Nanovea Tribometer Software programı yardımıyla ortalama sürtünme katsayıları da tespit edilmiştir. Şekil 3.12’de numunelere ait ortalama sürtünme katsayılarını gösteren grafik verilmiştir.



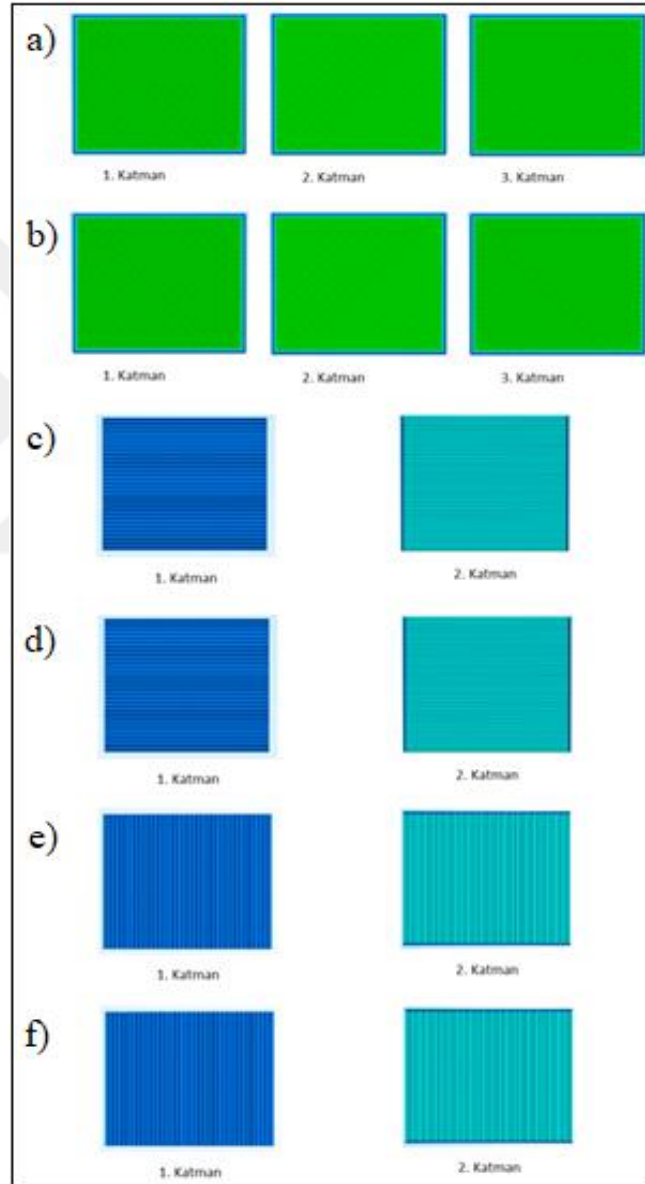
Şekil 3.12. Ortalama sürtünme katsayısı grafiği

Ortalama sürtünme katsayısı değerlerinin XYZ ile YXZ, XZY ile YZX ve ZXY ile ZYX olmak üzere ikili gruplar oluşturduğu görülmüştür. Ortalama sürtünme katsayıları, ikili gruplar olarak mukayese edildiğinde ise yaklaşık değerlere göre 0,224 ile XZY ile YZX ikilisinin en büyük, 0,147 ile XYZ ile YXZ ikilisinin en küçük ve de 0,185 ile ZXY ile ZYX ikilisinin ortada olduğu bir sıralama ortaya çıkmaktadır.

Numuneler incelendiklerinde, aşınma deneylerinde gösterdikleri karakteristiklerinin aşınma gerçekleştirilen yüzeylere ve numunelerin konstrüksiyonlarına bağlı olduğu tespit edilmiştir. Yüzeyler ve konstrüksiyondaki farklılıklar ise üretim parametrelerinin sabit olmasına karşın tablaya konumlandırılmalarındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Simplfy 3D programı kullanılarak belirlenen numune kabuklarına ilişkin katman sayısı, katman çeşidi, tek katman kalınlığı ve toplam katman kalınlığı bilgileri Tablo 3.1’de paylaşılmıştır. Numune kabuklarına ilişkin görseller, Şekil 3.13’te ve numunelerin kesitlerine ilişkin görseller, Şekil 3.14’te sunulmuştur.

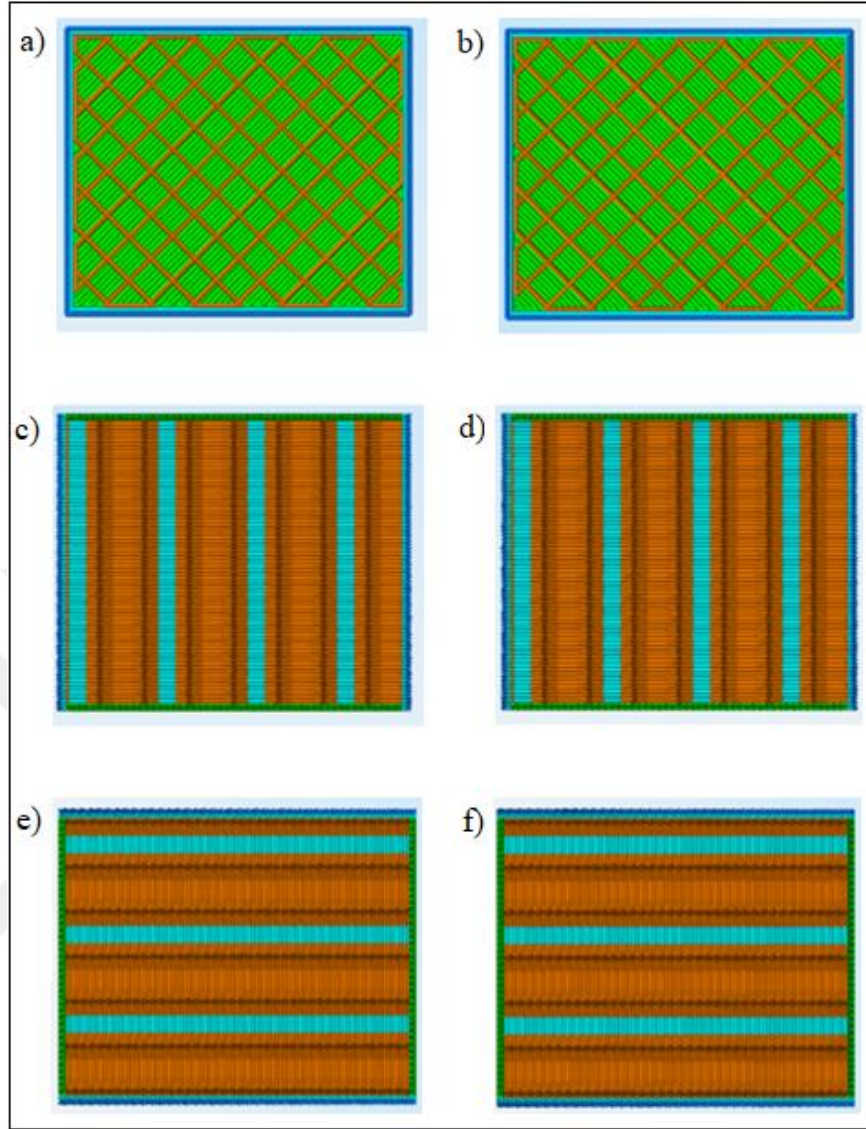
Tablo 3.1. Numunelerin kabuk bilgileri

NUMUNE TÜRLERİ KABUK BİLGİLERİ	XYZ	YXZ	XZY	YZX	ZXY	ZYX
	aşınma numunesi	aşınma numunesi	aşınma numunesi	aşınma numunesi	aşınma numunesi	aşınma numunesi
Katman Sayısı	3	3	2	2	2	2
Katman Çeşit Sayısı	2	2	1	1	1	1
Tek Katman Kalınlığı (mm)	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4
Toplam Katman Kalınlığı (mm)	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8



Şekil 3.13. Aşınma numunelerinin kabuklarına ait katmanların görüntüleri (dıştan içe doğru)

a) XYZ aşınma numunesi b) YXZ aşınma numunesi c) XZY aşınma numunesi d) YZX aşınma numunesi e) ZXY aşınma numunesi f) ZYX aşınma numunesi



Şekil 3.14. Aşınma numunelerinin kesit görüntüleri a) XYZ aşınma numunesi b) YXZ aşınma numunesi c) XZY aşınma numunesi d) YZX aşınma numunesi e) ZXY aşınma numunesi f) ZYX aşınma numunesi

Aşınma deneyine tabi tutulan aşınma numuneleri incelendiğinde, hiçbir numunede Tablo 3.1’de verilen toplam kabuk kalınlığını aşacak kadar derin bir aşınma olmadığı görülmektedir. Bu da aşınmaların numunelerin kabuklarında gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Şekil 3.13’te görüldüğü üzere katmanlar incelendiğinde XYZ ile YXZ, XZY ile YZX ve de ZXY ile ZYX ikili gruplar oluşturmaktadır. XZY ile YZX ikilisi için yüzeydeki çizgiler uzun kenara paralel oluşmuşken ZXY ile ZYX ikilisinde yüzeydeki çizgiler kısa kenara paraleldir. Ancak yüzey pürüzlülük (R_a) değeri bakımından eşitlik söz konusudur. Aşınma numunelerinin kesitlerinin yer aldığı Şekil 3.14 incelendiğinde ise XYZ ile YXZ, XZY ile YZX ve ZXY ile ZYX ikili

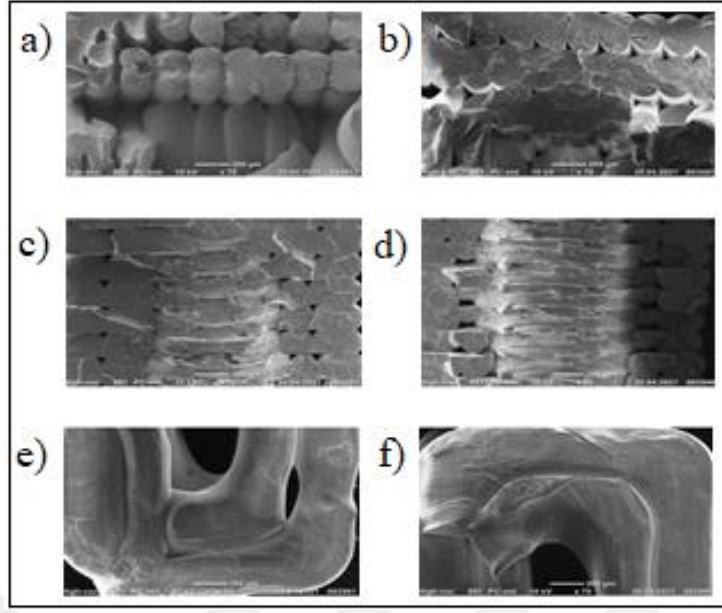
gruplar oluşturmaktadır. Burada kesitler dikkatli incelendiğinde XZY ile YZX ikilisi ve ZXY ile ZYX ikilisinin sütunlardan oluşan benzer konstrüksiyonlara sahip olduğu görülmekte olsa da toplam sütun sayısı farklıdır. Ortalama sürtünme katsayıları incelendiğinde XZY ile YZX ikilisi ile ZXY ile ZYX ikilisi arasında farklılık olmasının bundan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Zira XZY ile YZX ikilisi ve ZXY ile ZYX ikilisinin yüzeyde barındırdığı çizgilerin doğrultusu farklı olsa da yapı olarak benzer olup aşınma deneyi içerisinde dönel hareket yaptığı için ikisi de aynı dirençleri oluşturmaktadır. Ancak XZY ile YZX ikilisi ve ZXY ile ZYX aşınma numuneleri ikililerinin kesitleri incelendiğinde yapıların sütunlardan oluşmasına karşın sütun sayısının farklı olduğu görülmektedir. Bu sütunlar, tribometre cihazının ucuna (prop) karşı mukavemet göstererek ucun (prop) derinlere dalmasını zorlaştırarak yüzeyde sürtünmenin artmasına sebep olmuştur. Sütun sayısı fazla olan XZY ile YZX ikilisinin ZXY ile ZYX ikilisinden daha yüksek bir ortalama sürtünme katsayısına sahip olmasının sebebinin bundan kaynaklandığına karar verilmiştir. Öte yandan XYZ ile YXZ ikilisi, diğer ikili gruplarla karşılaştırıldığında ortalama sürtünme katsayısı en küçüktür. Burada ise yüzey pürüzlülüğünün doğrultu gözetmeksizin sabit ve diğer ikililerin en büyük ölçüm doğrultularında yapılan ölçümlerine kıyasla en küçük pürüzlülükte olması ile kesit yapısındaki çapraz örgülü yapının etkili olduğuna karar verilmiştir. Yüzeyi her doğrultuda eşit pürüzlülüğe sahip olan XYZ ile YXZ ikilisinde, yüzey pürüzlülüğünün bu karakteristiğine ve kesitte görülen çapraz örgülü yapı sebebiyle prop, örgü hatlarında derine dalamayıp örgüsüz kısımlarda batabilmesinin daha kolay olmasına bağlı olarak yörüngenin dışına yalpalamaların olduğu izlerin oluşmasına da neden olmuştur.

3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri

Bu bölümde çekme deneyi, üç nokta eğme deneyi ve aşınma deneyi numunelerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerine yer verilerek incelemeler yapılmıştır.

3.2.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile çekme numunelerinin incelenmesi

Çekme numunelerinin kırılma yüzeylerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile elde edilen görüntüleri, Şekil 3.15'te sunulmuştur.



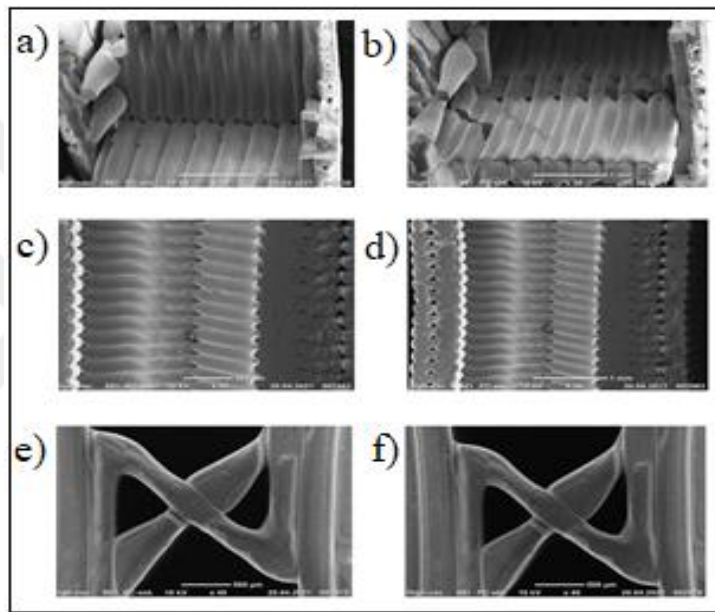
Şekil 3.15. Çekme numunelerinin kırılma yüzeylerine ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri
a) XYZ çekme numunesi b) YXZ çekme numunesi
c) XZY çekme numunesi d) YZX çekme numunesi
e) ZXY çekme numunesi f) ZYX çekme numunesi

Çekme numunelerinde gevrek kırılmalar meydana gelmiştir. Tüm numunelerin saf polilaktik asit (PLA) malzemeden yapıldığı göz önüne alınarak SEM görüntüleri ve gerilme-birim uzama grafikleri birlikte değerlendirildiğinde, numunelerin çekme deneylerinde kırılma ve plastik deformasyonun oldukça düşük olduğu bir karakterizasyon gösterdiği ifade edilebilir. Numunelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri kıyaslandığında ise deney sonuçlarında da elde edilen ikili gruplar doğrulanmış olup inşa edildikleri alanları aynı ve tabla düzleminde birbirlerinin 90° döndürülmüş halleri olan XYZ ile YXZ, XZY ile YZX, ZXY ile ZYX ikili gruplarının karakterizasyon bakımından eş olduğu görülmüştür. İkili gruplar arasındaki farklılıkların ise parametrelerin sabit tutulmasına rağmen tabladaki konumlandırmaların farklı olması sebebiyle oluşan konstrüksiyon farklılıklarından kaynaklandığı SEM görüntüleri ile de desteklenmiştir. Şekil 3.6'da olduğu üzere XZY ile YZX ikilisinde çekme kuvveti doğrultusuna paralel bir şekilde doğrusal çizgiler halinde dolu ve sık bir konstrüksiyon, XYZ ile YXZ ikilisinde çapraz örgülü daha seyrek ve kırılma yüzeyinin orta kısımlarında boşluklu bir konstrüksiyon, ZXY ile ZYX ikilisinde ise orta kısmı boş ve kenarları dikey yönde üst üste yığılarak çevrilmiş bir konstrüksiyon görülmektedir. Numunelerin konstrüksiyonlarındaki bu

dizayn durumları, katmanlar arası yapışmayı da etkilemiştir. Çekme yönüne paralel yönde, biriktirme yapılarak oluşturulan ZXY ile ZYX, katmanlar arası yapışma bakımından en dezavantajlı gruptur.

3.2.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile üç nokta eğme numunelerinin incelenmesi

Üç nokta eğme numunelerinin kırılma yüzeylerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile elde edilen görüntüleri, Şekil 3.16'da sunulmuştur.



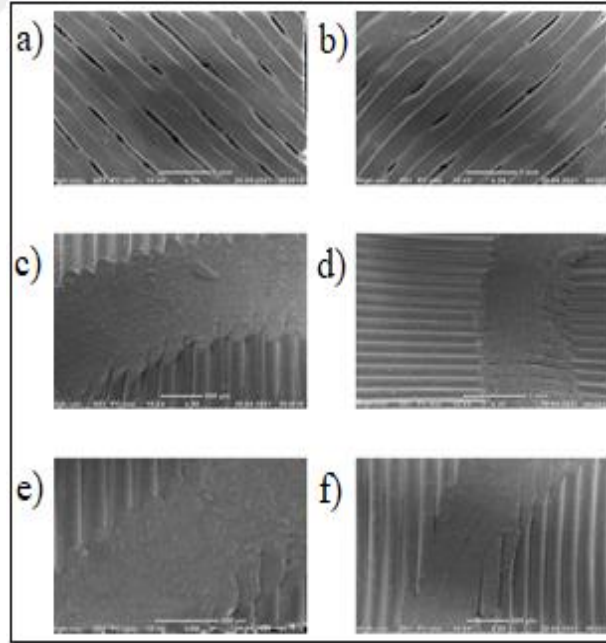
Şekil 3.16. Üç nokta eğme numunelerinin kırılma yüzeylerine ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri a) XYZ üç nokta eğme numunesi b) YXZ üç nokta eğme numunesi c) XZY üç nokta eğme numunesi d) YZX üç nokta eğme numunesi e) ZXY üç nokta eğme numunesi f) ZYX üç nokta eğme numunesi

Üç nokta eğme numuneleri, gevrek kırılmalar göstermiştir. Tüm numunelerin saf polilaktik asit (PLA) malzemeden yapıldığı göz önüne alınarak SEM görüntüleri ve eğilme gerilmesi-birim uzama grafikleri birlikte değerlendirildiğinde, üç nokta eğme numunelerinin kırılma ve plastik deformasyonun oldukça düşük olduğu bir karakterizasyon gösterdiği yorumu yapılabilir. Numunelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri kıyaslandığında ise deney sonuçlarında da elde edilen ikili gruplar doğrulanmış olup inşa edildikleri alanları aynı ve tabla düzleminde birbirlerinin 90° döndürülmüş halleri olan XYZ ile YXZ, XZY ile YZX, ZXY ile

ZYX ikili gruplarının karakterizasyon olarak eş olduğu görülmüştür. İkili gruplar arasındaki farklılıklar, parametrelerin sabit tutulmasına karşın numunelerin tablaya farklı konumlandırılarak üretilmesine bağlı olarak ortaya çıkan farklı konstrüksiyonlardan kaynaklandığı SEM görüntüleri ile de desteklenmiştir. XZY ile YZX ikilisinde numunenin ince kesitine paralel biçimde art arda dolu ve boş sütunlar, XYZ ile YXZ ikilisinde çapraz örgülü bir yapı, ZXY ile ZYX ikilisinde ise dikey yönde sütun bulunan ve sütunlar harici boşluklu bir konstrüksiyon görülmektedir. Numunelerin kesit konstrüksiyonlarındaki farklılıklara sebep olan baskı yönü, katmanlar arası yapışmada da etkili olmuştur. Dikey yönde, biriktirme yapılarak oluşturulan ZXY ile ZYX, katmanlar arası yapışma bakımından en dezavantajlı gruptur.

3.2.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile aşınma numunelerinin incelenmesi

Aşınma numunelerinin aşınma yüzeylerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile elde edilen görüntüleri, Şekil 3.17’de sunulmuştur.



Şekil 3.17. Aşınma numunelerinin aşınma yüzeylerine ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri a) XYZ aşınma numunesi b) YXZ aşınma numunesi c) XZY aşınma numunesi d) YZX aşınma numunesi e) ZXY aşınma numunesi f) ZYX aşınma numunesi

Numunelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri, deneylerde gerçekleşen aşınmaların Tablo 3.1’de verilen kabuk kalınlığını geçmediğini ve Şekil 3.13’te verilen katmanlarda gerçekleştiğini göstermektedir. Numunelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri kıyaslandığında ise deney sonuçlarında da elde edilen ikili gruplar doğrulanmış olup inşa edildikleri alanları aynı ve tabla düzleminde birbirlerinin 90° döndürülmüş halleri olan XYZ ile YXZ, XZY ile YZX, ZXY ile ZYX ikili gruplarının karakterizasyon bakımından eş olduğu görülmüştür. İkili gruplar incelendiğinde ise aşınmanın XZY ile YZX ikilisinde en fazla, bu ikili ile ZXY ile ZYX ikilisi kıyaslandığında ise aşınma miktarının yakın olmasına karşın daha az ve bu numunelerle de XYZ ile YXZ ikilisi karşılaştırıldığında ise aşınmanın çok daha az olduğu görülmektedir. Tüm numuneler, saf polilaktik asit (PLA) malzemeden üretilmiş olduğu için aşınmadaki ikili gruplar arasındaki farklılıklar, parametrelerin sabit tutulmasına rağmen tabladaki konumlandırmaların farklı olması sebebiyle oluşan yüzey pürüzlülüğü ve konstrüksiyondaki değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.2’de gösterildiği üzere XZY ile YZX ikilisi için yüzeydeki çizgiler uzun kenara paralel oluşmuşken ZXY ile ZYX ikilisinde yüzeydeki çizgiler kısa kenara paraleldir. Ancak bununla birlikte Şekil 3.1’de verildiği üzere ters yöndeki ölçümlerde, bu ikililerin yüzey pürüzlülük değerleri eşittir. Bu durum, gerçekleştirilen aşınma deneyi dönel hareket ile yapıldığı için bu iki numune grubunun pürüzlülük bakımından aynı karakterizasyonu gösterdiği anlamına gelmektedir. XZY ile YZX ve ZXY ile ZYX ikililerinin ortalama sürtünme katsayısı ve aşınma miktarındaki farklılık ise Şekil 3.14’teki konstrüksiyon farklılığından kaynaklanmaktadır. XZY ile YZX ve ZXY ile ZYX numunelerinin kesitleri incelendiğinde, sütun sayılarının eşit olmadığı görülmektedir. Bu sütunlar, tribometre cihazının ucuna (prop) karşı mukavemet göstererek ucun (prop) derinlere dalmasını zorlaştırarak yüzeyde sürtünmenin artmasına sebep olmuştur. Ortalama sürtünme katsayısı ve aşınma miktarının en az olduğu XYZ ile YXZ ikilisinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülerine göre aşınma izlerinin belirsiz olmasının yanı sıra bu ikilide plastik deformasyon görüldüğü de ifade edilebilir. XYZ ile YXZ ikilisindeki bu durum, yüzey pürüzlülüğünün her doğrultuda eşit olmasıyla birlikte kesitinin çapraz örgülü ve boşluklu bir yapıda olması sebebiyle aşınma ucunun (prop) çapraz örgülerde derine dalamayıp boşluklu kısımlarda batabilmesine bağlı olarak malzeme aşınmasının azalması ve yalpalamalara bağlı olarak da plastik

deformasyon gerçekleşmesiyle ilişkilidir. Ayrıca XZY ile YZX ve ZXY ile ZYX ikililerinin XYZ ile YXZ ikilisine kıyasla daha çok aşınmasında, dikdörtgen prizma şeklinde olan aşınma numunelerinden XZY ile YZX ve ZXY ile ZYX gruplarının ince alan üzerine malzeme yığılması ile üretilmesinin bir sonucu olarak bu numunelerin aşınma yüzeylerindeki (geniş alanlı yüzeylerindeki) katmanlar arası yapışmanın çapraz örgülü desenlerle üretilen XYZ ile YXZ ikilisinin aşınma yüzeylerindeki (geniş alanlı yüzeydeki) katmanlar arası yapışmaya göre daha zayıf olması da XZY ile YZX ve ZXY ile ZYX ikililerinde, XYZ ile YXZ ikilisine kıyasla daha çok aşınma görülmesinde etkili olmuştur.



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deneysel çalışmaya ait bulgular, inşa edildikleri alanları aynı olan (tabla düzleminde 90° döndürülen) numune ikililerinin eş numuneler olduklarını göstermiştir.

İkili gruplar yüzey pürüzlülüklerine göre karşılaştırıldığında, XZY ile YZX ve ZXY ile ZYX aşınma numuneleri ikilileri zıt ölçüm doğrultularında aynı değerleri (Ra= vermiş olup pürüzlülüğün büyük çıktığı yöndeki değer, her yönde yüzey pürüzlülük değeri eşit çıkan XYZ ile YXZ ikilisine kıyasla daha büyüktür. Bu farklılık, yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için üretilen 25x30x4 ölçülerindeki numunelerin tablaya yerleştirilmelerine bağlı olarak XYZ ile YXZ ikilisinin çapraz desenli, XZY ile YZX ikilisinin ene paralel hatlar ve ZXY ile ZYX ikilisinin boya paralel hatlardan oluşan yüzeyler meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır.

İkili gruplar çekme deneylerine göre karşılaştırıldığında, baskı yönünün çekme dayanımı ve elastisite modülü için önemli oranda değişiklikler meydana getirdiği görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmada, çekme dayanımının en düşük olduğu ZXY ile ZYX ikilisine kıyasla XYZ ile YXZ ikilisinin çekme dayanımının yaklaşık %90 ve XZY ile YZX ikilisinin çekme dayanımının ise yaklaşık %205 daha yüksek olduğuna ulaşılmıştır. Elastisite modülü değerinin ise en düşük olduğu XYZ ile YXZ ikilisine kıyasla ZXY ile ZYX ikilisinin elastisite modülü değerinin yaklaşık %14 ve XZY ile YZX ikilisinin elastisite modülü değerinin %35 daha yüksek olduğuna ulaşılmıştır. Bu değişiklikler, numunelerin üretiminde kullanılan malzeme miktarıyla doğru orantılı olmayıp numunelerin kesitlerindeki konstrüksiyon farklılıklarıyla ilişkilidir. XZY ile YZX, uzun kenara (boya) paralel, sık malzemeli bir konstrüksiyona sahip olup XYZ ile YXZ, çapraz örgülü iken ZXY ile ZYX kulakların dolu ancak kırılmanın gerçekleştiği bölgenin iç kısmının boş olduğu bir konstrüksiyondadır.

İkili gruplar üç nokta eğme deneylerine göre karşılaştırıldığında eğilme dayanımının en düşük olduğu ZXY ile ZYX ikilisine kıyasla XYZ ile YXZ ikilisinin eğilme dayanımının yaklaşık %175 ve XZY ile YZX ikilisinin eğilme dayanımının ise

yaklaşık %237 daha yüksek olduğuna ulaşılmıştır. Eğilme modülü değerinin ise en düşük olduğu XYZ ile YXZ ikilisine kıyasla ZXY ile ZYX ikilisinin eğilme modülü değerinin yaklaşık %14 ve XZY ile YZX ikilisinin elastisite modülü değerinin %22 daha yüksek olduğuna ulaşılmıştır. Bu değişiklikler, tüm parametrelerin sabit tutulmasına karşın tablaya konumlandırmaya bağlı olarak ortaya çıkan konstrüksiyon farklılıklarıyla ilişkilidir. XZY ile YZX, uzun kenara (boya) paralel, sık malzemeli bir konstrüksiyona sahip olup XYZ ile YXZ, çapraz örgülü iken ZXY ile ZYX iç kısmı boşluklu bir konstrüksiyondadır.

İkili gruplar aşınma deneylerine göre karşılaştırıldığında ortalama sürtünme katsayısının en düşük olduğu XYZ ile YXZ ikilisinde 0,147, ZXY ile ZYX ikilisinde 0,185 ve en büyük olan XZY ile YZX ikilisinde 0,224 olduğuna ulaşılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri incelendiğinde de sürtünme katsayıları ve aşınma miktarları arasında da doğru orantı olduğu görülmüştür. Bu değişiklikler, tüm parametrelerin sabit tutulmasına karşın tablaya konumlandırmaya bağlı olarak ortaya çıkan yüzey pürüzlülüğü ve konstrüksiyon farklılıklarıyla ilişkilidir. XZY ile YZX ve ZXY ile ZYX ikili gruplarında yüzey pürüzlülükleri zıt yönlerde eş olmasına karşın aşınmanın dönel hareket ile sağlanmasına bağlı olarak görülen değer farklılığı konstrüksiyonlarındaki sütun sayısının farklılığıyla ilgili olup sütun sayısının fazla olduğu XZY ile YZX ikilisinde aşındırma ucu (prop) derine batamayarak yüzeyde daha çok aşınma oluşturmuştur. Yüzey pürüzlülüğünün her yönde eşit olduğu XYZ ile YXZ ikilisinde ise çapraz örgülü hatlardan oluşan boşluklu bir konstrüksiyon olması, aşınmanın daha az olmasına ve probun hatlar dışındaki boşluklara denk geldiğinde yalpa yaparak plastik deformasyon görülmesine sebep olmuştur.

Gerçekleştirilen deneysel çalışma ile üç boyutlu yazıcılarda üretilmek üzere tasarlanan parçaların parametreler sabit tutulsa dahi istenilen mekanik özelliği optimum hale getirebilmek için tabladaki konumunun önemi açıklanmıştır. Ayrıca tabladaki konuma göre daha az malzeme ile daha iyi mekanik özelliklere de ulaşılabileceği görülmüştür. Sonuçları verilen deneysel çalışma ve giriş bölümünde yer verilen literatür araştırması, ilgili konularda yapılacak bilimsel ve endüstriyel çalışmalara fayda sağlanabilmesi ortaya koyulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Kınikoğlu N. G., Zülfikar H., Altun İ. A., , *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Terimleri Sözlüğü*, 1. Baskı, Türk Dil Kurumu, Ankara, 2013.
- [2] Kaya M., Bazalt Elyaf Takviyeli Polilaktik Asit (PLA) Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2016, 435022.
- [3] Karana E., Barati B., Rognoli V., van der Laan A. Z., Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences, *International Journal of Design*, 2015, **9**(2), 35-54.
- [4] Elmas B. S., Aydemir B., Şahin T., Polipropilen Homopolimere Bor Katkısının Kısa Süreli Sürünme Özelliklerinin İncelenmesi, *The Internatinal Conference on Boron*, Kızılcahamam, Ankara, 18-20 Eylül 2019.
- [5] Gürakın H. K., Termoplastik Polimerler İçin Antistatik Katkılar Geliştirilmesi Ve Uygulamaları, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 2020, 611425.
- [6] Theato P., Synthesis of Well-Defined Polymeric Activated Esters,, *Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry*, 2008, **46**, 6677-6687.
- [7] Özdemir B., Polimer Matrisli Kompozit Malzeme İmalatı İçin Vakum Destekli Mekanizmaların Geliştirilmesi Ve Performanslarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2020, 629378.
- [8] Özbilgi A., Plastik Enjeksiyon Makinesi Tasarımı Ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Bayburt Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bayburt, 2019, 567311.
- [9] Brostow W., Mechanical Properties, Editors: Mark J. E., *Physical Properties of Polymers Handbook*, 2nd ed., Springer, New York, 423-445, 2007.
- [10] Katmer Ş., Ticari Plastiklerde (Polietilen, Polipropilen, Polistiren) Enjeksiyon Parametrelerinin Artık Gerilmelere Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010, 269903.

- [11] Mısır M., Yeni Başlatıcı Sistemleri İle ϵ -Kaprolaktonun Halka Açılma Polimerizasyonu (Rop) Ve Çeşitli Monomerlerin Atom Transfer Radikal Polimerizasyonu (ATRP), Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2011, 275482.
- [12] Koş G., Plastik Ekstrüzyon Kalıplarında Ergiyik Plastik Akışının Dengelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2019, 599990.
- [13] Folarin O. M., Sadiku R., Maity A., Polymer-Noble Metal Nanocomposites: Review, *International Journal of Physical Sciences*, 2011, **6**(21), 4869-4882.
- [14] Mandal S. K., Damage Detection In Carbon Fiber Reinforced Polymeric Composites And Honeycomb Sandwich Panels By Active Thermography, Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Üniversitesi, Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2020, 614748.
- [15] Topçuoğlu E., Preparation And Characterization Of Polymer Composites Containing Boron Compounds, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2016, 442153.
- [16] Denli F. A., A Diffusive Crack Model For Fiber Reinforced Polymer Composites, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2020, 634975.
- [17] Akgül Y., Ortopedik Uygulamalar İçin Polimer Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi Ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, 2020, 634324.
- [18] Leja K., Lewandowicz G., Polymer Biodegradation and Biodegradable Polymers – a Review, , *Polish Journal of Environmental Studies*, 2010, **19**(2), 255-266.
- [19] Hu J., Chen S., A Review Of Actively Moving Polymers In Textile Applications, *Journal of Materials Chemistry*, 2010, **20**, 3346–3355 .
- [20] Özen S., Alam B., Compressive Strength And Microstructural Characteristics Of Natural Zeolite-Based Geopolymer, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 2018, **62**(1), 64-71.
- [21] Vulaş Y. Z., Betonarme Kirişlerin Kesme Dayanımlarının Lifli Polimerlerle Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2010, 259393.
- [22] Terkeşli İ., Sensor Applications Of Polymer Field Effect Transistors, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013, 325542.

- [23] Al-Ganad A. A. A., Influence Of Waste Foundry Sand (WFS) And Rice Husk Ash (RHA) On The Mechanical Properties Of Polymer Concrete, Yüksek Lisans Tezi, Atılım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2020, 621603.
- [24] Zargarova S., Gümüş İçeren Nanopartiküller/Tuzlar İle Yüklü Montmorillonit Esaslı Nanokompozitlerin Geliştirilmesi Ve Antikanser Özellikleri, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013, 334764.
- [25] Adatoz B. H., Self-Assembled Structures Of Stimuli Responsive Polymers And Their Controlled Release Applications, Doktora Tezi, Koç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2020, 635368.
- [26] Arshad M., Zubair M., Rahman S. S., Ullah A., Chapter 14 - Polymers For Advanced Applications, Editor: Narain R., *Polymer Science and Nanotechnology*, 1st ed., Elsevier, Narain R., Polymer Science and Nanotechnology, 325-340, 2020.
- [27] AlMaadeed M. A. A., Ponnamma D., Carignano M. A., *Polymer Science And Innovative Applications*, 1st ed., Elsevier, United States, 2020.
- [28] Hosseini M., Makhlof A. S. H., *Industrial Applications for Intelligent Polymers and Coatings*, 1st ed., Springer, Cham, İsviçre, 2016.
- [29] Rouch D., A., Plastic future: How To Reduce The Increasing Environmental Footprint Of Plastic Packaging, *Clarendon Policy & Strategy Group*, **11**, 1-43, 2019.
- [30] Geyer R., Jambeck J. R., Law K. L., Production, Use, And Fate Of All Plastics Ever Made - Chapter: Supplementary Materials, *Science Advances*, 2017, **3**(7), 1-5.
- [31] Pagev, Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu 2020, *Türk Plastik Sanayicileri Araştırma Geliştirme ve Eğitim Vakfı (PAGEV)*, 2020, 9-10, 2020.
- [32] Gad S. E., Polymers, Editors: Wexler P., *Encyclopedia of Toxicology*, 3rd ed., Academic Press, Bethesda, MD, ABD, 1045-1050, 2014.
- [33] Mustafa N. S., Omer M. A. A., Garlnabi M. E. M., Ismail H. A., Reviewing Of General Polymer Types, Properties And Application In Medical Field, *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 2016, **5**(8), 212 - 221.
- [34] Maia J., Covas J., Cindio B., Gabriele D., Rheology In Materials Engineering, Editors: Gallegos C., *Rheology - Volume II*, 1st ed., EOLSS Publications, United Kingdom, 111-193, 2010.

- [35] Birdal A., 2,3-DimerKaptosüksinik Asit Uç Gruplarını İçeren Akrilamid Polimerlerinin Sentezi Ve Fizikokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008, 232416.
- [36] Gerengi H., Göksu H., *Plastik Malzeme Teknolojisi*, 1. baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2019.
- [37] Amgoth C., Kumar K., Medhi H., Paik P., Polymeric Nanocapsules For Drug Delivery Applications, Editor: Garg S. R., *Nanotechnology For Animal Health And Production*, 1st ed., Daya Publishing House, New Delfi, India, 99-123, 2014.
- [38] Güzel K., Çift Malzemeli Enjeksiyon Kalıpta Polilaktik Asit/Polibütilen Suksinat Karışımının Kristallenme Miktarının, Termoplastik Poliüretan İle Yapacağı Bağlanma Gücüne Etkisinin İncelenmesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 555015.
- [39] Buldu L., Enjeksiyon Parametrelerinin Bazı Mühendislik Plastiklerinin Akış Uzunluğuna Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007, 212845.
- [40] Bulut M. O., Akar E., Dendrimerlerin Önemi Ve Kullanım Alanları, *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, 2012, **2**(1), 5-11.
- [41] Abbasi E., Aval S. F., Akbarzadeh A., Milani M., Nasrabadi H. T., Joo S. W., Hanifehpour Y., Nejati-Koshki K., Pashaei-Asl R., Dendrimers: Synthesis, Applications, And Properties, *Nanoscale Research Letters*, 2014, **9**(1-Article Number:247), 1-10.
- [42] Şam N., Mineral Katkının Polimerik Malzemenin Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2017, 456195.
- [43] Amin S., Amin M., Thermoplastic Elastomeric (TPE) Materials And Their Use In Outdoor Electrical Insulation, *Reviews On Advanced Materials Science*, 2011, **29**(1), 15-30.
- [44] Peters E. N., Part 1 Materials - 9. Thermoplastics, Thermosets, and Elastomers—Descriptions and Properties, Editors: Kutz M., *Mechanical Engineers' Handbook, Volume 1: Materials and Engineering Mechanics*, 4th ed., Wiley, USA, 353-400, 2015.
- [45] Bierögel C., Preparation of Specimens, Editors: Grellmann W., Seidler S., *Polymer Testing*, 2nd ed., Hanser Publishers, Munich, 19-28, 2013.

- [46] Ibrahim S. H., Evaluation Of The Economic Feasibility Of Core-Shell Baroplastic Polymers And A Comparison To Traditional Thermoplastic Elastomers, Master's Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2005, Identifier: 64391532.
- [47] Braun D., Cherdrón H., Rehahn M., Ritter H., Voit B., Synthesis Of Macromolecular Substances By Condensation Polymerization And Stepwise Addition Polymerization, Editors: Braun D., Cherdrón H., Rehahn M., Ritter H., Voit B. , *Polymer Synthesis: Theory and Practice*, 5th ed., Springer Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 33-147, 2013.
- [48] McKean L. W., , *Fatigue And Tribological Properties Of Plastics And Elastomers*, 3rd ed., William Andrew, New York, 2016.
- [49] Ramakrishnan S., Condensation polymerization, *Resonance – Journal of Science Education*, 2017, **22**(4), 355-368.
- [50] Shakeriana F., Kim K. H., Kwon E., Szulejko J. E., Kumar P., Dadfarnia S., Shabania A. M. H., Advanced Polymeric Materials: Synthesis And Analytical Application Of Ion Imprinted Polymers As Selective Sorbents For Solid Phase Extraction Of Metal Ions, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2016, **83**(B), 55-69.
- [51] Shalan A. E., Advanced Polymeric Materials for Electronic and Energy Applications, *Academic Journal Of Polymer Science*, 2018, **1**(3), 68-69.
- [52] Çelebi M., Karagöz İ., Biyobozunur Polimerler Ve Özellikleri; Nişasta, Poli(Glikolik Asit), Poli(Laktik Asit) Ve Poli(Çkaprolakton), Editör: Mahmut Turhan, *Mühendislik Alanında Yeni Ufuklar*, 1. basım, Gece Kitaplığı, Ankara, 275-292, 2019.
- [53] Söbeli C., Uyarcan M., Kayaardı S., Biyobozunur Ambalaj Materyallerinin Gıda Endüstrisinde Kullanımı, *Plastik & Ambalaj Teknolojisi*, 2019, 2019(Aralık), 57-64.
- [54] Kılınç M., Tomar O., Çağlar A., Biyobozunur Gıda Ambalaj Malzemeleri, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2017, **17**(3), 988-996.
- [55] Dussud C., Hudec C., George M., Fabre P., Higgs P., Bruzard S., Delort A. M., Eyheraguibel B., Meistertzheim A. L., Jacquin J., Cheng J., Callac N., Odobel C., Rabouille S., Ghiglione J. F., Colonization Of Non-biodegradable And Biodegradable Plastics By Marine Microorganisms, *Frontiers In Microbiology*, 2018, **9**(Article Number: 1571), 1-13.
- [56] Dwivedia P., Mishra P. K., Monda M. K., Srivastava N., Non-biodegradable Polymeric Waste Pyrolysis For Energy Recovery, *Heliyon*, 2019, **5**(8), 1-15.

- [57] Durusoy R., Karababa A. O., Plastik Gıda Ambalajları Ve Sağlık, *TAF Prev Med Bull*, 2011, **10**(1), 87-96.
- [58] Vatan C., Plastik Malzemelerin Geri Dönüşümü: Otomotiv Endüstrisinden Örnekler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002, 126782.
- [59] Üner İ., Koçak E. D., Poli(laktik asit)'in Kullanım Alanları Ve Nano Lif Üretimdeki Uygulamaları , *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2012, **Güz 2012** (Sayı 22), 79-88.
- [60] Mehta R., Kumar V., Bhunia H., Upadhyay S. N., Synthesis Of Poly(Lactic Acid): A Review, *Polymer Reviews*, 2005, **45**(4), 325-349.
- [61] Garlotta D., A Literature Review of Poly(Lactic Acid), , *Journal of Polymers and the Environment*, 2001, **9**(2), 63-84.
- [62] Singhvi M. S., Zinjarde S.S., Gokhale D.V., Polylactic acid: synthesis and biomedical applications, *Journal Of Applied Microbiology*, 2019, **127**(6), 1612-1626.
- [63] Altun Y., Improvement Of Mechanical And Flame Retardancy Properties Of Biocomposites Based On Low Density Polyethylene And Polylactic Acid, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2015, 383102 .
- [64] Çatal D., Mermer Tozu ve Kestane Meyve Kabuğu Takviyeli Polilaktik Asit (PLA) Biyokompozitlere Ait Özelliklerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2019, 583404.
- [65] Dinçer U., Yerel Kaynaklar Kullanılarak Poli (Laktik asit) Matrisli Doğal Kompozit Malzeme Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2020, 618998.
- [66] Casalini T., Rossi F., Castrovinci A., Perale G., A Perspective On Polylactic Acid-Based Polymers Use For Nanoparticles Synthesis And Applications, *Frontiers In Bioengineering And Biotechnology*, 2019, **7**(259), 1-16.
- [67] Sha L., Chen Z., Chen Z., Zhang A., Yang Z., Polylactic Acid Based Nanocomposites: Promising Safe And Biodegradable Materials In Biomedical Field, *International Journal of Polymer Science*, 2016, **2016**(9), 1-11.
- [68] National Research Council, Manufacturing: Materials and Processing, Editors: National Research Council, *Polymer Science And Engineering: The Shifting Research Frontiers*, 1st ed., National Academy Press, Washington, 65-115, 1994.

- [69] Anshuman Shrivastava, *Plastics Processing*, Editors: Anshuman Shrivastava, *Introduction To Plastics Engineering*, 1st ed., William Andrew, New York, 143-177, 2018.
- [70] Kazmer O., *Plastics Manufacturing Systems*, Editor: Kazmer O., *Plastics Systems Engineering*, 1st ed., Hanser, Munich, 25-46, 2009.
- [71] Goodship V., Middleton B., Cherrington R., *Design And Manufacture Of Plastic Components For Multifunctionality*, 1st ed., William Andrew, New York, 2015.
- [72] Paoletti I, Ceccon L., *The Evolution of 3D Printing in AEC: From Experimental to Consolidated Techniques*, Editor: Cvetković D., *3D Printing*, 1st ed., IntechOpen, London, 39-69.
- [73] Matias E., Rao B., *3D Printing: On Its Historical Evolution And The Implications For Business*, *2015 Proceedings of PICMET '15: Management of the Technology Age*, Portland, United State, 2-6 August 2015.
- [74] Gokhare V. G., Raut D. N., Shinde D. K., *A Review Paper On 3D-Printing Aspects And Various Processes Used In The 3D-Printing*, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2017, **6**(6), 953-958.
- [75] Sönmez S., Kesen U., Dalgıç C., *3 Boyutlu Yazıcılar*, *6th International Printing Technologies Symposium*, İstanbul, Türkiye, 01-03 Kasım 2018.
- [76] Shahrubudina N., Lee T. C., Ramlan R., *An Overview On 3D Printing Technology: Technological, Materials And Applications*, *2nd International Conference on Sustainable Materials Processing and Manufacturing (SMPM 2019)*, Sun City, South Africa, 8-10 March 2019.
- [77] Mikula K., Skrzypczak D., Izydorczyk G., Warchoń J., Moustakas K., Chojnacka K., Krowiak A. W., *3D Printing Filament As A Second Life Of Waste Plastics A Review*, *Environmental Science And Pollution Research*, 2020, **28**, 12321-12333.
- [78] Pakkanen J., Manfredi D., Minetola P., Iuliano L., *About The Use Of Recycled Or Biodegradable Filamentsfor Sustainability Of 3D Printing*, *International Conference on Sustainable Design and Manufacturing*, Gold Coast, QLD, Australia, 24-26 June 2017.
- [79] Zolfagharian A., Khosravani M. R., Kaynak A., *Fracture Resistance Analysis Of 3D-Printed Polymers*, *Polymers*, 2020, **12**(2), 302-319.
- [80] Martelli N., Serrano C., van den Brink H., Pineau J., Patrice P., Isabelle B., Salma E. B., *Advantages And Disadvantages Of 3-dimensional Printing In Surgery: A Systematic Review*, *Surgery*, 2016, **159**(6), 1485-1500.

- [81] Hamamcı M., Yüksek Hızlı İşlemede Kesme Parametrelerinin Yüzey Kalitesi Açısından Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2012, 329490.
- [82] Sarı H., Frezelemede Takım Geometrisi Ve Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2008, 178824.
- [83] Demircioğlu P., Talaşlı İmalat Yöntemleriyle İmal Edilen İş Parçalarında Yüzey Pürüzlülüğünün Yüksek Hassasiyette İğne Uçlu 3D Optik Ölçüm Sistemleriyle Değerlendirilmesi, *Mühendis Ve Makine*, 2011, **52**(613), 81-91.
- [84] Gong Y., Xu J., Buchanan R. C., Surface roughness: A review Of Its Measurement At Micro-/Nano-Scale, *Physical Sciences Reviews*, 2018, **3**(1), 1-31.
- [85] Aksulu M., Ganioglu O., Yandayan T., Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri Ve Yüzey Pürüzlülüğü Parametreleri, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası IV. Ulusal Ölçüm Bilim Kongresi*, Eskişehir, Türkiye, 25-26 Ekim 2001.
- [86] Teskon, TR-200 (3200) Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı, <http://www.teskon.com/yuzey-portatif-puruzluluk-puruzsuzluk-cihaz-urun288.html> (Ziyaret tarihi: 20 Mart 2021).
- [87] Davis J. R., *Tensile Testing*, 2nd ed., Materials Park, Ohio, 2004.
- [88] Aydemir B., Elmas B. S., Ayan E., Çekme Deneyinde Elastisite Modülü Hesap Yöntemleri ve Hata Kaynakları, *4th International Mediterranean Science And Engineering Congress*, Alanya, Antalya, Türkiye, 25-27 Nisan 2019.
- [89] Hein P. R. G., Brancheriau L., Comparison Between Three-Point And Four-Point Flexural Tests To Determine Wood Strength Of Eucalyptus Specimens, *Maderas Ciencia Y Tecnologia*, 2018, **20**(3), 333-342.
- [90] Azzam A., Li W., An Experimental Investigation On The Three-Point Bending Behavior Of Composite Laminate, *2014 Global Conference on Polymer and Composite Materials (PCM 2014)*, Ningbo, China, 27-29 May, 2014.
- [91] Instron, 6800 Series Universal Systems, <https://www.instron.com/-/media/literature-library/products/2020/01/6800-series-universal-testing-systems.pdf#page=21>, (Ziyaret tarihi: 11 Kasım 2020).
- [92] Hou P., Zhao H., Ma Z., Zhang S., Li J., Dong X., Sun Y., Zhu Z., Influence Of Punch Radius On Elastic Modulus Of Three-Point Bending Tests, *Advances in Mechanical Engineering*, 2016, **8**(5), 1-8.

- [93] Akça H., İyibilgin O., Gepek E., Biyomalzemeler İle İmplant Üretimi Sürecinin Biyotriboloji Yönünden Değerlendirilmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2020, **8**, 667-692.
- [94] McKeen L. W., 2 - Introduction To The Tribology Of Plastics And Elastomers, Editor: McKeen L. W., , *Fatigue And Tribological Properties Of Plastics And Elastomers*, 3rd ed., William Andrew, Norwich, England, 27-44, 2016.
- [95] Akkurt M., *Makine Elemanları Cilt: 2 Teorik Esaslar ve Hesap Yöntemleri*, 1. baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2012.
- [96] Öncü G., Atık Bitkisel Yağ Metil Esterlerinin Yağlama Yağı Olarak Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2019, 599251.
- [97] TURKYUS Makine Arge Ve Üretim Teknolojileri, Pin on Disk Aşındırma Cihazı, <http://www.turkyus.com/ileri-geri-asindirma-cihazı/> (Ziyaret tarihi: 20 Aralık 2020).
- [98] Hashemi S. M., Parvin N., Valefi Z., Effect Of Microstructure And Mechanical Properties On Wear Behavior Of Plasma-Sprayed Cr2O3-YSZ-Sic Coatings, *Ceramics International*, 2019, **45**, 5284-5296.
- [99] Mohammed A., Abdullah A., Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review , *Proceedings of 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics - HERVEX*, Băile Govora, Romania, 7-9 November 2018.
- [100] Yılmaz N. G. K., Farklı Kaplama Malzemeleri ile Kaplanmış Karbon Elyaf Takviyeli Poliamit 6,6 ve Poli(Bütilen Tereftalat) Karmaların Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014, 360885.
- [101] Carl Zeiss Microscopy, ZEISS EVO Scanning Electron Microscope (SEM) From Carl Zeiss Microscopy, Biocompare, <https://www.biocompare.com/22559-Scanning-Electron-Microscopes-SEM/3046494-EVO/> (Ziyaret tarihi: 02 Aralık 2020).
- [102] Alsoufi M. S., Elsayed A. E., How Surface Roughness Performance Of Printed Parts Manufactured By Desktop FDM 3D Printer With PLA+ Is Influenced By Measuring Direction, *American Journal of Mechanical Engineering*, 2017, **5**(5), 211-222.
- [103] Ferreira R. T. L., Amatte I. C, Dutra T. A., Bürger D., Experimental Characterization And Micrography Of 3D Printed PLA And PLA Reinforced With Short Carbon Fibers, *Composites Part B: Engineering*, 2017, **124**, 88-100.

- [104] Kumar S. A., Narayan S. Y., Tensile Testing and Evaluation Of 3D Printed PLA Specimens As Per ASTM D638 Type-IV Standard, *3rd International Conference on Innovative Design and Development Practices in Aerospace and Automotive Engineering (IDAD 2018)*, Chennai, India, 22-24 February.
- [105] Terekhina S., Skorniyakov I., Tarasova T., Egorov S., Effects Of The Infill Density On The Mechanical Properties Of Nylon Specimens Made By Filament Fused Fabrication, *Technologies*, 2019, **7**(3), 57-67.
- [106] Günay M., Gündüz S., Yılmaz H., Yaşar N., Kaçar R., PLA Esaslı Numunelerde Çekme Dayanımı İçin 3D Baskı İşlem Parametrelerinin Optimizasyonu, *Politeknik Dergisi*, 2020, **23**(1), 73-79.
- [107] Calignano F., Lorusso M., Roppolo I., Minetola P., Investigation Of The Mechanical Properties of A Carbon Fibre-Reinforced Nylon Filament For 3D Printing, *Machines*, 2020, **8**(3), 52-64.
- [108] Alharbi N., Osman R., Wismeijer D., Effects Of Build Direction On The Mechanical Properties Of 3D-Printed Complete Coverage Interim Dental Restorations, *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 2016, **115**(6), 760-767.
- [109] Kim H. C., Kim D. Y., Lee J. E., Park K., Improvement Of mechanical Properties And Surface Finish Of 3d-Printed Polylactic Acid Parts By Constrained Remelting, *Advanced Materials Letters*, 2017, **8**(12), 1199-1203.
- [110] BTech, Determine The Mechanical Properties Of 3D Printed Polymer Parts For Computer Modelling Applications, Master's Thesis, University Of Limerick, School of Engineering, Limerick, Ireland, 2017, 09005496.
- [111] Levenhagen N. P., Dadmun M. D., Bimodal Molecular Weight Samples Improve The Isotropy Of 3D Printed Polymeric Samples, *Polymer*, **122**, 232-241.
- [112] Chacóna J. M., Caminerob M. A., Plaza E. G., Núñez P. J., Additive Manufacturing Of PLA Structures Using Fused Deposition Modelling: Effect Of Process Parameters On Mechanical Properties And Their Optimal Selection, *Materials & Design*, 2017, **124**, 143-157.
- [113] Kio O. J., Yuan J., Brooks A. J., Knapp G. L., Ham K., Ge J., Loo D. V., Butler L. G., Non-destructive Evaluation Of Additively Manufactured Polymer Objects Using X-ray Interferometry, *Additive Manufacturing*, 2018, **24**, 364-372.

- [114] Caminero M. A., Chacón J. M., Plaza E. G., Núñez P. J., Reverte J. M., Becar J. P., Additive Manufacturing Of PLA-Based Composites Using Fused Filament Fabrication: Effect Of Graphene Nanoplatelet Reinforcement On Mechanical Properties, Dimensional Accuracy and Texture, *Polymers*, 2019, **11**(5), 1-22.
- [115] Rodriguez J. A. T., Mesa R. J., Llumà J., Ramos O. T., Gras G. G., Rovira J. J. R., Mechanical Properties Of 3D-Printing Polylactic Acid Parts Subjected To Bending Stress And Fatigue Testing, *Materials*, 2019, **12**(23), 1-20.
- [116] ISO 527-2 5A, Plastics - Determination Of Tensile Properties, *International Organization For Standardization*, Geneva, Switzerland, 2012.
- [117] ISO 178, Plastics - Determination Of Flexural Properties, *International Organization for Standardization*, Geneva, Switzerland, 2019.
- [118] Esun, 3D Printing Filament, *Esund 3d*, 2020.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] **Elmas B. S.**, Sarı N. Y., Yılmaz T., Üç Boyutlu (3D) Yazıcılarda Polilaktik Asit (PLA) Filament Kullanılarak Farklı Yönlerde Üretilen Numunelerin Çekme Deneyleri, 5.Uluslararası Mühendislik Ve Teknoloji Yönetimi Kongresi, Online, 24-25 Nisan 2021
- [2] **Elmas B. S.**, Aydemir B., Şahin T., Polipropilen Homopolimere Bor Katkısının Kısa Süreli Sürünme Özelliklerinin İncelenmesi, *The Internatinonal Conference on Boron in Kızılcahamam/ANKARA (ICBOR)*, Ankara, Türkiye, 18-19 Ekim 2019
- [3] Aydemir B., **Elmas B. S.**, Ayan E., Jiroskopik Kuvvet Ölçme Cihazlarının İncelenmesi, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (BAHAR 2019)*, Kocaeli, Türkiye, 26-28 Nisan 2019
- [4] Aydemir B., Ayan E., **Elmas B. S.**, Piezoelektrik Kuvvet Ölçme Cihazlarının Yapısı, Avantajları ve Kalibrasyonu, *4th International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2019)*, Antalya, Türkiye, 25-27 Nisan 2019
- [5] Aydemir B., **Elmas B. S.**, Ayan E., Çekme Deneyinde Elastisite Modülü Hesap Yöntemleri ve Hata Kaynakları, *4th International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2019)*, Antalya, Türkiye, 25-27 Nisan 2019

ÖZ GEÇMİŞ

İlköğretimini Amasya ilinin Merzifon ilçesinde tamamladıktan sonra lise eğitimine Amasya Macit Zeren Fen Lisesinde devam etti ve 2014 yılında buradan mezun oldu. 2015 yılında Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümüne yerleşti ve yabancı dil hazırlık sınıfını muafiyet sınavı ile atlayarak lisans eğitimine başladı. Makine mühendisliği lisans eğitiminden 2019'da mezun olduktan sonra aynı yıl başladığı Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı yüksek lisans eğitimini de 2021 yılında bitirmiştir.

