T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

3D PRINTER TEKNOLOJİSİ ile ÇEKMECE RAYI TASARIMI ve BAZI MUKAVEMET TESTLERİ ile İŞLEVSELLİĞİNİN İNCELENMESİ

Yarkın Paşa KURT

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi E. Seda ERDİNLER

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Endüstri Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı

Haziran, 2025

TEZ KABUL VE ONAYI

Yarkın Paşa Kurt tarafından, **Dr. Öğr. Üyesi Emine Seda Erdinler** danışmanlığında hazırlanan **" 3D PRINTER TEKNOLOJİSİ ile ÇEKMECE RAYI TASARIMI ve BAZI MUKAVEMET TESTLERİ ile İŞLEVSELLİĞİNİN İNCELENMESİ "** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **12/06/2025** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Dr. Öğr. Üyesi E. Seda ERDİNLER İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Orman Endüstrisi Makinaları ve İşletme Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Sedanur ŞEKER İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Orman Endüstrisi Makinaları ve İşletme Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Onur ÜLKER Eskişehir Teknik Üniversitesi İç Mimarlık Anasanat Dalı		☒ Kabul ☐ Ret

Aileme ve Dostlarıma ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

3D PRINTER TEKNOLOJİSİ ile ÇEKMECE RAYI TASARIMI ve BAZI MUKAVEMET TESTLERİ ile İŞLEVSELLİĞİNİN İNCELENMESİ

Bu tez çalışması, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun (TÜBİTAK) 122O263 numaralı 1002-A Hızlı Destek Programı projesi ile desteklenmiştir.

TEŞEKKÜR

"**3D PRINTER TEKNOLOJİSİ ile ÇEKMECE RAYI TASARIMI ve BAZI MUKAVEMET TESTLERİ ile İŞLEVSELLİĞİNİN İNCELENMESİ**" isimli bu çalışma İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Endüstri Mühendisliği Programı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmış, TUBİTAK 1002-A Hızlı Destek projesi kapsamında "Farklı Malzemelerden Yapılan Çekmece Raylarının Mukavemet Deneyi" ismiyle de yüksek lisans tezinin bir parçası olarak desteklenmiştir. Yapılan çalışmanın planlanmasında ve yürütülmesinde, yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmalarım boyunca, maddi ve manevi her konuda desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübesini bana aktaran, önerileriyle çalışmalarımı yönlendiren danışmanım, hocam Dr. Öğretim Üyesi Emine Seda ERDİNLER'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca birçok konuda destek aldığım İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa Orman Fakültesi Orman Endüstri Makinaları ve İşletme Anabilim Dalı öğretim üyeleri; Prof. Dr. K. Hüseyin KOÇ, Prof. Dr.Tuncer DİLİK, Doç. Dr. Ender HAZIR, Dr. Öğretim Üyesi Emel ÖZTÜRK, Doç. Dr. Erol İMREN, Araş. Gör. Yeşim YÜZAY BEKTAŞ'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Lisans, yüksek lisans, proje ve tez çalışmalarım boyunca maddi ve manevi her konuda desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübesini bana aktaran değerli hocam Dr. Öğretim Üyesi Sedanur ŞEKER'e teşekkür eder ve şükranlarımı sunarım. Çalışmalar ve fikir alışverişleri kısmında daha önce görev aldığım Hettich firmasında birlikte çalıştığım ve teknik deneyim paylaşımıyla sürece katkı sağlayan kıymetli müdürüm İzzet POZANTİ ve kıymetli meslektaşım Doğan ÖZTÜRK'e içtenlikle teşekkür ederim. Tez sürecinde bilgi paylaşımı, yapıcı geri bildirimleriyle katkı sağlayan, zor durumlarımda bana desteklerini esirgemeyen, maddi ve manevi her konuda destek olan sevgili arkadaşlarım, dostlarım olan Adem Berke TEMİZ ve Ömür ÇİL'e şükranlarımı sunar teşekkürümü borç bilirim.

Haziran 2025 Yarkın Paşa Kurt

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ii
BEYAN iii
BÜTÇE DESTEKLERİ v
TEŞEKKÜR vi
İÇİNDEKİLER vii
ŞEKİL LİSTESİ ix
TABLO LİSTESİ xii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ xiii
ÖZET xv
ABSTRACT xvii
1. GİRİŞ 1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE 9
3. YÖNTEM 22
3.1. ÇEKMECE RAYININ TASARLANMASI, MODELLENMESİ VE BASKISININ ALINMASI: 22
3.1.1. Numune Tasarımı ve Modellenmesi 22
3.1.2. Yazıcı Seçimi 24
3.1.3. Yazıcının Çalışma Prensibi, Baskı Alımı ve Dilimleme 26
3.1.4. Malzeme Seçimi 32
3.2. PLA 32
3.3. PETG 33
3.4. MONTAJ: 34
3.5. TESTLER ve DENEYİN YAPILIŞI: 36
3.5.1. Numunelerin Hazırlanması 36
3.5.2. Çekmece Deneyleri 38
3.6. İSTATİSTİKSEL ANALİZ 42
3.7. MALİYET HESABI 42
3.7.1. Filament Maliyet Hesabı 42
3.7.2. Elektrik Maliyet Hesabı 44
4. BULGULAR 48

4.1. ÇEKMECELERE UYGULANAN LABORATUVAR TESTLERİNE AİT BULGULAR 48
4.1.1. ANOVA Analizi ve TUKEY Testi 52
4.1.2. Tek Örneklemli T-Testi 54
4.1.3. Çekmeceli Modüllere Ait Bulgular 55
4.1.4. Çekmece Test Sonuçlarına Ait Diğer Majör Deformasyon Bulguları 69
5. TARTIŞMA 74
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 78
6.1. METAL RAY SETİ SONUÇLARI 78
6.2. PLA RAY SETİ SONUÇLARI 79
6.3. PETG RAY SETİ SONUÇLARI 80
6.4. ÖNERİLER 80
6.5. İSTATİSTİKİ SONUÇLAR 81
6.6. GELECEK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER 82
KAYNAKLAR 84
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI 90
ETİK KURUL İZİN YAZISI 91
KURUM İZNİ YAZILARI 92
ÖZGEÇMİŞ 93

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Örnek montaj şeması (İstikbal, 2025). 2

Şekil 1.2: 32'lik montaj sistemi (Hettich, 2025). 3

Şekil 1.3: Standart demonte mobilya bağlantı elemanları (Şeker, 2023). 4

Şekil 1.4: Bu çalışmada kullanılan 3D yazıcı (Creality, 2025). 5

Şekil 1.5: FDM makinasının (3D yazıcı) ve parçalarının kesit görünümü (Gula ve diğ. 2024); (Kumaresan ve diğ. 2025). 5

Şekil 1.6: 3D basılmış ve testi yapılan bağlantı elemanı örneği (Nicolau ve diğ. 2022). 7

Şekil 1.7: Ray çeşitleri (Hettich, 2025). 8

Şekil 2.1: Baskı yönü ve raster açısı (Martins ve diğ. 2024). 17

Şekil 3.1: Kabine bağlanan gövde kısmı. 22

Şekil 3.2: Çekmeceye bağlanan rayın bilye kafesleri. 23

Şekil 3.3: Çekmece kilit mandalı. 23

Şekil 3.4: Genel ray seti. 24

Şekil 3.5: Creality K1-Max yazıcı. 25

Şekil 3.6: Creality Print 6.1 a) yazıcı ve yatak model seçim alanı, b) modelin yön ve konum ayar sekmesi, c) model ön izlemesi, d) özel baskı parametre sekmesi. 26

Şekil 3.7: Creality Print 6.1 a) model kısımlarının ne kadar sürdüğünü, kaç gram filament harcandığı, ortalama maliyet hesabı ve modelin baskı süresini gösteren sekme, b) dilimleme butonu. 27

Şekil 3.8: Creality Print 6.1 Örnek Ayar Sekmesi. 27

Şekil 3.9: Katman yüksekliği farkı a) 0,1mm b) 0,2mm c) 0,4mm. 28

Şekil 3.10: Baskı duvar sayısı dilimi. 29

Şekil 3.11: Baskı dolgu deseni dilimi. 30

Şekil 3.12: PETG ray model baskısının alınması. 31

Şekil 3.13: Çalışmada kullanılan Porima PLA (Porima, 2025). 33

Şekil 3.14: Çalışmada kullanılan Porima PETG (Porima, 2025). 33

Şekil 3.15: Kabinlerin montaj aşaması (Şeker, 2023). 34

Şekil 3.16: Çekmece ray setinin parçaları. 35

Şekil 3.17: Vida tork örneği. 36

Şekil 3.18: Ana deney düzeneği. 37

Şekil 3.19: Yardımcı elemanlar. 38

Şekil 3.20: Uzatma elemanları mukavemet testi düzeneği. 39

Şekil 3.21: Uzatma elemanları yer değiştirme testi düzeneği. 40

Şekil 3.22: Çekmece açma - kapama testi düzeneği. 41

Şekil 3.23: Wattmetre a) Wattmetre ana sekmesi b) High değeri sekmesi 45

Şekil 4.1: PLA-1 a) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, b) Sağ ray deformasyonları, c) Gövde deformasyon karşılaştırması, d) Sol ray deformasyonu. 57

Şekil 4.2: PLA-2 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Sağ ve sol ray deformasyonları, d) Gövde deformasyon karşılaştırması. 57

Şekil 4.3: PLA-3 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Sağ ve sol ray deformasyonları, d) Gövde deformasyon karşılaştırması. 58

Şekil 4.4: PLA-4 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Sağ ve sol ray deformasyonları. 59

Şekil 4.5: PLA-5 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Sağ ve sol ray deformasyonları. 59

Şekil 4.6: PETG-1 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Testin başarısız olduğu an, d) Sol gövde parçası deformasyonu. 61

Şekil 4.7: PETG-2 a) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, b) Gövde deformasyon karşılaştırması, c) Testin başarısız olduğu an, d) Sağ ray parçası deformasyonu. 62

Şekil 4.8: PETG-3 a) Testin başarısız olduğu an, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Sağ ve sol ray deformasyonları. 63

Şekil 4.9: PETG-4 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Sağ ve sol ray deformasyonları. 64

Şekil 4.10: PETG-5 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Sol gövde parçası majör deformasyonu, d) Sağ ve sol ray deformasyonları e) Testin başarısız olduğu an. 64

Şekil 4.11: Metal-1 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Ray ve gövde kısımların deformasyon karşılaştırması (s = standart). 66

Şekil 4.12: Metal-2 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Ray ve gövde kısımların deformasyon karşılaştırması (s = standart). 67

Şekil 4.13: Metal-3 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Ray ve gövde kısımların deformasyon karşılaştırması (s = standart). 67

Şekil 4.14: Metal-1 a) Test öncesi düzenek, b) Ray deformasyonu, c) Ray ve gövde kısımların deformasyon karşılaştırması (s = standart), d) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu. 68

Şekil 4.15: Metal-5 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Ray ve gövde kısımların deformasyon karşılaştırması (s = standart). 69

Şekil 4.16: a) PETG-1 gövdede oluşan alt taşıyıcı kısmın kırılma deformasyonu b) PETG-5 gövdede oluşan alt taşıyıcı kısmın kırılma deformasyonu. 69

Şekil 4.17: a) PETG ray setinde kırılan arka stoperin sıkışması, b) PETG gövde kısmının alt taşıyıcı yerinin kırılması. 70

Şekil 4.18: PETG numunenin sol gövde kısmının alt taşıyıcı alanın tamamen kırılması ve üst kısımların büyük ölçüde deforme olması. 71

Şekil 4.19: a) PLA gövde kısmın üst kılavuzunun kırılması, b) PLA-3 gövde kısmının üst kılavuzunun kırılması. 71

Şekil 4.20: PLA-1 gövde kısmının ön ve arka stoperinin kırılması ve rayın hareketini sınırlaması. 72

Şekil 4.21: Test sonucu tüm numuneler. 72

Şekil 4.22: Raylardaki sürtünmeye bağlı olan genel deformasyon. 73

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Çeşitli filamentlerin basınç ve tork dirençleri (Fini ve diğ. 2025) 18

Tablo 2.2: Çeşitli filamentlerin mekanik özellikleri (Ekrem ve Yılmaz, 2025). 19

Tablo 2.3: PLA ve PETG mekanik özellikleri (Martins ve diğ. 2024). 20

Tablo 3.1. Çekmece Açma-Kapama Testi Deneme Deseni. 41

Tablo 3.2. Çalışmada Kullanılacak Modüller için Öngörülen Sabitler. 42

Tablo 3.3: Malzeme Türüne Göre Filament Tüketimi ve Birim Fiyatları. 43

Tablo 3.4: PLA Parça Başına Maliyet Hesaplamaları. 44

Tablo 3.5: PETG Parça Başına Maliyet Hesaplamaları 44

Tablo 3.6: Malzeme ve parçaya göre baskı süresi. 46

Tablo 3.7: 5 Adet Ray Setinin Toplam Maliyet Tablosu. 47

Tablo 4.1: A, B ve C noktalarını tanımlayıcı istatistikler. 48

Tablo 4.2: PLA ray setlerinin kendi arasındaki sehim testlerinin normal dağılım sonuçları. . 49

Tablo 4.3: PETG ray setlerinin kendi arasındaki sehim testlerinin normal dağılım sonuçları. 50

Tablo 4.4: METAL ray setlerinin kendi arasındaki sehim testlerinin normal dağılım sonuçları. 51

Tablo 4.5: Gruplar arası ANOVA analiz sonuçları. 52

Tablo 4.6: ANOVA testi sonrası tanımlayıcı analizler. 52

Tablo 4.7: Varyansların Eşitliği Testi (Levene’s Test). 53

Tablo 4.8: ANOVA sonrası Tukey Testi. 53

Tablo 4.9: Tek Örneklemli T-Testi 54

Tablo 4.10: PLA'dan üretilen rayların sehim bulguları. 55

Tablo 4.11: PETG'den üretilen rayların sehim bulguları. 60

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
mm	: Milimetre
N	: Newton
Nm	: Newton metre
S	: Saniye
m^3	: Metreküp
MPa	: Megapascal
C	: Derece
kg	: Kilogram
KWh	: Megapascal
g	: gram
TL	: Türk Lirası
p	: İstatistiksel Anlamlılık Değeri
t	: Test İstatistiği
df	: Serbestlik Derecesi
F	: F İstatistik Değeri
ptukey	: Tukey Test Anlamlılık Değeri
η^2	: Eta Kare Etki Büyüklüğü
ω^2	: Omega Kare Etki Büyüklüğü

Kısaltmalar	Açıklama
AM	: Additive Manufacturing (Katmanlı Üretim)
FDM	: Fused Deposition Modelling (Ergiyik Yığma Modelleme)
3D	: 3 Dimensional (3 Boyutlu)
CNC	: Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAM	: Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli Üretim)
G.A	: Güven Aralığı
S.S	: Standart Sapma

S.D : Standard Deviation (Standart Sapma)

S.E : Standard Error (Standart Hata)

Stl : Standard Triangle Language (Stereolitografi)

BB : Bullet Ball (Mermi Topu)

PLA : Polilaktik Asit

PETG : Polietilen Tereftalat Glikol

ABS : Akrilonitril Bütadien Stiren

PEEK : Poliariletereterketon

TPU : Termoplastik Poliüretan

PVAc : Polivinil Asetat

UF : Urea Formaldehyde (Üre Formaldehit)

MDF : Medium Density Fiberboard (Orta Yoğunluklu Lif Levha)

HDF : High Density Fiberboard (Yüksek Yoğunluklu Lif Levha)

MWCNT : Multi-Walled Carbon Nanotube (Çok Duvarlı Karbon Nanotüpler)

BIM : Building Information Modelling (Yapı Bilgi Modellemesi)

BS EN : British Standard Institute (İngiliz Standartları Enstitüsü)

TSE : Türk Standartları Enstitüsü

Hi : Wattmetre High (En yüksek ölçülen) Değeri

ASA : Akrilik Stiren Akrilonitril

PA : PoliAmid - Naylon

PC : Polikarbonat

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

3D PRINTER TEKNOLOJISI ILE ÇEKMECE RAYI TASARIMI VE BAZI MUKAVEMET TESTLERI VE İŞLEVSELLİĞİNİN İNCELENMESİ

Yarkın Paşa KURT

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Endüstri Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi E. Seda ERDİNLER

Teknolojinin gelişimiyle birlikte katmanlı üretim (Additive Manufacturing - AM) yöntemleri yaygınlaşmış ve bu alanda en sık kullanılan tekniklerden biri olan ergiyik yığma modelleme (Fused Deposition Modeling - FDM) çeşitli sektörlerde tercih edilir hale gelmiştir. 3D yazıcılar farklı filament hammaddeleriyle çalışabilmekte ve üretilen parçalar mobilya sektöründe bağlantı elemanı veya aksesuar olarak kullanılabilmektedir. Bu süreçte filament seçimi, malzemenin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri dikkate alınarak yapılmalıdır. Çünkü her filament türü ve üretim parametresi, ortaya çıkan ürünün mukavemetini doğrudan etkilemektedir.

Bu çalışmada, çekmecelerde kullanılan ray sistemleri incelenmiş, 3D yazıcı ile PLA ve PETG filamentleri kullanılarak aynı üretim parametreleriyle üretilmiştir. Üretim maliyetleri hesaplanmış, ardından BS EN 16122 standardına uygun testler gerçekleştirilmiş ve sehim değerleri belirlenmiştir.

Çalışmanın amacı, çekmece raylarının çekmece ile 10 kg yük altında işlevini yerine getirebilen, 3 boyutlu yazıcıdan PLA ve PETG filamentleriyle üretilen yeni ray setlerinin mekanik davranışlarını incelemek ve karşılaştırmaktır. Ayrıca Türkiye mobilya endüstrisi için ekonomik ve teknik açıdan katkı sağlanması hedeflenmiştir. Ray setleri SolidWorks ile modellenmiş, %40 doluluk oranı, üçgen dolgu yapısı ve 0,2 mm katman kalınlığı kullanılarak üretilmiştir. Üretim sırasında elektrik tüketimi de ölçülmüştür.

Test sonuçlarında PLA raylarının, PETG'ye göre daha yüksek mekanik performans ve dayanıklılık gösterdiği belirlenmiştir. PLA ve metal ray setleri sehim açısından anlamlı farklar gösterirken, PETG ray setlerinin bazıları testleri geçememiştir. Hızlı açma ve kapama testlerinde özellikle PLA ve metal raylarda ani yüklenmelere karşı iyi performans gözlenmiştir. Bu sonuçlar PLA'nın PETG'ye göre daha avantajlı olabileceğini göstermiştir.

Haziran 2025 , 111 sayfa.

Anahtar kelimeler: 3d printer, çekmece rayı tasarımı, pla çekmece rayı, petg çekmece rayı, çekmece rayı tasarımı

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

DRAWER RAIL DESIGN WITH 3D PRINTER TECHNOLOGY AND EXAMINATION OF ITS FUNCTIONALITY WITH SOME STRENGTH TESTS

Yarkın Paşa KURT

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Forest Industry Engineering

Programme of Forest Industry Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. E. Seda ERDINLER

With the advancement of technology, Additive Manufacturing (AM) methods have become increasingly widespread, with Fused Deposition Modeling (FDM) being one of the most commonly preferred techniques in various industries. FDM technology enables the use of different filament materials in 3D printers, making it possible to manufacture components that can be used in furniture as connectors or accessories. The selection of the appropriate filament should consider the chemical, physical, and mechanical properties of the material, as each filament type and manufacturing parameter directly affects the mechanical performance of the produced part.

In this study, drawer slide systems, which are commonly used in furniture, were investigated. New drawer slide sets were manufactured using PLA (Polylactic Acid) and PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol) filaments with identical production parameters. Production costs were calculated, and the mechanical behaviors of the drawer slides were tested under laboratory conditions in accordance with the BS EN 16122 standard. Tests focused on strength, displacement, and rapid opening/closing, with deflection values recorded for each test.

The primary aim of this study is to examine the mechanical behavior of newly designed 3D-printed drawer slide systems under a 10 kg load, and to compare their performance using PLA and PETG materials. Additionally, this study seeks to provide both economic and technical insights into material selection for the Turkish furniture industry. The parts were designed using

SolidWorks software and manufactured with a 40% infill, triangular structure, and 0.2 mm layer height. Electricity consumption was also monitored during production.

The test results revealed that PLA-based drawer slides performed better in terms of mechanical properties and durability compared to PETG-based slides under identical production conditions. While PETG samples struggled with deformation under dynamic loads, PLA samples exhibited higher stability and functionality. These findings suggest that PLA may be a more suitable option than PETG for applications requiring higher mechanical performance in household drawer systems.

June 2025, 111 pages.

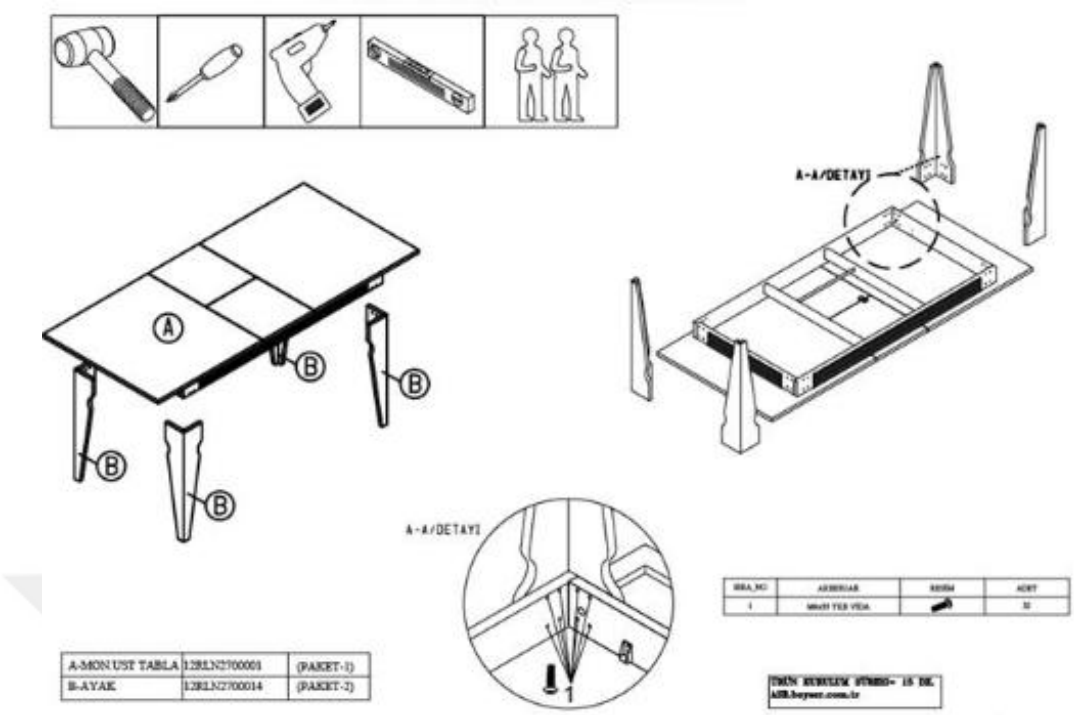
Keywords: Fused Deposition Modeling (FDM), 3D Printing, PLA, PETG, Drawer Rail System, Additive Manufacturing

1. GİRİŞ

Mobilya konstrüksiyon olarak birden çok elemanın birleşmesiyle oluşmaktadır. Bunların içinde hammaddeler, yarı mamuller, birleştirme elemanları ve aksesuarlar bulunmaktadır. Birleştirme elemanları ve aksesuarlar ile mobilya çeşitli fonksiyonlar kazanmaktadır. Birleştirme elemanları, en az iki tane elemanı birbirine bağlamaya ve birleştirmeye yarayan araçlar olmaktadır. Kullanım amacı ve kullanım yerine uygun birleştirme elemanları ile mobilyalar çok daha fonksiyonel hale gelmektedir. Mobilya kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu artışa bağlı olarak farklı kullanım alanlarında ve fonksiyonlarda ortaya çıkmış mobilyalar bulunmaktadır. Kullanıcının konforuna, maddiyatına, estetik zevkine ve istediği fonksiyonelliğe göre mobilyalar değişmektedir. Günümüzde kullanılan mobilya tipi ise sıklıkla demonte ve akıllı mobilya olarak tercih edilmektedir.

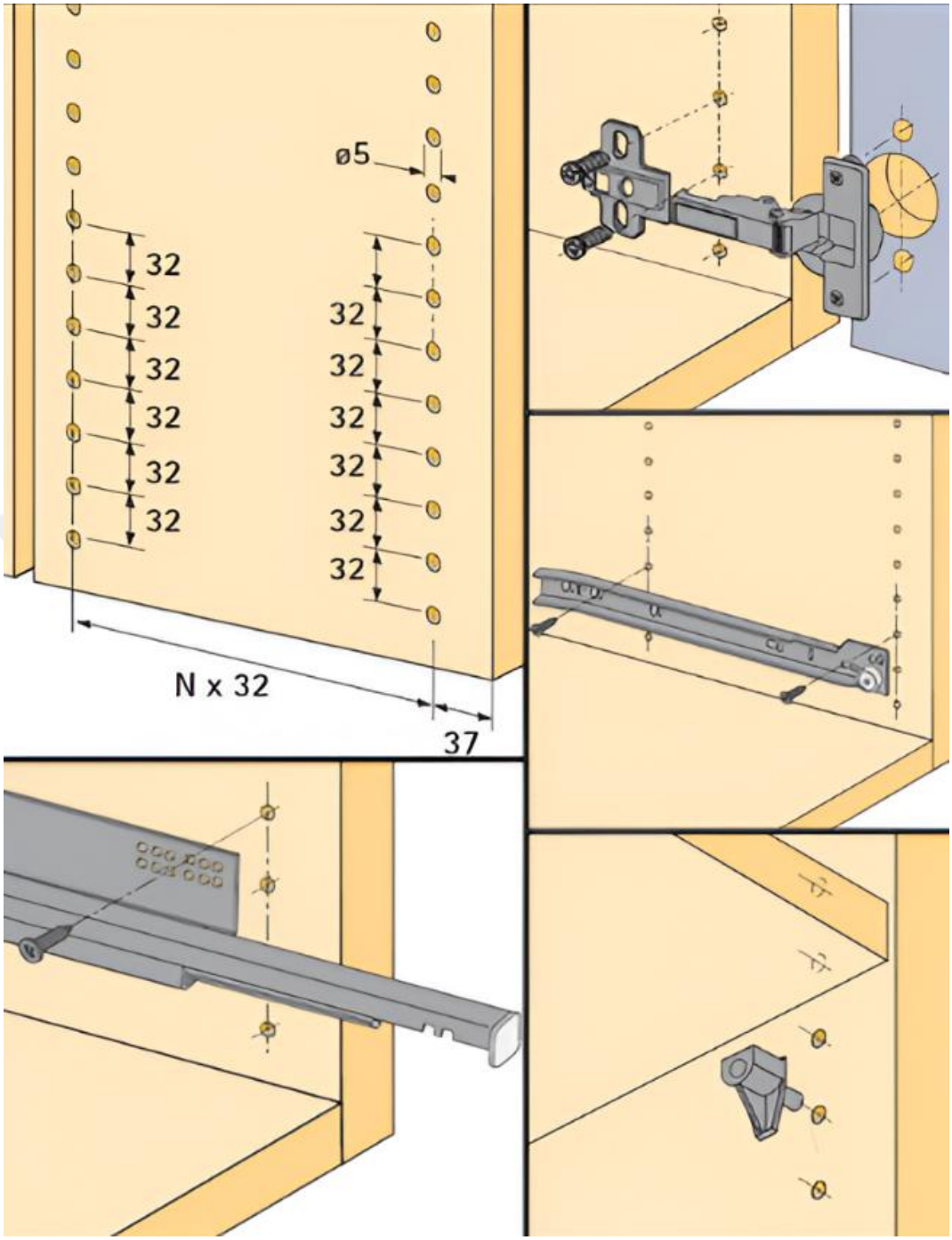
İnsanlar son zamanlarda ev içi tasarım sistemleriyle donatılmış akıllı yaşam alanlarında yaşamayı arzuluyor. Sürdürülebilir kalkınmada, akıllı tasarım fikirleri, gelecek nesillerin karşılıklı bağımlılıklarını tehlikeye atmadan mevcut talepleri karşılayan yeni ortamlar geliştirmeye katkıda bulunur. Akıllı mobilyalar, kolaylık ve güvenliği garanti ederek insan etkileşimini optimize eder ve bu da onu araştırma çabaları için vazgeçilmez kılar. Akıllı mobilyalar, ev alanını, benzersizliği, işlevselliği, dayanıklılığı ve güvenliği optimize ederek yaşam kalitesini artırır (Xu 2021, Sachan ve diğ., 2023, Fewella 2024).

Mobilya elemanlarının birbirine bağlanmasında eski tip olan kavelalı ve zıvanalı birleştirme gibi geleneksel tekniklerin yerini demonte mobilyalar almaya başlamıştır (Kasal 2004). Demonte mobilyaların bu kadar trend ve tercihinin fazla olmasının nedeni ise kullanıcıya ve satıcıya birçok yönden kolaylık ve avantaj sağlaması olmaktadır. Bunlardan bazıları ise, demonte mobilyaların kurulumunun basit ve nasıl uygulanacağını gösteren şemalar (Şekil 1) olması, demonte parçalar üzerinde kılavuz deliklerinin hazır olması, parça parça olduğu için taşımada, lojistikte ve depolamada kolaylık sağlaması, maddi olarak özellikle masif mobilyalara göre daha uygun fiyatlarda olması ve parça değişimlerinin basit olması örnek olmaktadır. Bunun yanı sıra yapılan çalışmalarda görülmüştür ki demonte mobilya yapımında kullanılan bağlantı tipleri mobilya konstrüksiyonunda geleneksel birleştirmelerden daha yüksek mukavemet sağladıkları görülmüştür (Tankut 2001, 2005, Karaman ve diğ., 2020).



Şekil 1.1: Örnek montaj şeması (İstikbal 2025)**.**

Kabin tipi demonte mobilyalarda en yaygın olarak uygulananları kavelalı ve minifiksli birleştirme yöntemleridir. Bu birleştirme elemanları merkezleri arasındaki uzaklıklar çoğunlukla 32mm olarak uygulanmaktadır. Delik şablonları LR 32'ye (System 32) göre oluşmaktır (Şekil 2). 32'lik sistem halk ağzında "İkea Tipi" olarak da geçmektedir. System 32 küresel bir dil olup günlük hayatımızda sıklıkla bilmeden kullandığımız bir sistem olmaktadır. Sisteme dahil olan elemanlar raylar, menteşe tasları, raf pimleri, askı elemanları, flaşlar ve bağlantı elemanlarına dahil olmaktadır. Sistem sıralı delikli şekilde olmaktadır ve her bir deliğin çapı 5mm olmaktadır. Dikine yönde her iki deliğin merkezlerinden birbirine olan uzaklığı 32mm olmaktadır. Gövdeden derinliğine ilk deliğin mesafesi 37mm olmaktadır. Bu sayede montajı gerçekleşecek herhangi bir rayın, menteşenin veya diğer elemanların montajı 37mm'den yapıldığı taktirde genellikle montajı yapılan ürünün ayar yapılmasına gerek kalmamaktadır. Bunun yanı sıra aynı sistemin 28mm'ye göre dönüştürülmüş hali bulunmaktadır ve İtalya mobilya sektöründe LR 28'i standart haline getirmiştir (Malkoçoğlu ve Çetin Yerlikaya 2013, Karaman ve diğ., 2020).



Şekil 1.2: 32'lik montaj sistemi (Hettich 2025).

Demonte mobilyaların uygulanmasında kullanılan birleştirme elemanları da mobilyanın kullanım yerine ve amacına uygun şekilde seçilmektedir. Her mobilyanın standart birleştirme elemanları haricinde (Şekil 3), kullanım yeri ve amacına özel olarak birleştirme elemanları bulunmaktadır. Örnek olarak çekmeceli bir mobilyada ray sistemi, kapaklı bir mobilyada menteşe veya tekerlekli sürgü sistemi, raflı bir mobilyada ise raf pimleri veya L tipi birleştirmeler kullanılmaktadır.



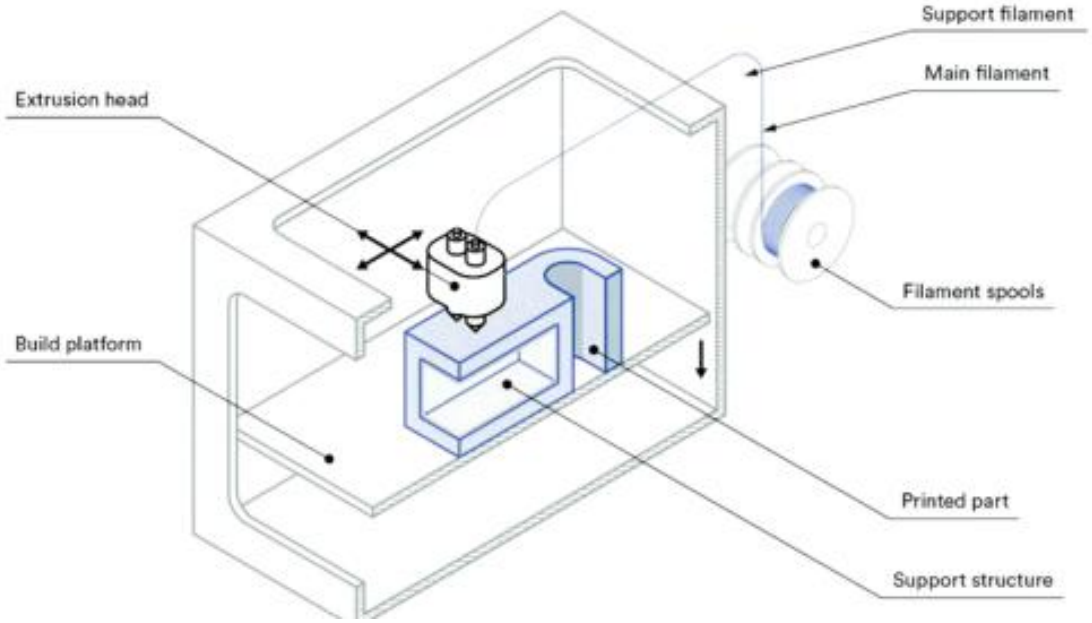
Şekil 1.3: Standart demonte mobilya bağlantı elemanları (Şeker, 2023).

Bunun yanı sıra demonte mobilyalarda kullanılan aksesuarlar da bir yandan kullanıcının mobilya üzerindeki fonksiyonelliğini arttırırken bir yandan da mobilyanın zarifliğini ve estetiğini arttırmaktadır. Demonte mobilyalarda aksesuar olarak kulplar, askılık elemanları, baza ve masa ayakları, kilitler ve tekerlekler örnek verilebilmektedir. Bu noktada her aksesuarın farklı bir amaca uygun hizmeti bulunmaktadır.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte günümüz mobilyalarına da entegre olan AM modeli ile birlikte FDM tipi 3D yazıcı sistemlerinin kullanımı ve uygulanması yaygınlaşmıştır. Şu anda 3D yazıcılar mühendislik, inşaat, endüstri ve mimari sektörler gibi birçok sektörde aktif bir şekilde kullanılmaktadır. 3D yazıcıların çalışma prensipleri ise AutoCAD, Blender ve SolidWorks gibi çeşitli bilgisayar destekli tasarım (CAD: Computer Aided Design) programlarından 3D bir şekilde modellenmiş parçaların ABS (Akrilonitril Büdadien Stiren), PLA, PETG, TPU (Termoplastik Poliüretan) gibi çeşitli filament ve reçineler kullanılarak yazıcının aynı CNC makinalarında olduğu gibi G kodlarını kullanarak parçayı baskılaması sonucu olmaktadır. X, Y ve Z olmak üzere 3 eksen üzerinde hareket sergileyen 3D yazıcılar, cihazın kendi tabla ölçüleri sınırında üretim ve basıma uygun olmaktadır. Bu sayede kullanıcı doğru filament seçimi ile kullanımına uygun amaçta ürün üretebilir ve kendi isteği doğrultusunda bu ürünleri kişiselleştirebilmektedir. Kişiselleştirme kısmında ise 3D yazıcılar (Şekil 4 ve Şekil 5) kullanıcıya, kullanıcının kendi hayal gücü kadar bir sınır vermektedir.



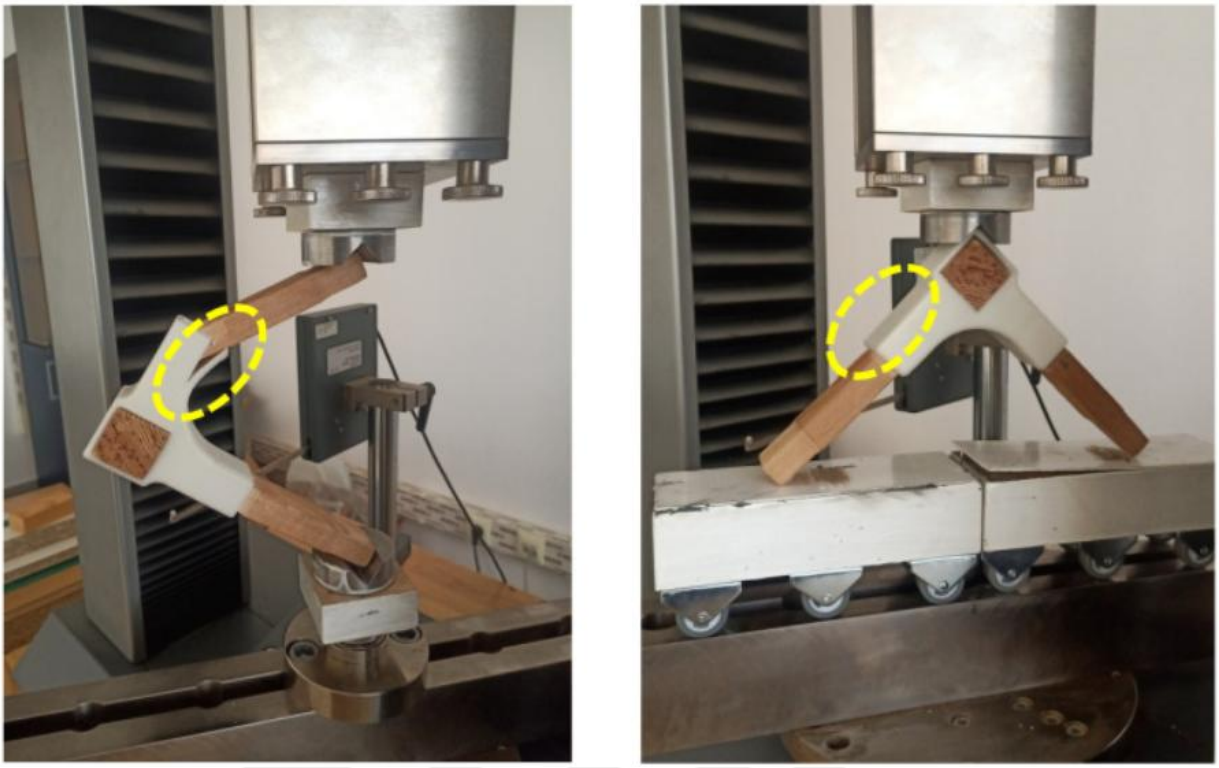
Şekil 1.4: Bu çalışmada kullanılan 3D yazıcı (Creality, 2025).



Şekil 1.5: FDM makinasının (3D yazıcı) ve parçalarının kesit görünümü (Gula ve diğ. 2024); (Kumaresan ve diğ. 2025).

Demonte mobilyalar üzerinde kullanılan, özelleştirilmiş bağlantı elemanları ve aksesuarların basımı ile 3D yazıcıların kullanımına bir teşvik de söz konusudur. 3D yazıcılara olan teşvik ile orman endüstri mühendisliği ve endüstri mühendisliği gibi birçok mühendislik dalında görülen tasarım, teknik, çizim ve mekanik esaslı derslerdeki ilgiyi arttıracak, öğrencinin mühendislik problemlerini saptayabilmesi ve çözüm bulması konusunda yaratıcılığını ve pratikliğini artıracaktır. Bunun yanı sıra belirtilen derslerde daha aktif olunabilecek, derslerde görülen mekanik araç gereçleri, elemanları veya objeleri tasarlayıp modelleyebilecek ve tasarlanan öğeler sadece kâğıtta veya bilgisayarda kalmayıp fiziksel bir çıktı alınmasını sağlayacaktır. Bu sayede sektöre katılacak öğrencilerin de birden çok tasarım ve modelleme programı öğrenmelerine sebep olacaktır. Uygulanan işlemler sırasında ortaya çıkan problemleri, mühendis gözüyle teknik anlamda problemin giderilmesine ve pratikliğe ön ayak olacaktır.

Mobilya sektörüne 3D yazıcıların girmesi ve entegre olması ile kullanıcıların mobilyalarının özelleştirdiği, kişiselleştirdiği veya eksik, kırık parçaları dışarıdan temin etmek yerine kendi modellemesiyle veya dışarıdan hazır model bularak kullanması sıklıkla görülmektedir. Kişiselleştirme anlamında mobilyalara ekstra çekmecelerin yapılması, masa tipi mobilyaların altlarına gözler eklemek veya çekmece içlerine organizasyon bölümleri tasarlamak örnek verilebilir. Bunun yanı sıra demonte mobilyalarda kullanılan ray, kavela, menteşe, raf pimi, T-L tipi ve köşe gibi birleştirme elemanlarında 3D baskı alınması ve üretimi söz konusu olmakta ve alınan baskılar üzerinde çeşitli mukavemet deneyleri de yapılmıştır (Nicolau ve diğ., 2023, 2025). Bazı benzer birleştirmeler Şekil 6'da görülmektedir. Bu sayede kullanıcı mobilyasında kullanılan birleştirme elemanlarında istediği zaman daha az maliyet ile bozulan, eskiyen veya randımanını kaybetmiş elemanları istediği şekilde tasarlayıp yazıcıdan basabilmektedir. Parçayı basarken ise aynı mobilyalarda da kullanıldığı gibi kullanıcının kullanım amacına göre filament veya reçine tercih etmesi gerekmektedir. Her filamentin kendine özgü yoğunluğu, taşıma kapasitesi, erime sıcaklığı ve sertliği bulunmaktadır. Bu parametreler göz önüne alınarak parça basımında filamentin maksimum verimliliği elde edilir ve kullanım yerinde maksimum performans alınmaktadır.



Şekil 1.6: 3D basılmış ve testi yapılan bağlantı elemanı örneği (Nicolau ve diğ., 2022).

Sektörümüz ve 3D yazıcıların entegrasyonuyla beraber doğru malzeme seçimi yapıldığında, metal malzemelere nazaran plastik esaslı malzemelerin üretimi veya elde edilmesi çok daha kolay ve uygun fiyata mal olacaktır. Metal malzemelerin kullanılmasındaki en büyük etkenler malzemenin sağlam, yoğun ve deformasyona karşı dayanıklı malzeme olmasıdır. Plastik malzemeler metal malzemeler ile karşılaştırıldığında genellikle deformasyon miktarı metal malzemeye karşı daha fazladır. Fakat kullanım amacına uygun bir plastik malzeme seçimini, yeterli yoğunlukta ve mukavemeti yüksek olacak bir tasarımda doğru bir şekilde uygulandığında en az metal malzeme kadar sağlam olmaktadır. Bununla birlikte üretici için de son kullanıcı için de 3D yazıcı kullanımı ve filament çıktıları bir avantaj olacaktır. Bu şekilde, yeni geliştirilen bağlantı elemanları hızlı ve ucuz bir şekilde prototipleşebilir veya küçük seriler veya butik mobilyalar için üretilebilir (Petrova ve Jivkov 2024).

Çekmece rayları çekmecenin bir düzlem üzerinde stabil ve rahat bir şekilde açılıp kapanmasına yarayan, içinde bilye veya alt kısmında tekerlek olan sürgülü lineer bir sistem olmaktadır. Günümüzde birden çok ray sistemi olmasına rağmen çekmece raylarında en sık kullanılan sistemler bilyeli, teleskopik ve gizli ray olmaktadır (Şekil 7). Bunun nedeni ise diğer ray çeşitlerine göre daha kolay kuruluma ve daha az maliyete sahip olmasıdır. Bunun yanı sıra

en sık kullanılan bu 3 ray sisteminde de kendi aralarında farklılıklar bulunmaktadır. Bilyeli ve teleskopik rayların mekanizmaları neredeyse aynıdır ancak teleskopik raylarda fren sistemleri entegre olmuştur ve fren sistemleri ile rayın maliyeti artmaktadır. Bilyeli raylarda ise sistemin çalışması için rayın uzayan kısmının çekmece yanağına gömme yapılması gerekmektedir. Bunun nedeni bilyeli raylar her iki tarafa da açılım yapabiliyor olmasıdır. İki ray sistemi de çekmece dışarı çıktığında sağ ve sol taraftan gözükmektedir. Gizli ray sisteminde ise fren sistemleri, bas aç sistemleri olup pimli veya mandallı montaj imkanlarının olması ve çekmece dışarı çıktığında sağ ve sol yan taraflardan gözükmez. Bunun nedeni mekanizmanın çekmecenin bağlı olduğu mobilyanın içinde kalıp, raylarının çekmece kısmının altında olmasıdır.



Şekil 1.7: Ray çeşitleri (Hettich 2025).

Bu çalışmasındaki amaç; modern ve demonte mobilyalarda bulunan yüklük veya depolama olarak kullanılan çekmece raylarının, çekmece ile 10kg yük altında işlevini yerine getirebilen, özgün tasarıma sahip ve 3D yazıcıdan PLA ve PETG filamenti ile baskısı alınmış yeni çekmece rayları üretip yük altındaki mekanik davranış özelliklerini ve davranışlarını ilgili standartlar ışığında incelemek ve araştırmaktır. Bununla birlikte bu çalışmada farklı malzeme kullanımı ile Türkiye mobilya endüstrisindeki üretim için mevcut koşullar adına ekonomik ve teknik alanda fayda amaçlanmıştır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Yıldırım ve diğ. (2019), gerçekleştirdiği bir çalışmada, demonte mobilya konusundaki bir anketi yanıtlayan 243 konut sakininin %88,5'inin mobilya tercihinde demonte ürünleri dikkate aldığı belirlenmiştir. Bu tercihin temel nedenleri arasında; ürünlerin ev ortamına taşınmasının kolay olması (%66,7), nakliye sürecinde sökülüp yeniden monte edilebilmesi (%67,1) ve kullanım alanında montaj imkânı sunması (%48,1) öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, katılımcıların bir kısmı montaj sürecinde teknisyen ihtiyacı (%28,4), parçaların zamanla aşınması veya yıpranması (%29,2) ve ürünün yeterince sağlam olmaması (%14) gibi olumsuzluklar yaşadıklarını ifade etmiştir.

Mobilya sektöründe ürün tercihini etkileyen birçok faktör bulunmakta olup, bunlar arasında en belirgin olanları fiyat, ergonomi ve fonksiyonel özelliklerdir. Bu unsurlar açısından öne çıkan rekabet alanı ise genellikle mobilyaların birleştirilmesinde kullanılan aksesuarlar ve bağlantı elemanlarıdır. Bu tür bileşenlerin seçiminde, kullanım alanına bağlı olarak dikkat edilmesi gereken çeşitli kriterler söz konusudur. Uygun ürün ve aksesuar seçimi sayesinde mobilyaların daha sağlıklı ve verimli kullanımı mümkün hâle gelmektedir. Kılıç ve Dilik, (2022) çalışması, aksesuar seçim kriterlerini ürün özelinde detaylandırarak bu alandaki literatüre katkı sunmuştur. Ayrıca Dilik, (1992), Türkiye'de mobilya aksesuarlarının sınıflandırılmasını yapan ilk çalışmalardan birini gerçekleştirmiş; Kılıç, (2021) ise ürün bazında mobilya tercihini etkileyen unsurları analiz etmiştir.

Mutfak, konut içerisinde bireylerin en fazla zaman geçirdiği alanlardan biri olup, bu alanda kullanılan mobilyalar genellikle çekmeceli veya kapaklı tasarımlara sahiptir. Kılıç ve diğ. (2018), gerçekleştirdikleri çalışmada, AnyBody modelleme sistemi aracılığıyla insan vücudundaki kas ve eklem kuvvet aktivasyonlarını analiz etmişlerdir. Elde edilen bulgular, alt mutfak dolaplarında çekmeceli sistemlerin, kapaklı sistemlere kıyasla yaklaşık %45 oranında daha ergonomik olduğunu ortaya koymuştur.

Karataş ve diğ. (2023), gerçekleştirdikleri araştırmada, "Smart Drawer" adlı sistem kapsamında PI kontrolör yardımıyla step motorun kontrol edildiği bir düzenek geliştirmiştir. Bu sistem, kullanıcının verdiği komutlara yanıt vererek çekmecenin hareketini ve hızını

ayarlayabilmekte, aynı zamanda maliyet açısından uygun ve enerji tasarruflu yapısıyla sürdürülebilir bir akıllı çekmece çözümü sunmaktadır.

Mobilyalarda kullanılan ray ve menteşe gibi elemanların sağlamlıkları sadece kullanım ve işlev açısından değil, mobilyanın zamanla kullanımına karşın oluşan deformasyonlardan etkilenen genel görüntüsünü de etkilemektedir (Smardzewski ve Majewski 2013). Smardzewski ve Majewski (2013), yaptıkları çalışmada BS EN 14074:2004 standardına bağlı kalarak çekmece raylarının kabine bağlanması üzerine farklı tork değerlerindeki vidaların, manşon ve bağlantı elemanlarının çekmece raylarındaki mukavemet ve dayanıklılığı üzerinde etkisi olduğunu belirlemiştir. Bunun yanı sıra Şeker, (2023) yaptığı doktora tezinde montaj esnasında vidalara verilen tork değerinin kapak ve çekmecelerin sehimine etkisi olduğunu ortaya koymuştur.

Çekmece rayları; mobilyaların konforlu bir şekilde açılıp kapanmasını sağlamak amacıyla kullanılan ve frenli teleskopik, bilyeli ya da gizli ray gibi farklı türleri bulunan metal yardımcı elemanlardır (Kalaycıoğlu ve diğ., 2017). Menteşe, kulp ve diğer bağlantı elemanları ile kıyaslandığında, menteşeden sonra en yaygın şekilde kullanılan aksesuar grubu olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, kullanıcı taleplerine bağlı olarak birim maliyeti en yüksek olan yardımcı parçalardan biri de çekmece raylarıdır. Bunun temel nedenleri arasında; sağ ve sol parçalarının eş zamanlı üretilebilmesi ve farklı ölçülerde üretim esnekliği sunması yer almaktadır (Koç ve Aksu 1995, Özçakar 1998, Uçar ve diğ., 2017).

Kroon ve Nilsson, (2019), yaptıkları çalışmada IKEA'nın kullandığı tekerlekli çekmece raylarındaki plastik tekerlekler için optimizasyon gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda ortaya birden çok farklı konsepte farklı prototipler çıkmıştır. Ancak bu konseptlerin sadece iki tanesinin mevcut olan plastik tekerlekli rayda potansiyel iyileştirme elde edildiği tespit edilmiştir.

Şeker ve diğ. (2024), yaptıkları çalışmada metal raylar üzerinde kullanılan malzeme türü, tork ve yük değişkenlerinin raylar üzerindeki mukavemet etkilerini doğrudan etkilediğini belirlemiştir. Bunun yanı sıra testleri gerçekleşen çekmecelerin yüksek gerilmelerden kaynaklı oluşan deformasyonların aynı noktalarda olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan araştırmalara göre son günlerde, üç boyutlu bilgisayar destekli tasarım kullanılarak fiziksel parçalar üretme kabiliyeti nedeniyle, katmanlı üretim (AM), imalat

endüstrilerinde önemli bir önem kazanmıştır (Subramaniyan ve diğ., 2025). Diğer bir yandan AM teknolojisi, işlevsel parçaların doğrudan imalatı, düşük maliyetler, müşteriye özel ürün geliştirme ve tek adımlı üretim gibi geleneksel üretime göre birçok avantaja sahiptir. Malzemelerin özelleştirilmesi ve uyarlanması, AM teknolojisinin havacılık, otomotiv, gıda, tıp, askeriye vb. alanlardaki uygulamasını genişletmiştir (Mohamed ve diğ., 2015, Bock ve diğ., 2022, Subramaniyan ve diğ., 2025). AM teknolojisi, diğer geleneksel üretim tekniklerine kıyasla polimer parçaların üretimi için hızla yükselen bir yöntemdir. Yapılan çalışmalarda da görülmüştür ki PLA filamenti 3D baskı ve AM teknolojisinde en yaygın kullanılan termoplastik malzemelerden biri olmaktadır (Farah ve diğ. 2016; Barletta ve Puopolo, 2020; Orisekeh ve diğ. 2025).

García-Alvarado ve diğ. (2024), BIM (bina bilgi modellemesi) modelinden 3D inşaat baskısı yaparak hem tasarım hem de uygulama aşamalarını birleştiren, inşaat verimliliğini ve yenilikçi teknolojilerin benimsenmesini teşvik eden sinerjik bir dijital bilgi akışının önemini vurgulayan bir çalışma yapmıştır. Çalışmada inşaat projelerinin operasyonel ve ifade edici faydaları nedeniyle öncelikle duvar baskılarına odaklanabileceğini önermektedir.

Baucke, (2023), yaptığı çalışmada keten, kenevir lifleri, bazalt ve çeşitli reçineler gibi biyo materyallerden oluşan bir çekmece prototipini yapmıştır. Çalışma sonucunda karbon ayak izini önemli ölçüde azaltılabileceği tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra yeni bir tasarım ve üretim yaklaşımı gelişmiş olmaktadır. Fakat yapılan çekmecenin biyo materyallerden oluşmasıyla birlikte çekmecenin mekanik özellikleri önemli miktarda tespit edilmiştir.

Woo ve diğ. (2020), yaptıkları çalışmada dondurucuların ve buzdolaplarındaki çekmece raflarının yorulma testlerini yaparak ürünlerde bulunan kulpların ve çekmece raylarının 10 yıllık kullanımı için yetersiz olduğunu tespit etmiştir. İyileştirme olarak kulplar genişletilip güçlendirilmiş, çekmece rayları için vida sayısı arttırılmış, destek parçalar yerleştirilmiş ve ABS tabanlı hazne eklenmiştir. Çalışma sonucunda dondurucu çekmecelerinin 10 senelik kullanım ömrüne uygun olduğu öne sürülmüştür.

Nicolau ve diğ. (2022), yaptıkları çalışmada PLA fiberglas filamenti ile köşe birleştirmeleri basmışlardır. Köşe birleştirmelerine uygulanan basınç ve çekme testleri sonucunda ise 3D yazıcı teknolojisinin mobilya alanında uygulanmasının, özellikle sandalye gibi birden çok karmaşık bağlantı elemanı ve birleştirme uygulanmasını içeren mobilyalar için mümkün ve yararlı olacağını öne sürmüşlerdir.

Gjonov ve Hristozov, (2024), yaptıkları çalışmada PLA filamentinden entomologlar, müze küratörleri ve amatör koleksiyoncular için erişilebilir, pratik ve kullanışlı bir blok halinde farklı boyutlarda bir cihaz yapmıştır.

Kariz ve diğ. (2016), yaptıkları çalışmada PVAc tutkalı (Polivinil Asetat), UF tutkalı (Üre Formaldehit) ve kayın ağacından (*Fagus sylvatica L.*) elde edilen ahşap tozu ile bir karışım oluşturarak ahşap filament elde etmişlerdir. Yapılan testler sonucunda yapısal olmayan kullanıma uygun şekilde kullanılabilecek ahşap filamentin optimize edilmesi ve iyileştirilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Suvanjumrat ve diğ. (2024), yaptıkları çalışmada PLA filamentine ahşap tozu ekleyip baskıların mukavemetini arttırmıştır. Bunun yanı sıra karışım yaptığı filament ile baskısını aldığı numunelere üç noktalı bükme testleri uygulamıştır. Sonuç olarak baskı kesitindeki artan yüzey alanıyla atalet momentini arttırmış ve bileşenin basınç kuvvetlerine dayanma kabiliyetini artırmıştır. Ancak, baskı numunesine boşluklu dairesel veya kare desenler ekleyerek atalet momentini artırmak, basınç direncini önemli ölçüde azalttığı gözlemlemiştir.

Hajdarevic ve diğ. (2023), yaptıkları çalışmada sandalye köşe birleştirmelerinde kullanılan lamba zıvanalı birleştirmelerini iç duvarlı, duvarsız, destekli ve desteksiz şekilde farklı şekillerde ABS filamenti ile basarak ortaya çıkan mekanik özellikleri araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre iç duvarı olan bağlantı elemanlarının iç duvarı olmayan bağlantı elemanlarına göre daha kırılgan olduğu ve geleneksel birleştirme yöntemine göre %42-51 daha düşük dayanıklılıkta olduğu tespit edilmiştir. Yapılan sandalye testlerinden sandalyenin işlevini yerine getirecek verimi elde ettiğini fakat arkalık kısmının kırıldığını ve daha da güçlendirilmesi gerektiği kanısına varılmıştır. Uygun tasarım, yapı ve güçlendirme ile bu birleştirmelerin sandalyeler üzerinde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Podskarbi ve Smardzewski, (2019), yaptıkları çalışmada 3D yazıcıdan ABS filamenti ile basılmış HDF (High Density Fiberboard – Yüksek yoğunluklu lif levha) malzemeyi birbirine bağlayabilen kendi modellemesi olan bir bağlantı elemanı yapmıştır. Sonucunda ise yaptığı analizlerin, malzemenin, temas yüzeyinin ve malzemeye binecek yüklerin iyice tanımlanmasıyla birlikte sadece sayısal analizlerin kullanımı ile birlikte test numunelerinin üretimi için maliyetlerin azaltılabileceğini vurgulamıştır.

Zhang ve diğ. (2018), 3D baskılı ABS bileşenlerinin mekanik özellikleri üzerine sistematik bir karakterizasyon çalışması yapmıştır. Bu çalışmada çekme, sünme ve yorulma deneyleri kullanılmıştır. Deneyler için 3 farklı açıda aynı malzemeden oluşan numuneler yapılmıştır. ABS numuneler 3D yazıcının tablasına 0^o, 45^o ve 90^o açılarla farklı şekillerde basılmıştır. Yorulma testi için ise 30, 40, 50 ve 60N kullanılmıştır. Deneyler sonucunda ise çekme testlerinde en yüksek mekanik özelliğe sahip olan numune 0^o dereceli olmuştur. Sünme testinde ise en yüksek değere sahip olan numune 90^o olmuştur. Yorulma testinde ise tüm numuneler ciddi deformasyona uğrayıp işlevini getiremeyecek hale gelmiştir fakat en çok döngü sayısının 30N ile yapılan testlerde elde edildiği tespit edilmiştir.

Le ve diğ. (2021), yaptıkları çalışmada ABS ve MWCNT (çok duvarlı karbon nanotüpler) filamentlerinin sentezini gerçekleştirmiştir. MWCNT'ler ABS reçinesi içinde dağıtıldı ve daha sonra, MWCNT içerikleri ağırlıkça %0,5, %1, %1,5, %2, %3 veya %4 olan filament formunda tek şaftlı bir ekstrüderden ekstrüde edildi. Ekstrüzyondan sonra filamanların çapı yaklaşık 1,75 mm oldu ve 3D yazıcı basımı için uygun oldu. ABS-MWCNT kompozit filamenti çekme testlerine tabii tutulmuştur ve sonucunda %2 MWCNT içeren ABS numunesi, saf ABS numunesine göre %42'lik artış ile en yüksek mukavemet değerinde olduğu tespit edilmiştir.

Oran ve diğ. (2022), yaptıkları çalışmada ağırlıkça %3, 5 ve 10 dolgu içeriğine sahip MWCNT/ABS nanokompozit filament oluşturmuşlardır. Bunun için de 3D baskı için özel olarak tasarlanmış bir ekstrüder hazırlanmıştır. MWCNT nano dolgu maddesinin ABS'ye eklenmesiyle birlikte 3D baskılı numunelerin gerekli testler sonucunda çekme modülü ve termal özellikleri önemli ölçüde iyileştirildiği, ancak kopma uzaması ve darbe dayanımı değerlerinde önemli ölçüde azalma görüldüğü tespit edilmiştir.

Aiman ve diğ. (2020), yaptıkları çalışmada iki farklı filament olan ABS ve PETG filamentleri ile modüler mobilya için köşe birleştirmeler üzerinde çekme ve eğilme testleri gerçekleştirmiştir. Mekanik özellikleri daha iyi sonuç verdiği için nihai prototip PETG filamenti ile yapılmıştır. PETG ile yapılan birleştirme 730 kg'a eşdeğer olan 7300 N yüke kadar dayanım sağladığı tespit edilmiştir. Malzeme kullanımı olarak daha az üretim maliyeti olduğu gözlemlendi ve bunun yanı sıra 3D basılmış modüler mobilya köşe birleştirmesinin beklenenden daha sağlam olduğu ve tamamen işlevsel olduğu tespit edilmiştir.

Yan ve diğ. (2024), yaptıkları çalışmada rezorptif iskeleler veya ilaç dağıtım platformları tasarlanırken partikül açısından önemli olan PETG, PLA'dan daha az biyolojik olarak parçalanabilir durumda olduğunu gözlemlemiştir. Genel olarak, yüksek çekme mukavemeti ve yüksek bozunma sıcaklığı gibi piyasadaki diğer termoplastiklerden daha iyi performans gösteren PETG'nin faydalı nitelikleri, PETG'yi ucuz ve etkili bir biyomalzeme yaptığını öne sürerek daha çok tıbbi alanlarda PETG kullanımının önemini vurgulamıştır.

Mallek ve diğ. (2025), yaptıkları çalışmada PETG filamentini ve karbon fiber ile güçlendirilmiş PETG filamentini farklı baskı açılarıyla farklı dolgu şekillerinde baskısını alarak çeşitli deneylerde test etmiştir. Çalışmada Auxetic petek yapısı, altıgen yapıya kıyasla üstün darbe direnci göstermiştir. Bunun yanı sıra karbon fiber eklenmiş PETG numunelerinin önemli ölçüde direnci ve darbe dayanımının arttığı gözlemlenmiştir.

Araştırmacılar, farklı dolgu malzemelerini kullanarak PLA'nın çeşitli özelliklerinin nasıl iyileştirilebileceğini araştırıyorlar. Dolgu ve takviye malzemeler ile birlikte, PLA'nın mekanik, elektriksel ve termal özelliklerini iyileştirebilir olduğu gözlemlenmiştir (Antunes ve diğ., 2014, Orisekeh ve diğ., 2025).

Smardzewski ve Wojciechowski, (2019), yaptıkları çalışmada ahşap ile kompozit PLA filament kullanarak dış katmanları HDF olan 3 katmanlı sandviç panelin çekirdek kısmını tasarlamıştır. Elde edilen eğilme testleri sonucunda 3D yazıcı ile çıktı alınan çekirdek parçasının destek kısımlarının ve bağıl yoğunluk ile mekanik özelliklerinin doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir.

Ntintakis ve diğ. (2019), yaptıkları çalışmada 3D yazıcı metodu olan “Inject Binder” teknolojisini kullanarak 3D yazıcı ile 10, 15 ve 20mm olmak üzere 3 adet birbirinden farklı duvar kalınlığına sahip sandalye ve masa prototipleri ortaya koymuştur. Prototipler üzerinde basınç testleri yapılmıştır. Testlerin sonucunda masa ve sandalye prototiplerinde duvar kalınlığının arttıkça basınca karşı dayanımının daha çok arttığı fakat elastikiyetini kaybettiği gözlemlenmiştir.

PETG, üretim aşamasında polietilen tereftalata glikol düzenleyici eklenerek elde edilen sağlık sektöründe vazgeçilmez bir malzemedir (Hassan ve diğ., 2020, Bharatish ve diğ., 2025). Yapılan çalışmalarda bu modifikasyon, PETG'nin esnekliğini, tokluğunu ve korozyon direncini artırarak onu tıbbi ve tıbbi olmayan uygulamalar için uygun hale getirdiği gözlemlenmiştir.

Bunun yanı sıra Bartolo ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada Biyo-uyumluluk gibi özel karakteristiklerinden biri göz önüne alındığında, PETG doku mühendisliği, ilaç dağıtımı, cerrahi aletler, diş bileşenleri vb. alanlarda uygulamaları bulunduğunu öne sürmüşlerdir. (Bharatish ve diğ., 2025).

Rouf ve diğ. (2022), yaptıkları çalışmada, 3D yazıcı çıktılarının parametre ayarlamalarının baskısı alınan parçaların mekanik ve tribolojik özellikleri üzerinde önemli etkisi olduğunu vurgulamıştır. Bunun yanı sıra baskısı alınacak parçanın kullanım alanına ve amacına uygun şekilde parametrelerinin ayarlanması, malzeme seçimi ve o amaç üzerinde bir standart oluşturmanın öneminden bahsetmiştir. Amaçlanan kullanıma göre optimize edilmiş baskı sonucunda istenilen özelliklerde parça üretimini gerçekleştirmektedir

Aw ve diğ. (2018), yaptıkları çalışma göstermiştir ki, 3D yazıcı ile üretilen malzemelerin çekme, dinamik mekanik ve termoelektrik özelliklerini doğrudan etkileyen parametreler dolgu yoğunluğu ve baskı deseni olmaktadır.

Kumaresan ve diğ. (2025) yaptıkları çalışmada PETG filamenti ile modelin iç ve dışı olmak üzere 2 farklı dolgu şekili, 2 farklı baskı açısı olarak çeşitli parametreler ile detaylı bir test düzeneği kurmuştur. Sonuçlar, baskı açısının ve dolgu deseni optimizasyonunun baskısı alınan numunenin mekanik mukavemeti önemli ölçüde etkilediğini, rectilinear dolgu ve raster açısının 0◦'de en yüksek çekme ve eğilme mukavemetlerini sağladığını gösterdi. Aksine, düz çizgi desenli dolgu yapılandırmaları, zayıf katmanlar arası bağlantıları ve gerilim konsantrasyonundan dolayı daha düşük mekanik performansları sergilediği çalışmada gözlemlenmiştir.

Yang ve Du, (2022) 3D baskı teknolojisinin mobilya imalat sektöründe uygulanması ve entegre edilmesi hakkında çalışma yapmıştır. Bunun yanı sıra 3D baskı işlemiyle birlikte üretim sürecinin 3 ana faktörden oluştuğu belirtilmiştir. Bu faktörler sırasıyla;

1- Sanal 3D modelin edinilmesi veya oluşturulması ve format dönüşümünün gerçekleştirilmesi,

2- 3D yazıcı ile modelin basımının gerçekleştirilmesi,

3- 3D basım işlemi sonrasında temizlik, destekleri kırpma ve boyama gibi baskı sonrası işlemlerin uygulanması.

Yang ve Du, (2022), yaptıkları çalışmada Hollandalı tasarımcı olan Drik Vander Kooij'in "Endless Flowing" adı altında tasarladığı 3D yazıcıdan basılmış sandalyeler hakkında bilgi vermiştir. 3D yazıcılar basım işlemindeyken genellikle ileri ve geriye doğru hareketlerde bulunurlar. Fakat Kooij bunun aksine yazıcıya birden fazla yönde baskı yapmasına izin vermiş ve son ürün için benzersiz görünüm elde etmiştir.

Lubombo ve Huneault, (2018), yaptıkları çalışmada PLA filamenti ile farklı iç dolgu şekilleriyle, farklı iç dolgu yoğunluğu ile aynı test objesi basarak, hangi iç dolgu şeklinin mekanik performansının daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. İç dolgu şekilleri ise altıgen, üçgen, kare, ızgara ve güçlendirilmiş kare olmaktadır. Test yöntemi olarak numuneler çekme ve eğilme testine tabii tutulmuşlardır. Bunun yanı sıra aynı iç dolgu şekilleri farklı doygunlukta basılıp testlere tabii tutularak mukavemet ve sağlamlık değerleri de ölçülmüştür. Deney sonuçları ise;

1- Tek eksenli çekme yüklemesi için kare dolgulu yapı, spesifik çekme modülü ve mukavemet açısından en iyi mekanik performansa sahip olduğu tespit edilmiştir.

2- Altıgen dolgu spesifik eğilme modülü ve hem kenar hem de genel yüzeyde mukavemet açısından en iyi mekanik performansa sahip olduğu tespit edilmiştir.

3- Yapılan deneylerde duvar sayısını ve yoğunluğunu arttırmanın, çekme ve eğilme yüklemeleri altında hem sertliği hem de mukavemeti arttırdığı tespit edilmiştir.

Mahesh ve diğ. (2023), yaptıkları çalışmada üretim parametreleri için optimum kombinasyonlarını bulmak için proses parametrelerini 3D baskılı PLA ve PETG numunelerinin çekme mukavemeti üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırma için deney setinde dolgu deseni, dolgu yoğunluğu, katman kalınlığı ve nozzle hızı gibi parametreler bulunmaktadır. Deneyler ise çekme test cihazı ile gerçekleştirilmiş ve çekme mukavemetini en üst düzeye çıkarmak için kullanılan parametreler;

PLA: Dolgu deseni-üçgen, dolgu yoğunluğu %50, katman kalınlığı 0,3 mm ve nozzle hızı 90 mm/s olmaktadır.

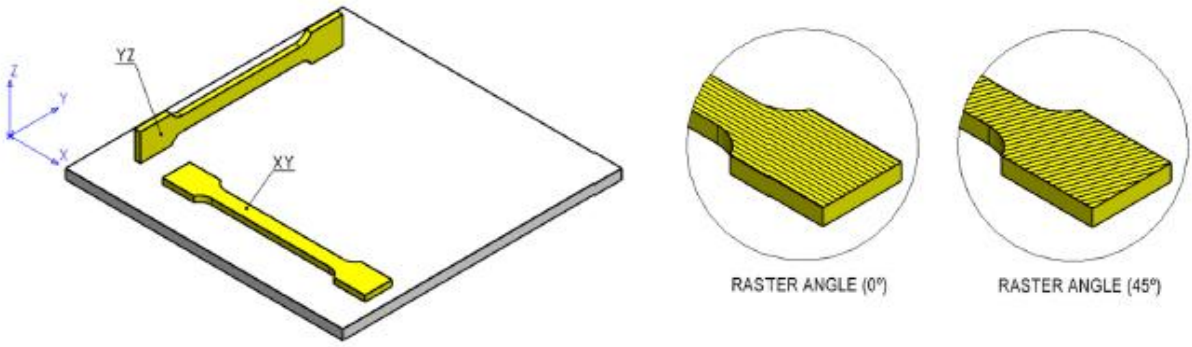
PETG: Dolgu deseni-üçgen, dolgu yoğunluğu %50, katman kalınlığı 0,3 mm ve nozzle hızı 90 mm/s olmaktadır.

Deneyden elde edilen sonuç ise, PLA numunelerinde katman kalınlığı etkisinin daha fazla iken, PETG numunelerinde ise dolgu deseninin etkisinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Fayazbakhsh ve diğ. (2019), yaptıkları çalışmada PLA filamenti üzerinde yaptığı deneylerde dolgu şeklinin üzerine yapılan yükleme şekline göre raster açısının (Şekil 8) paralel ve düz şekilde olduğunda %20 daha fazla hasara karşı tolerans gösterdiğini açıklamıştır. Bunun yanı sıra kuvvetin uygulandığı yöne doğru uygulanan düz dolgu şeklinin çekme direncine de aynı etkiyi gösterdiğini gözlemlemiştir.

Bir başka benzer yapılan çalışmada ise; PLA filamentinden 3D baskısı alınan bir parçanın çekme ve kırılma direncinin;

- Baskı yönüne (Yatay ve dikey)
- Raster açısına (0^o,45^o,90^o)
- Katman kalınlığına (0,15mm ve 0,40mm)
- Baskısı alınan parçanın kalınlığına (4mm ve 10mm)
- Filament rengine



Şekil 2.1: Baskı yönü ve raster açısı (Martins ve diğ. 2024).

Bağlı olarak etkilerini ayrıntılı olarak incelemiştir. Deneyler sonucunda tüm açılarda Young modülü numuneler dikey bir şekilde basıldığında daha yüksekken çekme direnci yatay şekilde baskı alımında daha yüksek olmuştur. Bunun yanı sıra çekme direnci ve Young modülünde en yüksek dayanıma sahip renkli PLA filamentler mor ve kırmızı filamentler

olmuştur. PLA filamentlerde yapılan deneyde Young modülü en düşük turuncu renkli filamentte iken, çekme direnci ise beyaz renkli filamentte gözlemlenmiştir (Marşavina ve diğ., 2022).

Bunun yanı sıra Algarni ve Ghazali, (2021), PLA, ABS, PEEK (Poliariletereterketon) ve PETG filamentleri üzerinde yapılan mekanik deneylerden elde edilen sonuca göre bu 4 filamentin de mekanik özelliklerini etkileyen en önemli unsur % olarak etki eden iç doluluk oranı olduğunu tespit etmiştir.

Hsueh ve diğ. (2021), yaptıkları deneyde baskı sıcaklığı arttıkça PLA ve PETG malzemelerinin mekanik özelliklerinin arttığını tespit etmiştir. Bunun yanı sıra PLA malzemesinin baskı hızı arttıkça, PETG malzemenin ise baskı hızı azaldıkça mekanik özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir. Mekanik özellikleri Young modülü göz ardı edildiği taktirde PLA filamentinin mekanik özelliklerinin PETG filamentine göre daha yüksek olduğunu tespit etmiştir.

Fini ve diğ. (2025), yaptıkları çalışmada, 10 mm çapında borular için üretilen bağlantı elemanları üzerinde hidrostatik basınç testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 2.1: Çeşitli filamentlerin basınç ve tork dirençleri (Fini ve diğ., 2025)

Malzeme	Maksimum Dayanılan Basınç (MPa)	Maksimum Sıkma Torku (Nm)
PETG	4.551 ± 0.138	12.5
PLA	2.275	7.5

PETG'nin, PLA'ya kıyasla yaklaşık iki kat daha yüksek basınca dayanabildiğini ve PETG'nin, daha yüksek torkla sıkılabildiğini ve bunun da daha sağlam bir bağlantı sağladığını ortaya koymuştur. Torktan gir. Bunun yanı sıra Fini ve diğ. (2025), çalışma kapsamında 10 mm çapında borular için 3D yazıcıyla üretilen bağlantı elemanlarının maliyetlerini hesaplamış ve çıkan sonuca göre benzer boyuttaki ticari bağlantı elemanlarının maliyetlerinden 3 ila 17 kat daha düşük olduğu ve PLA'nın PETG'ye göre daha ucuz olduğu gözlemlemiştir.

Ribeiro ve diğ. (2025), yaptıkları çalışmada PLA ve PETG filament temelli bağlantı elemanlarını eğimli yüzeylere yapıştırarak mekanik testler yapmışlardır. Çalışma sonucunda

PLA + Sikaforce 7752 yapıştırıcısi ile: Genellikle yapıştırıcı içinde kohezyonel kırılma gözlenmiş. Bu, PLA'nın yapıştırıcıdan önce kırılmadığını ve yapıştırıcının zayıf halka olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra PETG + her iki yapıştırıcı**:** Genellikle adherend (parça) kırılması olmuş. Bu, PETG'nin yapıştırıcıdan önce kendisinin hasar gördüğünü gösteriyor. Daha sert ve güçlü bağlantılar için PLA tercih edilebilirken, daha esnek ve darbe dayanımı yüksek bağlantılar için PETG uygun olabilir.

Bembenek, Kowalski ve Kosoń-Schab, (2022), yaptıkları çalışmada 57'şer adet PETG ve PLA örnekleri üzerinde çekme dayanımlarını test etmiştir. Parametre değişikliklerinde baskı sıcaklığı, katman yüksekliği, dolgu şekli, dolgu oranı, raster açısı ve baskı yönü olmak üzere birbirinden farklı parametreler ile çalışmıştır. Çalışmanın sonucunda PLA 'nın PETG numunelere göre daha yüksek çekme direnci olduğu belirlenmiştir.

Ekrem ve Yılmaz, (2025), yaptıkları çalışmada PLA, PETG ve ABS filamentlerinden basılan numunelerin Çekme testleri sonucunda PETG numunelerinde maksimum gerilme 51,3 MPa, PLA ve ABS numunelerinde ise sırasıyla 48 MPa ve 42,8 MPa olarak belirlemiştir. Bunun yanı sıra elastisite modülü 1346,4 MPa ile PLA numunelerinde en yüksek, PETG ve ABS numunelerinde ise sırasıyla 905,6 MPa ve 1030 MPa olarak Ekrem ve Yılmaz, (2025) tarafından bulunmuştur. İlgili ortaya koyulmuş filamentlerin mekanik özellikleri Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2.2: Çeşitli filamentlerin mekanik özellikleri (Ekrem ve Yılmaz, 2025).

Mekanik Özellikler	**PLA**	**PETG**	**ABS**
Elastisite Modülü (MPa)	1346.4±20	905.6±10	1030.0±15
Max. Gerilme (MPa)	48.0±2	51.3±2	42.8±1
Max. Gerilme (%)	5.22±0.1	9.65±0.1	8.36±0.1
Sertlik (kJ/m³)	159.2±5	334.4±8	256.7±7

Prajapati ve diğ. (2024), yaptığı çalışmada birden çok araştırmacının yaptığı mekanik testleri karşılaştırmış ve Nugraha ve diğ. (2023), bir literatür çalışmasına göre PLA için yoğunluk (1250 Kg/m3), çekme dayanımı (65 MPa) ve eğilme dayanımı (75 MPa) dahil olmak üzere en büyük mekanik özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. Ancak Ronca ve diğ. (2022), göre yoğunluk (1270 Kg/m3), çekme dayanımı (50 MPa) ve eğilme dayanımı (73 MPa) gibi mekanik özellikler PETG için en iyisi olduğunu ortaya koymuştur.

Martins ve diğ. (2024), yaptıkları çalışmada PLA ve PETG filamentinden baskısı alınan numunelerine tek eksenli çekme testleri uygulamıştır. Test bulgularına göre PLA numuneleri çekme direnci ve Young modülü sonuçlarında PETG numunelerine göre çok daha mukavemetli bulunmuştur. Ancak PETG numuneleri gerinim değerlerinde PLA numunelerine göre daha iyi olduğu Martins ve diğ. (2024) tarafından ortaya konmuştur. Test sonuçları Tablo 3'te görülmektedir.

Tablo 2.3: PLA ve PETG mekanik özellikleri (Martins ve diğ. 2024).

XY Yön			
Malzeme	**Çekme Direnci [MPa]**	**Young Modülü [MPa]**	**Maksimum Uzama [%]**
PLA	54,9 ± 1,73	2451,4 ± 81,12	4,1 ± 0,17
PETG	32,9 ± 1,77	1109,6 ± 36,27	7,3 ± 1,38
YZ Yön			
Malzeme	**Çekme Direnci [MPa]**	**Young Modülü [MPa]**	**Maksimum Uzama [%]**
PLA	54,9 ± 4,82	2245,7 ± 114,80	4,5 ± 0,32
PETG	40,9 ± 1,64	1290,7 ± 36,02	5,7 ± 0,66

Literatür özetinden de anlaşıldığı üzere çekmece raylarının açılıp kapanmasına, mukavemet değerlerine ve yük taşımasına karşı olan bilgiler sınırlı olmaktadır. Fakat yapılan benzer çalışmalarda kullanılan standartların BS EN 14074:2004 ve BS EN 16122:2012 olduğu tespit edilmiştir.

Mobilyaların depolama ve saklama işlevselliğinde önemli değere sahip olan çekmeceler ve rayları için literatür özetinde büyük kayıpların olduğu görülmektedir. Diğer ve benzer disiplinlerde çekmece işlevi, ray hareketleri, 3D yazıcı ile bağlantı elemanı çıktısının alınması, farklı elemanlarda geleneksel malzeme yerine filament malzeme kullanımı gibi benzer çalışmaların olduğu görülmektedir.

Bunun yanı sıra saf PLA ve saf PETG üzerinde farklı kompozit malzemelerin eklenmesi, farklı parametrelerde baskı işlemlerinin alınması gibi çalışmaların olduğu ve yeni malzemeler ile AM teknolojisinin test edildiği ve tüm çalışmalarda eklentili malzemelerin saf versiyonlarına göre daha kuvvetli olduğu görülmektedir. Ancak çekmece raylarının yeni bir tasarımla, 3D yazıcı ile çeşitli filament temelli baskı alınıp ve mekanik davranışlarının, mukavemet değerlerine yönelik testlerinin literatürde eksik olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada kullanılacak olan teknikler ve metodolojiler mobilya endüstrisi açısından diğer

çalışmalara göre farklı olup, sonraki araştırmalara ve çalışmalara bir temel oluşturabilmesini amaçlayan, bunun yanı sıra literatürdeki çekmece rayları çalışma alanı içinde olan eksikliklerin giderilmesine yardımcı olacak, orman endüstrisinde yer alan CAD/CAM ve 3D yazıcı entegrasyonuna önemli bir katkı sağlayacak özgün bir çalışmadır.

Çalışmada amaç; modern ve demonte mobilyalarda bulunan yüklük veya depolama olarak kullanılan çekmece raylarının, çekmece ile 10kg yük altında işlevini yerine getirebilen, yeniden modellenmiş ve 3 boyutlu yazıcıdan PLA ve PETG filamenti ile baskısı alınmış yeni çekmece rayları üretip yük altındaki mekanik davranış özelliklerini ve davranışlarını ilgili standartlar ışığında incelemek ve araştırmaktır. Bununla birlikte bu çalışmada farklı malzeme kullanımı ile Türkiye mobilya endüstrisindeki üretim için mevcut koşullar adına ekonomik ve teknik alanda fayda amaçlanmıştır.

1- Çekmece raylarının bilgisayar destekli tasarım programları ile modellenmesi ve bu sayede ileriye dönük olası problemlerde çözümlerin daha basit olması,

2- Modellenen çekmece raylarının 3 boyutlu yazıcı ile 2 farklı filament malzemesi kullanarak basılması ve maliyetinin hesaplanması,

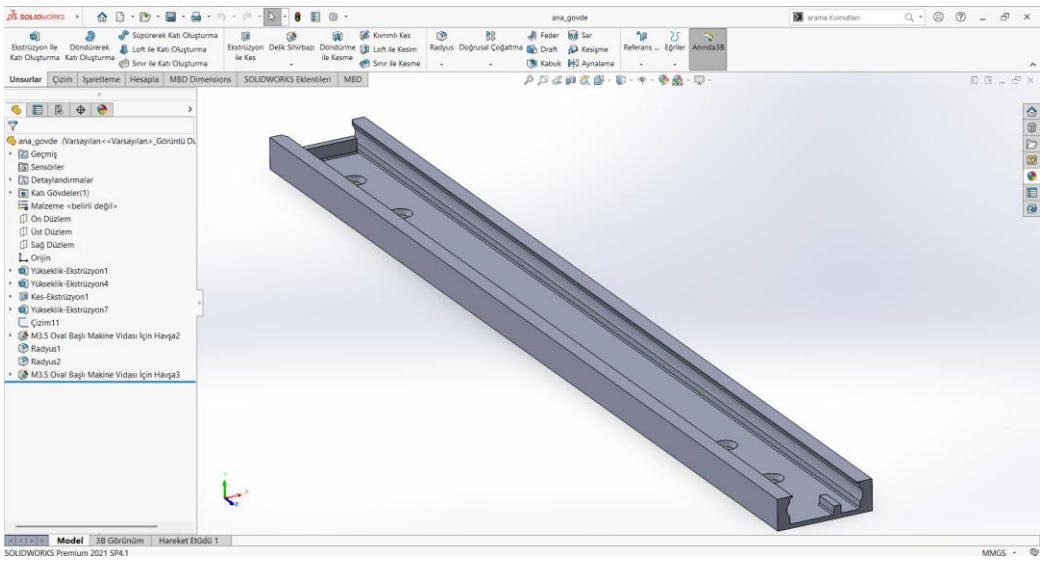
3- Basılan çekmece raylarının kolay bir şekilde montajlanabilir olması ve işlevini yerine getiriyor olması amaçlanmaktadır.

3. YÖNTEM

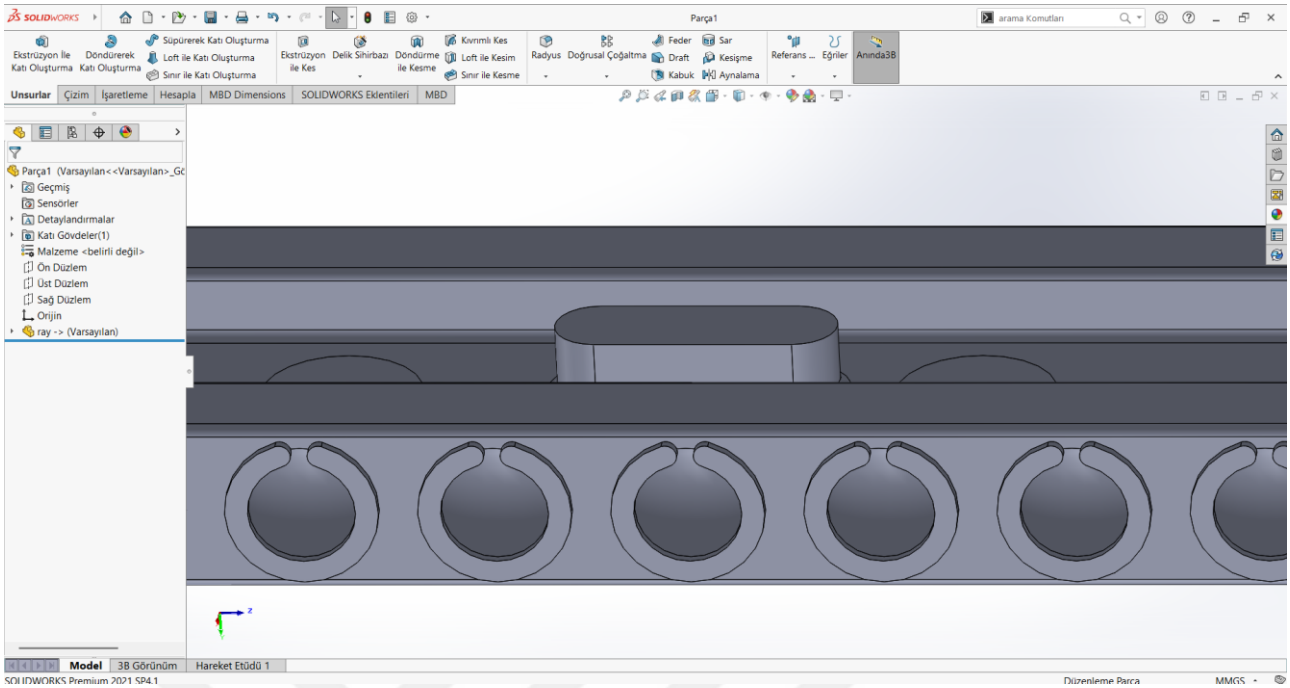
3.1. ÇEKMECE RAYININ TASARLANMASI, MODELLENMESİ VE BASKISININ ALINMASI:

3.1.1. Numune Tasarımı ve Modellenmesi

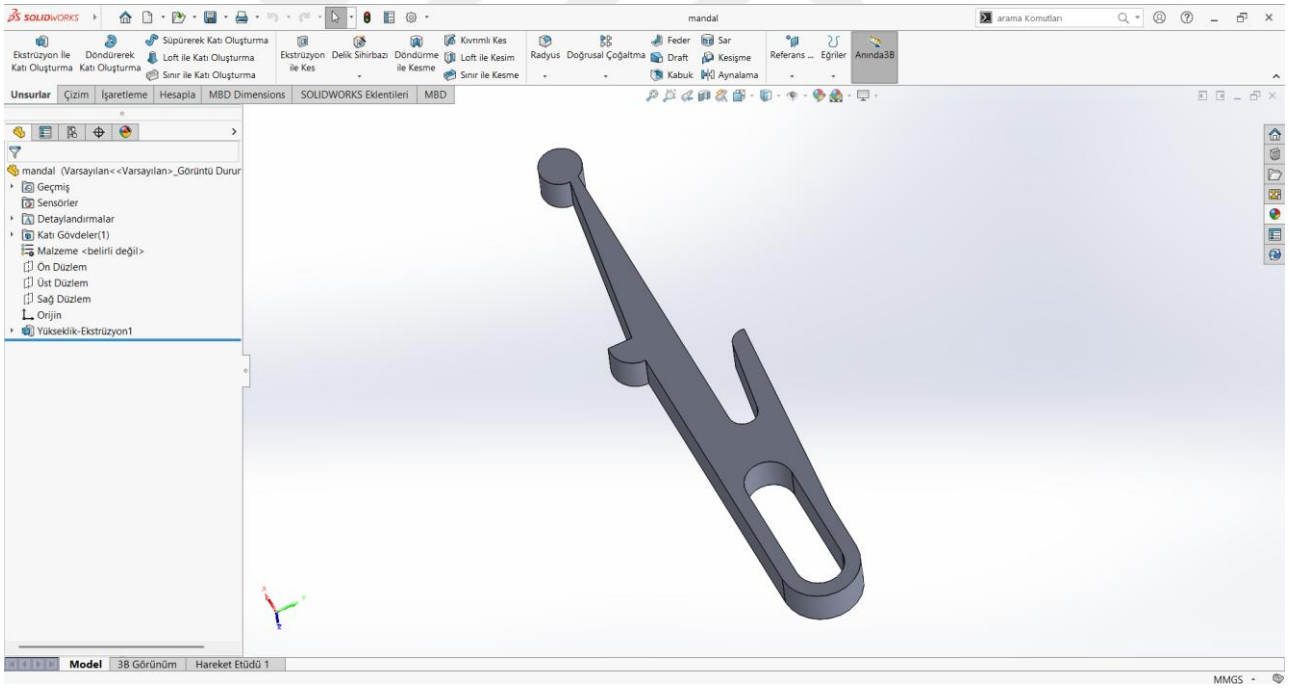
Geliştirilecek çekmece rayı tasarımında dikkate alınması gereken temel unsurlar, hem işlevsel verimliliği hem de 3D yazıcıyla üretime uygunluğu sağlayacak şekilde titizlikle ele alınmalıdır. Ray sistemi, ergiyik yığma modelleme (FDM) yöntemiyle üretileceği için, modelin sade, optimize edilmiş ve üretim karmaşıklığını minimize edecek bir yapıda olması büyük önem taşımaktadır. Mekanik dayanımın artırılması amacıyla, model tasarımında 90° gibi keskin köşelerin kullanımının mümkün olduğunca azaltılması önerilmektedir; zira bu tür geometriler gerilme yoğunlaşmalarına neden olarak yapısal zayıflıklara yol açabilmektedir. Ayrıca, çekmece rayının ana yatağından çıkmasını engelleyecek bir durdurma mekanizmasının tasarıma entegre edilmesi gereklidir (Şekil 9). Ray sisteminin düzgün bir kayma hareketi gerçekleştirebilmesi için, bilyelerin yerleştirileceği özel yataklar oluşturulmalı ve bu bilyelerin çalışma sırasında yuvalarından çıkmaları engellenmelidir (Şekil 10). Bununla birlikte, çekmece rayının gövde kısmına kolaylıkla takılıp çıkarılabilmesini sağlamak adına, bir mandal sistemi de tasarıma dâhil edilecektir (Şekil 11). Bu yaklaşım hem montaj kolaylığı sağlayacak hem de bakım süreçlerini pratik hâle getirecektir.



Şekil 3.1: Kabine bağlanan gövde kısmı.



Şekil 3.2: Çekmeceye bağlanan rayın bilye kafesleri.



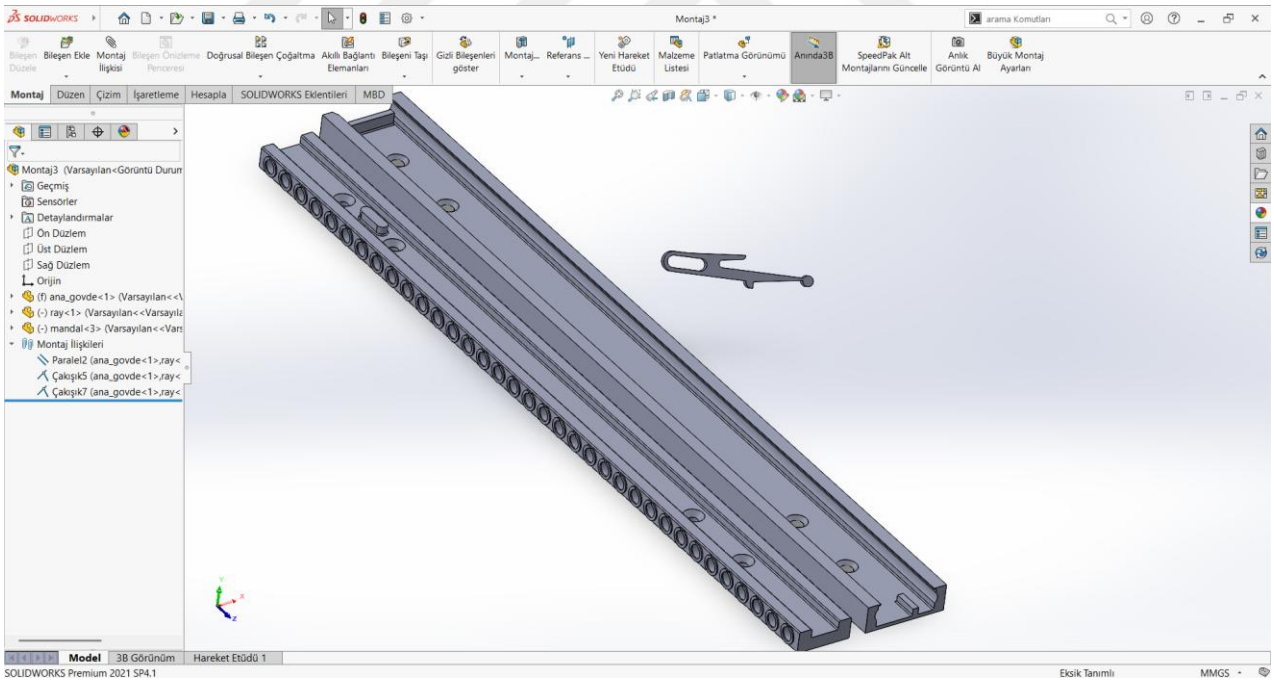
Şekil 3.3: Çekmece kilit mandalı.

Bu unsurlar çekmece rayının optimum şekilde işlevini yerine getirmesini sağlayacaktır. Tasarımdaki ana unsurlar;

- Tasarımın tokluğu ve rijitliği,

- Yüksek mukavemet değerlerini sağlamak ve kırılma, esneme gibi deformasyonları engellemek için ince yüzeylerden kaçınma,
- Kilit sistemini başarılı bir şekilde entegre etme,
- Kullanılacak bilyeler için ray kısmına bilye yuvalarının entegre edilmesi,
- Tasarımın bütününü oluşturan parçaların kolay montajlanabilmesi olmaktadır.

Çekmece raylarının modellenmesi ise bilgisayar ortamında, bilgisayar destekli tasarım programı olan Solidworks üzerinden olacaktır. Modelin rijitliğinin de sağlanması için tasarımda homojenliğe önem verilecek ve model stereolitografi yani stl (Standard Triangle Language – Standard Üçgen Dili) formatından, g kodlarına dönüşürken karmaşıklık olmaması için modelleme programında (Creality Print 6.1) gereksiz adımlardan kaçınılacaktır. Modelleme ve tasarım yapılırken en sık kullanılan düz bilyeli çekmece rayları baz alınacaktır. Numunenin modelleri Şekil 12'de görülmektedir.



Şekil 3.4: Genel ray seti.

3.1.2. Yazıcı Seçimi

3D yazıcı seçiminde birden çok faktör bulunmaktadır. Bu çalışmada göz önünde bulunması gereken en önemli parametreler ise yazıcının tabla büyüklüğü, baskı hızı ve tabla ile nozül sıcaklığının istikrarlı bir şekilde korunması olmaktadır.

- Tabla büyüklüğünün en önemli parametrelerden birinin olmasının nedeni baskısı alınacak rayların standart 3D yazıcıların tabla büyüklüğünden (256x256mm) daha büyük olmasından kaynaklıdır.

- Kullanılacak yazıcının hızlı olması ve hızlı olmasının yanı sıra bir o kadar da baskıyı minimum hata ile basması önem taşımaktadır. Ne kadar az hata o kadar az malzeme sarfiyatı olmaktadır. Hız ile birlikte de harcanan enerji miktarı düşüşü ile maaliyette de düşüş olacaktır.

- Tabla ve nozül sıcaklığının istikrarlı bir şekilde gerekli sıcaklıkta korunması ile harcanan enerji miktarını düşürecektir. Bu parametre koşullarını sağlayan yazıcı tipinde ise kabin tipi kapalı yazıcılar olmaktadır. Açık kabin yazıcılarda sürekli bir ısı kaybı olmaktadır ve böylelikle sürekli bir enerji harcaması olmaktadır.

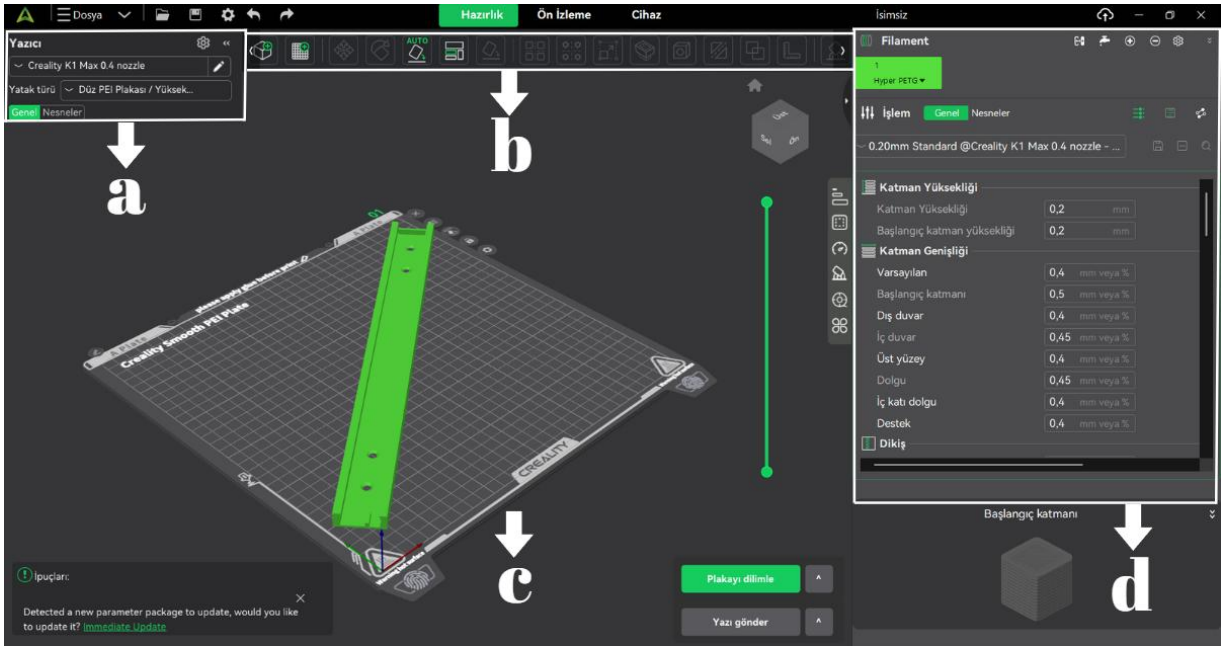
Bu parametrelere ve özelliklere uygun olan yazıcı Şekil 13'te görülmektedir.



Şekil 3.5: Creality K1-Max yazıcı.

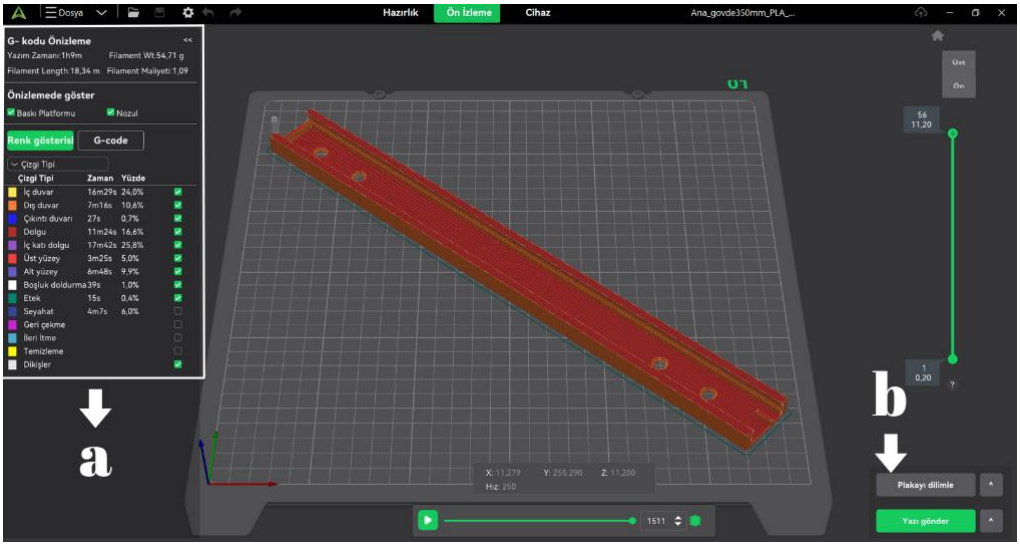
3.1.3. Yazıcının Çalışma Prensibi, Baskı Alımı ve Dilimleme

3D yazıcının çalışma prensibi cihaza gelen g kodlarını okuyarak, g kodlarına göre x, y ve z ekseninde hareket edip, saniyede gerekli miktarda gerekli yere filamenti püskürterek katman katman ilerlemesidir. Yazıcının g kodlarını düzgün bir şekilde uygulayabilmesi ve yerine getirebilmesi için modellenen tasarımların dilimlenmesi gerekmektedir. Modellenen tasarım stl. haline getirilir ve 3D yazıcının modeli anlayıp baskı alabilmesi için dilimleme programı yoluyla stl. biçiminin gcode. biçimine aktarılması gerekmektedir (Şekil 14).



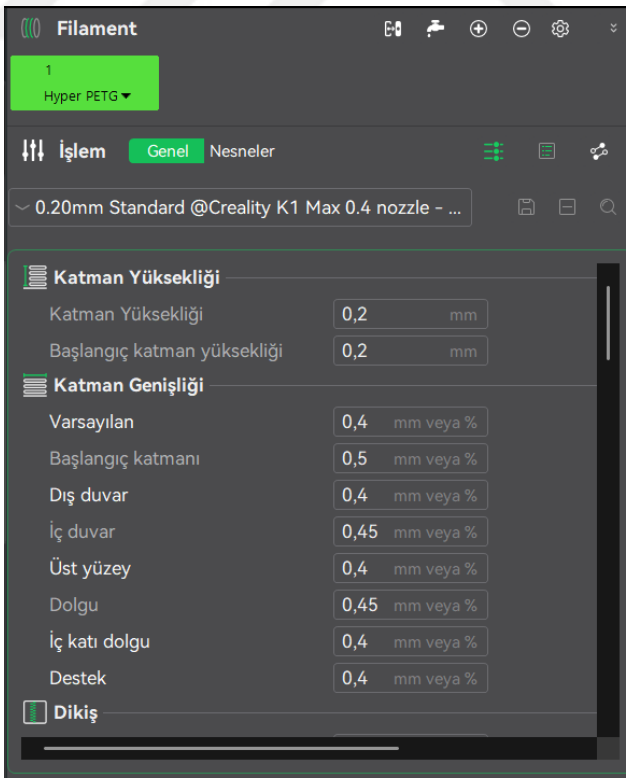
Şekil 3.6. Creality Print 6.1 a) yazıcı ve yatak model seçim alanı, b) modelin yön ve konum ayar sekmesi, c) model ön izlemesi, d) özel baskı parametre sekmesi.

3D yazıcı üzerinde baskıyı almadan bir önceki adım dilimleme işlemi olmaktadır. Dilimleme işlemi bilgisayar üzerinden harici dilimleme programları ile yapılmaktadır. Dilimleme programları da kendi içinde fonksiyonelliklerine göre değişmektedir, bu noktada çalışmada kullanılan dilimleme programı yüksek fonksiyon ve ayar imkanı sunan Creality Print 6.1 olmaktadır (Şekil 15).



Şekil 3.7. Creality Print 6.1 a) model kısımlarının ne kadar sürdüğünü, kaç gram filament harcandığı, ortalama maliyet hesabı ve modelin baskı süresini gösteren sekme, b) dilimleme butonu.

Çekmece rayı gibi üzerine yük binecek ve yüklü haldeyken yatay yönde hareketler sergileyecek objeler ve parçalar için mukavemet özellikleri çok önemli olmaktadır. Ayar sekmesi Şekil 16'da görülmektedir.

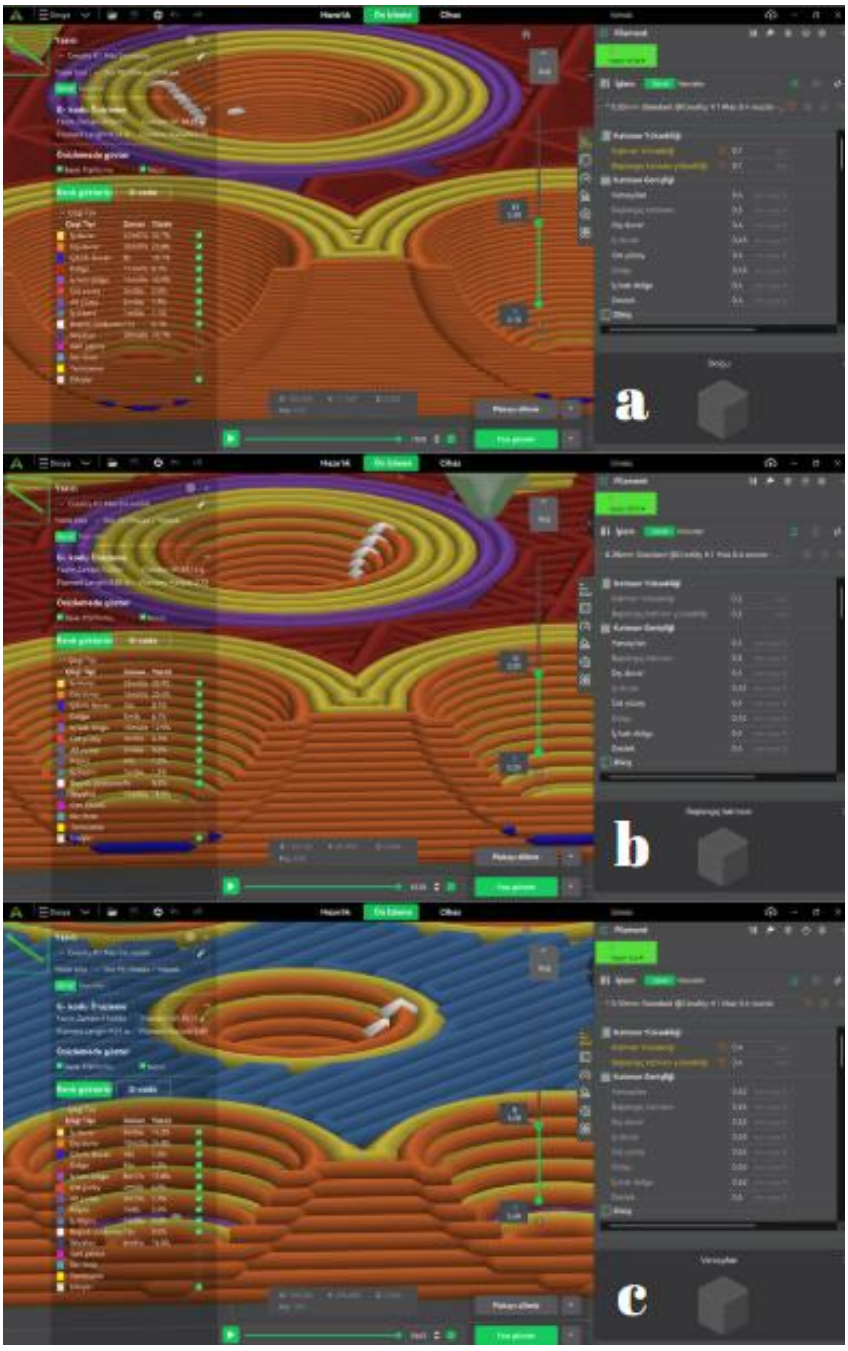


Şekil 3.8. Creality Print 6.1 Örnek Ayar Sekmesi.

Dilimlemede parametreleri değiştirilen ayalar;

- Katman yüksekliği:

Katman yüksekliği ayarı ile her iki katmanın arasındaki mesafenin yüksekliği ayarlanmaktadır. Aradaki mesafe ne kadar az ise baskı alınan objenin katmanları arasındaki tutunma gücü artar ancak baskı süresini ve kullanılan filament miktarını arttırmaktadır. Bu çalışmada katman yüksekliği 0.2mm olarak kullanılacaktır. Aradaki fark ise Şekil 17'de görülmektedir.



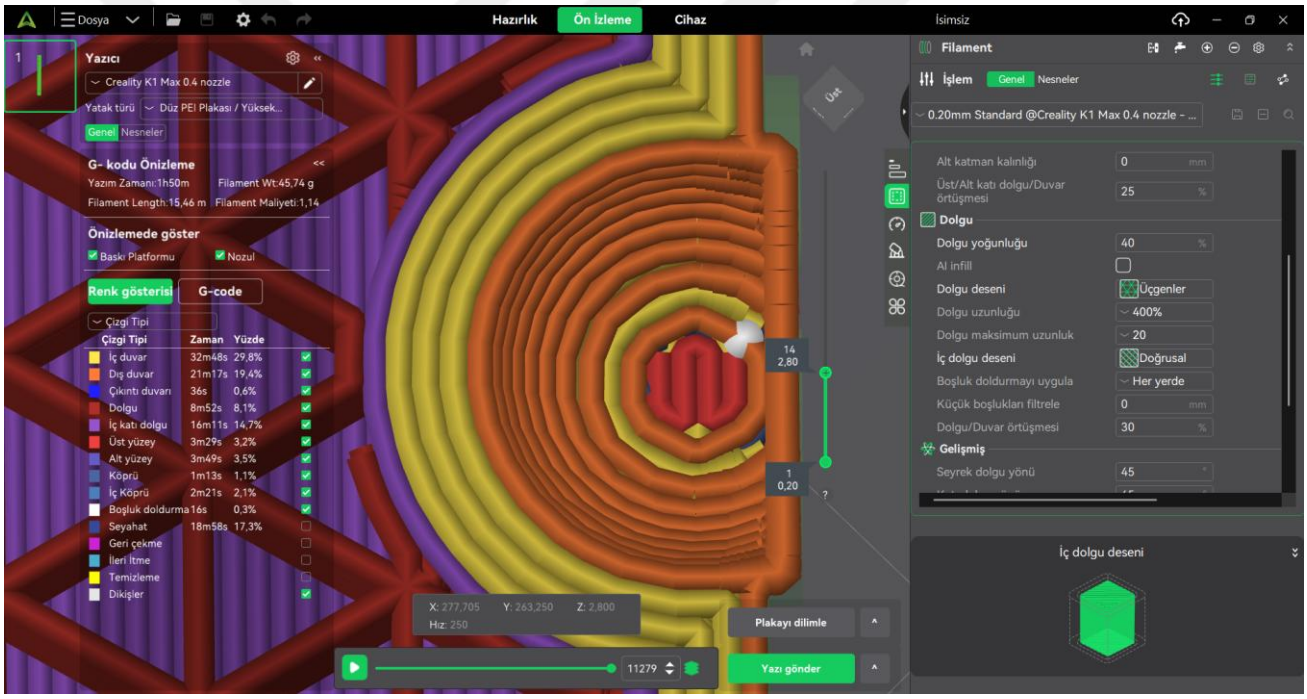
Şekil 3.9: Katman yüksekliği farkı a) 0,1mm b) 0,2mm c) 0,4mm.

- Duvar Kalınlığı:

Duvarlar objenin dış ve iç hatla birleştiği kısımdır. Duvar dayanıklılığı baskının genel stabilitesini ve mukavemetini direkt etkilemektedir. Duvar kalınlığı arttıkça duvarın temas ettiği yüzeyler artar, baskı süresi artar ancak mukavemeti daha yüksek bir baskı elde edilinir. Bu çalışmada duvar kalınlığı 2.4mm olarak kullanılacaktır.

- Duvar Sayısı:

Duvar sayısı ve alternatif iç duvar oluşumları baskının mukavemetini etkilemektedir. Duvar sayısı arttıkça baskı mukavemeti de artar. Bu çalışmada duvar sayısı 3 adet olarak kullanılacaktır (Şekil 18).



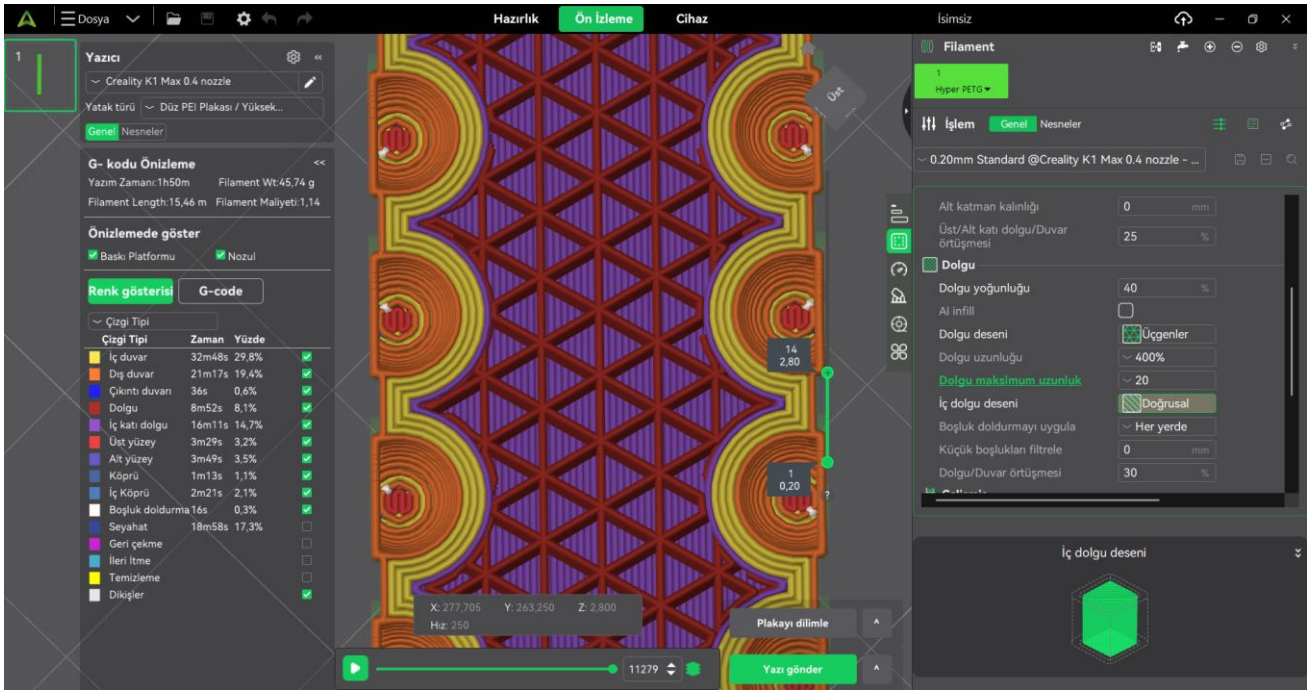
Şekil 3.10: Baskı duvar sayısı dilimi.

- Dolgu Yoğunluğu:

Dolgu yoğunluğu baskının duvarları ve kabuk kısmı haricinde her yere belirli bir desende ve belirlenen yoğunluğa göre desenlerin miktarının değişmesiyle baskının mukavemetini etkilemektedir. Dolgu yoğunluğu arttıkça baskı alınan objenin iç kısmında kalan boşluk miktarı o kadar azalmaktadır. Dolgu yoğunluğu ile doğru orantılı bir şekilde baskı mukavemeti artmaktadır. Bu çalışmada dolgu yoğunluğu %40 olarak kullanılacaktır.

- Dolgu Deseni:

Birden çok dolgu deseni birden farklı amaç için kullanılmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda da farklı mukavemet dirençleri için farklı desenlerde dolgu kullanımı doğrulanmıştır. Mukavemetin daha iyi olması adına yapılan çalışmalarda daha çok kübik ve üçgen dolgular tercih edilmiştir. Bu çalışmada üçgen dolgu kullanılacaktır (Şekil 19).



Şekil 3.11: Baskı dolgu deseni dilimi.

- Nozzle ve Tabla Sıcaklığı:

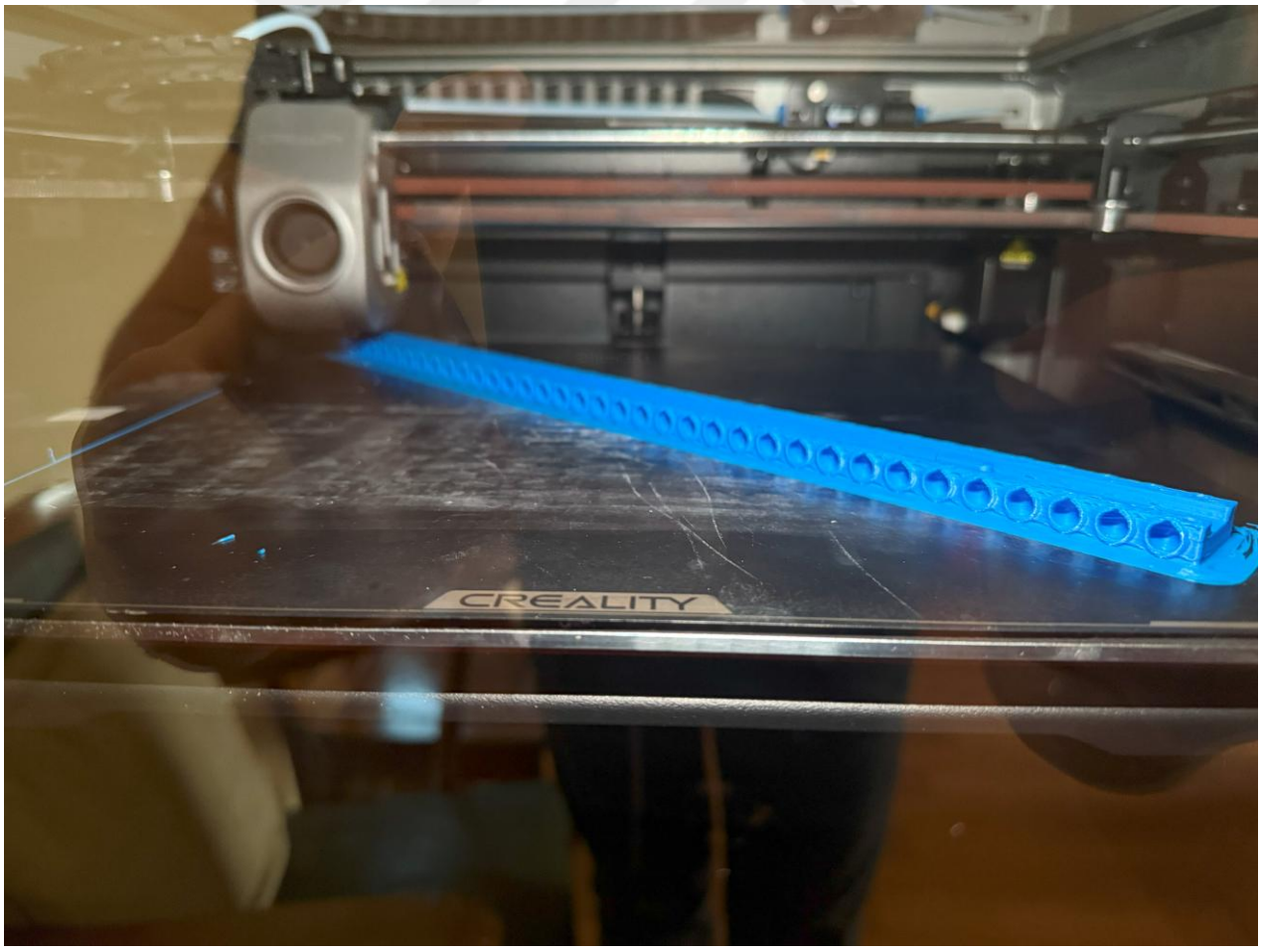
Nozzle ve table sıcaklığı kullanılan malzemeye göre değişiklik göstermektedir. Eğer doğru veya yeterli sıcaklıklarda baskı alınmazsa nozzle'dan filament çıkışı olmaz, tablaya filament yapışmaz veya nozzle içinde tıkanıklıklar meydana gelebilir. PETG filament için nozzle sıcaklığı 220ºC, tabla sıcaklığı ise 90ºC ve PLA filament için 185ºC, tabla sıcaklığı ise 90ºC olarak kullanılacaktır.

- Baskı Hızı:

Baskı hızı ortaya çıkan baskının kalitesini doğrudan etkilemektedir. Daha yavaş baskı hızları daha güvenli ve kusursuz baskılar alınmasına olanak sağlarken, daha hızlı baskı hızları kullanıldığında yazıcının hata yapma ve kusur bırakma olasılığı artmaktadır. Bu çalışmada baskı hızı 50mm/s olarak kullanılacaktır.

Ayarlar sonrasında parça baskısına dair katmanları tek tek gözden geçirebilir ve baskının nasıl olacağı kontrol edilebilmektedir. Ardından dosya dilimlenir ve gcode olarak kaydolur, SD kart veya usb bellek yardımı ile yazıcıya gcode dosyası aktarılır ve yazıcı ucu ve tablası gerekli sıcaklığa geldiğinde baskı işlemi başlar.

Prototip baskılar için %20 iç doluluk, 2 duvar sayısı ve 0.2mm katman kalınlığı uygulanacaktır. Prototip üretiminin ardından orijinal baskılar alınırken Hsueh ve diğ. (2021), Algarni ve Ghazali, (2021), Mahesh ve diğ. (2023) gibi daha önceki yapılmış çalışmalara da uygun bir şekilde dilimleme ayarları entegre edilecektir. Böylelikle %40 iç doluluk oranında, 0.2mm katman kalınlığında, filamente göre baskı hızı, baskı dolgu deseni ve sıcaklığı gibi özelliklerin optimizasyonuyla birlikte ana modellerin baskıları alınacaktır. Baskı esnasında modelin optimum şekilde basılması için, 3D yazıcının tablası alkollü mendille silinecek, tabla seviye ayarlamaları yapılacak ve baskının kolay bir şekilde yapışması için 3D yazıcılara uygun pritlerden sürülecektir. Şekil 20'de örnek baskı alımı görülmektedir.



Şekil 3.12: PETG ray model baskısının alınması.

3.1.4. Malzeme Seçimi

Solidworks ile modellenen çekmece rayları PLA ve PETG olmak üzere 2 farklı filament kullanılarak 3D yazıcı yardımı ile baskısı alınacaktır. Baskı alma işleminde malzemelerin ve kullanılan yazıcının özellikleri, dilimleme ayarları ortaya çıkacak malzemenin ve numunenin mekanik ve mukavemet özelliklerini belirlemektedir. Özellikle mekanik ve mukavemet özelliklerinde kullanılan malzeme doğrudan etkili bir faktör olmaktadır. Bunun yanı sıra kullanım yerine göre de malzemelerin özellikleri değişebilmektedir ve dolaylı bir şekilde numuneyi etkilemesi göz ardı edilmemelidir. Örnek olarak sıcağa karşı toleransı düşük filament ile yapılmış bir obje toleransını aşan sıcak ortamlarda bulunduğu müddetçe eriyecek veya tutucu kısımlarını deforme olacaktır. Böylelikle objenin mekanik ve mukavemet özelliklerini olumsuz yönde etkileyecektir.

Malzemelerin seçiminde dikkat edilen unsurlar ise;

- Malzeme ile yazıcının uyumlu olması,
- Baskı ve tabla sıcaklığı,
- Malzeme yoğunluğu,
- Çekme ve eğilme direnci,
- Kolay baskı alınabilmesi,
- Malzeme fiyatı olmaktadır.

3.2. PLA

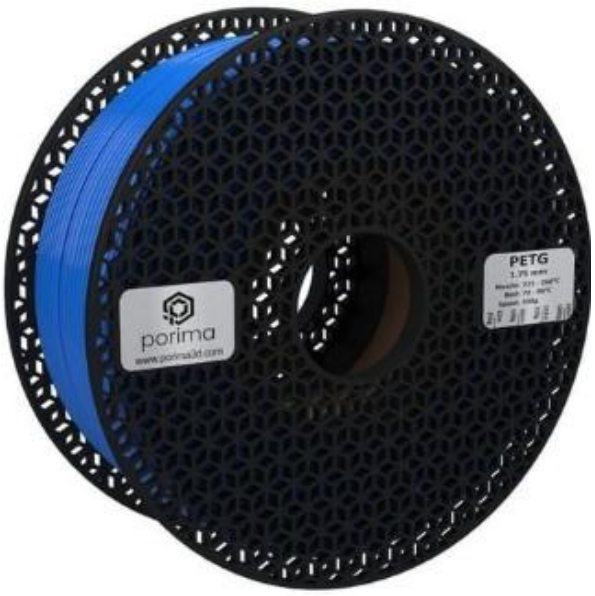
PLA malzemesinin seçimindeki en önemli unsurlar, fiyatının uygun olması, kolay baskı süreci, her yazıcı ile uyumlu olması ve fiyatına göre mukavemet değerlerinin önemli derecede işlevsel düzeyde olmasıdır. Bunun yanı sıra PLA tamamen organik yapıda olduğu için insan sağlığına karşı etkisi bulunmamaktadır. Baskı sürecinde kolaylığının yanı sıra kötü kokular da çıkarmamaktadır. Projede Porima marka PLA kullanılacaktır (Şekil 21).



Şekil 3.13: Çalışmada kullanılan Porima PLA (Porima 2025).

3.3. PETG

PETG malzemesinin seçimindeki en önemli unsurlar, fiyatının uygun olması, kolay baskı süreci, PLA filament ile ABS filamentinin özelliklerini taşıması, sıcaklığa ve kimyasal uyarılara karşı dayanıklı olması ve ideal mukavemet değerlerini barındırıyor olmasıdır. PETG filamentler aynı PLA filamentteki gibi açık yazıcı sistemlerinde de kolaylıkla basılabilir ve basım hızı oldukça yüksek filamenttir. Bunun yanı sıra PETG su sızdırmazlığı açısından da sıkça tercih edilen malzeme olmaktadır. Projede Porima marka PETG kullanılacaktır (Şekil 22).



Şekil 3.14: Çalışmada kullanılan Porima PETG (Porima 2025).

3.4. MONTAJ:

Montaj sürecinde ilk aşama, kabinlerin birleştirilmesi ile başlamaktadır. Kabin montajının adımları Şekil 23'te detaylı olarak sunulmuştur. Kabin ve çekmece arasındaki bağlantılarda kullanılan tüm vidalar, sabit bir tork değeri olan 1,33Nm ile, torkmetre kontrolü altında ve eşit sıkılıkta uygulanarak montajın standardizasyonu sağlanmıştır. Montaj işlemleri, tüm parçaların 3D yazıcıdan üretiminin tamamlanmasının ardından gerçekleştirilmiştir. Toplamda üç ana parçanın üretimi yapılmıştır: ana gövde, ray ve kilit mandalı (Şekil 24). Bunlara ek olarak, ray sisteminin işlevsel bütünlüğünü tamamlamak adına, standart metal çekmece raylarında yer alan metal bilyeler yerine alternatif olarak Airsoft mühimmatında kullanılan BB (bullet ball) tipi plastik bilyeler tercih edilmiştir. Bu bilyeler, genellikle 6 mm çapında olup, yüksek sertlikte plastikten üretilmektedir. 3D yazıcılar ile küresel formdaki nesnelerin yüksek hassasiyetle üretilmesi oldukça zor olduğundan, sürtünmeyi azaltmak ve ray mekanizmasının işlevselliğini artırmak amacıyla hazır BB bilyelerin kullanılması tercih edilmiştir. Aksi takdirde, sistemde bilye bulunmaması, hareketli yüzeylerde sürtünmeye bağlı olarak deformasyon oranını ciddi ölçüde artıracak ve rayın işlevini sağlıklı biçimde yerine getirmesini engelleyecektir.



Şekil 3.15: Kabinlerin montaj aşaması (Şeker 2023).

Montajın ilk aşamasında, ray bileşeni üzerine yerleştirilecek olan 6 mm çapındaki Airsoft BB bilyeler, ilgili yuvalarına tek tek dikkatlice yerleştirilmiştir. Her bir bilyenin yuva içerisine tam olarak oturduğu manuel olarak kontrol edilerek doğrulanmıştır. Bu işlemin ardından, ray bileşeninde yer alan mandal soketine, kilitleme işlevini sağlayan mandal parçası yerleştirilmiştir. Tüm bu işlemler tamamlandığında, çekmece rayının montajı başarıyla gerçekleştirilmiş olur. Ray ve ana gövde parçaları, birbirleriyle uyumlu şekilde geçmeli olarak çalışacak biçimde tasarlanmıştır. Sistem, kilit mandalının yukarı doğru çekilmesiyle açılabilir; bu sayede ray bölümü, ana gövdeden kolayca ayrılabilmektedir.



Şekil 3.16: Çekmece ray setinin parçaları.

Parçaların kabinle montaj kısmında ise ana gövde kabine, raylar ise çekmeceye monte edilir. Montaj işleminde yonga levha vidası olan 3.5mmx16mm boyutlarında olan havşa yıldız başlı M3.5 vidaları kullanılması planlanmaktadır. **400x400x20mm** boyutlarındaki MDF çekmeceye ve **500x400mm** boyutlarındaki MDF kabine, belirlenmiş olan vida delikleri sayesinde toplam 4 tane M3.5 vida ile monte edilecektir. Çekmece ölçüleri, kullanılacak rayın ölçülerine göre montaj kılavuzundan yararlanılarak ortaya çıkarılmıştır. 300'lük kabinde çekmecenin ölçüleri **310x230x70mm** olmaktadır. Ardından rayın monte edildiği çekmece

kabine monte edilen ana gövdeye sokulur ve itilerek kilit mandalını aktif etmektedir. Böylelikle montaj ve birleştirme tamamlanmış olmaktadır ve istendiğinde kilit mandalı çekilerek ana gövdeden ray parçasıyla birlikte çekmece modülü çıkartılabilecektir.

3.5. TESTLER ve DENEYİN YAPILIŞI:

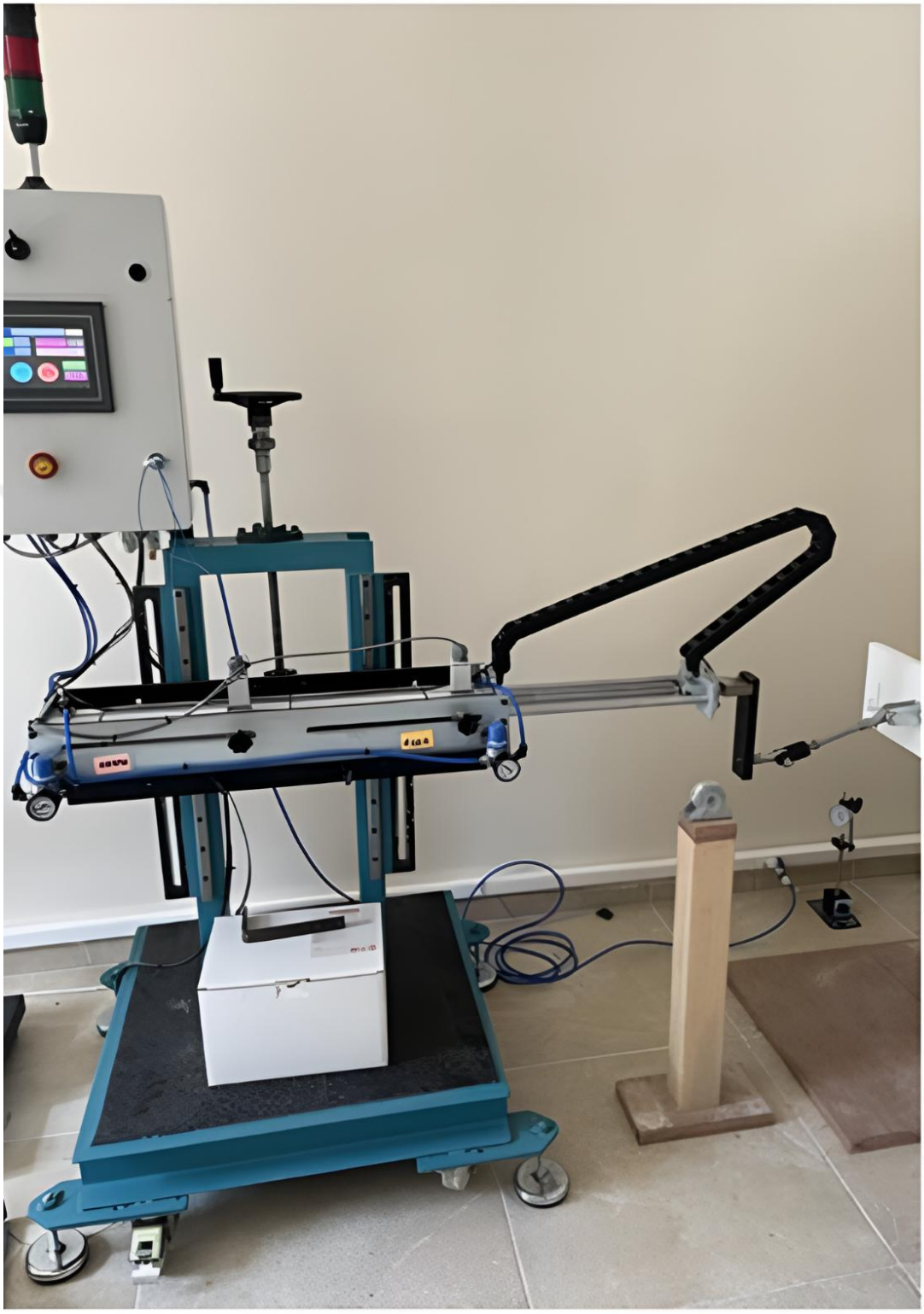
3.5.1. Numunelerin Hazırlanması

PLA ve PETG olmak üzere her filamentten 5'er tane çekmece rayı çifti basılacaktır. Bunun yanı sıra 5'er tane de klasik bilyeli metal çekmece rayı da temin edilecektir. Projede tek malzeme türü olan MDF kabinler ve çekmeceler kullanılacaktır. Kullanılan bu kabinlere çekmece rayının gövdesi M3.5 MDF vidaları ile torkları 1,33Nm olacak şekilde montelenecektir. Çekmecelere ise aynı vidalar ve aynı tork kullanılarak çekmece rayının ray kısmı montelenecektir (Şekil 25).



Şekil 3.17: Vida tork örneği.

Montelenen çekmeceler 3 farklı teste tabii tutulacaktır. Yapılacak olan testler İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı Mobilya Kalite Değerlendirme ve Endüstrisi 4.0 Laboratuvarında yapılması planlanmaktadır (Şekil 26).



Şekil 3.18: Ana deney düzeneği.

Çekmece deney setinde yardımcı olan elemanlarda hızlı kapama ve açma düzeneği, torkmetre, ağırlıklar ve ip kullanılmıştır. Bu kullanılan elemanların görselleri Şekil 27'de görülmektedir.



Şekil 3.19: Yardımcı elemanlar.

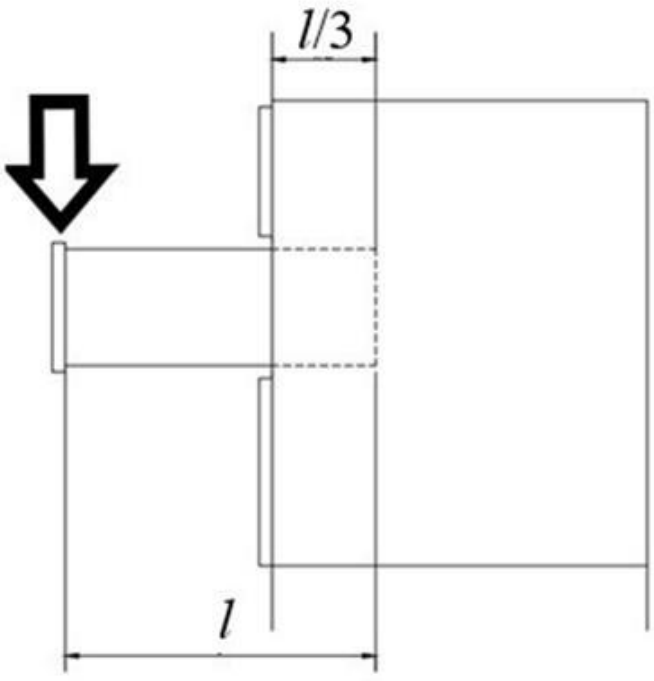
3.5.2. Çekmece Deneyleri

Montajı yapılan numunelerdeki çekmece modülleri BS-EN16122 ‘BS-EN16122 ‘Evsel ve evsel olmayan depolama mobilyaları- Mukavemet, dayanıklılık ve stabilitenin belirlenmesi için deney yöntemleri’ standardında ‘Uzatma Elemanları’ bölümünden yola çıkılarak yapılacak olup, test tanımları ise BS EN 4875-7:2006 ‘Mobilyaların sağlamlığı ve stabilitesi - Bölüm 7: Evsel ve sözleşmeli depolama mobilyaları - Performans gereksinimleri’ tanımlarından yararlanılarak yapılacaktır. Çekmece testleri toplamda 4 farklı test tipinde yapılmış olup, hepsi birbirinin devamı niteliğindedir. Çekmece açılıp kapanma deneyi esnasında çekmece ve yuvasında bozulma kırılma gibi hasarlar meydana gelmemesi durumunda testlere devam edilecektir. Deney sonunda çekmece rahatça ve duraklamadan yuvasında hareket edebilmesi istenir ancak tersi durum oluştuğunda testlerin durdurulması gerekmektedir.

Standart kapsamındaki deneylerin yapılması için çekmece raylarının açılma (uzaman) işlevinde, çekmece rayının 2/3'ü kadar açılması gerekmektedir. Böylelikle kabinin içinde kalan çekmece rayı kısmı 1/3 oranda kalmalıdır. Yani 300mm'lik çekmece rayı kullanıldığında kabinde en fazla 100mm'lik çekmece rayı kalması gerekmektedir. Her iki testte de deney boyunca çekmece ve raylar üzerindeki kırılma, sehim verme gibi hasarların meydana gelip gelmediği gözlenerek tespit edilmesi planlanmaktadır. Her deney yükü değişikliğinde çekmece raylarındaki deformasyon miktarları gözlenecektir.

3.5.2.1. Uzatma Elemanları Mukavemet Testi

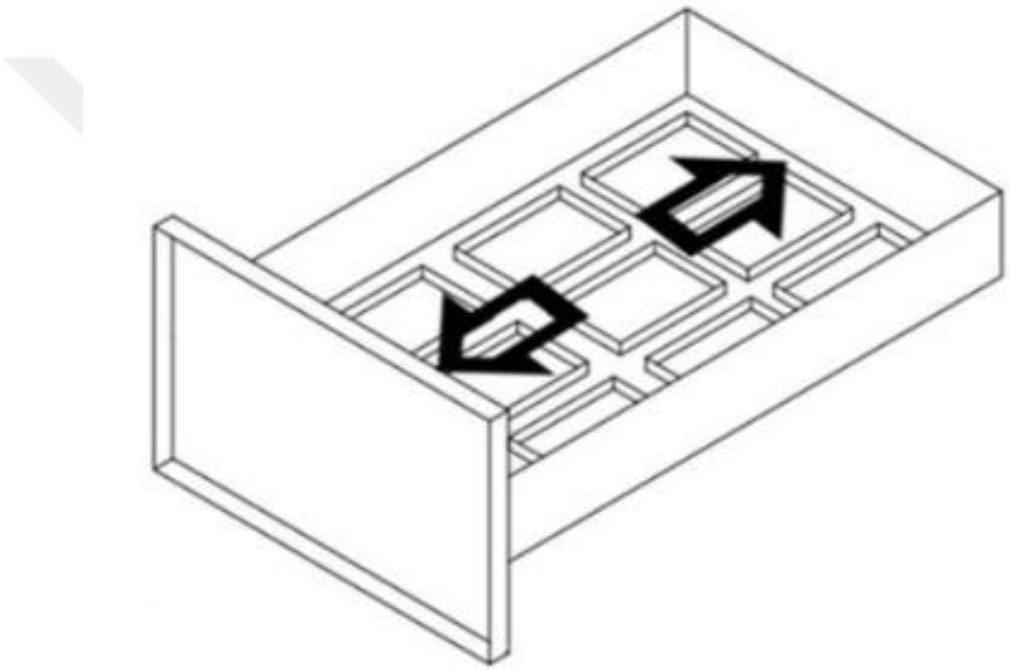
Test yöntemi gereği uzatma elemanının iç uzunluğunun (derinliğinin) üçte birine kadar açma kapama yapılacağından öncelikle çekmecenin 1/3 ü hesaplanacaktır (Şekil 28). Burada l=16mm olup test cihazında deneye uygun şekilde hazırlanacaktır. Test prosedüründeki çekmece kapağının üstünden uygulanacak ağırlıklar ise BS EN 4875-7:2006 'Mobilyaların sağlamlığı ve stabilitesi - Bölüm 7: Evsel ve sözleşmeli depolama mobilyaları - Performans gereksinimleri standardına göre; 30N yüklemede 2,5kg, 40N yükleme 2,5kg, 60N yüklemede 3,5kg, 70N yükleme 6,5kg, 80N yüklemede 8kg çekmece içine konularak 10 tekrarlı test uygulanması planlanmaktadır.



Şekil 3.20: Uzatma elemanları mukavemet testi düzeneği.

3.5.2.2. Uzatma Elemanları Yer Değiştirme Testi

Bu test yönteminde BS EN 4875-7:2006 ya göre belirli ağırlıkları 25mm boşluklarla çekmece içine yerleştirilerek yine aynı standartta var olan kuvvetler ile açma kapama yapılması planlanmaktadır (Şekil 29). BS EN 4875-7:2006 'Mobilyaların sağlamlığı ve stabilitesi- Bölüm 7: Evsel ve sözleşmeli depolama mobilyaları- Performans gereksinimleri standardına göre; 30N yüklemede 2,5kg, 40N yükleme 2,5kg, 60N yüklemede 3,5kg, 70N yükleme 6,5kg, 80N yüklemede 8kg çekmece içine konularak 10 tekrarlı test uygulanması planlanmaktadır.



Şekil 3.21: Uzatma elemanları yer değiştirme testi düzeneği.

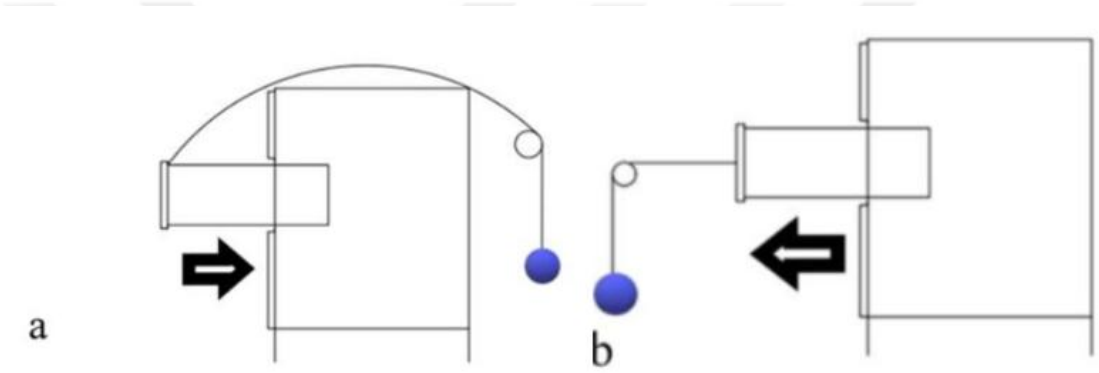
3.5.2.3. Uzatma Elemanları Hızlı Açma Kapama Testi

Bu test yönteminde hızlı açma kapama testi yapılmıştır. Testler diğer testler gibi cihaz ile değil atölyede teste uygun yapılan yardımcı eleman ile gerçekleştirilmiştir. Bu test yönteminde açma için ayrı, kapama için ayrı olmak üzere her malzeme dolayısıyla çekmeceler için test uygulanmıştır (Şekil 30). MDF çekmecelerin ortalama ağırlığı 4,22kg'dır. EN 4875-7:2006 'Mobilyaların sağlamlığı ve stabilitesi- Bölüm 7: Evsel ve sözleşmeli depolama mobilyaları- Performans gereksinimleri standardına göre;

- $M = K\sqrt[3]{m}$

- M: çekilirken uygulanacak kütle
- K: standarda göre verilen 5 adımın katsayısı
- M: çekmece ağırlıkları

Çekmece için 5kg yük konularak öncelikle açma testi yapılmıştır. MDF malzemeli çekmeceler için 2 kg, 2,5kg, 3kg, 3kg ve 3 kg yükle çekilirken; yine aynı formül kullanılarak çekmece içine 35kg yük konularak MDF için 2kg, 2,5kg, 3kg, 3kg, 3kg yükleri ile kapatma testi yapılarak bu test prosedürü de tamamlanması planlanmaktadır. Deney deseni Tablo 4'te görülmektedir.



Şekil 3.22: Çekmece açma - kapama testi düzeneği.

Tablo 3.1. Çekmece Açma-Kapama Testi Deneme Deseni.

Çekmece Malzemesi	Ray Malzemesi	Numune Sayısı	Test İsmi	Yükleme Tekrar	Test Seviyesi				
					1	2	3	4	5
MDF	PLA PET-G Metal	5	Uzatma Elemanları Mukavemet Testi	Ağırlık (kg), Kuvvet (N)	2,5 100	2,5 150	3,5 250	6,5 300	8 450
	PLA PET-G Metal	5	Uzatma Elemanları Yer Değiştirme Testi	Ağırlık (kg), Kuvvet (N)	2,5 30	2,5 40	3,5 60	6,5 70	8 80
	PLA PET-G Metal	5	Uzatma Elemanları Hızlı Açma Kapama Testi	Hızlı Açma 5kg	2 1,2	2,3 1,5	2,6 1,7	2,9 2	3,2 2,2
				Hızlı Kapama35kg	2	2,3	2,6	2,9	3,2

Standarda uygun yapılması planlanan testlerde Tablo 4'teki testlerin geçmesi durumunda son test "Dayanıklılık Testi" nin de deney denesine eklenmesi planlanmaktadır. Ayrıca testlerin hepsi standarttaki gibi 60 saniyede 6 tekrar olacak şekilde toplamda 10 tekrarlı uygulanması planlanmaktadır.

3.6. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Elde edilen veriler ışığında, verilerin arasındaki ilişkilerin irdelenmesi için, istatistik değerlendirmeler yapılacaktır. Analizlerde güven düzeyi %95 olarak belirlenmiştir. Bunun sonucunda analizlerde kullanılacak anlamlılık değerleri de %5 ($p<0.005$) olarak belirlenmiştir. Normallik testleri uygulanarak grupların normal dağılıp dağılmadığı ortaya koyularak uygun karşılaştırma metotları seçilecektir. Ön görülen sabitler Tablo 5'te görülmektedir.

Tablo 3.2. Çalışmada Kullanılacak Modüller için Öngörülen Sabitler.

	Sabitler	Gösterge
Çekmece Testleri	Çekmece Ölçüsü	40x40x2 cm
	Ray Tipi	Basit klasik ray
	Ray Sayısı	2
	Vida Torku	1.33Nm

Verilerin bazı tanımlayıcı istatistiklerinin (aritmetik ortalama, standart sapma vb.) tespitinden sonra çalışmada bağımlı değişkenlerin (Malzeme türü) ve bağımsız değişkenlerin (Sehim) ANOVA ve Tukey testleri yapılacaktır. Verilerin değerlendirilmesinde "Microsoft Office Excel" ve "JASP" yazılımı kullanılacaktır.

3.7. MALİYET HESABI

3.7.1. Filament Maliyet Hesabı

Filament maliyet hesabında filamentin fiyatının toplam filament miktarına oranlanmasıyla filamentin birim fiyatı hesaplanması planlanmaktadır. Birim fiyat ile kullanılan filament gramajı çarpılarak harcanan filamentin maliyeti ortaya konulacaktır. Elektrik kesintisi, filamentin tablaya yapışmaması, cihaz ayarlarından kaynaklı problemlerden dolayı fire ortaya çıkabilmektedir. Böylelikle dilimleyici programın hesapladığı gramajdan daha fazla gramaj

çıkmaktadır ve her çıktıda küçük de olsa fire olmaktadır. Fire hesabını da 1000g'da %1 olarak yani 10g olarak varsayılabilir. Fire bedelinin hesaplanması ise birim maliyet ile fire bedelinin çarpımında hesaplanmaktadır.

Fireli malzeme gideri ise "filament maliyeti + toplam fire maliyeti / filamentin gramajı" olmaktadır. Fireli malzeme gideri * kullanılan malzeme miktarı da baskıdaki toplam maliyete eşit olmaktadır. Çalışma kapsamında maliyet hesaplanırken bu parametre de dikkate alınacaktır.

Örnek olarak 1 kg'lık fiyatı 500tl olan PLA filamentinden %10 fireli, 100 gramlık bir baskı kullanımı söz konusu olduğu taktirde;

1- Birim maliyet için 500tl/1000g = 0,5tl birim maliyet fiyatı olmaktadır.

2- Fire için 10*0,5 = 5tl yani toplam 1kg'lık filament makarasının firesi 5tl olmaktadır.

3- Fireli birim maliyet için 500tl+5tl/1000g = 0,505tl fireli birim maliyet olmaktadır.

4- 100 gramlık baskı için ise 100*0,505 = 50,5tl maliyet olmaktadır.

Ray setinde baskısı alınan numunelerin malzemeye bağlı olarak değişen baskı gramajları Tablo 6'da parça başına maliyet hesaplamaları ise Tablo 7 ve Tablo 8'de görülmektedir.

Tablo 3.3: Malzeme Türüne Göre Filament Tüketimi ve Birim Fiyatları.

Malzeme	Baskısı Alınan Parça	Harcanan Filament (g)	Filament Fiyatı (kg/tl)
PLA	Gövde	54,71	636
	Ray	50,65	
	Mandal	0,86	
PETG	Gövde	53,45	708
	Ray	50,61	
	Mandal	0,87	

PLA Filament Maliyet Hesabı

- PLA filamentin kilogram fiyatı 636 TL olup, bu durumda 1 gram filamentin birim maliyeti 0,636 TL'dir.

- %10 fire hesaba katıldığında, fire maliyeti: 0,636 TL * 10 = 6,36 TL
- Fire dahil birim maliyet: (636 TL + 6,36 TL) / 1000 g = 0,64236 TL/g

Tablo 3.4: PLA Parça Başına Maliyet Hesaplamaları.

Parça Adı	Ağırlık (g)	Birim Maliyet (TL/g)	Parça Maliyeti (TL)
Gövde	54,71	0,64236	35,14
Ray	50,65	0,64236	32,54
Mandal	0,86	0,64236	0,55

Toplam: 68,23 TL
10 adet üretim için toplam maliyet: 68,23 TL * 10 = 682,32 TL

PETG Filament Maliyet Hesabı

- PETG filamentin kilogram fiyatı 708 TL olup, bu durumda 1 gram filamentin birim maliyeti 0,708 TL'dir.
- %10 fire hesaba katıldığında, fire maliyeti: 0,708 TL * 10 = 7,08 TL
- Fire dahil birim maliyet: (708 TL + 7,08 TL) / 1000 g = 0,71508 TL/g

Tablo 3.5: PETG Parça Başına Maliyet Hesaplamaları.

Parça Adı	Ağırlık (g)	Birim Maliyet (TL/g)	Parça Maliyeti (TL)
Gövde	53,45	0,71508	38,22
Ray	50,61	0,71508	36,29
Mandal	0,87	0,71508	0,62

Toplam: 75,14 TL
10 adet üretim için toplam maliyet: 75,14 TL * 10 = 751,40 TL

3.7.2. Elektrik Maliyet Hesabı

Elektrik maliyet hesabında meskenlere göre birim fiyatlar ve kWh'lerde değişiklikler olmaktadır. Her ay farklı birim saatlerde olan elektrik ücreti aralık ayında mesken aboneleri için 1 kWh elektrik fiyatı aylık toplam 240 kWh'e kadar 1,48tl, 240 kWh'ten fazla ise 2,07tl olmaktadır. Bu tutarlara tüm vergiler dahil olmaktadır. Aylık 240 kWh'i geçileceği varsayılırsa 1 kWh için 2,07tl maliyet olmaktadır.

- Formüle dönüşümü

Elektrik Maliyeti (TL) = Kullanılan Enerji (kWh) x Elektrik Birim Fiyatı (TL/kWh) olmaktadır.

3D yazıcı çalışır vaziyetten baskı sonuna kadarki harcadığı watt miktarı Şekil x'teki wattmetre vasıtasıyla hesaplanacaktır. Bu ölçümde yazıcının ısınma süresinden kapanma süresine kadar olan süre hesaba katılacaktır. PLA ve PETG filamentleri farklı hızlarda, farklı tabla ve ekstrüder sıcaklıklarında basıldığı için her iki filament için ayrı maliyet profili oluşturulacaktır. Tasarlanan çekmece rayları gövde, ray ve mandal olarak 3 ana parçadan oluşmaktadır ve bir tane çekmece rayının birleşmesi için 3 ayrı parçanın basılması gerekmektedir. Bu noktada bir çekmece rayı için harcanan watt miktarı üç ayrı parçanın watt miktarının toplamına eşit olacaktır. Kullanılan yazıcının ortalama tükettiği watt miktarı 1000 watt olmaktadır. Ancak alınan tüm baskıların sonucunda en yüksek okunan watt değeri (Hi değeri) Şekil 31'de görüldüğü üzere 942.9 watt olmaktadır.



Şekil 3.23: Wattmetre a) Wattmetre ana sekmesi b) High değeri sekmesi

Ray setinde baskısı alınan numunelerin malzemeye bağlı olarak değişen baskı süreleri Tablo 9'da görülmektedir.

Tablo 3.6: Malzeme ve parçaya göre baskı süresi.

Malzeme	Baskısı Alınan Parça	Baskı Süresi	Baskı Süresi (saat)
PLA	Gövde	1 saat 15 dakika	1,25 saat
	Ray	1 saat 20 dakika	1,3333 saat
	Mandal	8 dakika	0,1333 saat
PETG	Gövde	1 saat 3 dakika	1,05 saat
	Ray	1 saat 23 dakika	1,3833 saat
	Mandal	8 dakika	0,1333 saat

PLA Elektrik Maliyet Hesaplaması

1- Yazıcımızın kW değeri Hi göstergesinden elde edilen sonuca göre 942,9 watt / 1000 = 0,9429kW olmaktadır.

2- Gövde için, Enerji (kWh) = Güç (kW)*Çalışma Süresi (saat) = 0,9429kW*1,25 saat = 1,178625kWh, Elektrik Maliyeti = 1,178625kWh*2,07tl/kWh = 2,44tl

3- Ray için, Enerji (kWh) = Güç (kW)*Çalışma Süresi (saat) = 0,9429kW*1,3333 saat = 1,2572kWh, Elektrik Maliyeti = 1,2572kWh*2,07tl/kWh = 2,60tl

4- Mandal için, Enerji (kWh) = Güç (kW)*Çalışma Süresi (saat) = 0,9429kW*0,1333 saat = 0,12568kWh, Elektrik Maliyeti = 0,12568kWh*2,07tl/kWh = 0,26tl

5- Toplam PLA Elektrik Maliyeti = 5,3tl*10 = 53tl

PETG Elektrik Maliyeti Hesaplaması

1- Yazıcımızın kW değeri Hi göstergesinden elde edilen sonuca göre 942,9 watt / 1000 = 0,9429kW olmaktadır.

2- Gövde için, Enerji (kWh) = Güç (kW)*Çalışma Süresi (saat) = 0,9429kW*1,05saat = 0,99kWh, Elektrik Maliyeti = 0,99kWh*2,07tl/kWh = 2,05tl

3- Ray için, Enerji (kWh) = Güç (kW)*Çalışma Süresi (saat) = 0,9429kW*1,3833saat = 1,30431kWh, Elektrik Maliyeti = 1,30431kWh*2,07tl/kWh = 2,70tl

4- Mandal için, Enerji (kWh) = Güç (kW)*Çalışma Süresi (saat) = 0,9429kW*0,1333saat = 0,12568kWh, Elektrik Maliyeti = 0,12568kWh*2,07tl/kWh = 0,26tl

5- Toplam PETG Elektrik Maliyeti = 50,1tl

Proje kapsamında testi gerçekleştirilen 5 adet PLA ve 10 adet PETG ray setinin baskılarının alınması için harcanan elektrik ve filament maliyeti Tablo 10'da görülmektedir.

Tablo 3.7: 5 Adet Ray Setinin Toplam Maliyet Tablosu.

Malzeme	Filament Maliyeti	Elektrik Maliyeti	Toplam Maliyet
PLA	682,32tl	53tl	735,32tl
PETG	751,4tl	50,1tl	801,5tl

4. BULGULAR

4.1. ÇEKMECELERE UYGULANAN LABORATUVAR TESTLERİNE AİT BULGULAR

Standartlara uygun şekilde yapılan deney sonuçları çekmece modüllerinde test yöntemlerine uygun şekilde ayrı ayrı incelenmiştir. Deney sonuçları istatistik olarak karşılaştırılmış olup, ayrıca deneyler sırasında ortaya çıkan diğer bulgular da bu başlık altında anlatılmıştır.

MDF malzemeden yapılmış çekmece ve kabinlerde Metal, PETG ve PLA'dan yapılmış raylarla kullanılan çekmece numunelerine uygulanan bu 5 adet test prosedürünün 5 farklı yüklenmesi ile sonuçları ortaya konmuştur. Tablo 11'de tüm rayların deney sonucunun genel istatistiki bulguları JASP programı kullanılarak ortaya konmuştur.

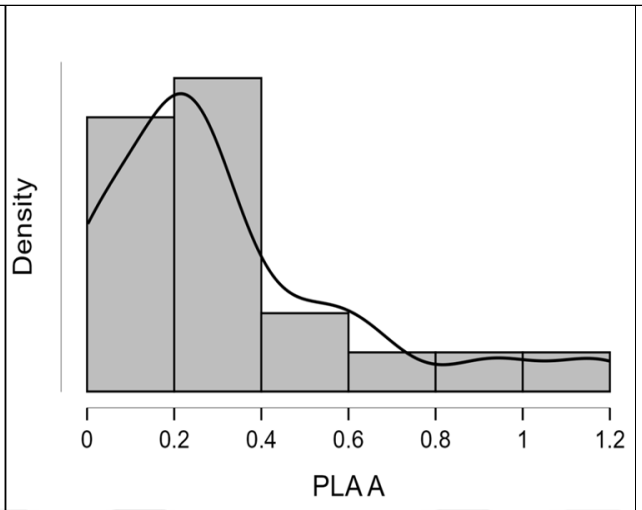
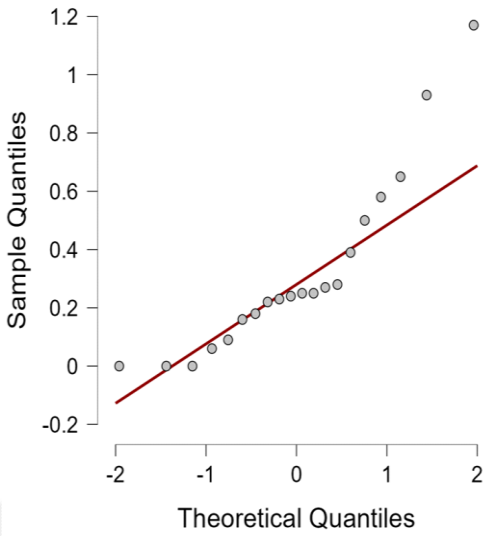
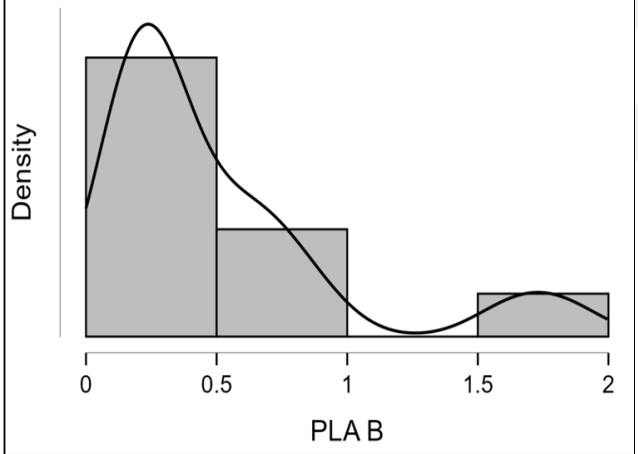
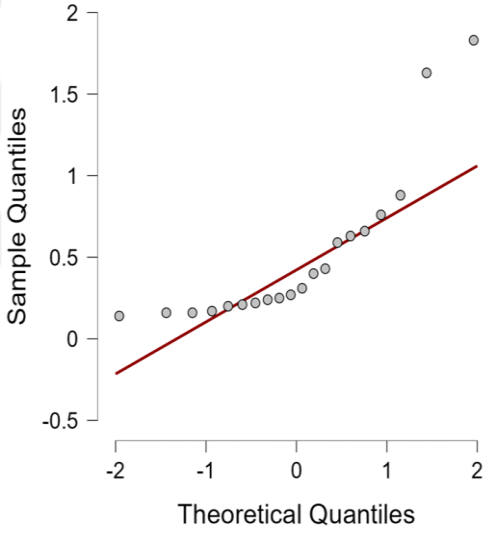
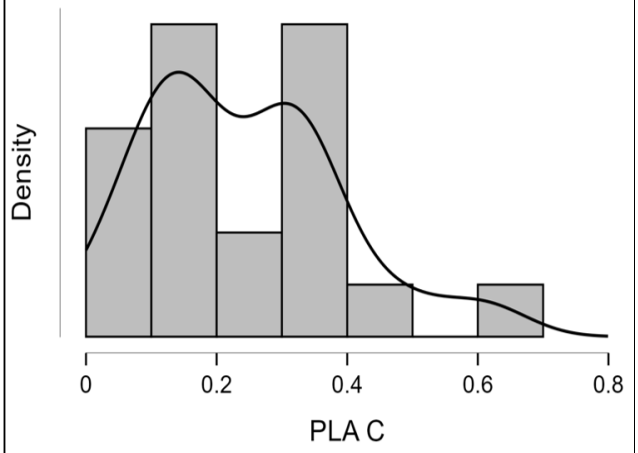
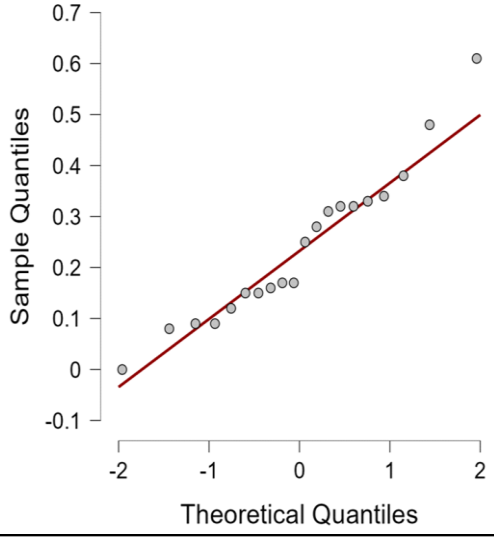
Tablo 4.1: A, B ve C noktalarını tanımlayıcı istatistikler.

	Medyan	Ortalama	S.S*	%95 G.A* S. S Üst Sınırı	%95 G.A S. S Alt Sınırı	Varyans	%95 G.A Varyans Üst Sınırı	%95 G.A Varyans Alt Sınırı	Dağılım Aralığı	Min.	Maks.
PLA A	0.245	0.323	0.309	0.452	0.235	0.096	0.204	0.055	1.170	0.000	1.170
PLA B	0.290	0.507	0.474	0.692	0.360	0.224	0.479	0.130	1.690	0.140	1.830
PLA C	0.210	0.240	0.150	0.219	0.114	0.022	0.048	0.013	0.610	0.000	0.610
PETG A	0.000	0.191	0.300	0.464	0.222	0.090	0.216	0.049	0.770	0.000	0.770
PETG B	0.000	0.231	0.319	0.471	0.241	0.101	0.222	0.058	0.890	0.000	0.890
PETG C	0.000	0.101	0.146	0.215	0.110	0.021	0.046	0.012	0.450	0.000	0.450
METAL A	0.890	1048	0.694	1013	0.527	0.481	1026	0.278	2.610	0.180	2.790
METAL B	0.950	1115	0.822	1200	0.625	0.676	1441	0.391	2.740	0.110	2.850
METAL C	0.370	0.473	0.455	0.665	0.346	0.207	0.442	0.120	1.880	0.030	1.910

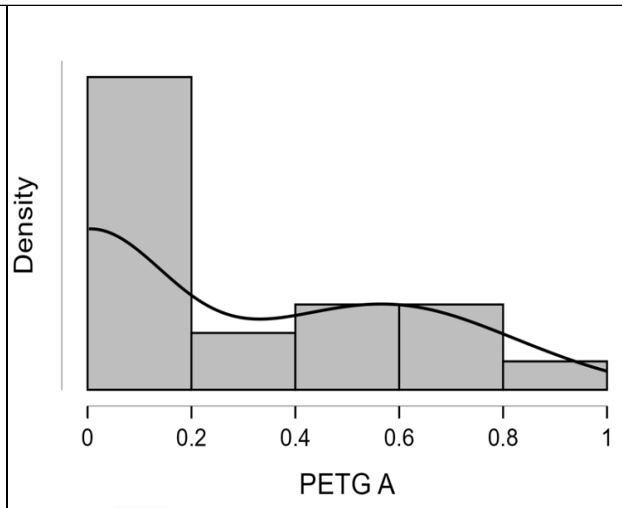
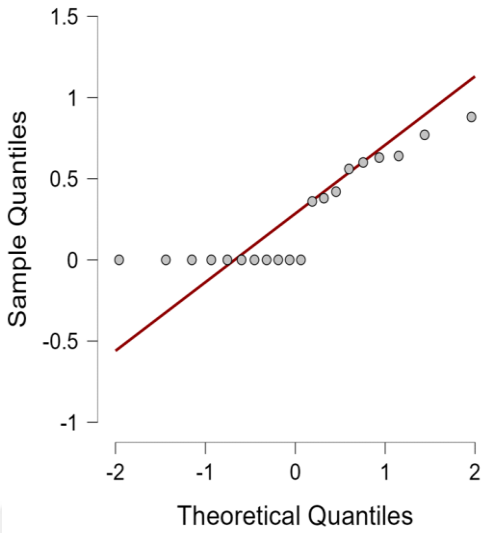
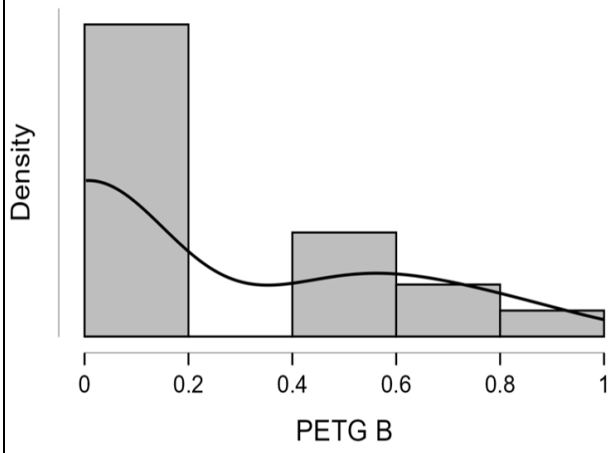
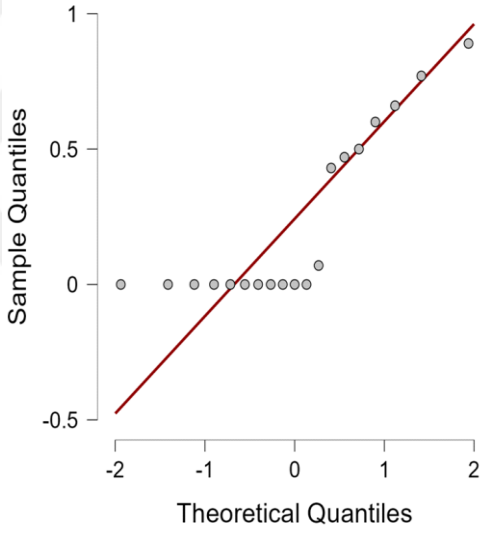
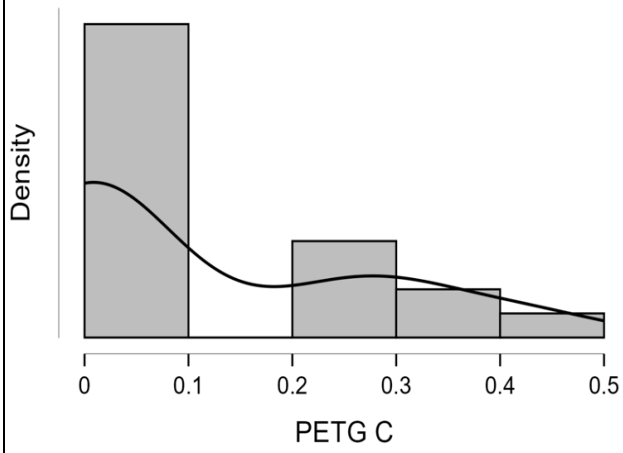
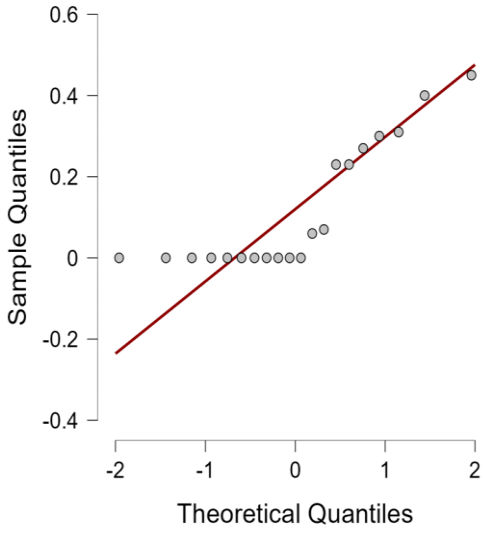
*S. S = Standart Sapma, *G. A = Güven Aralığı

Ayrıca sonuçlar histogram ve Q-Q Plot grafikleriyle desteklenmiş PLA için Tablo 12, PETG için Tablo 13, METAL için 14'teki gibi olduğu görülmüştür.

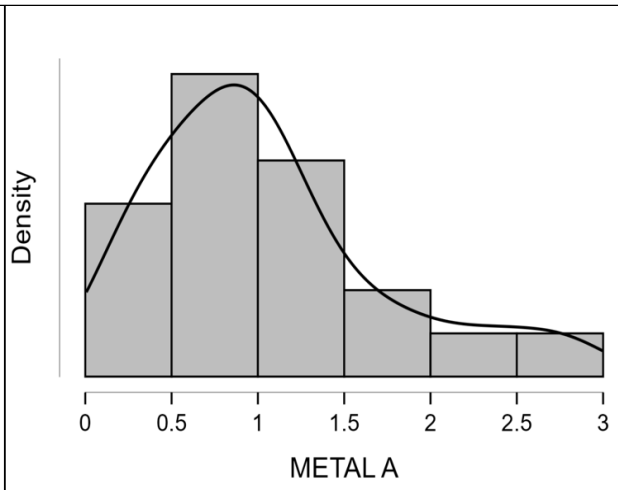
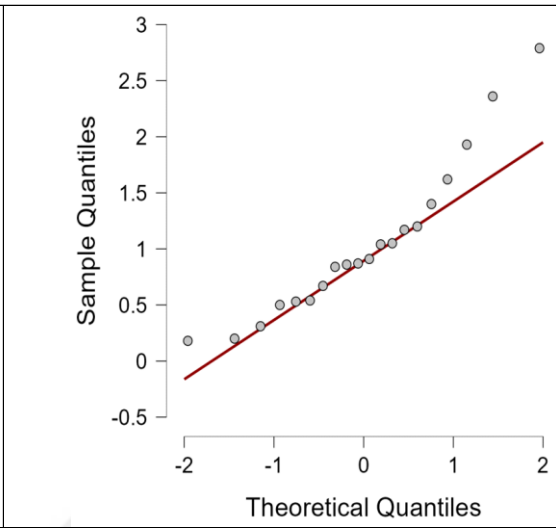
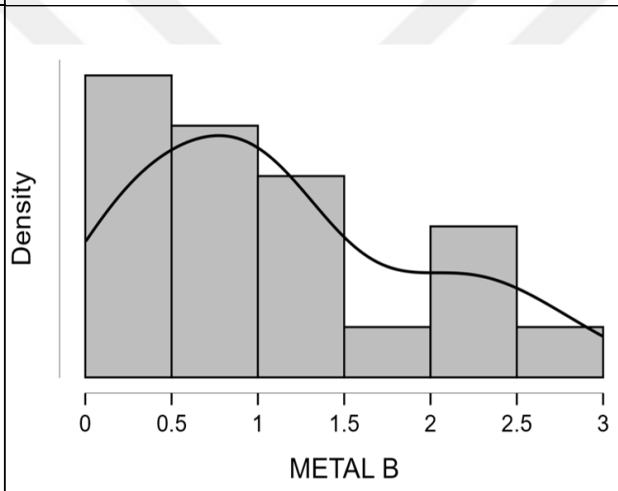
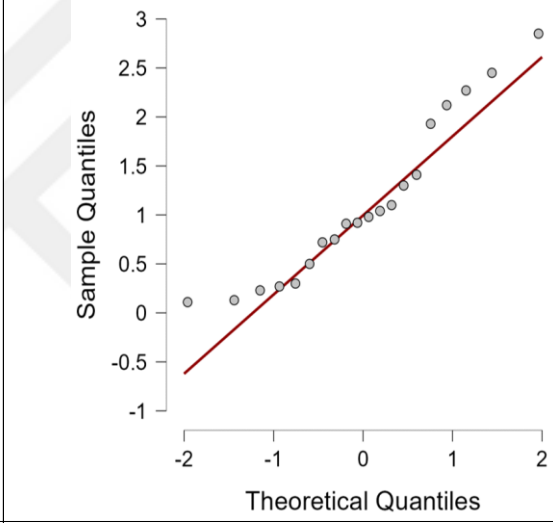
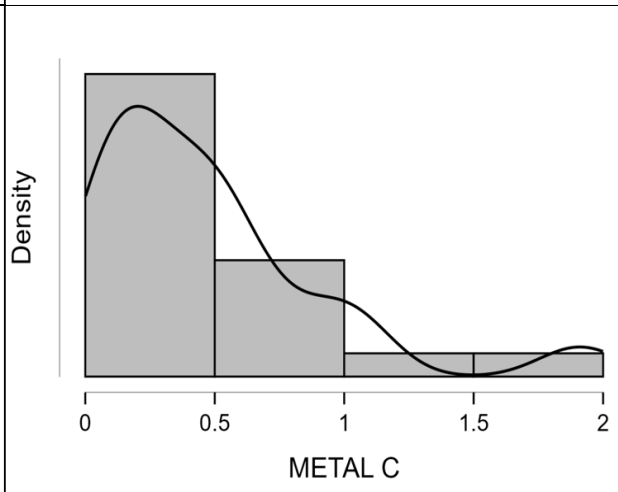
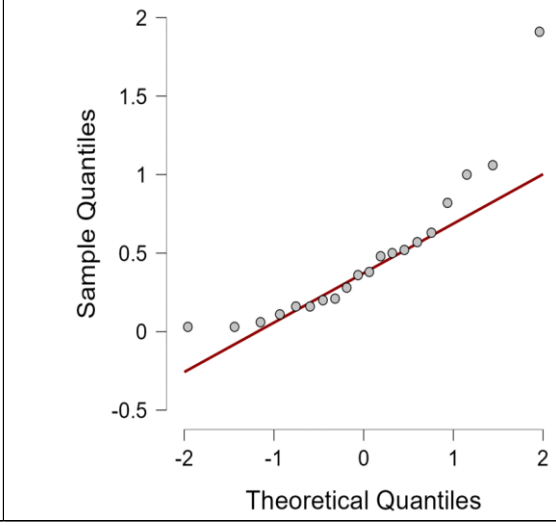
Tablo 4.2: PLA ray setlerinin kendi arasındaki sehim testlerinin normal dağılım sonuçları.

PLA A		
PLA B		
PLA C		

Tablo 4.3: PETG ray setlerinin kendi arasındaki sehim testlerinin normal dağılım sonuçları.

PETG A		
PETG B		
PETG C		

Tablo 4.4: METAL ray setlerinin kendi arasındaki sehim testlerinin normal dağılım sonuçları.

METAL A		
METAL B		
METAL C		

4.1.1. ANOVA Analizi ve TUKEY Testi

Yapılan ANOVA analizinde her sehim pozisyonu (Grup A = PLA A, PETG A, METAL A'yı içermektedir) için malzemeler arasında kıyaslama yapılmıştır, yapılan kıyaslama Tablo 15'de görülmektedir

Tablo 4.5: Gruplar arası ANOVA analiz sonuçları.

	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	p	η^2	ω^2
Grup A	7662	2	3831	16950	< .001	0.373	0.347
Hatalar	12884	57	0.226				
Grup B	7824	2	3912	11658	< .001	0.290	0.262
Hatalar B	19126	57	0.336				
Grup C	1318	2	0.659	7775	0.001	0.214	0.184
Hatalar C	4831	57	0.085				

Grup A, B ve C'ye ait varyans analizleri sonucunda gruplar arasında anlamlı farklar olduğu görülmüştür ($p < .001$). Grup A için $F(2, 57) = 16950$, $p < .001$ olup etki büyüklüğü $\eta^2 = 0.373$ ve $\omega^2 = 0.347$ olarak bulunmuştur. Bu sonuç, Grup A'daki değişkenin oldukça güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde Grup B için yapılan analizde $F(2, 57) = 11658$, $p < .001$ olarak hesaplanmıştır. Etki büyüklüğü $\eta^2 = 0.290$ ve $\omega^2 = 0.262$ olup, bu da anlamlı ve güçlü bir etkiyi ifade etmektedir. Grup C için $F(2, 57) = 7775$, $p = .001$ bulunmuş, $\eta^2 = 0.214$ ve $\omega^2 = 0.184$ değerleriyle Grup C'nin de istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar içerdiği tespit edilmiştir.

Tablo 4.6: ANOVA testi sonrası tanımlayıcı analizler.

	Ortalama	SD*	SE*	Varyasyon Katsayısı
METAL A	1048	0.694	0.155	0.661
PETG A	0.262	0.318	0.071	1215
PLA A	0.323	0.309	0.069	0.960
METAL B	1115	0.822	0.184	0.737
PETG B	0.254	0.327	0.073	1286
PLA B	0.507	0.474	0.106	0.934
METAL C	0.473	0.455	0.102	0.961
PETG C	0.116	0.157	0.035	1351
PLA C	0.240	0.150	0.034	0.624

SD* = Standart Sapma, SE* Standart Hata

Gruplar arasında ortalamalar ve varyasyon katsayıları dikkate alındığında (Tablo 16), METAL gruplarının (A ve B) ortalama değerlerinin oldukça yüksek olduğu ve varyasyon

katsayılarının düşük kaldığı (sırasıyla %66 ve %73) görülmektedir. Bu durum, METAL gruplarındaki ölçümlerin daha tutarlı olduğunu göstermektedir. Buna karşılık PETG A, PETG B ve PETG C gruplarında varyasyon katsayılarının oldukça yüksek (sırasıyla %1215, %1286 ve %1351) olduğu gözlemlenmiştir. Bu da PETG gruplarındaki verilerin daha dağınık olduğunu ve ölçümlerde değişkenliğin fazla olduğunu göstermektedir. PLA gruplarında ise ortalama değerlerin PETG'ye göre yüksek, METAL'e göre düşük kaldığı; varyasyon katsayılarının ise daha dengeli olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, malzeme türleri arasında ölçüm kararlılığı açısından anlamlı farklar olabileceğini düşündürmektedir.

Tablo 4.7: Varyansların Eşitliği Testi (Levene's Test).

	F	df1	df2	p
Grup A	5233	2000	57000	0.008
Grup B	6576	2000	57000	0.003
Grup C	6872	2000	57000	0.002

Farklı malzeme grupları arasında anlamlı farklılıkların olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan Varyansların Eşitliği Testi (Levene's Testi) (Tablo 17), Grup A için F (2000, 57000) = 5233, p = 0.008; Grup B için F (2000, 57000) = 6576, p = 0.003 ve Grup C için F (2000, 57000) = 6872, p = 0.002 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu F değerleri ve düşük p-değerleri ($p < 0.01$), her üç grup için de malzeme türleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.8: ANOVA sonrası Tukey Testi.

	Ortalama Farkı	SE	df	t	ptukey
METAL A - PETG A	0.787	0.150	57	5231	< .001
- PLA A	0.726	0.150	57	4829	< .001
PETG A - PLA A	-0.061	0.150	57	-0.402	0.915
METAL B - PETG B	0.861	0.183	57	4698	< .001
- PLA B	0.608	0.183	57	3316	0.004
PETG B - PLA B	-0.253	0.183	57	-1381	0.357
METAL C - PETG C	0.358	0.092	57	3883	< .001
- PLA C	0.234	0.092	57	2536	0.037
PETG C - PLA C	-0.124	0.092	57	-1347	0.376

Not: 3 tahminlik bir grup karşılaştırması yapıldığı için p-değeri düzeltilmiştir.

ANOVA sonrası yapılan Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre (Tablo 18); Metal A grubu, hem PETG A grubuna (Ortalama fark = 0.787, $p < .001$) hem de PLA A

grubuna (Ortalama fark = 0.726, p < .001) göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek ortalamaya sahiptir. Ancak PETG A ile PLA A grubu arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (p = 0.915).

Benzer şekilde, Metal B grubu da hem PETG B (Ortalama fark = 0.861, p < .001) hem de PLA B (Ortalama fark = 0.608, p = 0.004) gruplarına kıyasla anlamlı derecede yüksek değerlere sahiptir. Ancak PETG B ile PLA B grubu arasındaki fark anlamlı değildir (p = 0.357).

Grup C verilerinde ise, Metal C, PETG C grubuna göre anlamlı şekilde yüksek bulunmuştur (Ortalama fark = 0.358, p < .001) ve PLA C grubuna kıyasla da anlamlı bir fark göstermiştir (Ortalama fark = 0.234, p = 0.037). Ancak PETG C ile PLA C grubu arasında anlamlı bir fark tespit edilmemiştir (p = 0.376).

4.1.2. Tek Örneklemli T-Testi

Farklı malzeme gruplarının ortalama değerlerinin sıfırdan anlamlı derecede farklı olup olmadığını test etmek amacıyla tek örneklemli t-testi uygulanmıştır. Bu test ile, her bir grup için gözlemlenen ortalama değerlerin sıfır hipoteziyle karşılaştırılarak anlamlılık düzeyleri değerlendirilmiştir (Tablo 19).

Tablo 4.9: Tek Örneklemli T-Testi.

Tek Örneklemli T-Testi					95% CI for Mean Difference	
	t	df	p	Ortalama Farkı	Lower	Upper
PLA A	4.661	19	< .001	0.323	0.178	0.467
PLA B	4.786	19	< .001	0.507	0.285	0.729
PLA C	7.163	19	< .001	0.240	0.170	0.310
PETG A	3.681	19	0.002	0.262	0.113	0.411
PETG B	3.161	18	0.005	0.231	0.077	0.385
PETG C	3.310	19	0.004	0.116	0.043	0.189
METAL A	6.761	19	< .001	1.048	0.724	1.373
METAL B	6.064	19	< .001	1.115	0.730	1.499
METAL C	4.651	19	< .001	0.473	0.260	0.687

Not: Student t-testi için alternatif hipotez, ortalamanın 0'dan farklı olduğunu belirtir.

Yapılan tek örneklemli t-testi sonuçlarına göre tüm malzeme gruplarının ortalamaları, istatistiksel olarak sıfırdan anlamlı şekilde farklı bulunmuştur (p < .05). En yüksek ortalama farka sahip grup Metal B (M = 1.115, p < .001) olurken, en düşük fakat anlamlı fark PETG C

grubunda gözlemlenmiştir (M = 0.116, p = .004). Güven aralıklarının sıfırı içermemesi, farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğunu desteklemektedir.

4.1.3. Çekmeceli Modüllere Ait Bulgular

Çalışma kapsamında PLA, PETG ve Metal'den yapılan çekmece rayı numunelerine standartlara uygun şekilde 5 test uygulanmıştır. Testler ardı ardına yapılmış, komparatör cihazı ile hassas ölçüm kaydedilmiştir. İstatistiki verilerden yararlanmak için de ayrıca her test için ayrı ayrı ölçüm de alınarak farklar oluşturulmuştur. Deney sonuçlarına göre PLA ve Metal numuneler tüm testleri geçerek deney prosedürünün tamamını tamamlamıştır.

- PLA'dan üretilmiş rayların sehim bulguları

MDF malzemeden yapılmış çekmece ve kabinlerde PLA malzemeden yapılmış her ray numunesine uygulanan bu 5 adet test prosedürünün 5 farklı yüklenmesi ile sonuçları ortaya konmuştur. Tablo 20'de PLA'dan üretilmiş rayların deney sonucunun bulguları verilmişken Şekil 32 – Şekil 33'de testlerin görsel bulguları açıklanmıştır.

Tablo 4.10: PLA'dan üretilen rayların sehim bulguları.

Malzeme Türü	Örnek Numarası	Testler	Sehim Değerleri (mm)		
			A	B	C
PLA	PLA-1	Mukavemet Testi	0,16	0,22	0,09
		Yer Değiştirme Testi	0,18	0,31	0,12
		Hızlı Açma Testi	0,58	0,76	0,34
		Hızlı Kapama Testi	0,93	0,88	0,32
	PLA-2	Mukavemet Testi	0,27	0,24	0,25
		Yer Değiştirme Testi		0,27	
		Hızlı Açma Testi	1,17	0,43	0,38
		Hızlı Kapama Testi		0,17	0,08
	PLA-3	Mukavemet Testi		0,21	0,17
		Yer Değiştirme Testi	0,06	0,4	0,32
		Hızlı Açma Testi	0,39	1,63	0,61
		Hızlı Kapama Testi	0,65	1,83	0,48
	PLA-4	Mukavemet Testi	0,25	0,16	0,09
		Yer Değiştirme Testi	0,23	0,14	0,15
		Hızlı Açma Testi	0,28	0,2	0,16

		Hızlı Kapama Testi	0,09	0,16	0,31
	PLA-5	Mukavemet Testi	0,24	0,59	0,15
		Yer Değiştirme Testi	0,22	0,63	0,17
		Hızlı Açma Testi	0,50	0,66	0,28
		Hızlı Kapama Testi	0,25	0,25	0,33

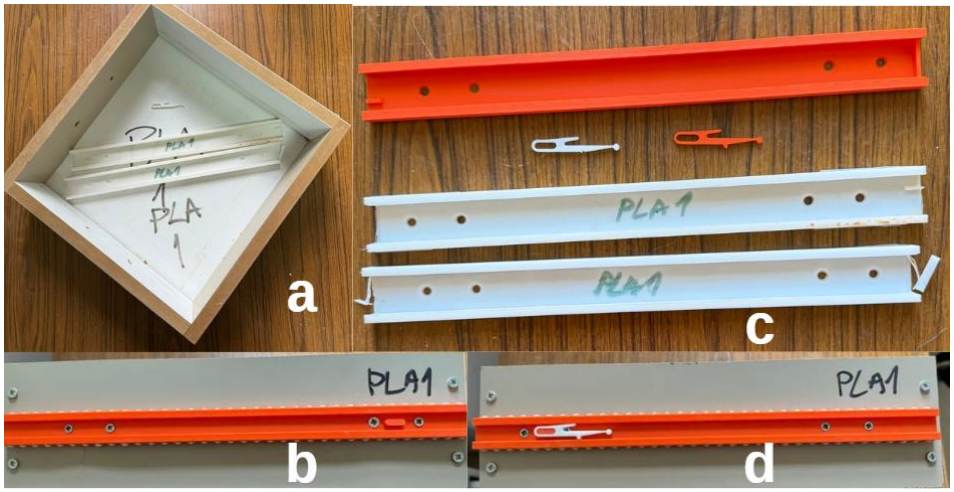
Test sonuçlarına göre A noktasında PLA raylarda okunan en büyük değerin Hızlı Kapama Testi sonucunda 1,17mm olduğu belirlenmiştir. Ayrıca en düşük değerin Yer Değiştirme Testi sonucunda 0,06mm olduğu belirlenmiştir.

B noktasında PLA raylarda okunan en büyük değerin Hızlı Kapama Testi sonucunda 1,83mm olduğu belirlenmiştir. Ayrıca en düşük değerin Yer Değiştirme Testi sonucunda 0,14mm olduğu belirlenmiştir.

C noktasında PLA raylarda okunan en büyük değerin Hızlı Açma Testi sonucunda 0,61mm olduğu belirlenmiştir. Ayrıca en düşük değerin Hızlı Kapama Testi sonucunda 0,08mm olduğu belirlenmiştir.

- PLA-1

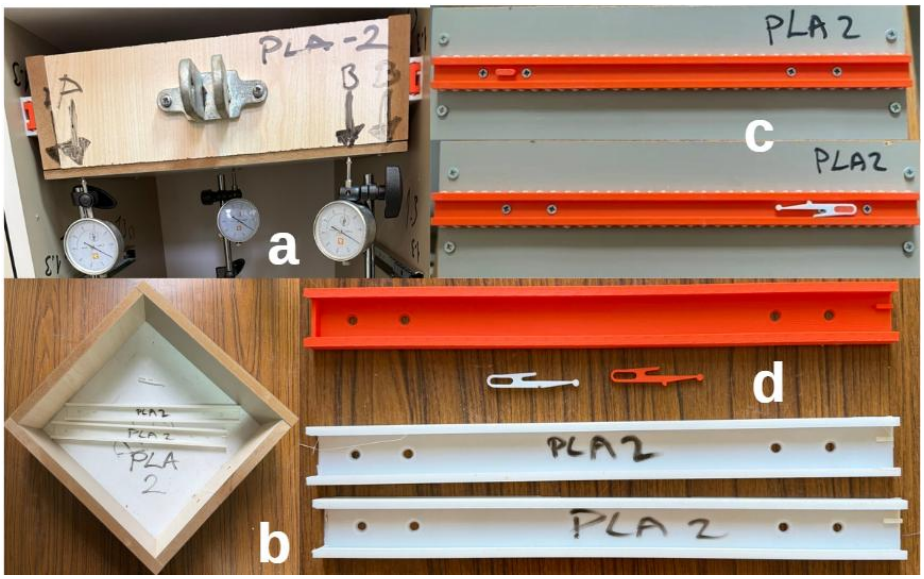
Beş testin tamamlanmasının ardından ray sistemi, işlevselliğini sürdürmeye devam etmektedir. Yapısal deformasyonlar incelendiğinde, kabine sabitlenmiş ray gövdelerinin her iki tarafındaki arka stoperlerin, hızlı kapama testi sırasında kırıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, sol taraftaki gövdenin ön stoperi hızlı açma testinde hasar görerek kırılmıştır. Test sürecindeki tekrarlı mekanik hareketler nedeniyle, her iki gövdenin alt yüzeylerinde sürtünmeye bağlı ezilme izleri meydana gelmiştir. Buna karşın, çekmeceye bağlı ray parçalarında belirgin bir deformasyon tespit edilmemiştir. Ancak sol rayın stoper mandalının uç kısmında kırılma oluşmuştur. İlgili test setine ait görsel bulgular Şekil 32'de sunulmaktadır.



Şekil 4.1: PLA-1 a) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, b) Sağ ray deformasyonları, c) Gövde deformasyon karşılaştırması, d) Sol ray deformasyonu.

- PLA-2

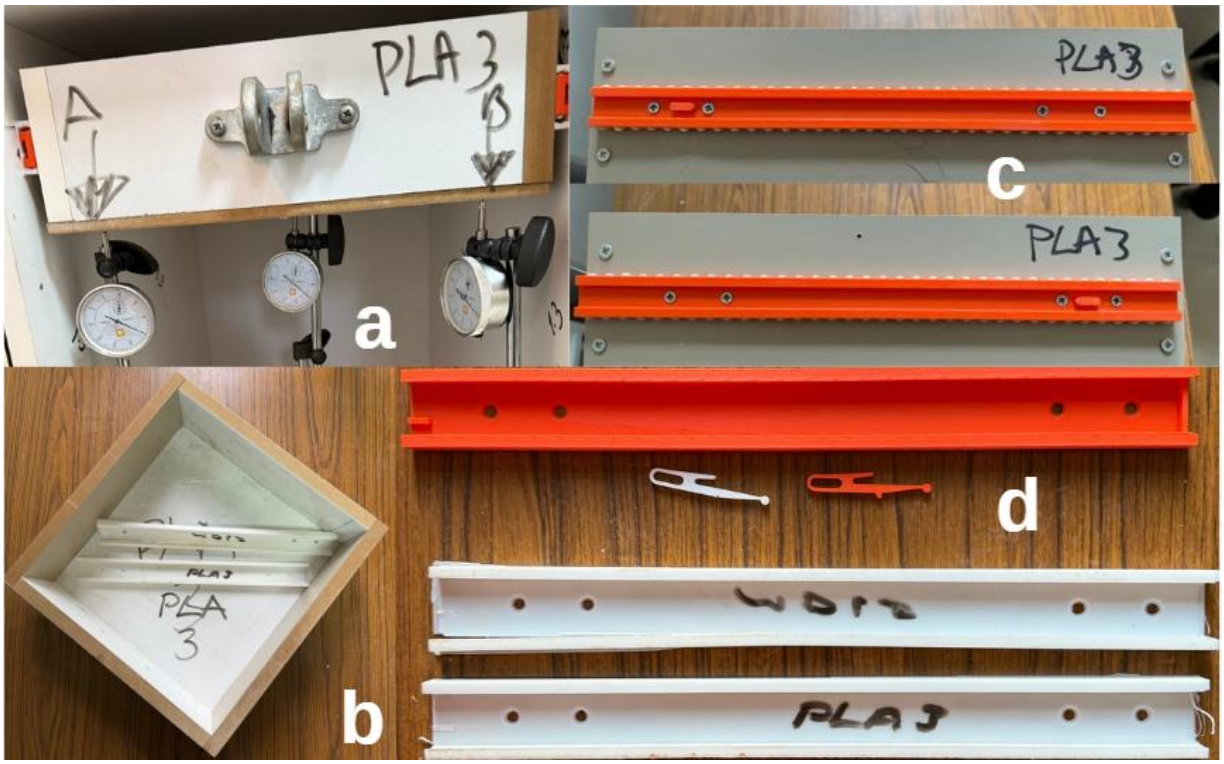
Uygulanan beş testin tamamlanmasının ardından sistem, temel işlevselliğini koruyarak çalışmaya devam etmektedir. Testler sonucunda, kabine sabitlenmiş her iki ray gövdesinin arka stoperleri, hızlı kapama testine maruz kaldıklarında kırılmıştır. Çekmeceye bağlı ray bileşenlerinde ise gözle fark edilebilir herhangi bir yapısal deformasyon tespit edilmemiştir. Bununla birlikte, ray ve gövde yüzeylerinde, testler sırasında oluşan tekrarlı mekanik temas ve sürtünmeler sonucu yer yer ezilmelere rastlanmıştır. İlgili test setine ait görsel bulgular Şekil 33'te sunulmaktadır.



Şekil 4.2: PLA-2 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Sağ ve sol ray deformasyonları, d) Gövde deformasyon karşılaştırması.

- PLA 3

Beş ayrı testin uygulanmasının ardından sistem, işlevselliğini sürdürebilir durumdadır. Test süreci boyunca, kabine sabitlenmiş gövde parçalarının üst kılavuz hatlarında yapısal hasar oluşmuş ve bu bölgelerde kırılmalar meydana gelmiştir. Hızlı kapama testi sırasında, her iki gövde parçasının arka stoperleri kırılmıştır. Hızlı açma testleri başarılı şekilde tamamlanmış olsa da bu testler sonucunda ön stoperlerin kırıldığı gözlemlenmiştir. Çekmeceye bağlı ray bileşenlerinde herhangi bir belirgin deformasyon saptanmamıştır. Bununla birlikte, genel olarak tüm sistemde, özellikle gövde ve ray temas yüzeylerinde sürtünmeye bağlı lokal ezik ve aşınmalar meydana gelmiştir. İlgili test setine ait görsel bulgular Şekil 34'te sunulmaktadır.



Şekil 4.3: PLA-3 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Sağ ve sol ray deformasyonları, d) Gövde deformasyon karşılaştırması.

- PLA 4

Beş testin tamamı başarıyla uygulanmış olup, testlerin ardından sistem işlevselliğini korumaya devam etmektedir. Deformasyon açısından değerlendirildiğinde, ray yüzeylerinde sürtünmeye bağlı yerel hasarlar ve yüzey aşınmaları gözlemlenmiştir. Gövde bileşenlerinde ise özellikle hızlı açma ve kapama testleri sırasında ön ve arka stoperlerde kırılmalar meydana gelmiştir. Ayrıca, stoper mekanizmasına ait mandal uçlarının da test sürecinde kırıldığı tespit edilmiştir. Test setine ait görsel bulgular Şekil 35'te sunulmaktadır.



Şekil 4.4: PLA-4 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Sağ ve sol ray deformasyonları.

- PLA5

Beş testin tamamı başarıyla gerçekleştirilmiş olup, testlerin ardından sistem işlevselliğini sürdürebilmektedir. Deformasyon incelendiğinde, özellikle yer değiştirme testi sırasında ön ve arka stoper bileşenlerinde kırılmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ray kısımlarındaki deformasyonların ise ağırlıklı olarak sürtünmeye bağlı yüzey aşınmaları ve ezilmeler şeklinde oluştuğu tespit edilmiştir. İlgili test setine ait görsel bulgular Şekil 36'da sunulmaktadır.



Şekil 4.5: PLA-5 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Sağ ve sol ray deformasyonları.

- PETG’den üretilmiş rayların sehim bulguları

MDF malzemeden yapılmış çekmece ve kabinlerde PETG malzemeden yapılmış her ray numunesine uygulanan bu 5 adet test prosedürünün 5 farklı yüklenmesi ile sonuçları ortaya konmuştur. Tablo 21’de PETG’den üretilmiş rayların deney sonucunun bulguları verilmişken Şekil 37 – Şekil 38’de testlerin görsel bulguları açıklanmıştır.

Tablo 4.11: PETG'den üretilen rayların sehim bulguları.

Malzeme Türü	Örnek Numarası	Testler	Sehim Değerleri (mm)		
			A	B	C
PETG	PETG-1	Mukavemet Testi	Test Sonucu Başarısız		
		Yer Değiştirme Testi			
		Hızlı Açma Testi			
		Hızlı Kapama Testi			
	PETG-2	Mukavemet Testi	0,63	0,66	0,23
		Yer Değiştirme Testi	0,77	0,77	0,3
		Hızlı Açma Testi	Test Sonucu Başarısız		
		Hızlı Kapama Testi			
	PETG-3	Mukavemet Testi	0,38	0,47	0,06
		Yer Değiştirme Testi	0,6	0,69	0,40
		Hızlı Açma Testi	Test Sonucu Başarısız		
		Hızlı Kapama Testi			
	PETG-4	Mukavemet Testi	0,42	0,07	0,07
		Yer Değiştirme Testi	0,56	0,6	0,27
		Hızlı Açma Testi	0,64	0,89	0,31
		Hızlı Kapama Testi	0,88	0,5	0,45
	PETG-5	Mukavemet Testi	0,36	0,43	0,23
		Yer Değiştirme Testi	Test Sonucu Başarısız		
		Hızlı Açma Testi			
		Hızlı Kapama Testi			

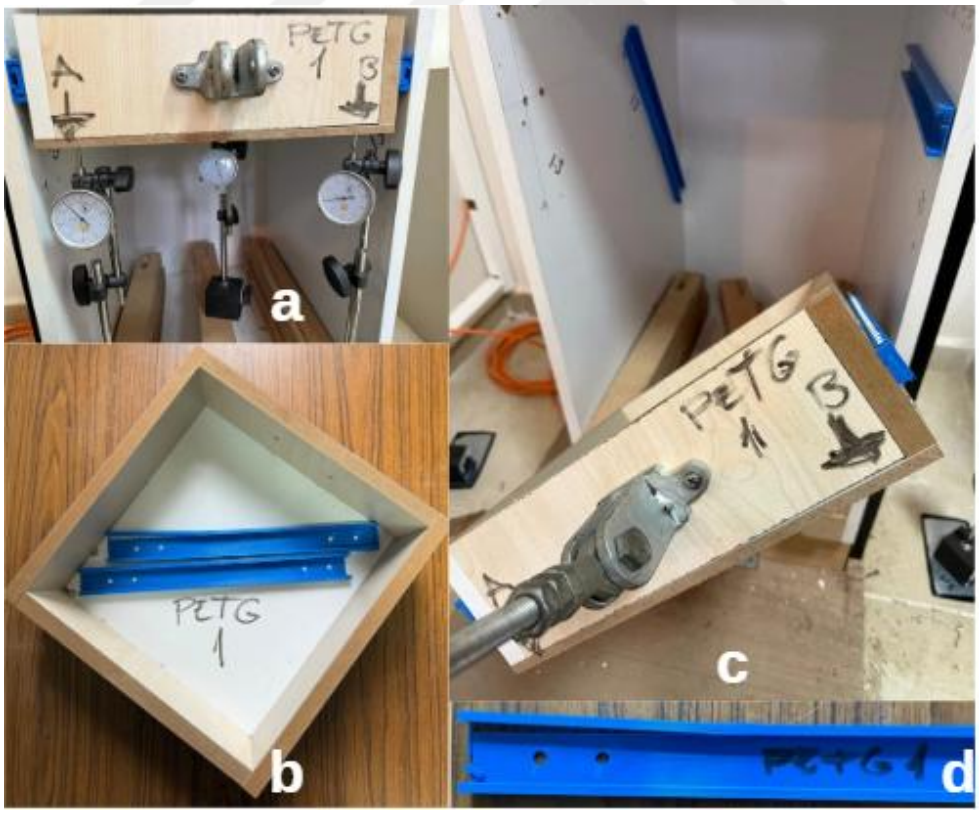
Test sonuçlarına göre A noktasında PETG raylarda okunan en büyük değerin Hızlı Kapama Testi sonucunda 0,88mm olduğu belirlenmiştir. Ayrıca en düşük değerin Mukavemet Testi sonucunda 0,38mm olduğu belirlenmiştir.

B noktasında PETG raylarda okunan en büyük değerin Hızlı Açma Testi sonucunda 0,89mm olduğu belirlenmiştir. Ayrıca en düşük değerin Mukavemet Testi sonucunda 0,07mm olduğu belirlenmiştir.

C noktasında PETG raylarda okunan en büyük değerin Hızlı Kapama Testi sonucunda 0,45mm olduğu belirlenmiştir. Ayrıca en düşük değerin Mukavemet Testi sonucunda 0,06mm olduğu belirlenmiştir.

- PETG-1

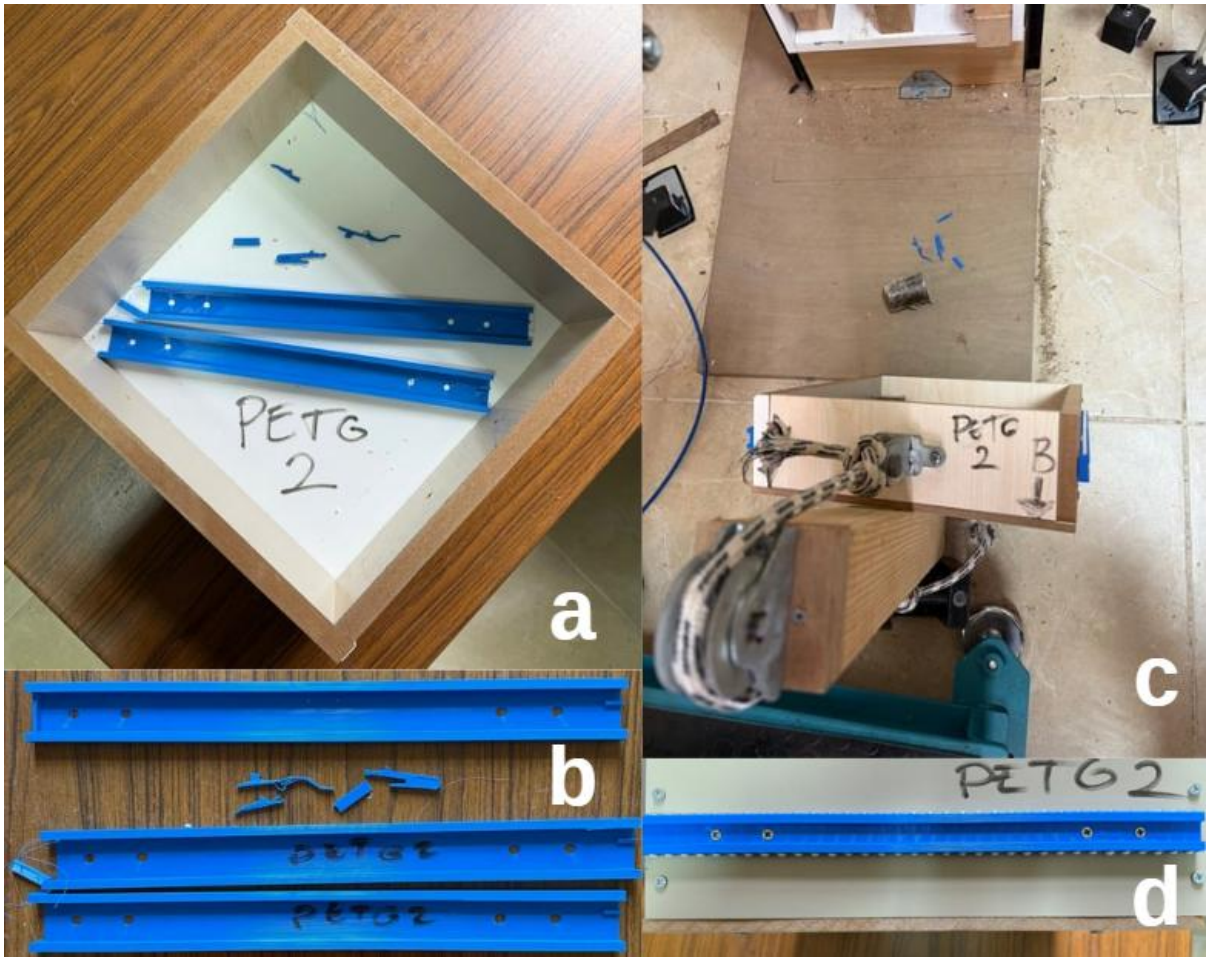
İlk test başarıyla tamamlanmış olsa da, sehim verilerinin alınması amacıyla ağırlıklar sökülürken, kabine bağlı rayın gövde kısmında yer alan vida bağlantı noktaları kırılmıştır. Bu kırılma haricinde başka bir yapısal deformasyona rastlanmamıştır. Ancak meydana gelen bu hasar, ray setinin bütünlüğünü bozmuş ve test sonrasında işlevselliğini sürdüremeyecek hale gelmesine yol açmıştır. Bu nedenle ilgili numune, test kriterleri açısından başarısız olarak değerlendirilmiştir. Test setine dair görsel bulgular Şekil 37'de sunulmaktadır.



Şekil 4.6: PETG-1 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Testin başarısız olduğu an, d) Sol gövde parçası deformasyonu.

- PETG-2

İlk iki test olan mukavemet ve yer değiştirme testleri başarıyla tamamlanmış olup, ray seti bu aşamalarda işlevini sürdürebilmiştir. Ancak hızlı açma testinin ikinci aşamasında, tüm stoper ve mandal elemanlarında kırılma meydana gelmiş; bu durum sonucunda çekmece kabinden tamamen ayrılarak dışarı fırlamıştır. Ray seti temel yapısal bütünlüğünü koruyor olsa da, açma ve kapama yönlerinde çekmeceyi kabin içerisinde tutacak herhangi bir sınırlayıcı parça kalmamıştır. Testin her tekrarında benzer şekilde çekmecenin dışarı çıkması, numune setinin bu test kriteri açısından başarısız olarak değerlendirilmesine neden olmuştur. Test setine ilişkin görsel bulgular Şekil 38'de sunulmaktadır.

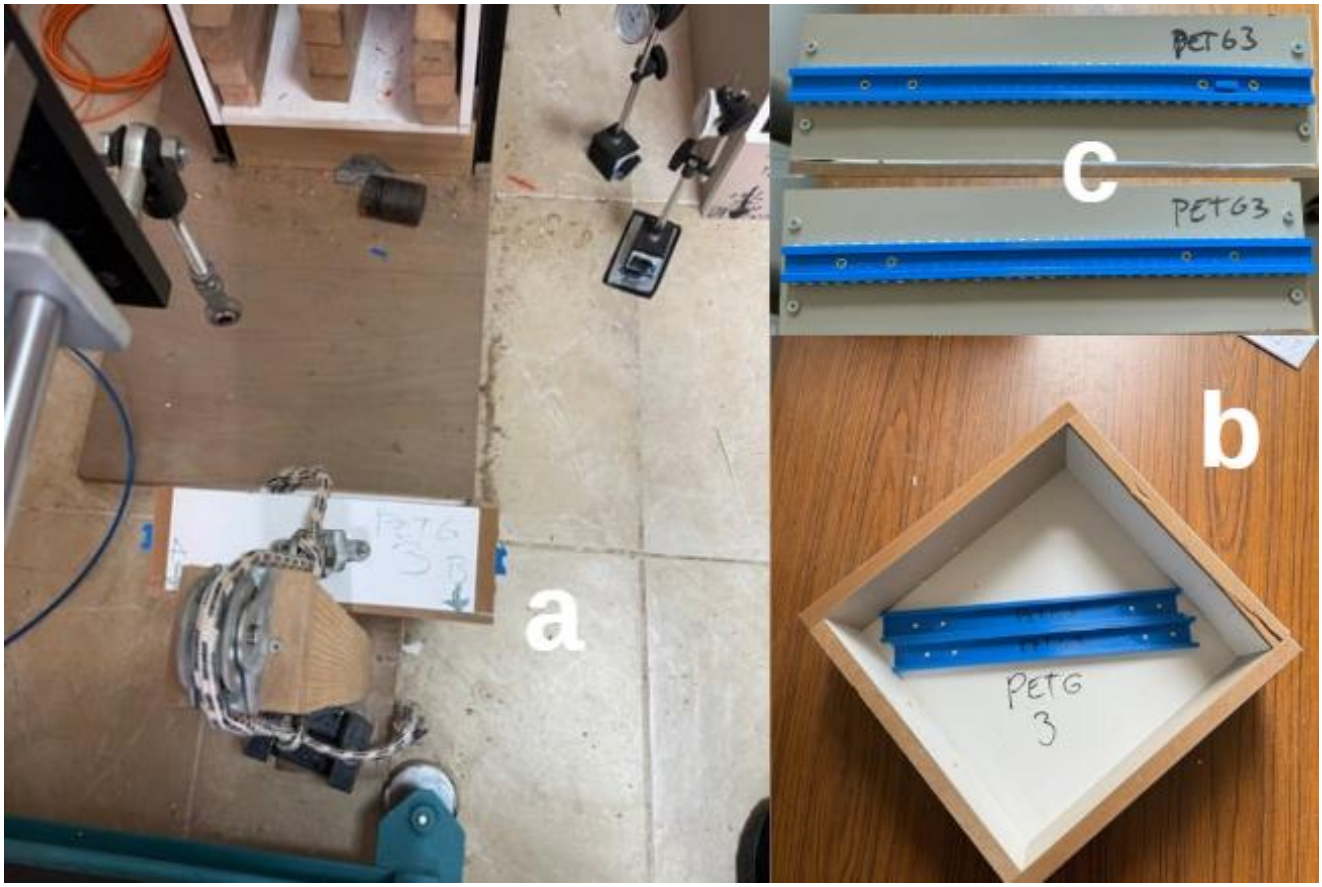


Şekil 4.7: PETG-2 a) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, b) Gövde deformasyon karşılaştırması, c) Testin başarısız olduğu an, d) Sağ ray parçası deformasyonu.

- PETG-3

İlk iki test olan mukavemet ve yer değiştirme testleri başarıyla tamamlanmıştır. Ancak yer değiştirme testi sırasında hem ön hem de arka stoperlerde kırılmalar meydana gelmiştir. Hızlı açma testinde ise, PETG-2 numunesinde olduğu gibi çekmecenin kabinden tamamen

çıkması ve gövde kısmının tutuculuğunu kaybetmesi nedeniyle test başarısız olarak değerlendirilmiştir. Bu durum, ray setinin güvenli çalışma fonksiyonunu yitirdiğini göstermektedir. Test setine dair görsel bulgular Şekil 39'da sunulmaktadır.



Şekil 4.8: PETG-3 a) Testin başarısız olduğu an, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Sağ ve sol ray deformasyonları.

- PETG-4

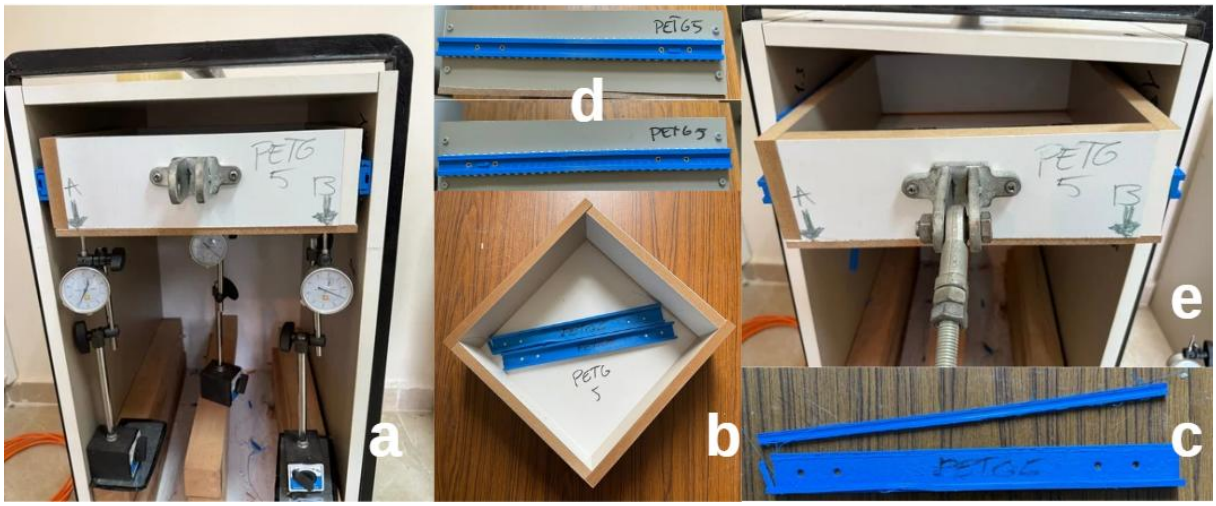
Tüm 5 test başarıyla tamamlanmış olup, testlerin sonunda ray seti işlevini sürdürmeye devam etmektedir. Deformasyon açısından değerlendirildiğinde, rayda eğilme ve sürtünmeye bağlı aşınmalar gözlemlenmiştir. Ayrıca, gövde kısmında yer alan ön ve arka stoperlerin kırıldığı tespit edilmiştir. Bu deformasyonlar, kullanım sırasında yapısal dayanıklılık üzerinde belirli sınırlamalar oluşturabilir. Test setine ait görsel bulgular Şekil 40'ta sunulmaktadır.



Şekil 4.9: PETG-4 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Sağ ve sol ray deformasyonları.

- PETG-5

İkinci test olan yer değiştirme testinde, sol gövde parçasının alt uzantısı esnemeye bağlı olarak tamamen kopmuş ve bu nedenle çekmece, teste devam edemeyecek şekilde ciddi bir deformasyon göstermiştir. Test setine ait görsel bulgular Şekil 41'de sunulmaktadır.



Şekil 4.10: PETG-5 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Sol gövde parçası majör deformasyonu, d) Sağ ve sol ray deformasyonları e) Testin başarısız olduğu an.

- Metal'den üretilmiş rayların sehim bulguları

MDF malzemeden yapılmış çekmece ve kabinlerde Metal malzemeden yapılmış her ray numunesine uygulanan bu 5 adet test prosedürünün 5 farklı yüklenmesi ile sonuçları ortaya konmuştur. Tablo 22'de Metal'den üretilmiş rayların deney sonucunun bulguları verilmişken Şekil 42 – Şekil 43'te testlerin görsel bulguları açıklanmıştır.

Tablo 6: Metalden üretilen rayların sehim bulguları.

Malzeme Türü	Örnek Numarası	Testler	Sehim Değerleri (mm)		
			A	B	C
METAL	Metal-1	Mukavemet Testi	1,62	0,98	0,82
		Yer Değiştirme Testi	1,93	1,04	1
		Hızlı Açma Testi	2,36	2,45	1,06
		Hızlı Kapama Testi	2,79	2,85	1,91
	Metal-2	Mukavemet Testi	0,18	0,13	0,03
		Yer Değiştirme Testi	0,67	0,27	0,2
		Hızlı Açma Testi	0,86	0,92	0,21
		Hızlı Kapama Testi	1,17	1,3	0,48
	Metal-3	Mukavemet Testi	0,53	0,75	0,16
		Yer Değiştirme Testi	0,91	1,93	0,52
		Hızlı Açma Testi	1,4	2,27	0,63
		Hızlı Kapama Testi	1,2	2,12	0,5
	Metal-4	Mukavemet Testi	0,2	0,3	0,03
		Yer Değiştirme Testi	0,31	0,91	0,11
		Hızlı Açma Testi	1,05	1,1	0,38
		Hızlı Kapama Testi	0,87	1,41	0,36
	Metal-5	Mukavemet Testi	0,5	0,11	0,06
		Yer Değiştirme Testi	0,54	0,23	0,16
		Hızlı Açma Testi	1,04	0,5	0,28
		Hızlı Kapama Testi	0,84	0,72	0,57

Test sonuçlarına göre A noktasında Metal raylarda okunan en büyük değerin Hızlı Kapama Testi sonucunda 2,79mm olduğu belirlenmiştir. Ayrıca en düşük değerin Mukavemet Testi sonucunda 0,18mm olduğu belirlenmiştir.

B noktasında Metal raylarda okunan en büyük değerin Hızlı Kapama Testi sonucunda 2,85mm olduğu belirlenmiştir. Ayrıca en düşük değerin Mukavemet Testi sonucunda 0,11mm olduğu belirlenmiştir.

C noktasında Metal raylarda okunan en büyük değerin Hızlı Kapama Testi sonucunda 1,91mm olduğu belirlenmiştir. Ayrıca en düşük değerin Mukavemet Testi sonucunda 0,03mm olduğu belirlenmiştir.

- Metal-1

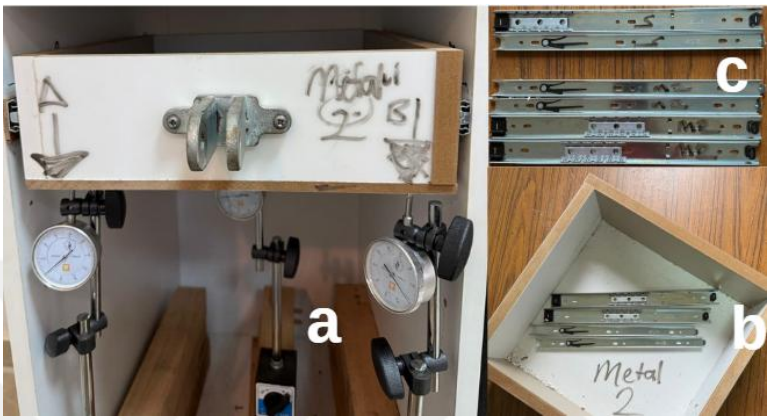
Tüm testleri başarıyla tamamlamış olup, testlerin ardından temel işlevini yerine getirmeye devam etmektedir. Ancak hızlı kapama testinde, rayların ön stoperleri aldığı darbe nedeniyle yamulmuş ve çekmece kapanmasının ardından tekrar açılamamıştır. Raylar tam kapanmasa da temel işlevi sürdürebilmektedir; fakat ön stoperin deformasyona uğraması, kapanma sonrası gövdeye sıkışarak hareketi ciddi oranda kısıtlamaktadır. Test setine ait görsel bulgular Şekil 42'de sunulmuştur.



Şekil 4.11: Metal-1 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Ray ve gövde kısımların deformasyon karşılaştırması (s = standart).

- Metal-2

Tüm testleri başarıyla tamamlamış olup, testler sonrasında temel işlevini yerine getirmeye devam etmektedir. Deneyler sonucunda, rayların bilye kafeslerinde ezilmelere ve ön stoperlerde belirgin deformasyonlara rastlanmıştır. Ancak bu deformasyonlara rağmen ray seti fonksiyonelliğini korumaktadır. Test setine ait görsel bulgular Şekil 43'te sunulmuştur.



Şekil 4.12: Metal-2 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Ray ve gövde kısımların deformasyon karşılaştırması (s = standart).

- Metal-3

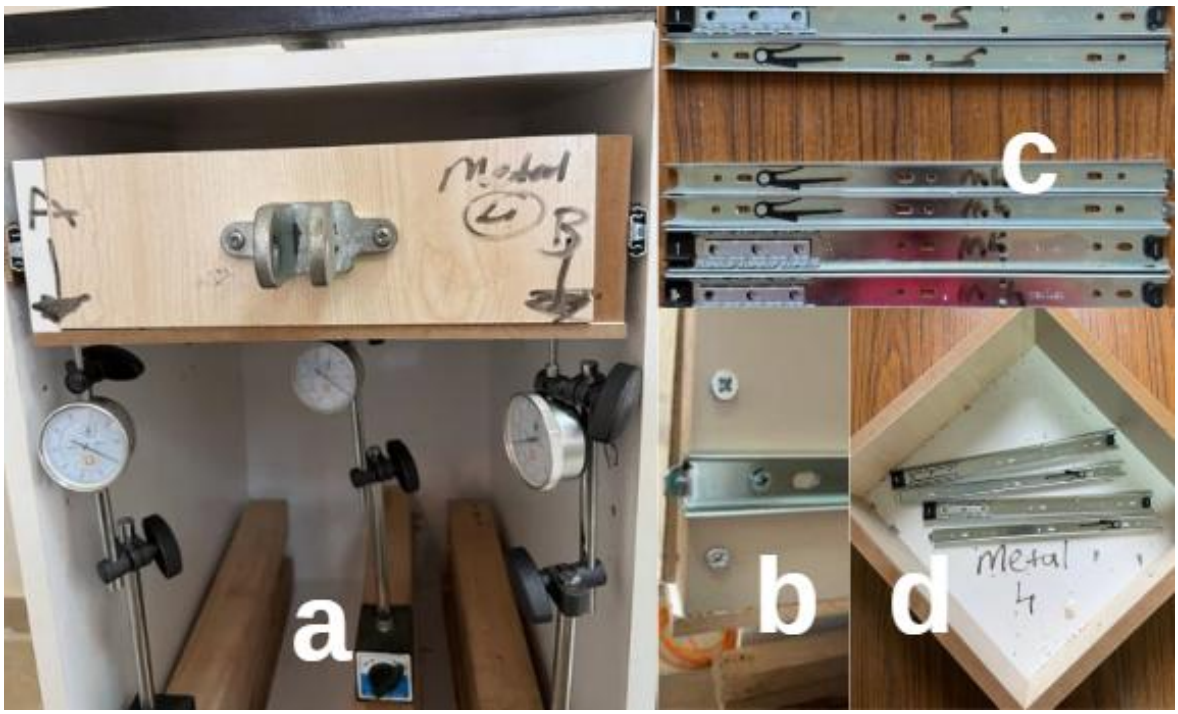
5 testi de tamamlamış ve testlerin sonucunda işlevini yerine getirmeye devam etmektedir. Deformasyon olarak rayların ön stoper kısımları yamulmuştur. Testler sonrasında ön stoperlerin yamulması sonucu zorlanma olsa da ray seti işlevini yerine getirmektedir. Test setine dair görsel bulgular Şekil 44'te görülmektedir.



Şekil 4.13: Metal-3 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Ray ve gövde kısımların deformasyon karşılaştırması (s = standart).

- Metal-4

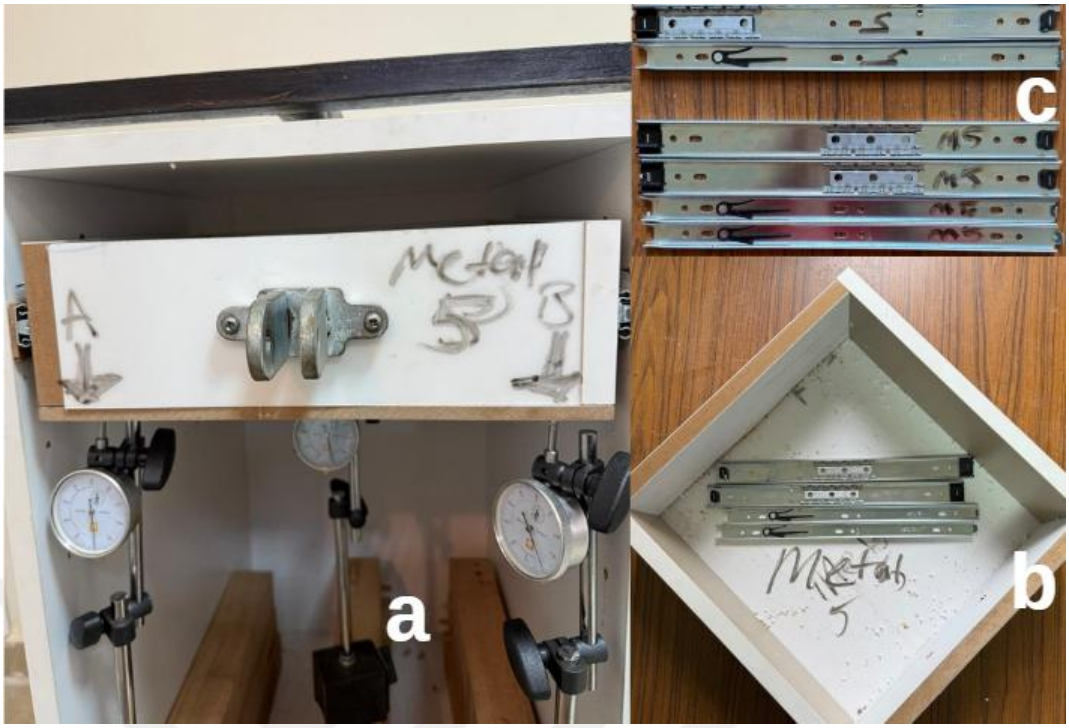
Tüm testleri başarıyla tamamlamış olup, uygulanan testler sonrasında temel işlevselliğini sürdürmektedir. Deformasyon açısından değerlendirildiğinde, özellikle rayların ön stoper kısımlarında yamulmalar meydana gelmiştir. Bu deformasyonlar sonrasında açma-kapama hareketlerinde kısmi zorlanmalar gözlense de ray seti genel işlevini yerine getirmeye devam etmektedir. Test setine ilişkin görsel bulgular Şekil 44'te sunulmuştur.



Şekil 4.14: Metal-1 a) Test öncesi düzenek, b) Ray deformasyonu, c) Ray ve gövde kısımların deformasyon karşılaştırması (s = standart), d) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu.

- Metal-5

Tüm testleri başarıyla tamamlamış olup, testler sonrasında temel işlevselliğini sürdürmektedir. Uygulanan testler neticesinde, özellikle ön stoper bölgelerinde ezilme deformasyonları gözlemlenmiştir. Bu deformasyonlara rağmen ray seti, işlevini yerine getirmeye devam etmektedir. Test setine ilişkin görsel bulgular Şekil 46'da sunulmuştur.



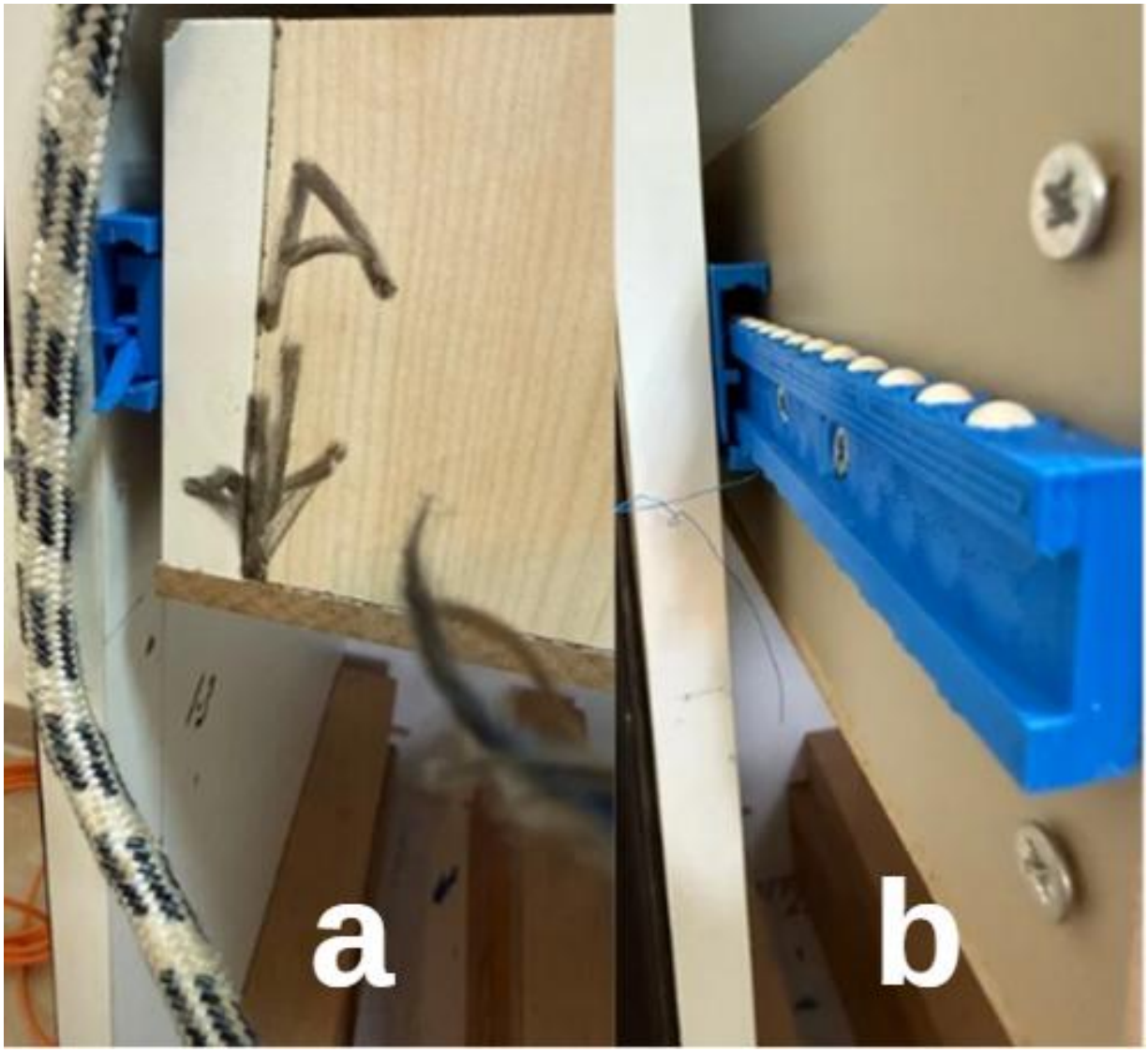
Şekil 4.15: Metal-5 a) Test öncesi düzenek, b) Test sonucu çekmece ve ray setinin genel durumu, c) Ray ve gövde kısımların deformasyon karşılaştırması (s = standart).

4.1.4. Çekmece Test Sonuçlarına Ait Diğer Majör Deformasyon Bulguları

Çalışma kapsamında çekmece rayı numunelerine standartlara uygun şekilde uygulanan 5 test sonucunda bazı numunelerde ciddi deformasyona uğrayan örnekler olmaktadır. Deformasyon bulguları Şekil 47 – Şekil 53'te gösterilmektedir.



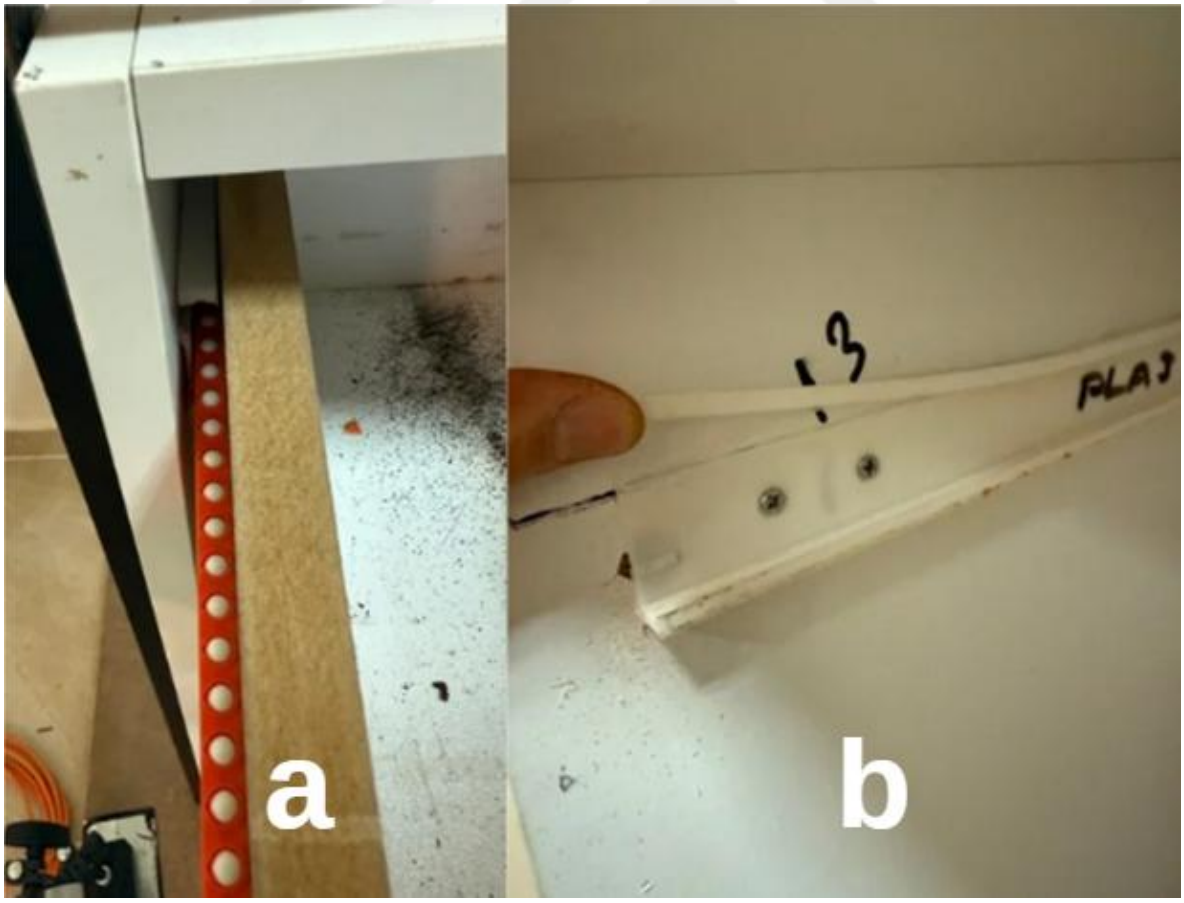
Şekil 4.16: a) PETG-1 gövdede oluşan alt taşıyıcı kısmın kırılma deformasyonu b) PETG-5 gövdede oluşan alt taşıyıcı kısmın kırılma deformasyonu.



Şekil 4.17: a) PETG ray setinde kırılan arka stoperin sıkışması, b) PETG gövde kısmının alt taşıyıcı yerinin kırılması.



Şekil 4.18: PETG numunenin sol gövde kısmının alt taşıyıcı alanın tamamen kırılması ve üst kısımların büyük ölçüde deforme olması.



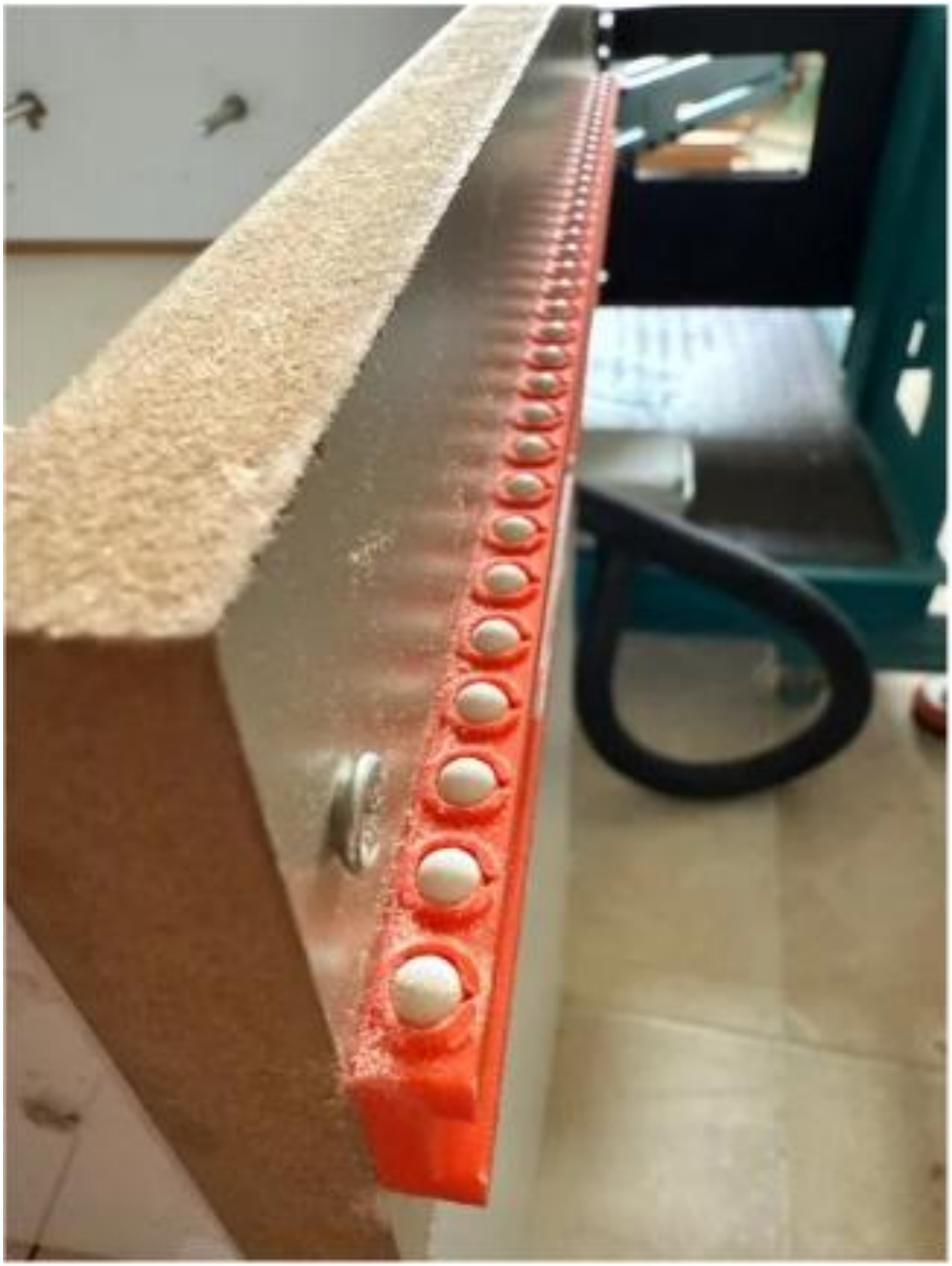
Şekil 4.19: a) PLA gövde kısmın üst kılavuzunun kırılması, b) PLA-3 gövde kısmının üst kılavuzunun kırılması.



Şekil 4.20: PLA-1 gövde kısmının ön ve arka stoperinin kırılması ve rayın hareketini sınırlaması.



Şekil 4.21: Test sonucu tüm numuneler.



Şekil 4.22: Raylardaki sürtünmeye bağlı olan genel deformasyon.

5. TARTIŞMA

Bu bölümde, çalışma kapsamında elde edilen deneysel veriler doğrultusunda Metal, PLA ve PETG malzemelerinden üretilmiş ray setlerinin mekanik performansları karşılaştırılmış, gözlemlenen bulgular literatürdeki benzer araştırmalarla ilişkilendirilerek değerlendirilmiştir. Ayrıca farklı test parametreleri altında malzemelerin gösterdiği tepkiler üzerinden yorumlamalar yapılmış ve sonuçların geçerliliği tartışılmıştır.

1. Marşavina ve diğ. (2022) yaptıkları çalışmada PLA filamentlerde Young modülü en düşük turuncu renkli filament ile baskısı alınan numunede, çekme direnci en düşük beyaz filamentte olduğunu belirtmiştir. Yapılan bu çalışmada kullanılan PLA filamentleri turuncu ve beyaz renkli olmaktadır. Yapılabilecek gelecek çalışmalarda Marşavina ve diğ. (2022)'nin çalışmasından yararlanılarak en yüksek çekme ve Young modülü olan kırmızı veya mor renkler tercih edilebilir, aradaki fark gözlemlenebilir.

2. Aiman ve diğ., (2020), yaptıkları çalışmada ABS ve PETG filamentleri ile üretilen numuneler üzerinde gerçekleştirdikleri çekme ve eğilme testleri sonucunda, mekanik özellikler bakımından PETG filamentinin daha iyi performans gösterdiğini ve bu nedenle nihai prototipi PETG ile oluşturduklarını belirtmişlerdir. Yan ve diğ., (2024) ise yaptıkları çalışmada, PETG filamentinin PLA'ya kıyasla çekme mukavemeti ve bozunma sıcaklığı gibi özelliklerde üstün olduğunu ifade etmiştir. Ancak, bu çalışmada PETG filamentinden üretilen ray setlerinin, PLA ray setlerine kıyasla düşük performans gösterdiği gözlemlenmiştir. PETG ray setleri, uygulanan beş testin yalnızca birinde başarılı sonuç vermiştir. Önceki çalışmaların aksine, bu çalışmada PLA filamentli baskıların PETG'ye kıyasla yük taşıma kapasitesi, çekmece uygulamaları ve ani darbelere karşı tolerans gibi parametrelerde daha yüksek performans gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, önceki literatürde PETG'nin özellikle tıbbi uygulamalarda daha yaygın tercih edildiği vurgulanırken, bu çalışma ev eşyası/aksesuarı odaklı kullanımlarda PLA'nın üstünlüğünü ortaya koymuştur.

3. PETG ve PLA filamentleri arasında temel yapısal farklar bulunmakla birlikte, bazı mekanik özelliklerde benzerlikler gösterdikleri de literatürde ifade edilmiştir. Fayazbakhsh ve diğ. (2019), PLA filamentinde raster açısının (örneğin paralel ya da dik açı) mukavemet üzerinde %20'ye kadar etkili olduğunu belirtmiştir. Algarni ve Ghazali (2021) ise hem PLA hem de PETG malzemelerde mekanik özellikleri en çok etkileyen parametrenin dolgu oranı olduğunu vurgulamıştır. Benzer şekilde, Mallek ve diğ. (2025) çalışmalarında PETG filamentinin karbon fiber ile güçlendirilmesi ve auxetic petek dolgu yapısıyla kullanılması durumunda mekanik dayanımın önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Ayrıca, Kumaresan ve diğ. (2025) de raster açısının (özellikle yük doğrultusuna göre 0° açıyla yapılan baskılar) ve yüksek dolgu oranının, darbe dayanımı, çekme ve eğilme mukavemeti üzerinde olumlu etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Bu bağlamda, ray setlerinin mekanik dayanımını artırmak adına benzer tekniklerin kullanılabileceği düşünülmektedir.

4. Hsueh ve diğ. (2021), yaptıkları çalışmada PLA ve PETG filamentlerinden üretilmiş numunelerin mekanik özelliklerini karşılaştırmış; Young modülü dışında PLA'nın çoğu mekanik parametrede PETG'den daha üstün performans gösterdiğini belirtmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar da Hsueh ve diğ. tarafından ulaşılan bulguları doğrudan desteklemektedir.

5. Bembenek ve diğ. (2022), PLA'nın özgül çekme dayanımının PETG'ye göre daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada PLA ray setlerinin tüm testleri başarıyla tamamlaması ve PETG'nin yalnızca bir setinin başarılı olması, Bembenek ve diğ.,'nin bulgularıyla paralellik göstermektedir.

6. Ekrem ve Yılmaz, (2025), yaptıkları çalışmada PLA, PETG ve ABS filamentler arasında yaptığı mekanik testler sonucunda görmüştür ki elastisite modülü 1346,4 MPa ile en yüksek değere PLA sahip olmuştur. Başka benzer bir çalışmada ise Martins ve diğ. (2024), tek eksenli çekme testi bulgularında PLA numunelerinin çekme direnci ve Young modülünü PETG numunelerine göre çok daha mukavemetli olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışmada da PLA ray setlerinin PETG ray setlerine göre mukavemetinin ve sehim (yer değiştirme) değerlerinin daha üstün çıkmasını doğrudan desteklemektedir.

7. Prajapati ve diğ. (2024), farklı araştırmacıların FDM yöntemiyle üretilmiş PLA ve PETG malzemelere yönelik mekanik test sonuçlarını derleyerek PLA'nın, Nugraha ve diğ. (2023)'e göre yoğunluk (1250 kg/m³), çekme dayanımı (65 MPa) ve eğilme dayanımı (75 MPa) açısından en yüksek değerlere ulaştığını; PETG'nin ise Ronca ve diğ. (2022)'ye göre yoğunluk (1270 kg/m³), çekme dayanımı (50 MPa) ve eğilme dayanımı (73 MPa) gibi değerlerle öne çıktığını belirtmiştir. Bu bulgular, çalışmamızda gerçekleştirilen standart test sonuçları ile de örtüşmekte; PLA filamentinden üretilen ray setlerinin PETG'ye kıyasla daha yüksek mukavemet ve deformasyon direnci sunduğunu istatistiksel ve görsel analizlerle desteklemektedir.

8. Önceki çalışmaların çoğunda PETG'nin çekme mukavemeti ve termal dayanım gibi alanlarda PLA'ya kıyasla üstün olduğu ifade edilirken, bu çalışmada özellikle yük taşıma kapasitesi, sehim dayanımı ve darbelere karşı tolerans gibi uygulamaya yönelik kriterlerde PLA'nın daha başarılı performans gösterdiği belirlenmiştir. Literatürde PLA'nın özgül çekme dayanımı, elastisite modülü ve deformasyon direnci açısından üstün olduğunu savunan çalışmalarla (Hsueh ve diğ. 2021; Bembenek ve diğ. 2022; Ekrem ve Yılmaz, 2025) bu çalışma arasında doğrudan bir paralellik gözlenmiştir. Ayrıca dolgu oranı, raster açısı gibi üretim parametrelerinin nihai mekanik performans üzerindeki etkisi, mevcut sonuçlar ışığında yeniden önem kazanmıştır. Bu bağlamda, PLA'nın özellikle ev eşyası veya hafif mekanik yük altında çalışan parçalarda PETG'ye kıyasla daha uygun bir seçenek olabileceği görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, literatürdeki genel eğilimleri hem desteklemekte hem de ray sistemleri gibi fonksiyonel ürünlerde malzeme seçimi konusunda yeni bakış açıları sunmaktadır.

9. Çalışmada elde edilen veriler, metal ray sistemlerinin tüm test gruplarında (A, B ve C) hem PLA hem de PETG malzemelere kıyasla istatistiksel olarak anlamlı biçimde daha yüksek ortalama değerlere sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle Grup A ve B'deki düşük varyasyon katsayısı (%66 ve %73), metal ray sistemlerinin ölçüm açısından son derece tutarlı sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, metalin yapısal rijitliğinden ve üretim sürecindeki homojenliğinden kaynaklanabilir. Literatürde de benzer bulgular mevcuttur; Smardzewski ve Majewski, (2013; Şeker ve diğ. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada, Varyans analizi kullanılarak, malzeme türü, tork ve yük değişkenlerinin sapma değerlerine göre etkili olduğu belirlenmiş ve aynı zamanda, malzeme türü, yük ve tork arasındaki etkileşimin önemli olduğu öne çıkmıştır. Metal

raylı çekmecelerin dayanıklılık testlerinde yüksek performans sergilediği ve deformasyon oranlarının düşük olduğu belirtilmiştir.

Bu bağlamda, yapılan deneysel çalışma ile elde edilen bulgular hem literatürdeki benzer araştırmalarla tutarlılık göstermekte hem de bazı yönlerden yeni katkılar sunmaktadır. PLA malzemesinin belirli parametreler altında PETG'ye kıyasla daha üstün, METAL'e karşı eş değer bir mekanik performans sergilemesi, ray setleri gibi fonksiyonel uygulamalarda tercih edilmesini desteklemektedir. Literatürle yapılan karşılaştırmalar, çalışmanın bilimsel geçerliliğini artırmakta ve FDM teknolojisiyle üretilecek fonksiyonel parçaların malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlara ışık tutmaktadır. Elde edilen sonuçlar, gelecekteki araştırmalara yön verecek nitelikte olup, farklı malzeme kombinasyonlarının ve üretim parametrelerinin test edilmesiyle daha kapsamlı değerlendirmelerin yapılmasına olanak tanıyacaktır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yüklük olarak kullanılan çekmecelerin birleştirme elemanları olan ray setlerinin farklı malzemelerden (Metal, PLA ve PETG) üretilmeleri durumunda, yük altındaki mekanik davranışları ilgili standartlar çerçevesinde incelenmiştir.

Uygulanan test yöntemleri sonucunda, aynı 3D yazıcıda basılan PLA malzemeli rayların; fiziksel ve mekanik açıdan, aynı koşullarda basılan PETG raylara kıyasla daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.

Çalışma Sonucunda Elde Edilen Temel Bulgular:

- Ürün tasarımında sadece estetik değil, aynı zamanda mekanik ve fiziksel özelliklerin de dikkate alınması gerektiği ortaya konmuştur.

- Kullanım alanı ve beklentilere uygun hammadde seçimi, ürün performansını doğrudan etkilemektedir.

- Üretim öncesinde prototipleme yapılması ve nihai kullanım alanında test edilerek ürünün revize edilmesi gereklidir.

- 3D yazıcıdan çıkan plastik temelli parçaların, uygun tasarım ve parametrelerle metal malzemeler kadar dayanıklı olabileceği görülmüştür.

6.1. METAL RAY SETİ SONUÇLARI

1. Tüm metal ray setleri, uygulanan beş testin tamamını tamamlamış ve testler sonrasında temel işlevselliğini büyük oranda korumuştur. Hiçbir ray seti, testler sonrası tamamen işlev dışı kalmamıştır.

2. En sık karşılaşılan deformasyon türleri; ön stoperlerdeki ezilme ve yamulmalar, bazı örneklerde ise bilye kafeslerinde oluşan eziklerdir. Bu deformasyonlar, özellikle hızlı kapama testi gibi darbe içeren testlerden sonra daha belirgin hale gelmiştir.

3. Bazı örneklerde (özellikle Metal-1) deformasyonlar, rayın açılıp kapanmasını doğrudan etkileyerek işlevselliği kısıtlamıştır. Ancak bu kısıtlamalar sistemin tamamen çalışmaz hale gelmesine neden olmamıştır.

4. Metal ray sistemleri genel olarak yüksek yapısal dayanım sergilemiş, gövdeden ayrılma ya da kopma gibi yapısal bütünlüğü bozan ciddi kusurlar gözlemlenmemiştir. Bu da metal rayların darbe ve zorlamalara karşı dirençli olduğunu ortaya koymaktadır.

5. Diğer malzemelerle (PETG, PLA) karşılaştırıldığında metal ray sistemleri, test setleri boyunca hem dayanım hem de deformasyon açısından daha stabil ve uzun ömürlü bir performans profili sunmuştur.

6.2. PLA RAY SETİ SONUÇLARI

1. PLA filament, PETG'ye kıyasla daha rijit bir yapıya sahip olup, esnemeye karşı toleransı daha düşüktür. Bu durum, darbelere karşı daha yüksek direnç göstermesini sağlamaktadır. Aynı zamanda maliyet açısından daha ekonomik bir çözüm sunmakta ve yaygın kullanımıyla açık sistem 3D yazıcılarda rahatlıkla işlenebilmektedir. Düşük işleme sıcaklığı ve stabil soğuma özelliği sayesinde yüksek baskı kalitesi elde edilmekte, ayrıca baskı süreleri kısalmakta ve enerji tüketimi minimum seviyede kalmaktadır.

2. Uygulanan testler sonucunda, PLA'dan üretilen tüm ray setleri temel işlevlerini sürdürebilecek şekilde testleri başarıyla tamamlamıştır. PLA-2 ve PLA-3 numunelerinde bazı sehim değerlerinin tespit edilememesi, malzemenin elastik davranışı nedeniyle geçici deformasyon yaşayıp, ardından eski formuna dönme eğiliminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

3. Test süreci boyunca, genellikle sürtünmeye bağlı yüzey deformasyonları gözlemlenmiş; hızlı açma ve kapama testlerinde ise özellikle stoper bölgelerinde kırılmalar meydana gelmiştir. Bununla birlikte, tüm PLA numuneleri, oluşan deformasyonlara rağmen fonksiyonel olarak görevlerini yerine getirmeye devam etmiştir.

6.3. PETG RAY SETİ SONUÇLARI

1. PETG filament, PLA'ya kıyasla daha esnek bir yapıya sahiptir ancak bu esneklik, darbe ve yük altındaki yapısal dayanımı olumsuz etkilemiş ve mekanik stabilite açısından dezavantaj yaratmıştır. Ayrıca PLA'ya göre daha yüksek maliyetlidir.

2. Bu filament türü, baskı sırasında yüksek sıcaklık gereksinimi nedeniyle genellikle kapalı sistem 3D yazıcılarda daha başarılı sonuçlar vermektedir. Yüksek işlem sıcaklıkları ve ortamın kontrollü şekilde ısıtılması gerektiği için işleme süresi uzamakta, dolayısıyla enerji tüketimi ve toplam üretim maliyeti artmaktadır.

3. Yapılan deneyler sonucunda yalnızca PETG-4 numunesi tüm testleri başarıyla tamamlamış ve temel işlevselliğini sürdürebilmiştir. Diğer PETG numuneleri ise özellikle hızlı açma testlerinde ciddi deformasyonlara uğramış, bazıları testlere devam edemeyecek düzeyde hasar görmüştür.

4. Genel olarak, PETG numunelerinde esnemeye bağlı yapısal kırılmalar ve deformasyonlar tespit edilmiştir. Bu deformasyonlar özellikle taşıyıcı gövde kısımlarında yoğunlaşmış ve stoper bölgelerinde kırılmalar meydana gelmiştir.

5. PETG ray setlerinde gözlemlenen en büyük problem, esneklikten kaynaklanan stabilite kaybı olmuştur. Rayın açılması sırasında yük merkezinin değişmesiyle birlikte, ray-gövde birleşim yerlerinde gerilme artmış ve yapısal bütünlük bozulmuştur. Bu durum, birleşim noktalarında çatlaklara ve kırılmalara yol açmıştır.

6.4. ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda, %40 iç doluluk oranı, 0.2 mm katman kalınlığı ve üçgen dolgu yapısı ile üretilen PLA numunelerin, PETG malzemeye kıyasla daha yüksek mekanik dayanım sergilediği görülmüştür. Ayrıca, PLA ile metal raylar arasında yapılan karşılaştırmalarda, özellikle sehim değerleri açısından anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. PLA'nın mukavemet özelliklerinin daha da iyileştirilebilmesi adına aşağıdaki üretim parametrelerinin optimize edilmesi önerilmektedir:

- İç doluluk oranının artırılması,
- Katman kalınlığının azaltılması,

- Duvar yüzeylerine daha iyi kenetlenen dolgu desenlerinin tercih edilmesi,
- Baskı hızının düşürülmesi.

Bunlara ek olarak, PLA filamentin karbon fiber, odun tozu gibi katkı maddeleriyle takviye edilmesi veya daha yüksek mekanik performansa sahip alternatif malzemeler (örneğin ABS, ASA gibi) kullanılması, yapısal dayanımı önemli ölçüde artırabilir.

Tasarım düzeyinde ise, yük taşıyan parçaların geometrilerinde keskin ve dik açılardan (özellikle 90°) kaçınılması; bunun yerine gerilimi dağıtacak şekilde yuvarlatılmış köşe ve geçişlerin tercih edilmesi deformasyon riskini azaltacak ve parçaların servis ömrünü uzatacaktır.

Ayrıca, üretim esnasında ray setlerinin baskı tablasına 45° açıyla ve kuvvet yönüne paralel şekilde yerleştirilmesi (raster açısı 0°) mukavemetin artırılmasına katkı sağlayabilir. Son olarak, yüksek pigment içerikli filamentler (örneğin mor veya kırmızı tonlar) bazı çalışmalarda mekanik performans üzerinde olumlu etkiler göstermiştir ve bu doğrultuda değerlendirilmesi önerilmektedir.

6.5. İSTATİSTİKİ SONUÇLAR

İstatistiksel analizler sonucunda, PLA ray sistemlerinin özellikle düşük yüke sahip gruplarda (Grup A) yer değiştirme ve sehim değerlerinde tutarlı bir performans sergilediği görülmüştür. ANOVA ve Tukey HSD testleri, PLA'nın düşük yük altında PETG ile istatistiksel olarak benzer sonuçlar verdiğini ($p > 0.05$) ve bazı durumlarda aritmetik ortalama deformasyon değerlerinin PETG'den daha düşük olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, bazı testlerde PLA'nın varyasyon katsayısı PETG'ye göre daha düşük bulunmuş, bu da PLA'nın belirli koşullarda daha öngörülebilir ve kararlı sonuçlar sunduğunu göstermektedir. Bu bulgular, PLA'nın düşük yük ve hafif kullanım senaryoları için maliyet-etkin bir alternatif olabileceğini desteklemektedir.

Tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde (Tablo 16), özellikle METAL A ve METAL B gruplarının yüksek ortalama değerlere sahip olduğu ve varyasyon katsayılarının sırasıyla %66 ve %73 gibi düşük düzeylerde kaldığı görülmektedir. Bu durum, metal ray setlerinin ölçümlerinin son derece tutarlı ve istikrarlı olduğunu göstermektedir. Buna karşın, PETG A (%1215), PETG B (%1286) ve PETG C (%1351) gruplarında varyasyon katsayılarının oldukça yüksek olması, bu malzemelerde ölçüm sonuçlarının daha dağınık ve değişken olduğunu ortaya

koymaktadır. PLA gruplarında ise ortalama değerlerin PETG'ye göre daha yüksek, metal gruplara göre daha düşük olduğu; varyasyon katsayılarının ise daha dengeli olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgular, malzeme türlerine bağlı olarak hem performans seviyelerinde hem de ölçüm kararlılığında belirgin farklılıklar olduğunu göstermektedir.

Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, metal ray setlerinin tüm gruplarda (A, B ve C) hem PLA hem de PETG ray setlerine kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek ortalama değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, metal ray setlerinin genel olarak hem dayanım hem de tutarlılık açısından PLA ve PETG'ye göre daha üstün performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, 3D yazıcı ile üretim yapan kullanıcı ve işletmelere, kullanılacak filamentin seçimi ve baskı parametrelerinin belirlenmesi konularında yol gösterici veriler sunmaktadır. Ancak, ray sistemlerinde dinamik yükler (örneğin ani açma/kapama hareketleri) göz önünde bulundurulduğunda, daha rijit ve darbe emici özelliklere sahip tasarımların tercih edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. PETG gibi esnek malzemeler darbe emici özellik gösterse de şekil bozulması ve kırılma riskleri nedeniyle yapısal yük taşıyan bileşenlerde önerilmemektedir. Öte yandan, PLA ile üretilen ray sistemlerinde, oluşan deformasyonlara rağmen mekanizmanın işlevselliğini sürdürebilmesi, bu malzemeyi kısa ve orta vadeli kullanımlar için avantajlı kılmaktadır. Bu avantajın uzun vadeye taşınabilmesi için, kritik bölgelerde gövde tasarımlarının kalınlaştırılması veya desteklenmesi önerilmektedir.

Bunun yanı sıra, PLA'nın rijitliği ile PETG'nin esnekliğinden yararlanarak hibrit çözümler de geliştirilebilir. Örneğin, PLA gövde ile birlikte esnek TPU stoper kullanımı gibi kombinasyonlar sayesinde hem darbe dayanımı hem de işlevsellik artırılabilir. Ayrıca, çok malzemeli baskı (multi-material printing) yöntemleriyle, yapısal olarak kritik bölgelere PLA uygulanırken, diğer bölgelere daha esnek veya hafif malzemeler entegre edilebilir. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, baskısı alınacak ürünün kullanım amacı ve gereksinimlerine göre, filament seçimi ve baskı teknikleri konusunda üreticiye önemli katkılar sağlamaktadır.

6.6. GELECEK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen bulgular ışığında, gelecekte yapılacak araştırmalara katkı sağlayabilecek aşağıdaki öneriler sunulmaktadır:

- Farklı Dolgu Tipleri ve Doluluk Oranlarının İncelenmesi: Bu çalışmada sabit bir dolgu tipi ve doluluk oranı kullanılmıştır. Gelecekte, petek, gyroid veya grid gibi farklı dolgu geometrileri ile çeşitli iç doluluk oranlarının kullanıldığı deneylerin gerçekleştirilmesi, malzemenin mekanik davranışlarının daha ayrıntılı ve kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanıyacaktır.

- Baskı Yönü ve Parça Konumlandırmasının Mekanik Performansa Etkisi: 3D baskı sürecinde katman yönelimi ve parçanın baskı tablasındaki konumu, baskı kalitesi ve mukavemet üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Bu parametrelerin sistematik olarak değiştirilerek incelenmesi, optimum baskı yönü ve konumlandırmasının belirlenmesini sağlayarak ürün dayanıklılığının artırılmasına katkıda bulunacaktır.

- Alternatif Filament Türleri ile Karşılaştırmalı Çalışmalar: PLA ve PETG dışındaki filamentlerin (örneğin ABS, ASA, PA (Naylon), PC ve TPU) mekanik performanslarının ve işlenebilirliklerinin değerlendirilmesi, farklı uygulama alanlarına yönelik malzeme seçimini optimize etmeye yardımcı olacaktır.

- Çok Malzemeli (Multi-Material) Baskı Tekniklerinin Uygulanması: Farklı bölgelerde farklı filamentlerin bir arada kullanıldığı çok malzemeli baskı teknikleri sayesinde hem rijitlik hem de esnekliğin gerekli olduğu fonksiyonel ve dayanıklı ürünlerin tasarımı mümkün olacaktır. Örneğin, rijit bir gövde ile esnek bir stoperin birlikte basılması bu yaklaşım kapsamında değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

Aiman, A.F., Sanusi, H., Haidiezul, A.H.M., ve Cheong, H.Y., 2020. Design and structural analysis of 3D-printed modular furniture joints. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 932 (1).

Algarni, M. ve Ghazali, S., 2021. Comparative study of the sensitivity of pla, abs, peek, and petg's mechanical properties to fdm printing process parameters. *Crystals*, 11 (8).

Antunes, P. V., Ramalho, A., ve Carrilho, E.V.P., 2014. Mechanical and wear behaviours of nano and microfilled polymeric composite.Effect of filler fraction and size. *Materials and Design*, 61, 50–60.

Aw, Y.Y., Yeoh, C.K., Idris, M.A., Teh, P.L., Hamzah, K.A., ve Sazali, S.A., 2018. Effect of printing parameters on tensile, dynamic mechanical, and thermoelectric properties of FDM 3D printed CABS/ZnO composites. *Materials*, 11 (4).

Barletta, M. ve Puopolo, M., 2020. Thermoforming of compostable PLA/PBS blends reinforced with highly hygroscopic calcium carbonate. *Journal of Manufacturing Processes*, 56, 1185–1192.

Bartolo, P., Kruth, J.P., Silva, J., Levy, G., Malshe, A., Rajurkar, K., Mitsuishi, M., Ciurana, J., ve Leu, M., 2012. Biomedical production of implants by additive electro-chemical and physical processes. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61 (2), 635–655.

Baucke, J., 2023. Manufacturing and LCA Data Collection for a Biomaterial a/c Interior Demonstrator using the example of a Drawer Box. *Journal of Physics: Conference Series*, 2526 (1).

Bembenek, M., Kowalski, Ł., ve Kosoń-Schab, A., 2022. Research on the Influence of Processing Parameters on the Specific Tensile Strength of FDM Additive Manufactured PET-G and PLA Materials. *Polymers*, 14 (12).

Bharatish, A., Kumar, A., Siddhanth, K.S., Manikant, V., Jagdish, P., Sharma, A., ve Solaiachari, S., 2025. On optimizing wettability, surface roughness and swelling behaviour of laser-polished 3D-printed PETG polymer for bio-medical implants. *Polymer*, 330.

Bock, S., Rades, T., Rantanen, J., ve Scherließ, R., 2022. Additive manufacturing in respiratory sciences – Current applications and future prospects. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 186.

Creality, 2025. *Creality - K1 Max Printer*, https://www.creality.com/pages/download-k1-max-flagship?spm=..page_1934481.products_display_1.1, [Ziyaret Tarihi: 26 Mayıs 2025].

Dilik, T., 1992. Türkiye'de yapı elemanı ve mobilya aksesuarı üretimi ve sorunları üzerine incelemeler. İstanbul Üniversitesi.

Ekrem, M. ve Yılmaz, M., 2025. Mechanical Properties of PLA, PETG, and ABS Samples Printed on a High-Speed 3D Printer. *Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7 (1), 161–174.

Farah, S., Anderson, D.G., ve Langer, R., 2016. Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 107, 367–392.

Fayazbakhsh, K., Movahedi, M., ve Kalman, J., 2019. The impact of defects on tensile properties of 3D printed parts manufactured by fused filament fabrication. *Materials Today Communications*, 18, 140–148.

Fewella, L.N., 2024. Smartification furniture manufacturing: A furniture prototype with thermal-based sensors (Visions and Challenges). *Results in Engineering*, 24.

Fini, A.T., Brooks, C.K., Romani, A., Straatman, A.G., ve Pearce, J.M., 2025. Parametric Design of Easy-Connect Pipe Fitting Components Using Open-Source CAD and Fabrication Using 3D Printing. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 9 (2).

García-Alvarado, R., Soza, P., Moroni, G., Pedreros, F., Avendaño, M., Banda, P., ve Berríos, C., 2024. From BIM model to 3D construction printing: A framework proposal. *Frontiers of Architectural Research*, 13 (4), 912–927.

Gjonov, I.V. ve Hristozov, A., 2024. 3D printable model of an entomological pinning block, designed for precise positioning of entomological glue boards and labels. *Biodiversity Data Journal*, 12.

Gula, Y., Maznichenko, O., Podlevskyi, S., Osadcha, A., ve Derevianko, Y., 2024. Evaluating the Impact of 3D Printers for Creating Innovative Poster Designs. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 102 (24), 9123–9136.

Hajdarevic, S., Kitek Kuzman, M., Obucina, M., Vratuša, S., Kušar, T., ve Kariž, M., 2023. Strength and stiffness of 3D-printed connectors compared with the wooden mortise and tenon joints for chairs. *Wood Material Science and Engineering*, 18 (3), 870–883.

Hassan, M.H., Omar, A.M., Daskalakis, E., Hou, Y., Huang, B., Strashnov, I., Grieve, B.D., ve Bártolo, P., 2020. The potential of polyethylene terephthalate glycol as biomaterial for bone tissue engineering. *Polymers*, 12 (12), 1–12.

Hettich, 2025. *Hettich Çekmece Rayları*, https://shop.hettich.com/tr_TR/Kılavuz-sistemleri/c/group93961603792, [Ziyaret Tarihi: 26 Mayıs 2025].

Hsueh, M.H., Lai, C.J., Wang, S.H., Zeng, Y.S., Hsieh, C.H., Pan, C.Y., ve Huang, W.C., 2021. Effect of printing parameters on the thermal and mechanical properties of 3d-printed pla and petg, using fused deposition modeling. *Polymers*, 13 (11).

İstikbal, 2025. *İstikbal Montaj Şeması*, https://montaj.istikbal.com.tr/tr/u/22RLN3155OPJB, [Ziyaret Tarihi: 26 Mayıs 2025].

Kalaycıoğlu, H., Aras, U., ve Çınar, T., 2017. Mobilyada Tamamlayıcı Elemanlar "Aksesuarlar". *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6 (3), 1188–1198.

Karaman, A., Sofuoğlu, S.D., ve Yeşil, H., 2020. L tipi demonte mobilya köşe birleştirmelerde bağlantı elemanlarının eğilme momenti üzerine etkilerinin araştırılması. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 21 (2), 159–165.

Karataş, E., Serhat İkizoğlu, D., Serkan Türkeli, D., Kaan Kurt, K., Tanzer Atay, H., Alpkan Çiçek, M., 2023. Smart Drawer: Innovative Drawer Storage System and Position Control of Drawers with PI Controller. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*. İstanbul.

Kariz, M., Sernek, M., ve Kuzman, M.K., 2016. Use of wood powder and adhesive as a mixture for 3D printing. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74 (1), 123–126.

Kasal, A., 2004. Masif ve kompozit ağaç malzemelerden üretilmiş çerçeve konstrüksiyonlu koltukların performansları. Gazi Üniversitesi.

Kılıç, H., Kasal, A., Özcan, C., ve Efe, H., 2018. Computer Aided Ergonomics in Furniture Design: Case Study for Kitchen Bottom Cupboards. *Içinde*: *V. International Furniture Congress*. Eskişehir.

Kılıç, U., 2021. The importance of hardware in furniture production and determination of the criteria in the selection of furniture hardware. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa.

Kılıç, U. ve Dilik, T., 2022. Effective factors in the selection of furniture hardware and alternative approaches on preference priority. *Içinde*: *The XXXth International conference Research for Furniture Industry*. Poznań.

Koç, K.H. ve Aksu, B., 1995. Küçük Ölçekli Bir Mobilya İşletmesinde Üretim Sürecinin Analizi. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi A Serisi*, 45 (2), 79–91.

Kroon, E. ve Nilsson, A., 2019. Development of Sliding Mechanism for IKEA Furniture. Lund University.

Kumaresan, R., Kadirgama, K., Samykano, M., Harun, W.S.W., Thirugnanasambandam, A., Aslfattahi, N., Samylingam, L., Kok, C.K., ve Ghazali, M. Fairusham, 2025. Optimization of inter-layer printing parameters for enhanced mechanical performance of PETG in Fused Deposition Modeling (FDM). *Results in Engineering*, 25.

Le, T.H., Le, V.S., Dang, Q.K., Nguyen, M.T., Le, T.K., ve Bui, N.T., 2021. Microstructure evaluation and thermal–mechanical properties of abs matrix composite filament reinforced with multi-walled carbon nanotubes by a single screw extruder for fdm 3d printing. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11 (19).

Lubombo, C. ve Huneault, M.A., 2018. Effect of infill patterns on the mechanical performance of lightweight 3D-printed cellular PLA parts. *Materials Today Communications*, 17, 214–228.

Mahesh, E.U., Venkata Narayana, Y., ve Sridhar, B., 2023. Investigations of influence of infill pattern on tensile strength of 3D-printed poly lactic acid and Polyethylene Terephthalate Glycol material using Design of Experiments. *Materials Today: Proceedings*.

Malkoçoğlu, A. ve Çetin Yerlikaya, N., 2013. Kabin Tipi Demonte Mobilya Köşe Birleştirmelerde Eğilme Momenti Üzerine Kavela ve Minifiks Arasındaki Uzaklıkların

Etkisi. *Mobilya Dekorasyon Dergisi*, (116), 60–74.

Mallek, H., Mellouli, H., Allouch, M., Wali, M., ve Dammak, F., 2025. Energy absorption of 3D-printed PETG and PETG/CF sandwich structures with cellular cores subjected to low-velocity impact: Experimental and numerical analysis. *Engineering Structures*, 327.

Marșavina, L., Vălean, C., Mărghitaș, M., Linul, E., Razavi, N., Berto, F., ve Brighenti, R., 2022. Effect of the manufacturing parameters on the tensile and fracture properties of FDM 3D-printed PLA specimens. *Engineering Fracture Mechanics*, 274.

Martins, R.F., Branco, R., Martins, M., Macek, W., Marciniak, Z., Silva, R., Trindade, D., Moura, C., Franco, M., ve Malça, C., 2024. Mechanical Properties of Additively Manufactured Polymeric Materials—PLA and PETG—For Biomechanical Applications. *Polymers*, 16 (13).

Mohamed, O.A., Masood, S.H., ve Bhowmik, J.L., 2015. Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects. *Advances in Manufacturing*, 3 (1), 42–53.

Nicolau, A., Baba, M.N., Cerbu, C., Cioacă, C., Brenci, L.M., ve Cosereanu, C., 2025. Evaluation of 3D-Printed Connectors in Chair Construction: A Comparative Study with Traditional Mortise-and-Tenon Joints. *Materials*, 18 (1).

Nicolau, A., Pop, M.A., ve Coșereanu, C., 2022. 3D Printing Application in Wood Furniture Components Assembling. *Materials*, 15 (8).

Nicolau, A., Pop, M.A., Georgescu, S.V., ve Coșereanu, C., 2023. Application of Additive Manufacturing Technology for Chair Parts Connections. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13 (21).

Ntintakis, I., Stavroulakis, G.E., ve Plakia, N., 2019. The perspective of topology optimization on 3d printed furniture prototypes. *Içinde*: *2nd International Conference on Simulation for Additive Manufacturing, Sim-AM 2019*. 225–236.

Nugraha, A.D., Syahril, M., ve Muflikhun, M.A., 2023. Excellent performance of hybrid model manufactured via additive manufacturing process reinforced with GFRP for sport climbing equipment. *Heliyon*, 9 (3).

Oran, S., Karahan Toprakci, H.A., Toprakci, O., ve Tasdelen, M.A., 2022. Multi-walled Carbon Nanotube/Acrylonitrile Butadiene Styrene Nanocomposite Filaments for Fused Deposition Modelling Type 3D Printing. *Chemistry Africa*, 5 (6), 2259–2269.

Orisekeh, D.K., Corti, G., ve Jahan, M.P., 2025. Enhancing thermo-mechanical properties of additively manufactured PLA using eggshell microparticle fillers. *Journal of Manufacturing Processes*, 133, 782–797.

Özçakar, N., 1998. Gruplar Halinde Yenileme Problemi ve Bazı Sezgisel Yaklaşımlar. *İstanbul Üniversitesi işletme Fakültesi İşletme İktisadı Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 9 (29), 5–10.

Petrova, B. ve Jivkov, V., 2024. Application of 3D Printing Technology in Furniture Construction. *Materials*, 17 (19).

Podskarbi, M. ve Smardzewski, J., 2019. Numerical modelling of new demountable fasteners for frame furniture. *Engineering Structures*, 185, 221–229.

Porima, 2025. *Porima Filament*, https://porima3d.com/collections/3d-yazici-filament-cesitleri, [Ziyaret Tarihi: 26 Mayıs 2025].

Prajapati, S., Sharma, J.K., Kumar, S., Pandey, S., ve Pandey, M.K., 2024. A review on comparison of physical and mechanical properties of PLA, ABS, TPU, and PETG manufactured engineering components by using fused deposition modelling. *Materials Today: Proceedings*.

Ribeiro, T.F.R., Campilho, R.D.S.G., Pinto, R.F.R., ve Rocha, R.J.B., 2025. Scarf Adhesive Bonding of 3D-Printed Polymer Structures. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 9 (4).

Ronca, A., Abbate, V., Redaelli, D.F., Storm, F.A., Cesaro, G., De Capitani, C., Sorrentino, A., Colombo, G., Fraschini, P., ve Ambrosio, L., 2022. A Comparative Study for Material Selection in 3D Printing of Scoliosis Back Brace. *Materials*, 15 (16).

Rouf, S., Raina, A., Irfan Ul Haq, M., Naveed, N., Jeganmohan, S., ve Farzana Kichloo, A., 2022. 3D printed parts and mechanical properties: Influencing parameters, sustainability aspects, global market scenario, challenges and applications. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 5 (3), 143–158.

Sachan, S., Kumar, V., Vardhan, S., Mittal, A., Verma, P., ve Bag, S., 2023. Key supply chain strategies for post-COVID-19 recovery: evidence from an Indian smart furniture industry. *International Journal of Emerging Markets*, 18 (6), 1378–1396.

Şeker, S., 2023. ANALYSIS OF SOME STRENGTH, DURABILITY, STABILITY AND FATIGUE PARAMETERS OF FURNITURE DOORS AND DRAWERS USING ENGINEERING DESIGN METHOD. İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa.

Şeker, S., Erdinler, E.S., Erdil, Y.Z., ve As, N., 2024. Analysis of Strength, Durability, Stability, and Fatigue Parameters of Furniture Doors and Drawers Using Engineering Design Method. *BioResources*, 19 (2), 2967–2989.

Smardzewski, J. ve Majewski, A., 2013. Strength and durability of furniture drawers and doors. *Materials & Design*, 51, 61–66.

Smardzewski, J. ve Wojciechowski, K.W., 2019. Response of wood-based sandwich beams with three-dimensional lattice core. *Composite Structures*, 216, 340–349.

Subramaniyan, M., Karuppan, S., Appusamy, A., ve Pitchandi, N., 2025. Sandwich printing of PLA and carbon fiber reinforced-PLA for enhancing tensile and impact strength of additive manufactured parts. *Journal of Manufacturing Processes*, 137, 425–436.

Suvanjumrat, C., Chansoda, K., ve Chookaew, W., 2024. Additive manufacturing advancement through large-scale screw-extrusion 3D printing for precision parawood powder/PLA furniture production. *Cleaner Engineering and Technology*, 20, 1–13.

Tankut, A.N., 2001. Ülkemizde demonte mobilya yapımında kullanılan özel bağlantı

elemanları. *ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 3 (3), 17.

Tankut, A.N., 2005. Optimum dowel spacing for corner joints in 32-mm cabinet construction. *Forest Products Journal*, 55 (12), 100–104.

Uçar, E., Dilik, T., ve Kurtoğlu, A., 2017. Türkiye Mutfak Mobilyası Sektöründe Tüketici Tercih Önceliklerinin Belirlenmesi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6 (3), 672–678.

Woo, S., Matvienko, Y.G., ve O'Neal, D.L., 2020. Improving fatigue of mechanical systems such as freezer drawer subject to repetitive stresses. *Engineering Failure Analysis*, 110.

Xu, X., 2021. Interior design decoration simulation based on wireless sensors. *Microprocessors and Microsystems*, 82.

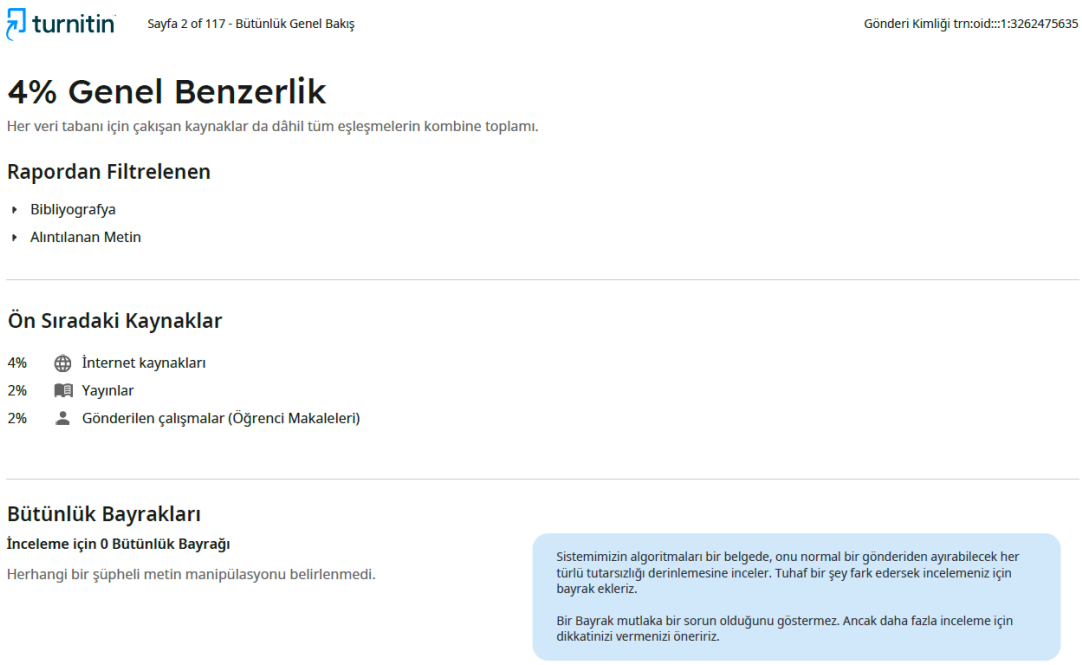
Yan, C., Kleiner, C., Tabigue, A., Shah, V., Sacks, G., Shah, D., ve DeStefano, V., 2024. PETG: Applications in Modern Medicine. *Engineered Regeneration*, 5 (1), 45–55.

Yang, S. ve Du, P., 2022. The Application of 3D Printing Technology in Furniture Design. *Scientific Programming*, 2022.

Yıldırım, K., Ergün, B., ve Üner, S., 2019. The Effects of Innovative Demountable Furniture on User Preferences. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 6 (4), 75–80.

Zhang, H., Cai, L., Golub, M., Zhang, Y., Yang, X., Schlarman, K., ve Zhang, J., 2018. Tensile, Creep, and Fatigue Behaviors of 3D-Printed Acrylonitrile Butadiene Styrene. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 27 (1), 57–62.

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI



turnitin Sayfa 2 of 117 - Bütünlük Genel Bakış Gönderi Kimliği trn:oid:::1:3262475635

4% Genel Benzerlik

Her veri tabanı için çakışan kaynaklar da dâhil tüm eşleşmelerin kombine toplamı.

Rapordan Filtrelenen

- Bibliyografya
- Alıntılanan Metin

Ön Sıradaki Kaynaklar

4% İnternet kaynakları
2% Yayınlar
2% Gönderilen çalışmalar (Öğrenci Makaleleri)

Bütünlük Bayrakları

İnceleme için 0 Bütünlük Bayrağı

Herhangi bir şüpheli metin manipülasyonu belirlenmedi.

Sistemimizin algoritmaları bir belgede, onu normal bir gönderiden ayırabilecek her türlü tutarsızlığı derinlemesine inceler. Tuhaf bir şey fark edersek incelemeniz için bayrak ekleriz.

Bir Bayrak mutlaka bir sorun olduğunu göstermez. Ancak daha fazla inceleme için dikkatinizi vermenizi öneririz.

KURUM İZNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

☐ **Kurum izni gerekmektedir.**

☒ **Kurum izni gerekmemektedir.**

Yarkın Paşa Kurt
(İmza)