



**MİMARİ AYDINLATMA ELEMANLARININ
GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ PET MALZEME
İLE ÜRETİMİNDE 3 BOYUTLU
YAZICILARIN KULLANIMI**

Şükriye AKTEPE
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Doç. Dr. Mehmet SARIKAHYA
Haziran, 2023
Afyonkarahisar

T.C.
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
SANAT VE TASARIM ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİMARİ AYDINLATMA ELEMANLARININ GERİ
DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ PET MALZEME İLE ÜRETİMİNDE 3
BOYUTLU YAZICILARIN KULLANIMI

Hazırlayan
Şükriye AKTEPE

Danışman
Doç. Dr. Mehmet SARIKAHYA

İkinci Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Özgür CENGİZ

AFYONKARAHİSAR 2023

ETİK VE BİLİMSEL İLKELER SORUMLULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “**Mimari Aydınlatma Elemanlarının Geri Dönüştürülmüş PET Malzeme ile Üretiminde 3 Boyutlu Yazıcıların Kullanımı**” adlı çalışmanın, tarafımdan bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazdığımı ve yararlandığım eserlerin Kaynakça’da gösterilen eserlerden oluştuğunu, bunlara atıf yaparak yararlanmış olduğumu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

16/06/2023

İmza

Şükriye AKTEPE

T.C.
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

ENSTİTÜ ONAYI

Öğrencinin	Adı- Soyadı	Şükriye AKTEPE
	Numarası	210658114
	Anabilim Dalı	Sanat ve Tasarım
	Programı	Sanat ve Tasarım
	Program Düzeyi	☒ Yüksek Lisans ☐ Doktora ☐ Sanatta Yeterlik
Tezin Başlığı		Mimari Aydınlatma Elemanlarının Geri Dönüştürülmüş PET Malzeme ile Üretiminde 3 Boyutlu Yazıcıların Kullanımı
Tez Savunma Sınav Tarihi		16.06.2023
Tez Savunma Sınav Saati		10:00

Yukarıda bilgileri verilen öğrenciye ait tez, Afyon Kocatepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek ☒oy birliği – ☐oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Elbeyi PELİT
MÜDÜR

Bu tez, Enstitü Müdürlüğünce kontrol edilerek, elektronik imza kullanılarak onaylanmıştır.

ÖZET

MİMARİ AYDINLATMA ELEMANLARININ GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ PET MALZEME İLE ÜRETİMİNDE 3 BOYUTLU YAZICILARIN KULLANIMI

Şükriye AKTEPE

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
SANAT VE TASARIM ANABİLİM DALI

Haziran, 2023

Danışman: Doç. Dr. Mehmet SARIKAHYA

Bu tez çalışmasında atık olan PET su şişelerinden filament üretimi gerçekleştirilmiştir. Geri dönüştürülmüş PET filamentin performansının değerlendirilmesi için yüzey pürüzlülük ve çekme testleri gibi standart yöntemler kullanılmıştır. Yüksek dolgu yoğunluğunun filamentin mekanik dayanıklılığını artırdığı ve daha homojen bir yapı oluşturduğu tespit edilmiştir. Geri dönüştürülmüş PET filament kullanılarak tasarlanan aydınlatma elemanlarının baskısı da gerçekleştirilmiştir. Aydınlatma elemanlarının ışık kaynaklarının zaman içerisinde ısınabileceği ve kullanılan PET malzemede deformasyona neden olabileceği üzerinde durulmuştur. Aydınlatma elemanları 1/5 ölçekte üretilmiştir. Üretilen aydınlatma elemanlarının ışık kaynağı sıcaklığı, ışık kaynağının çalışma sıcaklığı ve dış kabuk sıcaklıkları ölçülmüştür. Ancak yapılan ölçümler sonucunda, ölçeğin küçük olmasına rağmen kullanılan malzemenin herhangi bir deformasyona uğramadığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, atık PET su şişelerinin geri dönüştürülerek filament üretiminde kullanılmasının ve Geri dönüştürülmüş PET filamentin performansının değerlendirilmesinin önemini vurgulamaktadır. Bu yöntem ile atık plastiklerin yeniden kullanılmasını teşvik ederek sürdürülebilir bir üretim sürecine de katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

Anahtar kelimeler: 3 boyutlu yazıcı, geri dönüşüm, PET şişe, aydınlatma elemanı, mimari aydınlatma.

ABSTRACT

THE USE OF 3D PRINTERS IN THE PRODUCTION OF ARCHITECTURAL LIGHTING ELEMENTS USING RECYCLED PET MATERIAL

Şükriye AKTEPE

**AFYON KOCATEPE UNIVERSITY
INSTITUTE OF SOCIAL SCIENCES
DEPARTMENT OF ART AND DESIGN**

June, 2023

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet SARIKAHYA

This thesis is focused on the production of filament from waste PET bottles. Standard methods such as surface roughness and tensile testing were employed to evaluate the performance of recycled PET filament. It was found that higher fill density improved the mechanical durability of the filament and resulted in a more homogeneous structure. Additionally, the printing of lighting elements using recycled PET filament was successfully carried out at a 1/5 scale. The potential deformation of the PET material and the impact on the performance of the lighting sources due to heat generation over time were examined. Measurements were taken for the light source temperature, operating temperature, and external shell temperature of the lighting elements. Despite the small scale of the printing experiment, no deformation was observed in the utilized material. The findings of this study underscore the importance of recycling waste PET bottles for filament production and assessing the performance of recycled PET filament. This method aims to promote the reuse of plastic waste and contribute to a sustainable production process.

Key Words: 3D printer, recycling, PET bottle, lighting element, architectural lighting.

ÖNSÖZ

Yüksek lisansa başlamamı sağlayan, tez ve diğer çalışmalarında bana rehberlik eden, benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman ve her konuda yanımda Doç. Dr. Mehmet SARIKAHYA'ya sonsuz teşekkür ederim.

Beraber katıldığımız kongrelerden çok şey öğrendiğim, tüm çalışmalarında her zaman bana destek olan ve bana kazandırdığı kazanımları hayatım boyunca hissedeceğim ikinci danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Özgür CENGİZ'e teşekkür ederim.

Yüksek lisansa başlamam için beni teşvik eden ve çalışmalarında bana yol gösteren Prof. Dr. İlker KILIÇ'a sonsuz teşekkür ederim.

Tez ve diğer çalışma sürecinde bana değerli fikir ve yorumlarıyla destek olan Doç. Dr. Oğuzhan UZUN'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarında bana rehberlik eden ve benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Anıl SÜVARİ'ye teşekkür ederim.

Tez çalışmasında yapılan çekme ve pürüzlülük testlerinde yardımcı olan Doç. Dr. Ahu ÇELEBİ'ye teşekkür ederim.

Malzeme üretim süreçlerinde yardımlarını esirgemeyen Muhammet Çelik'e teşekkür ederim.

Lisans eğitimimden bu yana her zaman yanımda olan ve bana her zaman destek olan arkadaşım Cansu SÖZER'e teşekkür ederim.

Tüm yaşamım ve eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen, her zaman fedakârlıklarda bulunarak bana her anlamda destek olan annem Emine AKTEPE, babam İsmail AKTEPE, abim Ali İhsan AKTEPE, yengem Hamide AKTEPE ve beni varlığıyla motive eden kardeşim Öğr. Gör. Elif AKTEPE'ye sonsuz teşekkür ederim.

Şükriye AKTEPE
2023, Afyonkarahisar

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ETİK VE BİLİMSEL İLKELER SORUMLULUK BEYANI	ii
ENSTİTÜ ONAYI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLOLAR LİSTESİ	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

MİMARİDE AYDINLARMA ELEMANLARI

1. AYDINLATMA	3
2. AYDINLATMA TÜRLERİ	4
3. MİMARİDE AYDINLATMANIN TANIMI, ÖNEMİ KAPSAMI.....	5
4. IŞIK KAYNAKLARI	5
4.1. IŞIK NASIL ÜRETİLİR?.....	6
4.2. IŞIK SPEKTRUMU	6
4.3. LAMBA BOYUTU	6
4.4. AMPUL DİRENCİ.....	6
4.5. AMPUL SICAKLIĞI	7
4.6. AMPULÜN ÇALIŞMA SICAKLIĞI	7
5. LAMBA TÜRLERİ	7
5.1. AKKOR LAMBALAR	7
5.2. HALOJEN LAMBALAR.....	8
5.3. FLORESAN LAMBALAR	9
5.4. KOMPAKT FLORESAN LAMBALAR	9
5.5. LED (LIGHT EMITTING DIODE)	10
5.6. NEON LAMBALAR VE SOĞUK KATOT LAMBALARI	10
6. TEMEL ARMATÜR TİPLERİ	11
6.1. TİCARİ FLORESAN ARMATÜRLER.....	11

6.2. ENDÜSTRİYEL ARMATÜRLER	12
6.3. WALLWASHER.....	13
6.4. VURGU ARMATÜRLERİ	14
6.5. DEKORATİF ARMATÜRLER.....	14
7. AYDINLATMA ELEMANI TASARIMI.....	15

İKİNCİ BÖLÜM

3 BOYUTLU YAZICILAR VE ÜRETİMDE KULLANILAN MALZEMELER

1. 3 BOYUTLU YAZICILAR	17
2. FDM ÇALIŞMA PRENSİBİ	18
2.1. FDM TİPİ 3 BOYUTLU YAZICI TÜRLERİ.....	21
2.1.1. Konfigürasyona Göre FDM Yazıcı Türleri.....	21
2.1.1.1. Kartezyen FDM Yazıcılar	21
2.1.1.2. Delta FDM Yazıcılar	22
2.1.1.3. Polar FDM Yazıcılar	23
2.1.1.4. Robotik FDM Yazıcılar	23
2.1.2. Teknoloji Kaynağına Göre FDM Yazıcı Türleri	24
3. 3 BOYUTLU YAZICILARDA KULLANILAN MALZEMELER	24
3.1. AKRİLONİTRİL BÜTADİEN STİREN (ABS)	26
3.2. POLİLAKTİK ASİT (PLA)	26
3.3. NAYLON (NYLON).....	26
3.4. POLİETİLEN TEREFİTALAT (PET).....	26
3.5. AHŞAP FİLAMENT	27
4. GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ MALZEMELERİN 3 BOYUTLU YAZICILARDA KULLANILMASI.....	27
4.1. TERMOPLASTİKLERİN GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMESİ.....	27
4.2. AHŞAP BAZLI GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ FİLAMENTLER	29
5. 3 BOYUTLU YAZICILARIN PROSES PARAMETRELERİ.....	30
5.1. EKSTRÜZYON SICAKLIĞI.....	30
5.2. NOZZLE ÇAPI	31
5.3. YAPI YÖNÜ	31
5.4. KATMAN KALINLIĞI	31
5.5. DOLGU	32
5.6. DOLGU YOĞUNLUĞU.....	32
5.7. BASKI HIZI	33
5.8. YAPI PLATFORM SICAKLIĞI (YATAK SICAKLIĞI).....	33

5.9. ETEK VE KENARLIK	34
-----------------------------	----

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3 BOYUTLU YAZICILAR İLE ÜRETİLEN AYDINLATMA ELEMANLARI

1. 3 BOYUTLU YAZICILAR İLE ÜRETİLEN AYDINLATMA ELEMANLARI	35
1.1. TWISTED VASE	35
1.2. EIFFEL	35
1.3. SELF- MADE	36
1.4. JIGSAW	36
1.5. ANGLED	37
1.6. ARTICHOKE	38
1.7. PHYSALIS ALKEKENGİ	38

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

MİMARİ AYDINLATMA ELEMANLARININ GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ PET MALZEME İLE ÜRETİMİNDE 3 BOYUTLU YAZICILARIN KULLANIMI

1. ARAŞTIRMANIN AMACI, ÖNEMİ	40
2. ARAŞTIRMANIN KAPSAM VE SINIRLILIKLARI	41
3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ	42
4. MALZEMENİN DENEYSEL ÇALIŞMALARI	42
4.1. KULLANILAN MALZEME	43
4.2. KULLANILAN CİHAZLAR	44
4.2.1. PET Su Şişesinden Filament Üretim Makinası	44
4.2.2. 3 Boyutlu Yazıcı	46
4.2.3. Yüzey Pürüzlülük Cihazı	47
4.2.4. Çekme Cihazı	48
4.2.5. Diğer Yazılımlar	49
4.3. TEST OBJELERİNİN HAZIRLANMASI	49
4.4. TEST SONUÇLARI	51
4.4.1. Pürüzlülük Testi	51
4.4.2. Çekme Testi	52
5. AYDINLATMA ELEMANI TASARIMI	56
5.1. GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ PET FİLAAMENT İLE AYDINLATMA ELEMANININ ÜRETİLMESİ	69
5.2. KULLANILAN CİHAZLAR	71

5.2.1. Hassas Terazî	71
5.2.2. Kızılötesi Termometre.....	72
5.2.3. NTC Sıcaklık Sensörü	72
5.2.4. Işık Seviyesi Ölçümü	73
5.2.5. LED	74
5.2.6. Diğer Yazılımlar	74
5.3. TESTLER VE SONUÇLARI.....	75
5.3.1. Kütle Ölçümü.....	75
5.3.2. Yüzey Sıcak Ölçümü	77
5.3.3. LED Sıcaklığının Ölçümü	79
5.3.4. LED'in Çalıştığı Ortam Sıcaklığının Ölçümü	82
5.3.5. Işık Seviyesi Ölçümü	84
6. BULGULAR	86
 TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER.....	89
KAYNAKÇA.....	93
EKLER	98

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1. Ender 3 Pro 3 Boyutlu Yazıcı Özellikleri	46
Tablo 2. 3 Boyutlu Yazıcıda Üretilen Test Objelerinin Baskı Özellikleri.....	51
Tablo 3. Test Objelerinin Çekme Testi Sonuçları	52
Tablo 4. Tasarlanan Aydınlatma Elemanları Baskı Bilgileri.....	70
Tablo 5. Aydınlatma Elemanları Kütle Bilgileri	76
Tablo 6. Aydınlatma Elemanları Yüzey Sıcaklık Ölçüm Sonuçları.....	78
Tablo 7. Kullanılan LED Çalışma Sıcaklığı Ölçüm Sonuçları.....	80
Tablo 8. LED'in Çalıştığı Ortam Sıcaklığı Ölçüm Sonuçları.....	82
Tablo 9. Işık Seviyesi Ölçüm Sonuçları	84



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. İnsan Aydınlatma Etkileşiminde Görünürlük ve Aydınlatmanın Üç Alt İşlevi	4
Şekil 2. Akkor Lamba Örnekleri	8
Şekil 3. Halojen Lamba Örnekleri	8
Şekil 4. Floresan Lamba Örnekleri	9
Şekil 5. Kompakt Floresan Lamba Örnekleri	9
Şekil 6. LED Örnekleri	10
Şekil 7. Neon Lambalar ve Soğuk Katot Örnekleri	11
Şekil 8. Ticari Floresan Örneği	12
Şekil 9. Endüstriyel Aydınlatma Örnekleri	13
Şekil 10. WallWasher Örnekleri	13
Şekil 11. Vurgu Armatür Örnekleri	14
Şekil 12. Dekoratif Armatür Örnekleri	15
Şekil 13. Makine Mimarisi ve Yazdırma Prensibine Göre 3 Boyutlu Yazıcı Kategorileri	17
Şekil 14. 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırma Adımları	19
Şekil 15. FDM 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırma İşlemi Şeması	19
Şekil 16. 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırma Hazırlık Aşamaları ve Baskı Sonucu	20
Şekil 17. FDM Yazıcıların Konfigürasyonlarına Göre Grupları	21
Şekil 18. Polimer Malzemelerin Performans Özelliklerine Göre Sınıflandırılması	25
Şekil 19. Atık Termoplastiklerin Geri Dönüştürülerek Filament Üretim Aşamaları	28
Şekil 20. Ahşap Bazlı Geri Dönüştürülmüş Filament Üretim Aşamaları	29
Şekil 21. 3 Boyutlu Yazıcılarda Farklı Proses Parametreler	30
Şekil 22. Yaygın Olarak Kullanılan Dolgu Desenleri	32
Şekil 23. Dilimleme Programında Farklı Dolgu Yoğunlukları	33
Şekil 24. Baskıda Etek – Kenarlık Örnekleri	34
Şekil 25. 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırılan Twisted Vase	35
Şekil 26. 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırılan Eiffel	36
Şekil 27. 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırılan Self-Mode	36
Şekil 28. 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırılan Jigsaw	37
Şekil 29. 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırılan Angled	38
Şekil 30. 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırılan Artichoke	38
Şekil 31. 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırılan Physalis Alkekengi	39
Şekil 32. ‘Dogbone’ Test Objesi Modeli	42
Şekil 33. PET Su Şişelerinin Hazırlık Aşamaları	44
Şekil 34. PET Su Şişesinden Filament Üretim Aşamaları	45
Şekil 35. Ender 3 Pro 3 Boyutlu Yazıcı	47
Şekil 36. Dogbone’ Modelinin 3 Boyutlu Yazdırılması	47
Şekil 37. Yüzey Pürüzlülük Cihazı	48
Şekil 38. Test Objesi Teknik Resmi	49
Şekil 39. Test Objesi Dolgu Yoğunlukları	50
Şekil 40. 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırılan Test Objeleri	50
Şekil 41. Test Objelerinin Yüzey Pürüzlülük Sonuçları	51
Şekil 42. Çekme Testi Bazı Grafikler	52
Şekil 43. Çekme Testi Sonrası Test Objelerinin Görseli (%10 Doluluk Oranında)	53
Şekil 44. Optik Mikroskop Görüntüleri (%10 Doluluk Oranı)	54
Şekil 45. Çekme Testi Sonrası Test Objelerinin Görseli (%30 Doluluk Oranında)	54
Şekil 46. Optik Mikroskop Görüntüleri (%30 Doluluk Oranı)	55
Şekil 47. Çekme Testi Sonrası Test Objelerinin Görseli (%50 Doluluk Oranında)	55
Şekil 48. Optik Mikroskop Görüntüleri (%50 Doluluk Oranı)	56
Şekil 49. De Stijl Hareketi Sırasında Gerçekleşen Diğer Akımlar	57

Şekil 50. Theo Van Doesburg - Piet Mondrian.....	57
Şekil 51. Dan Flavin'ın Işık Kullanımı	58
Şekil 52. Constantin Brancusi - Targu Jiu'da Sonsuz Sütun - Alexander Archipenko – Oturan Figür - Simon Leigh - Nöbetçi.....	58
Şekil 53. Lamba 1 Teknik Resmi.....	59
Şekil 54. Lamba 1 Render ve Baskı Sonrası Görselleri.....	60
Şekil 55. Lamba 2 Teknik Resmi.....	60
Şekil 56. Lamba 2 Render ve Baskı Sonrası Görselleri.....	61
Şekil 57. Lamba 3 Teknik Resmi.....	61
Şekil 58. Lamba 3 Render ve Baskı Sonrası Görselleri.....	62
Şekil 59. Lamba 4 Teknik Resmi.....	62
Şekil 60. Lamba 4 Render ve Baskı Sonrası Görselleri.....	63
Şekil 61. Lamba 5 Teknik Resmi.....	63
Şekil 62. Lamba 5 Render ve Baskı Sonrası Görselleri.....	64
Şekil 63. Lamba 6 Teknik Resmi.....	64
Şekil 64. Lamba 6 Render ve Baskı Sonrası Görselleri.....	65
Şekil 65. Lamba 7 Teknik Resmi.....	65
Şekil 66. Lamba 7 Render ve Baskı Sonrası Görselleri.....	66
Şekil 67. Lamba 8 Teknik Resmi.....	66
Şekil 68. Lamba 8 Render ve Baskı Sonrası Görselleri.....	67
Şekil 69. Lamba 9 Teknik Resmi.....	67
Şekil 70. Lamba 9 Render ve Baskı Sonrası Görselleri.....	68
Şekil 71. Lamba 10 Teknik Resmi.....	68
Şekil 72. Lamba 10 Render ve Baskı Sonrası Görselleri.....	69
Şekil 73. Fakir Hassas Terazî.....	71
Şekil 74. Dijital Termometre	72
Şekil 75. Arduino NTC Sıcaklık Ölçüm Devre Şeması.....	73
Şekil 76. Arduino Işık Seviye Ölçüm Devre Şeması	73

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

% : Yüzde

&: ve

2D: İki Boyutlu

3D: Üç Boyutlu

ABS : Akrilonitril Bütadien Stiren

ASTM: American Society for Testing and Materials

CAD : Computer Aided Design, Bilgisayar destekli tasarım

CFL: Kompakt floresan lambalar

Dk.: Dakika

FDM: Erimiş Biriktirme Modellemesi

G: Gram

GD-PET: Geri dönüştürülmüş PET

HID : Yüksek yoğunluklu deşarj

HVAC : Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme (Heating, ventilation and air conditioning)

IR: Kızılötesi (infrared)

LDR: Light Dependent Resistor, Işık Bağımlı Direnç

LED : Light-emitting diode, Işık Yayan Diyot

m: Metre

mm: Milimetre

NTC : Negatif sıcaklık katsayısı (Negative Temperature Coefficient)

PET : Polietilen Tereftalat

PLA : Polilaktik Asit

Vb.: Ve benzeri

Vd.: ve diğerleri

GİRİŞ

Aydınlatma, ışık kaynaklarının kullanılmasıyla bir alan veya nesnenin görünürlüğünü arttırmak veya ortamın genel aydınlığını arttırmak için kullanılmaktadır. Aydınlatma evler, ofisler, sokaklar, kamu binaları, araçlar gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Doğru aydınlatma göz sağlığı, ergonomi ve estetik açısından önemlidir. Lambalar, armatürler, floresanlar, LED (Işık Yayan Diyot)'ler, halojenler ve diğer ışık kaynakları gibi birçok farklı teknolojiler ile aydınlatma sağlanmaktadır. Aydınlatma tasarımı, doğru ışık seviyelerinin seçimi, ışık kaynaklarının yerleşimi ve ışık yansımaları gibi konuları içermektedir.

Aydınlatma elemanı ışık kaynağını, lambayı veya LED'i içeren, aydınlatma sistemini oluşturan parçalardan biridir. Farklı teknolojiler kullanılarak çeşitli ihtiyaçlara cevap veren tasarımlar yapılmaktadır. Yaygın aydınlatma elemanlarını avize, aplik, masa lambası, tavan lambası, duvar lambası, sokak lambası ve endüstriyel lambalar olarak sıralanmaktadır.

Aydınlatma elemanları, kullanım amaçlarına, montaj şekillerine ve ışık kaynağı türlerine göre farklılık göstermektedir. Örneğin, endüstriyel aydınlatma armatürleri fabrika veya depolarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Aydınlatma elemanları enerji verimliliği, ömrü ve aydınlatma performansı açısından farklılık göstermektedir. Kullanılacak aydınlatma elemanı bu faktörler göz önünde bulundurularak seçilmesi önemlidir.

Aydınlatma elemanı kabuğu, elemanın içerisindeki bileşenleri koruyan ve estetik bir görünüm sağlayan dış kaplamadır. Kabuklar farklı malzemelerden üretilirler örneğin; plastik, metal, cam veya ahşap gibi malzemeler kullanılmaktadır. Kabuklar, aydınlatma elemanın tasarımına ve kullanım amacına göre değişmektedir. Örneğin; aydınlatma armatürleri için farklı şekil ve boyutlarda kabuklar kullanılmaktadır. Kabuklar aynı zamanda aydınlatma elemanının ışığı nasıl yaydığını da etkilemektedir. Bazı kabuklar ışığın daha yoğun ve keskin bir şekilde yayılmasını sağlarken, bazıları ise daha yumuşak bir ışık yayılmasını sağlamaktadır.

Aydınlatma elemanlarının kabukları yaygın olarak enjeksiyon kalıplama veya döküm gibi üretim teknikleri kullanılarak üretilmektedir. Bu tekniklerin yanında günümüz teknolojisi olan 3 boyutlu yazıcılarda aydınlatma elemanı üretiminde kullanılmaktadır.

3 boyutlu yazıcı teknolojisi zaman içinde gelişen teknolojilerle birlikte önemli ölçüde gelişmiştir. Başlangıçta sadece prototip üretimi için kullanılırken, günümüzde birçok endüstride kullanılır hale gelmiştir. Evlerde 3 boyutlu yazıcı kullanımı bireysel olarak tasarlanan objelerin kısa sürede ve ekonomik olarak basılmasını sağlamaktadır.

3 boyutlu yazıcıların üretim prensibi, bilgisayar ortamında hazırlanan dijital modelin, üç boyutlu fiziksel bir objeye dönüştürülmesidir. Farklı yazdırma yöntemleri mevcuttur. FDM (Erimiş Biriktirme Modellemesi) yöntemi düşük maliyetli ve kullanımı kolay olduğundan diğer yöntemlere göre daha çok tercih edilmektedir. Bu yöntem 2 ya da 1,75 mm kalınlığındaki termoplastik malzemeyi malzemenin özelliğine göre 230 – 300 °C sıcaklıklarda ısıtılarak başlıktan geçer ve nozzle ulaştığında yazdırma işlemi başlamaktadır. Malzeme ısıtılırken aynı zamanda baskının yapışacağı yatakta ısıtılır ve baskı alınan obje yatağa yapışarak yazdırma işlemi devam etmektedir (Taşdelen vd., 2019).

3 boyutlu yazıcılarda yaygın olarak ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) ve PLA (Polilaktik Asit) malzemesi kullanılmaktadır. 3 boyutlu yazıcıların yaygınlaşmasıyla birlikte malzeme tüketimi de artmaktadır. Malzemelerin hammaddesinin de zaman içinde tükeneyeceği düşünüldüğünde geri dönüşüm büyük önem kazanmaktadır. PLA ve ABS malzemelerinin geri dönüştürülmesi üzerine farklı çalışmalar yapılmıştır ve yapılmaya da devam etmektedir. Bu çalışmada günümüzde atığının fazla olduğu PET (Polietilen Tereftalat) şişelerden filament üretimi denenmiştir. Üretilen geri dönüştürülmüş PET filament ile 3 boyutlu yazıcıda baskı alınmış ve mekanik bazı testler uygulanmıştır. Geri dönüştürülerek üretilen PET filamentin 3 boyutlu yazıcılarda kullanım durumu değerlendirilmiştir.

Bu araştırmada 10 adet aydınlatma elemanı tasarlanmıştır. Bu tasarımlar çalışmanın diğer bölümlerinde teknik çizimleriyle birlikte anlatılmıştır. Tasarlanan aydınlatma elemanları 1/5 ölçekte 3 boyutlu yazıcıda GD-PET (Geri Dönüştürülmüş PET) malzeme kullanılarak baskıları alınmıştır. Farklı geometrik formlarda tasarlanan aydınlatma elemanlarıyla GD-PET malzemenin kullanılabilirliği ve baskı kaliteleri ele alınmıştır. Aydınlatma elemanlarının ışık kaynağının yerleştirildiği formda ışık kaynağının zaman içinde ısınmasıyla oluşabilecek deformasyonlar tespit edilecektir.

BİRİNCİ BÖLÜM

MİMARİDE AYDINLARMA ELEMANLARI

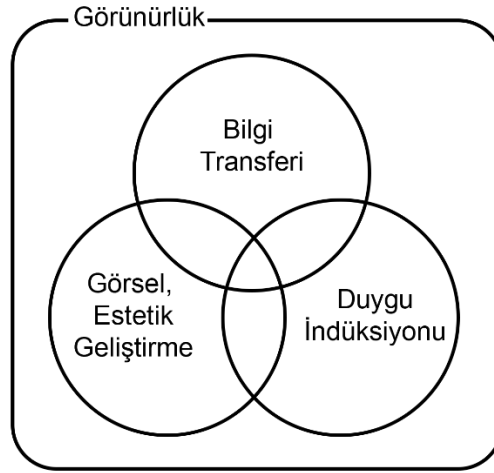
1. AYDINLATMA

Aydınlatma, ışık kaynakları kullanılarak bir alanın aydınlatılması işlemi olarak tanımlanmaktadır. Aydınlatma farklı alanlarda kullanılmaktadır. Kullanılacak aydınlatma elemanındaki ışık kaynağının renkleri, yoğunluğu, açısı ve dağılımı gibi faktörler, alanın kullanım amacına, estetik tercihlere ve enerji tasarrufu gibi çevresel faktörlere bağlı olarak belirlenmektedir (Goldstein, 2021).

Aydınlatma, insanların çalışma ve yaşam alanlarında rahat ve verimli bir şekilde hareket etmelerini sağlayan önemli bir faktördür. Aydınlatmanın verimli kullanılmasının yanı sıra enerji tasarrufu ve göz sağlığına etkisi de önemlidir. İnsan duyuları arasından olan görme, algılamada baskın rol oynamaktadır. Beynimizin %50'den fazlası hatta neredeyse tamamı görme ile doğrudan veya dolaylı olarak ilişkilendirilebilmektedir (Elizabeth, 1996). Objeden gelen ışığın göze yansımalarıyla görsel simülasyon başlamış olur. Başlayan simülasyon ile sinyaller beyne ulaşır ve objeyi gören insan objeyi tanır. Gün boyunca en önemli aydınlatma elemanımız güneştir (MS. vd., 1992). Ancak gece karanlıkta veya uzayda ışığın olmaması durumunda görsel algılama oldukça zorlaşıyor. Bu noktada yapay aydınlatma (ışık) objeleri algılamada oldukça büyük önem taşımaktadır. Ampuller icat edildiğinden bu yana gündüzleri gerçekleştirilen faaliyetlerin gece saatlerinde de devam edildiği görülmektedir. Aydınlatmada öncelikle sadece aydınlatmak mekanı veya objeleri görünür kılmak amaçlandı (Goldstein, 2021).

Aydınlatmada enerji tasarrufu önemli etkenlerden birisidir. Doğru aydınlatma tasarımı, enerji verimliliğini artırarak enerji tüketimini azaltmaktadır (Karlen vd., 2017). Enerji tüketiminin azalmasıyla çevreye verilen zararda azalmaktadır. Gün geçtikçe gelişen teknoloji ile birlikte yeni aydınlatma kaynakları geliştirildi. Aydınlatma elemanlarında kullanılan enerji daha kontrol edilebilir bir hale geldi. Farklı aydınlatma çeşitlilikleri ortaya çıktı (Pimputkar vd., 2009). Örneğin, LED (Lighting Emitting Diode) önceki lamba türleri ile kıyaslandığında daha verimli enerji, dijital olarak kontrol edilebilir ve boyut olarak oldukça küçüktür (Hoonhout vd., 2011). LED'in üretilmesinden sonra aydınlatmaya olan bakış açısı da değişmiştir. (Şekil 1) Aydınlatma sadece aydınlatma işlevi görmez aynı zamanda bilgi aktarma, görsel estetiği geliştirme ve farklı duygular uyandırmaktadır (Jung vd., 2018).

Şekil 1. İnsan Aydınlatma Etkileşiminde Görünürlük ve Aydınlatmanın Üç Alt İşlevi



Kaynak: Jung vd., 2018: 6'dan uyarlanmıştır.

2. AYDINLATMA TÜRLERİ

Aydınlatma türleri, birçok farklı amaç için kullanılan farklı tipte ışık kaynaklarıdır.

Bazı yaygın aydınlatma türleri şunlardır;

-Genel Aydınlatma: Geniş bir alanı aydınlatmak için kullanılır. Genelde tavandaki veya duvardaki armatürlerden sağlanır.

-Görev Aydınlatması: Belirli bir işi veya faaliyeti yapmak için kullanılan aydınlatmalardır. Örneğin, okuma lambaları, mutfak tezgahı aydınlatması gibi.

-Vurgu Aydınlatması: Belirli bir nesne, resim veya dekoratif elemanı vurgulamak için kullanılan aydınlatmadır.

-Doğal Aydınlatma: Güneş ışığı gibi doğal ışık kaynağından sağlanan aydınlatmadır.

-Yer Aydınlatması: Zemin seviyesindeki aydınlatmalardır. Bir mekanın dekorasyonuna katkıda bulunur ve genelde gece kullanılır.

-LED Aydınlatma: LED teknolojisi ile çalışan lambalar, enerji verimliliği ve uzun ömürleri nedeniyle popülerdir.

-Floresan Aydınlatma: Daha geniş alanları aydınlatmak için kullanılan ve enerji verimliliği yüksek bir aydınlatma türüdür.

-Halojen Aydınlatma: Halojen lambalar, yüksek renk doğruluğu ve parlak ışığı nedeniyle popülerdir.

-Spot Aydınlatma: Belirli bir alana veya nesneye yoğun ışık vermek için kullanılan aydınlatmadır.

Bu aydınlatma türlerinin her biri, farklı aydınlatma ihtiyaçlarını karşılamak için tasarlanmıştır. Doğru aydınlatma türünü seçmek mekanın konforu, işlevselliği ve estetiği için önemlidir (Elvidge vd., 2010).

3. MİMARİDE AYDINLATMANIN TANIMI, ÖNEMİ KAPSAMI

Mimaride aydınlatma mekan algısını görsel olarak yansıtmaktadır. Mekanın aydınlatmasının mekan ile uyumlu bir ruh halinde olmalıdır (Turgay vd., 2011). Mekandaki dinamik gün ışığı ve kontrollü yapay aydınlatma mekan kullanıcıları için büyük önem taşımaktadır. Aynı mekanda farklı atmosfer etkilerin algılanması ışık etkileriyle mümkün olmaktadır (Fitoz, 2002).

Mekanın tasarımında aydınlatma en temel öneme sahip bir unsurdur. Mimarlar genellikle tasarımlarında gün ışığından maksimum düzeyde faydalanmayı amaçlamaktadırlar. Günümüzde maksimum günışığından faydalanmanın önemi, sadece mekana sağladığı iyileştirmeler, sağlığınıza sağladığı yararların yanında yapay aydınlatmaya daha az ihtiyaç duyulacağından sürdürülebilir bir tasarım olacaktır (van Bommel, 2005).

Mimari aydınlatmanın rolünde, görsel bir his yaratmaktır (Descottes vd., 2011). Aydınlatma çevre ile beraber düşünülmesi ve çevreyle uyum içinde olmalıdır. Renk kinetiği, bina dış cephesinde ve iç mekan aydınlatmada iyileştirme ve gerçek görsel performans göstermesi amaçlanmaktadır. Ama bunların yanında kullanılan aydınlatma elemanlarının yanıltıcı efektleri için, genel aydınlatmanın da önemli olması sistemin enerjik, foto kirlilik ve foto biyolojik terimlere dikkat edilmelidir (Yang vd., 2018). Işık kirliliği (herhangi bir biçimde – kentsel gökyüzü parıltı, ışık ihlali, parlama, aşırı aydınlatma, dağınıklık) son on yılda kentsel alanlar için ciddi bir sorun haline gelmiştir. Sadece yaşayan insanlar için değil ekosistemin bozulmasına da sebep olmaktadır.

4. IŞIK KAYNAKLARI

Işık doğada oluşmaktadır. Güneş ışığı, ay ışığı ve yıldız ışığı bunlara örnektir. Doğal aydınlatmanın çevresel faydalarının yanında insan sağlığı ve refahı içinde önemli bir etkisi bulunmaktadır (Karlen vd., 2017). Mimarlar ve tasarımcılar pencereler, çatı pencereleri ve ışık kuyuları kullanarak doğal ışığı binalara dahil edebilirler. Aynı zamanda derin mekanlarında doğal aydınlatmadan faydalanabilmesi için yansıtıcı

yüzeyler kullanabilirler. Bazı durumlarda ise doğal aydınlatma yetersiz kalmaktadır bu böyle durumlar için ise doğal ve yapay aydınlatma kombinasyonu beraber kullanılabilir. Tasarımcılar görsel deneyimi geliştiren ve kullanıcı konforunu destekleyen bir aydınlatma planlaması yapabilirler (Lam vd., 1977).

4.1. IŞIK NASIL ÜRETİLİR?

Elektrikli aydınlatmalar elektrik enerjisini kullanarak ışık üretmektedir. Bu enerji ışık yayan bir diyotta (LED) veya bir akkor ampulde meydana gelen elektrolüminesans adı verilen bir işlem ile birlikte ışığa dönüşmektedir (Karlen vd., 2017).

4.2. IŞIK SPEKTRUMU

Işık spektrumu, insan gözü tarafından algılanabilen elektromanyetik radyasyonun dalga boyu aralığını ifade etmektedir. Bu aralık genellikle görünür spektrum olarak bilinir ve yaklaşık 400 nanometre (mor) ile 700 nanometre (kırmızı) kadar uzanmaktadır. Gökkuşağının renklerin kırmızı-turuncu-sarı-yeşil-mavi-çivit mavisi-mor hepsi bu görünür spektrumun bir parçasıdır (Ditchburn, 2013).

Işık spektrumu hem kısa (ultraviyole) hem de uzun (kızılötesi) dalga boylarında görünür aralığın ötesine uzanmaktadır. Ultraviyole ışık, mor ışıktan daha kısa dalga boylarına sahiptir. İnsan gözü tarafından görülemez ancak güneş yanıklarına neden olabilmektedir. Kızılötesi ışık, kırmızı ışıktan daha uzun dalga boylarına sahiptir. İnsan gözüyle görülmez ancak uzaktan kumanda gibi birçok cihazda kullanılmaktadır (Sliney, 2002).

4.3. LAMBA BOYUTU

Lamba boyutu, bir ampulün veya lambanın fiziksel boyutlarını ifade etmektedir. Bir lambanın boyutu çapı ve uzunluğu ile ölçülmektedir. En yaygın ampul türü, A19 ampuldür. Masa lambaları, zemin lambaları ve tavan armatürleri gibi birçok armatür türünde kullanıma uygundur (Lam vd., 1977). Aydınlatma tasarımı yapılırken seçilecek olan lambanın boyutu armatürün boyutu ve stiline yanı sıra ışığın parlaklığı ve renk sıcaklığını da göz önünde bulundurmak büyük önem taşımaktadır (Karlen vd., 2017).

4.4. AMPUL DİRENCİ

Bir lambanın voltajı kullanılan lambanın türüne bağlı olarak değişmektedir. Farklı lamba türleri lambanın tasarımına ve teknolojisine bağlı olarak farklı voltajlarda ampullere ihtiyaç duyulmaktadır (Lam vd., 1977). Akkor lambalar, ülkeye bağlı olarak

120 volt AC veya 240 volt AC voltajda çalışırlar. Halojen lambalarda akkor lambalarla aynı voltajlarda çalışmaktadır. Floresan lambalar, akkor lambalardan farklı voltaj gerekmektedir. Lambanın tasarım teknolojisine bağlı olarak 100 ile 400 volt AC arasında bir voltaj gerektirmektedir (Karlen vd., 2017).

4.5. AMPUL SICAKLIĞI

Ampul sıcaklığı çalışırken bir ampulün veya lambanın yüzey sıcaklığını ifade etmektedir. Bir ampulün sıcaklığı, performansı, verimliliği ve kullanım ömrü üzerinde önemli bir etkiye sahip olmaktadır (Stull, 2011). Akkor ampullerde görünür ışık üretecek kadar parlak bir şekilde ışık üretmek için aynı zamanda önemli miktarda ısı enerjisi de üretilmektedir. Akkor ampul tarafından tüketilen enerji enerjinin çoğu, görünür ışıktan ziyade ısı olarak yayılmaktadır. Floresan ve LED ampuller gibi diğer ampuller ise akkor ampullerden çok daha düşük sıcaklıklarda çalışmaktadır (Karlen vd., 2017).

Ampulün sıcaklığı, ömrünün yanı sıra verimini ve ışık çıkışını da etkilemektedir. LED ve floresan ampuller, kısmen çok daha düşük sıcaklıklarda çalıştıkları için akkor ampullerden daha verimli ve uzun ömürlüdürler (Karlen vd., 2017).

4.6. AMPULÜN ÇALIŞMA SICAKLIĞI

Ampulün çalışma sıcaklığı, lambanın tipine ve tasarımında bağlı olarak değişmektedir. Örneğin akkor ampuller 250 °C ile 300 °C arasında çalışırken, floresan lambalar 35 °C ile 85 °C arasındaki sıcaklıklarda çalışmaktadır. Dış mekan aydınlatması veya otomotiv uygulamalarında kullanılanlar gibi yüksek güçlü LED lambalar, yaklaşık 70 °C veya daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilmektedir. Ampullerin çalışma sıcaklığı ortam sıcaklığı, havalandırma ve diğer ısı üreten bileşenlerden de etkilenmektedir (Karlen vd., 2017).

5. LAMBA TÜRLERİ

5.1. AKKOR LAMBALAR

Ampul olarak bilinen akkor lambalar içerisinde bulunan teli parlayana kadar yüksek bir sıcaklığa ısıtarak ışık üreten bir tür elektrik ışık kaynağıdır (Cai vd., 2009). Konut ve ticari yapılarda geleneksel ve en yaygın kullanılan aydınlatma türüdür. Gelişen teknoloji ile birlikte enerji verimli aydınlatma kullanımı artmasıyla kullanımı azalmıştır (MacIsaac vd., 1999). Şekil 2’de akkor lamba örnekleri görülmektedir.

Şekil 2. Akkor Lamba Örnekleri



Kaynak: <https://www.shopping-02.pw/ProductDetail.aspx?iid=34760000&pr=40.88>

5.2. HALOJEN LAMBALAR

Halojen lambalar, lambanın verimliliğini arttırmak için iyot veya brom gibi halojen gazı kullanan akkor lamba türüdür. Halojen lambalar, tasarım olarak geleneksel akkor lambalara benzerler. Aynı zamanda halojen lambalar akkor lambalara göre daha yüksek sıcaklıkta çalışmaktadırlar ve buda aynı miktarda enerji için daha fazla ışık üretilmesine olanak tanımaktadır (MacIsaac vd., 1999).

Halojen lambalar, konut, sanat, otomotiv ve tıbbi aydınlatma gibi farklı kullanım alanları mevcuttur. Halojen lambaların tükettikleri elektrikten dolayı en verimli lamba türü olmadığı bilinmektedir. Bu nedenle genelde enerji tasarruflu yapılarda birincil aydınlatma kaynağı olarak kullanılmazlar. Bunun yerine, fotoğraf veya sanat galerileri gibi yüksek kalite ışık ve ışık renginin enerji verimliliğinden daha önemli olduğu uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Karlen vd., 2017). Şekil 3’te halojen lamba örnekleri görülmektedir.

Şekil 3. Halojen Lamba Örnekleri



Kaynak: https://russalesov.com/product_details/19198216.html

5.3. FLORESAN LAMBALAR

Floresan lambalar, görünür ışık üretmek için floresan kullana bir tür elektrik lambasıdır. Floresan lambalar, tüketilen volt başına daha fazla ışık ürettikleri için geleneksel akkor lambalardan daha verimlidirler (Karlen vd., 2017).

Floresan lambaları genellikle konut, ticaret ve endüstriyel aydınlatma uygulamalarında kullanılmaktadır. Küçük borulardan büyük dairesel armatürlere kadar çok farklı boyut ve şekilleri mevcuttur (Veitch, 1997). Şekil 4'te floresan lambalar görülmektedir.

Şekil 4. Floresan Lamba Örnekleri



Kaynak: <https://www.malls-70.pw/ProductDetail.aspx?iid=48161994&pr=41.88>

5.4. KOMPAKT FLORESAN LAMBALAR

Kompakt floresan lambalar (CFL), standart aydınlatma armatürlerine uyacak şekilde tasarlanmışlardır. Floresan lambalar ile aynı prensiple çalışırlar. Spiralden boru şeklindeki tasarımlara kadar çok farklı şekil ve boyutları vardır (Bouwknegt, 1982). Şekil 5'te kompakt floresan lamba örnekleri görülmektedir.

CFL'ler, geleneksel akkor lambalardan %75'e kadar daha az enerji kullandıkları ve bu da elektrik faturalarında maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Kullanım ömrü 1-2 yıl olan akkor ampuller ile kıyaslandığında kompakt floresan lambaların kullanım ömrü 8-10 yıldır ve daha uzun ömürlüdür (Karlen vd., 2017).

Şekil 5. Kompakt Floresan Lamba Örnekleri



Kaynak: https://www.ks-lys.dk/lamps/bulbs/230-volt/compact-fluorescent-lamps---242_243_621_en.html

5.5. LED (LIGHT EMITTING DIODE)

LED’ler, elektrik enerjisini ışığa dönüştüren yarı iletken elemanlardır. Son yıllarda oldukça verimli ve uzun ömürlü bir aydınlatma teknolojisi olarak giderek daha popüler hale gelmişlerdir. LED’ler; konut ve ticari mekanların yanında elektronik ekranlarda, otomotiv aydınlatması gibi geniş kullanım alanı vardır (Khan vd., 2015). Akkor ampullerin aksine, LED’ler çok az ısı üretir ve enerji açısından oldukça verimlidirler. Akkor ampullerin ortalama 1000 saat olan ömürleri ile kıyaslandığında 50.000 saate kadar daha fazla kullanım ömrüne sahiptir (Karlen vd., 2017). Sıcak beyazdan soğuk beyaza ve daha çok farklı renk seçenekleri mevcuttur. Ayrıca akıllı ev cihazlarıyla uzaktan kontrol edebilme özellikleriyle son derece özelleştirilebilirler (Pattison vd., 2018). Şekil 6’da farklı LED görselleri verilmiştir.

Şekil 6. LED Örnekleri



Kaynak: Karlen vd., 2017: 11.

5.6. NEON LAMBALAR VE SOĞUK KATOT LAMBALARI

Neon lambalar ve soğuk katot lambaları, gaz moleküllerini iyonize ederek ışık üreten iki tür gaz deşarjlı lambalardır. (Şekil 7) Her iki lamba türü de genellikle tabela ve mimari aydınlatma gibi dekoratif amaçlı kullanılmaktadır (Karlen vd., 2017).

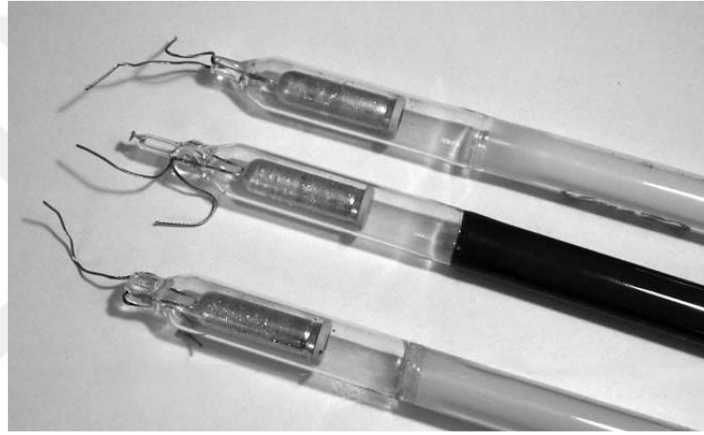
Neon lambalar az miktarda neon gazı içermektedir. Lambanın elektrotlarına yüksek voltaj uygulandığında, neon gazını iyonize ederek karakteristik kırmızı – turuncu renkte ışık yayılmasına neden olmaktadır. Neon lambalar ayırt edici bir görünüme

sahiptir. Neon lambalar genellikle reklam tabelalarının yanında sanatsal enstalasyonlarda da kullanılmaktadır (Evans vd., 2000).

Soğuk katot lambaları argon, neon veya her ikisinin karışımı gibi bir gazla dolu uzun, dar bir tüpten yayılmaktadır. Tüpün her iki ucundaki elektrotlar ısıtılmaz, bu nedenle soğuk katot adı verilir. Soğuk katot lambaları, kullanılan gazın türüne bağlı olarak çeşitli renkler üretebilirler ve genellikle evlerde ve ticari alanlarda vurgu aydınlatması için kullanılmaktadırlar (Alberts, 2010).

Neon ve soğuk katot lamları genellikle diğer aydınlatma teknolojileri kadar enerji verimli olmasa da dekoratif ve sanatsal alanlarda kullanılmaktadır (Karlen vd., 2017).

Şekil 7. Neon Lambalar ve Soğuk Katot Örnekleri



Kaynak: Karlen vd., 2017: 12.

6. TEMEL ARMATÜR TİPLERİ

Temel armatür tipleri, aydınlatma cihazlarının farklı şekil ve boyutlarını ifade eder. İşlevsel özellikleri, kullanım amaçları ve aydınlatma gereksinimlerine göre farklı tiplerde armatürler kullanılmaktadır.

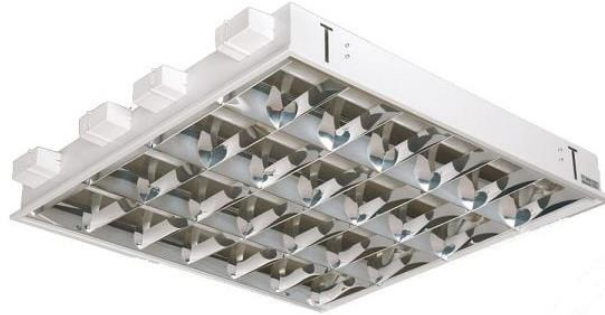
6.1. TİCARİ FLORESAN ARMATÜRLER

Ticari floresan armatürler, düşük maliyetleri ve enerji verimlilikleri nedeniyle birçok işletme ve ticari bina için tercih edilmektedir. Bu armatürler çeşitli tiplerde tasarlanmıştır (Şekil 8). En yaygın olarak kullanılan ise lambaları çevreleyen bir mercek veya difüzör tepesine sahip olan sarma armatürdür. Bu armatür, lambaları gizler ve ışığı aşağıya ya da yanlara doğru dağıtarak mekanın verimli ve eşit bir şekilde aydınlanmasını sağlar (Karlen vd., 2017).

Ticari floresan armatürler tasarım olarak mütevazı projelerde genel ve yardımcı aydınlatma elemanı olarak kullanılmaktadır (Karlen vd., 2017). Depo, kapalı otopark, ofis

ve ticari mekanlar gibi geniş alanların aydınlatılmasında en uygun maliyetli ve enerji açısından verimli aydınlatma armatürleridir (Lam vd., 1977).

Şekil 8. Ticari Floresan Örneği



Kaynak: <https://www.aydinlatmadunyam.com/urun/4x18-watt-cift-parabolik-armatur-siva-ustu>

6.2. ENDÜSTRİYEL ARMATÜRLER

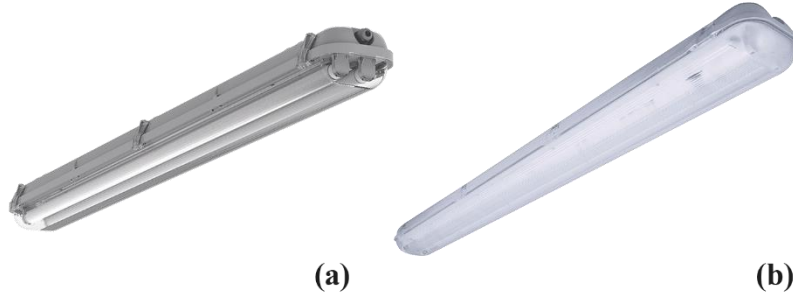
Endüstriyel armatürlerin dayanıklılık ve performans esaslarına dayanarak tasarlanmıştır. Floresan ve HID (yüksek yoğunluklu deşarj) gibi farklı çeşitleri mevcuttur. Floresan endüstriyel tipik olarak şerit ışıklara ve yüzeye monte edilebilen veya zincir ve çubuklarla asılabilen basit reflektöre sahip açık armatürlere sahiptir. Fabrikalarda, depolarda ve diğer endüstriyel ortamlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Geniş alanlarda parlak ve eşit aydınlatma sağlayarak yüksek düzeyde görüş gerektiren çalışma ortamları için idealdir (Karlen vd., 2017).

HID armatürleri, minimum güç tüketimi ile geniş bir alanı kaplayabilen parlak, yoğun bir ışık üretmektedir (Şekil 9). HID endüstriyel ürünler yüksek tavanlı tavan lambaları ve alçak tavan lambaları içermektedir. Genellikle depolar ve spor salonları gibi yüksek tavanlı geniş içi mekanlarda kullanıma uygundur (Karlen vd., 2017).

Endüstriyel armatürler kuru yerler için tasarlanmıştır. Ancak bazı havadaki gazların veya partiküllerin neden olduğu korozyona karşı dayanıklı olması için cam veya porselen gibi malzemelerle kaplanmıştır (Lam vd., 1977).

Genel olarak, endüstriyel armatürler performans ve dayanıklılığın çok önemli olduğu zorlu ortamlarda güvenilir ve verimli aydınlatma sağlamak için tasarlanmıştır (Karlen vd., 2017).

Şekil 9. Endüstriyel Aydınlatma Örnekleri **a)** Orlen Tube **b)** Orleon LED



Kaynak: <https://pedas.com.tr/urunler/endustriyel-aydinlatma#0>

6.3. WALLWASHER

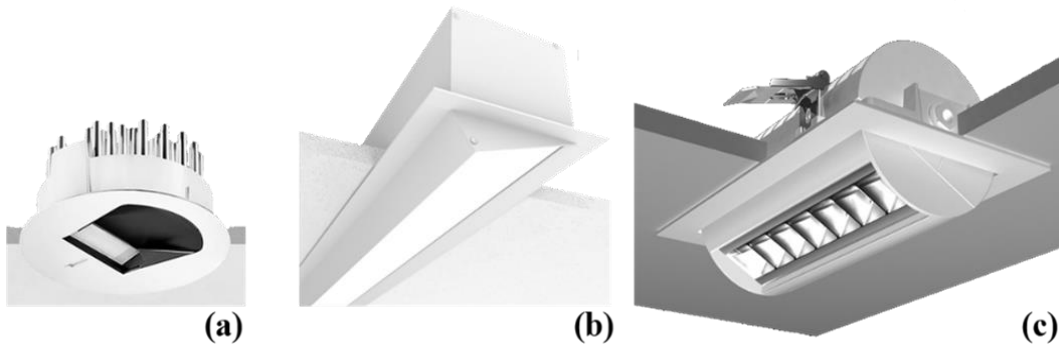
Wallwasher'lar çeşitli tipleri mevcuttur:

-Eyelid wallwashers: göz kapağı şeklinde bir kalkanla beraber tasarlanmıştır (Şekil 10, a). Bu kalkan aynı zamanda parlamayı önlemeye yardımcı olmaktadır ve ışığı duvara doğru yönlendirerek pürüzsüz ve eşit bir aydınlatma sağlamaktadır (Karlen vd., 2017).

-Recessed lens wallwashers: bu armatürler tavan ışığı gibi görünür, ancak ışığı bir tarafa yansıtmak için açılı lens kullanılmaktadır (Şekil 10, b). Kullanılan merceğin açısı, farklı aydınlatma efektleri oluşturmak için ayarlanmaktadır (Karlen vd., 2017).

-Surface and semi-recessed lens and open wallwashers: tasarıma bağlı olarak bir raya monte edilebilir veya doğrudan duvara monte edilebilmektedir (Şekil 10, c) (Karlen vd., 2017).

Şekil 10. WallWasher Örnekleri **a)** Eyelid Wallwasher **b)** Recessed Lens Wallwasher **c)** Sürfece and Semi-recessed Lens and Open Wallwashers



Kaynak: **a)** https://www.archiproductions.com/en/products/linea-light-group/led-recessed-wall-washer-vos-ww_549027 **b)** <https://www.lightforms.com/products/wash-graze/lightplane-linear-wall-washer-recessed-trim/> **c)** <http://www.kinglumi.com/product-1199.html>

6.4. VURGU ARMATÜRLERİ

Vurgu armatürleri, ışığın sanat ve bina yüzüne odaklamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu armatürler farklı ihtiyaçlara yönelik farklı tiplerde tasarlanmıştır. Gömme vurgu armatürler, belirli bir alanı veya nesneyi vurgulamak için alternatif bir armatürdür. Aynı zamanda ışık huzmesi ayarlanabilir ve farklı efektler oluşturulabilmektedir (Karlen vd., 2017).

Raylı aydınlatma armatürleri, mağazanın farklı ürünlerini veya alanlarını vurgulamak için kolayca ayarlanabilmektedir. Ray üzerine herhangi bir noktaya taşınabildiğinden kullanım kolaylığı ve esnekliği sağlamaktadır (Lam vd., 1977).

Sonuç olarak vurgu armatürleri, mekanda belirli alanları, sanat eserlerini ve diğer dekoratif özellikleri vurgulamak oldukça verimli bir aydınlatma türüdür. Vurgu armatür örnekleri Şekil 11’de verilmiştir.

Şekil 11.Vurgu Armatür Örnekleri



Kaynak: <https://www.turkuazelektrik.com/urun-kategori/ray-tipi-led-spot-armaturler.html>

6.5. DEKORATİF ARMATÜRLER

Dekoratif armatürler, mimarinin birçok bina tipinde, tarzı, döneminde veya motifinde önemli bir rol oynamaktadır. Avizeler hem genel bir aydınlatma saptaması hem de dekoratif bir unsur olarak mekanlar için oldukça iyi bir seçenek olmaktadır. Avizeler tavandan sarkıtılır veya tavana yakın konumlandırılır. Farklı mekanlarda ve ortamlarda kullanılabildikleri için çok yönlü aydınlatma elemanlarıdır (Şekil 12). Sarkıtlar aynı zamanda tavana asılı dekoratif armatürlerdir. Sarkıt armatürlerim çoğu akkor ampuller kullanılmaktadır. Aynı zamanda HID ve floresan kaynaklardan modern varyasyonları mevcuttur (Karlen vd., 2017).

Şekil 12. Dekoratif Armatür Örnekleri



Kaynak: <https://jojotastic.com/2020/10/12/modern-chandelier/>

Genel olarak, dekoratif aydınlatma, görsel ilgi eklemek ve bir alanın atmosferini geliştirmenin bir yoludur. Dekoratif armatürlerin çoğu yalnızca kuru iç mekanlar için olsa da fenerler ve bazı aplikler gibi ıslak etiketli ve dış mekanlarda kullanıma uygun bazı türleri de bulunmaktadır (Lam vd., 1977).

7. AYDINLATMA ELEMANI TASARIMI

Aydınlatma elemanın tasarımı, üretimini ve uygulamasını içeren bir süreçtir. Bu süreçte, bir aydınlatma elemanının işlevsel, estetik ve teknik gereksinimlerini karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır. Farklı işlevlerde ve tasarımlarda aydınlatma elemanları üretilmektedir (Cuttle, 2008).

Aydınlatma elemanları tasarımında beş özelliği içermelidir.

-Işık Kaynağı: Aydınlatma elemanının ışık kaynağı seçimi, elemanın verimliliği, ışık rengi ve ışık yoğunluğunu belirleyebilir. LED'ler, halojen lambalar, floresan lambalar ve akkor lambalar gibi birçok farklı ışık kaynağı seçeneği vardır.

-Optik Tasarım: Aydınlatma elemanının ışığın yönünü ve dağılımını kontrol etmek için optik tasarımı çok önemlidir. Aydınlatma elemanları için kullanılacak mercekler, reflektörler ve difüzörler, ışık yoğunluğunu, ışık kalitesini ve enerji verimliliğini etkilemektedir.

-Malzeme Seçimi: Aydınlatma elemanı tasarımında kullanılan malzemeler, elemanın dayanıklılığı, esnekliği gibi faktörleri etkilemektedir. Örneğin, alüminyum veya bakır gibi ısıyı iyi ileten malzemeler, aydınlatma elemanının uzun ömürlü ve verimli olmasını sağlamaktadırlar.

-Elektriksel Tasarım: Aydınlatma elemanlarının güç kaynağı, kontrol üniteleri ve kabloları gibi elektriksel bileşenleri elemanın performansını ve güvenliğini etkilemektedir. Elektriksel tasarımın, aydınlatma elemanının çevre dostu ve enerji tasarrufunu sağlayacak uygun bir güç kaynağı seçimiyle birleştirilmesi önemlidir.

-Estetik Tasarım: Aydınlatma elemanının estetik tasarımı, elemanın mekanın atmosferini belirleyen bir faktördür. Aydınlatma elemanları için farklı tasarım stilleri ve renkler kullanılabilir (Karlen vd., 2017).

İKİNCİ BÖLÜM

3 BOYUTLU YAZICILAR VE ÜRETİMDE KULLANILAN MALZEMELER

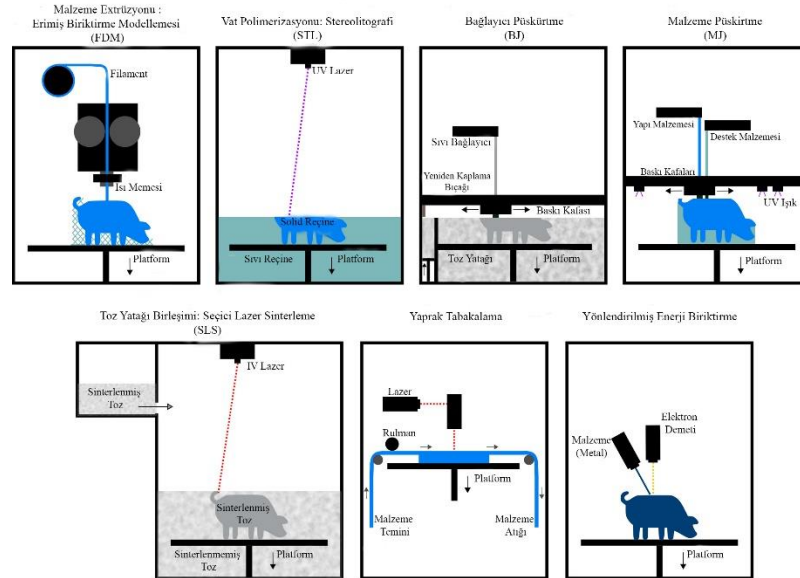
1. 3 BOYUTLU YAZICILAR

3 boyutlu yazıcı teknolojileri 1980’lerden bu yana hızla gelişmektedir. İlk kullanılmaya başlandığında endüstriyel ve prototip amacıyla kullanılmışlardır. Teknolojik gelişmeler ile birlikte 3 boyutlu yazıcılar daha erişilebilir ve uygun fiyatlı hale gelmiştir (Horvath vd., 2014). Günümüzde eğitimciler, hobi amaçlı evlerde ve hatta küçük işletmelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

ISO/ASTM’e 3 boyutlu yazıcıları ham maddeyi kullanarak hazırlanan modeli katman katman yazdırma sürecidir (ISO/T.C. 261, 2015). 3 boyutlu yazıcılar hazırlanan modeli katmanlar bölerek geleneksel üretim yöntemleriyle üretilmesi zor hatta imkansız olan karmaşık geometriler ve şekilleri oluşturmada esneklik ve hassasiyet sağlamaktadır (Lee vd., 2006).

3 boyutlu yazıcılar farklı yazdırma prensipleriyle çalışmakta ve farklı teknolojiler günümüzde geliştirilmektedir. Yazıcıların farklı katmanları nasıl oluşturduğu ve oluşturulan katmanların nasıl bağlandığı büyük önem taşımaktadır. Makine mimarisi ve yazdırma prensiplerine göre yedi kategoride 3 boyutlu yazıcılar Şekil 13’te gösterilmiştir (Carew & Errickson, 2020).

Şekil 13. Makine Mimarisi ve Yazdırma Prensibine Göre 3 Boyutlu Yazıcı Kategorileri



Kaynak: Carew & Errickson, 2020: 1754’ten uyarlanmıştır.

Bu çalışmada erimiş biriktirme modellemesi (FDM) teknolojisi kullanacağından, FDM teknolojisi üzerine yoğunlaşmıştır.

2. FDM ÇALIŞMA PRENSİBİ

3 boyutlu yazıcılarda yaygın olarak erimiş biriktirme modellemesi (FDM) kullanılmaktadır. 3 boyutlu yazdırma işlemi veya eklemeli üretim bir süreçtir (Lee, vd., 2006). Bilgisayar ortamında CAD yardımıyla 3 boyutlu yazıcılarda yazdırılabilir modeller oluşturulabilmektedir. Bilgisayar ortamında modelleme işlemi geometrik veri hazırlama sürecine benzerdir. Aynı zamanda tarama yöntemiyle elde edilen 3 boyutlu modellerde 3 boyutlu yazıcılarda basılabilmektedir. 3 boyutlu modellerin hem de tarayıcı ile 3 boyutlu model oluşturmak bazı tüketiciler için zordur. 3 boyutlu modellemelerde yaşanan zorluktan dolayı farklı pazarlar oluşmasına olanak sağlamıştır (Gokhare vd., 2017).

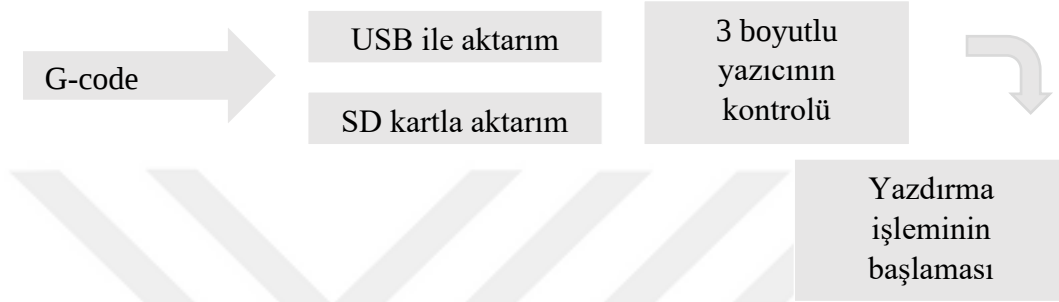
FDM yazdırma yöntemi Şekil 14’te gösterilmiştir. 3 boyutlu yazıcılarda yazdırma işlemi herhangi bir CAD yazılımının yardımıyla CAD modelinin oluşturulmasıyla başlamaktadır. CAD model tasarımcı tarafından tasarım girdileri kullanılarak hazırlanmaktadır. CAD modeli dönüştürülür 3 boyutlu yazıcıların okuyabileceği dosya formuna dönüştürülür. Bu dönüştürme işleminde yazdırılacak olan model dilimlere ayrılır. Bu dosya formatında yaygın olarak STL, OBJ, AMF ve 3MF kullanılmaktadır. ‘.STL’ en yaygın olarak kullanılır (Qin vd., 2019). Slic3r, Cura ve Repetier birkaç popüler ve açık erişime açık dilimleme yazılımlarıdır (Gokhare vd., 2017). Bu programlar yazdırılacak objeler ile ilgili birçok görevi gerçekleştirmektedir. Bunlar;

- Katman oluşturma
- Dolgu oluşturma
- Yazdırılacak objelere destek yapısı oluşturma
- Her katman için yol oluşturma (tarama genişliği, tarama yönlendirmesi, dolgu, katman kalınlığı vb.)
- Makine parametreleri (biriktirme hızı, ekstrüzyon sıcaklığı, yapı formu vb.)
- Yazdırma süresidir (Qin vd., 2019).

Dilimleme programında yapılan ayarlamalardan sonra dijital model fiziksel bir modele dönüştürülür ve ardından ‘.G-code’ dosyası kaydedilir. ‘.G-code’ akışını USB bağlantısı ile dosya hazırlanan bilgisayardan 3 boyutlu yazıcıya aktarılır. Bazı yazıcılarda

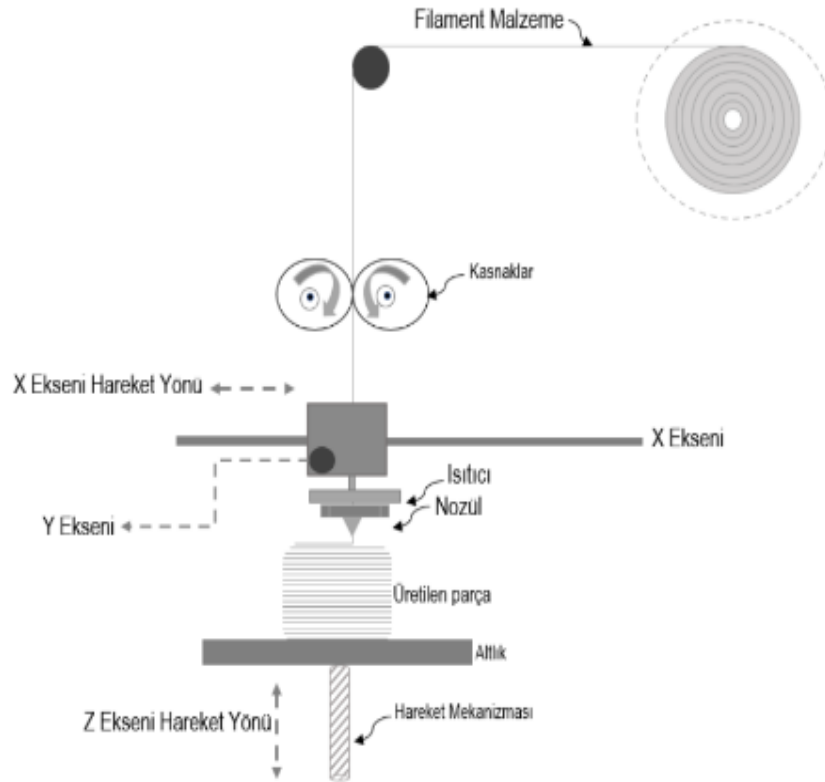
ise SD karttan direkt olarak aktarım gerçekleştirilmektedir USB bağlantısı ile gerçekleştirilecek yazdırma işlemlerinde dosya üzerinde değişiklik yapıldığında dosyanın yeniden yazıcıya gönderilmesi gerekmektedir (Kamran vd., 2016). 3 boyutlu yazıcı ‘.G-code’ talimatlarını takip ederek tasarlanan objeyi yazdırmaya başlar ve yazdırma işlemi devam ederken katmanlar üst üste birleştirilerek devam eder (Gokhare vd., 2017). Şekil 16’da 3 boyutlu yazıcıda yazdırma hazırlık aşamaları ve üretilen objenin görselleri verilmiştir.

Şekil 14. 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırma Adımları



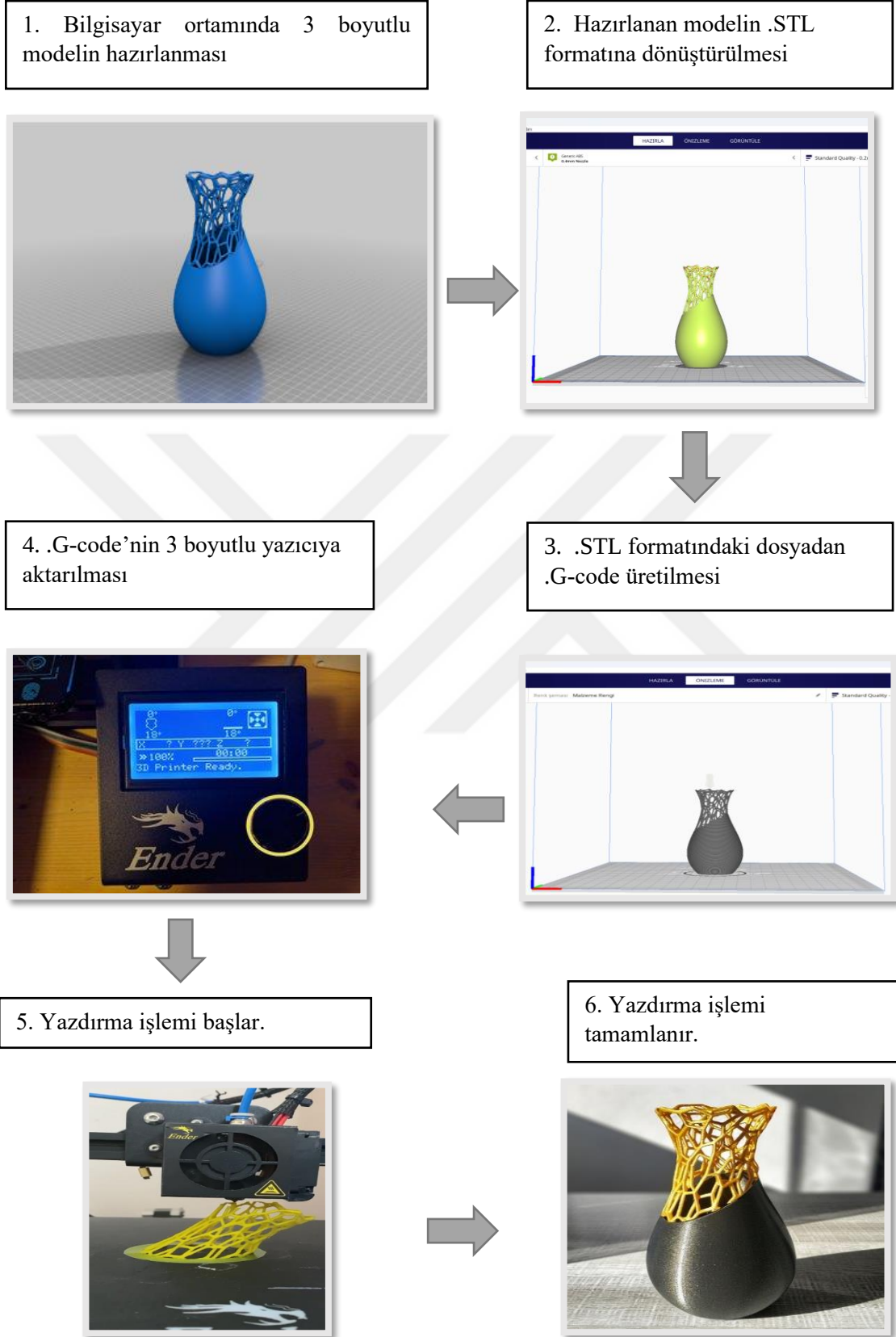
FDM yazıcıda yazdırma işleminin şeması Şekil 15’te verilmiştir (Cengiz & Aktepe, 2021:140)

Şekil 15.FDM 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırma İşlemi Şeması



Kaynak: Cengiz & Aktepe, 2021:140.

Şekil 16. 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırma Hazırlık Aşamaları ve Baskı Sonucu



Kaynak: [thingiverse.com/thing:4800105](https://thingiverse.com/thing/4800105)

3 boyutlu yazıcıların en büyük avantajları üretilecek objenin formunun karmaşıklığından etkilenmeden geleneksel yöntemlerle üretilemeyecek veya uzun süreler alacak objelerin kısa sürede basılmasıdır. Baskı hızı 3 boyutlu yazıcı modeline ve yazdırma sırasında ayarlanan özelliklere bağlı olarak farklılık göstermektedir (Gokhare vd., 2017).

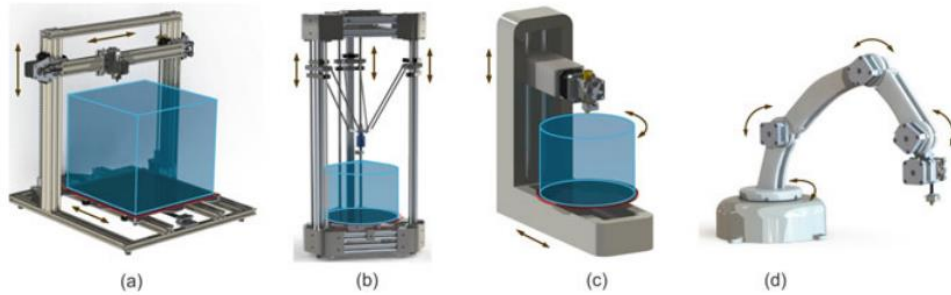
2.1. FDM TİPİ 3 BOYUTLU YAZICI TÜRLERİ

Erimiş biriktirme modelleme (FDM) yazıcıları, tasarlanan objeyi katman katman oluşturmak için erimiş plastiği bir memeden kontrollü bir şekilde ekstrüde etmektedir. Farklı boyutlarda, konfigürasyon ve mekanizmalarda FDM yazıcıları mevcuttur (Dave vd., 2021).

2.1.1. Konfigürasyona Göre FDM Yazıcı Türleri

Konfigürasyona göre yazıcı türlerinde sınıflandırma 3 boyutlu yazıcının tasarlanan objeyi yazdırmak için kullandığımız mekanizmaya dayanmaktadır. FDM yazıcıları konfigürasyonlarına göre dört sınıfta incelenmektedir. Bunlar Şekil 17’de gösterildiği gibi kartezyen, delta, polar ve robotik kollarıdır (Dave vd., 2021).

Şekil 17.FDM Yazıcıların Konfigürasyonlarına Göre Grupları **a)** Kartezyen **b)** Delta **c)** Polar **d)** Robotik Kollar



Kaynak: Dave vd., 2021:6.

2.1.1.1. Kartezyen FDM Yazıcılar

Kartezyen FDM yazıcılar, en yaygın 3 boyutlu yazıcı türüdür. Bu yazıcılar objeyi oluşturmak için yazıcı kafasını X, Y ve Z eksenleri boyunca hareket ettirme için bir Kartezyen koordinat sistemi kullanarak çalışmaktadır (Dave vd., 2021). Yapı hacmi şekli dikdörtgen prizmadır. Bu nedenle inşa platformunun şekli dikdörtgen veya kare tutulmalıdır. 3 boyutlu yazıcı kafasını hareket ettirerek ya da hem yazıcı kafasını hem de

yapı platformunu hareket ettirerek yazdırma işlemi gerçekleştirilmektedir (Gokhare vd., 2017).

Kartezyen 3 boyutlu yazıcıların üç popüler çeşidi vardır (Dave vd., 2021).

-Baskı kafası X-Y düzleminde hareket eder ve platform ise Z eksenini boyunca hareket etmektedir. Örnek 3 boyutlu yazıcılar; Startasys F123, Ultimaker S5, MakerBot Replicator+.

-Yerleşik platform Y ekseninde hareket ederken yazıcı kafası X ve Z ekseninde hareket etmektedir. Örnek 3 boyutlu yazıcılar; Original prusa mini, LulzBot Mini, da Vinci Jr. 2.0.

-Yerleşik platform sabitken yazıcı kafası X, Y ve Z eksenlerinde hareket etmektedir. Örnek 3 boyutlu yazıcılar; BigRep ONE, Cincinnati MAAM.

2.1.1.2. Delta FDM Yazıcılar

Delta FDM yazıcılar, baskı kafasını yapı platformunun üzerine asmak için dikey raylara bağlı üç kollu üçgen bir düzenleme kullanan bir tür 3 boyutlu yazıcılardır. Baskı kafası her bir kolun ucuna küresel mafsallarla bağlıdır ve kolların dikey raylar üzerindeki koordineli hareketi, baskı kafasının konumunu bir 3 boyutlu yapı zarfında yapı platformuna göre ayarlar (Dave vd., 2021). Delta FDM yazıcıları hakkında bazı ayrıntılar aşağıda verilmiştir:

-Yapı hacmi şekli neredeyse silindriktir ve bu nedenle yapı platformunun şekli tipik olarak daireseldir.

-Oluşturulan platform, baskı sırasında sabit tutulurken, baskı kafası nesneyi oluşturmak için koordineli bir şekilde hareket etmektedir.

-Delta yazıcılar genellikle Kartezyen yazıcılardan daha hızlıdır, ancak genellikle daha az hassastır ve daha küçük yapı hacmine sahiptir.

-Delta yazıcılar tipik olarak Kartezyen yazıcılardan daha ucuzdur ve hobi olarak kullanıma yatkındır ve üreticiler için popüler bir seçimdir.

-Popüler delta 3 boyutlu yazıcılara örnek olarak şunlar verilebilir: Delta WASP, Anycubic Predator, Mass Portal XD, etc (Dave vd., 2021).

2.1.1.3. Polar FDM Yazıcılar

Polar FDM yazıcılar, yazdırma sırasında yazıcı kafasını doğru yerleştirmek için kutupsal koordinat sistemi kullanan 3 boyutlu yazıcılardır. Bu yazıcıların diğer yazıcılara göre daha az kullanımı tercih edilmektedir. Yapı hacmi silindiriktir ve bu yüzden yapı platformunun şekli dairesel tutulmaktadır (Griffey, 2014).

Polar FDM yazıcılar hakkında bazı ayrıntılar aşağıda verilmiştir:

- Yazıcı kafası tipik olarak Z ekseninde hareket edebilir, ancak yazıcı kafasının konumu yatay düzlemde kutupsal koordinat sistemi tarafından tanımlanmaktadır.
- Düzlemdeki her nokta, yapı platformunun merkez noktasından bir mesafe ve bir referans yönden bir açı ile belirlenir.
- Bu, yapı platformunu döndürerek ve nesneyi oluşturmak için yapı platformunun veya yazıcı kafasının doğrusal yanal hareketini kullanarak elde edilir.
- Polar yazıcılar, diğer FDM yazıcı türleri kadar popüler değildir, ancak belirli uygulama türleri için benzersiz avantajlar sunabilirler (Dave vd., 2021).

Popüler polar 3 boyutlu yazıcılara örnek olarak şunlar verilebilir: Polar 3D ve Sculpto PRO2 (Dave vd., 2021).

2.1.1.4. Robotik FDM Yazıcılar

Robotik kollu FDM yazıcılar, yazdırma sırasında yazıcı kafasını konumlandırmak için birincil mekanizma olarak endüstriyel bir robotik kol kullanan bir tür 3 boyutlu yazıcıdır. Bu tür bir yazıcı tipik olarak diğer FDM yazıcı türlerinden daha pahalıdır, ancak hız ve karmaşık parçaları yüksek doğrulukla yazdırma yeteneği açısından benzersiz avantajlar sunmaktadır (Dave vd., 2021).

Robotik kollu FDM yazıcıların en önemli avantajlarından biri esneklikleridir. Robotik kol, yazıcı kafasını çok çeşitli yönlerde ve açılarda hareket ettirerek karmaşık şekillerin ve girift tasarımların oluşturulmasına olanak tanımaktadır (Griffey, 2014). Aynı zamanda robotik kol hızlı ve doğru hareket edebildiğinden, bu yazıcılar diğer FDM yazıcı türlerinden çok daha hızlı parça üretmektedir (Popescu vd., 2018).

Robotik kol FDM yazıcılar genellikle diğer FDM yazıcılara göre daha pahalı olsa da karmaşık parçaları hızlı ve doğru bir şekilde üretmesinden dolayı kullanıcılar tarafından tercih etmektedir (Griffey, 2014).

Popüler robotik kol FDM 3 boyutlu yazıcılara örnek olarak şunlar verilebilir: Dobot Magician ve Rotrics DexArm (Dave vd., 2021).

2.1.2. Teknoloji Kaynağına Göre FDM Yazıcı Türleri

Teknoloji kaynağına göre 3 boyutlu yazıcılar iki türdür, açık ve kapalı kaynak teknolojileridir. Kapalı kaynaklı veya tescilli FDM yazıcı teknolojisi, patentler ve telif hakları gibi fikri mülkiyet hakları (IPR) ile korunmaktadır. Bu 3 boyutlu yazıcıların tasarımı ve yazılımı kamuya veya diğer üreticilere açık olmadığı anlamına gelmektedir. FDM yazıcıların ilk öncülerinden Stratasys FDM teknolojisiyle ilgili patentlerin çoğuna sahiptir (Dave vd., 2021).

Açık kaynaklı FDM yazıcı teknolojisi herkes tarafından ücretsiz olarak kullanılabilir. Bu, yazıcının tasarımının ve kullanımının kamuya açık olduğu ve herkesin tasarımı değiştirmesine veya geliştirilmesine izin verdiği anlamına gelmektedir (Popescu vd., 2018). RepRap ve FAB@Home projeleri, herkesin ücretsiz olarak kullanabileceği bir dizi yazıcı tasarımı ve yazılımı geliştiren açık kaynaklı bir FDM yazıcı projesinin bir örneğidir (Balletti vd., 2017).

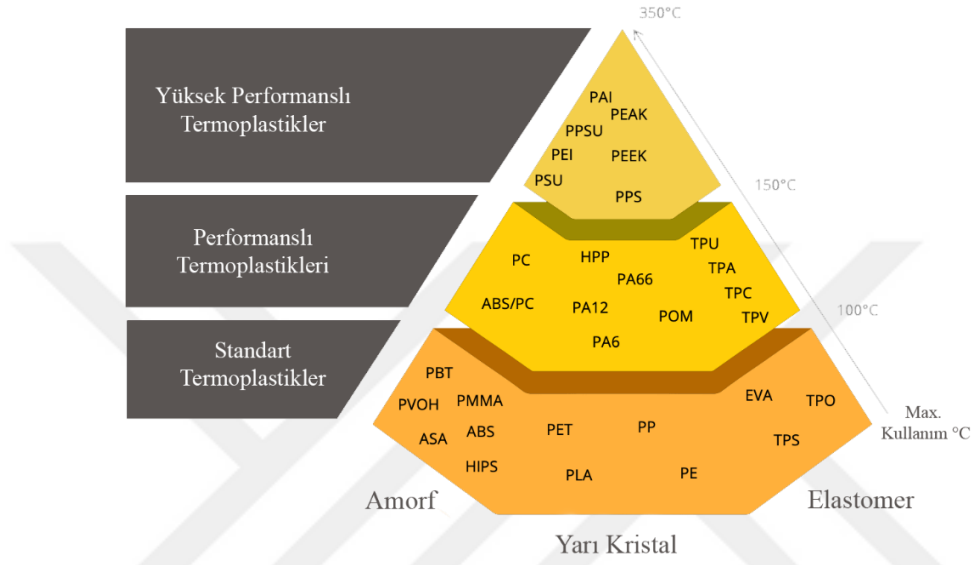
Hem açık kaynaklı hem de kapalı kaynaklı FDM yazıcı teknolojisinin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır (Jandyal, 2022). Açık kaynak teknolojisi, yazıcının tasarımına ve geliştirilmesine herkes katkıda bulunabileceğinden, daha fazla yenilik ve iş birliğine olanak tanımaktadır. Ancak, yazıcının tasarımı ve çalışması yakından korunduğu ve bilgisayar korsanlığı veya diğer güvenlik tehditlerine karşı daha az savunmasız olabileceği için, kapalı kaynak teknolojisi daha fazla güvenlik ve kararlılık sağlamaktadır. Ek olarak, yazıcı tüm süreç üzerinde kontrole sahip tek bir şirket tarafından tasarlanıp üretildiğinden, kapalı kaynak teknolojisi daha fazla güvenilirlik ve tutarlılık sunmaktadır (Dave vd., 2021).

3. 3 BOYUTLU YAZICILARDA KULLANILAN MALZEMELER

3 boyutlu yazıcılarda hammadde olarak termoplastik filament kullanılmaktadır. Kullanılan termoplastik filamentler ABS, PLA, PETG, Naylon ve diğer polimer malzemelerdir. Kullanılacak olan filamentin yarı çapı 1,75mm ve 2,85 mm'dir. Yaygın olarak kullanılan filamentlere ek olarak, metal, ahşap, karbon elyafı ve hatta gıda gibi daha egzotik malzemelerden üretilen filamentlerin kullanımı da giderek artmaktadır (Dave vd., 2021).

Şekil 18’de malzemelerin performans özelliklerine göre sınıflandırılmış piramit verilmiştir. Polimer malzemeler üç grupta sınıflandırılmaktadır. Bunlar standart, performanslı ve yüksek performanslı termoplastiklerdir. Ayrıca polimerler amorf, yarı kristaller ve elastomerler olarak üç kategoriye ayrılmaktadır (https://www.pollen.am/standard_thermoplastics_general_introduction/).

Şekil 18. Polimer Malzemelerin Performans Özelliklerine Göre Sınıflandırılması



Kaynak: https://www.pollen.am/standard_thermoplastics_general_introduction/ ‘den uyarlanmıştır.

Amorf yapıya sahip termoplastikler genellikle şeffaf ve saydam olma eğilimindedirler. Amorf polimerlerin moleküler yapısı düzensizdir. Bu yüzden amorf polimerlerin içinde ışık dalgalanmaları rahatça hareket edebildiğinden dolayı bu malzeme şeffaf malzemedir. Amorf termoplastiklerin yüksek boyutsal kararlılığı nedeniyle, hassas parçaların imalatı için kullanılması uygundur (https://www.pollen.am/standard_thermoplastics_general_introduction/).

Yarı kristal termoplastikler, polimer molekülleri hem düzenli hem de düzensiz bölgeler içermesinden dolayı yarı kristal olarak adlandırılmaktadırlar. Kristal yapıdaki bölgeler düzenli ve serttir, amorf yapıdaki bölgeler ise düzensiz ve daha esnektir (https://www.pollen.am/standard_thermoplastics_general_introduction/).

Elastomerler esnek ve rijit alanlardan oluşan heterojen yapıdadırlar. Elastomerler üretim kolaylığı ve çeşitli uygulama alanlarındaki çeşitlilik nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır(https://www.pollen.am/standard_thermoplastics_general_introduction/).

3 boyutlu yazıcılarda malzeme olarak PLA, ABS, Naylon, PET (Polietilen Tereftalat) ve Ahşap malzemeler kullanıldığı bilinmektedir. Çok tercih edilen ve ekonomik olarak kullanılan ABS ve PLA malzemesine ek malzemelerin araştırılması gündemde olan bir konudur.

3.1.AKRİLONİTRİL BÜTADİEN STİREN (ABS)

Termoplastik olan ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) petrol bazlıdır. ABS malzemesi ile alınan baskılar PLA (Polilaktik Asit) ile kıyaslandığında hem üretilen objelerin daha mat olduğu hem de dayanıklılıklarının daha fazla olduğu görülmüştür (Skorski vd., 2016).

3.2. POLİLAKTİK ASİT (PLA)

Şeker kamışı ve mısır nişastası PLA (Polilaktik asit) hammaddesini oluşturmaktadır. Doğal içerikli olan PLA filamentini insan sağlığına zararlı değildir. Termoplastik olan PLA malzemesi ile baskı alınan objeler ABS malzemesi ile basılan objeler ile kıyaslandığında daha parlak olmasının yanı sıra daha dayanıksız olduğu bilinmektedir. Farklı kullanım alanları vardır (Madhavan vd., 2010).

3.3.NAYLON (NYLON)

3 boyutlu yazıcılarda kullanımı ABS ve PLA malzemesiyle kıyaslandığında daha az kullanıldığı görülmektedir. 3 boyutlu yazıcılarda kullanılmama sebeplerine bakılacak olursa naylon filamentin ortamdaki nemi hızla emdiği görülmektedir. Yazdırılan objenin tamamlanmasıyla içine aldığı nem hızla azalır. Nemin azalmasıyla objenin yüzeyinde pürüzler oluşmaktadır. Yazdırma işlemi devam ederken objenin ilk katmanlarında azalan nem ile baskı yatağına yapışmış yüzey kalkmaktadır. Objenin yataktan kalkmasından dolayı yazdırma işlemi devam edememektedir. Bu sebeplerden dolayı yazıcılarda kullanımı tercih edilmemektedir (Starr vd., 2011).

3.4. POLİETİLEN TEREFİTALAT (PET)

Kullanım alanları çok geniş olan PET (Polietilen Tereftalat) malzemesi PETG adı ile de bilinmektedir. PET malzemesinin 3 boyutlu yazıcılarda kullanılabilmesi ABS ve PLA malzemesine karşı bir alternatif oluşturmaktadır. PET filamentini ile 3 boyutlu yazıcıda üretilen objelerin ABS ile üretilen objelere göre hem daha esnek hem de daha dayanıklı olduğu görülmüştür. PET malzemesi ile üretilen filamentin 3 boyutlu yazıcıda baskı alınması PLA filamentini gibi kolaydır. 3 boyutlu yazıcıda üretim sırasında veya

sonrasında oluşan atıklar ise geri dönüştürülebilmektedir (<https://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/67-filamentlerin-detayli-karsilastirilmesi>).

3.5. AHŞAP FİLAMENT

Ahşap filament üzerine yapılan çalışmalar 2012 yılında PLA filamentine talaşın karıştırılmasıyla başlamıştır. Ancak yapılan çalışmaların geliştirilmesi gerektiği yönünde görüşler kaydedilmiştir. Günümüzde ahşap filamentler hala PLA bazlıdır, ahşap lifler entegre edilmiştir. Farklı ağaç türleriyle farklı denemeler yapılmıştır. Hindistan cevizi, bambu, kestane, sedir bunlardan bazılarıdır. Üretilen filamentler %70 oranında PLA ve %30 oranında ahşap lifleri içermektedir. Ahşap oranı %30 ve bu oran PLA oranına göre oldukça düşük olsa da bu filament ile üretilen objelerde ahşabın dokusu ve kokusu hissedilmektedir. 3 boyutlu yazıcılarda baskı sırasında ahşap kokusunun oldukça yoğun olması dikkat çekmektedir (<https://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/67-filamentlerin-detayli-karsilastirilmesi>).

4. GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ MALZEMELERİN 3 BOYUTLU YAZICILARDA KULLANILMASI

Geri dönüştürülmüş malzemelerin 3 boyutlu yazıcılarda kullanılması atık yönetimi ve sürdürülebilirlikte önemli bir yere sahiptir. Geri dönüştürülmüş malzemeler üretim maliyetlerini düşürmektedir. 3 boyutlu yazıcılarda kullanılmak için üretilen geri dönüştürülmüş filamentler birçok farklı endüstride kullanılmaktadır.

Geri dönüştürülmüş filamentin 3 boyutlu yazıcılarda kullanımı aynı zamanda bazı zorlukları da içermektedir. Geri dönüştürülmüş malzemenin homojenliği, malzeme özellikleri ve mukavemeti gibi faktörler, üretim kalitesi ve nihai ürünlerin performansını etkilemektedir. Bu nedenle, geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı için uygun yöntemler ve teknolojilerin geliştirilmesi önemli olmaktadır (<https://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/67-filamentlerin-detayli-karsilastirilmesi>).

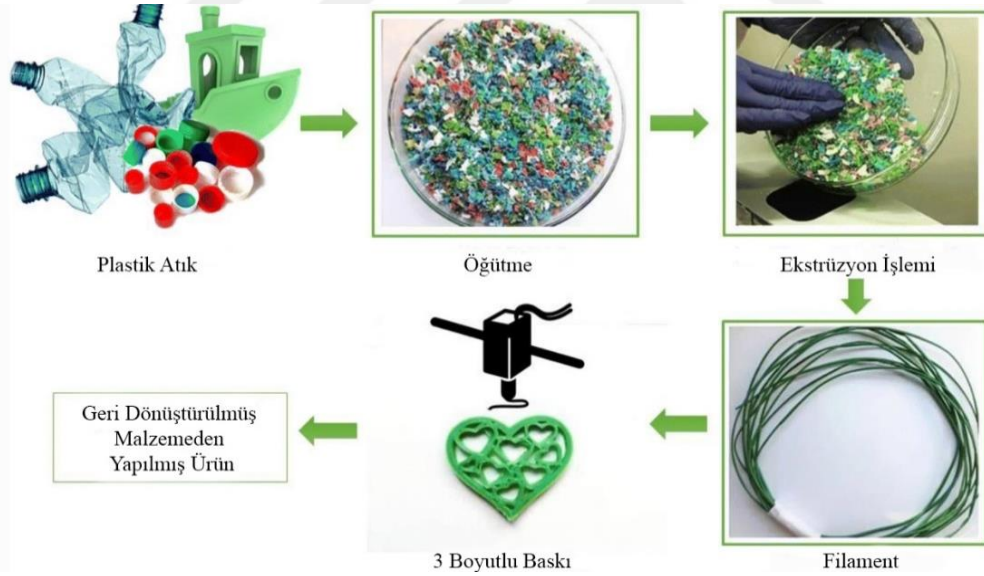
4.1. TERMOPLASTİKLERİN GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

Polimer malzemeler geniş bir yelpazede düşük maliyetli, hafif ve yüksek performanslı ürünlerin üretiminde büyük öneme sahiptir (Andrady vd., 2009). Plastik endüstrisi, petrol ve gaz kaynaklarına bağımlı bir sektördür ve dünya genelinde kullanılan petrolün %4'ü plastik üretiminden kaynaklanmaktadır ('Plastics', 2015). Bununla

birlikte, plastiklerin çevreye verdiği zarar endişe vericidir çünkü doğada bozulma süreleri tam olarak bilinmemektedir (Hopewell vd., 2009).

Termoplastikler 3 boyutlu yazıcılarda kullanılan bir malzemedir. Yazdırma işlemi sırasında veya baskıdan sonra arta kalan objeler geri dönüştürülerek, tekrar kullanılabilir bir malzeme üretimi mümkündür. Geri dönüştürülecek polimerin türüne ve şekline bağlı olarak farklı geri dönüşüm yöntemleri kullanılmaktadır (Taşdelen vd., 2019). Kullanılmayan termoplastiklerin yeniden kullanılması hem ekonomik yönden hem de çevresel açıdan faydalıdır. Malzeme üretiminde maliyetlerin azalacağı gibi CO2 emisyonunu azaltacaktır. Kullanılmayan termoplastiklerin öğütücüler yardımıyla daha küçük parçalar haline getirilmesi sağlanmaktadır. Granül haline getirilen parçalar ekstrüzyon işleminin ardından 3 boyutlu yazıcılarda kullanılacak filamentler haline getirilmektedir ve 3 boyutlu yazıcılarda yazdırma işlemlerinde kullanılmaktadır (Mikula vd., 2021: 12331). Şekil 19’da termoplastiklerin geri dönüştürülerek filament üretim aşamaları gösterilmiştir.

Şekil 19. Atık Termoplastiklerin Geri Dönüştürülerek Filament Üretim Aşamaları



Kaynak: Mikula vd., 2021: 12331’den uyarlanmıştır.

Termoplastiklerin geri dönüştürülmesi üzerine yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde geri dönüşüm sırasında malzemelerde kayıplar oluşmaktadır. Malzemenin farklı malzemelerden yapılan test objeleri ham malzemelerle kıyaslanmıştır. Çalışmalar incelenmiştir incelenen çalışmalarda çoğunlukla aynı baskı prosedürü kullanılmıştır. İlk önce malzeme seçimi ve geri dönüştürülecek malzemeye ek kullanılacak bağlayıcı malzemeler belirlenmiştir. Malzeme seçiminin ardından seçilen

malzemelerle 3 boyutlu yazıcılarda kullanılabilecek filamentler üretilmiştir. Üretilen filamentler kullanılarak deney objelerinin baskısı yapılmıştır. Objelerin üretiminden sonra bazı deneyler uygulanmıştır. Geri dönüştürülebilir malzemelerin yeniden kullanılması yapılan çalışmaların gelişerek devam etmesi döngüsel ekonomiye katkı sağlayabilir ve çevresel etki değeri yönetilmelidir (Cengiz & Aktepe, 2021).

4.2. AHŞAP BAZLI GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ FİLAMENTLER

3 boyutlu yazıcıların kullanılması termoplastikler kullanılarak tasarlanan objelerin basılmasıyla başlamıştır (Bulanda vd., 2020). Yazıcılarda kullanılan malzemelerin kullanımından sonra atık oluşturması ve malzemelerin yeniden kullanılması gündeme gelmektedir. Ahşap ve talaş bir alternatif olarak 3 boyutlu yazıcılarda kullanımıyla çevre dostu bir alternatif malzeme olabilir (Kariz vd., 2016). Atık ve artık kullanılmayan ahşap objeler toz haline getirilmektedir. Toz haline getirilen ahşap malzeme içerisine ek malzemeler katılarak (plastikler, alçı, selüloz, çimento ve sodyum silikat) filamentler üretilmektedir. Üretilen filamentler 3 boyutlu yazıcılarda farklı objeleri basmak için kullanılmaktadır (Das vd., 2021). 3 boyutlu yazıcılarda ahşap ve talaşın kullanımı Şekil 20’de gösterilmiştir.

Şekil 20. Ahşap Bazlı Geri Dönüştürülmüş Filament Üretim Aşamaları



Kaynak: Cengiz & Aktepe, 2022: 146

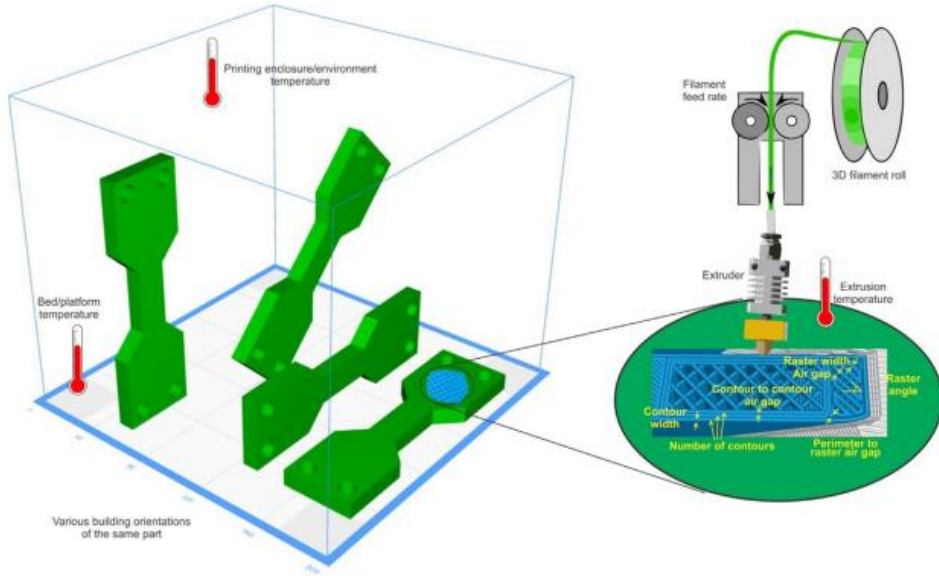
3 boyutlu yazıcılarda ahşap bazlı filamentin kullanılmasına yönelik yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde bağlayıcı malzemelerde sürdürülebilir malzemelerin seçilmesi sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Ahşap bazlı filamentlerin kullanılmasıyla üretilen objelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinde dezavantajlar tespit edilmiştir. Bu özelliklerin iyileştirilmesi için farklı bağlayıcı malzemelerle çalışmaların

arttırılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Ahşap malzemenin düşük maliyetli ve çevre dostu olması çok büyük önem taşımaktadır. Üretilen malzemeyle deney objeleri basılması yapılacak deneyler sonucunun belli standartlara ulaşılmasını gerektirmektedir (Cengiz & Aktepe, 2022:147).

5. 3 BOYUTLU YAZICILARIN PROSES PARAMETRELERİ

FDM çeşitli proses parametreler sunan bir 3 boyutlu baskı teknolojisidir. Yazdırılacak objelerin yapım süresi, kalitesi ve mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Dey & Yodo, 2019). Proses parametrelerinin uygun kombinasyonun belirlenmesi kullanıcının istenen özelliklere sahip bir obje elde etmesine olanak sağlamaktadır. Bu yazıcı parametreleri yapı yönü, makine parametreleri (biriktirme hızı, yapı odası sıcaklığı, ekstrüzyon sıcaklığı, yapı platformu sıcaklığı vb.) ve dilimleme parametreleri (tabaka kalınlığı, raster gibi) olmak üzere baskı sürecinin farklı yönleriyle ilgilidir (Dave vd., 2021). 3 boyutlu yazıcı kullanıcıları bu parametreleri ayarlayarak baskı sürecini optimize edebilir ve yazdırılan objeler için istenen özellikler elde edilebilmektedir (Şekil 21) (Popescu vd., 2018).

Şekil 21. 3 Boyutlu Yazıcılarda Farklı Proses Parametreler



Kaynak: Popescu vd., 2018: 158.

5.1. EKSTRÜZYON SICAKLIĞI

Ekstrüzyon sıcaklığı, FDM 3 boyutlu yazıcılarda basılan objelerin kalitesi ve mekanik özelliklerinde önemli bir parametredir (Dey & Yodo, 2019). Ekstrüzyon sıcaklığı, memeden çıkan erimiş malzemenin viskozitesini belirlemekte ve malzemenin

akışkanlığını ve yapışmasını etkilemektedir. Ekstrüzyon sıcaklığının artırılması, ekstrüde edilmiş malzemenin ardışık boncukları veya rasterleri arasındaki füzyonu geliştirebilir ve bu da basılı parçanın daha iyi mekanik mukavemetiyle sonuçlanmaktadır (Turner vd., 2014). Bununla birlikte, aşırı sıcaklık, polimerin bozulmasına neden olarak nozzle içinde kalıntı birikmesine ve eriyiğin kirlenmesine yol açarak baskı kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle, istenen baskı kalitesini ve parça özelliklerini elde etmek için optimum ekstrüzyon sıcaklığını seçmek önemlidir (Gibson vd., 2015).

5.2. NOZZLE ÇAPI

Nozzle çapı, ekstrüder meme açıklığının iç çapı olarak ifade edilmektedir. Tipik meme boyutları 0,15, 0,2, 0,25, 0,3, 0,35, 0,4, 0,5, 0,6, 0,8, ve 1,0 mm'dir. Daha küçük meme çapı daha yüksek baskı çözünürlüğü ve daha pürüzsüz bir yüzey kalitesi sağlayabilir ancak daha küçük ekstrüzyon oranı nedeniyle baskının tamamlanması daha uzun sürmektedir (Dave vd., 2021). Baskı hızı, ayrıntı düzeyi ve yüzey kalitesi gereksinimleri arasındaki dengeyi dikkate alarak belirli bir uygulama için doğru meme boyutunu seçmek çok önemlidir (Gibson vd., 2015).

5.3. YAPI YÖNÜ

3 boyutlu yazdırılan bir parçanın yapı yönü, son parçanın boyutsal doğruluğu, yüzey kalitesi, mekanik özellikleri, destek yapısı üretimi ve yapım süresi üzerinde önemli bir etkiye sahip olan kritik bir süreç parametresidir (Das vd., 2017).

Yapı yönü, yazdırılan parçanın mekanik özelliklerini de etkilemektedir (Das vd., 2017). Destek yapısı üretimini ve yapım süresini en aza indirirken, istenen mekanik özellikleri, boyutsal doğruluğu ve yüzey kaplamasını elde etmek için uygun yapı yönünün seçilmesi esastır (Di Angelo vd., 2020).

5.4. KATMAN KALINLIĞI

Katman kalınlığı, FDM 3 boyutlu yazıcılarda yazdırılan objenin yüzey kalitesini ve yapım süresini doğrudan etkileyen bir parametredir. FDM yazıcılar için katman kalınlığı 0,05 ile 0,4 mm arasında değişmektedir (Bikas vd., 2019).

Katman kalınlığı, baskının yüzey kalitesini ve oluşturma süresini doğrudan etkilemektedir (Masood, 2014). Daha küçük katman kalınlığı, daha az görünür katman çizgileri veya özellikle eğimli yüzeylerde fark edilen merdiven etkisi ile daha pürüzlü yüzeyler oluşmaktadır (Dey & Yodo, 2019). Ayrıca küçük katman kalınlığı basılı

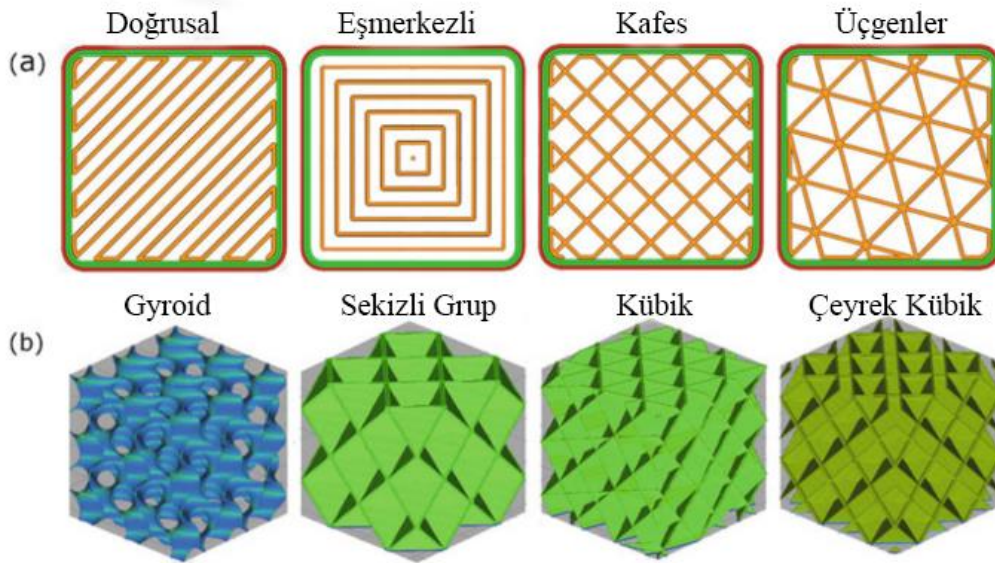
parçaların mekanik özelliklerini özellikle gerilme mukavemetini iyileştirmektedir. Bunun sebebi ise katmanlar arasının daha iyi yapışmasına olanak sağlamasıdır (Bikas vd., 2019).

Genel olarak, 3B yazdırılan parçanın istenen yüzey kaplamasını, yapım süresini ve mekanik özelliklerini elde etmek için uygun katman kalınlığını seçmek oldukça önemlidir (Dave vd., 2021).

5.5. DOLGU

Dolgu, yazdırılan objenin parçalarının iç yapısını belirleyen FDM 3 boyutlu yazıcılarda kritik bir parametredir. Yazdırılacak objenin dolgu deseninin ve yoğunluğunu ayarlayarak parçanın mukavemetini ve ağırlığını dengelemek, baskı süresini azaltmak ve malzemenin tasarruf etmek mümkündür. Dolgu kalıbı seçimi, parçanın kullanım amacı, baskı süresi, malzeme özellikleri ve baskı maliyetleri gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. İki tür dolgu deseni vardır bunlar 2D ve 3D en sık kullanılan dolgu desenleri Şekil 22’de gösterilmektedir (Dave vd., 2021).

Şekil 22. Yaygın Olarak Kullanılan Dolgu Desenleri **a)** 2 Boyutlu **b)** 3 Boyutlu



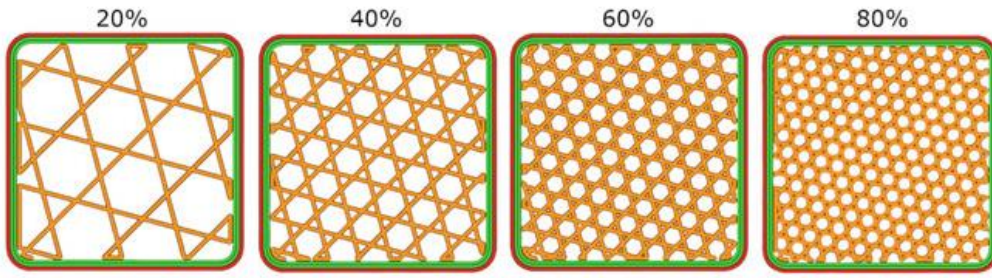
Kaynak: Dave vd., 2021: 13’ten uyarlanmıştır.

5.6. DOLGU YOĞUNLUĞU

Dolgu yoğunluğu, yazdırılan parçanın iç yapısını doldurmak için kullanılan malzeme miktarını belirleyen bir parametredir. Dolgu yoğunluğu, filament malzeme ile dolgu hacminin yüzdesi olarak tanımlanır. %0 (tamamen içi boş) ve %100 (tamamen katı) arasında değişmektedir (Prabhakar vd., 2021).

Dolgu yoğunluğu, yazdırılan objenin mukavemetini, ağırlığını ve sertliğini etkilemektedir. Daha yüksek bir dolgu yoğunluğu, parçanın içinde daha fazla malzeme olduğu anlamına gelmektedir. Bu da daha güçlü ve daha rijit bir parçayla sonuçlanırken aynı zamanda ağırlığı ve yapım süresini de arttırmaktadır. Öte yandan, daha düşük bir dolgu yoğunluğu, parçanın ağırlığını ve yapım süresini azaltmaktadır, ancak mukavemet ve sertlikten bir miktar ödün verebilir (Dave vd., 2021). Farklı dolgu yoğunluklarının karşılaştırılması Şekil 23’de verilmiştir.

Şekil 23. Dilimleme Programında Farklı Dolgu Yoğunlukları



Kaynak: Dave vd., 2021: 13.

5.7. BASKI HIZI

Baskı hızı, yazıcı kafasının XY düzlemi boyunca hareket hızı olarak adlandırılmaktadır. FDM yazıcılarda yazdırma hızı 30 ile 80 mm/sn arasında değişmektedir. Yazdırma hızı çok yüksek ise ve hacimsel akış hızı maksimum sınırı aşarsa, yetersiz veya tutarsız ekstürüzyon ve diğer baskı kusurlarına neden olmaktadır (Dey & Yodo, 2019). Maksimum hız aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir (Gibson vd., 2015);

$$\text{Max. print speed} = \frac{\text{Max. volumetric flow rate}}{\text{Layer height} \times \text{Raster width}}$$

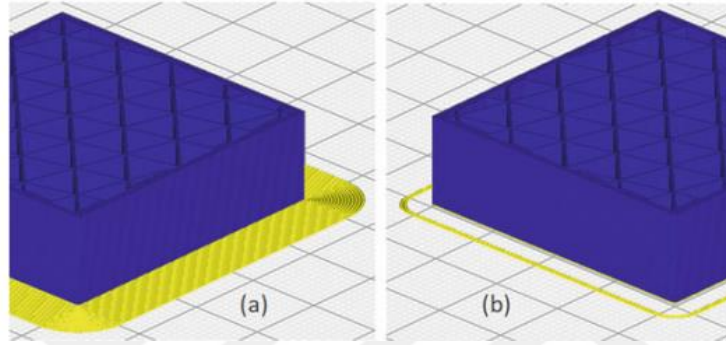
5.8. YAPI PLATFORM SICAKLIĞI (YATAK SICAKLIĞI)

Yatak sıcaklığı, parçanın ilk katmanının yapı platformuna yapışmasını sağlamada çok önemli bir rol oynamaktadır. Yapı platformu için önerilen sıcaklık, kullanılan filament malzemesinin türüne bağlıdır. Bu, ilk katmanın yapı platformuyla hafifçe erimesini ve kaynaşmasını sağlayarak, baskı işlemi sırasında parçanın bükülmesini veya ayrılmasını önleyen güçlü bir bağ oluşturmaktadır (Spoerk vd., 2018).

5.9. ETEK VE KENARLIK

Birim, parça sınırının dışındaki etek tipik olarak tek bir katmandır ve parçanın kendisine bağlı değildir. Baskı tamamlandıktan sonra kolayca çıkarılabilir. Baskı sürecinin ve son parçanın kalitesini iyileştirmek için 3 boyutlu baskıda hem kenar hem de etek yaygın olarak kullanılmaktadır. Baskıda etek eğilme, yapışma ve düzensiz ekstrüzyon gibi sorunları onlemeye yardımcı olmaktadır (Dave vd., 2021:15). şekil 24'te etek ve kenarlık örnekleri gösterilmektedir.

şekil 24. Baskıda **a)** Etek ve **b)** Kenarlık rnekleri



Kaynak: Dave vd., 2021:15.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3 BOYUTLU YAZICILAR İLE ÜRETİLEN AYDINLATMA ELEMANLARI

3 boyutlu yazıcılar ile farklı işlevlerde farklı ihtiyaçlara cevap veren tasarımlar yapılmaktadır. Özelleştirilmiş mimari aydınlatma elemanı tasarımları yapılmakta ve 3 boyutlu yazıcılarda basılmaktadır. Yüksek ısıya maruz kalacak (ampül ile temas) parçalarla teması düşünüldüğünde ABS, ASA, PC veya Asetal malzemesi kullanılmaktadır. LED kullanılıyorsa PLA malzemesi bir alternatif olabilmektedir.

1.1. TWISTED VASE

Bükümlü geometrik vazolar, 3 boyutlu baskı alınabilecek güncel tasarımlardır. Tasarımcı tasarımında mevcut olan bir lamba için tasarladığından bahsetmektedir. Bu abajur tasarımında mevcut ışık kaynağı 15-W kullanıldığını belirtilmiştir. Abajurun iç kısmındaki akkor veya LED bazlı ışıklar erimeyi önlemektedir. Anajur tasarımcısı Vivifyer, açık kaynak olan bu tasarım 1000'e yakın indirilmiştir, model MyMiniFactory'de bulunmaktadır (Iliopoulos & O'connell, 2022). Aydınlatma elemanlarının 3 boyutlu yazıcıda baskı alınmış görseller Şekil 25'te gösterilmektedir.

Şekil 25. 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırılan Twisted Vase



Kaynak: <https://www.myminifactory.com/object/3d-print-twisted-lamp-shade-16895>

1.2. EIFFEL

3 boyutlu yazıcıda yazdırılan bu abajur dünyaca ünlü Paris Eyfel Kulesinden esinlenilmiştir. Kanadalı endüstriyel tasarımcı olan Samuel N. Bernier tarafından tasarlanmıştır. Bu tasarım çok basit ev tipi 3 boyutlu yazıcılardan basılabilmektedir. Özellikle belirtilen bir yazdırma talimatı belirtilmemiştir. Baskı sırasında desteğe ihtiyaç olmadığı belirtilmiştir. Yazdırılan abajurun montajında parçaların klipslenebileceği önerilmektedir. Abajur tasarımı leFabShop tarafından yapılmıştır. Açık kaynak olan bu tasarım 6000'den fazla indirilmiştir. Model Cults da bulunmaktadır (Iliopoulos &

O'connell, 2022). Aydınlatma elemanlarının 3 boyutlu yazıcıda baskı alınmış görseller Şekil 26'da gösterilmektedir.

Şekil 26. 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırılan Eiffel



Kaynak: <https://cults3d.com/en/3d-model/home/m-o-paris-lamp-lefabshop>

1.3. SELF- MADE

SMF.01 kendi kendine yapılan mobilya anlamına gelmektedir. 3 boyutlu yazdırılabilir parçaların dışında ayrıca lambader için ahşap ayaklara ve ampul soketine ihtiyaç duyulmaktadır. Tasarımcı aynı zamanda lambader ayakları için birleştirici elemanları da tasarlamıştır ve açık kaynak olarak paylaşmıştır. Lambaderi UAUproject tasarlamıştır ve 400'den fazla kullanıcı tarafından indirilmiştir. Paylaşılan tasarımda her şeyin düşünülmesi yazdırma ve birleştirilme işlemini kolaylaştırmıştır. Lambader modeli ve ek parçalar Cults da bulunmaktadır (Iliopoulos & O'connell, 2022). Aydınlatma elemanlarının 3 boyutlu yazıcıda baskı alınmış görseller Şekil 27'de gösterilmektedir.

Şekil 27. 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırılan Self-Mode



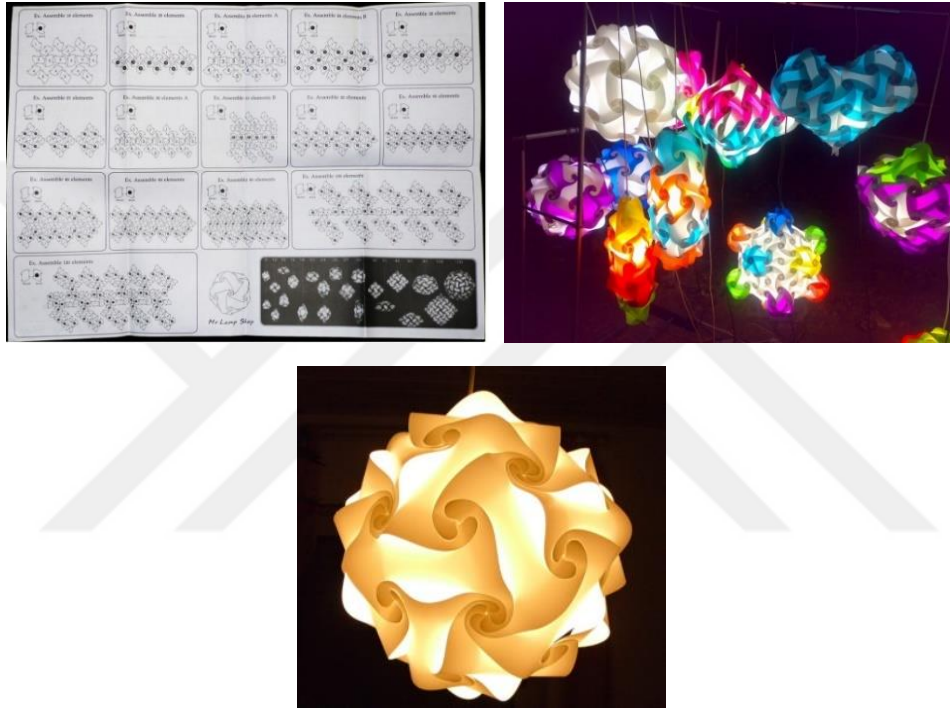
Kaynak: <https://cults3d.com/en/3d-model/home/smf-01>

1.4. JIGSAW

Tasarımcı Tayland'da gördüğü abajurlardan ilham alarak yapboz abajur aynı parçanın çok sayıda bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Tasarımcı farklı boyutlarda abajurlar için kaç adet parça basılması gerektiğini açık erişim olarak paylaşmıştır. Ayrıca aynı tasarım CNC kesimle de kesilip parçaların birleştirilmesiyle

abajur tasarlanabileceği için DXF dosyası da paylaşılmıştır. 3 boyutlu yazıcıda yazdırılacak parça için desteğe ihtiyaç duyulmamaktadır. Tasarımcı yazdırma işlemi için ABS filamentini önermektedir. Abajur tasarımcısı stooftur abajur neredeyse 44.000 indirme gerçekleşmiş olduğunu belirtmiştir. İndirme sayısı aslında üretimin ne kadar kolay olduğunu göstermektedir. Bu model Thingiverse’de bulunmaktadır (Iliopoulos & O’connell, 2022). Bilgisayar ortamında modellenen ve 3 boyutlu yazıcıda baskısı alınan lambanın görselleri Şekil 28’de verilmiştir.

Şekil 28. 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırılan Jigsaw



Kaynak: <https://www.thingiverse.com/make:933349>

1.5. ANGLED

Angled Flowalistik tarafından tasarlanmıştır. Lamba 3 boyutlu yazıcı ile basıldıktan sonra montaj kolaylığı dikkat çekmektedir. Baskı alınan parçalar yapıştırıcıya ihtiyaç duyulmadan birleştirilebilmektedir. Baskı için 120x120x120 mm baskı alabilen 3 boyutlu yazıcıya ihtiyaç duyulmaktadır. Tasarımcı tasarımın taban kısmının farklı malzemeler ile basılabileceğini ve böylece farklı etkileri olacağını dile getirmiştir. Tasarlanan lamba iki farklı şekilde kullanılmaktadır. Üst lamba ekranı kısmı takılmadan da kullanılabilir (Iliopoulos & O’connell, 2022). Bilgisayar ortamında modellenen ve 3 boyutlu yazıcıda baskısı alınan lambanın görselleri Şekil 29’da verilmiştir.

Şekil 29. 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırılan Angled



Kaynak: <https://cults3d.com/en/3d-model/home/lampe-fully-3d-printed-designer-lamp>

1.6. ARTICHOKE

Enginardan ilham alınarak bu aydınlatma elemanı tasarlanmıştır. İç mekanlarda kullanım için tasarlanmıştır. Herhangi bir standart ışık kaynağına montajı gerçekleştirilebilecektir. Fakat burada asıl dikkat edilmesi gereken aydınlatma elemanın tasarımı ışık kaynağına oldukça yakındır. Düşük sıcaklıklı ampul tercih edilmesi önerilmektedir. Bu aydınlatma elemanı bir bütün olarak tasarlanmıştır. Yazdırma işlemi sırasında iç kısımdaki yapraklar için desteklere ihtiyaç duyulmaktadır. Yazdırma işleminden sonra bu desteklerin temizlenmesi gerekmektedir (Iliopoulos & O'connell, 2022). Bilgisayar ortamında modellenen ve 3 boyutlu yazıcıda baskısı alınan lambanın görselleri Şekil 30'da verilmiştir.

Şekil 30. 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırılan Artichoke



Kaynak: <https://cults3d.com/en/3d-model/home/artichoke-lamp-shade>

1.7. PHYSALIS ALKEKENGİ

Doğanın tasarım ve mühendislik için bir ilham kaynağı olarak kullanılması, yüzyıllardır var olan köklü bir uygulamadır. Bu çalışmada genellikle Çin Feneri olarak bilinen Physalis Alkekengi bitkisinden esinlenen bir lambanın tasarımı ve prototipi üretilmiştir. 2 boyutlu desen ve yapraklar daha sonra lambanın yapısını oluşturmak için 3 boyutlu yazıcıda basılmıştır. Estetik açıdan hoş ve sembolik bir gölgeleme efekti elde

edilmiştir (Graziosi vd., 2021). Bilgisayar ortamında modellenen ve 3 boyutlu yazıcıda baskısı alınan lambanın görselleri Şekil 31’de verilmiştir.

Şekil 31. 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırılan Physalis Alkekengi **a)** Bilgisayar Ortamında Hazırlanan Model **b)** Yazdırılan Objeye



Kaynak: Graziosi vd., 2021: 568.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

MİMARİ AYDINLATMA ELEMANLARININ GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ PET MALZEME İLE ÜRETİMİNDE 3 BOYUTLU YAZICILARIN KULLANIMI

Çalışmanın bu bölümünde mimari aydınlatma elemanları, geri dönüştürülmüş PET malzeme kullanılarak 3 boyutlu yazıcılarda baskı alınmıştır. Baskı işleminde kullanılan geri dönüştürülmüş PET malzemenin 3 boyutlu yazıcıda kullanılması ve malzemenin kullanıma uygunluğu için bazı testler yapılmış ve bu testlerin sonuçlarına yer verilmiştir. Malzemenin testinden sonra tasarlanan aydınlatma elemanları ve 3 boyutlu yazıcıda baskılarına uygulanan testlere yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlar yorumlanmış çıkarılan sonuçlar ve daha sonra yapılacak olan çalışmalara ışık tutması amacıyla öneriler paylaşılmıştır.

1. ARAŞTIRMANIN AMACI, ÖNEMİ

3 boyutlu yazıcıların giderek artan kullanımıyla beraber yaygın olarak kullanılan filamentlerin hammaddelerine erişimde ilerde sıkıntıların olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle yaygın olarak kullanılan PLA ve ABS ye alternatif olarak PET su şişelerinden 3 boyutlu yazıcılarda kullanılmak için filamet üretilmiştir. Üretilen PET filamentin doğada atık olarak bulunan PET su şişelerinin değerlendirilmesiyle döngüsel ekonomiye katkıda bulunması amaçlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında aydınlatma elemanı/objesi üretim aşamasında güncel bir yöntem olan 3 boyutlu yazıcılar ile üretim olanakları konusu ele alınmıştır. Geri dönüştürülebilir PET malzeme ile 3 boyutlu yazıcıda farklı formlarda aydınlatma elemanlarının yazdırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Basılan nihai ürünlerin özellikleri ve aydınlatma verimliliği incelenecektir. Aydınlatma elemanı tasarımları özgün formlarda aydınlatma için kullanılabilecek, yapı sektörü ve mimari tasarım projelerinde hem endüstriyel hem de sanatsal ihtiyaçları karşılayacak nitelikte olacaktır. Bu çalışmanın ülkemizde 3 boyutlu yazıcılar ile aydınlatma elemanı/objesi tasarımı ve üretimi bakımından eksik olan bir alanı tamamlayacak ve ilk defa gerçekleştirileceği için büyük önem taşımaktadır.

2. ARAŞTIRMANIN KAPSAM VE SINIRLILIKLARI

Araştırma kapsamında literatür taraması yapılmıştır. Literatür taramasında aydınlatmanın genel tanımı, mimari aydınlatma elemanları ve ışık kaynakları ele alınmıştır. Daha sonra 3 boyutlu yazıcı teknolojileri, günümüzde kullanılan malzemeler ve geri dönüştürülerek üretilen filamentler araştırılmıştır. 3 boyutlu yazıcılar ile üretilen aydınlatma elemanları incelenmiştir. Geri dönüştürülerek üretilen filamentlere ek olarak atık PET su şişelerinin geri dönüştürülmesi üzerine araştırma ve çalışma yürütülmüştür. PET su şişelerinin geri dönüştürülmesiyle üretilen filament ile bilgisayar ortamında tasarlanan aydınlatma elemanın 3 boyutlu yazıcılar ile baskısı gerçekleştirilmiştir. Mimari aydınlatma elemanları iç mekan ve dış mekan olarak düşünüldüğünde geniş bir alanı kapsamaktadır. Bu çalışmada, geri dönüştürülmüş PET malzemesinden üretilen filamentin 3 boyutlu yazıcıda kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Kapsamı sınırlandırmak amacıyla iç mekanlarda masa lambası tasarımı ve baskı alınması üzerinde odaklanmıştır.

Tezin birinci bölümünde; mimari aydınlatma elemanları üzerine genel araştırma yapılmıştır. Farklı mekanlarda kullanılan aydınlatma elemanları üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır. Aydınlatma elemanları genel bir bakış olarak değerlendirilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde; 3 boyutlu yazıcılar, yazıcılarda kullanılan malzemeler ve malzeme özellikleri aynı zamanda geri dönüştürülebilir malzemelerin 3 boyutlu yazıcılarda kullanılması üzerine yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde; 3 boyutlu yazıcılar kullanılarak üretilen aydınlatma elemanları derlenmiştir. Aydınlatma elemanları genel özellikleriyle ilgili bilgiler toplanmıştır. Genel özellikler değerlendirilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde; çalışmanın konusu, amacı ve öneminden, kapsam ve sınırlılıklarından bahsedilmiştir. Aynı zamanda yöntemi ve kurumsal çerçeveden, yapılan çalışmaların değerlendirilmesinden bahsedilmiştir. Çalışmanın ana konusu seçilen PET malzemesinden geri dönüştürülerek üretilen filamentin 3 boyutlu yazıcı kullanılarak aydınlatma elemanı üretilmesidir. Bu çalışmada üretilen filament günümüzde kullanılan malzemelere alternatif olarak farklı objelerin baskısında kullanılabilecektir. Araştırmaların sonucu ve PET malzemenin 3 boyutlu yazıcıda

kullanılabilirliği üzerine yapılan testler ve sonuçları değerlendirilmiştir. Yapılacak çalışmalara öneriler sunulmuş ve araştırmada kullanılan kaynaklar eklenmiştir.

3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

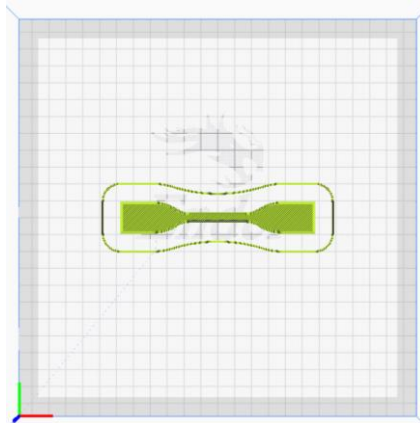
Çalışma kapsamında, temel terimler ve kavramlar araştırılmış ve genel bilgiler literatür taraması yapılarak derlenmiştir. Çalışmanın literatür kısmı araştırılmış ve gerekli bilgiler toplandıktan sonra ilk etapta PET su şişelerinden 3 boyutlu yazıcılarda kullanılabilmesi için filament üretimi gerçekleştirilmiştir.

FDM 3 boyutlu yazıcılar ile gerçekleştirilen çalışmada eklemeli üretim yöntemi kullanılarak üretilen geri dönüştürülmüş PET filamenti kullanılmıştır. Tasarım aşamasında 3 boyutlu tasarım ve görselleştirme programları (Sketch-up: 3D design software, Rhinoceros 3D, V-ray vb.) kullanılmıştır. Malzeme özellikleri ve tasarlanan objelerin 3 boyutlu yazıcılar ile üretim sonrasında kullanılabilirlik tespiti için malzeme ön analizleri ile birlikte nihai ürünün mekanik, fiziksel, süründürülebilir ve verimli kullanılabilirlik özellikleri de test edilmiştir. Bu kapsamda, malzeme özellikleri standartlar kapsamında; aydınlatma elamanı verimliliği de ışık şiddeti ölçümleri ile değerlendirilmiştir.

4. MALZEMENİN DENEYSEL ÇALIŞMALARI

Bu çalışmada PET su şişelerinden üretilen geri dönüştürülmüş PET filamentin malzeme özellikleri incelenmiştir. Baskı işlemleri Ender 3 Pro yazıcıda 0,2 mm çaplı bir nozzle kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen test objeleri ASTM D638-4 standardına uygun olarak ‘dogbone’ çekme test objesinin geometrisine uygun 3 boyutlu yazıcıda 3 farklı doluluk oranında (% 10-30-50) üçer tane baskı alınmıştır. Test objesinin dış ölçüleri 115 x 19 x 3,2 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 32’de hazırlanan obje gösterilmiştir.

Şekil 32. ‘Dogbone’ Test Objesi Modeli



4.1. KULLANILAN MAZEME

Polyethylene terephthalate (PET); su şişeleri, gıda ambalajları ve tekstil ürünleri dahil olmak üzere farklı ürünlerde yaygın olarak kullanılan bir termoplastik polimer reçine türüdür. PET neme ve kimyasallara dayanıklı, güçlü ve hafif bir malzemedir.

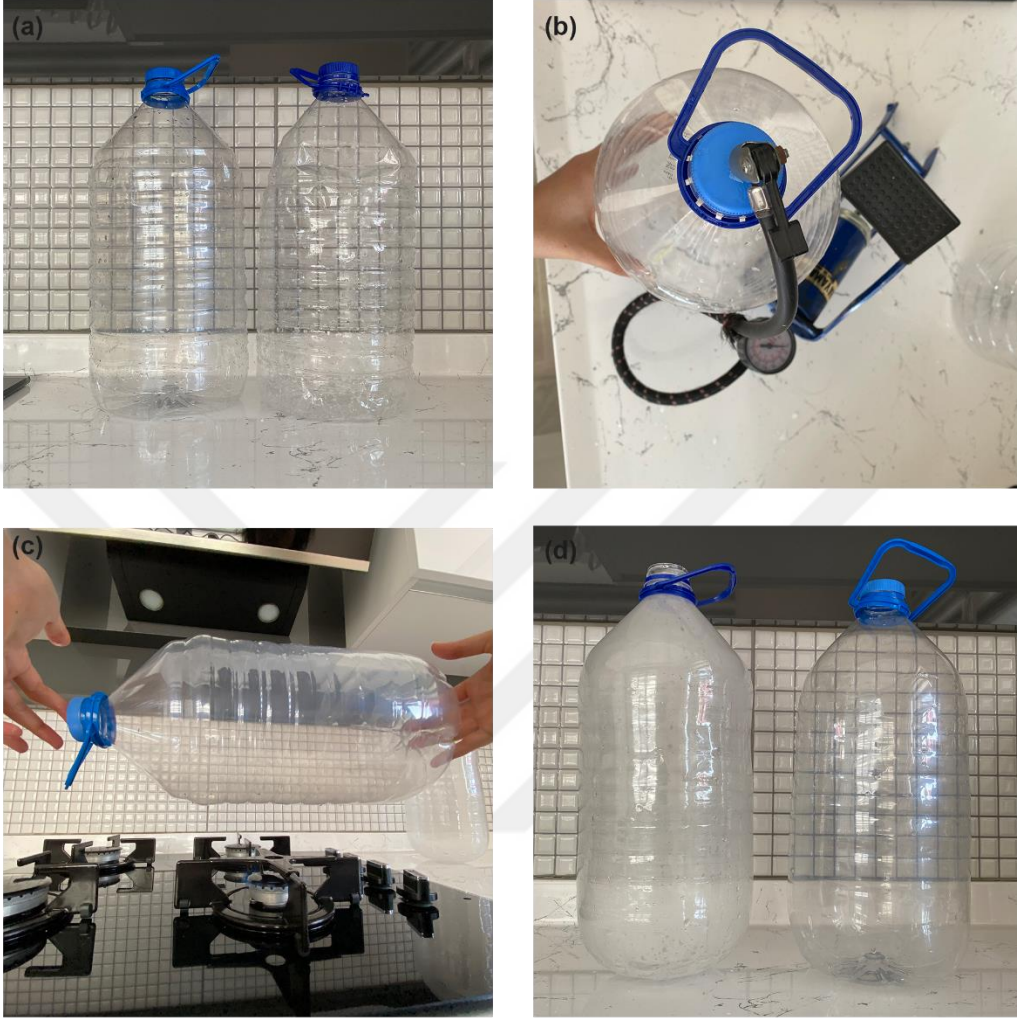
PET plastik şişe üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek erime sıcaklığına sahiptir ve sert bir malzemedir. PET filament orijinal durumda şeffaf ve kristal berraklığındadır. Filamentin ısıtılmasıyla veya üretim sürecinde malzemeye uygulanan katkı maddeleri ve işlemler dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlı olarak şeffaflığı değişebilmektedir (Wojtyla vd., 2017).

PET hem mekanik hem de kimyasal geri dönüşüm işlemleriyle geri dönüştürülebilen bir polimerdir (Awaja vd., 2005). Mekanik geri dönüşüm, kullanılmış PET malzemeyi temizleyip kuruttuktan sonra granül haline getirip eritilerek yeniden PET filament elde edilmektedir. Geri dönüştürülmüş PET'in eritilerek işlenmesi moleküler ağırlıkta bir azalmaya yol açmaktadır. Bu işlem birkaç kez tekrarlanabilir bu da atıkların azalmasında etkili bir yoldur. Kimyasal geri dönüşümde PET malzemeyi kimyasal bileşenlerine ayırmayı ve ardından bu bileşenleri yeni malzemeler oluşturmak için kullanmayı içermektedir (Bartolome vd., 2012).

PET malzemenin geri dönüştürülmesinin yavaş üretim oranları ve yüksek maliyetli süreçler dahil olmak üzere hala bazı dezavantajları bulunmaktadır. Geri dönüşüm yöntemi seçerken belirli bir geri dönüşüm programının özel ihtiyaçlarını ve hedeflerini göz önünde bulundurmak önemlidir (Shojaei vd., 2020).

Bu çalışmadan 5 ve 10 litrelik PET su şişeleri kullanılmıştır. Önce PET su şişelerinin dış yüzeyindeki ambalaj temizlenmiş ve yıkanmıştır. Hazırlanan PET su şişesi görselleri Şekil 33, a'da gösterilmiştir. Ardından PET su şişelerinin yüzeyindeki göçüklerin azaltılması için su şişesi pompa yardımıyla şişirilmiştir. Şekil 33, b'de şişenin göçük düzeltilmesi işlemi görülmektedir. Şişelerin üzerinde su şişesinin markasına göre bazı desenler bulunmaktadır. Bu desenlerde PET su şişesinin ocakta döndürülmesiyle şişe yüzeyi düzeltilmiştir. Ocakta ısıtılarak yüzeyi düzeltilen PET su şişesi Şekil 33, c'de görülmektedir. PET su şişesi 3 boyutlu yazıcıda kullanılması için filament üretimine hazırlanmıştır. Hazırlanan PET şişeler Şekil 33, d'de görülmektedir. 5 litrelik PET su şişesinden üretilen filament ile 3 boyutlu yazıcıda iki buçuk saat ve 10 litrelik PET su şişesinden ise beş saat kesintisiz baskı alınmaktadır.

Şekil 33. PET Su Şişelerinin Hazırlık Aşamaları **a)** PET Su Şişelerinin Temizlenmesi **b)** PET Su Şişelerini Göçük Düzeltme İşlemi **c)** PET Su Şişelerini Yüzeylerinin Isıtılarak Düzeltilmesi **d)** Filament Üretimi için Hazır PET Su Şişeleri



4.2. KULLANILAN CİHAZLAR

4.2.1. PET Su Şişesinden Filament Üretim Makinası

PET su şişeden filament üretimi Şekil 34’te gösterilen makine ile sağlanmıştır. Artık kullanılmayan atık olan PET su şişeleri ilk etapta dış jelatinleri temizlenir ve dışı pürüzsüz düzgün bir hale getirilir. Ardından PET su şişe sabit bir jilet ile tutarlı bir şekilde, silindirik olan PET su şişenin döndürülmesiyle PET şişeden şerit şeklinde kesilmektedir. Bu işlem, bir elmanın kabuğunu soymak için bir elma soyacağına benzetilmektedir (Laurence, 2021). Dikdörtgen kesitli olan bu şerit daha sonra geçiş bölgesinde içindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılarak ve onu dairesel bir kesit haline getirmek için iki biçimlendirme çarkı arasında beslenecektir. 1,75 mm çapında yarı dairesel bir şerit filament üretilmiştir. Üretilen filament daha sonra, kullanım nedeniyle

deformasyonu önlemek için hava ile soğutulacak ve ardından filament sürücüsüne beslenerek yeniden 3 boyutlu yazıcıda kullanılacaktır.

Şekil 34. PET Su Şişesinden Filament Üretim Aşamaları



Kaynak:

https://www.instagram.com/reel/CkniimfguWZ/?utm_source=ig_web_copy_link&igshid=MzRlODBiNWFlZA==

Geleneksel filamentler ile önerilen geri dönüştürülerek üretilen filamentler arasında iki büyük fark vardır. Birincisi, önerilen filamentin büyük ölçekli işletme tesislerinde değil, tüketici tarafından geliştirilecek olmasıdır. İkinci önemli fark, önerilen tasarım için plastiğin basılan kadar maksimum sıcaklığının oldukça yüksek olmasıdır. Bu sayede baskı alınan objede sıcaklık ile deformasyon azalmaktadır.

4.2.2. 3 Boyutlu Yazıcı

Bu çalışmada kullanılan 3 boyutlu yazıcı Creality tarafından geliştirilen Ender 3 Pro'dur. Orijinal Ender 3 yazıcının yükseltilmiş bir versiyonudur. Ender 3 Pro, 220x220x250 mm yapı hacmine sahiptir. PLA, ABS, PETG ve TPU gibi farklı malzemelerle baskı yapılabilir. Şekil 35'te yazıcının görselleri verilmiştir. 3 boyutlu yazıcı ile ilgili özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ender 3 Pro 3 Boyutlu Yazıcı Özellikleri

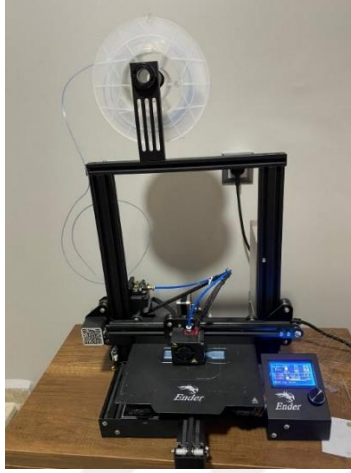
Model	Ender 3 Pro
Baskı yöntemi	Eriyik Biriktirme Modelleme (FDM)
Baskı Alanı	220x220x250 mm
Baskı Hızı	+0,1 mm
Nozzle Çapı	Standart 0,4 mm, kullanılabilir 0,2-0,3 mm
Yatak sıcaklığı	Maksimum 110 °C
Çalışma tipi	SD Kart
Dosya türü	STL, obj, amf
Dilimleme yazılımları	Cura, Repetier – Host, Simplify 3D
Güç kaynağı	Input: 200 – 240 VAC / 3,4A 50 – 60 Hz Output: 24 VDC 270 Watt
Filament türü	PLA, ABS, Ahşap, TPU, Carbon Fiber, STH
Makine ağırlığı	6,8 kg
Makine ölçüsü	440x440x465 mm

Kaynak: <https://www.robotzade.com/urun/creality-ender-3-pro-3d-yazici>

FDM 3 boyutlu yazıcılarda genellikle plastikten üretilmiş filament bir sürücü tarafından ısıtılmış nozzle çekilir ve yazdırma işlemi başlar. Burada önemli olan nozzle sıcaklığının malzeme erime sıcaklığından yüksek olması gerekmektedir. Baskı işlemi katmanları nozzle X – Y eksenlerinde hareketleriyle üretim devam etmektedir. Her

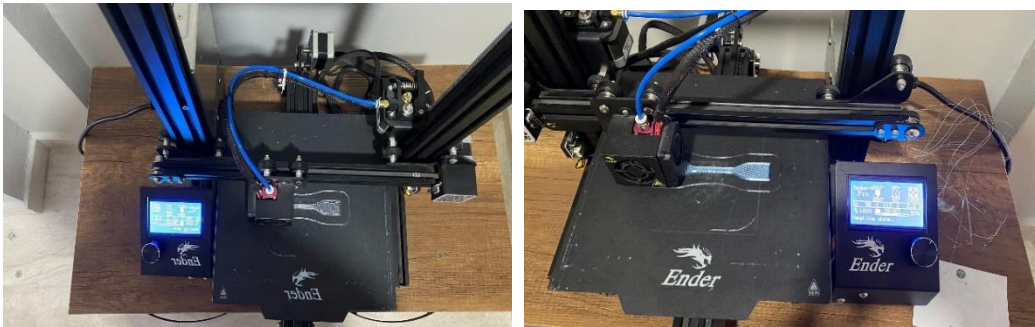
katman tamamlandığında nozzle Z ekseninde katman kalınlığında yukarıya hareket etmektedir. Bu işlem yazdırılacak obje tamamlanana kadar devam etmektedir (Şekil 35).

Şekil 35. Ender 3 Pro 3 Boyutlu Yazıcı



3 boyutlu yazıcılarda yazdırma işlemi gerçekleştirilmesi için ilk olarak kullanılacak malzemenin bozulmadan eritilme sıcaklığı önemlidir. Eritilecek malzemenin erime sıcaklığından düşük sıcaklıkta yazdırma işlemi gerçekleştirilirse nozzlele donmalar ve tıkanmalar gerçekleşmektedir bu da yazdırma işleminde bozulmuş katmanlara sebep olmaktadır. İkinci olarak kullanılacak malzemenin yazıcı standartları için sağlaması gereken bazı özellikler vardır. Örneğin filamentin yazdırılacak objeye yetecek uzunlukta olması gerekmektedir. Ayrıca yazıcı özelliğine göre bu çalışmada kullanılan yazıcının özelliğine göre filamentin çapı 1,75 mm olması gerekmektedir. Yazdırma işlemi için tüm şartlar sağlandığında yazdırma işlemi sorunsuz devam edecektir (Şekil 36).

Şekil 36. 'Dogbone' Modelinin 3 Boyutlu Yazdırılması



4.2.3. Yüzey Pürüzlülük Cihazı

Objelerin yüzey pürüzlülüğü, baskı sürecinde ve sonrasında meydana gelen girinti ve çıkıntıları ifade etmektedir. Yüzeydeki bu pürüzlülük yüzeyin düzgünlüğünü ve

işlevselliğini etkilemektedir. Özellikle montaj süreçlerinde pürüzlü yüzeylerin neden olabileceği birçok sorun vardır.

Yüzey pürüzlülüğü farklı yöntemlerle ölçülür ve hesaplanır. Örneğin yaygın olarak kullanılan parametreler arasında Ra (ortalama yüzey pürüzlülüğü), Pz (maksimum profil yüksekliği), Rt(maksimum pürüzlülük derinliği) bulunmaktadır. Bu parametreler yüzey profilindeki girinti ve çıkıntıları ölçmek ve değerlendirmek için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılırken Surftest SJ-310 cihazı kullanılmıştır. Mitutoyo tarafından üretilen bu cihaz, yüzey pürüzlülüğü ölçmek ve analiz etmek için kullanılmaktadır. Kullanılan cihaz Şekil 37’de gösterilmiştir.

Şekil 37. Yüzey Pürüzlülük Cihazı



Kaynak: [https://shop.mitutoyo.eu/web/mitutoyo/tr/mitutoyo/1292249267209/Surftest%20SJ-310%20%5Bmm%5D/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/178-570-11D/index.xhtml?jsessionid=41C37D2D25A6B18778D6BD8848E23BD8](https://shop.mitutoyo.eu/web/mitutoyo/tr/mitutoyo/1292249267209/Surftest%20SJ-310%20%5Bmm%5D/$catalogue/mitutoyoData/PR/178-570-11D/index.xhtml?jsessionid=41C37D2D25A6B18778D6BD8848E23BD8)

4.2.4. Çekme Cihazı

Polimer malzemelerin kırılma dayanımının metal ve seramiklere göre daha düşük olmasının nedeni, polimerlerin moleküler yapısı ve bağlanma şekillerinden dolayıdır. Polimerler, uzun karbon zincirlerinin tekrarlayan birimlerinden oluşan organik bileşiklerdir. Bu yapısı, polimerlerin daha düşük mukavemet ve sertlik özellikler sergilemesine sebep olmaktadır.

Çekme cihazı malzemelerin çekme testi yapmak için kullanılmaktadır. Bu cihaz malzemenin mekanik özelliklerini belirlemek için gerilme ve deformasyon değerlerini ölçmektedir. Çekme testi, bir test objesinin iki uç noktasına uygulanan gerilme ile numunenin uzama ve deformasyon davranışını değerlendirmektedir.

Bu çalışmada Autograph marka AG-IS 100 KN (Shimadzu Corp., Kyoto, Japonya) cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz test objesinin tutulduğu kelepçeler veya çeneler ve bir gerilme ve deformasyon ölçüm sistemi gibi temel bileşenleri içermektedir.

Yazıcıda üretilen deney objelerine 5mm/dk. hızla çekme kuvveti uygulanmış; sonuçlar cihaz kullanıcı arayüzü ile çizilen grafikler üzerinden elde edilmiştir.

4.2.5. Diğer Yazılımlar

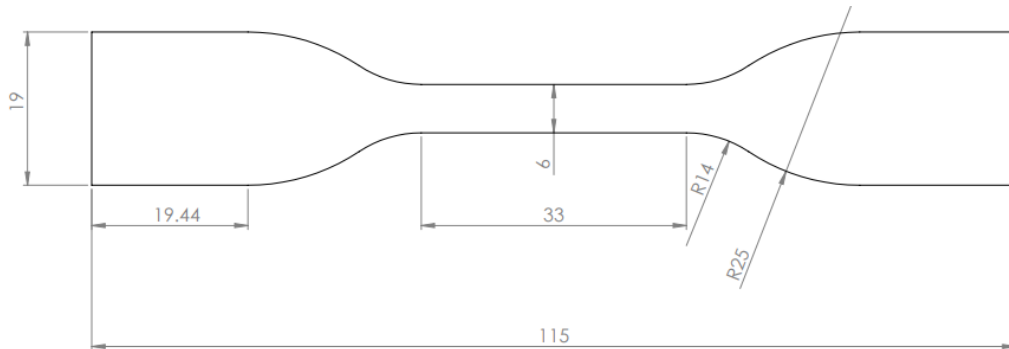
Test objesinin 3 boyutlu modelinin oluşturulmasında Rhinoceros 3D 5 programı kullanılmıştır. Dogbone modelinin teknik resminde ise AutoCAD 2017 programı kullanılmıştır.

Test objelerinin 3 boyutlu yazıcıda yazdırılabilmesi için hazırlanan model ‘.STL’ formatına dönüştürülmek için UltiMaker CURA 5.0 programı kullanılmıştır. CURA programında hazırlanan modelin kontrolleri ve 3 boyutlu yazıcıda yazdırma ayarları kontrol edildikten sonra yazdırılacak olan model ‘.G-code’ formuna dönüştürülüp yazdırma işlemine hazırlanmıştır.

4.3. TEST OBJELERİNİN HAZIRLANMASI

PET su şişelerinden üretilen geri dönüştürülmüş PET filamentin malzeme özellikleri incelenmiştir. Baskı işlemleri Ender 3 Pro yazıcıda 0,4 mm çaplı bir nozzle kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen test objeleri ASTM D638-4 standardına uygun olarak ‘dogbone’ çekme test objesinin geometrisine uygun 3 boyutlu yazıcıda 3 farklı doluluk oranında (% 10-30-50) üçer tane baskı alınmıştır. Test objesinin dış ölçüleri 115 x 19 x 3,2 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 38’de gösterilmiştir.

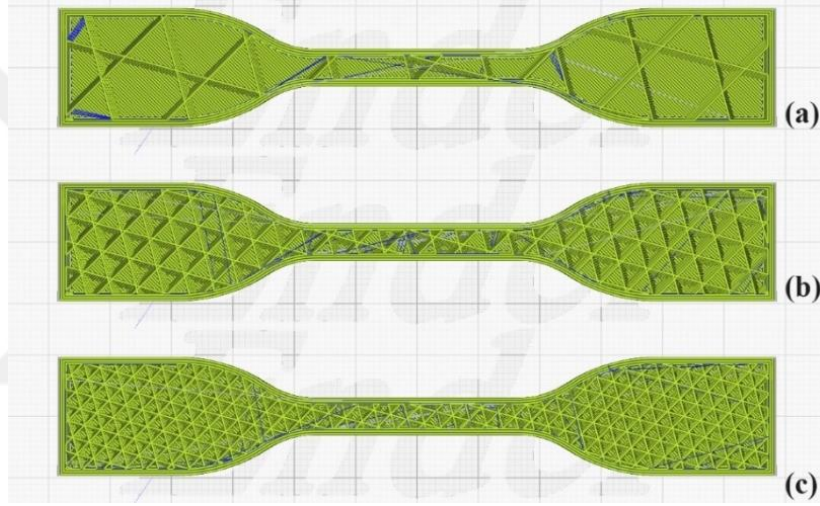
Şekil 38. Test Objesi Teknik Resmi



Geri dönüştürülerek üretilen PET filament kullanılarak 3 boyutlu yazıcıda test objeleri basılmıştır. ‘Dogbone’ modelinde ASTM D638-4 standartlarında çekme testi objeleri Rhinoceros 5 programında hazırlanmıştır. Hazırlanan modeller CURA programında doluluk oranları %10-30-50 olarak dolgu şekli kübik seçilerek 3 boyutlu yazıcıda yazdırmak için ‘.STL’ formatından ‘.G-code’ formatına dönüştürülmüştür.

CURO programında hazırlanan objeler Şekil 39’da gösterilmiştir. Hazırlanan test objelerinden her doluluk oranından üçer tane baskı alınmıştır. Farklı doluluk oranlarında baskı alınan ‘Dogbone’ modeli için CURA programı %10 doluluk oranında 30 dakika, %30 doluluktaki modele 33 dakika ve %50 doluluktaki modeli ise 35 dakika baskı süresi hesaplanmıştır. Yazdırma işleminde katman yüksekliği sabit tutulmuştur ve 0,2 mm’dir. Aynı zamanda yazdırma hızı da sabit tutulmuştur ve 50 mm/s olarak ayarlanmıştır. Geri dönüştürülmüş PET filamnet için baskı sıcaklığı 260 °C ve yatak sıcaklığı 85 °C olarak belirlenmiştir. Baskı sıcaklığını 260 °C altında baskı alınması denenmiş fakat filamentin akışında sıkıntılar gözlemlenmiştir. Yazdırma işlemi 260 °C’de sorunsuz gerçeklemiştir

Şekil 39. Test Objesi Dolgu Yoğunlukları **a)** %10 Dolgu Yoğunluğu **b)** %30 Dolgu Yoğunluğu **c)** %50 Dolgu Yoğunluğu



Şekil 40. 3 Boyutlu Yazıcıda Yazdırılan Test Objeleri



Atık PET su şişelerinden üretilen PET filament ile 3 boyutlu yazıcıda çekme ve yüzey pürüzlülük testleri için üretilen test objelerinin baskı sonrası görselleri Şekil 40’da ve baskı özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

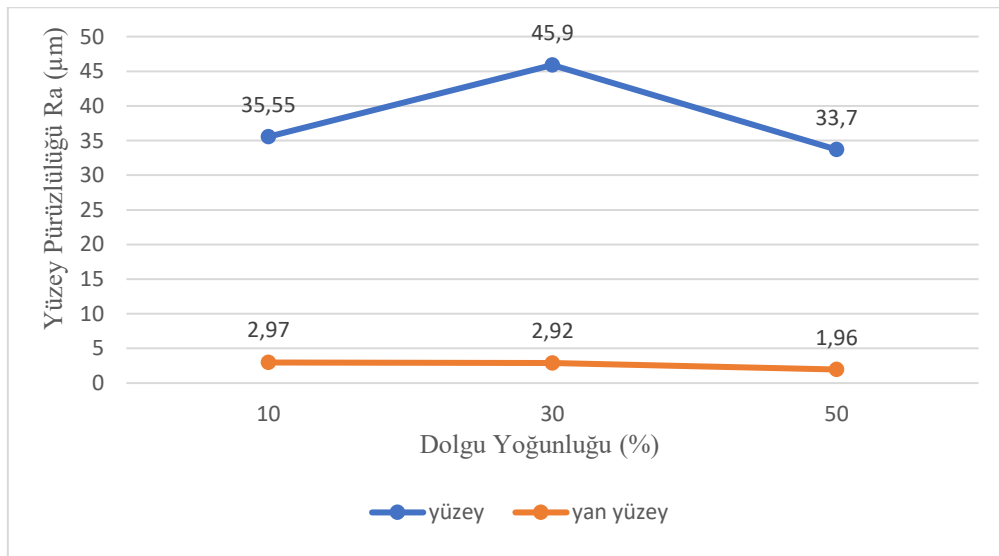
Tablo 2. 3 Boyutlu Yazıcıda Üretilen Test Objelerinin Baskı Özellikleri

Malzeme	Katman Yüksekliği (mm)	Dolgu yoğunluğu (%)	Baskı Sıcaklığı (°C)	Yatak Sıcaklığı (°C)	Filament Çapı (mm)	Yazdırma Hızı Mm/sn	Soğutma Fanı
GD-PET	0,2	%10	260	85	1,75	50	Açık
GD-PET	0,2	%30	260	85	1,75	50	Açık
GD-PET	0,2	%50	260	85	1,75	50	Açık

4.4. TEST SONUÇLARI

4.4.1. Pürüzlülük Testi

‘Dogbone’ test objelerinin 3 boyutlu yazıcıda baskısı alınan objelerin yüzey ve yan yüzeylerinin pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Şekil 41’de test objelerinin yüzey pürüzlülüklerinin ortalama değerleri verilmiştir. Test objelerinin yüzeyinde en büyük pürüzlülük değeri $R_a=45,9\mu\text{m}$ değeri %30 dolgu yoğunluğuyla basılan objelerin ortalamasıdır. Yan yüzeyden en büyük yüzey pürüzlülük değeri $R_a=2,97\mu\text{m}$ değeri %10 dolgu yoğunluğundaki objelerin ortalamasıdır. Yüzey ve yan yüzeylerde en küçük yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla $R_a=33,7\mu\text{m}$ ve $R_a=1,96\mu\text{m}$ değerleriyle %50 dolgu yoğunluğuna sahip objelerin ortalamasıdır. Basılan test objelerinin pürüzlülük değerlerindeki farklılıklar 3 boyutlu yazıcıda yazdırma esnasında oluşabilecek hem mekanik hem de yazdırma işlemi sırasında kullanılan GD-PET filamentin yapısından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Şekil 41. Test Objelerinin Yüzey Pürüzlülük Sonuçları

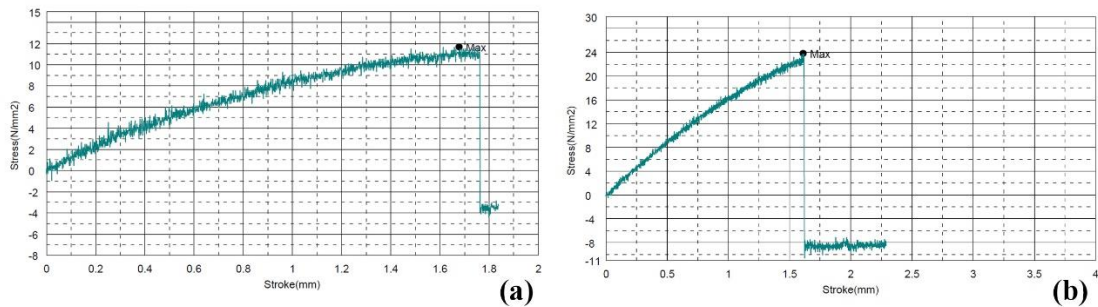
4.4.2. Çekme Testi

ASTM D638-4 standartlarında hazırlanan ‘Dogbone’ test objeleri 3 boyutlu yazıcıda yazdırma işlemlerinden sonra çekme testi bu objelere uygulanmıştır. Çekme testinden elde edilen veriler Tablo 3’te gösterilmiştir. Çekme testi bazı grafikleri Şekil 42’de gösterilmiştir. Tabloda verilen %10 doluk oranında olan 3 test objesinin ortalaması A, %30 doluluk oranında olan 3 test objesinin ortalaması B, %50 doluluk oranında olan 3 test objesinin ortalaması C ile ifade edilerek tabloya eklenmiştir.

Tablo 3. Test Objelerinin Çekme Testi Sonuçları

	Kullanılan malzeme	Dolgu yoğunluğu (%)	Maksimum gerilme (N/mm ²)	Maksimum gerinim (%)
1	GD-PET	%10	11,67	4,19
2	GD-PET	%10	7,73	2,30
3	GD-PET	%10	9,62	2,16
A	GD-PET	%10	9,67	2,88
4	GD-PET	%30	20,04	4,67
5	GD-PET	%30	15,30	3,74
6	GD-PET	%30	23,04	4,50
B	GD-PET	%30	19,46	4,30
7	GD-PET	%50	23,83	4,02
8	GD-PET	%50	21,30	4,32
9	GD-PET	%50	24,14	4,31
C	GD-PET	%50	23,09	4,21

Şekil 42. Çekme Testi Bazı Grafikler a) %10 Dolgu Yoğunluğu b) %50 Dolgu Yoğunluğu



PET su şişelerinin geri dönüştürülmesiyle üretilen GD-PET filament ile 3 boyutlu yazıcıda baskı alınan objelerin çekme testi sonuçlarına göre; %10 dolgu yoğunluğunda baskı alınan objelerin maksimum gerilmeleri ortalama $9,67 \text{ N/mm}^2$, maksimum gerinmeleri ortalaması ise %2,88 olarak tespit edilmiştir. %30 dolgu yoğunluğunda baskı alınan objelerin maksimum gerilme ortalamaları $19,46 \text{ N/mm}^2$, maksimum gerinmeleri ortalaması ise %4,30'dur. %50 dolgu yoğunluğunda baskı alınan objelerin maksimum gerilmeleri ortalaması $23,09 \text{ N/mm}^2$, maksimum gerinmeleri ortalaması ise %4,21 olarak belirlenmiştir. Test sonuçlarında dolgu yoğunluğu arttıkça maksimum gerilme değeri de artış görülmüştür.

Çekme testleri sonrasında test objeleri detaylı olarak optik mikroskop ile görüntülenmiştir. Optik mikroskop ile ağırlıklı olarak kopma yani kırılma yüzeyi incelenmiştir.

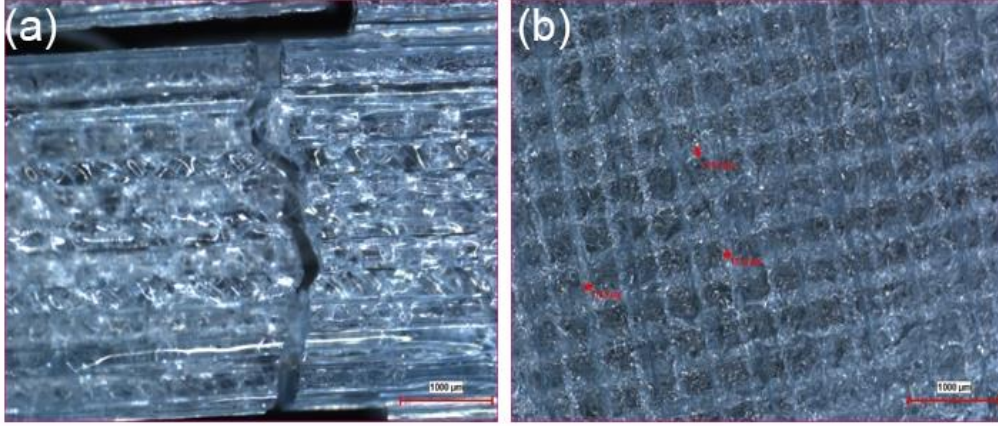
İlk grup test numunelerinde kopma biçimi kırılmanın görece daha düzgün olarak gerçekleştiğini ve bunun da kırık yüzey optik mikroskop incelemelerinden de teyit edilebilir olduğu görülmüştür. Şekil 43'te %10 doluluk oranında baskı alınan test objelerinin çekme testi sonucu görselleri verilmiştir.

Şekil 43. Çekme Testi Sonrası Test Objelerinin Görseli (%10 Doluluk Oranında)



İlk grup test numunelerinde (%10 doluluk oranı) mühendislikte gevrek kırılma olarak adlandırılan kırılmaya uğradıkları gözlemlenmiştir. Test sonucunda %10 doluluk oranındaki objelerin kırılma yüzeyi optik mikroskop ve kırık yüzey optik mikroskop detay görüntüleri Şekil 44'te verilmiştir.

Şekil 44. a) Kırılma Yüzeyi Optik Mikroskop Görüntüsü (1000µm) b) Kırık Yüzey Optik Mikroskop Detay Görüntüsü (x1000µm)



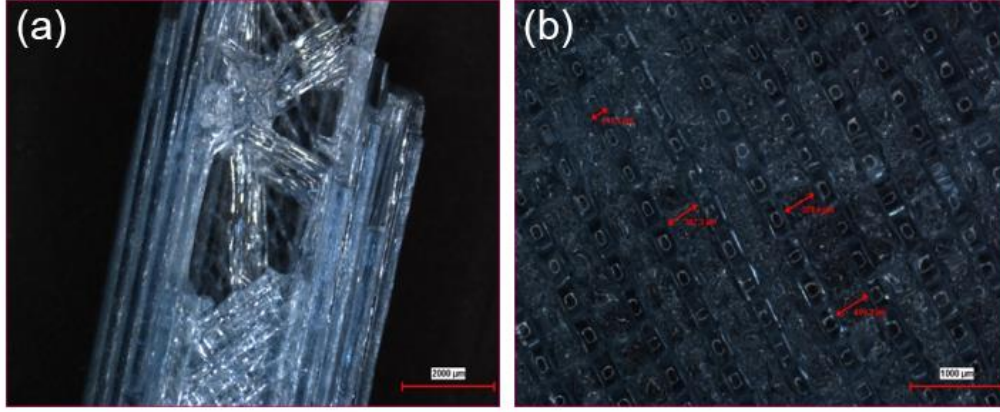
İkinci grup test numuneleri (%30 doluluk oranı) Şekil 45’te çekme testi sonucu görselleri verilmiştir.

Şekil 45. Çekme Testi Sonrası Test Objelerinin Görseli (%30 Doluluk Oranında)



İkinci grup test numunelerinde, mühendislikte sünek kırılma olarak adlandırılan kırılmaya uğradığını göstermektedir. Sünek kırılmada çatlak etrafında büyük oranda plastik deformasyonla ve buna bağlı olarak da gözlemlenebilir ölçüde çatlak ucu körleşme meydana gelmektedir. Genellikle çatlak oluşması ve ilerlemesi için büyük enerjiler gerekmektedir. Test sonucunda %30 doluluk oranındaki objelerin kırılma yüzeyi optik mikroskop ve kırık yüzey optik mikroskop detay görüntüleri Şekil 46’da verilmiştir.

Şekil 46. a) Kırılma Yüzeyi Optik Mikroskop Görüntüsü (x2000µm) **b)** Kırık Yüzey Optik Mikroskop Detay Görüntüsü (x1000µm)



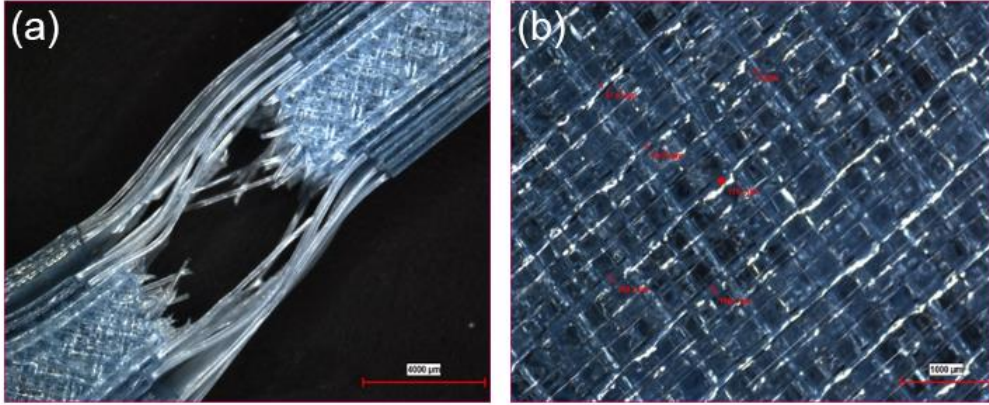
Üçüncü grup test numunelerinde Şekil 47’de çekme testi sonucu görselleri verilmiştir.

Şekil 47. Çekeme Testi Sonrası Test Objelerinin Görseli (%50 Doluluk Oranında)



Üçüncü grup test numunelerinde yine ikinci gruptaki gibi sünek kırılma gözlenmiştir. Test esnasında oluşan plastik deformasyonun gözle görülür şekilde arttığı tespit edilmiştir. Buna göre en sünek kırılan numune grubunun bu üçüncü grup yani %50 doluluk oranında baskı alınan objelerin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Test sonucunda %50 doluluk oranındaki objelerin kırılma yüzeyi optik mikroskop ve kırık yüzey optik mikroskop detay görüntüleri Şekil 48’de verilmiştir.

Şekil 48. a) Kırılma Yüzeyi Optik Mikroskop Görüntüsü (x1000µm) b) Kırık Yüzey optik Mikroskop Detay Görüntüsü (x1000µm)



Tüm bu yapılan testler ve sonucunda gözlemlenen deformasyon davranışları, malzemenin elastik ve plastik davranışlarını, uygulanan maksimum yük altında gözlemlememiz için gerçekleştirilmiştir. Uygulanan statik yük altında çekme dayanımı, malzeme seçimi için önemlidir. Bu kapsamda, malzemenin kullanım alanını kısıtlayabilecek ölçüde olmadığı görüldüğünden; aydınlatma elemanlarının tasarımına ve tasarlanan elemanların üretimine geçilmiştir.

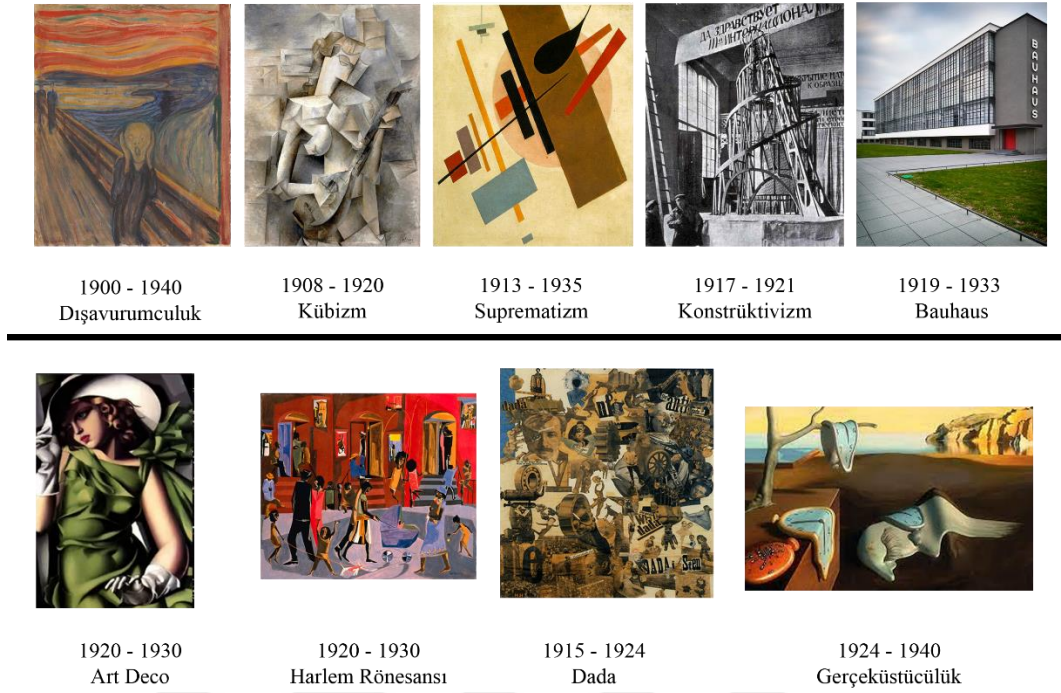
Sertlik testleri sertlik ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Sonuçları Ek 2’de verilmiştir.

5. AYDINLATMA ELEMANI TASARIMI

Aydınlatma elemanları tasarım yaklaşımı; çağdaş mimarlık düşüncelerinin gelişmesine katkıda bulunmuş olan De Stijl Sanat hareketidir. De Stijl hareketi soyut ve sade bir estetik anlayışı benimseyerek geometrik formlar ve ana renkler gibi temel görsel unsurlarına odaklanmaktadır (<https://mimarobot.com/haber/wiki/de-stijl/>).

De Stijl akımı, güzel sanatlarla sınırlı kalmayıp uygulamalı sanatlara ve endüstriyel tasarıma da önemli bir etki yapmış, mobilya tasarımı, iç mekan tasarımı, grafik tasarımı ve mimari alanlarında işlevselliği ve estetiği bir araya getirerek minimalist ve modern bir görünüm yaratmayı amaçlamıştır. Mobilya tasarımında, basit hatlara ve geometrik formlara vurgu yaparak sade ve işlevsel mobilyaların ortaya çıkmasına yardımcı olmuştur. İç mekan tasarımında, minimalist ve modern yaklaşımı sayesinde mekanlarda temiz çizgilerin, düz renklerin ve geometrik formların hakimiyeti görülmüştür. Mimaride ise işlevselliği ve estetiği bir araya getiren binaların tasarımında etkili olmuş, düz çizgiler, açık planlar ve geometrik formlar, modern mimarinin temelini oluşturmuştur. (<https://www.theartstory.org/movement/de-stijl/>). Şekil 49’da De Stijl hareketi sırasında gerçekleşen diğer akımlar görülmektedir.

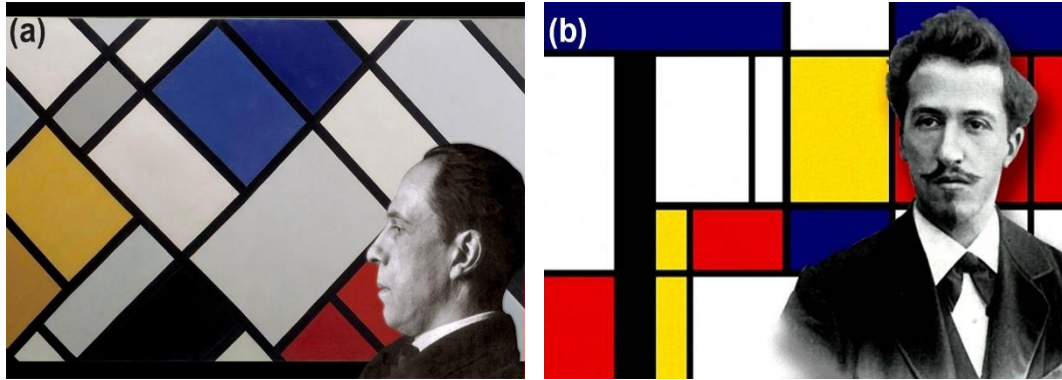
Şekil 49. De Stijl Hareketi Sırasında Gerçekleşen Diğer Akımlar



Kaynak: <https://www.behance.net/gallery/14035607/De-Stijl-Timeline>

Theo Van Doesburg ve Piet Mondrian gibi ressamların liderliğinde De Stijl hareketi modern çağın ruhani bir düzenini yansıtan evrensel bir görsel dil geliştirmeyi hedeflemiştir (Şekil 50). Bu hareket, biçim ve işlevin ideal birleşimini yorumlayarak yeni bir estetik anlayış sunmuştur. Özellikle 1920’lerde ‘Uluslararası Stil’ olarak geniş bir kitle tarafından benimsenmiştir. De Stijl hareketi, mimarlık alanında da etkili olmuş ve Bauhaus pratiğiyle yayılmıştır. Mimari açıdan, De Stijl hareketi minimalist ve geometrik tasarım prensiplerini vurgulayarak işlevsel ve estetik olarak bütünsel bir yaklaşımı temsil etmiştir (<https://decombo.com/modern-mimari-tarihi-ozellikleri-ornekleri/>).

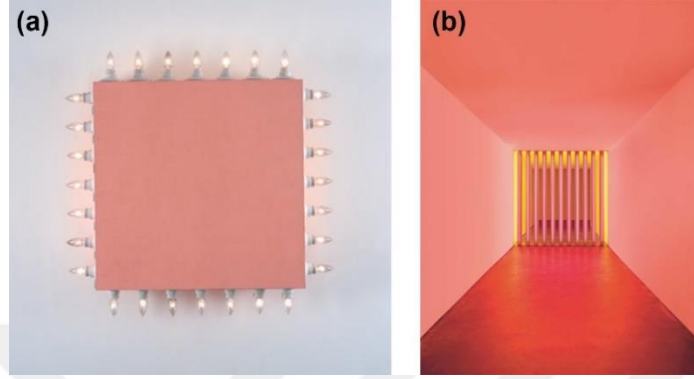
Şekil 50. a) Theo Van Doesburg b) Piet Mondrian



Kaynak: a) <http://masadergi.com/bagimsiz-ve-uyumlu-sanat-theo-van-doesburg/> b) <https://www.arthipo.com/artblog/unlu-ressamlarin-hayat-hikayeleri/ressam-piet-mondrian-hayati-sanat-gorusu-eserleri.html>

Dan Flavin 1963'te tuvali kullanmayı bırakarak flüoresan tüplerle çalışmaya başlamıştır. 1970'ler ve 1980'lerde özellikle 'Bar Corridor' ve köşe enstalasyonları gibi, flüoresanlardan daha karışık çalışmalar yapmaya başlamıştır (<https://www.guggenheim.org/artwork/artist/dan-flavin>).

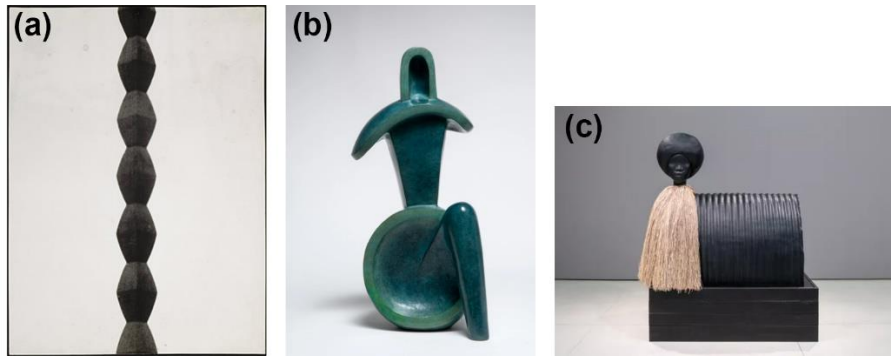
Şekil 51. Dan Flavin'in Işık Kullanımı



Kaynak: a) <http://behindthebijoux.blogspot.com/2013/02/v-corans-broadway-flesh-1962-dan-flavin.html> b) <https://www.simonandschuster.com/books/Dan-Flavin-Corners-Barriers-and-Corridors/Dan-Flavin/9781941701188>

Tasarımlarımda, De Stijl hareketinin temel argümanı olan hareketin saf geometrik soyutlama, biçim ve işlev ilişkisi üzerinden ilk çizimler gerçekleştirilmiştir. Dan Flavin'in ışık kullanımı ve minimalist tarzı, aydınlatma elemanı tasarımlarımda büyük bir esin kaynağı olmuştur. Şekil 51'de Dan Flavin'in farklı çalışmaları görülmektedir. Ayrıca, kübizm ile ifade edilen biçiminin bilinen heykel sanatçılarından Constantin Brancusi, yakın dönem avangart heykel sanatçısı Alexander Archipenko ve günümüzde atık nesne formlarını çağdaş yorumlamalarıyla bilinen bir enstalasyon ve heykel sanatçısı olan Simon Leigh de fikir kaynağım olmuşlardır (Şekil 52).

Şekil 52. a) Constantin Brancusi - Targu Jiu'da Sonsuz Sütun **b)** Alexander Archipenko – Oturan Figür **c)** Simon Leigh - Nöbetçi



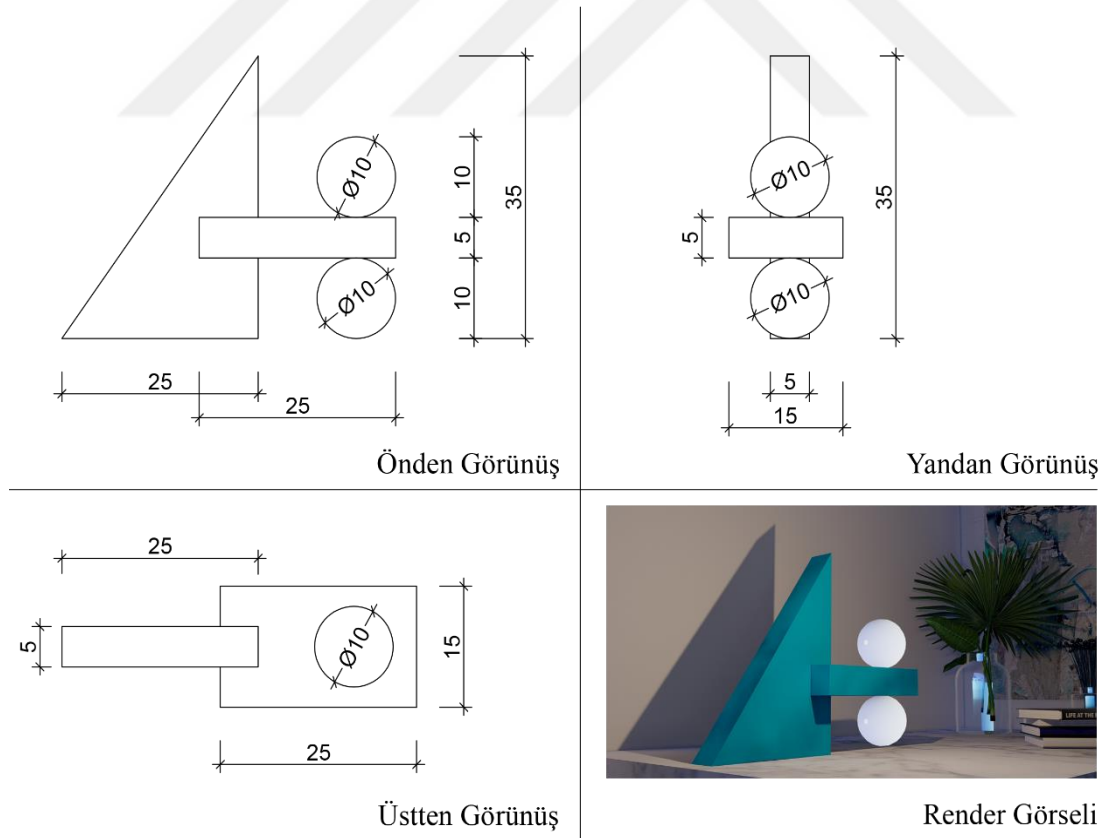
Kaynak: a) https://www.nga.gov/features/slideshows/dan-flavin-a-retrospective.html#slide_5 b) <https://www.mlfineart.com/artists/246-alexander-archipenko/works/844-alexander-archipenko-seated-figure-conceived-1913-1954-cast-1970/> c) <https://www.artsy.net/artwork/simone-leigh-sentinel>

Tasarlanan 10 farklı aydınlatma elemanı teknik resimleri çizilmiştir. Dijital ortama aktarılan modellerin renderleri alınmıştır. Renderleri alınan modeller 3 boyutlu yazıcıda yazdırma işlemi için hazırlanmıştır. Aydınlatma elemanları parçalara ayrılarak 1/5 ölçekte 3 boyutlu yazıcıda baskıları alınmıştır. Parçalar birleştirilmek için sıcak silikon kullanılmıştır. Aydınlatma elemanlarında %30 dolgu yoğunluğu kullanılmıştır. Işık kaynağı yerleştirilecek olan parçalarda ise dolgu yoğunluğu %0 olarak ayarlanmıştır.

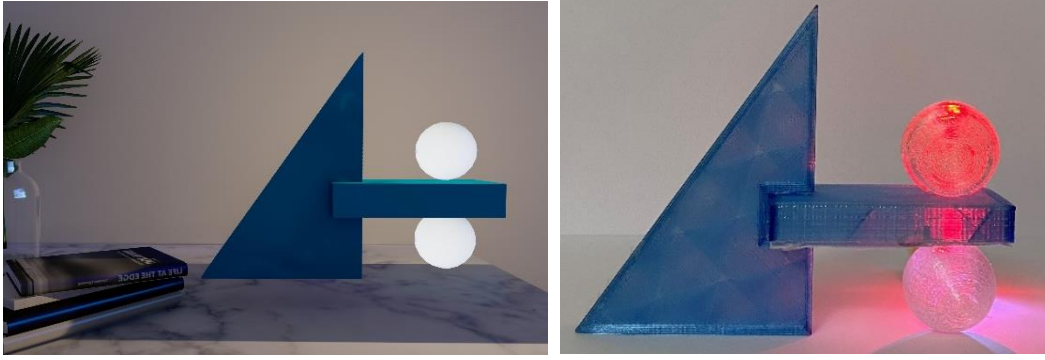
Lambası 1 ve 2 Alma Siedhoff – Buscher tarafından tasarlanan Bauhaus okulu tarafından kullanılan Bausqiel bloklarıyla oynanarak geliştirilmiştir. Lamba 1’ de Bausqiel bloklarına ek olarak kürede kullanılmıştır.

Lamba 1’de lambanın ana gövdesini üçgen ayak oluşturmaktadır. Üçgen formuna dikdörtgen bir düzlem eklenmiştir. Dikdörtgen formun alt ve üst kısımlarına küreler yerleştirilmiştir. Dikdörtgenin zenine paralel olarak küre iki ışık kaynağını ayırıcı şekilde tasarlanmıştır. Şekil 53’te masa lambasının teknik resmi verilmiştir. Hazırlanan modelin render ve baskı görselleri Şekil 54’te gösterilmiştir.

Şekil 53. Lamba 1 Teknik Resmi

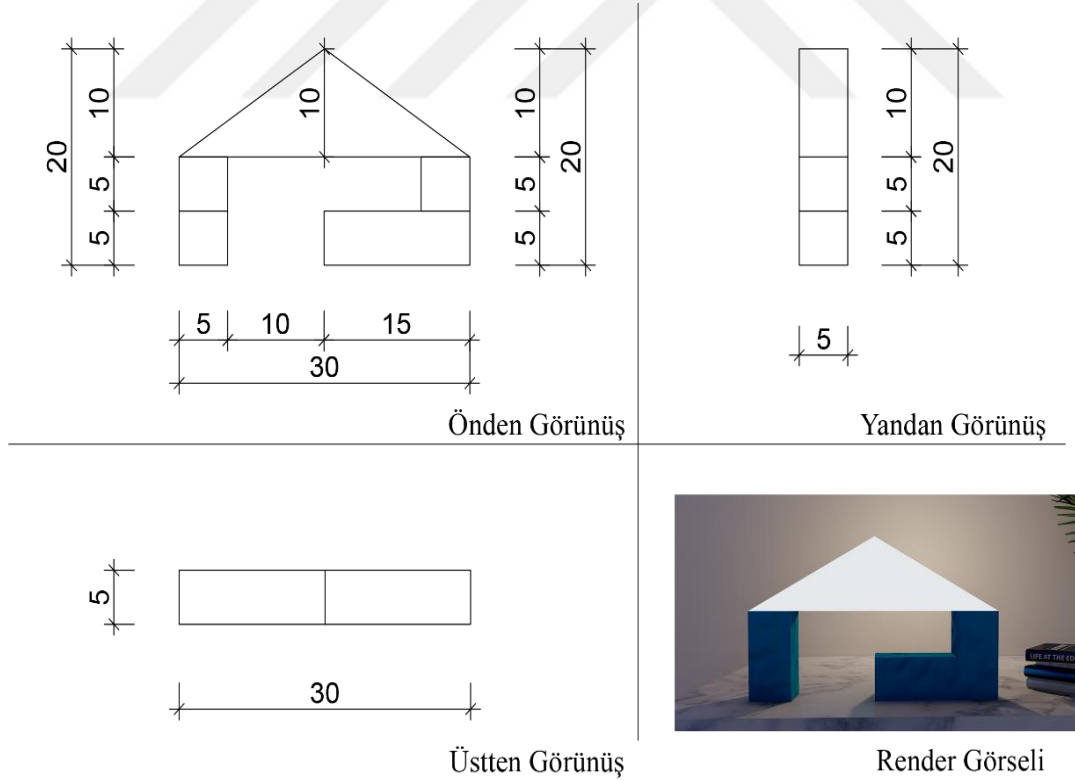


Şekil 54. Lamba 1 Render ve Baskı Sonrası Görselleri

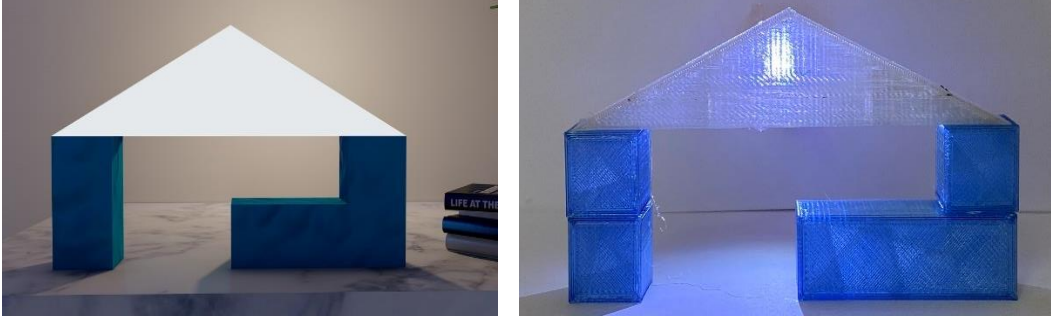


Lamba 2’de küp, dikdörtgen ve üçgen prizmalar kullanılmıştır. Üç tane 50x50x50 mm kare, bir tane 150x50x50 mm dikdörtgen ve bir üçgen prizmadan oluşmaktadır. Bu masa lambasında kullanıcıda tasarıma dahil edilmektedir. Kare ve dikdörtgen prizmalarının yerleri değiştirilerek kullanıcı kendi isteğine göre yeni bir masa lambası oluşturabilecektir. Işık kaynağı üçgen prizmaya yerleştirilmiştir. Şekil 55’te masa lambasının ölçüleri verilmiştir. Hazırlanan modelin render ve baskı görselleri Şekil 56’da gösterilmiştir.

Şekil 55. Lamba 2 Teknik Resmi

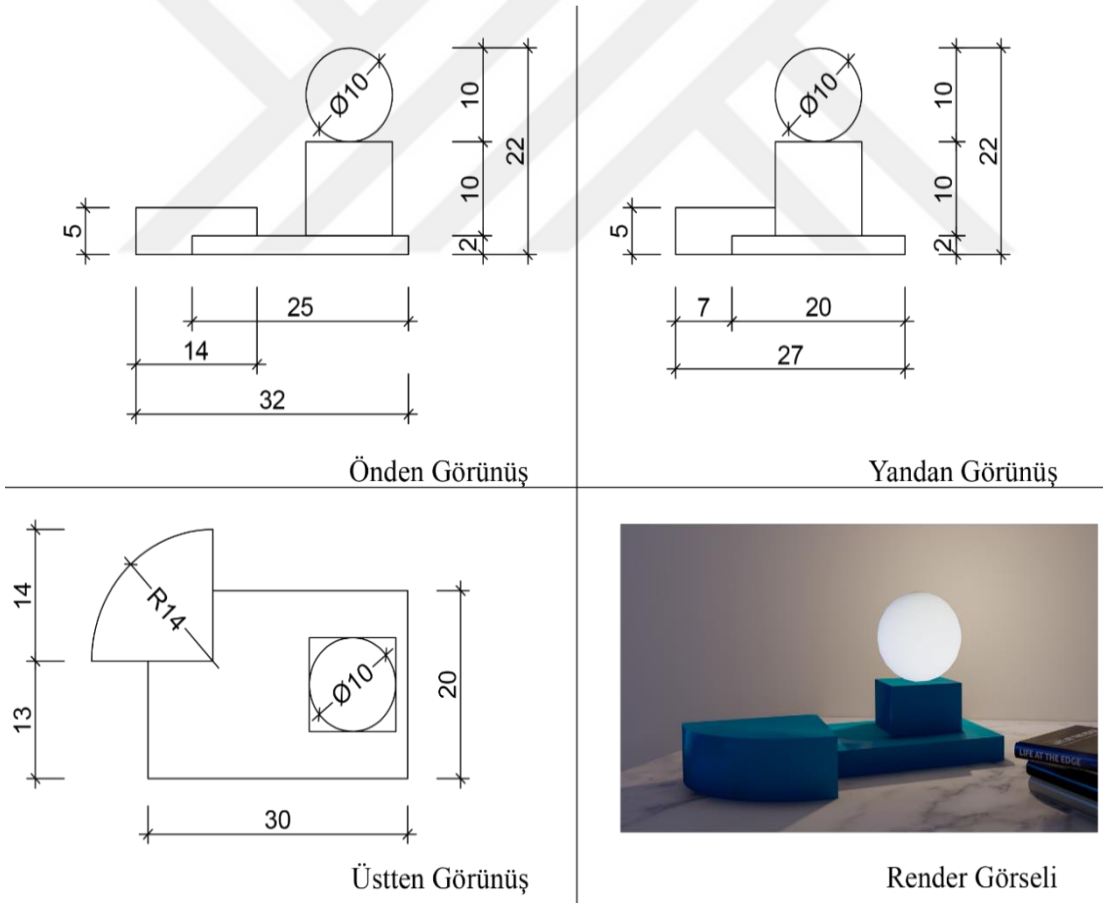


Şekil 56. Lamba 2 Render ve Baskı Sonrası Görselleri



Masa Lambası 3 üç farklı geometrik formdan tasarlanmıştır. Dikdörtgen, çeyrek daire ve küre bir araya getirilmiştir. Çeyrek daire ve küreyi birleştirmek için dikdörtgen form kullanılmıştır. Çeyrek dairede dikdörtgene saplanmıştır. Şekil 57’de masa lambasının ölçüleri verilmiştir. Hazırlanan modelin render ve baskı görselleri Şekil 58’de gösterilmiştir.

Şekil 57. Lamba 3 Teknik Resmi

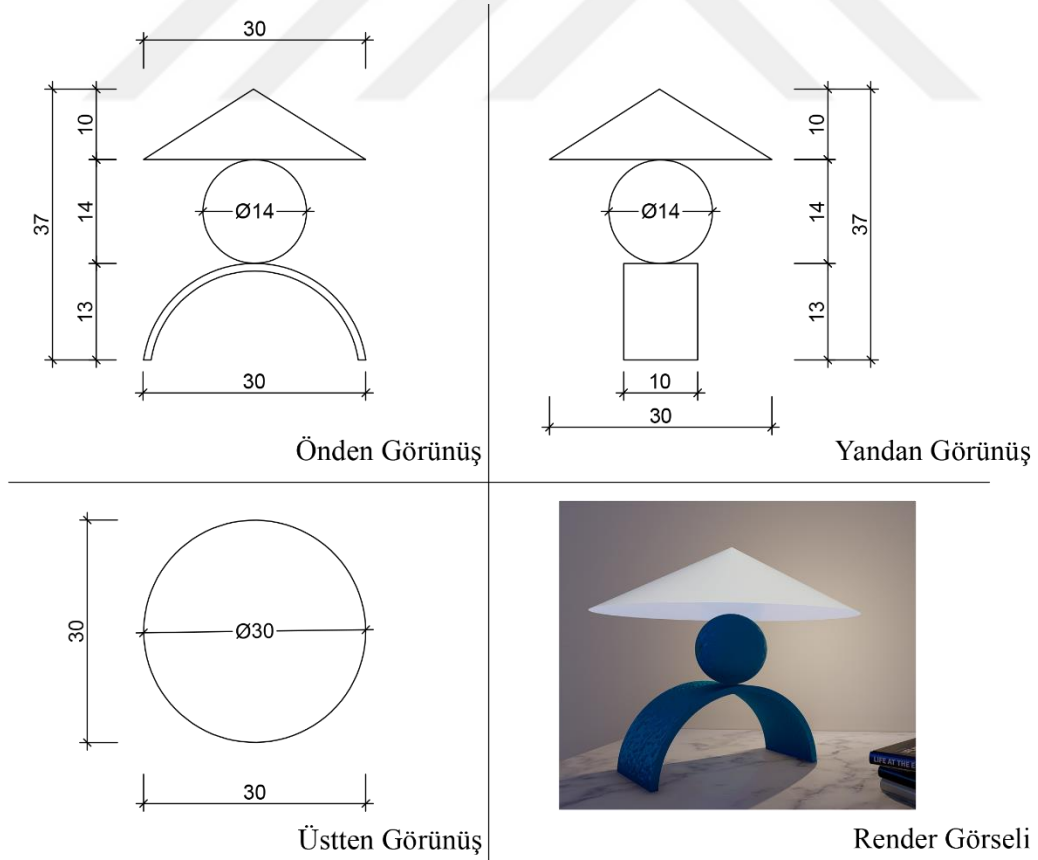


Şekil 58. Lamba 3 Render ve Baskı Sonrası Görselleri



Lamba 4 basit geometrik şekillerden oluşmaktadır. Louis Jobst U lamba tasarımından esinlenilmiştir (<https://www.louisjobst.com/#/04-u-lamp/>). Farklı materyaller kullanılan tasarımın 3 boyutlu yazıcıda baskısı alınmıştır. Kemer, alınlık ve çatı gibi mimari özelliklerden ilham alınarak tasarlanmıştır. Bir kemer bir küre ve bir koniden oluşmaktadır. Yığılmış bir şekilde en altta kemer, kemerin üzerinde küre ve üstünde çatıya gönderme olarak bir koni konumlandırılmıştır. Küre koni ve kemer arasındaki dengeyi sağlamaktadır. Şekil 59’da masa lambasının ölçüleri verilmiştir. Hazırlanan modelin render ve baskı görselleri Şekil 60’da gösterilmiştir.

Şekil 59. Lamba 4 Teknik Resmi

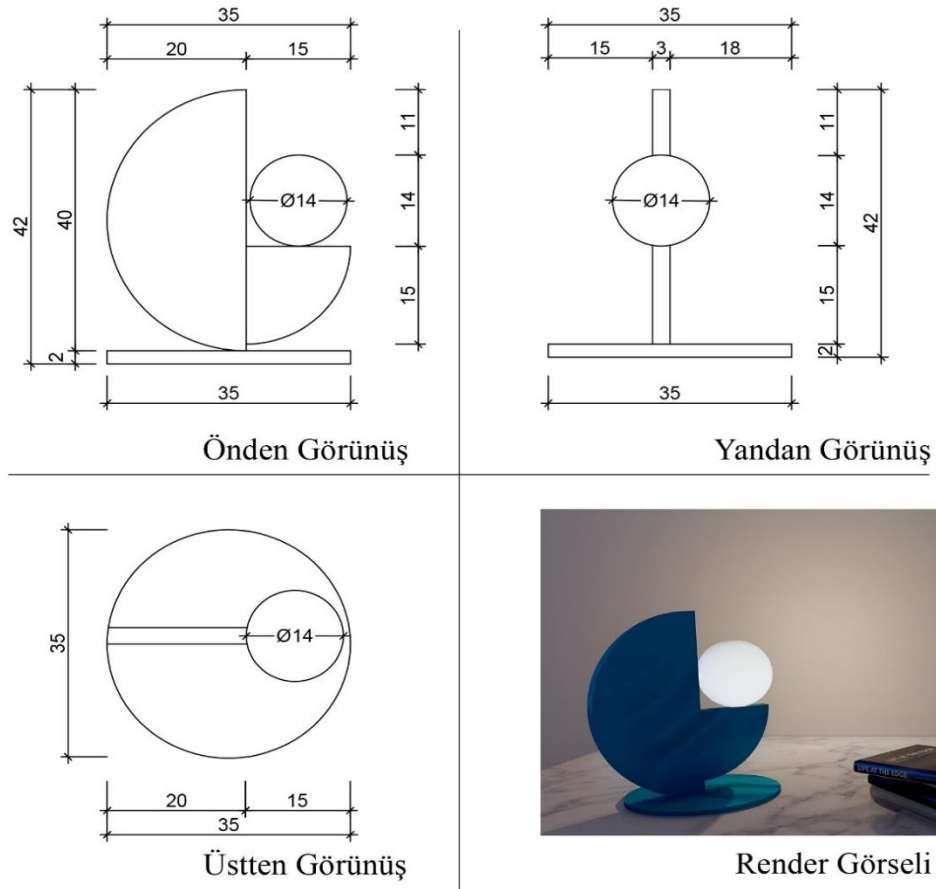


Şekil 60. Lamba 4 Render ve Baskı Sonrası Görselleri



Lamba 5’te bu masa lambasında László Moholy-Nagy’in yaptığı geometrik şekillerin ve rens bantlarının uzayda benzersiz mimari yapılar oluşturduğu soyut tablolarından esinlenilmiştir. Masa lambasında yarım daire, çeyrek daire ve küre kullanılmıştır. Ayakta durabilmesi için tasarım bir dikdörtgene saplanmıştır. Şekil 61’de masa lambasının ölçüleri verilmiştir. Hazırlanan modelin render ve baskı görselleri Şekil 62’de gösterilmiştir.

Şekil 61. Lamba 5 Teknik Resmi



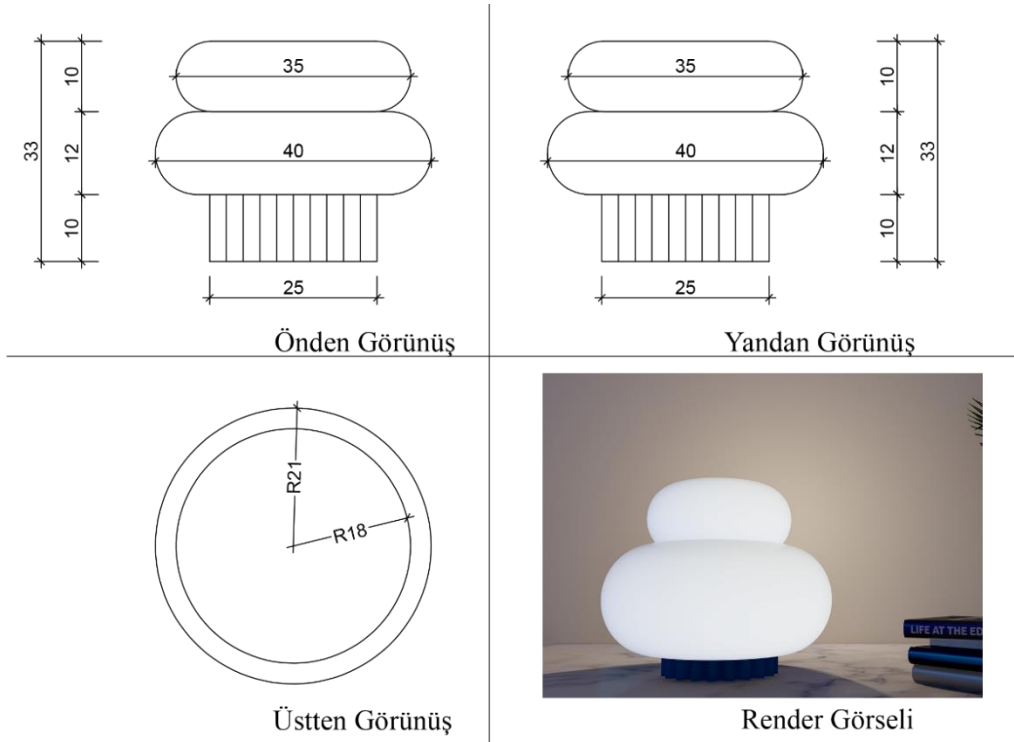
Şekil 62. Lamba 5 Render ve Baskı Sonrası Görselleri



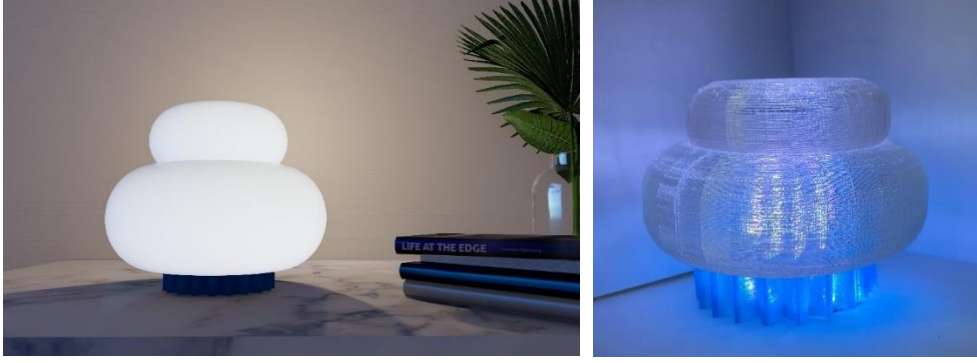
Lamba 6 ve 7 Oskar Schlemmer'in Triadic Balesi kıyafetlerinden esinlenilerek geometrik formlar tasarlanmıştır. Triadic Balesinde dans, mimari, kostüm tasarımı ve müziği bir araya getirerek yeni bir sinerji yakalamayı amaçlamıştır. Bu balede dansçılar geometrik şekilleri andıran kostümler giymişlerdir. Dansçıların hareketleri, mekan ve müzik ile uyumlu olarak yapılandırılmıştır.

Lamba 6'da çokgen olan bir ayak üzerine iki kat farklı boyutlarda bombeli silindirler yerleştirilmiştir. Işık kaynağını çokgen ayaktan sonra başlayan ve Triadic balesindeki eteklerden ilham alınan bombeli silindire yerleştirilmiştir. Şekil 63'te masa lambasının ölçüleri verilmiştir. Hazırlanan modelin render ve baskı görselleri Şekil 64'te gösterilmiştir.

Şekil 63. Lamba 6 Teknik Resmi

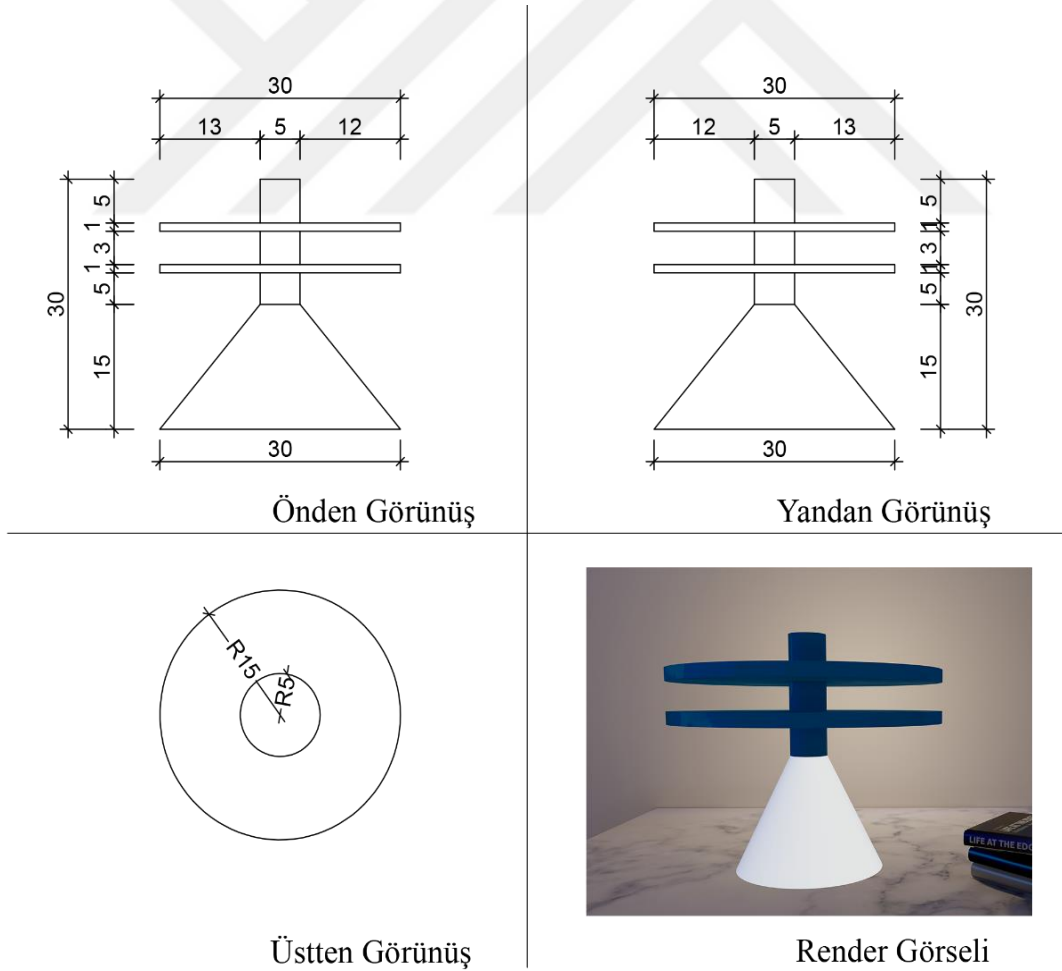


Şekil 64. Lamba 6 Render ve Baskı Sonrası Görselleri



Lamba 7’de ise üç farklı geometrik form bir araya getirilmiştir. Konik bir ayak üzerine devam eden silindir tasarlanmıştır. Silindire saplanmış iki adet aralıklı daireler bulunmaktadır. Işık kaynağı silindire yerleştirilmiştir. Şekil 65’te masa lambasının ölçüleri verilmiştir. Hazırlanan modelin render ve baskı görselleri Şekil 66’da gösterilmiştir.

Şekil 65. Lamba 7 Teknik Resmi

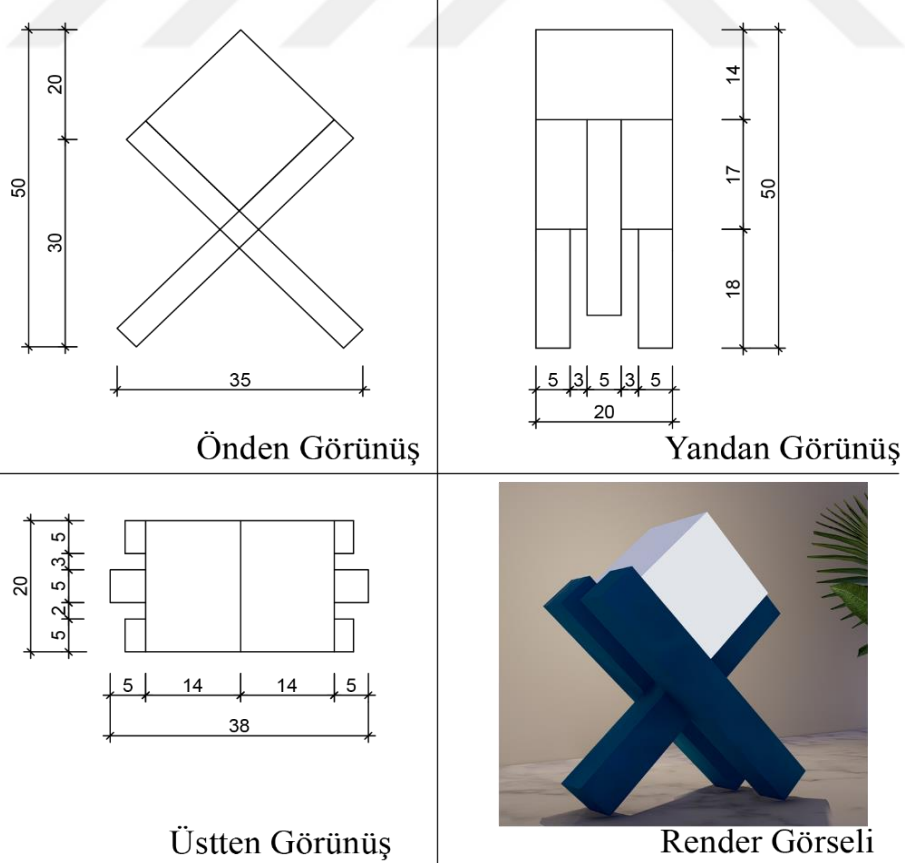


Şekil 66. Lamba 7 Render ve Baskı Sonrası Görselleri



Lamba 8’de Alex Andre’nin tasarımlarından esinlenilmiştir (<http://www.atelieralexandre.com/illuminations.html>). Alex Andre tasarımlarında fizik ve doğadaki geometrilere esinlenerek resimlerdeki düz semboller ve şekilleri ahşap, taş metal ve cam gibi hammaddeleri kullanarak heykelsi parçalar tasarlamıştır. Lamba 8’de üç adet dikdörtgen ayak üzerine kare prizma yerleştirilmiştir. Kare prizmaya ışık kaynağı yerleştirilmiştir. Şekil 67’de masa lambasının ölçüleri verilmiştir. Hazırlanan modelin render ve baskı görselleri Şekil 68’de gösterilmiştir.

Şekil 67. Lamba 8 Teknik Resmi

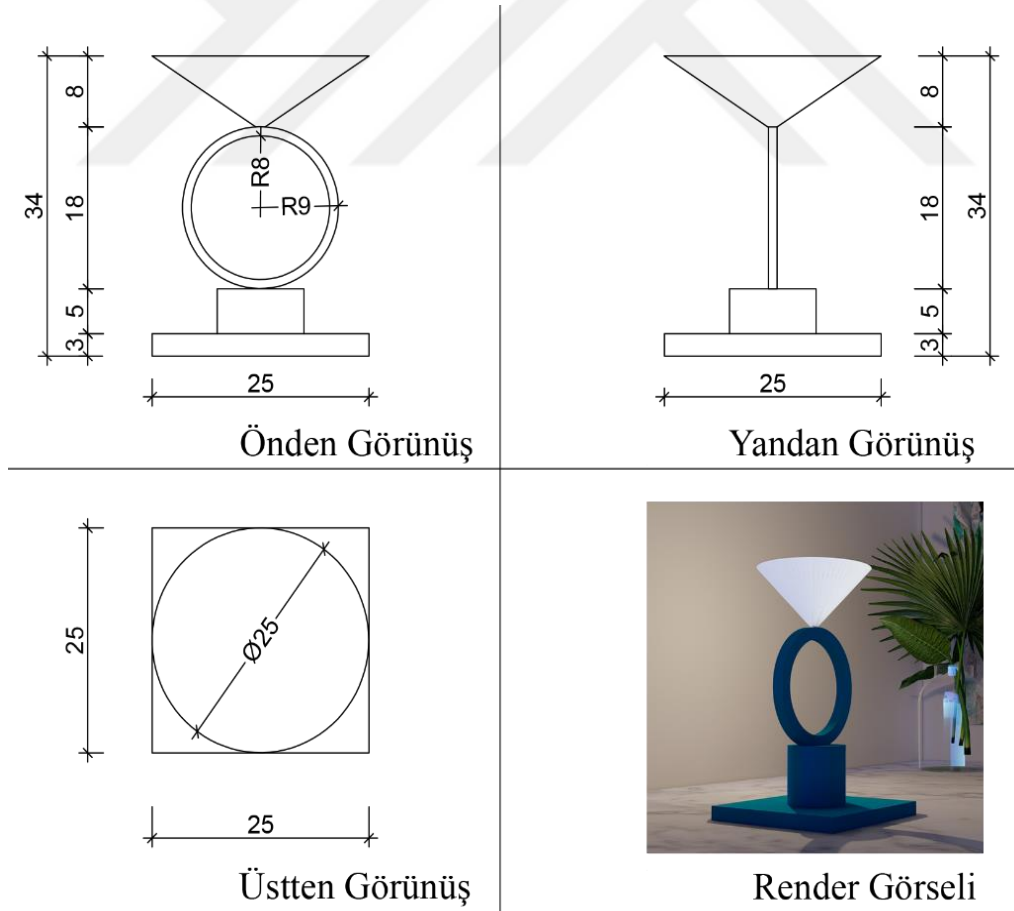


Şekil 68. Lamba 8 Render ve Baskı Sonrası Görselleri



Lamba 9’da dört farklı geometrik form bir araya getirilmiştir. Dikdörtgen prizması ve kare ayak üzerine simit şekli ve konikte ise ışık kaynağı yerleştirilmiştir. Dört farklı geometrik form dengede olmasıyla dikkat çekmektedir. Şekil 69’da masa lambasının ölçüleri verilmiştir. Hazırlanan modelin render ve baskı görselleri Şekil 70’de gösterilmiştir.

Şekil 69. Lamba 9 Teknik Resmi

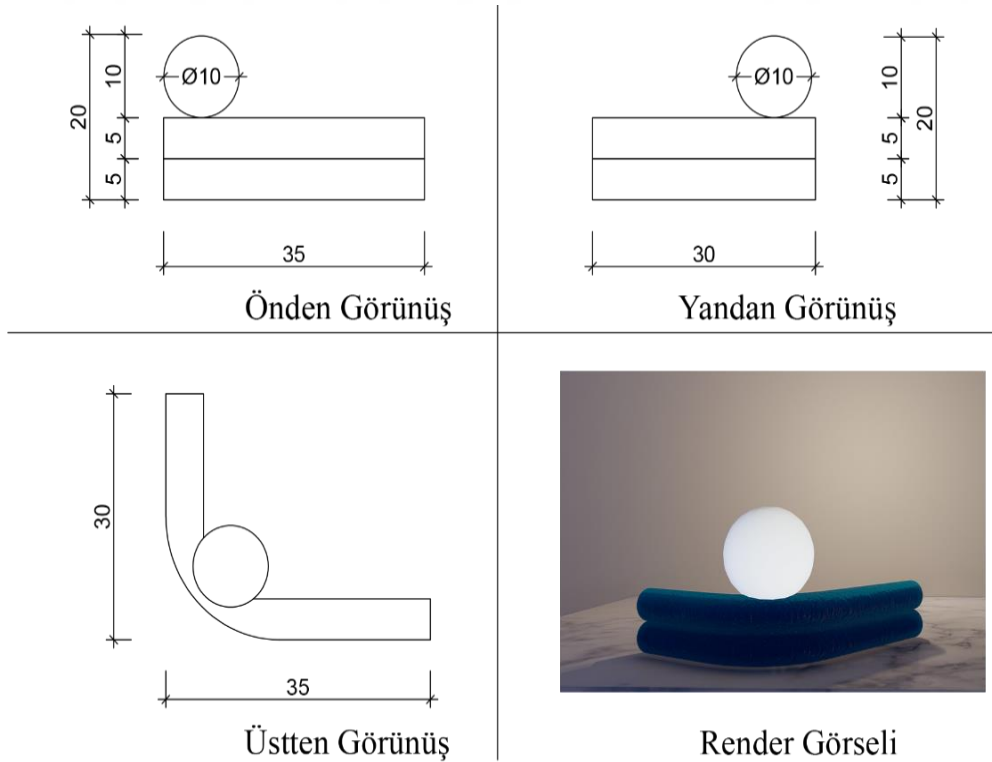


Şekil 70. Lamba 9 Render ve Baskı Sonrası Görselleri

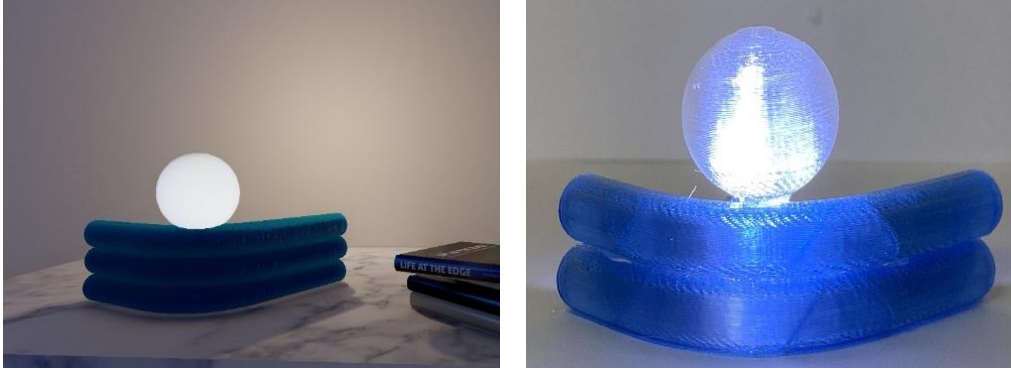


Lamba 10'da Soft Geometri stüdyosu tarafından el yapımı lambaları 3 boyutlu yazıcıda baskısı alınmıştır. Lamba boyutları bilinmediğinden görseller kaynak alınarak lamba modellenmiştir. Bu lambalar Eileen Grey'in 1926 tasarımı Bibendu'un kavisli profilinden esinlenilmiştir (<https://www.soft-geometry.com/>). Işık kaynağı küreye yerleştirilmiştir. Ayakların istenildiğinde sayısı artırılabilir veya azaltılabilmektedir. Bu tasarımda kullanıcıda tasarıma dahil edilmek istenmiştir. Şekil 71'de masa lambasının ölçüleri verilmiştir. Hazırlanan modelin render ve baskı görselleri Şekil 72'de gösterilmiştir.

Şekil 71. Lamba 10 Teknik Resmi



Şekil 72. Lamba 10 Render ve Baskı Sonrası Görselleri

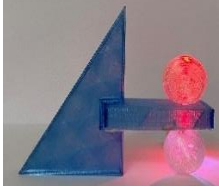
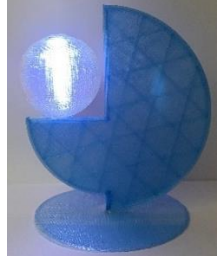
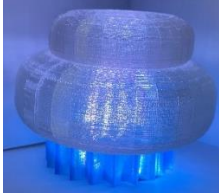


5.1. GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ PET FİLAMENT İLE AYDINLATMA ELEMANININ ÜRETİLMESİ

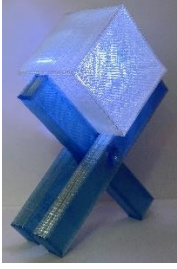
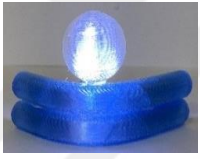
PET şişelerin geri dönüştürülmesiyle üretilen filamentler kullanılarak 3 boyutlu yazıcıda aydınlatma elemanları üretilmiştir. Yazdırma işlemi için kullanılacak olan yazıcı Ender 3 Pro'dur. Kullanılacak PET filamentin çapı 1,75 mm'dir. Baskı sıcaklığı 260 °C ve yatak sıcaklığı ise 85 °C olarak ayarlanmıştır.

Aydınlatma elemanlarının tasarımlarının bilgisayar ortamına geçirilmesinde Rhinoceros ve SketchUp programları kullanılmıştır. Aydınlatma elemanlarının boyutları yazıcı için büyük olduğundan 1/5 ölçekte yazdırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Modellenen aydınlatma elemanları modellere bağlı olarak parçalara ayrılmıştır. Ayrılan parçalar '.STL' formatında dilimleme programı Cura'da baskı ayarları yapılmıştır. Nozzle sıcaklığı 260 °C, yatak sıcaklığı 85 °C, yazdırma hızı 50 mm/s, duvar kalınlığı 1,6 mm, katman yüksekliği 0,2 mm, hat genişliği 0,4 mm ve dolgu yoğunluğu bazı baskılarda değişse de genel olarak %30 olarak ayarlanmıştır. Işık kaynağı yerleştirilecek olan kabukların dolgu yoğunluğu %0 olarak belirlenmiştir. Cura programında yapılan ayarlardan sonra model 3 boyutlu yazıcının okuyabileceği '.G-code' dönüştürülmüştür. Dönüştürülen kaynak dosya USB bellek ile yazıcıya aktarılmış ve yazdırma işlemi başlatılmıştır. Yazdırılacak objelerin büyüklüğüne göre yazdırma süreleri değişiklik göstermektedir. Yazdırma işleminde desteğe ihtiyaç duyulmamıştır. Tasarlanan aydınlatma elemanlarının yazıcı yatağına yapışma sorunu yaşanmaması için etek açık baskı alınmıştır. Baskı işlemi tamamlandıktan sonra etek kısımları temizlenmiştir. Tasarlanan aydınlatma elemanlarının dilimleme programından alınan baskı bilgileri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Tasarlanan Aydınlatma Elemanları Baskı Bilgileri

Lamba numarası	Lamba görseli	Malzeme	Kullanılan Toplam Malzeme Uzunluğu (m)	Kullanılan Toplam Malzeme Miktarı (g)	Baskı süresi (Dk.)
1		GD-PET	5,83 m	16 g	132 dk.
2		GD-PET	3,23 m	11 g	87 dk.
3		GD-PET	3,64 m	13 g	85 dk.
4		GD-PET	9,69 m	26 g	201 dk.
5		GD-PET	6,46 m	26 g	136 dk.
6		GD-PET	6,46 m	26 g	229 dk.
7		GD-PET	12,02 m	31 g	254 dk.

Tablo 4. (Devam)Tasarlanan Aydınlatma Elemanları Baskı Bilgileri

Lamba numarası	Lamba görseli	Malzeme	Kullanılan Toplam Malzeme Uzunluğu (m)	Kullanılan Toplam Malzeme Miktarı (g)	Baskı süresi (Dk.)
8		GD-PET	6,47 m	18 g	145 dk.
9		GD-PET	3,08 m	8 g	76 dk.
10		GD-PET	3,54 m	10 g	88 dk.

5.2. KULLANILAN CİHAZLAR

5.2.1. Hassas Terazi

Hassas terazi küçük ve hassas ölçümler yapabilen tartılardır. Bu çalışmada ev tipi fakir mutfak tartısı kullanılmıştır. Bu tartının maksimum kapasitesi 1000 gramdır. Kullanılan terazi görsel Şekil 73’te verilmiştir.

Şekil 73. Fakir Hassas Terazi

Kaynak: <https://www.amazon.com.tr/Fakir-Molly-Dijital-Mutfak-Tart%C4%B1s%C4%B1/dp/B07BNXD1YY>

5.2.2. Kızılötesi Termometre

Kızılötesi termometre veya temassız termometre olarak da bilinen IR termometre, ölçülen objeyle fiziksel temas kurmadan sıcaklığını ölçmek için kullanılan cihazlardır. Objeye tarafından yayılan kızılötesi enerjiyi algılayarak ve bunu bir sıcaklık okumasına dönüştürerek çalışmaktadır. Kızılötesi termometreler, fiziksel temas kurmadan vücut sıcaklığını ölçmek, gıda hizmetlerinde, HVAC ve imalat endüstrileri gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca ev ortamlarında yemek pişirme, cihaz ve objelerin sıcaklığının izlenmesi ve kontrol edilmesinde de kullanılmaktadır (Zhang, 2019).

Bu çalışmada temassız ateş ölçer DT-8826 dijital termometre kullanılmıştır. Bu cihazın iki modu vardır. Bunlar; yüzey modu 0-100 °C ve gövde modu 32-43 °C'dir. Cihaz iki adet AA pil ile çalışmaktadır. Doğruluk $\pm 0,3$ °C olarak belirtilmiştir (<https://www.hepsiburada.com/comedones-temassiz-dijital-ates-olcer-pm-HB000010EPK9>). Termometre görseli Şekil 74'te verilmiştir.

Şekil 74. Dijital Termometre



Kaynak: <https://www.hepsiburada.com/comedones-temassiz-dijital-ates-olcer-pm-HB000010EPK9>

5.2.3. NTC Sıcaklık Sensörü

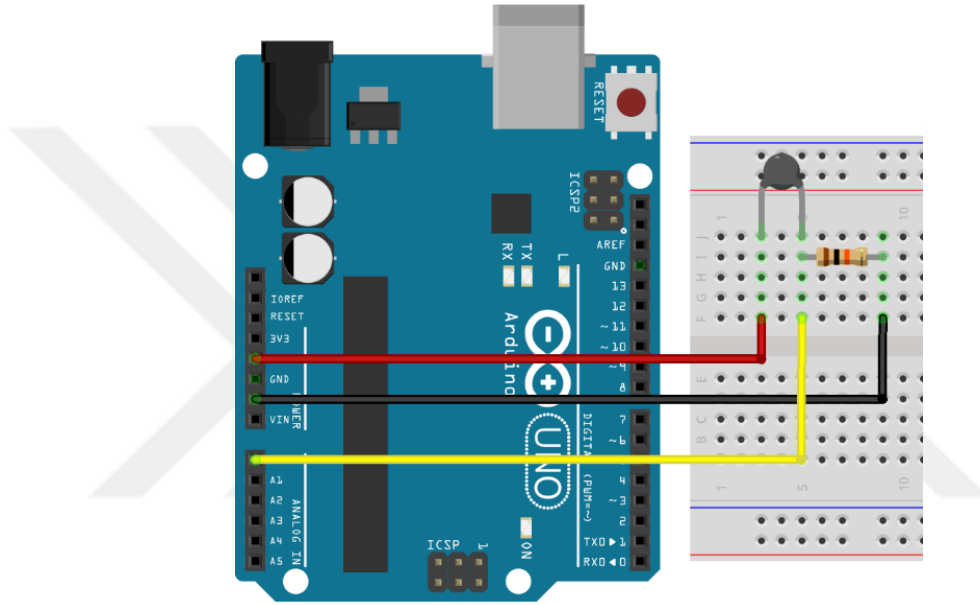
NTC sıcaklık sensörü, sıcaklık değişimine göre direnci değişen bir termistörden yapılmış bir sensördür. NTC, negatif sıcaklık katsayısı anlamına gelmektedir. Sıcaklık arttıkça direnci azalan bir termistördür.

NTC sıcaklık sensörleri, farklı uygulamalarda sıcaklık ölçmek için kullanılmaktadır. Örneğin, endüstriyel sıcaklık kontrolü, HVAC sistemleri, beyaz eşya ürünleri, otomotiv, tıbbi cihazlar ve daha birçok alanda kullanılmaktadır. Arduino NTC sıcaklık ölçümü için gerekli malzemeler;

- Arduino UNO
- Breadboard
- 1 adet 10k Ω NTC
- 1 adet 10k Ω direnç
- İki ucu erkek jumper kablodur.

Hazırlanan devre şeması Şekil 75’te verilmiştir.

Şekil 75. Arduino NTC Sıcaklık Ölçüm Devre Şeması



Kaynak: <https://www.teknolojikogretmenler.com/arduino-ile-ntc-kullanarak-sicaklik-olcumu/>

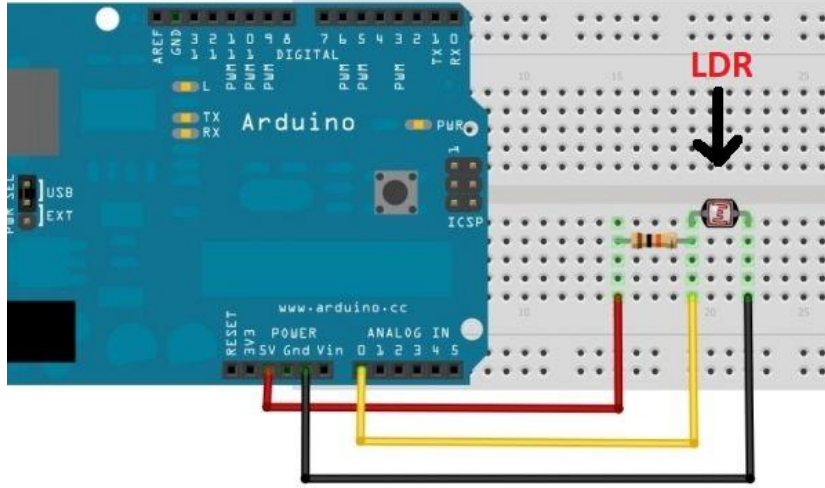
5.2.4. Işık Seviyesi Ölçümü

Işık seviyesi ölçümü yapmak için, arduino ile birlikte bir ışık sensörü kullanılmıştır. Arduino ışık seviye ölçümü için gerekli malzemeler;

- Arduino UNO
- Breadboard
- 1 adet 10k Ω direnç
- 1 LDR (fotosel)
- İki ucu erkek jumper kablodur.

Hazırlanan devre şeması Şekil 76’da verilmiştir.

Şekil 76. Arduino Işık Seviye Ölçüm Devre Şeması



Kaynak: <https://muhammedpektas.wordpress.com/2017/12/20/arduino-ve-ldr-ile-isik-seviyesi-olcumu/>

5.2.5. LED

Pilli mini LED, düşük güç tüketen ve portatif kullanım için tasarlanmış küçük bir LED aydınlatma cihazıdır. Düğme hücreleri veya küçük pil veya piller tarafından çalıştırılır. Bu pilli mini LED'ler genellikle el feneri, anahtarlık, gece lambaları veya acil durum aydınlatması gibi uygulamalarda kullanılır. Taşınabildikleri ve düşük güç tüketimleri, kullanıcıların kolayca taşıyabileceği ve uzun süre kullanabileceği anlamına gelmektedir.

Pilli mini LED'ler genellikle tek bir LED ışığı içerir ve düğme hücrelerinin veya pillerin kutusuna entegre edilmiştir. Bazı modellerde ışık yoğunluğunu ayarlamak için farklı aydınlatma modları da bulunmaktadır. Bu tür pilli mini LED'ler, pratik ve taşınabilir bir aydınlatma çözümü sağlar. Güç kaynağı olarak pil kullandıklarından, enerji tasarruflu ve uzun ömürlü olabilirler. Ancak, pilin düşük seviyelere inmesi durumunda ışık yoğunluğu da azalabilir ve pili düzenli olarak değiştirmeniz gerekmektedir.

Bu çalışmada 3 boyutlu yazıcıda GD-PET filament kullanılarak üretilen aydınlatma elemanları 1/5 ölçekte baskı alındığı için ışık kaynağı olarak mini LED'ler kullanılmıştır. Beyaz ve kırmızı renkte mini LED tercih edilmiştir. Bu LED'ler üç adet düğme pille çalıştırılmıştır.

5.2.6. Diğer Yazılımlar

Aydınlatma elemanlarının 3 boyutlu modelinin oluşturulmasında Rhinoceros 3D 5 programı ve SketchUp 2015 programı kullanılmıştır. Teknik resimlerinde AutoCAD

2017 programı kullanılmıştır. Render çalışmasında ise Lumion 12.3.1 programı kullanılmıştır.

Aydınlatma elemanlarının 3 boyutlu yazıcıda yazdırılabilmesi için ‘.STL’ formatına dönüştürülen model UltiMaker Cura 5.0 programında gerekli kontrolleri yapıldıktan sonra ‘.G-code’ dönüştürülerek hazırlanmıştır.

NTC sıcaklık sensörü ve ışık seviyesi ölçümü kodları için Arduino IDE 2.0.4 programı kullanılmıştır.

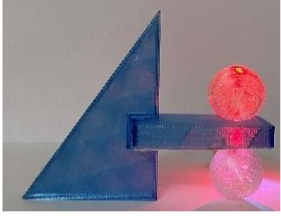
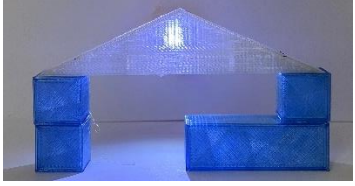
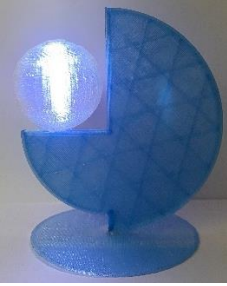
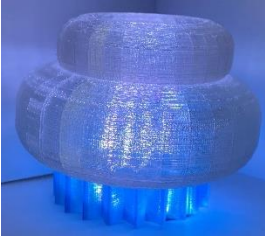
5.3. TESTLER VE SONUÇLARI

5.3.1. Kütle Ölçümü

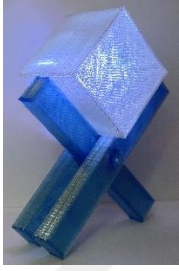
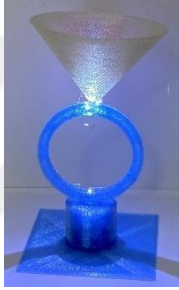
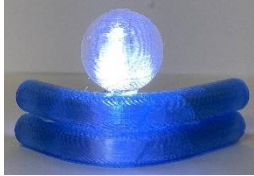
Aydınlatma elemanlarının 3 boyutlu yazıcıda üretilmesinin ardından ölçümleri yapılmıştır. Tasarlanan aydınlatma elemanlarının yazdırma işleminde kullanılacak malzeme ve üretilen objenin kütlesi seri üretim için büyük önem taşımaktadır. Üretimde kullanılan malzeme miktarı üretim maliyetini belirleyen önemli bir faktördür. Fakat kütle miktarının azaltılması sadece maliyetler üzerinde etkili değildir. Aynı zamanda daha az malzeme kullanımıyla genellikle daha hafif parçalar üretilmektedir. Bu durum bazen performans ve dayanıklılık açısından dezavantaj olabilir. Bu nedenle, tasarımcıların, imalatla kütle miktarını azaltırken dayanıklılık, güvenilirlik ve performans gibi diğer faktörleri de önünde bulundurmaları gerekmektedir.

Aydınlatma elemanları kütle ölçümleri ev tipi hassas tartı ile yapılmıştır. Aynı zamanda dilimle programı CURA da verilen kütle değerleriyle beraber Tablo 5’te verilmiştir. Tabloda verilen değerler karşılaştırıldığında kütle ölçümlerinde bilgisayar ortamı ve baskılar arasında farklar görülmektedir. Lamba 6’da en büyük fark 1,1 gram olarak görülmektedir. Programda kullanılan doluluk oranıyla baskı alınmasına rağmen bu farkın oluşması üretilen PET filamentin çapında oluşabilecek farklılıklardan dolayı baskı sırasında nozzlenin katmanları tam akıtamamasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 5. Aydınlatma Elemanları Kütle Bilgileri

Lamba Numarası	Lamba görseli	CURA Kütle (g)	Baskı kütle ölçümü (g)
1		16 g	15,1 g
2		11 g	10,7 g
3		13 g	12,3 g
4		26 g	24,9 g
5		17 g	16,4 g
6		26 g	24,5 g

Tablo 5. (Devam) Aydınlatma Elemanlarının Kütle Bilgileri

Lamba Numarası	Lamba görseli	CURA Kütle (g)	Baskı kütle Ölçümü (g)
7		31 g	30 g
8		18 g	17,7g
9		8 g	7,6 g
10		10 g	9,5 g

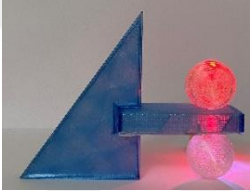
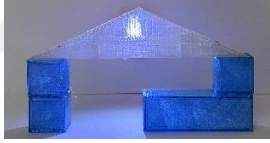
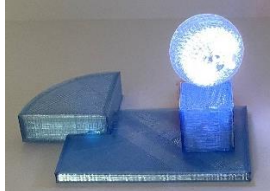
5.3.2. Yüzey Sıcak Ölçümü

3 boyutlu yazıcıyla üretilen 10 adet aydınlatma elemanı üretiminde GD-PET malzeme kullanılmıştır. Yazdırma işlemi tamamlan aydınlatma elemanlarına LED yerleştirilmiştir. LED çalıştırılmaya başlamadan her lamba için sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Aydınlatma elemanının içerisine yerleştirilen LED'in zaman içinde ısınabileceğinden dolayı 3 saat açık bırakılarak her saat başında lambanın yerleştirildiği dış kabuktaki sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Aydınlatma elemanlarının boyutları farklıdır. Bu ölçüm yapılırken lambanın kabuğa olan uzaklığına da kaydedilmiştir. Ölçüm yapılan ortam oda sıcaklığında (20-25°C aralığında) sabit tutulmuştur. LED aralıksız üç saat çalıştırılmıştır. Ölçümler IR termometre ile yapılmıştır. Bu işlem üretilen 10

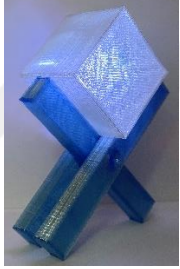
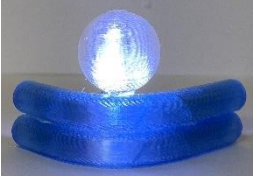
aydınlatma elemanı için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Kaydedilen sıcaklık değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Aydınlatma elemanlarının yüzey sıcaklıkları LED'in yanık kalma süresi arttıkça küçükte olsa değişiklikler gözlemlenmiştir. Aydınlatma elemanlarının LED'e olan yakınlıklarında bu değerlerin değişmesine etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca LED'in yerleştirildiği kabuk kısmın büyüklüğü de sıcaklık değerini etkilemektedir. Daha küçük olan kabuklarda sıcaklık değerinin yüksekliği dikkat çekmektedir.

Tablo 6. Aydınlatma Elemanları Yüzey Sıcaklık Ölçüm Sonuçları

Lamba numarası	Lamba görseli	Işık Kaynağının Kabuğa Olan Uzaklığı (cm)	Çalışmaya Başlamadan Önceki Sıcaklık (°C)	1.Saat sıcaklık (°C)	2.saat sıcaklık (°C)	3.saat sıcaklık (°C)
1		2 cm	23,8 °C	24,4 °C	24,7 °C	25,3 °C
2		3 cm	24,0 °C	24,5 °C	24,9 °C	25,1 °C
3		2 cm	23,8 °C	24,4 °C	24,7 °C	25,3 °C
4		3 cm	24,0 °C	24,5 °C	24,9 °C	25,1 °C
5		4 cm	23,7 °C	24,1 °C	24,5 °C	25,13°C

Tablo 6. (Devam) Aydınlatma Elemanları Yüzey Sıcaklık Ölçüm Sonuçları

Lamba numarası	Lamba görseli	Işık Kaynağının Kabuğa Olan Uzaklığı (cm)	Çalışmaya Başlamadan Önceki Sıcaklık (°C)	1.Saat sıcaklık (°C)	2.saat sıcaklık (°C)	3.saat sıcaklık (°C)
6		5 cm	23,6 °C	24,3 °C	24,7 °C	25,2°C
7		3 cm	24,0 °C	24,5 °C	24,9 °C	25,1 °C
8		3,5 cm	23,7 °C	24,3 °C	24,7 °C	25,1°C
9		3 cm	24,0 °C	24,5 °C	24,9 °C	25,1 °C
10		2 cm	23,8 °C	24,4 °C	24,7 °C	25,3 °C

5.3.3. LED Sıcaklığının Ölçümü

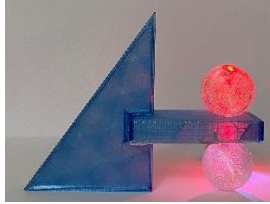
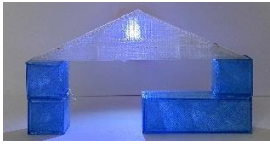
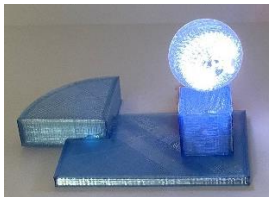
LED sıcaklığı, LED'in performansını, verimliliğini ve ömrü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yüksek sıcaklıklarda çalışan LED'ler daha çabuk arızalanabilirler. Bu

yüzden LED'in ömürleri kısalsabilir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda çalışan LED'in, yakınındaki nesnelerin deformasyonuna veya yanmasına sebep olabilmektedir.

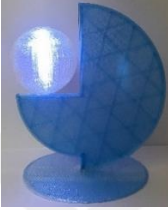
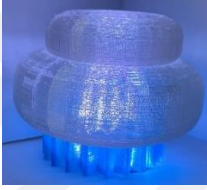
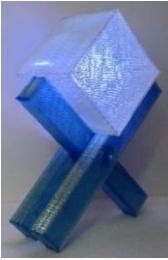
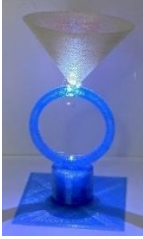
Aydınlatma elemanlarında kullanılan LED'in çalışmadan önceki ve 3 saat çalıştırılarak sıcaklık değeri ölçülmüştür. Sıcaklık değerin belirlenmesi için ölçümler IR termometre ile yapılmıştır. 3 saat çalıştırılan LED 1er saat aralıklarla sıcaklık değeri ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Bu işlem 10 aydınlatma elemanı için tekrarlanmıştır. Kaydedilen değerler Tablo 7'de verilmiştir.

Aydınlatma elemanlarında kullanılan LED'in çalışmaya başladıktan sonra sıcaklıklarında değişiklikler gözlemlenmiştir. Benzer ölçülerde olan aydınlatma elemanlarında aynı sıcaklıklar ölçülmüştür. LED'in yerleştirildiği kabuğun boyutu küçüldüğünde LED'in sıcaklık değerlerinin de büyük kabuklara göre biraz daha fazla arttığı gözlemlenmiştir. Lamba 1 – 3 – 10'nun boyutları birbirine çok yakındır ve bu aydınlatma elemanlarına yerleştirilen LED'lerde aynı değerler ölçülmüştür. Lamba 6 ve 8'inde ölçülen değerler birbirine oldukça yakındır. En küçük ölçülere sahip lamba 1 – 3 – 10 'da en yüksek değerler ölçülmüştür.

Tablo 7. Kullanılan LED Çalışma Sıcaklığı Ölçüm Sonuçları

Lamba numarası	Lamba görseli	Çalışmaya Başlamadan Önceki Sıcaklık (°C)	1.Saat sıcaklık (°C)	2.saat sıcaklık (°C)	3.saat sıcaklık (°C)
1		23,7 °C	24,2 °C	25,8 °C	26,0 °C
2		23,7 °C	24,1 °C	24,5 °C	24,9 °C
3		23,7 °C	24,2 °C	25,8 °C	26,0 °C

Tablo 7. (Devam) Kullanılan LED Çalışma Sıcaklığı Ölçüm Sonuçları

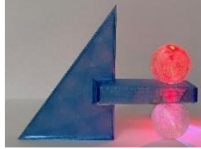
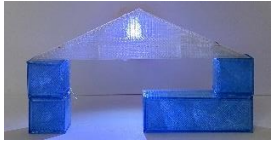
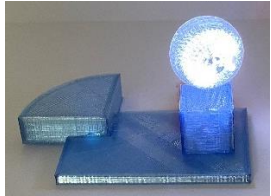
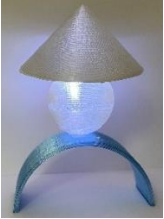
Lamba numarası	Lamba görseli	Çalışmaya Başlamadan Önceki Sıcaklık (°C)	1.Saat sıcaklık (°C)	2.saat sıcaklık (°C)	3.saat sıcaklık (°C)
4		23,7 °C	24,2 °C	24,8 °C	25,1 °C
5		23,7 °C	24,5 °C	25,2 °C	25,4 °C
6		23,6 °C	24,3 °C	24,9 °C	25,2 °C
7		23,7 °C	24,2 °C	24,8 °C	25,1 °C
8		23,7 °C	24,5 °C	25,0 °C	25,3 °C
9		23,7 °C	24,2 °C	24,8 °C	25,1 °C
10		23,7 C°	24,2 C°	25,8 C°	26,0 C°

5.3.4. LED'in Çalıştığı Ortam Sıcaklığının Ölçümü

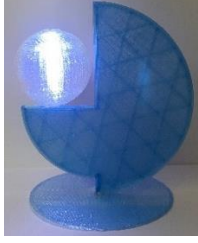
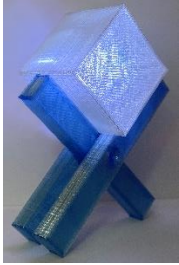
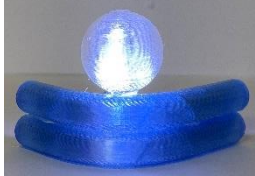
Işık kaynakları genelde kullanım süresi ile paralel olarak bulundukları ortama ısı yaymaktadır. Bu nedenle zamanla bulundukları ortamında sıcaklığını arttırabilmektedir. Bu sıcaklık kullanılan ışık kaynağının tipine, gücüne ve kullanım koşullarına bağlı olarak değişmektedir.

3 boyutlu yazıcıda üretilen aydınlatma elemanlarının iç kısımlarına yerleştirilen LED'lerin zamanla ortam sıcaklığının yükseleceği tahmin edilmiştir. Artan sıcaklığın LED'in çalışmasını engellemeyecek düzeyde olup olmadığını tespit etmek için GD-PET filamentten üretilen aydınlatma elemanları, 3 saat kesintisiz açık bırakılarak ölçümler yapılmıştır. LED çalıştırılmadan da ölçüm yapılmıştır. Kaydedilen değerler Tablo 8'de verilmiştir. LED'in çalıştığı yerdeki sıcaklık zaman içinde değişmiştir. Boyutu küçük olan aydınlatma elemanlarının ortam sıcaklığında daha fazla artış gözlemlenmiştir. Ölçümler yapılırken mekanın sıcaklığı, oda sıcaklığında (20-25°C aralığında) sabit tutulmuştur.

Tablo 8. LED'in Çalıştığı Ortam Sıcaklığı Ölçüm Sonuçları

Lamba numarası	Lamba görseli	Çalışmaya Başlamadan Önceki Sıcaklık (°C)	1.Saat sıcaklık (°C)	2.saat sıcaklık (°C)	3.saat sıcaklık (°C)
1		23,53 °C	24,73 °C	25,03°C	25,71 °C
2		23,5 °C	24,33 °C	24,73 °C	25,03 °C
3		23,53 °C	24,73 °C	25,03°C	25,71 °C
4		23,83 °C	24,0 °C	24,23 °C	24,40 °C

Tablo 8. (Devam) LED'in Çalıştığı Ortam Sıcaklığı Ölçüm Sonuçları

Lamba numarası	Lamba görseli	Çalışmaya Başlamadan Önceki Sıcaklık (°C)	1.Saat sıcaklık (°C)	2.saat sıcaklık (°C)	3.saat sıcaklık (°C)
5		23,73 °C	23,93 °C	24,23 °C	24,6 °C
6		23,73 °C	23,93 °C	24,23 °C	24,6 °C
7		23,83 °C	24,0 °C	24,23 °C	24,4 °C
8		23,53 °C	23,93 °C	24,54 °C	24,84 °C
9		23,83 °C	24,0 °C	24,23 °C	24,40 °C
10		23,53 °C	24,73 °C	25,03 °C	25,71 °C

5.3.5. Işık Seviyesi Ölçümü

LDR (Light Dependent Resistor) fotodirenç, ışığa duyarlı bir dirençtir. LDR, bir fotoiletken malzeme kullanılarak yapılan elektronik bir bileşendir. Fotodirençler, ışığın yoğunluğuna bağlı olarak dirençlerini değiştirebilen optik bir sensördür (<https://invootech.blogspot.com/2017/06/how-to-convert-ldr-dependent-resistor.html>).

LDR ile yapılan ölçümleri dorudan lx birimine çevirebilir. Çevirme işlemi için arduino kullanılmıştır. Kullanılan formül ise şu şekildedir;

$$R_L=500/\text{lux}$$

$$V_0=5*(R_L/(R_L+R))$$

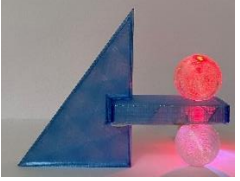
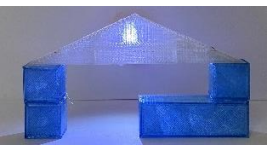
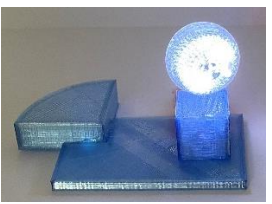
$$V_0=\text{LDR_value}*\text{ADC_value}$$

$$\text{lux}=(250/V_0)-50$$

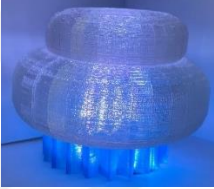
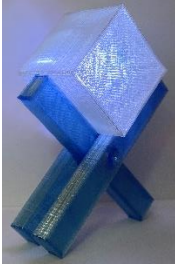
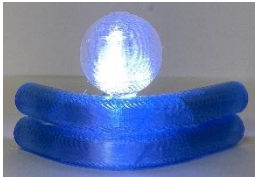
RL: LDR'nin direncidir. R: LDR'ye bağlı dirençtir. LDR_value: mikro denetleyici pimi tarafından okunan Analog değerdir. ADC_value: ADC'nin sistme_voltajı/çözünürlüğüdür. V0: Analog ölçülen voltajdır. (<https://invootech.blogspot.com/2017/06/how-to-convert-ldr-dependent-resistor.html>).

Üretilen aydınlatma elemanlarının ölçülen değerleri Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Işık Seviyesi Ölçüm Sonuçları

Lamba Numarası	Lamba görseli	LDR ile ölçülen değer	Lx'e çevrilmesi
1		300	166,66
2		325	153,84
3		343	145,77

Tablo 9. (Devam) Işıık Seviyesi Ölçüm Sonuçları

Lamba Numarası	Lamba görseli	LDR ile ölçülen değeri	Lx'e çevrilmesi
4		379	131,92
5		405	123,45
6		330	151,51
7		390	128,20
8		370	135,13
9		382	130,89
10		340	147,05

6. BULGULAR

3 boyutlu yazıcılarda kullanılması için PET su şişelerinden filament üretilmiştir. Üretim gerçekleşirken PET su şişelerinin yüzeyi pürüzsüz hale getirilmesi önemlidir. Yüzeydeki göçükler makinanın verimli çalışmasını engellemektedir. Üretilen filament 3 boyutlu yazıcı kullanılarak aydınlatma elemanları üretilmiştir. Aydınlatma elemanları üretilirken filamentin çapının 1,75 mm olarak üretilmediği noktalarda 3 boyutlu yazıcıda eritilememiştir. 3 boyutlu yazıcıda malzemenin akışında sorunlar yaşanınca yazdırılan modellerde katmanlar verimli olarak oluşturulamamış ve yazdırma işlemi durdurulmuştur. Filamentin 1,75 mm çapa sahip olmadığı noktalarda bu sorun tespit edilmiştir. Bu noktalar filament üretiminin başladığı PET su şişesini başlangıç ve son kısımlarında çapı 1,75 mm olarak üretilmemiştir. Ayrıca PET su şişesi şeritlere ayrılırken 1 cm kalınlığı sağlanamadığında üretilen PET filamentin çapında değişiklikler gözlemlenmiştir.

PET su şişelerinden üretilen filament kullanılarak 3 boyutlu yazıcıda ASTM D638-4 standardına uygun olarak ‘dogbone’ modeli baskısı alınmıştır. Dolgu yoğunluğu % 10-30-50 olarak üçer test objesi baskı alınarak hazırlanmıştır. Sadece dolgu yoğunlukları değiştirilmiştir diğer değerler sabit tutulmuştur. Üretilen test objelerinin yüzey pürüzlülüğü ve çekme testi uygulanmıştır. Yüzey pürüzlülük testinde objelerin yüzeyleri ve yan yüzeyleri ölçülmüştür. Ölçülen değerlerin ortalamaları alınmıştır. Yüzey pürüzlülük testinde en küçük değer %50 dolgu yoğunluğuyla basılan objede ölçülmüştür. Bu değerler yüzey ve yan yüzeyleri sırasıyla $Ra=33,7\mu m$ ve $Ra=1,96\mu m$ ’ dir. Yüzeyde en büyük değer %30 dolgu yoğunluğunda olan objede ölçülmüştür. Bu değer $Ra=45,9\mu m$ ’dir. Yan yüzeyde en yüksek değer ise %10 dolgu yoğunluğuna sahip olan objede $Ra=2,97\mu m$ olarak ölçülmüştür.

GD-PET filamentıyla üretilen test objelerinin çekme testi sonuçları incelenmiştir. Çekme testinde %10-30-50 dolgu yoğunluğunda test objeleri kullanılmıştır. Her dolgu yoğunluğundan üçer tane obje baskısı alınmıştır. Çekme testi sonuçlarına göre, %10 dolgu yoğunluğunda baskı alınan objelerin maksimum gerilme değerleri ortalama $9,67 N/mm^2$ olarak tespit edilmiştir. Aynı objelerin maksimum gerilme değerleri ise ortalama %2,88 olarak belirlenmiştir. %30 dolgu yoğunluğunda baskı alınan objelerin maksimum gerilme değerleri ortalama $19,46 N/mm^2$ olarak bulunmuştur. Bu objelerin maksimum gerilme değerlerinin ortalaması ise %4,30’dur. %50 dolgu yoğunluğunda baskı alınan objelerin maksimum gerilme değerleri ise ortalama $23,09 N/mm^2$ olarak saptanmıştır. Bu

objelerin maksimum gerinme değerlerinin ortalaması %4,21'dir. Test sonuçlarına göre, dolgu yoğunluğu arttıkça baskı alınan objelerin daha yüksek gerilme değerlerine dayanabileceği gözlemlenmiştir. Bu veriler, GD-PET filament kullanılarak 3 boyutlu baskıyla üretirken objelerin mekanik özelliklerinin dolgu yoğunluğuna bağlı olarak değişebileceğini ve daha yüksek dolgu yoğunluğunun daha yüksek mukavemet sağladığını göstermektedir.

Tasarlanan 10 aydınlatma elemanı 3 boyutlu yazıcıda 1/5 ölçek ile yazdırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Farklı tasarımlar ve farklı boyutlardan oluşan aydınlatma elemanlarının CURA programında ve baskı sonrasındaki ağırlıkları karşılaştırılmıştır. 3 boyutlu yazıcıda yazdırılan aydınlatma elemanlarının kütleleri CURA programında belirtilen kütlere göre daha düşüktür. Örneğin Lamba 4'te aydınlatma elemanı CURA programında 26 g ölçülürken baskı alındığında ise 24,9 g ölçülmüştür. Aydınlatma elemanın kütlelerinde 1,1g kayıp kaydedilmiştir. Lamba 7'de ise dijital ortamda 31 g ölçülen kütle 30 g'a düşmüştür. 1 gram bir kayıp gözlemlenmiştir. Lamba 2 ve 8'de ise kütlelerinde ise 0,3 g'lık bir kayıp vardır. Dijital ortamdaki ölçümler ile baskılar arasındaki bu farkların baskı sırasında nozzlenin filamenti tam akıtamadığı katmanlardan kaynaklanmaktadır.

Aydınlatma elemanlarının içerisine yerleştirilen LED'in sıcaklığı zamanla artacağı öngörülmektedir. Bunun tespit edilmesi için LED üç saat aralıksız açık bırakılarak ölçümler yapılmıştır. Aydınlatma elemanları sıcaklığı 23,7 °C olarak on aydınlatma elemanında aynı sıcaklık ölçülmüştür. Boyut özellikleri en küçük çapı 4 cm olan lamba 1-3-10 aydınlatma elemanlarında üç saatin sonunda 23,7 °C'den 26,0 °C'ye yükselmiştir. Lamba 2 üçgen prizma olan ışık kaynağına uzaklığı 3 cm olduğunda 23,7 °C'den 24,9 °C'ye yükselmiştir. Aydınlatma elemanın iç hacmi küçüldüğünde içeriye yerleştirilen LED'in sıcaklığı daha fazla artmıştır. Isınan LED bulunduğu ortamı ve kabuğunu da ısıtmaktadır.

Aydınlatma elemanlarının yüzey sıcaklıkları lambanın zaman içinde ısınması ve lambanın dış kabuğa olan uzaklığına bağlı olarak yüzey sıcaklığında değişiklikler gözlemlenmektedir. Bu çalışmada aydınlatma elemanın yüzey sıcaklığı IR termometre ile ölçülmüştür. Lamba açılmadan önce dış kabuğun sıcaklığı ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde ortam sıcaklığına yakın değerler 23,6 °C ve 24,0 °C aralığında ölçümler kaydedilmiştir. Bir saat açık bırakılan LED içinde bulunduğu dış kabuğun sıcaklığında küçüğe olsa ısıtmıştır. Üçgen ve konik biçiminde olan yan yüzeylere uzaklıkları 2 – 3

cm olan aydınlatma elemanlarında (lamba 2-7-9) sıcaklık 24,0 °C'den 24,5 °C'ye yükselmiştir. Küre şeklinde çapı 8 cm (lamba 5) olan aydınlatma elemanında bu değer 23,7 °C'den 25,13 °C'ye yükselmiştir. Ölçümler birer saat aralıklarla devam ettirildiğinde lamba 1-3-10'da 23,8 °C'den 25,3 °C'ye yükseldiği gözlemlenmiştir. En yüksek değer ölçülen bu aydınlatma elemanlarının çapı 4 cm olarak ölçülmüştür. Lamanın dış kabuğu olan uzaklığı 2 cm olarak ölçülmüştür. Lambanın dış kabuğa yaklaştıkça dış kabuğun sıcaklık değeri arttığı görülmüştür.

3 boyutlu yazıcılar ile üretilen aydınlatma elemanlarının zamanla LED'in çalıştığı ortam sıcaklığının da değişeceğinden çalışan LED'in bulunduğu ortam sıcaklık değerleri de kaydedilmiştir. Ortam sıcaklığı 23,53 °C ve 23,83 °C değerleri aralığındadır. Lamba 1-3-10'da en yüksek değerler kaydedilmiştir. 23,53 °C'den 25,71 °C ye ortam sıcaklığı yükselmiştir. Bu değerlerin ölçüldüğü aydınlatma elemanın çapı 4 cm olarak ölçülmüştür. En az ısınma ise konik ve küre şeklinde olan aydınlatma elemanında ölçülmüştür. Lamba 4-7-9'da değerler 23,83 °C'den 24,40 °C'ye yükselmiştir. Lamba 5'te çapı 8 cm olan aydınlatma elemanında da sıcaklık değeri 23,73 °C'den 24,6 °C'ye yükselmiştir.

Işık seviyesi ölçümü LDR sensörü ile ölçülmüş ve ardından bulun değer Arduino kullanılarak lx birimine çevrilmiştir. Ölçülen değerler 123,45 ile 166,66 değerleri arasında değişmektedir. En büyük değer Lamba 1'de ölçülerken en küçük değer Lamba 5'te ölçülmüştür. Masa lambaları için 150-1000 lx arasında bir ışık seviyesinde olması önerilmektedir. Masa lambalarının 1/5 ölçekte baskı alındığı göz önünde bulundurularak şu an tasarlanan ve 3 boyutlu yazıcıda GD-PET malzemesi kullanılarak baskısı alınan masa lambaları minimum masa lambası ışık seviyesinde veya değere çok yakın değerlerdir.

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

PET su şişelerinden geri dönüştürülerek filament üretimi 3 boyutlu yazıcılarda yaygın olarak kullanılan filamentlere alternatif olarak geliştirilmektedir. Bu yöntem, atık plastiklerin yeniden kullanılmasını ve sürdürülebilir bir döngü oluşturulmasını sağlamaktadır.

PET (Polietilen tereftalat), plastik şişelerin yaygın olarak kullanıldığı bir malzemedir. Bu şişeler geri dönüşüm için toplanıp üzerindeki toz ve jelatin kalıntıları temizlenerek filament üretimine hazırlanır. Hazırlanan PET su şişeleri 1 cm'lik şeritler kesilerek ısıtılan başlıktan geçirilerek filament üretimi devam etmektedir. Bu işlem PET su şişenin boyutuna göre bu işlem 1,5 – 2 saat aralığında sürmektedir.

PET su şişelerinden filament üretimi, atık plastiklerin geri dönüşümünü teşvik ederken aynı zamanda hammaddelerin tükenmesini önlemeye yardımcı olmaktadır. Ayrıca PET su şişelerinin geri dönüştürülerek filament üretiminde kullanılması çevresel etkilerini azaltarak sürdürülebilir bir üretim sürecine katkıda bulunmaktadır.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan filamentlere alternatif olarak üretilen GD-PET filament üretilmiştir. Ender 3 pro yazıcısında kullanılmak üzere 1,75 mm çapında filament üretilmiştir. Ancak PET şişeden filament üretimine başlama ve son kısmında filament çapında bozulmalar gözlemlenmiştir.

Üretilen GD-PET filament kullanılarak pürüzlülük ve çekme testleri yapmak için ASTM D638-4 standartlarına uygun olarak 'dogbone' modeli 3 boyutlu yazıcıda baskısı alınmıştır. %10-30-50 dolgu yoğunluklarında her birinden üçer tane toplamda dokuz test objesi basılmıştır. Bu test objelerine yüzey pürüzlülük ve çekme testi uygulanmıştır.

Yüzey pürüzlülük testinde farklı dolgu yoğunluklarda basılan objelerin yüzey pürüzlülükleri yüzey ve yan yüzeylerinden ölçülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde farklı değerler kaydedilmiştir. En düşük pürüzlülük değeri %50 dolgu yoğunluğuna sahip olan objelerde ölçülmüştür. En yüksek değer ise %30 dolgu yoğunluğundaki objede tespit edilmiştir. Bu farklılıkların nedenleri, 3 boyutlu yazıcılarda yazdırma işlemi sırasında mekanik etkileşimler ve kullanılan GD-PET filamentin yapısıyla ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Mekanik etkileşimler, 3 boyutlu yazıcının katmanları oluştururken malzemenin akışında yaşanan sorunlar ve filamentin çapının 1,75 mm olarak üretilemediği noktalarda eritilememesi gibi faktörlerden kaynaklanabilir. Ayrıca, GD-

PET filamentin üretim sürecindeki kalınlık ve pürüzlük gibi faktörler de pürüzlülük farklılıklarına sebep olabileceği öngörülmektedir.

Çekme testi sonuçlarına göre, farklı dolgu yoğunluklarındaki test objelerinin maksimum gerilme değerleri belirlenmiştir. Dolgu yoğunluğu arttıkça objelerin maksimum gerilme değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Yani daha yüksek dolgu yoğunluğu daha yüksek mukavemet sağlamaktadır. Dolgu yoğunluğunun artması, filament katmanlar arasında daha iyi bağlanmasını ve daha homojen bir yapı oluşturmasını sağlayabilir, buda objelerin mukavemetini arttırmaktadır.

Tasarlanan 10 aydınlatma elemanı üretilen GD-PET filament kullanılarak 3 boyutlu yazıcıda 1/5 ölçeğinde yazdırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yazdırılan aydınlatma elemanlarının CURA programında belirtilen kütlere göre daha düşüktür. Bu farklılıkların baskı sırasında nozzle filamenti tam olarak akıtamadığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Nozzle tam olarak filament akıtamaması, filamenti tam istenilen şekilde ve yoğunlukta birleştirememesi anlamına gelmektedir. Bu, tür kayıplar genellikle küçük olmakla birlikte; tasarımın karmaşıklığına, boyuta ve baskı parametrelerine bağlı olarak değişmektedir.

3 boyutlu yazıcıda baskı alınan aydınlatma elemanlarının kütlelerindeki farklar, baskı sürecindeki filament akışında meydana gelen küçük hatalardan kaynaklanmaktadır. Bu faktörü göz önünde bulundurarak, tasarımların ve baskı parametrelerinin optimize edilmedi ve GD-PET filament üretiminde filament çapında oluşan hataların oluşmaması için yeni çözümlerin üretilmesi, daha hassas ve doğru sonuçlar elde etmeye yardımcı olacaktır.

Aydınlatma elemanları içerisine yerleştirilen LED'lerin zaman içinde kendi sıcaklıkları, çalıştıkları ortamın sıcaklığını ve dış kabuklarının sıcaklık değerlerinin artacağı öngörülmektedir. Bu sıcaklık değerini tespit etmek için aydınlatma elemanı 3 saat aralıksız açık bırakılarak LED'in sıcaklığı, çalışma ortamının sıcaklığı ve dış kabuğunun sıcaklığı ölçülmüştür.

LED'in çalışmaya başlamadan önceki sıcaklığı 10 aydınlatma elemanı içinde 23,7 °C olarak ölçülmüştür. Kaydedilen sonuçlar değerlendirildiğinde aydınlatma elemanının iç hacminin küçüldüğü durumlarda, yani boyutları küçüldükçe, içerisinde bulunan LED'in sıcaklığının daha fazla artmıştır. Küçük boyutlara sahip aydınlatma elemanları

içerisindeki LED'in ısı transferini düzenlemekte daha zorlanabilir buda LED'in sıcaklığının daha fazla artmasına neden olabilmektedir.

Aydınlatma elemanlarının yüzey sıcaklığı ölçülmüştür. Kaydedilen sonuçlar değerlendirildiğinde ışık kaynağı olarak kullanılan LED'in ısınması ve dış kabuğa olan uzaklığa bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Daha küçük boyutlara sahip aydınlatma elemanları, yüzeylerine daha fazla ısı aktarımı gerçekleştirmiş buda yüzey sıcaklığının yükselmesine yol açmıştır. Ayrıca ışık kaynağının dış kabuğa olan yakınlığı da dış kabuğun sıcaklık değerini etkilemektedir. Dış kabuğa ışık kaynağı yaklaştıkça dış kabuğun sıcaklık değerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Aydınlatma elemanlarının LED'in çalışma sıcaklığından etkilenecek ortam sıcaklığını artırdığı gözlemlenmektedir. Aydınlatma elemanın boyutları, şekli ve çapı gibi faktörler, ortam sıcaklığındaki değişiklikleri etkilemektedir. Daha küçük boyutlara ve şekillere sahip aydınlatma elemanları, LED'in ısı üretimini dışarıya iyi transfer edebilir. Bundan dolayı ortam sıcaklığı yükselmektedir.

Aydınlatma elemanlarının sıcaklık yönetimi ve tasarımı önemlidir. Yapılan sıcaklık değeri ölçümleri değerlendirildiğinde bu çalışmada yazıcı boyutları dikkate alınarak tasarlanan aydınlatma elemanları 1/5 oranında küçültürek baskısı alınmıştır. Ancak küçültme, gerçek boyutlarda baskı alındığında elde edilecek sonuçlar ile farklılık gösterebilir. Bu nedenle aydınlatma elemanlarının gerçek boyutlarında baskı alınarak sıcaklık değerlerinin yeniden ölçülmesi önerilebilir. Bu şekilde tasarımların gerçek boyutlarına ve özelliklerine uygun olarak üretildiğinde, sıcaklık yönetimi ve performans değeri hakkında daha kesin sonuçlar elde edilecektir. Bu çalışmanın ölçümleri, tasarımların optimize edilmesi ve sıcaklık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi için önemli bir adım olacaktır.

Bu tez çalışması, aydınlatma elemanlarının sıcaklık yönetimi ve tasarımı üzerinde yapılan bir araştırma olması nedeniyle gelecekte yapılacak çalışmalara veri tabanı oluşturma özelliğine sahiptir. Çalışmada PET su şişelerinden filament üretimi ve kullanımıyla ilgili bilgiler sağlanmaktadır. GD-PET filament üretiminin sürdürülebilir bir alternatif olduğunu ve atık plastiklerin yeniden kullanılmasına katkı sağladığını göstermektedir. Bu da çevresel etkileri azaltarak daha sürdürülebilir bir üretim sürecine katkıda bulunmaktadır. GD-PET filamentin özelliklerini, performansını, filament üretim sürecindeki faktörleri, filamentin kalınlığını ve pürüzlülüğünü etkileyen etmenler ve daha

iyi sonuçlar elde etmek için potansiyel iyileştirmeler daha detaylı olarak araştırılabilir. Ayrıca, GD-PET filamentin farklı uygulama alanları ve kullanım koşullarında performansının değerlendirilmesi de önemli bir araştırma alanı olabilir. Elde edilen test sonuçları ve diğer testler, aydınlatma elemanlarının performansı, sıcaklık davranışı gibi konularda veri sağlamaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalar için kaynak teşkil eden bu çalışma ile elde edilen veriler, farklı tasarımların ve parametrelerin performansını karşılaştırmak, iyileştirme stratejileri geliştirmek ve aydınlatma elemanlarının sıcaklık yönetimini optimize etmek için kullanılabilir. Sonuç olarak bu çalışma, GD-PET filamentin gelecekteki kullanım alanlarının ve sürdürülebilir üretim süreçlerinin geliştirilmesine ön basamak oluşturmaktadır.



KAYNAKÇA

- Alberts, I. L., Barratt, D. S. & Ray, A. K. (2010). Hollow Cathode Effect in Cold Cathode Fluorescent Lamps: A Review. *Journal of Display Technology*, 6(2), 52-59.
- Andrady, A. L. & Neal, M. A. (2009). Applications and Societal Benefits of Plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1977-1984.
- Awaja, F. & Pavel, D. (2005). Recycling of PET. *European Polymer Journal*, 41(7), 1453-1477.
- Balletti, C., Ballarin, M. & Guerra, F. (2017). 3D Printing: State of the Art and Future Perspectives. *Journal of Cultural Heritage*, 26, 172-182.
- Bartolome, L., Imran, M., Cho, B. G., Al-Masry, W. A. & Kim, D. H. (2012). Recent Developments in the Chemical Recycling of PET. *Material Recycling-trends and Perspectives*, 406, 576-596.
- Bikas H, Lianos A.K. & Stavropoulos P (2019) A Design Framework for Additive Manufacturing. *Int J Adv Manuf Technol* 103,3769–3783.
- Bouwknegt, A. (1982). Compact Fluorescent Lamps. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 11(4), 204-212.
- Bulanda, K., Oleksy, M., Oliwa, R., Budzik, G. & Gontarz, M. (2020). Biodegradable Polymer Composites Based on Polylactide Used in Selected 3D Technologies. *Polimery*, 65(7- 8), 557-562.
- Cai, R., Cobben, J. F. G., Myrzik, J. M. A., Blom, J. H. & Kling, W. L. (2009). Flicker Responses of Different Lamp Types. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 3(9), 816-824.
- Carew, R. M. & Errickson, D. (2020). An Overview of 3D Printing in Forensic Science: The Tangible Third-Dimension. *Journal of Forensic Sciences*, 65(5), 1752-1760.
- Cengiz, Ö. ve Aktepe, Ş. (Ed.). (2021). Üç Boyutlu (3D) Yazıcıların Proses Parametrelerinin Atık Termoplastik Malzemelerin Geri Dönüşüm Verimliliğine Etkileri Üzerine Bir Değerlendirme. M. Altın, (Ed.). *Mühendislik Alanında Uluslararası Araştırmalar II* (ss.137-148) Konya: Eğitim Yayınevi.
- Cengiz, Ö. ve Aktepe, Ş. (2022). Üç Boyutlu (3D) Yazıcılarda Sürdürülebilir Malzeme Olarak Ahşap ve Proses Atıklarının Kullanım Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 38, 143-150.
- Cuttle, C. (2008). *Lighting by Design*. Routledge.
- Das, A. K., Agar, D. A., Rudolfsson, M. & Larsson, S. H. (2021). A Review on Wood Powders in 3D Printing: Processes, Properties and Potential Applications. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 241-255.
- Das, P., Mhapsekar, K., Chowdhury, S., Samant, R. & Anand, S. (2017). Selection of Build Orientation for Optimal Support Structures and Minimum Part Errors in Additive Manufacturing. *Computer-Aided Design and Applications*, 14(sup1), 1-13.
- Dave, H. K. & Patel, S. T. (2021). Introduction to Fused Deposition Modeling Based 3D Printing Process. *Fused Deposition Modeling Based 3D Printing*, 1-21.
- Descottes, H. & Ramos, C. E. (2013). *Architectural Lighting: Designing With Light and Space*. B. Casbon, (Ed.). Princeton Architectural Press.
- Dey, A. & Yodo, N. (2019). A Systematic Survey of FDM Process Parameter Optimization and Their Influence on Part Characteristics. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 3(3), 64.
- Di Angelo, L., Di Stefano, P. & Guardiani, E. (2020). Search for the Optimal Build Direction in Additive Manufacturing Technologies: A Review. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 4(3), 71.

- Ditchburn, R. W. (2013). *Light*. Courier Corporation.
- Elizabeth, T. (1996). MIT Research-Brain Processing of Visual Information. Retrieved December 19.
- Elvidge, C. D., Keith, D. M., Tuttle, B. T. & Baugh, K. E. (2010). Spectral Identification of Lighting Type and Character. *Sensors*, 10(4), 3961-3988.
- Evans, J. M. & Rothwell, H. L. (2000). *Diagnostic Technique for Impurities in Low Pressure Neon Lamps* (No. 2000-01-0807). SAE Technical Paper.
- Fitoz, İ. (2002). *Mekan Tasarımında Belirleyici Bir Etken Olarak “Yapay Işık” İçin Aydınlatma Tasarımı Modeli*, (Yayımlanmamış Doktora Tezi), MSGS Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B., Gibson, I., Rosen, D. & Stucker, B. (2015). Extrusion-Based Systems. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*, 147-173.
- Gokhare, V. G., Raut, D. N. & Shinde, D. K. (2017). A Review Paper on 3D-Printing Aspects and Various Processes Used in the 3D-Printing. *Int. J. Eng. Res. Technol.*, 6(06), 953-958.
- Goldstein, E. B. & Cacciamani, L. (2021). *Sensation and Perception*. Cengage Learning.
- Graziosi, S., Scurati, G. W., Parmose, R., Lecchi, A., Bordegoni, M. & Ferrise, F. (2021). Bioinspired Computational Design: a Case Study on a 3D-Printed Lamp Based on the *Physalis Alkekengi*. *Proceedings of the Design Society*, 1, 561-570.
- Griffey, J. (2014). The Types of 3-D Printing. *Library Technology Reports*, 50(5), 8-12.
- Hoonhout, J., Jumpertz, L. & Mason, J. (2011). The Future of Interaction with Light and Lighting Dynamics. *Interaction Techniques for Future Lighting Systems*, 14.
- Hopewell, J., Dvorak, R. & Kosior, E. (2009). Plastics Recycling: Challenges and Opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115-2126.
- Horvath, J., & Horvath, J. (2014). A Brief History of 3D Printing. *Mastering 3D Printing*, 3-10.
- <http://behindthebijoux.blogspot.com/2013/02/v-corans-broadway-flesh-1962-dan-flavin.html> (Erişim Tarihi:21.08.2022)
- <http://masadergi.com/bagimsiz-ve-uyumlu-sanat-theo-van-doesburg/>.(Erişim Tarihi:21.08.2022)
- <http://www.atelieralexandre.com/illuminations.html>. (Erişim Tarihi: 05.01.2023).
- <http://www.kinglumi.com/product-1199.html>. (Erişim Tarihi: 05.01.2023)
- <https://cults3d.com/en/3d-model/home/artichoke-lamp-shade>.(Erişim Tarihi:21.11.2022)
- <https://cults3d.com/en/3d-model/home/lampe-fully-3d-printed-designer-lamp>.(Erişim Tarihi:21.11.2022)
- <https://cults3d.com/en/3d-model/home/m-o-paris-lamp-lefabshop>.(Erişim Tarihi:21.11.2022)
- <https://cults3d.com/en/3d-model/home/smf-01>.(Erişim Tarihi:21.11.2022).
- <https://decombo.com/modern-mimari-tarihi-ozellikleri-ornekleri/>.(Erişim Tarihi:21.11.2022)
- <https://invootech.blogspot.com/2017/06/how-to-convert-ldr-dependent-resistor.html> (Erişim Tarihi: 03.02.2023)
- <https://jojotastic.com/2020/10/12/modern-chandelier/>.(Erişim Tarihi: 01.05.2023).
- <https://mimarobot.com/haber/wiki/de-stijl/>. (Erişim Tarihi: 30.12.2022).
- <https://muhammedpektas.wordpress.com/2017/12/20/arduino-ve-ldr-ile-isik-seviyesi-olcumu/>(Erişim Tarihi: 01.05.2023).
- <https://pedas.com.tr/urunler/endustriyel-aydinlatma#0>. (Erişim Tarihi:28.04.2023).
- https://russalesov.com/product_details/19198216.html. (Erişim Tarihi:28.04.2023).

[https://shop.mitutoyo.eu/web/mitutoyo/tr/mitutoyo/1292249267209/Surftest%20SJ-310%20%5Bmm%5D/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/178-570-11D/index.xhtml;jsessionid=41C37D2D25A6B18778D6BD8848E23BD8](https://shop.mitutoyo.eu/web/mitutoyo/tr/mitutoyo/1292249267209/Surftest%20SJ-310%20%5Bmm%5D/$catalogue/mitutoyoData/PR/178-570-11D/index.xhtml;jsessionid=41C37D2D25A6B18778D6BD8848E23BD8). (Erişim Tarihi:28.04.2023).

<https://www.amazon.com.tr/Fakir-Molly-Dijital-Mutfak-Tart%C4%B1s%C4%B1/dp/B07BNXD1YY?th=1> (Erişim Tarihi:13.03.2023).

https://www.archiproducts.com/en/products/linea-light-group/led-recessed-wall-washer-vos-ww_549027. (Erişim Tarihi:10.03.2023).

<https://www.arthipo.com/artblog/unlu-ressamlarin-hayat-hikayeleri/ressam-piet-mondrian-hayati-sanat-gorusu-eserleri.html>(Erişim Tarihi:21.08.2022)

<https://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/67-filamentlerin-detayli-karsilastirilmesi>. (Erişim Tarihi: 10.11.2022).

<https://www.artsy.net/artwork/simone-leigh-sentinel>(Erişim Tarihi:18.08.2022)

<https://www.aydinlatmadunyam.com/urun/4x18-watt-cift-parabolik-armatur-siva-ustu>

<https://www.behance.net/gallery/14035607/De-Stijl-Timeline>. (Erişim Tarihi: 05.01.2023).

<https://www.guggenheim.org/artwork/artist/dan-flavin>. (Erişim Tarihi:18.08.2022)

<https://www.hepsiburada.com/comedones-temassiz-dijital-ates-olcer-pm-HB000010EPK9> (Erişim Tarihi:13.03.2023).

https://www.instagram.com/reel/CkniimfguWZ/?utm_source=ig_web_copy_link&igshid=MzRIODBiNWFlZA==. (Erişim Tarihi: 07.11.2022).

https://www.ks-lys.dk/lamps/bulbs/230-volt/compact-fluorescent-lamps---242_243_621_en.html. (Erişim Tarihi:10.03.2023).

<https://www.lightforms.com/products/wash-graze/lightplane-linear-wall-washer-recessed-trim/>. (Erişim Tarihi:10.03.2023).

<https://www.louisjobst.com/#/04-u-lamp/>. (Erişim Tarihi: 05.01.2023).

<https://www.malls-70.pw/ProductDetail.aspx?iid=48161994&pr=41.88>. (Erişim Tarihi: 28.04.2023).

<https://www.mlfineart.com/artists/246-alexander-archipenko/works/844-alexander-archipenko-seated-figure-conceived-1913-1954-cast-1970/> (Erişim Tarihi:18.08.2022)

<https://www.myminfactory.com/object/3d-print-twisted-lamp-shade-16895>.(Erişim Tarihi: 25.04.2023)

https://www.nga.gov/features/slideshows/dan-flavin-a-retrospective.html#slide_5 (Erişim Tarihi:18.08.2022)

https://www.pollen.am/standard_thermoplastics_general_introduction/. (Erişim Tarihi: 26.01.2023).

<https://www.robotzade.com/urun/creality-ender-3-pro-3d-yazici>. (Erişim Tarihi: 26.01.2023).

<https://www.shopping-02.pw/ProductDetail.aspx?iid=34760000&pr=40.88>. (Erişim Tarihi: 30.12.2022).

<https://www.simonandschuster.com/books/Dan-Flavin-Corners-Barriers-and-Corridors/Dan-Flavin/9781941701188>. (Erişim Tarihi:21.08.2022)

<https://www.soft-geometry.com/> (Erişim Tarihi: 28.04.2023).

<https://www.teknolojikogretmenler.com/arduino-ile-ntc-kullanarak-sicaklik-olcumu/> (Erişim Tarihi:20.02.2023).

<https://www.theartstory.org/movement/de-stijl/>(Erişim Tarihi:18.08.2022).

<https://www.thingiverse.com/make:933349>. (Erişim Tarihi: 23.12.2022).

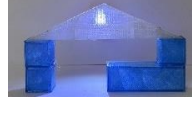
<https://www.turkuazelektrik.com/urun-kategori/ray-tipi-led-spot-armaturler.html>. (Erişim Tarihi:13.03.2023).

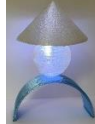
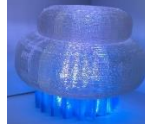
- Iliopoulos, A. & O'connell, J. (2022). 3D Printed Lamps & Shades: 30 Dazzling Designs. <https://all3dp.com/2/3d-printed-lamps-shades-lights/>. (Erişim Tarihi: 20.11.2022).
- ISO/TC 261 (2015) ISO/ASTM 52900:2015. Additive manufacturing—general principles— Part 1: terminology
- Jandyal, A., Chaturvedi, I., Wazir, I., Raina, A. & Haq, M. I. U. (2022). 3D Printing—A Review of Processes, Materials and Applications in Industry 4.0. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 33-42.
- Jung, J., Cho, K., Kim, S. & Kim, C. (2018). Exploring the Effects of Contextual Factors on Home Lighting Experience, pp 5-21.
- Kamran, M. & Saxena, A. (2016). A Comprehensive Study on 3D Printing Technology. *MIT Int J Mech Eng*, 6(2), 63-69.
- Kariz, M., Sernek, M. & Kuzman, M. K. (2016). Use of Wood Powder and Adhesive as a Mixture for 3D Printing. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74, 123-126.
- Karlen, M., Spangler, C. & Benya, J. R. (2017). Lighting Design Basics. John Wiley & Sons.
- Khan, T. Q., Bodrogi, P., Vinh, Q. T. & Winkler, H. (Eds.). (2015). *LED Lighting: Technology and Perception*. John Wiley & Sons.
- Lam W. M.C. (1977). *Perception and Lighting as Formatives for Architecture*. https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/livros/perception_and_lighting_as_formgivers_for_architecture.pdf. (Erişim Tarihi: 10.06.2022).
- Laurence, A. (2021). Analysis of the Use of Waste Material in 3D Printing. (Unpublished PhD Thesis). California Polytechnic State University, San Luis Obispo.
- Lee, D., Miyoshi, T., Takaya, Y. & Ha, T. (2006). 3D Microfabrication of Photosensitive Resin Reinforced With Ceramic Nanoparticles Using LCD Microstereolithography. *J. Laser Micro/Nanoeng*, 1(2), 142-148.
- MacIsaac, D., Kanner, G. & Anderson, G. (1999). Basic Physics of the Incandescent Lamp (Lightbulb). *The Physics Teacher*, 37(9), 520-525.
- Madhavan Nampoothiri, K., Nair, N.R. & John, R.P. (2010). An Overview of the Recent Developments in Polylactide (PLA) Research. *Bioresource Technology*, 101(22), 8493-8501.
- Masood, S. H. (2014). Advances in Fused Deposition Modeling. *Comprehensive Materials Processing*, 69-91.
- Mikula, K., Skrzypczak, D., Izydorczyk, G., Warchoń, J., Moustakas, K., Chojnacka, K. & Witek-Krowiak, A. (2021). 3D Printing Filament as a Second Life of Waste Plastics—A Review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 12321-12333.
- MS, E. & Ej, M. (1992). Human Factors Engineering Design. *National Defense Industry Press*.
- Pattison, P. M., Hansen, M. & Tsao, J. Y. (2018). LED Lighting Efficacy: Status and Directions. *Comptes Rendus Physique*, 19(3), 134-145.
- Pimputkar, S., Speck, J. S., DenBaars, S. P. & Nakamura, S. (2009). Prospects for LED Lighting. *Nature Photonics*, 3(4), 180-182.
- Plastics-The Facts 2015: An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data (2015). Erişim adresi <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/10/2015-Plastics-the-facts.pdf>. (Erişim Tarihi: 20.11.2022).
- Popescu, D., Zapciu, A., Amza, C., Baci, F., & Marinescu, R. (2018). FDM Process Parameters Influence Over the Mechanical Properties of Polymer Specimens: A Review. *Polymer Testing*, 69, 157-166.

- Prabhakar, M.M., Saravanan, A.K., Lenin, A.H., Mayandi, K. & Ramalingam, P.S. (2021). A Short Review on 3D Printing Methods, Process Parameters and Materials. *Materialstoday: Proceedings*, 45, 6108-6114.
- Qin, Y., Qi, Q., Scott, P. J. & Jiang, X. (2019). Status, Comparison, and Future of the Representations of Additive Manufacturing Data. *Computer-Aided Design*, 111, 44-64.
- Shojaei, B., Abtahi, M. & Najafi, M. (2020). Chemical Recycling of PET: A Stepping-Stone Toward Sustainability. *Polymers for Advanced Technologies*, 31(12), 2912-2938.
- Skorski, M.R., Esenther, J.M., Ahmed, Z., Miller, A.E. & Hartings, M.R. (2016). The Chemical, Mechanical and Physical Properties of 3D Printed Materials Composed of TiO₂-ABS Nanocomposites. *Science and Technology of Advanced Materials*, 17(1), 89-97.
- Sliney, D. H. (2002). How Light Reaches the Eye and its Components. *International Journal of Toxicology*, 21(6), 501-509.
- Spoerk, M., Gonzalez-Gutierrez, J., Sapkota, J., Schuschnigg, S. & Holzer, C. (2018). Effect of the Printing Bed Temperature on the Adhesion of Parts Produced by Fused Filament Fabrication. *Plastics, Rubber and Composites*, 47(1), 17-24.
- Starr, T. L., Gornet, T. J. & Usher, J. S. (2011). The Effect of Process Conditions on Mechanical Properties of Laser-sintered Nylon. *Rapid Prototyping Journal*, 17(6), 418-423.
- Stull, R. (2011). Wet-bulb Temperature from Relative Humidity and Air Temperature. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50(11), 2267-2269.
- Taşdelen, M. A., Bingöl, M., Yilmaz, Y. ve Kahramaner, H. (2019, April). Geri Dönüştürülmüş Termoplastiklerin Üç Boyutlu Yazıcılardaki Performansları, *4th International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry*, ss.182-191.
- thingiverse.com/thing:4800105. (Erişim Tarihi: 22.11.2022).
- Turgay, O. ve Altuncu, D. (2011). İç Mekânda Kullanılan Yapay Aydınlatmanın Kullanıcı Açısından Etkileri. *Çankaya University Journal of Science and Engineering*, 8(1), 167-181.
- Turner, B. N., Strong, R. & Gold, S. A. (2014). A Review of Melt Extrusion Additive Manufacturing Processes: I. Process Design and Modeling, *Rapid Prototyping Journal*, 20(3), 192-204.
- van Bommel, W. & van Bommel, W. (2019). Hazardous Effects. *Interior Lighting: Fundamentals, Technology and Application*, 233-260.
- Veitch, J. A. (1997). Revisiting the Performance and Mood Effects of Information About Lighting and Fluorescent Lamp Type. *Journal of Environmental Psychology*, 17(3), 253-262.
- Yang, Y., Luo, R. M. & Huang, W. J. (2018). Assessing glare, Part 3: Glare Sources Having Different Colours. *Lighting Research & Technology*, 50(4), 596-615.
- Zhang, J. (2018, March). Development of a Non-contact Infrared Thermometer. In *2017 International Conference Advanced Engineering and Technology Research (AETR 2017)* (pp. 308-312). Atlantis Press.

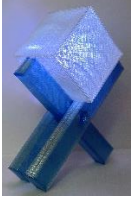
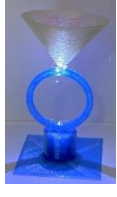
EKLER

EK 1: Araştırmada Test Edilen Aydınlatma Elemanlarının Verileri

			
Kullanılan Malzeme	GD-PET	GD-PET	GD-PET
Kullanılan Toplam Malzeme Uzunluğu (m)	5,83 m	3,23 m	3,64 m
Kullanılan Toplam Malzeme Miktarı (g)	16g	11g	13g
Baskı kütle Ölçümü (g)	15,1g	10,7g	12,3g
Baskı süresi (dk)	132 dk.	87 dk.	85 dk.
YÜZEY SICAKLIK ÖLÇÜMÜ			
Işık Kaynağının Kabuğa Olan Uzaklığı (cm)	2 cm	3 cm	2 cm
Çalışmaya Başlamadan Önceki Sıcaklık (°C)	23,8 °C	24,0 °C	23,8 °C
1.Saat sıcaklı (°C)	24,4 °C	24,5 °C	24,4 °C
2.saat sıcaklık (°C)	24,7 °C	24,9 °C	24,7 °C
3.saat sıcaklık (°C)	25,3 °C	25,1 °C	25,3 °C
LED'İN ÇALIŞMA SICAKLIĞI ÖLÇÜMÜ			
Çalışmaya Başlamadan Önceki Sıcaklık (°C)	23,7 °C	23,7 °C	23,7 °C
1.Saat sıcaklı (°C)	24,2 °C	24,1 °C	24,2 °C
2.saat sıcaklık (°C)	25,8 °C	24,5 °C	25,8 °C
3.saat sıcaklık (°C)	26,0 °C	24,9 °C	26,0 °C
ÇALIŞTIĞI ORTAM SICAKLIĞI ÖLÇÜMÜ			
Çalışmaya Başlamadan Önceki Sıcaklık (°C)	23,53 °C	23,5 °C	23,53 °C
1.Saat sıcaklı (°C)	24,73 °C	24,33 °C	24,73 °C
2.saat sıcaklık (°C)	25,03 °C	24,73 °C	25,03 °C
3.saat sıcaklık (°C)	25,71 °C	25,03 °C	25,71 °C

			
Kullanılan Malzeme	GD-PET	GD-PET	GD-PET
Kullanılan Toplam Malzeme Uzunluğu (m)	9,69 m	6,46 m	6,46 m
Kullanılan Toplam Malzeme Miktarı (g)	26 g	26 g	26 g
Baskı kütle Ölçümü (g)	24,9 g	16,4 g	24,5 g
Baskı süresi (dk)	201 dk.	136 dk.	229 dk.
YÜZEY SICAKLIK ÖLÇÜMÜ			
Işık Kaynağının Kabuğa Olan Uzaklığı (cm)	3 cm	4 cm	5 cm
Çalışmaya Başlamadan Önceki Sıcaklık (°C)	24,0 °C	23,7 °C	23,6 °C
1.Saat sıcaklı (°C)	24,5 °C	24,1 °C	24,3 °C
2.saat sıcaklık (°C)	24,9 °C	24,5 °C	24,7 °C
3.saat sıcaklık (°C)	25,1 °C	25,13 °C	25,2 °C
LED'İN ÇALIŞMA SICAKLIĞI ÖLÇÜMÜ			
Çalışmaya Başlamadan Önceki Sıcaklık (°C)	23,7 °C	23,7 °C	23,6 °C
1.Saat sıcaklı (°C)	24,2 °C	24,5 °C	24,3 °C
2.saat sıcaklık (°C)	24,8 °C	25,2 °C	24,9 °C
3.saat sıcaklık (°C)	25,1 °C	25,4 °C	25,2 °C
ÇALIŞTIĞI ORTAM SICAKLIĞI ÖLÇÜMÜ			
Çalışmaya Başlamadan Önceki Sıcaklık (°C)	23,83 °C	23,73 °C	23,53 °C
1.Saat sıcaklı (°C)	24,0 °C	23,93 °C	23,83 °C
2.saat sıcaklık (°C)	24,23 °C	24,23 °C	24,2 °C
3.saat sıcaklık (°C)	24,40 °C	24,6 °C	24,4 °C

EK 1 (devam): Araştırmada Test Edilen Aydınlatma Elemanlarının Verileri

				
Kullanılan Malzeme	GD-PET	GD-PET	GD-PET	GD-PET
Kullanılan Toplam Malzeme Uzunluğu (m)	12,02 m	6,47 m	3,08 m	3,54 m
Kullanılan Toplam Malzeme Miktarı (g)	31 g	18 g	8 g	10 g
Baskı kütle Ölçümü (g)	30 g	17.7g	7,6 g	9,5 g
Baskı süresi (dk)	254 dk.	145 dk.	76 dk.	88 dk.
YÜZEY SICAKLIK ÖLÇÜMÜ				
Işık Kaynağının Kabuğa Olan Uzaklığı (cm)	3 cm	3,5 cm	3 cm	2 cm
Çalışmaya Başlamadan Önceki Sıcaklık (°C)	24,0 °C	23,7 °C	24,0 °C	23,8 °C
1.Saat sıcaklığı (°C)	24,5 °C	24,3 °C	24,5 °C	24,4 °C
2.saat sıcaklık (°C)	24,9 °C	24,7 °C	24,9 °C	24,7 °C
3.saat sıcaklık (°C)	25,1 °C	25,1 °C	25,1 °C	25,3 °C
LED'İN ÇALIŞMA SICAKLIĞI ÖLÇÜMÜ				
Çalışmaya Başlamadan Önceki Sıcaklık (°C)	23,7 °C	23,7 °C	23,7 °C	23,7 °C
1.Saat sıcaklığı (°C)	24,2 °C	24,5 °C	24,2 °C	24,2 °C
2.saat sıcaklık (°C)	24,8 °C	25,0 °C	24,8 °C	25,8 °C
3.saat sıcaklık (°C)	25,1 °C	25,3 °C	25,1 °C	26,0 °C
ÇALIŞTIĞI ORTAM SICAKLIĞI ÖLÇÜMÜ				
Çalışmaya Başlamadan Önceki Sıcaklık (°C)	23,83 °C	23,53 °C	23,83 °C	23,53 °C
1.Saat sıcaklığı (°C)	24,0 °C	23,93 °C	24,0 °C	24,73 °C
2.saat sıcaklık (°C)	24,23 °C	24,54 °C	24,23 °C	25,03 °C
3.saat sıcaklık (°C)	24,4 °C	24,84 °C	24,40 °C	25,71 °C

EK 2: Sertlik Test Sonuçları

	Kullanılan malzeme	Dolgu yoğunluğu (%)	Sertlik değeri (HD)	Açıklamalar
1	GD-PET	10	50,50	Shore D tipi shoremetreler yani durometrelerde, penetrasyon gövdesi 30 derecelik bir koni ile numune yüzeyine 50 Newton değerinde basınç uygular. Polimer malzemeler grubunda yumuşak malzemeler için belirlenen ölçüm değerlerinde gerçekleştirilen testte, numunenin yazdırma yönüne dik olan alt ve üst yüzeylerinden ölçüm alınmıştır. Testin doğruluk değerleri için aritmetik ortalama alınmış ve her bir numune grubu için sırasıyla A, B ve C olarak tabloda belirtilmiştir. Standart sapma ± 0.5 olarak hesaplanmıştır. Tabloda sertlik testi sonuçları verilmiştir. Sonuçlara göre, en yüksek sertlik değeri olan 58,50 HD, en yüksek dolgu oranına sahip numunelerde (%50) gözlenmiştir. Shore D durometre skalasına göre sertlik ölçüm değeri PET malzemeler için 85-95 HD aralığındadır. Bu bağlamda sertlik testi sonuçlarının, atık PET numunelerin üç boyutlu yazıcılarda kullanımı için kabul edilebilir ve endüstriyel üretime uygulanabilir düzeyde olduğunu göstermiştir.
2	GD-PET	10	44,50	
3	GD-PET	10	32,00	
A	GD-PET	10	42,50	
4	GD-PET	30	48,00	
5	GD-PET	30	54,50	
6	GD-PET	30	46,50	
B	GD-PET	30	49,50	
7	GD-PET	50	57,00	
8	GD-PET	50	59,50	
9	GD-PET	50	58,00	
C	GD-PET	50	58,50	