



5 EKSEN 3 BOYUTLU YAZICI TASARIMI VE UYGULAMASI

Deniz ALTUNKAYNAK

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA**

**5 EKSEN 3 BOYUTLU YAZICI TASARIMI
VE UYGULAMASI**

Deniz ALTUNKAYNAK

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA**

**KARABÜK
Ocak 2020**

Deniz ALTUNKAYNAK tarafından hazırlanan “5 EKSEN 3 BOYUTLU YAZICI TASARIMI VE UYGULAMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA

Tez Danışmanı, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Burhan DUMAN

Tez Danışmanı, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 24/01/2020

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA (OTÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Murat AYDIN (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Cem ÇATALBAŞ (OTÜ)



KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Deniz ALTUNKAYNAK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

5 EKSEN 3 BOYUTLU YAZICI TASARIMI VE UYGULAMASI

Deniz ALTUNKAYNAK

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA

Dr. Öğr. Üyesi Burhan DUMAN

Ocak 2020, 67 sayfa

Bu çalışmada, 5 eksen 3B yazıcının tasarımı ve prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. Prototip üretilen 3B yazıcıda geleneksel Kartezyen tip hareket eksenleri (X, Y ve Z) ile yazıcı tablasının dönüş hareketini sağlayan (A ve C) eksenler ilave edilerek 5 eksenli 3B yazıcı elde edilmiştir. 5 eksen hareketleri için Arduino Atmega2560 işlemci kullanılarak X, Y ve Z eksen motorlarının, destek gereken yerlerde ise Arduino Nano işlemci kullanılarak A ve C eksen motorlarının kontrolü sağlanmıştır. Arduino Nano işlemci için C++ dilinde yazılan kodlar ile yazdırma işlemi sırasında bilgisayar ve Arduino Atmega2560 işlemci arasında iletişim kurulması sağlanmıştır. İşlemciler arası geçiş ise Python dilinde yazılan kod ile gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, 5 eksen 3B yazıcı ile başarılı yazdırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Geleneksel 3B yazıcı ile kıyaslandığında, destek malzemesinin 5 eksen 3B yazıcıda

kullanılmamasından dolayı zamandan tasarruf ve daha az hasarlı bölgelere sahip ürün elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Eklemeli imalat, hızlı prototipleme, 3B yazıcı, 5 eksen, destek malzeme.

Bilim Kodu : 91438

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

5 AXIS 3D DESIGN AND APPLICATION

Deniz ALTUNKAYNAK

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Industrial Design Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA

Dr. Öğr. Üyesi Burhan DUMAN

January 2020, 67 pages

In this study, 5-axis 3D printer was obtained by adding Cartesian-type motion axis (X, Y and Z) and axes that provide the rotational movement of the printer table (A and C). Arduino atmega2560 controlled the movement of the three main axes (X, Y, and Z), and the Arduino Nano controlled the rotation axes of the printer table (A and C). The data connection between the computer and A/C axes for the Arduino Nano, the codes are written in C++ software were used during the printing process. The transition between microprocessors was achieved using written codes in Python software. As a result, the successful printing experiments were achieved in 5 axis 3D printer. When the prototype printer compared with the traditional printer, it is seen that the time-saving of the printing process and less damaged areas on the surface were obtained because the support material is not used in 5 axis 3D printer.

Key Word : Additive manufacturing, rapid prototyping, 3D printer, 5 axis,
support material.

Science Code : 91438

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, desteğini esirgemeyen, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA ve Dr. Öğr. Üyesi Burhan DUMAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi'nden Dr. Öğr. Üyesi Murat AYDIN ve Ostim Teknik Üniversitesi'nden Dr. Öğr. Üyesi Cem ÇATALBAŞ'a tez sürecinde yaptıkları teknik bilgi ve düzenleme konularındaki katkılarından dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Çok değerli okul yöneticilerime, Bilişim Teknolojileri Öğretmeni Yunus ALSAÇ'a, Endüstriyel Tasarımcı Kürşat ALEV'e, Endüstriyel Tasarım Mühendisi Ecem ÖZBEK'e ve Elektronik Mühendisliği öğrencisi Burak KESKİN'e ve Makine Mühendisi Durmuş KOCAMAN'a bana verdikleri desteklerden dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Sevgili aileme, maddi manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. DİJİTAL ÜRETİM.....	1
1.2. DİJİTAL ENDÜSTRİ.....	2
1.3. HIZLI PROTOTİPLEME	4
1.4. AMAÇ	6
BÖLÜM 2	7
LİTERATÜR TARAMASI.....	7
2.1. 3B YAZDIRMA DİLİMLEME YÖNTEMLERİ	7
2.2. 5 EKSEN 3B YAZDIRMA.....	9
BÖLÜM 3	17
3B YAZICILAR	17
3.1. 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ	17
3.1.1. FDM (Fused Deposition Modeling) Teknolojisi	17
3.1.2. SLS (Selective Laser Sintering) Teknolojisi	18
3.1.3. SLA (Stereolithografi).....	18

	<u>Sayfa</u>
3.1.4. Polyjet Teknolojisi (PJ)	19
3.1.5. Tabakalı Yapıştırılmalı Parça İmalatı (LOM) Teknolojisi	20
3.1.6. Bağlayıcı Püskürtme Tekniği (Binder Jet)	21
3.2. ÜÇ BOYUTLU YAZICILARDA ÜRETİM SÜRECİ.....	21
3.2.1. Modelleme	21
3.2.2. Dilimleme	22
3.2.3. Yazdırma	22
3.2.4. Yazdırma Sonrası İşlemler	23
3.2.5. Yazılım	23
3.3. 3B YAZICILARDA KULLANILAN MALZEMELER	25
3.3.1. ABS (Akrilonitril Butadin Stiren).....	25
3.3.2. PLA (Polilaktik Asit)	25
3.3.2. Naylon	26
3.3.3. Diğer Malzemeler	26
3.4. 4B YAZDIRMA.....	27
3.5. ENDÜSTRİYEL TİP 3B YAZICILAR.....	28
BÖLÜM 4	29
5 EKSEN 3B YAZICI TASARIMI VE UYGULAMASI	29
4.1. 5 EKSEN 3B YAZICI MALİYET TABLOSU	29
4.2. 5 EKSEN 3B YAZICI MEKANİK TASARIM.....	30
4.2.1. 5 Eksen 3B Yazıcı Mekanik Elemanları	31
BÖLÜM 5	35
KONTROL VE YAZILIM.....	35
5.1. 5 EKSEN 3B YAZICI KONTROL	35
5.1.1. 5 Eksen 3B Yazıcı Elektronik Elemanları.....	36
5.2. 5 EKSEN 3B YAZICI YAZILIMI.....	41
5.2.1. Arduino Nano Yazılımı	41
5.2.2. Matematiksel Model.....	41
5.2.3. İşlemciler Arası İletişim Kuran Yazılım	44

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6	45
DENEYSEL SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	45
6.1. 3B YAZICIDA ÜRÜN YAZDIRMA	45
6.1.1. 3 Eksen 3B Yazıcıda Ürün Yazdırma	45
6.1.2. 5 Eksen 3B Yazıcıda Ürün Yazdırma	47
6.2. TARTIŞMA	48
BÖLÜM 7	51
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	51
7.1. SONUÇ.....	51
7.2. ÖNERİLER.....	52
KAYNAKLAR.....	53
EK AÇIKLAMALAR A. ARDUINO NANOYA YAZILAN KOD	58
EK AÇIKLAMALAR B. PYHTON DİLİNDE YAZILAN İLETİŞİM KODU	61
EK AÇIKLAMALAR C. YAZDIRILAN ÜRÜNÜN G-KODLARI.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Endüstri devrimleri tarihsel akış ve temel teknolojileri.....	2
Şekil 1.2. Dijital endüstrinin teknolojik alanları.....	3
Şekil 2.1. 3B yazdırma dilimleme.....	7
Şekil 2.2. 5 eksen yazdırma dilimleme vektörel gösterim.....	9
Şekil 2.3. 5 eksen 3B yazdırma dilimleme.....	10
Şekil 2.4. Serbest biçimli yüzeylerin küçük yüzeyli parçalara ayrılması.....	11
Şekil 2.5. 5 eksen delta tip 3B yazıcı	11
Şekil 2.6. 5 eksen grafiksel gösterim	11
Şekil 2.7. Sıpiral yazdırılan ürün	11
Şekil 2.8. Hibrit 5 eksen 3B Yazıcı (FDM+SLA)	12
Şekil 2.9. Kuka robotik platform.	12
Şekil 2.10. 5 eksen 3B yazıcı ve yazdırılan ürün.....	13
Şekil 2.11. Mitsubishi 5 eksen 3B yazıcı	13
Şekil 2.12. Delta 6 eksen 3B yazıcı.	14
Şekil 2.13. Başlık hareketli 5 eksen 3B yazdırma	14
Şekil 2.14. 5 eksen hibrit 3B yazdırma.	15
Şekil 2.15. Vshaper hibrit 5 eksen yazdırma.....	15
Şekil 2.16. 5 eksen 3B yazıcı model 175X Hage	16
Şekil 3.1. FDM 3B yazıcı.....	18
Şekil 3.2. SLS 3B yazıcı.....	18
Şekil 3.3. SLA 3B yazıcı.....	19
Şekil 3.4. Polyjet teknolojisi.....	20
Şekil 3.5. LOM teknolojisi.....	20
Şekil 3.6. Binder jet teknolojisi.....	21
Şekil 3.7. Ultimaker Cura arayüzü	24
Şekil 3.8. 4B yazdırmanın zaman ile ilişkisi	27
Şekil 3.9. 4B yazdırmanda zaman ile ürün değişimi	27
Şekil 4.1. 5 eksen 3B yazıcının döner tabla modeli	30
Şekil 4.2. 5 eksen 3B yazıcı modeli	31

Sayfa

Şekil 4.3. 5 eksen 3B yazıcı çelik sactan imal edilen gövde	32
Şekil 4.4. 5 eksen 3B yazıcının Z eksen yönü	32
Şekil 4.5. Döner tabla eksen hareketleri.....	33
Şekil 4.6. Döner tabla montajı	33
Şekil 4.7. Motor hareket aktarımı	33
Şekil 4.8. Montajı yapılan gövde ve eksen yönleri	34
Şekil 5.1. 5 eksen 3B yazıcının kontrol ünitesi.....	35
Şekil 5.2. Arduino Atmega2560	37
Şekil 5.3. Arduino Nano	37
Şekil 5.4. Ramps 1.4 shield.	37
Şekil 5.5. A4988 motor sürücüsü.....	38
Şekil 5.6. Termistör.....	38
Şekil 5.7. Güç kaynağı 12V/30A	39
Şekil 5.8. Endstop.	39
Şekil 5.9. Arduino Atmega2560 bağlantı şeması	40
Şekil 5.10. Nema 17 Arduino Nano bağlantı şeması.....	41
Şekil 5.11. Z ve Y eksenleri yer değiştirme grafiksel gösterim.	42
Şekil 5.12. 5 eksen yazdırma işleminde merkez değişimi.	43
Şekil 5.13. 5 eksen yazdırma aşamaları	43
Şekil 5.13. Ekstrüder sıcaklık komutları	44
Şekil 5.14. Yer değiştirme komutları.....	44
Şekil 6.1. Yazdırılan ürünün katı modeli	45
Şekil 6.2. Yazdırılan ürünün dilimleme işlemi	46
Şekil 6.3. 3 eksen 3B yazıcıda yazdırma süreci.....	46
Şekil 6.4. 5 eksen 3B yazıcı X,Y ve Z eksenlerinde çalışırken konumu.....	47
Şekil 6.5. 5 eksen 3B yazıcıda dönme hareketini sağlayan Python komutu	47
Şekil 6.6. Ürün yazdırma sonunda 5 eksen 3B yazıcı konumu	47
Şekil 6.7. 3 eksen ve 5 eksen yazdırılan ürünler.....	49
Şekil EK A.1. Arduino Nanoya yazılan kod.....	60
Şekil EK B.1. Python dilinde yazılan iletişim kodu.....	63
Şekil EK C.1. Yazdırılan ürünün g-kodları	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. STL dosyasını etkileyebilecek unsurlar.....	23
Çizelge 3.2. Filament türleri ve temel özellikleri	26
Çizelge 3.3. 3B endüstriyel yazıcılar.....	28
Çizelge 4.1. 5 eksen 3B yazıcının maliyet tablosu	29
Çizelge 4.2. 5 eksen 3B yazıcının genel özellikleri.....	30
Çizelge 4.3. 5 eksen 3B yazıcının mekanik elemanları	31

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

mm	: Milimetre
°	: Derece
C	: Santigrat
UV	: Ultraviole
sn	: Saniye

KISALTMALAR

Eİ	: Eklemeli İmalat
EİY	: Eklemeli İmalat Yöntemleri
FDM	: Fused Deposition Modelling (Eriyik Biriktirme Yöntemi)
SLS	: Selective Laser Sintering (Seçici Lazer Sinterleme)
SLA	: Stereolithography (Sterolografi)
DMLS	: Direct Selective Laser Sintering (Direkt Lazer Sinterleme)
EBM	: Electron Beam Melting (Elektron Işımlı Ergitme)
LOM	: Laminated Object Manufacturing (Lamine Nesne İmalatı)
SGC	: Solid Ground Curing (Katı Zemin Kürleme)
BDT	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CNC	: Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)
3B	: 3 Boyut
4B	: 4 Boyut
PLA	: Polilaktasit
ABS	: Acrylonitrile Butadiene Styrene (Akrilonitril Bütadien Stiren)
MIT	: Massachusetts Institute of Technology (Massachusetts Teknoloji Enstitüsü)
E	: Ekstrüder
HCN	: Hidrosiyanik asit

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. DİJİTAL ÜRETİM

Küresel ekonomide ki büyüme ile birlikte üretim yöntemleri ve süreçleri; sanayinin ve müşterilerin taleplerini karşılamak için sürekli dönüşüm halindedir. Üretim sürecinin seçiminde ve planlamasında en iyi kararlar yeni yöntem ve fikirlerin derinlemesine değerlendirilmesi ile verilmektedir [1].

Üretim yöntemlerindeki yenilikler, yeni yeteneklere göre şekillendirilir. Örneğin, ürünün geliştirilmesinde daha geniş Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) uygulamaları, tasarımda minimum parça sayısını ve toplam maliyeti hedefleyen yeni araçları ortaya çıkarmaktadır. Yeni kavramlar ve yaklaşımlar, ürün tasarımı, veri organizasyonu, süreç planlama, arz ve talebin doğası bakımından imalat sistemlerinde yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesine imkan tanımaktadır [1].

Bu nedenle, üretim tesislerinde yeni teknolojileri göz ardı etmemek rekabetçiliğin sürdürülebilir olması açısından önem taşımaktadır. Henüz emekleme aşamasında olmasına rağmen internetin ticareti değiştirdiği gibi, üretimi değiştirebilecek Dijital Üretim teknolojisinin bu kapsamda değerlendirilmesi gerekmektedir [2].

Dijital Üretim Teknolojisi yeterince gelişip, mevcut üretim tesisleriyle yarışabilir hale geldiğinde tüm tedarik zinciri organizasyonlarında köklü değişimler beklenmektedir [2].

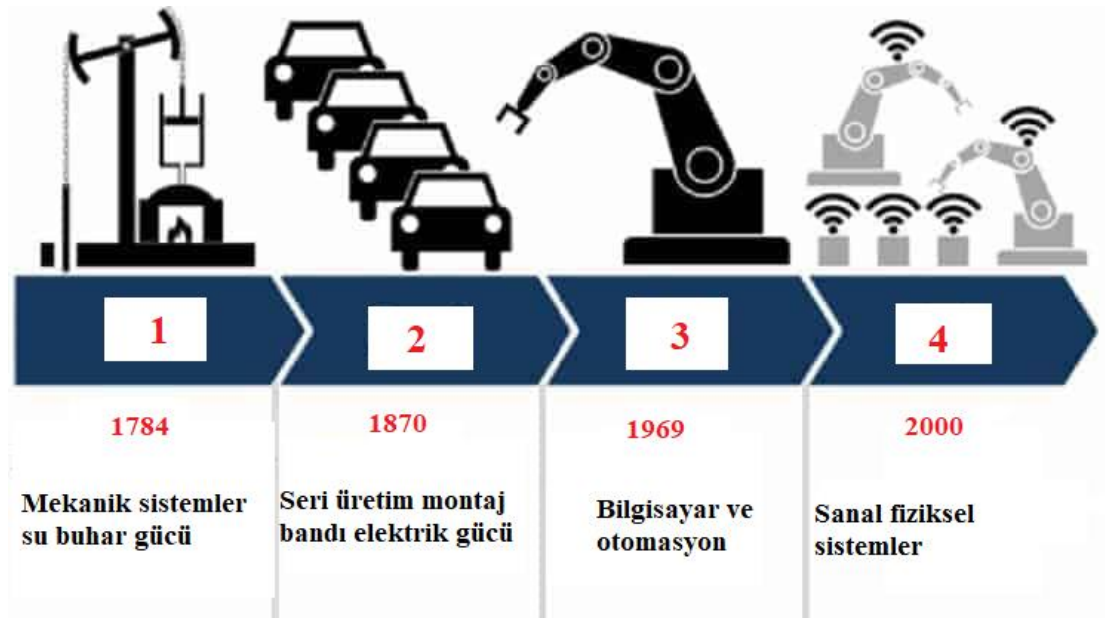
Şimdilik daha çok üniversitelerde, araştırma ve tasarım departmanlarında uygulanmakta olan Dijital Üretim Teknolojilerinin orta vadede üretim felsefesinde köklü değişimlere sebep olması beklenmektedir [2].

1.2. DİJİTAL ENDÜSTRİ

Dijital endüstri; üretimle doğrudan ya da dolaylı olarak ilişkili olan bütün birimlerin birbiri ile ortak çalışmasını yönetmekte, dijital verilerin yazılım ve bilişim teknolojilerinin birbiri ile entegre olarak çalışmasını öngörmektedir [3].

Tarihsel sürece bakıldığında, buhar gücünün mekanik sistemlerde kullanılması ile birlikte başlayan endüstri devrimleri, farklı teknolojilerin öncülüğünde farklı dönemlerde üretim sistemlerinin dönüşümünü sağlamaktadır [3].

Dijital Endüstri yada Endüstri 4.0 olarak adlandırabileceğimiz sürecin tarihsel dönüm noktaları ve öncü teknolojileri Şekil 1.1’de gösterilmektedir [4].



Şekil 1.1. Endüstri devrimleri tarihsel akış ve teknolojileri [4].

Dijital endüstrinin ayırt edici unsurları; hız, derinlik ve sistem etkisi olarak sıralanabilir [5].

Hız: Gün geçtçe yeni bir teknolojik gelişmeye şahit olunmakta, yeni teknolojik gelişmeler, yeni teknolojilerin önünü açmaktadır [5].

Derinlik: Hızlı gelişme sadece üretim yapısını değil iş ve toplumsal hayatın her alanında ve bireylerin yaşantısında köklü değişikliklere yol açmaktadır [5].

Sistem Etkisi: Yeni dönem, şirketlerin, sektörlerin aynı zamanda ülkelerin sistemlerini değiştirmekte ve sistemlerin bütünsel dönüşümünü içermektedir [5].

Dijital Endüstriyi oluşturan teknolojik alanlar Şekil 1.2’de gösterildiği gibi birbirleri ile etkileşim halindedir. Bu etkileşimin temelinde internet teknolojileri yatmakta olup, yeni anlayışta tüketiciyi üretimin bir parçası haline getirmektedir [6].



Şekil 1.2. Dijital endüstrinin teknolojik alanları [6].

1.3. HIZLI PROTOTİPLEME

Hızlı prototipleme, BDT dosyalarından fiziksel model üretmeye yarayan yöntem ve teknolojilere verilen genel tanımlamadır. Tasarım hatalarının üretim aşamasından önce tespitine imkan sağlayan hızlı prototipleme aynı zamanda ürünün en kısa sürede son kullanıcıya ulaşmasını sağlamaktadır [7].

Hızlı prototipleme araçlarından olan 3B yazdırma yönteminin çalışma prensibi, BDT yazılımları ile hazırlanan geometrinin, bilgisayar kontrollü bir tezgahta, birbiri üzerine katmanların yığılması prensibine dayanmaktadır. Bu yöntem ile üretim yapan cihazlar “3 Boyutlu (3B) yazıcı” olarak adlandırılmaktadır [7].

3B dijital modelin belirli aralıklarda bir düzlem ile kesişiminden kesit alanların elde edilmesi işlemi “dilimleme”, olarak tanımlanmaktadır. Elde edilen alanlar için işlemin hangi hareketler ile yapılacağını belirlemek için de takım yolu oluşturulmaktadır. Hesaplanan takım yollarına göre 3B yazıcı katmanları yığmak suretiyle ürün imalatını gerçekleştirmektedir [8].

Eklemeli İmalat Yöntemleri (EİY)’nin bir dalı olan 3B yazdırma teknolojisi, üretim felsefesinin geleceğini şekillendiren önemli bir unsurdur. 3B yazıcılar, tüketiciyi üretimin bir parçası haline getirerek üretim felsefesinin dönüşmesine katkı sağlamaktadır [1].

Yöntemin temel amacı, geleneksel imalat yöntemleri ile üretilemeyecek karmaşık geometri modellerin üretilmesi ve böylece üretimde sınırlılığın ortadan kaldırılmasıdır [9].

EİY geleneksel yöntemler ile kıyaslandığında, ürün tasarım ve üretim döngüsünü kısaltarak üretim maliyetini önemli oranda azaltmaktadır. Eklemeli imalat teknolojileri havacılık, mühendislik uygulamaları, medikal, mimari, eğitim gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [9].

3B yazdırma teknolojileri, üretimde kullanılan malzeme ve üretim şekline göre üç ana grup altında toplanabilir. Bunlar; sıvı malzemenin lazer ile kürlenmesi, toz malzemenin sinterlenmesi, katı malzemenin eritilerek yığılması ile ürün üretilmesi şeklindedir. Bu teknolojilerin başlıcaları: Stereolitografi (Stereolithography-SLA), Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering-SLS) ve Eriyik Yığıma Yöntemi (Fused Deposition Modeling- FDM) olarak sayılmaktadır [10].

3B yazdırma teknolojisi, ilk çıkış yılları olan 1980'lerden bu yana hızlı bir gelişme göstermiştir. Ürün doğrudan dijital tasarım modelinden ardışık olarak katman tabanlı malzeme birikimi ile üretilmektedir. Blather tarafından üretilen, toz yatağı füzyon tipi lazer sinterlemesi ilk olarak 1979'da üretilmiştir. Charles Hull, 1986'da stereolitografi (SLA) yazıcısını üretmiştir. Bu ürün 3D Systems adı altında Eklemeli İmalat (Eİ)'nin ilk ticarileştirilmiş ürünü olmuştur. 1989'da MIT'den bir grup tarafından FDM yazıcı üretilerek patenti alınmıştır. 2009'da patent süresi sona erdikten sonra, tüketiciler tarafından en çok kullanılan Eİ yöntemi FDM olmuştur [1].

Esnek polimerlerden yüksek dayanımlı metallere kadar farklı geometriye parçalar EİY ile üretilmektedir. En yaygın olarak kullanılan Eİ tekniği, termoplastiklerin düşük sıcaklıkta şekillendirebilirliğine dayanan, katı/yarı katı malzemenin ürünü oluşturmak için biriktirildiği Eriyik Yığıma Yöntemidir. FDM, metaller için kullanılan SLS/DMLS gibi diğer EİY'lerine göre daha ekonomiktir. Fakat FDM'nin ağırlıklı olarak prototip üretilmesiyle sınırlı olduğu bilinmektedir. EİY geliştirilmeye devam ederken, EİY'ni seri üretimde kullanma yöntemleri üzerine halen çalışmalar devam etmektedir [1].

Geleneksel üretim yöntemlerinde, üretim sırasında atık hammadde oranı çok yüksektir. 3B yazdırma yöntemlerinin önemi burada ortaya çıkmaktadır. 3B yazdırma işlemlerinde model sıfırdan oluşturulduğu için, kalıp ve talaşlı imalat ile üretimdeki gibi malzeme sarfiyatı oluşmamaktadır [7].

3B yazdırma teknolojisinde dijital model oluşturulduğu için kalıplama veya talaşlı imalat gibi ek işlemler kullanılmamakta, bu da malzeme sarfiyatını en aza

indirgemektedir. Aynı zamanda karmaşık geometrili parçaların tek seferde 3B yazdırma teknolojisi ile üretilmesi, maliyetleri önemli ölçüde azaltmaktadır [9].

3B yazıcıların, yazdırılan ürün boyutlarının küçük olması, pürüzlü yüzeyler ve ürün çekme/basma mukavemetlerinin düşük olması dezavantajlarıdır. Bu dezavantajların oluşmasında önemli etkenlerden biri merdiven basamağı etkisidir. Ürünlerin kalitesini ve üretim zamanını olumsuz etkileyen bir diğer faktörde ek destek malzemesinin kullanılmasıdır [8].

Geleneksel 3B yazdırma teknolojisinde, malzemeyi Z eksenini yönünde katmanlar halinde yığarak nesnelere ve parçalar oluşturulmaktadır. Bununla birlikte, yazdırma işleminde kademeli ve karmaşık parçalar için destek malzemesi kullanılması gerekmektedir. Kullanılan destek malzemeleri maliyete ve yazdırma zamanına etki etmektedir [8].

1.4. AMAÇ

3B yazıcılarda yaygın olarak karşılaşılan merdiven basamağı etkisini ortadan kaldırmak için 5 eksen 3B yazıcı tasarımı amaçlanmıştır. Geleneksel 3B yazıcıya döner tabla eklenerek iki adet eksen hareketi elde edilmektedir.

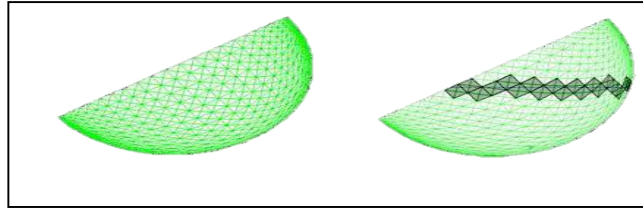
Çalışmada, destek malzemesi kullanılmadığından daha kısa sürede yazdırma işlemini gerçekleştirmek, daha hasarsız yüzeylere sahip ürünler elde etmek amaçlanmaktadır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

2.1. 3B YAZDIRMA DİLİMLEME YÖNTEMLERİ

3B yazdırmada STL dosya formatı kullanılmaktadır. STL dosya, geometrik modeli tanımlayan üçgen yüzeylerden oluşmaktadır. Dilimleme olarak adlandırılan 3B dataların 2B boyutlu verilere dönüştürülme süresinde meydana gelen hataların giderilmesi amacı ile farklı yöntemler geliştirilmiştir [8]. Şekil 2.1’de 3B yazdırmada dilimlemeye örnek gösterilmektedir.



Şekil 2.1. 3B yazdırma dilimleme [1].

Anglada vd., önerilen çalışmada yönlü uyarlamalı yüzey üçgenleme algoritması önermişlerdir. Algoritma ön tanımlı tolerans ile başlangıç yüzeylerini yaklaştıran üçgenleme gerçekleştirmektedir. Bu yaklaştırma işleminin kenarlarda çatlak olmadan (kapalı polihedron kapalı bir başlangıç yüzey olması durumunda elde edilmektedir) uygun olduğu bildirilmiştir. Algoritmada lokal yüzey eğrilerinin yönlü davranışlarının gözününde tutulmasıyla daha hassas sınırlara dayandığı ve sonuçta az sayıda üçgen ile üçgenleme yapıldığı ifade edilmiştir. Kesilen yamalar ve kıvrımlı yüzeylerde daha iyi üçgenleme elde edildiği gösterilmiştir [11].

Wang vd., STL üçgenlemeden yeniden örgü için güçlü ve etkili olarak belirttikleri bir prosedür geliştirmişlerdir. Uygulama sonunda merdiven basamağı etkisi nispeten azaldığını göstermişlerdir [12].

Szilvasi ve Matyasi., yüzey temsilindeki kusurları tarayan ve STL dosyadan polihedral veri yapısı inşası ile yaklaşık yüzey analizi yapan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonunda karmaşık geometriye sahip ürün yazdırma, yüzeylerdeki hasar noktalarının azaldığını belirtmişlerdir [13].

Lai ve Lai., bir üçgen model içinde var olabilecek hatalı yüzeyleri algılayan ve ortadan kaldıran bir yaklaşım önermişlerdir. Oluşturulan algoritma ile bozulmaların, problemlili köşelerin, iç kesişmelerin, tamamlanmamış bağlantıların ve tutarsız düzlem normallerinin algılanabildiğini tüm bu hataların otomatik olarak ortadan kaldırılabilirdiğini göstermişlerdir [14].

Marchandise vd., BDT dosyalarında, radyal taban fonksiyonları ile yeniden üçgenlerle örme ve örgü tamiri için özel yaklaşım sunan bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada önerilen algoritmanın boşluklar, terslenen normaller, üst üste binmeler ve T-birleşme gibi ciddi topolojik ve geometrik hataların tamirinde uygun sonuç verdiğini örneklerle sunmuşlardır [15].

Bi vd., çalışmalarında ada şeklindeki boşlukları otomatik olarak onaran otomatik bir algoritma geliştirmişlerdir. Algoritmanın doğru ve kararlı şekilde çalıştığını deneysel olarak göstermişlerdir [16].

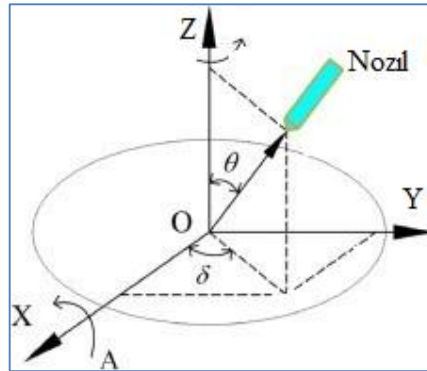
Liepa., üçgenleştirilmiş örgüdeki boşlukların doldurulması üzerine çalışmıştır. Çalışmada, yapısal olmayan üçgenleştirilmiş örgüdeki boşlukların doldurulması için bir metod tanımlanmıştır. Sınırı belirlenmiş üçgen yüzey örgüsünün yamanması sonucunda çevreleyen üçgen yüzey örgüsünün yoğunluğu şeklinde interpolasyon yapılmıştır. Önerilen metod, sınır belirleme içeren bir boşluk doldurma işlemi, boşluğun üçgenlenmesi, hassaslaştırma ve kaplama adımlarını içermektedir. Önerilen metod merdiven basamağı etkisini azaltmayı başarmıştır [17].

Hu vd., çalışmalarında yama bölgesinde yama işleminden sonra oluşan üçgenler, tekrar farklı bir üçgenleştirme ile iyileştirme yapılarak elde edilmiş ve çift yönlü filtre uygulanmıştır. Çalışma sonunda yama bölgelerinde meydana gelen dilimleme hatalarını ortadan kaldırmayı başarmışlardır [18].

Nooruddin ve Turk'un, hacimsel alanda morfolojik işlemler ile topolojik yüzey basitleştirme tekniği hacimsel çalışmaların başlangıcı olarak gösterilmektedir. Tekniğin avantajı kontrollü topoloji değişikliği, daha da basitleştirmeye imkan tanınması, girdi olarak rastgele çokgenler kümesini kabul etmesi, çıktı olarak çoklu üçgen yüzey örgüsü üretmesi ve renk gibi yüzey özelliklerini korumasıdır. Giriş çokgen modellerinin hacimlere dönüştürülmesinin yararı çok sayıda bozulmuş çokgenlerin onarılabilmesidir. [19].

2.2. 5 EKSEN 3B YAZDIRMA

5 eksen yazdırma yönteminde ek eksenler kutupsal koordinat sistemi ile döndürmekte böylece destek malzemesi kullanmadan ürün yazdırılabilmekte ve merdiven basamağı etkisi nispeten ortadan kalkmaktadır [20]. Şekil 2.2'de 5 eksen 3B yazdırma yöntemi vektörel olarak gösterilmektedir.



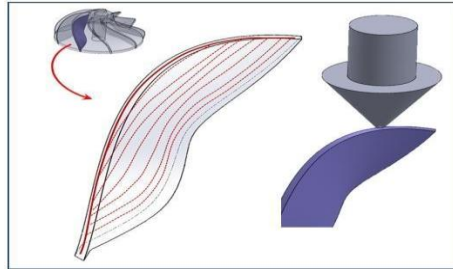
Şekil 2.2. 5 eksen dilimleme vektörel gösterimi [20].

3B yazdırma teknolojisinde, yazıcı başlığı hareketli veya hareketsiz olabilen bir tabla üzerinde parçayı oluşturmaktadır. Yazıcı başlığı filament olarak isimlendirilen ham maddeyi yazdırma başlığına katı/yarı katı hale getirerek katmanlar halinde yığmaktadır. 5 eksenli 3B yazdırmada ise; ürün aşağıdan yukarı doğru tek bir

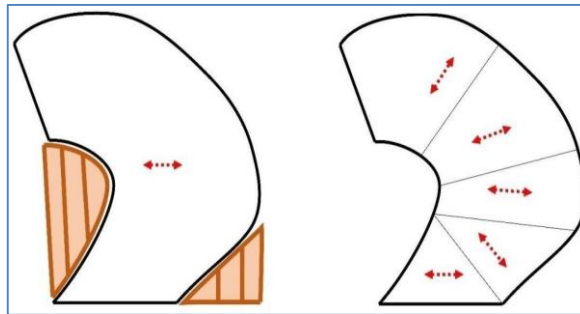
hareketle değil, 5 farklı yönde ilerleyen bir mekanizmadan meydana gelmektedir. Böylece yazdırma işleminde ince detaylar elde edilebildiği gibi kavisli katmanlarda yapılabilmektedir [20].

5 eksenli 3B yazdırma işleminin temel amacı, yazdırma işlemi sırasında, ürün pozisyonu ve yazdırma yönünü anlık olarak değiştirebilmektir. Bu sayede karmaşık parçaların yazdırılması işleminde destek elemanları kullanılmayacağı gibi, daha karmaşık hasarsız yüzeyler elde edilebilmektedir [20].

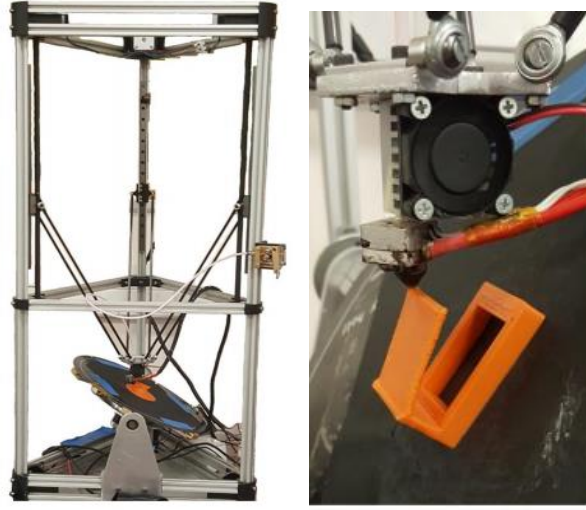
İsa., Şekil 2.3’de gösterilen parça gibi genellikle destek gerektiren parçaları herhangi bir destek olmadan imal etmenin mümkün olacağını göstermiştir. Bu durumda üretilecek parçanın, düzeltme düzlemlerinin her birinin bir yapı yönü görevi gördüğü daha küçük parçalara ayrılması gerektiğini belirterek delta tipi 5 eksen yazıcının tasarımını gerçekleştirmiştir [1]. Şekil 2.4’de çok eksenli yazıcılar için önerilen modelin grafik gösterimi verilmektedir. Şekil 2.5’de ise tasarım ve uygulaması yapılan 5 eksen 3B yazıcı gösterilmektedir.



Şekil 2.3. 5 eksen 3B yazdırma dilimleme [1].

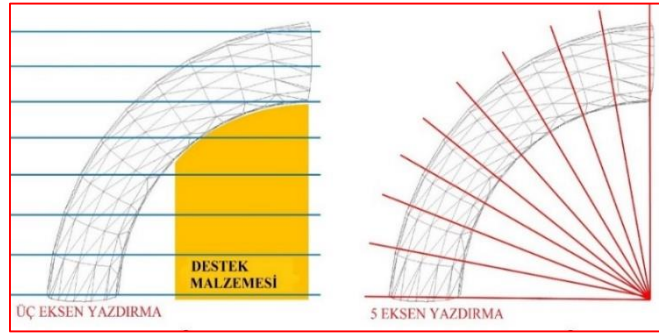


Şekil 2.4. Serbest biçimli yüzeylerin küçük yüzeyli parçalara ayrılması [1].

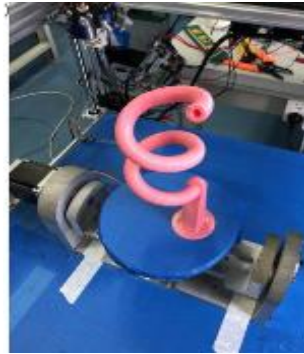


Şekil 2.5. 5 eksen delta tip 3B yazıcı [1].

Wang vd., 5 eksenli yazdırmayı gerçekleştirmek için ürün geometrisine göre değişen bir algoritma geliştirmişlerdir. Destek gerekli kısımlar yazdırılırken, destek malzemesi kullanmadan yazdırma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Şekil 2.6'da önerdikleri modelin grafiksel gösterimi yer almaktadır. Şekil 2.7'de spiral yazdırılan ürün gösterilmiştir. [20].

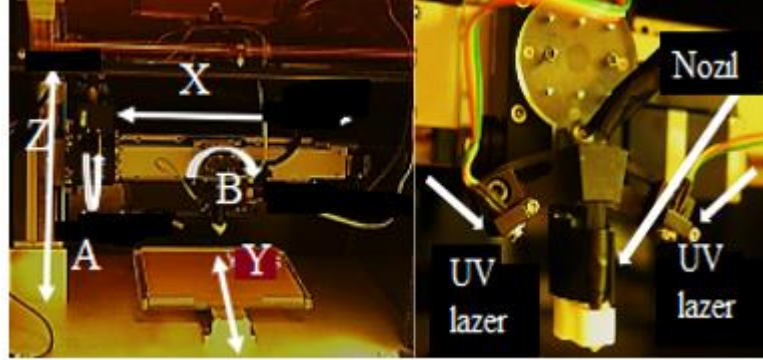


Şekil 2.6. 5 eksen grafiksel gösterim [20].



Şekil 2.7. Spiral yazdırılan ürün [20].

Asif vd., FDM ve SLA teknolojilerini birleştirerek 5 eksen 3B yazıcı tasarımı yapmışlardır. Çalışmada FDM ve SLA teknolojilerinin sınırlılıklarını hibrit bir sistem ile ortadan kaldırmayı amaçlamışlardır. Fotopolimer ekstrüzyonu yazdırma kafasını A ve B eksenleri olarak ek iki eksen ile sağlanmaktadır. Şekil 2.8’de geliştirdikleri hibrit yazıcı gösterilmektedir. Çalışma sonunda reçinenin viskozite ayarının belirli bir aralıkta bulunması gerektiğini göstermişlerdir [21].



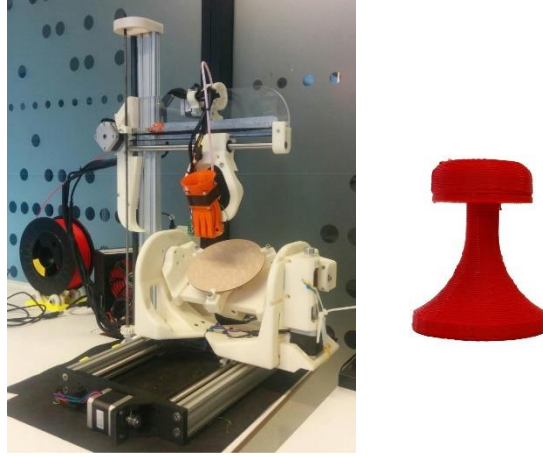
Şekil 2.8. Hibrit 5 eksen 3B Yazıcı (FDM+SLA) [21].

Keating vd., 3B yazdırma sürecinin esnekliğini arttırmak ve kavisli parça basmak için çok fonksiyonlu bir robotik platform tasarlamışlardır. Tasarlanan platform karışık geometride ki parçaları yazdırılabildiği gibi, merdiven basamağı etkisini de ortadan kaldırmaktadır. Kuka ismini verdikleri robot ile çalışmanın prototip üretimini gerçekleştirmişlerdir. Şekil 2.9’da Kuka isimli robotik platform gösterilmektedir [22].



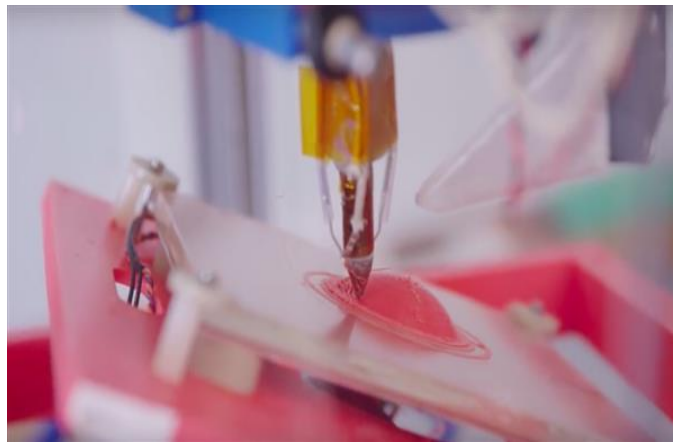
Şekil 2.9. Kuka robotik platform [22].

Grutle., daha iyi yüzey kalitesi ve destek malzemesi gerektirmeden üretim elde etmek için 5 eksenli 3B yazıcı tasarlamış ve üretimini gerçekleştirmiştir. Tasarlanan bir üründe istenilen sonuca ulaşırken, karmaşık geometri parçalarda başarılı yazdırma gerçekleştirilememiştir. Çalışma sonunda 5 eksenli dilimleyiciye ihtiyaç olduğunu vurgulamıştır. Şekil 2.10'da çalışmanın sonunda prototip yazıcı ve 5 eksen yazdırılan ürün gösterilmektedir [23].



Şekil 2.10. 5 eksen 3B yazıcı ve yazdırılan ürün [23].

Mitsubishi Electric Research Laboratuvarları'nda, Şekil 2.11'de gösterilen yazıcı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Açılabilir olarak hareket eden bir tablada ürün yazdırılabilmektedir. Hareketli tabla 60° ve 30° açılarda yazdırma işlemini gerçekleştirmektedir. 5 eksen yazdırma yapılırken naylon, PLA, ABS malzemeleri ile yazdırma yapılmıştır [24].



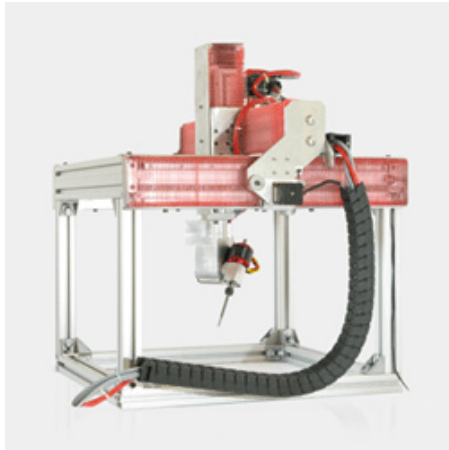
Şekil 2.11. Mitsubishi 5 eksen 3B yazıcı [24].

Tolar ve Herrman., X, Y ve Z eksenine ek olarak 3 eksende dönebilen yazdırma alanını tasarlamışlardır. Aynı anda yazıcının başlığını ve tablayı hareket ettiren yazılım geliştirerek, 5 eksen yazıcılarda olduğu gibi destek malzemesi olmadan daha hassas üretim yapan 6 eksen 3B yazıcı tasarımı ve prototip üretimini gerçekleştirmişlerdir. Şekil 2.12’de 6 eksen 3B yazıcı gösterilmiştir [25].



Şekil 2.12. Delta 6 eksen 3B yazıcı [25].

Şekil 2.13’de uygulanan tasarımlarda yazıcının yazdırma başlığına verilen A ve B eksen hareketleri, 5 eksen 3 boyutlu yazdırmayı sağlamaktadır [26].



Şekil 2.13. Başlık hareketli 5 eksen 3B yazdırma [26].

Şekil 2.14’de hibrit bir sistem gösterilmiştir. Japonya’da Enomoto firması tarafından üretilen cihaz, 5 eksen 3B yazdırmada CNC ve 3B yazıcı teknolojilerini

birleştirilerek üretim sağlamaktadır. Böylece çekme/basma mukavemeti yüksek, hasarsız yüzeylere sahip ürünler yazdırılmaktadır [27].



Şekil 2.14. 5 eksen hibrit 3B yazdırma [27].

Şekil 2.15 ve Şekil 2.16’da endüstriyel tip 5 eksen 3B yazıcılar gösterilmektedir. Her türlü polimeri endüstriyel amaçlı yazdırabilen 5 eksen 3B yazıcıların üretim yeri Polonya ve Avusturya’dır. 5 eksen 3B yazıcılarda A ve C eksenleri tablanın döndürülmesi ile sağlanmaktadır [28,29].



Teknoloji	FDM
Malzeme	PLA,ABS,naylon ve diğer polimerler
Yazdırma Alanı	300*300*300
Üretici Ülke	Polonya

Şekil 2.15. Vshaper hibrit 5 eksen yazdırma [28].



Teknoloji	FDM
Malzeme	PLA,ABS,naylon ve diğ er polimerler
Yazdırma Alanı	500*500*450
Üretici Ülke	Avusturya

Şekil 2.16. 5 eksen 3B yazıcı model 175X Hage [29].

BÖLÜM 3

3B YAZICILAR

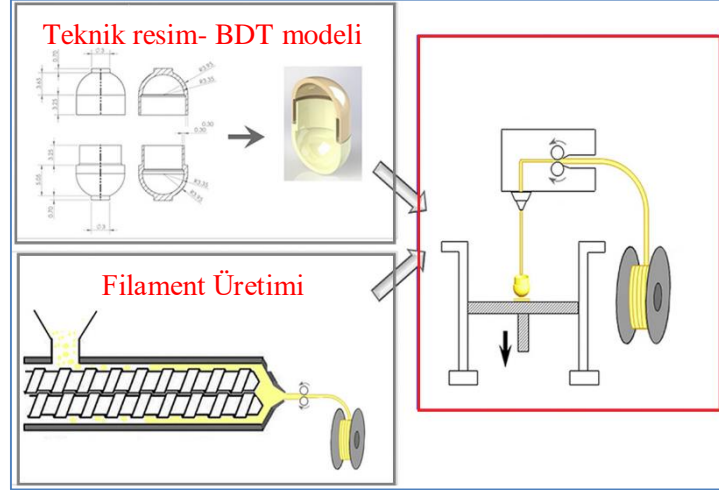
3B yazıcılar özellikle FDM yazıcılar, maker olarak adlandırılan girişimciler tarafından teknolojiyi farklı bakış açısı ile yorumlayarak yaygınlaşmıştır. Bu durum standartlaşmayı ve kullanım kolaylığını daha zor hale getirmektedir. Bu yüzden 3B yazıcılarda kullanım amacını tespit etmek büyük önem taşımaktadır [30].

3B yazıcılar, mimarlık, mühendislik uygulamaları, sağlık alanı, yedek parça üretimi, eğitim, mobilya sektörü, savunma sanayi, otomotiv, kişiselleştirilme v.b alanlarda kullanılmaktadır. Gıda alanında, çikolata gibi gıda ürünlerini yazdırabilen 3B yazıcılar gün geçtikçe yaygınlaşarak, tüketicilerin kullanımına sunulmaktadır. Sağlık alanında, medikal ve dental uygulamalarda 3B yazıcılar yaygınlaşmaktadır. Ortez, protez ve implant kullanımı biyo yazıcıların uygulandığı alanlardır. Giyilebilir teknolojilerin yaygınlaşmasında, 3B yazıcıların etkisinden bahsetmek mümkündür. Ortopedik çözümlerde, giysilerde, saat, bileklik gibi aksesuarlarda 3B yazıcılardan yazdırılan ürünlerin kullanıldığı görülmektedir [31-34].

3.1. 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ

3.1.1. FDM (Fused Deposition Modeling) Teknolojisi

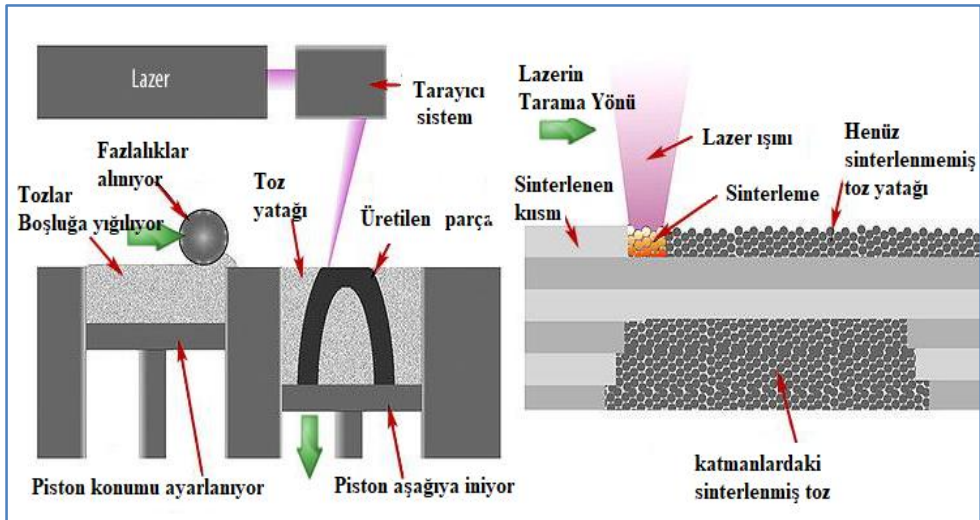
En çok kullanılan 3B yazıcı teknolojisidir. Malzemeyi katmanlar halinde yığma sistemidir. Bu teknoloji ile çalışan 3B yazıcılarda genellikle hammadde olarak ABS ve PLA termo plastikleri kullanılmaktadır. Şekil 3.1'de FDM 3B yazıcının BDT programları ile 3B model oluşturulmasından filament üretimine çalışması şematik olarak gösterilmektedir [35].



Şekil 3.1. FDM 3B yazıcı [36].

3.1.2. SLS (Selective Laser Sintering) Teknolojisi

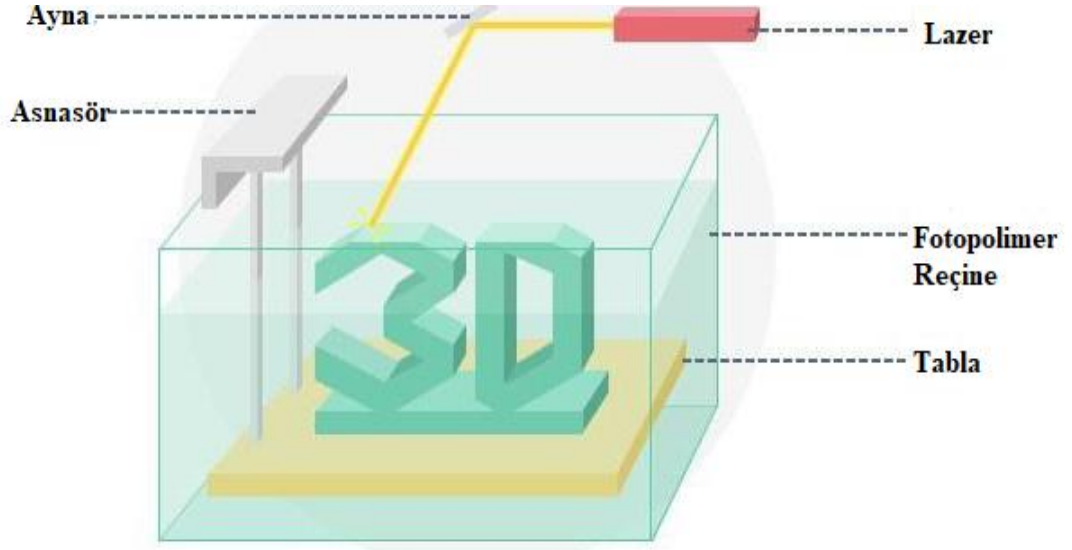
Lazer ışını ile toz formundaki ham maddenin ısıtılarak sinterlenmesi işlemidir. Yazdırma yüzeyi bir platform halinde hareket ederken, her hareketin ardından ikinci bir başlık yüzeyin üzerinden geçerek sinterlenecek yeni toz katmanını hazırlamakta ve ardından tekrar yüzeydeki ham maddeye STL dosyasındaki modele göre ısıtarak şekil verilmektedir. Her katman ısıtıldıkça, platform Z ekseninde aşağıya doğru inmekte ve 3B şekil oluşturulmaktadır [37]. Şekil 3.2’de SLS 3B yazıcının çalışma prensibi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.2. SLS 3B yazıcı [38].

3.1.3. Stereolithografi (SLA)

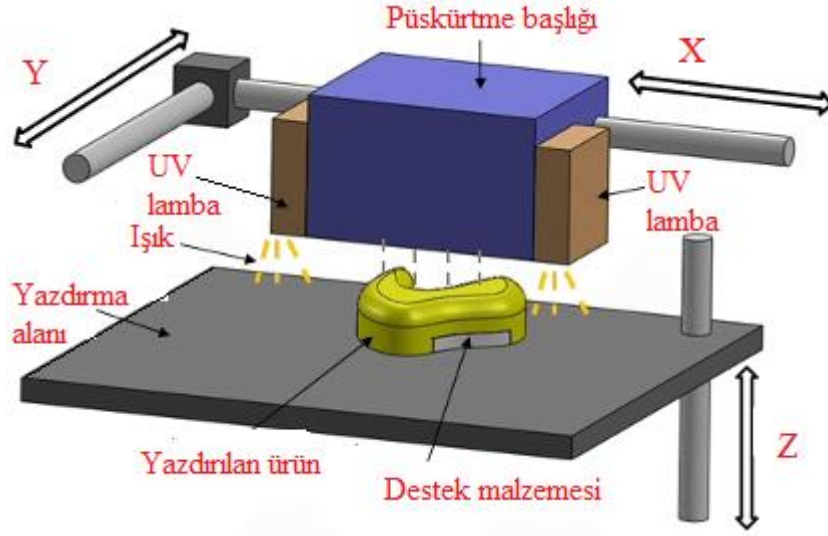
SLA, 3B yazıcı teknolojileri ile 3 boyutlu parçaların lazer yardımıyla fotopolimer partiküllerden üretilmesine olanak sağlayan teknolojidir. Fotopolimer olarak adlandırılan polimer malzeme UV ışık altında katılaşmaktadır. Şekil 3.3’de ki platform yazıcının tasarımına uygun olarak yukarı yada aşağı yönde hareket iletimi sağlanmaktadır. Hareketin sonucunda katı obje ile lazer arasında reçineye uygun yer açılmaktadır. İkinci katmanda katılaşırken alt katmanla da birleşmekte ve her adımda bir katman katılaşması sağlanırken alt katmanında yapışması sağlanmaktadır [39,40].



Şekil 3.3. SLA 3B yazıcı [41].

3.1.4. Polyjet Teknolojisi (PJ)

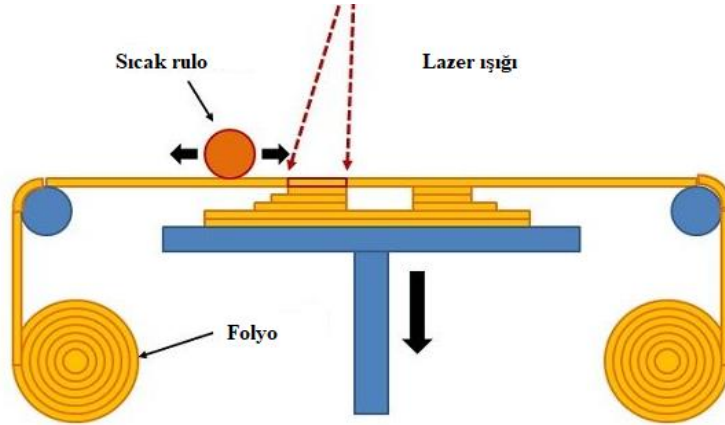
PolyJet Teknolojisi, stereolithografi ve mürekkep püskürtmeli üretim yöntemlerinden oluşan bir yöntemdir. Model, tabla üzerine katman yığıma yöntemi ile fotopolimer reçine püskürtülerek ve UV ışığı ile kürlenerek oluşturulmaktadır. Özel kimyasal bileşimlere sahip PolyJet malzemeleri UV ışığı ile sertleştirildiğinden tasarımı gerçekleştirilen objelerin seri bir şekilde üretimi sağlamaktadır [42]. Şekil 3.4’de PJ teknolojisi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Polyjet teknolojisi [42].

3.1.5. Tabakalı Yapıştırırmalı Parça İmalatı (LOM) Teknolojisi

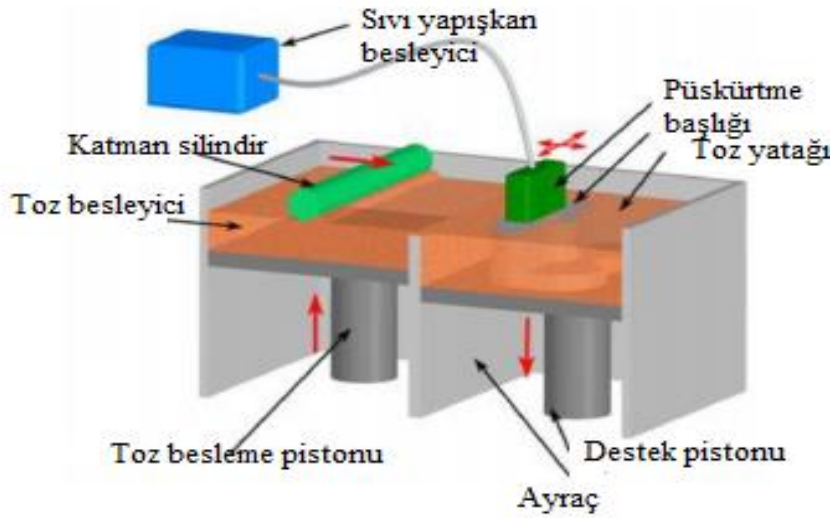
Lom teknolojisinde, ürün yapışkan kaplı levha malzemenin bir önceki katmanların üzerine yapıştırılması, kesilmesi ve yığılması ile imal edilmektedir. Kaplanmış kağıt, plastik köpük kullanılabileceği gibi seramik veya metal tozu emdirilmiş malzemeler de kullanılabilir. Tasarım ve parametrelerin doğru seçilmesiyle, her boyutta yüksek hassasiyete sahip yapısal ve işlevsel modeller de üretilebilmektedir [43]. Şekil 3.5’de LOM teknolojisi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.5. LOM teknolojisi [44].

3.1.6. Bağlayıcı Püskürtme Tekniği (Binder Jet)

Bağlayıcı püskürtme temel olarak çalışma prensibi mürekkep püskürtmeli yazıcılar ile benzerdir. Bu teknikte toz yatağı boyunca bir sıvı bağlayıcı madde biriktirilerek ürün elde edilmektedir. Toz her yeni tabakanın meydana gelmesi için silindir yardımıyla her tarafa yayılmaktadır. Bu tabakaların birikmesi ile ürün oluşurken destek malzemeleri doğrudan üründen hızlı bir şekilde ayrıştırılabilmektedir [45]. Şekil 3.6’da Binder Jet Teknolojisi gösterilmiştir.



Şekil.3.6. Binder jet teknolojisi [45].

3.2. ÜÇ BOYUTLU YAZICILARDA ÜRETİM SÜRECİ

3.2.1. Modelleme

Ürün yazdırmadan önce, istenen özelliklere göre ürün bilgisayar ortamında 3B model olarak hazırlanması gerekmektedir. Ürünün 3B olarak hazırlanmasında kullanılan bazı yazılımlar; AutoCAD, SolidWorks, Google Sketchup ve Catia olarak sıralanabilir. Hazırlanan (BDT) modelinde kesişen köşelerin bulunmaması gerekir. Parçalar ayrı olmalı veya birbiri üzerinde köşe oluşturmayacak şekilde bir arada durmalıdır. Model üzerinde hiçbir alanda açık yüzeyin olmaması da diğer önemli bir noktadır. Model kapalı bir hacime sahip olmalıdır. Model bilgisayar ortamında hazırlandıktan sonra STL dosyası olarak kayıt edilmektedir. Masaüstü yazılımlara ek

olarak bulut bilişim teknolojileri altyapısı ile çalışan Fusuion 360, Tinkercad gibi web tabanlı yazılımlarda kullanılabilir. Bu tip yazılımlar, diğer modelleme yazılımlarına göre 3B yazıcılar için daha fazla özelleştirilmiştir [30].

3.2.2. Dilimleme

Dilimleme işleminde BDT verisi 3B yazıcının anlayacağı bir dile, g-koduna çevrilmiştir. Diğer bir deyişle, STL dosyasındaki model, dilimleme yazılımı ile katmanlara ayrılmaktadır. Katmanlar plastik eritme, lazer sinterleme, stereolitografi gibi farklı yöntemler ile oluşturulmaktadır. Bu aşama kaliteli ürünler üretebilmenin en önemli adımıdır. 3B yazıcı ile üretim sırasında gerekli olan birçok parametre bu aşamada belirlenmektedir. Bu parametrelerden en önemlileri aşağıda belirtilmiştir [8,30].

- Katman Kalınlığı: Parçanın Z yönündeki hassasiyeti belirleyen parametredir. Genellikle 0.25 mm düzeyinde olup. 0.1 mm ye kadar düşürülebilir [30].
- Dolgu Deseni: Bu parametre ürünün iç dolgu katmanlarındaki geometriyi belirlemektedir [30].
- Dolgu Oranı: 3B yazıcının en önemli özelliklerinden biri ürünün iç hacmini doldurma ihtiyacı olmadan üretim yapabilmesidir. Sağlam ve dayanıklı bir ürün istenildiğinde %100 dolu üretim yapılabilir. Sadece görsel amaçlı bir üretim yapılıyorsa %20 doluluk oranı yeterli olmaktadır [30].
- Hız ve Sıcaklık: 3B yazıcıların kritik parametreleridir. Nozılın hangi sıcaklığa kadar ısıtılacağı ve ne kadar hızlı hareket edeceği hız ve sıcaklık parametreleri ile belirlenmektedir. Genellikle malzemeye ve üretilecek parça geometrisine bağlı olarak farklılık göstermektedir [30].

3.2.3. Yazdırma

3B yazıcı ile ürün bu aşamada elde edilmektedir. Dilimleme işleminde belirlenen parametrelere bağlı olarak

zaman diliminde ürün yazdırılmaktadır. Tam dolu ve katman kalınlığı 0,1 mm olan bir ürün oldukça uzun zaman alabilirken, katman kalınlığı 0,3 mm ve %20 dolu ürün yaklaşık 10 kat daha kısa zaman alabilmektedir [30].

3.2.4. Yazdırma Sonrası İşlemler

Son aşamada parçanın zımparalama, aseton banyosu ve boyama ile daha pürüzsüz yüzey elde edilmesi yazdırma sonrası yapılan işlemlerdir [30].

3.2.5. Yazılım

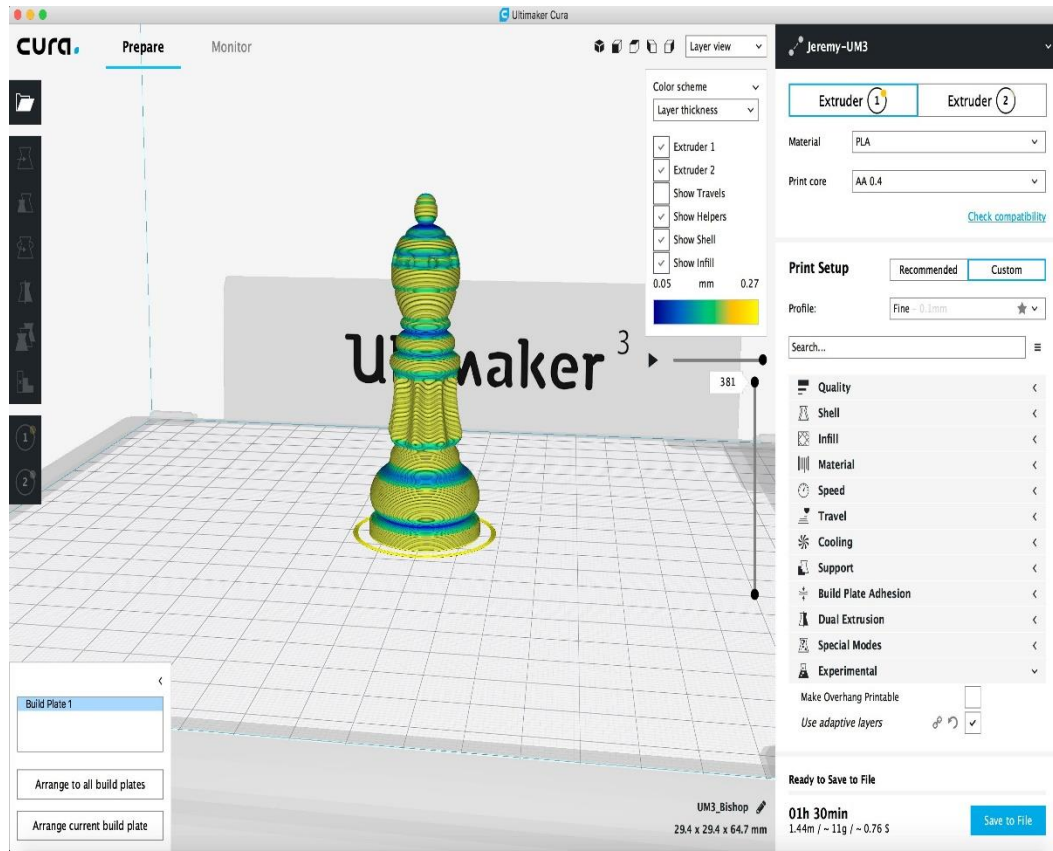
3B yazıcılarda kullanılan yazılımlar üç ana gruba ayrılmaktadır. Birinci grup yazılımlar tasarım yazılımları iken diğer gruptaki yazılımlar üretimin dilimleme aşamasında kullanılan aracı yazılımlardır. Tasarım yazılımları, modelin bilgisayar ortamında hazırlanması için gerekli olan tüm araçları bünyesinde barındırır. Operatör bu araçları kullanarak istenilen objenin tüm ayrıntıları ile beraber çizebilir veya hazır bir model üzerinden özelleştirilebilmektedir [30].

Çizelge 3.1’de bir STL dosyasında kritik olabilecek unsurların verilmiştir. Tasarlanan model, bu unsurları yerine getirebiliyorsa 3B yazıcıdan yazdırılabilir demektir [30].

Çizelge 3.1. STL dosyasını etkileyebilecek unsurlar [30].

Üçgen sayısı 1.000.000'un altında olmalıdır.	Sıfır delik (yüzeyde delik olmamalıdır.)
Sıfır kenar hatası (üst üste binmiş kenarlar)	Sıfır geçersiz oryantasyon (Normaller doğru yönde olmalıdır.)
Düzensiz yönlendirilmiş yüzey olmalıdır	Yüzey su geçirmez olmalıdır. (Tamamen kapalı yüzey)
Hacim değeri pozitif olmalıdır.	Düzensiz oryante olmuş yüzey olmalıdır.

Dilimleme Yazılımları: Yazıcılar için özel olarak geliştirilmiş ve yazdırılmadan önce son ayarlamaların yapıldığı yazılımlardır. Bu yazılımlarda modele müdahale etmekten yazdırma süresi ve boyutlandırması için optimizasyon ayarlamaları yapılmaktadır. Yazıcının ne kadar detaylı yazacağı, katman kalınlığı, dolun miktarı gibi yazıcı özelindeki teknik seçenekler arasında tercihler yapılmaktadır. Repetier host, Makerbot yazıcılar için özel olarak hazırlanmış “Makerware”, Ultimaker yazıcılar için özel olarak hazırlanmış “Cura” bu alandaki yazılımlara örnek verilebilir [30]. Şekil 3.7’de Ultimaker Cura dilimleyicinin ara yüzü gösterilmektedir.



Şekil 3.7.Ultimaker Cura arayüzü [46].

3.3. 3B YAZICILARDA KULLANILAN MALZEMELER

3.3.1. ABS (Akrilonitril Butadin Stiren)

ABS, plastik enjeksiyon sektöründe oldukça sık kullanılan hafif ama sert bir termoplastik polimerdir. Bir petrol ürünü olan ABS aseton ile çözülebilmektedir. ABS kullanarak yazdırılan ürünler 20°C ile 80°C arasında kullanılmaktadır. Erime başlangıç sıcaklığı 105°C olması nedeniyle 80°C üzerinde yumuşama ve şekil bozulması görülmektedir. ABS malzemesi yoğun güneş ışınlarına maruz kaldığında hasara uğramakta ve bu nedenle güneş altında kalacak ürünlerde ürün boyama işlemi yapılmaktadır [47-49].

ABS yüksek mukavemet ve darbe direnci nedeniyle tercih edilen bir polimerdir. ABS'nin dezavantajı ise yüksek sıcaklığa maruz kaldığında zehirli HCN (Hidrosiyanik Asit) gazının ortaya çıkmasıdır. Yüksek sıcaklıkta işlem görmesi nedeniyle işlem sırasında büyük parçalarda çarpılma riski oldukça fazladır. Çarpılmayı engellemek için ısıtıcı yazdırma tablası kullanılması gerekmektedir [47-49].

3.3.2. PLA (Polilaktik Asit)

Geri dönüşümü olan kaynaklardan üretilen polilaktik asit yani PLA, ön plana çıkan bir 3B yazıcı malzemesidir. Geri dönüştürülebilirlik özelliğinden dolayı çevre dostu olmakla beraber, insan vücudu içinde parçalanma süresi 6 ay ile 2 yıl arasında değiştiğinde medikal ve dental uygulamalarda kullanılmaktadır. PLA'nın bir diğer avantajı ise farklı bileşenler ile karıştırılarak ahşap, alçı görünümlü ürünler elde edilebilmesidir [47-49].

PLA malzemenin dezavantajı ise ABS'den daha düşük mukavemete sahip olmasıdır. Yani 3B yazıcı ile yük taşıyacak ya da darbe alması muhtemel bir parça üretmek isteniyorsa PLA tercih edilmemektedir. PLA'nın ısı altındaki dayanımı ise ABS'ye oranla daha düşüktür. Bundan dolayı 3B yazıcı üreticileri kendi hazırladıkları

kullanım kılavuzlarında malzeme erime sıcaklığının 50°C üzerine çıktığında istenilen sonuçları elde edilemeyeceğini belirtilmektedir [47-79].

3.3.2. Naylon

Hem güçlü hem de sağlam yapısıyla naylon malzemeler ile orta ve yüksek seviyede detaylar oluşturulabilmektedir [47-49]. Çizelge 3.2’de 3B yazdırma da kullanılan bazı filament türleri ve temel özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Filament türleri ve temel özellikleri [47].

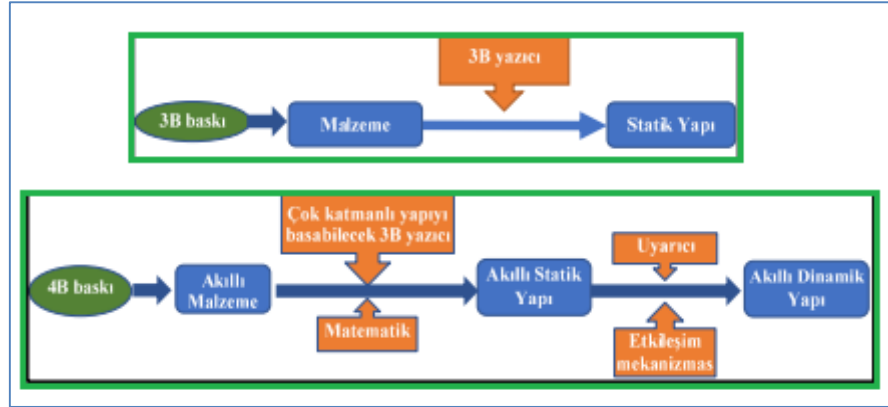
Filament	Güçlü yanı	Uygunluk	Yazdırma sıcaklığı
PLA	Tamamen doğal ve doğada çözünür.	Prototipleme ve diğer ürünler	200 - 235°C
ABS	Güçlü ve dayanıklıdır	Son kullanım ürünleri	240 - 260°C
Naylon	Son derece dayanıklı, esnek ve düşük sürtünme yüzeyine sahiptir.	Yüksek darbeli veya yüksek gerilimli ürünler	100 - 110°C

3.3.3. Diğer Malzemeler

Bu malzemelerin yanı sıra, Petg v.b polimer esaslı malzemeler, çeşitli metal malzemeler, seramik, naylon alüminyum tozunun karışımından elde edilen alüminide ve reçine gibi malzemeler de 3B yazıcılarda kullanılabilir [30,49].

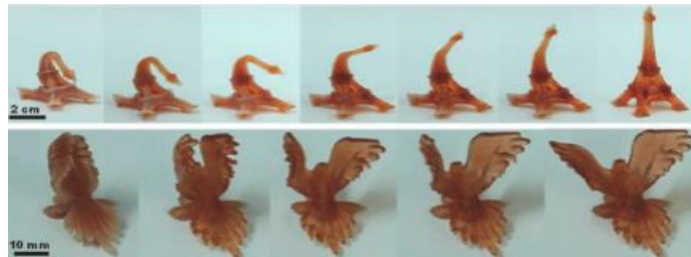
3.4. 4B YAZDIRMA

3B yazdırılmış bir yapının şeklinin, özelliğinin ve işlevselliğinin; ısı, su, ışık, basınç, ses gibi önceden belirlenmiş dış bir uyarana maruz kaldığında zamanla değişebilmesine 4B yazdırma denilmektedir [50]. Bu doğrultuda, 4B yazdırma, şekil, özellik ve işlevsellik açısından 3B yazdırma malzemelerinden daha akıllı malzemelere sahip ürünlerin üretilmesi olarak adlandırılabilir. 4B yazdırma ile zamana bağlı, yazıcıdan bağımsız ve öngörülebilir bir şekilde, kendi kendine montaj ve onarım sağlama gibi çok işlevli bir yapı elde edilmektedir. 4B yazdırma; akıllı malzemeler ve tasarım alanlarındaki hızlı büyümeler ile disiplinler arası bir yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır [51]. Şekil 3.8’de 3B yazdırma ile 4B yazdırma arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 3.8. 3B yazdırma ile 4B yazdırma ilişkisi [51].

Şekil 3.9’da ölçeklendirilmiş bir Eyfel Kulesi ve ortam sıcaklığını değiştirerek farklı geçici şekillerde art arda çevrilen kuş modeli gösterilmiştir. Her iki şekilde bu yaklaşımla elde edilebilecek karmaşık yapıların çözünürlüğü ve türü görülmektedir. Her iki model de 70°C sıcaklık ile başlangıç geometrilerine dönüşmektedir [52].



Şekil 3.9. 4B yazdırma ile elde edilen şekil değişimi [52].

3.5. ENDÜSTRİYEL TİP 3B YAZICILAR

1990’larda, polimer tabanlı eklemeli imalat yöntemleri özellikle Stratasys firması tarafından geliştirilen “Fused Deposition Modeling (FDM)”, Cubital firmasının “Solid Ground Curing (SGC)”, Helisys firmasının “Laminated Object Manufacturing (LOM)” yöntemleri, DTM firmasının, toz maddelerin eritilmesi yöntemi “Selective Laser Sintering (SLS)”, EOS firmasının, doğrudan metal tozu katılaştırma “Direct Metal Laser Sintering (DMLS)” teknolojisini tanıtması eklemeli imalat yöntemlerinin süreçteki önemli basamakları olarak gösterilmektedir [10].

Extrude Hone firması ve Precision Optical Manufacturing firmalarının metal eklemeli imalat yöntemlerinin geliştirilmesinde öncülük ettiği görülmektedir [10].

3B endüstriyel yazıcılar konusunda öncü modeller, kullandıkları teknolojiler, üretim yöntemleri ve üretim yerleri Çizelge 3.3’de verilmiştir [10].

Çizelge 3.3. 3B endüstriyel yazıcılar [10,53,54].

Firma	Ülke	Teknoloji	Öncü modeller
ExOne	ABD	“BinderJetting” ile toz yatağı içerisinde kimyasal ile toz karışımı ısı ile kürlenerek kalıp veya ana parça üretimi	S-Max 1800 x
EOS	Almanya	Toz yatağı içerisinde lazer ile metal ve plastik katmanlı imalat	EOS M400
Ermaksan	Türkiye	Metal 3B yazıcı (DMLS)	ENAVISION 120
Mazak	Japonya	Hibrit (CNC + 3B yazıcı) Makine	Integrex İ-400
SLM Solutions	Almanya	Toz yatağında lazer eritme yöntemi	SLM500HL 500 x

BÖLÜM 4

5 EKSEN 3B YAZICI TASARIMI VE UYGULAMASI

4.1. 5 EKSEN 3B YAZICI MALİYET TABLOSU

5 eksen 3B yazıcının tasarım aşamasında belirlenen, üretilebilir, estetik, geliştirilebilir, masaüstü ve ekonomik olması temel özellikleridir. Belirtilen özelliklere göre Çizelge 4.1'de 5 eksen 3B yazıcı malzeme listesi ile birlikte maliyet hesabı gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. 5 eksen 3B yazıcı maliyet tablosu.

5 Eksen 3B Yazıcı Maliyet Tablosu			
Malzeme Adı	Birim Fiyatı	Adet	Toplam
Gövde- 6 mm'lik sac levha	250 TL	1	250 TL
Döner tabla-Alüminyum 701	500 TL	1	500 TL
Arduino Mega 2560	118,75 TL	1	118,75 TL
Arduino nano	58,60 TL	1	58,60 TL
Ramps V1.4	38,40 TL	1	38,40 TL
A4988 Step motor sürücü	72,83 TL	7	509,81 TL
Nema 17 step motor	67,78 TL	7	474,46 TL
Fan	22,20 TL	2	44,40 TL
Mk8 extrüder dişlisi	18,78 TL	1	18,78 TL
V6 hotent set	56,60 TL	1	56,60 TL
30*30 sigma profil	75 TL	1	75 TL
5*8 esnek kaplinler	12,50 TL	7	87,5 TL
GT 2,5 kayışlar (kapalı)	19,90 TL	2	39,8 TL
GT2 kayışlar	12,50 TL	5	62,5 TL
GT2,5 kasnaklar	9,80 TL	2	19,6 TL
GT2 kasnaklar	9,80 TL	2	19,6 TL
Rulmanlar	9,25 TL	7	64,75 TL
Liner rulman	12,40 TL	6	74,4 TL
3B Yazıcı kalibrasyon seti	8,20 TL	3	24,6 TL
Termistör	8,20 TL	1	8,20 TL
Güç kaynağı 12V/30A	110 TL	1	110 TL
Endstop	6,25 TL	4	25 TL
Cıvata-Somun seti	105 TL	1	105 TL
Krom mil	16,75 TL	4	68 TL
Vidalı mil	74,80 TL	3	224,4 TL
Kablo seti	102 TL	1	102 TL
Genel Toplam	3,180,15 TL : 526,51 \$ 1\$: 6.04 TL		

Çizelge 4.1'den anlaşılacağı üzere 5 eksen 3B yazıcının toplam maliyeti 3.180.15 TL'dir. Günümüzde başlangıç seviyesi bir 3B yazıcının ortalama maliyeti 5000 TL olarak görüldüğünde, 5 eksen 3B yazıcı daha düşük maliyetle üretimi gerçekleştirilmiştir.

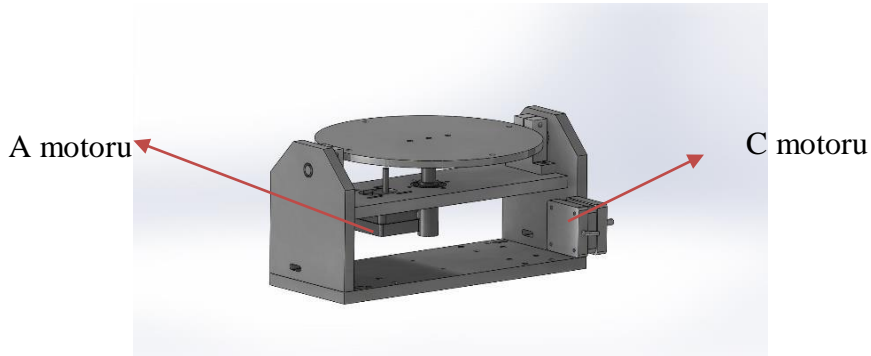
4.2. 5 EKSEN 3B YAZICI MEKANİK TASARIM

Tasarımı ve uygulaması yapılan 5 eksen 3B yazıcının genel olarak iki ana bileşeni bulunmaktadır. Gövde ve döner tabla. Bu bileşenler için kartezyen yazıcı tipi seçilen 5 eksen 3B yazıcının genel özellikleri Çizelge 4.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. 5 eksen 3B yazıcının genel özellikleri.

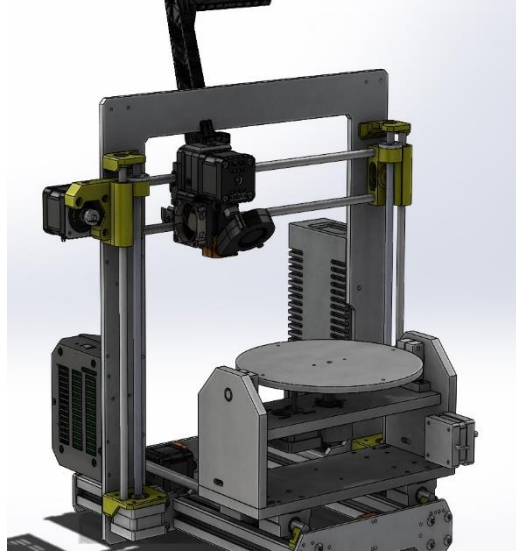
5 Eksen 3B Yazıcının Genel Özellikleri	
Genel Boyutlar	Boy : 430, En : 475, Derinlik: 365 (mm)
Yazdırma Alanı	150*150*150 (mm)
Döner Tabla Boyutları	Boy: 257, En : 130, Derinlik: 100 (mm)
Kullanılan Malzeme	6 mm'lik çelik sac levha; alüminyum 701
Motor Sayısı ve Özellikleri	7 adet Nema 17 step motor
A ve C Eksenleri Tahrik	Kayış kasnak sistemi
İşlemci	Arduino Atmega2560 ve Arduino Nano

A ve C olarak adlandırılan eksenleri çalıştıran döner sistem modellemesi SolidWorks BDT yazılımı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 4.1). Modelleme yapılırken; motor tahriklerinde kayış kasnak mekanizması kullanılarak motor torku 2:1 oranında artırılmıştır. Döner tabla tasarımında; A eksenini ve C eksenini çalıştıran motorlar Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. 5 eksen 3B yazıcı döner tabla modeli.

Döner tabla modellendikten sonra Prusa İ3 marka yazıcı gövdesi referans alınarak SolidWorks BDT yazılımında yazıcının konstrüksiyon tasarımı yapılmıştır. Şekil 4.2’de 5 eksen 3B yazıcının konstrüksiyon tasarımı verilmiştir.



Şekil 4.2. 5 eksen 3B yazıcı modeli.

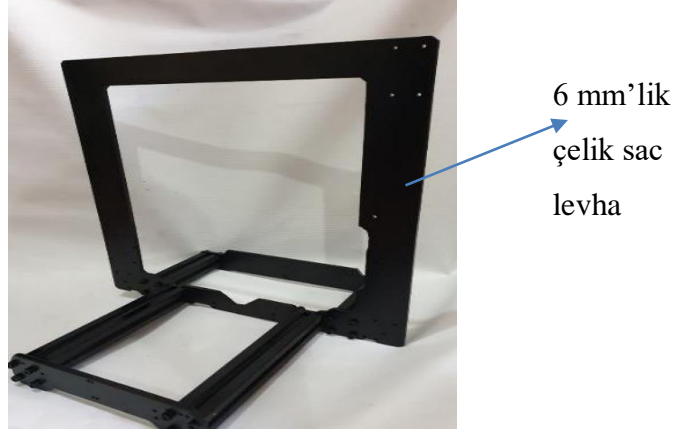
4.2.1. 5 Eksen 3B Yazıcının Mekanik Elemanları

Tasarımı yapılan 5 eksen 3B yazıcının mekanik elemanları Çizelge 4.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. 5 eksen 3B yazıcının mekanik elemanları.

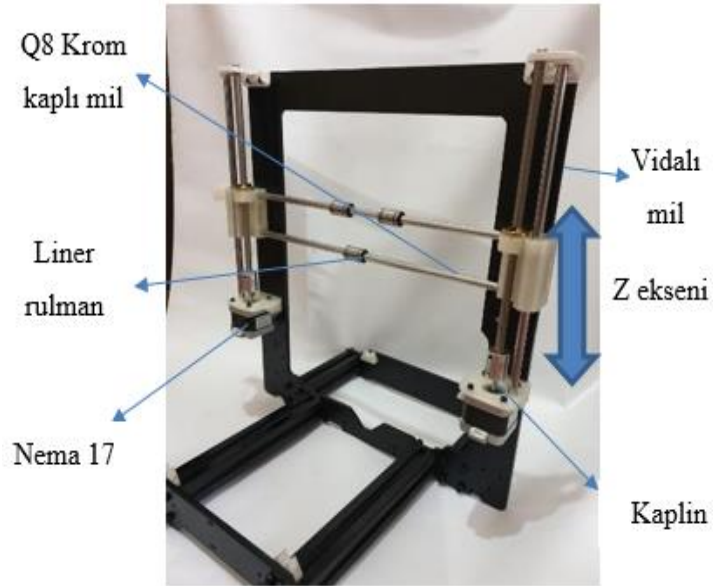
5 Eksen 3B Yazıcının Mekanik Elemanları	
1. 6 mm’lik çelik sac levha	9. GT 2,5 Kayışlar (kapalı)
2. Nema 17 step motorlar	10. GT2 Kayışlar
3. Mk8 Ekstrüder dişlisi	11. GT2,5 Kasnaklar
4. V6 Hotent set	12. GT2 Kasnaklar
5. T8 Vidalı miller	13. Rulmanlar
6. Q8 Krom kaplı miller	14. Liner rulman
7. 30*30 Sigma profil	15. 3B yazıcı kalibrasyon seti
8. 5*8 Esnek kaplinler	16. Cıvata-somun seti

Tasarımı yapılan 3B yazıcının gövde sistemi Prusa İ3 marka yazıcı gövdesi referans alınarak tasarlanmıştır. Katı model tasarımına uygun olarak cihazın gövdesi 6 mm et kalınlığında çelik sac levhadan imal edilmiştir. Şekil 4.3'de çelik sac malzemeden imal edilen gövde gösterilmektedir.



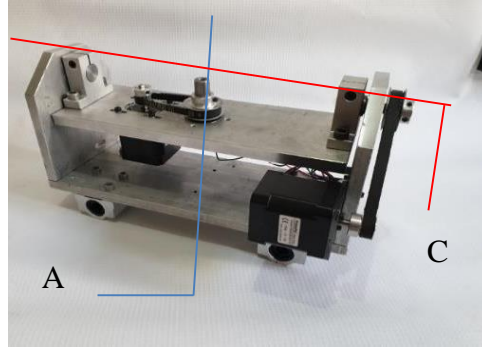
Şekil 4.3. 5 eksen 3B yazıcı çelik sactan imal edilen gövde.

5 eksen 3B yazıcının Z eksenini oluşturan mekanizması 2 adet nema 17 step motorun hareketini kaplin vasıtasıyla vidalı millere aktaran bileşenlerden oluşmaktadır. Şekil 4.4'de Z eksen mekanizması gösterilmektedir.



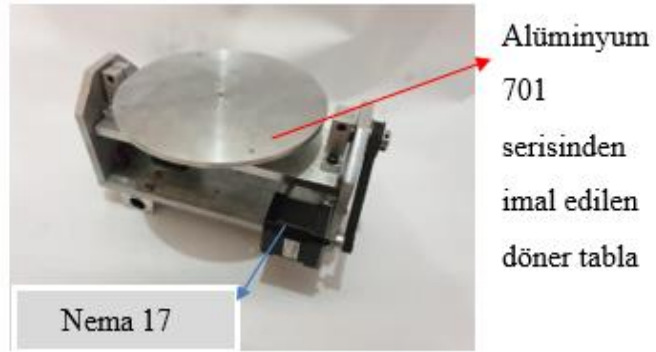
Şekil 4.4. 5 eksen 3B yazıcının Z eksen yönü.

A ve C eksenlerini tahrik ettirecek motorların yer alacağı döner tabla, alüminyum 701 serisinden frezede işlendikten sonra mekanik elemanların montajı yapılmıştır. Şekil 4.5’de A ve C eksen hareketleri gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Döner tabla eksen hareketleri.

Şekil 4.6’da hareketli döner tablanın montaj edilmiş hali gösterilmektedir. Şekil 4.7’de C eksen motor hareket iletimi kayış kasnak sistemi ile birlikte gösterilmektedir.

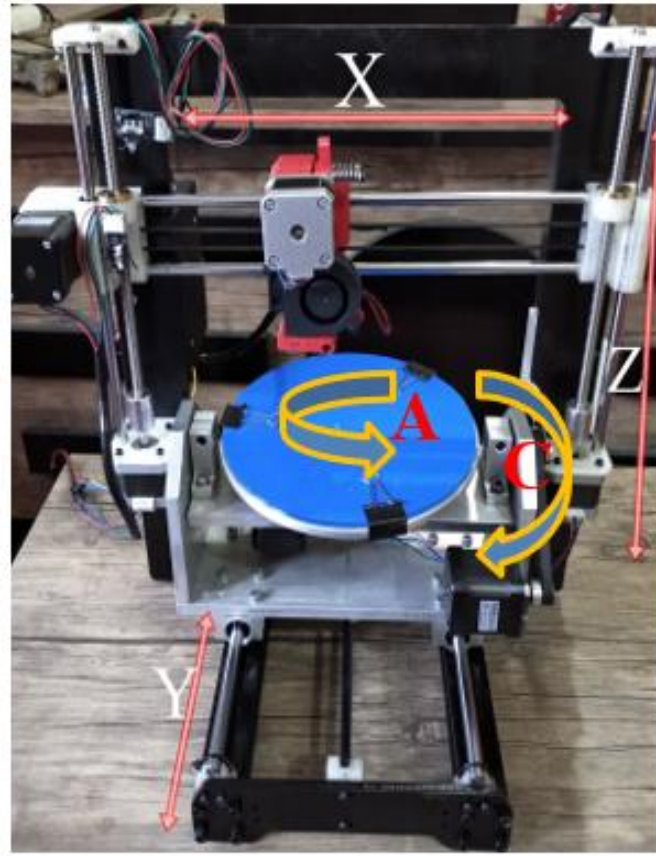


Şekil 4.6. Döner tabla montajı.



Şekil 4.7. Motor hareket aktarımı.

5 eksen 3B yazıcıda X, Y ve Z eksenleri referans alınan 3B yazıcı ile aynı çalışma prensibine sahiptir. Z eksen hareketi için 2 adet Nema 17 motor kullanılmıştır. Şekil 4.8'de montajı yapılan gövde ve eksen yönleri gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Montajı yapılan gövde ve eksen yönleri.

5 eksen 3B yazıcıda tüm eksenlere hareketi vermek için Nema 17 motor kullanılmıştır. Ekstrüder motoru da dahil olmak üzere toplam 7 adet Nema 17 motor kullanılmıştır.

C eksen motoru kayış kasnak sistemi ile tablayı 90° açığa kadar döndürebilmektedir. A eksenini dönüştürmesi kendi eksenini etrafında dönmesi ile sağlanmıştır. Kayış kasnak sistemi sayesinde A ve C eksenlerinde motor hızı 1:2 oranında azaltılarak, tork 2:1 oranında artırılmıştır.

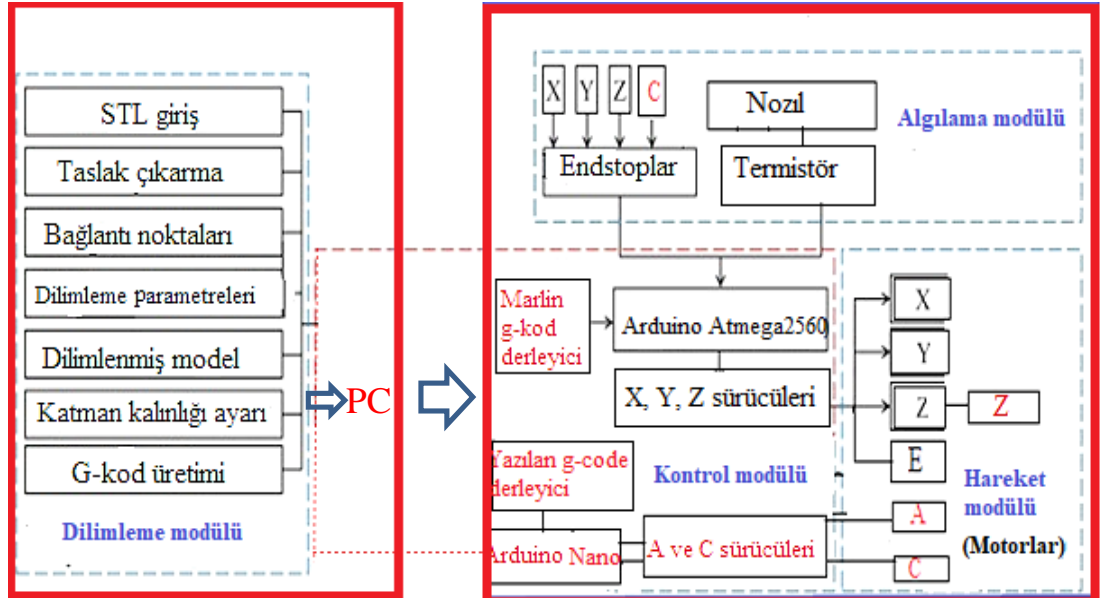
A ve C eksenlerini taşıyan döner tabla, yazıcı tablasına CNC tezgahında açılan kanallar aracılığıyla yerleştirilmiştir.

BÖLÜM 5

KONTROL VE YAZILIM

5.1. 5 EKSEN 3B YAZICI KONTROL

5 eksen 3B yazıcının montajı tamamlandıktan sonra nozıl ve yazdırma tablasının hareketinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Arduino Atmega2560 ve Arduino Nano mikro işlemciler eksen hareketlerinin elde edilmesinde kullanılmıştır. Arduino Atmega2560 açık kaynaklı olup Marlin Firmware dayanan bir yazılıma sahip kontrol kartıdır. 5 eksen 3B yazıcıda, Marlin Firmware X, Y ve Z eksen motorları ile ekstrüder motoruna (E) hareket vermektedir. A ve C eksen motor hareketlerini kontrol etmek için Arduino Nano mikro işlemci kullanılmaktadır. Arduino Nano, Marlin Firmware yerine özel olarak yazılmış g-kod derleyiciden komut almaktadır. Arduino Nano devreye girdiğinde Arduino Atmega2560 devreden çıkmaktadır. Şekil 5.1’de kontrol ünitesindeki basitleştirilmiş veri akışı gösterilmektedir.

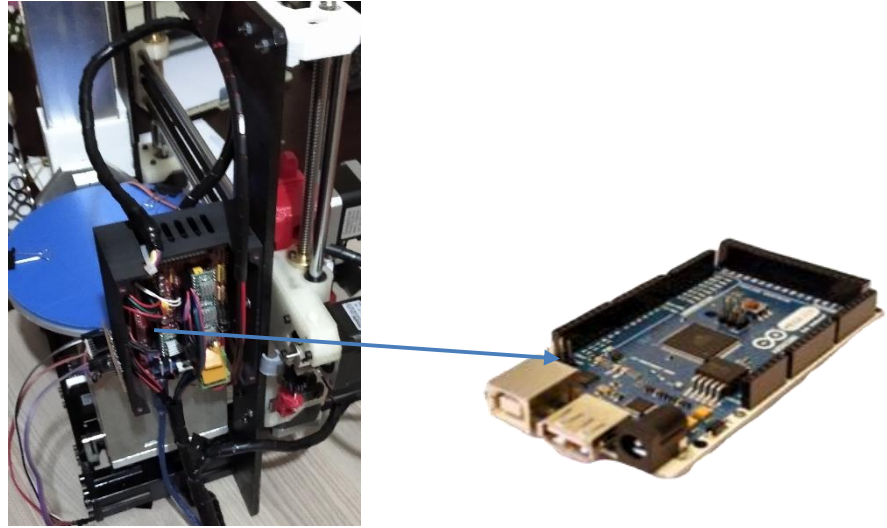


Şekil 5.1. 5 Eksen 3B yazıcının kontrol ünitesi.

Kontrol ünitesi yalnızca konumsal ve yönelimli komutları desteklemektedir. Bu nedenle, 3B yazdırma takım yolunun gerekli dönüşümü, işlem sonrası (g- kodlarının oluşturulmasından önce) gerçekleştirilmektedir.

5.1.1. 5 Eksen 3B Yazıcı Elektronik Elemanları

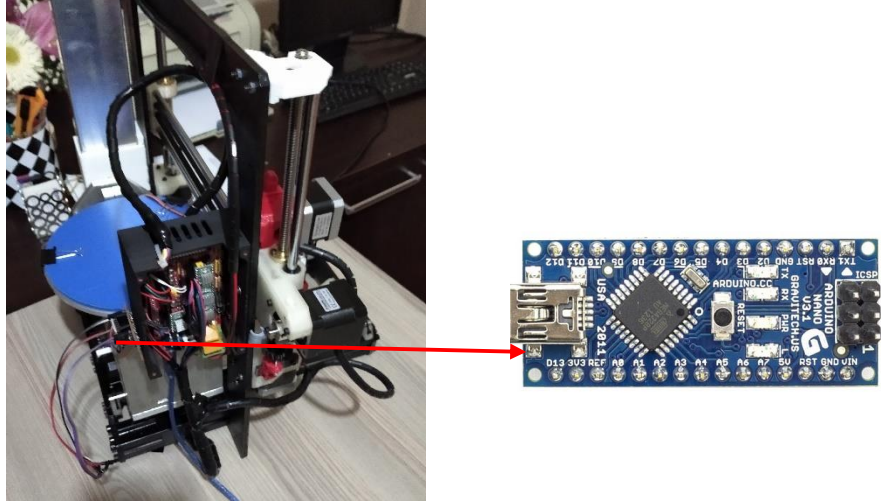
5 eksen 3B yazıcının kontrolü için Arduino Atmega2560 ve Arduino Nano işlemciler kullanılmıştır. Şekil 5.2’de 5 eksen 3B yazıcı üzerinde Arduino Atmega2560 işlemci gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Arduino Atmega2560.

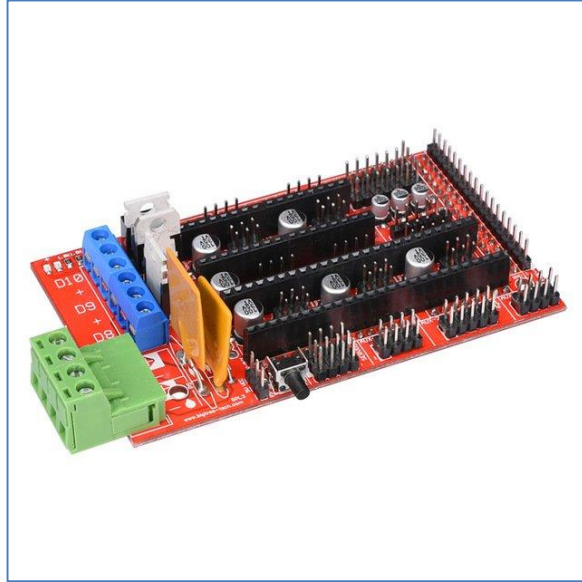
Arduino Nano Atmega328 mikrodenetleyici (Arduino Nano 3.x) veya Atmega168 (Arduino Nano 2.x) mikrodenetleyici barındıran, Arduino Kartıdır. Arduino Nano bilgisayar, başka bir Arduino ile ya da diğer mikrodenetleyiciler ile haberleşme için olarak sağlamaktadır (Şekil 5.2).

Üzerinde 14 adet dijital giriş/çıkış pini (6 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir), 8 analog giriş, 16 Mhz kristal, Usb soketi, ICSP konektörü ve reset tuşu bulundurmaktadır. Şekil 5.3’de 5 eksen 3B yazıcı üzerinde Arduino Nano gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Arduino Nano.

RAMPS 1.4 shield; 3B yazıcılar için gereken tüm elektronik kontrol işlevini kapsamak üzere tasarlanmıştır. Şekil 5.4'de gösterilen RAMPS 1.4 motor sürücülerinin, fanların, endstopların ve termistörlerden gelen bilgilerin kontrolünün yapıldığı bir bileşendir.



Şekil 5.4. Ramps 1.4 shield.

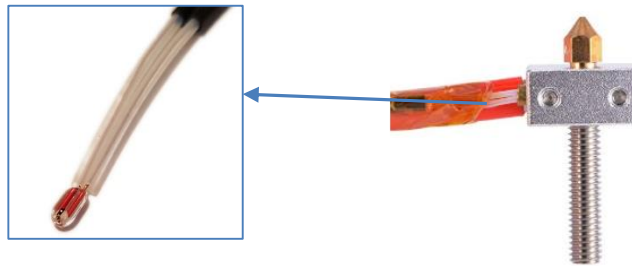
Motor sürücüleri; Ramps 1.4 üzerinde motorların hareketinin sağlanması için kullanılmıştır. Bunlara Pololu 4988 adım motor sürücü denilmektedir. Arduino üzerinden geçen güç motorları hareket ettirmeye yetmediği için bu görevi step motor sürücü devresi yapmaktadır (Şekil 5.5).

Step motor sürücü devresinin bir diğer özelliği de hassas bir şekilde motorları kontrol edebilmesidir. Bu modellerde termal kapatma, düşük voltaj ve yüksek akım korumaları kullanılmaktadır. Motor sürücü, VDD ve GND pinleri arasında bağlanmış logic voltaj kaynağına (3-5.5V) ve VMOT ile GND arasında bağlanmış motor güç kaynağına (8-35V) ihtiyaç duymaktadır.



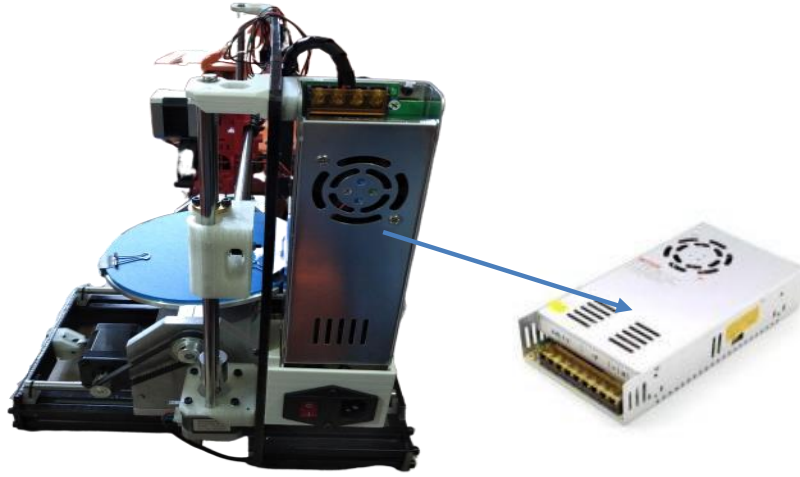
Şekil 5.5. A4988 motor sürücüsü.

Termistör; 3B yazıcılarda ısıtıcı tabla ve ekstrüder sıcaklıklarını kontrol etmek için kullanılmaktadır. Tasarımı yapılan 3B yazıcıda yazdırma alanı ısıtılmadığı için sadece ekstrüder için termistör kullanılmıştır (Şekil 5.6).



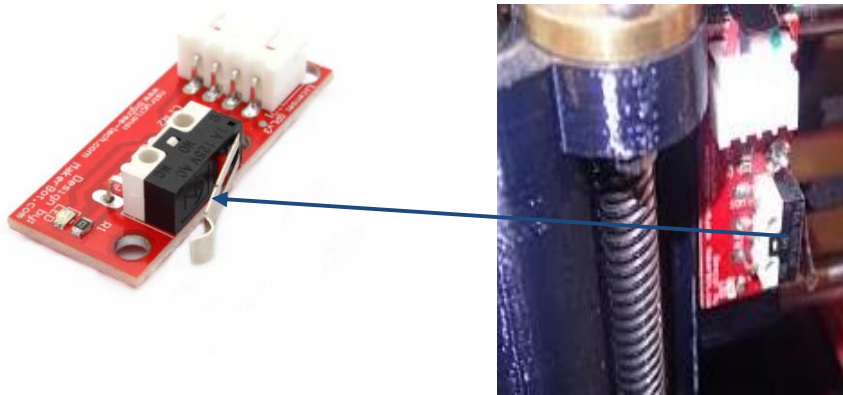
Şekil 5.6. Termistör.

3B yazıcıların kontrol üniteleri için genellikle 12V'luk 30A'lık güç kaynağı kullanılmaktadır. Ramps, güç kaynağı üzerinden beslemeyi yapıp ilgili yerlere gücü dağıtmaktadır. Şekil 5.7'de 5 eksen 3B yazıcı üzerinde kullanılan güç kaynağı gösterilmektedir.



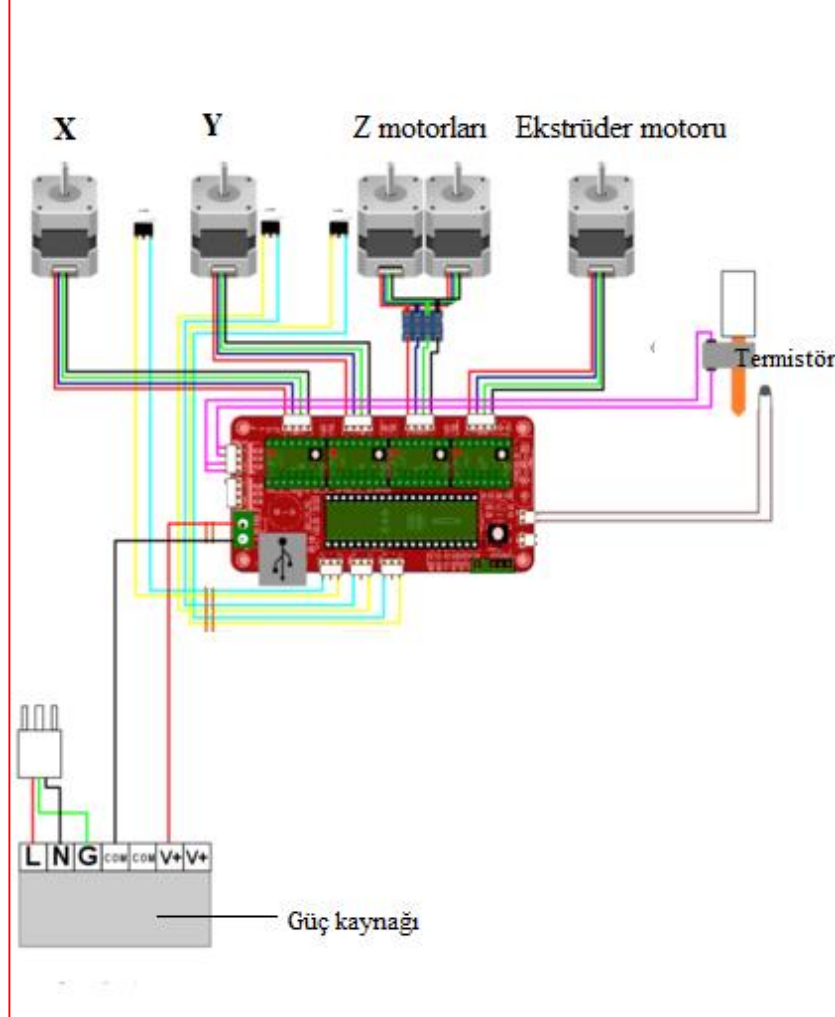
Şekil 5.7. Güç kaynağı 12V/30A.

Endstop; 3B yazıcının kendi pozisyonunu sıfırlamasında ya da yazdırma sırasında mekanik olarak sona geldiği zaman daha fazla ileri gitmemesi için kullanılmaktadır (Şekil 5.8). Endstop 3B yazıcıların eksenleri üzerine yerleştirilerek, eksenin sonuna gelindiğinde sistemin durmasını sağlamaktadır. 5 eksen 3B yazıcıda, X, Y, Z ve C eksenlerinde toplam 4 adet endstop kullanılmıştır.



Şekil 5.8. Endstop.

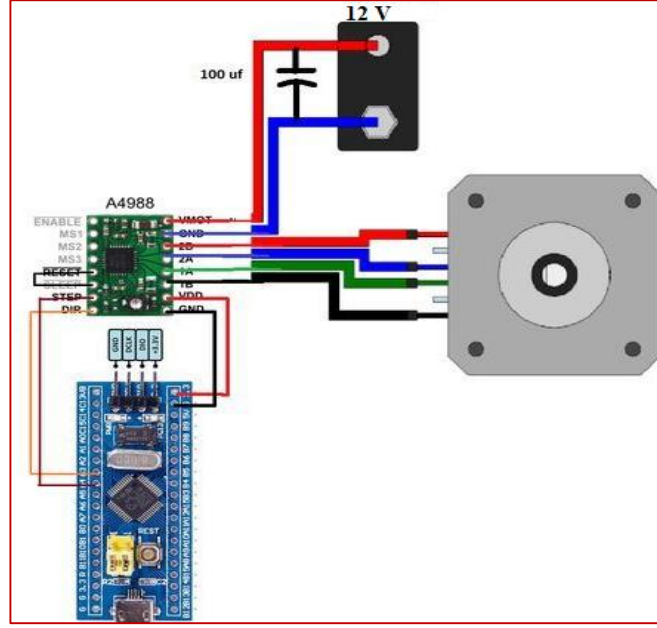
Kullanılan elektronik elemanların üretici firmaları tarafından verilen bağlantı şemalarına göre sistemin elektronik montajına geçilmiştir. Şekil 5.9’da sistemin Arduino Atmega2560 bağlantı şeması gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Arduino Atmega2560 bağlantı şeması.

Tasarlanan 5 eksen 3B yazıcıda, tabla ısıtması bulunmadığı için, termistör ekstrüderi ısıtmak için kullanılmıştır. Z eksenini çalıştıran motor sayısı 2 adet olduğundan motorlar birbirine paralel bağlanmıştır.

A ve C olarak adlandırılan iki eksenin sürücülerini Arduino Nano kontrol etmektedir. Şekil 5.10’da Nema 17 adım motorunun, Arduino Nano bağlantı şeması gösterilmektedir.



Şekil 5.10. Nema 17 Arduino Nano bağlantı şeması.

5.2. 5 EKSEN ÜÇ BOYUTLU YAZICI YAZILIMI

5.2.1. Arduino Nano Yazılımı

5 eksen 3B yazıcıda, Marlin Firmware tarafından desteklenen Arduino Atmega2560 işlemci X, Y ve Z eksenlerini kontrol etmek için kullanılmıştır. A ve C eksenlerini kontrol etmek için ise Arduino Nano işlemci kullanılmıştır

EK A.1.'de Arduino Nanoya C ++ dilinde yazılan kod dosyası verilmiştir. Kod dosyası Marlin Firmware yazılımdan bağımsız olarak Arduino Nano ile bilgisayarın iletişim kurmasını sağlamaktadır. Arduino Nano, A ve C eksen motorlarına hareket vereceği zaman bilgisayarla iletişim kurmaktadır. Böylece tabla dönerken Arduino Atmega 2560 devreden çıkıp Arduino Nano devreye girmektedir.

5.2.2. Matematiksel Model

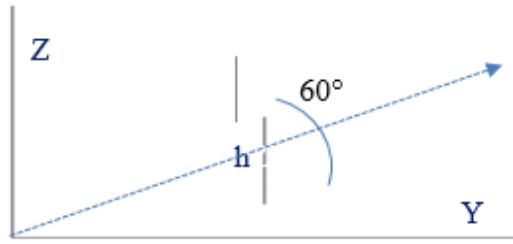
5 eksen 3B yazıcının 5 eksen g-kod oluşturabilmesi için, kutupsal koordinat sistemi kullanılmıştır. X eksenini her seferinde sabit bırakarak diğer değişkenlerde oynama yapılarak yazdırılmak istenen ürünün tüm eksenlere olan uzaklığı tespit edilmektedir.

Şekil 5.11’de Z ve Y eksenleri için kutupsal koordinat sistemi içerisinde yer değiştirme gösterilmiştir.

h = Yazdırılmak istenen ürünün merkezinin dönme eksenine olan dik uzaklığı,

z = Yazdırılmak istenen ürünün Z eksenindeki değişme miktarı,

y = Yazdırılmak istenen ürünün Y eksenindeki değişme miktarıdır.



Şekil 5.11. Z ve Y eksenleri yer değiştirme grafiksel gösterim.

$$(\Delta z)_{eş} = h_1 - h \cdot \sin 60 \quad (5.1)$$

$$(\Delta y)_{eş} = h_1 - h \cdot \sin 60 \quad (5.2)$$

Eşitlik 5.1’de Z eksenindeki yer değiştirme miktarı belirlenmektedir. Eşitlik 5.2’de ise Y ekseninde ki yer değiştirme miktarı hesaplanmaktadır. Böylece Arduino Nano işlemci devreye girdiğinde, A ve C eksenleri dönmeye başlamakta yazdırılmak istenen ürünün tüm merkezlere uzaklığı tespit edilmektedir.

Eşitlik 5.3’de tablanın ve ekstrüderin dönmeden önceki merkezi elde edilmektedir.

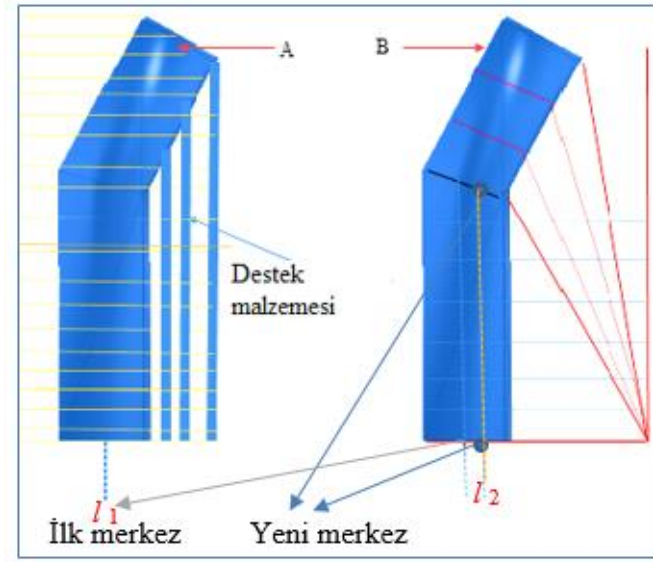
Eşitlik 5.4’de ise tabla döndükten sonra ki merkez hesaplanmaktadır

l_1 = Tabla dönmeden önceki merkez, l_2 = Python’da yazılan kod bloğundan gelen komut ile tabla döndükten sonraki merkezdir.

$$(l_1)_{eş} = ((h_1 - 2\sqrt{\frac{h_2}{3}}) \cdot \cos 30) - h_1 \quad (5.3)$$

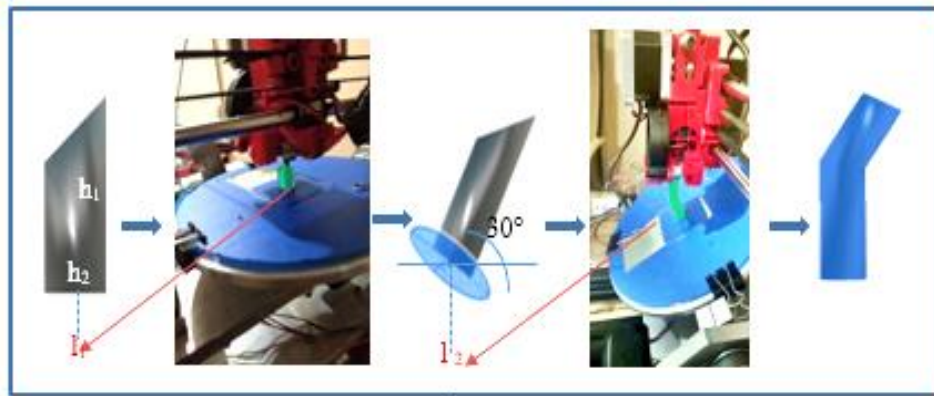
$$(l_2)_{eş} = (h_1 - 2\sqrt{\frac{h_2}{3}}) \cdot \cos 60 \quad (5.4)$$

Şekil 5.12’de yazdırılmak istenen ürünün 3 eksen ve 5 eksen yazdırmaları grafiksel olarak gösterilmektedir. Belirlenen modele göre A ile adlandırılan 3 eksen de yazdırılan ürünün merkezi l_1 ‘dir. A ürününde destek malzemesi kullanılarak yazdırma işlemi sonlandırılmaktadır. B ile adlandırılan 5 eksen yazdırma da ise l_1 ile gösterilen merkez noktasına kadar 3 eksen gibi çalışmakta destek gerekli kısımlar yazdırılırken 5 eksen 3B yazıcının tablası dönerek A ve C eksenleri devreye girmektedir. Bu durumda yazdırma işlemi l_2 ile gösterilen yeni merkezden devam ederek, destek malzemesi kullanılmadan tamamlanmaktadır.



Şekil 5.12. 5 eksen yazdırma işleminde merkez değişimi.

Şekil 5.13’de 5 eksen yazdırma aşamaları merkezin değişimine göre gösterilmektedir.



Şekil 5.13. 5 eksen yazdırma aşamaları.

5.2.3. İşlemciler Arası İletişim Kuran Yazılım

5 eksen 3B yazıcının kontrol ünitesi olarak Arduino Atmega2560 işlemci ile Arduino Nano işlemci kullanılmıştır. Arduino Atmega2560 işlemci, X, Y ve Z eksenlerini kontrol ederken, Arduino Nano A ve C eksenlerini kontrol etmektedir. Python dilinde yazılan kod bloğu ekstrüder sıcaklığını 220°C olana kadar Şekil 5.14’de ki “While (check)” döngüsünde kalmakta, 220°C’den sonra döngüden çıkmaktadır.

Ürün X, Y ve Z eksenlerinde yazdırılırken komutları Arduino Atmega2560’a gönderirken, destek gereken kısımlar yazdırılırken komutları Arduino Nanoya göndermektedir. Şekil 5.15’de ekstrüder döndürmenin ardından oluşan yeni yazdırma merkezine götürüldüğü görülmektedir. En son satırda ise döndürülen parçanın yeni merkezine göre takım yolu oluşturulmaktadır. EK B.1.’de Python komut dosyası verilmiştir.

```
#Heat Extruder
mar. write (b'M104 S220\r')
mar. write(b'M105\r')

time. sleep (1)
t = mar. readline ()

check = True
while(check):
```

Şekil 5.14. Ekstrüder sıcaklık komutları.

```
;5 axis rotation
P15330
; Center X

G0 X113.5
; Wait for rotation
W

G0 Y81.055 Z17.54
G92 Z0 Y101
```

Şekil 5.15. Yer değiştirme komutları.

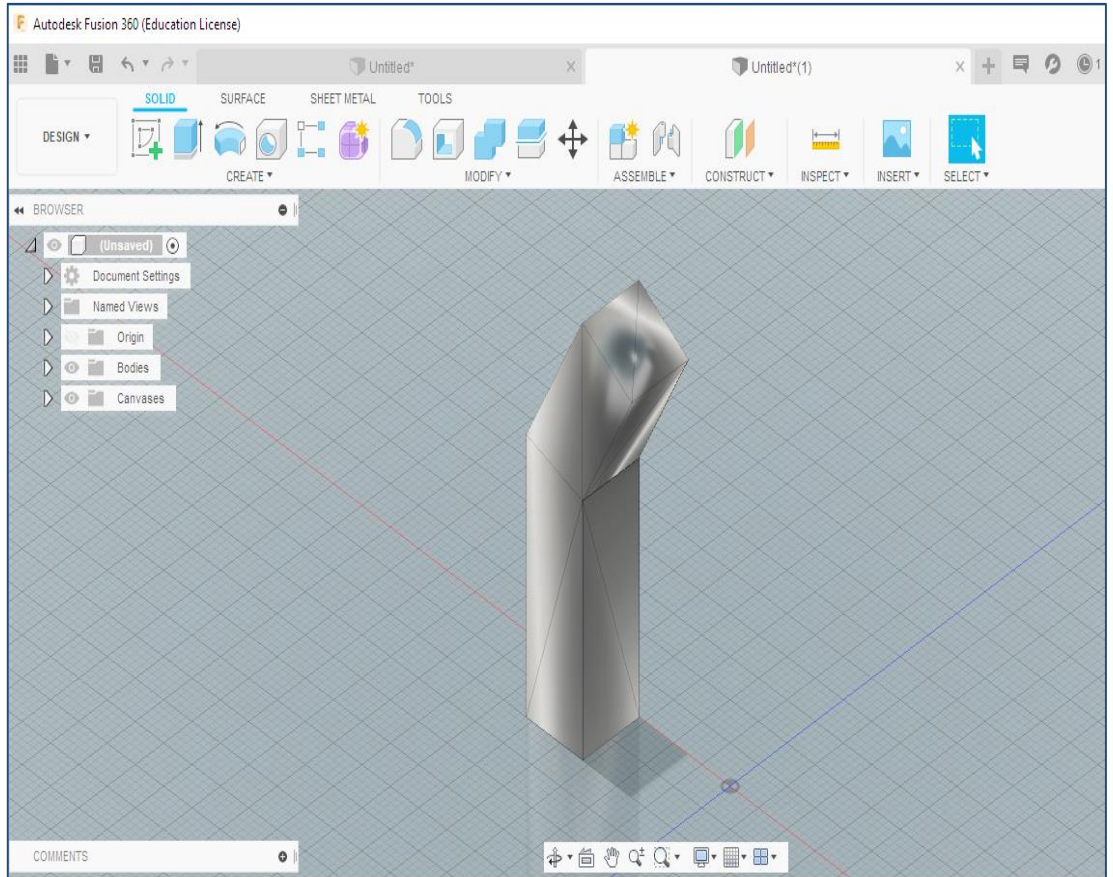
BÖLÜM 6

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

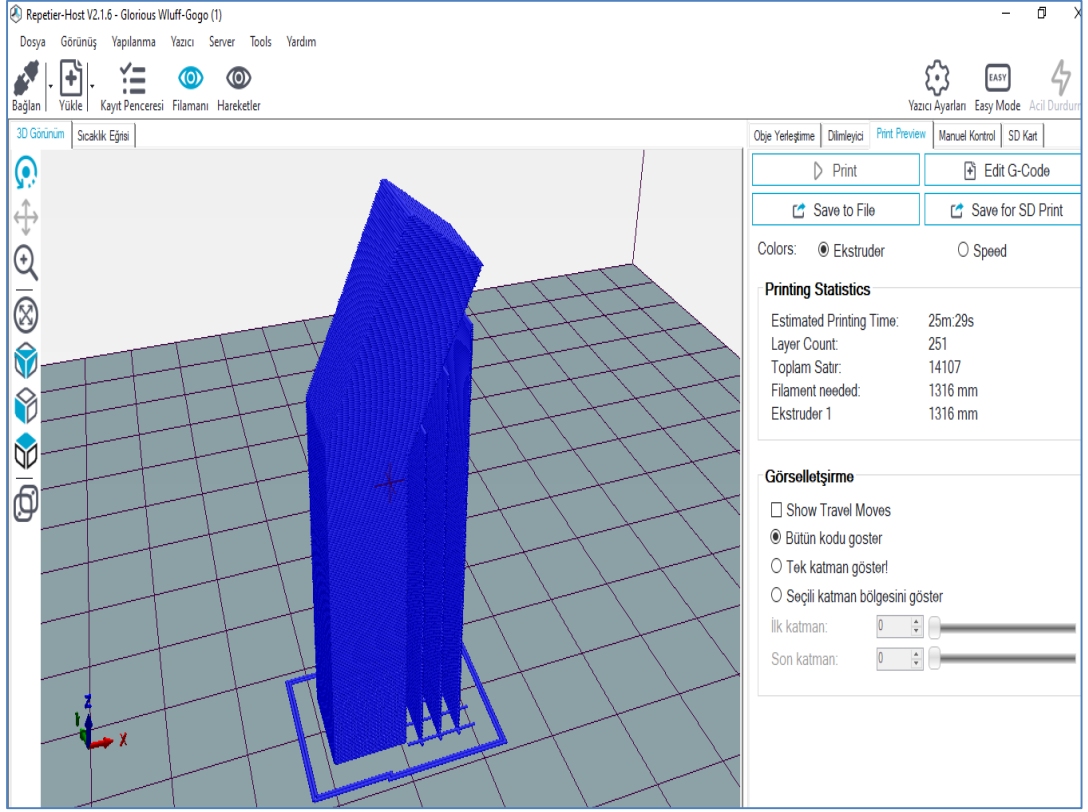
6.1. 3B YAZICIDA ÜRÜN YAZDIRMA

6.1.1. 3 Eksen 3B Yazıcıda Ürün Yazdırma

3 eksen 3B yazdırma için Şekil 6.1’de gösterilen ürün Fusion 360 BDT programında modellenmiştir.

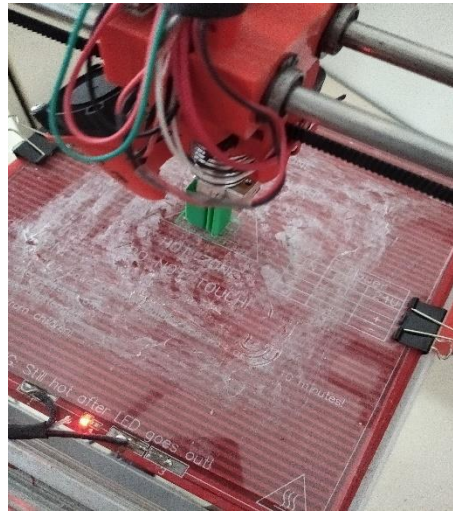


Şekil 6.1. Yazdırılan ürünün katı modeli.



Şekil 6.2. Yazdırılan ürünün dilimleme işlemi

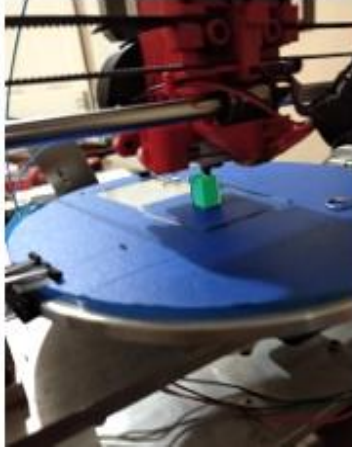
Şekil 6.1’de gösterilen ürün modellenmiş ve Repetier Host dilimleme yazılımına gönderilerek dilimlere ayrılmış ve yazdırılmaya başlanmıştır. Şekil 6.2’de Repetier Host ara yüzü gösterilmektedir. Şekil 6.3’te ürünün 3 eksen 3B yazıcıda yazdırma süreci gösterilmiştir.



Şekil 6.3. 3 eksen 3B yazıcıda yazdırma süreci.

6.1.2. 5 Eksen 3B Yazıcıda Ürün Yazdırma

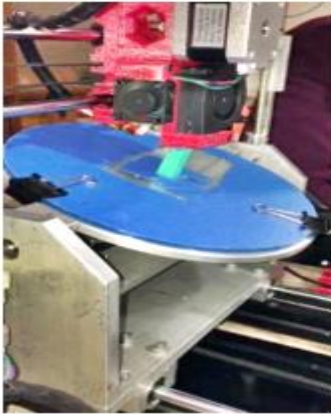
Repetier Host Cura modülünde dilimlenen ürün, ilk aşamada 3 eksen yazdırma işlemi gibi yazdırılmaktadır. Şekil 6.4'te ürünün yazdırma işleminde X, Y ve Z eksenleri çalışırken ki konumu ve oluşturulan örnek g-kodlardan bazıları gösterilmektedir.



```
G0 F3600 X109.1 Y105.4 Z0.3  
; TYPE: WALL-INNER  
G1 F1500 E0  
G1 F1800 X109.1 Y96.6 E0.16553  
G1 X117.9 Y96.6 E0.33107  
G1 X117.9 Y105.4 E0.4966  
G1 X109.1 Y105.4 E0.66213
```

Şekil 6.4. 5 eksen 3B yazıcı X,Y ve Z eksenlerinde çalışırken konumu.

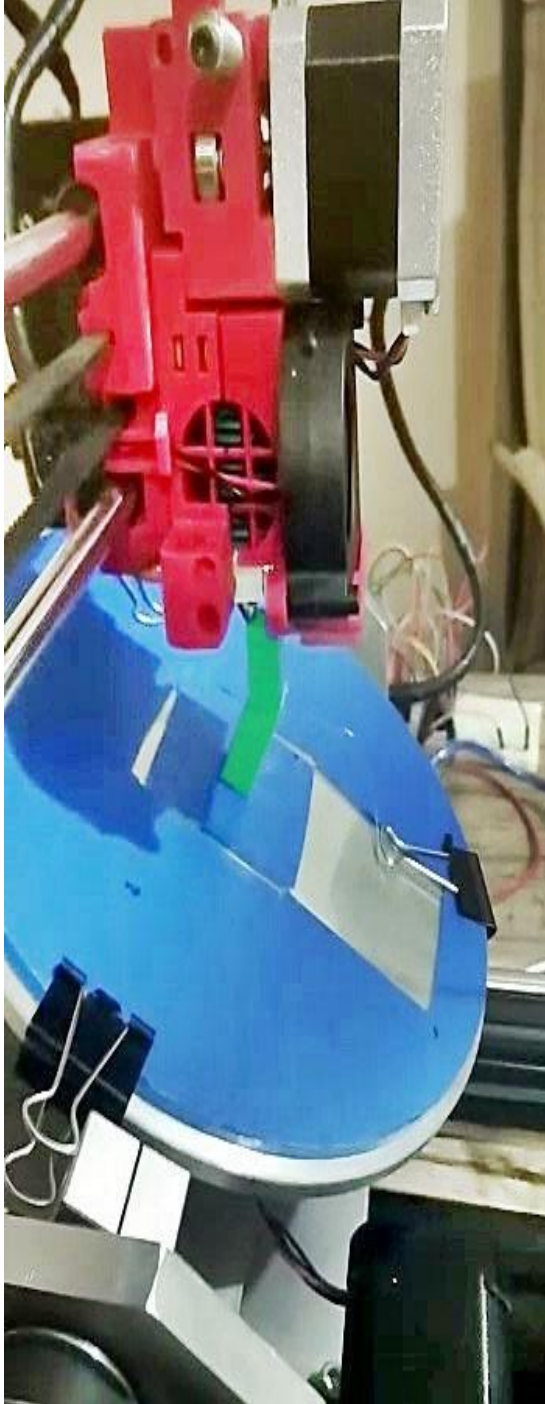
5 eksen 3B yazıcıda destek gerekli kısımlar yazdırılırken, döner tabla, Python dilinde yazılan komut satırları ile dönmektedir (Şekil 6.5). Python bu komutları kullanarak 5 eksen yazıcının g-kodlarını Arduino Nano'ya göndermektedir. Arduino Nano da döndürme işini gerçekleştirmektedir. EK C.1.'de yazdırılan ürünün g-kod dosyası verilmiştir.



```
elif (x [0] == "P"):  
    print("Axis:")  
    nano. write (bytes (x [1:],  
'ASCII'))  
elif (x [0] == "W"):
```

Şekil 6.5. 5 eksen 3B yazıcıda dönme hareketini sağlayan Python komutu.

Şekil 6.6’da yazdırma sonunda ürün 5 eksen 3B yazıcı üzerinde ki konumu ve g-kodları gösterilmektedir.



;5 axis rotation

P15330

; Center X

G0 X113.5

; Wait for rotation

W

G0 Y81.055 Z17.54

G92 Z0 Y101

; Second part of the part

M82; absolute extrusion mode

; Prime the extruder

G92 E0

G1 F200 E3

G92 E0

G92 E0

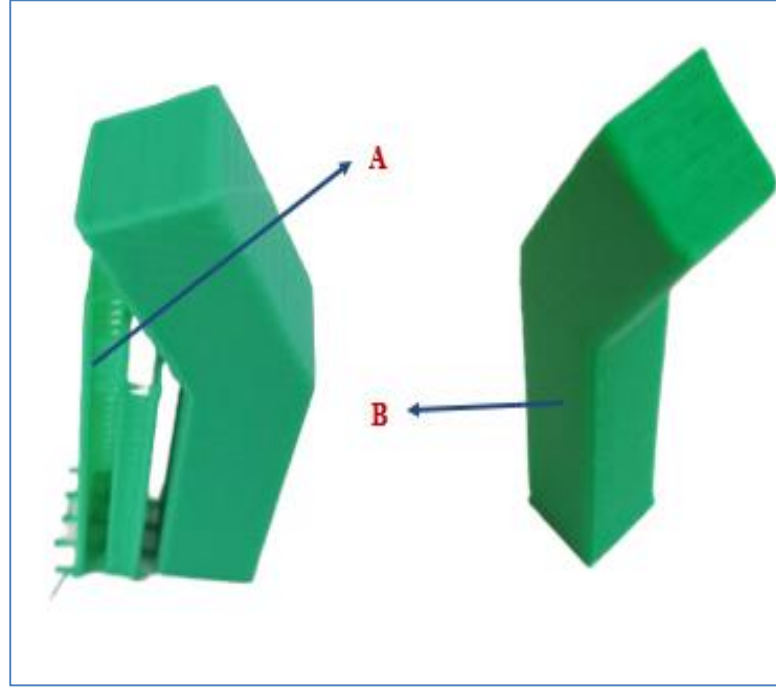
G92 E0

G1 F1500 E-6.5

Şekil 6.6. Ürün yazdırma sonunda 5 eksen 3B yazıcı üzerindeki konumu.

6.2. TARTIŞMA

Şekil 6.7’de 3 eksen ve 5 eksen yazdırma işlemi sonunda elde edilen ürünler gösterilmiştir. A ile gösterilen ürün 3 eksen 3B yazıcıda B ile gösterilen ürün 5 eksen 3B yazıcıda yazdırılmıştır. İki yazdırma içinde aynı parametreler ve aynı malzeme kullanılmaktadır. Yazdırma işlemlerinin her ikisinde de PLA malzeme kullanılırken, nozül çapı 4 mm, yazdırma doluluk oranı %30, yazdırma hızı 41 mm/sn’dir.



Şekil 6.7. 3 eksen ve 5 eksen yazıcılarda yazdırılan ürünler.

Yazdırılan ürünler incelendiğinde, 3 eksen yazıcıda yazılan ürünün yazdırma süresi 5 eksen yazıcıdan daha uzun sürmüştür. A ürünü toplamda, 25 dakika 23 saniye sürede yazdırırken, aynı parametreler kullanılarak B ürünü yazdırmak için bu süre 24 dakika 47 saniyedir.

Destek parçası temizlerken geçen süre ve ürün yüzeyinde meydana gelecek hasarlar dikkate alındığında hem zaman olarak hem de ürün kalitesi olarak 5 eksen 3B yazıcının performansının yüksek olduğu görülmüştür.

Zamanla birlikte en önemli avantaj destek malzemesi temizlenirken meydana gelecek yüzeydeki hasarların meydana gelmemesidir.

Yazdırma süresi açısından, 5 eksen yazdırma işleminin hissedilir derecede daha az zamanda tamamlandığı görülmektedir. Döner tablanın açısız hareketlerde zamanı kısalttığı ve yazdırma işlemine olumlu katkı sağladığı belirlenmektedir.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇ

Bu çalışmada 5 eksen 3B yazıcı tasarımı ve prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. 5 eksen 3B yazıcının temelde iki önemli bileşeni bulunmaktadır. Gövde ve döner tabla, 5 eksen 3B yazıcıyı oluşturmaktadır. Gövde kısmı Prusa İ3 marka yazıcıdan referans alınarak 6 mm'lik çelik sac levhadan, döner tabla ise alüminyum 701 serisinden frezede işlenerek üretildi. A ve C eksenlerini taşıyan motorların torkunu artırmak için kayış kasnak sistemi kullanılmıştır. Motor torkları 2:1 oranında arttırılmıştır.

5 eksen 3B yazıcı kontrol ünitesi için çift işlemci kullanılmaktadır. Arduino Atmega2560 işlemci X, Y ve Z eksenlerini kontrol ederken, Arduino Nano işlemci A ve C eksenlerini döndürmek için kullanılmaktadır. Arduino Nanoya bilgisayar ile iletişim kurmasını sağlayan yazılım C++ dilinde, sıcaklık ayarı ve eksenler arasındaki geçişi sağlayacak komutlar dizini Python programında yazılmaktadır. Böylece destek gereken kısımlar yazılırken tabla döndüğü için destek malzemesi kullanılmadan yazdırma işlemi gerçekleştirilmektedir.

Tez çalışmasının sonucunda;

1. 5 eksen yazdırma işleminde destek malzemesi kullanmadığı için daha kısa sürede ürün yazdırma işlemi gerçekleştirilmiştir.
2. 5 eksen yazdırma işlemi ile 3 eksen yazdırma kıyaslandığında daha hasarsız yüzeylere sahip ürün elde edilmiştir.
3. X, Y, Z eksenlerinden A ve C eksenlerine geçiş otomatik olarak sağlanmıştır.

7.2. ÖNERİLER

5 eksen 3B yazıcının geliştirilmesi için öneriler;

1. Kullanıcı dostu bir sistem için otomatik kalibrasyon yapan bir yazılım geliştirilmesi,
2. Nozıl ile yazdırma yüzeyi arasındaki mesafeyi otomatik olarak algılayabilen X eksenini için sensör yerleşimi,
3. A eksenini için açısal hesap yapan bir alt sistem tasarlanarak, otomatik kalibrasyon sisteminin eklenmesi olarak sıralanabilir.

KAYNAKLAR

1. İsa, M.A., “Multi-axis Additive Manufacturing and 3D Scanning of Freeform Models by”, Doktora Tezi, *Koç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 6-110 (2018).
2. İnternet: Arge, “Dijital Üretim”, https://arge.com/makale_category/is-dunyasi/ (2020).
3. Yıldız, A., “Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (2): 546-556 (2018).
4. İnternet: Mühendis Beyinler, “Endüstri 4.0 Nedir”, <https://www.muhendisbeyinler.net/endustri-4-0-nedir/> (2020).
5. Ertuğrul, İ., Deniz, G., “4.0 Dünyası: Pazarlama 4.0 ve endüstri 4.0.” *Bülent Ecevit Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(1): 158-170 (2018).
6. Barutcu, H., “Endüstri 4.0 Uygulamalarının Üretim Süreçlerine Etkisi: Bosch Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, *Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, 1-13 (2019).
7. Çelik, İ., Karakoç, F., Çakır, M. C., Duysak, A., “Hızlı prototipleme teknolojileri ve uygulama alanları”, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(3): 53-60 (2013).
8. Duman, B., Kayacan, C., “Eklemeli imalatta kullanılan STL dosyalarının hataları ve onarım yöntemleri”, *1. 3B Baskı Teknolojileri Sempozyumu*, İstanbul (2016).
9. Özkan, D.Ç., “Hızlı prototipleme teknolojisinin gelişimi, çeşitleri ve imalat sektöründe sağladığı avantajlar”, *MMO, Mühendis ve Makine*, 3(1): 34-41 (2019).
10. STM., “Katmanlı imalat teknolojileri ve havacılık uygulamaları”, *Sektör Değerlendirme Raporu* (2016).
11. Anglada, M.V., Garcia, N.P., Crosa, P.B., “Directional adaptive surface triangulation.” *Computer Aided Geometric Design*, 16(1): 107-126 (1999).
12. Wang, D., Hassan, O., Morgan, K., Weatherill, N., “Enhanced remeshing from stl files with applications to surface grid generation”, *Commun. Numer. Meth. Engng*, 23(1): 227-239 (2007).

13. Szilvasi, M., Matyasi, G.Y., “Analysis of STL files”, *Mathematical and Computer Modelling*, 38(1): 945- 960 (2003).
14. Lai, J.Y., Lai, H.C., “Repairing triangular meshes for reverse engineering applications”, *Advances in Engineering Software*, 37(1): 667-683 (2006).
15. Marchandise, E., Piret, C., Remacle, J.F., “CAD and mesh repair with radial basis functions”, *Journal of Computational Physics*, 23(1): 2376-2387 (2012).
16. Bi, F.L., Hu, Y., Chen, X.Y., Ma, Y., “Island hole automatic filling algorithm in triangular meshes”, *Applied Mechanics and Materials*, 1(1): 3486-3489 (2013).
17. Liepa, P., “Filling holes in meshes”, *Proceedings of the 2003 Eurographics/ACM SIGGRAPH symposium on Geometry processing*, 1(1): 200-205 (2003).
18. Hu, P, Wang, C., Li, B., Liu, M., “Filling holes in triangular meshes in engineering”, *Journal of Software*, 7(1): 141-148 (2012).
19. Nooruddin, W. C and Turk, F.S., “Simplification and repair of polygonal models using volumetric techniques”, *IEEE Transactions On Visualization and Computer Graphics*, 9(2): 19-205 (2003).
20. Wang, M., Haiguang, Z., Qingx, H.Y., Herfried, L., “Research and implementation of a non-supporting 3D printing method based on 5-axis dynamic slice algorithm”, *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, 57(1): 496–505 (2019).
21. Asif, M., Lee, J.H., Lin, Y.P., “New photopolymer extrusion 5-axis 3D printer”, *Additive Manufacturing*, 23(1): 355-361 (2018).
22. Keating, S., and N. Oxman., “Compound fabrication: a multi-functional robotic platform for digital design and fabrication”, *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, 29(6): 439–448 (2013).
23. Grutle, K. Q., “5 Axis 3D Printer”, M. Sc. Thesis, *Universty of Oslo, Department of Informatics*, Norway, 45-70 (2015).
24. Yerazunis, W.S., Barnwell III, J.C, Nikovski, D.N., “Strengthening ABS, nylon, and polyester 3d printed parts by stress tensor aligned deposition paths and five-axis printing”, *International Solid Freeform Fabrication Symposium*, Cambridge, (2016).
25. İnternet: AZAW, “ZHAW Master Students develop novel 3D Printers”, <https://www.zhaw.ch/de/engineering/ueber-uns/news/news/eventnews/zhaw-masterstudenten-entwickeln-neuartigen-3d-drucker/> (2020).
26. İnternet: 5X, “5 Axis Maker”, <http://www.5axismaker.com/5axis/> (2020).

27. İnternet: Techogeek, “Hybrid 3D Printer Using 5-Axis Control”, <https://www.techandgeek.com/hybrid-3d-printer-using-5-axis-control/> (2020).
28. İnternet: Aniwaa, “5Axvshaper”, <https://www.aniwaa.com/product/3d-printers/verashape-vshaper-5-axis/> (2020).
29. İnternet: Hage3d 3d Printer 175x, “Largest 5-Axis Gantry Material Extrusion Printer”, <https://hage3d.com/index.php/en/hage3d-3d-printer-175-x/> (2020).
30. Şahin, K, Turan, B.O., “Üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin karşılaştırmalı analizi”, *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(2): 97-116 (2018).
31. Sandalcı, N., “Türkiye’de Endüstriyel Tasarımcıların 3B Yazıcıları Kullanımı Hakkında Bir İnceleme”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 44-51 (2016).
32. Yıldırım, G, Yıldırım, S., Çelik, E., “Yeni bir bakış 3 boyutlu yazıcılar ve öğretimsel kullanımı: bir içerik analizi”, *Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi*, 13(25): 163-184 (2018).
33. Mporfu, T.P, Mawere, C., Mukosera, M., “The impact and application of 3D printing technology”, *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 3(6): 2148-2152 (2014).
34. Gedik, E., Togay, A., Çoşkun M., Demirhan E., “Üç boyutlu baskının mobilya sektöründe ürün tasarımı için kullanım imkanlarının araştırılması.” *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 2(2): 25-16 (2018).
35. Jingjunjiao, L., Hamideh, G., Jun, L., Craig, B., Ali S., “Application of fused deposition modelling (FDM) method of 3D printing in drug delivery”, *Current Pharmaceutical Design*, 23(3): 433-439 (2017).
36. Melocchi, A, Parietti F, Loreti, G, Maroni, A, Gazzaniga, A, Zema, L., “3D printing by fused deposition modeling (FDM) of a swellable/erodible capsular device for oral pulsatile release of drugs”, *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 30(1): 360-367 (2015).
37. Değerli, C., Nehir, S., “Üç boyutlu (3B) yazıcı teknolojisi ile gıda üretimine genel bakış”, *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(6): 593-599 (2017).
38. İnternet: Adam Fasnact, “Sls 3D Printer”, <https://www.cadimensions.com/blog/fdm-3d-printing-vs-sls/> (2020).
39. Ma, X.L., “Research on application of sla technology in the 3D printing technology”, *Applied mechanics and materials*, 401(403): 938-941 (2013).

40. Szykiedansa, K. and Credo, W., “Mechanical properties of FDM and SLA low-cost 3-D prints, procedia engineering”, *The 20th International conference: Machine modeling and simulations*, 136(1): 257 – 262 (2016).
41. Ermurat, M., “Hızlı Prototip ve Üretim Teknolojilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, 87-100 (2002).
42. Udrouiu, R, Braga, C.I., “Polyjet technology applications for rapid tooling”, *MATEC Web of Conferences*, 112, 1-6, (2017).
43. Prince, D.J., “3D Printing: an industrial revolution”, *Journal of Electronic Resources in Medical Libraries*, 11(1): (2014).
44. İnternet: 3D Printing from Scratch, “Types of 3D Printer”, <http://3dprintingfromscratch.com/common/> (2020).
45. Bhavar, V., Kattie, P., Khot, S., Gujar, K., Singh, R., “A review on powder bed fusion technology of metal additive manufacturing”, *4th International conference and exhibition on Additive Manufacturing Technologies-AM-2014*, Septeber 1 &2, Banglore, India (2014).
46. İnternet: 3D Universe, “Ultimaker Cura Adaptive Layers Tutorial”, <https://3duniverse.org/2018/04/06/ultimaker-cura-adaptive-layers-tutorial/> (2020).
47. İnternet: Rigidink, “Filament Types”, <https://rigid.ink/pages/filament/> (2020).
48. İnternet: 3D Hubs, “Avaible Materials for FDM”, <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/fdm-3d-printingmaterials-compared/> (2020).
49. İnternet: All 3DP, “Material Guide”, <https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/> 8202 (2020).
50. Choi, J., Kwon, J.O., Lee, H.J., Moon M.W., “4D printing technology: a review”, *3D Printing and additive manufacturing*, 2(1): 159–167 (2015).
51. Momeni, F., Hassani, S., Xun, L.M., Ni, J., “A review of 4D printing”, *Materials and Design*, 122(1): 42–79 (2017).
52. Zarek, M., Layani, M., Cooperstein I., Sachyani E., Cohn D., Magdassi S., “3D printing of shape memory polymers for flexible electronic devices”, *Adv. Mater*, 28(22), 4449-4454 (2016).
53. İnternet: Mazak, “Mazak Adds Hybrd Metal 3DPrinter”, <https://3dprintingindustry.com/news/mazak-hybrid-metal-3d-printer-5803/> (2020).

54. İnternet: Ermaksan, “Enavision 3D Metal Manufacturing Machine”, <http://www.ermaksan.com.tr/en /Ermak/Techonology/3D-Printer> (2020).

EK AÇIKLAMALAR

A.

ARDUİNO NANO'YA YAZILAN KOD

```
import serial

import time
import os

##Nano

nano = serial.Serial(port = '/dev/cu.wchusbserial14130', baudrate = 250000, timeout
= 1)

##Marlin

mar = serial.Serial(port = '/dev/cu.wchusbserial14110', baudrate = 250000, timeout
= 0.01)

time.sleep(5)

"""print(nano.name)

print(nano.write(b'01001\r'))

time.sleep(0.01)

print(nano.write(b'13001\r'))

print(nano.readlines())

print(b'G0 Z15')"""
```

```
mar.write(b'G0 X5\r')

mar.write(b'G0 X0\r')

mar.write(b'G0 X5\r')

mar.write(b'G0 X0\r')

##Home Printer
mar.write(b'G28\r')
time.sleep(23)

#Fetch Printer Feed After Homing
print(mar.readlines())

##debug
mar.write(b'G0 Z9\r')

time.sleep(1)

mar.write(b'G0 F3600 X109.1 Y105.4 Z0.3\r')
time.sleep(1)

#Heat Extruder
mar.write(b'M104 S220\r')
mar.write(b'M105\r')
```

Şekil EK A.1. Arduino Nanoya yazılan kod.

EK AÇIKLAMALAR B.

PYHTON DİLİNDE YAZILAN İLETİŞİM KODU

```
void setup() {
  pinMode(8, OUTPUT); // sets the digital pin 13 as output

  pinMode(7, OUTPUT); // sets the digital pin 13 as output
  digitalWrite(7, HIGH);

  pinMode(11, OUTPUT);
  pinMode(12, OUTPUT);
  digitalWrite(11, HIGH);

  Serial.begin(250000);
}

void serialEvent() {

  int mID = Serial.read() - 48;

  Serial.print("Motor ID: ");

  Serial.print(mID);

  Serial.print("\n");
  int stepC = 0;
  int digitN = Serial.available() - 2;

  for( int i = 0; i < digitN; i++ ) {
```

```
if(mID == 0) {

for( int i = 0; i < stepC; i++) {

    digitalWrite(8, HIGH); // sets the digital pin 13 on

    delay(10);           // waits for a second

    digitalWrite(8, LOW); // sets the digital pin 13 off

    delay(10);
}
}else if(mID == 1) {

for( int i = 0; i < stepC; i++) {
    digitalWrite(12, HIGH); // sets the digital pin 13 on
    delay(10);           // waits for a second
    digitalWrite(12, LOW); // sets the digital pin 13 off
    delay(10);
}
}

void loop() {
    delay(10);
}
```

Şekil EK B.1. Python dilinde yazılan iletişim kodu.

EK AÇIKLAMALAR C.

YAZDIRILAN ÜRÜNÜN G-KODLARI


```
;FLAVOR:Marlin
;TIME:707
;Filament used: 0.231275m
;Layer height: 0.2
;MINX:108.7
;MINY:96.2
;MINZ:0.3
;MAXX:118.3
;MAXY:105.8
;MAXZ:25.5
;Generated with Cura_SteamEngine 4.4.1
M82 ;absolute extrusion mode
;Prime the extruder
G92 E0
G1 F200 E3
G92 E0
G92 E0
G92 E0
G1 F1500 E-6.5
;LAYER_COUNT:128
;MESH:NONMESH
G0 F600 X109.382 Y105 Z1.9
G0 F7200 X109.259 Y96.76
;TIME_ELAPSED:61.947104
;LAYER:8
;TYPE:FILL
;MESH:5d.stl
G1 F2478.9 X117.738 Y105.24 E21.99088
G1 X117.808 Y105.31
G0 F7200 X117.808 Y105.3
G0 X116.423 Y105.24
```

G1 F2478.9 X109.259 Y98.075 E22.11794

G1 X109.189 Y98.005

G0 F7200 X109.2 Y98.005

G0 X109.259 Y99.39

G1 F2478.9 X115.108 Y105.24 E22.22168

G1 X115.178 Y105.31

G0 F7200 X115.178 Y105.3

G0 X113.793 Y105.24

G1 F2478.9 X109.259 Y100.706 E22.30209

G1 X109.189 Y100.636

G0 F7200 X109.2 Y100.636

G0 X109.259 Y102.021

G1 F2478.9 X112.478 Y105.24 E22.35918

G1 X112.548 Y105.31

G0 F7200 X112.548 Y105.3

G0 X111.162 Y105.24

G1 F2478.9 X109.259 Y103.336 E22.39293

G1 X109.189 Y103.266

G0 F7200 X109.2 Y103.266

G0 X109.259 Y104.651

G1 F2478.9 X109.847 Y105.24 E22.40337

G1 X109.917 Y105.31

Şekil EK C.1. Yazdırılan ürünün g-kodları

ÖZGEÇMİŞ

Deniz Altunkaynak, Amasya doğumludur. İlk ve orta eğitimini İstanbul'da, lise eğitimini Ziya Kalkavan Anadolu Denizcilik Teknik Lisesi Gemi Makineleri Bölümünde tamamladı. Lisans eğitimini Gazi Üniversitesi Endüstriyel Teknoloji Eğitiminde tamamladıktan sonra mezun olduğu yıl olan 2003 yılında MEB Zonguldak ili emrine Teknoloji ve Tasarım öğretmeni olarak atandı. 2007 yılı Ağustos ayında istifa ederek, Ankara Gazi Üniversitesi Vakfı Özel Okulları'nda Teknoloji ve Tasarım öğretmeni olarak göreve başladı. Halen aynı kurumda aynı pozisyonda göreve devam etmekte olup Karabük Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği bölümünde yüksek lisans, eğitimi devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Eti mah. Ali Suavi Sok. No 15. Maltepe /ANKARA

Tel : (0505) 804 09 71

E-posta : daltunkaynak@gmail.com