

**3B SERAMİK YAZICI TASARIMI VE PROTOTİP
İMALATINDAN SERAMİK MALZEME ÜRETİMİ
VE YAZDIRMA PARAMETRELERİNİN
İNCELENMESİ**

**2017
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ**

Aydın ÇALIŞKAN

**3B SERAMİK YAZICI TASARIMI VE PROTOTİP İMALATINDAN
SERAMİK MALZEME ÜRETİMİ VE YAZDIRMA PARAMETRELERİNİN
İNCELENMESİ**

Aydın ÇALIŞKAN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Haziran 2017

Aydın ÇALIŞKAN tarafından hazırlanan “3B SERAMİK YAZICI TASARIMI VE PROTOTİP İMALATINDAN SERAMİK MALZEME ÜRETİMİ VE YAZDIRMA PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hatice EVLEN

.....

Tez Danışmanı, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 08/08/2017

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Hatice EVLEN (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA (KBÜ)

.....

Üye : Yrd.Doc.Dr. Nermin DEMİRKOL (KOÜ)

.....

...../...../2017

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

.....

Fen Bilimleri 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.”

Aydın ÇALIŞKAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

3B SERAMİK YAZICI TARASIMI VE PROTOTİP İMALATINDAN SERAMİK MALZEME ÜRETİMİ VE YAZDIRMA PARAMETRELERİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Aydın ÇALIŞKAN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Hatice EVLEN

Ağustos 2017, 100 Sayfa

Gelişen teknoloji ile birlikte 3B yazıcılarda plastik malzemenin yanı sıra seramik malzemeler ile üretim yapabilen 3B seramik yazıcılar hayatımıza girmeye başladı. Bu çalışmada, 3B kartezyen tipi seramik yazıcıda baskı almak için tasarımı ve prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. 3B seramik yazıcı için; hafriyat olarak makarna kil malzemesi kullanılmış, çeşitli yazdırma parametrelerinde baskılar alınmıştır. Bu baskılar sonucunda basma, su emme ve yoğunluk testleri yapılmıştır. Elde edilen numunelerce sırlama işlemi uygulanıp; 900°C, 950°C ve 1000°C sıcaklıkta sinterlemeye tabi tutulmuş, basma, su emme Xrd ve Sem tesleri gerçekleştirilmiştir. Testlerin sonuçları grafiklerle mukayese edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : 3B yazıcı, su emme, kartezyen, seramik, kil, seramik yazıcısı, SEM, XRD, 3B seramik.

Bilim Kodu :

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION ON THE EFFECT OF CERAMIC MATERIAL PRODUCTION AND PRINTING PARAMETERS FROM 3D CERAMIC PRINTER PROTOTYPE MANUFACTURING

Aydın ÇALIŞKAN

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Design Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Hatice EVLEN

August 2017, 100 pages

Along with the developing technology, 3D ceramic printers that can produce with ceramic materials as well as plastic materials in 3D printers have begun to enter our lives. In this study, design and prototype production were carried out for printing on 3D Cartesian type ceramic printer. for 3D ceramic printer; Clay material used as excavation, Clay and crude ceramic material tried to print, Prints were taken at various print parameters. As a result of these pressures, pressurization, water absorption and Xrd and Sem tests were carried out. The obtained samples are subjected to sequencing; 900°C, 950°C, 1000°C subjected to post-processing water absorption test, Compression, water absorption Xrd and Sem tests were carried out. The results of the tests were compared to the graphs.

Anahtar Kelimeler : 3B print, water absorption test, cartesian, ceramic, clay, ceramic printer, SEM, XRD, 3D ceramic.

Bilim Kodu :

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren Sayın Yrd. Doç.Dr. Hatice EVLEN, Prof. Dr. Mustafa YAŞAR ve Arş.Gör. Mustafa Aydın hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında Kocaeli Üniversitesi (KOÜ) Değirmendere Ali Özbay Meslek Yüksek Okulu; Seramik Cam ve Çinicilik Program koordinatörü sayın öğretim üyesi Yrd.Doc.Dr. Nermin DEMİRKOL 'a seramik malzemelerle ilgili bilgi birikimini ve gerçekleştirilen teslerdeki yardımları için teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Değerli arkadaşlarım Gülce KAYA ve Şükrü ŞEN 'e yardımları için teşekkür ederim.

Sevgili aileme maddi manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Gerçekleştirilen bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimi tarafından KBÜ-BAP 15/02 YL-039 numaralı 3B SERAMİK YAZICI TARASIMI VE PROTOTİP İMALATINDAN SERAMİK MALZEME ÜRETİMİ VE YAZDIRMA PARAMETRELERİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ başlıklı proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Karabük Üniversitesi BAP birimine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. 3B YAZICI İŞLEMİ GENEL TANIM	1
1.2. ÇALIŞMANIN AMACI.....	2
1.3. 3B YAZICI SEKTÖRÜNÜN TARİHSEL GELİŞİMİ	2
1.4. 3B YAZICILARIN AMACI	3
1.5. 3B YAZICILARIN BASKI İŞLEMİ	3
1.6. 3B YAZICI ARAYÜZ YAZILIMLARINDA DİLİMLEME VE G-CODE İŞLEMLERİ.....	4
1.6.1. G-Code in Yapısı	4
1.6.2. G-Code Katman Yapısı	5
1.7. 3B YAZICILARA DÜNYADAN ÖRNEKLER	6
1.8. 3B YAZICILAR İLE TERSİNE MÜHENDİSLİK	6
BÖLÜM 2	8
LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	8
2.1. 3B YAZICILARIN TIP ALANINDA KULLANIMI	15
2.2.1. 3B Yazıcıların Dental Uygulamala Alanı.....	20
2.2. 3B YAZICILARIN SANAYİDEKİ KULLANIM ALANI.....	20

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3	20
3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ	22
3.1. FDM (FUSED DEPOSITION MODELING) TEKNOLOJİSİ.....	22
3.2. SLS (SELECTIVE LASER SINTERING İŞLEMİ) TEKNOLOJİSİ.....	22
3.3. SLA (STEREOLITHOGRAPHY) TEKNOLOJİSİ.....	23
3.4. MJM (MULTI JET MODELİNG)	24
3.5. POLYJET TEKNOLOJİSİ (PJ)	25
BÖLÜM 4	28
3B YAZICILARDA KULLANILAN MALZEMELER	28
4.1. ABS (AKRİNONİTRİL BUTADİYEN SİTREN).....	28
4.2. PLA (POLİLAKTİK ASİT).....	29
4.3. PVA (POLİVİNİL ALCOL)	29
4.4. CARBON FİBER PLA.....	30
4.5. NAYLON FİLAMANT	30
4.6. AHŞAP FİLAMANT	30
4.7. ESNEK FİLAMANT (FLEXİBLE FİLAMANT)	31
4.8. 3B SERAMİK YAZICI İÇİN KULLANILAN SERAMİK VE KİL MALZEMELERİ	32
4.8.1. Seramik Malzemelerin Uygulama Alanları	33
BÖLÜM 5	35
MATERYAL VE METOD	35
5.1. 3B YAZICI TASARIMI.....	35
5.2. 3B YAZICI BAŞLIK (NOZZLE) TASARIMI	38
5.3. 3B YAZICI MEKANİK EKİPMANLAR	39
5.3.1. Lineer Kızak-Araba.....	39
5.3.2. Vidalı Mil-Somun	39
5.3.3. GT2 Kayış-Kasnak.....	40
5.3.4. Sigma Profil	40
5.4. 3B YAZICI ELEKTRONİK AKSAMI	41
5.5. 3B YAZICI YAZILIMI	48

5.6. 3B YAZICIDA KULLANILAN PROGRAMLAR VE YAZDIRMA PARAMETRELERİ	48
5.7. 3B YAZICI İÇİN SERAMİK MALZEMENİN HAZIRLANMASI	51
5.8. KİL'İN HAZNEYE DOLDURULMASI	53
5.9. 3B YAZICININ NOZZLE İMALATI.....	54
5.10. 3B YAZICI KURULUMU	55
BÖLÜM 6	55
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	56
6.1. 3B SERAMİK YAZICI İLE PARÇA ÜRETİM AŞAMASI.....	56
6.2. BASMA NUMUNESİ	57
6.3. BASMA TESTİ.....	59
6.4. YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ.....	59
6.5. SEM ANALİZİ.....	60
6.5.1. Taramalı Elektron Mikroskopunun Çalışma Prensibi.....	60
6.7. PİŞME ÇEKİLMESİ DENEYİ.....	61
6.8. XRD ANALİZİ	62
6.9. EDX ANALİZİ.....	62
BÖLÜM 7	64
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	64
7.1. GENEL SONUÇLAR.....	64
7.2. BASMA TESTİ.....	65
7.3. BASMA DENEYİ MUKAVEMET ÖLÇÜMÜ	67
7.4. SU EMME TESTİ	70
7.4.1. Su Emme Deneyi	72
7.5. BOYUTSAL PİŞME ÇEKİLMESİ.....	73
7.6. YOĞUNLUK SONUÇLARI	74
7.7. SEM ANALİZİ YAPILIŞI.....	75
7.7.1. SEM Görüntüleri.....	76
7.8. XRD DENEYİNİN YAPILIŞI.....	79

	<u>Sayfa</u>
7.8.1. XRD Görüntü Sonuçları	80
7.9. EDX ANALİZİ.....	82
BÖLÜM 8	85
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
8.1. SONUÇLAR	85
8.2. ÖNERİLER.....	87
KAYNAKLAR.....	88
EK AÇIKLAMALAR A. ÇEŞİTLİ GEOMETRİLERDEKİ NUMUNE FOTOĞRAFLARI	93
EK AÇIKLAMALAR B. YAZICI BAŞLIK(NOZZLE) TEKNİK RESİMLERİ	97
ÖZGEÇMİŞ.....	100

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Katmanlar halinde yazma işlemi.	1
Şekil 1.2.	3B yazıcıdan basılan çeşitli parçalar.....	3
Şekil 1.3.	Baskı işlemi aşamaları	4
Şekil 1.4.	Baskı ve G-Code işlemi.	5
Şekil 1.5.	G-code katmanlar halinde izlenecek yol bilgisi.	6
Şekil 2.1.	Harç yığma (Fused Deposition Modeling FDM) teknolojisi.	9
Şekil 2.2.	John balisteri, seçici lazer sinterleme	9
Şekil 2.3.	Lazer sinterleme	10
Şekil 2.4.	Seramikten üretilen çeşitli alanlardaki parçalar	10
Şekil 2.5.	Seramik malzemeler için kullanılan aşınma deneyi cihazı	13
Şekil 2.6.	Jonattan keep icebergs, harç yığma (fdm) baskı süreci	14
Şekil 2.7.	Johnattan keep, icebergs, harç yığma (fdm) baskı süreci	14
Şekil 2.8.	Stratigraphic porselen serisi üretim süreci	15
Şekil 2.9.	Üretim malzemesi olarak insan dokusu kullanarak, canlı ve duyma yeteneğine sahip kulak üretimi.....	16
Şekil 2.10.	Sinterleme yöntemi ile seramik tozundan kemik üretimi	17
Şekil 2.11.	SEM boyutları, şekilleri ve mortolojileri	18
Şekil 2.12.	Aort damarı üretebilen 3 boyutlu biyoyazıcı	19
Şekil 2.13.	Biyoyazıcıda basımı gerçekleşen aort damarı görüntüsü.....	19
Şekil 3.1.	FDM (fused deosition modeling) teknolojisi	22
Şekil 3.2.	SLS (selective laser sintering) teknolojisi.....	23
Şekil 3.3.	SLA teknolojisi.....	24
Şekil 3.4.	MMJ teknolojisi baskı işlemi	25
Şekil 3.5.	Polyjet teknolojisinin çalışma prensibi ve üretilen parçalar	25
Şekil 4.1.	Abs malzemesi baskısı ve son işlem.....	29
Şekil 4.2.	Esnek filament (Flexible filament)	31
Şekil 4.3.	Ham kil görüntüsü	32
Şekil 5.1.	Seramik yazıcı tasarımı.....	35
Şekil 5.2.	Cihaz ön ve alt görünüş teknik resim genel boyutları	36
Şekil 5.3.	X eksenli sacı izometrik görünüşü.....	36

Şekil 5.4. X eksen sacı teknik resim görünüşleri	37
Şekil 5.5. Z Eksen sacı teknik resim görünüşleri	37
Şekil 5.6. Yazıcı başlık tasarımı görüntüsü	38
Şekil 5.7. X ve Y eksenleri için kullanılan lineer kızak - araba iletim sistemi gösterimi.....	39
Şekil 5.8. Z Ekseni için kullanılan iletim sistemi vidalı mil – somun sisteminin görünüşü	39
Şekil 5.9. GT2 kayış kasnak sistemi	40
Şekil 5.10. Sigma profillerin teknik resim ölçüleri	41
Şekil 5.11. Köşebentler ile bağlantı	41
Şekil 5.12. Arduinio mega kontrol kartı	42
Şekil 5.13. Ramps	43
Şekil 5.14. A4988 Adım motor sürücüsü	43
Şekil 5.15. Microstep driver.	44
Şekil 5.16. Sistemin elektronik devre şeması	45
Şekil 5.17. RepRap ramps	46
Şekil 5.18. Limit switch.....	46
Şekil 5.19. Güç kaynağı.....	46
Şekil 5.20. Elektronik bağlantıların kurulumu.....	47
Şekil 5.21. Marlin yazılımı görüntüsü.....	48
Şekil 5.22. Simplify programı yazdırma parametre ayarları	50
Şekil 5.23. Simplify programı yazdırma parametre ayarları	51
Şekil 5.24. Ham kil malzeme ve dövülme işlemi sonrası kil.....	52
Şekil 5.25. Paslanmaz elek teli görüntüsü	52
Şekil 5.26. Kil malzeme eleme işlemi ve kil malzemenin toz hali	53
Şekil 5.27. Kil malzemenin su ile yoğrulmuş hali	53
Şekil 5.28. Hazırlanan kil'in hazne içerisine doldurulması.....	54
Şekil 5.29. Nozzle üretimi	54
Şekil 5.30. 3B Yazıcı kurulum aşamaları	55
Şekil 6.1. Kare parça üretim aşamaları.....	56
Şekil 6.2. Silindirik parça üretim aşamaları.....	56
Şekil 6.3. Basma numunesinin boyutları	57
Şekil 6.4. %10 ve %20 parçaların doluluk oranlarının gösterimi	58
Şekil 6.5. %30, %40 ve %50 Parçaların doluluk oranlarının gösterimi.....	58

Sayfa

Şekil 6.6. Basma testi için gerçekleştirilen örnek numune.....	58
Şekil 6.7. SEM (Scanning Electron Microscope) cihazı görüntüsü.....	60
Şekil 6.8. Tramalı elektron mikroskopunun şematik görüntüsü.	61
Şekil 7.1. Malzeme sınıflandırılması.....	64
Şekil 7.2. Basma Testi cihazı.....	66
Şekil 7.3. Malzeme doluluk oranları	66
Şekil 7.4. Simplify3D programı ve basma testi doluluk oranlarının gösterimi	66
Şekil 7.5. Simplify3D programında basımı gerçekleştirilen parçaların 900°C sinterlenmesi sonucu, basma testi ortalama veri sonuçları grafiği	67
Şekil 7.6. Simplify3D programında basımı gerçekleştirilen parçaların 950°C sinterlenmesi sonucu, basma testi ortalama veri sonuçları grafiği	68
Şekil 7.7. Simplify3D programında basımı gerçekleştirilen parçaların 1000°C sinterlenmesi sonucu, basma testi ortalama veri sonuçları grafiği	70
Şekil 7.8. Su emme test numunesi teknik ölçüleri	71
Şekil 7.9. Su emme parçası üretim aşamaları	71
Şekil 7.10. Su emme testi numuneleri hazır hali	71
Şekil 7.11. Sem görüntüsü için numune ölçüleri	76
Şekil 7.12. 900°C, 950°C ve 1000°C deki 1000x büyütme görüntüleri	77
Şekil 7.13. 900°C, 950°C ve 1000°C deki 2500x büyütme görüntüleri	77
Şekil 7.14. 900°C, 950°C ve 1000°C deki 15000x büyütme görüntüleri.....	78
Şekil 7.15. XRD deneyi cihazı.....	80
Şekil 7.16. XRD görüntü sonuçları.....	81
Şekil 7.17. EDX 1000°C de sinterlenen numuneden edx analizi yapılan bölgelerin sem görüntüsü görüntüsü.....	82
Şekil 7.18. EDX analiz sonucu (1 nolu bölge)	83
Şekil 7.19. EDX 2 nolu bölge	83
Şekil 7.20. EDX 3 nolu bölge	84
Şekil Ek A.1. Dairesel dörünüme ait numuneler	94
Şekil Ek A.2. Kare dörünüme ait numune	94
Şekil Ek A.3. Kare parçaya ait %10 doluluk oranına sahip numune.....	95
Şekil Ek A.4. Silindirik bir parçaya sahip örnek numune katmanların detay görüntüsü.....	95
Şekil Ek A.5. Silindirik bir parçaya sahip örnek numune katmanların detay görüntüsü.....	96
Şekil Ek A.6. Silindirik bir parçaya sahip numunenin yazdırma işlemindeki görüntüsü.....	96

Sayfa

Şekil Ek B.1. Yazıcı başlık (nozzle) şase parçanın ön-yan-üst ve izometrik görüşleri.....	98
Şekil Ek B.2. Orta parça ön-yan-üst görüşlerin teknik ölçüleri.....	99



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Hızlı prototipleme yöntemlerinin karşılaştırılması	26
Çizelge 5.1. Cihaz genel teknik özellikleri	36
Çizelge 7.1. Simplify3D programında basımı gerçekleştirilen parçaların 900°C sinterlenmesi sonucu, basma testi ortalama veri sonuçları tablosu.....	67
Çizelge 7.2. Simplify3D programında basımı gerçekleştirilen parçaların 950°C sinterlenmesi sonucu, basma testi ortalama veri sonuçları.....	68
Çizelge 7.3. Simplify3D programında basımı gerçekleştirilen parçaların 1000°C sinterlenmesi sonucu, basma testi ortalama veri sonuçları.....	69
Çizelge 7.4. Su emme numunelerin farklı sıcaklıklar-doluluk oranı ile yüzde(%) olarak karşılaştırılması.....	73
Çizelge 7.5. Boyutsal pişme çekilmesi için, numunelerin farklı sıcaklıklar-doluluk oranı ile yüzde (%) olarak karşılaştırılması.....	74
Çizelge 7.6. Boyutsal pişme çekilmesi için, numunelerin farklı sıcaklıklar-doluluk oranı ile yüzde(%) olarak karşılaştırılması.....	75

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

mm	: milimetre
Ø, D	: çap
R	: yarı çap
%	: yüzde değeri
C°	: santigrat derece
Fm	: maksimum kuvvet
dL	: maksimum kuvvetteki deformasyon miktarı
M1	: kuru karo kütlesi
M2	: ıslak karo kütlesi

KISALTMALAR

PC	: Personal Computer (Kişisel Bilgisayar)
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAM	: Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli İmalat)
CNC	: Computer Numerical Control (Bilgisayar Sayımlı Yönetim)
3B	: 3 Boyutlu
STL	: Steliography
SLS	: Selective Laser Sintering (Seçici Lazer Sinterleme)
FDM	: Fused Deposition Modelling (Eriyik Yığıma Modelleme)
SLA	: Stereolithography (Stereolitografi)
LOM	: Laminated Object Manufacturing (Tabaka Yapıştırımlı Parçalı İmalatı)
ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
PLA	: Polilaktik Asit
MJM	: Multi Jet Modeling (Çok Jetli Modelleme Sistemi)
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)

EDX : Energy Dispersive X-Ray (X-Işını Enerji Dağılımı)

XRD : X-Ray Diffraction (X-Işını Kırılımı)



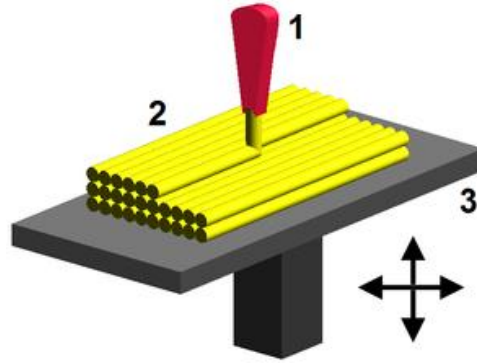
BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. 3B YAZICI İŞLEMİ GENEL TANIM

3B Yazıcı, Bilgisayar destekli Tasarım (CAD) programları yardımıyla tasarlanan herhangi bir elektronik veriyi kalıp, model ve benzeri araç gereç ihtiyacı duymadan kat kat malzeme ekleyerek fiziksel model imalatı yapan makinelerdir. Bu teknoloji geleneksel imalat yöntemleri ile gerçekleştirilmesi oldukça zor ve zaman alan geometrileri üretebilmektedir [1].

Yıllar geçtikçe hayatımıza çok daha fazla alanda girmeye hazırlanan 3B yazıcı katman yığıma yöntemi ile çalışan ve 3 boyutlu bir programda tasarlanmış bilgisayar çizimini, elle tutulur cisim haline dönüştüren cihazlardır. Bu cihazlar sizin tasarladığınız 3 boyutlu herhangi bir veriyi oldukça kısa bir sürede kullanıma hazır hale getirebilmektedir. Oluşturulan 3 Boyutlu çizim bir 3B yazıcı programı ile STL (STereoLithography) formatına dönüştürülerek katmanlar halinde yazılma işlemi Şekil 1.1 de mevcuttur [2].



Şekil 1.1. Katmanlar halinde yazma işlemi [2].

3B yazıcılar ile üretim yapabilmek için ilk olarak 3 boyutlu bir veriye ihtiyaç vardır. Bu alanda kullanılacak programlardan bazıları, Catia, SolidWorks, Inventor,

Autodesk Fusion 360' tır. Bu yazılımlar ile tasarlanan modeller STL dosyası olarak dönüştürülmekte ve 3B yazıcılar ile üretilmektedir.

3B yazıcılar baskı yapmadan önce hafızalarında bu verileri .STL uzantısına dönüştürerek oluşacak cismi nano metrik katmanlara bölerler ve bir örümceğin ağını örmesi gibi teker teker katmanları örerler. (Şekil 1.1) Görülen katmanda, cisim artık gerçek tasarımdan çıkıp somut halini gösterir.

3B yazıcılar ile baskı almak için farklı teknolojiler kullanılmaktadır. Bu teknolojiler üretim yöntemlerinin nasıl ilerlediği ile ilgilidir. 3B yazıcılardan en çok kullanılan bu teknoloji SLS (Seçici Lazer Sinterleme) ve FDM (Harç Yığıma Yöntemi) yöntemleridir [3].

1.2. ÇALIŞMANIN AMACI

Gerçekleştirilen çalışmanın amacı, seramik ve benzeri malzemelerin üç boyutlu olarak prototip modelini elde etmemizi sağlayacak, piyasada mevcut yazıcılardan farklı bir prosesle işlev gören bir yazıcı tasarımı ve üretimi yapmaktır. Bu amaç doğrultusunda tasarlanan ve imalatı gerçekleştirilen kartezyen tipi seramik yazıcı ile farklı parametrelerde deney numunesi üretilip yazdırma parametrelerinin etkisi kıyaslanmıştır. İmalatı gerçekleştirilen yazıcıda sarf malzeme beyaz kil olarak bilinen makarna kil malzemesi kullanılmıştır.

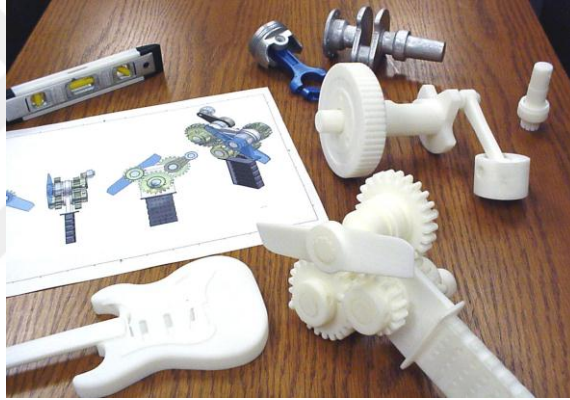
1.3. 3B YAZICI SEKTÖRÜNÜN TARİHSEL GELİŞİMİ

Teknolojinin ilerlemesi hayatımıza kolaylık kazandırırken iş dünyasında zaman ve para kazancımızı arttırmaktadır. Yazılı iletişimin önemli temsilcilerinden yazıcılar da yeni buluşlarla gelişmekte, işimizi kolaylaştıran özellikleriyle bize fayda sağlamaktadır. Nokta vuruşlu ve mürekkep püskürtmeli yazıcılar, lazer yazıcılar ve 3B yazıcılar teknolojinin bize sunduğu yeniliklerdir. Her biri kullanım alanlarına göre farklı özellikler taşımakta ve gün geçtikçe hayatımızda daha çok yer almaktadır.

Her teknolojik gelişme ilk zamanlarda pahalı ve lüks bir harcama gibi görünür. Birçok kez bu teknolojilerin kurulum maliyeti yüksek olmasına rağmen, kullanımı zaman, iş gücü ve hatta maliyet tasarrufu sağlamaktadır [4].

1.4. 3B YAZICILARIN AMACI

3B yazıcı esas olarak herhangi bir objenin seri üretimden önceki son halini görmek için kullanılan cihazlardır. Böylece, ürün seri üretime geçmeden önce bu yazıcılardan prototip imalatı gerçekleştirilip son kontrolleri gerçekleştirilir örnek parçalar görülmektedir. Bu da maliyet ve tasarrufu doğabilecek sorunların önceden görülmesini sağladığı için ciddi bir kolaylık getirmektedir [2].



Şekil 1.2. 3B yazıcıdan basılan çeşitli parçalar [2].

İlerleyen zamanlarda, çocuklar kendi oyuncaklarını yapabilmeleri için, çizilmiş bir 3B veriyi, evde kullanılan cihazların herhangi bir parçası bozulduğu zaman bu parçayı direkt fabrikadan getirmek yerine yalnızca gerekli olan geometri ve malzeme bilgisi için ödeme yapmak yeterli olacaktır [5].

1.5. 3B YAZICILARIN BASKI İŞLEMİ

3B verinin yazıcıda yazma işlemi, bilgisayar ile başlamakta ve yazıcının baskıyı yapmasıyla tamamlanır. Üç boyutlu tasarım dosyaları bilgisayar yazılımı aracılığı ile dilimleme işleminden geçirilir ve üç boyutlu olarak basılabilir dosya formuna

dönüştürülür. Bu dosyalar dilimlenmiş (katmanlara bölünmüş) halde bilgisayar dilinin anlayabileceği formattadır [6].



Şekil 1.3. Baskı işlemi aşamaları [6].

3B yazıcının hangi süre zarfında hangi mekanizmaların hareket edeceği bilgisi ve hammaddeyi istenilen katman kalınlığında basılacağı gibi bilgiler bu dosya içerisinde yer almaktadır. Cihazın kaliteli baskı alıyor olması, cihazın eksenlerin hareketindeki mekanik aksama göre değişiklik göstermektedir. Çoğunlukla baskı kalınlığı 100 μm . Ancak profesyonelce tasarlanmış ve imal edilmiş yazıcılar için 16 μm olabilmektedir.

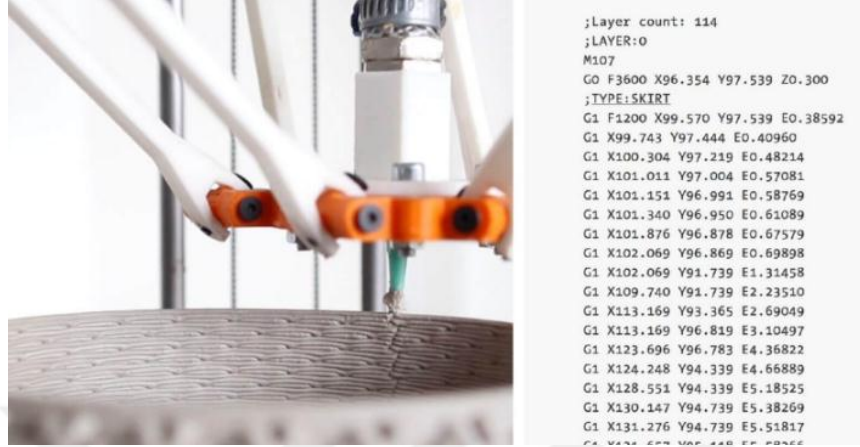
1.6. 3B YAZICI ARAYÜZ YAZILIMLARINDA DİLİMLEME VE G-CODE İŞLEMLERİ

3B yazıcılar .stl uzantılı kullanılan 3B data dosyalarını üretebilmek için önce üretmek istenen parça (Slicer, Cura, Simplfy3D) gibi 3B yazıcının anlayacağı dilimleyici programlarda g-code'a dönüştürülüyor. G-code ise dilimlenen data'yı yazıcının hangi eksen üzerinde ne yapması gerektiği hakkında bilgiyi iletmektedir. Dolayısıyla g-code tıpkı CNC makinelerindeki Cam gibi bilgisayarda tasarlanan veriyi cihazın istediği dile dönüştürmesi olayıdır [7].

1.6.1. G-Code ın Yapısı

G-code kelime yapısı olarak ingilizcedeki geometric code'nin kısaltılmış halidir. G-code yüzlerce ya da binlerce satır kod'tan oluşmaktadır. Bu kod bloklarının hepsi bir görev içermektedir. 3B yazıcı tasarlanan veriyi dilimleme işleminin akabinde

yüzlerce satırı tek tek istenilen eksene gitmesi ile oluşturulan satırları takip etmektedir [8].



Şekil 1.4. Baskı ve G-Code işlemi [8].

G-code'nin bir bloğu aşağıdaki örnek bloğunda olduğu gibi görülmektedir. Bu örnek bloğu düz çizgiyi çizmesi için cihaza gönderilmiştir. X=-10, Y=-0 ve Z=-1 koordinat düzleminde ilerleyeceği mesafeyi belirtmektedir. Burada G-code'ler çoğunlukla iki ana dal ile görülmektedir. İlk olarak yukarıki örnekte olduğu gibi sıfır merkezli olarak başlanmaktadır diğer yöntem ise cihazın kendisinin sıfır olarak kabul ettiği noktadır. Her iki başlangıç yöntemi de piyasada kullanılmakta ancak ikinci yöntemi daha sıklıkla görmekteyiz [8].

1.6.2. G-Code Katman Yapısı

Birinci sırada koordinat düzlemindeki orijin noktası belirlenmektedir. 3B Yazıcılar bildiğiniz gibi katman katman bir imalat yapmaktadır. G-code bu aşamada her katmanın gitmesi gereken yol bilgisini (Şekil 1.5) görüldüğü gibi koordinat cinsinden vermektedir [8].

```
G1 X108.587 Y111.559 F525 ; controlled motion in X-Y plane  
  
G1 X108.553 Y111.504 F525 ; controlled motion in X-Y plane  
  
...  
  
...  
  
G1 Z0.345 F500 ; change layer  
  
G1 X108.551 Y111.489 F525 ; controlled motion in X-Y plane  
  
G1 X108.532 Y111.472 F525 ; controlled motion in X-Y plane
```

Şekil 1.5. G-Code katmanlar halinde izlenecek yol bilgisi [8].

1.7. 3B YAZICILARA DÜNYADAN ÖRNEKLER

Dünyada 3 boyutlu yazıcı ile ilgili çalışmalar olabildiğince hızlı bir şekilde devam etmekte, yapılan bazı çalışmalarda yazıcıların yiyecek üretiminde kullanılması çeşitli yiyecek firmalarına heyecan katmaktadır.

- Tıp alanında 3B yazıcı ile yapay organ üretimi ile ilgili sürdürülmektedir.
- Savaş uçaklarında ve silah sanayinde 3B yazıcılarla üretilmiş parçaların kullanımı üzerine testler devam etmektedir.
- Günümüzde savunma bütçelerinde yer alan ancak arızalan silah ya da savaş üzerine kullanılacak parçanın temininde, 3B yazıcılardan elde edilen ürünlerin temin edilmesi gündemdedir. Savaş alanına götürülecek bir 3B yazıcı, hızlı bir şekilde kırılan ya da kullanılamayacak durumda olan parçaların üretimleri üzerine çalışılmaktadır [9].

1.8. 3B YAZICILAR İLE TERSİNE MÜHENDİSLİK

Günümüzde insanlar kendilerine özel ve kişiselleştirilmiş ürünleri talep etmektedirler. Ürünlerin kaliteli olması ve pazarda tutunabilmesi için hem işletmelere rekabet açısından hemde müşterilere fiyat konusunda oldukça güzel avantajlı olmasının yanında her kesimin ulaşabileceği bir cihaz olması muhtemeldir.

Bu hedefi gerçekleştirmek biraz zor ve zaman alacak olsa da, bu iş için işletmelerin kitlesel üretim ve yalın üretimden güçlü olan çevik, tepkisel ve bileşik üretim/yönetim düşünce yöntemlerine ihtiyaçları vardır. Tasarımdan üretime ve üretimden de pazarlamaya değin akıp giden tüm süreçlerin her zaman başlangıç noktası olması nedeniyle "ürün tasarımı ve geliştirilmesi" alt sürecinin tüm bu modern yöntemlerin başarılarında en büyük rolü oynadığı anlaşılmış bulunmaktadır. Ürün geliştirme zamanının azaltılması; esneklik, hızlılık, dayanıklılık ve tepkiselliğin bir şartı durumuna gelmiştir. Ürün geliştirme zamanının azaltılması için işletmelere eş zamanlı mühendislik gibi fırsatları sunmaktadır. Tersine mühendisliğin esas uygulamaları aşağıdaki basamaklardaki gibi sıralanabilir;

- Parçanın modellenmesi,
- Mevcut olan parçaların geliştirilmesi,
- Tasarım bozukluğunun giderilip, uygun şartlara göre tekrar tasarlanması,
- Data'nın uygun fizibilite çalışmalarının geliştirilmesi [10].

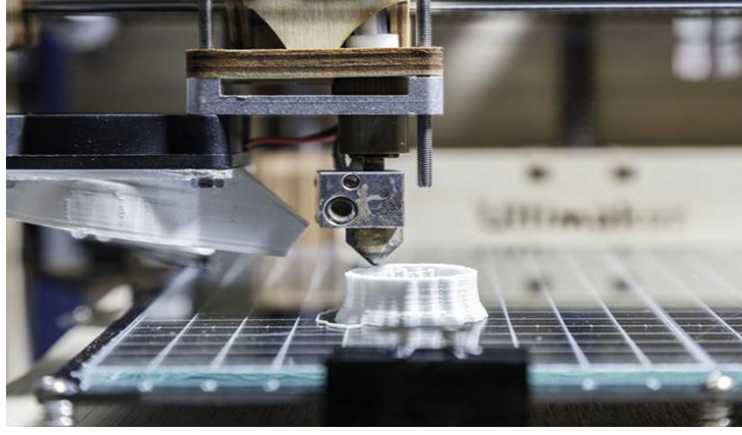
BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Pek çok sanayi plastik tabanlı malzemeler ile üretim yapmaktadır ancak bunun yanında ilerleyen zaman içerisinde plastik malzemenin yanı sıra doğada kolay bulunabilen ve ekonomik olan seramik malzeme türevlerini kullanacağı düşünülmektedir [11].

3B seramik yazıcıların hayatımıza dâhil olduğu son yıllarda, harç yığıma ile üretim teknolojileri seramik ve diğer malzemeler için yeni ürünler geliştirilmesinin yolunu açmıştır. Üç boyutlu objelerin katman yığıma yöntemi (Layer Manufacturing Technologies) ile birlikte, artık çoğu karmaşık geometriye sahip herhangi bir ürünü, eskiye nazaran daha kolay bir şekilde üretilebilir hale gelmiştir. Lazer sinterleme yöntemi kullanılarak, seramik parçaların üretilmesi, metal ve plastik malzemenin üretim yöntemleri birbirine oldukça yakındır. Ancak üretim sürecine göre, katmanların kalınlığı, yüksekliği, lazer gücü, tarama hızı gibi unsurlar ile çeşitli parametreleri ayarlama işlemleri gerekmektedir [12].

Harç Yığıma (Fused Deposition Modeling - FDM) yöntemi ile üretilecek parçanın katmanları, hamur kıvamındaki malzeme ile istenilen noktalara oluşturulan g-code ile kontrollü olarak uygulanmaktadır. Bu parçanın üretimi için püskürtülerek veya sıvanarak da parçaya uygulanabilir. Bu uygulama kendi içinde iki ana dala ayrılır ayrılır. Bunlar; parça belli bir süre sonunda oda sıcaklığında soğuyarak, eriyik halden katı hale geçerek veya kimyasal bir reaksiyona girerek sertleşmektedir. Bu güncel yöntemin diğer yöntemlerden belirgin farklı, aynı katman içinde farklı bölgelere, mekanik veya kimyasal özellikleri farklılık gösteren malzemeleri de çok daha kolay bir şekilde bu teknoloji ile sağlamasıdır. FDM teknolojisinin uygulanma anı görülmektedir. (Şekil 2.1). Böylece çok malzemeli parçalar veya mekanizmalar üretilebilmektedir [11].



Şekil 2.1. Harç yığıma (Fused Deposition Modeling FDM) teknolojisi [11].

Bowling Green State University Seramik programının 1996'dan beri önderliğini yürüten Profesör John Balistreri seramik alanında çığır açan oldukça büyük boyutlu seramik heykellerinin yanısıra 3B yazıcı teknolojisi olarak SLS yöntemini kullanarak da eserler veren bir sanatçıdır. Sanatı icra eden 3D Tea Bowl Project adını verdiği proje ile geleneksel çay ve saklama kaplarını dijital ortama aktarıp, üç boyutlu yazıcı teknolojileri ile üretim gerçekleştirebilmektedir [12].

Seramik tozlarının Seçici Lazer Sinterleme (SLS) yöntemi ile ürün elde edilmesi, gerekli toleranslar gerektiren endüstri malzemelerin yanında, sanatsal parçaların'da üretilmesini gerçekleştirelmıştır. Son zamanlarda üniversitelerin, mühendislik, mimari, sanat gibi bölümlerinde üç boyutlu yazıcılar kullanılmaya başlanmış ve artarak devam etmektedir [13].



Şekil 2.2. John Balisteri, seçici lazer sinterleme [13].



Şekil 2.3. Lazer sinterleme [13].

Mekile Mühür 2012 yılında üç boyutlu seramik yazıcılar üzerine yaptığı değerlendirmede çeşitli tasarımcı ve zanaatkarlar tarafından tasarlanmış ürünleri yeni bir yöntem olan 3B yazıcı teknolojisi hakkında değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Değerlendirme sonuçlarında, seramik parça üretimi kısa bir sürede birbirinden oldukça farklı geometrilere sahip parçaların üretimleri gerçekleştirmiştir. Bu farklı ürünlere örneklendirmek gerekirse; heykelden çömleğe, günlük kullanım ürünlerinden, mimariye kadar farklı alanlarda form denemeleri mümkündür. Bu çeşitli dallardaki parçalar (Şekil 2.4) görülmektedir [14].



Şekil 2.4. Seramikten üretilen çeşitli alanlardaki parçalar [14].

Hongkyu Kwon 2002 yılında seramik malzeme türlerinden alçı ile 3B yazıcı çalışmaları yapmıştır. Alçı akışını incelemek için deney ve modelleme çalışmaları

yapmıştır. 3B seramik yazıcı tasarlamış ve vidalı mil ile tahrik sistemi kullanmıştır [15].

Hızlı prototipleme yönteminde stereolithography (SLA) teknolojisi çağımızda seri ve doğrudan imalatın ilerleyen zamanlar için önü açık olarak ön görülmektedir. Bu projede hızlı prototipleme ve hızlı imalat teknolojilerinin oluşumu ve geliştirilmesi göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca seri imalat yöntemleri ile elde edilen doğrudan kullanılabilir serbest formdaki parçaların endüstriye getireceği geniş görüşlülük incelenmiş, bu yöntemlerle üretilmiş parçaların kullanım alanları ile ilgili bilgiler verilmiştir. Sonuç itibarıyla bu teknolojinin sağladığı faydalar üretim yöntemleri hakkındaki bilgi paylaşılmıştır [16].

Hızlı Prototipleme ile ilgili yapılan değerlendirmeler, üretimin her aşamasında zamanla daha çok yer alarak seçici lazer sinterlenmesi (SLS) ve seçici lazer ergitme sistemleri gelişerek metal tozlarından direkt parça imalatına geçilmiştir. Teknolojiler önce prototip, daha seri imalat üretiminde kullanıldıktan sonra; ürünü pazara daha da hızlı sokmak üzere, ağır üretim ekipmanlarını devreye alınmasına kadar seri üretimde de başarı ile kullanılmaktadır. Hızlı prototip teknolojilerinin temeli, malzemelerin sıvı, toz veya katı halde, lazer ve diğer yöntemlerle ışın veya ısı uygulayarak fiziksel ekipmanlar olmadan oluşturulması olarak tanımlanabilir. Bu teknoloji Serbest Şekil Fabrikasyon, (Free Form Fabrication, FFF), hızlı prototip teknolojileri, katmanlı üretim (Laminated Object Manufacturing, LOM) gibi farklı ifadelerle de tanımlanmıştır [17].

Jonathan Keep kullandığı kartezyen tipi 3B seramik yazıcısı için dikey parçalar üretirken doğru çalıştığını ancak yatay ve karmaşık geometrilere sahip parçaları üretirken sorun yaşamaktadır. Bu yüzden karmaşık geometri parçalar için basit bir RepRap yazıcısıyla uyumu bir yazıcı ile sorunun üstesinden gelmek istemiş, bunun için ise plastik malzeme ile çalışan bazı parçaların üretimini gerçekleştirmiştir [18].

Seramik malzemeler, barındırdıkları yüksek dayanım, çok zayıf ısı iletkenlikleri ve oksitlenmeye karşı gösterdikleri yüksek dirençleri sebebiyle olası yüksek ısı gerektiren uygulamalar için oldukça istenilen bir malzeme dalını oluşturuyor. Gaz türbinleri ve içten yanmalı motorlarda seramik malzemeler, yüksek sıcaklıkta

aşınmaya dirençli malzemeler olduğundan dolayı kullanıldıklarından, yüksek sıcaklıktaki etkilenen performanslarının belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla seramik malzemelerin sinterlenmesi için, orta ve yüksek sıcaklıklarda birçok aşınma ve sürtünme çalışmaları yapılmaktadır. Bu deneyler, atmosfer veya vakum kontrollü atmosferde, yaklaşık olarak 5000 N yük altında, 10 m/sn gibi değişen hızda gerçekleştirilmektedir. Sistemde yüksek sıcaklıktan etkilenen bölgeler yüksek saflıkta alumina / silisyum nitrid'ten ve paslanmaz çelikten oluşturulmuştur. Elektronik kontrol sistemleri kapalı kutuda gövdenin kenarına monte edilmiştir. Sistem 0,37 kW DC gücündeki motor ile hareket iletimini sağlamak ve güç iletim istemi oynar bağlantı elemanlarıyla ve 2:1 redüksiyonlu motor gücü ile seramik hazneye aktarılmaktadır. Motorun hızı sürekli bir şekilde 0'dan 800 rpm'e kadar değiştirilmektedir. Örnekler ayarlanabilir dikey parça üzerine yerleştirilmiş fırın ile ısıtılır. Sütun örnek montajına göre ayarlanabilir 2 tip fırın vardır. Birincisi, kantal tel sargı fırını, ikincisi ise SiC elemanlı fırındır. Deneyin sıcaklıkları termokupl yardımı ile ölçülmektedir.

Dijital termometre ile sıcaklık ölçümü mümkündür. Fırın sıcaklığı PID aygıtı ile işlem görmektedir. Vakumda yapılan deneyler için kapalı alumina tüp, örnek montajı üzerine oturtulur. Soğutma suyu besleyici yollarda montajı gerçekleştirilmiş flowmetreler ile sağlanır. Tübün içindeki tüm hava dışarı atılır, daha sonra bileşimi bilinen bir gaz karışımı ile yavaş yavaş içine aktarılır. Sistemde merkezi yükleme çubuğu tabanına montajlanan yükleme tablasına ağırlıklar yüklenir ve yük uygulanır. Yükleme parçasının dikeydeki değişimi aşınma ölçüsünü vermektedir. Yer değişim güç çevirici cihaz tarafından okunmaktadır [19].

Seramik malzemelerin aşınma ve sürtünme testleri dışında pek çok yöntem piyasada kullanılmaktadır. Yukarıda belirtilen çalışmada da piyasada mevcut kullanılan yöntemlerin biraz olsun dışına çıkılmak istenmiştir [19].



Şekil 2.5. Seramik malzemeler için kullanılan aşınma deneyi cihazı [20].

Günümüzde seramik malzemeleri, endüstri ürünlerin yanı sıra, tıp sektöründe de yoğunluklu malzeme olarak endüstriyel çalışmalarda bulunan malzemelerdir. Yüksek sıcaklıktaki mukavemet ve sertlikleri, korozyona karşı gösterdikleri dirençleri ve yorulma değerleri metalik ve plastik malzemelere göre daha yüksektir. Bu özellikleri sebebiyle aşınmanın yoğun olarak bulundurduğu sektörlerde kullanılmaktadır. Bu yönden malzemenin aşınma davranışlarının çeşitliliği önem taşımaktadır. Seramiklerin aşınma özelliklerinin açığa çıkarılmasında, oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda uygulanan deney düzenekleri geliştirilmiştir. Seramik malzemelerde aşınmayı etkileyen ana faktörler: kırılma tokluğu, sertlik, yoğunluk, korozyon, termal iletkenlik, direnci ve porozite gibi çeşitli faktörlerdir [20].

Seramiklerde, düşük ısı iletimi sebebiyle, sürtünme sırasında oluşan ısı, büyük ısı eğimleri ve dolayısıyla sıcak noktalar oluşmaktadır. Seramik malzemeler seri bir şekilde soğutulurlarsa, bu sıcak kısımlar büyük oranda çekme gerilmesi oluşturur ve bunun gerçekleşmesi durumunda çeşitli bölgelerde hızlı suğumadan dolayı kırılma oranı artar ve çatlakların oluşması muhtemeldir. Dolayısıyla, yüzeyden iri taneciklerin kopması ve aşınmada artış gözlemlenebilir [21].

Seramikler, olası deformasyona karşı yeterince hassastır. Bu nedenle artan kayma hızıyla ve buna ilaveten sürtünme ısınması ile birlikte çatlak oluşma olasılığı artmaktadır. Bu hassasiyet; darbeye karşı seramik malzemelerin yıldızının sönmesine sebep olmaktadır [21].

3B seramik yazıcıların kullanımında önemki oranda katkı sağlayan sanatçı, Jonathan Keep' tir. Sanatçı delta model yazıcı diye bilinen üç boyutlu yazıcı sistemini, seramik çamuru ile çalıştırabilmeyi başarmıştır. Harç Yığıma (FDM) yöntemi ile çalışan, JK Delta Ceramic 3D Printer isimli bu yazıcı, çoğu kesim tarafından rahatlıkla kolay ulaşılabilir malzemelerden yapmıştır. Dolayısıyla çoğu sanatçı tarafından kolayca yapılabilir, kolaylaştırılmış bir üç boyutlu yazıcının adımları gerçekleşmiştir [22].



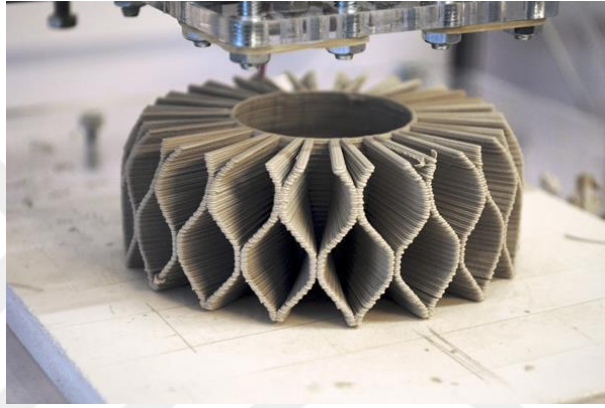
Şekil 2.6. Jonattan Keep icebergs, harç yığıma (fdm) baskı süreci [22].



Şekil 2.7. Johnattan Keep, icebergs, harç yığıma (fdm) baskı süreci [22].

Seramik sanatını 3B yazıcılar ile kullanan sanatçılar, bazı topluluklar için ilgi odağı olmuştur. Seramik ve dijital üretimdeki güncel tekniklerin paylaşılıp, araştırmaların yapıldığı “Data Clay”, bu alanlarda çalışmakta olan toplulukları, aynı zamanda geleneksel malzemeler ile yeni teknolojileri de bir araya getirmektedir. “Stratigraphic Porcelain”, “Serpentine 3D” ve “Building Bytes” isimli bu üç proje, günümüz seramik sanatının ve üç boyutlu teknolojilerin geleceği hakkında büyük ipuçları

vermektedir. Unfold Tasarım Stüdyosu tarafından çalışmaları yapılan Stratigraphic Porcelain projesi, üç boyutlu yazıcılarla yapılan, bardak, vazo ve sürahi gibi gündelik hayatımızda kullanılan parçalardan oluşmaktadır. Bu projeler, İtalyada Milano Trienali’de sergilenmiştir. Unfold laboratuvarlarında yapılan seramik ile ilgili çalışmalar, bu alanda yapılan öncü çalışmalar arasında gösterilebilir. Dolayısıyla seramik malzemeler ile prototipi yada seri üretimi mümkün olmayan veya oldukça güçlüklerle yapılan formlar ortaya çıkartılarak, seramik tasarımının dalını tekrardan tanımlanmaktadır [23].



Şekil 2.8. Stratigraphic porselen serisi üretim süreci [23].

2.1. 3B YAZICILARIN TIP ALANINDA KULLANIMI

Tıp uygulamalarındaki bilgisayar destekli tasarım, tıbbi olaylarda insanların bir uzuvları kırıldığı vakit onların uzunlarını tekrar 3B yazıcıdan üretilmesi için oldukça önem arz etmektedir. Trafik kazaları, cinayet gibi adli olayların analizi canlı veya ölmüş kişilerde dayanmaktadır. Bu nedenle ileri teknolojik yöntemlerin önemi adli bilimlerde zamanla artmaya devam etmektedir. Adli bilimlerin önemli görevlerinden biride olayları belgelemek ve tüzel kişilere, yargı mensuplarına ve tıbbi kökenli olmayan kişilere medikal bulguları anlaşılabilir bir şekilde sunmaktır. Bu nedenle kesitsel görüntüleme yöntemleri ve 3D lazer tarayıcı kullanılarak adli olguların görselleştirilmesi gerçekleştirilmiştir [24].

Tıbbi alanındaki teknolojik gelişmeler çoğu zaman heyecan verici ve geleceğe umutla bakabilmeyi sağlayan buluşlar olmaktadır. Aşılar, ilaçlar, protezler,

ameliyat araç-gereçleri gibi hepsinin amacı insanların sağlık hayatına engel olan hastalıklardan arınmak ve daha kaliteli hayat yaşamaktır. İnsan hayatındaki bu gelişim ve inovasyon, ortalama ömrü uzattığı gibi, yaşam kalitesini de arttırmaktadır. Yazıcılar ise bu inovatif gelişimlerin takipçisi olmaktadır [25].



Şekil 2.9. Üretim malzemesi olarak insan dokusu kullanarak, canlı ve duyma yeteneğine sahip kulak üretimi [25].

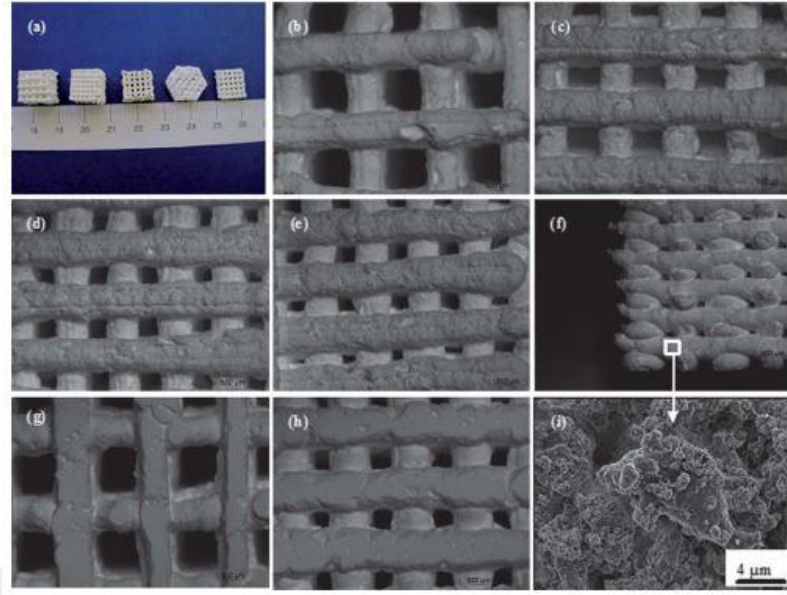
İnsan vücudu yıllarca, belirli bir süre sonunda organları iflas etmiş ve ölümleri gerçekleştirmiştir. Teknolojik gelişmeler sonucunda organ naklinin gerçekleşmesini sağlayan teknolojik gelişmeler ortaya çıktı, cerrahi operasyonlar sayesinde insanların ömürleri uzadı. Kalp, böbrek, karaciğer ve hatta ülkemizde de son zamanlarda yüz nakilleri uluslararası alanlarda artış göstermektedir. Bu operasyonların da en sorun çıkaran evresi kendi dokunuza uygun donör bulmak. 3B yazıcılar organ nakillerinin de belirli bir donöre ihtiyaç duymadan gerçekleştirmemizi sağlayacak. Kök hücre sayesinde, kendi dokumuzdan, 3B yazıcıyla oluşturulan organlar işlevini kaybetmiş organlarımızla ile değiştirebilecek. Bu da 3B yazıcının tıp alanında devrim olarak nitelendirilmesini sağlayan etkenlerdir. Örnek olarak, üretim malzemesi olarak insan dokusu kullanan bilim insanları, canlı ve duyma yeteneğine sahip bir kulak üretebilmeyi başardılar [25].



Şekil 2.10. Sinterleme yöntemi ile seramik tozundan kemik üretimi [25].

Bir bilim adamı, kemik'in mikro yapısına ait özelliklerini barındıran bir malzeme üzerine çalıştı ve kullanılabilir hale dönüştürdü. Daha dayanıklı olması için silis ve çinko oksit eklenen, kalsiyum fosfattan oluşan seramik tozuna, plastik birleştirici malzemeler ekleyip yüksek oranda kemik yapısına sahip bir madde oluşturdular. Madde yaklaşık 1000°C de 1 saat boyunca sinterlenip hasarlı kemiğe ilave ediliyor ve oluşan parça etrafında yeni kemik hücrelerinin oluşması umut ediliyor. İnsana en yakın yapıya sahip canlı olan fareler üzerinde denenen bu yöntem, hasarlı kemiğin çevresinde yeni kemik hücrelerinin oluşması gerçekleşmiştir. Canlı kemik hücreleri oluşuktan sonra bu madde, kendi kendine çözülüp yok oluyor ve hasarlı kemik, yeni üretilen kemik hücre ve dokuları ile tamamen kullanılabilir hale geliyor. Buna ek olarak, kafatası implantı üretmek için de kullanılıyor 3b yazıcılar abd'de bir hastanın hasar görmüş kafatasının %75'lik kısmı, 3b yazıcı ile üretilen plastik implant ile değiştirilmiş. İçerisindeki minik oyuklara eklenen polyetherketone de tıpkı farelerde denenen yöntem gibi, çevresinde yeni kemik dokularının oluşumunu sağlıyor. Bu plastik-polimer malzemenin 3B olarak taranması ve implantın üretilmesi iki haftaya yakın sürede oluşmaktadır [25].

Chengtie Wu adlı kişi 3B yazıcı üzerine CaSiO₃ malzemesinden seramik baskılar almıştır. Bu baskıları çeşitli doluluk oranlarında ve farklı yazdırma parametrelerde yazdırmıştır. 3B parça baskılardan gözenek duvarların görüntüsü (SEM), boyutları, şekilleri, mortolojileri gibi analizleri gerçekleştirmiştir. Çeşitli SEM görüntüleri aşağıdaki şekil 2.6 da görülmektedir [26].



Şekil 2.11. SEM boyutları, şekilleri ve mortolojileri [26].

Hermann Seitz ve Wolfgang Rieder adlı kişiler Gözenekli seramik iskeletlerinin, kemik için üç boyutlu basımını gerçekleştirmişlerdir. Hızlı prototipleme ve üç boyutlu baskı karmaşık şekilleri gözenekli seramik matrisler doğrudan uygun toz malzemelerdir. Bir hastadan elde edilen anatomik bilgi çerçevesinde, üç boyutlu baskı teknolojisi ile dolu bir tabaka ile polimer bazlı bağlayıcı çözeltisiyle basılmıştır [26].

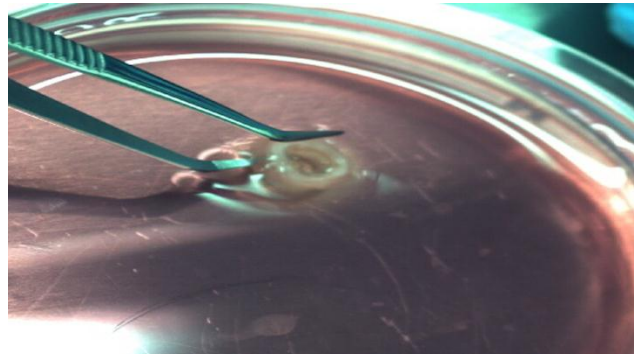
Prototip üretim yöntemleriyle meydana gelen bir 3b biyo yazıcı üretilmiştir. Bu yazıcı üç boyutlu canlı yapıların, doku ve organların oluşturulması için doğrudan canlı hücreleri hassas konumlandırabilecek bir yapıya sahiptir. Gerçekleştirilen bu yazıcı mevcut yazıcılardan ayıran önemli özellikleri; en iyi çözünürlük ve yüksek boyutlardaki baskı alanı, olarak sıralanabilir. Canlı hücrelerin doğrudan hassas konumlandırılmasıyla prototip yöntemleriyle hedef dokunun oluşturulması sırasında ortaya çıkan vakit ve maliyet kayıplarının önlenmesi olacaktır. Ayrıca organ aktarımı sonrası malzeme kaynaklı uyumsuzluğun tamamen ortadan kaldırılması mümkün olabilecektir. 3 boyutlu baskı iskele kalıplarının imalatı için modifiye hidroksiapatit tozu onun biyoyumlu implante edilebilir malzeme olarak güvenliği ve kemik yenilenmesi için kullanılabilir. Sonuç olarak ortaya çıkan iskeleler hastanın kemik implantlarında rahatlıkla kullanılmalıdır [26].

Sabancı Üniversitesi tarafından TÜBİTAK'ın desteklediği projeye aort damarı üretildi. 3 boyutlu biyoyazıcı ve insan canlı hücreleri kullanılarak üretilen aort damarı, tıp dünyası için oldukça zorluklar gerektiren zorlu bir adım olarak görülmektedir. (Şekil 2.12) 3B biyoyazıcı cihazı görülmektedir [27].



Şekil 2.12. Aort damarı üretebilen 3 boyutlu biyoyazıcı [27].

Bir aort damarı, 3B yazıcıda yaklaşık olarak 1,5-2 saatte basımı gerçekleştirilebiliyor. Aort damarı baskısı için; ilk etapta aort damarı doku örneğinin manyetik rezonans ile taramasıyla verileri çıkarılıyor. Akabinde alanında yetiştirilen uzman bir ekip tarafından geliştirilen algoritmalar kullanılarak, üretilcek dokunun anatomisine göre hücrelerin 3b yazıcıdan uygun basma yöntemleri ve yolları uygun şekilde hesaplanıyor [27].



Şekil 2.13. Biyoyazıcıda basımı gerçekleşen aort damarı görüntüsü [27].

Aynı zamanda hücreyi basma esnasında gerekli destek parçalarını oluşturup, hücrenin istenilen şekillere daha kolay oluşturulması için destek yapılar belirleniyor. Bu çalışmanın en büyük farkı, hücrelerin tamamen birbirini desteklemiş şekilde dokunun üç boyutlu anatomisine uygun olarak belirlenmesi. Biyo-yazıcıyı kontrol etmek için komutlar dosyaya kaydediliyor. Sonrasında hücre parçacıklarının 3b yazıcı programları ile destek atması istenilen veya verinin asıl hücrelerini üretilmek istenen bölümleri belirleniyor. Sonunda yazıcı aort benzeri, anatomik yapısına uygun büyük damar dokusunu katmanları yığma yöntemiyle canlı hücre ve biyomalzemeleri kullanarak 3 boyutlu olarak basıyor [27].

2.2.1. 3B Yazıcıların Dental Uygulamala Alanı

3B yazıcı diş hekimleri ve dental laboratuvarlara avantajları

- İmplant uygulamalarında, geleneksel yöntemlere göre yüksek doğrulukla pozisyonlandırma imkânı sağlar.
- CNC veya elde edilemeyen kron kaplama parçalarını 3d yazıcı ile hassas bir şekilde çıkartma imkânı sağlar.
- Süreçleri hızlı ve birkaç saate düşürür.
- Diğer geleneksel üretim yöntemlerine göre fire yoktur ve düşük maliyetler oluşturur.
- İş akış sürecini dijitalize ederek, hata riskini azaltır.
- Dental SG reçinesi güvenli, biouyumlu malzemelerle çalışma imkânı verir [28].

2.2. 3B YAZICILARIN SANAYİDEKİ KULLANIM ALANI

İmalat sanayi, 3 boyutlu yazıcıların temel üretim yöntemlerinden birisi olmaya adaydır. Prototip olarak üretilmesi istenen parçaların hem yoğunluk hemde maliyet açısından daha karlı olmasından dolayı daha karlı olmaktadır. Üreticiler ayrıca, daha ucuz hammaddeleri kullanabilmek ya da farklı hammaddeleri karıştırarak belirli fiziksel özellikleri elde edebilmek için de 3 boyutlu yazıcılardan faydalanmaktadır. 3 boyutlu yazıcılar sayesinde bazı parçalar dışarıdan temin edilmek yerine içeride üretilbildiğinden dolayı, tedarik zinciri yönetimi daha basit hale gelmektedir. Sonuç

olarak, 3 boyutlu yazıcılar maliyet avantajı, süreç ve ürün iyileştirmeleri ve bazı durumlarda hız sağlayarak üreticilere avantajlar sunmaktadır. 3 boyutlu yazıcıların gündelik hayatta en çok tercih edilmesinin sebebi, gündelik hayattta kullandığımız yada üretimde kullanılacak herhangi bir objenin seri bir şekilde üretilebilmesidir [29].

3B yazıcıda Barry Berman adlı kişi “Sanayide yeni bir devrim” adlı çalışmasında; İmalat her zaman uzun süreçler gerektiren zor bir işlemdir. Bu yüzden 3B yazıcılar sanayide devrim niteliğini tutmaktadır demiştir.

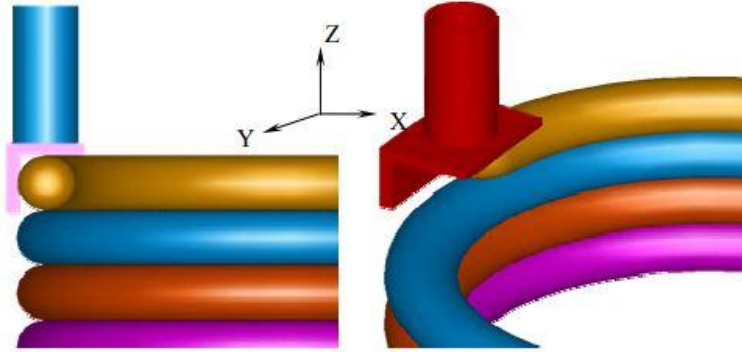
Belirli bir 3B karmaşık geometrite sahip parçanın basımı için teknik olarak birçok işlemden geçmesi gerekir. 3B baskı eğer plastik hazneye basılacaksa en az 5000 adet parça üretilmeli ki maliyetini anca karşılayabilir. Eğer özel üretim olarak az sayıda parça üretim yapılacaksa burda 3B baskı teknolojisi devreye girmektedir [30].

BÖLÜM 3

3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ

3.1. FDM (FUSED DEPOSITION MODELING) TEKNOLOJİSİ

Kontrollü bir nozzle vasıtası ile malzemeyi katman katman örme-yığma sistemidir. Bu teknoloji ile çalışan 3D yazıcılarda genellikle hammadde olarak ABS ve PLA termo plastikleri kullanılmaktadır. FDM 3D Yazıcılarında 1.75 ve 3 mm çapında iki farklı filament kullanılırken, filament ekstrüder isimli bölümde ise eritilen katman aşağıdan yukarıya doğru üretim görülmekte ve katman yığma yöntemi olarak bilinen ve en çok kullanılan 3B yazıcı teknolojisidir[31.32].

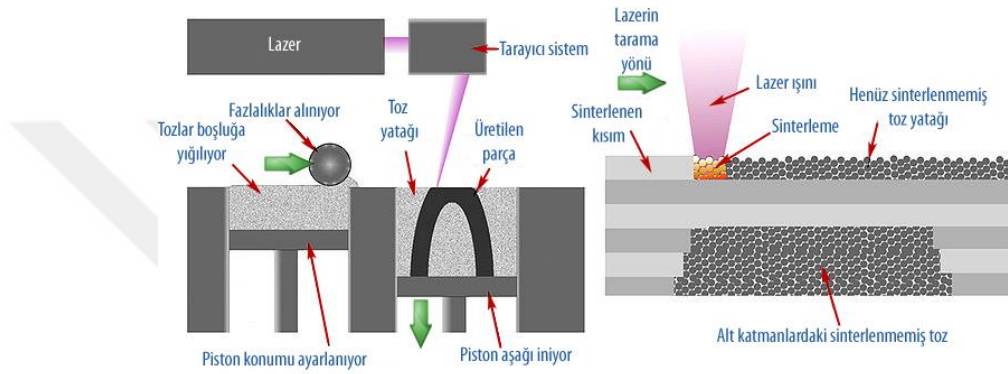


Şekil 3.1. FDM (fused deosition modeling) teknolojisi [31,32].

3.2. SLS (SELECTIVE LASER SINTERING İŞLEMİ) TEKNOLOJİSİ

Yazdırma işlemi malzemelerin toz yapısındaki partiküllerin sinterlenmesi işlemi ile gerçekleşir. Günümüzde metal ve seramik parça üretmenin yanı sıra polimer parçalar üretmekte bu yöntem ile başarılmıştır. Bu üretim şekli ile üretilen parça protipleri bilgisayar ortamında ince kesit olacak şekilde doğranma aşamasının ardından, yukarı aşağı hareketi sağlayan bir piston üzerine toz partikülleri serildikten sonra, karbon dioksit argon lazerleri gibi, güç seviyesi yüksek olan lazerler ile en alttaki parça

kesiti oluşacak şekilde platform üzerindeki toz partikülleri serilerek, birbirlerine kaynaşmaları sağlanmış olur. En altta bulunan katman bu şekilde ortaya çıkmasının ardından piston yüzeyi aşağı doğru hareket eder ve bir üstteki yeni kesiti oluşturmak amacıyla tozlar yeniden serilir. Serilen yeni katman lazerle kaynaştırılması sağlandıktan ardından, piston tekrar aşağı iner ve bu strateji ile, aynı adımların tekrarlanması ile parça üretimi tamamlanmış olur. Bu üretim şekline seçmeli lazer sinterlemesi kısaca SLS olarak adlandırılmaktadır [33].



Şekil 3.2. SLS (Selective Laser Sintering) teknolojisi [33].

3.3. SLA (STEREOLITHOGRAPHY) TEKNOLOJİSİ

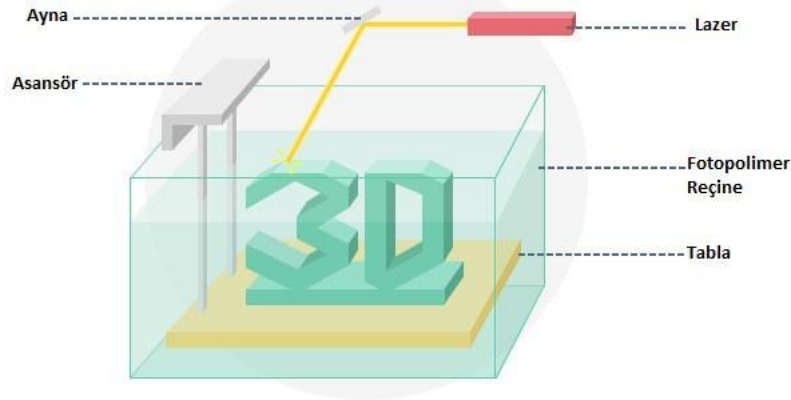
SLA, 3B yazıcı teknolojileri ile 3 boyutlu parçaların lazer yardımıyla fotopolimer partiküllerden üretilmesini sağlamaktadır. Fotopolimer olarak adlandırılan polimer malzeme UV ışık altında katılaştığı gözlemlenmiştir. SLA aşamalarında lazer fotopolimer reçinenin içinden akarak ilk katmanı platform yüzeyine basar. Platform yazıcının tasarımına uygun olarak yukarı yada aşağı yönde hareket iletimini sağlar. Bu hareket neticesinde katı obje ile lazer arasında reçineye uygun yer açılmış olur. İkinci katmanda katılırken alt katmanla da birleştiği görülür. Prosesin bu yöntemle her adımda bir katman katılması sağlanırken alt katmanında yapışması sağlanmış olur [34].

Platform her bir katman aşamasında yaklaşık katman kalınlığı kadar hareket sağlar bu da yaklaşık olarak %5 mm bir değerdedir. Katman kalınlığını bu kadar düşük değerler arasında yakalamak FDM'de şuan için pek mümkün değildir. Katman

kalınlığının küçük değerlerde seyretmesi ve lazer kullanılması üretim sürecinin yavaş ilerlemesine yol açar. Süre üretmek istenen objeye göre değişse de karmaşık yapı ve ince detaylara sahip objeler 24 saat'e kadar sürebilmekte bu da 3B yazıcının performansına göre 24 saat çalışabilecek uygun ortam koşullarını oluşturmak gerekmektedir [35].

SLA yönteminde parça üretilirken, destek parçalar atılması gereklidir. Bu parçalar 3B çizimde çizimi gerçekleştirmez ancak 3B yazıcı programlarında çizimin neresine destek parçası atılacağını tespit eder ve destek elemanları atar. Objeler üretildikten sonra bu destek parçaları elle rahat bir şekilde kırılabilir.[35].

SLA teknolojisinde esnek, dayanıklı, darbeye karşı dayanıklı olan ürünler de elde edilmektedir. Özellikle dişçilik sektörü üzerindeki çalışmalar yaparken sıklıkla kullanılıyor. Fakat foto polimer malzemeler uzun zaman ışık altında kaldığında kırılabilir bir hal alabilirler. Bu durumda aniden kırılabilirler. Üretim yapılan yer sıvı reçine ile dolu olduğundan SLA teknolojisinde tek seferde bir malzeme kullanılabilir [36,37].

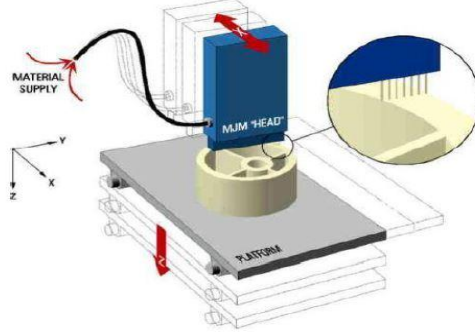


Şekil 3.3. SLA teknolojisi [36,37].

3.4. MJM (MULTI JET MODELING)

Multijet modelleme 3D baskı teknolojilerindeki en üst düzey çözümlerden biridir. Bu teknoloji geniş parça platformlarında benzersiz bir baskı alabilir. Ayrıca Multijet

modelleme teknolojisinde bir veya birkaç parçayı hem aynı anda üretebiliyor, hem de bitiş süresinde herhangi bir uzama meydana gelmiyor [38].



Şekil 3.4. MMJ teknolojisi baskı işlemi [38].

3.5. POLYJET TEKNOLOJİSİ (PJ)

PolyJet Teknolojisi, Stereolitografi ve mürekkep püskürtmeli üretim yöntemlerinden oluşmaktadır. Bu üretim teknolojisi 3b baskı tekniklerini birleştiren bir teknolojidir. Model, tabla üzerine katman yığılma yöntemi ile fotopolimer reçine püskürtülerek ve UV ışığı ile kürlenerek oluşturulur. Özel kimyasal bileşimlere sahip PolyJet malzemeleri UV ışığı ile oldukça kısa bir zaman zarfında sertleştirildiğinden tasarımı gerçekleştirilen objelerin seri bir şekilde üretimine imkân sağlamaktadır. Yüzeyleri hassas ve hata payının minimize edildiği objelerin en iyi şekilde üretimini PolyJet teknolojisi olarak sağlamaktadır. PolyJet Teknolojisi ile tek obje üzerinde farklı tip malzemeler ile de üretim yapmak mümkündür. Dolayısıyla, modeli istenilen kısımları rijit, mukavemetli ve sert, dilediğiniz kısımlarını ise yumuşak üretilebilir bir teknolojidir [39].



Şekil 3.5. Polyjet teknolojinin çalışma prensibi ve üretilen parçalar [39].

PolyJet Teknolojisinin öne çıkan özellikleri;

3 boyutlu baskı sistemleri arasında en hassas üretim yapabilen PolyJet teknolojisi ile yüksek ölçüsel hassasiyet ve yüksek düzeyde yüzey kalitesine sahip ilk örnek parçalar üretilebilir. PolyJet 3B yazıcısı; bir tabla üzerine püskürtülen fotopolimer reçinenin UV ışığı yardımıyla katılaştırılarak katman katman birleştirilmesiyle üretimi gerçekleştirilir. PolyJet 3B baskı teknolojisi ile plastik, esnek ve şeffaf malzemelerin tamamını bir arada kullanarak tek seferde hibrit parçalar basılabilir. PolyJet katmanlı üretim teknolojisinde yüksek yüzey kalitesinde üretilen parçalara kolaylıkla boyama ve parlatma gibi işlemler yapılabilir [39].

Çizelge 3.1. Hızlı prototipleme yöntemlerinin karşılaştırılması [35].

Yöntem	Çalışma Esası	Kullandığı Malzeme	Ön işlemler	Son işlemler	Çözünürlük	Mukavemet	Pürüzlülük	Transfer dosyaları	AÇIKLAMA
SLS	TozunCO ₂ lazer ile sinterlenmesi	Poliamid, polistren, karbon fiber ve alüminyum katkılı poliamid, polikarbonat, paslanmaz çelik,kobalt krom,nikel krom,titanyum,seramik		Tozun uzaklaştırılması ve soğuma için bekleme süresi	Zayıf	İyi	Zayıf	STL	Geniş bir ürün yelpazesine hitap eden verimli ve hızlı bir imalat yöntemidir. Prototip kalıp üretim maliyeti düşüktür ve çok miktarda parça üretilebilir, malzeme değişimi zor.
SLA	Fotopolimer malzemenin UV ışını ile katılaştırma	Reçine bazlı malzemeler, akrilik, epoksi, polipropilen	Tabaka, destek oluşturma	Desteğin uzaklaştırılması	İyi	Orta	İyi	STL	Yüksek doğrulukta parça üretimi için tercih edilir, renklendirme yapılabilir, Yaygın kullanılır, parçalarda çarpılma ve bütülmeye uğraşılır.
FDM	Ektrüzyonla Yığılma Tekniği	ABS, poliamid, polikarbonat, polietilen, polipropilen ve hassas döküm mumu.	Tabaka, destek oluşturma	Desteğin uzaklaştırılması	Orta	İyi	Orta	STL	Ofis ortamında kullanılabilir. Çok parçadan oluşan, hareketli fonksiyonel, elastik modeller üretmek için uygundur. Parçalar suya ve neme dayanıklı, üretim maliyeti düşük, hızlı. Küçük parçalarda, detay bölgelerde ve ince kesitlerde çok iyi değil.
SDM	Malzemenin yığılması ve CNC işleme merkezi ile işlenmesi	Metal, plastik, seramik tozları	Ön tabakalama var	Desteğin uzaklaştırılması	İyi	İyi	İyi	STL	Karmaşık fonksiyonel parça üretimi mümkün, üretim hızı ve boyut doğruluğu yüksek

Çizelge 3.1. (devam ediyor).

LOM	Tabakaların Lazerle Kesilip Yapıştırılması	Kâğıt, plastik köpük, metal ve seramik tozu emdirilmiş malzemeler			Orta	Orta	Orta	STL	Büyük hacimli parçalar yüksek hızda üretilebilir, parçaların mekanik özellikleri iyi değildir.
SGC	Foto maskeleme ve UV ışını ile katılaşırma	Fotopolimer, akrilik, mum		Mumun uzaklaştırılması	İyi	Zayıf	İyi	STL	Makineler büyük ve ağırdır, hareketli montaj halindeki parçaların üretimi için uygundur, küçük parçaların üretiminde ekonomiktir, doğruluk kalite ve malzeme çeşitliliği yetersizdir.
MJM	Çok jetli püskürtme ve UV ışını ile katılaşırma	Parafin, mum, termopolimerler	Tabaka, destek oluşturma	Destegin uzaklaştırılması	İyi	Zayıf	İyi	STL	Temiz, basit ve verimli olup birçok alanda uygulanabilir.
3DP	Bağlayıcı ile Toz Bağlama ve Kurutma	Yüksek performanslı kompozit			Zayıf	Zayıf	Zayıf	STL	Hızlı, ucuz, ofis ortamında kullanılabilir, kullanımı kolay, karmaşık modeller üretilebilir, renklendirme mümkün, parçalar kırılmalıdır.
Polyjet	Fotopolimer püskürtme ve UV ile katılaşırma	Akrilik gibi termoplastikler, (elastomerler)	Tabaka, destek oluşturma	Destegin uzaklaştırılması	İyi	Zayıf	İyi	STL	Kullanımı kolay, hızlı yük- sek. kalite yüksek, ofis ortamına uygun.
EBM	Elektron ışınlaergitme	Kobalt krom ve titanyum alaşımları, seramik		Tozun uzaklaştırılması	Zayıf	İyi	İyi	STL	Medikal, havacılık, uzay ve otomotiv sektörlerinde fonksiyonel parça üretimine uygun

BÖLÜM 4

3B YAZICILARDA KULLANILAN MALZEMELER

4.1. ABS (AKRİNONİTRİL BUTADİYEN SİTREN)

ABS (akrino nitrilbutadiyen sitren'in kısaltılmış), temel olarak petrol tabanlı, yaygın bir termoplastiktir. Esas olarak petrol, yaygın bir termoplastiktir. ABS filametler 235-260°C sıcaklıkta eriyik hale geçer. Dolayısıyla nozulün bu sıcaklık arasında olması gereklidir. ABS filamentlerin ve ABS tablasının aniden soğumaması istenilir, eğer tablada ve nozul da soğuma gerçekleşirse, baskı alma sürecinde filamentin tablaya yapışmaması muhtemel kaçınılmaz durumdur. Bu olumsuz sürecin gerçekleşmemesi için tabla sıcaklığının ise 50 ile 70°C arasında olması yeterli olacaktır.

ABS'nin sahip olduğu mukavemet, rijitlik, işlenebilirlik, yüksek ısıya dayanıklılık gibi özelliklerinden dolayı mühendislik dalları için daha fazla oranda tercih edilmektedir. Fakat petrol türevi bir malzeme olduğundan, yazdırma işlemi sırasında ortaya çıkan koku sağlığımız açısından tehdit edici bir ortam oluşturmaktadır.

Parça yazıcıdan çıktığında yüzey iyileştirme işlemi olarak aseton banyosu ile hem yüzey pürüzlülüğünü hemde görsellik açısından yüzeyler iyileştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca aseton buharı ile de yüzeylerin pürüzlülük oranı düşürülebilir. Aşağıdaki Şekil 4.1 de abs baskısı ve aseton ile yapılan yüzey iyileştirme işlemi görülmektedir [40].

Abs yazdırma sıcaklığı: 210°C–250°C



Şekil 4.1. ABS malzemesi baskısı ve son işlemleri [40].

4.2. PLA (POLİLAKTİK ASİT)

Bilimsel olarak Polilaktik Asit olarak bilinen PLA, kimyasal yapısı; patates, mısır, şeker pancarı gibi doğal bitkilerden oluşan ve doğa dostu bir malzemedir.

PLA malzemesi 210°C derecede eriyik hale geçerler dolayısıyla 3B yazıcınızın yazıcı nozulu yaklaşık olarak 180-220°C civarında olması uygun olacaktır. Ancak sıcaklık değeri nozulun ve filamentin kalitesine göre değişiklik gösterebilir. En ideal değeri deneme yanılma yöntemi ile bulmak uygun olacaktır. PLA filamentler çekilme oranı yüksek değildir bundan dolayı tablanın ABS malzemede olduğu gibi belirli bir sıcaklıkta olmasına gerek duyulmaz. Ancak daha kaliteli ve hassas bir ürün elde etmek için tablanın 40-50°C arasında olması parçanızın yüzey kalitesine direkt olarak etkili olacaktır.

PLA 3B yazıcılar ile baskı yapmaya başlayan yeni kullanıcılar için en kolay malzemedir. PLA, ABS plastiğine göre daha fazla nem emen bir plastiktir [41].

PLA yazdırma baskı sıcaklığı: 180°C–230°C

4.3. PVA (POLİVİNİL ALKOL)

PVA olarak bilinen PoliVinil Alkol 3B yazıcı filamentidir. PVA suda çözünür özel bir plastiktir. Destek parçası gereken nesnelere için baskı esnasından önce 3B yazıcı programlarında otomatik destek atılması gereken yeri tespit ederek, destek yapıları

oluşmaktadır. PVA sıvıda çözünme özelliğiyle günümüzde mevcut olan en iyi destek malzemelerinden bir tanesidir. Suya atıldığında bütünleşik olarak bulunan PVA malzeme, çözünerek nesnenizin desteklerden kurtulması özelliği ön plana çıkmaktadır [42].

PVA yazdırma baskı sıcaklığı: 180°C-205°C

4.4. CARBON FİBER PLA

Carbon Fiber PLA küçük kıyılmış karbon fiber iplikleri içerir. Oldukça iyi; sertlik, mukavemet ve yüzey kalitesi sunar. Carbon Fiber filamentleri, karbon fiber lifleri ABS matris içerisine homojen olarak dağıtılmıştır. Bu filamentler üç boyutlu yazıcılar için özel tasarlanmıştır. Carbon Fiber filamenti diğer karbon fiber filamentlerden kendini özellikle gerçek karbon fiber liflerini kullanmasıyla ayırt etmektedir. Diğer birçok filament markası ise karbon fiber hammaddede kullanımında karbon tozu kullanmaktadır. Yetkin bir mühendislikle tasarlanan Carbon fiber filament'in diğer bir önemli yanı ise kısmi yüzey iletkenliği sayesinde doğrudan elektrolit kaplama imkanı sunmuş olması ve 0.5, 0.4 ve 0.3 mm nozul boyutlarında test edilmiş olmasıdır [43].

4.5. NAYLON FİLAMANT

Mukavemetli ve rijit olan naylon filament tıbbi sektörde kullanımı oldukça artış göstermektedir. En bilindik naylon filamentlere örnek vermek gerekirse; Nylon 618 ve Nylon 645 örnek verilebilir. Nylon 618'de ABS filamentini ile eş değer özelliklere sahip ve ısıtmalı platforma ihtiyaç duymaktadır. Nylon biouyumlu bir malzeme olduğundan dolayı sağlık sektöründe de kullanılır.

Nylon filamentini su tutma özelliğine sahiptir ve kesinlikle nemli bir alanda bırakılmamalıdır. Eğer filament nemli kalırsa baskı kalitesi kötü olacaktır. Filamentin içine hapsolmuş olan nem baskı sırasında sıcaklık ile baloncuklar oluşturarak patlayacak ve yüzeyde hatalar oluşturacaktır. Nemlenmiş bir filamentin baskı tablasına yapışmasında oldukça zordur ve kolayca kalkma yapabilir. Nylon filamentini

ile daha iyi baskı alabilmek için malzemeyi 80-90°C bir fırında 6-8 saat kurutmak iyi bir çözüm olacaktır. ABS ve PLA malzemeye göre baskı tablasına daha zor yapıştığı için Pva temelli veya Prit tarzı bir yapıştırıcı ile kullanılabilir [44].

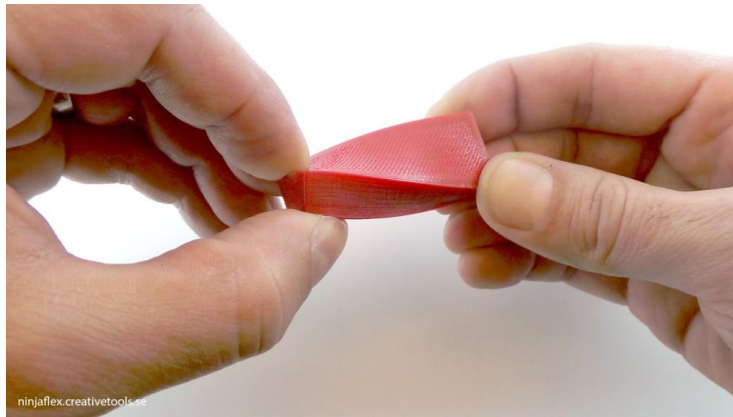
4.6. AHŞAP FİLAMENT

Ahşap filament nesnelere gerçek bir ahşap görünüm için kullanılmaktadır. Aynı diğer termoplastik filamentler (ABS, PLA) gibi ahşap filament de benzer bir baskı sürecine sahiptir. Baskı için gerekli işleme ısısı 185-240°C civarında değişirken, önerilen baskı hızı 20 mm/sn'dir [45].

4.7. ESNEK FİLAMENT (FLEXİBLE FİLAMENT)

3b yazıcılar filament malzemeyi eriterek nozul ucundan geçerek ince ince katmanlar halinde üretmektedir. PLA veya ABS malzemeleri en yoğunlukta kullanılan malzemelerdir. Sert malzemelerine göre esnek filament kullanımı her 3b yazıcı için olanak sağlamamakta, özel üretim gerektiren filamentlerdir.

Elastik özellikli ve esnek baskılar üretebilen bir termoplastiktir. Diğer yazıcılardan farklı olarak çekme sistemli nozula sahiptir. Bu özelliği, esnek filament ile uyumlu bir şekilde çalışmaktadır [45].



Şekil 4.2. Esnek filament (Flexible filament) [45].

4.8. 3B SERAMİK YAZICI İÇİN KULLANILAN SERAMİK VE KİL MALZEMELERİ

Kil, muayyen bir kristal bünyesine sahip, tabii, toprağımsı, ince taneli, uygun oranda su ilave edildiğı zaman esneklik oranı artan bir malzemedir. Son yıllarda geliştirilen yeni yöntemler sayesinde yapılan araştırmalar sonucu killerin, başlıca kil minerali olarak bilinen bir mineral grubunun bir veya daha fazla üyesinin oldukça küçük, kristal yapısına sahip parçacıkların bileşiminden olduğı anlaşılmaktadır.

Farklı bileşimde seramik malzemelerinin çeşitli yöntemler ile kullanabilen profesyonel üç boyutlu yazıcılardan bahsetmek mümkün. Üç boyutlu seramik yazıcının seramik için mevcut üretim stratejileri ile karşılaştırıldığında sağladığı avantajlar şunlardır:

1. Mevcut yöntemlerle üretilmesi oldukça zor olan formların imal edilebilmesi mümkündür.
2. Kalıplı üretimle kıyaslandığı zaman, dijital üç boyutlu veri üzerinden doğrudan üretim yapıldığından kullanıcı arzlarına göre kişiselleştirme imkanı mümkündür.
3. El işçiliğinde olduğu gibi prototip üretim yapabilme olanağı sağlamaktadır. Fakat el işçiliğı ile mukayese edildiğinde daha kısa sürede daha kaliteli üretimler yapma imkanı sunmaktadır.

Killerin bileşimine giren bazı bileşiklerin ve kirleticilerin tesirleri;

- Plâstikliğı azaltır;
- Kuruma ve pişme esnasındaki küçülmeyi azaltır;
- Taneler iri ise kırılma mukavemetini azaltır;
- Birçok hallerde refrakterliğı azaltır.

Kil, bileşim olarak nem çekme özelliğine sahip olduğu için çoğı zaman nem oranı yüksektir; yapısındaki nem uzaklaştırılırsa sertleşir. Bu özelliklerinden dolayı kil, yapı malzemesi olarak kullanılır. Kil malzemesinin yaygın olarak piyasada kullanılmasının nedeni, homojen olarak su ile karıştırıldığında bir süreliğine plastik özellikleri ön plana çıkmasıdır [46].

Toz haline getirilmiş kile uygun miktarda su ilave edilirse istenilen şekil çeşitli aletlerle verilmektedir. Bu sayede kilden tabak, vazo, testi vb. araçlar üretilir.



Şekil 4.3. Ham kil görüntüsü.

Kilin yaygın olarak kullanılması hem maliyetinin düşük olması hemde kolay şekil alabilmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca kil malzemesinin rengi içerisinde barındırdığı kimyasal bileşenlere göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin kil, içinde Fe_2O_3 barındırırsa kırmızı rengi, MnO_2 olursa siyah rengi, organik maddeler bulunursa menekşe renginde olmaktadır. Ayrıca kilin sinterlendikten önce ve sonrasında rengi aynı kalmayabilir. Bunun nedeni, sinterlenince metal oksitlerinin renginin değişmesidir [47].

4.8.1. Seramik Malzemelerin Uygulama Alanları

Rulmanlar: Saatlerde ve benzeri cihazlarda mücevher rulmanları olarak safir kullanılır. Nadiren de olsa bilya yataklarında ise SiN kullanılır.

Mekanik: Özellikle korozif ve erozif sıvılar içinde Al_2O_3 (alümina) ve SiC (silisyum karbür) seramikler conta halkası olarak kullanılır.

Yüksek Hız Kesici Takımları: Yüksek hız takımları olarak; geleneksel yüksek hız çelik takımlarına göre daha derin kesmelerini ve daha fazla kesme hızlarını olanak sağlayan, sıcaklığa karşı gösterdiği direnç ile seramik materyaller kullanılmaktadır.

Kılavuzlar ve Rulmanlar: Alümina, tekstil endüstrisinde fiber kılavuzu olarak yüksek hızda dönen ipliklerde, silisyum nitür, fırın konveyörlerindeki makaralarda kullanılmaktadır [47].

Aşınma Levhaları: Alümina aşınma levhaları, kül ve çamur gibi aşındırıcı malzemelerin tutulmasında, kömür çamur pompalama sistemlerinde ve kömürün nemini ayıran cihazlarda kullanılmaktadır.

Tıbbi Malzemeler: Kemiklerde ve diş bağlantılarında alümina seramikler günümüzde daha fazla kullanılmaktadır.

Seramik Kalıplar: Alümina ve zirkonyadan oluşturulan seramik kalıplar, metallerin ekstrüzyonunda sıklıkla kullanılmaktadır.

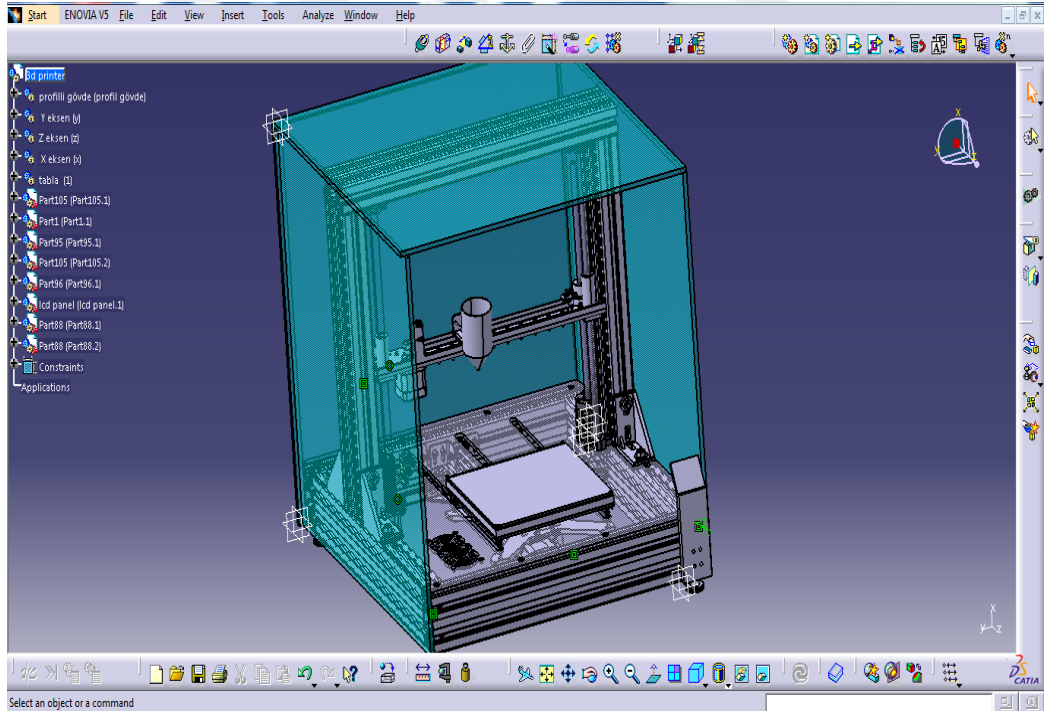
Seramik malzemeler, sahip oldukları yüksek mukavemetleri, düşük termal iletkenlikleri ve oksitlenmeye karşı gösterdikleri yüksek dirençleri sebebiyle yüksek sıcaklıklarda rahatlıkla tercih edilmektedir. Gaz türbünleri ve içten yanmalı motorlarda seramik malzemeler, yüksek sıcaklıkta aşınmaya karşı yüksek mukavemetli olarak kullanıldıklarından, yüksek sıcaklıktaki aşınma performanslarının belirlenmesi gereklidir. Bu doğrultuda seramik malzemeler orta ve yüksek sıcaklıklarda (yaklaşık 850°C-1500°C) birçok aşınma, sürtünme basma, su emme ve yoğunluk deneyleri yapılmaktadır.

BÖLÜM 5

MATERYAL VE METOD

5.1. 3B YAZICI TASARIMI

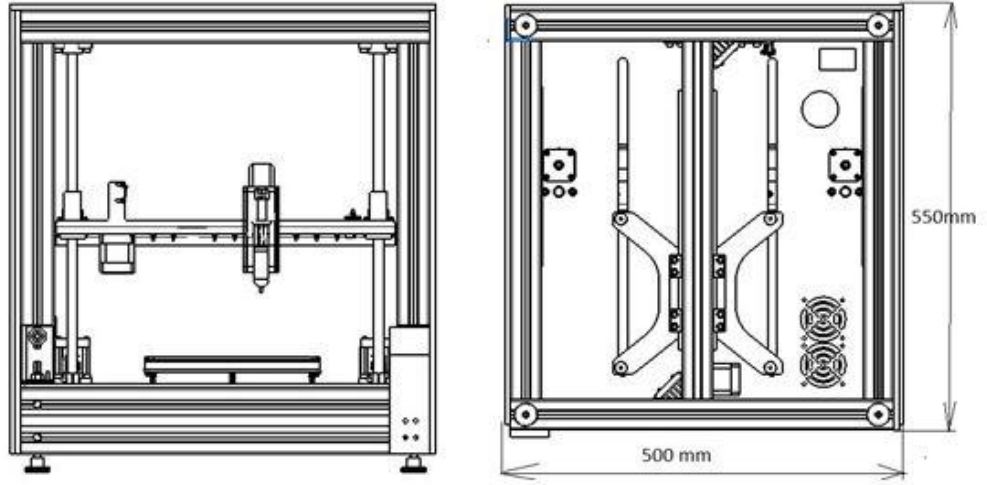
3B seramik yazıcı CATIA V5 programında tasarlanmış olup, yazıcı ölçüleri. Şekil 4.1. de görüldüğü gibi 500x500x550 mm boyutlarındadır. Tabla yazma alanı 25x25 mm dir. X ekseni hareketi lineer ray-araba sistemi ile Yazıcı başlık kısmına, Y ekseni hareketi kayış-kasnak sistemi ile tablaya, Z eksen hareketi vidalı mil-somun sistemi ile Yazıcı başlık kısmına verilmiştir. Şekil 5.1 de görülmektedir.



Şekil 5.1. Seramik yazıcı tasarımı.

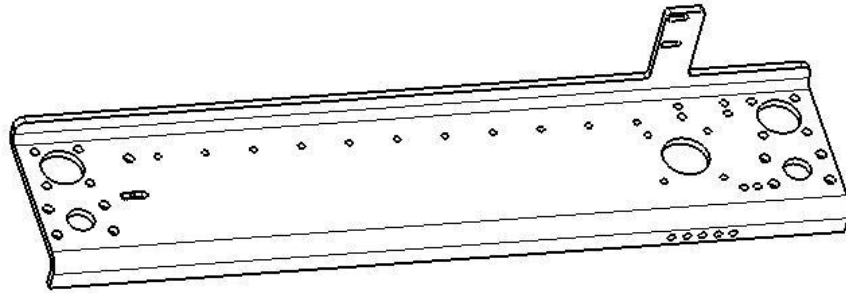
Çizelge 5.1. Cihaz genel teknik özellikleri.

Genel boyutlar	500 x 550 x 550 mm
Baskı boyutları	250x250 mm
Baskı malzemesi	Seramik, kil
Step motor	Nema 17, Nema 23
Nozzle çapı	Ø1.5 mm

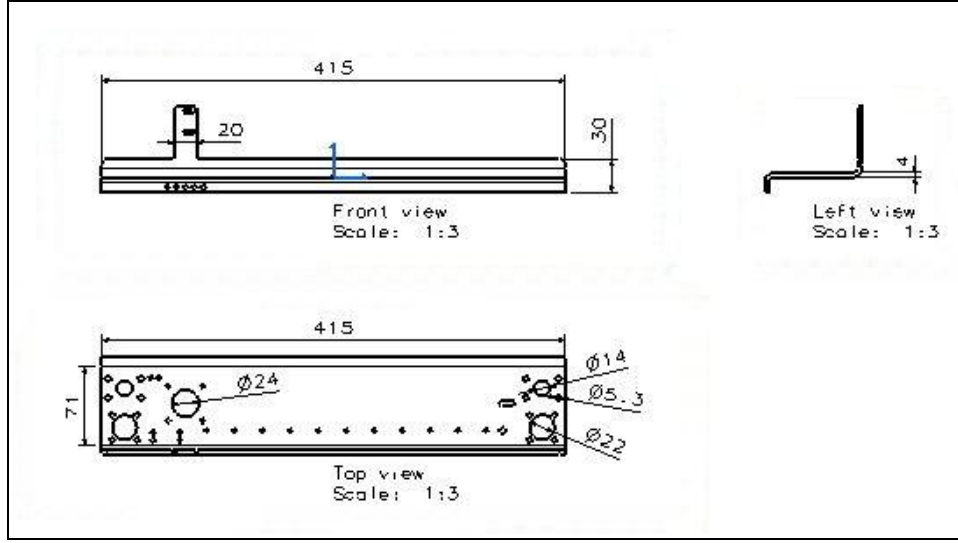


Şekil 5.2. Cihaz ön ve alt görünüş teknik resim genel boyutları.

X eksenini sacının üzerine bir adet Nema17 step motor bağlanmıştır. Step motor üzerine GT2 kayış kassak sistemi ile bağlanacak ayrıca Z ekseninin yukarı-aşağı hareketini sağlayan iki adet lineer rulman bağlanması için uygun tasarım gerçekleştirilmiştir. Uygun tasarımın izometrik görünüşü Şekil 5.3. de teknik resim görüntüsü ise Şekil 5.4. de görülmektedir.

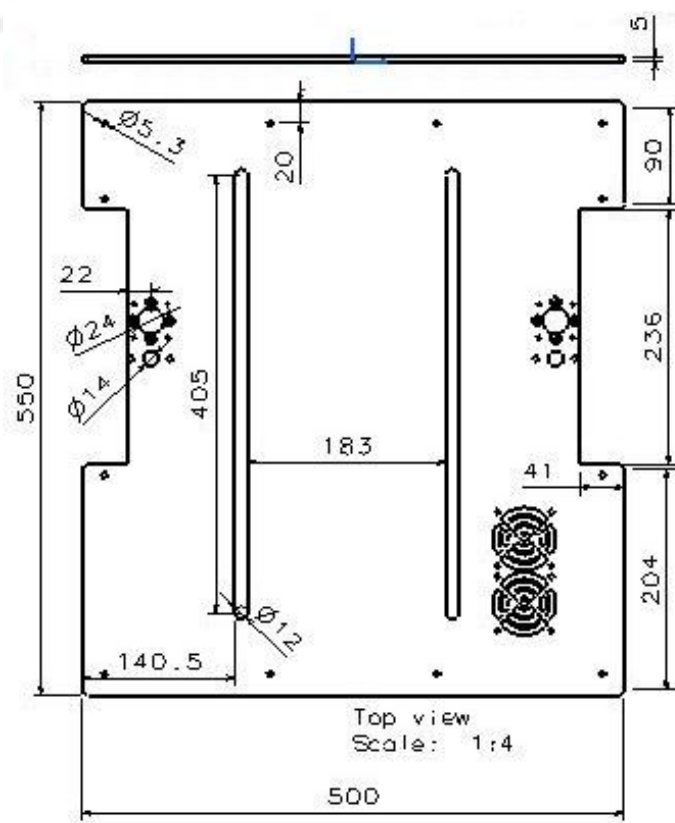


Şekil 5.3. X eksenini sacı izometrik görünüşü.



Şekil 5.4. X eksen sacı teknik resim görünüşleri.

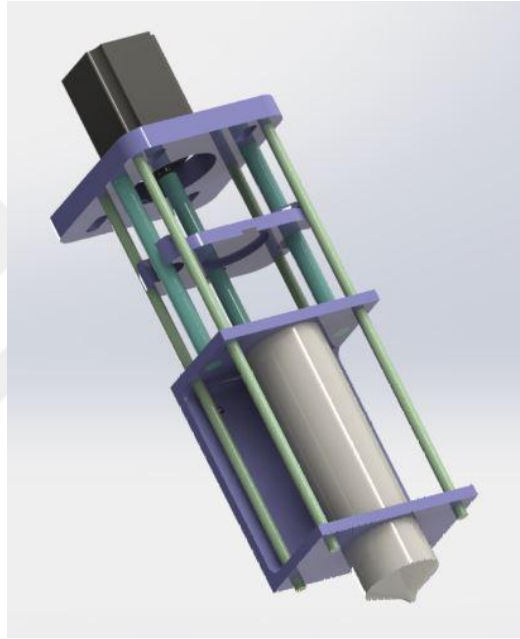
X eksen sacı genel ölçüleri; 500x550x1 mm boyutlarındadır. Parcanın orta eksenindeki iki adet kanal tablanın ileri geri kontrolünü sağlamak için açılmıştır. Sacın her iki tarafında Z eksenini için iki adet step motor delikleri açılmıştır.



Şekil 5.5. Z eksen sacı teknik resim görünüşleri.

5.2. 3B YAZICI BAŞLIK (NOZZLE) TASARIMI

Yazıcı başlık (Nozzle) Catia V5 programında tasarlanmıştır. Tasarımda seramik, vb. malzemelerin baskı alınabilmesi amaçlanmıştır. Yazıcı başlık Şasesi 3B yazıcıdan PLA-Plus malzeme kullanılarak basılmıştır. Sistem üç ayrı bölümden oluşmaktadır. Şekil 5.6 da görüldüğü gibi, birinci bölüm step motor tutucu vidalı mil ve kaplin kısmıdır. İkinci bölümde; vidalı mil, lineer rulman parçalarından oluşmaktadır. Son olarak seramik malzemeyi doldurduğumuz haznedan oluşmaktadır.



Şekil 5.6. Yazıcı başlık tasarımı görüntüsü.

Nozzle tasarımı için kullanılan parçalar;

- 1 adet Nema 23 step motor.
- 2 adet lineer rulman
- 2 adet krom kaplı mil
- 4 adet Ø5x200 mm vidalı mil
- 16 adet M5 somun
- 1 adet Ø8 vidalı mil
- 1 adet kaplin
- 1 adet 60 ml hazne

- 1 adet stepmotor tutucu
- 1 adet sistemi tahrik edecek olan orta parça
- 1 adet U şeklinde orta parça

5.3. 3B YAZICI MEKANİK EKİPMANLAR

5.3.1. Lineer Kızak-Araba

Sistemin X ve Y eksen iletimleri Lineer kızak-araba ile sağlanmaktadır. Lineer kızak-araba da GT2 kayış-kasnak'a bağlıdır. (Şekil 5.7) de görülmektedir.



Şekil 5.7. X ve Y eksenleri için kullanılan lineer kızak - araba iletim sistemi gösterimi.

5.3.2. Vidalı Mil-Somun

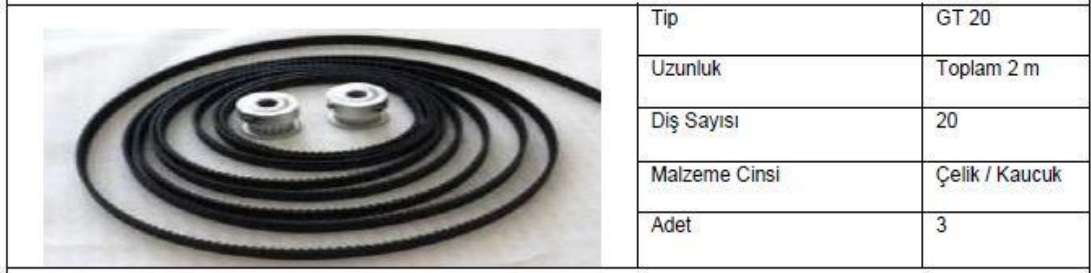
Sistemin Z ekseni ve Extruder hareket iletimleri Vidalı mil-somun sistemi ile sağlanmaktadır. (Şekil 5.8) de görülmektedir.



Şekil 5.8. Z ekseni için kullanılan iletim sistemi vidalı mil – somun sisteminin görünüşü.

5.3.3. GT2 Kayış-Kasnak

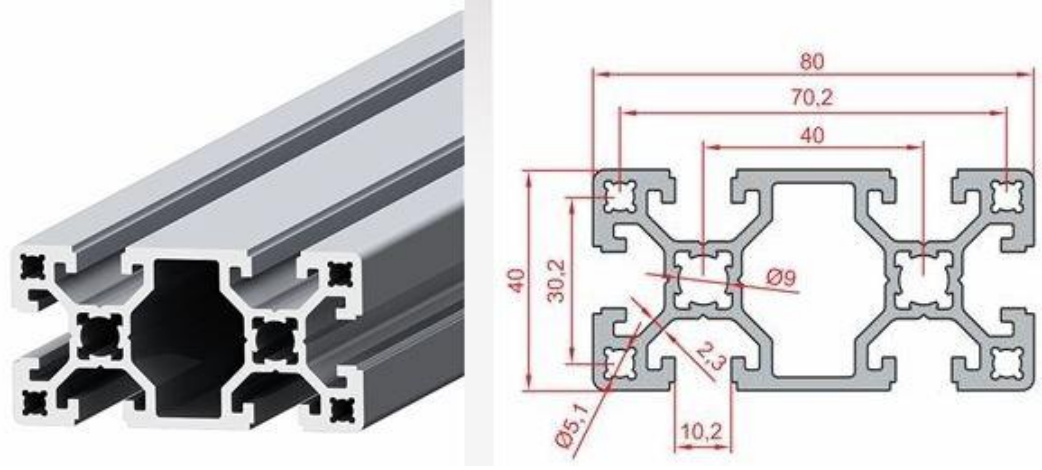
Üzerinde dişliler bulunan kayışlar, eksen üzerinde istenilen hareket sisteminin oluşturulması için kullanılan yardımcı elemanlardır. Sistem üzerinde bulunan motorun dairesel hareketi kayışın üzerindeki dişliler sayesinde eksen doğrultusunda doğrusal harekete çevrilir. Böylece baskı için istenilen hareket iletimi X veya Y eksenini doğrultusunda istenilen yönde kuvveti iletimini sağlamış olur. Dişli kayışlar dikey hareket açısından fiyatları ve performansları karşılaştırıldığında oldukça avantajlıdır. Hareket esnasında sessiz çalışırlar. Seri hareket iletimleri sağlarlar. Ancak kayışın üzerinde bulunan mini dişlerin atmaması için, kayışın sürekli olarak belirli bir gerginlikte tutulması sağlanmalıdır. Sistemin X ve Y eksenlerin hareket iletimleri GT2 kayış kasnak sistemi ile hareket etmektedir. (Şekil 5.9) de görülmektedir.



Şekil 5.9. GT2 kayış kasnak sistemi.

5.3.4. Sigma Profil

Sistemin şasesi 40x80 mm (eni ve genişliği) alüminyum sigma profillerden oluşmaktadır. Toplamda 6 adet sigma profil kullanılmıştır. Şekil 5.10 de sigma profillerin teknik resim ölçüleri görülmektedir. Sigma profillerin birbirlerine bağlantısı köşebentler ile sağlanmıştır. Bağlantı köşebentleri ise Şekil 5.11 de görülmektedir.



Şekil 5.10. Sigma profillerin teknik resim ölçüleri.



Şekil 5.11. Köşebentler ile bağlantı.

5.4. 3B YAZICI ELEKTRONİK AKSAMİ

Şırınga pompasının, 3B seramik yazıcının kontrolü için kullanılan Repertier Host, Cura, Simplify yazılımları ile uyumlu olması hedeflenmiştir. Kullanıcının, Repertier Host, Cura, Simplify arayüzünde gerekli parametreleri girerek, şırınga pompasını, yazıcının orijinalindeki ekstrüder gibi kullanabilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Repertier Host, Cura, Simplify programları arayüzünde belirtilen uygun program girdileri “bölüm 4.6. 3B Yazıcıda Kullanılan Programlar ve Yazdırma Parametreleri” adlı kısımda gösterilmiştir. Buna göre, şırınga nozülünün çapı ile uyumlu olarak ilk katman yüksekliği 0.6 mm ve katman yüksekliği 1 mm olarak seçilmiştir.

Yazıcının G kodlarıyla sürülebilmesi için uygun bir üç boyutlu yazıcı arayüz programının mevcut olması gerekmektedir. Arduino tabanlı mikrodenetleyiciler Atmel işlemcilerini kullanmaktadır. Bu çalışmada, Arduino MEGA mikrodenetleyicisinin Atmega2560 kontrol kartı kullanılmıştır. Kullanılan Arduino MEGA Şekil 5.12’de gösterilmiştir[48].



Şekil 5.12. Arduinio mega kontrol kartı [48,51].

Bu kontrol kartının Android telefonlar ile USB üzerinden bağlantı kurabilen: MAX3421e IC tabanlı bilgisayar arayüzü programı mevcuttur. Bu kontrol kartının, 54 dijital giriş/çıkış pinleri (15 adedi PWM çıkışları olarak kullanılabilir), 16 analog girişi, 4 UARTs (donanımda seri portlar), 16 MHz kristal osilatör, USB bağlantısı, bir güç girişi, bir ICSP başlığı ve bir reset düğmesi bulunmaktadır

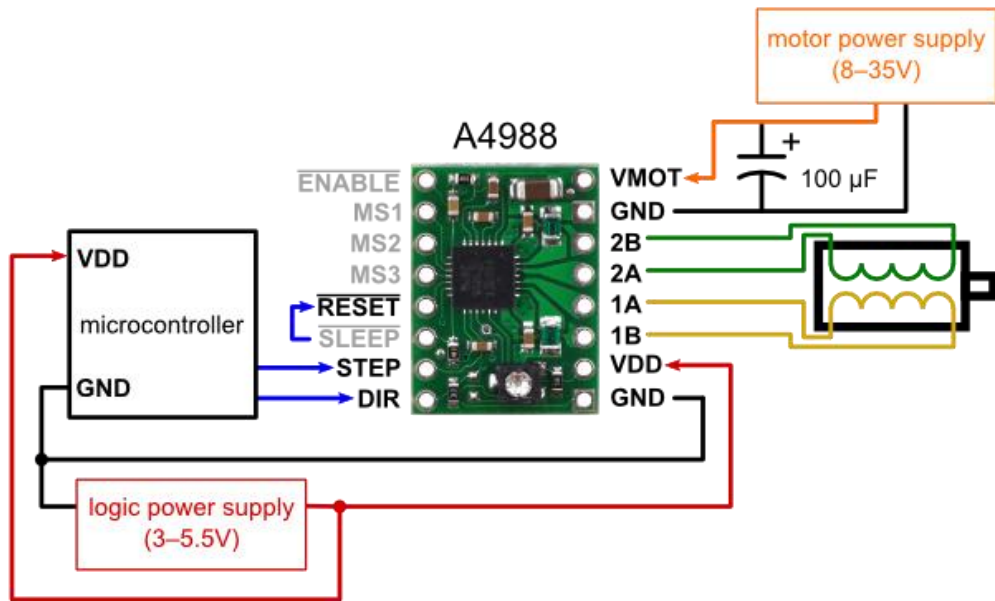
Son zamanlarda açık kaynak 3D yazıcılar çoğunlukla Arduino kontrol kartları ile kontrol edilmektedir. Fakat yazıcının çalıştırabilmesi için sadece Arduino kontrol kartı yeterli değildir. 3D yazıcı donanımında, motor sürücülerine ve ısıtıcılara da gereksinim vardır. Bu çalışmada, kontrol kartı ile sürücüler arasında köprü görevi yapan, Şekil 5.13 ’de gösterilen bir Ramps 1.4 (RepRap Arduino Mega Pololu Shield) kartı kullanılmıştır [48,51].



Şekil 5.13. Ramps [49].

NEMA 23 Bir tam turunda 1.8 derecelik 200 adım atabilmektedir. Faz başına 3.2V gerilim altında 2.8A akım çekmektedir. 4 kablolu step motor üzerinde kırmızı, siyah, mavi ve yeşil kablolar ile kontrol sağlanmaktadır.

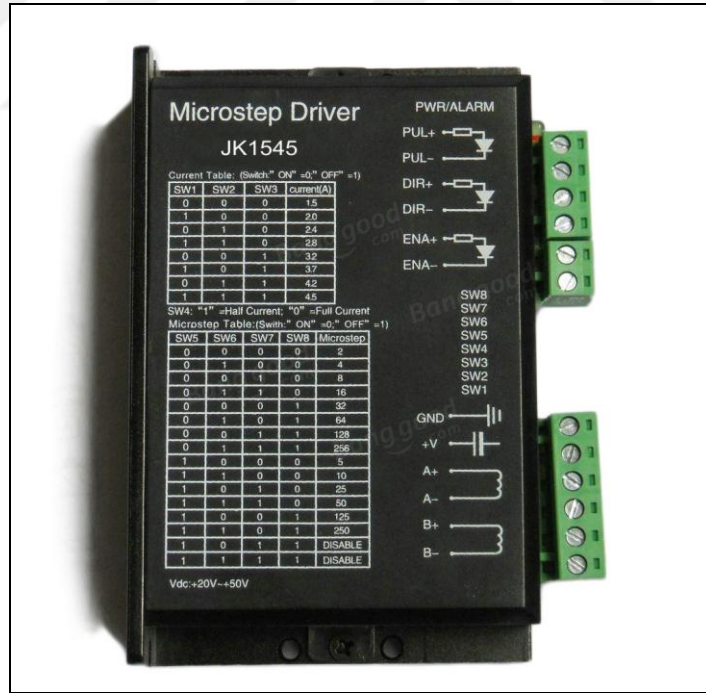
Her bir Nema 17 adım motor için A4988 adım motor sürücü kartı, her bir Nema 23 adım motoru için ise Microstep Driver JK1545 kullanılmıştır. A4988 adım motor sürücüsü bipolar mikroadım motor sürücüsüdür ve Şekil 5.14 'de gösterilmiştir. Bu sürücüde ayarlanabilinir akım limitleyicisi, aşırı akım ve sıcaklık koruması, beş farklı mikro adım çözünürlüğü bulunmaktadır. A4988 adım motor sürücüsünün özellikleri aşağıdaki belirtilmiştir [50].



Şekil 5.14. A4988 Adım motor sürücüsü [50,52].

- Basit adım ve yön kontrol arayüzü bulunur,
- Tam adım, yarım adım, çeyrek adım, sekizde bir adım ve onaltıda bir adım olmak üzere beş farklı adım çözünürlüğü vardır,
- Bir potansiyometre aracılığıyla maksimum akım çıkışı ayarının yapılabilmesi sayesinde motor üzerine gelen ani voltaj değerleri için koruma sağlar,
- Aşırı sıcaklıkta termal kapanma ve düşük voltajda devreyi kesme özelliği vardır.

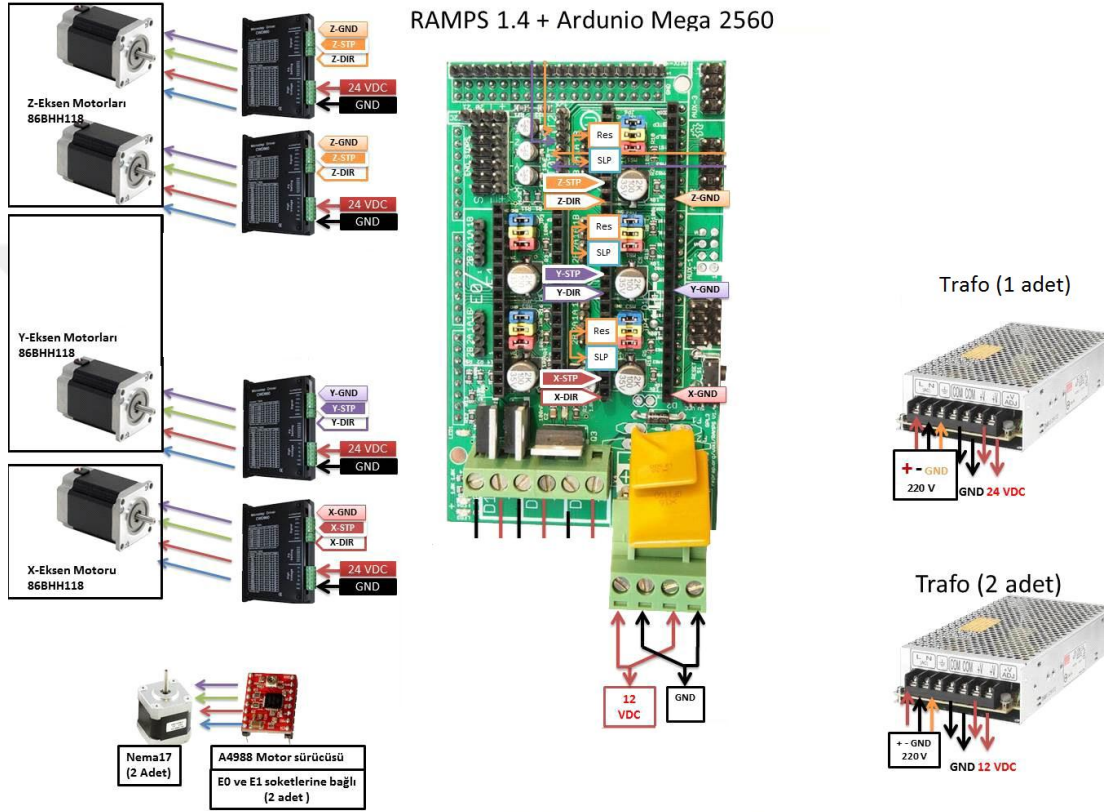
Microstep Driver JK1545 adlı sürücü, 4 tel bulunan step motorlar için kullanımı uygundur. Yüksek frekanslı giriş sinyallerini kabul edebilecek şekilde donatılmıştır. Yüksek başlangıç frekansı, giriş ve çıkış devresi ızalasyonu, ayarlanabilir akım, kararlı çalışma, yüksek doğruluk ve minimize gürültülü çalışma için özel üretilmiştir. 4,2A ve altında, tüm 34 frame ve altı motorları rahatlıkla sürebilir. Şekil 5.14 de görülmektedir [53].



Şekil 5.15. Microstep driver [53].

Sistemin elektronik aksamında; X eksenini için 1 adet Nema17 step motor, Y eksenini için 1 adet Nema17 step motor ve bu iki eksen için (X-Y) A4988 sürücü kullanılmıştır. Sistemin extruder'ında ise Nema 23 step motor ile birlikte microstep

driver jk1545 kullanılmıştır. Sistemin Z eksenı için 2 adet Nema 17 step motor ve 2 adet Microstep driver sürücü kullanılmıştır. Ayrıca sistemde, toplamda 3 adet güç kaynağı kullanılmıştır. Sistemin elektronik devre şeması Şekil 5.16 da görülmektedir [51].



Şekil 5.16. Sistemin elektronik devre şeması.

LCD RepRap Ramps 1.4 ile uyumlu, 3b yazıcılarda basılacak dosyayı seçmek ve eksen kalibrosyanlarını bilgisayar olmaksızın yapmak için kullanabileceğiniz bir kontrol kartıdır. Bu kart hem kalibrasyonlar yapabilir, hem de basılacak dosya seçilebilir. Bu sayede bilgisayardan bağımsız olarak 3 boyutlu yazıcı kullanılabilir. Şekil 5.17 de RepRap Ramps 1.4 görülmektedir.

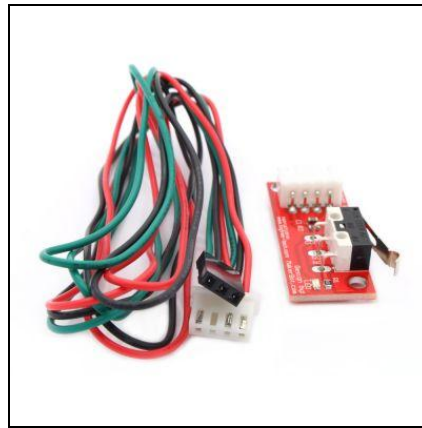


Şekil 5.17. RepRap ramps.

LCD Kartı üzerinde 128x64 mavi üzerine beyaz yazılı grafik LCD ekran, menülerdeki geçişleri yapmak için potansiyometre (buton olarak da potansiyometre kullanılmaktadır), durdurmak için buton, uyarı çıkışı için buzzer, LCD'nin kontrastını ayarlamak için trimpot ve SD kart soketi yer almaktadır.

Ayrıca LCD kartını Ramps 1.4 kartına bağlayabileceğiniz bir ara kart ve ara bağlantı kabloları yer almaktadır.

Limit Switch ve Endstop olarak adlandırılan bu anahtar 3 boyutlu yazıcıların eksenleri üzerine yerleştirilerek, eksenin sonuna gelindiğinde sistemin durmasını sağlamaktadır. Şekil 5.18 de Limit Switch görülmektedir.



Şekil 5.18. Limit switch.

Minik boyutlu kart üzerine yerleştirilmiş büyük switch ufak bir tepkide mekaniksel olarak kapanmakta ve kontrol kartına bunun sinyalini göndermektedir. Bu sayede

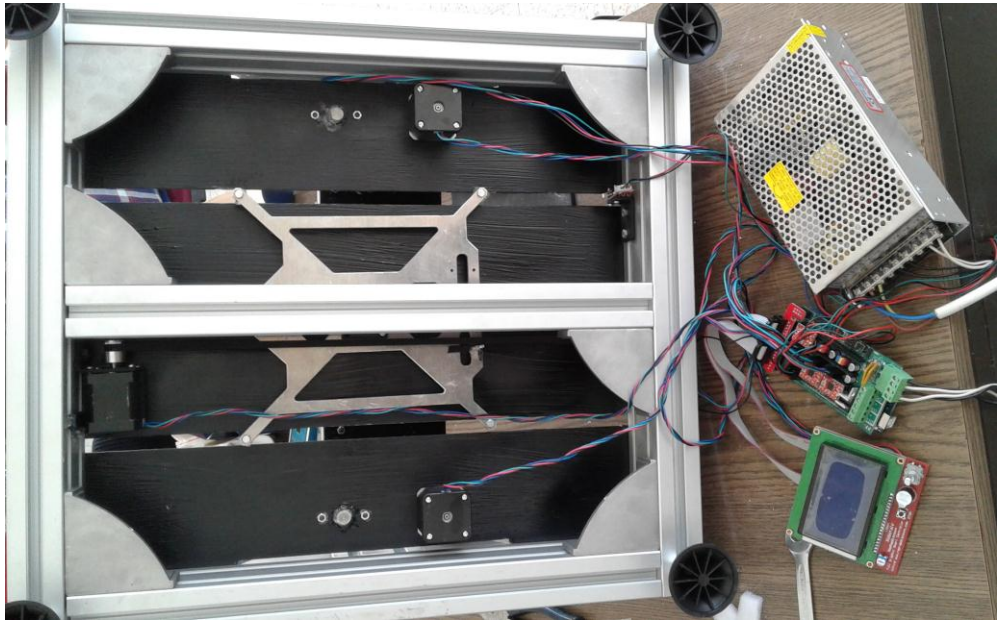
eksen sonuna gelindiği anlaşılarak o eksendeki hareket noktalanmaktadır. Bizim 3B cihazımızda 3 adet endstop kullanılmıştır.

Ürün dâhilinde bağlantıların kolay yapılabilmesi için aynı zamanda 4 pinli dupont kablo da yer almaktadır. Bir ucu 4'lü JST konnektörü olan kablonun diğer ucu ise tekli dişi heade şeklinde dir.

Güç kaynağı 3 Boyutlu yazıcılarda 12V luk kullanılmaktadır. Ramps 1.4 bu kaynak üzerinden beslemeyi yapıp ilgili yerlere gücü dağıtmaktadır. Bizim cihazımızda 3 adet step driver kullanıldığından bu driver ları sürmek için, 3 adet de güç kaynağı kullanılmıştır. şekil 5.19' de güç kaynağı görölmektedir.



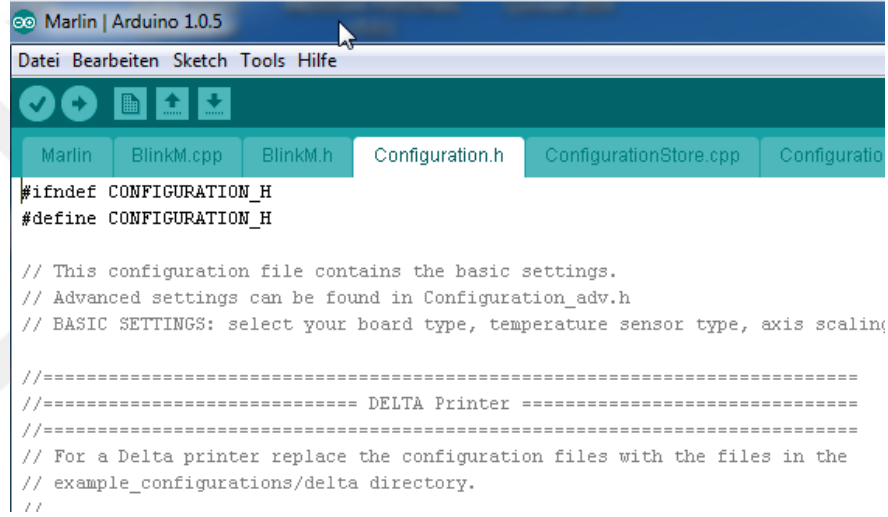
şekil 5.19. Güç kaynağı.



şekil 5.20. Elektronik bağlantıların kurulumu.

5.5. 3B YAZICI YAZILIMI

3D yazıcının kontrolü için, Arduino mikro kontrol kartının programlanması gerekmektedir. Arduino programıyla geliştirilen yazılım kontrol kartının içerisine yüklenir. 3D yazıcı uygulamaları için birçok açık kaynak yazılım mevcuttur. Bunlardan en popüler olanları Sprinter, Marlin ve Teacup'dır. Bu projede Marlin yazılımları ayrı ayrı denenmiş ve yazılımlar içerisinde mekanik tasarıma göre bazı değişiklikler yapılmıştır. Marlin yazılımı ekran görüntüsü Şekil 5.21' de görülmektedir [50,52].



```
#ifndef CONFIGURATION_H
#define CONFIGURATION_H

// This configuration file contains the basic settings.
// Advanced settings can be found in Configuration_adv.h
// BASIC SETTINGS: select your board type, temperature sensor type, axis scaling

//=====
//===== DELTA Printer =====
//=====
// For a Delta printer replace the configuration files with the files in the
// example_configurations/delta directory.
//
```

Şekil 5.21. Marlin yazılımı görüntüsü [50,52].

5.6. 3B YAZICIDA KULLANILAN PROGRAMLAR VE YAZDIRMA PARAMETRELERİ

Üç boyutlu model oluşturma aşamasından sonra modelin 3B yazıcıya aktarılabilmesi için arayüz programına aktarılması gerekmektedir. Böylelikle 3B olarak tasarlanan parçanın doluluk oranı, dolgu geometrisi, katman yüksekliği gibi yazdırma parametreleri, yüzey kalitesi, yazıcı uç yolları ve üretim kodları çıkarılmış olur. Genellikle tescilli ve markalı 3B yazıcılar kendileri için tasarlanmış arayüz programları ile satışa sunulmaktadırlar. Ancak açık kaynaklı yazıcılar için de ücretli ve ücretsiz birçok farklı arayüz programı mevcuttur. Skeinforge, RepRap Host, SuperSkein, Slicer, KiSSlicer, Repetier-Host, Cura, Simplify3D ücretsiz açık

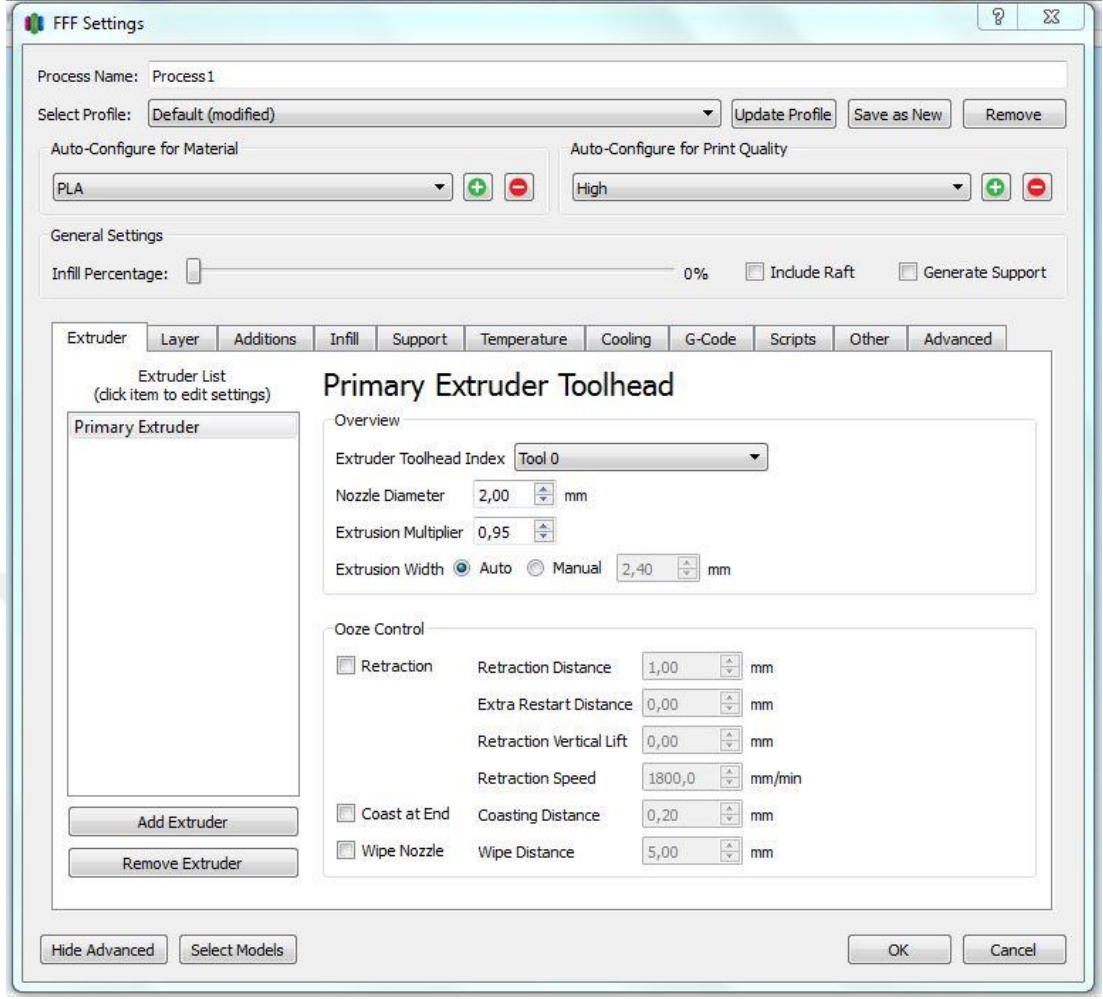
kaynaklı programlardandır. Bizim parça basma işlemlerimiz Simplify3D programlarında gerçekleştirilmiştir. Bu program arayüzleri aşağıdaki şekillerde mevcuttur

Simplify3D bir 3b baskı yazılım programıdır. 3b baskılarımızı daha kaliteli baskılar almak için hızlandıran Simplify3D, 3b yazıcı ile yüksek kalitede sonuçlar elde etmek için tamamen bir 3b tasarım ortamı sunar. Program ile 3b yazıcınızdan datası bulunan objenin baskısını alabilirsiniz. Simplify programı yazdırma parametre ayarları Şekil 5.30 ve Şekil 5.31 görülmektedir.

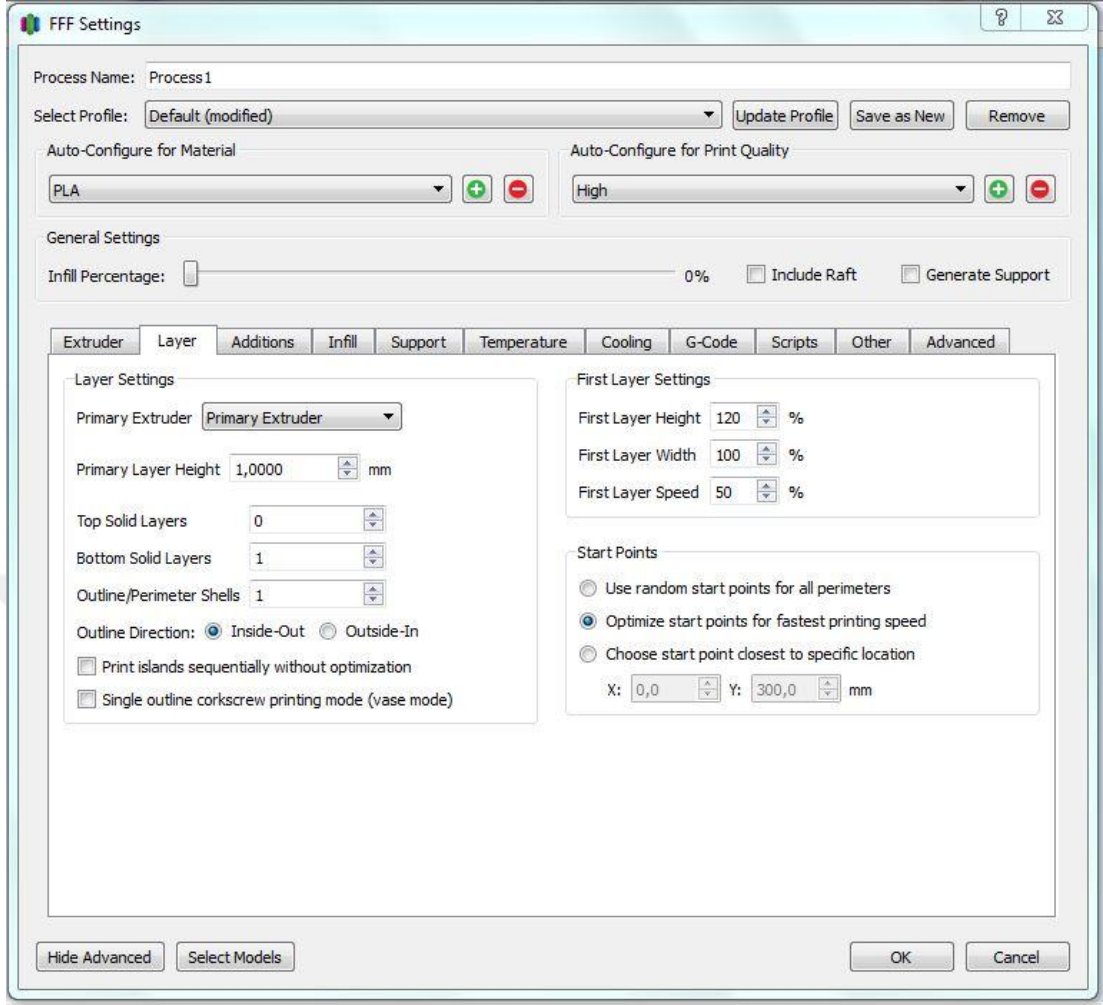
Simplify3D yazılımının 2 özelliği vardır.

1. 3b tasarım datalarını 3b yazıcınızın anlayabileceği gcode komut dosyaları oluşturulmasını sağlar.
2. Hazırladığı gcode komut dosyalarını doğrudan baskı alınması için 3b yazıcınıza USB bağlantısı ile gönderilmesi ya da SD karta kaydedilmesi Siplify3D programımızın arayüzü ve yazdırma ayarları aşağıdaki şekillerde mevcuttur.

Siplify3D programımızın arayüzü ve yazdırma ayarları aşağıdaki şekillerde mevcuttur.



Şekil 5.22. Simplify programı yazdırma parametre ayarları.



Şekil 5.23. Simplify programı yazdırma parametre ayarları.

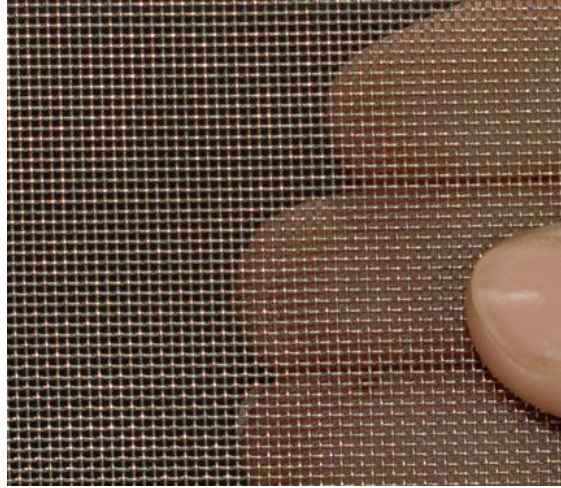
5.7. 3B YAZICI İÇİN SERAMİK MALZEMENİN HAZIRLANMASI

3B yazıcımızda kullanılan kil malzeme aşağıdaki şekil 5.24’de ham hali görülmektedir. Bu malzeme ham halden toz kıvamına getirilerek, malzemeyi su ile karıştırıp yoğurma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ham kil malzemeyi toz kıvamına getirme işlemi için ilk olarak malzemeyi dövme işlemi ikinci olarak malzemeyi elek ile eleme işlemi son olarak da tos kıvamına gelen malzemeyi gerekli su oranlarında karıştırılarak yoğurma işlemine tabii tutulmaktadır. Yoğurma işlemi için su kullanılmıştır. Kil-su karışımı için 3/2 oranı bizim için uygun bir orandır. 3 kil oranını, 2 su oranını belirtmektedir. Yani 500 gr bir karışım için; 300 gr kil, 200 gr su kullanılmıştır.



Şekil 5.24. Ham kil malzeme ve dövülme işlemi sonrası kil.

İri taneli yapıya sahip kil malzeme dövme işlemlerinden sonra elek ile eleme işlemi uygulama aşamaları aşağıdaki (Şekil 5.33) kil malzeme eleme işlemi (Şekil 5.32) kil malzemenin toz hali görülmektedir. Paslanmaz elek teli 30 mesh: 550 mikron, tel kalınlığı: 0.3 mm, açıklık: 0,55 mm, çap 30 cm, malzeme AISI304 özelliklerinde (Şekil 5.25) görülmektedir.



Şekil 5.25. Paslanmaz elek teli görüntüsü.



Şekil 5.26. Kil malzeme eleme işlemi ve kil malzemenin toz hali.

Toz halindeki kil malzemenin toz haline getirme işleminden sonra malzemeyi su ile yoğurma işlemi uygulanmaktadır. Kil ile Su oranı 3/2 (kil/su) oranı bizim yazıcımız için uygun bir orandır. Uzun uzadıya hamuru su ile yoğurmak ve homojen bir karışım elde etmek gereklidir. Homojen bir karışım olmadığı takdirde; 3B seramik yazıcısında parça basarken pütürlük meydana gelip, nozzle ucunda tıkanmalar meydana gelebilir. Aşağıdaki Şekil 5.27’de kil malzemenin su ile yoğrulmuş hali görülmektedir.



Şekil 5.27. Kil malzemenin su ile yoğrulmuş hali.

5.8. KİL’İN HAZNEYE DOLDURULMASI

Kil hazırlama aşaması bu yöntemde üretim için oldukça önemlidir. Bu üretim yöntemi hazne içerisine sıyrılarak yerleştirilen kilin el basıncı ile itilerek üst üste

yığılması prensibiyle çalışmaktadır. Bu sebeple kilin hazırlanmasında ve tüp içerisine yerleştirilmesinde kil içerisinde hava kalmaması gerekmektedir.

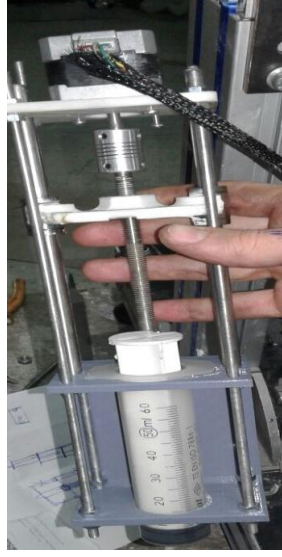


Şekil 5.28. Hazırlanan kil'in hazne içerisine duldurulması.

Spatula yardımıyla kil yukarıdan aşağıya doğru bastırılarak içerisindeki havanın dışarıya atılması sağlanır. Bu şekilde spatulaya toplanan kil, tüp içerisine yerleştirilir. Bu yerleştirilme esnasında tüp içerisinde hava kalmaması için tüpün aşağısındaki ucu tıkalı ise açmak gerekir ki hava boşluğu kalmasın. Spatuladaki kil yukarıdaki şekil 5.28'da görüldüğü gibi tüpün içerisine duldurulmalıdır. Tüp, içerisinde hava kalmaması açısından çok önemlidir.

5.9. 3B YAZICININ NOZZLE İMALATI

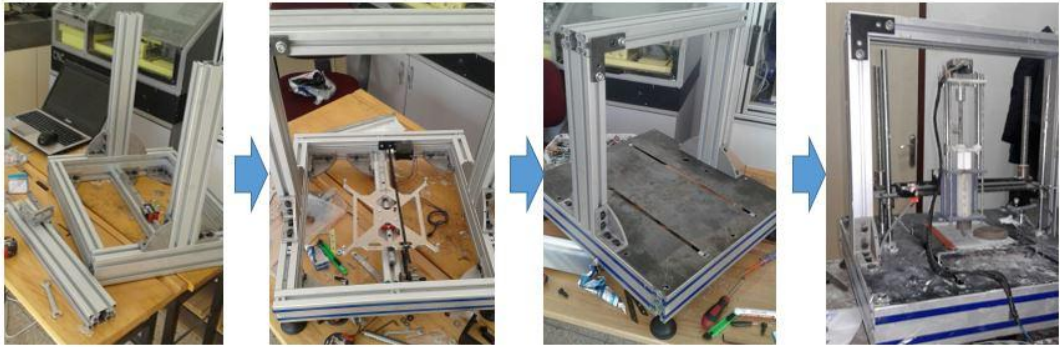
3D Printer braket özel olarak tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Nozzle 3d yazıcının performansını direkt olarak etkileyen en kritik parçadır. Nema23 step motor ile kontrol edilmektedir. Nozzle in çerçeve, motor tutucu ve orta şase parçaları 3B yazıcıdan PLA malzemesi ile üretimi gerçekleştirilmiştir. Diğer parçalar (kılavuz mili, vidalı mil, kaplin lineer rulman civata somun ve şırınga) standart parçalardan oluşmaktadır. Deneysel şırınga ekstruderimizin, yazdırma ihtiyacımız için boyutu 60 ml olan şırınga için tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.29 de üretim resmi mevcuttur.



Şekil 5.29. Nozzle üretimi.

5.10. 3B YAZICI KURULUMU

3B yazıcı şasesi sigma profillerden oluşmaktadır. Öncelikle sigma profillerin montajı gerçekleştirilmiştir. Sigma profillerin bağlantısı köşebent ler ile M8 civatalar ile bağlanmıştır. X eksenini (tabla hareketi) ve Y eksenini için ray-araba sistemi kullanılmış, her iki eksen için de GT2 kayış-kasnak sistemi ile hareket iletimi gerçekleştirilmiştir. Z ekseninde ise vidalı mil-somun ile hareket iletimi gerçekleştirilmiştir. 3B yazıcı kurulum aşamaları Şekil 5.30'de görülmektedir.



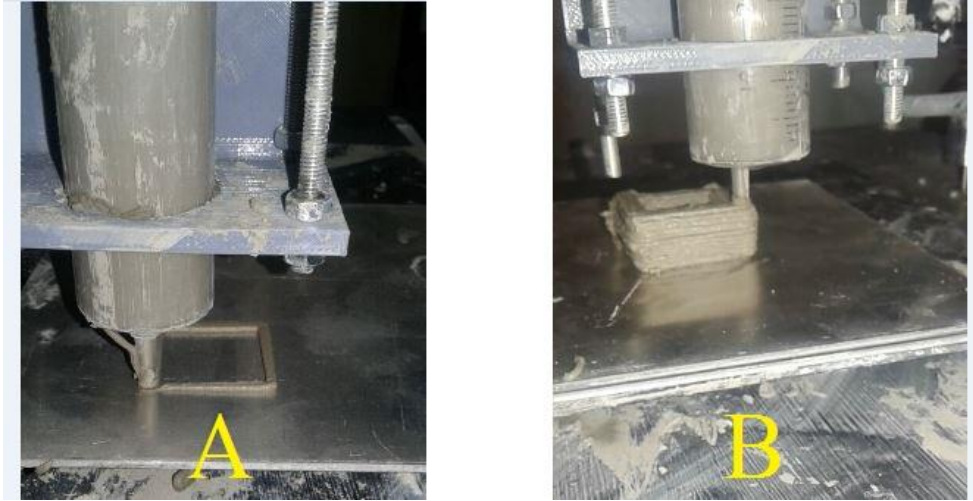
Şekil 5.30. 3B yazıcı kurulum aşamaları.

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. 3B SERAMİK YAZICI İLE PARÇA ÜRETİM AŞAMASI

Hazırlanan kil enjeksiyon tüpü üç boyutlu yazıcı üzerindeki haznesine yerleştirildikten sonra makinenin başlangıç noktasına objenin tablasına plaka yerleştirilmiştir. Üretim tamamlandıktan sonra objeyi tabla üzerinden rahat ve sorunsuz bir şekilde alabilmek için bu işlem tercih edilmiştir. Üç boyutlu yazıcı hafızasına aktarılan dosya ekran üzerinden seçilerek başlat butonuna basılmış ve üretim başlatılmıştır. Şekil 6.1 de A ve B şekillerinde kare parça üretim aşamaları görülmektedir. A parçasında baskı aşamasının ilk katmanı yazulma görüntüsü, B resminde parçanın katmanlar halinde belli bir fiziksel görünümün olduğu resim görülmektedir.



Şekil 6.1. Kare parça üretim aşamaları.

Silindirik parça üretimi (Şekil 6.2) silindirik parça üretim aşamaları C ve D şekillerinde görülmektedir. C resminde silindirik parçanın yazma aşamasındaki görüntüsü, D resminde ise silindirik baskının son hali görülmektedir.

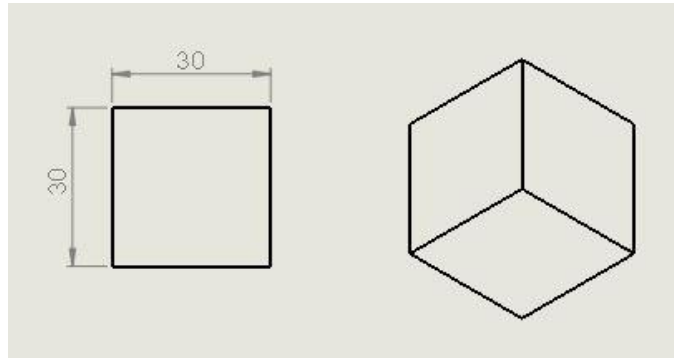


Şekil 6.2. Silindirik parça üretim aşamaları.

6.2. BASMA NUMUNESİ

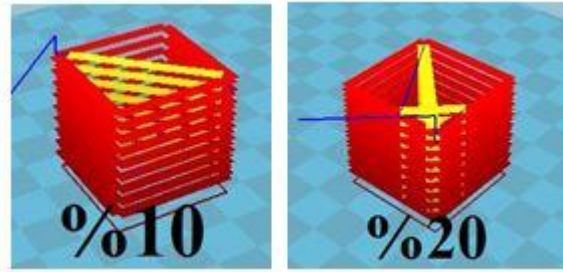
Basma deneyinde, homojen bir baskı numunesi alabilmek için genellikle silindir ve kare kesitli numuneler de kullanılmaktadır. Basma numunelerinde ölçüm yapılacak olan en belirgin parametre, numunenin boy/çap oranıdır. Bu oranın yüksek olması durumunda bükülme problemi ortaya çıkar. Metalik malzemelerde bu oran değişkenlik gösterebilir.

Basma numunesinin boyutları 30x30x30 mm boyutlarında küp'den oluşmaktadır. Şekil 6.3 de basma testi ölçüleri görülmektedir.

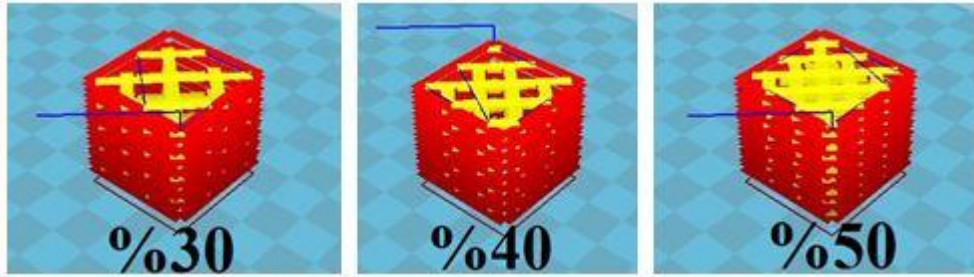


Şekil 6.3. Basma numunesinin boyutları.

Basma deneyi için; Simplify3D programından 30x30x30 mm boyutlarında parçalar basılmış ayrıca basılan parçaların doluluk oranları %10-%20-%30-%40-%50 oranlarında değişmektedir. Şekil 6.4 ve Şekil 6.5 de görülmektedir.



Şekil 6.4. %10 Ve %20 parçaların doluluk oranlarının gösterimi.



Şekil 6.5. %30, %40 Ve %50 Parçaların doluluk oranlarının gösterimi.



Şekil 6.6. Basma testi için gerçekleştirilen örnek numune.

3D katı modelinizin, içini dolduracak olan materyalin oranına doluluk oranı denir. Bu parametre doğrudan parçanın dayanıklılığını etkiler. Fakat fazla doluluk hem materyal maliyetini, parçanın ağırlığını ve baskı hızını gereksiz bir şekilde

arttırabilir. Örneğin %30-40'lık bir kullanım, bir makine parçası için gerekli olan mukavemeti en uygun bir doluluk oranıyla sağlayacaktır. Benzer yaklaşımla bir süs eşyası için %20'lik bir doluluk oranı yeterli olacaktır.

6.3. BASMA TESTİ

Basma deneyi, standartlara göre hazırlanan deney numunesinin, sabit sıcaklıkta ve tek ekseninde, belirli bir hızla, malzeme dağılıncaya kadar baskı sürecine basma testi denir. Basma makinelerinde basma plakaları aracılığı ile numuneye belirtilen oranda yük uygulanır. Yük uygulanan numunenin alt ve üst yüzeyleri, numunenin düşey eksenine dik ve birbirine paralel olması sağlanmalıdır.

Basma testi 3 mm/dk hız ile Karabük Üniversitesi Malzeme Araştırma ve Geliştirme Merkezi (MARGEM) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

6.4. YOĞUNLUK ÖLÇÜMÜ

Tüm seramik sistemlerde özellikle yüksek mukavemet ya da yüksek sıcaklık uygulamalarında malzemelerin yoğunluğu büyük öneme sahiptir. Bunun nedeni; porozite, bir malzemenin mekanik özelliklerini (mukavemet ve elastisite), termal özelliklerini (özellikle ısı transferini) ve ortam içinde bulunan malzemelerden dolayı korozyon ve mekanik aşınma davranışlarını etkiler. Yoğunluk ölçümü metodu Archimedes prensibine dayanır ve katı malzemelerin yoğunluklarının ölçümünde yaygın olarak kullanılır.

Prensipinde, bir numunedeki porların hacmi, onları doldurmak için gerekli sıvının (bu deneyde su kullanılacak) ağırlığından hesaplanır. Her ne kadar porların çoğu kullanılan sıvı tarafından doldurulabilir ise de (açık porlar), bazı porlar kapalıdır ve sıvı onları dolduramadığı için bu porlar hesaplanan değer içinde yer almazlar. Bu yüzden hesaplanan porozite ve katı yoğunluk değerleri görünen porozite ve görünen katı yoğunluğu olarak adlandırılır.

6.5. SEM ANALİZİ

SEM; taramalı elektron mikroskobunun (Scanning Electron Microscope-SEM) hangi amaçlara yönelik incelemelerde kullanılacağını, ne tür numunelerin incelenebileceğini, bu mikroskobu kullanarak ne tür bilgilerin elde edileceğini ve elde edilen bilgilerin ne şekilde yorumlanması gerektiğini belirlemektir.

Taramalı Elektron Mikroskobu'nda (SEM) görüntüsü yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması, taratma sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması, bu bilgilerin sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir.

SEM analizi, Karabük Üniversitesi Malzeme Araştırma ve Geliştirme Merkezi (MARGEM) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

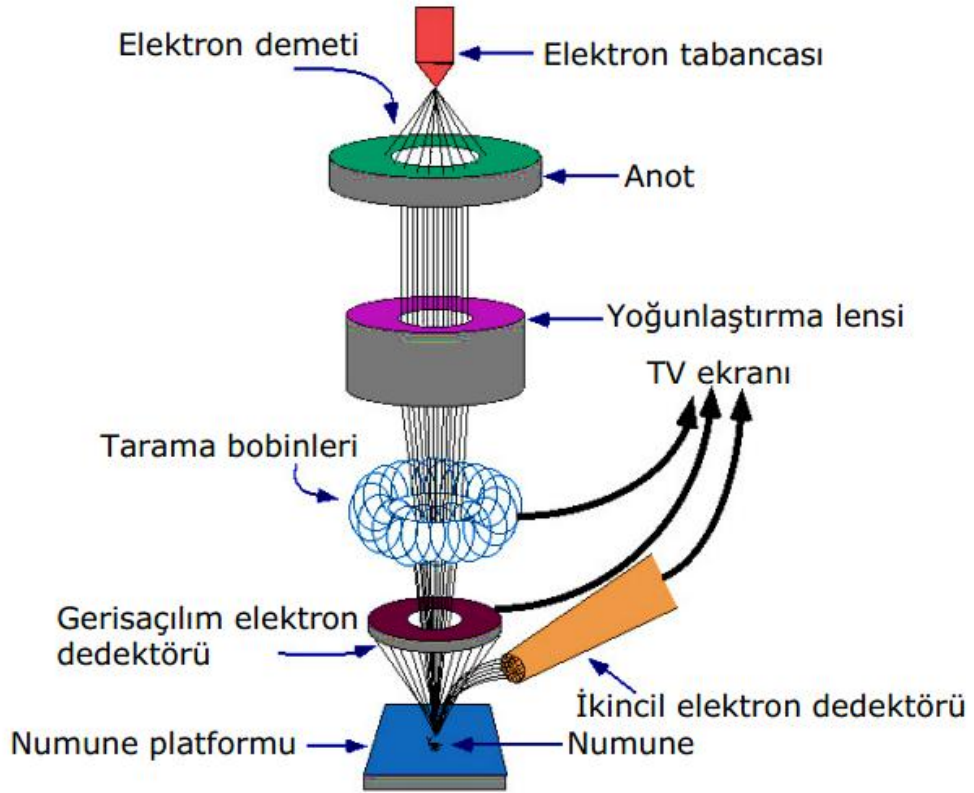


Şekil 6.7. SEM (Scanning Electron Microscope) cihazı görüntüsü.

6.5.1. Taramalı Elektron Mikroskobunun Çalışma Prensibi

Taramalı elektron mikroskobunun optik kolunda; elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, elektronları numuneye doğru hızlandırmak için yüksek gerilimin

uygulandığı anot plakası, demeti toplamakta ve yönlendirmekte kullanılan condenser ve objektif mercekleri, demet çapını sınırlamakta kullanılan apertürler, numune yüzeyini taraması için demeti uygun şekilde saptıran tarama bobinleri vardır. Optik kolon alttan numune ocağına açılır. Burada üç boyutta hareket edebilen numune kızıağı, demet-numune etkileşimi sonucu oluşan değişik sinyallere duyarlı algılayıcılar bulunur. Mikroskobun elektronik donanımı ise flaman akımı, mercek akımı ve uyarma gerilimini kararlı tutarken, algıcılardan gelen sinyalleri işleyerek numunenin değişik özelliklerini yansıtan görüntüler oluşturur.



Şekil 6.8. Taramalı elektron mikroskopunun şematik görüntüsü.

6.6. PİŞME ÇEKİLMESİ DENEYİ

Seramik mamüller pişme prosesi esnasında belirli oranlarda küçülme davranışları gösterirler. Küçülme davranışına bağlı olarak pişirme prosesinin ayarlanması gerekir. Yüksek oranda küçülme davranışı gösteren mamüllerin yavaş ısıtılmaları gerekir. Aksi takdirde deformasyonlar ve çatlaklar meydana gelebilir.

Killerin kurudukları zaman küçülme göstermelerinin nedeni, şekillendirme suyunun kilden uzaklaşmasıdır. Kil tanecikleri arasında yer alan su kilden uzaklaştıkça tanecikler birbirine yaklaşırlar ve küçülme ortaya çıkar.

Killer ne kadar çok su ile şekillendirilirse kuru küçülmeleri de o kadar fazla olur. Kurutulan bir kil, şekillendirme suyunu tamamen verinceye kadar küçülür. Bu kuru küçülmeyi izleyen aşamada, kil pişirildiğinde de küçülme sürer. Bu kez küçülmenin nedeni, kilim şekillendirme suyu olmayıp, yapısındaki organik maddelerin yanması, gazların uzaklaşması, kristal suyunun ayrılması ve karmaşık kristal değişikliği olayıdır [57].

Pişme çekilmesi şu formülden hesaplanır;

$$\% \text{ Pişme çekilmesi} = \frac{(\text{Kuru uzunluk} - \text{Pişmiş uzunluk})}{\text{Kuru uzunluk}} \cdot 100$$

6.7. XRD ANALİZİ

X-Işını Kırınım yöntemi (XRD), her bir kristalin fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak, X-ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır. Her bir kristalin faz için bu kırınım profilleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar. X-Işını Kırınım analiz metodu, analiz sırasında numuneyi tahrip etmez ve çok az miktardaki numunelerin dahi analizlerinin yapılmasını sağlar. X-Işını Kırınım cihazıyla kayaçların, kristalin malzemelerin, ince filmlerin ve polimerlerin nitel ve nicel incelemeleri yapılabilir.

6.8. EDX ANALİZİ

Edx sistemi mikroskop tanımlama özelliği örneğidir. Bileşimindeki elementlerin belirlenmesidir. Edx analizi ile üretilen numuneler SEM (taramalı elektron mikroskobu) veya TEM (iletim elektron mikroskobu) ile verilen eklerden oluşmaktadır. Edx analizi ile üretilen veriler analiz edilen numunenin gerçek

kompozisyonu oluşturan elementlere karşılık gelen zirveleri gösteren spektrumlardan oluşur.



BÖLÜM 7

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

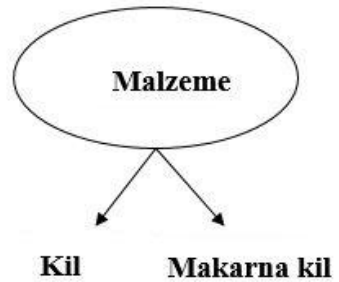
7.1. GENEL SONUÇLAR

Günümüzde yeni bir yöntem olan üç boyutlu yazıcılar ile plastik, metal gibi çeşitli malzemelerle üretim yapılabildiği gibi seramik üretmek üretim yapmak mümkündür. Dijital bir üretim yöntemi olarak bu teknoloji seramik sanatında söz konusu olduğunda, bir şekillendirme yöntemi olarak değerlendirilebilmektedir.

Gelecekte malzeme probleminin çözümü ve daha kaliteli yüzeylerin elde edilmesiyle, 3 boyutlu üretim teknolojisi daha yaygın ve sorunsuz bir üretim yöntemi haline gelecektir.

Üç boyutlu yazıcıların seramik üretiminde kullanılmasının, üretim yöntemleri açısından olasılıkları ve bakış açılarını genişleten bir etkisi olduğu bir gerçektir. Her ne kadar üretim hızı ve malzeme açısından sınırlılıkları olsa da, geleceğin üretim yöntemi olarak günümüz üretimine de ışık tutmaktadır.

Numune basımı, kil ve makarna kil olmak üzere iki farklı malzemeyle gerçekleşmiştir. (Şekil 7.1) görüldüğü gibi numune malzelerinin sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Malzeme sınıflandırılması.

7.2. BASMA TESTİ

Basma testi, çekme makinelerinde basma plakaları arasına yerleştirilen numuneye basma kuvveti uygulanarak gerçekleştirilir. Basma deneyi işlem itibariyle çekme deneyinin tamamen tersidir.

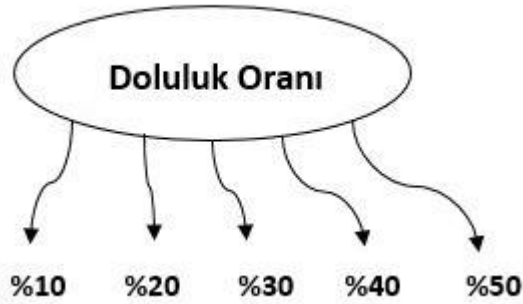
Basma deneyi de çekme deneyi makinelerinde yapılır. Basma gerilmesine maruz kalan malzemelerin temel mekanik özelliklerle genellikle basma deneyi ile belirlenir. Bu tür malzemeler, genellikle gevrek yapılı malzemelerdir. Örnek olarak, gri dökme demir, yatak alaşımları gibi metalik malzemeler ve tuğla ve beton gibi metal dışı malzemelerin basma mukavemetleri çekme mukavemetlerine göre çok daha yüksek olduğu için basma kuvvetinin uygulandığı yerlerde kullanılırlar.

Homojen bir malzemenin gerçek gerilme-birim şekil değişimi için çekme ve basma durumları aynıdır. Basma deneyi sırasında numunenin kesit alanı sürekli olarak büyüdüğü için boyun oluşumu yoktur. Basma deneyi bilhassa gevrek ve yarı gevrek malzemelerin sünekliğinin hassas bir şekilde belirlenmesinde kullanılır.

Basma testi işlemi Karabük Üniversitesi, Malzeme Araştırma ve Geliştirme Merkezi (MARGEM) laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Basma testi TS 206 standartına göre ve 3 mm/dk olarak uygulanmıştır. Basma testi cihazı 100 kN max kapasite, 5,8 - 16,5 mm çapında yuvarlak numune bağlama kapasitesine ve 100kN statik ve dinamik yüklemeye uygun plakalar mevcuttur. Basma cihazı Şekil 7.2'de görülmektedir.



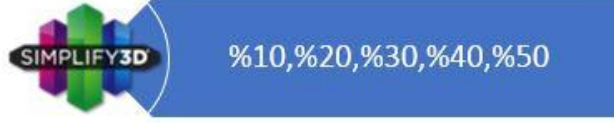
Şekil 7.2. Basma testi cihazı.



Şekil 7.3. Malzeme doluluk oranları.

Basma numunesi parça üretim işlemleri (Şekil 7.3) görüldüğü gibi %10,%20,%30,%40,%50 doluluk oranlarında parçaların baskısı alınmış ve basma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Yazdırma işlemi Simplify3D programında en uygun parametrelere göre yazdırma işlemi gerçekleştirilirdi, akabinde numune basma işlemi için Şekil 7.4 deki gibi simplify3D programdan numune yazdırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki şekil 7.4'de daha ayrıntılı şekilde, doluluk oranları ve program olarak görülmektedir.



Şekil 7.4. Simplify3D programı ve basma testi doluluk oranlarının gösterimi.

7.3. BASMA DENEYİ MUKAVEMET ÖLÇÜMÜ

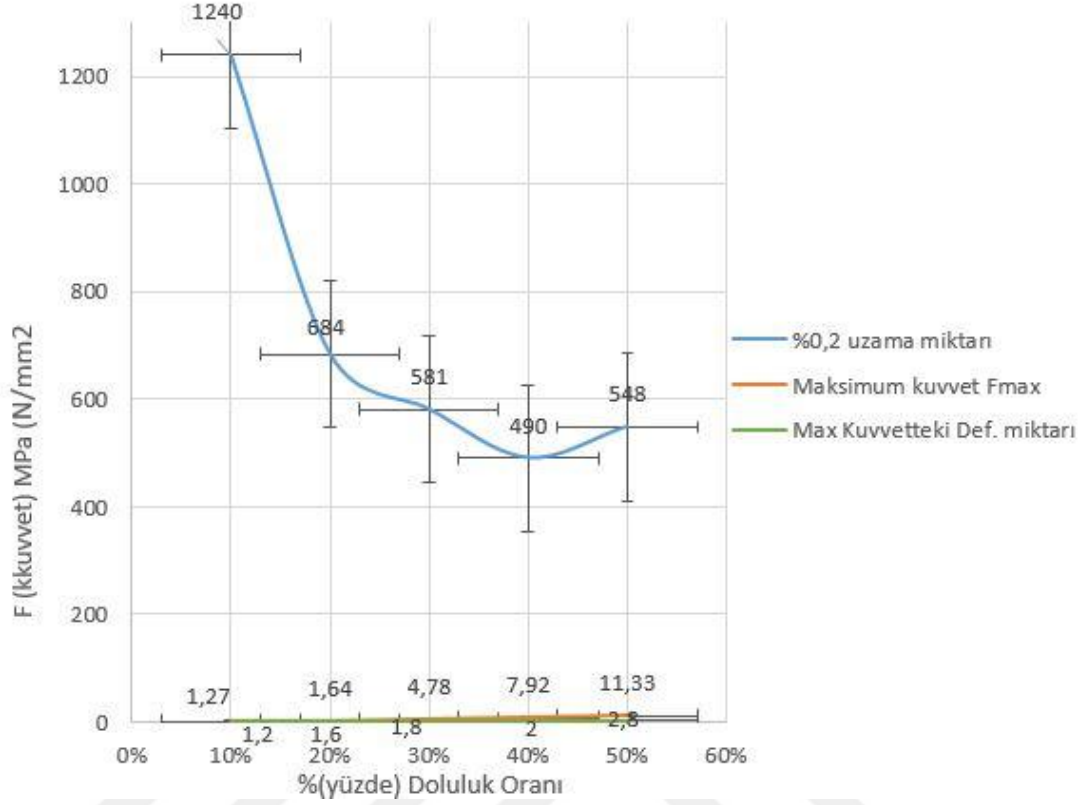
Bu çalışmada hazırlanan tüm numunelerin basma testi mukavemetleri 3 mm/dk kafa hızı ile universal test cihazında ölçülmüştür. Basma testi mukavemet ölçümü için Simplify3D programından yazdırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen parçalar %10, %20, %30, %40, %50 doluluk oranlarına sahiptir. Her doluluk oranı ve her sinterleme sıcaklığı (900°,950°C, 1000°C) için 3'er adet 30x30x30 mm parça ile toplamda 45 adet basma numunesi yazdırılmıştır.

Basma deneyi'nin doluluk oranları ve sinterlenme sıcaklıklarına göre ayrı ayrı sonuçları aşağıdaki Çizelge 7.1 Çizelge 7.2 ve Çizelge 7.3'de karşılaştırılması mevcuttur.

Çizelge 7.1. Simplify3D programında basımı gerçekleştirilen parçaların 900°c sinterlenmesi sonucu, basma testi ortalama veri sonuçları tablosu.

900°C de Sinterlenen basma testi ortalama veri sonuçları			
Simplify3D	%0,2 UZAMA MİKTARI (F _{x2}) (MPa)	MAKSİMUM KUVVET (F _{max}) (MPa)	Max. Kuvvetteki def. Miktarı (dL at F _{max}) (mm)
10%	1240	1,27	1,2
20%	684	1,64	1,6
30%	581	4,78	1,8
40%	490	7,92	2
50%	548	11,33	2,8

900°C de sinterlenme sonucuna ait ortalama veriler

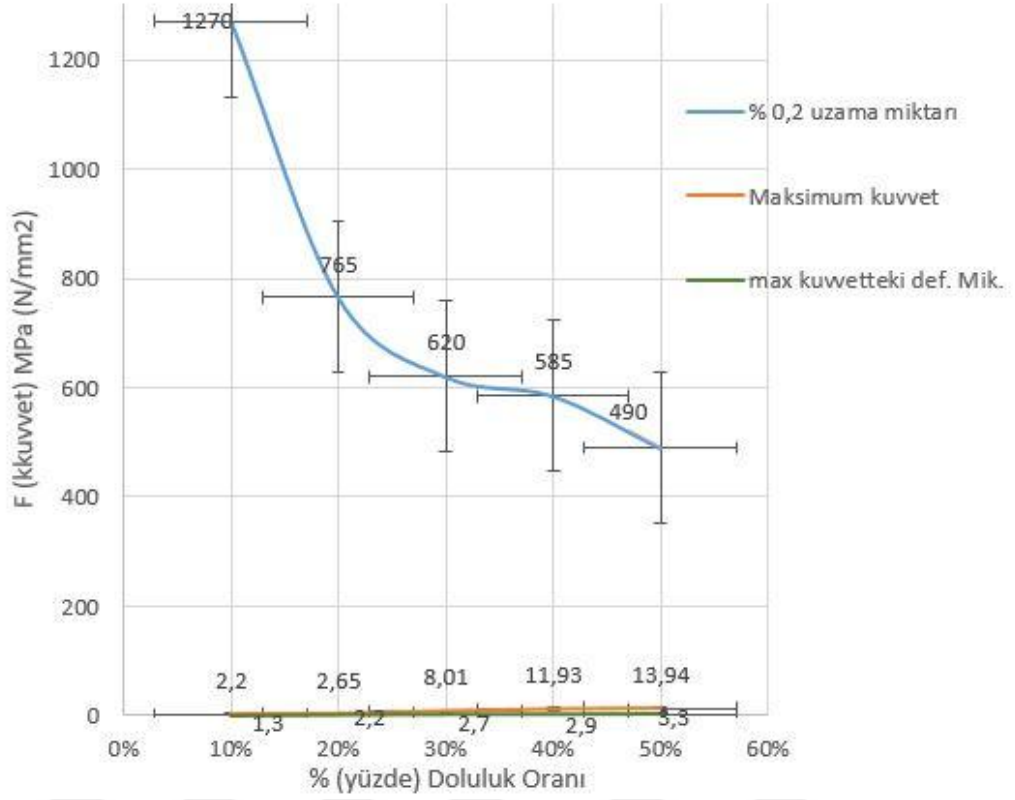


Şekil 7.5. Simplify3D programında basımı gerçekleştirilen parçaların 900°C sinterlenmesi sonucu, basma testi ortalama veri sonuçları grafiği.

Çizelge 7.2. Simplify3D programında basımı gerçekleştirilen parçaların 950°C sinterlenmesi sonucu, basma testi ortalama veri sonuçları.

950°C de sinterlenen basma testi ortalama veri sonuçları			
Simplify3D	%0,2 UZAMA MİKTARI (MPa)	MAKSİMUM KUVVET (Fmax) (MPa)	Max. Kuvvetteki def. Miktarı (dL at Fmax) (mm)
10%	1270	2,2	1,3
20%	765	2,65	2,2
30%	620	8,01	2,7
40%	585	11,93	2,9
50%	490	13,94	3,3

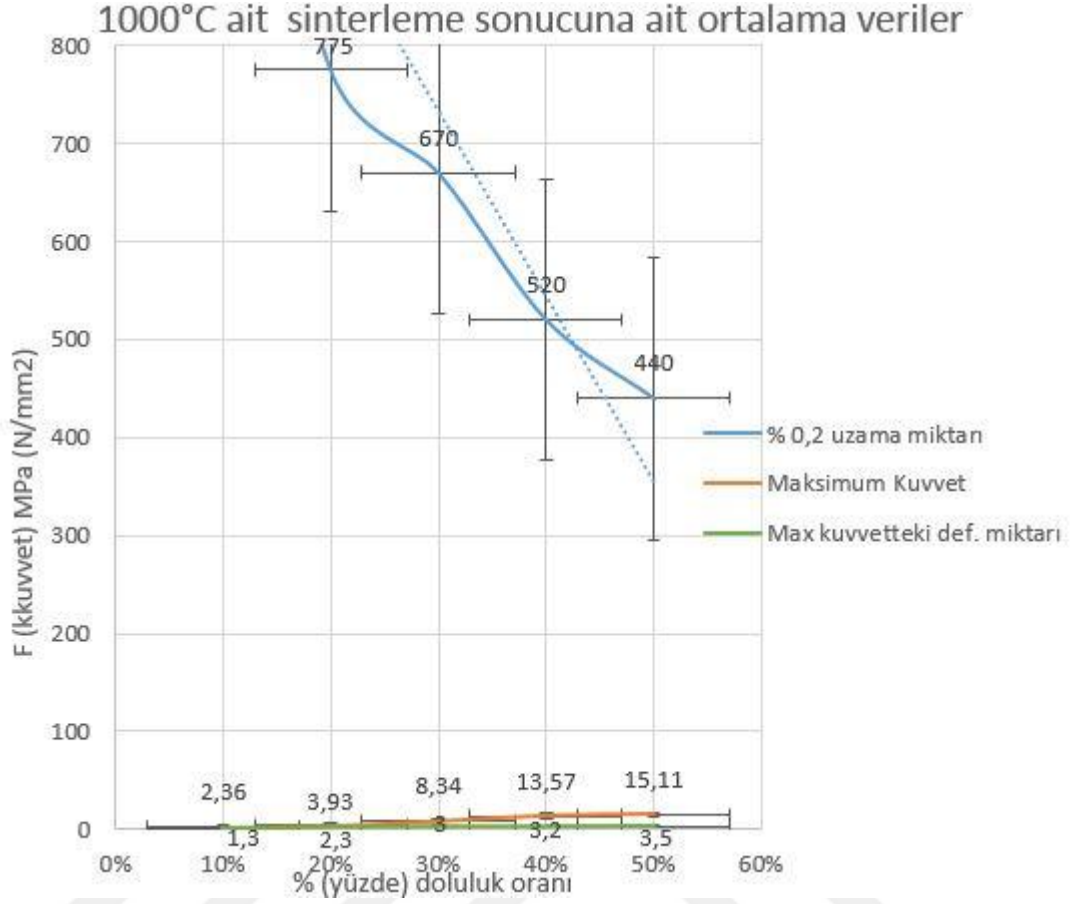
950°C de sinterlenme sonucuna ait ortalama veriler



Şekil 7.6. Simplify3D programında basımı gerçekleştirilen parçaların 950°C sinterlenmesi sonucu, basma testi ortalama veri sonuçları grafiği.

Çizelge 7.3. Simplify3D programında basımı gerçekleştirilen parçaların 1000°C sinterlenmesi sonucu, basma testi ortalama veri sonuçları.

1000°C de sinterlenen basma testi ortalama veri sonuçları			
Simplify3D	%0,2 UZAMA MİKTARI (F _{x2}) (MPa)	MAKSİMUM KUVVET (F _{max}) (MPa)	Max. Kuvvetteki def. Miktarı (dL at F _{max}) (mm)
10%	1260	2,36	1,3
20%	775	3,93	2,3
30%	670	8,34	3
40%	520	13,57	3,2
50%	440	15,11	3,5

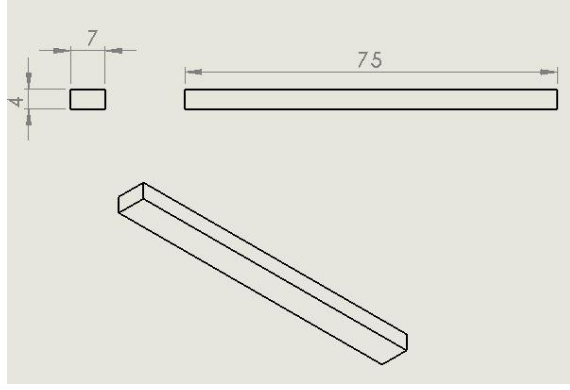


Şekil 7.7. Simplify3D programında basımı gerçekleştirilen parçaların 1000°C sinterlenmesi sonucu, basma testi ortalama veri sonuçları grafiği.

Bu sonuçlar çerçevesinde doluluk oranı ve sinterlenme sıcaklıkları arttıkça yazdırılan parçaların doluluk oranı arttıkça daha mukavemetli sonuçlar elde edildiği gözlemlenmektedir.

7.4. SU EMME TESTİ

Su emme deneyi için 3B seramik yazıcımızdan 4x7x75 mm boyutlarında 15 adet numune basımı gerçekleştirilmiştir. Bu çubuk numunelerin üretim aşamasından sonra kurutulmuş hali şekil 7.4. de görülmektedir. Şekil 7.10' da su emme testi teknik ölçüleri görülmektedir. Şekil 7.11' de ise üretimi gerçekleştirilen parçanın üretim aşamaları görülmektedir.



Şekil 7.8. Su emme test numunesi teknik ölçüleri.



Şekil 7.9. Su emme parçası üretim aşamaları.

Şekil 7.11 de görülen, su emme üretim aşamaları resimlerinde; a şeklinde numunelerin tablaya yazdırma anı görülmekte, b şeklinde numunelerin yazdırmadan sonraki hali görülmekte, c şeklinde ise parçaların yazdırma işleminden sonra oda sıcaklığında 1-2 gün süreyle kurumuş hali görülmektedir.



Şekil 7.10. Su emme testi numuneleri hazır hali.

7.4.1. Su Emme Deneyi

Numuneler, ısıtma cihazının içinde kaynatmanın yapıldığı uygun etkilenmez bir malzemenin alt ve üst seviyesinden 5 cm yüksekliğinde Deiyonize veya Damıtık su, olacak ve birbirine değmeyecek şekilde yerleştirilir. Numunelerin üst seviyesinden itibaren 5 cm yüksekliğinde su olması deney süresince sağlanmalıdır. Su kaynayınca kadar ısıtılır ve 2 saat süre ile kaynatmaya devam edilir. Daha sonra ısı kaynağı uzaklaştırılır ve numuneler suya daldırılmış vaziyette oda sıcaklığına kadar soğuması için 4 saat \pm 15 dakika kadar bekletilir. Numuneleri oda sıcaklığında soğutmak için oda sıcaklığındaki su veya soğutucu çubuklar kullanılabilir. Güderi ıslatılıp elle sıkılarak hazırlanır. Güderi düz yüzeye yerleştirilir ve numunenin her tarafı da hafifçe kurulanır. Rölyefli kısımlar varsa güderi ile hafifçe dokunarak tamponlanır. Bu işlemden hemen sonra beklemeden her numune tartılır ve sonuçları kuru haldeki numuneler için kullanılan doğrulukla kaydedilir.

Yazdırılan çubuk numuneler 900°C, 950°C ve 1000°C lerce sinterlenme ve su emme testleri Değirmendere Ali Özbay MYO Seramik Teknoloji Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Yapılan hesaplamada 1 cm³ suyun ağırlığının 1 gram olduğu varsayılmıştır. Bu değer, oda sıcaklığındaki su için yaklaşık % 0,3 hata payı ile doğrudur.

$$E_{(b,v)} = \frac{m_{2(b,v)} - m_1}{m_1} \times 100 \quad (\%)$$

Burada;

M₁: Kuru kütle

M₂: Islak kütle'dir.

Yukarıda verilen formüller dâhilinde, gerekli hesaplamalar sonucunda aşağıdaki Çizelge 7.4 daki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 7.4. Su emme numunelerin farklı sıcaklıklar-doluluk oranı ile yüzde(%) olarak karşılaştırılması.

Doluluk Oranı (%)	Su Emme (%)		
	Sıcaklık (°C)		
	900°C/20dk	950°C/20dk	1000°C/20dk
10%	38,4	31,44	23,45
20%	26,23	23,09	20,5
30%	22,67	21,43	19,42
40%	21,38	21,05	18,85
50%	21,02	20,32	16,35

Su emme sonuçları olarak,

- Sinterlenme oranı arttıkça % su emme oranında azalma gözlemlenmiştir.
- Yüzde yoğunluk oranı artışına bağlı olarak sinterlenme sıcaklıklarında yüzde(%) 1 oranında azalma olduğu gözlemlenmektedir.

7.5. BOYUTSAL PİŞME ÇEKİLMESİ

3B seramik yazıcıdan makarna kilerden parçalar %10,%20, %30, %40, %50 doluluk oranlarına göre Simplify3D programında 20x20x20 mm boyutlarında parçaların yazdırma işlemleri gerçekleştirildi. Yazdırma işleminin hemen akabinde parçalar yaş iken parçaların kumpas ile boyut ölçümleri gerçekleştirildi ve oda sıcaklıklarında kurumaya bırakıldı, oda sıcaklığının akabinde 900°C, 950°C, 1000°C de sinterlenmiştir Sinterlenme sonuçları yüzde olarak aşağıdaki (Çizelge 7.5) de görülmektedir.

Çizelge 7.5. Boyutsal pişme çekilmesi için, numunelerin farklı sıcaklıklar-doluluk oranı ile yüzde (%) olarak karşılaştırılması.

Doluluk Oranı (%)	Boyutsal Pişme Çekilmesi Miktarı (%)					
	Sinterlenme Sıcaklıkları (°C)					
	900°C/20dk		950°C/20dk		1000°C/20dk	
	Enine Çekilme(%)	Boyuna Çekilme(%)	Enine Çekilme(%)	Boyuna Çekilme(%)	Enine Çekilme(%)	Boyuna Çekilme(%)
10%	6	9	9	13	12	17
20%	9	14	12	19	16	21
30%	12	16	15	22	19	25
40%	15	20	18	24	21	27
50%	16	23	21	27	25	33

Boyutsal pişme miktarı yukarıda (Çizelge 7.5) görüldüğü gibi numunelerin yüzde (%)doluluk oranı ve sinterlenme sıcaklığı (900°C, 950°C, 1000°C) arttıkça yüzde (%) çekilme miktarı artmakta olduğunu gözlemlemekteyiz.

7.6. YOĞUNLUK SONUÇLARI

Yoğunluk deneyi için 3B seramik yazıcısından basılan 30 adet küp parça baskısı alındı, bu parçalar %10,%20,%30,%40 ve %50 yoğunluklarında, yoğunluk sayısına ait 30 adet parça baskısı alınmıştır. 15 tanesi; 900°C, 950°C, 1000°C de sinterledi, diğer 15 tanesi ise ham yoğunluk olarak ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 7.6' da yoğunluk ölçümü sonuçları görülmektedir.

Çizelge 7.6. Boyutsal pişme çekilmesi için, numunelerin farklı sıcaklıklar-doluluk oranı ile yüzde(%) olarak karşılaştırılması.

Doluluk Oranı (%)	Yoğunluk g/cm ³					
	Sıcaklık (°C)					
	900°C/20dk		950°C/20dk		1000°C/20dk	
	Ham yoğunluk (g/cm ³)	Sinternenmiş yoğunluk (g/cm ³)	Ham yoğunluk (g/cm ³)	Sinternenmiş yoğunluk (g/cm ³)	Ham yoğunluk (g/cm ³)	Sinternenmiş yoğunluk (g/cm ³)
10%	0,85	1,3	0,97	1,61	1,08	1,87
20%	0,95	1,45	1,09	1,83	1,22	2,04
30%	1,08	1,58	1,18	2,01	1,47	2,23
40%	1,12	1,75	1,2	2,12	1,51	2,51
50%	1,27	1,83	1,33	2,38	1,79	2,72

Yoğunluk sonuçları çerçevesinde;

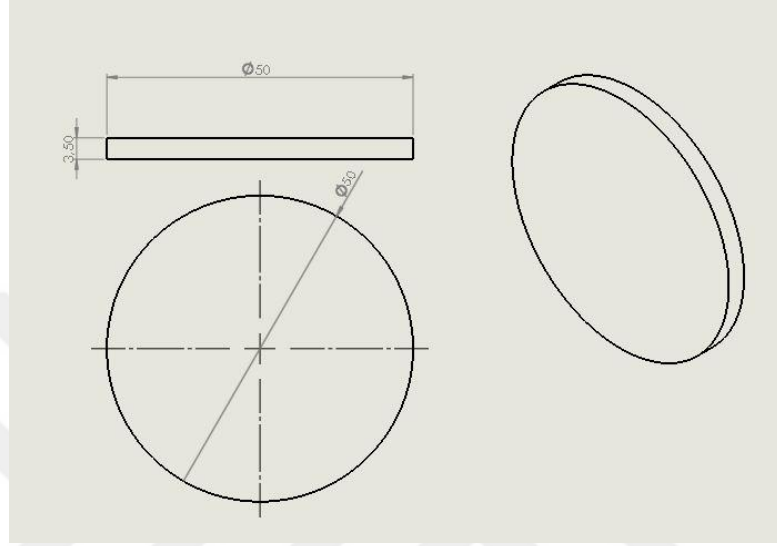
1. Parçalar 900°C, 950°C ve 1000°C de sinterlenmiştir.
2. Sinterlenme sıcaklığı arttıkça, hem ham yoğunluk hemde sinterlenmiş yoğunluk artmaktadır.
3. Sinterlenme sıcaklığı arttıkça, hem ham yoğunluk hemde sinterlenmiş yoğunluk artmaktadır.

7.7. SEM ANALİZİ YAPILIŞI

İncelenecek olan numune iletken numune taşıyıcısına konulur ve gerekli ise iletkenliği sağlamak için yüzeyi altın veya karbon ile kaplanır. Numune daha sonra SEM ünitesine yerleştirilir ve sistem vakuma alınır. Vakum belli bir değere ulaştığında, daha önce numune özelliklerine göre kararlaştırılmış olan voltaj değerine göre ayarlama yapılır ve cihaz yüksek gerilime çıkarılır. Oluşan elektron demeti ile numune etkileşimi sonucunda oluşan görüntü ekranda takip edilir ve numune tutucu X, Y, ve Z eksenlerinde hareket ettirilerek incelenmek istenen bölge bulunarak arzu edilen büyütme netleştirme ve odaklama ayarları yapılır.

7.7.1. SEM Görüntüleri

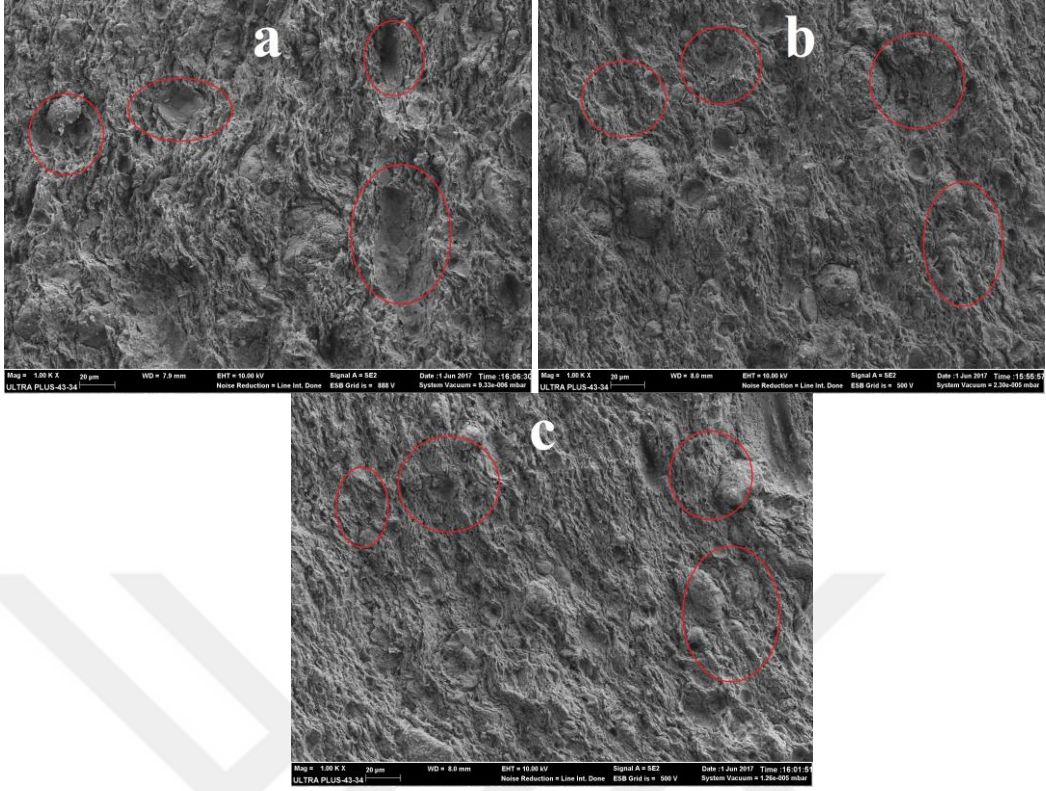
3B seramik yazıcıda Sem için makarna kil malzemesinden dairesel parça baskısı alındı ($\text{Ø}50 \times 3,5$ mm) teknik resim boyutları aşağıdaki görülmektedir.



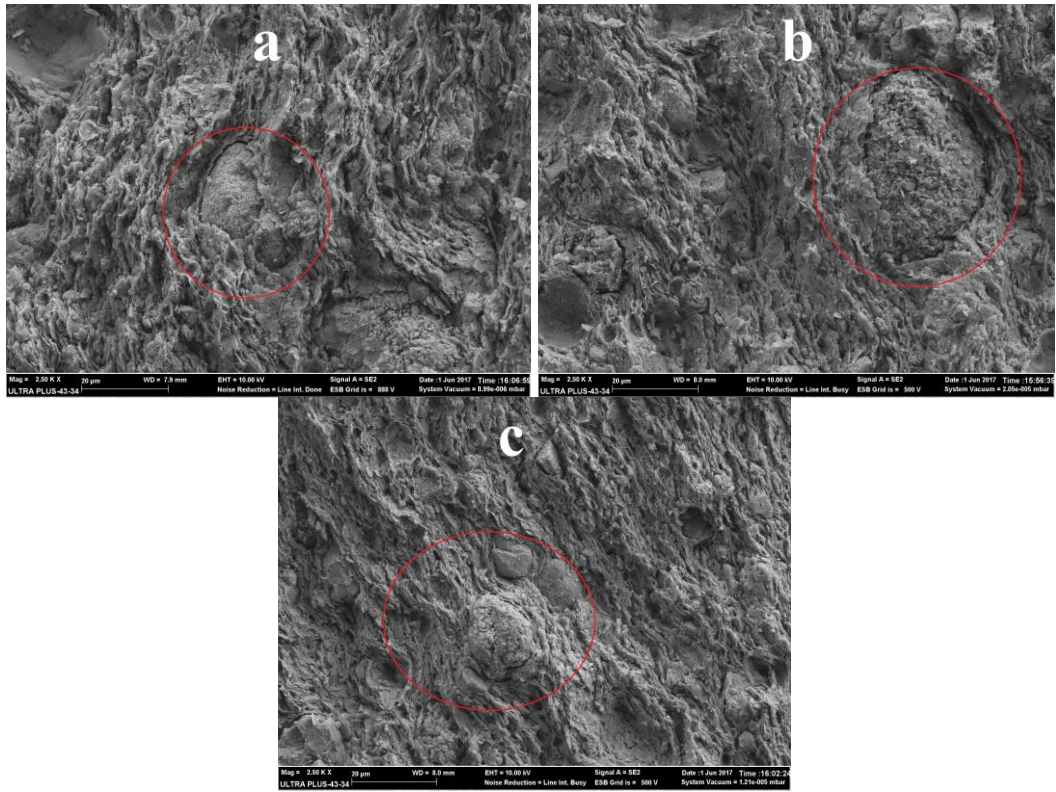
Şekil 7.11. Sem görüntüsü için numune ölçüleri.

SEM testleri için %50 doluluk oranına sahip parçalarda; 900°C, 950°C, 1000°C de sinterlenme işlemi gerçekleştirildikten sonra numuneler altın (Au) ile kaplama işlemi sonrası Sem de görüntü alma işlemi gerçekleştirilmiştir.

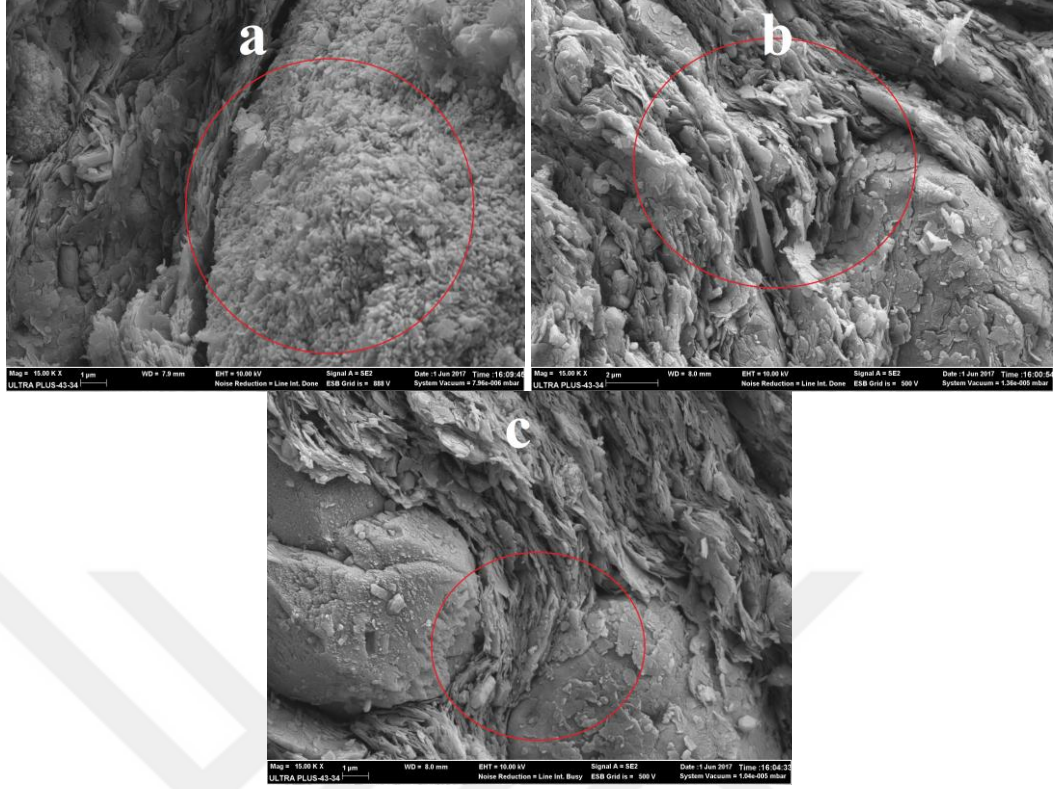
Sem görüntü işlemleri her bir sıcaklık için 1000x, 2500x, 15000x büyütme sonucu görüntüleri alınmıştır. Sem görüntülerinden malzemenin tanecikli bir yapıda olduğu gözlenmiştir., şekil 7.13 de 900°C, 950°C ve 1000°C deki 1000x büyütme görüntüleri yakınlaştırma görüntüleri verilmiştir.



Şekil 7.12. a) 900°C, b) 950°C ve c) 1000°C deki 1000x büyütme görüntüleri.



Şekil 7.13. a) 900°C, b) 950°C ve c) 1000°C deki 2500x büyütme görüntüleri.



Şekil 7.14. a) 900°C, b) 950°C ve c) 1000°C deki 15000x büyütme görüntüleri.

Alınan SEM görüntüsü %50 doluluk oranına sahip, 900°C, 950°C ve 1000°C deki şekil 7.13-14-15 deki 1000x, 2500x ve 15000x büyütme görüntüleri alınmıştır. Görüntü sonuçlarında a,b ve c şekillerinde işaretlenmiş bölgeler incelendiğinde, sinterlenme sıcaklıkları arttıkça porozite miktarının azaldığı net olarak gözlemlenmektedir. Şekil 7.15 de görüldüğü gibi 1000°C de sinterlenen numuneler 3D yazıcılarda %50 doluluk oranına sahip 1000°C sinterlenen makarna kilin bu alandaki kullanımları için uygun bir malzeme olduğunu göstermektedir.

SEM analizleri %50 doluluk oranına sahip ve farklı sinterleme sıcaklıklarına (900°C, 950°C, 1000°C) numuneler için yapılmıştır.

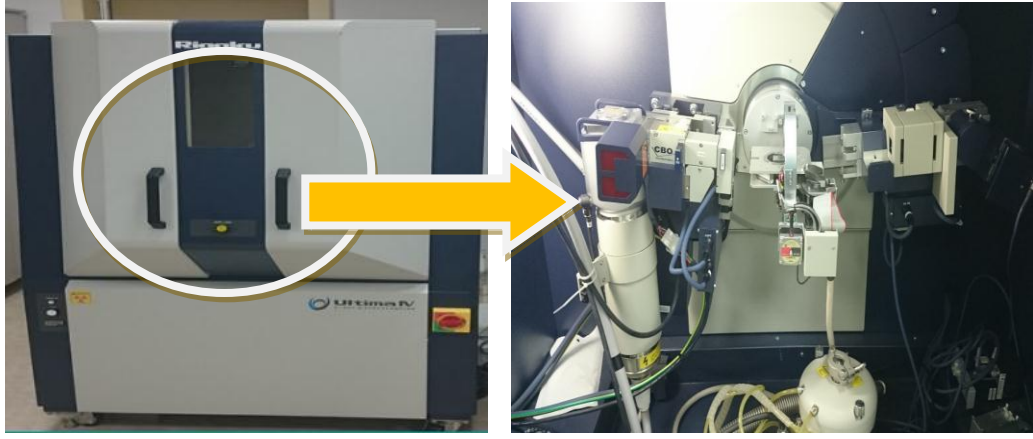
Her bir numune için 1000x, 2500x, 15000x büyütmelerde görüntü alınmıştır. SEM görüntüleri Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü, Malzeme Araştırma ve Geliştirme Merkezi (MARGEM) laboratuvarlarında CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM adlı cihazda gerçekleştirilmiştir.

Lu ve arkadaşları (2008) Bi-2223/Ag bantlarının üretimi için üç aşamalı sinterleme işlemi yapmışlardır. Birinci aşamada tüm örnekler 8350C’de 24 saat sinterlenmiş, ara işlemde sonra ikinci aşamada 840, 845, 850, 855, 865 ve 8650C’de 1 saat sinterlenmiş son olarak üçüncü aşamada 8350C’de 120 saat sinterlenmiştir. SEM mikrofotografında sıcaklık arttıkça örneklerdeki çatlaklar azaldığı, 8500C ve üzerinde çatlak gözlenmiştir. S. Y., Yahya ve arkadaşları (2005) γ -Fe₂O₃ katkılanmış BPSSCO süperiletken bileşimini farklı sıcaklıklarda sinterlediklerinde, SEM fotoğraflarında sinterleme sıcaklığının değişimine rağmen c eksenine tam bir yönelme gözlenmemiştir. Vinu ve ekibi (2008) BPSSCO süperiletkenine Gd katkılı olarak, 8460-8600 arasında 8 farklı sıcaklıkta, 120 saat sinterlediklerinde; katkılanmış örneklerin SEM fotoğraflarında sinterleme sıcaklığı arttırıldığında ince tabakalı yapının arttığı, boşlukların azaldığı, 8580°C en iyi mikroyapının gözlemlendiği belirtilmiştir. Bu sıcaklıktan sonra 8600°C’de tabaka yapısının bozulmaya başladığı görülmüştür [55].

Guo ve arkadaşlarının (2000) çalışmasında sinterleme sıcaklığı arttıkça örneğin tanecik boyutunun büyüdüğü SEM fotoğraflarında gözlenmiştir. Kameli ve arkadaşları (2005) süperiletken bileşimi farklı sıcaklıklarda sinterlendiğinde sıcaklık arttıkça tanecik boyutunun büyüdüğü ancak belirli bir sıcaklıktan sonra sıcaklık arttırıldığında malzemenin eridiği gözlenmiştir [56].

7.8. XRD DENEYİNİN YAPILIŞI

X-Işını Difraksiyon (XRD) spektrokopisi isminden de anlaşılacağı üzere X-ışını denilen ultraviyole ışıktan daha kuvvetli olarak bilinen fakat gamma ışınından daha zayıf enerjili ışın kullanılarak yapılan analizi temel alır. XRD denilen aletler ile yapılan bu karakterizasyonda numune türüne göre hangi minerallerden oluştuğunu belirler. Çalışma prensibi olarak öğütülmüş numuneye X-ışını göndererek kırılma ve dağılma verileri toplaması söylenebilir. Kristal yapısına göre ışını farklı açılarda ve şiddette kıran örnekler çok hassas biçimde ve çok kısa sürede izlenebilmektedir.

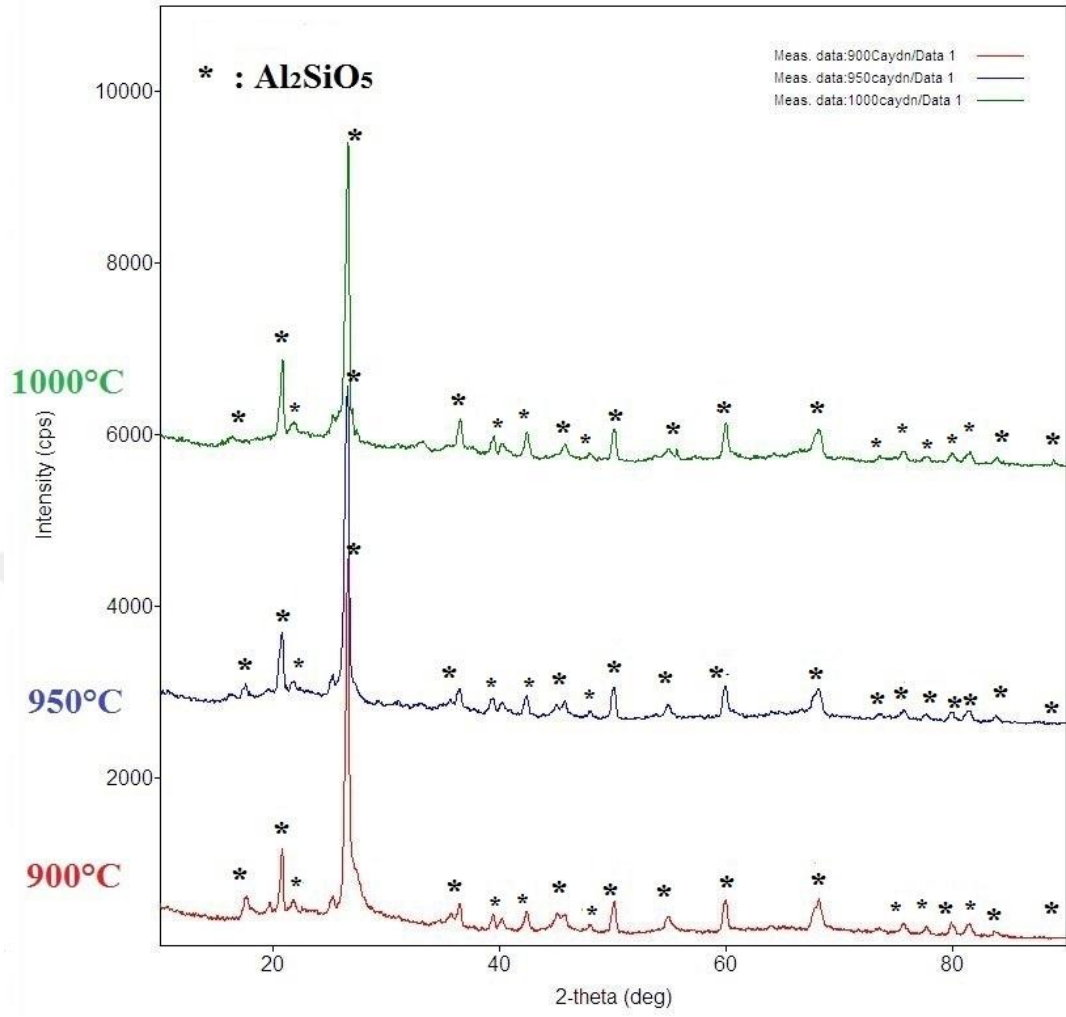


Şekil 7.15. XRD deneyi cihazı.

Deney CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM adlı cihazda Karabük Üniversitesi demir çelik enstitüsü Malzeme araştırma ve geliştirme merkezinde (MARGEM) bulunan laboratuvarlarda gerçekleştirilmiştir.

7.8.1. XRD Görüntü Sonuçları

Gerçekleştirilen çalışmada 3b seramik yazıcı ile yazdırılan, makarna kil malzemedен xrd görüntülerini alınmıştır. Yazdırılan numuneler %50 dululuk oranlarında yazdırıldıktan sonra, 900°C, 950°C ve 1000°C de sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Xrd görüntüleri sonucunda yoğunlukla Alüminyum silikat (Al_2SiO_5) pikinin şiddetinin yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 7.16. XRD görüntü sonuçları.

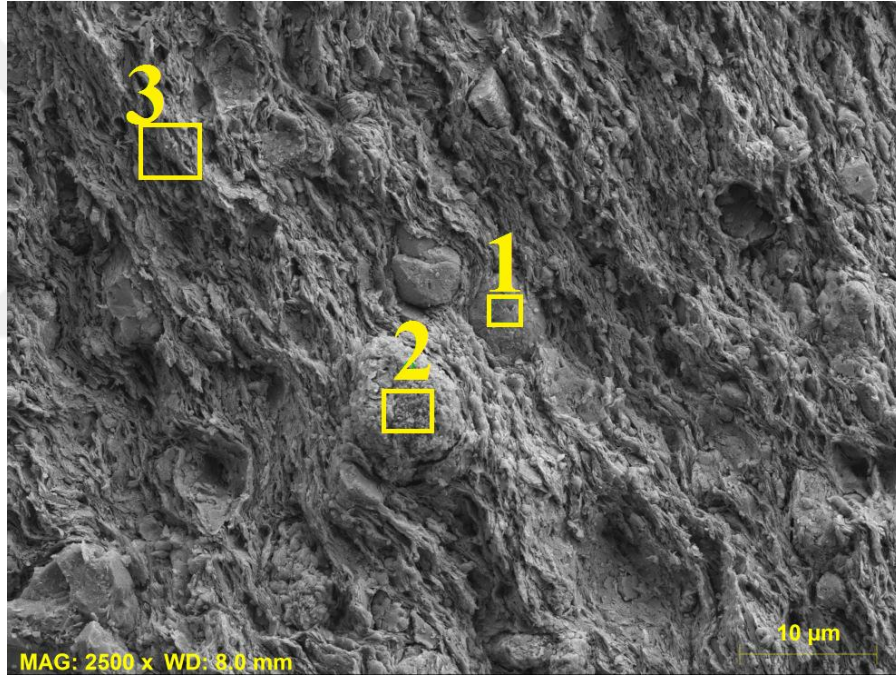
Xrd numuneleri 900°C, 950°C, 1000°C sıcaklıklarda ve %50 doluluk oranına sahip numunelerin Xrd görüntüleri alınmıştır.

Sıcaklık arttıkça alüminyum silikat (Al_2SiO_5) piklerinin şiddeti artmış ve 1000°C’de sinterlenen numunelerde en yüksek pikler alüminyum silikat (Al_2SiO_5) pikleri olduğu gözlemlenmiştir.

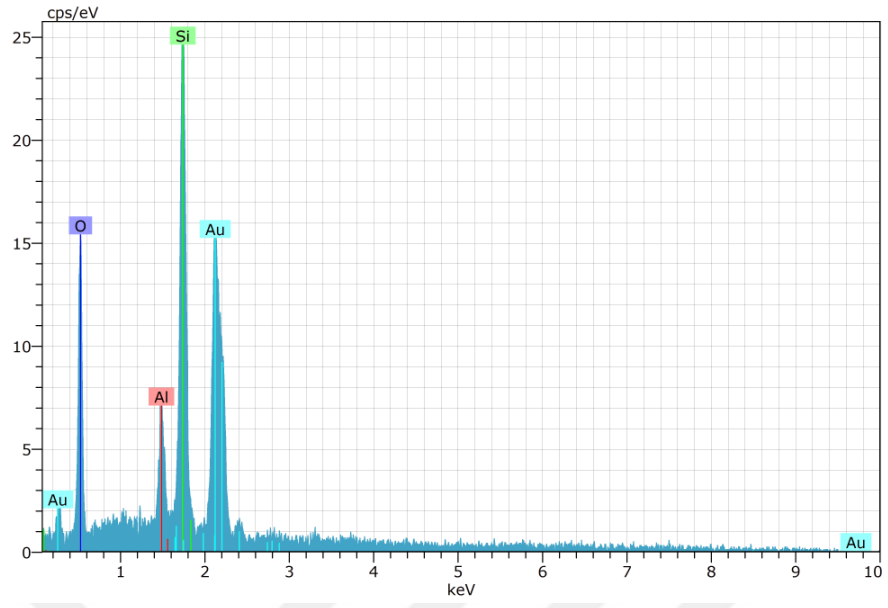
7.9. EDX ANALİZİ

Edx numunenin içerisinde bulunan elementlerin yüzdelerini ve piklerini barındıran analizdir. Edx ile numune yüzeyine çarptırılan yüksek enerjili elektronlar, numuneden elektron koparırlar.

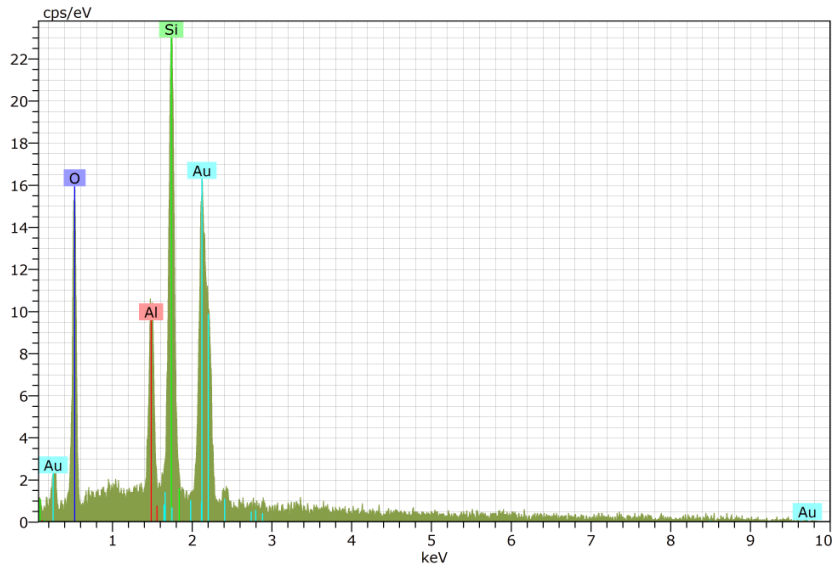
Gerçekleştirilen edx analizi sonucunda %50 doluluk oranına sahip numunenin 1000°C sinterlenmesi sonucunda üç farklı noktadan elementlerin yoğunluğunu gösteren 1-2-3 nolu bölgelerde yoğunluklu olarak alüminyum silikat (Al_2SiO_5) olduğu ve Xrd sonuçlarında da aynı doğrultuda sonuçlar çıktığı gözlemlenmiştir.



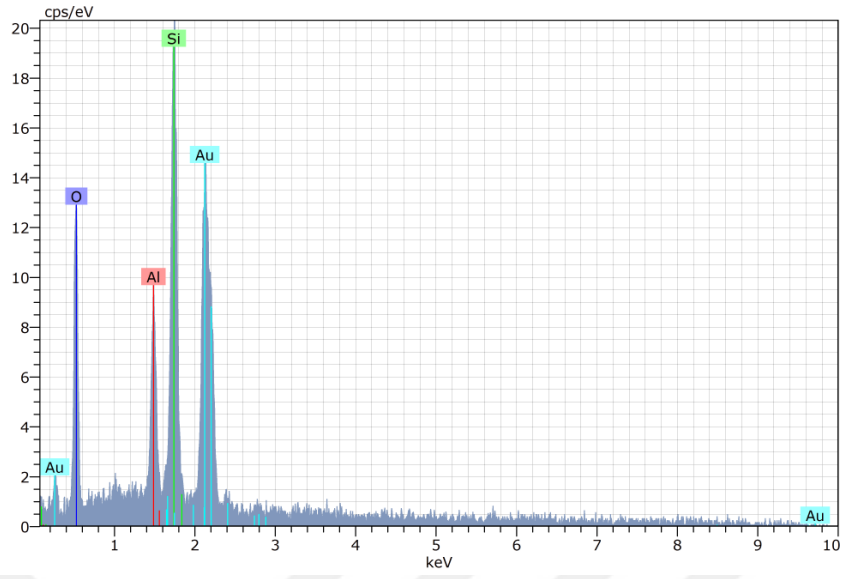
Şekil 7.17. EDX 1000°C sinterlenen numuneden edx analizi yapılan bölgelerin sem görüntüsü görüntüsü.



Şekil 7.18. EDX analiz sonucu (1 nolu bölge).



Şekil 7.19. EDX 2 nolu bölge.



Şekil 7.20. EDX 3 nolu bölge.

Edx analiz sonuç grafikleri değerlendirildiğinde 1000°C sıcaklıkta sinterlenen numunelerden alınan edx sonuçları Şekil 7.18-7.20 arasında grafiklerde görülmektedir. Edx sonuçları SEM ve XRD ile de görüntüleri ile bağdaştığı tespit edilmiştir.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. SONUÇLAR

Tez çalışması neticesinde, 3B seramik yazıcı tasarımı ve prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen yazıcı imalatında seramik malzeme yazdırılma işlemi sağlanmış ve gerçekleştirilecek testler için; basma testi, yoğunluk, su emme testleri, Xrd ve Sem görüntüleme için uygun boyutlarda ve yazdırma parametrelerinde numuneler yazdırılmıştır.

Seramik 3B yazıcıdan basma testi numunesi yazdırılmış ve testleri Malzeme Araştırma ve Geliştirme Merkezinde (MARGEM) laboratuvarlarında işlem sonuçlarına bakılmıştır.

Basma testi için simplify3D programı ile numuneler yazdırılmış ve doluluk oranlarının (malzemenin içerisinde bulunması gereken hammadde) bu programlar aracılığıyla %10, %20, %30, %40, %50 doluluk oranları numune yazdırma işlemleri gerçekleştirildi ve 900°C, 950°C ve 1000°C de sinterlenmiştir. %50 doluluk oranına sahip numunenin daha mukavemetli olduğu ve doluluk oranının azaldıkça mukavemetinin azaldığı 3B yazıcının çalışma doğruluğunun uygun olduğu gözlemlenmektedir.

Su emme için 4x7x75 mm uzunluklarında çubuk numunelerin yazdırılmış ve bu numuneler üç farklı sıcaklık ile (900°C, 950°C, 1000°C) pişirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Gerekli hesaplamalar sonucunda sıcaklıklara göre %(yüzde) su emme kıyaslaması yapılmıştır. Bu sonuçlara göre; hem yazdırılan parçanın doluluk oranı arttıkça hemde sinterlenme sıcaklığı arttıkça, yüzde (%) su emme oranı azaldığı

gözlemlenmektedir. Seramik 3B yazıcıdan su emme testi numunesi yazdırılmış ve testleri Kocaeli Üniversitesi (KOU) laboratuvarlarında işlem sonuçlarına bakılmıştır.

3D seramik yazıcılarda, makarna kilden basılan Sem görüntüsü sonuçlarına göre; %50 doluluk oranına sahip, 900°C, 950°C ve 1000°C deki 1000x, 2500x ve 15000x büyütme görüntüleri alınmıştır. Görüntü sonuçlarında şekillerinde işaretlenmiş bölgeler incelendiğinde, sinterlenme sıcaklıkları arttıkça porozite miktarının azaldığı net olarak gözlemlenmektedir.

Seramik 3D yazıcıda %10, %20, %30, %40, %50 doluluk oranına sahip numunelerin ham yoğunluğu ve 900°C, 950°C ve 1000°C sinterlenmiş yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda doluluk oranı ve sinterlenme sıcaklığı arttıkça yoğunluğun arttığı gözlemlenmektedir. Sinterlenmiş yoğunluk ile ham yoğunluk kıyaslandığında sinterlenmiş yoğunlukta daha sağlıklı değerler çıktığı görülmektedir.

Seramik 3D yazıcıda %10, %20, %30, %40, %50 doluluk oranına sahip numunelerin pişme çekimleri yüzde (%) olarak hesaplanmıştır. Yapılan testler, 900°C, 950°C ve 1000°C sinterlenmiş, numunelerin enine-boyuna çekimleri mukayese edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda doluluk oranı ve sinterlenme sıcaklığı arttıkça enine ve boyuna çekimlerin arttığı ancak boyuna çekimlerin daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.

Sıcaklık arttıkça alüminyum silikat (Al_2SiO_5) pikleri artmış ve 1000°C'de sinterlenen numunelerde en yüksek pikler alüminyum silikat (Al_2SiO_5) pikleri olduğu ve edx analizleri sonuçları ile bağdaştığı gözlemlenmiştir.

Edx sonuç grafikleri değerlendirildiğinde Alüminyum silikat (Al_2SiO_5) 1000°C sıcaklıktaki edx sonucunun grafiklerde görülmektedir. Edx sonuçları SEM görüntüleri ile bağdaştığı tespit edilmiştir.

8.2. ÖNERİLER

Gerçekleştirilen yüksek lisans çalışmasında, 3B seramik yazıcısına ait bundan sonraki yapılacak olan çalışmalarda önerilenler şu şekilde sıralanabilir.

1. Seramik 3B yazıcının, yazıcı programlarına göre yazdırma parametreleri kıyaslanmalı ve katman yüksekliği, katman genişliği gibi parametrelere en uygun sonuçlar ile baskı alınmalıdır.
2. Yazıcı başlık olarak kullanılan hazne ve yazılacak parçanın hacim-kütle değerlerine dikkat edilmeli, yazıcı başlık haznesinde bulunan malzeme ile yazdırılacak parça malzemesi hesaplanmalıdır. Aksi takdirde parça yazdırma işlemi için haznedeki malzeme yetmeyebilir, parça yazdırılma işlemi yarım kalabilir.
3. Yazıcı başlığın 3B seramik yazıcı ile bağlantısı oldukça ergonomik olmalı, malzeme doldurma ve yazıcı başlığın işlem sonunda yıkanması sebeplerinden dolayı rahatlıkla sökülüp takılabilmelidir.
4. Yazıcı başlığın içine seramik malzeme doldurulma esnasında malzeme güzel bir şekilde tampon yapılmalı, hava boşlukları kalmamasına dikkat edilmelidir. Aksi takdirde parça yazdırma işlemi sırasında hava boşluklarının kalması sebebiyle küçük küçük patlamalar ile yazılan parçanın geometrisine zarar vermemekte, bu da işlerin aksamasına neden olmaktadır.
5. Yazıcı başlık tasarımı yaparken mukavemetli bir tasarım yapılmalı ve üretilecek yazıcı başlığın malzeme seçimlerine dikkat edilmelidir.
6. Eğer bir test yapılacaksa yazıcı başlığın içerisine doldurulan malzemenin yoğunluğuna bir önceki yoğunluk ile aynı olmasına dikkat edilmelidir.
7. Boy olarak yüksek geometrili parçalar üretilecekse z eksenini yüksekliği ve yazdırılacak haznenin hacmi yaklaşık olarak hesaplanmalıdır.
8. Yoğun bir malzeme ile parça basılacaksa step motor ile driver(sürücü) uyumu için tork uygun olmalıdır.
9. Cihazın mekanik olarak hareketli aksamaları (lineer ray-araba, vidalı mil-somun) gibi yerleri seramik toz ve parçaların kaçmaması için korunmalı ve muhafaza edilmelidir. Aksi takdirde hareket mekanizmasından istenilen performans alınamayabilir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Başlıca 3B Yazıcı Teknolojileri, “3B Yazıcılar ve Uygulama Alanları”, <http://www.fatihsultan.edu.tr/resim/Dosya/FSMVU/3d-print-38280814.pdf> (2017).
2. İnternet: 3B Yazıcılar Hakkında Geniş Bilgi, “3B Yazıcılar Nasıl Çalışır”, <https://kedkem.com/urunler/3-boyutlu-yazicilar/3-boyutlu-yazicilarhakkinda-genis-bilgi-10538.htm> (2016).
3. Özgüven, S., "Seramik sanatta üç boyutlu yazıcıların yeni bir ifade biçimi olarak kullanılması" *Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ereğli Meslek Yüksek Okulu, İdil Dergisi* 4.18 -173-174 (2015).
4. İnternet: 3B Yazıcıların Tarihsel Gelişimi, “Teknolojik Gelişmeler”, <https://indigodergisi.com/2016/11/teknolojik-gelismeler-is-dunyasi> (2017).
5. Ruffo, M., Tuck, C., and Hague, R., “Makeor Buy Analysis For Rapid Manufacturing”, *Rapid Prototyping Journal*, 23 – 29 (2007).
6. İnternet: Kalkınmada Anahtar Verimlilik, “Sanayi Üretiminde Çığır Açan Teknolojiler 3B Yazıcılar”, [https://anahtar.sanayi.gov.tr/tr/news/sanayi-uretiminde-cigir-acan-teknolojiler-uc-boyutlu-\[3d\]-yazicilar/1820](https://anahtar.sanayi.gov.tr/tr/news/sanayi-uretiminde-cigir-acan-teknolojiler-uc-boyutlu-[3d]-yazicilar/1820) (2016)
7. İnternet: 3B Yazıcı Teknolojileri, “G-code”, <http://www.priyoid.com/haberler/3d-yazici-yeteneklerini-gelistir-g-code-nedir> (2016).
8. Debapriya, C. and Aneesh, B. and Roy Choudhury, A. “Extruder path generation for curved layer fused deposition modeling”, *Science Direct Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology, Kharagpur-721302, India, October* (2008).
9. Özgündoğdu, A. “Seramik üretiminde çağdaş bir biçimlendirme yöntemi olarak üç boyutlu yazıcılar”, 8. *Uluslararası Eskişehir Pişmiş Toprak Sempozyumu Bildiriler Kitabı* – 203. (2014)
10. T.C. Bilim, Sanayi Ve Teknoloji Bakanlığı Verimlilik Genel Müdürlüğü, *Bilim Ve Sanayi Bakanlığı*, “Sanayi üretiminde çığır açan teknolojiler üç boyutlu yazıcılar”, Sayı 308, Ağustos (2014)
11. Özgüven, S. "Seramik sanatta üç boyutlu yazıcıların yeni bir ifade biçimi olarak kullanılması" *Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ereğli Meslek Yüksek Okulu, İdil Dergisi* 4.18 -167-183 (2015).

12. Klocke, F. and Ader, C. “Direct Laser Sintering Of Ceramics”, *Solid Freeform Fabrication Symposium*, England, Texas, 2003 – 447, (2003).
13. Harris, L. and Marcus, Joseph J. Beaman “Selective laser sintering and reaction sintering of ceramic”, *Composites SFF Symposium*, Texas, August, 63-3-5, (1992).
14. Mühür, M. “3B yazıcı ile basılan seramik ürünler üzerine bir değerlendirme”, *Mimar Sinan Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Endüstri Ürünleri Tasarımı*, İstanbul, (2015).
15. Kwon, H. “Effects of orifice shape in contour crafting of ceramic materials”, *Department of Industrial and Systems Engineering, University of Southern California*, Los Angeles,(2002).
16. Smith, R. “Butona Bas ve Yarat”, *National Geographic Türkiye*, 164: 84, Aralık, (2014).
17. Sofu, M.M. and Delikanlı K. “Hızlı direkt imalat yöntemleri ve uygulamaları”, *TİMAK-Tasarım İmalat Analiz Kongresi*, Nisan BALIKESİR, (2006).
18. Keep, J. “Spherical harmonics: experiments in 3d printed ceramic form,” *Nordic Design Research Conference* 2013, Copenhagen- Malmö, (2013).
19. Fischer, T. H. “Friction and wear of ceramics”, *Scripta Metalurgica et Materialia*, V.24, pp: 833838,(1990).
20. İnternet: Seramik malzemelerin aşınma davranışı, “Seramik Malzemelerin AşınmaÖzellikleri”,https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi127/der127_39.pdf (2016).
21. Glease, W.A. “Friction and wear of ceramics” , ASM Handbook, V. 18, pp: 812815, Romania (1995).
22. İnternet: Make Your Own 3d Delta Printer For Ceramic, “Delta 3D Ceramic Printer” http://www.keep-art.co.uk/Self_build.html, (2017).
23. İnternet: Stratigraphic Porcelain, “The Stratigraphic Porcelain Series İs Designed For The Ceramic 3d Printer”, <http://unfold.be/pages/stratigraphic-porcelain>, (2016).
24. Sarıtaş, M.Z. “Adli tıp uygulamalarında 3b yazıcının kullanımı”, *Pamukkale Üniversitesi, Tıp Fakültesi*, Denizli, (2015).
25. İnternet: 3B Yazıcı, “3B Yazıcılar Sağlık Alanında Çığır Açacak”, <http://www.3byazici.com/2014/04/3d-yazclar-saglik-alaninda-cigr-acacak.html>, (2017).

26. Cihengtie, W. “Seramik iskele kalıplarının 3d baskısının hazırlama ve karakterizasyonu” *North Carolina State University, Journal of Materials Chemistry*, 10 Aralık, (2012).
27. Koç, B. “3B biyo yazıcıda organ basımı”, *Bilişim Dergisi*, Nisan,(2014).
28. İnternet: 3B yazıcı İmplant ve Protez Uygulamaları, “3B Yazıcının Dental Uygulamalarındaki Avantajları”, <https://www.3bfab.com/kullanim- Alanlari/dental>, (2017).
29. İnternet: 3B Yazıcıların Sanayideki Kullanımı, “3B Yazıcıların Sanayideki Kullanım Alanları”, <http://minifab.com.tr/blog/3-boyutlu-yazicilarin-sanayide-kullanimi.html>, (2017).
30. İnternet: Kurt H., Yeni Sanayi ve Üretim Devrimi; 3 Boyutlu Yazıcılar, “3B Yazıcı Teknolojisi ve Sanayii”, [http://www.ka.net.tr/haber-detay.asp? Id=7&haber=\[-makale-\]-yeni-sanayi-ve-uretim-devrimi-3-boyutlu-yazicilar](http://www.ka.net.tr/haber-detay.asp? Id=7&haber=[-makale-]-yeni-sanayi-ve-uretim-devrimi-3-boyutlu-yazicilar), (2017).
31. Kruth, J. And Leu, P. and Nakagawa, T. “Progress in additive manufacturing and rapid prototyping”, *Keynote Papers*, 47 (2): 525-540 (1998).
32. Azari, S. Nikzad. “The evolution of rapid prototyping in dentistry: a review”, *Rapid Prototyping Journal*, 216 – 225 (2009).
33. Kashdan, L. and Seepersad, C. and Haberman, C. and Wilson, P.S. “Design, fabrication, and evaluation of negative stiffness elements using SLS”, *Rapid Prototyping Journal*, 194-200 (2012).
34. Cheng, W. and Fuh, J. Y. H. and Nee, A. Y. C. and Wong, Y. S. and Loh, H. T., & Miyazawa, T. Multi-objective optimization of part-building orientation in stereolithography. *Rapid Prototyping Journal*, 1(4), 12-23, (1995).
35. Çelik, İ Karakoç F. and Çakır M Duysak A., “Hızlı prototipleme teknolojileri ve uygulama alanları”, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. Hızlı Prototipleme Teknolojileri ve Uygulama Alanları*, Sayı 31, Ağustos, (2013).
36. Szykiedansa, K. and Credo, W. “Mechanical properties of FDM and SLA low-cost 3-D prints, ProcediaEngineering” *The 20th International Conference: Machine Modeling and Simulations*, 136: 257 – 262, (2016).
37. Ermurat, M. “Hızlı prototip ve üretim teknolojilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2002).
38. İnternet: Protec3d, “3D Drucken”, <http://www.protec3d.de/3d-drucken/>, (2017).

39. İnternet: Katmanlı Üretim Teknolojileri, “Plastik Üretim Polyjet”, <http://www.prototip.org/katmanli-uretim-teknolojileri/plastikuretim/polyjet> (2017).
40. İnternet: Teknik Bilgi Hazinesi, “Akrilonitril Bütadien Stiren(ABS)” <http://teknibil.blogspot.com.tr/2013/11/akrilonitril-butadien-stiren-abs.html> (2017).
41. Armentano I., Bitinis N., Fortunati E., Mattioli S., Rescignano N., Verdejo R., Manchado M.A.L., Kenny J.M., “Multifunctional nanostructured PLA materials for pack aging and tissue engineering”, *Progress in Polymer Science*, Vol: 38, 1720–1747, (2013).
42. İnternet: Malzemeler, “Filament Alırken Dikkat Edilmesi Gerekenler”, <http://www.3boyutlu-yazici.com/malzemeler/filament-alirken-dikkat-edilmesi-gerekenler/>, (2017).
43. Botelho, EC. and Figiel, L. and Rezende, MC. and Lauke, B. “Mechanical behavior of carbon fiber reinforced polyamide composites”. *Compos Sci Technol*, 63:1843–55(2003).
44. İnternet: Bilgi Merkezi, “Nylon Filament”, <https://www.3bfab.com/bilgi-merkezi/konu/nylon-filamenti-nedir/>, (2017).
45. İnternet: 3D Yazıcı Rehberi, “3D Yazıcılarda Kullanıma Uygun Hammaddeler”, <http://www.3dortgen.com/blog/3d-yazici-rehberi-2-3d-yazicilar-da-kullanima-uygun-hammaddeler>, (2017)
46. Akıncı, Ö. “Seramik Killeri ve Jeolojisi”, *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü*, Ankara, (2010).
47. İnternet: Bilgiliyem, “Kil Özellikleri ve Kullanım Alanları”, <http://bilgiliyem.com/kimya/kil-nedir-ozellikleri-ve-kullanim-alanlari-nelerdir/>, (2017).
48. İnternet: Darwin, "RepRap", <http://reprap.org/wiki/RepRapOneDarwin> (2016).
49. İnternet: Mendel, "RepRap", <http://reprap.org/wiki/Mendel>, (2016).
50. İnternet: Pololu, Robotics Electronics, “A4988 Stepper Motor Driver”, <https://www.pololu.com/product/1182>, (2017).
51. İnternet: RepRap. “Wiki. RepRap”, <http://reprap.org/wiki/RepRap>, (2016)
52. İnternet: Prusa, "RepRap", <http://reprap.org/wiki/Prusa> (2016).
53. İnternet: Stepper Motor Driver, “JK1545 Stepper Motor Driver”, https://www.banggood.com/JK1545-Two-Phase-Hybrid-Stepper-Motor-Driver-For-Money-Counting-1_5A-4_5A-DC-24-50V-p-984364.html, (2017).

54. İnternet: RepRap, “RepetierHost”, www.reprap.org/wiki/Repetier-Host, (2016).
55. Lu, X. and Nagata, A. and Sugawara, K. “Microstructure and superconducting properties of Bi-2223/Ag tapes fabricated in the two-step sintering process”, *Physica C* .468. 1771–1774 (2008).
56. Guo, Y. And Liu, C. and Duo, H. K. “Influence of Ca₂PbO₄ on phase formation and electrical properties of (Bi,Pb)₂Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀/Ag superconducting composites”, *J.Am. Ceram. Soc.*, 83: 1675–80 (2000).
57. Demirkol, N. “Düşük kil içerikli üretilen anortit bazlı vitrifiye seramiklerinde organik bağlayıcı ilavesinin ham mukavemet üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *GYTE*, Gebze (2004).





EK AÇIKLAMALAR A.

ÇEŞİTLİ GEOMETRİLERDEKİ NUMUNE FOTOĞRAFLARI



Şekil Ek A.1. Dairesel görünüme ait numuneler.



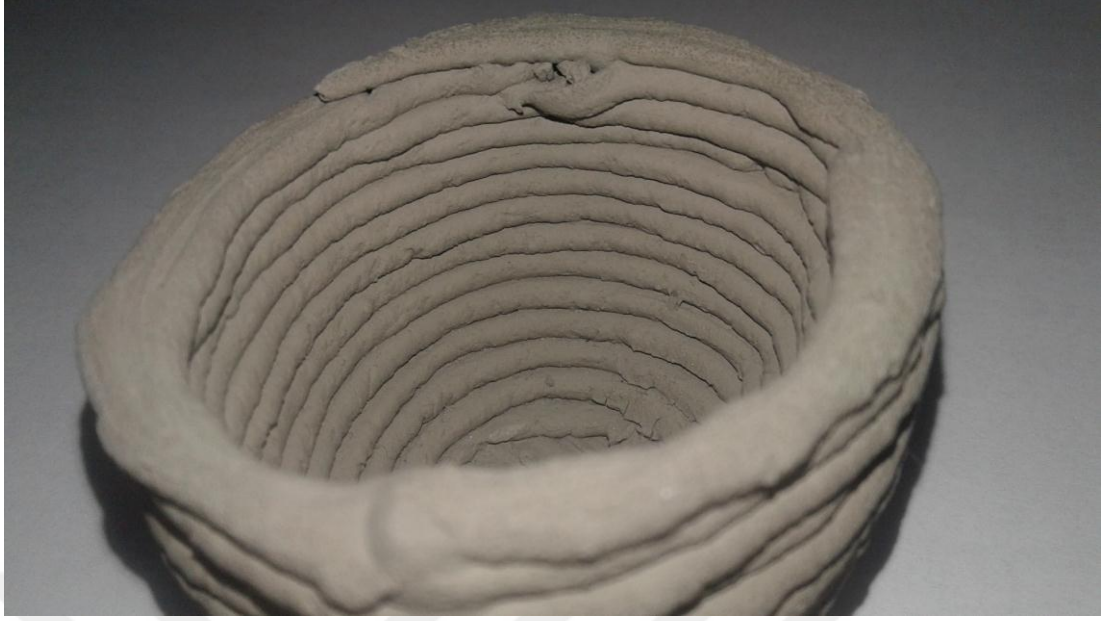
Şekil Ek A.2. Kare görünüme ait numune.



Şekil Ek A.3. Kare parçaya ait %10 doluluk oranına sahip numune.



Şekil Ek A.4. Silindirik bir parçaya sahip örnek numune katmanların detay görüntüsü.



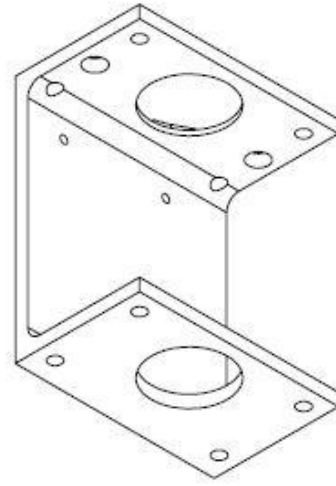
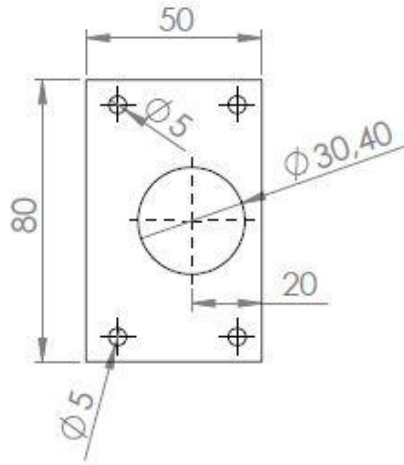
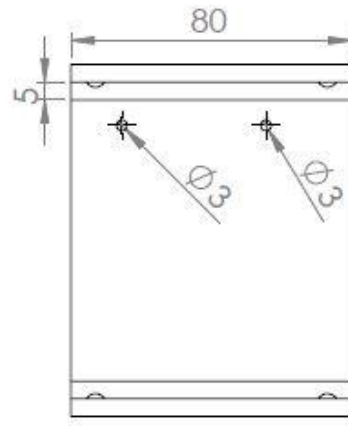
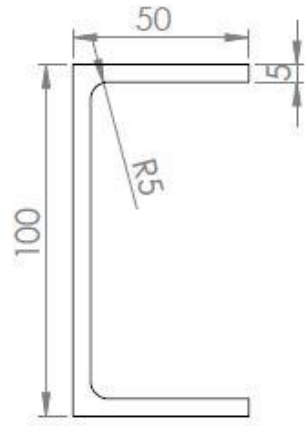
Şekil Ek A.5. Silindirik bir parçaya sahip örnek numune katmanların detay görüntüsü.



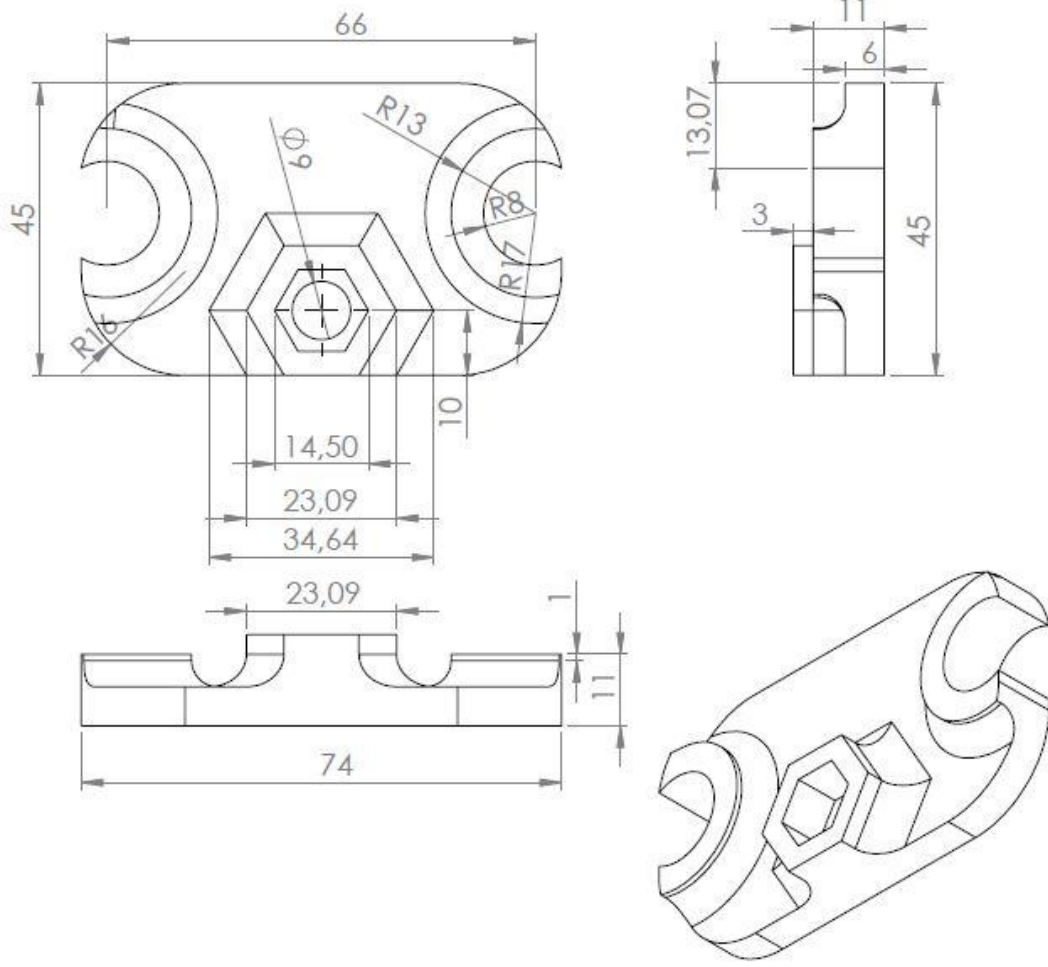
Şekil Ek A.6. Silindirik bir parçaya sahip numunenin yazdırma işlemindeki görüntüsü.

EK AÇIKLAMALAR B.

YAZICI BAŞLIK (NOZZLE) TEKNİK RESİMLERİ



Şekil Ek B.1. Yazıcı başlık (nozzle) şase parçanın ön-yan-üst ve izometrik görüşleri



Şekil Ek B.2. Orta parça ön-yan-üst görüşlerin teknik ölçüleri.

ÖZGEÇMİŞ

Aydın ÇALIŞKAN 1990 yılında Bursa’da doğdu. İlk ve orta öğretimimi Bursa Ziya Gökalp okulunda tamamladı. Lise Eğitimimi Bursa Hürriyet Mesleki ve Teknik Anadolu Meslek Lisesinde, Elektronik bölümünde tamamladı. Lisans eğitimimi Karabük Üniversitesinde, Tasarım ve konstrüksiyon öğretmenliği bölümünde 2009 yılında başladı, 2014 yılında tamamladı yine aynı yılda Karabük Üniversitesinde Endüstriyel Tasarım Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisans eğitime başladı, eğitimi devam ettirmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Sırameşeler Mah. Mine Sok. No:20/5 Osmangazi/BURSA

İletişim : 0 (543) 972 25 11

E-posta : aydinaliskan@outlook.com.tr, aydinaliskan3@gmail.com