



**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
GÜZEL SANATLAR ENSTİTÜSÜ
SANAT VE TASARIM ANASANAT DALI**

**SERAMİKTE 3D MODELLEME TEKNOLOJİSİNİN KULLANIMI
VE
UYGULAMA ÇALIŞMALARI**

Uygar HASEKİOĞLU

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Serap ÜNAL

ISPARTA, 2023

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
GÜZEL SANATLAR ENSTİTÜSÜ

Bu tez .../.../20... tarihinde Sanat ve Tasarım Ana Sanat Dalı **yüksek lisans** öğrencisi Uygur HASEKİOĞLU tarafından savunulmuştur ve aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oy birliği/oy çokluğu** ile kabul edilmiştir.

DANIŞMAN	Doç. Dr. Serap ÜNAL	İmza:
ÜYE	Prof. Dr. Enis Kemal SAGULAR	İmza:
ÜYE	Doç. Dr. Murat KORU	İmza:

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

İmza ve Mühür
Doç. Dr. Mustafa GENÇ
SDÜ Güzel Sanatlar Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması Süleyman Demirel Üniversitesi, SYL-2021-8441 no.lu proje kapsamında BAP tarafından desteklenmiştir.
Proje No: SYL-2021-8441

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
GÜZEL SANATLAR ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Bu belge ile bu tezdeki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplanıp sunulduğunu beyan ederim. Bu kural ve ilkelerin gereği olarak, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçları aldığımı ve kaynağını gösterdiğimi ayrıca beyan ederim (.../.../2023).

Uygar HASEKİOĞLU

İmza

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, proje kapsamı süresince tüm deneyimlerini her daim paylaşan ve beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Serap ÜNAL 'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince, aldığım kararlarda her zaman destek sağlayan, sadece bu çalışma süresince değil tüm hayatım boyunca yanımda olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışmada Süleyman Demirel Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiş olan SYL-2021-8441 ve SBG-2022-8699 'no.lu proje çalışmalarında maddi, manevi her türlü yardımlarından dolayı BAP Biriminin personeline teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Uygar HASEKİOĞLU

Isparta, 2023

ÖZET
SERAMİKTE 3D MODELLEME TEKNOLOJİSİNİN KULLANIMI
VE
UYGULAMA ÇALIŞMALARI

Uygar HASEKİOĞLU

Süleyman Demirel Üniversitesi

Güzel Sanatlar Enstitüsü

Sanat ve Tasarım Anasanat Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Yıl: 2023, Sayfa: 70

Danışman: Doç. Dr. Serap ÜNAL

İnsanlık, ihtiyaçlar hiyerarşisinde öne aldığı gereksinimlerini karşılamak için ontolojik olarak varlığı ile birlikte alet yapımına başlamıştır. Öncelikle taş ve obsidyen yontarak başladığı araç gereç yapımına, on binlerce yıl öncesinde kili şekillendirip gün ısısında kurutarak, Neolitik Dönem’den itibaren ise piroteknolojik yöntemle seramikle devam etmiştir. Plastik bir malzeme olan kilin şekillendirilmesiyle oluşturulan seramiğin ilk teknikleri basit elle şekillendirme, sepet sıvama vb. yapım yöntemleridir. İlk yöntemlerle beslenme güdüsüyle başlayan, kilin önce şekillendirilerek sonra da ısıl yöntemle sertleştirilerek çanak çömlek yapımı, sonraki dönemlerde daha da geliştirilmiş, Tunç Çağı’nda ilk endüstriyel üretim olarak kabul edilen çarklı çömlekçilikle şekillendirme yöntemlerine ulaşılmıştır. Çarklı çömlekçilikle birlikte seramik kap kacak ürünlerde şekillendirme daha da anlamlı hale gelmiş ve uzun yıllar boyunca gelişimini sürdürmüştür.

Seramik üretimi ve sanatında sürdürülen bu gelişim, çeşitli teknolojik aşamalardan geçerek günümüze kadar devam etmiş, bilgisayar destekli modelleme yöntemleriyle en son üç boyutlu yazıcılarda farklı bir boyut kazanmıştır. Bu sistemin adımları değişik adlar altındaki CAM/CAD programlarla hızlandırılarak, çağdaş inovasyon kapsamında üç boyutlu yazılım programlarına ulaşılmıştır.

Üç boyutlu dijital teknoloji, seramik alanında insanın el ile yapımı mümkün olmayan formların katmanlı/eklemeli baskı tekniği ile üretimlerini ortaya koyduğu ve mümkün olduğu kadar az hata ile minimum sürede üretimini oluşturduğu, ekstra model ve kalıplara ihtiyaç duymaksızın seri üretimlerini gerçekleştirmesiyle beraber seramik alanına alternatif ve inovatif seçenekler sunmuştur.

Yapılan bu tez çalışması kapsamında, günümüz endüstriyel üretim tarzlarında çok önemli bir yeri olan seramik üretiminde özellikle modellemede çok önemli bir yeri olan üç boyutlu yazıcılarla seramik üretiminin, Tarihöncesi çağlardan itibaren günümüze değin sanatsal ve teknolojik boyutta gelişimi anlatılmak istenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3B Yazıcı, Katmanlı Üretim, Seramik, Bilgisayar Destekli Tasarım, 3D Modelleme

ABSTRACT
USE OF 3D MODELING TECHNOLOGY IN CERAMICS
AND
APPLICATION STUDIES

Uygar HASEKIOGLU

Suleyman Demirel University

Institute of Fine Arts

Art And Design Department

MA Thesis

Year: 2023, Page: 70

Supervisor: Assoc. Prof. Serap UNAL

Humanity has started to make tools with its ontological existence in order to meet its needs, which are prioritized in the hierarchy of needs. First of all, he started to make tools by carving stones and obsidian, tens of thousands of years ago by shaping clay and drying it at day temperature, and continued with ceramics with pyrotechnological method since the Neolithic Period. The first techniques of ceramic, which is formed by shaping clay, which is a plastic material, were simple hand shaping, basket spinning, etc. production methods. Pottery making by first shaping the clay and then hardening it with the heat method, which started with the first methods of nutrition, was further developed in the following periods, and shaping methods were reached with wheel pottery, which is accepted as the first industrial production in the Bronze Age. With wheel pottery, shaping in ceramic pottery products has become even more meaningful and has continued its development for many years.

This development, continued in the production and art of ceramics, has continued until today, passing through various technological stages, and has gained a different dimension in the latest three-dimensional printers with computer-aided modeling methods. Especially in the 20th century, technologies based on computers and software have been the most important supporters of this development. Computer-aided design is a process in which any shape or drawing is transferred to digital media, developed and finally created with software support. The first successful application that transfers this process to the computer environment is the CAM/CAD (Computer Aided Design) program. The steps of this system were accelerated with programs under different names, and three-dimensional software programs were reached within the scope of contemporary innovation.

Three-dimensional digital technology is an alternative and innovative alternative to the field of ceramics, with the production of forms that cannot be made by hand in the field of ceramics with the layered / additive printing technique and the production of them in a minimum time with as little error as possible, without the need for extra models and molds. offered options.

Within the scope of this thesis, it is aimed to explain the artistic and technological development of ceramic production with three-dimensional printers, which has a

very important place in the production of ceramics, which has a very important place in today's industrial production styles, especially in modeling, from prehistoric times to the present.

Keywords: 3D Printer, Additive Manufacturing, Ceramic, Computer Aided Design, 3D Modeling



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
TABLolar DİZİNİ	viii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	ix
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
GİRİŞ	1

I. BÖLÜM

1. TARİH ÖNCESİ SERAMİK ÜRETİMİ	5
1.1. CAD Sistemlerin Tarihçesi ve Gelişimi	5
1.2. Tunç Çağı ve Çömlekçi Çarkı	8
1.2.1 Çömlekçi Çarkı	9

II. BÖLÜM

2. BİLGİSAYAR DESTEKLİ ÜRETİMLER	12
2.1. CAD Sistemlerin Tarihçesi ve Gelişimi	12
2.2. Computer Aided Design (CAD) ve CAD-CAM	13
2.3. Üç Boyutlu Yazıcılar	16
2.3.1. Kartezyen Yazıcılar	20
2.3.2. Delta Yazıcılar	21
2.3.3. Scara Yazıcılar	23
2.3.4. Polar Yazıcılar	24
2.4. Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Uygulama Teknikleri	25
2.4.1. Işıklı Kür Tekniği (SLA)	25
2.4.2. Tabaka Yığılma Tekniği (LOM)	27
2.4.3. Toz Bağlama Tekniği	27
2.4.4. Harç Yığılma Tekniği (FDM)	29

III. BÖLÜM

3. SERAMİKTE ÜÇ BOYUTLU YAZICI ÇEŞİTLERİ	31
3.1. 3D Lutum Yazıcı	32

3.2. 3D Delta Wasp Yazıcı	32
3.3. 3D Potterbot Yazıcı	34

IV. BÖLÜM

4. 3B YAZICILARDA KULLANILAN HAMMADDELER	44
4.1. 3B Yazıcılarda Kullanılan Seramik Hammaddeler	44
4.1.1. Neojen Havzalar İçerisinde Bulunan Killer	44
4.1.2. Fluvial Ortamlar İçerisinde Oluşan Killer	45
4.2. Deneysel Analizler	45
DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	52
KAYNAKÇA	54
EKLER	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Neolitik Dönem, Çanak Çömleğin İnsan Yaşamında Kullanımı	6
Şekil 2. Disk Üzerinden Sucuk (Fitol) Tekniği İle Kilin Yükseltilerek Form Oluşturulması	7
Şekil 3. Tunç Çağı Ve Çömlekçi Çarkı.....	9
Şekil 4. Çarklı Çömlekçilik	10
Şekil 5. Katot Işın Tüpü	13
Şekil 6. Ivan E. Sutherland, Lincoln TX-2 ile Sketchpad Kullanımı.....	14
Şekil 7. AutoCAD Uçak Çizimi.....	15
Şekil 8. 3B Baskılı Protez Uzuu.....	19
Şekil 9. Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcı.	21
Şekil 10. Delta tipi üç boyutlu yazıcılar.....	22
Şekil 11. ABB Delta Robot.....	23
Şekil 12. SCARA Robotunun Şematik Diyagramı	24
Şekil 13. Polar Tipi yazıcı.....	25
Şekil 14. Işıklı Kür Tekniği (SLA) Yapısı	26
Şekil 15. Harç Yığıma Tekniğinin Baskı Şablonu.	29
Şekil 16. LUTUM v4 line up, DUAL, MXL, Standard.	32
Şekil 17. DeltaWasp 2040 seramik yazıcı modeli	33
Şekil 18. 3D BigDelta WASP	34
Şekil 19. X,Y ve Z Ekseni / 3D Potterbot Micro 10 Model Yazıcı	35
Şekil 20. Polikarbonat Tüp, Nozul Adaptör ve Lastik Contalar	36
Şekil 21. Ekstrüder Şeması	36
Şekil 22. 3D Potterbot Nozzle Boyutları	37
Şekil 23. Çeşitli 3B Yazılım Programları	38
Şekil 24. Ultimaker Cura Programıyla “STL” Formattaki Modeli “GCode” Olarak Dilimleme.....	39
Şekil 25. Geleneksel yöntemlerle hazırlanan ve ekstrüzyon uygunluğu tespit edilen kilin 3B yazıcıda çıkarılış aşamaları ve form görüntüsü.....	42
Şekil 26. Seramik Üretim Aşamaları.	43
Şekil 27. Kil Örneklerinin Tartılması.....	46
Şekil 28. Kil Örneklerinin 12 Saat Suda Bekletilmesi.....	47

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Üç Boyutlu yazıcıların şematik tablosu.....	20
Tablo 2. Katmanlı Üretim Teknikleri.....	25
Tablo 3. Geleneksel Yöntemle Üretilen Seramik Kilinin TPA Sonuçları	41
Tablo 4. Kil Örneklerinin Kimyasal Analiz Sonuçları.....	46
Tablo 5. Kil Örneklerinin Yoğrulma Suyu Deneyi.....	48
Tablo 6. Kil Örneklerinin Kuru Küçülme Değeri	49
Tablo 7. Pişirim Küçülme Testi	50
Tablo 8. Kil Örneklerinin Su Emme Değerleri	51
Tablo 9. Kil Örneklerinin Sıcaklık Değişimi	51

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 1. Tasarım, 20x18cm, Stonware Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.	60
Fotoğraf 2. Tasarım, 22x16cm, 30x15, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.....	60
Fotoğraf 3. Tasarım, 18x18cm, 21x18cm Stoneware Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.....	61
Fotoğraf 4. Tasarım, 28x20cm, 26x14cm, Renkli Stoneware Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Bisküvi Pişirim.	61
Fotoğraf 5. Tasarım, 16x18cm, Beyaz Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.	62
Fotoğraf 6. Tasarım, 24x14cm, 16x15cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.....	62
Fotoğraf 7. Tasarım, 16x14cm, 18x18cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.....	63
Fotoğraf 8. Tasarım, 28x14cm, 28x16cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.....	63
Fotoğraf 9. Tasarım, 18x14cm, 16x12cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.....	64
Fotoğraf 10. Tasarım, 20x12cm, 18x10cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.....	64
Fotoğraf 11. Tasarım, 22x20cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.	65
Fotoğraf 12. Tasarım, 26x18cm Stoneware Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.....	65
Fotoğraf 13. Tasarım, 26x18cm, 22x26cm Kırmızı Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Bisküvi Pişirim.	66
Fotoğraf 14. Tasarım, 24x15cm, 26x15cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.....	66
Fotoğraf 15. Tasarım, 22x14cm, 16x15cm, Beyaz Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.....	67
Fotoğraf 16. Tasarım, 26x18cm, 24x20cm, Beyaz Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.....	67
Fotoğraf 17. Tasarım, 24x16cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı/Bisküvi Pişirim.	68
Fotoğraf 18. Tasarım, 24x20cm, 16x12cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.....	68
Fotoğraf 19. Tasarım, 45x18cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.	69

Fotoğraf 20. Tasarım, 26x18cm, 14x8cm, Kırmızı Çamur, Stoneware Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.....	69
Fotoğraf 21. Tasarım, 28x14cm, 20x12cm, 16x10cm, 10x8cm, Kırmızı Çamur, Beyaz Çamur, Stoneware Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.	70
Fotoğraf 22. Tasarım, 20x16cm, 16x14cm, Kırmızı Çamur, Stoneware Çamur, 3D Potterbot Ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.....	70



KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar

3D
3B
3BY
ABS
BDT
PLA
SLA
SLS
PK
UV
FDM
LOM
MIT
STL
NX
PLM:
 μm :
Vd.:
Vb.:

Açıklamalar

Three Dimensional
Üç Boyut
Üç Boyutlu Yazıcı
Akrilonitril Bütadien Stiren
Bilgisayar Destekli Tasarım
Polilaktik Asit
Stereolitografi
Seçmeli Lazer Sinterleme
Polikarbonat
Ultraviyole
Fused Deposition Modeling
Lamine Nesne Üretimi
Massachussetts Teknoloji Enstitüsü
Standard Triangle Language
Unigraphics
Ürün Yaşam Döngü Yönetimi
Mikrometre/Mikron (Sembol)
ve diğerleri
ve benzeri

GİRİŞ

Beslenme ve barınma temelli birincil gereksinimlerini karşılama güdüsüyle, varoluşundan itibaren alet yapımına başlayan insan âlemi, zihinsel gelişimi ile yiyecek ve içecek elde etmek için kullandığı aletleri de geliştirmiş, elde ettiği gıda ürünlerini saklamak ve pişirmek için kaplar üretebilmiştir. Bu kaplar için öncelikle ilksel alışkanlıklarıyla yine taş yontuculuğu, hayvan kemikleri ve ahşap şekillendirme becerilerini kullanmıştır. İnsanlığın, ateşin keşfiyle beraber günlük ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla ortaya çıkardığı pişmiş toprak, seramik olarak ifade edilmektedir.

Hemen sonrasında ise plastik ve toprak bir malzeme olan kili gün ısıyla sertleştirerek kap yapımına geçmiştir. Yaklaşık 30-50 bin yıl öncesinde kullanılan bu yöntemden, Neolitik Dönem 'in yaklaşık ikinci yarısından (MÖ 7000) itibaren, piroteknoloji ile şekillendirilmiş kilin ateşte sertleştirilmesi suretiyle pişmiş toprak çanak çömlek üretimine geçilmiştir.

Bu dönemlerde üretilen kapların biçimlerinde tahta ve hasır kaplardan etkileşim vardır. Önce koyu renkli perdahlı kaplar görülür. Daha sonra devetüyü renkli kaplar üreilmeye başlamıştır. Kazılarda çanak-çömleğin yanı sıra bulunan tanrıça heykelcikleri, Anadolu uygarlıklarının bütününe egemen olan "Ana Tanrıça" kültürünün ilk örneklerini oluşturmaktadır. Yine pişmiş topraktan yapılmış, "adak" amaçlı kullanıldığı düşünülen hayvan heykelcikleri de Çatalhöyük yerleşiminde yaygındır (Çakı, 1999:14).

Anadolu coğrafyasında ilk seramik üretiminin, Çanak Çömlekli Neolitik Dönem (PNA) öncesinden başladığına dair bulgular da mevcuttur (Duru, 1996:12). Neolitik Dönem, Gordon Childe'a göre insanlığın ilk devrimi sayılan bitkilerin kültüre alındığı (tarım devrimi), yerleşik düzene geçilen ve ilk endüstriyel üretim olarak da kimi bilim insanlarınca kabul gören pişmiş toprak (seramik) üretiminin başladığı, önemli bir aşamanın yaşandığı dönemdir (Ünal, 2023:72).

İlk oluşturulan seramik formlar, çeşitli basit aletlerin de yardımıyla öncelikle serbest şekillendirme ile elle, sepet sıvanarak, pişmiş toprak üründen kalıp alınmak suretiyle ve sucuk (fital) yöntemiyle üretilmiştir. İlerleyen dönemlerde seramik

Üretim teknikleri de gelişmiş, şekillendirmeye ve seri üretime yönelik buluşlar seramik üretimine değişik boyutlar kazandırmıştır. Tunç ağı, sadece maden endüstrisine geçiş değil aynı zamanda aletli seramik üretiminin de arklı mlekiliğe (M 3500) geçtiği bir dönemdir.

ark keşfedilmesinin ardından çok hızlı bir gelişim süreci geçirmemiştir. Özellikle yapılmış olan etnoarkeolojik çalışmalarda görülmektedir ki Mezopotamya ‘da M.. 3500’lerde görülen ark tipleri, Anadolu ‘da yakın tarihlere kadar kullanılmıştır. Ancak yine yapılan etnoarkeolojik çalışmalar iletişim ve teknolojinin gelişmiş olduğu dönemde bile tek bir ark tipinin kullanılmadığını göstermektedir. Her bölge ve her usta kendi benimsediği çarkı değiştirmemiştir (Trkteki, 2010:29).

İşlevsel amaçlı çanak çömlek üretimine farklı bir şekillendirme ve serilik kazandıran arklı çömlekçilik ve ilk tür yöntemlerle üretilen pişmiş toprak beslenme ve besleme amaçlı kap kacaklar, dini tören kapları ve hediyeelik eşyalar aynı zamanda Anadolu kültür coğrafyasının da önemli bir alanını kapsamaktadır.

Seramiğin oluşturulmasında önemli bir eylem olan pişirim öncesi şekillendirme, Prehistorik Dönemlerden itibaren arklı mlekiliğe, geleneksel ve modern seramik sanatına ve endüstrisine değin araştırılan ve geliştirilen bir üretim safhası olmuştur. Primitif ıkışlı ilk tür şekillendirme yöntemleri ile mleki arkının devinimi esas alınarak 19.yüzyıldan itibaren endüstri devrimi kapsamında yapılan inovasyon kapsamında bilgisayar destekli teknolojik çalışmalar, günümüzde üç boyutlu (3B) yazıcılarla üretim teknolojisine kadar ulaşmıştır.

Bilgisayar destekli retim (CAM) tarihsel gelişimine bakıldığında 1950’li yıllara dayanan bir geçmişi olduğu görülmektedir. Genellikle CAD (Computer Aided Design) ile birlikte kullanılan bir kavram olan Bilgisayar Destekli retim (CAM), bilgisayar destekli tasarımdan farklı olarak, mühendislik bilgisi gerektiren bir alandır. Bilgisayar ortamında çizilmiş bir tasarımın ürün olarak elde edilebilmesi için bazı ek yazılımların kullanılması gereklidir. Bir tasarımın CNC retim tezghlarına veya hızlı prototipleme makinelerine aktarılması, bu ek yazılımlar sayesinde olmaktadır (Can, 2019:12).

Diğer yandan teknolojik gelişim süreci içerisinde, üretimi hızlandıran bir yöntem olarak Hızlı Prototipleme, RP (Rapid Prototyping) sistemleri, anılan gelişmelerin devamında sanayi üretimde geniş bir kullanım alanında yer bulup bu kapsamda inovatif gelişmelere de hız kazandırmıştır.

Prototipleme, imalatı yapılacak ürünün imal edilmeden önce ön şeklinin veya modelinin oluşturulması olarak tanımlanabilir. Oluşturulan şekle o ürünün prototipi denir. Prototipin çok kısa sürede jenerik teknoloji ile üretilmesine hızlı prototipleme (RP) denir (Yılmaz vd., 2014:35-40).

Günümüzün yenilikçi teknolojileri arasında önemli bir yer tutan üç boyutlu yazıcıların kökeni, temelden bakıldığında zengin bir kültürel zemine oturmaktadır. Buradan hareketle geliştiği öngörülen 3B yazıcılar ise günümüz inovasyon alanında en gözde ve gelişimi sürdürülen bir teknolojidir.

Geçmişten günümüze katmanlı üretim, çeşitli imalat sistemlerinin başında gelmektedir. İnsan gücünün ön planda olduğu üretim işleri kolaylaştırmak, seri üretimler yapmak için bilim ve teknolojinin geliştirilmesiyle beraber farklı boyutlara ulaşmıştır. CAD (Computer Aided Design) – CAM (Computer Aided Manufacturing) teknolojisi bilgisayarların gelişmesiyle bu sistemlere ayak uydurarak donatılmış CNC, Torna Tezgâhları ve Üç Boyutlu Yazıcılar gibi önemli makinaların oluşmasına katkı sağlayarak yön vermiştir.

Seramiğin hammaddesi kil, plastik yapısı ve kıvamı gereği kendine özgü bir kategoridedir. Neolitik dönemden bu yana gelen pişmiş toprak, çömlekçi çarkının gelişmesiyle beraber seramik endüstrisi ve sanatın yanı sıra katmanlı üretim sistemi olan üç boyutlu teknolojinin de temelini oluşturmaktadır.

Katı üretim olarak adlandırılan 3B yazıcılar “Additive Manufacturing” bilgisayar üzerinde tasarlanmış olan modellerin STL kodla oluşturulmasının sonucunda çeşitli hammaddeler ile hızlı ve ekstra kalıba ihtiyaç duymadan üretim yapmaktadır. 3B yazıcıların asıl amacı sanal ortamdaki tasarım/modellerin somut nesnelere dönüştürmektir. Üç boyutlu yazıcılar her geçen gün kullanımı daha da yaygınlaşmakta olup farklı hammaddeler ile çeşitli alanlarda geliştirilmektedir. Polimer, kompozit, reçine, plastik filamentler gibi katı malzemelerle üretime olanak

sağlayan 3B yazıcılar günümüzde plastik özelliğe sahip olan seramik sanatında da kullanılmaktadır. Seramik hammaddeler, yüksek teknolojiye üretim ve sanat alanında son derece önemli özelliklere sahiptir.

Katmanlı baskı teknolojisi kapsamında üç boyutlu yazıcılar, çeşitli tasarımları geliştirmiş çağdaş seramik sanatına yenilikçi bir değer kazandırmış ve bu alanda üretimlerle değerli bir yer edinmiştir.



I. BÖLÜM

1. TARİH ÖNCESİ SERAMİK ÜRETİMİ

İnsanlık, Seramikli Neolitik Dönem öncesinden kili ateş olmaksızın gün ısısı ile sertleştirerek topraktan kap ve gereç yapımını bilmekteydi. Neolitik Dönem sonrası, toprak kap yapımı için kilin ateşle bütünleşmesiyle, gelişen ve işlevsel alanı genişletilen çömlekçilik, insana günümüze kadar devam edecek olan bir seramik sürecini başlatmıştır. Prehistoryada başlayan bu süreç, Neolitik ve Kalkolitik Dönemlerde ivme kazanarak devam etmiş, Tunç Çağından itibaren de ilk endüstriyel üretim olarak da kabul edilen çarklı çömlekçilikle farklı bir aşamaya geçmiştir.

Arkeolojik betimiyle kültür, bir toplumun ya da toplumların teknoloji, toplumsal ya da çevresel etkenlerle gelişen toplum düzenini, beğenisini yansıtan maddi kalıntılar bütünüdür. Bu bağlamda, seramik üretimi açısından bakılırsa; ilk tür çömlekçiliğin tarihsel serüveninde, seramik üretiminin yapım teknikleri, kültürel bazda özelliklerini bozmadan günümüze gelebildiği gibi çağdaş teknolojilerle seramik üretimine de esin kaynağı olmuştur.

1.1. CAD Sistemlerin Tarihçesi ve Gelişimi

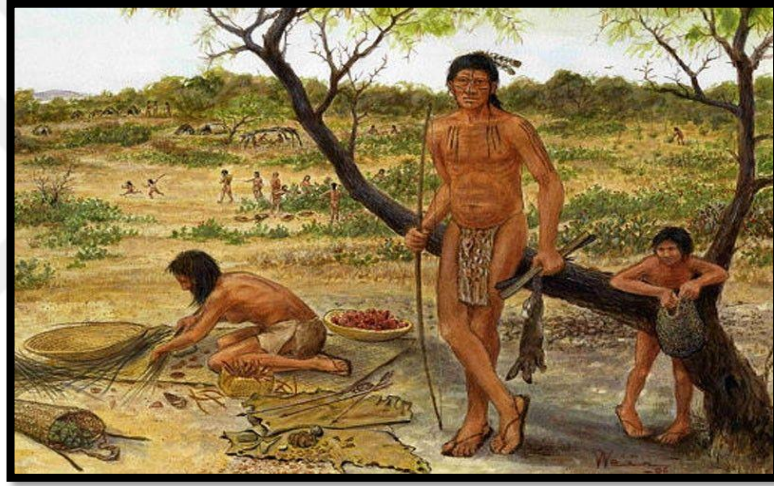
Seramik, Neolitik Dönemden günümüze yaklaşık 9000 yıllık bir süreçte, ilksel gereksinimleri karşılayacak kaplardan, tinsel objelerden sanata, endüstriyel alanlara kadar insanlığın vazgeçilmezi olmuştur. Seramik aynı zamanda, pişmiş toprak kültürü olarak binlerce yılın veri aktarımını sağlayan önemli bir kültür alanı oluşturmuştur.

Belirli bir amaç için, belirli ölçülere göre seçilmiş ya da biçimlendirilmiş her türlü kullanım maddesi alettir. Gereksinim, teknik düzey, ortam, beğeni, kültürel etkileşim gibi etkenlere bağlı olarak alet türleri sürekli değişim gösterir. Bazen bu değişim beğeni kadar teknolojik gelişmenin de bir yansıması olarak da görülür (Özdoğan, 2019:44).

Kilin piroteknolojik yöntemle sertleştirilerek işlevselleştirilmesinden çok önceleri insanla birlikte varlığını bildiğimiz alet yapımı kuşkusuz insanın doğasında olan bir yaratım türüdür. Çömlekçilik ya da pişmiş toprak kültürü dediğimiz yapı, binlerce yıllık serüveninde insanlığın temel yaşam gereksinimlerini karşıladığı gibi,

gelişerek bilimsel ve sanatsal anlamda günümüz yaşamına önemli katkılar sağlamıştır. Çağdaş seramik endüstrisinin ve modern seramik sanatının çıkış noktası unutulmamalı ki primitif çömlekçiliklerdir.

Çanak Çömleksiz Neolitik Dönem (MÖ 9600-7000), çanak çömleğin devreye girmesiyle Neolitik Dönemi ikiye ayıran, en önemli olay pişmiş toprağın insan yaşamına doğrudan bilinçli olarak girmesidir (Şekil 1). İnsanlığın ilk devrimi sayılan, tarımla ve yerleşim kültürüyle özdeşleşen Neolitik Dönemin ikinci evresi olan Seramikli Neolitik Dönemin (yaklaşık M.Ö.7000) en önemli buluşu, killi toprağın işlevsel şekilde form verildikten sonra ateşle sertleştirilerek seramik kaplar oluşturulmasıydı.



Şekil 1. Neolitik Dönem, Çanak Çömleğin İnsan Yaşamında Kullanımı (URL-1).

Tahılın hazırlanması ve depolanması, ısıya dayanan ve su tutabilen kapların önemini artırmış olmalı ki bundan dolayı, Neolitik toplumların ortak özelliğinin kap kacak yapımı olduğu anlaşılmaktadır. Neolitik yerleşme alanları genellikle kırık çömlek parçalarıyla bezelidir (Childe, 2006:36).

Birinci tür çömlekçilik olarak adlandırılan (Güner, 1988:33) ve çömlekçiliğin en primitif hali olarak kabul edilen; hazır duruma getirilmiş kilin hareketsiz bir taban üzerinde elle yoğrulduktan sonra ortası açılarak, elle şekillendirilip sonrasında da açık pişirimle sertleştirilmesi yöntemiyle başlayan kültür, aynı yöntemle günümüzde de devam etmektedir. Tunç Çağına doğru ikinci tür çömlekçilikte de yine aynı yöntemi önce yivsiz dairesel bir taban üzerinde, sonrasında ise yivli bir disk üzerinde sucuk (fitil) tekniği ile kilin yükselttiler formun oluşturulup açık pişirimle

sertleştirilmesi de dünyanın birçok yerinde farklı coğrafyalarda sürdürülen bir kültürel üretimdir (Şekil 2).



Şekil 2. Disk Üzerinden Sucuk (Fitol) Tekniği ile Kilin Yükseltilecek Form Oluşturulması (URL-2).

Plastik bir malzeme olan kilin kullanımı, Neolitik Dönem genelinde çok amaçlı olarak kullanılmıştır. Pişmiş toprağın yapı malzemelerinden ocak, fırın, ambar raflarından figürinlere, kap kacak yapımına kadar birçok alanda kullanıldığını biliyoruz. Bütün gelişmelerde olduğu gibi, çanak çömlek yapımına başlanması da sosyal davranışların değişime uğramasına neden olmuş ve artık bu sosyal davranışlar insan hayatının temel taşları olan ev ve ocak etrafına daha çok odaklanmaya başlamıştır (Sagona ve Zimanski, 2009:77).

Neolitik köyde, erkeklerin hayvan, kadınların bitki yetiştirmekle uğraşmaları biçiminde bir iş bölümü görülür. Ancak, kadınların tahıl üretiminin ve hayvan yetiştiriciliğinin ev ekonomisi içindeki uzantıları olan öğütme, pişirme ve yoğun tarım mevsimleri dışında çömlek kaplar yapma, örme, dokuma gibi işlerle de uğraşmalarına bakarak; köylerde, neolitik ekonominin daha çok kadınların çalışmalarına dayandığı söylenebilir (Şenel, 1982:159).

1.2. Tunç Çağı ve ömleki arkı

Çömlekçilik arkeoloji, antropoloji, etnografi, sosyoloji vb. disiplinler kapsamında bilgi üretmesinin yanında primitif teknolojisiyle bugüne gelebilmesi nedeniyle Anadolu’da hala yaşamakta olan önemli bir kültürel miras ögesidir. İnsan topluluklarının Anadolu’da madeni çok öncesinde tanımlarına rağmen, süs eşyaları ve takı yapımı dışında madenin bilinçli kullanımı Orta Kalkolitikte (yaklaşık M.Ö. 4000’lerden itibaren) başlamış Tunç Çağı’nda madencilik üst seviyeye ulaşmıştır. Bu çağın madencilikle birlikte belki de en önemli olayı ömleki arkının keşfidir (Şekil 3).

Neolitik Dönem’de başlayan Anadolu’nun ileri hamlesi, İlk ve Orta Kalkolitikte sosyo-kültürel ve ekonomik olarak şekillenmiş, Son Kalkolitikte ise Anadolu kültürleri, Uruk’tan itibaren Anadolu’ya Fırat kıyılarından uzanan kültürlerle, buluşarak Arslantepe’de adeta bir merkez oluşturarak ve güçlenerek Anadolu içlerine ve Erzurum Karaz kültürü olarak Transkafkasya’ya yayılımını sürdürmüştür. Kronolojiyle ilgili her konuda olduğu gibi burada da zaman süreci ve terimler konusunda çeşitli yaklaşımlar varsa da Anadolu’da Son Kalkolitik yaklaşık olarak M.Ö.4. binyıla (M.Ö.4000-3100) tarihlendirilmektedir. İlk Tunç Çağı’ndaki edinimler ve bağlantıların öncülü olan kültürel gelişmelerde dönüm noktası olduğu genel olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle iki dönemi bir arada görmek uygun olacaktır. Son Kalkolitik ’in ayırt edici özelliğı, hammadde arayışını hızlandıran zenginliğe ve konumlarını sergilemek için doyumsuz bir isteğe sahip insanların kontrolündeki yeni sosyo-ekonomik yapıların ortaya çıkışıdır. Otoritelerinin en büyük göstergesi olan yeni teknolojilere ve lüks eşyalara olan gereksinim, kültürel sınırların genişlemesine neden olmuştur (Ünal, 2023:30).



Şekil 3. Tunç Çağı ve Çömlekçi Çarkı (URL-3).

1.2.1 Çömlekçi Çarkı

Çömlekçi çarkı öylesine değerli bir buluştur ki Childe, çömlekçi çarkının devinimli tüm araçların ilham kaynağı olduğunu öne sürer. Bugün bile çömlekçi çarkının mı tekerlekten, tekerleğin mi çömlekçi çarkından esinlendiği, yani hangisinin önce keşfedildiği bilim insanları arasında tartışma konusudur. Bununla birlikte arkeolojik nesnel bir buluntu gibi çömlekçiliğin özellikle de ilk endüstriyel üretim sayılan çarklı çömlekçiliğin eylemsel ve yöntemsel olarak hiç değişime uğramadan günümüze kadar ulaşması da kuşkusuz dikkate değer bir konudur (Şekil 4).

Bu çağın teknolojik olarak tarihte ilk endüstriyel üretim aracı sayılabilen buluşu, çömlekçi çarkıdır. Çömlekçi çarkının ortaya çıkışının değerlendirme sürecinde en önemli bölge, çömlekçi çarkının en erken kullanımının tespit edildiği Güney Mezopotamya'dır. Erken Neolitikten Halaf dönemine kadar kaplar hasırda şekillendirilmiş ya da önceden yapılmış olan bir kap tersyüz edilerek tabla olarak kullanılmış ve kil bu tablanın üzerinde döndürülerek şekillendirilmiştir (Matthews, 2003:338).

“Tekerleğin bulunuşuyla benzer döneme geldiği için hangisinin önce bulunduğu tartışma konusudur. Son Kalkolitik ve İTÇ Dönemlerinde Uruk'ta bulunan çömlekçi çarkının bulunuş tarihi hakkında net bir bilgi olmamakla birlikte, Ali Rıza Yalgın tarafından L.Woolley'in Ur kazılarında kaynaklı olarak, “Türk Tarih Arkeologya ve Etnografya Dergisinden” alıntılanan ifadeyle; MÖ.3500 yılına

ait olduğu saptanan Uruk'ta ilk  mleki çarkına, dolayısıyla arklı  mlekiliğe rastlanmıştır ( nal, 2023:32).”



şekil 4. Çarklı  mlekilik (URL-4).

Uruk'tan Arslantepe'ye gelen  mleki arkı, oradan da Anadolu'nun batısına ve Güney Kafkasya'ya (Transkafkasya) doğru hızla ilerledi. Bu dönemin Anadolu'da öncelikle, Güney Kafkasya istikametinde Erzurum Karaz kültüründe, batıya doğru ise öncelikle Güney ve Güney Doğu yerleşmelerinde arklı çömlekçiliği izleyebiliyoruz. Truva, Akdeniz Bölgesi batısında, Karataş-Semay k, Antalya kuzeyinde Bademağacı, yine Akdeniz Bölgesinin doğusunda, G zl k le, İç Anadolu'da Alışar, ilk arklı çömlekçilik yerleşmeleridir. “Troia II ve VI. tabakadaki yerleşmelerin böyle bir aşağı kentte sahip olmasını I. evreye kadar indirgeyebiliriz. Bu evrede  mleki arkı Marmara Bölgesi'ne henüz gelmemiştir (Harmankaya, 2002:15).”

İnsanın kili şekillendirerek ilk tür çömlekçilik yöntemleri olan kalıp sucuk tekniği (coiling) ile ürettiği pişmiş toprak  r nler, Tunç ağından itibaren  mleki arkı ile ilk endüstriyel katkı sağlanarak üretilmiş, kültürel alana ve ağdaş teknolojilere katkı sağlayarak günümüze kadar ulaşmıştır. Tunç ağının buluşu olan  mleki arkı, ilerleyen zamanlarda günümüze kadar gelişerek, Childe'nın dediği gibi tüm devinimli araçların esin kaynağı olmuş, aynı şekilde günümüzün katmanlı

Üretim tekniği olan  boyutlu yazıcılarla seramik üretimine de önemli ölçüde esin kaynağı olmuştur.



II. BÖLÜM

2. BİLGİSAYAR DESTEKLİ ÜRETİMLER

Eklemeli üretim dijital ortamda tasarlanan 3B modellerin veri yoluyla yazıcılara gönderilmesi sonucu hammaddeler yardımıyla istenilen objenin oluşumunda katmanlı bir baskı teknolojisidir. Tasarlanan modellerin yığma yöntemiyle somut hale dönüştüren maddeler çeşitli yöntemlerle birbirine katmanlı bir şekilde ekleme söz konusu olduğundan dolayı bu teknolojilere bilgisayar destekli katmanlı/eklemeli üretim adı verilmektedir. Tasarlanan modeller genel olarak bilgisayar destekli programlar ile çizilebileceği gibi aynı zamanda 3B tarayıcılar aracılığı ile de veri akışı sağlayarak katmanlı üretimde kullanılmaktadır.

Ülkemizde 3Boyutlu seramik yazıcılar gelişerek farklı boyutlar kazansa da günümüzdeki kullanım amacı başta eğitim olmak üzere sanat ve endüstriyel alanlarda da aktif olarak görülmektedir. “Türkiye’de ilk kez 3Boyutlu SLA yazıcı Arçelik firması tarafından kurulmuştur. Arçelik RP (Rapid Prototyping) Laboratuvarı 10 yıl içerisinde Avrupa ve Türkiye’nin en büyük laboratuvarlarından birisi olmuştur (Negis, [24 Eylül 2009]).”

İstanbul Büyükşehir Belediyesi iştirak şirketleri arasında olan İSTON A.Ş. robotik üç boyutlu yazıcı teknolojisini kullanarak endüstriyel anlamda Türkiye’de bir ilk gerçekleştirerek kısa zamanda bir yapı üretmiştir. Türk mühendisleri tarafından geliştirilen 3Boyutlu sistem harç yığma tekniğinin katmanlı bir şekilde üretimini gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen yazıcıda hammaddenin yüksek mukavemete ve sertliğe sahip olması depreme dayanıklılığı arttırmış olup üretimde hızlı, düşük maliyetli, daha güvenli yeni tasarımlar ortaya çıkarmıştır.

Şu an dünyada birçok kuruluş ve üniversiteler tarafından 3B yazıcılar aktif olarak kullanılmakta olup seramik bölümlerinde de eğitimlere devam edilmektedir.

2.1. CAD Sistemlerin Tarihçesi ve Gelişimi

Bir tasarımın, iki boyutlu çizim aşamalarından sonra bilgisayar destekli çeşitli yazılımlar kullanılarak dijital teknoloji alanına aktarımı halinde geliştirme, düzenleme ve uygulama ile oluşturulan sürece Computer Aided Design (CAD) adı verilir.

3B yazıcılarda baskı, yazdırılacak bir nesnenin üretilmeden önceki görünümünü (küp, küre, kutu ve silindir), nesnenin boyutlarının oluşturulmasını ve nesnenin CAD program aracılığıyla temsilen görüntüsünün veriler doğrultusunda gönderilmesini içerir (Huleihil, 2017: 63-71).

Bilgisayar destekli tasarım, bir nesnenin üretiminden önceki bölümlerin bilgisayar destekli sanal ortamlarda oluşturulma ve geliştirme sürecini baştan sona kadar analiz, değişiklik ve düzenleme imkanı sağlar. Bilgisayar destekli tasarımlar için gerekli olan donanım (hardware), yazılım (software), veri ve oluşturma, tasarım sürecinin en önemli faktörlerini oluşturur.

2.2. Computer Aided Design (CAD) ve CAD-CAM

İlk dijital ortamda bilgi sistemi Amerikan hava savunma sistemi olarak 1950 yılında Massachusetts Teknolojisi Enstitüsü'ne ait Lincoln Laboratuvarında geliştirilmiştir. Geliştirilen teknolojiyle radar ve benzeri verileri görüntülemek için katot ışın tüpleri kullanılmıştır (Şekil 5). Dr. Patrick J. Hanratty, CAD/CAM 'in atası olarak bilinse de 1963 yılında Ivan Sutherland tarafından Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, Lincoln Laboratuvarında doktora çalışması sırasında TX-2 bilgisayarları kullanarak Sketchpad (Robot Draftsman) yazılım programını proje ile geliştirmiş ve yazılımın kurucusu olmuştur. Bu proje ile CAD endüstrisinde öncü ve ilk adım kabul görmüştür (Şekil 6).



Şekil 5. Katot Işın Tüpü (URL-5).

General Motor ve ITEK firmaları tarafından benzer projeler geliştirilerek bilgisayar destekli tasarım programlarının ilk kez basit algoritmalar sayesinde 2B modeller çizgisel olarak üretilmiştir.



Şekil 6. Ivan E. Sutherland, Lincoln TX-2 ile Sketchpad Kullanımı (URL-6).

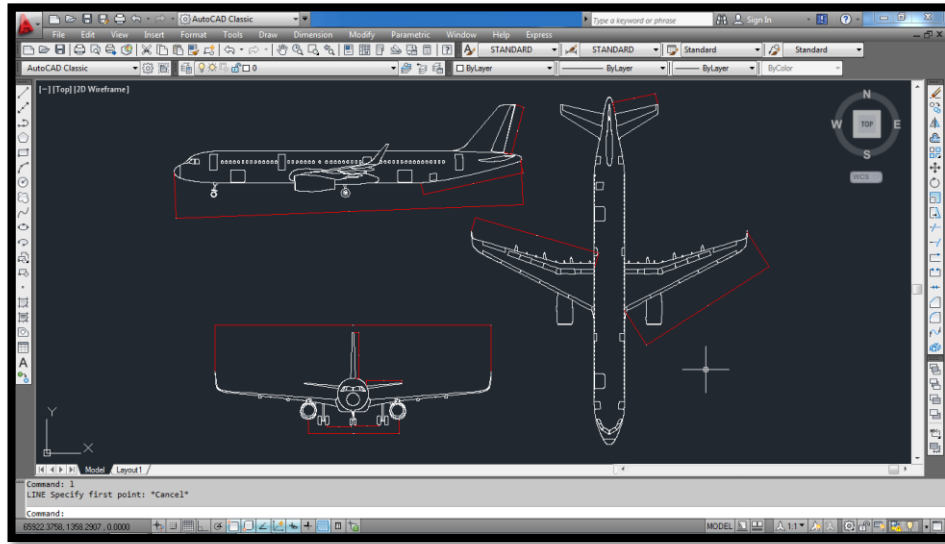
CAD yazılımları 1970'li yılların başında ticari olarak kullanılmaya başlansa da araştırma ve geliştirme çalışmalarıyla beraber 2B yazılım programların yerini zamanla 3B CAD yazılımları almıştır. 1972 yılında MAGI (Mathematics Application Group, Inc.) şirketi tarafından Syntha Vision isimli program, ticari amaçla CAD yazılımı yerine nükleer radyasyona maruz kalmanın 3B analiz programı piyasaya sürülmüş, yazılımların geliştirilmesiyle birlikte CAD programlarına ilgi artmıştır. 1975'li yıllarda Kenneth James Versprille, Syracuse Üniversitesindeki doktora tez çalışmasında CAD app of the B-Spline Approximation Form olarak ele aldığı konuda CAD yazılımlarındaki üç boyutlu modellerde eğri ve yüzey oluşturulmasını sağlamıştır. CAD yazılım firmaları ticari açıdan genişlemiş, yazılımların kullanımları artmasıyla beraber rekabet alanı doğmuştur. Uzay, otomotiv ve elektronik şirketleri CAD yazılımlarını alanlarına dahil ederek ticari boyutta satın alımlarına başlamıştır.

Herb Voelcker, 1980'li yıllarda CAD yazılımlarını ticari boyutta 3B katı modelleme programında kullanılan PADL (Part and Assembly Description Language) katı modelleme yazılımını piyasaya sürmüş, tasarım anlamında bilgisayarların farklı alanlarda kullanımına öncü olmuştur. Katı modelleme programları Romulus (Shape Data), yüzey modelleme programlarının

geliştirilmesiyle PADL-2 ye dayanan Unigraphics (NX) tabanı kullanılarak Fransız Dassault Systems CATIA yazılımı oluşturulmuştur.

1980lerin başında Personal Computer adı altında bilgisayar fikri ortaya atılmış, IBM firması tarafından ilk bilgisayar 1981 yılında üretilerek piyasaya sürülmüştür. Autodesk, kurulmasıyla beraber 1982 yılında bilgisayarlar ilk kez CAD yazılımı olan AutoCAD Release 1'i kullanıcılara tanıtımını yapmış 1988 yılında Pro Engineer çizim programı piyasaya sürülmüştür. CAD'in gelişmesiyle beraber 1990'lı yılların başında B-REP (Boundary Representation) teknolojisi katı modelleme çekirdeklerinin, ACIS (Spatial Corp. Technology) ve Parasolid (Shape Data Ltd.) tarafından gelişiminde önemli derecede etkisi olmuştur.

1990'lı yıllarda CAD programının havacılık, otomotiv gibi kurumsal şirketler tarafından önemli sözleşmeleri yapılmıştır. Mercedes, Chrysler, Honda gibi büyük firmalar CATIA ile çalışırken; Caterpillar, Pro-Engineer ile çalışmaya başlamıştır. General Motors ise Unigraphics kullanmaya karar vererek MDM ve E/Unigraphics 1991'lerin sonunda Electronics Data Systems Corporation (EDS) tarafından satın alınmıştır.



Şekil 7. AutoCAD Uçak Çizimi (URL-7).

2000'li yılların başında web tabanlı yazılımlar ortaya çıkmaya başlamış Autodesk firması tarafından ilk web tabanlı CAD yazılımı piyasaya sürülerek AutoCAD 2000 kullanıma açılmıştır. Autodesk firması ilk kez web tarayıcıları üzerinden çizimleri üretme olanağı sağlamıştır (Şekil 7). Unigraphics, I-DEAS

firmasının birleşmesiyle beraber 2001 yılında I-DEAS tarafından 3B çizim programı, Unigraphics'in üreticisi UGS Corp. tarafından satın alınarak Unigraphics ve I-DEAS firmalarının ortak geliştirmesiyle NX isimli 3B çizim programı piyasada yerini almıştır. Alman Firması Siemens, UGS Corporation şirketini satın alarak Siemens PLM Software adını almıştır.

Günümüzde birçok şirket 1990'lı yılların sonlarından itibaren kendini bu alanda geliştirerek varlığını sürdürmüş, NX, Solid Works, CATIA, 3DS Max gibi çizim programlarını farklı alanlara taşımasıyla birlikte yaygın olarak kullanmıştır.

2.3. Üç Boyutlu Yazıcılar

Üç boyutlu baskı, iki boyutlu çizimlerinin bilgisayar destekli programlarla modellenmesi üzerine polimer, reçine, kompozit, seramik ve diğer malzemeler ile katmanlı bir şekilde üç boyutlu üretilmesidir. Bu işlemi gerçekleştiren cihazlara ise üç boyutlu yazıcı adı verilir. Üç boyutlu yazıcıların en önemli özellikleri el ile üretilmesi zor, imkansız ve karmaşık nesneleri kolay bir şekilde üretebilme yöntemidir. 1960'lı yıllarda ilk kez Sketchpad'in kurucusu Ivan Sutherland tarafından 3Boyutlu dijital modelleme (Computer Aided Design - CAD) geliştirilmiştir. Gerçek nesnelerin özel bilgisayar yazılımları sayesinde 3Boyutlu dijital modeller oluşturulmuştur. 3Boyutlu dijital modelleme, nesnelerin sanal ortamda oluşturulması ve oluşturulan nesnenin somut bir şekilde hayata geçirilmeden önce nasıl işlev göreceği ve ne şekilde görüneceğine dair kesin bir benzerlik sunmaktadır. 3Boyutlu dijital modelleme teknolojisi nesnelerin estetik görünümünü, genel bütünlüğü geliştirmek ve düzenlemek amacıyla kullanılmaktadır. Tasarımlarda bir nesnenin üretilmeden önceki temel düzeninin ve yapısal anlamda genel bütünlüğünün tamamen değişimine olanak sağlar.

1981 yılında Japon mucit Dr. Hideo Kodlama, foto polimerleri ve ışınlarını kullanan hızlı bir prototipleme sistemi geliştirdiğini açıkladı ve bu sisteme "rapid prototyping" adını verdi. Günümüz yazıcıların çalışma prensibinin temellerini atan mucit SLA tipi ilk 3B yazıcıyı icat etmiştir. Günümüz kırıntıların arasında reçine kullanılarak modelleme yapan yazıcıların atası 1981'de ortaya çıkmıştır ancak maddi imkanların yetersizliğinden dolayı patentini almayı başaramamıştır (<https://www.robotdiyarı.com>, [13.05.2023]).

Üç boyutlu yazıcı teknolojisi 1970’li yılların sonlarından itibaren günümüze kadar gelişerek gelmiş, 1984 yılında 3D Systems Corporation firmasının kurucusu Charles HULL tarafından ilk üç boyutlu yazıcı üretilerek hayata geçirilmiş ve ilk kez SLA tipi 3B yazıcı teknolojisine ait patenti almaya hak kazanılmıştır. Üç boyutlu yazıcılar, maliyetlerin yüksek olması ve yazıcıların boyutları gereği çoğunlukla prototip üretiminde kullanılmıştır. “Dünya çapında 3B yazıcı üretimini ticari olarak gerçekleştiren yüz seksen üç şirket bulunmaktadır (Çallı ve Taşkın 2015:7).”

3B yazıcılara yönelik gerçekleştirilen çalışmaların geniş bir coğrafi alana yayıldığı ve birçok ülkede bu çalışmalara rastlandığı görülmektedir. Bu araştırmaların özellikle gelişmişlik düzeyi yüksek ve yüksek teknolojik çalışmaların sıklıkla yürütüldüğü ABD, Güney Kore, Çin, Japonya, İngiltere ve Almanya gibi ülkelerde sıklıkla yayınlandığı söylenebilir. Bu durum teknoloji üretiminin ve uygulamalarının gelişmişlik düzeyi ve teknoloji üretim oranı ile benzerlik gösterdiği fikrini ortaya çıkarmaktadır (Yıldırım, vd., 2018:176).

Charles Hull, 1988 yılında 3D Systems tarafından üretilen SLA-250 isimli yazıcıların tanıtımını yapmıştır. Aynı yıllarda SLS ve FDM teknolojilerini Scott Crump tarafından bulunmuş, Stratasys isimli 3B yazıcı şirketi kurulmuştur. Yazıcıların firmalar tarafından kullanımı yaygınlaşarak geliştirilmiş farklı modeller üretilerek (Massachussets Institute of Technology – MIT) mürekkep püskürtmeli yazıcılarda kullanılan kodlama teknolojisi kullanılarak yeni bir teknolojiyle geliştirilme imkanı sağlanmış “3 Dimensional Printing” ismi ortaya çıkmıştır. Massachussets Institue of Technology (MIT), temeli inkjet baskı teknolojisi olmasıyla beraber nişasta ve alçı bazlı toz malzemeler ile su bazlı sıvı bağlayıcıları kullanarak çeşitli nesneler ve modeller üretebilen Z402 model yazıcı geliştirilmiştir. “Üç boyutlu yazdırma ya da diğer ve daha genel bir kapsam sunan ismi ile Hızlı Prototipleme teknolojileri, gün geçtikçe artan kullanım alanları bulmakta ve üretim uygulamalarına yeni bir boyut kazandırmaktadır (Güneş, vd., (2020:2).”

Eklemeli üretimin (Additive Manufacturing) gelişimi hızlanmış, 3B yazıcı üreticileri ortaya çıkarak yeni nesil teknolojilerle 3B modelleme araçları ve bilgisayar destekli katmanlı imalat sistemlerini (Computer Aided Manufacturing - CAM) bir sonraki seviyeye taşımışlardır. 3B baskının endüstriyel kalitesini ön planda

tuttuğu prototip ve üretimlerden dünya çapında plastik ve farklı hammaddeler kullanarak SLS (Seçici Lazer Sinterleme) teknolojisi tanıtılmıştır. Üç boyutlu yazıcıların 1995 yılında pazara girmesiyle beraber Z Corporation tarafından MIT teknolojisinin lisans ücreti ödenmiştir. 2005 yılında ilk yüksek çözünürlüklü renkli yazıcılar üretilmiş ve Z510 Spectrum modeli hayata geçirilmiştir.

Alınmış olan patentlerin sürelerinin dolması ile 2004 yılında RepRap açık kaynak projesi ile 3B baskı sıradan kullanıcılar için ulaşılabilir olmuştur. Günümüze uzanan süreçte birçok topluluk tasarımlarını, yöntemlerini, bilgi ve deneyimlerini internet ortamından paylaşarak 3B baskının yaygınlaşmasını sağlamıştır (Işıktaş, 2018:1195).

2005 yılında Dr. Gordon, RepRap isimli açık kaynaklı projeyi herkese ulaştırmayı amaçlamak için oluşturmuş, 3B. Yazıcılarda kullanılan açık kaynak kodları ortaya çıkmış ve maliyetleri oldukça düşürmüştür. Bu sayede 3Boyutlu yazıcılara firmaların aksine sıradan insanların erişimleri kolaylaşarak artmış ve herkes tarafından geliştirme imkanı sağlanmıştır. Proje kapsamında Markerbot markalı ilk 3B yazıcı açık kaynak kodlarıyla üretilmiştir. Böylelikle 3Boyutlu yazıcılar kolay kullanımı ve ucuz maliyeti ile daha yaygın bir hal alarak günümüze kadar gelmiştir. “2008 yılında Object Geometries şirketi, Connex500 ile aynı anda farklı malzemeler kullanarak ürün üretmiştir. 2009 yılından itibaren Makerbot ve 3D Systems’in geliştirmiş olduğu Cubify gibi modeller sayesinde ev tipi üç boyutlu yazıcıların satışları giderek artmıştır (Çelik ve Çetinkaya, 2018:151-163).”

Üç boyutlu yazıcıların geliştirilmesiyle beraber yazıcıların pek çok alanda kullanılması mümkün hale gelmiş tıp, sağlık, otomotiv, havacılık, tekstil, gıda, uzay, mimari, inşaat ve sanat gibi birçok alanlarda geliştirilerek kullanılması yaygınlaşmıştır. 3B baskı teknolojisi ilk olarak tıp alanında 1990’larda diş implantları ve kişiye özel protezler gibi tıbbi amaçlar için kullanılmış olsa da farklı alanlarda da hızla gelişme kaydetmiştir.

2008 yılında, başka bir tıbbi uygulama sayesinde 3B baskı daha da büyük bir medya varlığına ulaşmış: ilk 3B baskılı protez uzuv üretilmiştir (Şekil 8). Biyolojik bir uzvun tüm parçalarını içeren bu harika medikal 3D baskı projesi, bir montaja gerek kalmadan “olduğu gibi” basılmıştır. Günümüzde, 3D tarama ile birleştiğinde,

3B baskılı medikal protez ve ortez hastaya ulaşmak için gittikçe daha ucuz ve daha hızlı bir hal almıştır. Dahası, bu protezler giderek daha fazla optimize edilmekte olup hastanın morfolojisine uyarlanmaktadır (www.3dbaskial.com, [18.05.2023]).



Şekil 8. 3B Baskılı Protez Uzun (URL-8).

Hızlı prototipleme makinelerinin çalışma prensiplerindeki ortak nokta, bilgisayar ortamında tasarlanmış olan bir üç boyutlu bir ürünün, STL vb. uygun dosya biçimlerinde hazırlanıp, bu makineler tarafından katmanlar halinde üretilmesidir. Ancak, katman oluşturma tekniğindeki farklılıklar ile kullanılan malzemenin çeşitliliği, farklı tekniklerin kullanılmasını zorunlu kılmıştır (Özgüven, 2015:170).

Buna bağlı olarak bu yazıcıların çok çeşitleri bulunmasıyla beraber kullandıkları teknoloji açısından temel yazıcılar dört ana grupta görülmektedir (Tablo 1).

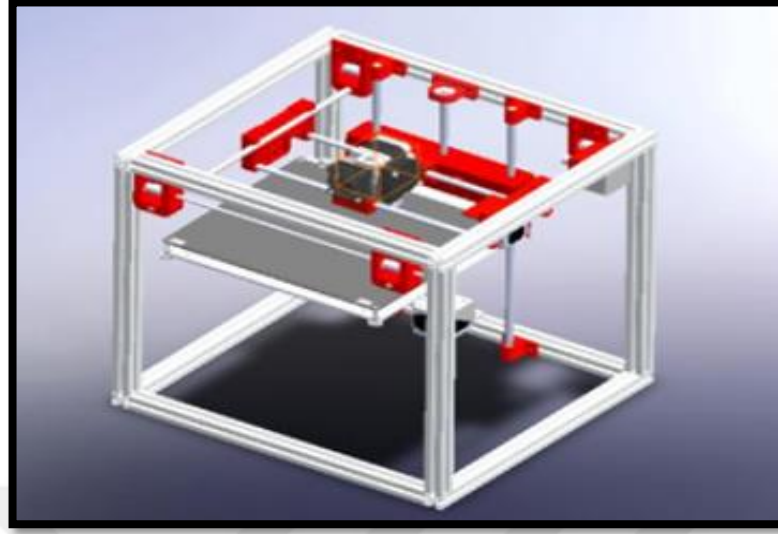
Tablo 1: Üç Boyutlu yazıcıların şematik tablosu (Hasekioğlu, Kişisel Arşiv 2023).

ÜÇ BOYUTLU YAZICILAR	
■	KARTEZYEN YAZICILAR
■	DELTA YAZICILAR
■	SCARA YAZICILAR
■	POLAR YAZICILAR

2.3.1. Kartezyen Yazıcılar

Kartezyen yazıcılar, FDM sistemi kullanan ve kullanıcıların en çok tercih ettiği yazıcı modelidir (Şekil 9). Çok yönlü hareket kabiliyeti olan bu yazıcı modeli X,Y ve Z (yukarı/aşağı, sağa/sola ve öne/arkaya) hareketlerini gerçekleştirebilen 3B yazıcı tipidir. Kartezyen 3B yazıcılardaki baskı yatağı genellikle Z ekseninde hareket eder. Ekstrüder, bir kızak üzerinde dört yönde hareket edebildiği X eksen ve Y eksen üzerinde durmaktadır. Tablanın yukarı ve aşağı hareketliliği (Z eksen yönü) daha kaliteli bir sonuç doğurmaktadır. Diğer yazıcı modellerine göre daha düşük maliyetle üretilebilmesi, kolay montaj edilebilmesi ve performans açısından da oldukça verimli olması diğer yazıcı modellerine göre daha çok tercih edilmektedir. Kartezyen yazıcılar isminden de anlaşılacağı üzere koordinat sistemi kullanan yazıcılardır.

FDM yöntemi, ilk olarak filament denilen termoplastik malzemelerin nozul başlığında eritilerek katman katman birbirine eklenmesiyle şekillendirme yapan bir üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemi olarak ortaya çıkmıştır. Bu yöntemde standart termoplastik malzeme kullanıldığından, mekanik fonksiyonel parçalar üretmek için uygun bir şekillendirme yöntemidir. Ancak diğer üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, yüzeylerde oluşan katman izleri bir dezavantaj olarak gösterilmektedir (Warnier vd, 2014:13).



Şekil 9. Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcı (Evren Vd., 2018:25).

FDM yöntemiyle geliştirilen Kartezyen yazıcının yanı sıra Delta tipi olmak üzere 2 yazıcı geliştirilmiştir. Bu yazıcılar PLA ve ABS hammaddeler gibi farklı malzemeleri de kullanabilmektedir. Kartezyen ve Delta yazıcılar yığma tekniğini kullansa da birbirlerinden özellikleri bakımından farklılık da göstermektedirler. “FDM türü olan delta yazıcılarda, kartezyen tipi yazıcıların aksine, başlık hareketini sağlamak için üç adet diyagonal kol ve mafsallar kullanılmaktadır. Bu sayede oval detayları olan tasarımların biçimlendirmesinde yüksek kalite sağlamaktadır (Demirbaş ve Arlı, 2015:247).”

2.3.2. Delta Yazıcılar

Delta tipi yazıcılar, üç eksenli elips biçiminde hareketlerle form oluşturabilen yazıcılardır. Kartezyen ve delta yazıcılar karşılaştırıldığında formların üretiminde genellikle yüksek ve yuvarlak modellemelerin üretimini rahatlıkla alabilmektedir (Şekil 10). Delta tipi yazıcılarda üçgen yapısı gereği şekillendirme kalitesinin Kartezyen tipi yazıcılara göre boyutu açısından daha elverişli olmasına karşın yatay ve alçak formlu modeller, Kartezyen tipi yazıcılar için daha uygundur. Üç motorlu Delta tipi yazıcılar diğer modellere göre daha hızlı yönetilebilmektedir. Fakat bu tip yazıcılar tıpkı Kartezyen yazıcılar gibi FDM sistemi kullandığı için montaj, ayarlar ve kalibrasyonu sağlamak diğer yazıcı modellerine göre daha zor ayarlanabilir

olması ve çabuk bozulabilmesinden dolayı her baskı öncesi bu işlemler gözden geçirilip, kalibrasyon kontrolü yapmak gerekmektedir.



şekil 10. Delta Tipi  Boyutlu Yazıcılar (URL-10).

Delta yazıcılar, endüstri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Hafif ve küçük objelerin üretiminde daha çok tercih edilmektedir. Ana gövdenin  koldan oluşması ve her kolun aşağı ve yukarı dahi hareket edebilmesi bu yazıcının özelliğini göstermektedir.  kolun ortak hareketi sonucu üretimi gerçekleştiren Delta yazıcılar istenilen objeleri hızlı bir şekilde elde etmektedir. Endüstri gibi birçok alana hitap eden Delta yazıcılar aynı zamanda 3D Delta Robot olarak da bilinmektedir (şekil 11). Hafif ve küçük nesnelerin yapımında tercih edilmesi, boyut ve performans açısından optimum düzeyde üretim ortaya çıkartmaktadır.

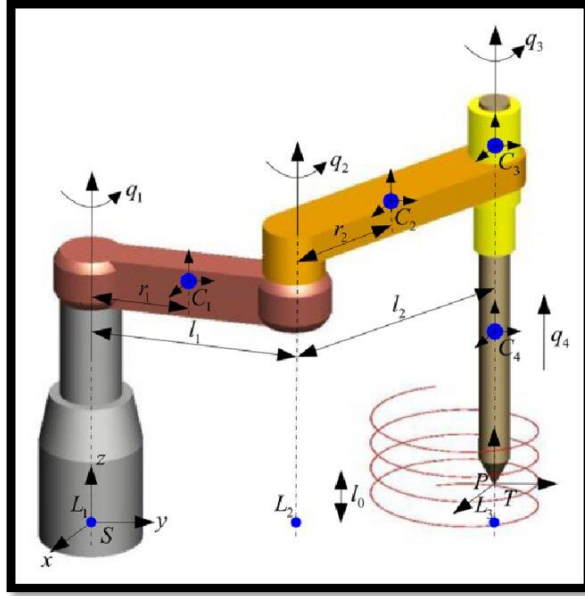


Şekil 11. ABB Delta Robot (URL-11).

2.3.3. Scara Yazıcılar

Scara tipi üç boyutlu yazıcılar, diğer yazıcı modellerine göre farklı bir çalışma mantığına dayanan eklemsi bir yapıya sahiptir. Scara (Selective Compliance Articulated Robot Arm) endüstriyel bir robot olarak üretilmesinin yanı sıra isminden aldığı seçici uyumluluk mafsallı robot kolu olarak da tasvip edilmektedir. Scara'nın yapısı tabanla birleştirilmiş tek ayak üzerinde, insan kollarına benzeyen iki eklemlili kol düzeneği sayesinde bir çalışma prensibine sahip ve baskı esnasında kolun katlanması, sınırlı alanlara uzanması gibi hareketlerle üretim gerçekleştirmektedir. “SCARA'nın XY hareketini kontrol etmek için J1 ve J2 eklemlerinde ters kinematik ve enterpolasyon kullanır. İkinci kolun sonundaki son XY konumu, J1 açısı, J2 açısı, birinci kolun uzunluğu ve ikinci kolun uzunluğunun bir faktörüdür. (<https://www.fanuc.eu>, [20.05.2023])”

Ayrıca silindirik yapısı gereği X,Y ve Z düzlemleri boyunca dört eksenli konfigürasyonda çalışmakta olup, bu çalışma döngüsünde Z eksenini sabit olduğundan dolayı rijit eksenler ve etrafında 360 derecelik bir dönüş hareketi de sağlamaktadır (Şekil 12).



Şekil 12. SCARA Robotunun Şematik Diyagramı (Zhang, 2021: 3).

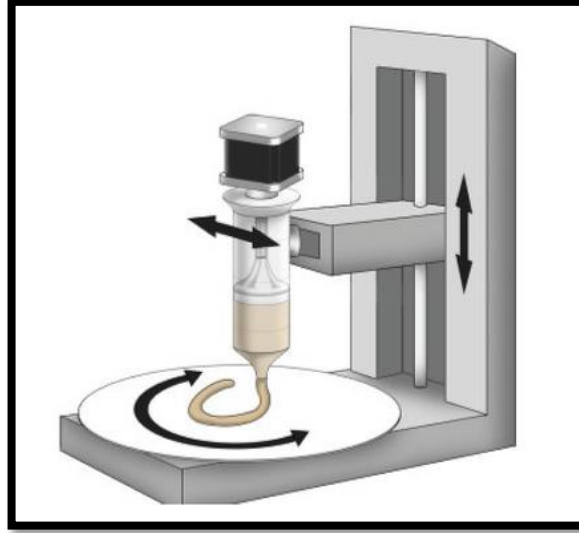
Scara yazıcılar, günümüzde eklemeli üretim (Selective Compliance) yazıcıları olarak görülmektedir. Tüm eksenleri esnek bir yapıya sahip olmamakla birlikte uyum esnekliği görülmektedir. Bu nedenle seçici uyumluluk ismini almaktadır.

2.3.4. Polar Yazıcılar

Polar tipi yazıcılar, kordinat sistemine dayanan ve yazdırma tabanının sürekli dönen bir tabla üzerinde baskı ağzının yukarı ve aşağı hareketli bir sistemle üretim gerçekleştirmektedir. Step motor aracılığıyla itirme işlemi gerçekleşen hammadde baskı ağzından çıkışı gerçekleştirerek üretime hazırlanmaktadır. Ekleme üretim (Selective Compliance) yazıcılarda en basit model ve çok yaygın kullanılmayan yazıcı modelidir.

Hareketli mekanizmalar, kartezyen tipi 3 boyutlu yazıcılarda gördüğümüzden çok farklıdır. Sabit bir platform yerine, polar tipi 3 boyutlu yazıcıların baskı yatağı dönebilir, sola ve sağa hareket edebilir veya ileri ve geri hareket edebilir. Bu, neredeyse sabit olan bir baskı yatağına sahip olmasını mümkün kılar ve yalnızca başka bir katmana geçerken yukarı ve aşağı hareket eder. Bu tasarım, polar tipi 3 boyutlu yazıcıların çok daha küçük bir alan kullanarak mükemmel bir yapı hacmi oluşturmasını sağlar (Efe, 2020:30).

Günümüzde çok yaygın kullanımının olmaması ve yazıcının tasarımı gereği 3Boyutlu polar yazıcılar, Kartezyen tipi yazıcılardan daha maliyetli olması sebebiyle çok tercih edilmemektedir (Şekil 13).



Şekil 13. Polar Tipi yazıcı (URL-13).

2.4. Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Uygulama Teknikleri

Tablo 2. Katmanlı Üretim Teknikleri (Hasekioğlu, Kişisel Arşiv 2023).

KATMANLI ÜRETİM TEKNİKLERİ	
■	İŞIKLA KÜR TEKNİĞİ
■	TOZ BAĞLAMA TEKNİĞİ
■	HARÇ YIĞMA TEKNİĞİ
■	TABAKA YIĞMA TEKNİĞİ

2.4.1. Işıklı Kür Tekniği (SLA)

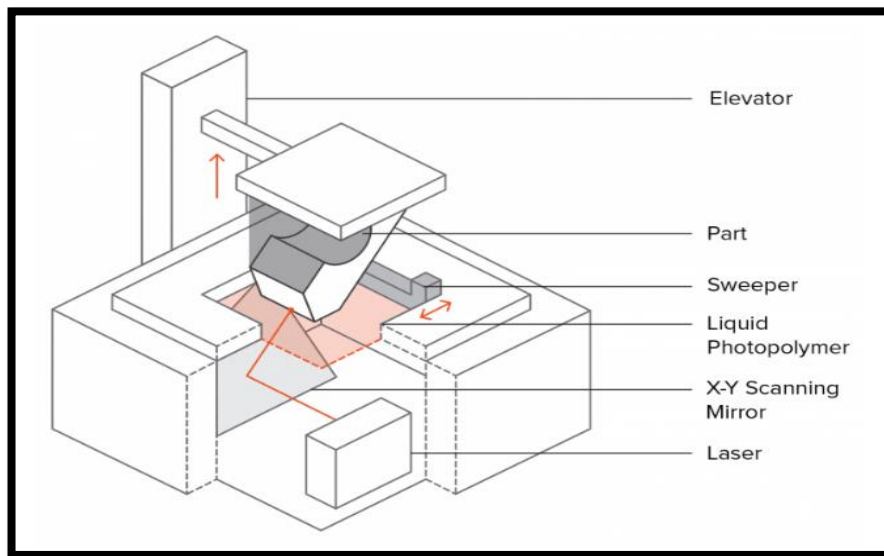
Modellerin ultraviyole lazerler ile reaktif ortamda reçine ile katman kürlenmesiyle oluşturulma sürecine, ışıkla kür tekniği adı verilir. Baskı sırasında tabanda sınırlandırılan modellerin, katman yüksekliği boyutunda z eksenineyle beraber hareketi ile tabandan tavana kadar her katmanda lazer yardımıyla kalınlığın belirli

kesitlerle krlenmesi sonucu modeller oluşturulur (şekil 14). Sıvı reçine içerisinden oluşturulan modeller kurtarılarak fazla parçaların modellerden temizlenmesiyle beraber ortaya çıkartılır.

Fotopolimer, ışık enerjisine maruz kaldığında kimyasal reaksiyona uğrar ve yapısında değişmeler olur. Bu teknolojiyi kullanan cihazlarda, hızlı bir şekilde katman inşasını bitirmek için ve daha ucuz olmasından dolayı, lazer gibi düşük güçlü ışık kaynakları kullanılarak, parçanın tam olarak kr olmasına yetecek kadar enerji verilmez (zgven, 2015:170).

Krleme derecesinin yeterli olmadığı durumlarda ultraviyole (morötesi ışıklı alan) fırınlarda ekstra modellerin bekletilmesi sonucu krleme sonrası işlem (post curing) gerçekleştirilerek tamamlanır. Işıkla kr teknolojisi, tekniği bakımından kendi içerisinde ikiye ayrılarak tarama ve maskeleme tekniğiyle gösterilebilir.

Tarayarak kr tekniği, nadir olarak katı ve genellikle sıvı haldeki fotopolimer hammaddenin çeşitli cihaz ve teknolojilere bağlı kullanılmasıyla; cihaz üzerinde belirlenen modellere göre, işaretlenen bölgelerin noktasal bir ışık ile taranmasıyla beraber kr işlemi gerçekleştirilir. Genellikle aynalar yardımıyla yn kazandırılan lazer kaynağı kullanılır. Bu yöntemden farklı olarak pahalı lazer kaynakları yerine, kızılötesi ışınlar kullanılarak mercekte toplanan ışık kaynağıyla kr yöntemleri gibi tekniklerde vardır.



şekil 14: Işıkla Kr Tekniği (SLA) Yapısı (URL-14).

Maskleme kür teknolojisi, kuvvetli bir UV ışık kaynağı ve ışık maskesi ile aynı hammaddeler kullanılarak oluşturulma esnasında yüzeyin belirlenen noktalarda aynı anda kür edilmesiyle beraber, belirlenen bölge dışarısında kalan istenmeyen bölgelerin ışığa maruz kalmasını önleyerek maske ile kür işlemi gerçekleştirilir.

2.4.2. Tabaka Yığma Tekniği (LOM)

Tabaka Yığma (Laminated Object Manufacturing) tekniği, katı haldeki hammaddeler ile hassasiyet ve hıza bağlı olarak ince tabakalar halinde lazer ışık yardımıyla katmanlı üretim teknolojisidir. Katı bir nesne oluşturmak için birbirini izleyen yatay katmanlara hammadde ekleyerek, biriktirerek ve katılaştırarak 3 boyutlu modeller oluşturur. CAD diyagramının geometrik koordinatları ile yollarını kesen lazer ışınları veya bıçaklar kullanılmasıyla şekilleri oluşturmada katı hammaddeler kesilerek modeller oluşturulur. Oluşturulma esnasında kesilen hammaddeler katmanlı bir şekilde birleştirilebilir ve diğer prototip tekniklerinden daha hızlı ve uygun maliyetli modellerin oluşumuna olanak sağlar. Tabaka yığma teknolojisi diğer tekniklere kıyasla oluşturulacak nesnelerde doğruluk ve hassasiyet tam anlamıyla sağlamaz.

2.4.3. Toz Bağlama Tekniği

Toz Bağlama tekniği, hammadde olarak plastik, metal, seramik gibi malzemelerin kullanıldığı nesnelerin katmanlı oluşturulma sürecinde toz haldeki hammaddenin ince bir kat ile yayılması ve nesnelerin oluşum aşamasında işaretlenen kısımların ısıtılarak veya yapıştırılarak birbirine bağlanması sonucu oluşturulur. Toz haldeki hammadde bu bağlanma sonucunun gerçekleşmediği katmanlarda bir destek oluşturarak nesnelerin ekstra destek yapısına ihtiyaç duymaksızın üretimini gerçekleştirir. “Bu üretim teknolojileri, seramik malzeme kullanılarak Toz Bağlama (Inkjet Printing-Powder Binding), SLS (Seçici Lazer Sinterleme) ve Harç Yığma (extruder) yöntemleri ile de üretim yapılabilir (Martinez ve Can, 2016:4).”

Toz bağlama teknolojisi, toz haldeki malzemelerin ısıtılması ve yapıştırılma yöntemi ile kendi içerisinde “seçmeli lazer sinterleme (SLS) tekniği” ve “yapıştırıcı ile toz bağlama tekniği” olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Seçmeli Lazer Sinterleme, toz haldeki hammaddenin lazer gibi enerji kaynakları kullanılarak, ısı ile eritilmesi

ya da sinterlenerek birbirlerine bağlanması sonucu nesneleri oluşturma tekniğidir. “SLS, sinterlemek için yüksek güçlü bir lazer kullanır, örneğin CO ve Nd:YAG kullanmak yerine 3 boyutlu bir model oluşturmak için polimer tozları toz parçacıklarını birbirine yapıştırmak için sıvı bağlayıcı malzemelerdir (Bethany vd. 2014: 3240).” Bu teknik piyasada bulunan 3B modelleme teknolojisinde kullanılan programların nesneleri oluşturma sonucu tasarlanan modellerin, günümüzde birçok katmanlı üretimde kullanılan standart makinaları kapsadığı “STL” uzantılı formattaki dosyaları da destekleyen bir yöntemdir. Bu teknik ile endüstriyel üretimlerin yanı sıra sanatsal objeler de rahatlıkla üretilmektedir. Üretim aşamasında plastik, metal, seramik vb. gibi hangi hammaddelerden oluşturulacağı belirlenerek objenin oluşturulması için toz halde hammadde kartuşlara aktarılır. Isıtılma aşamasında bağlayıcı özelliği kazanan toz haldeki hammadde ince bir şekilde tabana yayılarak oluşturulacak olan objelerin toz haldeki katmanları lazer ile taranır. Modelin olduğu bölgeler lazer ile ısıtılır, modelin olmadığı bölgeler boş geçilir. Bu sayede ısı görerek yakılan bölümler toz hammaddeler sayesinde birbirine tutunarak bağlanır. Kalan bölgeler ise toz halde kalarak üretilen modele destek olmaktadır. Sinterleme sonucu tozlar bir fırça yardımı ile temizlenmesi ve işlemlerin sonlandırılmasının yanı sıra;

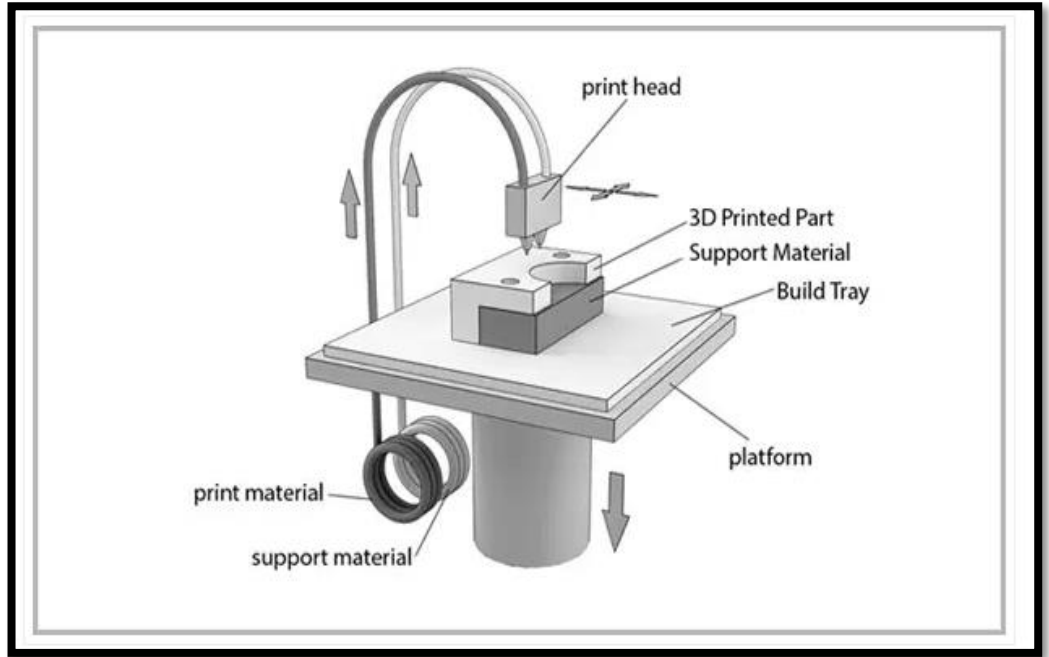
Yapıştırıcı ile Toz Bağlama Tekniğinde, bağlayıcı bir sıvı ile üretim için tabana yayılan toz katman katılaştırılır ve üretim tabanına serilen toza, yazıcı kafasından bağlayıcı özelliğe sahip bir sıvı püskürtülür. Her katman için bu işlem devam ederken, renkli modellerin üretiminde de yazıcı kafalarına çeşitli renklerde bağlayıcı sıvılar eklenir ve modellerin üretiminde belirlenen bölgelere çeşitli renkler püskürtülerek renklendirme işlemi gerçekleştirilir. Bir katmanın bağlama işlemi bittiğinde yeni bir toz katmanı oluşturulur ve her katman için bu işlemler tekrarlanır. Model oluşturulduktan sonra birbirine bağlanmayan fakat modelde destek görevi gören tozlar vakum emici malzemeler yardımı ile temizlenerek üretilen parçaların sağlamlığını arttırmak için birkaç saniye reçine içine batırılır. Derecesi ortalama 70 °C ‘ye ayarlanmış fırınlarda iki saat kadar bekletilerek işlem tamamlanmaktadır.

2.4.4. Harç Yığma Tekniği (FDM)

Yığma tekniği, (Fused Deposition Modelling, FDM) lif halindeki termoplastik malzemelerin eritilmesiyle oluşturulan tabakanın aniden soğutulup bir önceki tabakaya ile yapıştırılması esasına dayanan bir sistemdir. Deneysel araştırmalar, termoplastik sertleştirici malzemeler karıştırılarak ahşap, metal ve seramik ile kompozit hale getirilebilen modelleme çalışmaları da yürütmektedir (Özgünoğlu 2014:218).

Harç Yığma Tekniğinde (Fused Deposition Modelling – FDM), oluşturulacak olan modelin katmanlarına genellikle macun kıvamında bir hammadde ile belirlenen kısımlara kontrollü olarak uygulama gerçekleştirir (Şekil 15). Püskürterek harç yığma ve sıvama yöntemiyle harç yığma tekniği uygulama olarak kendi içerisinde ikiye ayrılmaktadır.

Püskürterek harç yığma tekniği, akışkan haldeki hammaddenin bilgisayar desteği ile kontrol sayesinde nozzle aracılığıyla damlacıklar halinde yüzeye püskürtülmesi sonucu gerçekleşmektedir. Genellikle nozzle kısmı ısıtılarak sıvı hale getirilmiş olan hammadde kullanılarak püskürtme işlemi gerçekleştirilir ve işlem sonrası soğuyarak sertleşmesi sağlanır. Böylece istenilen objeler elde edilmiş olur.



Şekil 15. Harç Yığma Tekniğinin Baskı Şablonu (URL-15).

Sıvama yöntemiyle harç yığma tekniğinde ise, oluşturulacak obje için macun kıvamındaki hammaddenin belirtilen bölümlere sıkıştırma (extruding) işlemi ile gerçekleşir. Hareketli veya sabit tüp içerisinde bulunan hammaddenin, oluşturulan tasarımlara göre uygun bir biçimde harç yığma yöntemi ile gerçekleştirilmesi sonucu istenilen form elde edilir. Bu tür cihazlarda gıda hammaddesinden seramik hammaddesine kadar birçok materyal kullanılabilir.



III. BÖLÜM

3. SERAMİKTE ÜÇ BOYUTLU YAZICI ÇEŞİTLERİ

Üç Boyutlu yazıcılar hayatımızın her alanına girmesiyle beraber sanat alanında da görülmektedir. Bu alanlardan bir tanesi de seramiktir. Seramik kullanım alanı gereği geniş bir yelpazeye sahiptir. Plastik yapısı gereği kolay şekillendirilebilen seramik hammaddeler geleneksel yöntemli üretimlerden günümüzde kullanılan son teknoloji uygulamalara kadar birçok teknik ve çalışmalar da görülmektedir. 3B baskı teknolojileri, dijital ortamda tasarlanıp hazırlanmış modelleri destekleyici programlar yardımıyla çeşitli dosya formatlarına getirilmesiyle beraber farklı hammaddeler ile somut nesneler üretebilen makinelerdir. 3B yazıcıların en büyük avantajı, tasarımların ekstra model ve kalıba ihtiyaç duymadan hızlı üretimini gerçekleştirebilmesidir. Seramik hammaddenin 3B makine üzerinde akışı kontrol edilebilir, baskı boyunca hassas hızlara erişerek baskı kalitesini arttırabilmektedir. Hata payı minimum seviyelere çekilerek seramik objelerin yüzeyinde istenilen sonuç elde edilmektedir. Seramik hammaddelerin yapısı gereği baskı esnasında ve sonrasında oluşan atıklar/fazlalıklar geri dönüşüm ile yeniden 3B yazıcılara kazandırılarak şekillendirme yöntemine olanak sağlanmaktadır. Elle üretilmeyecek karmaşık bir tasarımın düşük maliyetle kısa süre içerisinde minimum hata ile seri şekilde üretebildiği gibi eklemeli imalat sistemi olarak ortaya çıkmış olması, geleneksel yöntemlerle üretimi zor olan karmaşık modelleri katmanlı baskı yöntemi olan harç yığma tekniği ile üretmiş (CAM) ve bu teknoloji imalat devrimi olarak kabul edilmiştir. 3B yazıcıların avantajı olduğu kadar dezavantajları ise, baskı esnasında oluşabilecek seramik yazıcı başlığının (nozzle) tıkanması sonucu baskı alınamaması ve 3B motorlu kartezyen seramik yazıcılarda hammaddenin sertliğinin ayarlanamaması sonucu motor gücünün yetersiz olmasına bağlı baskının yapılamaması görülebilir. 3B seramik yazıcılarda hammaddenin içerisinde hava kalması sonucu baskı esnasında objelerin yüzeyinde deformasyona sebebiyet vermektedir. Baskı sonucu doğru kurutma işlemi gerçekleştirilmezse seramik formlarda çatlamlar görülmektedir.

Hızlı prototip üretimi bütün yazıcıların temeli olduğu gibi 3 boyutlu seramik yazıcıda da ön planda görülmektedir. Fakat günümüzde prototiplere ihtiyaç

duyulmaksızın doğrudan hammaddeler ile üretim olanağı sağlanmaktadır. 3Boyutlu seramik yazıcılar, bilgisayar destekli modellerin kendilerine özgü tasarlanmış seramik makineler tarafından katmanlı bir şekilde yığma tekniği ile baskı yöntemidir.

Seramiğin 3 boyutlu baskısı ilk olarak Sachs ve Marcus'un arkadaşları tarafından bildirilmiştir. 1990'lardan bugüne kadar, malzeme bilimi ve bilgisayar bilimindeki en son gelişmelerle birlikte, seramik üretimi için özel olarak çok çeşitli 3B baskı teknolojileri geliştirilmiştir (Zhangwei vd., 2019:661-687).

3.1. 3D Lutum Yazıcı

Lutum 3B yazıcı, Vorm Vrij firması tarafından Hollanda da geliştirilmiş seramik hammaddenin yanı sıra gıda gibi kıvamlı malzemelerle aynı anda iki farklı hammadde/kil kullanarak tek bir üretim yapabilen Kartezyen tipi bir yazıcı modelidir (Şekil 16). Vorm Vrij, serbest form anlamına gelmesinin yanı sıra üretimlerinde de hedefledikleri çok yönlülüğü temsil etmektedir. Hollandalı start-up firması, çift seramik ekstrüder sistemi ile geliştirmektedir.



Şekil 16. LUTUM v4 Line Up, DUAL, MXL, Standard (URL-16).

3.2. 3D Delta Wasp Yazıcı

3B Wasp yazıcı, ekonomik ve çok yönlü bir yazıcı olan PowerWasp modelinin geliştirilmesiyle beraber hammadde deposu eklenerek seramik hammaddeleri yazdırabilir bir hale getirerek piyasaya sürülmüştür. 3B baskılarda ihtiyaçları karşılayan ve hassas olmasının yanı sıra çok çeşitli hammaddelerle

alışabilen DeltaWasp modeli firma içerisinde kendi yazıcı serilerini tanklı model için oluşturmuş ve bu alanda gelişme kaydetmiştir (şekil 17).



şekil 17. DeltaWasp 2040 Seramik Yazıcı Modeli (URL-17).

Sürdürülebilir mimarlık kültürel bir yaklaşımdır. Sürdürülebilir kalkınma, uyumun kesin bir koşulu olmaktan çok, kaynakların kullanılması, yatırımların yönlendirilmesi, teknolojik gelişmenin yönlendirilmesi ve kurumsal değişikliklerin mevcut ihtiyaçlardan daha fazla gelecekteki ihtiyaçlarla uyumlu hale getirilmesi gereken bir değişim sürecidir. Binanın evresel sürdürülebilirlik ilkelerine ve 2030 sürdürülebilir kalkınma gündemi tarafından önerilen vizyona artan ilgisi, tasarım ve inşaat yaklaşımını yavaş ama istikrarlı bir şekilde değiştiriyor. Sürdürülebilir mimariye yatırım yapmak, ileri görüşlü olmak, insana ve çevreye uygun bir yaşamın ancak konutlarımızdan başlayarak kamu yararını korumakla mümkün olduğunun bilincinde olmaktır (www.3dnatives.com, [15.06.2023]).



Şekil 18. 3D BigDelta WASP (URL-18).

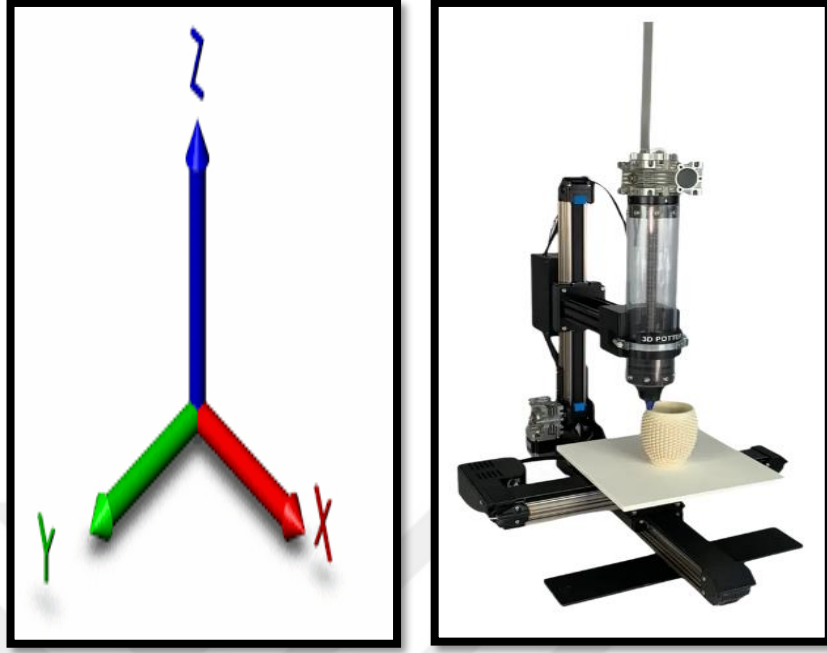
2015 yılında, Wasp firması tarafından bir araştırmayla beraber ev inşa üretimi için 12m yüksekliğinde BigDelta isimli dev bir yazıcı hayata geçirilmiştir (Şekil 18).

2016 yılında Wasp, 3B baskıya ayrılmış büyük bir mobil teknoloji parkına şekil veren, tek bir konteyner içine alınmış mimari ölçekte dev bir inşaat sistemi olan Maker Economy Starter Kit'i piyasaya sürdü. 2018'de Wasp, Evleri basabilen işbirlikçi bir 3B baskı sistemi olan sonsuz 3B yazıcı Crane WASP'ı piyasaya sürdü (<https://www.3dwasp.com/en/about-us/>, [17.06.2023]).

3.3. 3D Potterbot Yazıcı

3B Potterbot yazıcı günümüz teknolojisinin önde gelen isimlerinden olmuş, seramik endüstrisi için geliştirilmiş önemli bir yazıcı modelidir. Hammadde üzerindeki etkisi, yüksek kapasiteli sabit baskı ağızına sahip olması ve stabilitesi optimum olması nedeniyle üretimde minimum hata ile sonuçlar sağlamaktadır. Ekstrüder, hammaddeyi itmek için ekstra kompresör ya da hava gibi dışarıdan herhangi bir güç gerektirmeksizin kendi motorunu kullanmaktadır.

3B Potterbot yazıcı, 3 doğrusal eksenle hareket kabiliyeti olan X, Y ve Z doğrultuları üzerinde hareketlerini gerçekleştirebilen, koordinat sistemiyle çalışan kartezyen tipi yazıcı modelidir. Sağa/sola, öne ve arkaya hareketli tabana sahip tablası, (X, Y) hareketlerini gerçekleştirirken, yukarı/aşağı (Z) düzlemde hammadde çıkışı olan üç eksenle hareketlerini gerçekleştirebilen seramik yazıcıdır (Şekil 19).



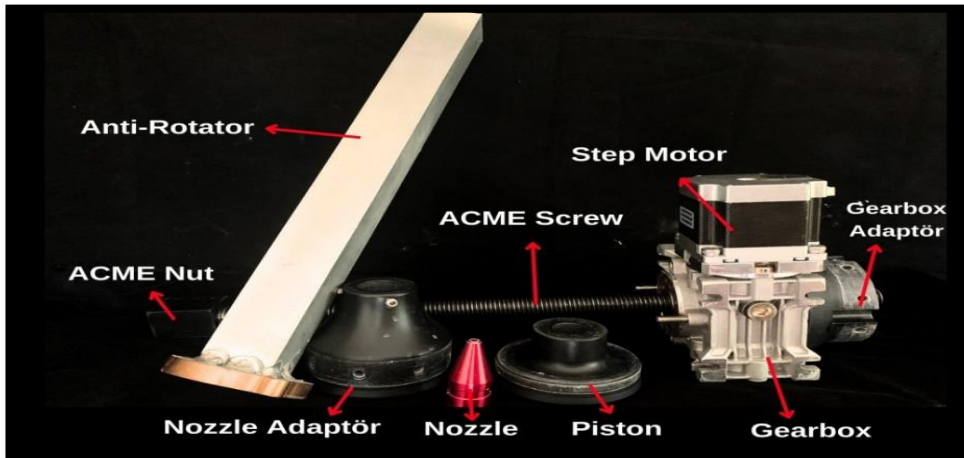
Şekil 19. X,Y ve Z Ekseni / 3B Potterbot Micro 10 Model Yazıcı (URL-19).

Üç boyutlu seramik yazıcıda hammadde deposu olan polikarbonat tüpler, CNC ile işlenmiş 3B Potterbot seramik yazıcı için özel olarak üretilmiştir. Ekstra kuvvete dayanacak şekilde geliştirilmiş olan hammadde deposu, normal tüplere oranla basınca daha dayanıklı bir yapıdadır. Ekstrüder için polikarbonat tüpe entegre edilen silikon nozul adaptörü, tüpleri hızlı bir şekilde demonte olarak lastik contalar yardımıyla değiştirebilmemize ve çamuru basınç altına almamıza da yardımcı bir etken sağlamaktadır (Şekil 20).



Şekil 20. Polikarbonat Tüp, Nozul Adaptör ve Lastik Contalar (Hasekioğlu, Kişisel Arşiv 2023).

Üç boyutlu Potterbot yazıcıda baskıya geçebilmek için nozul adaptörüne bağladığımız ve içerisini hammaddeyle doldurarak hazırladığımız polikarbonat tüp, piston ve gearbox adaptöre montajlanmaktadır. Montajı gerçekleşen polikarbonat tüp, step motorlardan güç alan vida dişlisi (acme screw) ile hammaddeyi sıkıştırmaya başlamaktadır. Diğer yazıcı modellerinde bulunan çamuru itirmek için hava kompresörü gibi dış etkenlere ihtiyaç duymayan 3D Potterbot seramik yazıcı, dahili step motoru kullanmaktadır. Sıkıştırma aşamasında vida dişlisinde bulunan acme nut, step motor haricinde önemli ölçüde ekstra itirme kuvveti sağlamak için güç veren anti-rotator isimli metal koruyucuyla birleşmektedir. Sıkışan hammadde hava kalmayacak şekilde nozuldan üretim yapmak üzere çıkmaktadır (Şekil 21).



Şekil 21. Ekstrüder Şeması (Hasekioğlu, Kişisel Arşiv 2023).

Nozullar (baskı ağız), standart üç boyutlu yazıcılardaki nozul düzeyinin dışarısında bir katman ve yüzey kalınlığına sahiptir. Eloksallı alüminyum maddeden üretilmiş olan nozul ile 1, 3, 4, 5, 6 ve 8mm kalınlığındaki boyutlara kadar, nozul adaptöre montajlanarak baskı alınabilmektedir (Şekil 22). 3B Potterbot yazıcı diğer yazıcı modellerine göre benzersiz ve seramik hammaddenin doğrudan ekstrüzyonu ile üretim gerçekleştirebilmektedir.



Şekil 22. 3B Potterbot Nozzle Boyutları (Hasekioğlu, Kişisel Arşiv 2023).

“Mevcut 3B yazıcı sistemlerinde yazıcıların baskı kapasiteleri baskı alanları ile sınırlı kalmaktadır. Üretilcek parça boyutları arttıkça, 3B yazıcı boyutlarının da artması gerekmektedir (Köbeloğlu ve Çetinkaya 2019:16).” Bu yüzden dolayı günümüz teknolojisinde üç boyutlu yazıcılarda modelleri işleme ve veriye dönüştürmek için çeşitli yazılımlar kullanılmaktadır. Bu programların en büyük özelliği modeli yazıcı ile baskı almadan önce boyut, katman, detay, açı ve teknik özellikleri gibi ince detayları görebilmemize ve düzenleyebilme imkanı sağlamaktadır. “3B yazıcılar modellerden fiziksel nesneler üretebilmek için 3B modelleme yazılımlarına ihtiyaç duymaktadır (Demir, Vd., 2016:485).”

Üç boyutlu teknolojide kullanılan programlar AutoCAD, Ultimaker Cura, Autodesk 3DS Max, Fusion360, Simplify 3D, Vasaro, Blender gibi yaygın olarak ücretli ve ücretsiz şekilde özelleştirilebilir arayüzleri ile 3B modelleme için kullanılmaktadır (Şekil 23).

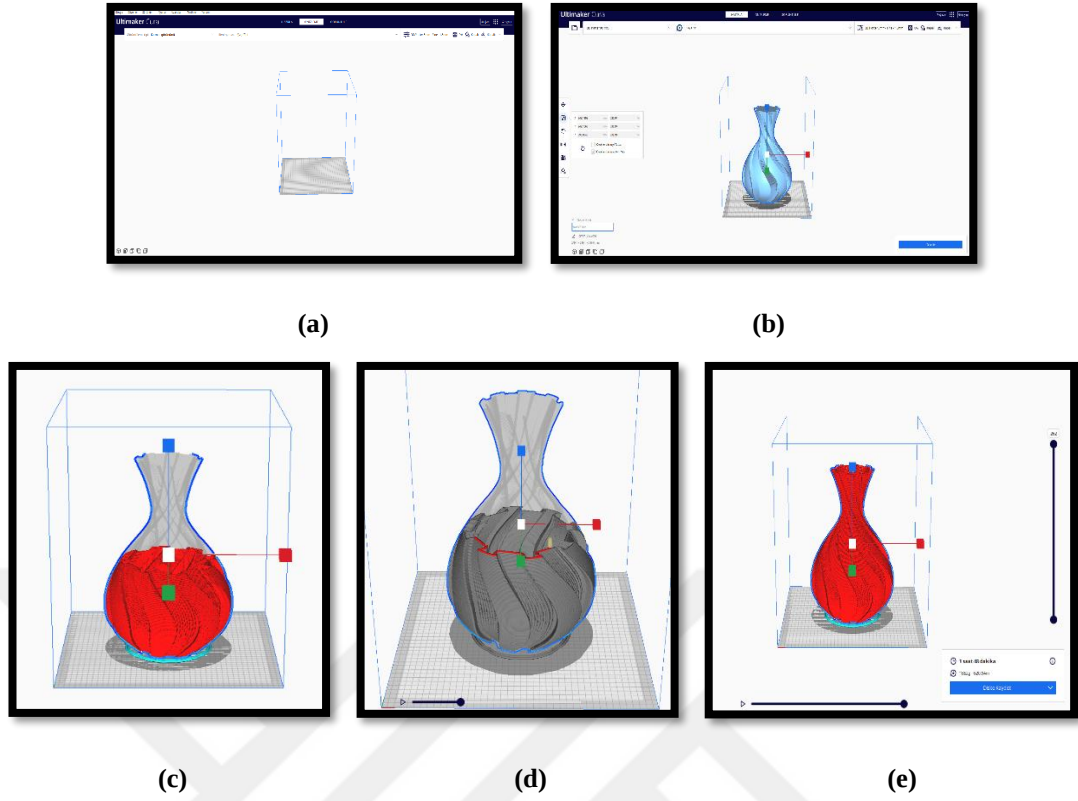


Şekil 23. Çeşitli 3D Yazılım Programları (Hasekioğlu, Kişisel Arşiv 2023).

3B baskı alabilmek için üç boyutlu olarak modellenmiş bir parçanın STL formatında kaydedilmesi gerekir. Bu dosya formatı tüm modelleme biçimleri için bir zorunluluk teşkil etmez ancak dilimleme yazılımları olarak adlandırılan programlar bu format ile uyumluluk sağlamaktadır (Aslan, 2017:53).

Modelleme adımında, bir bilgisayar destekli tasarım programı ya da bir 3B tarayıcı kullanılarak gerçek nesneye ait 3B model oluşturulur. Bu model daha sonra pek çok CAD/CAM yazılımlarında ortak olarak bulunan STL dosya uzantısıyla kaydedilir. Dilimleme adımında, STL olarak kaydedilen 3b model bir dilimleme algoritması kullanılarak belirli kalınlıklarda enine 2B kesitlere ayrılır. Bu kesitler, pek çok otomasyon işlemlerinde ortak olarak kullanılan ve G-Kod olarak adlandırılan kodlara dönüştürülür (Aydın, Vd., 2015:154).

3B modelleri veriye dönüştürüp yazdırmaya hazır hale getirmek için, gerekli düzenlemelerin (boyut, kalınlık, adet, form) yapılması, program arayüz içerisinde gerçekleştirilerek kullanılmaktadır. (Şekil 24). Kablolu, kablolu veya hafıza kartı (SD Kart) aracılığıyla yazıcıya uygun formatta dilimlenen modeller yazıcılara aktararak baskıya hazır hale getirilmektedir.



Şekil 24. Ultimaker Cura Programıyla “STL” Formattaki Modeli “GCode” Olarak Dilimleme (Hasekioğlu, Kişisel Arşiv 2023).

Üç boyutlu Potterbot yazıcıda kullanmak üzere uygun hammadde için Isparta Bölgesi yöre toprağı kullanılmıştır. Yöre toprağının, üç boyutlu yazıcıda kullanılmak üzere tespiti, hazırlık aşamaları, analizleri ve deneyleri ile sonuçlandırılmış en uygun hammadde 3B Potterbot yazıcıda kullanılarak hangi tür bir kil yapısına uygun olduğu ve makinanın azami yetenekleriyle nasıl bir tasarım önerisine cevap verip vermediği test edilerek uygulama çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Killer, yeryüzünde bol miktarda bulunan ve genellikle 2 μm 'den daha küçük tane boyutuna sahip sulu fillosilikatlar olarak bilinmektedir. Killer çoğunlukla sedimanter ortamlarda oluşabildiği gibi mafik magmatik ve metamorfik kayalarda (hem hidrotermal minerali olarak hem de alterasyon ürünü olarak) da oluşabilmektedirler (Semiz, 2017:1237).

Doğru kilin tespiti için çeşitli bölgelerden toprak alınmaktadır. Her bölgenin toprağı farklı olduğu için öncelikle alınan toprağı çeşitli ölçekteki eleklerden geçirerek eleme işlemi yapılır. Eleme işlemi istenmeyen materyallerin toprakla ayrışmasını sağlayarak büyük ölçüde önem taşır. Elenen toprak, su ile birleştirilerek

sıvı şekilde çamur hale getirilir ve tekrar elenerek alçı plakalara yayılarak plastik kıvama erişene dek kurutma işlemi gerçekleştirilir.

“Elek analizi kuru ve yaş olarak iki şekilde yapılır. Alümina, feldspat, kuvars ve benzeri plastik olmayan seramik hammaddelerin tane iriliğinin belirlenmesinde kuru elek analizi, suda dağılan hammaddelerin tane irilik testlerinde de yaş elek analizi yapılır (<https://malzeme.aku.edu.tr>, [13.05.2023]).” Plastik kıvama ulaşan kil çekmeye ve bükmeye dayanır hale gelerek esneklik kazanır. Bir çamurun plastisite özelliği parçacık boyutu, su ve kıvamını büyük ölçüde etkiler. Toprağın içeriği, bağlayıcı özelliği ve plastisitesi tane boyutundan da anlaşılabilmektedir.

3B Potterbot teknolojisiyle kullanmak üzere alçı plakalarda plastiklik kazandırılan kil, içerisinde hava kalmayacak şekilde yoğrulma işlemi gerçekleştirilerek veya Vakum Pres makinası aracılığıyla havası aldırılmış çamur elde edilmektedir. Bu işlemin amacı, seramik yazıcılarda baskı sırasında minimum hata ve yüzeyde oluşacak hava kabarcıklarını önlemektir. Dolayısıyla pişme esnasında da deformasyon oranı en aza indirgenmektedir. Bu sebeple seramik bir ürün oluşumu için başlangıçta yapılacak olan en ufak bir hata doğrudan sonuca etki etmektedir.

3B seramik yazıcılarda en uygun hammaddenin tespiti için testlere dayalı bir analiz yöntemi olan, TPA (Texture Profile Analysis) analizi gerekmektedir. TPA Szczesniak A.S. tarafından kullanılmış olmasına karşın Malcolm Bourne tarafından geliştirilmiştir verilere dayalı bir analiz sistemidir.

Isparta bölgesine ait yöre toprağından alınan örneklerin (TPA) analiz sonuçlarına göre,

Tekstür profil analizi testinde uygulama için sabit plaka üzerindeki kil örneğinin hareketli plaka yardımıyla preslenerek ilk sıkıştırma işlemi gerçekleşir. Sıkıştırma sonrası preslenen plaka kaldırılarak beklemeye geçilir ve ikinci kez presleme işlemi yapılarak sıkıştırma gerçekleştirilir. Sıkıştırma sonrası kilin yapışkanlık, elastiklik, esneklik ve sertlik gibi analiz değerleri bilgisayar destekli TPA makinesindeki verilere dayanarak elde edilir.

Tablo 3. Geleneksel Yöntemle Üretilen Seramik Kilinin TPA Sonuçları (Unal ve Hasekioğlu, 2023:831).

Sertlik (g)	Yapışkanlık (g.s)	Elastikiyet	İç Yapışkanlık	Sakızımsılık	Esneklik
1720,9 ±21.0	- 6707.7±338.4	0,876±0.1	0,693±0.1	1146.8±9.2	0,026±0.001

Çizelgede görülen sertlik değeri (hardness) materyalin püskürtme memesinden dışarı atılması için gerekli olan ekstrüzyon gücünü temsil eder. Küçük parçacık boyutuna (28.3 µm) ve yapışkanlık özelliğine sahip hidrokolloid içermeyen malzemeler püskürtme memesinden akışı zorlaştıran sertlikleri nedeniyle daha fazla güç gerektirmektedir. Bu çalışmada oluşturulan seramik kili de oldukça sert bir yapıdadır, ancak objelerin oluşturulması açısından bu değerler (Tablo 3) kullanılan 3B yazıcıya ve püskürtme memesine (nozul/nozzle) uygun bulunmuştur (Prof. Dr. A.G.K. Çakmakçı'dan aktarım, 2023). Kullanılan 3B yazıcının ekstrüzyon yeteneği bu sertliğe rahatça yanıt verebilmektedir.

Üç boyutlu teknolojiyle seramik üretimi için uygun hammadde tespiti sonrası makinede kullanılmak üzere;

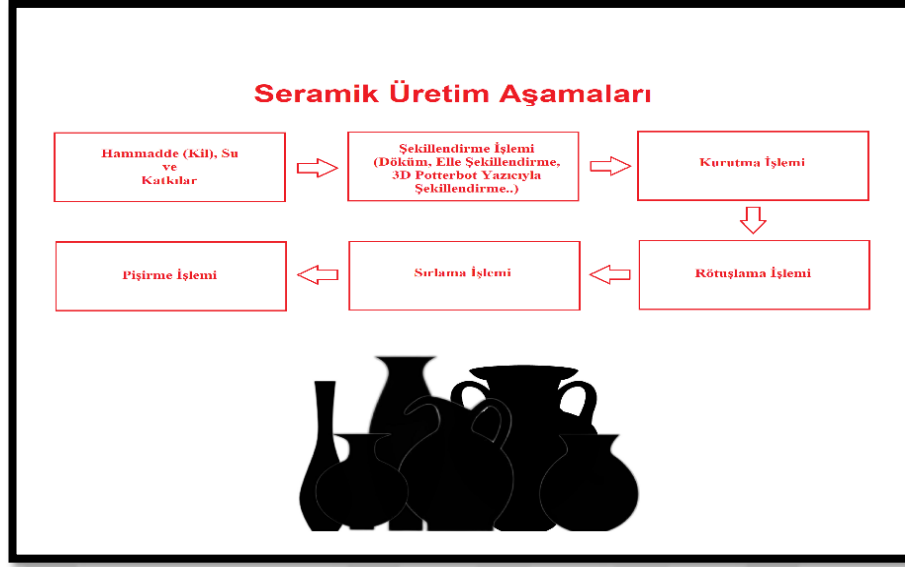
Analizler sonucu uygun hammaddenin elde edilmesi ve 3B seramik yazıcılarda üretim yapmak için en uygun hammadde testler sonucunda kullanılmalıdır. Aksi halde baskı esnasında nozul tıkanması, istenilen kıvamın elde edilememesi, baskı sırasında hammaddenin bağlayıcılık özelliğinin istenilen düzeyde olmaması gibi birçok sorun meydana gelmektedir.



Şekil 25. Geleneksel yöntemlerle hazırlanan ve ekstrüzyon uygunluğu tespit edilen kilin 3B yazıcıda çıkarılış aşamaları ve form görüntüsü (Ünal ve Hasekioğlu, 2023:832).

STL formatlı üç boyutlu dijital modellerin çeşitli programlarla GCODE 'a dönüştürülmesi sonucu makine arayüzü kullanılması ve veri yoluyla komutlar verilerek yazıcıya aktarılması sağlanarak, istenilen modellerin hazırlanan hammadde ile 3B Potterbot seramik yazıcıyla üretimi gerçekleştirilmektedir.

Seramik üretimi; hammaddenin tespiti, çamur hazırlama, 3B Potterbot seramik makineye yerleştirme, form belirleme, şekillendirme işlemi, kurutma, rötuş, ve pişirim olmak üzere çeşitli aşamalardan geçmektedir (Şekil 26).



Şekil 26. Seramik Üretim Aşamaları (Hasekioğlu, Kişisel Arşiv 2023).

IV. BÖLÜM

4. 3B YAZICILARDA KULLANILAN HAMMADDELER

3B yazıcılarda kullanılan hammaddeler genellikle ABS ve PLA gibi sert plastikler olmasına rağmen PETG, HIPS, PVA, Nylon ve TPU gibi çeşitli maddelerin kullanımı da görülmektedir. Yazıcılarda FDM, birçok termoplastik filament kullanabilir ayrıca katman, kalınlık, baskı hızı, doluluk oranı ve yazılımları ile kontrol edilebilir bir teknolojiye sahiptir.

20. yüzyılın son çeyreğinde, bilim insanları tarafından çok çeşitli üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler kullanıldıkları alana, kullanılan malzemeye ve çalışma prensiplerine göre çeşitlilik göstermektedir (Can, 2019:22).

4.1. 3B Yazıcılarda Kullanılan Seramik Hammaddeler

“Seramik bir sanat dalı olarak ele alındığında; estetik, işlevsel yaratıcılık ve becerinin yanı sıra teknoloji gerektiren ve endüstriye yatkın tek ve en eski sanat dalıdır. Neolitik çağdan günümüze kadar, seramik için mutlaka teknoloji kullanılmıştır (Ünal, 1988:730).” Seramik üç boyutlu yazıcılar, tarih açısından 1990’lı yıllara dayanmaktadır. Bu tarihten günümüze kadarki sürede üç boyutlu yazıcıların gelişim sürecine Uluslararası birçok araştırma merkezi, seramik ve sanat alanında katkı sağlamıştır. Seramik üretiminde biçim, boyut ve teknik açısından tarihsel gelişimi, üç boyutlu yazıcıların hayatımıza girmesiyle çeşitleri, çalışma prensipleri ve kullanılan hammaddeler ile beraber yöre toprağı da göz önüne alındığında alışıla gelmişin dışında seramik üretimler gerçekleştirilmiştir.

Isparta yöresi ve yakın çevresi kil yatakları bakımından ikiye ayrılmaktadır.

4.1.1. Neojen Havzalar İçerisinde Bulunan Killer

Neojen havzalar, Isparta ve çevresinde Kuzey, Kuzey Doğu ve Kuzey Batı uzanımlar gösteren yataklardır. Normal faylarla sınırlanmış olan ve 500 ile 1000m arasında tortul kalınlığa sahip, daha çok görsel tortullarla doldurulmuştur. Neojen havzalarını dolduran görsel alttan üste olacak şekilde; çakıl taşı, çamurtaşı, kıltaşı, marn ve traverten özellikli kireç taşları oluşturur. Isparta ve çevresinde yer alan Neojen havzalarda kil düzeyi 20 ile 30 metreye kadar ulaşmaktadır.

4.1.2. Fluviyal Ortamlar İçerisinde Oluşan Killer

Fluviyal killer, Isparta ve çevresinde bulunan dağ arasındaki düzlükler ile ovalar da depolanmış olup, bölgede oluşan killer yöreyi çevreleyen dağ kuşaklarından oluşmuştur. Bu sebepten dolayı killerin yapısı ve bölgedeki kayaların mineralojik yapısı arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır.

Ülkemiz, özellikle kil yatakları açısından oldukça şanslıdır. Isparta ve yakın çevresinde ortaya çıkarılan tarihi kalıntılar, bu bölgedeki kil yataklarının antik dönemlerde işletilmiş olduğunu göstermesi bakımından önemlidir. Bu amaçla, yapılan çalışma kapsamında; Isparta yöresi killerinin kimyasal, mineralojik ve diğer testler açısından seramiğe uygunluğu araştırılmıştır (Ünal Vd., 1999:74).

Seramiğe uygun olabilecek kilerin analizleri üzerine;

4.2. Deneysel Analizler

Seramik hammaddelerinde deneysel analizler; kimyasal, fiziksel ve mineralojik açıdan testler olmak üzere üç başlık altında toplanmaktadır. Yöre toprağında kimyasal analiz yapılmasının yanı sıra, yöre toprağı ile fiziksel test grubu içerisinde bulunan yoğrulma suyu deneyi, kuru küçülme, pişme küçülme, su emme deneyi, sıcaklık testi ve tekstür profil analizi (TPA) deneyleri yapılmıştır.

4.2.1. Kil Örneklerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

Göller Bölgesi dâhilinde muhtelif alanlardan alınan altı farklı kil numunesi üzerinde yapılan değerlendirmelerde; daha çok flüviyal kil yataklarına sahip, Yalvaç İlçe merkezi (K1), Sütçüler İlçe merkezi ve yakınından (K5 ve K9) alınan üç kil numunesinin, yapılan kimyasal ve mineralojik analizler sonucu seramik üretimine uygun killer olduğu (Tablo 4) tespit edilmiştir (Ünal ve Hasekioğlu, 2023:829-830).

Tablo 4. Kil Örneklerinin Kimyasal Analiz Sonuçları (Ünal ve Hasekioğlu, 2023:830).

Eleman (%)	K-1	K-5	K-9
SiO ₂	52.95	47.46	45.42
Al ₂ O ₃	18.93	13.19	22.36
Fe ₂ O ₃	7.70	6.56	9.18
CaO	3.39	11.64	5.98
MgO	1.83	3.74	1.09
Na ₂ O	0.15	0.42	0.34
K ₂ O	3.40	2.07	2.47

4.2.2. Yoğrulma Suyu Deneyi

Yoğrulma suyu deneyi, killerin plastik kıvamda şekil alabilme özelliğine sahip oluncaya kadar verilen su miktarının hesaplanma formülüdür. Plastik kil mercimek formda şekillendirilerek ağırlığı tartılır ve ağırlığı değişmeye dek kurutma işlemi yapılır (Şekil 27).

$$\% \text{ Yoğrulma Suyu} = \frac{(\text{Plastik Ağırlık} - \text{Kuru Ağırlık}) \times 100}{\text{Kuru Ağırlık}}$$



Şekil 27. Kil örneğinin tartılması (Hasekioğlu, Kişisel Arşiv 2023).



Şekil 28. Pişmiş Kil Örneklerinin 12 Saat Suda Bekletilmesi (Hasekioğlu, Kişisel Arşiv 2023).

Yoğrulma suyu deneyi, plastiklik özelliği belirlemek için 3 farklı kil örneği üzerinde test edilmiş ve dereceleriyle beraber (Tablo 5) veriler elde edilmiş olup değerin yüksekliğine göre özlü hammadde olarak görülmüştür.

Tablo 5. Kil Örneklerinin Yoğrulma Suyu Değerleri (Hasekioglu, Kişisel Arşiv 2023).

Yoğrulma Suyu Derecesi (%)	D-1	D-2	D-3
	32.01	33.81	35.44
Görsel			

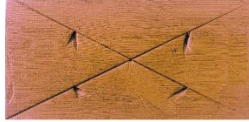
4.2.3. Kuru Küçülme

Kuru küçülme deneyinde, killerin kurutuldukları zaman şekillendirme suyunun kilden uzaklaşmasıyla oluşan küçülme biçimidir. “Kil tanecikleri arasında yer alan su, kilden uzaklaştıkça, tanecikler birbirine yaklaşırlar ve küçülme ortaya çıkar. Killer ne kadar çok su ile şekillendirilirler ise kuru küçülmeleri de o kadar fazla olur. Genelde killerin küçülmelerini etkileyen en önemli özellik, kilin özlülük derecesidir (Arcasoy, 2020:72).”

$$\% \text{ Kuru Küçülme} = \frac{(\text{Plastik Uzunluk} - \text{Kuru Uzunluk}) \times 100}{\text{Plastik Uzunluk}}$$

Seramik killerde kuru küçülme değerleri maksimum %9 olması istenip, kil örnekleri üzerinde testler yapılmış ve küçülme değerlerinde sonuçlar gözlemlenerek veriler (Tablo 6) üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 6. Kil Örneklerinin Kuru Küçülme Değerleri (Hasekioğlu, Kişisel Arşiv 2023).

Kuru Küçülme Değerleri (%)	D-1	D-2	D-3
	4.65	5.90	6.88
Görsel			

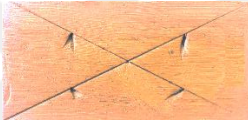
4.2.4 Pişme Küçülme

Kuru küçülmeden sonra kil pişirildiğinde de küçülme devam eder. Bu sebeple küçülmenin nedeni kilin yapısındaki organik maddelerin yanması, gazların uzaklaşması ve karmaşık kristal değişikliği olayıdır.

$$\% \text{ Pişme Küçülme} = \frac{(\text{Kuru Uzunluk} - \text{Pişmiş Uzunluk}) \times 100}{\text{Kuru Uzunluk}}$$

Seramik killerde pişme küçülme değerleri maksimum %10 olması istenip, kil örnekleri üzerinde yapılan pişirimler sonrası veriler (Tablo 7) üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 7. Pişirim Küçülme Testi (Hasekioğlu, Kişisel Arşiv 2023).

Pişme Küçülme Değerleri (%)	900 °C	1000 °C	1100 °C
D-1	0.15	1.59	1.47
Görsel			
D-2	1.16	3.13	4.16
Görsel			
D-3	8.18	9.16	9.64
Görsel			

4.2.5 Su Emme Deneyi

Su emme deneyinde, killeri normal pişirim yapılarak nem almayacak ortamda soğutulurlar. Soğutulan parçaların ağırlıkları tartılarak, su dolu bir kabın içerisine koyulur ve 4 saat kaynatma işlemi gerçekleştirilir. Kaynama işlemi sonrası parçalar yaş halde tartımları yapılır ve kuru tartım ile arasındaki farkın, parçada emdiği su miktarı ortaya çıkartılır.

$$\% \text{ Su Emme} = \frac{(\text{Yaş Pişmiş Ağırlık} - \text{Kuru Pişmiş Ağırlık}) \times 100}{\text{Kuru Pişmiş Ağırlık}}$$

Seramik killerde su emme değerleri sıcaklık ve hammadde kullanım durumuna göre az olması istenmekte olup, su emme değerleri (Tablo 8) verilmiştir.

Tablo 8. Kil Örneklerinin Su Emme Değerleri (Hasekioğlu, Kişisel Arşiv 2023).

Su Emme Değeri (%)	D-1	D-2	D-3
900 °C	18.35	17.85	17.32
1000 °C	15.58	13.85	14.66
1100 °C	1.43	1.59	1.42

4.2.6 Sıcaklık Testi

Sıcaklık testinde hazırlanmış olan numuneler 700 °C ‘den başlayarak kademeli olarak 1200 °C ‘ye kadar kademeli sıcaklık artışı yapılarak kiler üzerindeki erime, sinterleşme ve renk değişiklikleri gözlemlenmiş (tablo 9) ve çizelgede veriler gösterilmiştir.

Tablo 9. Kil Örneklerinin Sıcaklık Değişimi (Hasekioğlu, Kişisel Arşiv 2023).

Sıcaklık (°C)	D-1	D-2	D-3
700	Değişim Yok	Değişim Yok	Değişim Yok
800	Değişim Yok	Değişim Yok	Değişim Yok
900	Açık Kırmızı	Sarı + Kırmızı	Kırmızı
1000	Renk Koyulaşıyor	Koyu Kahverengi	Renk Koyulaşıyor
1100	Koyulaşma Devam Ediyor	Sinterleşme Başlangıcı	Koyulaşma Devam Ediyor
1200	Sinterleşme Başlangıcı	Erime Başlangıcı	Sinterleşme Başlangıcı

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

İnsanlığın devrim süreçlerinin başlangıcı olarak kabul edilen Neolitik Dönem’de, bitkilerin kültüre alınmasıyla tarımda çok önemli bir aşamaya geçilmiş, buna koşut olarak kullanım gereksinimi olan birçok aletin gelişimi de bu dönemde başlamıştır. Dönemin diğer önemli bir gelişimi de, Neolitik dönemi ikiye bölen, Seramikli Neolitik Dönemi (PNA) başlatan çömlekçiliktir. Zeitgeist bir yaklaşımla ilk endüstriyel üretim sayılabilecek çömlekçilik, aynı zamanda günümüz seramik endüstrisinin ve modern seramik sanatının da ilk çıkış noktası olmuştur. İnsanlık, gelişiminin her aşamasında bir önceki deneyimlerinden yararlanarak üretim tarzlarına ilaveler yapmış, kimi zaman da doğayı taklit etmiş ve bu şekilde yaşadığı dönemin çağdaşları arasında gereksinimlerine karşılık verecek en iyi sonuca ulaşmaya çalışmıştır. Günümüz inovasyon kapsamında en son çabalardan biri de üç boyutlu yazıcılardır. Küçük objelerden mimariye kadar geniş bir üretim yelpazesinde yer alan bu teknolojinin önemli çıktı hammaddelerinden biri de toprak kökenli malzemelerden olan kildir. Üç boyutlu yazıcılar marifetiyle seramik form tasarımı oluşturma gayesi, hem endüstriyel anlamda işlevsel seramik üretimine, hem de estetik görsellikle tasarım üretilmesine yöneliktir. Halen geliştirilmekte olan bu teknolojinin çok daha farklı yeniliklere açık olduğunu söylemek kuşkusuz yanlış olmayacaktır. Bu bağlamda yapılan alanyazın taramalarından da anlaşılabileceği gibi, gelişime yönelik çalışmalar ve deneyler devam etmektedir. Bu bağlamda teze destek sağlayan yeni ve farklı bir deney de, 3B yazıcı çıktısında kullanılacak kilin en uygun akışkanlığını saptayabilecek olan “Tekstür Profil Analizidir” (TPA). Tümden gelim yöntemiyle yapılan çalışmada, hammadde olarak ele alınan, kimyasal analizleri yapılmış üç kil numunesi, öncelikle geleneksel yöntemlerle hazırlanarak deneme yanılma yolu ile uygulamaya konulmuş, en iyi sonucu verdiği gözlemlenen örnek, TPA testine alınarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Yöre kilinin kimyasal analiz sonuçları ile birlikte, sertlik, yapışkanlık, elastikiyet, iç yapışkanlık, esneklik gibi ölçümleri saptanarak, uygulanan kil numunesinin değerleri, çömlekçi kilinin 3B yazıcıda kullanılmaya en uygun standart değerleri olarak kabul edilmiştir. Esin kaynağını kökeninde, çömlekçi yaban arısından itibaren ilk tür çömlekçilikten alan bu teknolojinin temel malzemelerinden olan kilin hammadde özelliklerinin ve kıvamının, 3B yazıcının ekstrüzyon yeteneğine uyumu önem arz ettiğinden, bu

Çalışmada kıvam uyumunun saptanması amacıyla TPA testleri uygulanmıştır. Literatürde şimdiye kadar rastlanmayan, ilk kez kil üzerinde denendiği dūřünölen, genellikle gıda ürünleri için yapılan “Tekstür Profili Analizi (TPA)” ile yapılan deneyler, yazıcı ile kil arasında uyum bağlamında standart oluşturacak başarılı sonuçlar vermiştir. Üç boyutlu seramik yazıcılar için bu tür araştırmaların ve çalışmaların, gelişmekte olan 3B teknolojisine katkısı olacağı öngörölmektedir.

Göller Bölgesi killerinin plastik yapısı gereği özelliklerinin seramik yapımına elverişli olması ve ölk ekonomisine kazandırılması aynı zamanda da yörenin etnografik değ erlerinin Ulusal ve Uluslararası platformlarda tanıtımına katkı sağlanması hedeflenmiştir. Diğer yandan Somut Olmayan Kültürel Miras kapsamında Anadolu’nun pişmiş toprak kültürünü, seramik üretimini, plastik özelliği ile birlikte sanatsal ve işlevsel özelliklerini göz önünde bulundurarak disiplinlerarası bir alanda inovasyon amaçlı uygulama çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKÇA

Kitap

- Arcasoy, A. ve Başkırkan, H. (2020). **Seramik Teknolojisi**, 1. Baskı, Literatür Yayınları, İstanbul.
- Childe, G. (2006). **Kendini Yaratan İnsan**, 8. Baskı, Varlık Yayınları, İstanbul.
- Duru, R. (1996). **Kuruçay Höyük II**, 2. Baskı, Türk Tarih Kurumu Yayınları, Ankara.
- Güner, G. (1988). **Anadolu’da Yaşamakta Olan İlk Çömlekçilik**, 5. Baskı, Ak Yayınları, İstanbul.
- Harmankaya, S. (2002). “**Türkiye İlk Tunç Çağı Araştırmaları Üzerine Bir Değerlendirme**”, 1. Baskı, Ege Yayınları, İstanbul.
- Matthews, R. (2003). **Excavations at Tell Brak Exploring an Upper Mesopotamian Regional Centre**, 4th Edition, McDonald Insititute for Archaeological Research, UK.
- Özdoğan, M. (2019). **Hammaddelerden Ustalara**, 1. Baskı, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, İstanbul.
- Sagona, A., Zimansky, P. (2015). **Arkeolojik Veriler Işığında Türkiye’nin En Eski Kültürleri MÖ 1.000.000-550**, Belik İ., S., Payne M., Başgelen N. ve Taşkiran H. (çev.), Arkeoloji ve Sanat Yayınları (orijinal Baskı Tarihi 2009), İstanbul.
- Şenel, A. (1982). **İlkel Topluluktan Uygar Topluma**, 3. Baskı, Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Yayınları:504, Ankara.
- Ünal, S. (2022). **Anadolu Pişmiş Toprak Kültüründe Göller Bölgesi**, 1. Baskı, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, İstanbul.
- ÜNAL, S. (14-16 Ekim 1988). **Diyarbakır Camilerinde Çini Süslemeler**, II. Uluslararası Kütahya Çini Sempozyumu, Kütahya, Kütahya Valiliği, 712-742.

Makale

- Aydın, L., Küçük, S. ve Kenar, H. (2015). “Doku ve Organ Biyo Yazdırma Amaçlı 3B Biyo Yazıcı Tasarımı ve Geliştirilmesi”, **Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi**, Muğla, Vogue Hotel Bodrum, 153-157.

- Bethany, C. G., Jayda, L. E., Sarah Y. L., Chengpeng C. ve Dana, M. S. (2014). "Evaluation of 3D Printing and Its Potential Impact on Biotechnology and the Chemical Sciences", **American Chemical Society**, 86.1, 3240-3253.
- Çallı, L. ve Taşkın, K. (2015). "3D Yazıcı Endüstrisinin Oluşturacağı Yeni Pazarlar ve Pazarlama Uygulamaları", **ICEB 2015. Uluslararası Vizyon Üniversitesi**, Gostivar, Makedonya.
- Çelik, D. ve Çetinkaya, D. (2018). "Üç boyutlu Yazıcı Tasarımları, Prototipleri Ve Ürün Yazdırma Karşılaştırmaları", **İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi**, 7.1, 151-163, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/224954> (18 Mayıs 2023).
- Güneş, S., Yurdakul, M., Kalaycı, U., Uyanık U. ve Şentürk S. (2020). "Modeling With Finite Element Analysis And Testing Of Commercial Vehicles Wheels", **Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind**, 4.1, 1- 11.
- Huleihil, M. (2017). "3D Printing Technology As Innovative Tool For Math And Geometry Teaching Applications", **OP Conference Series: Materials Science and Engineering**, 164.5, 63-71, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/164/1/012023/pdf> (21 Mayıs 2023).
- Köbeloğlu, A. ve Çetinkaya, B. (2019). "3B Yazıcılar ile Uzun Geometrilili Parçaların Üretilebilirliği", **Uluslararası 3B Yazıcı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Dergisi**, 3.1, 11-18.
- Kuzu Demir, B., E., Çaka, C., Tuğtekin, U., Demir, K., İslamoğlu, H. ve Kuzu, A. (2016). "Üç Boyutlu Yazdırma Teknolojilerinin Eğitim Alanında Kullanımı: Türkiye'deki Uygulamalar", **Ege Eğitim Dergisi**, 2.17, 481-503.
- Martinez, E., Can, E. (2016). "Bilgisayar Destekli Seramik Üretim Yöntemi Olarak Üç Boyutlu Yazıcılar ve Günümüz Koşullarında Uygulama Örneği", **Sanat ve Tasarım Dergisi**, 1.1, 1-14, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/274466> (24.05.2023).
- Negis, E. 2009. "A short history and applications of 3D Printing technologies in Turkey", **US – TURKEY Workshop On Rapid Technologies**, İstanbul Teknik Üniversitesi, 150-157.
- Özgüven, S. (2015). "Seramik Sanatında Üç Boyutlu Yazıcıların Yeni Bir İfade Biçimi Olarak Kullanılması", **İdil Dergisi**, 4.18, 167-183, <https://www.idildergisi.com/makale/pdf/1441050169.pdf> (24.05.2023).
- Özgündoğdu, F. A. (2014). "Seramik Üretiminde Çağdaş Bir Biçimlendirme Yöntemi Olarak Üç Boyutlu Yazıcılar", **Uluslararası 8. Eskişehir Pişmiş Toprak Sempozyumu**, Eskişehir, 213-227.

- Semiz, B. (2017). “Pamukkale (Denizli) Bölgesi Killerinin Karakteristik Özellikleri Ve Seramik Sektöründe Kullanılabilirlikleri”, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 24.6, 1237-1244, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/599173> (20.06.2023).
- Ünal, S. Ve Hasekioğlu, U. (2023). “İlk Tür Neolitik Çömlekçilikten Üç Boyutlu Yazıcılarla Seramik Üretimine”, **Motif Akademi Halkbilimi Dergisi**, 16.42, 821-835.
- V. Deniz, Ünal, S. Ve Yağmurlu, F. (14-15 Ekim 1999). “İsparta Yöresi Kil Yataklarının Seramiğe Uygunluğunun Araştırılması”, **3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu**, İzmir, 73-80.
- Yıldırım, G., Yıldırım, S. ve Çelik, E. (2018). “Yeni Bir Bakış - 3 Boyutlu Yazıcılar Ve Öğretimsel Kullanımı: Bir İçerik Analizi”, **Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi**, 13.25, 163-184.
- Yılmaz, F., Arar, E. ve Koç, E. (2014). “3D Baskı İle Hızlı Prototip Ve Son Ürün Üretimi”, **TMMOB Metalurji Dergisi**, 168.1, 35-40, https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi168/d168_3540.pdf (21 Mayıs 2023).
- Zhangwei, C., Ziyong, L., Junjie, L., Chengbo, L., Changshi, L., Yuelong, F., Changyong, L., Yang, L., Pei, W. ve Yi, H. (2019). “3D Printing Of Ceramics: A Review” **Journal of the European Ceramic Society**, 39.4, 661-687, <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.11.013> (22 Mayıs 2023).

Tez

- Emre Can, **Seramik Üretim Sürecinde Üç Boyutlu Yazıcıların Kullanımı ve Sanatsal Öneriler**, (Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Yayınlanmamış Sanatta Yeterlik Tezi, 2019), 12.
- Fatih Aslan, **Üç Boyutlu Yazıcılarda Harç Yığma Tekniği İle Seramik Şekillendirme**, (İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Lisans Tezi, 2017), 54.
- Muammer Çakı, **Neolitik Dönemden İlkçağa Seramiğin Kültürel Nesne Olarak İnsan Yaşamındaki Yeri**, (Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora/Sanatta Yeterlilik Tezi, 1999), 14.
- Murat Türkteki, **Batı ve Orta Anadolu’da Çark Yapımı Çanak Çömleğin Ortaya Çıkışı ve Yayılımı**, (İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora/Sanatta Yeterlilik Tezi, 2010), 29.

Serdar Efe, **FDM Tipi 3 Boyutlu Yazıcılardaki Örgü Parametrelerinin Ürün Dayanıma Etkisi**, (Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2020), 30.

İnternet Kaynakları

Elek Analizi, (2016).

<https://malzeme.aku.edu.tr/wp-content/uploads/sites/26/2016/10/Malzeme-%C3%9Cretim-Lab-I-Deney-F%C3%B6y%C3%BC.pdf>, (05.05.2023)

İlk 3D Printer Ne Zaman Bulundu, (2014).

<https://www.robotdiyari.com/blog/icerik/ilk-3d-printer-ne-zaman-bulundu>, (13.05.2023).

Scara Yazıcıların hareketleri, (2023).

<https://www.fanuc.eu/de/en/robots/robot-filter-page/scara-series/selection-support>, (20.05.2023).

Wasp Talks Sustainable Housing and 3D Printing With Soil Albert Chiusoli, (2021).

<https://www.3dnatives.com/en/wasp-moves-towards-sustainable-construction-by-3d-printing-soil/#>, (17.06.2023).

3D Yazdırma Teknolojilerinin Tarihi Üzerine, (2019).

https://3dbaskial.com/3d-yazdirma-teknolojilerinin-tarihi-uzerine/#1990lar_Ana_3D_Yazici_Ureticilerinin_ve_CAD_aracLARININ_ortaya_cikisi (18.05.2023).

Görsel Kaynakları

URL-1: <https://evrimagaci.org/anahatlari-ile-neolitik-cag-1-1896> (14.07.2023).

URL-2: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/192485> (15.07.2023).

URL-3: <https://www.bilgipedia.com.tr/tunc-cagi-bronz-cagi/> (15.07.2023).

URL-4: <http://www.marbleport.com/madencilik-kulturu/97/comlekci-carki> (15.07.2023).

URL-5: www.medikalfizik.com (15.05.2023).

URL-6: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Sketchpad> (15.05.2023).

URL-7: <https://weebakademi.com/> (15.05.2023).

URL-8: <https://3dbaskial.com/3d-yazdirma-teknolojilerinin-tarihi-uzerine/> (15.05.2023).

URL-9: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/589551> (15.05.2023).

URL-10: <https://top3dshop.com/product/delta-wasp-60100-3d-printer> (17.05.2023).

URL-11: <https://roboticsandautomationnews.com/2022/07/28/abb-launches-new-fastest-five-axis-delta-robot/53581/> (17.05.2023).

URL-12:

https://www.researchgate.net/publication/353215851_A_novel_constraint_tracking_control_with_sliding_mode_control_for_industrial_robots/figures?lo=1 (17.05.2023).

URL-13: <https://3dp-dei.vlabs.ac.in/exp/simulation-of-polar-machine> (18.05.2023).

URL-14: <https://fibilo.com/sla-3d-baski-teknolojisi/> (18.05.2023).

URL-15: <http://www.kabataslak.net/fdm-teknolojisi-nedir.html> (22.05.2023).

URL-16: <https://vormvrij.nl/3dclayprinting/?p=1502> (23.05.2023).

URL-17: <https://www.3dwasp.shop/en/prodotto/clay-3d-printer-delta-wasp-2040-clay/> (14.05.2023).

URL-18: <https://www.3printr.com/bigdelta-wasp-heart-technological-village-3d-print-eco-fiendly-village-5737223/> (10.03.2023).

URL-19: <https://3baprinting.com/micro-10> (11.04.2023).

Görsel 20: Uygur Hasekioğlu, Kişisel Arşiv, 2023.

Görsel 21: Uygur Hasekioğlu, Kişisel Arşiv, 2023.

Görsel 22: Uygur Hasekioğlu, Kişisel Arşiv, 2023.

Görsel 23: Uygur Hasekioğlu, Kişisel Arşiv, 2023.

Görsel 24: Uygur Hasekioğlu, Kişisel Arşiv, 2023.

Görsel 25: Ünal, S., Hasekioğlu, U. (2023). İlk Tür Neolitik Çömlekçilikten Üç Boyutlu Yazıcılarla Seramik Üretimine, 142, Motif Akademi Halkbilimi Dergisi, 832.

Görsel 26: Uygur Hasekioğlu, Kişisel Arşiv, 2023.

Görsel 27: Uygur Hasekioğlu, Kişisel Arşiv, 2023.

Görsel 28: Uygur Hasekioğlu, Kişisel Arşiv, 2023.



EKLER



Fotoğraf 1. Tasarım, 25x18cm, 20x18cm, Stoneware Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.



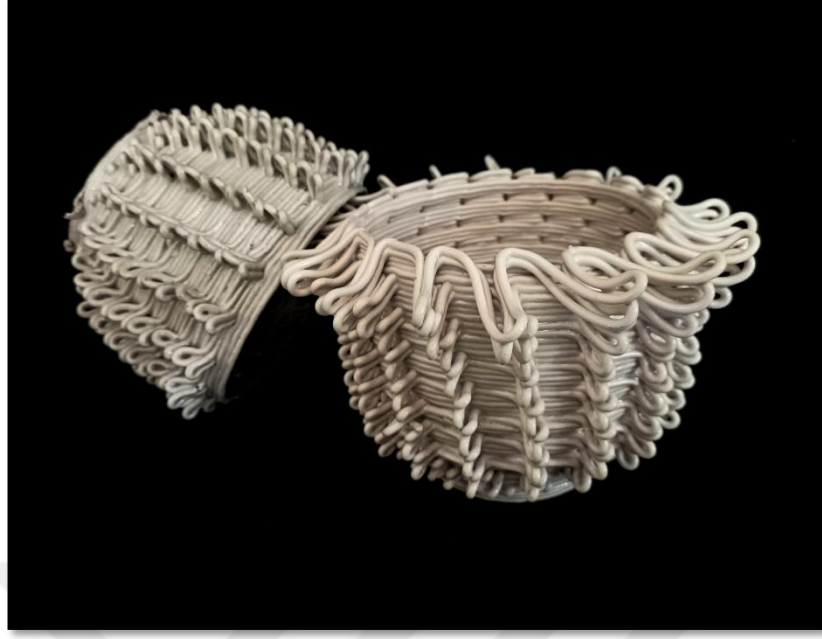
Fotoğraf 2. Tasarım, 22x16cm, 30x15cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.



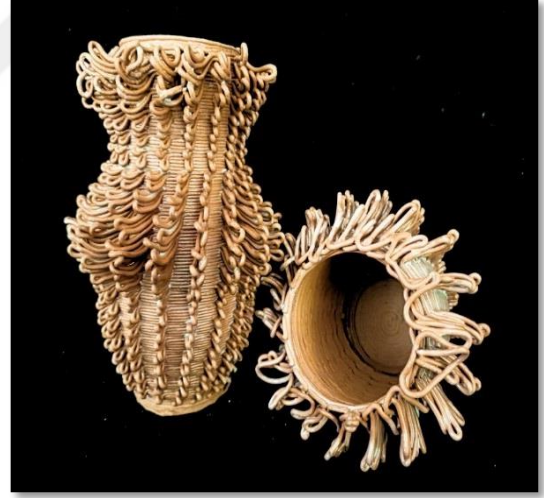
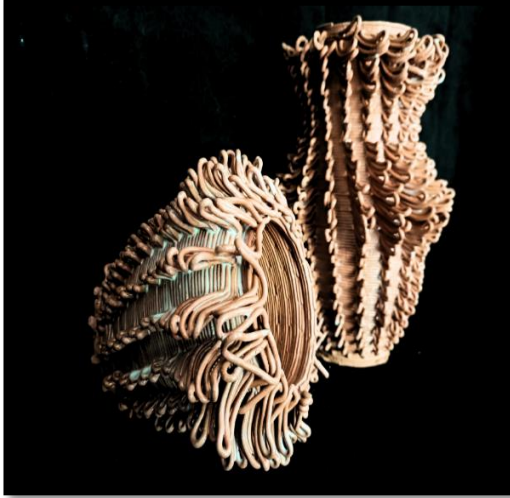
Fotoğraf 3. Tasarım, 18x18cm, 21x18cm, Stoneware Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.



Fotoğraf 4. Tasarım, 28x20cm, 26x14cm, Renkli Stoneware Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Bisküvi Pişirim.



Fotoğraf 5. Tasarım, 16x18cm, Beyaz Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.



Fotoğraf 6. Tasarım, 24x14cm, 16x15cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.



Fotoğraf 7. Tasarım, 16x14cm, 18x18cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.



Fotoğraf 8. Tasarım, 28x14cm, 28x16cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.



Fotoğraf 9. Tasarım, 18x14cm, 16x12cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.



Fotoğraf 10. Tasarım, 20x12cm, 18x10cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.



Fotoğraf 11. Tasarım, 22x20cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.



Fotoğraf 12. Tasarım, 26x18cm, Beyaz Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.



Fotoğraf 13. Tasarım, 26x18cm, 22x16cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Bisküvi Pişirim.



Fotoğraf 14. Tasarım, 24x15cm, 26x15cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.



Fotoğraf 15. Tasarım, 22x14cm, 16x15cm, Beyaz Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.



Fotoğraf 16. Tasarım, 26x18cm, 24x20cm, Beyaz Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.



Fotoğraf 17. Tasarım, 24x16cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.



Fotoğraf 18. Tasarım, 24x20cm, 16x12cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.



Fotoğraf 19. Tasarım, 45x18cm, Kırmızı Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.



Fotoğraf 20. Tasarım, 26x18cm, 14x8cm, Kırmızı Çamur, Stoneware Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.



Fotoğraf 21. Tasarım, 28x14cm, 20x12cm, 16x10cm, 10x8cm, Kırmızı Çamur, Beyaz Çamur, Stoneware Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.



Fotoğraf 22. Tasarım, 20x16cm, 16x14cm, Kırmızı Çamur, Stoneware Çamur, 3D Potterbot ile Şekillendirme, 900-1100 °C Sırlı Pişirim.