



**ÜÇ BOYUTLU TARAYICI VE ÜÇ BOYUTLU
YAZICILARIN SERAMİK SANATINDA
FİGÜRATİF FORMLARDA ELLE
ŞEKİLLENDİRME İLE BİRLİKTE
KULLANILMASI**

**Sanatta Yeterlik Tezi
Ali Cihan KAYALIOĞLU**

Eskişehir 2020

**ÜÇ BOYUTLU TARAYICI VE ÜÇ BOYUTLU
YAZICILARIN SERAMİK SANATINDA FİĞÜRATİF
FORMLARDA ELLE ŞEKİLLENDİRME İLE
BİRLİKTE KULLANILMASI**

ALİ CİHAN KAYALIOĞLU

SANATTA YETERLİK TEZİ

Seramik Anasanat Dalı

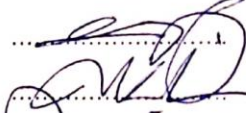
Danışman: Prof. Ezgi HAKAN

**Eskişehir
Anadolu Üniversitesi
Güzel Sanatlar Enstitüsü
Mayıs 2020**

*Bu Tez Çalışması Anadolu Üniversitesi BAP Komisyonunca kabul edilen 1805E103
no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.*

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Ali Cihan Kayalıoğlu'nun "Üç Boyutlu Tarayıcı ve Üç Boyutlu Yazıcıların Seramik Sanatında Figüratif Formlarda Elle Şekillendirme ile Birlikte Kullanılması" başlıklı tezi 28/05/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Seramik Anasanat dalında Sanatta Yeterlik tezi olarak kabul edilmiştir.

	<u>Unvanı/Adı-Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı)	Prof. Ezgi Hakan	
Üye	Prof. Dr. Münevver Çakı	
Üye	Doç. Duygu Kahraman	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Leyla Kubat	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Tolga Benli	

Prof. Hayri ESMER
Enstitü Müdürü

Enstitü Müdürü

ÖZET

ÜÇ BOYUTLU TARAYICI VE ÜÇ BOYUTLU YAZICILARIN SERAMİK SANATINDA FİGÜRATİF FORMLARDA ELLE ŞEKİLLENDİRME İLE BİRLİKTE KULLANILMASI

Ali Cihan KAYALIOĞLU

Seramik Anasanat Dalı

Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Mayıs 2020

Danışman: Prof. Ezgi HAKAN

Teknolojinin gelişmesine paralel olarak yaşam standartları ve biçimleri aynı yönde gelişme gösterirken, insanoğlunun vazgeçilmez bir parçası haline gelen bilgisayar sistemleri, endüstriyel üretim yöntemlerinin yanı sıra, sanatçıların sanat anlayışları ve üretim teknikleri üzerinde de etkili olmaktadır. 18. yy' a damgasını vuran Endüstri Devrimi ile beraber gelişen makineleşme, sanattaki üretim yöntemlerinde de farklı yönelimler yaşanmasına sebep olmuştur. Üretimde geleneksel yöntemlerin yanında, seri üretime dayalı sistemler baş gösterirken, bunlar seramik sanatında da etkili olmaya başlamıştır. Seramik sanatçıları tasarımlarında teknolojinin getirdiği yeni şekillendirme ve dekor yöntemlerine de yönelmişlerdir. Bu bağlamda teknolojinin olanakları, sanatçının ve tasarımcının algılarını, bakış açısını geliştirirken, tasarım alternatiflerini arttırmaktadır. Bu nedenle teknolojiden faydalanmak, bir sanatçının hem yaratım sürecine hem de eserlerine katkı sağlamakta, böylece eserlerinin daha özgün olmasında etkili olmaktadır.

Üç boyutlu tarayıcıların ve yazıcıların günümüz seramik üretiminde ilgi görmeye başlaması, seramik sanatına da teknolojik bir uzam kazandırmıştır. Böylece insanın elle şekillendirme yoluyla elde edemeyeceği dokuları, bilgisayar ortamına aktarması, tasarlaması ve ekranda işleyerek üretime geçirmesi mümkün olmuştur. Bu anlamda, dijital ortamda son on yıldır yapılan çalışmalar, seramik sanatında yeni yönelimler sağlamıştır.

Bu tez çalışmasında, üç boyutlu tarayıcı ve tarama yöntemlerin kullanım alanlarına, çalışma prensiplerine ve bu tarayıcıların üç boyutlu yazıcılarla birlikte seramik sanatında kullanımını ele alan araştırmalara yer verilmiştir. Tezin uygulama aşamasında, elle şekillendirilen formlar, farklı üç boyutlu tarayıcılar ve tarama yöntemleriyle dijital ortama aktarılmış olup, bilgisayar ortamında tekrar modellendikten sonra, üç boyutlu yazıcıdan çıktısı alınarak yeniden oluşturulmuştur. Böylece araştırma kapsamında üç boyutlu tarayıcı ve üç boyutlu yazıcı gibi günümüz dijital araçlarının seramik sanatında kullanım olanakları ve etkisi tartışılarak, bilgisayar destekli tasarımdan hareketle, sanatsal bir anlayış oluşturulması amaçlanmıştır. Elle şekillendirme, dijital tasarım ve bilgisayar destekli şekillendirme yöntemlerini sentezleyerek elde edilen bu özgün dil, yeni önerilerle eserler oluşturulmasında etkili rol oynamıştır. Teknolojik yönelimlerden hareketle yapılan bu uygulamalarda, kullanılan yöntemlerin ve sonuçların, seramik formlara farklı ifadeler kazandırmasıyla beraber, seramik sanatçılarının daha sonraki çalışmaları için yol gösterici ve teşvik edici nitelikte olması hedeflenmektedir.

Anahtar Sözcükler: Üç boyutlu yazıcı, Üç boyutlu tarayıcı, Seramik sanatı, Elle Şekillendirme.

ABSTRACT

THE USE OF THREE DIMENSIONAL SCANNERS AND THREE DIMENSIONAL PRINTERS IN CERAMIC ART TOGETHER WITH HAND BUILDING IN FIGURATIVE FORMS

Ali Cihan KAYALIOĞLU

Department of Ceramic Arts, Proficiency in Arts

Anadolu University, Graduate School of Fine Arts, May 2020

Supervisor: Prof. Ezgi HAKAN

Parallel to the development of technology, while current life standards and forms develop in the same direction, computer systems, which have become an indispensable part of human beings, have an impact on artistic understandings and production techniques as well as industrial production methods. The mechanization that developed with the Industrial Revolution, which left its mark on the 18th century, led to different trends in art production methods. In addition to traditional methods in production, while systems based on mass production appear, they have also started to be effective in the ceramic art. Ceramic artists have turned their face to new shaping and decoration methods brought by technology. In this context, the possibilities of technology increase the design alternatives while improving the perceptions and perspectives of the artist and designer. For this reason, utilizing technology contributes to both the creation process and the works of artists, thus being effective in making their works more authentic.

The fact that three-dimensional scanners and printers started to attract attention in today's ceramic production, has brought a technological side to ceramic art. Thus, it was possible for human to transfer the textures that cannot be obtained by hand shaping to the computer environment, to design and put them into production on the screen. In this sense, the studies carried out in the digital environment for the last ten years have provided different trends in the art of ceramics.

In this thesis, research on three-dimensional scanners and scanning methods, working principles and applications that deal with the use of these scanners in the art of ceramics with three-dimensional printers have been mentioned. During the application phase, the hand-built forms were transferred to digital media with different three-dimensional scanners and scanning methods, and after being re-modeled in the computer environment, they were created by printing them out from the three-dimensional printer. Thus, the aim of this study is to create an artistic understanding by discussing the use and impact of today's digital tools such as 3D scanner and printer in ceramic art, starting from computer aided design. This unique language, obtained by synthesizing manual shaping, digital design and computer aided shaping methods, play an effective role in creating works with new suggestions. In applications made based on technological orientations, it is aimed that the methods and results will give different expressions to ceramic forms and will be a guide and incentive for the later works of ceramic artists.

Keywords: Three-dimensional printer, Three-dimensional scanner, Ceramic art, Hand building.

TEŞEKKÜR

“Üç Boyutlu Tarayıcı ve Üç Boyutlu Yazıcıların Seramik Sanatında Figüratif Formlarda Elle Şekillendirme ile Birlikte Kullanılması” adlı sanatta yeterlilik tez çalışması süresince her konuda bilgi ve destek veren tez danışmanım ve Seramik Anasanat Dalı Başkanı Prof. Ezgi Hakan’ a teşekkür ediyorum.

Bu çalışmanın tamamlanması esnasında bölümün olanaklarını kullanabilmem konusunda sağlamış oldukları destek, sanatsal ve teknik anlamda verdikleri bilgi ve katkılarından dolayı Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Dekanı Prof. Rahmi Atalay’ a teşekkür ederim.

Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Bölümündeki tüm hocalarıma, arkadaşlarıma ve bölümümüz personeline çalışmalarım esnasındaki katkılarından dolayı teşekkür ediyorum.

Tez çalışması süresince her türlü desteği veren, her zaman yanımda olan aileme teşekkür ediyorum.

28/05/2020

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Ali Cihan KAYALIOĞLU



İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vii
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
GÖRSELLER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

1. ÜÇ BOYUTLU TARAYICILAR VE TARAMA YÖNTEMLERİ.....	3
1.1. Üç Boyutlu Taramanın Tarihsel Gelişimi	4
1.2. Üç Boyutlu Tarayıcıların Kullanım Alanları.....	6
1.2.1. Medikal alan	6
1.2.2. Tersine mühendislik.....	7
1.2.3. Bilim ve tarihsel koruma	8
1.2.4. Sanal gerçeklik / animasyon.....	10
1.3. Üç Boyutlu Tarayıcıların Sanat Alanında Kullanımı	11
1.4. Üç Boyutlu Tarayıcıların Çalışma Prensibi ve Üç Boyutlu Modelleme ile Olan İlişkisi	17
1.5. Üç Boyutlu Tarayıcıların Sınıflandırılması	23
1.5.1. Temashlı tarayıcı teknolojisi	23
1.5.2. Temassız tarayıcılar	24

1.5.2.1. Lazer üçgenleme tabanlı üç boyutlu tarama teknolojisi.....	24
1.5.2.2. Yapılandırılmış ışık (structured light) teknolojisi.....	26
1.5.2.3. Fotogrametri	27

İKİNCİ BÖLÜM

2. SERAMİK ÜRETİMİNDE ŞEKİLENDİRME YÖNTEMİ OLARAK ÜÇ BOYUTLU YAZICILAR	30
2.1. Seramik Üretiminde Kullanılan Üç Boyutlu Yazıcı Türleri ve Sanatta Kullanımı.....	30
2.1.1. Toz bağlama yöntemiyle (binder jetting) çalışan yazıcılar	30
2.1.2. Stereolitografi (stereolithography) yöntemiyle çalışan SLA tipi yazıcılar	35
2.1.3. Yığma yöntemi ile çalışan FDM (Fused Deposition Modelling) ve LDM (Liquid Deposition Modelling) tipi yazıcılar	39
2.1.3.1. Seramik esaslı çalışan LDM (Liquid Deposition Modelling) tipi yazıcılar.....	40

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. KİŞİSEL UYGULAMALAR.....	46
3.1. Elle Şekillendirme Aşaması	46
3.2. Üç Boyutlu Tarama Yöntemleriyle Veri Elde Etme, Tasarım ve Modelleme Uygulamaları.....	47
3.3. Üç Boyutlu Yazıcıda Uygulama İşlemleri	59
3.3.1. Çamurun hazırlanması.....	59
3.3.2 Üç boyutlu yazıcıda şekillendirme.....	62
3.3.3. Kurutma ve pişirim.....	65
3.4. Eserler.....	66

3.4.1. Bitkin.....	66
3.4.2. Doğal Ortam Serisi.....	69
3.4.3. Huzur.....	73
3.4.4. Bütün.....	76
3.4.5. Seri.....	78
3.4.6. Şeffaf.....	80
3.4.7. Duruş.....	83
3.4.8. Labirent.....	85
3.4.9. Üçüz.....	86
3.4.10. Döngü.....	88
3.4.11. Anne.....	91
3.4.12. Doğa.....	94
3.4.13. Aksaklık.....	97
SONUÇ	100
KAYNAKÇA.....	106
ÖZGEÇMİŞ	

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 1.1. Üç boyutlu tarayıcının medikal alanda kullanımı, bacak protez hazırlığı aşamaları	7
Görsel 1.2. Tersine mühendislik için üç boyutlu tarama işlemi yapılan bir araba parçası	8
Görsel 1.3. Terakota askerlerin üç boyutlu tarama işlemi, Lincoln Conservation ..	9
Görsel 1.4. Antik Vietnam heykellerinin üç boyutlu taranmasıyla oluşturulmuş Vietnam sanal müzesi	10
Görsel 1.5. Üç boyutlu taraması yapılan bir oyun karakteri.....	11
Görsel 1.6. "Death Mask (Ölüm Maskesi Serisi)", Sophie Kahn, üç boyutlu lazer tarama, birebir ölçü, 2013.....	12
Görsel 1.7. "Piante 57 (Bitkiler)", Anna Calluori Holcombe, porselen, üç boyutlu tarama ve üç boyutlu yazdırma model, alçı döküm ile şekillendirme, lüster- 11,4 x 25,4 x 20,3 cm, 2018	13
Görsel 1.8. Z Corp üç boyutlu tarayıcı ile tarama işlemi.....	14
Görsel 1.9. "Sürücüsüz Otomobillerin Hayali Yaşamı (The Dream Life of Driverless Cars)", Matthew Shaw, William Trossell ScanLab projesi, 2015	15
Görsel 1.10. "Hayalet Hücre" (Ghost Cell), Antonie Delach, üç boyutlu lazer tarama film, 2016.....	16
Görsel 1.11. Stanford tavşanı adlı nokta bulutu ve yeniden yapılandırma ile oluşturulan yüzey modeli.....	18
Görsel 1.12. Çokgen ağ köşelerinin görselleştirilmesi(1), Köşelerin gösterimi (2), Dörtlü köşelerin gösterimi (3)	19
Görsel 1.13. Çokgen (poligonal) modelleme	19
Görsel 1.14. Aşamalarıyla dijital heykelleştirme	20
Görsel 1.15. Z Brush programında modellemesi yapılan bir ejderha figürü.....	21

Görsel 1.16. Nurbs model ile oluşturulmuş obje.....	21
Görsel 1.17. Çokgen (poligonal) ve nurbs (eğri) model arasındaki fark ve nurbs model ile oluşturulmuş obje.....	22
Görsel 1.18. Temaslı üç boyutlu tarayıcı örneği	23
Görsel 1.19. Üç boyutlu lazer tarama teknolojisi.....	25
Görsel 1.20. Yapılandırılmış ışık üç boyutlu tarayıcı teknolojisi	26
Görsel 1.21. Yapılandırılmış ışık üç boyutlu tarayıcı teknolojisi ile tarama aşamaları.....	27
Görsel 1.22. Fotogrametri tekniği tarama e-model oluşturma aşamaları-1.....	29
Görsel 1.23. Fotogrametri tekniği tarama e-model oluşturma aşamaları-2.....	29
Görsel 2.1. Toz bağlama işlemi	31
Görsel 2.2. Toz bağlama ile hazırlanmış ve 1200 °C pişirimi yapılmış formun farklı açılardan görünümü, Tethon 3D firması	32
Görsel 2.3. Toz bağlama ile yazılmış tam renkli obje, kumtaşı (sand stone)	33
Görsel 2.4. Kate Blacklock’ın toz bağlama ile yapmış olduğu çalışmalar	35
Görsel 2.5. Kate Blacklock’ın toz bağlama ile yapmış olduğu çalışmalar	35
Görsel 2.6. SLA yöntemiyle yazılmış seramik vazolar	36
Görsel 2.7. SLA yöntemiyle yazılmakta olan seramik vazo	37
Görsel 2.8. Nervous System, takı modellerinin yazıcıda oluşturulması.....	38
Görsel 2.9. Nervous System ekibi tarafından oluşturulan takıların yazıcıdan çıkarılması	38
Görsel 2.10. SLA yazıcı ile oluşturulmuş seramik takılar.....	39
Görsel 2.11. Kartezyen ve delta tipi yazıcıların çalışma prensipleri.....	40
Görsel 2.12. Motor sıkıştırmasıyla çamur yazdıran LDM tipi yazıcı (1),.....	41
Görsel 2.13. Basınç ile çamur yazdıran LDM tipi yazıcı (2)	41
Görsel 2.14. Jonathan Keep’in kendi yapmış olduğu yazıcının parçaları ve kullandığı program.....	42

Görsel 2.15. Emre Can, “Selçuklu serisi”, üçlü vazo, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 1160°C, 29 x 21 x 22 cm., kobalt oksit katkılı renkli plastik seramik çamuru	42
Görsel 2.16. Emre Can, “Ortadoğu’da Kahvaltı”, üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 1230°C, 21 x 58 x 41 cm., plastik porselen çamuru, kobalt oksit katkılı renkli çamur ve beyaz astar	43
Görsel 2.17. “Curves: stacks (Eğriler: yığınlar)” serisi, Bryan Czibesz, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme	44
Görsel 2.18. "Other Histories (Diğer Hikayeler)” serisi, Bryan Czibesz, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme	45
Görsel 3.1. Artec Space Spider ile üç boyutlu tarama işlemi ve ekran görüntüsü (İzmir Yaşar Üniversitesi)	48
Görsel 3.2. Modelin tarama işlemi için hazırlanması, referans noktalarının işaretlenmesi	48
Görsel 3.3. Referans noktalarından seçilerek birleştirme işlemi	49
Görsel 3.4. Yüksek çokgen sayısına sahip değiştirilmemiş orijinal veri (1), Çokgen yoğunluğu düşürülmüş veri (2)	50
Görsel 3.5. Z Brush programında tasarım aşaması (1), ...	51
Görsel 3.6. Cura programında dilimleme işlemi aşaması (2)	51
Görsel 3.7. Recap Photo programına yüklenmiş olan fotoğraflar	53
Görsel 3.8. Hazırlanmış modelin çokgen ağ ve renkli görünümü	54
Görsel 3.9. Modelin çokgen yoğunluğunu azaltma işlemi (1) Modelin çokgen yoğunluğunun azaltılmış hali (2)	54
Görsel 3.10. Modelin kesim işlemi yapılmış hali	55
Görsel 3.11. Cura programında modelin G-code hazırlığı	55
Görsel 3.12. Skanect programında kutu oluşturma ve taramayı başlatma	57
Görsel 3.13. X BOX 360 Kinect aracı ile tarama işleminin yapılma anı	57

Görsel 3.14. Skanect programında tarama işlemi sonrası elde edilen verilerin işlenme aşamaları	58
Görsel 3.15. Kurutulmuş şamotlu çamur ve bilyalı değirmenin içindeki bilyalar	61
Görsel 3.16. Bilyalı değirmene kurutulmuş şamotlu çamur, bentonit ve TiO₂ eklenmesi	61
Görsel 3.17. Bilyalı değirmenden öğütülmüş işlemleri çamurun alınması.....	61
Görsel 3.18. Su katılmış çamurun yoğrulma işlemi başlangıcı (1), Silikon kalıp içine bastırılmış çamurun fazlalığının misina ile kesilmesi (2) ..	63
Görsel 3.19. Silikon kalıp içindeki çamurun ağırlığının hesaplanması (1), Çamur tankına doldurulan çamurun el yardımıyla yerleştirilmiş görüntüsü (2)	63
Görsel 3.20. Seramik malzeme yazdırmak için bağlantıları doğru bir biçimde yapılmış yazıcı (1), Çamurun başlıktan çıkışı (2)	64
Görsel 3.21. Yazdırma işlemi (1), Yazdırma işlemi bitmiş seramik yaş bünye (2) ..	65
Görsel 3.22. “Bitkin” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 47x12x9,5 cm 1160⁰C (ön görünüm)	67
Görsel 3.23. “Bitkin” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 47x12x9,5 cm 1160⁰C (yan görünüm)	68
Görsel 3.24. “Doğal Ortam Serisi: Köpek Balığı” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 5x25x25 cm 1160⁰C (üst görünüm)	70
Görsel 3.25. “Doğal Ortam Serisi: Köpek Balığı” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 5x25x25 cm 1160⁰C (detay görünüm).....	70
Görsel 3.26. “Doğal Ortam Serisi: Kurbağa” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 6x25x25 cm 1160⁰C (üst görünüm)	71
Görsel 3.27. “Doğal Ortam Serisi, Kurbağa” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 6x25x25 cm 1160⁰C (detay görünüm).....	71

Görsel 3.28. “Doğal Ortam Serisi: Sadece Üç Değil Birçok Maymun” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 6x25x25 cm 1160 ⁰ C (üst görünüm)	72
Görsel 3.29. “Doğal Ortam Serisi: Sadece Üç Değil Birçok Maymun” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 6x25x25 cm 1160 ⁰ C (detay görünüm)	72
Görsel 3.30. “Huzur” üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 55x12x10 cm 1160 ⁰ C (yan görünüm)	74
Görsel 3.31. “Huzur” üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 55x12x10 cm 1160 ⁰ C (detay görünüm)	75
Görsel 3.32. “Bütün” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 19x14,5x16 cm 1160 ⁰ C (ön görünüm) air brush astar uygulama, pişirim sonrası birleştirilmiş parçalar	76
Görsel 3.33. “Bütün” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 19x14,5x16 cm 1160 ⁰ C (yan görünüm)	77
Görsel 3.34. “Seri” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 3,5x45x24 cm 1160 ⁰ C (üst görünüm).....	79
Görsel 3.35. “Seri” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 3,5x45x24 cm 1160 ⁰ C (detay görünüm)	79
Görsel 3.36. “Şeffaf” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 26,5x6x11 cm 1160 ⁰ C (çapraz görünüm).....	81
Görsel 3.37. “Şeffaf” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 26,5x6x11 cm 1160 ⁰ C (yan görünüm)	82
Görsel 3.38. “Duruş” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 21x18x20 cm 1160 ⁰ C (ön görünüm)	84
Görsel 3.39. “Labirent” üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 8x25x25 cm 1160 ⁰ C (üst görünüm)	85
Görsel 3.40. “Labirent” üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 8x25x25 cm 1160 ⁰ C (detay görünümü)	86

Görsel 3.41. “Üçüz” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 19x9x42 cm 1160°C	
(sol yan görünüm).....	87
Görsel 3.42. “Üçüz” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 19x9x42 cm 1160°C	
(sağ yan görünüm).....	87
Görsel 3.43. “Döngü” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 41x30,5x18 cm 1160°C	
(ön görünüm)	89
Görsel 3.44. “Döngü” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 41x30,5x18 cm	
1160°C (detay görünüm)	90
Görsel 3.45. “Döngü” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 41x30,5x18 cm	
1160°C (çapraz görünüm).....	90
Görsel 3.46. “Anne” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 39x20x14 cm 1160°C	
(sağ yan görünüm).....	92
Görsel 3.47. “Anne” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 39x20x14 cm 1160°C	
(sol yan görünüm).....	93
Görsel 3.48. “Doğa” üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme,	
39,5x17,5x20,5 cm 1160°C (sağ yan görünüm).....	95
Görsel 3.49. “Doğa” üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme,	
39,5x17,5x20,5 cm 1160°C (sol yan görünüm)	96
Görsel 3.50. “Aksaklık” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 33,2x15x25,5 cm	
1160°C (sol yan görünüm).....	98
Görsel 3.51. “Aksaklık” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 33,2x15x25,5 cm	
1160°C (çapraz görünüm).....	99

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$^{\circ}$	: Derece
f	: Frekans
cm	: Santimetre
μm	: Mikrometre
bar	: Metrik basınç birimi
prob	: Algılayıcı mil
3D	: 3 Dimensions
3B	: 3 Boyutlu
ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren, <i>plastik bir filament</i>
BAP	: Bilimsel Araştırma Projeleri
CAD	: Computer-Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAM	: Computer-Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli Üretim)
CT	: Computed Tomography (Bilgisayarlı Tomografi)
FDM	: Fused Deposition Modelling (Eriyik Biriktirmeli Modelleme)
G-Code	: Bilgisayar destekli üretimde numerik kontrol amaçlı kullanılan bir programlama dili
LCD	: Liquid Crystal Display
LDM	: Liquid Deposition Modelling (Sıvı Biriktirme Modellemesi)
NURBS	: Non-Uniform Rational B-Spline (Eğri Modelleme)
OBJ	: Üç boyutlu bir objeyi sayısal değerlerle tanımlayan geometrik dosya formatı
PLA	: Polylactic Acid, <i>biyoplastik bir filament</i>
SLA	: Stereolithography (Stereolitografi)
STL	: Standard Triangle Language (Üç boyutlu bir objeyi sayısal değerlerle tanımlayan geometrik dosya formatı)
TiO ₂	: Titanyum dioksit, <i>metal pigment</i> .
UV	: Ultraviyole

GİRİŞ

21. yy modern toplumlarında teknoloji, günlük yaşamın hemen hemen her alanında etkin bir rol oynamaktadır. Toplumla beraber şekillenen sanatçı da teknolojinin getirdiği imkanlarla birlikte, sanat anlayışı ve sanat eseri üretim yöntemleri açısından etkilenmeler yaşamaktadır. Teknolojinin gelişmesi ve kolay erişilebilir olması, sanatçının geleneksel malzemeler ve üretim yöntemlerinin yanı sıra, teknolojik olanaklardan da faydalanmasını sağlamaktadır. Bu sayede sanatçı teknolojiyi yaratım ve üretim sürecine dahil ederek, daha özgün ve yenilikçi eserler üretebilmektedir.

Seramik sanatı bu bağlamda üretim açısından gelişime açık sanat dallarından birisi olmuştur. Endüstri Devriminin getirdiği gelişmelere paralel olarak, geleneksel şekillendirme yöntemlerinden birisi olan çömlekçi çarkının yerini, elektrikli çamur tornasına bırakmış olması bunun en güzel örneğidir. Diğer taraftan kalıpla şekillendirme yöntemiyle beraber üretim hız kazanmış, sanatçı için de çalışmalarında kullanacağı yeni bir şekillendirme biçimi doğmuştur. 20. yy'daki teknolojik gelişmelerle beraber bilgisayar destekli tasarım programları, seramik ürünlerin tasarlanmasında kullanılan birer araç olmuş, üç boyutlu yazıcılar da seramik sanatçıları için yeni bir şekillendirme yöntemine dönüşmüştür.

Seramik sanatında şekillendirme aşaması, sanatçının çamura kendisini aktarabildiği gibi çamurun da sanatçıya yön verdiği, karşılıklı etkileşimin yaşandığı, üretim sürecinin en önemli aşamasıdır. Bu süreçte tasarım farklı yönlerde gidebilmektedir. Dolayısıyla seramik sanatçısının atölyede çamurla geçirdiği yaratım süreci oldukça değerlidir. Bu araştırmada, tasarım ve üretim sürecinin merkezinde dijital ortamlar değil, yaratıcılığı barındıran elle şekillendirme yöntemi ve atölye süreci yer almaktadır.

Bu çalışmada hem dijital ortamın hem de geleneksel şekillendirme yöntemlerinin avantajlarından faydalanılarak, her birinin kendi içerisinde barındırdığı kısıtlayıcılar en aza indirilerek, görsel etkisi yüksek, yenilikçi seramik eserlerin özgün yöntemlerle üretilmeleri amaçlanmıştır. Bu doğrultuda üretim aşamasında üç boyutlu tarayıcı, üç boyutlu yazıcı ve bilgisayar destekli tasarım programlarından birer araç olarak faydalanılmıştır.

Bu tez kapsamında, geleneksel üretim yöntemleriyle ve plastik malzemelerle şekillendirilen figüratif formlar, üç boyutlu tarayıcılar yardımıyla tarandıktan sonra bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Daha sonra dijital ortamda bu formlar ile üç boyutlu yazıcı aracılığıyla elde edilmesi planlanan doku ve modellerin, seramik bağlamında

ilişkileri sorgulanmıştır. Dijital ortamda yeniden tasarlanan ve işlenen formlar, üç boyutlu yazıcıdan çıktısı alındıktan sonra, tasarıma göre elle şekillendirilmiş formların üzerine aplike edilerek ya da herhangi bir aplike işlemi olmadan, yeni seramik formların oluşturulmasında kullanılmıştır.

Bu araştırma kapsamında iki şekillendirme tekniği birlikte kullanılarak, teknik kısıtlamalar en aza indirilmiştir. Böylece özgün, yenilikçi ve güçlü figüratif seramik formlar üretilmesi hedeflenmiştir. Bu sayede önceden ele alınmamış karma bir teknik ile seramik üretiminde yeni şekillendirme yöntemlerinin geliştirilmesi, bu tezin amaçlarından birisi olmuştur. Bu tezin özgün değeri, geleneksel elle şekillendirme yöntemleri ile bilgisayar ortamında şekillendirme yöntemlerinin yepyeni bir anlayışla entegre edilerek bir arada kullanılmasıdır. Bu kapsamda yapılan çalışmalardan elde edilen verilerle yazılan tezin, literatüre, seramik sanatçılarına ve öğrencilere katkı sağlaması planlanmıştır. Bu çalışmayla beraber, üç boyutlu tarayıcıların ve üç boyutlu yazıcıların seramik sanatında birlikte kullanılması için önerilen yeni dil, literatüre kazandırılmış olacaktır. Bu sayede sanatçının tasarım yönü açısından sınırlarını daha da genişletebileceği, kendisini daha iyi ifade edebileceği eserler üretilmesi düşünülmüştür. Teknolojiye ilgi duyan sanatçıların tasarım sürecinde, üç boyutlu yazıcılar ve üç boyutlu tarayıcılar gibi dijital araçları birlikte kullanarak yenilikçi biçimler, dokular elde ederek farklı formlar üretmesine örnek teşkil etmesi planlanmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. ÜÇ BOYUTLU TARAYICILAR VE TARAMA YÖNTEMLERİ

Günümüzde yaşamın her alanında etkili olan bilgisayar teknolojileri, zaman içerisinde sanatçı ve tasarımcıların çalışmalarında kullandığı önemli araçlar haline gelmiştir. Elli yıl öncesine kadar farklı endüstri alanlarında çalışan birçok tasarımcı, çizimlerini ve maketlerini elle yaparken, günümüzde bilgisayar teknolojilerinin sağlamış olduğu hızlı üretim olanakları, hataları önceden görebilme gibi kolaylıklar, tasarımcıların hızla dijital ortama geçmesine sebep olmuştur.

Üç boyutlu tarayıcılar, görünür ve aydınlık olan dış yüzeylerine duyarlı oldukları nesnelerin en dış yüzeylerinden veri toplayan, konik bir görüş açısına sahip teknolojik ekipmanlardır. Çalışma prensibi kameralara benzemektedir. Kameralar, görüş alanı içerisindeki yüzeylerin renk bilgisini okurken; üç boyutlu tarayıcılar görüş açısındaki yüzeyler arasındaki mesafeyi okuyabilmektedir. Üç boyutlu tarayıcılar tarafından oluşturulan görüntüler her bir noktanın yüzeye olan uzaklığının ölçülmesi ile oluşturulmaktadır. Böylece görüntüdeki her bir nokta üç boyutlu pozisyonu ile bilgisayar ortamında tanımlanmış olmaktadır. Bu özel teknoloji endüstriyel üretim, yapı, arkeoloji, tıp ve sanat alanlarında, birçok farklı sektörde kendine yer bularak, kullanıldığı alandaki ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilmiştir. Son yirmi yıl içerisinde lazer tarama teknolojisinden yola çıkılarak tıp, kimya ve çevre bilimlerinde kullanılan birçok bilgi gözlem analiz cihazı, sanat ve eğlence alanında kullanılmak üzere de birçok tasarım cihazı üretilmiştir (Ebrahim, 2015, s.323).

21.yy ile birlikte bilgisayar teknolojilerine paralel olarak üç boyutlu tarama teknolojisinin gelişmesi sonucu, sanat ve tasarım dünyasında da oldukça etkili değişimler yaşanmaya başlamıştır. Üç boyutlu tarayıcılar, birçok sanatçı ve tasarımcı için üretimin modelleme aşamasını daha pratik ve hızlı hale getirerek, bilgisayar ortamında tasarım yapılmasını kolaylaştırmıştır. Sağladığı olanaklarla her geçen gün daha fazla tasarımcı ve sanatçının ilgi odağı haline gelen bu teknolojiler, dijital oyun tasarımı, animasyon gibi farklı alanlarda da kullanılmaktadır.

Üç boyutlu tarama teknolojisi temelinde endüstride kullanılmak üzere oluşturulmuş, ancak diğer üç boyutlu teknolojilerde olduğu gibi, birçok farklı disiplin tarafından benimsenmiş ve kullanılmaya başlamıştır. Örneğin film ve oyun gibi görsel tasarım alanlarının yanı sıra, kültürel mirası korumaya yönelik projelerde ve endüstriyel

alandaki çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ve imkanlarla beraber üç boyutlu tarayıcılara ulaşmak ve kullanmak her geçen gün çok daha kolay olmakta, böylece kullanım alanları da çeşitlenmektedir. Olanaklar arttıkça, kullanım alanları yaygınlaşırken, cep telefonlarının sahip olduğu sistem ve kameralarla bile düşük çözünürlükte de olsa temel düzeyde üç boyutlu taramalar yapılabilir hale gelmiştir. Bireysel olanaklarla üç boyutlu tarama yapmanın yanı sıra, üç boyutlu tarama yapan stüdyo ve bürolarda tarama işlemleri yaptırabilmek de kullanıcılar için bir diğer seçenek olmuştur. Örneğin büyük ölçekli çıktı alınması düşünülen modellerin, küçük ölçekli maketleri yapılabilmesi ve üç boyutlu tarama işlemleri yapan firma ya da araştırma merkezlerine gönderilip, bu firmalardan gerekli dijital veriler sağlanabilmektedir. Üç boyutlu tarayıcıların günümüz teknolojisinde kolay erişilebilir ve kullanabilir olması, birçok tasarımcı ve sanatçının çalışmalarında bu teknolojiye faydalanmasında etkili sebeplerden biri olmuştur (Mongeon, 2015, s.58).

1.1. Üç Boyutlu Taramanın Tarihsel Gelişimi

İnsanoğlu 30.000 yıl kadar önce yakın çevresini, özellikle hayvanları ve sosyal yaşamını mağara resimleri ve figürler ile tasvir etmiş ve kayıt altına almaya başlamıştır. 5000 yıl önce Babilliler ve Mısırlıların astronomi ve geometri alanında üç boyutlandırma (*image triangulation*) tekniklerini kullandıkları, şehirlerini bu boyutlandırma yöntemleri ile tasarladıkları bilinmektedir. Euklid ve Archimedes 2500 yıl önce trigonometrinin matematiksel temellerini oluşturmuş, modern trigonometrinin öncülerinden Snell von Rojen, 17.yy'da optik üç boyutlandırma çalışmaları yapmıştır. Kültürel veya dinsel sebepleri tam olarak bilinmese de tarihte uzun bir zaman boyunca gerçek dünyanın kaydedilmesi, edebiyat ve sanat akımlarının önemli bir konusu olmuştur. 19.yy'ın ilk yarısında fotoğrafın keşfedilmesi ile nesnelerin arşivlenmesi sağlanmış ve yeni bir sanat alanı olarak fotoğrafçılığa kapı açılmıştır. İki boyutlu görsel kayıt oluşturma teknikleri, fotoğrafçılık ve sonrasında gelişen dijital imaj prosesleri, üç boyutlu tasarım için birtakım kısıtlamalara sahipken, pratikte üç boyutlandırma tekniklerine dayanan ve üç boyutlu cisimleri algılayabilen yüksek çözünürlüğe sahip üç boyutlu tarayıcıların geliştirilmesi, ancak 1900'lerin sonlarına doğru mümkün olmuştur (Breuckmann, 2014, s.262-263).

Üç boyutlu tarama teknolojisi ilk kez 1960'larda kullanılmıştır. İlk tarayıcılar ışık, kamera ve projektör kullanılarak çalıştırılmıştır. Bu dönemde ekipman kısıtlamaları nedeniyle, nesneleri doğru bir şekilde taramak çok fazla zaman ve çaba gerektirmiştir. 1985'ten sonra, bu tarayıcıların yerini beyaz ışık, lazer ve gölgeleme tekniklerini

kullanabilecek tarayıcılar almıştır. Bilgisayarların gelişmesi ile birlikte, oldukça karmaşık modeller oluşturmak mümkün hale gelmiştir. Karmaşık yüzeylerin şerit metreye aktarılmasında bazı zorluklar yaşansa da, 1980'lerde geliştirilen bir temas probu ile kompleks modellerin birebir oluşturulması sağlanmıştır. Ancak bu temas probunun çok yavaş çalışması, detayları daha hızlı tarayan bir sistem ihtiyacını doğurmuştur. Bu noktada optik teknolojinin kullanımı devreye girmiş, böylece burada kullanılan ışık, fiziksel bir probdan çok daha hızlı sonuç alınmasını sağlamıştır. Ayrıca ışık kullanımı, temas teknolojisinin tehdit oluşturduğu yumuşak nesnelerin bile taranmasına izin vermiştir. Kısa süre içinde tarayıcılar ile ilgili karşılaşılan asıl zorluğun yazılım tabanlı olduğu ortaya çıkmıştır. Bir nesnenin üç boyutlu olarak okunması farklı açılardan, birden fazla tarama yapabilen sensörler ile gerçekleştirilmektedir. Bu noktada yaşanan zorluklar ise genellikle yapılan bu birden fazla taramanın birleştirilmesi, çift okumaların silinmesi ve ihtiyaçtan fazla alınan verilerin elenmesi üzerine olmuştur. Optik tabanlı tarayıcıların ilk uygulamalarından biri, animasyon endüstrisi için insan bedeninin taranması olmuştur. 1990'lı yılların ortalarında ise bunlar tam vücut tarayıcıya dönüştürülmüştür. REPLICA isimli üç boyutlu tarayıcı, 1994 yılında ilk kez piyasaya sürülmüştür. Böylece lazer şerit taramasında ciddi ilerleme kaydedilerek nesnelerin hızlı ve yüksek oranda çok detaylı taranmasına izin verilmiştir. Bu arada Cyberware şirketi, bazıları nesne rengini de yakalayabilen yüksek detaylı tarayıcılar geliştirmiştir. Ancak bu gelişmelere rağmen, üç boyutlu taramada gerçek hız ve doğruluk dereceleri henüz elde edilememiştir. Digibotics firması da tek bir taramayla üç boyutlu modelin bütününe sağlayabilen dört eksenli bir makineyi piyasaya sürmüştür. Ancak bu tarama cihazı lazer şeridi yerine lazer noktasını temel aldığı için yavaş bir çalışma prensibine sahip olmuştur. Bir nesnenin tüm yüzeyini taramak için gereken esnekliğe sahip olmayan bu tarayıcı, renkli yüzeyleri dijitalleştirememiştir. Bu optik tarayıcıların pahalı olduğu bilinirken, FARO Technologies firmasının piyasaya sürdüğü düşük maliyetli manuel çalışan cihazlar, ilk sürümleri yavaş tarama yapsa da ayrıntılı tam modeller oluşturabilmiştir. Fakat renkli yüzeyleri dijitalleştirme beklentisini bu firma da karşılayamamıştır. Sonuç olarak üç boyutlu modelleyiciler birebir doğru tarama, hızlı çalışabilme, renkli yüzeyleri yakalayabilme kabiliyetlerine sahip ve düşük maliyetli bir tarayıcı üretme noktasında birleşmiştir. 1996'da üç boyutlu tarayıcılar, dünyanın ilk en hızlı ve esnek gerçek yakalama sistemi ile (*reality capture*) elle çalıştırılan bir kolun ve şerit üç boyutlu tarayıcının temel teknolojilerini ModelMaker'da birleştirmişlerdir. Geliştirilen bu

teknolojilerle artık sadece birkaç dakika içinde doku ve renk içeren karmaşık modeller üretilmeye başlanmıştır (Ebrahim, 2015, s. 323-324).

Özetle bütün bu gelişmeler görüntü üç boyutlandırmaya dayanan ve çoğunlukla yüzey incelemesi, karşılaştırmalı ölçümler veya deformasyon analizi gibi endüstriyel uygulamalar için kullanılan ilk üç boyutlu tarama sistemlerinin geliştirilmesine dayanmaktadır. Günümüzde endüstriyel kullanımın yanı sıra, sanatsal ve kültürel çalışmalarda ve proje uygulamalarında da faydalanan üç boyutlu tarayıcılar, arkeoloji ve paleontoloji gibi alanlarda da yer bulmaktadır. Bu tür araştırmalarda madeni para, diş ve kemik gibi küçük parçalardan büyük heykellere ve binalara kadar geniş bir yelpazede kullanılan önemli bir teknoloji haline gelmiştir (Breuckmann, 2014, s.265-266).

1.2. Üç Boyutlu Tarayıcıların Kullanım Alanları

Teknolojinin gelişmesine paralel olarak, erişim ve kullanımı kolaylaşan tarayıcılar günümüzde, medikal, tersine mühendislik, animasyon, tarih ve arkeoloji gibi birçok alanda aktif bir biçimde kullanılmaktadır. Üç boyutlu taramanın kullanım alanlarının oldukça geniş bir yelpazeye yayılmasının nedeni, gerçek dünyadaki herhangi bir nesneyi kaydetme, ölçme ve belgelemeyi kolaylaştırıcı özelliğinin yanı sıra, gerçekçi ve yaratıcı çözümler oluşturma konusunda faydalı ve önemli bir teknoloji olmasıdır.

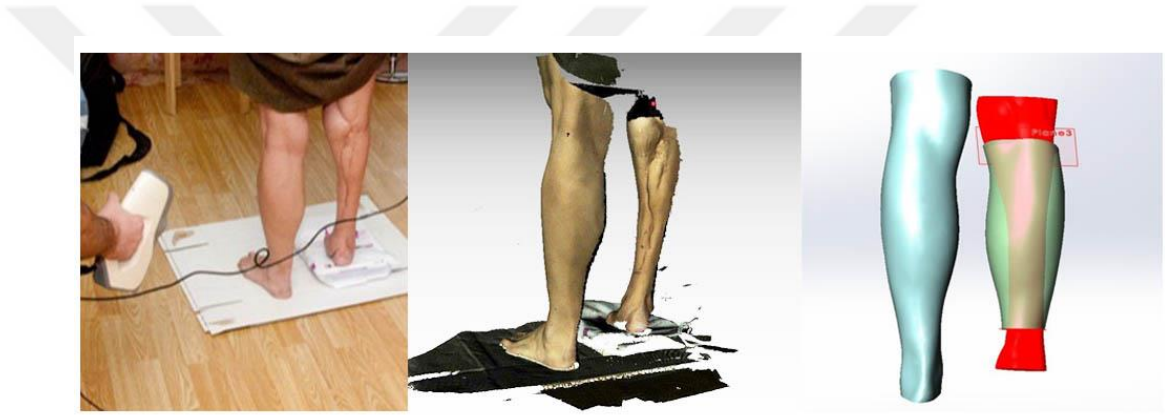
Özellikle medikal ve endüstriyel alanlarda üç boyutlu tarayıcıların kullanımıyla üretim ve uygulamalar yapılması endüstriyel tasarımcıların çalışmalarına dayanmaktadır. Medikal alanda kişiye özel prototip üretmek ya da tersine mühendislik alanlarındaki gibi ürün geliştirmek için üç boyutlu tarayıcılardan faydalanan endüstriyel tasarımcıların, ürün tasarım süreçlerinde de üç boyutlu tarayıcılardan yararlandığı söylenebilmektedir. Bu kapsamda strafor, alçı, plastilin hamuru ya da çamurdan hazırlanan maketlerin verileri bilgisayar ortamına üç boyutlu tarayıcılar yardımı ile aktarılabilir. Bu sayede ürünlerin tasarımlarının oluşmasında ve gelişmesinde üç boyutlu tarayıcılar endüstriyel tasarımcıların elinde önemli bir yere sahip olmaktadır.

1.2.1. Medikal alan

Medikal alanda üç boyutlu tarayıcıların kullanımı farklı prensiplerde çalışan ekipmanları kapsamaktadır. Bunlar fotogrametri, lazer tarama, milimetrik dalga teknolojilerini içermekte ve üç boyutlu vücut tarayıcıları olarak isimlendirilmektedir. Üç boyutlu vücut taramasında, vücut modelleme uygulamaları, tanımlanacak yüzeylerin

nokta bulut etkileşimi ile ölçülmesi ve parametrik bir forma dönüştürülmesi ile sağlanmaktadır (Treleaven, 2007, s.29).

Üç boyutlu taramaların sağlık sektöründe kullanılmasının sağladığı en büyük avantaj, yapılan taramalar sayesinde elde edilen kesin ölçekli verilerdir. Üç boyutlu protez, tıbbi cihaz ve medikal modellerinin oluşturulmasında ya da baskılarının alınmasında bu verilerden yararlanılmaktadır. Üç boyutlu tarama ve yazdırma ile tıbbi ürünlerin üretilmesi, geleneksel yöntemlere göre daha ucuzdur. Bu avantajının yanı sıra ayrıca kişiye özel verilerin taranması ve bu verilerin kullanılabilirliği, kişiye özel ürünlerin oluşturulmasına imkân vermektedir. Görsel 1.1.'de üç boyutlu tarayıcının kişiye özel protez hazırlanmasında kullanımına örnek verilmiştir.



Görsel 1.1. Üç boyutlu tarayıcının medikal alanda kullanımı, bacak protez hazırlığı aşamaları

Kaynak: <https://3dprintingireland.com/wp-content/uploads/2014/07/scanmain.jpg>

(Erişim tarihi: 21.10.2019)

Protez ve yapay organ üretiminin yanı sıra, medikal alanda kullanılan bazı analiz cihazları da üç boyutlu lazer tarama teknolojisi tabanlı çalışmaktadır. Bilgisayarlı tomografi (CT: *Computed Tomography*), medikal alanda kullanılan üç boyutlu tarama ve şekillendirme örneklerinden biridir. Manyetik rezonanslı şekillendirme yöntemi ise bilgisayarlı tomografiye benzerlik gösteren, insan vücudundaki yumuşak dokular arası kontrastı ayırt edebilme konusunda daha etkili bir diğer üç boyutlu tarama yöntemidir. Bu yöntem, özellikle nörolojik, kardiyovasküler ve onkolojik vakalarda işlevsellik kazanmaktadır (Ebrahim, 2015, s. 329).

1.2.2. Tersine mühendislik

Üç boyutlu tarama yöntemleri ve tarayıcılar bilgisayar ortamında, gerekli verileri oluşturmak ve saklamak için ideal bir çözüm yoludur. Üç boyutlu tarama yöntemi,

tasarımcılara ve üreticilere tersine mühendislik ve kalite kontrolü gibi farklı alanlarda gerekli olan önemli verileri sunmaktadır. Örnek ürünlerin üç boyutlu taramasıyla elde edilmiş olan veriler, ürünlerin tasarım ve mühendislik açısından geliştirilmesi ve çoğaltılması için önemli kaynaklar olmaktadır.

Tersine mühendislikte geçerli olan mevcut ürünler üzerinden yeni ürün tasarımları geliştirmek, karmaşık geometriye sahip nesnelerin ölçümlerini almak, üretim tesislerinde iş akışını otomatikleştirmek, iş gücü ve zaman isteyen işlemlerdir. Üç boyutlu tarama teknolojisi, bu mühendislik işlemlerinin yeterli denemelerinin yapılmasına, iş ve zaman kaybı yaşanmadan uygulamaya geçiş sürecinin tamamlanmasına imkân sağlamaktadır. İleri üç boyutlu tarayıcılar ile küçük bir mekanik parçadan, büyük bir türbine kadar hemen hemen her türlü endüstriyel nesne hızlı bir şekilde taranabilmektedir. Görsel 1.2.'de buna örnek olarak üç boyutlu taraması yapılan bir araba parçası görülmektedir. Tarama sonucu elde edilen üç boyutlu modeller, çeşitli CAD ve CAM programlarına aktarıldıktan sonra ürünün tasarımında değişiklik ve performansında iyileştirmeler yapılabilmekte ya da yeni bir üretim sistemine uyarlanabilmesi için yeniden tasarlanabilmektedir.



Görsel 1.2. Tersine mühendislik için üç boyutlu tarama işlemi yapılan bir araba parçası

Kaynak: <https://formlabs.com/blog/how-to-use-3d-scanning-and-3d-printing-for-reverse-engineering/> (Erişim tarihi: 21.10.2019)

1.2.3. Bilim ve tarihsel koruma

Üç boyutlu tarama işlemi araştırmacıların veri toplamalarını ve paylaşımlarını kolaylaştırarak, bilim çevrelerince yararlı uygulamalar yapılmasını sağlamaktadır. Kırılgan fosiller ve mumyalar, herhangi bir hasar unsuruna maruz kalmadan kolayca ve güvenle taranabilmektedir. Bu sayede taranan veriler, tarihsel koruma ya da

reprodüksiyonların oluşturulması gibi kararların daha bilinçli verilmesi için ilgili uzmanlarla paylaşılmasını kolaylaştırmaktadır.¹

Görsel 1.3.' te Çin'in Xian kentinde yer alan, 1974'te bulunup yer yüzüne çıkarılan 2200 yıllık Terrakota asker heykeller için yapılan üç boyutlu tarama işlemi örnek olarak verilmiştir.

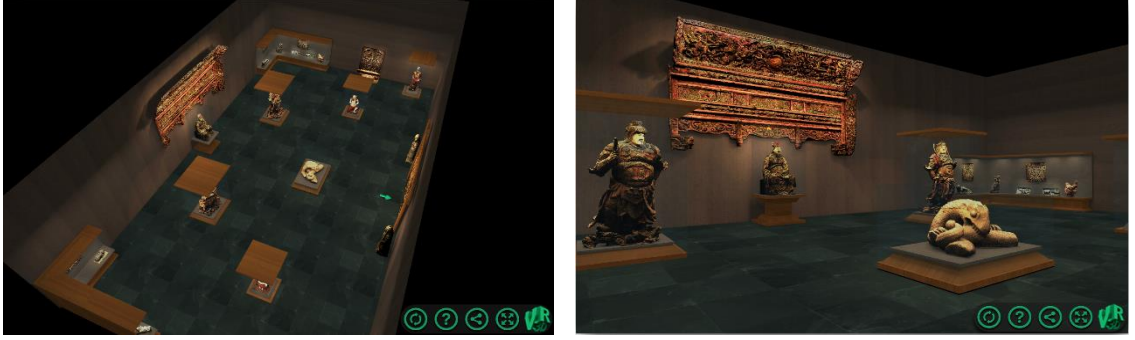


Görsel 1.3. *Terakota askerlerin üç boyutlu tarama işlemi, Lincoln Conservation*

Kaynak: <http://www.lincolnconservation.co.uk/projects/terracotta-warrior-head-replication/>
(Erişim tarihi: 27.04.2020)

Üç boyutlu tarayıcıların kültür koruma amacı ile geniş çapta kullanıldığı bilinmektedir. Bunun nedeni kültür koruma uygulamalarının yüksek hassasiyet gerektirmesi, örneklemelerin yoğun olması, yüzey alanlarının kompleks ve fazla olması ile açıklanmaktadır. Üç boyutlu lazer tarama teknolojisi kullanılarak yapılan kültür koruma çalışmaları, interaktif uygulamalar (görsel arttırılmış gerçeklik, dokunsal gerçeklik vb) içerebileceği gibi, daha pasif uygulamaları da (stil şekillendirme, hareketlendirme/animasyon vb) kapsayabilmektedir. Arkeolojik uygulamalarda da farklı çevre ve gerekliliklere göre çeşitli üç boyutlu lazer tarayıcılar kullanılmaktadır (Merchán, 2011, s.8498). Görsel 1.4.'te Antik Vietnam heykellerinin üç boyutlu taraması ile oluşturulmuş bir sanal müze örneği görülmektedir.

¹<https://www.fisherunitech.com/blog/3d-scanning-applications-cost>
(Erişim tarihi: 17.10.2019)



Görsel 1.4. Antik Vietnam heykellerinin üç boyutlu taranmasıyla oluşturulmuş Vietnam sanal müzesi

Kaynak: <https://vr3d.vn/trienlam/virtual-3d-museum-ancient-sculptures-of-vietnam> (Erişim tarihi:05.12.2019)

1.2.4. Sanal gerçeklik / animasyon

Oyun endüstrisinin günümüzde hızla gelişmesinde, üç boyutlu tarama uygulamalarının büyük bir rolü vardır. Oyunlaştırma yoluyla gerçekçi simülasyonlar sağlamak için insanların yanı sıra, çevre ve çeşitli mekanlar üç boyutlu tarama yöntemleri ile kayda alınarak, bilgisayar ortamına taşınabilmektedir. Son zamanlarda özellikle eğlence sektöründe oldukça sık karşılaşılan sanal gerçeklik ekipmanları, üç boyutlu tarama teknolojisinin kullanımının bir göstergesi olarak görülmektedir. Oyun geliştiren büyük firmalar son yıllarda, üç boyutlu tarama yöntemlerini kullanarak oyun karakterleri yaratmaktadır (Görsel 1.5). Buna ek olarak bu teknolojinin kullanım kolaylığı ve erişilebilirliğinin artması sayesinde, sektördeki küçük ve orta ölçekli firmalar tarafından da, oyunculara daha gerçekçi bir deneyim sunmak için üç boyutlu tarama yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır.²

²<https://weareprintlab.com/blog/the-real-value-of-3d-scanning-and-its-applications> (Erişim tarihi:17.10.2019)



Görsel 1.5. Üç boyutlu taraması yapılan bir oyun karakteri

Kaynak: <https://weareprintlab.com/blog/the-real-value-of-3d-scanning-and-its-applications>
(Erişim tarihi: 21.10.2019)

1.3. Üç Boyutlu Tarayıcıların Sanat Alanında Kullanımı

Üç boyutlu tarayıcılar ve tarama yöntemleri, yukarıda bahsedilen birçok farklı sektörde kullanıldığı gibi sanat alanında da çeşitli biçimlerde kullanılmaktadır. Bu kullanım biçimlerinden en yaygın olanı herhangi bir nesneyi bilgisayara aktarmaktır. Bu sayede istenilen nesne bilgisayar ortamına taşındıktan sonra gerekli işlemler yapıp, üç boyutlu bir yazıcı aracılığıyla birebir üç boyutlu modeli yazılabileceği gibi, bilgisayar ortamında istenilen düzenlemeler ve değişiklikler de yapılabilmektedir. Üç boyutlu tarama yöntemlerini sanatsal ifadelerinde araç olarak kullanan ve tasarım/şekillendirme sürecinde teknolojinin sanatla buluşmasını deneyimleyen sanatçılar, günümüz sanat anlayışının gelişmesine de katkıda bulunmaktadır.

İngiliz heykeltıraş Sophie Kahn, sanatsal çalışmalarında üç boyutlu tarayıcılardan yararlanan sanatçılardan biridir. Eserleri üç boyutlu tarayıcıların sanat alanında kullanımına dair orijinal örneklerdendir. Çalışmalarının modern mezar örtüleri gibi görünmesi için üç boyutlu yüz taramaları yapmaktadır. Üç boyutlu yazdırma işlemi kadar üç boyutlu tarama işlemlerine de önem veren Kahn, günümüzün ileri teknolojilerinden olan bu yöntemleri kullansa da çalışmalarında “geçmişin yanında yaşayan, nefes alan bir beden in izinlerini yakalamanın imkânsızlığını” yansıtan etkiler yaratmaktadır. Kahn’ın çalışmalarındaki taranmış görüntülerde parçalanmalar olduğu görülmektedir; bu parçalanmaların olmasının sebebi ise tarama işlemi yaparken, kişinin yapmış olduğu hafif vücut ve baş hareketleridir. Bu durum aslında sabit objeleri taramak için üretilen üç boyutlu lazer tarayıcının kullanımının dışında bir yaklaşım olmaktadır. Kahn, daha sonra

elde ettiği görüntülerden, üç boyutlu yazıcıda plastik kullanarak, ya da Görsel 1.6’da olduğu gibi döküm yöntemiyle metal veya seramik malzemelerden heykellerini oluşturmaktadır. Bu, Kahn’ın heykele antik bir arkeolojik keşif görüntüsü vermek için yapmış olduğu, mükemmel olmayan, parçalanmışlık etkisi veren yaklaşımdır.³



Görsel 1.6. “Death Mask (Ölüm Maskesi Serisi)”, Sophie Kahn, üç boyutlu lazer tarama, birebir ölçü, 2013

Kaynak: <https://www.sophiekah.net/death-masks-sculpture> (Erişim tarihi:13.12.2019)

Kahn’ın yapmış olduğu çalışmalarda, tarama yöntemlerinden olağan dışı bir biçimde faydalandığı görülmektedir. Genellikle taraması yapılan yüzeylerin direk üç boyutlu çıktısı ya da elde edilen veriler üzerinde revizyon yapıp yazıcıdan alınırken, Kahn eserlerini oluşturmak için tarama anında farklı bir yöntemden faydalanmaktadır. Üç boyutlu tarama işlemi yapılırken taranan objenin sabit kalması tarama esnasındaki önemli noktalardandır. Çünkü hareketli bir objenin tarama işleminde taranan yüzeylerinde bölünmeler, kopmalar, boşluklar gibi hatalar görülebilmektedir. Kahn çalışmalarında bu hatalardan birer araç gibi faydalandığından, üç boyutlu tarama işlemleriyle üretilen heykellerinde kendine özgü, farklı etkilere sahip olmaktadır.

³https://www.vice.com/en_au/article/wnpqjm/sophie-kahn-and-the-art-of-3d-scanning-and-printing (Erişim tarihi:23.10.2019)

Amerikalı sanatçı Anna Calluori Holcombe son dönem çalışmalarını oluşturmak için üç boyutlu tarayıcılardan ve yazıcılardan faydalanmaktadır. Çalışmalarında ilk olarak Z corp el tipi portatif üç boyutlu tarayıcı ile meyveler, sebzeler, tohumlar vb. gibi doğal nesneleri tarayan sanatçı tarama işleminden sonra hazırladığı modelleri Objet Eden 250 3B hızlı prototipleme makinesinde yazdırmaktadır. Sanatçı sonrasında yazıcıdan elde ettiği modellerin alçı kalıbını alarak içeresine porselen çamuru dökmektedir. Sonraki aşamada sanatçı kalıp içeresindeki bulunan porselen dökümler yeterli sertliğe ulaştıktan kalıptan çıkartarak parçaları aplike etmektedir. Kurutma işlemlerinden sonra 926⁰C’de çalışmalarını bisküvi pişirim yapan sanatçı sonrasında 1200⁰C-1300⁰C aralığında sırlı yüksek pişirimlerini gerçekleştirmektedir. Son dekoratif dokunuş olarak altın yaldız ya da çıkartma uygulaması için 700⁰C sıcaklıkta üçüncü pişirimini yapmaktadır. Piante (Bitkiler) serisi, sanatçının çalışmalarını duvar işi tanımından çıkarttığı ve daha kapsamlı bir anlatım sunmak adına farklı biçimleri bir arada kullanarak yeni formlar oluşturduğu bir çalışmadır. Sanatçı, porselen malzemenin renginin ve çalışmaların sunumunun yapıldığı birçok duvarın/kaidenin beyaz olmasına karşın bir kontrast yaratmayı amaçladığını belirtmiştir⁴. Görsel 1.7 sanatçının çalışmasına örnek görüntüye yer verilmiştir.



Görsel 1.7. “Piante 57 (Bitkiler)”, Anna Calluori Holcombe, porselen, üç boyutlu tarama ve üç boyutlu yazdırma model, alçı döküm ile şekillendirme, lüster- 11,4 x 25,4 x 20,3 cm, 2018

Kaynak: http://www.annaholcombe.com/wp-content/uploads/ACH_Piante57.jpg (Erişim tarihi:27.04.2020)

⁴ <http://www.annaholcombe.com/showcase/piante/> (Erişim tarihi:27.04.2020)

Çalışmalarındaki üç boyutlu tarama işlemleri için önceleri Z Corp üç boyutlu tarayıcı kullanan sanatçı daha sonrası getirdiği avantajlar sebebiyle Next Engine üç boyutlu tarayıcıyı kullanmaya başlamıştır. Görsel 1.8’de Z Corp üç boyutlu tarayıcı ile tarama işlemi görüntülenmektedir. Sanatçı, Next Engine üç boyutlu tarayıcının fiyatının Z Corp’a göre daha ucuz olması, yazılımın basit, uyumlu olması ve bunlara ek olarak etkileyici sonuçlar vermesi nedeniyle daha avantajlı olduğunu söylemektedir. The Next Engine tarayıcının sabit olması ve kendine ait mekanik bir dönüş tablası ve ışık kaynağının olmasını bir diğer önemli avantaj olarak belirtmektedir (Holcombe ve Storey, 2017, s. 24).



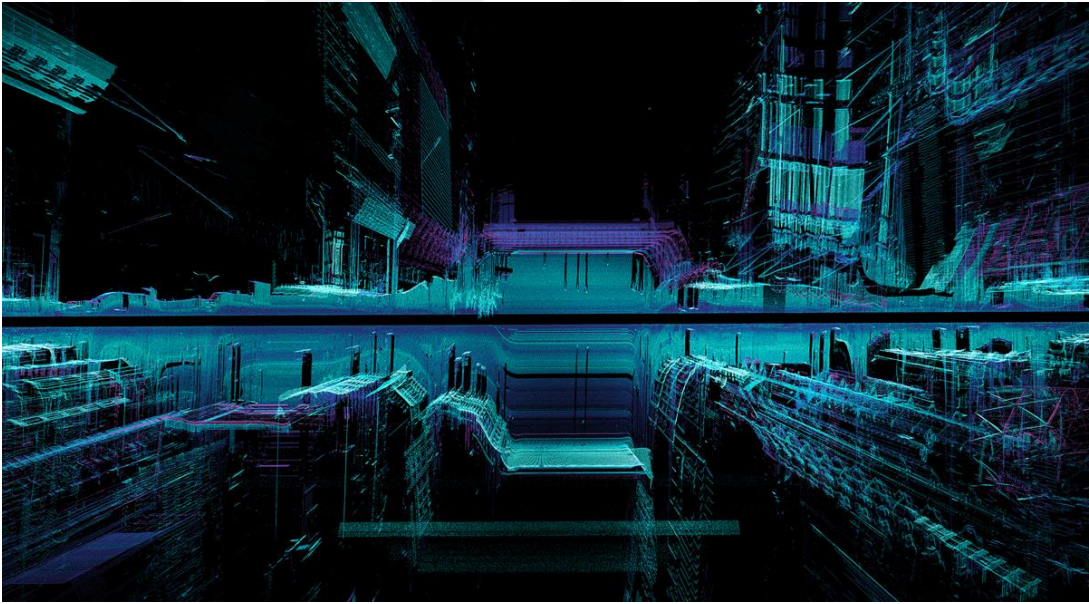
Görsel 1.8. Z Corp üç boyutlu tarayıcı ile tarama işlemi

Kaynak: http://1.bp.blogspot.com/_fFqXPGIOFck/TSfBuLlPzzI/AAAAAAAAAUI/s-T4Ts-avt8/s1600/fab%2Blab_29.JPG (Erişim tarihi:28.04.2020)

Matthew Shaw ve William Trossell, üç boyutlu tarama teknolojisini sanatsal çalışmalara entegre eden diğer isimler arasında dikkat çekmektedir. Geçmişlerinde üç boyutlu tarama verilerinde sık karşılaşılan hataları araştıran iki İngiliz mimar, üç boyutlu tarama yöntemleri ile ScanLAB projeleri adı altında avangart çalışmalar yapmaktadırlar. Lazer tarama yöntemi, zaman içinde hata biriktirmeye ve çevre koşullarını belirli bağlamlarda yanlış yorumlamaya açık bir yapıdadır. Ekip, doğal dünyanın güzelliğini, şaşırtıcılığını, baş döndürücülüğünü yeni bir lensten aktarmak için son on yılını sisli derin ormanlar gibi taraması zorlu olan yerlerde çalışmalar yaparak geçirmiştir. “Sürücüsüz Otomobillerin Hayali Yaşamı” (*The Dream Life of Driverless Cars*) adlı çalışmada

ScanLAB, yakalanan taramayı daha ilginç bir hale getirmek için otomobilin sensörlerinin bazı özelliklerini devre dışı bırakmış ve tarama sisteminden düzeltici algoritmaları kaldırmıştır.⁵

Bu proje, New York Times dergisi sponsorluğunda yayınlanarak ilk kez bir film enstalasyonu olarak sergilenmiştir. Çalışma, sürücüsüz araçların dünyayı nasıl algıladığını anlamak arayışı ile Londra'nın sokaklarındaki otonom araçlardan elde edilen bilgilerin bir araya getirilmesi ile yapılmıştır. Otonom araçlar geleceğin haritacıları olarak, şehirlerden kalıcı referanslar alarak, mekânların üç boyutlu model halini sürekli güncelleyecektir. Bu haritalamanın ilk hedefi bilgisayar vizyonu sokaklarda gezinmek ve çarpışmalardan kaçınmak olsa da “Sürücüsüz Otomobillerin Hayali Yaşamı” bu verilerin potansiyel kullanımlarına ve kötüye kullanımına dikkat çekmeyi amaçlamaktadır.⁶ Görsel 1.9’de çalışmadan alınan örnek bir görüntüye yer verilmiştir.



Görsel 1.9. “Sürücüsüz Otomobillerin Hayali Yaşamı (*The Dream Life of Driverless Cars*)”, Matthew Shaw, William Trossell, ScanLab projesi, 2015

Kaynak: <http://www.architecturetoday.co.uk/contemporary-cartography/> (Erişim tarihi:24.10.2019)

Bu çalışmanın üç boyutlu tarama yöntemleriyle üretilmiş farklı bir çalışma olmasının sebebi ilk olarak otonom arabalarda kullanılan üç boyutlu tarayıcılardan faydalanmasıdır. Otonom arabalarda bulunan sensör ve tarayıcıların amaçları çarpışma

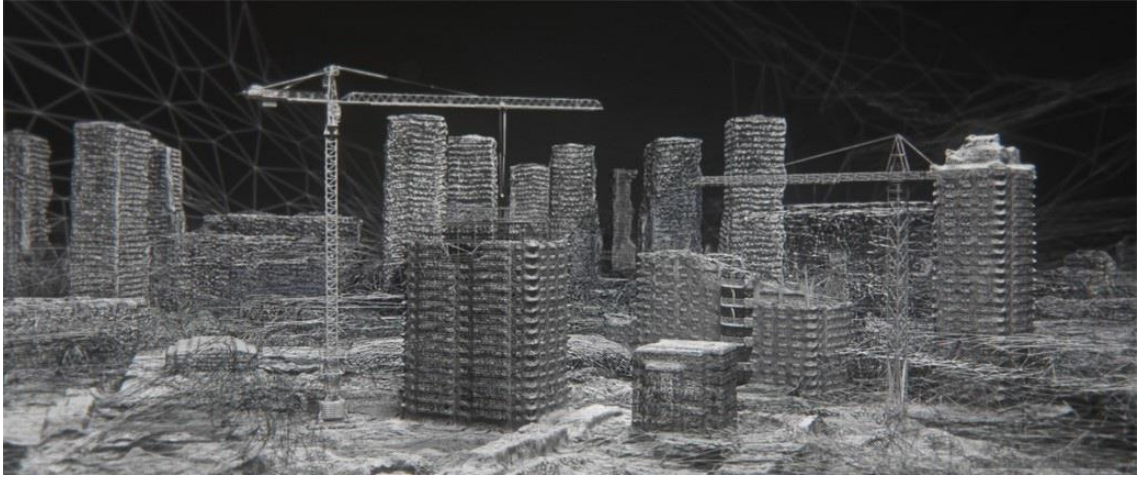
⁵<https://matterandform.net/blog/3d-scanning-in-art> (Erişim tarihi:24.10.2019)

⁶<http://www.architecturetoday.co.uk/contemporary-cartography/> (Erişim tarihi:24.10.2019)

önlemek, park yardımı ya da haritalama gibi özellikleri sağlamaktır. Ancak ScanLab ekibinin verilerini otonom arabalardan elde etmesiyle üç boyutlu tarama açısından sıra dışı bir yaklaşım sağlamışlardır. Bu sayede ekip, insanların rahat ve konforlu bir biçimde yaşaması için tasarlanan şehirlerin, cansız bir varlığın gözünden seyirciyle buluşmasını sağlamıştır.

Üç boyutlu tarama yöntemlerinin sanat alanındaki kullanımına bir başka örnek olarak Fransız yönetmen ve grafik sanatçısı Antonie Delach'ın “*Hayalet Hücre*” (*Ghost Cell*) adlı çalışması gösterilebilir. Bu çalışmada Delach, sanatsal ifadesinde araç olarak üç boyutlu tarama uygulamalarıyla ilgilenmiştir. Delach ayrıca çalışmasında “stereoskopik yapıt” olarak adlandırılan etki için nokta bulutu ve tel kafes görüntülerinin maksimum ölçüde birleştirilmesinden yararlanmıştır.⁷

Sanatçı bu çalışmasıyla Paris'in mevcut görüntülerini, taranan verilerin karmaşık ağları olarak yeniden üretmiştir.⁸ Görsel 1.10.'da çalışmadan alınan örnek bir görüntü verilmiştir.



Görsel 1.10. “*Hayalet Hücre (Ghost Cell)*”, Antonie Delach, üç boyutlu lazer tarama film, 2016

Kaynak: <https://cargocollective.com/antoinedelach/GHOST-CELL> (Erişim tarihi:24.10.2019)

Antonie Delach'ın “*Hayalet Hücre*” ve ScanLab ekibinin “*Sürücüsüz Otomobillerin Hayali Yaşamı*” adlı çalışmalarının her ikisinde de şehir ve şehir yaşantısının farklı bir biçimde ele alındığı görülmektedir. “*Sürücüsüz Otomobillerin*

⁷<https://matterandform.net/blog/3d-scanning-in-art>

(Erişim tarihi:24.10.2019)

⁸<https://www.metalocus.es/en/news/ghost-cell-stereoscopic-paris>

(Erişim tarihi:24.10.2019)

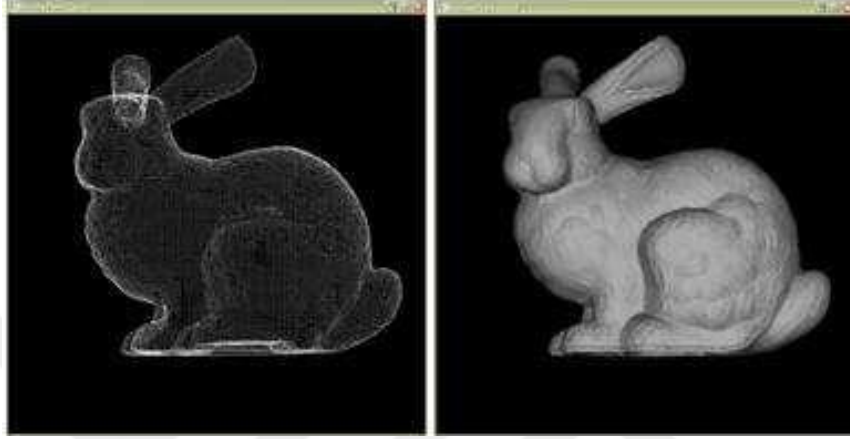
Hayali Yaşamı” adlı çalışmada Londra şehri bir nevi otonom arabaların gözünden görülürken, *“Hayalet Hücre”* çalışmasında Paris bilinçli evrimleşmiş bir kaostun içerisinde görülmektedir. Her iki projede de şehir merkezli çalışma yapılmasının nedeni; modern hayatın en iyi örnekleri sayılabilecek şehirlerde bile insanların yaşadığı kaygı, hapis olmuşluk gibi olgulara değinme içgüdüğü olarak gösterilebilir. Kullanılan üç boyutlu tarama yönteminin verdiği dijital efektler iki çalışmada da görülmektedir. Öte yandan heykeltıraş Sophie Kahn ve seramik sanatçısı Anna Calluori Holcombe’ un ele aldıkları konular her ne kadar diğer sanatçılardan farklı olsa da çalışmalarını oluşturmak için kullanmış oldukları teknikler ile modern bir yaklaşım sundukları görülmektedir. Özetle her bir projede sanatçılar, üç boyutlu tarama yöntemleri ile yapmış oldukları çalışmalarla özgün, farklı ve yenilikçi eserler üretmeyi başarmışlardır. Çalışmalar üç boyutlu tarama uygulamalarından çıkışlı olmasına rağmen, eserlerinin yapım aşamalarında seçilen gidiş yolları birbirinden oldukça farklıdır.

1.4. Üç Boyutlu Tarayıcıların Çalışma Prensipleri ve Üç Boyutlu Modelleme ile Olan İlişkisi

Üç boyutlu tarama, en temel tanımıyla bir nesnenin şeklini bilgisayar ortamına aktarabilmek için kullanılan bir yöntemdir. Üç boyutlu tarayıcılar kullanılarak elde edilen veriler, dijital ortamda kaydedilip saklanabildiği gibi, üzerinde işlem yapılarak yeniden tasarlanabilmekte ya da üç boyutlu yazıcılar yardımıyla yazdırılabilmektedir. Üç boyutlu tarama yapabilmek için birbirinden farklı birçok üç boyutlu tarama teknolojisi kullanılmaktadır. Doğru olan üç boyutlu tarama yöntemi seçmek için, taranacak objenin boyutu, rengi, tarama işleminin yapılması düşünülen ortamın kapalı ya da açık olması ya da verilerin ne için kullanılacağı gibi özelliklerin göz önünde bulundurulması gerekir. Ancak her bir üç boyutlu tarama teknolojisinin kendine has özellikleri, sınırlamaları, avantajları ve maliyeti olduğunu bilerek bu seçimin yapılması önemlidir.

Üç boyutlu tarama işleminin amacı, herhangi bir objeyi, çevreyi, mekânı ya da insan bedenini çeşitli yöntemlerle bilgisayar ortamına aktararak, dijital ortamda üç boyutlu model verisi oluşturmaktır. Bu işlem yapılırken taranan yüzeyler, nokta bulutları halinde bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Nokta bulutu, üç boyutlu ortamda tanımlanmış bir noktalar kümesi olarak ifade edilmektedir. Bu bulutlar, taranan nesnenin görünür olan yüzeylerini temsil etmektedir ancak doğrudan üç boyutlu uygulamalarda kullanılamamaktadır. Nesnelerden taranan nokta bulutlarının modelleme uygulamalarında kullanılabilmesi için verilerin çokgen ağ (*polygon meshes*) ya da

“düzgün olmayan, rasyonel temel eğri” (*Non-Uniform Rational B-Spline, Nurbs*) tanımında olması gerekmektedir. Bu nedenle nokta bulutlarının öncelikle bu bahsi geçen tanımlı geometrik model yüzeylerine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüştürme işlemine “yeniden yapılandırma” (*reconstruction*) adı verilmektedir (Küllü, 2010, s.3-4). Görsel 1.11’de örnek nokta bulutu ve yeniden yapılandırma ile oluşturulan yüzey modeli verilmiştir.



Görsel 1.11. Stanford tavşanı adlı nokta bulutu ve yeniden yapılandırma ile oluşturulan yüzey modeli

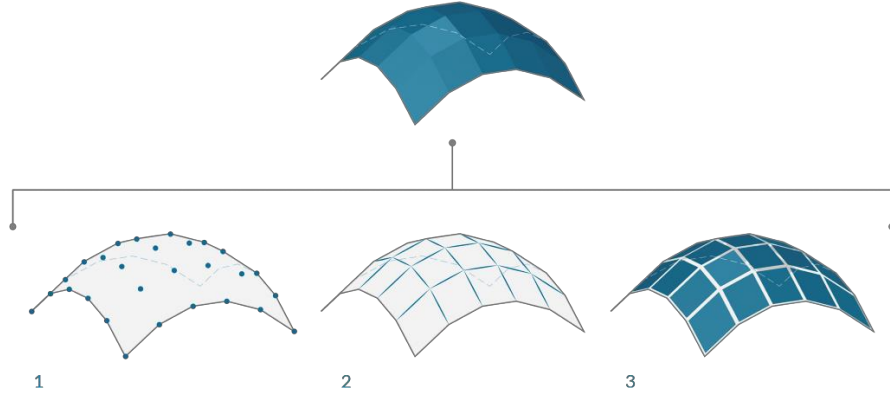
Kaynak: Küllü, 2010, s.3,4

Tanımlı model yüzeylerinden olan çokgenler, üç boyutlu köşeler ve bunları birleştiren düz çizgiler ile tanımlanmış üç veya daha fazla köşesi olan düz şekillerdir. Çokgenler köşe, kenar ve yüz olmak üzere üç temel bileşene sahiptir. Çokgenler ile modelleme yapılırken, bu temel bileşenler kullanılarak model yüzeyleri seçilebilmekte ve değiştirilebilmektedir. Modelleme uygulamalarında genellikle üçgenli çokgenler veya dört köşeli çokgenler kullanılmaktadır. Her bir çokgen bir yüz olarak adlandırılmaktadır. Birçok çokgenin yani yüzün birbirine bağlanmasıyla, çokgen ağı adı verilen yüzey modeli oluşmaktadır.⁹

Çokgen ağlar bu çokgenlerin birbirine bağlanmasından meydana gelmektedir (Görsel 1.12). Bilgisayar grafiklerinde çokgen ağ, üç boyutlu bir nesneyi oluşturan köşelerin, kenarların ve yüzlerin toplamıdır. Çokgen ağ, üç boyutlu animasyon filmlerin,

⁹<https://knowledge.autodesk.com/support/maya-lt/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/MayaLT/files/Polygons-overview-Introduction-to-polygons-htm.html> (Erişim tarihi: 13.07.2019)

reklamaların ya da video oyunlarındaki her bir üç boyutlu karakterin, objenin şekil ve konturu olarak tanımlanabilmektedir.¹⁰

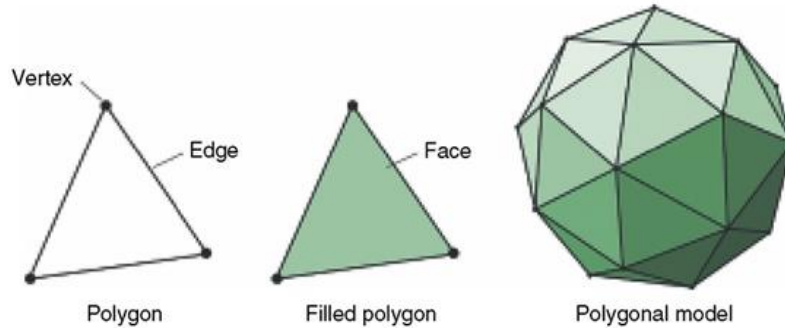


Görsel 1.12. Çokgen ağ köşelerinin görselleştirilmesi (1), Köşelerin gösterimi (2), Dörtlü köşelerin gösterimi (3)

Kaynak: Ivanov, 2017, s.16

Üç boyutlu tarama sonucu elde edilen verilerin bilgisayar ortamında çalışılabilmesi için modelleme programları kullanılmaktadır. Bu programlar genel olarak iki farklı metoda dayalı olarak çalışmaktadır. Bunlar; çokgen modelleme ve nurbs modellemesidir.

Çokgen Modelleme, çokgen bir ağın kolay ve hızlı bir şekilde işlenmesine imkân sağlayan esneklik, rahatlık ve kolay görselleştirme (*render*) gibi özellikleri nedeniyle popüler bir modelleme yöntemidir. Çokgen ağ modeli, Görsel 1.13’de görüldüğü gibi, çokgen kenarlarının bağlanmış olduğu köşelerle temsil edilmektedir. Çokgenlerin düzlemsel yapısından dolayı, kavisli yüzeyler, ancak çok sayıda poligon kullanılarak simüle edilebilmektedir (Ivanov, 2017, s.16).



Görsel 1.13. Çokgen (poligonal) modelleme

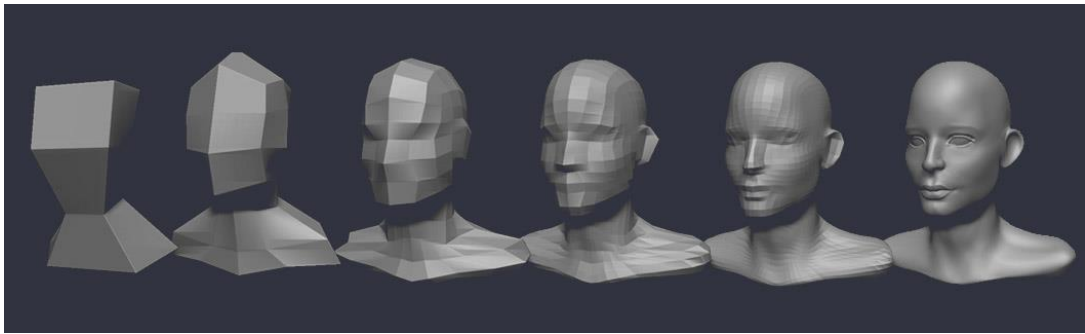
Kaynak: <https://weasalman2.jimdo.com/unit-40-3d-modelling/> (Erişim tarihi:11.07.19)

¹⁰<https://conceptartempire.com/polygon-mesh/> (Erişim tarihi: 13.07.2019)

Çokgen modelleme, daha çok animasyon karakter ve oyun modellemelerinde kullanılmaktadır. Çünkü yüzey detaylarını (yüzdeki kırışıklık, bitki örtüsü dokusu, kaya görüntüsü gibi) iyi yaratabilmesinin yanı sıra, görüntü oluşturma hesaplarında hızlı sonuç verebilmektedir. Bunun sebebi çokgenlerin hali hazırda mozaikleştirme özelliğine sahip olmasıdır. Ayrıca çokgen modellemenin genellikle kolay öğrenildiği ve kullanımı nurb modellemesinden daha basit olduğu için, konsept tasarım çalışmalarında daha fazla tercih edildiği dikkat çekmektedir.¹¹

Üç boyutlu çokgen modelleme, heykel gibi kapalı form yapımında ya da sürahi gibi açık bir form örmede metod olarak kullanılabilir (Boehler, 2002, s.3).

Üç boyutlu heykelleştirme olarak da adlandırılan dijital heykelleştirme, sanatçının bilgisayar ortamında üç boyutlu bir nesneyi, kile benzer bir malzemeyle sayısallaştırarak heykelleştirmesi olarak tanımlanmaktadır. İten, çeken, çimdikleyen ve pürüzsüzleştiren fırça ve araçlara sahip olan yazılımlar, gerçek yaşam dokularını ve nesneleri taklit ederek ayrıntılı heykeller oluşturmayı kolaylaştırmaktadır. Tasarımcı ve sanatçının, var olan bir modeli yontabileceği ya da sıfırdan bir model var edebileceği birden fazla program mevcuttur. Bu programlar, gerçek kil gibi davranan ayrıntılı poligon ağları oluşturmak için karmaşık hesaplamalar kullanmaktadır. Tasarımcı ve sanatçı geleneksel bir heykeltıraş gibi geniş alan işlemleriyle başladığı modellemesinde, daha sonra çokgen sayısını artırarak daha ayrıntılı çalışmalara geçebilmektedir. Bu yöntem, ağırlıklı olarak görsel efektlere veya üç boyutlu animasyonlara dayanan filmlerde kullanılmaktadır.¹² Görsel 1.14’de aşamalarıyla dijital heykelleştirmesi yapılmış figür görülmektedir.

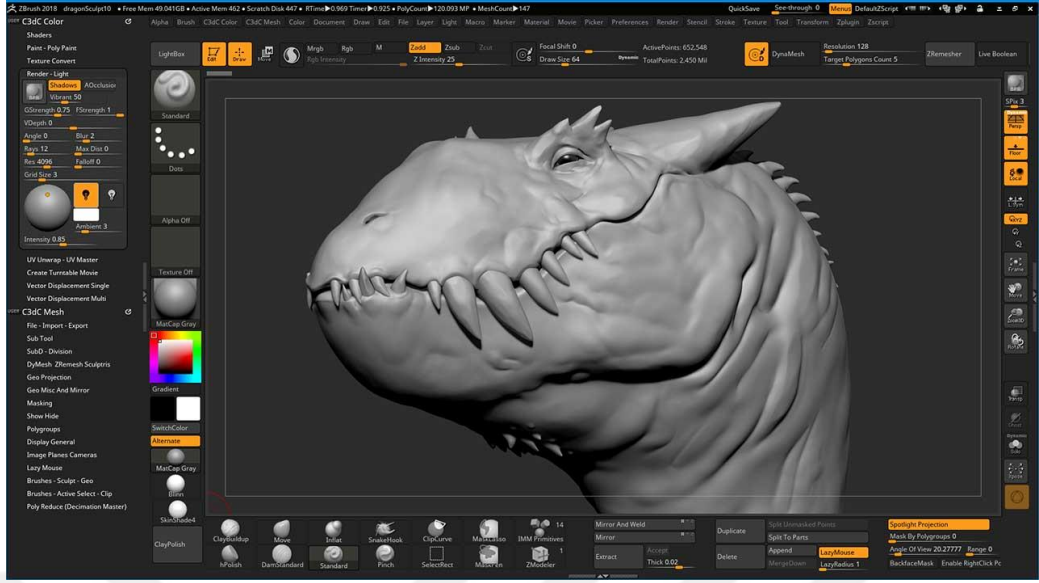


Görsel 1.14. Aşamalarıyla dijital heykelleştirme

Kaynak: <https://aarne.co.uk/what-we-do/digital-sculpting/> (Erişim tarihi:11.07.2019)

¹¹<https://knowledge.autodesk.com/support/alias-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ENU/Alias-Tutorials/files/GUID-366304CB-16FF-46F9-9F64-D7385358D855-htm.html>
(Erişim tarihi: 11.07.2019)

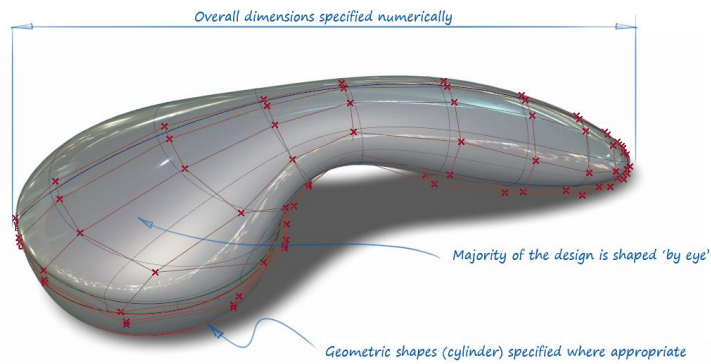
¹² <https://conceptartempire.com/what-is-3d-sculpting/>
(Erişim tarihi:11.07.2019)



Görsel 1.15. Z Brush programında modellenmesi yapılan bir ejderha figürü

Kaynak: <https://create3dcharacters.com/zbrush-preferences/> (Erişim tarihi:08.04.2020)

Nurbs Modelleme, yüzey geometrisi oluşturmak için eğrilerle çalışma prensibine dayalı diğer bir modelleme türüdür. Eğri modelleme hem parametrik (geometrik ve fonksiyonel ilişkilere dayanan) hem de serbest formda olabilmektedir ve yüzey formlarını tanımlamak için nurbs tanımlamasına dayanmaktadır. Eğriler, ağırlıklı kontrol noktaları kullanılarak tasarımcı tarafından belirlenen matematiksel denklemler tarafından yönetilmektedir (Görsel 1.16).¹³

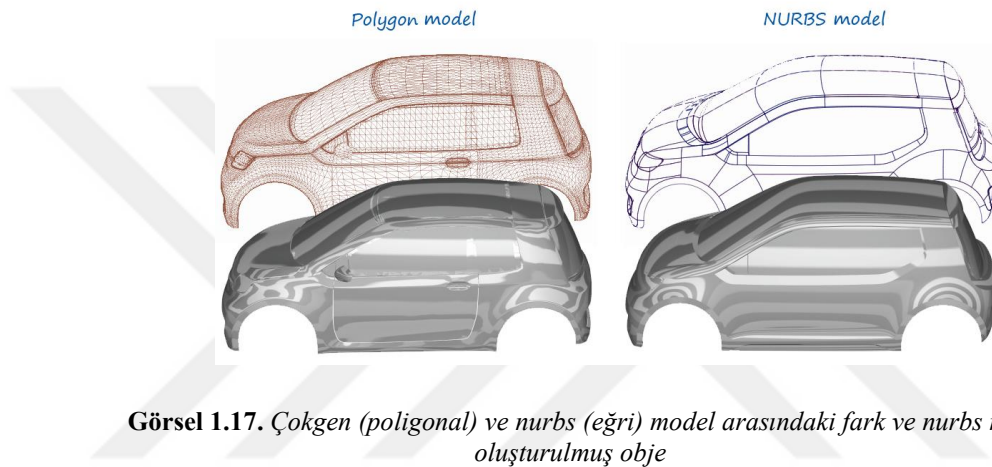


Görsel 1.16. Nurbs model ile oluşturulmuş obje

Kaynak: <https://knowledge.autodesk.com/support/alias-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ENU/Alias-Tutorials/files/GUID-366304CB-16FF-46F9-9F64-D7385358D855-htm.html> (Erişim tarihi: 11.07.2019)

¹³ <https://www.sculpteo.com/en/glossary/3d-modeling-definition/> (Erişim tarihi: 11.07.19)

Bir yüzeyin nurbs modellemesi seçildiğinde, yüzeyi tanımlamak için ayrı kafes noktaları (*mesh points*) yerine yiv (*spline*) tipi eğrilerin parametreleri kullanılmaktadır. Bu sayede veri depolama alanı önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Eğer yüzeyin pürüzsüz olduğu biliniyorsa, eğri modellemesinin kullanımı ile birlikte, tarama sonucu meydana gelen parazitler ortadan kaldırılabilir (Boehler, 2002, s.3). Nurbs yöntemiyle düzgün, pürüzsüz, kaliteli bir detay görüntünün elde edilmesine dair bir modelleme örneği, çokgen modelleme ile kıyaslanarak Görsel 1.17’te verilmiştir.



Görsel 1.17. Çokgen (poligonal) ve nurbs (eğri) model arasındaki fark ve nurbs model ile oluşturulmuş obje

Kaynak: <https://knowledge.autodesk.com/support/alias-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ENU/Alias-Tutorials/files/GUID-366304CB-16FF-46F9-9F64-D7385358D855-htm.html> (Erişim tarihi: 11.07.2019)

Nurbs ve çokgen modelleme arasındaki fark, poligon modellemede modelleme yapım aşamasında nesne kullanılırken; nurbs modellemede modelin eğrilerle yapılıyor olmasıdır. Bu nedenle, eğri modeller daha pürüzsüz bir görünüme sahiptir.¹⁴

Nurbs ve çokgen modeller temelde farklı geometrik sistemlere dayansa da her ikisi de temelde tasarım oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. Farklı geometrilere dayanıyor olmaları, tasarım esnekliği kontrolünde farklı yöntemlere sahip olmalarına sebep vermektedir.¹⁵

¹⁴<https://bigblackdrawings.wordpress.com/2013/01/07/the-difference-between-nurbs-and-polygon-modelling/>

(Erişim tarihi: 6.09.2019)

¹⁵<https://knowledge.autodesk.com/support/alias-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ENU/Alias-Tutorials/files/GUID-366304CB-16FF-46F9-9F64-D7385358D855-htm.html>

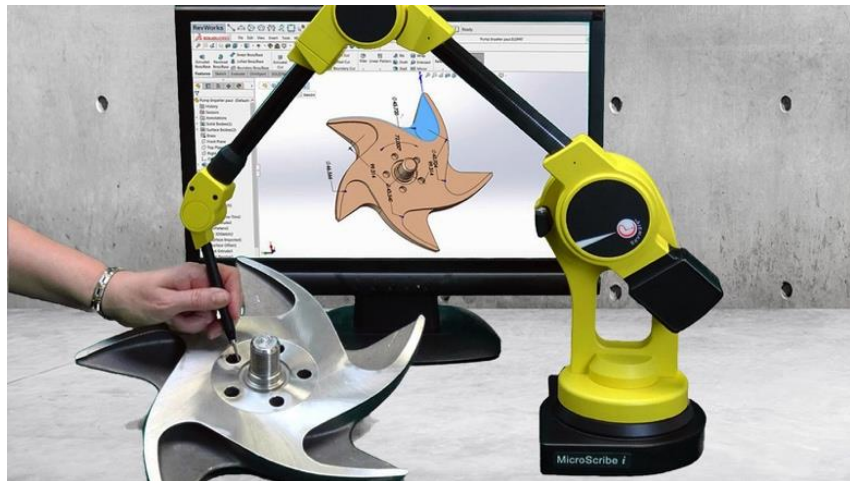
(Erişim tarihi: 11.07.2019)

1.5. Üç Boyutlu Tarayıcıların Sınıflandırılması

Üç boyutlu tarama teknolojisinde tarayıcılar, farklı tarama yöntemlerine göre çeşitlilik göstermektedirler. Temel olarak üç boyutlu tarayıcılar, fiziksel çalışma koşullarına göre temas eden ve etmeyen olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Fiziksel temassız tarayıcılar da kendi içlerinde aktif ve pasif olarak iki gruptan oluşmaktadırlar. Üç boyutlu tarama teknolojisinde tarama biçimleri ve tarayıcılar gibi modelleme programları da çeşitlilik göstermektedir. Taranan modele, tarayıcıya ve oluşturulmak istenen yeni forma bağlı olarak farklı modelleme programları ile çalışılabilmektedir. Üç boyutlu tarayıcılar ile taraması yapılan modellerden elde edilen verilerin, hangi modelleme programında çalıştırılması düşünülüyorsa STL ya da OBJ gibi formatlara dönüştürülmesi gerekmektedir.

1.5.1. Temaslı tarayıcı teknolojisi

Üç boyutlu temaslı tarayıcılar, genellikle sabit bir platformda çalışacak şekilde kalibre edilmiş; mafsallı bir mekanik kol ve ucuna yerleştirilmiş algılayıcı bir milden oluşmaktadır. Prob olarak adlandırılan bu aparat, parçanın yüzeyi üzerinde robotik veya manuel olarak kontrol edilen kol sayesinde nesnenin yüzeyine dokunarak fiziksel temas etmekte, böylece tarayıcı, armatürün konumsal ölçümlerini alarak probun x, y, z konumunu kaydetmektedir (Ebrahim, 2015, s.324). Görsel 1.18’de örnek bir temaslı üç boyutlu tarayıcı verilmiştir.



Görsel 1.18. Temaslı üç boyutlu tarayıcı örneği

Kaynak: <https://revware.net/> (Erişim tarihi 26.03.2020)

Bu tarama işleminde üç boyutlu prob, taranan objenin birçok noktasına temas ederek bu noktaları veri olarak toplamaktadır. Tarayıcı, üç boyutlu model oluşturmak ve sayısallaştırmak için bu toplanan noktaları kullanmaktadır. Genellikle mühendislik alanında makine ve seri üretim hatlarında kullanılan bu tarama yöntemi, geometrik yüzeyleri taramak için uygun olup, kullanımı organik yüzeylerde tercih edilmemektedir (Mongeon, 2015, s.59).

Bu teknolojiyen kaydedilen form, noktalar kümesi şeklindedir ve üç boyutlu ağ hesaplamalarında kullanılabilmektedir. Koordinat Ölçme Makineleri olarak adlandırılan bazı oldukça hassas üç boyutlu tarayıcılar, imalat endüstrisinde montaj problemlerini öngörmek ve denetlemek için sıklıkla kullanılmaktadır. Üç boyutlu temaslı tarayıcılar, yavaş tarama yapmaları ve fiziksel temasa dayalı olmaları nedeniyle sanat eserleri ya da hassas objeler için pek uygun değildir (Ebrahim, 2015, s.324).

1.5.2. Temassız tarayıcılar

Temassız üç boyutlu tarayıcılar, nesne yüzeyi ile fiziksel temas kurmadan çalışan teknolojik donanımlardır. Bu sebeple hassas tarama yapılması gereken uygulamalar için temaslı tarayıcılara göre daha elverişlidirler.

Temassız tarayıcılar kendi içlerinde aktif ve pasif olarak iki gruba ayrılmaktadır. Pasif tarayıcılar, kendiliğinden ışık yaymayan, sadece ortamdaki ışığın yansımaları algılayarak tarama işlemi yapan tarayıcılardır. Stereoskopik, fotometrik, ya da silüete dayalı tarayıcılar bu grupta yer almaktadır. Aktif tarayıcılar ise, bir nesneyi veya mekânı tararken, yapay bir ışık yayarak, oluşan yansımayı algılamaktadırlar. Aktif tarayıcıların ışığın yanı sıra ses veya x-ışınları yayarak, tarama yapabilen alternatif çeşitleri de mevcuttur. Aktif tarayıcıların en çok kullanılan tarama teknikleri “uçuş süresi” (*time-of-flight*) ve “üçgenleme” (*triangulation*) olarak bilinmektedir (Küllü, 2010, s.9-10).

Bu bölümde sanat ve endüstride yaygın olarak kullanılan temassız tarayıcı türlerine yer verilmiştir.

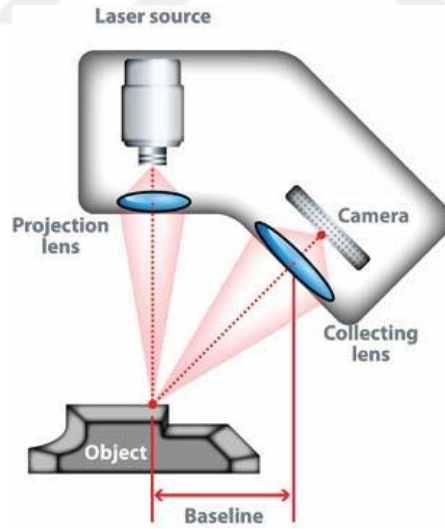
1.5.2.1. Lazer üçgenleme tabanlı üç boyutlu tarama teknolojisi

Aktif tarayıcılar arasında yer alan lazer üçgenleme tabanlı üç boyutlu tarayıcılar, bir nesneyi taramak için bir lazer çizgisi veya tek bir lazer noktası kullanmaktadır. Bu yöntemde öncelikle üç boyutlu tarayıcı tarafından nesnenin üzerine lazer atılmaktadır. Lazer ışığı üç boyutlu taranan nesneyi yansıttığından, ilk yörüngesi bir sensör tarafından değiştirilerek alınmaktadır. Lazer yörüngesinin ve trigonometrik üçgenlemenin

değiştirilmesinden, sistem belirli bir sapma açısını ayırt edebilmektedir. Hesaplanan açı, doğrudan nesneden tarayıcıya olan mesafeye bağlıdır. Üç boyutlu tarayıcı yeterli mesafeleri topladığında, yüzeyin nesneyle eşleştirme ve üç boyutlu tarama oluşturma yeteneğine sahip olmaktadır. Üç boyutlu taramada lazer üçgenleme teknolojisinin temel avantajları, çözünürlük ve hassasiyet olarak bilinmektedir.¹⁶

Lazer üçgenleştiricilerin en önemli avantajlarından bir diğeri de aydınlatma koşullarının, yüzey dokusu etkilerine nispi duyarsızlıklarıdır. Tek noktalı lazer üçgenleştiriciler ile uzaklık ölçümü, çap kalınlığı, yüzey kalite ölçümü gibi işlemler yapılabildiği için birçok endüstri alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Lazer şeritler kalite kontrol, tersine mühendislik ve kültürel miras korumalarında popüler bir araç haline gelmektedir (Sansoni, 2009, s.572).

Üç boyutlu taramada lazer üçgenleme teknolojisinin dezavantajı ise yüzey özelliklerinin üç boyutlu taramaya duyarlı olmasıdır. Özellikle çok parlak veya saydam yüzeylerde sorun oluşma ihtimali yüksektir. Görsel 1.19’da üç boyutlu lazer tarama işleminin temel çalışma prensibi görülmektedir.



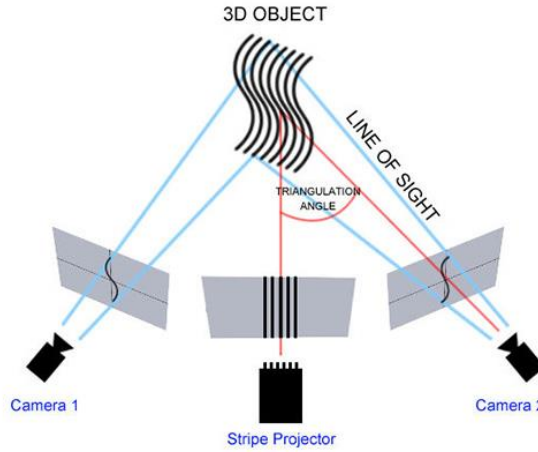
Görsel 1.19. Üç boyutlu lazer tarama teknolojisi

Kaynak: <https://www.aniwaa.com/best-3d-scanner/> (Erişim tarihi: 06.09.2019)

¹⁶<https://www.aniwaa.com/3d-scanning-technologies-and-the-3d-scanning-process/> (Erişim tarihi: 06.09.2019)

1.5.2.2. Yapılandırılmış ışık (structured light) teknolojisi

Yapılandırılmış ışık olarak bilinen aktif üç boyutlu tarayıcılar arasında sayılan bu teknolojiye, tarama için trigonometrik üçgenleme yöntemi kullanılmaktadır. Ancak bu tarayıcılar bir lazer çizgisi ya da nokta yerine, nesneye ışık deseni yansıtarak çalışmaktadır. Nesne üzerine yansıtılacak olan doğrusal desenler, LCD projektör ya da başka sabit ışık kaynağı kullanılarak yapılır. Projektörden biraz uzakta olan bir veya daha fazla sensör (veya kamera) ışık desenlerinin şeklini tespit etmekte ve görüş alanındaki her noktanın mesafesini hesaplamaktadır. Tarama işleminde kullanılan yapısal ışık beyaz veya mavi olabilmekte; yansıtılan ışık deseni genellikle bir dizi çizgiden oluşmaktadır. Ancak aynı zamanda bir nokta matrisinden veya başka şekillerden oluşan bir matristen de oluşabilmektedir. Bu cihazlar lazer tarayıcılar gibi kısa mesafeli çalıştığından, elde taşınabilmekte ya da tripoda monte edilebilmektedir. Bu teknolojinin en büyük avantajlarından birisi, taramaların hızlı olmasıdır. Yaklaşık 2 saniyede oldukça büyük alanları tarayabilmektedir. Yapılandırılmış ışık tarayıcıları da tıpkı lazer tarayıcılar gibi son derece hassastır ve yüksek çözünürlük sunmaktadırlar. Bu tür tarayıcıların olumsuz yönü ise belirli bir ortamdaki aydınlatma koşullarına duyarlı olmasıdır. Bu nedenle lazer tarayıcılarının aksine açık havada kullanımı pek uygun değildir.¹⁷ Görsel 1.20’de yapılandırılmış ışık teknolojisinin çalışma prensibi görülmektedir.



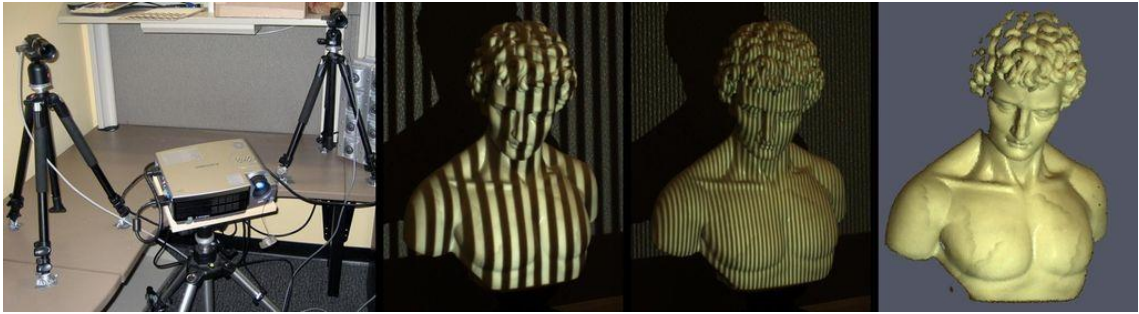
Görsel 1.20. Yapılandırılmış ışık üç boyutlu tarayıcı teknolojisi

Kaynak: <https://www.3dnatives.com/en/laser-3d-scanner-vs-structured-light-3d-scanner-080820194/> (Erişim tarihi: 02.11.2019)

¹⁷<https://www.3dnatives.com/en/laser-3d-scanner-vs-structured-light-3d-scanner-080820194/> (Erişim tarihi:02.11.2019)

Yapılandırılmış ışıklı üç boyutlu tarayıcılar, nesne üzerine bir ışık deseni yansıtarak, bu desenin nesne üzerindeki deformasyonu belirlerler. Yansıtılan bu desen tek bir çizgi olabileceği gibi iki boyutlu olabilmektedir. Çizgi, bir LCD projektör veya süpürme lazeri kullanılarak nesneye yansıtılır ve kamera desen projektöründen hafifçe kaydırılır, çizginin şekline bakar ve çizgideki her noktanın mesafesini hesaplamak için üçgenlemeye benzer bir teknik kullanır. Tek bir çizgi deseni yansıtma durumunda, hat bir seferde bir şerit mesafe bilgisi toplamak için görüş alanı boyunca kaydırılır. İki boyutlu tekrara dayalı doku örneği, bir ızgara ya da bir çizgi desenidir. Desenin deformasyonuna bakmak için bir kamera kullanılır ve desenin her noktasındaki mesafeyi hesaplamak için bir algoritma devreye girer. Yapısal ışıklı üç boyutlu tarayıcıların avantajı hızıdır. Bir seferde bir nokta taramak yerine, birden fazla nokta veya tüm görüş alanını tarayabilmektedirler. Bu durum, hareketten kaynaklanan bozulma sorununu azaltmakta veya ortadan kaldırabilmektedir. Bazı mevcut sistemler, hareketli nesneleri gerçek zamanlı olarak da tarayabilmektedir (Ebrahim, 2015, s.328).

Görsel 1.21’de yapılandırılmış ışık üç boyutlu tarama ile taranmış bir heykel çalışmasına yer verilmiştir.



Görsel 1.21. Yapılandırılmış ışık üç boyutlu tarayıcı teknolojisi ile tarama aşamaları

Kaynak: <https://www.instructables.com/id/Structured-Light-3D-Scanning/>

(Erişim tarihi: 02.11.2019)

1.5.2.3. Fotogrametri

Pasif tarama türü olan fotogrametri temelde, çekilen fotoğraflara dayanarak doğru ölçümler yapan bir üç boyutlu tarama teknolojisidir. Fotogrametri tabanlı tarama, yansıtılan ortam ışığına dayandığı için pasif tarama yöntemi olarak kabul edilmektedir (Ivanov, 2017, s.20).

Köken olarak “fotoğraf ve geometri” kelimelerinden türetilen fotogrametri, kullanıcının nesnenin etrafında çektiği birden fazla fotoğrafı, bilgisayar ortamında analiz edip, birleştirerek üç boyutlu geometriye getirmektedir (Mongeon, 2015, s.69).

Fotogrametri, özellikle yüzey noktalarının tam konumlarını belirlemek amacı ile fotoğraflardan ölçüm yapabilen, bilgisayar vizyonu ve geometrik algoritmalara dayanan bir bilgi teknolojisidir. Fotogrametrinin çalışma prensibi, statik bir nesnenin farklı açılarından alınan birkaç fotoğrafını analiz etmek ve aynı fiziksel noktaya karşılık gelen pikselleri otomatik olarak tespit etmek üzerine kuruludur. Tarama işlemi yapabilmek için, kullanıcının kameranın odak uzaklığı ve mercek bozulma gibi parametrik verilerine gereksinimi vardır. Bu üç boyutlu tarama teknolojilerinin ana görevi, birçok fotoğrafı ve binlerce noktayı yüksek doğrulukla analiz etmektir. Bu nedenle fotogrametri algoritmalarını çalıştırmak için çok güçlü bir bilgisayar altyapısı gerekmektedir.¹⁸

Fotogrametri hem uzak hem de yakın taramalar için kullanılabilir. Fotogrametride üç boyutlu model oluşturmak için gerekli olan araçlar sadece kamera ve programlardır. Kamera kalitesi ile tarama sonrası oluşturulan modelin kalitesi ve detayları doğru orantılıdır (Mongeon, 2015, s.69).

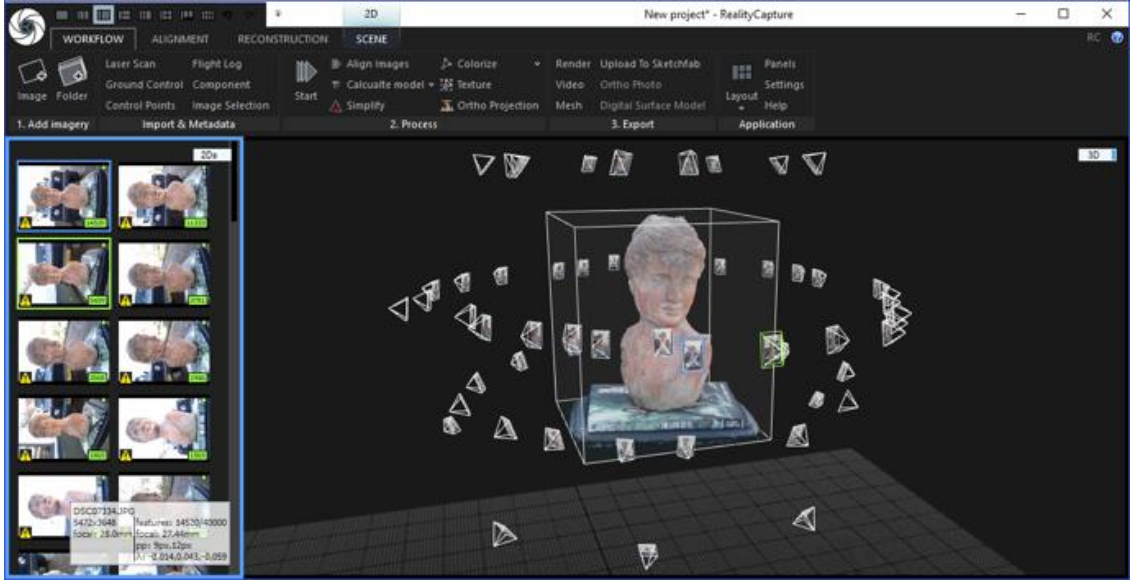
Fotogrametri üç boyutlu tarama teknolojisinin avantajları hassas ve detaylı bir tarama yapabiliyor olmasıdır. Fotogrametrik teknoloji ayrıca, yerden veya havadan çekilmiş fotoğrafları olan çeşitli ölçeklerdeki nesneleri yeniden yapılandırabilmek için de kullanılmaktadır. Fotogrametri teknolojisinin dezavantajları arasında tarama için kullanılan fotoğrafların çözünürlüğüne hassas olması ve algoritmaları çalıştırmak için harcadığı zaman sayılabilir.²⁰ Görsel 1.22 ve Görsel 1.23’de fotogrametri tekniği kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılan bir model örnek olarak verilmiştir.

¹⁸<https://www.aniwaa.com/3d-scanning-technologies-and-the-3d-scanning-process/>
(Erişim tarihi:03.11.2019).



Görsel 1.22. Fotogrametri tekniği tarama e-model oluşturma aşamaları-1

Kaynak: <https://3dscanexpert.com/realitycapture-photogrammetry-software-review/> (erişim tarihi:03.11.2019)



Görsel 1.23. Fotogrametri tekniği tarama e-model oluşturma aşamaları-2

Kaynak: <https://3dscanexpert.com/realitycapture-photogrammetry-software-review/> (Erişim tarihi:03.11.2019)

İKİNCİ BÖLÜM

2. SERAMİK ÜRETİMİNDE ŞEKİLLENDİRME YÖNTEMİ OLARAK ÜÇ BOYUTLU YAZICILAR

Üç boyutlu yazıcılar, eğlence, animasyon, medikal, mimari ve birçok endüstri dalı gibi farklı sektörlerde oldukça sık kullanılan teknolojik araçlardır. Genel olarak üç boyutlu yazıcılarda kullanılan malzemeler termoplastik (ABS, PLA vb.) olarak bilinse de günümüzde metal, reçine ve çamur gibi malzemeleri işleyen üç boyutlu yazıcılar da bulunmaktadır. Seramiğin hammaddesi olan çamurun üç boyutlu yazıcı yöntemleriyle şekillendirilebilmesi, seramik endüstrisine yeni bir açılım kazandırırken, seramik sanatında da yeni bir dil oluşumunun önünü açmıştır. Bu sebeple günümüzde birçok seramik sanatçısı çalışmalarında üç boyutlu yazıcıları aktif bir biçimde kullanmaktadır. Üretim aşamalarında bu yazıcılardan faydalanan sanatçı ve tasarımcıların sayısı günden güne artmaktadır. Bunun nedeni diğer üretim ve şekillendirme yöntemlerinden farklı bir etki edilebilmesi ve pratik çözümler sunmasıdır. Ayrıca bu tarz yazıcılarda yapılan çalışmaların sosyal medya üzerinde oldukça dikkat çekmesi, birçok sergi ve yarışmada yer edinmesi de bu ilgiyi destekler niteliktedir.

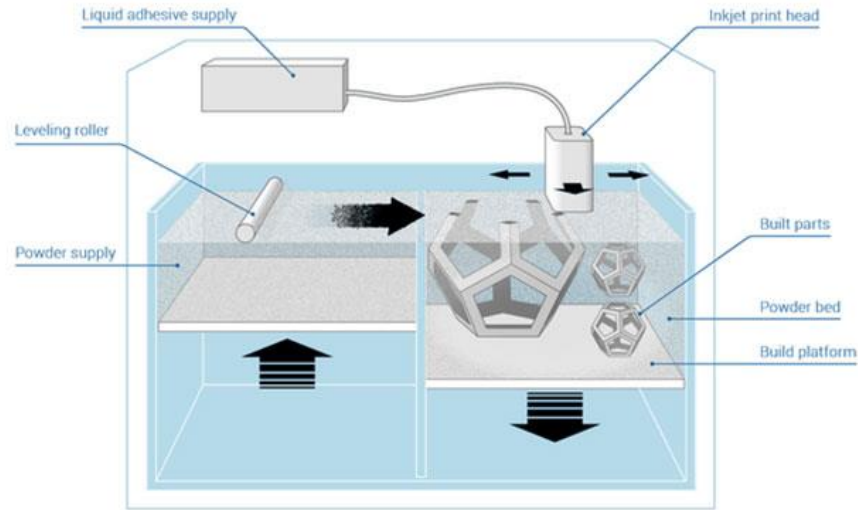
2.1. Seramik Üretiminde Kullanılan Üç Boyutlu Yazıcı Türleri ve Sanatta Kullanımı

Seramik alanında şekillendirmede kullanılan üç boyutlu yazıcıların, plastik uygulamalarda olduğu gibi toz bağlama (*Binder Jetting, Power Binding*), SLA (*Stereolithography- Stereolitografi*) ve LDM (*Liquid Deposition Modelling-Sıvı Biriktirme Modellemesi*) olmak üzere birden fazla çeşidi bulunmaktadır. Bunların arasında en bilinen ve yaygın olarak kullanılan, malzeme yığıma prensibine dayanan FDM'e (*Fused Deposition Modelling-Eriyik Biriktirmeli Modelleme*) benzer LDM tipi üç boyutlu yazıcılardır. Bu bölümde toz bağlama, stereolitografi, yığıma yönteminde FDM ve LDM tipi yazıcılar, sanatçılar tarafından yapılan çalışmalar örnekler verilerek anlatılacaktır.

2.1.1. Toz bağlama yöntemiyle (binder jetting) çalışan yazıcılar

İlk kez 1991 yılında, Massachusetts Institute of Technology'de M.J. Cima ve E.M Sachs tarafından, yüksek sıcaklıkta döküm üretmek amacıyla kullanılan toz bağlama teknolojisiyle büyük boyutlu, toleranslı ve karmaşık şekilli çekirdekler ve kabuklar hazırlanmıştır (Deckers vd., 2014, s.247).

Toz bağlama, ilave prosesli bir teknolojidir. Herhangi bir üç boyutlu yazıcı teknolojisinde olduğu gibi, toz bağlama yönteminde de ilk adım öncelikle objeyi CAD yazılımında modellemektir. Daha sonra model üç boyutlu yazıcıya gönderilmeden bilgisayar ortamında ilaveli üretimin gerektirdiği katmanlar halinde dilimleme işlemi gerçekleştirilir. Bunun için özel aracı programlar kullanılmaktadır. Toz bağlama yönteminde, normalde üç boyutlu yazıcı iki tanktan ve bir platformdan oluşmaktadır. Yazma işleminin başında tanklardan biri boş iken, diğeri toz baskı malzemesini tutmaktadır. İlk olarak tesviye silindiri, platform üzerine bir toz tabakası yaymaktadır. Daha sonra, iki boyutlu yazıcılara benzeyen baskı kafası, bağlayıcı maddeyi 80 µm damlacıklar halinde püskürtmektedir. Son olarak, toz malzemeler birleştirilmekte ve katmanlar halinde parça oluşturulmaktadır¹⁹. Toz bağlama sistemi çalışma prensibi Görsel 2.1’de verilmiştir.



Görsel 2.1. Toz bağlama işlemi

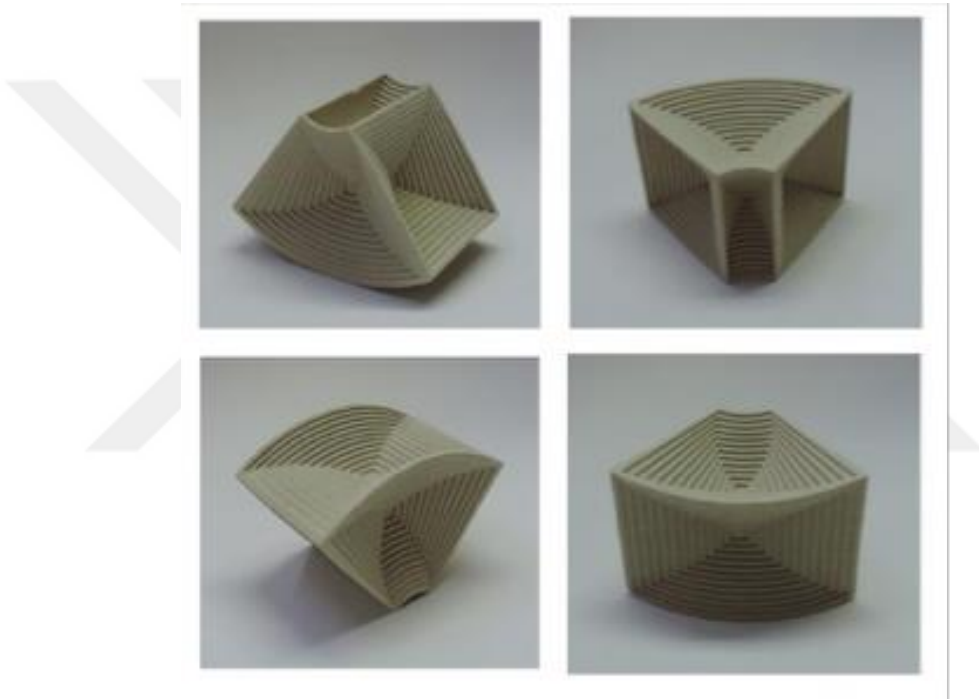
Kaynak: <https://www.3dnatives.com/en/powder-binding100420174/> (Erişim tarihi:16.11.2019)

Çalışma prensibi, damlacık formundaki organik bağlayıcı bir çözeltinin, baskı kafalarından toz yatak yüzeyinin seçilen bölgelerine püskürtülmesine dayanmaktadır. Bu sayede tozu sararak nüfuz eden sıvı bağlayıcı maddenin yapışması ile katı tabakalar oluşturulmaktadır. Süreçte parça oluşuncaya kadar sürekli yeni bir toz tabakası atılarak katmanlar yükselmekte ve işlem devam etmektedir. Bu işlemlerden sonra, parçayı ortaya çıkarmak için arta kalan tozlar giderilmektedir. Düzgün bir yazım işleminin yapılabilmesi

¹⁹ <https://www.3dnatives.com/en/powder-binding100420174/> (Erişim tarihi:16.11.2019)

için bağlayıcı çözeltinin yazıcının kafalarından başarıyla çıkması gerekmektedir (Chen vd., 2019, s.671).

Toz bağlama yönteminde, üç boyutlu seramik parçalar üretilirken pişirim sırasında, organik bağlayıcı yanmakta böylece sinterleşmiş seramik parçalar elde edilmektedir. Toz partiküllerinin merdane veya kazıyıcı bir sistemle sıralı olarak biriktirilmesi ve bağlayıcı malzemenin mürekkep püskürtmeli baskı işlemindeki gibi işlenmesi, katı tabakaları oluşmasını sağlamaktadır (Deckers vd., 2014, s.247). Görsel 2.2’de toz bağlama işlemi ile hazırlanmış seramik parçalar örnek olarak verilmiştir.



Görsel 2.2. Toz bağlama ile hazırlanmış ve 1200 °C pişirimi yapılmış, formun farklı açılardan görünümü, Tethon 3D firması

Kaynak: Emre Can

Bu teknolojinin önemli avantajlarından biri de renkli baskı yapmayı mümkün hale getirmesidir. Örneğin, seramik uygulamalarında, renk maddesi bağlayıcı maddeye aynı anda eklenebilmektedir. Ardışık toz tabakalarına bağlayıcı ve renk maddeleri eklendiğinde, parça istenilen renklerde oluşturulabilmektedir (Görsel 2.3). Toz bağlama teknolojisi, çeşitli türlerde seramik malzeme ile uyumlu çalışabildiği için yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde seramik malzemeler için toz bağlama teknolojisini

kullanan üç boyutlu yazıcıların ana üreticisi olan 3D Systems firması, bu teknolojiyi Renkli Jet Baskı (*Color Jet Printing*) olarak adlandırmıştır.²⁰



Görsel 2.3. Toz bağlama ile yazılmış tam renkli obje, kumtaşı (sand stone)

Kaynak: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-binder-jetting-3d-printing/>

(Erişim tarihi: 22.12.2019)

Toz bağlamanın diğer üç boyutlu yazıcılara göre önemli bir diğer avantajı, bağlamanın oda sıcaklığında gerçekleşmesidir. Bu durum, termal etkilere bağlı boyutsal bozulmaların bu teknoloji için bir problem yaratmadığı anlamına gelmektedir. Diğer taraftan toz bağlama destek yapıları gerektiren bir teknoloji olarak, oluşturulan parçanın etrafında biriken toz yığını ile desteklenmesine dayanmaktadır. Toz bağlamada parçaların yapı platformuna bağlanması gerekmediğinden, tüm yapı hacmi kullanılabilir. Bu nedenle, toz bağlama düşük-orta ölçekli üretimler için uygun yapıya sahiptir. Toz bağlama yöntemlerinden yüksek performans sağlamak için, makinenin tüm yapı hacmini etkin bir şekilde doldurmak çok önemlidir.²¹

Bu yöntemde ayrıca, yer çekimi ya da formu ağırlığı ve boşluklarıyla ilgili normalde seramik çamurunu elle ya da diğer yöntemlerle şekillendirirken göz önünde bulundurulmuş taşıma, ayakta durma gibi kurallar ve kaygılar ortadan kalkarak, daha özgür olanakları doğmaktadır. Bu yöntemle oluşturulmuş her bir katman tozların içerisinde kaldığı için, toz bu katmanlara destek sağlamaktadır. Ters açı, ince duvar ya da oluklu

²⁰<https://www.3dnatives.com/en/powder-binding100420174/>

(Erişim tarihi: 16.11.2019)

²¹<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-binder-jetting-3d-printing/>

(Erişim tarihi: 17.11.2019)

yapılar gibi üç boyutlu yazıcılarda şekillendirilmesi zor olan parçalar, bu yöntemde rahatlıkla yazdırılabilmektedir.

“Toz bağlama yöntemi seramik biçimlendirme yapabilen diğer üç boyutlu yazıcılar ile karşılaştırıldığında şekillendirme sırasında biçimsel sınırlandırıcılarının olmaması avantaj olarak gösterilebilir. Ancak üretim sürecinin uzun olması, yüzey pürüzlülüğünün fazla oluşu ve boyut sınırlaması bu yöntemin dezavantajlarındandır (Can, 2019, s.65).”

Tüm bunların yanı sıra toz bağlama yöntemiyle çalışan yazıcıların hem maliyetinin yüksek olması hem de çalışma prensibinin zorluğu sebebiyle, kullanan seramik sanatçıları sınırlı sayıdadır. Kate Blacklock, 3D System sponsorluğunda ekibiyle beraber bu yöntemi kullanarak seramik heykeller üreten sanatçılara örnek olarak gösterilebilir.

Resim, fotoğraf, heykel gibi sanatın birçok alanında çalışmalar yapmakta olan Kate Blacklock, sadece üç boyutlu yazıcılarla şekillendirdiği heykelleriyle açtığı sergisi için, Ocak 2014’te 3D System ile beraber çalışmaya başlamıştır. Blacklock, bu seride çok karmaşık ve yapısal olarak zorlayıcı parçalar yaratmış ve farklı altyapıya sahip sanatçılarla bir araya gelerek çalışmıştır (Görsel 2.4, 2.5). Tasarım süreci, sanatçının bilgisayar ortamında oluşturduğu modelleriyle başlamaktadır. Sonrasında modeller, üç boyutlu yazıcının “yapı kutusunu” ifade eden bilgisayar içerisindeki sanal bir kutuya yerleştirilmektedir. Bir sonraki adımda sanatçı, yapacağı çalışma doğrultusunda toz ve bağlayıcı yönergelerini ayarlamaktadır. Bilgisayar ortamında parçalara bölerek başlatılan yazdırma işlemi parçanın toz katmanları halinde üst üste püskürtülerek yayılmasıyla devam etmektedir. Sonrasında yazdırılan parçanın yavaş ve eşit olarak kurutulması için yazıcıda yaklaşık on iki ile kırk sekiz saat arasında kalması gerekmektedir. Sonraki adımda fazla toz, genellikle bir fırça yardımıyla uzaklaştırılarak kalan son toz parçalarından kurtulmak için air brush (hava fırçası) kullanılmaktadır. Parça daha sonrasında geleneksel seramiklerde olduğu gibi bisküvi pişirimi ile sonuçlandırılır.²²

²²<https://blogs.chapman.edu/collections/2019/06/26/3d-printing-ceramics/>
(Erişim tarihi: 25.12.2019)



Görsel 2.4. Kate Blacklock'ın toz bağlama ile yapmış olduğu çalışmalar

Kaynak: <https://www.kateblacklock.com/3d-printed-ceramics> (Erişim tarihi:25.12.2019)



Görsel 2.5. Kate Blacklock'ın toz bağlama ile yapmış olduğu çalışmalar

Kaynak: <https://www.kateblacklock.com/3d-printed-ceramics> (Erişim tarihi:25.12.2019)

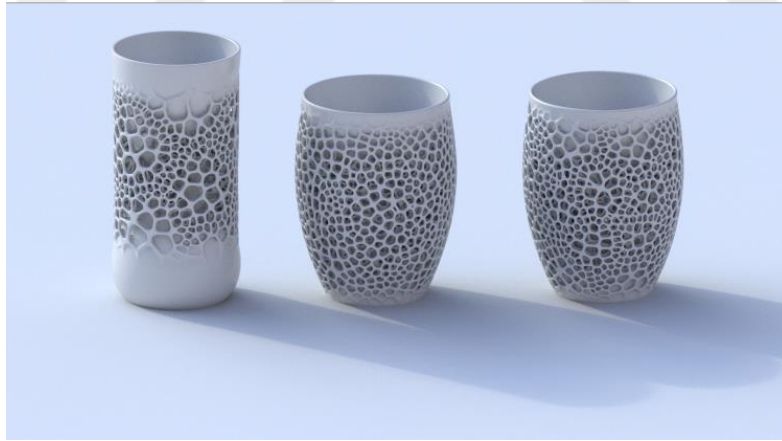
2.1.2. Stereolitografi (stereolithography) yöntemiyle çalışan SLA tipi yazıcılar

Stereolitografi, sıvı monomerin katı reçineye dönüştürülmesi için her katmanın fotopolimerize edilebilir ortamda lazer taraması ile tarandığı bir işlemdir. SLA tipi yazıcılar sıvı malzeme ile yazma işlemini gerçekleştirirken bir yandan da ultraviyole ışınlar devreye girerek malzemeyi katılaştırmaktadır.

SLA tekniğinde oluşturulan modeli saran malzeme sıvıdır ve parçanın ayakta durması için destek sağlanmamaktadır. Ancak, parçanın spesifik geometrisine bağlı olarak, destek yapıları daha sonra sökölmesini gerektiren parça ile birlikte inşa edilmektedir (Zocca vd., 2015, s.1989).

Seramik parçaların oluşturulabilmesi için bu yöntemde sıvı monomer yerine fotopolimerize edilebilir bir seramik toz süspansiyonu kullanılmaktadır. Biyomedikal implantlar, seramik prototipler, hücresel seramikler, karmaşık ticari döküm çekirdekleri gibi birçok yerde bu uygulama kullanılmaktadır (Halloran, 2016, s.20).

Seramiklerin SLA işlemi sırasında, farklı seramik hammadde tabakalar ultraviyole (UV) radyasyonu ile taranmaktadır. UV radyasyonu toz yataklı füzyon işlemleri sırasında meydana gelen termal reaksiyonun aksine, kimyasal bir tepkimeye neden olur ve bu durum, seramik partiküllerle dolu sıvı reçinenin katılaşmasıyla katmanların fotopolimerizasyonuna, yani kimyasal kürlenmesine neden olmaktadır. Elde edilen polimer toplandıktan ve yapısal materyal bir fırında pişirilerek sinterlendikten sonra, nihai seramik parça elde edilmektedir (Deckers vd., 2014, s.253). Görsel 2.6’da SLA yöntemi kullanılarak üretilmiş farklı tasarımda seramik vazolar görülmektedir.



Görsel 2.6. SLA yöntemiyle yazılmış seramik vazolar

Kaynak: <https://3dclayprinting.com/3d-printing-with-porcelite/> (Erişim tarihi:23.12.2019)

Tüm katmanlar tamamlandıktan sonra parçanın kendi kendine desteklenip üstten inşa edilip edilmediğine veya kürlenmemiş süspansiyona daldırılıp batırılmadığına bağlı olarak ürünün alınma işlemi dikkat gerektirmektedir. Kaldırılması gereken geçici destek yapıları olabilir ve eğer nesnenin birimleri sıkışmışsa, sertleşmemiş sıvı boşaltılmalıdır. Tasarımın yoğun küçük bir geçiş dizisi varsa, küçük boşluklar kürlenmemiş

süspansiyondan arındırılmalıdır. SLA tekniğinde aynı anda birden fazla parça yazdırabilmektedir. Bu yaklaşım, üretkenliği önemli ölçüde artırabilmektedir. Çünkü birkaç saat süren bir çalışmada, hacmindeki alanı verimli bir şekilde kullanarak birbirine yakın yerleştirilmiş çok sayıda farklı nesne aynı anda üretilebilmektedir. Sertleşmemiş süspansiyonu dış ve iç yüzeylerden çıkarmak süspansiyonun dış yüzeylerden veya açık yapılardan çıkarılması için temizlik işlemi gerekmektedir. Süspansiyonun karmaşık parçaların iç kısmından sökülmesi, özellikle ince detaylara sahip parçalar için zor olabilmektedir (Halloran, 2016, s.22-24). SLA yöntemi ile yazım işlemi yapılan vazo görseli Görsel 2.7’de verilmiştir.



Görsel 2.7. SLA yöntemiyle yazılmakta olan seramik vazo

Kaynak: <https://tethon3d.com/product/porcelain-ceramic-resin/> (Erişim tarihi:23.12.2019)

SLA yöntemi ile üretilmiş seramik parçaların yüzey kalitesi LDM yöntemlerine göre daha iyi olmasına rağmen, seramik sanatçıları tarafından çok fazla tercih edilen bir yöntem değildir. Bunun nedenleri SLA yazıcılarda kullanılan seramik reçinelerin fiyatının yüksek olması ve SLA yazıcılardan elde edilen ürünlerin boyutlarının kısıtlı olması şeklinde ifade edilmektedir. Tethon 3D markasının Porcelite ve Formlabs markasının Form X ürünleri piyasada bulunan seramik reçineleri vardır. Ancak yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı özel üretimler için kullanıldığı ve seramik sanatındaki kullanımının yaygın olmadığı dikkat çekmektedir.

SLA yönteminde seramik hammaddesi reçine ile süspansiyon halindedir ancak pişirim işlemleri olduktan sonra reçine yanarak, ortada sadece seramik kalmaktadır. SLA

yöntemiyle seramik takılar üreten Nervous System ekibi seramik reçinenin, diğer reçinelerden çok daha kırılğan ve daha ağır olması sebebiyle desteklerin daha kalın ve daha fazla olması gerektiğine ve yazdırma işlemlerinin daha zor olabileceğine değinmiştir. Ekip tutarlı bir biçimde yazma işlemi yapabilmek için her ne kadar temizleme prosesi zor olsa da yapmış oldukları takı parçalarının her birine ayrı destek uygulamışlardır (Görsel 2.8). Reçine içindeki seramik çökeltme zaman içinde ayrılacağından tanktaki ve kartuştaki reçine iyice karıştırılmalıdır. Ayrıca reçinenin yazdırma işlemi sırasında tabağa yapışabilmesi için tabağın çok az zımparalanmış olması gerekmektedir. Geri dönüşü olmayan hataların oluşmasını engellemek açısından zımpara işleminin hassas yapılmasına özen gösterilmesi gerekmektedir.²³



Görsel 2.8. Nervous System, takı modellerinin yazıcıda oluşturulması

Kaynak: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/blog/?p=8115> (Erişim tarihi:09.12.2019)



Görsel 2.9. Nervous System ekibi tarafından oluşturulan takıların yazıcıdan çıkarılması

Kaynak: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/blog/?p=8115> (Erişim tarihi:09.12.2019)

²³ <https://n-e-r-v-o-u-s.com/blog/?p=8115> (Erişim tarihi:09.12.2019).



Görsel 2.10. SLA yazıcı ile oluşturulmuş seramik takılar

Kaynak: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/blog/?p=8115> (Erişim tarihi:09.12.2019)

2.1.3. Yığma yöntemi ile çalışan FDM (Fused Deposition Modelling) ve LDM (Liquid Deposition Modelling) tipi yazıcılar

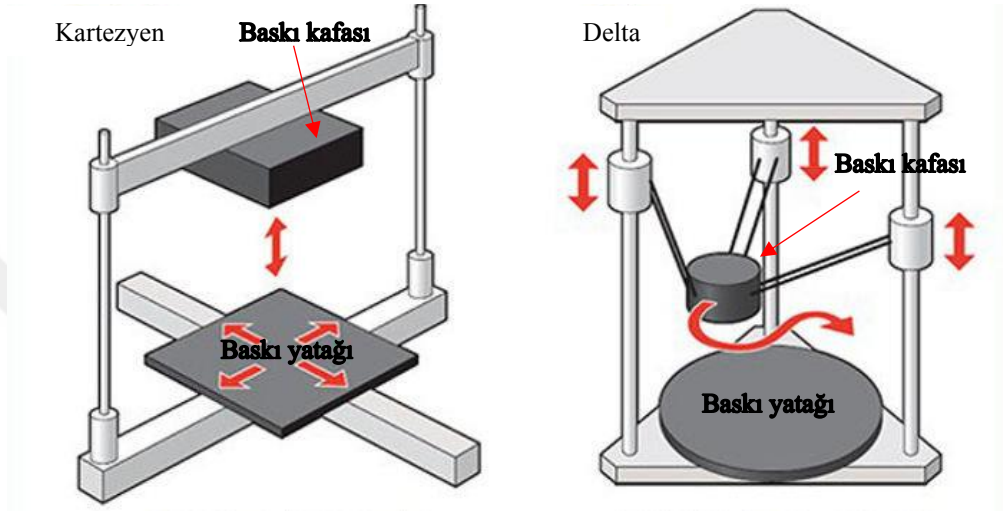
Yığma yöntemi ile çalışan üç boyutlu yazıcılar diğer üç boyutlu yazıcılara göre daha pratik, basit, ucuz ve ulaşılması kolay olduğu için piyasada en fazla kullanılan yazıcılardır. Bu tür yazıcının çalışma prensibinde model, filament denilen termoplastik malzemelerin nozzle olarak adlandırılan başlıktan ergimiş halde çıkıp üst üste yığılmasıyla oluşmaktadır. PLA ve ABS bu yazıcı türlerinde en çok tercih edilen iki filament türü olmaktadır. PLA türü bileşenler şeker pancarı, mısır nişastası gibi bileşenlerden oluştuğundan organikdir, doğaya zarar vermez. PLA filamentlerin %40-60 oranlarında karıştırılmış kompozit karbon, ağaç kabuğu, tahta, bambu, pirinç, bakır ve seramik parçacıklarından yapılmış çeşitleri bulunabilmektedir. ABS ise petrol bazlı bir filament türüdür.

FDM tipi çalışan yazıcıların en bilineni ve en yaygın olanı kartezyen koordinat sistemine dayalı olarak çalışan kartezyen tipi yazıcılardır. Bu teknoloji baskı kafasının doğru pozisyonlarını ve yönünü belirlemek için X, Y ve Z eksenlerini kullanır. Bu tür yazıcılarda, baskı yatağı genellikle yalnızca Z ekseninde, baskı kafası ise X-Y düzleminde iki boyutlu şekilde hareket ederek çalışmaktadır. Bu yöntemle çalışan en bilinmiş üç boyutlu yazıcı markaları Ultimaker ve MakerBot'tur.²⁴

FDM yazıcıların kartezyen tipi dışında yine yaygın olarak kullanılan diğer türü ise delta tipi yazıcılardır. Kartezyen yazıcılara göre farklı bir geometrik yapıya sahip olan bu

²⁴ <https://www.3dnatives.com/en/four-types-fdm-3d-printers140620174/>
(Erişim tarihi:13.12.2019)

yazıcı türünde, baskı kafası dikey destekler boyunca kontrol edilen üç kol üzerinde sabitlenmektedir. Bu düzenlemede üç kolün her birinin diğeriyle olan ilişkisinin değişmesi sayesinde baskı kafası baskı yatağının üzerinde verilen komutlara göre hareket etmektedir (Griffey, 2014, s.8). Görsel 2.11’de kartezyen ve delta tipi yazıcıların çalışma prensibi verilmiştir.



Görsel 2.11. Kartezyen ve delta tipi yazıcıların çalışma prensipleri

Kaynak: <https://www.3dnatives.com/en/four-types-fdm-3d-printers140620174/>

(Erişim tarihi: 13.12.2019)

2.1.3.1. Seramik esaslı çalışan LDM (Liquid Deposition Modelling) tipi yazıcılar

Seramik esaslı çalışan LDM tipi üç boyutlu yazıcıların yazdırma işlemi temelde plastik yazıcılarla aynıdır. Farkı, besleyiciye (*extruder*) giden malzemenin filament yerine seramik çamuru oluşudur. Malzemenin çıktığı başlığın ağız çapı, termoplastik malzeme ile çalışan yazıcılara göre daha geniştir. Plastik yazıcılarda filament, besleyicide bulunan çarklar sayesinde başlığa aktarılırken, yazıcıda malzeme olarak çamur kullanıldığında ya basınç yoluyla ya da motor sıkıştırmasıyla çamur besleyici kısma ittirilerek, oradan da başlık kısmına aktarılmaktadır. Görsel 2.12 ve 2.13’de farklı basınçlandırmalara sahip iki LDM tipi yazıcı örneği görülmektedir.

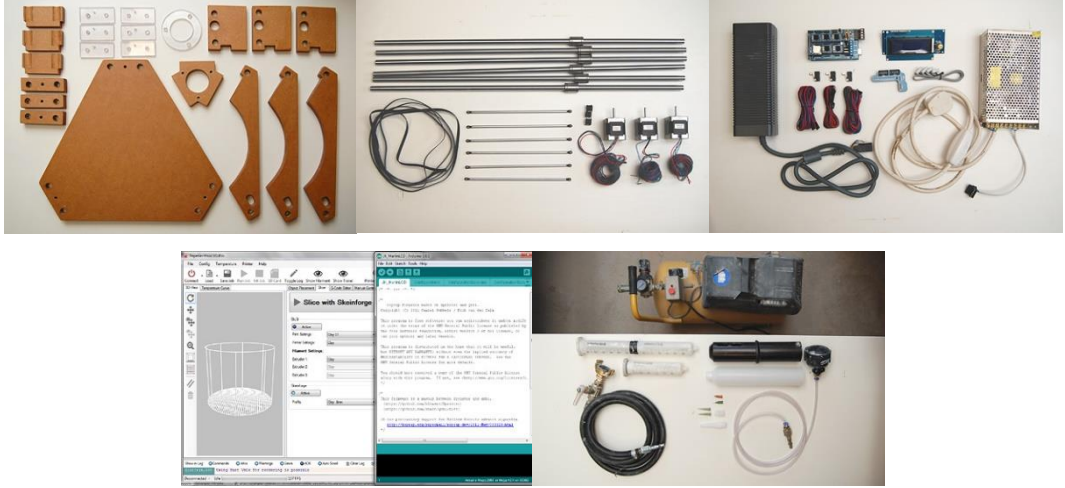


Görsel 2.12. Motor sıkıştırmasıyla çamur yazdıran LDM tipi yazıcı (1),

Görsel 2.13. Basınç ile çamur yazdıran LDM tipi yazıcı (2)

Kaynak: <https://www.3printr.com/35824-5735824/> , <https://www.3ders.org/articles/20180130-delta-waspclay-3d-printer-lets-you-print-high-quality-ceramic-parts-with-ease.html> (Erişim tarihi:29.12.2019)

Seramik uygulamalarında delta tipi yazıcıların, kartezyen yazıcılara göre daha fazla tercih edildiği bilinmektedir. Bunun en önemli sebeplerinden biri olarak İngiliz sanatçı Jonathan Keep'in seramik üretiminde kullanmak üzere yapmış olduğu, delta tipi yazıcıyı parçaları ve yapım aşamalarıyla açıklayarak paylaşması gösterilebilir (Görsel 2.14). Bu sayede çalışmalarını teknoloji ile entegre etmek isteyen birçok seramik sanatçısı, kendi üç boyutlu yazıcısını yapma olanağını yakalamıştır. Bu anlamda ticari açıdan en bilinen delta tipi yazıcı markası İtalyan menşeli Wasp olurken, kartezyen tipi olarak da VormVrij firmasının Lutum modeli gösterilebilir.



Görsel 2.14. Jonathan Keep'in kendi yapmış olduğu yazıcının parçaları ve kullandığı program

Kaynak: http://keep-art.co.uk/Self_build.html (Erişim tarihi 15.12.2019)

Emre Can, çalışmalarında üç boyutlu yazıcılardan faydalanan seramik sanatçılarından. Wasp firmasının LDM delta tipi üç boyutlu yazıcısını kullanarak yaptığı çalışmalarında Orta Doğu, Selçuklu serisi ve doğanın gücü, Selçuklu kültürü gibi birçok farklı konuyu ele almaktadır.



Görsel 2.15. Emre Can, "Selçuklu serisi", üçlü vazo, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 1160°C, 29 x 21 x 22 cm., kobalt oksit katkılı renkli plastik seramik çamuru

Kaynak: Emre Can

Sanatçı, 2015 yılında başladığı çalışmalarında bilgisayar ortamında modellediği tasarımlardan yola çıkmaktadır. Üç boyutlu yazıcıda yaş bünneyi yığarak elde ettiği formların bazılarında, elle müdahaleler yaptığı görülmektedir. Son aşamada pişirim işlemini yaparak nihai eserlerini elde etmektedir. Üç boyutlu yazıcılarla üretilen çalışmalarda, yazım sonrası müdahalelere fazla rastlanmazken, Emre Can'ın bu müdahaleleri bilinçli bir biçimde ele aldığı Orta Doğu serisinde açıkça görülmektedir. Çaydanlık, çay bardağı, yumurta gibi sembolleşmiş kahvaltı öğelerini özellikle seçen sanatçı, bu parçaların yapım aşamasında dolgu etkisi (*infill*) kullanmıştır. Bu dolgular, parçaların şekillendirme aşamalarında destek görevi görmesinin yanı sıra, sanatçının istediği mesajı vermesini sağlayan önemli öğelere dönüşmüştür. Yapısal olarak formun aslında iç boşluğunu dolduran ve ayakta durmasını sağlayan bu öğeler, formların dış yüzeylerinde küçük darbelerle oluşturulan kırıklarla ortaya çıkarılmakta ve böylece içeride gizli duran katman dolgular açığa çıkmaktadır. Savaşın neden olduğu yıkıma gönderme yapan bu etkileri elde etmek için sanatçının pişirim öncesi kurumuş formlarının dış duvarlarını sert bir cisim yardımıyla bilinçli bir şekilde deforme ettiği görülmektedir. Kahvaltı sofrasında yıkım kavramını seyirciyle buluşturan sanatçı, temelinde Orta Doğudaki olaylar sonrasında, kaybolan, göçen ya da ölen bireylere, kopan ailelere ve yitip giden barış ve huzura vurgu yapmaktadır (Görsel 2.16).



Görsel 2.16. Emre Can, “Ortadoğu’da Kahvaltı”, üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 1230°C, 21 x 58 x 41 cm., plastik porselen çamuru, kobalt oksit katkılı renkli çamur ve beyaz astar

Kaynak: Emre Can

Üretim yönteminde LDM tipi üç boyutlu yazıcıları kullanan seramik sanatçılarına bir diğer örnek olarak Amerikalı Bryan Czibesz gösterilebilir. Sanatçının 2013 yılında ilk LDM tipi seramik çamur yazdırabilen üç boyutlu yazıcısını yaptığından beri çalışmalarında da bu yazıcıdan faydalandığı görülmektedir²⁵

Eğriler: yığınlar (Curves: stacks) (Görsel 2.17) isimli serisinde sanatçının üç boyutlu yazıcıların sağlamış olduğu geometrik form ve dokulardan faydalandığı görülmektedir.



Görsel 2.17. “*Curves: stacks (Eğriler: yığınlar)*” serisi, Bryan Czibesz, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme

Kaynak: <https://www.bryanczibesz.com/new-gallery-4/ywxq6t4dbp88i97uetauygjszfdni4>

(Erişim tarihi 28.03.2020)

Sanatçının *Diğer Hikayeler (Other Histories)* (Görsel 2.18) serisine bakıldığında ise üç boyutlu yazıcıların farklı bir yönünden faydalandığı görülmektedir. Sanatçı LDM tipi üç boyutlu yazıcılarda basınç ve hız hatalarından kaynaklı, normalde istenilmeyen

²⁵ <https://studiopotter.org/editorial-printing>
(Erişim tarihi:28.03.2020)

yığma sorunlarından kontrollü bir biçimde faydalanarak, çalışmalarını sıra dışı bir biçimde oluşturmıştır.

Bryan Czibesz üç boyutlu teknolojinin yaratım sürecinde bir araç olduğu, bu yazıcı makinelerin tıpkı insanın diğer organları gibi fiziksel yaradılış biçimlerinin bir uzantısı, bir nevi protez eller gibi düşünülebileceğini ileri sürmektedir. Sanatçı ayrıca üç boyutlu teknoloji ile yapılan her bir çalışmanın, oluşturulmak istenen nesnelerin sınırlarında kontrollü bir şekilde keşif imkânı sunduğunu belirtmektedir. Dolayısıyla sanatçının çalışmalarında üç boyutlu yazıcıların yazdırma aşamasında gerçekleşen arıza ve şekil bozmalarından faydalandığı görülmektedir (Chau, 2017, s.6-9).



Görsel 2.18. “*Other Histories (Diğer Hikayeler)*” serisi, Bryan Czibesz, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme

Kaynak: <https://www.bryanczibesz.com/> (Erişim tarihi 28.04.2020)

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. KİŞİSEL UYGULAMALAR

Bu tez çalışması, önceki bölümlerde bahsedilen dijital teknolojileri seramik sanatına entegre etme amacıyla hazırlanmıştır. Bu kapsamda yapılan uygulamalarda ilk olarak elle şekillendirilen modeller, üç boyutlu tarayıcı yöntemleriyle bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bilgisayar ortamında, modeller üzerinde gerekli müdahaleler yapıldıktan sonra LDM tipi üç boyutlu yazıcıda modellerin yazım işlemleri yapılmıştır. Üç boyutlu yazıcıdan çıkan bu parçalar, tasarımlar doğrultusunda önceden elle şekillendirilmiş seramik yaş bünyelerin üzerine aplane edilerek ya da herhangi bir aplane işlemi olmadan parçalar halinde üretildikten sonra birleştirilerek kullanılmıştır. Bu sayede farklı doku, kompozisyon ve biçimlendirme teknikleri ile oluşturulan figüratif seramik formlar, seramik sanatında yeni bir dilin gelişmesine katkı sağlamak üzere ele alınmıştır.

3.1. Elle Şekillendirme Aşaması

Genellikle üç boyutlu yazıcılarda yazdırılması istenilen parçanın modelleme aşamaları doğrudan bilgisayar üzerinden olurken, bu tez kapsamında modelleme aşamasının büyük bir bölümü atölye ortamında yapılmaktadır. Üç boyutlu yazıcıdan çıktısı alınacak olan modellerin tasarımının atölye ortamında elle şekillendirilmesi, sanatçı ve tasarımcıların kendini çamura aktarmadaki el becerisini, el işçiliğini ön plana çıkarırken, modelleme işlemlerini bilgisayar ortamında sıfırdan yapabilmesi için ihtiyacı olan program yeterliliği gereksinimini en aza indirmiştir. Böylece sanat ve tasarım çalışmalarındaki dijitalleşme sürecine daha pratik, hızlı ve kolay bir biçimde adapte olunması sağlanmıştır. Ayrıca, atölye ortamında modelin elle şekillendirilme sürecinde model ile sanatçı arasında doğrudan bir bağ oluşmakta ve bu bağ fiziksel temastan ileri gelmektedir. Bu temas sanatçının çamura sürekli dokunarak şekil vermesi, kesmesi, vurma, eklemesi, çıkarması ve daha birçok şekillendirme tekniklerinden oluşan müdahaleleri kapsamaktadır. Bu süreçte sanatçının çamuru şekillendirdiği kadar çamurun da sanatçıyı şekillendirdiği söylenebilir. Kısaca sanatçının çamurla olan bu etkileşimi, tasarımların gelişmesine farklı şekillerde katkı sağlamaktadır. Bu esnada çamurun doğası gereği ortaya çıkan kısıtlayıcılar var olsa da, bunları bertaraf ederek çamurun sunduğu özgürlüğü avantaj ya da dezavantaja çevirmek sanatçının elindedir. Bu durum sanatçının yetkinliğine paralel olarak oluşur.

Bilgisayar ortamına aktarılacak olan modellerin atölye ortamında şekillendirilmesinin bir başka avantajı ise fizibilite hesaplamasıdır. Seramiğin yapısı gereği, şekillendirme, kurutma ve pişirme dikkatle takip edilmesi gereken aşamalardır. Bir formu şekillendirmeye başlarken denge ve yerçekimi unsurlarına dikkat etmek gerekmektedir. Yukarıda belirtilen aşamaların herhangi birinde devrilme ya da çökme gibi olayların meydana gelme riski artmaktadır. Elle şekillendirme, formun zemin üzerindeki dengesi ve yer çekimine karşı direncinin sürekli kontrol edildiği bir süreç olduğundan hesaplanarak, anlık müdahalelerle minimize edilebilmektedir.

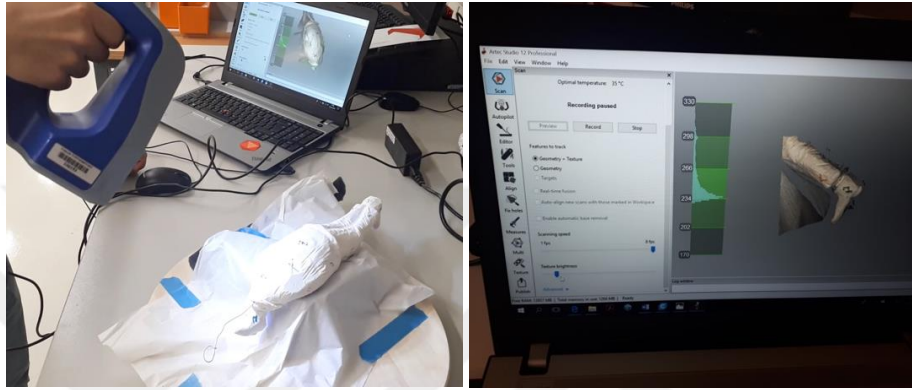
Bir diğer avantaj ise modeller elle şekillendirilirken, gerekli kurutma ve pişirim işlemlerinden sonra üzerlerinde sır ya da astar gibi denemeler yapılabilmesidir. Bu sayede hazırlanan modeller bir nevi maket görevi göreceği için tasarımların ilerlemesine katkı sağlayacaktır. Seramik çamurundan şekillendirilen modellere pişirim işlemi uygulanmayacaksa, sadece modelleme işlemleri için plastilin hamuru kullanılabilir. Plastilin hamurunun şekillendirme aşamaları seramik çamuruna göre daha kolay olduğundan ve kurutma ya da pişirim gibi dikkat gerektirecek aşamaları bulunmadığından, kullanımı daha kolaydır. Ayrıca elle şekillendirilen modellerin küçük boyutlarda olması durumunda üç boyutlu tarama işlemi yapan firmalara rahatlıkla gönderilebilmektedir. Bu sayede sanatçı ve tasarımcılar da kolaylıkla dijital ortamda verilere istediği ölçekte sahip olabilmektedir.

3.2. Üç Boyutlu Tarama Yöntemleriyle Veri Elde Etme, Tasarım ve Modelleme Uygulamaları

Bu tez kapsamında modeller atölye ortamında elle şekillendirildikten sonra verileri bilgisayar ortamına üç boyutlu tarayıcı ve tarama yöntemleri ile aktarılmıştır. Bu kapsamda birbirinden farklı üç adet tarayıcı kullanılmıştır. Bunlar Artec Space Spider üç boyutlu tarayıcı, Autodesk Recap programı ve Microsoft 360 Kinect aracıdır. Tarama işlemleri sonrasında elde edilen verilerle Z Brush, Rhinoceros ve MeshMixer programlarından faydalanılarak bilgisayar ortamında tasarımlar yeniden oluşturulmuştur. Sonrasında bu tasarımlar Cura programında dilimleme işlemleri yapıldıktan sonra G-code olarak kaydedilip üç boyutlu yazıcıdan çıktıları alınmıştır.

Tezin bu bölümünde Artec firmasının Space Spider model tarayıcısı kullanılarak yapılan tarama çalışmaları, bilgisayar ortamındaki modelleme, tasarım süreci, yazdırma işlemi ve aşamaları aktarılmaktadır. Artec Space Spider ile yapılan çalışma Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında, İzmir Yaşar Üniversitesi Tasarım

Uygulama ve Araştırma Merkezinde (YÜTAM) 2019 Mayıs ayında yapılan araştırma ve uygulamaları içermektedir. Temassız tarama yöntemi ile çalışan optik tabanlı Artec Space Spider üç boyutlu tarayıcı, attığı ışınlar sayesinde parça yüzeylerini nokta bulut şeklinde oluşturmaktadır. Bu işlem için saniyede 8 kare fotoğraf çekip aynı zamanda bu fotoğrafları işleyerek bilgisayar ortamında veriler oluşturmaktadır. Artec Space Spider’la yapılan tarama ve ekrana aktarma işlemleri Görsel 3.1’de görülmektedir.



Görsel 3.1. Artec Space Spider ile üç boyutlu tarama işlemi ve ekran görüntüsü (İzmir Yaşar Üniversitesi)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

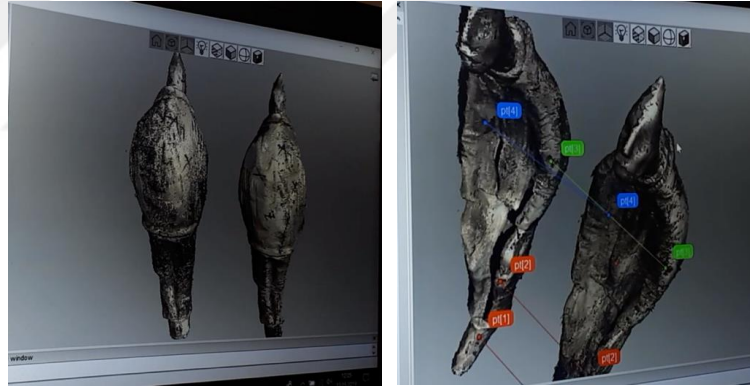
Tarama işleminin sağlıklı bir biçimde yapılabilmesi için, modelin farklı pozisyonlarda taranması gerekmektedir. Örneğin Görsel 3.2’de verilen çalışmada model ön, arka ve yan olmak üzere üç farklı açıdan taranmıştır. Bu sayede bir açıdan görülmeyen oluk, boşluk, çıkıntı, kabartı gibi detayları farklı açılardan yakalayabilme imkânı oluşmuştur.



Görsel 3.2. Modelin tarama işlemi için hazırlanması, referans noktalarının işaretlenmesi

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

Taramalar sonucunda bilgisayar ortamında aynı modelin üç farklı açıdan taranmış verileri elde edilmektedir. Modelin bütün detaylarının olduğu tek bir model verisini oluşturmak için ön, arka ve yan taramalar sonucu elde edilen verilerin birleştirilmesi gerekmektedir. Bu işlem için tarama öncesinde model üzerinde renkli keçeli kalem ile referans noktaları belirlenmektedir. Referans noktaları işaretlenirken X, A gibi farklı noktaların farklı renklerle belirlenmesi birleştirme aşamasında kolaylık sağlamaktadır. Bu referans noktalarının amacı, farklı açılardan taranan modelin tarama işlemi bittikten sonra üst üste bindirilip hizalama işlemi yapılırken kılavuz görevi görmesidir. Referans noktaları, taramalar sonucu elde edilmiş olan verileri bilgisayar programında birleştirirken kullanıcıya kolaylık sağlamak ve hataların minimum düzeyde tutulmasına yardımcı olmaktadır. Bu aşamada modeller üzerinde bulunan bu noktalar seçilip, eşleştirilerek bilgisayar komutlarıyla birleştirilir ve tüm detayların olduğu 360⁰'lık bir görünüme sahip model verisi elde edilir (Görsel 3.3).

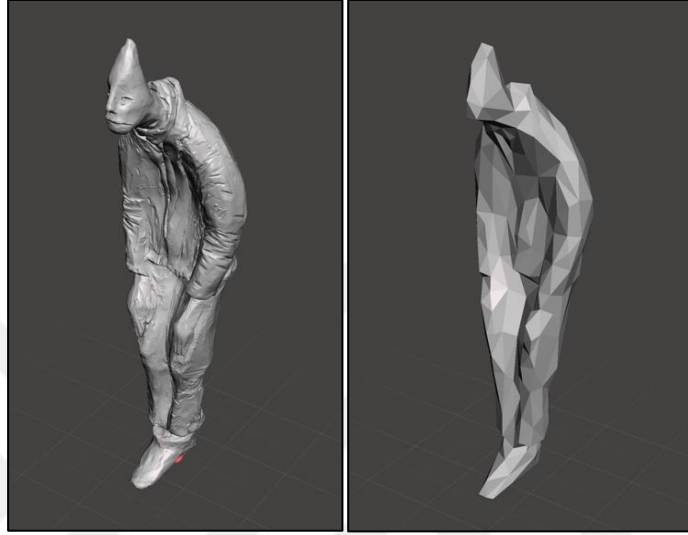


Görsel 3.3. Referans noktalarından seçilerek birleştirme işlemi

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

Birleştirme işleminden sonra elde edilen model verisinin STL ya da OBJ formatında dışa aktarılması gerekmektedir. Blender, Z Brush gibi programlar çokgen tabanlı olduğu için OBJ formatı tercih edilmektedir. Eğer dışarı aktarımı yapılan model çokgen yoğunluğuna sahip ise bu durumda yüksek dosya boyutuna sahip olacaktır. Bu durumda model ile Z Brush gibi programlarda çalışma yapmak için çok güçlü donanıma sahip bilgisayarlar gerekmektedir. Bu sebeple çalışmaya başlamadan önce çokgen düzenleme, analiz ve onarım yapan Meshmixer gibi programlarda modelin veri boyutunu düşürmek için çokgen yoğunluğu sayısı azaltılabilir. Bu işlem yapılırken dikkat edilmesi

gereken nokta, çokgen yoğunluğu az olduğu takdirde, yüzeylerdeki parçalar büyüyerek detaylar kaybolmaya başlar. Bu sebeple küçültme işleminin yüzey kalitesi kontrol edilerek adım adım yapılması gerekmektedir. Aşamalı olarak küçültme işlemi yapılan model Görsel 3.4’te görülmektedir.

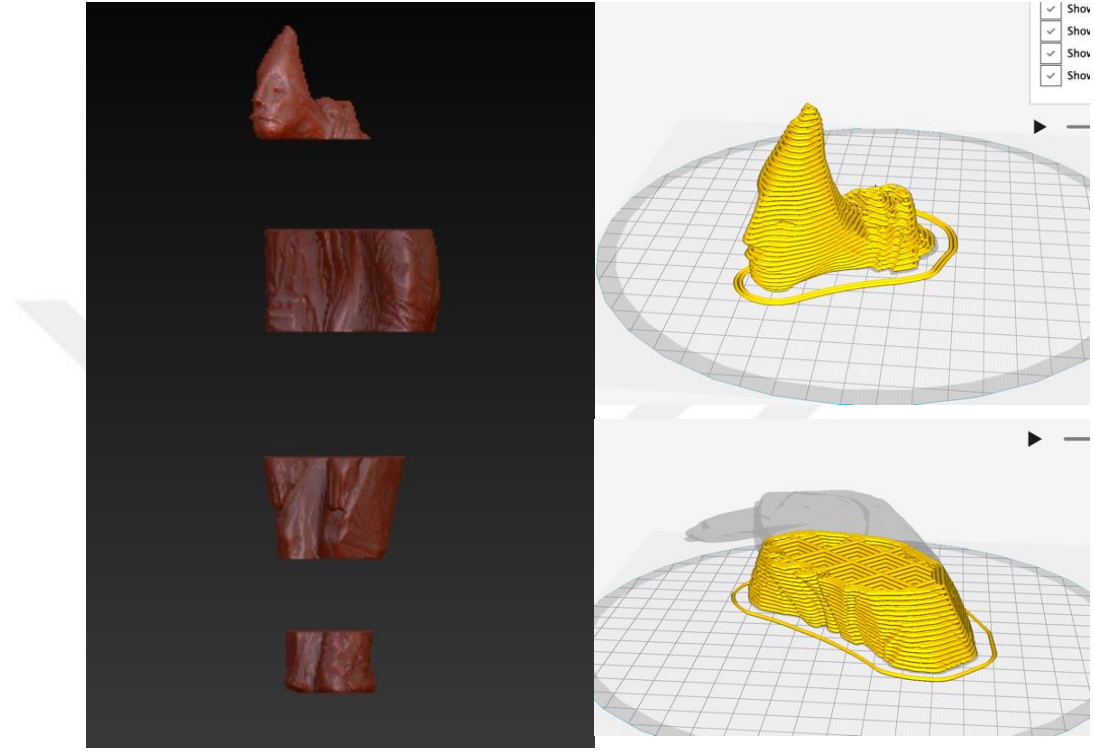


Görsel 3.4. Yüksek çokgen sayısına sahip değiştirilmemiş orijinal veri (1), Çokgen yoğunluğu düşürülmüş veri (2)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

Görsel 3.5’te verilen 2. resimdeki modelin OBJ formatı dışarıya aktarılmış olup Z Brush programında tasarım için gerekli olan müdahaleler yapılmıştır. Z Brush programı çokgen tabanlı bir programdır ve OBJ formatında kaydedilmiş olan model üzerinde ekleme, çıkarma, bölme, kesme gibi elle şekillendirme aşamalarında kullandığımız bütün imkanları kullanıcıya sunmaktadır. Tez kapsamında yapılan bu çalışmada model, Z Brush programında parçalara bölünmüştür ve parçalar OBJ formatında dışa aktarılmıştır. Üç boyutlu yazıcılarda yazım işleminin yapılabilmesi için yazdırılacak olan parçanın dilimleme işleminden sonra G-code formatında yazıcıya aktarılması gerekmektedir. Bu dilimleme işleminde program, parçayı katman yüksekliği, dolgu oranı gibi istenilen özelliklerde katmanlara (*layer*) bölmektedir. Bu tez çalışmasında dilimleme programı olarak Cura kullanılmıştır. Cura programında dilimleme işlemi yapmadan önce boyutta değişiklik, uzatma, daraltma, yön değiştirme gibi çok kapsamlı olmayan komutlarla parça üzerinde değişiklikler yapılabilmektedir. Görsel 3.6’da Cura programında dilimleme aşaması verilmektedir.

Bu çalışmada OBJ formatındaki parçalar üzerindeki küçültme, büyütme işlemleri Cura programında dilimleme işlemi yapılmadan önce yapılmıştır. Cura programında üzerinde değişiklikler yapılan parçalar dilimleme aşamasından sonra G-code olarak dışarı aktarımı yapıp, yazım işlemleri için uygun hale getirilmiştir.



Görsel 3.5. Z Brush programında tasarım aşaması (1),

Görsel 3.6. Cura programında dilimleme işlemi aşaması (2)

Kaynak: Ali Cihan Kayaloğlu arşiv

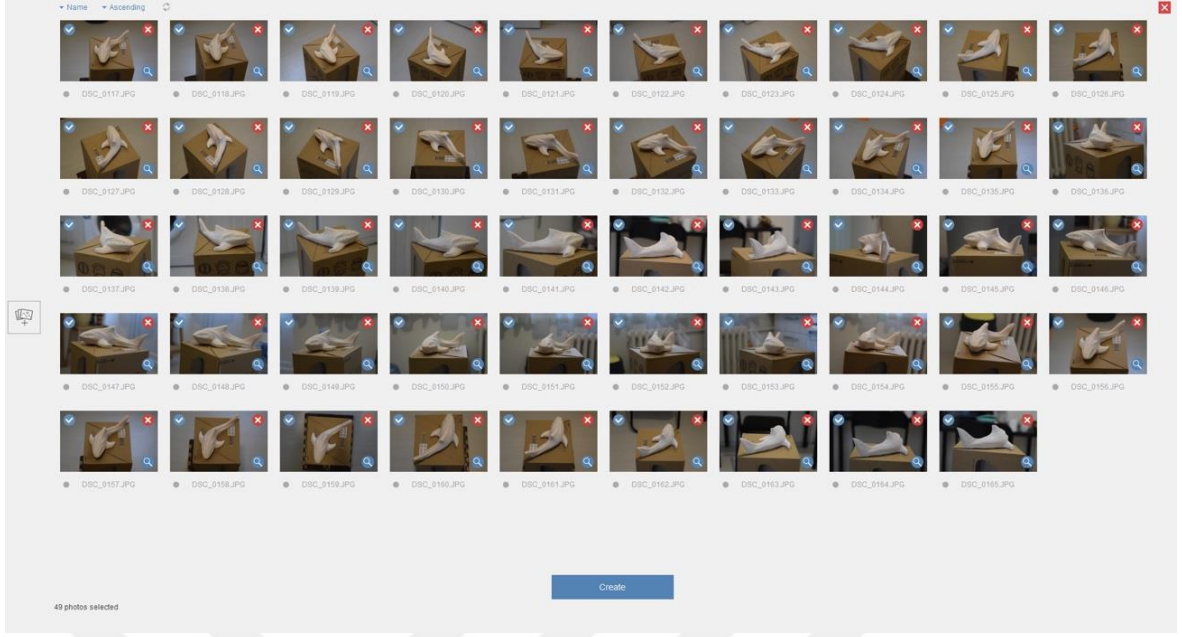
Artec Space Spider tarayıcısının avantajlarına değinilecek olursa ilk olarak tarama işleminin hızından bahsedilebilir. Bu hız taranacak olan modelin biçim, detay, boyut gibi özelliklere ve taramada kullanılan bilgisayarın performansına göre değişiklik gösterse de ortalama olarak 1-2 saatte model verisine ulaşmak mümkündür.

Artec Space Spider'ın avantajları arasında detaylı tarama yapması da yer almaktadır. Model üzerindeki detayları çok iyi biçimde tarayıp veri olarak kullanıcıya sunan bu tarayıcının bir diğer avantajı da modeli tarama aşamasında sürekli kontrol edebilme durumudur. Tarama işlemi esnasında taranan alan bilgisayar ekranına yansıtıldığından, hatalı tarama yapma olasılığı düşük olmaktadır. Bu sayede tarama esnasındaki yakınlık ve uzaklık ayarları kontrollü olduğundan tarama işlemleri düzgün

ve kolay bir biçimde gerçekleştirilir. Artec Space Spider'ın bir başka avantajı da taranan objenin bire bir ölçekte veri olarak kullanıcıya sunulmasıdır. Bu sayede taranan modelin ölçüsünde herhangi bir değişiklik yaşanmamaktadır. Bu tarayıcının dezavantaj olarak söylenebilecek tek özelliği pahalı olmasıdır.

Bu tez kapsamında tarama yöntemlerinden bir diğeri olan fotogrametri için Autodesk Recap Photo programı kullanılmıştır. Bu programda tarama yapabilmek için öncelikle modelin birçok farklı açıdan fotoğrafının çekilmesi gerekmektedir. Fotoğraflar arasındaki açı farkları ne kadar azalırsa tarama işlemi o kadar sağlıklı olacaktır. Fotoğraf çekimi 360⁰'lik bir açıyla, model hareket ettirilmeden tamamlanmalıdır. Fotoğrafların yüksek çözünürlükte çekilmesi, veri kalitesi için önemlidir. Model üzerinde sert gölgelerin oluşmaması için, ortamdaki ışığın yumuşak ve stabil olması gerekmektedir. Çekim yapılırken makinenin ISO değeri yani makinenin yaratmış olduğu yapay ışıklandırmanın sabit ve düşük kalması oldukça önemlidir. Eğer fotoğraflar arası ISO değerleri farklı olursa kumlanmalar oluşabilmektedir. Makinenin çekim ayarları için $f/8$, ISO 400 ve 1/30 deklanşör hızı idealdir. Ancak ışık yetersiz ise ISO 800'e çıkartılabilir ya da deklanşör hızı 1/15 olarak da ayarlanabilir.

Recap Photo programında nokta bulutu ya da çokgen ağ oluşumunda herhangi bir ayar yapılmasına gerek olmadığı için kullanım açısından oldukça kolay bir yapıya sahiptir. Çünkü bu program bulut bağlantılı bir uygulamadır. Fotoğraflar internete yüklendikten sonra işlenip, modelin verisi direk çokgen ağ formatında bilgisayara indirilebilmektedir. Fotoğraf çekim sayısı 40-100 adet arasındadır (Görsel 3.7).



Görsel 3.7. *Recap Photo programına yüklenmiş olan fotoğraflar*

Kaynak: Ali Cihan Kayaloğlu arşiv

Böylece modeli yapılandırma için gerekli olan yüksek performanslı bilgisayarlara gereksinim azalmıştır. Bu programın dezavantajı internet üzerinde yapılandırıldığı ve indirildiği için vakit almasıdır. Bazı tarama verilerine ulaşmak 8-10 saat arası sürebilmektedir. Model hazırlandıktan sonra bulut sisteminden indirilmektedir. Programın önemli avantajlarından biri, model bulut sisteminden indirildikten sonra ayarlar menüsünden model üzerinde çokgen yoğunluğu azaltma, kesim ve boşlukları doldurma gibi işlemlere olanak sağlıyor olmasıdır (Görsel 3.8, 3.9, 3.10).



Görsel 3.8. Hazırlanmış modelin çokgen ağ ve renkli görünümü

Kaynak: Ali Cihan Kayalhoğlu arşiv



Görsel 3.9. Modelin çokgen yoğunluğunu azaltma işlemi (1) Modelin çokgen yoğunluğunun azaltılmış hali (2)

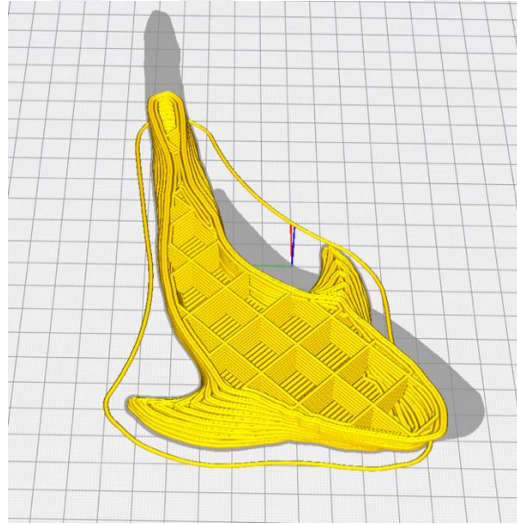
Kaynak: Ali Cihan Kayalhoğlu arşiv



Görsel 3.10. Modelin kesim işlemi yapılmış hali

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

Kesim ve çokgen yoğunluğu işlemi bittikten sonra bu örnek çalışmada olduğu gibi model, OBJ formatında dışa aktarılır. Cura programında dilimleme işlemi yapılarak G-code formatına dönüştürülür (Görsel 3.11).



Görsel 3.11. Cura programında modelin G-code hazırlığı

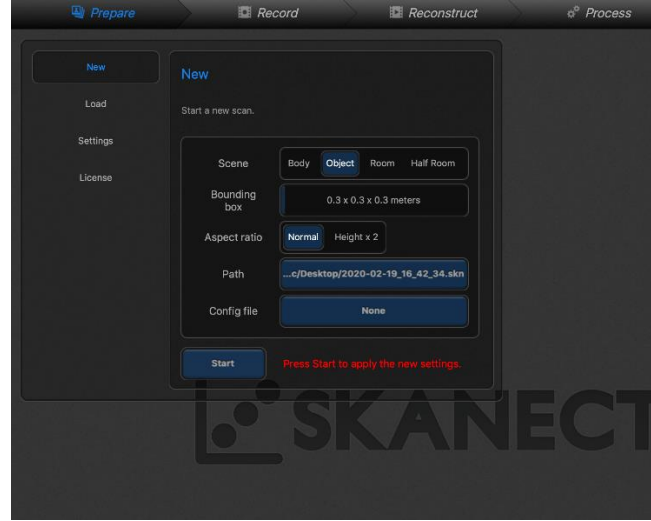
Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

Autodesk Recap Photo programı diğer fotogrametri programları ile kıyaslandığında kolay kullanımı ve kolay ara yüze sahip olması dikkat çekmektedir. Bulut bağlantılı bir program olması sayesinde nokta bulutu ve çokgen örme gibi işlemler kullanıcılar tarafından yapılmamaktadır. Model verisi çokgen olarak hazırlanmış bir biçimde

bilgisayara indirebilmektedir. Bu sayede veriyi oluşturmak için gerekli olan bilgisayar performansına gereksinim oldukça az olmaktadır. Yapılan taramalar sonucunda elde edilen verilerin kalitesi oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Önemli avantajlardan bir diğeri de programın içerisinde bulunan ayarlardan model üzerinde kesim, biçim, yoğunluk azaltma gibi işlemlere imkân veriyor olmasıdır. Bu programın dezavantajlarına değinilecek olursa diğeri fotogrametri programlarında olduğu gibi modelin fotoğraflarının çok düzgün olması gerekmektedir. Fotoğraf çekiminde meydana gelebilecek olası sorunlar, taraması yapılmış model üzerinde hatalar meydana getirebilmektedir. Bu hatalar ancak tarama işlemi tamamen bittiğinde, modelin verisi bilgisayar ortamına aktarıldıktan sonra fark edilebilmektedir. Çokgen oluşturulurken ya da nokta bulutu haritası çıkartılırken herhangi bir müdahalede bulunulamamaktadır. Bir diğeri dezavantaj, model verisine erişim süresidir. Bulut bağlantılı bir program olduğundan model verisi hazırlanma ve indirme ortalama olarak 8-10 saat sürmektedir. Bu sebeple tarama işlemi yapılmış modelin üzerinde meydana gelmiş hatalara ulaşabilme süreci uzun zaman almaktadır.

Bu tez çalışmasında tarama işlemleri için kullanılan bir diğeri araç ise XBOX 360 konsolunun Kinect aracıdır. Bu aracın üretilmesindeki asıl amaç, oyun konsolunda herhangi bir kontrolör olmadan oyun oynayabilmeyi sağlamaktır. Kinect içerisinde bulundurduğu kızılötesi ve normal kameralar sayesinde oyuncuların derinlik alanlarını hesaplayabilmekte ve oyuncunun hareketlerini konsola aktarabilmektedir. İçerisinde bulunan kameralar ve çalışma prensibi sayesinde üç boyutlu tarayıcı olarak kullanabilme imkânı da sunmaktadır. Kinect aracını üç boyutlu tarayıcı olarak kullanabilmek için gerekli olan sadece tarama işlemlerinde kullanılan aracı programlardır. Skanect ve Reconstructme, üç boyutlu tarama yapmak için kullanılabilen bu aracı programlardır. Bu tez kapsamındaki çalışmada Skanect programı kullanılmıştır.

XBOX 360 Kinect ile tarama işleminin yapılabilmesi için ilk olarak taranacak parçanın üzerine gelen ışığın yumuşak olmasına, gölge düşmemesine, tarama esnasında parçanın arkasında hareketli cisimler olmamasına, objenin hareket ettirilmemesine ve obje ile etrafındaki cisimlerin renk ve doku olarak birbirinden farklı olmasına dikkat edilmelidir. Skanect programında taranacak olan objenin boyutuna göre yapay bir kutu seçildikten sonra tarama işlemine başlanılır (Görsel 3.12).



Görsel 3.12. Skanect programında kutu oluşturma ve taramayı başlatma

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

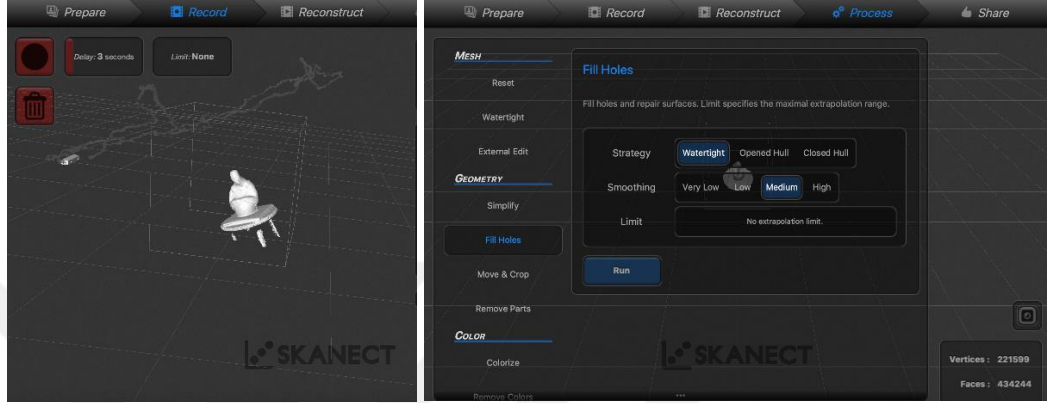
Tarama işleminin yapılabilmesi için tarayıcı ile beraber parçanın etrafında 360°'lik tam tur dönülmesi gerekmektedir. Bu dönme işlemi yapılırken bilgisayar üzerindeki tarama görüntüsü referans alınarak tarayıcının ekseninin kaymamasına özen gösterilmelidir. Bunun için oldukça yavaş hareketlerle dönerek tarama işleminin yapılması gerekmektedir. (Görsel 3.13). Aksi takdirde tarama işlemi esnasında kopmalar meydana gelerek, geçmiş görüntülere dönme gereksinimi doğabilir. Bu durum da hatalara ve işlemin uzamasına neden olmaktadır.



Görsel 3.13. X BOX 360 Kinect aracı ile tarama işleminin yapılma anı

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

360⁰'lık tarama işlemi bitirildikten sonra skanect üzerinde veri oluşturulur. Verinin oluşmasıyla beraber programın içerisinde *process* menüsü altında bulunan kesme, hareket ettirme, bölme gibi işlemler yapıldıktan sonra veri dışarı aktarılır (Görsel 3.14).



Görsel 3.14. Skanect programında tarama işlemi sonrası elde edilen verilerin işlenme aşamaları

Kaynak: Ali Cihan Kayalhoğlu arşiv

XBOX 360 Kinect aracının en büyük avantajı hızlı sonuç vermesidir. Tarama işleminin başlatılmasıyla birlikte sonuca hızlıca ulaşılabilir. Recap Photo fotogrametri programı gibi sonuç için saatlerce beklemeye gerek yoktur. Bu sebeple hatalı taramalarda yeniden taramak ve sonuca ulaşmak oldukça hızlı olmaktadır. İkinci en büyük avantajı ise pratik ve kontrollü olmasıdır. Kinect aracı ile objenin etrafında dönülerek sonuca kolayca ulaşılabilir. Bu sonuca ulaşılırken bilgisayar ekranında modelin sürekli olarak kontrol edilebilmesi, hata payını oldukça düşürmektedir. Dezavantaj olarak hassasiyeti ve detaylardaki eksiklikler söylenebilir. Yapılan taramalar sonucu elde edilen veriler ile orijinal nesne arasındaki ölçülerde, Recap fotogrametri tekniğinde olduğu gibi uyumsuzluklar olduğu görülmektedir. Tarama detayı açısından Artec Space Spider tarayıcı ve Recap fotogrametri tekniği ile kıyaslandığında veri detayının daha düşük olduğu söylenebilir.

3.3. Üç Boyutlu Yazıcıda Uygulama İşlemleri

3.3.1. Çamurun hazırlanması

LDM yazıcılarda çamur hazırlama aşaması dikkat edilmesi gereken en önemli konulardan biridir. Üç boyutlu yazıcılarda seramik üretiminde malzeme olarak çamur kullanıldığı için yazıcıyı hazırlama süreci hazır malzeme olan termoplastiklere kıyasla daha meşakkatlidir. Yazıcılarda kullanılacak çamurun kıvamı, plastiklik derecesi, tanecik yapısı gibi özelliklerinin yazıcının çalışma prensibine uygun olması gerekmektedir.

Yazıcıda kullanılması planlanan çamurun ilk olarak tanecik yapısı göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü çamurun çıkacağı başlık ağzının çapı 1,2 mm, 2 mm ya da 3 mm gibi ölçülerde olmaktadır. Eğer çamur, başlık çapından daha büyük ölçekli tanecik yapısına sahipse, taneler başlığı tıkayabileceğinden yazma işleminde sıkıntılar meydana gelebilmektedir. Bu yüzden hazırlanacak olan çamur türünün ilk olarak tanecik yapısının küçük olmasına dikkat edilmelidir.

Çamurun seçimindeki bir diğer önemli nokta, plastiklik özelliğidir. Yığılma işlemi sırasında çamurun plastikliğinin her türlü geometrik şekli yazdırabilir özellikte olması gerekmektedir. Örneğin, bir küp ya da küre şekillendirilirken, yığılma aşamasında kopmalar ya da bozulmalar yaşanmaması için plastikliğin yüksek olması oldukça önemlidir. Bir diğer önemli kriter, çamur tankına doldurulacak olan çamurun kıvamıdır. Yazım için gerekli olan basınç ayarı, yazım işlemi sırasındaki mukavemet ve katmanların kalitesiyle doğrudan bağlantılıdır. Öncelikle yazım işlemi için hazırlanması istenilen çamurun kıvamı, elle şekillendirmede ya da tornayla şekillendirmede kullanılan çamurlardan farklı olmalıdır. Eğer çamur tankı içerisindeki çamur çok sulu olursa en ufak bir basınçla bile başlık kısmından çıkar ve balçık gibi akabilir. Bu durumda katmanlar arası yazım kalitesinde farklılıklar ve mukavemette sıkıntılar meydana gelebilmektedir. Tankın içerisinde bulunan çamurun su miktarının az olması ise, çamurun başlıktan çıkmasını zorlaştırarak, daha fazla basınç gerektirebilir. Eğer kompresör istenilen basıncı sağlayamazsa çamurun başlığa gidiş gücü azalır ve yazım işlemi sırasında katmanlarda kopmalar ve atlamalar görülebilir.

LDM tipi yazıcılarda yukarıda bahsedilen özelliklere sahip birçok seramik ve porselen çamuru kullanılabilir. Ancak bu tez kapsamında kullanılmış olan çamur özel olarak üretilmiştir. Çünkü bu araştırmada hazırlanan çamurun plastikliğinin yüksek olması ve pişirim renginin açık olmasının yanı sıra şamotlu çamur ile uyum içinde olması istenmiştir. Bu bağlamda çamurun yapım aşamaları fotoğraflar eşliğinde aktarılması ve

seramik malzeme kullanılan yazıcılarda kendi çamurunu hazırlamak isteyen araştırmacılar için bir öneri olarak sunulması düşünülmüştür.

Bu araştırmanın hedeflerinden birisi de üç boyutlu yazıcıda şekillendirilmiş modellerin, elle şekillendirilmiş modellere aplike edilebilmesi ya da beraber kullanılabilmesidir. Bu sayede hem elle hem de yazıcı tarafından şekillendirilmiş parçaları, beraber kullanarak yeni bir dil ve uygulama yönteminin oluşturulması amaçlanmıştır.

Bu karma teknikte kullanılacak olan çamurun hazırlanmasında baz olarak şamotlu çamur tercih edilmiştir. Mukavemetinin yüksek olması, kolay çatlamaması, deformasyonun az olması ve ısıl şoklara dayanımının yüksek olması gibi bünyesel özellikler, bu çalışmada şamotlu çamurun tercihindeki önemli sebeplerdir. Ancak şamotlu çamurun plastikliği ve tanecik yapısı yazıcı için uygun olmadığından, şamotlu çamurun içerisine birtakım hammaddeler eklenerek yeniden üretilmiştir. Yeniden oluşturulan bu çamurun reçetesi % 92 şamot, % 5 bentonit ve % 3 TiO_2 den oluşmaktadır. Bentonit suyu absorbe eden, montmorillonit yapılı bir malzeme olduğu için çamura daha fazla su tutma özelliği kazandırmış ve çamuru daha plastik bir yapıya dönüştürmüştür. Ayrıca, TiO_2 nin çamura eklenmesiyle beraber çamurun pişirim sonrası renginin açık hardal tonlarda olması sağlanmıştır. Bu sayede çamur astar olarak kullanıma uygun bir formata dönüştürülmüştür.

Çamur hazırlama sırasındaki tartımlar kuru hammaddeler üzerinden olacağı için ilk olarak şamotlu çamurun küçük parçalara ayrılıp kurutma işleminin yapılması gerekir. Bu işlemden sonra hammaddeler tartılarak bilyalı değirmenlere doldurulur (Görsel 3.15, 3.16). Sonrasında toplam tartılan miktar kadar su koyulup öğütme işlemi başlatılır. 5-6 saat süren öğütme işleminden sonra değirmenin vanası açılarak çamurun kıvamı değerlendirilir ve kıvamına göre su ilavesi yapılabilir. 5-6 saat süren ek öğütme işleminden sonra çamur vanadan akıtılıp kovalara doldurulabilir (Görsel 3.17). Aktarım esnasında iri parçalar elek kullanılarak ayrıştırılır.



Görsel 3.15. Kurutulmuş şamotlu çamur ve bilyalı değirmen içindeki bilyalar

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv



Görsel 3.16. Bilyalı değirmene kurutulmuş şamotlu çamur, bentonit ve TiO_2 eklenmesi

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv



Görsel 3.17. Bilyalı değirmenden öğütülmüş çamurun alınması

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

Vanadan kovalara aktarılan çamur ilk etapta oldukça sıvı bir kıvamda olduğu için kullanıma uygun olmamaktadır. Bu yüzden ilk olarak çamurun fazla suyunu atması sağlanmalıdır. Eğer kovalara doldurulan çamur çökme yapmış ve üst tarafta su bırakmışsa bu su fazlası maşrapalar yardımıyla atılır ve çamur alçı plakalar üzerine yayılır. Alçı plakalar üzerinde fazla suyunu atan ve istenilen plastik kıvama gelmiş çamur kullanıma hazır olacaktır.

3.3.2 Üç boyutlu yazıcıda şekillendirme

Bu tez kapsamındaki çalışmalar LDM delta tipi bir yazıcıda yapılmıştır. Yazıcı Tripedia tasarım atölyesi tarafından Anadolu Üniversitesi Bilimsel Projeleri kapsamında tedarik edilmiştir. Yazıcının en temel özellikleri pnömatik (basınçla) çalışması ve 40 cm çap X ve Y düzleminde 70 cm Z düzleminde yazdırma imkânı sağlayabiliyor olmasıdır.

Yazıcıda ürünü şekillendirebilmek için ilk olarak bilgisayar ortamındaki tasarımların verileri STL ya da OBJ gibi formatlarda dilimleyici programlara aktarılmıştır. Dilimleyici programlarda gerekli ayarlar yapıldıktan sonra veriler G-code formatında yazıcıya aktarılmış ve yazım işlemi başlatılmıştır. LDM tipi yazıcıda seramik çamuruyla yazım yapılabilmesi için temel olarak, saatli hava regülatörü, çamur tankı, besleyici ve başlık (*nozzle*) olması gerekmektedir.

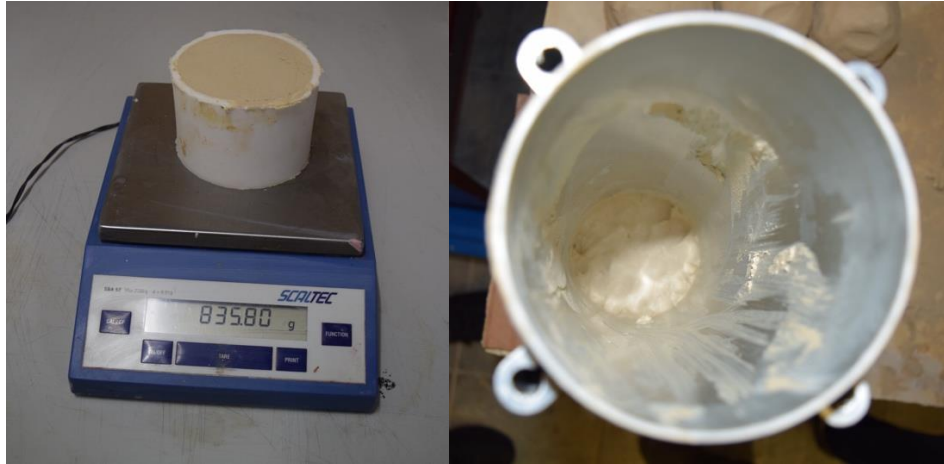
Yazıcı menüsünde bulunan yazım komutuna geçmeden önce yazıcının hazırlanması gerekmektedir. Bunun için ilk olarak çamur tankı doldurulmalıdır. Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi çamurun özellikleri (plastiklik, kıvam vb.) yazım kalitesiyle doğrudan bağlantılı olduğundan, üç boyutlu yazıcılar için oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Bu sebeple tank içine doldurulacak olan çamur hazırlanırken dikkat edilmesi gereken noktalardan olan çamur kıvamını ayarlamak kişisel tecrübelerle orantılı olarak uzmanlık gerektirir. Ortamdaki hava şartları, kullanılan çamurun içerisindeki malzemeler ve hazırlanan çamurun miktarı, çamurun kıvamı ile doğrudan bağlantılıdır. Bu çalışmada çamurun kıvamına göre su eklenmiş ya da alçı plaka üzerinde bekletilerek fazla suyu atması sağlanmıştır. Kıvamı uygun olduğu düşünülen çamur plastik eldiven yardımı ile yoğurulmaya başlanmıştır. Bu yoğurulma işlemi sırasında çamurun içinde hava kalmamasına oldukça önem gösterilmelidir. Çünkü eğer hava, besleyici kısmına ulaşırsa yazdırma işlemi sırasında havanın başlıktan çıkmasıyla beraber hatalar meydana gelebilmektedir. Kişisel tecrübelerin gelişimini sağlaması açısından, çamur hazırlandıktan sonra bir avuç kadar numune alınıp daha öncesinde ağırlığı ölçülmüş olan silikon kalıp içeresine koyulmuştur (Görsel 3.18). Bunun sebebi tartım yapılarak çamurun muhtemel özgül ağırlığının bulunmasıdır. Bu sayede daha sonrasında hazırlanılacak olan çamurların kıvamının tartılan bu çamurla aynı kıvamda olmasına dikkat edilmiştir. Hazırlanan çamurların çamur tankına tek büyük bir parça yerine, birkaç parçaya bölünerek yüklenmesi önemlidir. Çamuru parçalar halinde yüklenmeden önce çamur tankının içi ıslak bir sünger yardımı ile silinir ve ardından ilk parça tank içeresine konularak, el yardımı ile iyice yerleşmesi sağlanır (Görsel 3.19). Her bir parça

yerleştirilmeden önce araya bir miktar su ile beslenmesinde fayda vardır. Bir sonraki parçanın öncesindeki parçayla iyi bir biçimde kaynaşması için elle baskı uygulanması gerekmektedir. Aksi halde parçalar arasında hava kalma ihtimali oluşur. Bu işlem, çamur tankında istenilen çamur miktarı elde edilene kadar devam eder, bitiminde makine bağlantıları yapılır.



Görsel 3.18. Su katılmış çamurun yoğrulma işlemi başlangıcı (1), Silikon kalıp içine bastırılmış çamurun fazlalığının misina ile kesilmesi (2)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

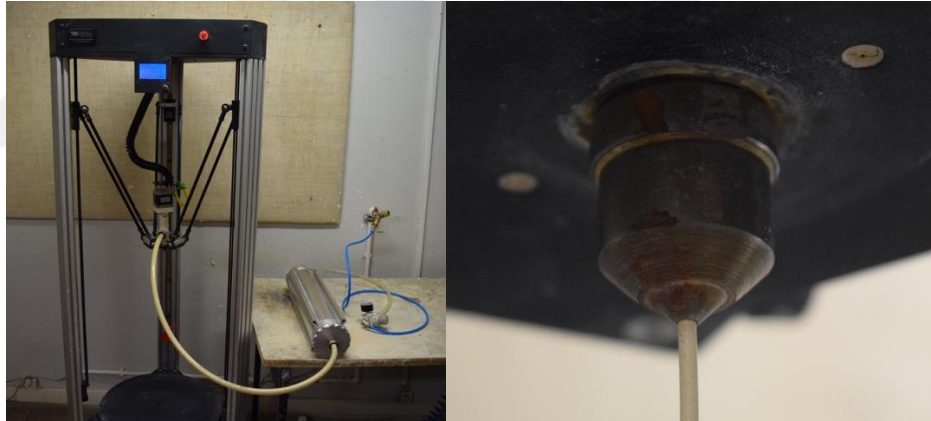


Görsel 3.19. Silikon kalıp içindeki çamurun ağırlığının hesaplanması (1), Çamur tankına doldurulan çamurun el yardımıyla yerleştirilmiş görüntüsü (2)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

Bağlantılar sırasıyla kompresörden gelen hava bağlantısının saatli hava regülatörüne, ardından regülatörün diğer bağlantısının çamur tankına, çamur tankının diğer bağlantısının besleyici bölümüne ve son olarak da besleyiciden başlık kısmına yapılması gerekmektedir (Görsel 3.20). Bunlar yapılırken bağlantıların doğru yapıldığına

dikkat etmek oldukça önemlidir. Bütün bağlantıların doğru bir biçimde yapıldığı kontrol edildikten sonra, yazıcı menüsünde bulunan ayarlardan kalibrasyon ayarı yapılır, kompresör açılır ve havanın istenilen basınçta (bar) çamur tankına gitmesi için hava regülatöründe ayar yapılır. Bu sayede basınç ile disk itilir ve böylece çamur, tankın içerisinden besleyici kısma doğru ilerler. Basınç çamurun akışını doğrudan etkileyen önemli faktörler arasındadır. Basınç ayarının makinenin çalışma hızıyla doğru orantılı olması gereklidir. Gereğinden fazla bir basınç, başlık kısmından çıkan çamurun hızını arttıracak için, kötü ve kalın katmanlar oluşumuna sebep verebilir. Öte yandan, yetersiz bir basınç ile de çamur akışı yavaş olacağı için eksik alanlar ve kopuk katmanlar görülebilmektedir. Bütün ayarlar yapıp, besleyici kısmın aktif edilmesiyle beraber içerisinde bulunan motor ve matkap ucu eş zamanlı olarak hareket edecek ve böylece besleyici kısmına gelen çamur aşağı yönlü bir hareket yaparak başlık kısmından çıkmaya başlayacaktır.



Görsel 3.20. *Seramik malzeme yazdırmak için bağlantıları doğru bir biçimde yapılmış yazıcı (1), Çamurun başlıktan çıkışı (2)*

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

Üç boyutlu yazıcı yazdırma komutunu vermeden önce yukarıda bahsedilmiş olan bütün adımların yapılması gerekmektedir. Yazma işlemi başlatıldığında, ilk katman tutunarak güç alabileceği bir zemin üzerinde olmalıdır. Bunun için su emme özelliği yüksek olan alçı plaka kullanılabilir. Bu sebeple bahsi geçen alçı plakanın sünger yardımıyla nemlendirme işlemi yapılır. Sonrasında yazıcı üzerindeki ayarlardan yazdırma komutu verilir. Yazdırma işlemi esnasında parçanın eğimine göre hız artırılır ya da azaltılır. Özellikle eğimli ve hassas yüzeylerde hızın azaltılması tavsiye edilmektedir.

Eğimli bir açıya sahip, fazla mukavemet gerektiren bir parça yazdırılıyorsa çamurun biraz daha sert olmasında fayda vardır. Normal bir yazdırma işleminde 4-4,5 bar basınçta uygun yazdırma yapılırken, eğime sahip çalışmalarda çamurun 5-5,5 bar basıncında olması tavsiye edilmektedir. Bu tezdeki bazı çalışmalarda parçalardaki eğim ve hassasiyet nedeniyle çamur normalden biraz daha sert hazırlanmış olup çamur tankı basıncı 5-5,5 bar arasında ayarlanmıştır. Yazdırma işleminin yapılma aşaması ve yazdırma işlemi bitmiş seramik yaş bünye görselleri Görsel 3.21’de verilmektedir.



Görsel 3.21. Yazdırma işlemi (1), Yazdırma işlemi bitmiş seramik yaş bünye (2)

Kaynak: Ali Cihan Kayaloğlu arşiv

3.3.3. Kurutma ve pişirim

LDM tipi üç boyutlu yazıcıdan çıkan parçaların kurutma işlemleri sırasında oldukça hassas davranılması gerekmektedir. İlk olarak yazdırma işlemi biten parçaların mukavemetleri olmadığı ve nemli bir yapıya sahip oldukları için sert müdahalelerden kaçınılması gerekmektedir. Yazım işlemleri biten parçaların makineden başka bir yere taşınması için parçanın biraz nemini atarak, dayanım kazanmasını beklemekte fayda vardır. Kurutma işleminin yavaş ve kontrollü bir biçimde yapılması gerekmektedir. Alçı plaka üzerine yazdırılan parçanın alçı üzerinden alınabilmesi için, parçanın kuruyarak atması beklenilmelidir. Aksi takdirde parçayı alma sırasında deformasyonlar yaşanabilmektedir.

Tez kapsamında yapılan bazı çalışmalarda şamotlu çamurdan elle şekillendirilmiş bünyeler üzerine üç boyutlu yazıcıdan çıkan parçalar aplat edilmiştir. Bu işlemin yapılabilmesi için her iki bünyenin de nem ve kuruluk oranlarının birbirine yakın olmasına dikkat edilmiştir. Aplikasyon işleminin yapılabilmesi için kurutma aşaması sürekli olarak kontrol edilmiştir ve parçaların sertliğinin deri sertliğine yakın olması

istenilmiştir. Çünkü üç boyutlu yazıcıdan çıkan parçanın müdahale işlemleri sırasında bozulmaması ve aplike işleminin yapılabilmesi için de tam olarak kurumaması gerekmektedir. Aplike edilecek birimler yapıştırılacak yüzeylerin üzerine çentikler atılarak ve balçık sürülerek yapıştırılmıştır. Bu işlemlerden sonra birleşme yerlerinde çatlaklar oluşmaması için, kurutma işlemleri yavaş ve kontrollü bir biçimde yapılmıştır.

Kurutma işlemlerinden sonra parçaların 900°C bisküvi pişirimi yapılmıştır. Pişirimden sonra çalışmaların astar ya da sır uygulamaları yapılarak, 1160°C yüksek dereceli sır pişirimleri yapılmıştır.

3.4. Eserler

Bu tez kapsamında yapılan uygulamalarda formların üretim sürecinde çeşitli yollar izlenmiştir. Modeli oluşturma aşamasında kullanılan malzemeden, tarama yöntemine; bilgisayar modelleme aşamasında kullanılan programlardan, üretim aşamasında kullanılan tekniklere kadar her bir eserde birçok farklılık görülmektedir. Bu bölümde her eserin üretimindeki teknik detaylar ve kavramsal anlatımlarına yönelik bilgilere yer verilmiştir.

3.4.1. Bitkin

Bu çalışma temelinde günümüz dünyasında yarını hiç yokmuş gibi çalışan, koşturan ve bölünen yaşamları aktarmak üzerine kurulmuştur. Bugün birçok ülkede milyonlarca insan, modern yaşamın beraberinde getirmiş olduğu konfora sahip olabilmek için sevdiği ya da sevmediği mesleklerde çalışmaktadır. Günümüz dünyasında, çalışma sonrası dinlenmek için çalışmak ve çalışmak için dinlenmek döngüsü milyonlarca insan için kaçılmaz olmaktadır. Stres, yaşam kaygısı, hırs, kıskançlık gibi olguların bu döngüye girmesiyle beraber bölünmeler başlar ve böylece bitkin hayatlar baş gösterir.

Bitkin çalışmasının yapım aşaması dört adımdan oluşmaktadır. İlk olarak model plastilin hamurundan atölye ortamında elle şekillendirilmiştir. Şekillendirilen modelin tarama işlemi, İzmir Yaşar Üniversitesi Tasarım Uygulama ve Araştırma Merkezinde (YÜTAM) bulunan Artéc Space Spider üç boyutlu tarayıcı ile yapılmıştır. Tarama işlemi yapıldıktan sonra elde edilen veriler Z Brush programına aktarılmıştır. Bu programda modeli parçalara bölme işlemi yapılmıştır. Sonrasında her bir parça Cura programına aktarılarak ölçüleri üzerinde belli oynamalar yapılmıştır. Cura programında dilimlenmesi yapılan parçalar, G-code formatında üç boyutlu yazıcıya aktarılarak yazım işlemleri gerçekleştirilmiştir. Klasik seramik üretim işlemlerinde olduğu gibi çıkan parçaların

kurutma işlemi sonrası bisküvi pişirimi yapılmıştır. Bisküvi pişiriminden sonra yazıcıda kullanılan çamurla aynı bünyeden astarlar hazırlanarak, parçalar üzerine air brush ile uygulama yapılmış ve 1160⁰C’de pişirimleri yapılmıştır. Parçalar piştikten sonra gerekli ölçüler alınmış ve çalışmanın aralarına konulması planlanan pleksi parçalar, boşlukların ölçülerine uygun şekilde lazer yöntemiyle kesilmiştir. Bütün parçaların yapım aşaması tamamlandıktan sonra birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Görsel 3.22. “Bitkin” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 47x12x9,5 cm 1160⁰C (ön görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv



Görsel 3.23. “Bitkin” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 47x12x9,5 cm 1160°C (yan görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

3.4.2. Doğal Ortam Serisi

“Doğal Ortam Serisi”, insanın doğada ötekileştirdiği, içerisinden sıyrıldığı ve kendini ayrı konumlandığı diğer canlıları yani hayvanları, işgal edilen ve yönetilen yaşam alanlarıyla birlikte ele almaktadır. Çalışmada İnsanın baskın ve karar verici bir tür olarak doğada tıpkı kendisi gibi hayvanları da bir tür akvaryumların, hayvanat bahçelerinin ve laboratuvarların içerisine hapsedmesi ve ekolojik çevrelerinden uzaklaştırması vurgulanmıştır. İnsan davranışlarının ve endüstriyel hizmetlerin hayvanların yaşam alanlarını sınırlandırışı tasvir edilen yaşam alanlarının çerçeve içerisine alınması ile anlatılırken; bu simgesel hayvanların doğalarının tahribatı reçine içerisinde dağılan renkler ile ifade edilmiştir. Hayvanların birbirine dönük ve merkezde toplanan üç boyutlu formları, daraltılmış ve değiştirilmiş çevreleri içerisinde korku ve yalnızlık duygusunu çağrıştırmaktadır.

Doğal Ortam serisinin yapım aşaması birden fazla adımdan oluşmaktadır. İlk olarak modeller atölye ortamında plastilin hamurundan elle şekillendirilmiştir. Elle şekillendirilme aşamasından sonra her bir model Autodesk Recap Photo fotogrametri tekniği ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bilgisayar ortamına aktarılan modellerden yalnızca kurbağalar üzerine küre ekleme işlemleri Z Brush programında yapılmıştır. Veriler üzerindeki küçültme, büyültme gibi işlemlerin hepsi Cura programında yapıldıktan sonra veriler G-code formatında üç boyutlu yazıcıya aktarılmış ve yazım işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kurutma ve bisküvi işlemlerinden sonra bünyeler üzerine astarlama ve sırlama işlemlerinde fırça ve air brushtan faydalanılmış olup, 1160°C sıcaklıkta pişirimleri yapılmıştır. Pişirim sonrası her bir çalışmanın çerçeve içerisinde epoksi döküm işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Görsel 3.24. “Doğal Ortam Serisi: Köpek Balığı” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 5x25x25 cm
1160°C (üst görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv



Görsel 3.25. “Doğal Ortam Serisi: Köpek Balığı” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 5x25x25 cm
1160°C (detay görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv



Görsel 3.26. “Doğal Ortam Serisi: Kurbağa” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 6x25x25 cm
1160°C (üst görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv



Görsel 3.27. “Doğal Ortam Serisi: Kurbağa” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 6x25x25 cm
1160°C (detay görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv



Görsel 3.28. “Doğal Ortam Serisi: Sadece Üç Değil Birçok Maymun” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 6x25x25 cm 1160°C (üst görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayaloğlu arşiv



Görsel 3.29. “Doğal Ortam Serisi: Sadece Üç Değil Birçok Maymun” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 6x25x25 cm 1160°C (detay görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayaloğlu arşiv

3.4.3. Huzur

“Huzur” çalışması, insanın iç huzurunu tüketme ve sahip olma hırsları içerisinde arayışlarını, bu yolda karşılaştığı tükenmişlik ve eksikliği ve yine bu yolda çevresine verdiği zarara karşı duyarsızlığını göz önüne sermektedir. İnsanın gerçek ihtiyaç kavramlarını kolayca karıştırdığı günlük yaşam içerisinde, sürekli bir şeylerin eksikliği duygusuyla tüketime yönlendiği kör bir döngü içerisinde. Aslında geçmişte bir yerde kaybedilen huzurun neden olduğu eksiklik duygusu ile her şeye sahip olma çılgınlığına kapılan tüketici insan huzurun büsbütün karşısında durmaktadır. Çalışmada şekillendiren figürün tüketim açlığı büyük göbeği ile simgelenirken; kafası ile bedeni arasındaki dokular figürün düşüncelerinin kaygısızlığını göstermektedir. Ayakları altında olan dünyaya yani geleceğe bıraktığı zarar reçine içerisinde renk dağılımları ile aktarılmıştır.

Çalışmanın yapım aşamasında ilk olarak model şamotlu çamurdan atölye ortamında elle şekillendirilmiştir. Modelin şekillendirme işlemi bittikten sonra deri sertliğine gelinceye kadar kontrollü kurutma işlemi yapılmıştır. Model X BOX 360 Kinect aracı ve Skanect programı aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılmış ve Z Brush programında üzerine küreler eklenmiştir. Dilimleme işlemi için Cura programına aktarılan modelin ölçüleri üzerinde oynamalar yapılarak boyutlarının taranan modelin boyutlarıyla hemen hemen aynı olması sağlanmıştır. Dilimleme işlemi bittikten sonra veri G-code formatında üç boyutlu yazıcıya aktararak yazım işlemi yapılmıştır. Çıktısı alınan parçanın deri sertliğine kadar kontrollü bir biçimde kurutulması sağlanmıştır. Daha önce taranan şamotlu çamurdan elle şekillendirilmiş modelin kesim işlemi yapılarak kesildiği alana üç boyutlu yazıcıdan çıkan parça aplane edilmiştir. Sonrasında kurutma ve bisküvi pişirim, ardından air brush ve fırça yardımıyla sır ve astar uygulamaları yapıp, 1160⁰C’de sırlı pişirimi yapılmıştır. Birleştirme işlemleri pişirim sonrası gerçekleştirilmiştir.



Görsel 3.30. “Huzur” üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 55x12x10 cm 1160°C (yan görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv



Görsel 3.31. “Huzur” üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 55x12x10 cm 1160°C (detay görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayahoğlu arşiv

3.4.4. Bütün

“Bütün” adlı çalışma, insanın zor yaşanmışlıkları sonrası travmatik dağılışını ve sancılı iyileşme süreci sonrasında bazı kayıplar ve değişimler ile kendini toparlayabildiği, yeniden bir araya gelen mental halini seyirciye sunmaktadır. Yaşam, insanı iç yıkıma sürükleyen tecrübelerden oluşuyor olsa da doğada var olan hayatta kalma ve yeniden doğma arzusu insana yeniden başlama gücü verir. “Bütün” hale yeniden gelebilmenin verdiği cesaret ve özgüven ile insan, daha güçlü, daha tecrübeli, daha mesafeli veya daha korkusuz olarak mutlak bir değişim yaşar. Ancak bu değişim, sahip olduğu benliğin bütünlüğü içerisinde gerçekleşmektedir. Bakış açısı, düşünceleri algısı ve mental düzenini tamamen değiştirmesine rağmen, yerine koyduğu parçalar yine kendisine aittir. Bu çalışmada, insanın en temel duygusu olan hayatta kalma güdüsü sayesinde, yaşadığı içsel mücadelelerde dağılan parçalarını yeniden birleştirerek, bütün haline getirmesi ve hayata devam edebilmesi anlatılmaktadır.

Çalışmanın yapım aşamasında ilk olarak model plastilin hamurundan elle şekillendirilmiştir. Modelin bilgisayar ortamına aktarımı için Autodesk Recap Photo fotogrametri programından faydalanılmıştır. Bilgisayar ortamına aktarılan modelin kesim ve parçalarına ayırma işlemlerinde Rhinoceros programı kullanılmıştır. Cura programında dilimleme işlemi yapılan parçalar G-code formatında üç boyutlu yazıcıya aktarılmış olup, yazım işlemleri yapılmıştır.



Görsel 3.32. “Bütün” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 19x14,5x16 cm 1160°C (ön görünüm)
air brush astar uygulama, pişirim sonrası birleştirilmiş parçalar

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv



Görsel 3.33. “Bütün” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 19x14,5x16 cm 1160°C (yan görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalioğlu arşiv

3.4.5. Seri

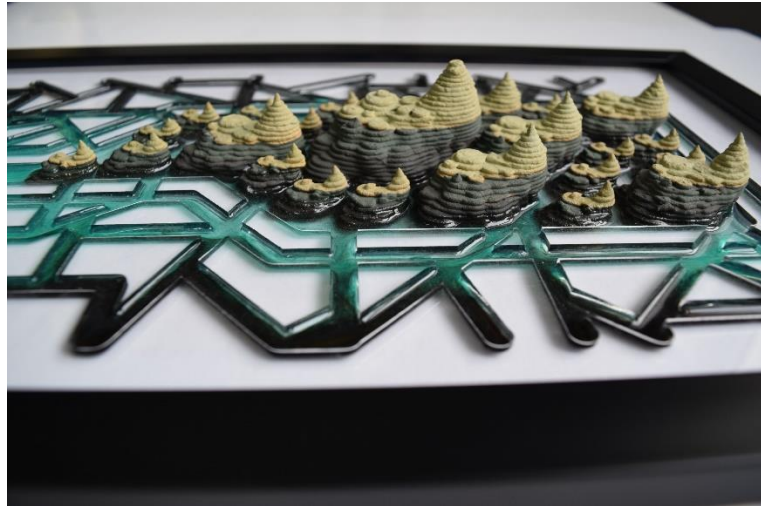
Seri çalışması, insanoğlunun farklılıklarına rağmen birlik ve beraber içerisinde sanat, bilim, kültür gibi konular üzerine üretim yaptıklarında elde edilen başarıları bir gönderme yapmaktadır. Bu sebeple çalışmada seri halde tek bir yöne giden birbirinden farklı boyutlara sahip olan figürler, ayırım ve farklılıklara rağmen uyum içerisinde çalışabilmeyi temsil etmektedirler. Bu figürlerin beraberliğinde oluşturdukları üretim süreci ise yeşil renkteki epoksi kanallarıyla aktarılmıştır. Kanalların yeşilden siyaha dönmesiyle birlik ve beraberlik sonucunda elde edilen başarılı üretimlerin sonsuzluğa kadar gidebileceğini göstermektedir.

Seri çalışmasının yapım aşaması birden fazla adımdan oluşmaktadır. İlk olarak taranması istenilen model, beyaz vakum çamurundan elle şekillendirilmiştir. Şekillendirme işlemi bittikten sonra model bilgisayar ortamına X BOX 360 Kinect ile Skanect programı aracılığıyla aktarılmıştır. Aktarım işleminden sonra model üzerine küreleri ekleme işlemleri Z Brush programında yapılmıştır. Model OBJ formatında dışarı aktarıldıktan sonra Cura Programında Dilimleme işlemi yapılmadan önce boyutunda küçültmeler yapılmış ve sonrasında dilimleme işlemi başarıyla gerçekleştirilip G-Code verileri üç boyutlu yazıcıya aktarılmıştır. Parçaların boyutları oldukça küçük olduğundan yazım işlemi yaparken hatalardan kaçınmak için yazıcının hız ayarları düşürülmüştür. Parçaların kurutma ve bisküvi pişirimleri yapıldıktan sonra yazdırma işleminde kullanılan çamurdan renkli astarlar yapılmış ve parçanın üzerine fırça yardımıyla uygulanmıştır. Astarlama aşamasından sonra 1160⁰C sıcaklıkta pişirim yapılmıştır. Pleksi levha üzerine kanallar ve boşluklar CNC yardımıyla yapılmıştır. Pleksi levhalar üzerine figürler yerleştirildikten sonra epoksiler renklendirilip şırınga yardımı ile uygulanmıştır.



Görsel 3.34. “Seri” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 3,5x45x24 cm 1160°C (üst görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv



Görsel 3.35. “Seri” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 3,5x45x24 cm 1160°C (detay görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

3.4.6. Şeffaf

“Şeffaf” çalışması, dürüst olabilmenin hem içsel hem de dışa bağlı iletişimlerimize yansımaları, şeffaflığın ilişkilerde yarattığı yakınlaşma ve bütünleşmeyi anlatmaktadır. Çalışma, içimize bakabildiğimizde aynılıklarımızı ve farklılıklarımızı açıkça tanıma fırsatımız olduğunda, ilişkilerde kabullenme ve anlamamanın kolaylaşması ile oluşan samimiyetin gücünü göstermektedir. Çalışmada şeffaflık etkisini oluşturabilmek için, modeli ayakta tutan dolguların seyirciyle buluşması sağlanmıştır.

Şeffaf çalışmasının yapım aşaması birkaç adımdan oluşmaktadır. İlk olarak model plastilin hamurundan elle şekillendirilmiştir. Sonrasında bilgisayar ortamına Autodesk Recap Photo fotogrametri programı aracılığıyla aktarılmıştır. Modelin kesim ve ayırım işlemleri Rhinoceros programında yapıldıktan sonra veriler dışa aktararak Cura programında dilimleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. G-code formatında üç boyutlu yazıcıya aktarılan parçaların yazım işlemleri tamamlandıktan sonra kurutma ve bisküvi pişirimleri yapılmıştır. Parçalar üzerine astarlama işlemleri air brush ile uygulanıp sonrasında 1160⁰C sıcaklıkta pişirimleri yapılmış ve daha sonra parçaların birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Görsel 3.36. “Şeffaf” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 26,5x6x11 cm 1160°C (çapraz görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv



Görsel 3.37. “Şeffaf” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 26,5x6x11 cm 1160°C (yan görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

3.4.7. Duruş

“Duruş” çalışması insanın ve toplumun modernlik ve postmodernlik içerisinde giyinmek zorunda kaldığı farklı kimlikleri, bu kimliklerin çatışmasını ve yeni kimlik arayışının zorluklarını yansıtmaktadır. Yönelimlerin ve anlayışların çok hızlı var olduğu, destek aldığı ve tüketildiği günümüz dünyasında özgün kimlikleri edinmek ve bu edinme arayışlarının tamamen içsel gelişmesi ne kadar mümkün? İşte “duruş” çalışması, aslında bize ait olmayan ama üzerimize giydiğimiz veya giymeyi arzuladığımız kimliklerin asıl benliğimizle çatışmasını, farklı renkler ve kesitler halinde hazırlanmış, “kendinden öteye bakan” duruşa sahip bir insan figürü ile anlatmaktadır. Dış etkilerin izolasyonunu sağlayamadığımız bu yoğun etkileşim dünyasında, üzerimizdeki renklerin hangisinin bizim, hangi parçalarımızın bir makineden çıkmışçasına üzerimize yapıştığını sormaktadır.

Duruş çalışmanın yapım aşaması ilk olarak model atölye ortamında şamotlu çamurdan elle şekillendirilmiştir. Modelin bilgisayar ortamına aktarımında X BOX 360 kinect aracı ve skanect programı kullanılmıştır. Model üzerine küre ekleme ve parçalama işlemleri Z Brush programında yapıldıktan sonra veriler Cura programına aktarılmıştır. Cura programında gerekli küçültme ve büyültme işlemleri uygulandıktan sonra veriler G-code formatında üç boyutlu yazıcıya aktarılmış ve yazım işlemleri yapılmıştır. Kurutma ve bisküvi işlemlerinden sonra bünye üzerine sırlama ve astarlama işlemleri fırça yardımıyla uygulanmıştır. 1160⁰C sıcaklıkta pişirim yapıldıktan sonra parçaların birleştirme işlemleri yapılmıştır.



Görsel 3.38. “Duruş” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 21x18x20 cm 1160°C (ön görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

3.4.8. Labirent

Çalışma, insanın yaşam alanının fiziksel olarak doğadan uzaklaşarak, labirent tipi iş merkezleri, apartman daireleri ve avm'lere sıkışmasını anlatmaktadır. Yumuşak ve esnek hatların olmadığı, keskin ve benzer şekillendirmeler ile yaratıcılığı, çeşitliliği ve farklılığı barındırmayan bir dünya, insan figürünün hemen yanında belirtilmiştir. İnsanı en çok şekillendiren alanlardan biri olan iş dünyası, bu kimliği kazanmış olan kravatlı bir figür ile öne çıkartılmıştır. Bu figür doğrudan biz olabilirken, bizim hemen üzerimizde veya altımızda da olabilen insanları simgelemektedir.

Labirent çalışmasının yapım aşamasında model doğrudan Rhinoceros programında hazırlanmış olup dilimleme işleri Cura programında yapıp G-code formatında üç boyutlu yazıcıya aktarılarak yazım işlemi yapılmıştır. Elle şekillendirilen figür ve üç boyutlu yazıcıdan çıkan parçanın her ikisine de kurutma ve bisküvi işlemlerinden sonra fırça ve air brush yardımı ile astar ve sır uygulanmış, 1160°C pişirildikten sonra parçaların birleştirme işlemleri yapılmıştır.



Görsel 3.39. “Labirent” üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 8x25x25 cm 1160°C (üst görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayahoğlu arşiv



Görsel 3.40. “Labirent” üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 8x25x25 cm 1160°C (detay görünüşü)

Kaynak: Ali Cihan Kayaloğlu arşiv

3.4.9. Üçüz

“Üçüz” çalışması bize “dün, bugün ve yarın” ı anlatan, hayatı ve bilincimizi üç parçaya bölen zamanı ve birbirlerini izleyen etkileşimlerini anlatmaktadır. “Geçmiş”, değiştirilemez ve sabit oluşumu ile “bugünün ve yarın”ın ardından yolculuk ederken; “şimdi” zaman zaman geriye dönüp onun öğreticiliğine bakmaktadır. “Gelecek” hayali bir zamandır ancak geçmişin renklerini yani tecrübeleri içerisinde barındırmaktadır. “Geçmiş”in geride kalan bilirliliği tek ve karanlık bir renkle anlatılırken; şimdinin yüzündeki umudu gösteren beyaz renk ve geleceğin çevresinde belirgin bulutlar hem hayali hem de geçmişi anımsatan figüratif simgelerdir.

Üçüz çalışmasının yapım aşmasında bilgisayar ortamına aktarılan model bitmiş bir seramik çalışma üzerinden yapılmıştır. Modelin aktarım aşaması X BOX 360 Kinect aracı ve Skanect programı ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Model üzerine küre ekleme ve

bölme işlemleri Z Brush, dilimleme işlemleri ise Cura programı üzerinde yapılmıştır. Sonrasında veriler G-code formatında üç boyutlu yazıcıya aktarılarak çıktıları alınmıştır. Parçaların kurutma, bisküvi pişirimi, air brush ve fırça yardımı ile sır ve astar uygulaması sonrasında 1160°C sıcaklıkta pişirimleri yapılmış ve son olarak parçaların birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Görsel 3.41. “Üçüz” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 19x9x42 cm 1160°C (sol yan görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv



Görsel 3.42. “Üçüz” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 19x9x42 cm 1160°C (sağ yan görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

3.4.10. Döngü

“Döngü” çalışması, canlı türlerinin doğum ile başlayan ve ölüm ile başladığı noktaya dönerek sonlandığı yaşam döngüsüne yakından bakmaktadır. Muazzam bir uyum içerisinde atasını takip eden türlerin, içgüdüsel olarak sürdürdüğü bu dairesel yolun çevresel ve/veya içsel kuvvetler ile şekillendirildiği veya daralarak küçük çerçevelere sığdırıldığı çalışma, yaşamsal döngülerimizi anlatmaktadır. Yaşam döngüsü, türler içerisinde dışına çıkılmaksızın devam eden, canlılığını sembolize eden dairesel bir yoldur. Bu dairesel yol, ömrümüzün içerisine yerleştirdiğimiz çerçevedir.

Döngü çalışmasının yapım aşaması birkaç adımdan oluşmaktadır. İlk olarak atölye ortamında elle şekillendirilen model için vakum çamurundan yararlanılmıştır. Model X BOX 360 Kinect ile Skanect programı aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Z Brush programı üzerinde küre ilave işlemleri yapılmış ve sonrasında dilimleme işlemleri için Cura programına aktarılmıştır. Program üzerinde büyültme ve küçültme işlemleri yapıldıktan sonra yazdırılması istenilen veriler G-code formatında yazıcıya aktarılmış ve yazım işlemi yapılmıştır. Kurutma ve bisküvi işlemlerinden sonra parçaların üzerine air brush yardımı ile astar uygulanmış ve 1000⁰C pişirimi gerçekleştirilmiştir. Bütün pişirim işlemleri bittikten sonra birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Görsel 3.43. “Döngü” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 41x30,5x18 cm 1160⁰C (ön görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv



Görsel 3.44. “Döngü” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 41x30,5x18 cm 1160°C (detay görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv



Görsel 3.45. “Döngü” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 41x30,5x18 cm 1160°C (çapraz görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

3.4.11. Anne

“Anne” isimli çalışma, tabiat ana olgusunun endüstriyellemiş halini temsil etmektedir. Yapım aşamasında üç boyutlu yazıcının kullanılmasındaki amaçlardan ilki yazıcının vermiş olduğu mekanik monoton dokularla endüstriyel bir figür yaratma isteğidir. İkinci amaç ise endüstriyellemeye hitaben yapılan figürün yapım aşamasının yine bir endüstri ürünü olan üç boyutlu yazıcının sembolik olarak ele alınmasıdır. Hamile kadının karnının içerisinde bulunan maymun kafaları ise insanlığın modern yaşam konforu için yok ettiği diğer yaşam türlerine bir göndermedir. Annenin boynunda ve alt tarafında bulunan altını anımsatan, metalik bulutlar endüstri üretimlerinde ortaya çıkan kirliliği sembolize etmektedir.

Anne isimli çalışmanın yapımı dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalardan ilki modelin elle şekillendirme aşamasıdır. Model beyaz vakum çamuru ile atölye ortamında elle şekillendirildikten sonra XBOX 360 Kinect ile Skanect programında tarama işlemi yapılmıştır. Elde edilen veriler ile Z Brush programında modeli parçalara ayırma ve yuvarlaklardan oluşan bulutları oluşturma işlemleri yapılmıştır. Elde edilen parçalar daha sonrasında Cura programında dilimlenip yazıcıya aktarılmış ve yazım işlemleri tamamlanmıştır. Çalışmanın ortasında içerisinde maymun kafalarının olduğu camsı görünüme sahip bölümün yapımında epoksiden faydalanılmıştır. Bu bölümün yapılabilmesi için yazıcıdan çıkan parçanın bazı bölümleri zımparalandıktan sonra şeffaf sır ile sırlanıp pişirim işlemi yapılmıştır. Bu işlemin tercihindeki amaç, epoksi döküm için silikon kalıbı alınacak modelin yüzeyi ne kadar parlak ve temiz ise epoksi dökümünde o kadar temiz çıkmasıdır. Silikon kalıp içerisine yerleştiren maymun kafalarından sonra epoksi döküm yapılmış ve parça elde edilmiştir. Diğer iki parçanın yapımı için yazıcıda kullanılan çamur ile yeniden astar hazırlanıp air brush ile, sır ise fırça yardımı ile bulutların üzerine uygulanmıştır. Bütün parçaların yapım aşamaları bittikten sonra birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Görsel 3.46. “Anne” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 39x20x14 cm 1160°C (sağ yan görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv



Görsel 3.47. “Anne” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 39x20x14 cm 1160⁰C (sol yan görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

3.4.12. Doğa

“Doğa” isimli çalışma, doğa üzerindeki yıkımın seyirciyle buluşması olarak nitelendirilebilmektedir. Bu çalışmada figür’ ün üzerindeki renklerin seçimi ve degradeli bir biçimde kullanımı okyanus, deniz, göl, su gibi kavramları sembolize ederken, üç boyutlu yazıcı ile üretilmiş olan dağlar ise doğaya zarar veren oluşumların şiddetini temsil etmektedir. Figürün elle şekillendirilmesindeki ana amaç doğanın saf organik halini yansıtırken, dağların üç boyutlu yazıcı kullanılarak şekillendirilmesindeki amaç ise yıkımın, tahribatın dilinin yapay olduğunu vurgulamaktır.

Doğa adlı çalışmanın yapımı üç aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak model şamotlu çamurdan elle şekillendirilmiştir. Daha sonras çalışmanın üzerine eklenmesi düşünülen dağ objesinin elle şekillendirilmesi yapılmış ve ardından XBOX 360 Kinect ile Skanect programında tarama işlemleri yapılmıştır. Elde edilen verileri üzerinde Z Brush programında oynamalar yapılarak çeşitli dağ modelleri elde edilmiştir. Elde edilen modeller üzerinde Cura programında küçültme büyültme işlemleri yapılarak daha önceki çalışmalarda olduğu gibi yazıcıdan çıktısı alınmıştır. Yazıcıdan çıktısı alınan bu modeller, daha öncesinde elle şekillendirilmiş olan ana modelin üzerine aplikasyon işlemi ile yapıştırılmıştır. Bu çalışmada bünyeler pişirilmeden önce deri sertliğinde iken aplikasyon işlemi yapılmıştır. Bu yüzden aplike işlemi yapılırken oldukça dikkatli ve titiz bir biçimde davranılması gerekmiştir. Yapıştırma işlemi için uygun sertliğin yakalanması ve bünyeye zarar vermeden yapılması dikkat gerektiren adımlar arasındadır. Aplikasyon işleminde kavlama olmamasının sebebi üç boyutlu yazıcıdan çıkan bünyenin ana yapısının şamotlu oluşmasıdır. Aralarındaki küçülme farkları fazla olmadığı için herhangi bir kavlama görülmemiştir. Yapım işlemleri bittikten sonra çalışma klasik seramik yapımında olduğu gibi kurutma ve pişirim işlemlerine girmiştir. Mavi tonları için hazırlanan astar air brush ile bünye üzerine uygulanırken, dağların üzerindeki desenler fırça yardımı ile yapılmıştır.



Görsel 3.48. “Doğa” üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 39,5x17,5x20,5 cm 1160⁰C (sağ yan görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv



Görsel 3.49. “Doğa” üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 39,5x17,5x20,5 cm 1160⁰C (sol yan görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

3.4.13. Aksaklık

Çalışma, güzellikleri simgeleyen, deneysel veya bilinçsizce karşılaşılan estetik halini anlatmaktadır. Güzel ve doğru bilinen yolların yanında, farklı yolların izlenmesi ve sahip olunan tekdüze estetik anlayışlarından uzaklaşılması algıların derinleşmesini, ilk bakışta görünmeyen ve aslında arayışta olunan güzelliğin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Çünkü bir bakıma güzellik herkesin gördüğünden çok onu keşfedenin sırrıdır. Düşme halinin hemen bir önceki anında, eylemsizlik momentini kazanmış bu figür ile kusurların içsel dengesi anlatılmak istenmiştir. “Aksaklık” çalışması, kusurların bütünsel dengesini göz önüne sererek onun tam bu andaki hali ile güzel’e ulaştığını anlatmaktadır.

Çalışmanın yapım aşamasında ilk olarak şamotlu çamurdan elle şekillendirilen model, bilgisayar ortamına X BOX 360 Kinect ile Skanect programı aracılığıyla aktarılmıştır. Veri aktarımından sonra model üzerindeki kesim ve küre ekleme işlemleri Z Brush programında yapılmıştır. Modelin Cura programında dilimleme işlemleri gerçekleştirildikten sonra G-code formatında üç boyutlu yazıcıdan çıktısı alınmıştır. Kurutma ve bisküvi işlemlerinden sonra air brush ile bünye üzerine astar uygulanmış, 1160⁰C’de pişirimi yapılmış ve son olarak parçaların birleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Görsel 3.50. “Aksaklık” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 33,2x15x25,5 cm 1160°C (sol yan görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalhoğlu arşiv



Görsel 3.51. “Aksaklık” üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 33,2x15x25,5 cm 1160°C (çapraz görünüm)

Kaynak: Ali Cihan Kayalıoğlu arşiv

SONUÇ

Günümüzde, teknolojinin gelişmesi ve ulaşılabilirliğinin kolaylaşması ile birlikte insanın yaşam standartları ve biçimleri üzerinde devrimsel nitelikte değişimler yaşanmıştır. Mobil internet, bilgi işlemlerinin otomasyonu, bulut teknolojisi, ileri robotlar, gelişmiş malzemeler ve üç boyutlu yazıcılar gibi teknolojilerin yaşamın her alanında kullanılmaya başlanması, insanoğlunun teknoloji ile olan etkileşimini daha da kuvvetlendirmiştir. Teknolojinin toplumu kitleler halinde etkileyişinin yanında, bireysel olarak da insan ile organik bir bağ kurması sanatı ve sanatçıların ifade biçimlerini doğrudan etkilemiştir.

Teknoloji ile birlikte görsel, işitsel ve birçok sanat alanında kullanılabilecek yeni teknikler, araçlar ve malzemelere imkân sağlanmıştır. Bu teknikler ve araçlar da farklı sanat anlayışlarının, hatta farklı sanat dallarının doğmasına neden olmuştur. Teknoloji ile değişen sanat anlayışları, sanatçıların ifade biçimleriyle birlikte yaratım süreçlerine de etkin bir şekilde yön vermiştir. Sanatta gerçekleşen bu yenilikler, toplumla paylaşıldıkça sanatçının ve toplumun sanata bakış açısı, sanattaki arayış ve amaç değerlendirmelerini de önemli ölçüde etkilemiştir. Teknolojinin sanatın içinde yer alması sanatçının sınırlarının genişlemesine, farklı teknik ve malzemelere ulaşılabilirliğin artmasına olanak sağlayarak; yaratılan dijital ortamlar ile sanatçının hayal dünyasının ve insan yetkinliklerinin ötesine geçmeyi başarmasına ve sınırları zorlayan çalışmaların ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır.

21. yy teknolojilerinden biri olan üç boyutlu üretim teknolojilerinin özellikle plastik sanatlar alanında teknik ve ifade biçimlerinde zenginlik kazandırması, teknolojinin sanatta oluşturduğu etkili ilişkilerden biri olarak gösterilebilir. Özellikle son 30 yıldır sanatçıların yeni malzemelere ve üretim yöntemlerine duyduğu ilgi dikkat çekicidir. Malzeme bilgisi ile üretim yöntemleri, sanatçıların çalışmalarındaki ifadelerini aktarma yolunu belirleyen önemli etkenlerdir. Bu etkenler, sanatçının özgür ve yenilikçi eserler üretebilmesine doğrudan ya da dolaylı olarak katkı sağlamaktadır. Teknolojinin yaygınlaşmasıyla beraber, günümüzde sanat eserlerinde kullanılan klasik yöntemlerin yanı sıra CNC, üç boyutlu yazıcılar, tarayıcılar ve robot kollar gibi teknolojik araçlarla yapılmış çalışmalarla da sıklıkla karşılaşmaktadır. Üç boyutlu tarayıcıların ve yazıcıların endüstri, sağlık ve eğlence gibi alanlarda yaygın bir biçimde kullanıldığı bilinirken, sanatsal çalışmalarda da birer araç olmaya başladığı görülmektedir. Bu teknolojik ürünlerin sanatçılar tarafından tercih edilmesindeki sebeplere bakıldığında

farklılık ve özgünlük arayışı karşımıza çıkmaktadır. Çünkü günümüzde birçok sanatçı bu teknolojilerin getirmiş olduğu kendine has etkiler olan doku ve formları kullanarak, çalışmalarına yeni güncel bir yaklaşımla özgünlük kazandırmayı hedeflemektedir. Ancak birçok sanatçının teknolojiyi kullanması ile beraber elde edilen etkiler başta ilgi çekici olsa da zamanla yerini sıradanlığa bırakmaya başlamıştır. Eserlerde görülen tekrar bir süre sonra tepkilere de neden olmaya başlamaktadır. Dolayısıyla sanatsal çalışmalarda kullanılan teknolojilerde yeni arayışlar ve çözümler sürekli olarak incelenmekte ve araştırmalar sonucu yeni kimlikler kazandırılarak güncellenmektedir.

Sanat alanında sıkça kullanılan teknolojiler arasında üç boyutlu yazıcıların, CNC ya da robot kol gibi teknolojilere kıyasla daha kolay erişilebilir olması, teknoloji ile sanatçının buluşmasını kolaylaştıran bir etken olmuştur. Örneğin, günümüzde birçok sanatçı ve tasarımcı çalışmalarını yaparken FDM tipi termoplastik malzeme yazabilen üç boyutlu yazıcılardan yararlanmaktadır. Seramik çamurunun şekillendirme aşamalarında FDM'e benzeyen LDM tipi yazıcılarla entegre bir biçimde kullanabiliyor olması, seramik sanatını, üç boyutlu yazıcılarla çalışan sanatçılar için özel kılan önemli bir faktör haline getirmiştir. Bu sebeple günümüzde birçok seramik sanatçısı çalışmalarında LDM tipi yazıcılardan faydalanmaktadır. Ancak çalışmalarında bu teknolojiyi kullanan seramik sanatçıların ve tasarımcıların sayısı, her ne kadar günden güne artsa da bu teknolojilere, halen çekinceli bir yaklaşımın olduğu görülmektedir. Üç boyutlu yazıcılarda üretilecek olan modellerin bilgisayar ortamında modellenmesi için gerekli olan program bilgisi gereksinimi teknolojiden uzak sanatçıların üç boyutlu yazıcılarla tanışmasına engel olurken, ayrıca üç boyutlu yazıcıların fiyatlarının yüksek olması, bu çekingen tavrın diğer sebepleri arasında yer almaktadır.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmaların elle şekillendirilme ve bilgisayar ortamına üç boyutlu tarayıcılar yardımıyla aktarılmasındaki ana amaçlarından birisi öncelikle modelleme için ihtiyaç duyulan program gereksinimini en aza indirmektir. Blender, Z Brush ya da Rhinoceros gibi programlarda sıfırdan model oluşturmak için gereken bilgi birikimi ve alt yapı, yoğun çalışmalar ve uğraşlar sonucu elde edilirken, bir modelin elle şekillendirilip üç boyutlu tarayıcılar yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılması için gereken donanım daha kolay bir biçimde kazanılabilmektedir. Ayrıca hazırlanan modellerin aktarım işlemlerini kullanıcıların kendileri yapmak istememesi durumunda, bu tarama işlemlerini yapan firmalara hazırlanan modeller gönderilerek istenilen verilere kolaylıkla erişebilmektedir. Bu sayede teknolojiye olan çekingen yaklaşımın en aza

indirilmesi mümkün olmaktadır. Öte yandan sanatçının çamurla geçirdiği yaratım sürecinin değerliliğini ön plana çıkarmak, bu tezde üç boyutlu tarayıcıların kullanılmasındaki bir başka amaçtır. Çünkü üretim aşamasında sanatçı çamurla etkileşime girerek, tasarımlarında farklı yönlere gidebilmektedir. Bunun sebebi sanatçının çamuru biçimlendirdiği gibi, çamurun da sanatçının çalışmasına yön vermesidir. Tasarım ve üretim sürecinin merkezinde dijital ortamlar yerine, yaratıcılığı asıl barındıran elle şekillendirme ve atölye süreçlerinin tercih edilmesi, çalışmalarını teknolojiyle entegre etmek isteyen sanatçılar için daha kolay bir adaptasyon süreci sağlamaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucundaki edilen veriler doğrultusunda, üç boyutlu yazıcılar ve üç boyutlu tarayıcıların birlikte kullanılması, seramik sanatını teknolojik araçlarla ile entegre edilmesini kolaylaştırmıştır. Öte yandan bu tez kapsamındaki yapılan çalışmaların bazılarında elle şekillendirme ve dijital şekillendirme yöntemini beraber kullanılarak, iki şekillendirme tekniğinin beraberinde getirmiş olduğu avantajlardan yararlanılmıştır. Dijital şekillendirme araçlarının kullanıcıya getirmiş olduğu en büyük avantaj, elle şekillendirilemeyecek olan form ve dokuların üretimini sağlamak olurken, elle şekillendirme yönteminin avantajı ise üretim aşamasındaki özgürlüğün üç boyutlu yazıcılara göre çok daha fazla olmasıdır. Bu sayede üç boyutlu yazıcıların sınırlayıcı olduğu formlarda elle şekillendirme tekniği kullanabilmektedir. Bu süreç elle şekillendirme, üç boyutlu tarama ve yazdırma işlemlerini içine alan zahmetli ve düzenli bir çalışma disiplini gerektirmiş, fakat daha önce uygulanmamış karma bir teknik ile görsel etkisi yüksek, yenilikçi tasarıma sahip figüratif seramik eserler üretilmesine ve özgün bir sanatsal seri oluşmasına katkı sağlamıştır.

Tez kapsamında kullanılan üç boyutlu yazıcı, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Projeler kapsamında Eskişehir’de bulunan bir firmada yaptırılmış, böylece LDM tipi yazıcılara kolay ulaşılabilmesine katkı sağlanmıştır.

Bu doğrultuda ilk olarak bilgisayar ortamına aktarılacak olan modellerin atölye ortamında elle şekillendirme aşamasına yer verilmiştir. Bu aşamada, tasarım doğrultusunda şekillendirilen model, üç boyutlu yazıcıdan çıkan parçalar ile beraber kullanılacaksa şamotlu çamurdan, sadece tarama işleminde kullanılacaksa plastilin hamur, vakumlu çamur ya da şamotlu çamurdan şekillendirilmiştir. Şekillendirme aşamasında modellerin aynı klasik seramik üretimlerinde olduğu fizibilite hesaplamalarına dikkat edilmiştir. Modeller şekillendirildikten sonra tarama işlemleri

için birbirinden farklı üç farklı üç boyutlu tarayıcı yönteminden yararlanılmıştır. Bu aşamada Artec Space Spider en hızlı ve en detaylı sonucu verirken, ulaşılabilirliğinin daha kolay olması sebebiyle Fotogrametri tekniği için Auto Desk Recap Photo programından ve X Box 360 Kinect aracından yoğun şekilde faydalanılmıştır. Elde edilen deneyimler sonucunda Auto Desk Recap Photo programının X Box 360 Kinect'e göre detay ve kalite bakımından daha iyi olduğuna ancak veriye ulaşılabilirlik süresi açısından yavaş olduğu deneyimlenmiştir. Tarama işlemleri sonrasında elde edilen veriler üzerinde yapılacak değişimler için ağırlıklı olarak Z Brush ve Rhinoceros programları kullanılmıştır. Z Brush çokgen ağ formatıyla çalışan bir program olması sebebiyle organik yüzeyler ve formlar oluşturmak amacıyla tercih edilmiştir. Rhinoceros programının kullanımındaki ana sebep ise, nurbs tabanlı bir program olmasının yanı sıra, çokgen ağ formatındaki veriler üzerinde de değişiklik yapılmasına imkân sağlayabiliyor olması ve geometrik formların kolaylıkla modellenabiliyor olmasıdır. Her iki programda da tasarım işlemleri bittikten sonra veriler dışarıya OBJ ya da STL formatında aktarılmıştır. Bu verilerin üç boyutlu yazıcılarda kullanılabilmesi için, dilimleme programlarında G-code formatına dönüştürülmeleri gerekmektedir. Bu işlem için kullanılan dilimleme programı Cura'dır. Bu program sayesinde yazdırılması istenilen model üzerinde nasıl bir yazım işleminin yapılacağı önceden görülebilmektedir.

Dilimleme işleminden sonra yazım işlemi için yazıcının hazırlanma süreci gelmektedir. Bunun için ilk olarak çamurun hazırlanması gerekmektedir. Yazıcının çamur tüpünün hazırlanması için, istenilen çamurun kıvamı tecrübeler sonucunda gelişmektedir. Çamurun kıvamı, basınç ayarı ve tüpe doldurulma işleminin yazım işlemini etkileyen en önemli faktörler olduğu söylenebilir. Çamurun kıvamının sulu olması ya da basınç miktarının fazla olması gibi aksaklıklar, yazım işlemi kalitesinde farklılıklar gösterirken, su miktarının az ya da basıncın düşük olması ise yazım sırasında kopmalar gibi hataları beraberinde getirebilmektedir. Öte yandan eğer çamur tankına doldurulacak olan çamur kütleleri arasında boşluk kalırsa, ya da hava kalırsa bu boşluklar yazım işlemi sırasında sıkıntılar meydana getirebilmektedir.

Yapılan çalışmalar ve denemeler sonucunda elde edilen deneyimler doğrultusunda seramik çamuru ile LDM tipi üç boyutlu yazıcıların beraber kullanılmasında kısıtlamaların olduğu ve yazım işlemlerinin termoplastik yazıcılara göre daha zor olduğu söylenebilmektedir.

Çamurun kıvamı, doldurulma işlemi ve basınç ayarının yanı sıra dikkat edilmesi gereken bir diğer konu modelin fiziksel yapısıdır. Hazırlanan modelin strüktürel yapısı yer çekimine karşı dirençsiz ise, yazdırma işlemi sırasında model yarım kalabilmektedir. Bunun için ilk olarak yazdırılması istenilen modellerin LDM tipi üç boyutlu yazıcı için uygun olması gerektiği tespit edilmiştir. Ters açılara sahip modellerden kaçınılmalıdır. Modellerin duruşları ve statikleri tasarım aşamasında buna göre kurgulanmalı ve yazım işlemi sırasında yazıcının hangi kısımlarda, nasıl sonuçlar vereceği göz önünde bulundurulmalıdır. Yazıcıdan çıkan parçaların şamotlu çamurdan elle şekillendirilmiş parçalar ile beraber kullanılması için iki bünyenin nem oranlarının birbirine yakın olması gerekmektedir. Bu sebeple yazıcıdan çıkan parçaların nem miktarı sürekli olarak kontrol edilmeli, uygun bir nem ve mukavemet kazandığında şamotlu çamur bünye üzerine applike edilmelidir.

Elde edilen deneyim ve çalışmalar sonucunda LDM tipi üç boyutlu yazıcıların her ne kadar kendi içerisinde sınırlamaları bulunsa da seramik sanatının günümüz teknolojileri ile entegre edilmesine oldukça önemli katkılar sağladığı görülmüştür. Öte yandan üç boyutlu yazıcılarla çalışma yapabilmek için gerekli olan modelleme program gereksinimi, üç boyutlu tarayıcılar ile daha basite indirgenmiştir. Bu sayede çalışmalarını teknoloji ile entegre etmek isteyen kişiler için modelleme ve veri hazırlama aşamaları daha kolay bir hale gelmiştir. Ancak bu kolaylığın yanı sıra üretim aşamasındaki yazıcının hazırlanması, çamur tütünün hazırlanması, yazım işleminin yapılması, basınç ayarının yapılması gibi ince hesaplama ve yoğun uğraş gerektiren sürecin göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Ayrıca bazı çalışmalarda elle şekillendirilen modelin, üç boyutlu yazıcıdan çıkan parça ile beraber applike işlemlerinde kullanılmasıyla beraber daha öncesinde kullanılmamış olan bir karışık teknik ortaya çıkarılmıştır. Bu karma teknikte, modelleme aşaması hızlandırılmış ve kolay müdahale edilir hale getirilmiş olurken, diğer taraftan üç boyutlu tarayıcı gibi bir başka teknoloji daha üretim sürecine dahil edildiğinden, seramik sanatında çok daha keyifli ve özgün bir çalışma yöntemi geliştirilmiştir. Bu tez kapsamında elde edilen deneyim ve çalışmaların, özgün, yenilikçi ve güçlü figüratif seramik formlar üretmeye katkı sağlamasının yanı sıra, gelecekte kullanımının daha da artacağı tahmin edilen seramik çamuru biçimlendirebilen LDM tipi üç boyutlu yazıcılar için, literatüre daha önce denenmemiş, bir çalışmayla katkı sağlayacağı ön görülmüştür. Teknolojiye ilgi duyan sanatçıların tasarım sürecinde, seramik çamuru şekillendirebilen LDM tipi üç boyutlu yazıcılar ve üç boyutlu tarayıcılar

gibi dijital araçları kullanarak yenilikçi biçim, doku ve formlar üretmesine örnek teşkil edecektir.



KAYNAKÇA

- Breuckmann, B. (2014). 25 Years of High Definition 3D Scanning: History, State of the Art, Outlook. *Electronic Visualisation and the Arts (EVA 2014)*, 262-266.
- Can, E. (2019). *Bilgisayar destekli seramik üretim yöntemi olarak üç boyutlu yazıcılar ve günümüz koşullarında uygulama örneği*. Yayımlanmamış Sanatta Yeterlilik Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü.
- Chau, A. (2017). Digital Art Optimism. *Ceramics Technical*, (42), 4-9.
- Chen, Z., Li, Z., Li J., Liu C., C Lao C., Fu Y., Liu C., Li Y., Wang P., He Y. (2019). 3D printing of ceramics: A review. *Journal of the European Ceramic Society*, 39 (4), 661-687.
- Deckers, J., Vleugels, J., Kruth, J. P. (2014). Additive manufacturing of ceramics: a review. *Journal of Ceramic Science and Technology*, 5(4), 245-260.
- Ebrahim, M. A. B. (2015). *3D laser scanners' techniques overview*. *Int J Sci Res*, 4(10), 323-331.
- Halloran, J. W. (2016). Ceramic stereolithography: additive manufacturing for ceramics by photopolymerization. *Annual Review of Materials Research*, 46, 19-40.
- Holcombe, A. C., & Storey, T. (2017). New technologies for the ceramics studio. *Ceramics Technical*, (42), 20-31.
- Ivanov, P. (2017). *Three-dimensional Scanning of Objects Using a Mobile Phone: Photogrammetry Silhouette Technique*. Yayımlanmamış Lisans Tezi. Helsinki: Medya Mühendisliği, Metropolia Uygulamalı Bilimler Üniversitesi.
- Griffey, J. (2014). *3-D printers for libraries*. American Library Association.
- Küllü, K. (2010). *Üç boyutlu lazer tarayıcı ve bilgisayar teknikleri ile cisimlerin sanal ortama aktarılması*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Merchán, P., Salamanca, S., Adán, A. (2011). Restitution of sculptural groups using 3D scanners. *Sensors*, 11(9), 8497-8518.
- Mongeon, B. (2015). *3D technology in fine art and craft: Exploring 3D printing, scanning, sculpting and milling*. Routledge.
- Remondino, F. (2011). Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning. *Remote sensing*, 3(6), 1104-1138.
- Sansoni, G., Trebeschi, M., Docchio, F. (2009). State-of-the-art and applications of 3D imaging sensors in industry, cultural heritage, medicine, and criminal investigation. *Sensors*, 9(1), 568-601.
- Treleaven, P., & Wells, J. (2007). 3D body scanning and healthcare applications. *Computer*, 40(7), 28-34.
- Zocca, A., Colombo, P., Gomes, C. M., Günster, J. (2015). Additive manufacturing of ceramics: issues, potentialities, and opportunities. *Journal of the American Ceramic Society*, 98(7), 1983-2001.

İNTERNET KAYNAKLARI

<https://www.fisherunitech.com/blog/3d-scanning-applications-cost>

(Erişim tarihi:17.10.2019)

<https://www.objective3d.com.au/3d-scanners-applications/#> (Erişim tarihi: 17.10.2019)

<https://www.fisherunitech.com/blog/3d-scanning-applications-cost>

(Erişim tarihi:17.10.2019)

<https://weareprintlab.com/blog/the-real-value-of-3d-scanning-and-its-applications>

(Erişim tarihi:17.10.2019)

https://www.vice.com/en_au/article/wnpqjm/sophie-kahn-and-the-art-of-3d-scanning-and-printing (Erişim tarihi:23.10.2019)

<https://matterandform.net/blog/3d-scanning-in-art> (Erişim tarihi:24.10.2019)

<http://www.architecturetoday.co.uk/contemporary-cartography/>

(Erişim tarihi:24.10.2019).

<https://www.metalocus.es/en/news/ghost-cell-stereoscopic-paris>

(Erişim tarihi:24.10.2019)

[https://knowledge.autodesk.com/support/maya-lt/learn-](https://knowledge.autodesk.com/support/maya-lt/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/MayaLT/files/Polygons-overview-Introduction-to-polygons-htm.html)

[explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/MayaLT/files/Polygons-overview-Introduction-to-polygons-htm.html](https://knowledge.autodesk.com/support/maya-lt/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/MayaLT/files/Polygons-overview-Introduction-to-polygons-htm.html) (Erişim tarihi: 13.07.2019)

<https://conceptartempire.com/polygon-mesh/> (Erişim tarihi: 13.07.2019)

<https://www.sculpteo.com/en/glossary/3d-modeling-definition/> (Erişim tarihi: 11.07.19)

<https://bigblackdrawings.wordpress.com/2013/01/07/the-difference-between-nurbs-and-polygon-modelling/> (Erişim tarihi: 6.09.2019)

<https://www.aniwaa.com/3d-scanning-technologies-and-the-3d-scanning-process/>

(Erişim tarihi: 03.11.2019)

<https://www.3dnatives.com/en/laser-3d-scanner-vs-structured-light-3d-scanner-080820194/> (Erişim tarihi: 02.11.2019)

<https://www.3dnatives.com/en/powder-binding100420174/> (Erişim tarihi:16.11.2019)

<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-binder-jetting-3d-printing/> (Erişim tarihi: 17.11.2019)

<https://blogs.chapman.edu/collections/2019/06/26/3d-printing-ceramics/> (Erişim tarihi: 25.12.2019)

<https://n-e-r-v-o-u-s.com/blog/?p=8115> (Erişim tarihi:09.12.2019)

<https://infotron.com.tr/en/reverse-engineering-3d-scanning-and-modeling-services/>
(Erişim tarihi:17.10.2019)

<https://matterandform.net/blog/what-are-3d-scanners-used-for> (Erişim tarihi:17.10.2019)

<https://www.fisherunitech.com/blog/3d-scanning-applications-cost>
(eriřimtarihi:17.10.2019)

<https://studiopotter.org/editorial-printing> (erişim tarihi:28.03.2020)



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Ali Cihan Kayalıoğlu

Yabancı Dil: İngilizce

Doğum Yeri ve Yılı: Bursa/1988

E-Posta: alicihankayalioglu@gmail.com

- **Öğrenim Geçmişi:**

2007-2013 Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Bölümü
Lisans Programı

2013-2016 Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Seramik Bölümü
Yüksek Lisans Programı

2016-2020 Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Seramik Bölümü
Sanatta Yeterlilik Programı

- **Akademik Unvanlar ve Alınan Yıllar**

2014 Araştırma Görevlisi Güzel Sanatlar Fakültesi-Anadolu Üniversitesi

- **Yayın Listesi**

Yayınlanan Makaleler

2018 Sevim, S., Kayalıoğlu, A. (2018). Seramik Heykel Sanatında Kullanılan Çamurların Elle Şekillendirme Açısından İncelenmesi. Sanat ve Tasarım Dergisi, (22), 291-303.

Uluslararası sözlü bildiriler

2016 Kayalıoğlu, A., Çakı M. “Kalay Oksit ve Titanyum Dioksitin Şamotlu Çamurun Bünye Özelliklerine Etkileri” X Uluslararası Eskişehir Pişmiş Toprak Sempozyumu

• Kazandığı Ödüller

2014 1.SSEDD Biblo Yarışması Kütahya Porselen Özel Ödülü

2018 İzmir Rotary 15. Altın Testi Seramik Yarışması Bülent Civelek Özel Ödülü

• Sergiler

2014 5. Uluslararası Gizem Frit Seramik Yarışması Sergileme

2015 Muammer Çakı 9. Uluslararası Öğrenci Seramik Yarışması Sergileme

2014 İzmir Rotary 13. Altın Testi Seramik Yarışması Sergileme

2015 2. İstanbul Seramik Sanat Günleri Karma Seramik Sergisi

2016 İzmir Rotary 14. Altın Testi Seramik Yarışması Sergileme

2018 9. Uluslararası Gizem Frit Seramik Yarışması Sergileme

2018 Vakıf Katılım Nesilden Nesile Kuş Evleri Tasarım Yarışması Sergileme

2018 T.C Kültür ve Turizm Bakanlığı Güzel Sanatlar Genel Müdürlüğü 4. Genç Sanat Güncel Sanat Proje Yarışması Sergileme

2018 74. Devlet Resim ve Heykel Yarışması Sergileme

• Kişisel Sergiler

2019 “An-Moment”, Galeri Soyut, Ankara, Türkiye