

**SERAMİK ÜRETİM SÜRECİNDE
ÜÇ BOYUTLU YAZICILARIN KULLANIMI VE
SANATSAL ÖNERİLER**

Sanatta Yeterlik Tezi

Emre CAN

Eskişehir, 2019

**SERAMİK ÜRETİM SÜRECİNDE
ÜÇ BOYUTLU YAZICILARIN KULLANIMI VE
SANATSAL ÖNERİLER**

EMRE CAN

SANATTA YETERLİK TEZİ

Seramik Anasanat Dalı

Danışman: Doç. Ezgi HAKAN VERDU MARTINEZ

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi

Güzel Sanatlar Enstitüsü

Ocak 2019

Bu Tez Çalışması Anadolu Üniversitesi BAP Komisyonunca kabul edilen 1504E175 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Emre CAN'ın “Seramik Üretim Sürecinde Üç Boyutlu Yazıcıların Kullanımı ve Sanatsal Öneriler” başlıklı tezi **15 Ocak 2019** tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca, **Seramik Anasanat Dalı Sanatta Yeterlik** tezi olarak değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye (Tez Danışmanı) : Doç. Ezgi H. VERDU MARTINEZ

Üye : Prof. Emel ŞÖLENAY

Üye : Prof. Mustafa AĞATEKİN

Üye : Doç. Feyza ÖZGÜNDOĞDU

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Tolga BENLİ

İmza

Prof. Rahmi ATALAY
Anadolu Üniversitesi
Güzel Sanatlar Enstitüsü Müdürü

ÖZET

SERAMİK ÜRETİM SÜRECİNDE ÜÇ BOYUTLU YAZICILARIN KULLANIMI VE SANATSAL ÖNERİLER

Emre CAN

Seramik Anasanat Dalı

Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü,

Ocak 2019

Danışman: Doç.Ezgi HAKAN VERDU MARTINEZ

20.yy’da yaşanan teknolojik atılımlarla birlikte birçok üretim dalında yenilikler gündeme gelmiş ve Endüstriyel Tasarım alanında, bunlara paralel önemli gelişmeler yaşanmıştır. Özellikle bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretim teknolojileri, ürün geliştirmeden imalata kadar üretim sürecinin her aşamasında kullanılır hale gelirken, üretimde kalite, mali tasarruf ve üretim süresini azaltma gibi konularda beklentileri fazlasıyla karşılar hale gelmiştir. Seramik sektöründe de kullanılan bu yeni teknolojiler, üretimde karşılaşılabilecek problemlere tasarım aşamasında çözüm bulunmasına olanak sağlarken, sektördeki rekabeti de artırmıştır. Üretim sistemlerinin dijital dönüşümünü ifade eden yeni Sanayi Devriminin son gelişmesi olarak kabul edilen üç boyutlu yazıcı teknolojisi de, bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojilerinin ulaştığı son evre olarak günümüzde geliştirilmeye devam eden bir uzmanlık alanıdır. Hızlı prototipleme yöntemlerinden biri olarak ortaya çıkan bu teknoloji, 20. yy.’ın son çeyreğinde patenti alınarak ticarileştirilmiş, zaman içinde geliştirilerek, üretilecek olan ürünün özelliklerine ve malzemesine göre farklı prensiplerle çalışan türleri ortaya çıkmıştır. Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemi, 21. yy’ın başında tıp, mühendislik gibi bilimsel alanların yanı sıra, mimarlık, seramik, heykel, moda gibi farklı tasarım alanları ve sanat dallarında da faydalanılan bir üretim yöntemi olmuştur.

Bu araştırma, farklı çalışma prensiplerine sahip üç boyutlu seramik yazıcılarla yapılmış uygulamaları, bu yazıcıların türleri ve kullanılan seramik hammaddelerin karşılaştırılması sonucu elde edilen verileri kapsamaktadır. Ayrıca üç boyutlu yazıcılarla çalışan araştırmacılar ve seramik sanatçılarının deneyimlerine yer verilen bu tez çalışması kapsamında, dijital ortamda kişisel tasarımlar yapılmış, bunlar üç boyutlu seramik yazıcı ile bilgisayar destekli olarak şekillendirildikten sonra, elle şekillendirme yöntemleriyle ve kişisel yorumlarla desteklenerek bir kaç farklı seriden oluşan eserler meydana getirilmiştir. Üç boyutlu yazıcıların seramik sanatında kullanımının, geliştirilen özgün yöntemlerle, sanatçılara farklı bakış açıları getireceğine inanılarak yapılan bu çalışmanın, bu teknolojinin seramik sanatında yeni bir şekillendirme aracı olarak ele alınması ve yeni öneriler getirilmesi açısından alana katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Sözcükler: Seramik, Sanat, Bilgisayar destekli tasarım, Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme, Üç boyutlu yazıcı

ABSTRACT

THE USE OF THREE DIMENSIONAL PRINTERS IN THE PROCESS OF CERAMICS PRODUCTION AND ARTISTIC SUGGESTIONS

Emre CAN

Department of Ceramic Arts,

Proficiency in Arts,

Anadolu University, Graduate School of Fine Arts, January 2019

Supervisor: Assoc.Prof.Ezgi HAKAN VERDU MARTINEZ

Along with the technological breakthroughs in 20th century, innovations became current issues in many fields of production and in parallel with these, significant developments were experienced in the field of industrial design. Especially, computer aided design and computer aided manufacturing technologies have started to be used in every stage of production processes, from product development to production; while meeting the expectations in issues such as product quality, financial saving and reducing production time exceedingly. These new technologies which are also used in ceramics sector enable us to find solutions for the production problems to be encountered during the phase of design, while increasing the competition in the sector, as well. The three dimensional printing technology which is accepted as the recent development of new Industrial Revolution that expresses digital transformation of production systems, is a field of specialization which continues to be developed as the last stage where computer aided design and production technologies has reached. This technology which emerged as one of the methods of rapid prototyping was commercialized in the last quarter of 20th century by being patented. It has been developed in time and new types have emerged that operate with different principles in accordance with the properties of the material and the product to be produced. In the beginning of 21st century, three dimensional printing has become a method of production utilized in different fields of design such as architecture, ceramics, sculpture, fashion and artistic fields, besides being used in scientific fields such as medicine, engineering etc.

This study covers the data related to applications that were obtained by using three dimensional ceramic printers with different operation principles, types of these

printers and comparisons of ceramics raw materials that were used. Additionally, within the context of this thesis, which includes researchers, who have been working with three dimensional printers and the experiences of ceramics artists; new forms which were designed on digital platform and shaped by 3D printer, later developed by hand building and supported with personal interpretations, were described in detail. This study, which was prepared by believing that, the use of 3D printers in the field of ceramics art would bring new perspectives to the artists, is expected to contribute to this field, in terms of bringing new suggestions by three dimensional printers being approached as new shaping tools in the field of ceramics.

Keywords: Ceramic, Art, Computer aided design, 3D Printing, 3D Printer

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada yeni bir teknoloji olan üç boyutlu yazıcıların seramik sanatında yeni bir şekillendirme yöntemi olarak ele alınması ve kullanılması konusunda araştırmalar yapılmış ve sanatsal önerilerde bulunulmuştur. Bu çalışmanın gelecekte bu şekillendirme yöntemini kullanacak sanatçı, öğrenci ve araştırmacılara yol gösterici olması amaçlanmıştır.

Çalışmalarım süresince bana hep destek olan Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Dekanı Emel Şölenay’a, çalışmam sürecinde bana bilgi birikimi ile yardımcı ve yol gösterici olan danışmanım Doç. Ezgi Hakan Verdu Martinez’e, seramik bölümü öğretim elemanlarına ve personeline, eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen ve benim yanımda olan annem babam ve kardeşime, en son olarak da tez sürecinde hoşgörüsü, sabrı ve desteğinden dolayı çok sevgili eşime ve oğluma teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Emre CAN

15/01/2019

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 edilen 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 süreçler kabul ettiğimi bildiririm.

Emre CAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

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

BİRİNCİ BÖLÜM

1. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM VE ÜRETİM.....	4
1.1. Bilgisayar Destekli Tasarım Kavramı, Tanımı ve Tarihsel Gelişimi	4
1.1.1. Bilgisayar destekli üç boyutlu çizim programları ve kullanım alanları ...	8
1.1.2. Üç boyutlu tarayıcılar ve bilgisayar destekli tasarımda kullanımı.....	10
1.2. Bilgisayar Destekli Üretim Kavramı, Tanımı ve Tarihsel Gelişimi	12
1.2.1. CNC (computer numeric control) tezgahları.....	14
1.2.2. Hızlı prototipleme, RP (Rapid Prototyping) sistemleri.....	15

İKİNCİ BÖLÜM

2. ÜÇ BOYUTLU YAZICILARLA BİÇİMLENDİRME	17
2.1. Üç Boyutlu Yazıcılarla Biçimlendirmenin Tarihsel Gelişimi.....	17

2.1.1. Eklemeli üretim, AM (additive manufacturing), üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme ve hızlı prototipleme kavramları.....	21
2.2. Üç Boyutlu Yazıcılarla Biçimlendirme Yöntemleri	22
2.2.1. Sıvı esaslı çalışan üç boyutlu yazıcılarla biçimlendirme yöntemleri.....	22
2.2.1.1. Stereolitografi yöntemi, SLA (stereolithography).....	22
2.2.1.2. Dijital ışık ile işleme yöntemi, DLP (digital light processing).....	24
2.2.2. Malzeme yığıma prensibine sahip üç boyutlu yazıcılar, FDM (fused deposition manufacturing).....	25
2.2.3 Toz yatağında üç boyutlu yazıcı ile biçimlendirme yöntemleri.....	29
2.2.3.1. Toz yatağında püskürtmeli üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme (Inkjet head 3D printing).....	30
2.2.3.2. Seçici lazer sinterleme, SLS (selective laser sintering).....	31
2.2.3.3. Seçici lazer eritme, SLM (selective laser melting)	32
2.3. Üç Boyutlu Yazıcıların Kullanım Alanları	33
2.3.1 Endüstriyel alanda üç boyutlu yazıcıların kullanımı	33
2.3.2. Sanat alanında üç boyutlu yazıcıların kullanımı	41

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. SERAMİK ÜRETİM YÖNTEMİ OLARAK ÜÇ BOYUTLU YAZICILARLA BİÇİMLENDİRME	48
3.1. Seramik Üretim Sürecinde Üç boyutlu Yazıcılarla Biçimlendirmenin Tarihsel Gelişimi	48
3.2. Seramik Üretim Sürecinde Üç Boyutlu Yazıcılarla Biçimlendirme Yöntemleri ve Çalışma Prensipleri.....	50
3.2.1.Yığıma yöntemi, FDM (Fused deposition modelling kil-ekstrüzyon).....	50
3.2.1.1. FDM tipi üç boyutlu yazıcıyla yapılan seramik uygulama.....	55
3.2.2. Toz bağlama (Powder binding) yöntemi	59

3.2.2.1. <i>Toz Bağlama esaslı çalışan üç boyutlu yazıcıyla yapılan seramik uygulama</i>	62
3.2.3. Stereolitografi, SLA (stereolithography) yöntemi.....	65
3.2.3.1. <i>Stereolitografi, SLA (stereolithography,) yöntemiyle yapılan seramik uygulama</i>	67
3.3. Üç Boyutlu Yazıcılarla Çalışan Seramik Sanatçıları ve Uygulama Örnekleri	70
3.3.1. Jonathan Keep	70
3.3.2. John Balistreri	75
3.3.3 Michael Eden	76
3.3.4 Bryan Czibesz	78
3.3.5. Olivier Van Herpt.....	82

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. KİŞİSEL UYGULAMALAR.....	85
4.1. Kişisel Uygulamalarda kullanılan teknik: Üç boyutlu yazıcıyla deneyimlenen üretim süreci	86
4.2. Kişisel Uygulamalarda kullanılan sanatsal ifadeler: Eserlerin kavramsal alt yapısı.....	90
4.3. Selçuklu Serisi.....	91
4.4. Doğanın Gücü Serisi	94
4.4. Ortadoğu Serisi.....	98
SONUÇ.....	102
KAYNAKÇA.....	105
ÖZGEÇMİŞ.....	110

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 1.1. Ivan Sutherland Sketchpad üzerinde çalışırken, 1962.....	5
Görsel 1.2. AutoCAD Release 1'in ekran görüntüsü, 1982.....	6
Görsel 1.3. NX 12, modelleme ekranı, 2018.....	8
Görsel 1.4. 3D Max çalışma ekranı, 2018.....	8
Görsel 1.5. Üç boyutlu tarayıcı ve tarama işlemi.....	11
Görsel 1.6. Üç eksenli CNC Router, Anadolu Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Bölümü.....	13
Görsel 1.7. Cincinnatti-Hydrotel ilk nümerik kontrol freze tezgahı.....	14
Görsel 1.8. <i>Hızlı prototipleme süreci, SLA, SLS, FDM yöntemleri vb.</i>	16
Görsel 2.1. Willeme'in photosculpture ile katı model üretim süreci, 1863.....	18
Görsel 2.2 Cheverton'un heykel kopyalama makinesi, 1884.....	18
Görsel 2.3. 3D Systems şirketinin ürettiği ilk steryolitografi yazıcı, 1987.....	20
Görsel 2.4. Stereolitografi üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme süreci.....	23
Görsel 2.5. Stereolitografi üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme.....	24
Görsel 2.6. Dijital ışııkla işleme yöntemi (DLP).....	25
Görsel 2.7. Dijital ışııkla işleme süreci (DLP).....	25
Görsel 2.8. RepRap, üç boyutlu yazıcı, Adrian Bowyer.....	27
Görsel 2.9. Delta ve Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcılar.....	28
Görsel 2.10. Contour crafting yöntemi.....	29
Görsel 2.11. Bağlayıcı püskürtmeli üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme süreci.....	31
Görsel 2.12. Seçici lazer sinterleme süreci (SLS)	32
Görsel 2.13. Seçici lazer ergitme yöntemi ile AUDI firması tarafından üretilmiş metal motor parçası (SLM).....	33
Görsel 2.14. 'Thor' Üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle üretilmiş ilk uçak.....	34
Görsel 2.15. Üç boyutlu yazıcıyla yapılmış La Sagrada Familia maketi.....	35

Görsel 2.16. Dünyada üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile yapılmış ilk ev, 400 m ² Huashang Tengda firması.....	36
Görsel 2.17. Üç boyutlu yazıcı ile ev inşa aşaması, Apis Cor firması.....	36
Görsel 2.18. Üç boyutlu yazıcı ile yapılmış protez gaga.....	38
Görsel 2.19. SLS yöntemi ile üretilmiş elbise, Studio Francis Bitonti ve Shapeways...	39
Görsel 2.20. Üç boyutlu yazıcı ile üretilmiş takı tasarımları, Nervous System firması.	39
Görsel 2.21. Üç boyutlu gıda yazıcı ile elde edilen çikolata, Choc Creator firması.....	40
Görsel 2.22. Üç boyutlu yazıcı ile elde edilen makarna, TNO ve Barilla firmaları.....	41
Görsel 2.23. Charles Csurı, “Ridges Over Time” CNC ile şekillendirilmiş ahşap heykel, 1968.....	42
Görsel 2.24. Davide Quayola, “İkonografler” dijital resim, 2015.....	43
Görsel 2.25. Davide Quayola “Laocoön ve oğulları”2016 CNC ile şekillendirilmiş mermer heykel.....	44
Görsel 2.26. Karin Sander, üç boyutlu yazıcıyla şekillendirilmiş küçük heykeller, 1998.....	45
Görsel 2.27. Karin Sander, üç boyutlu yazıcıyla şekillendirilmiş küçük heykeller, 2000.....	45
Görsel 2.28. Anish Kapoor, Üç boyutlu yazıcı ile üretim aşaması.....	46
Görsel 2.29. Anish Kapoor, “Between Shit and Architecture” Sergisi, 2011.....	46
Görsel 2.30. Nick Ervick “Lapirsub” SLS üç boyutlu yazıcı yöntemiyle şekillendirilmiş heykel.....	47
Görsel 3.1. FDM yöntemiyle üretilmiş ilk seramik form, 8x7x7 cm, Unfold, 2009.....	52
Görsel 3.2. JK delta tipi üç boyutlu yazıcı, Jonathan Keep	50
Görsel 3.3. Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcı, Unfold, Belçika.....	53
Görsel 3.4. FDM delta tipi üç boyutlu yazıcı 40x20 cm, Delta Wasp, Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi.....	53
Görsel 3.5. Üç Boyutlu Yazıcı ile yapı inşası, Wasp Projesi,	54
Görsel 3.6. Vorm Vrij firması tarafından üretilen Kartezyen tipi üç boyutlu seramik yazıcı, Lutum.....	55

Görsel 3.7. Dries Verbruggen ile uygulama aşaması, Unfold tasarım stüdyosu	56
Görsel 3.8. Modelin farklı açılardan fotoğrafının çekilerek bilgisayar ortamına aktarılması.....	56
Görsel 3.9. Bilgisayar ortamında model üzerinde değişikliklerin yapılması.....	57
Görsel 3.10. Üç boyutlu yazıcı üretim aşaması, FDM yöntemi.....	57
Görsel 3.11. FDM yöntemiyle üretilen objeler, 1200°C	58
Görsel 3.12. FDM yöntemiyle üretilen objeler, 1200°C	58
Görsel 3.13. Rhino Programında yapılmış modelleme, Bristol Araştırma Merkezi (Centre for Fine Print Research)	60
Görsel 3.14. Toz bağlama yöntemiyle şekillendirilmiş kapaklı form, Bristol Araştırma Merkezi (Centre for Fine Print Research)	60
Görsel 3.15. toz bağlama yöntemi ile şekillendirilmiş ve pişirilmiş fincan, Bristol Araştırma Merkezi (Centre for Fine Print Research)	61
Görsel 3.16. Üç Boyutlu Yazıcı Toz Bağlama Yöntemi ile şekillendirilmiş form, Tethon 3D	61
Görsel 3.17. Tasarımın bilgisayar ortamında çizilmesi, Tethon 3D firması	62
Görsel 3.18. Toz Bağlama yöntemiyle üretim aşaması, Tethon 3D firması	63
Görsel 3.19. Ürünlerin makineden alınıp etüve konulması, Tethon 3D firması	63
Görsel 3.20. Tozların hava yardımıyla bünyeden uzaklaştırılması, Tethon 3D firması	64
Görsel 3.21. Bisküvi pişirimi için hazır olan formlar, Tethon 3D firması	64
Görsel 3.22. 1200°C pişirimi yapılmış formun farklı açılardan çekilmiş görünümü Tethon 3D firması.....	65
Görsel 3.23. “Ceramaker” SLA Üç Boyutlu Yazıcı, 3DCeram firması	66
Görsel 3.24. Tethon 3D tarafından geliştirilen Porcelite malzemeye steryolitografi yöntemine göre şekillendirilen form, Tethon 3D firması	67
Görsel 3.25. Tasarımın çizilmesi ve üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme için uygun hale getirilmesi, Tethon 3D firması	68
Görsel 3.26. SLA yöntemi ile şekillendirme aşaması Tethon 3D firması	68

Görsel 3.27. SLA üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme sonrasında formun makineden ayrılması ve alkole daldırılması, Tethon 3D firması	69
Görsel 3.28. SLA yöntemiyle üretilen formun destek parçalarından ayrılması, Tethon 3D firması	69
Görsel 3.29. SLA yöntemiyle üretilmiş form, Tethon 3D firması	69
Görsel 3.30. Jonathan Keep, ilk üç boyutlu yazıcı çalışmalarından örnekler.....	71
Görsel 3.31. Jonathan Keep'in web sitesinde paylaştığı, üç boyutlu yazıcı parçaları...72	
Görsel 3.32. Jonathan Keep, İnsan sesi ve kuş seslerinin üç boyutlu yazıcı ile şekillendirildiği seramik formlar, 2012.....	73
Görsel 3.33. Jonathan Keep, “Evolving” Morfoloji Serisi.....	73
Görsel 3.34. Jonathan Keep, “Drop” Morfoloji Serisi.....	74
Görsel 3.35. Jonathan Keep, “Iceberg” Serisi.....	74
Görsel 3.36. John Balistreri, “3D Tea Bowl Project”.....	75
Görsel 3.37. Michael Eden, “The Wedgwoodn’t Tureen” SLS yöntemi, kompozit malzeme.....	76
Görsel 3.38. Michael Eden “A Rebours” SLS yöntemi, naylon	77
Görsel 3.39. Bryan Czibesz ve Shawn Spangler “R/Charting” Projesi kapsamında John Young Müzesinden seçilen üç obje.....	78
Görsel 3.40. Bryan Czibesz ve Shawn Spangler “R/Charting” Projesi, Üç boyutlu seramik yazıcıyla biçimlendirilmiş formlar.....	79
Görsel 3.41. Bryan Czibesz ve Shawn Spangler “R/Charting” Projesi, CNC ile şekillendirilip krom-gümüş ile kaplanan poliüretan malzemeden objeler 80	
Görsel 3.42. Bryan Czibesz “Bazı protez hikayeler” fotometrik tarama ve FDM yazıcılarda üç boyutlu şekillendirme.....	80
Görsel 3.43. Bryan Czibesz “Bazı protez hikayeler” fotometrik tarama ve FDM yazıcılarda üç boyutlu şekillendirme	81
Görsel 3.44. Bryan Czibesz “Precis” çizim aşamasından üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirmeye geçiş aşamaları.....	81
Görsel 3.45. Oliver Van Herpt tarafından tasarlanan üç boyutlu yazıcısı.....	82
Görsel 3.46. Oliver Van Herpt “Adaptive Manufacturing Projesi”.....	83

Görsel 3.47. Oliver Van Herpt “Adaptive Manufacturing Projesi”.....	83
Görsel 3.48. Oliver Van Herpt ve Ricky Van Broekhoven “Solid Vibrations Projesi”.	88
Görsel 4.1. Delta Wasp Üç boyutlu yazıcı.....	87
Görsel 4.2. NX programında modelleme ve çizilen modelin Cura programında G-code formatına dönüştürülmesi.....	88
Görsel 4.3. Çamur hazırlama aşaması.....	88
Görsel 4.4. Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme aşamaları.....	90
Görsel 4.5. 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.....	91
Görsel 4.6. Emre Can, “Selçuklu serisi” kase, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 1160°C 12 x 18 x 18 cm., kobalt oksit katkılı renkli plastik seramik çamuru.....	92
Görsel 4.7. Emre Can, “Selçuklu serisi” serbest form, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 1160°C, 36 x 38 x 18 cm., plastik seramik çamuru.....	92
Görsel 4.8. Emre Can, “Selçuklu Serisi” serbest form, üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 1230°C, 30x 34 x 23 cm., plastik porselen çamuru.....	93
Görsel 4.9. Emre Can, “Selçuklu Serisi” üçlü vazo, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 1230°C, 33 x 35 x 22 cm., plastik porselen çamuru.....	93
Görsel 4.10. Emre Can, “Selçuklu Serisi”, vazo, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 1160°C, 36 x 38 x 18 cm., plastik seramik çamuru, kobalt oksit katkılı renkli astar.....	94
Görsel 4.11. Emre Can, “Doğanın Gücü Serisi”, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 1160°C, 33 x 18 x 19 cm., plastik seramik çamuru, kobalt oksit katkılı renkli astar.....	95
Görsel 4.12. Emre Can, “Doğanın Gücü Serisi”, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 1160°C, 29 x 19 x 19 – 37x19x19cm., plastik seramik çamuru.....	96
Görsel 4.13. Emre Can, “Doğanın Gücü Serisi”, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 1000°C, Raku Pişirimi, 20 x 9 x 9 cm., plastik seramik çamuru.....	97
Görsel 4.14. Emre Can, “Doğanın Gücü Serisi”, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 1160°C, 32 x 19 x 19 cm., plastik seramik çamuru, kobalt oksit katkılı renkli astar.....	97

- Görsel 4.15.** Emre Can, “Ortadoğu Serisi”, üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 1160°C, 33 x 35 x 22 cm., plastik porselen çamuru.....98
- Görsel 4.16.** Emre Can, “Ortadoğuda Kahvaltı”, üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 1230°C, düzenleme, 21 x 58 x 41 cm., plastik porselen çamuru kobalt oksit katkılı renkli çamur ve beyaz astar.....99
- Görsel 4.17.** Emre Can, “Ortadoğuda Kahvaltı”, detay, üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 1230°C, düzenleme 21 x 58 x 41 cm., plastik porselen çamuru kobalt oksit katkılı renkli çamur ve beyaz astar.....99
- Görsel 4.18.** Emre Can, “Ortadoğu Serisi”, üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 1230°C, düzenleme, 33 x 35 x 22 cm., plastik porselen çamuru kobalt oksit katkılı renkli çamur.....100
- Görsel 4.19.** Emre Can, “Ortadoğu Serisi”, üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 1230°C, 18 x 65 x 35 cm., plastik porselen çamuru kobalt oksit katkılı renkli çamur ve renkli astar.....100
- Görsel 4.20.** Emre Can, “Ortadoğu Serisi”, üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 1230°C, 16 x 18 x 18 cm., plastik porselen çamuru kobalt oksit katkılı renkli çamur.....101
- Görsel 4.21.** Emre Can, “Ortadoğu Serisi”, üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 1230°C, 14 x 18 x 18 cm., plastik porselen çamuru kobalt oksit katkılı renkli çamur.....101

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- CAD : (Computer Aided Design) Bilgisayar Destekli Tasarım
- CAM : (Computer Aided Manufacturing) Bilgisayar Destekli Üretim
- CNC : (Computer Numeric Control) Bilgisayarlı Numerik Kontrol.
- CTR : Katod Işın Tüpü
- NC : Numerik kontrol
- PC : (Personal Computer) : Kişisel bilgisayar
- STL : Üç boyutlu bir objeyi sayısal değerlerle tanımlayan bir dosya formatı
- G-code : Bilgisayar destekli üretimde numerik kontrol amaçlı kullanılan bir programlama dili
- RP : (Rapid Prototyping) Hızlı Prototipleme
- Z-Corp : 3D system şirketi tarafından üretilen toz esaslı çalışma prensibine sahip üç boyutlu yazıcı
- SLA : (Stereolitography) Stereolitografi, ilk kez Chuck Hull tarafından ticarileştirilen üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemi
- FDM : (Fused Deposition Manufacturing) Malzeme yığıma prensibine sahip üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemi
- AM : (Additive Manufacturing) Eklemeli Üretim
- RP : (Rapid Prototyping) Hızlı Prototipleme
- DLP : (Direct Light Processing) Doğrudan ışık ile işleme üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemi
- PLA : Nişasta esaslı üç boyutlu yazıcılarda hammadde olarak kullanılan bir çeşit filament
- ABS : Plastik esaslı üç boyutlu yazıcılarda hammadde olarak kullanılan bir çeşit filament
- SLS : (Selective Laser Sintering) Seçici Lazerle Sinterleme, toz esaslı çalışma prensibine sahip üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemi
- SLM : (Selective Laser Melting) Seçici Lazerle Ergitme,
- BAP : Bilimsel Araştırma Projeleri

GİRİŞ

Bilgisayar destekli tasarım ve üretim (CAD-CAM), geçmişten günümüze farklı birçok sektörde gerek zamandan tasarruf, gerekse hatasız ürünler üretilmesi açısından kullanıcıya avantajlar sağlayan önemli teknolojilerdir. Bu yöntemler, farklı malzemelerle üretim yapılmasına olanak sağlarken, günümüzde CNC (Computer Numeric Control) makineleri aracılığıyla eksiltme (subtractive) prensibine dayalı olarak kısa sürede üç boyutlu model ve kalıplar ortaya çıkartılmaktadır. Bu teknolojiye ek olarak geliştirilen ve eklemeli üretim prensibine göre üretim yapan bir diğer teknoloji de hızlı prototiplemedir (RP). Bu teknoloji, bilgisayar ortamında çizimi yapılan tasarımın, ilk üretim örneğini görmeye yarayan prototipleme yöntemidir. Hızlı prototipleme, bir ürünün seri üretiminden önce fiziksel olarak nasıl olacağına dair fikir verirken, üretimde ve kullanımda karşılaşılabilecek sorunların neler olabileceğini önceden tespit etmeye yardımcı olarak, nihai ürünün hatasız elde edilebilmesine katkı sağlamaktadır. Hızlı prototipleme yöntemlerinden biri olarak ortaya çıkan üç boyutlu yazıcılar ise, tasarlanan ürünün kullanım amacına göre, çeşitli malzeme ve üretim yöntemleriyle birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Stereolitografi yöntemi 1980'li yılların ortalarında Charles Hull tarafından geliştirilmiştir. 1986 yılında ise Hull, bu teknolojinin patentini alarak ilk ticari üç boyutlu yazıcıyı geliştirmiş ve piyasaya sunmuştur (Warnier vd., 2016, s. 11). Üç boyutlu yazıcı teknolojisi, üç boyutlu katı cisimlerin, dijital datalardan faydalanılarak üretilmesi esasına dayanmaktadır. Burada CNC teknolojisi gibi eksiltmeye dayalı proseslerden farklı olarak ürün, malzeme ekleme prensibine göre işlenmektedir. Günümüzde tıp, sanat, mimarlık, mühendislik gibi alanlarda kullanılan üç boyutlu yazıcılar, gerek nihai ürün gerekse prototip üretme amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu teknoloji plastik, metal ve seramik gibi çeşitli malzemelerle, karmaşık formların üretilmesine imkan sağlamasıyla önem kazanmaktadır. Üç boyutlu yazıcılar form üretiminde, farklı çalışma prensiplerine ve kullanım amaçlarına göre türlere ayrılmaktadır. Endüstride yaygın olarak kullanılmaya başlanan üç boyutlu yazıcı teknolojisi artık evlerde ve ofislerde de yerini almaya başlamıştır. Böyle bir teknolojinin kullanımı bu kadar yaygınlaşmış ve yaşamın içerisinde yer edinmişken, sanatçıların da bu durumdan etkilenmesi kaçınılmaz olmuştur. 20.yy'ın sonları ve 21.yy başlarında, üç boyutlu yazıcıları çalışmalarında kullanan farklı alanlardan sanatçılar olduğu dikkat çekmektedir. Sanatçıların anlatım olanaklarını genişleten dijital ortamlar, artık diğer

şekillendirme yöntemleri gibi araç olmaya başlamış, böylece üretim süreçlerinde yeni yönelimler doğmasına zemin hazırlanmıştır. Özellikle çamur ile biçimlendirme yapabilen üç boyutlu yazıcıların geliştirilmesiyle birlikte, seramik sanatında yeni arayışlar yaşanmaya başlamıştır. Günümüzde bazı seramik sanatçıları bu teknolojiyi sanata adapte ederek, inovatif yaklaşımla farklı bir yöneliş göstermektedir. Bu araştırma da çağın getirdiği gereksinimlere paralel olarak ortaya çıkan bu tür eğilimleri yansıtan bir çalışmadır.

Bu araştırmanın amacı, 21. yy da çağın teknolojik araçlarından biri olan üç boyutlu yazıcıların, seramik sanatında bir şekillendirme yöntemi, bir ifade aracı olarak kullanımını ele almak, bu doğrultuda yeni bir sanatsal çalışma alanı ortaya koymaktır. Bu tez çalışması için yapılan literatür araştırmasında belirli yabancı yazarların kaynaklarına ulaşılmıştır. Dries Verbuggen ve Claire Varnier tarafından yazılmış “Printing Things” ve Stephen Hoskins’in “3D Printing For Artists, Designers and Makers” kitapları, bu tez çalışmasında, hem tarihçe açısından, hem de teknik açıdan yol gösterici olarak kullanılan ve konuyu sanatsal açıdan da ele alan ana kaynaklar olmuşlardır. Bu alanda teknik araştırma yapan ve makale, tez gibi eserler veren yazarlar da bulunmaktadır. Türkiye’de de son 5 yıldır bu konuda akademisyen araştırmacıların yazmış olduğu, teorik ve pratik bilgilerin yer aldığı teknik kaynaklar dikkat çekmektedir. Bu araştırmanın önemi, ülkemizde seramik sanatında üç boyutlu yazıcılar ile ilgili sanatsal çalışmalara rastlanmaması, bu tez çalışması sonucunda yapılan özgün sanatsal formların sanatsal literatüre ilk kez girerek alana katkı sağlayacak olmasıdır.

Bu çalışmanın araştırma yöntemi yerinde inceleme, uygulama ve betimsel araştırmaya dayanmaktadır. Mevcut literatür taranarak elde edilen veriler ve uygulamalar sonucu oluşturulan metinlerle hazırlanan bu tezin kapsamı dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde; bilgisayar destekli tasarım ve üretim kavramlarının tanımı ve tarihsel gelişim süreçleri incelenirken, eklemeli ve eksiltmeli üretim kavramları açıklanmıştır. İkinci bölümde ise, üç boyutlu yazıcıların çeşitleri ve hangi alanlarda, nasıl kullanıldıkları araştırılmıştır. Üçüncü bölümde; üç boyutlu seramik yazıcıların gelişimi, çeşitleri ve çalışma prensipleri, seramik sanatında ve sektöründe kullanımı, tez kapsamında elde edilen deneyimler ve yapılan uygulamalar ışığında karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Ayrıca bu bölümde seramik üç boyutlu yazıcıların sanatla olan ilişkisi vurgulanarak, örnek olarak seçilmiş tasarımcı ve sanatçı çalışmaları

incelenmiştir. Dördüncü bölümde ise; tüm bu araştırmalarla birlikte elde edilen deneyimler sonucunda, üç boyutlu seramik yazıcıyla biçimlendirmenin seramik sanatına ve sanatçılara sağladığı avantaj ve dezavantajlar tespit edilerek, seramik sanatında bir şekillendirme yöntemi olarak kullanılabilirliği araştırılmış, kişisel deneyimler ve uygulama çalışmaları ile üretilmiş olan özgün sanatsal formlara yer verilmiştir.

Bu kapsamda, farklı türleri olan üç boyutlu seramik yazıcıların, çağdaş bir şekillendirme aracı olarak seramik sanatında eserlerin üretim aşamasında nasıl kullanıldığını ve seramik sanatına katkılarını inceleyen bu araştırmanın, kaynak niteliğinde literatüre kazandırılması hedeflenmektedir.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM VE ÜRETİM

1.1. Bilgisayar Destekli Tasarım Kavramı, Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

Bilgisayar destekli tasarım, bir tasarımın, çizim aşamasından sonra yardımcı yazılımlar kullanılarak dijital ortama aktarıldığı, bilgisayar ekranında geliştirilerek sonuçlandırıldığı araştırma ve uygulama sürecidir.

Bilgisayar destekli tasarımın İngilizce karşılığı Computer Aided Design'dır. Bu alanda sıkça duyulan CAD ise bu ifadenin baş harflerinden oluşan kısaltmadır.

Üretimi planlanan parçaların, bilgisayar ortamında oluşturulması sürecini kapsayan Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD), Groover ve Zimmer (Groover & Zimmers, 1983, s:12) tarafından, bir tasarımın en uygun seviyeye getirilmesine, analizine, üzerinde değişiklik yapılmasına ve yaratımına yardımcı olan bilgisayar sistemlerinin kullanımı olarak tanımlanmaktadır.

Türkel (2008, s. 30) , bilgisayar destekli tasarım için gerekli olan sistem yapısını 4 başlık altında açıklamaktadır;

- Donanım (hardware); bilgisayarlar ve buna bağlı veri alıcı donanımı
- Yazılım (software); donanımda işleyen bilgisayar programları
- Veri; yazılım tarafından işlenmiş ve yapılmış veri yapısı
- İnsan bilgisi ve aktiviteleri

Dijital bilgi ortamında ilk grafik sistemi, 1950'lerin ortalarında Amerikan hava savunma sistemi olarak, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, Lincoln Laboratuvarında geliştirilmiştir. Sistem, bilgisayar tarafından işlenmiş radar ve diğer verileri göstermek için CTR (Katod Işın Tüpü) ekranlarının kullanımını içermektedir. Daha sonra CADD/CAM' in babası olarak bilinen Dr. Patrick J.Hanratty, 1957 yılında ilk ticari numerik kontrol (NC) sistemi olan Pronto'nun geliştirilmesine katkı sağlamıştır. 1960 yılında Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, Lincoln Laboratuvarı'ndan Ivan Sutherland, TX-2 bilgisayarını kullanarak Sketchpad projesini üretmiştir. Bu proje dünyada CAD endüstrisi için atılan ilk adım olarak kabul edilmektedir. Bu dönemde İTEK ve General Motors şirketleri tarafından da benzer projeler geliştirilmiştir. İlk bilgisayar destekli

tasarım programları basit algoritmalarla iki boyutlu çizgisel modellemeler yapmak için kullanılmıştır. Bu sayede yapılan çalışmaların ilk örnekleri Carnegie-Mellon Üniversitesinde Prof. Charles Eastman tarafından yüzlerce mimari eleman kullanılarak üretilmiştir.¹



Görsel 1.1. Ivan Sutherland Sketchpad üzerinde çalışırken, 1962
Kaynak: <http://history-computer.com/ModernComputer/Software/Sketchpad.html>

1970’li yıllarda CAD yazılımları, araştırma çalışmalarının yanı sıra ticari olarak da kullanılmaya başlanmıştır. 1970’lerde CADAM (Computer Augmented Drafting and Manufacturing) gibi basit iki boyutlu yazılım programları dikkat çekerken, zamanla üç boyutlu CAD yazılımlarına dair araştırmalar ve girişimler hız kazanmıştır. İlk ticari amaçlı üç boyutlu katı modelleme programı “SynthaVision”, MAGI şirketi (Mathematics Application Group, Inc.) tarafından 1972 yılında bir CAD yazılımı olarak değil, nükleer radyasyona maruz kalmanın üç boyutlu analizini yapabilen bir yazılım olarak piyasaya sürülmüştür. Bu dönemde üç boyutlu CAD yazılımlarına olan ilgi artarken, araştırmalar oldukça hız kazanmıştır. K. Vesprille’nin 1975 yılında Syracuse Üniversitesinde yazdığı "Computer-Aided Design Applications of the B-Spline Approximation Form" başlıklı doktora tez çalışması, 2000’lerin önemli araştırma konularından olan CAD yazılımlarındaki karmaşık üç boyutlu eğri ve yüzey modellemelerinin oluşturulmasına yardımcı olmuştur. 1970’li yılların sonuna doğru

¹ <http://www.mbdesign.net/mbinfo/CAD1960.htm>
(Erişim Tarihi: 01.09.2017)

CAD yazılım şirketleri ticari açıdan oldukça geniş bir ekonomik güce sahip olmaya başlamıştır. Bu tip yazılımların yaygın olarak kullanılmaya başlanmasıyla, yazılım alanında rekabetçi bir ortam doğmuştur. 1980’li yılların başında, ticari CAD yazılımları otomotiv, uzay ve elektronik şirketleri tarafından satın alınmaya başlanmıştır.²

1978 yılında Herb Voelcker’ın çabaları ile 1980’li yılların başında birkaç üç boyutlu katı modelleme programında da kullanılan PADL (Part and Assembly Description Language) katı modelleyicisi piyasaya sürülmüştür.³

Programlama ve bilgisayar donanımlarındaki ilerlemeler özellikle 1980’lerde katı modelleme programlarıyla birlikte, tasarım anlamında bilgisayarların çok yönlü kullanımının önünü açmıştır. 1980’li yılların başında öne çıkan katı modelleme programları Romulus (Shape Data), temeli PADL-2’ye dayanan Uni-Solid (Unigraphics), ve yüzey modellemenin geliştirilmesiyle Catia (Dassault Systems) olmuştur (Xu, 2009, s.17).

PC (Personal Computer) yani kişisel bilgisayar fikri ilk kez 1980’lerin başında ortaya çıkmıştır. IBM şirketi ilk kişisel bilgisayarı 1981 yılında üretmiş ve satışa sunmuştur. 1982 yılında kurulan Autodesk, aynı yıl PC’ler için ilk CAD yazılımı olan ‘AutoCAD Release 1’i kullanıcılarına tanıtmıştır.⁴



Görsel 1.2. AutoCAD Release 1’in ekran görüntüsü, 1982
Kaynak: <https://www.scan2cad.com/tips/autocad-brief-history/>

² <http://www.cadazz.com/cad-software-history-1970s.htm>
(Erişim Tarihi: 01.09.2017)

³ <http://www.cadazz.com/cad-software-history-1970s.htm>
(Erişim tarihi: 31.10.2018)

⁴ <http://www.cadazz.com/cad-software-history-1980-1985.htm>
(Erişim tarihi: 31.10.2018)

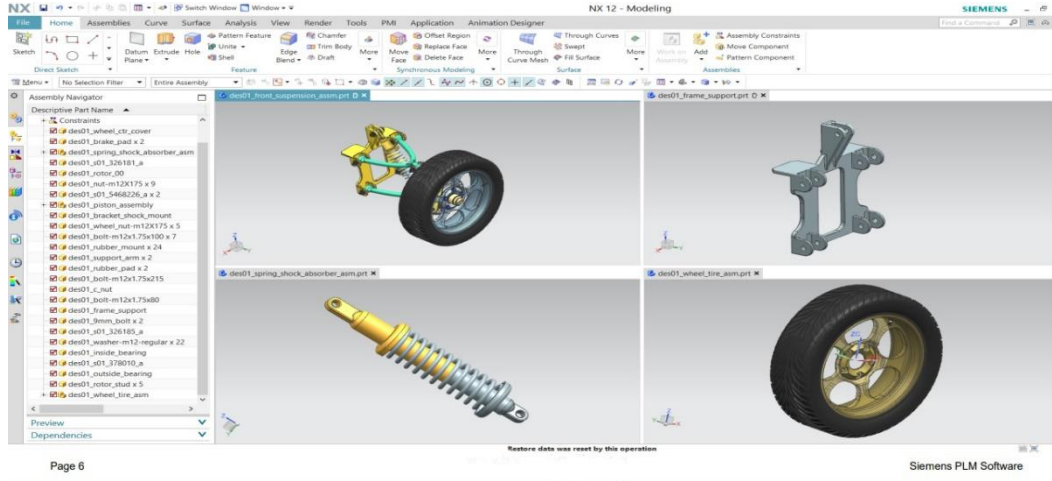
Bu alanda bir sonraki gelişme, 1988 yılında Pro Engineer çizim programının piyasaya sürülmesidir. Ayrıca CAD'in gelişmesinde 1980'lerin sonu, 1990'ların başlarında Parasolid (Shape Data) ve ACIS (Spatial Technology) gibi B-Rep katı modelleme çekirdeklerinin gelişimi önemli olmuştur (Xu, 2009, s. 17).

1990-1993 yılları arasında CAD yazılım tarihinin önemli sözleşmeleri yapılmıştır. Boeing'in bu dönemde yakaladığı başarı, diğer havacılık ve otomotiv şirketlerini de tek bir kurumsal CAD yazılımı ile çalışma yönünde motive etmiştir. Mercedes-Benz, Chrysler, Renault ve Honda gibi büyük otomotiv şirketleri, CATIA ile çalışmaya başlamıştır. Caterpillar, Pro-Engineer ile çalışmaya başlarken, General Motors önemli oranda Unigraphics kullanmaya karar vermiş, bunun sonucu olarak MDM & E/Unigraphics, 1991'in sonlarında EDS (Electronic Data Systems Corp) tarafından satın alınmıştır. 2000'li yıllara gelindiğinde ise internetle uyumlu çalışabilen web tabanlı yazılımlar ortaya çıkmaya başlarken, ilk web özellikli CAD yazılımı 2000 yılının ortalarında Autodesk firması tarafından piyasaya sürülen AutoCAD 2000 olmuştur. Bu yazılım ilk defa web tarayıcısıyla görüntülenebilecek çizimler üretme olanağı sağlamasıyla yeni bir dönemin başlangıcı olmuştur.⁵

Bazı programlar yeni sürümlerle birlikte geliştirilirken, bazı yazılımlar zaman içinde tek çatı altında toplanmıştır. Buna örnek olarak I-DEAS ve Unigraphics'in birleşmesi gösterilebilir. 2001 yılında I-DEAS üç boyutlu çizim programı, piyasada önemli yeri olan Unigraphics'in üreticisi UGS Corporation tarafından satın alınmıştır. Bu birleşme ile birlikte NX isminde üç boyutlu çizim programı piyasaya sürülmüştür. 2007 yılında ise UGS Corporation, Alman şirketi Siemens tarafından satın alınarak ismi Siemens PLM Software olmuştur ve günümüzde hala bu isimle faaliyetlerini sürdürmektedir.⁶

⁵ <http://www.cadazz.com/cad-software-history-1990-1994.htm>
(Erişim Tarihi: 01.11.2018)

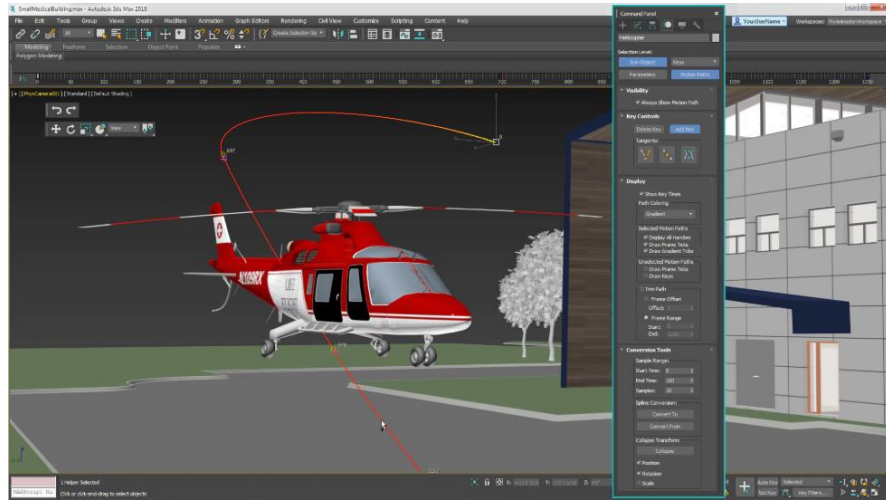
⁶ <https://en.wikipedia.org/wiki/I-DEAS>
(Erişim Tarihi: 05.11.2018)



Görsel 1.3. NX 12, modelleme ekranı, 2018

Kaynak: http://www.bogaziciyazilim.com/upload/dokumanlar/NX12_CAD.pdf

2000’li yıllardan sonra birçok firma kendini bu yeni döneme entegre ederek varlıklarını sürdürmeye devam etmiştir. Günümüzde üç boyutlu çizim programlarından olan 3D Max, Rhino, CATIA, NX ve Solid Works, farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.



Görsel 1.4. 3D Max çalışma ekranı, 2018

Kaynak: <https://www.autodesk.com.tr/products/3ds-max/features>

1.1.1. Bilgisayar destekli üç boyutlu çizim programları ve kullanım alanları

Üç boyutlu çizim programları basit anlamda, bilgisayar ortamında bir ürünün modellenmesine olanak sağlayan yazılımlar olarak tanımlanabilir. Tarihsel süreçte bakıldığında ilk ticari amaçlı üç boyutlu katı modelleme programı olarak MAGI şirketi (Mathematics Application Group, Inc.) tarafından 1972 yılında piyasaya sürülen SynthaVision programı, daha çok üç boyutlu analiz yapabilmek için geliştirilen bir

program olmuştur. Üç boyutlu çizim programlarının başlangıcı sayılan bu ilk yazılım, zaman içinde geliştirilerek, günümüzde kullanılan üç boyutlu çizim programlarına temel hazırlamıştır.

Üç boyutlu çizim programları, çoğu aynı temele dayanmakla birlikte, modellemesi yapılacak ürünün hangi alanda kullanılacağına göre farklılık göstermektedir. Örneğin; bazı programlar mühendislik alanlarında tercih edilirken, bazıları mimari, bazıları ise sanat ve tasarım amaçlı çizimlere uygun olarak geliştirilmiştir. Günümüzde otomotiv ve havacılık sektörlerinde NX ve CATIA, takı tasarımında Rhino, mimaride 3D Max, sinema ve animasyon alanında Z-Brush ve After Effect programları tercih edilirken, seramik endüstrisinde vitrifiye alanında NX, sofa eşyası üretiminde ise Artcam, PowerShape gibi programlar kullanılmaktadır. Artcam ve Powershape programları iki boyutlu çizimleri üç boyutlu rölyeflere dönüştürebilen çizim programlarıdır. Bu özelliklerinden dolayı sofa eşyası üretiminde, ürünler üzerinde rölyef desenler yapmak için kullanılmaktadır. NX programı ise katı ve yüzey modelleme seçenekleri olan üç boyutlu çizim programıdır.

Üç boyutlu çizim teknolojisinde, yapılmak istenen ürün, bilgisayar ortamında birebir ölçüleri ile üç boyutlu olarak çizilmekte ve ürünle ilgili tüm detaylar ekranda görülebilmektedir. Bilgisayar teknolojisinin sunduğu bu özellik, ürünle ilgili sorunların önceden tespiti için büyük bir avantaj sağlamaktadır. Üç boyutlu çizim programları farklı birçok sektörde kullanılmaktadır. Örneğin, motor sanayiinde makine parçaları bilgisayar ortamında ayrı ayrı tasarlandıktan sonra, yine bilgisayar ortamında montajı yapılabilmektedir. Ayrıca bu makine parçalarının işlev görüp görmediği simülasyon testleri ile belirlenebilmektedir.

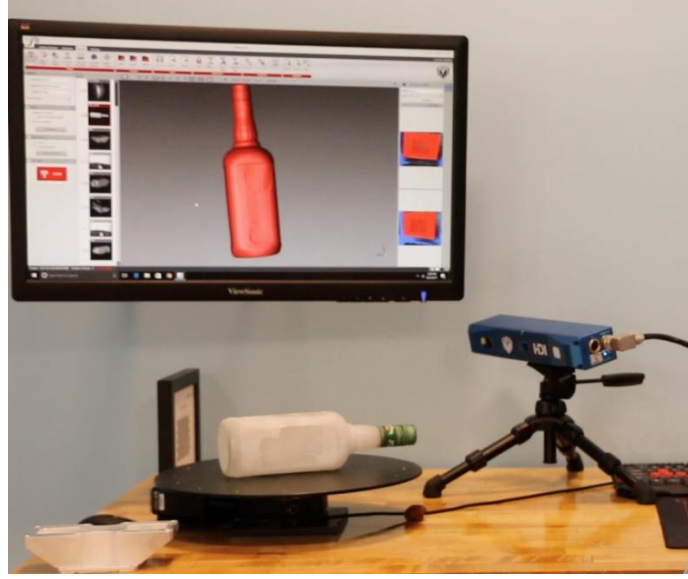
Bilgisayar destekli çizim programları temel olarak katı modelleme ve yüzey örme olarak iki farklı modelleme seçeneği üzerine kuruludur. Katı modellemede katı, içi dolu model üzerinden şekillendirme yapılırken, yüzey örmede ise model, yüzeylerin bir araya gelmesi ile oluşturulmaktadır. Bu modelleme seçenekleri temel olarak benzerlik gösterebilir de süreç olarak farklıdır. Ayrıca bilgisayar destekli üç boyutlu çizim programlarında çizimi yapılan ürünlerin render programları aracılığıyla görselleştirmesi de yapılabilmektedir. Bu görselleştirme işlemi ürünün hangi malzemeden üretilmesi planlanıyorsa, o malzeme ile ekranda foto realistik görüntü elde edilmesi esasına dayanmaktadır.

1980'lerden günümüze birçok şirket farklı alanlar için geliştirdikleri CAD yazılımları ile bu sektörün ekonomik anlamda büyümesine katkı sağlamışlardır. Yazılım şirketleri müşterilerinin ihtiyaçları doğrultusunda ürünlerine yenilikler kazandırarak, piyasaya yeni sürüm yazılımlar sürmeye başlamıştır. Şirketler alanlara göre farklı yazılımlar geliştirerek, tasarımların çeşitlenmesine ve bu programların yeni sektörlerde de kullanılmasına katkı sağlamışlardır. Günümüzde ise, geliştirilmeye devam eden yeni bilgisayar destekli tasarım programları, farklı bir boyut kazanmış, endüstride üretim sürecinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Artık endüstriyel tasarım denildiğinde bilgisayar destekli tasarım ve buna paralel olarak bilgisayar destekli üretim yöntemleri akla gelmektedir. Bilgisayar destekli tasarım ve üretim otomotivden, mimariye, tıptan sanata kadar çok geniş bir yelpazede, endüstriyel ve sanatsal ürünlerin tasarlanmasında yaygın olarak kullanılan ve üretim sektörü için sağladığı avantajlarla vazgeçilmez olan sistemlere dönüşmüştür. Bilgisayar destekli tasarım programlarının tasarım ve üretim süreçlerinde sağladığı avantaj ve faydalar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yapılan tasarımı üç boyutlu olarak inceleyebilme olanağı,
- Form ve işlevi bir arada kısa sürede tasarlayabilme ve çoklu müdahale imkanı,
- Kolay veri aktarımı,
- İstenilen ölçü ve hassasiyette ürün tasarlama, parametrik değişikliklerle sonuca kolay ulaşabilme,
- Karşılaşılan sorunlara hızlı çözüm üretebilme,
- Alternatifli çalışma imkanı ve hızlı karar verebilme,
- Üretilmesi planlanan tasarımı istenilen malzeme ile görselleştirebilme (Render),
- Bilgisayar ortamında kolay veri saklama olanağı.

1.1.2. Üç boyutlu tarayıcılar ve bilgisayar destekli tasarımda kullanımı

Tarayıcılar genel anlamda iki boyutlu veya üç boyutlu nesnelerin görüntülerinin bilgisayar ortamına aktarılmasına yarayan cihazlar olarak tanımlanabilir. İki boyutlu tarayıcılar genellikle yazılı basın ve grafik amaçlı, iki boyutlu kağıt üzerindeki bir resmi ya da yazıyı bilgisayar ortamına aktarmak için kullanılır. Üç boyutlu tarayıcılar ise üç boyutlu bir nesnenin görüntüsünün sayısal verilerle bilgisayar ortamına üç boyutlu olarak aktarılmasını sağlayan cihazlardır.



Görsel 1.5. Üç boyutlu tarayıcı ve tarama işlemi

Kaynak: <https://gomeasure3d.com/resources/newsletter/summer-2017-issue/>

Berbercuma (2006) üç boyutlu tarayıcıları, bir objenin veya ortamın biçimi ve bazen de rengi ile veri toplamak amacıyla objeyi ve ortamı analiz eden cihazlar olarak tanımlamaktadır.

Üç boyutlu tarayıcı ile çalışma, alternatif bir modelleme yöntemidir. Kullanım esnasında yüzeyde, taranmış yüzeyle eşleşen nokta bulutları oluşturur. Bu nokta bulutları bilgisayar ortamında bazı yazılımlar sayesinde mesh denilen yüzeyi oluşturan üçgen ağlara dönüşmektedir. Genellikle tarayıcılar, objenin yüzeylerini bölge bölge taradıktan sonra, her taranmış alan, tarama programı sayesinde bir öncekiyle birleştirilerek, tarama işlemine devam edilmektedir. Son olarak bütün taranmış alanlar temizlenerek, yüzeyler arasında boşlukların kalmamasına dikkat edilmektedir. Eğer bu boşluklar fark edilmezse, üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme esnasında o bölgede bozulmalar olacaktır; bu da malzeme ve zaman kaybına yol açabilir. Eğer tarama esnasında yüzeyde boşluklar kalmışsa, Geomagic, Design+ ya da benzeri yüzey düzenleyici programlarda bu boşluklar kapatılmalıdır. Daha sonra taranmış olan obje bilgisayar ortamından üç boyutlu yazıcıda biçimlendirilebilecek STL formatında kaydedilerek, dilimleyici programlar sayesinde g-code denilen üç boyutlu yazıcının okuyabileceği formata dönüştürülmektedir (Hoskins, 2013, s. 40).

Bu cihazlar birçok alanda kullanılmakla beraber, film ve oyun endüstrisinde sıklıkla görülmektedir. Çizilen oyun karakterlerinin üç boyutlu ortama aktarılıp hareket kazandırılması, üç boyutlu tarayıcılar ile yapılmaktadır. Üç boyutlu tarayıcılar özellikle

üç boyutlu yazıcıların yaygınlaşmaya başlamasına paralel olarak gelişim göstermiştir. Tarayıcılar, genel olarak temaslı tarama ve temassız tarama olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Temaslı tarayıcılar adından anlaşılacağı gibi fiziksel temas gerektiren tarayıcı türüdür. Oldukça başarılı sonuçlar elde edilmesine rağmen bir dezavantaj olarak, fiziksel temas nesneye zarar verebilmektedir. Temassız tarayıcılar ise herhangi bir fiziksel temas gerektirmeyen tarayıcı türüdür (Küllü, 2010).

Üç boyutlu tarayıcılar alternatif bir modelleme aracı olmanın dışında, kullanıcıya bazı avantajlar sağlamaktadır. Örneğin bir tasarımcı fiziksel olarak var olan bir nesneyi tarayarak bilgisayar ortamına aktarabilmekte, tekrardan bilgisayarda çizilmesine gerek kalmadan tasarımına dahil edebilmektedir. Bu sayede tasarımcı zamandan tasarruf sağlamanın yanında, her türlü orijinal nesneyi kullanarak tasarımlarını çeşitlendirebilmektedir.

1.2. Bilgisayar Destekli Üretim Kavramı, Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

Bilgisayar Destekli Üretim (CAM), 21.yy. endüstri literatüründe yaygın olarak kullanılan bir terimdir. Üretime yardımcı olmak için kullanılan, programlanabilir otomasyon çeşidi olarak tanımlanmaktadır (“Computerized manufacturing automation: Employment, Education and Workplace”, 1984, s. 48).

Bilgisayar destekli üretimin (CAM) tarihsel gelişimine bakıldığında 1950’li yıllara dayanan bir geçmişi olduğu görülmektedir. Genellikle CAD ile birlikte kullanılan bir kavram olan Bilgisayar Destekli Üretim (CAM), bilgisayar destekli tasarımdan farklı olarak, mühendislik bilgisi gerektiren bir alandır. Bilgisayar ortamında çizilmiş bir tasarımın ürün olarak elde edilebilmesi için bazı ek yazılımların kullanılması gereklidir. Bir tasarımın CNC üretim tezgahlarına veya hızlı prototipleme makinelerine aktarılması, bu ek yazılımlar sayesinde olmaktadır.

CAM aşamasında, bilgisayar destekli olarak yapılmış tasarım için, belirli ölçüler çerçevesinde ortaya çıkacak olan nihai ürünü elde edebilmek için kullanılacak bir model oluşturulur. Bu model CNC tezgahına bağlanarak işlenir. Bu modele aynı zamanda stok model de denilebilir. Nihai ürüne ulaşabilmek için stok model üzerinde değişiklikler yapılarak uygun takım yolları belirlenir. Daha sonra CAM esnasında yapılması planlanan işlemlerin simülasyonları takip edilerek, tezgahdaki işleme sırasında hatalar var ise simülasyonlar üzerinde düzeltmeler yapılır. CAM programları vasıtasıyla çıkarılan takım yolları CL (Cutter Location) data format şeklindedir. Daha sonra bu

dosyalar, G-code da denilen NC kodlarına dönüştürülür ve üretim için hazır hale gelmiş olur.⁷

Bilgisayar destekli üretim teknolojisi, şirketlere geleneksel üretim yöntemlerine göre daha fazla avantaj sağlamaktadır. Şüphesiz bu avantajlardan en önemlisi zamandan tasarruftur. Önceden elle teknik çizimi yapılmış tasarım, modelciler tarafından şekillendirilip, kalıpçılar tarafından kalıbı alındıktan sonra, tek bir ürünün deneme üretimi yapıldı, bu tür üretimlerin her aşamasında karşılaşılan problemler tespit edilip, bu problemlerin çözümü için kalıpta ya da modelde yapılan değişikliklerle, kalıp üretime hazır hale getirilirdi. Günümüzde üretim yapan bir firmanın rekabetçi piyasada ayakta durabilmesi için zaman çok değerli olduğundan, burada sorunun kısa sürede tespiti çok önemlidir. Ancak sorun ne kadar çabuk tespit edilirse edilsin, bir tasarımın ortaya çıkması için el ile yapılan modelleme ve kalıp süreleri uzun sürerken, yeni teknoloji ile birlikte bir tasarımın ortaya çıkış süresi oldukça kısalmıştır. Bilgisayar destekli üç boyutlu çizim programları ve CNC tezgahlarının sektörde kullanılması, hem zaman, hem de maliyet açısından şirketlere avantaj sağlamaktadır. Artık tasarımlar, üç boyutlu çizim programları ile bilgisayar ortamında çizimi yapıp, kalıbı alındıktan sonra üretime geçilinceye kadar oluşabilecek problemler, bu programlar sayesinde yapılan testler sonucunda çok daha kısa sürede çözülmektedir.



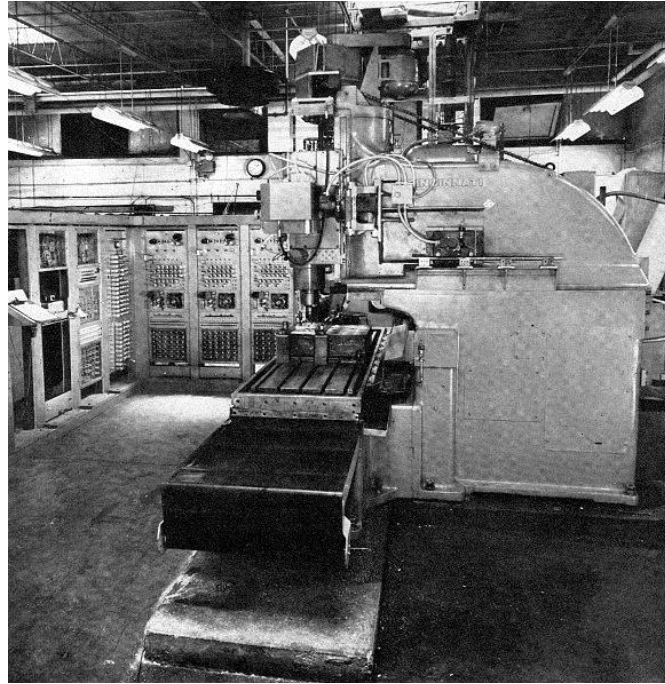
Görsel 1.6. Üç eksenli CNC Router, Anadolu Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Bölümü
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi

⁷ <http://otomasyondergisi.com.tr/arsiv/yazi/5-eksen-cnc-isleme-tezgahi-tasarimi-ve-kontrolu/>
(Erişim Tarihi: 16.06.2018)

1.2.1. CNC (computer numeric control) tezgahları

Açılımı Bilgisayarlı Numerik Kontrol (computer numerical control) olan CNC'yi, Dinçel (1999) şu şekilde tanımlamaktadır; Takım tezgahlarının sayı, harf vb. sembollerden meydana gelen ve belirli bir mantığa göre kodlanmış komutlar yardımıyla işletilmesidir.

Numerik kontrollü sistemlerin gelişmesi II. Dünya savaşının sonlarına doğru ortaya çıkmıştır. O dönemin teknolojisi ile Amerika hava kuvvetlerinin ihtiyacı olan kompleks yapıda uçak parçalarının üretimi mümkün değildi. Bu ihtiyaçların giderilmesi amacıyla Parsons Corporation şirketi ve MIT'in (Massachusetts Institute of Technology) ortak çalışma sonucunda, Cincinnati-hydrotel isimli freze tezgahını numerik kontrol ile teçhiz ederek, bu alandaki ilk başarılı sonucu elde etmişlerdir. Bu çalışmadan sonra birçok şirket, numerik kontrollü takım tezgahı imalatına başlamıştır. Bu gelişmeler CNC'nin ortaya çıkmasına öncülük etmiştir. (Karabey, 2016 s. 8).



Görsel 1.7. Cincinnati-Hydrotel ilk nümerik kontrol freze tezgahı

Kaynak: <http://i1.wp.com/cdn.makezine.com/uploads/2012/04/mits-1952-automatic-mill.jpg?resize=580%2C596>

1970'lerde bilgisayarlar ve CNC makinelerinin fiyatlarındaki düşüşle birlikte CNC kısa süre içerisinde endüstriyel üretimin temel taşlarından biri olmuştur. CAD ve

bilgisayarlı tasarım araçlarının ortaya çıkışı, teknik ressam ya da tasarımcı ile makine arasındaki ayrımı yapmamızı sağlayan doğal bir süreç olmuştur (Hoskins, 2013, s.25).

Bu tarihten sonra, günümüze kadar geçen süreçte, imalat sanayinin gelişmesi ile birlikte şirketler bir yandan üretim kapasitelerini artırırken, bir yandan da üretim sürelerinin ve maliyetlerin azaltılması için çalışmalar yapar hale gelmiştir. Bu teknoloji ile birlikte seri üretim yapan birçok firma, tasarımlarını çok daha kısa sürede üretime sokarak, nihai sonucu elde edebilme imkanı bulmaktadır. Bu da günümüzde sürekli değişen ve gelişen rekabetçi bir dünyanın oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle de hiçbir sektör bu üretim sistemlerinden uzak kalamamaktadır.

Çeşitli sektörlerde üretim şekillerine ve özelliklerine göre geliştirilmiş çok çeşitli CNC tezgahları bulunmaktadır. Bunlar 3 eksenenden başlayarak, 13 eksene kadar farklı teçhizat özelliği gösterebilir. Eksen sayısındaki bu artış, ayrıntılı bir tasarımın üretilmesine imkan sağlamaktadır. Ancak ayrıntılı bir tasarımın CNC tezgahında üretilmesi, maliyeti de arttırmaktadır. Eksen sayısı arttıkça CNC tezgahlarının fiyatları da artış göstermektedir.

CNC tezgahlarının görevi, basit olarak üç boyutlu CAD programlarında çizilmiş olan tasarımları CAM'e hazır formatta düzenlendikten sonra, verilen komutlarla birlikte, istenilen malzemeye eksiltme prensibine göre şekillendirmektir.

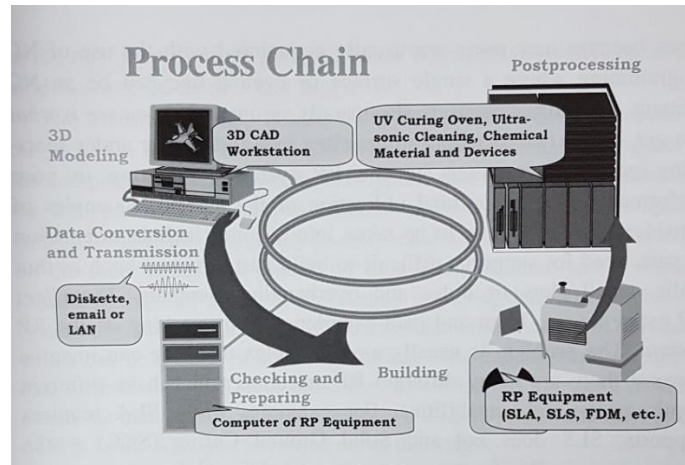
Dinçel (1999), CNC tezgah çeşitlerini; CNC Torna Tezgahları, CNC Freze Tezgahları, CNC İşleme Merkezleri, CNC Matkap Tezgahları, CNC Taşlama Tezgahları, CNC Pres ve Zımbalı Deliciler, CNC Nokta Kaynak Makineleri olarak sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırma, makinenin hangi yöntemle modeli oluşturduğuna bağlı olarak yapılmıştır.

1.2.2. Hızlı prototipleme, RP (rapid prototyping) sistemleri

Çoğaltılacak ya da geliştirilecek olan bir şeyin ilk orijinal örneği olarak tanımlanan prototip, üretim sürecinde sağladığı avantajlar ve faydalar ile ürün geliştirme sürecinin hayati öneme sahip bir parçasıdır. Hızlı prototipleme kavramının ortaya çıkışı endüstride bilgisayar uygulamalarının gelişmesiyle paralellik gösterir. 1980'lerde kişisel bilgisayarların maliyetlerinin düşmesi ve buna paralel olarak bilgisayar kullanımının artması ile birlikte, bilgisayar destekli tasarım ve üretim süreçlerinde gelişmeler olmuştur. Chua ve arkadaşları; (Chua, Leong, Lim, 2010, s. 7) ilk ticari RP (Rapid Prototyping) sisteminin kullanımını 1988 yılına dayandırmaktadırlar. Yeni bir imalat

yöntemi olarak endüstride yaygın olarak kullanılmaya başlanan bu teknoloji, tasarımcılar tarafından imalatı planlanan bir tasarımın üretime geçilmeden önce prototipini görebilmek için çeşitli RP makineleri ile üretilmesine yönelik bir sistemdir. Hızlı prototiplemenin, bilgisayar destekli üretim kapsamında değerlendirildiğinde, çoğunlukla eklemeli üretim yöntemlerine karşılık geldiği dikkat çeker. Ürüne uygun olarak seçilen malzemenin hızlı prototipleme cihazlarında katmanlar halinde birbirine eklenmesiyle bir ürünün prototipi oluşturulur. Bu anlamda eklemeli üretim yöntemi olan üç boyutlu yazıcılar da hızlı prototipleme yöntemleri arasında değerlendirilmektedir. Kısa sürede üretime imkan vermesi sayesinde birçok sektörde etkin olarak kullanılan hızlı prototipleme, son yıllarda özellikle elektronik, medikal ve otomasyon sistemlerinde direkt ürün olarak da kullanılmaktadır. Bu yöntemde az sayıda parçanın üretimi seri üretime göre daha ekonomiktir. Tasarımcılar modellerinin prototiplerini hem ekonomik hem de hızlı bir şekilde yapabilmek için, hızlı prototipleme cihazlarını tercih etmektedirler (Çelik vd., 2013 s. 53-54).

Hızlı prototiplemenin hem tasarımcıya, hem üreticiye, hem de müşteriye sağladığı avantajlar ve faydalar vardır. Hızlı prototipleme sistemleri çok daha kısa sürede kompleks parçaların fiziksel olarak üretimine imkan vermektedir. Ayrıca tasarımcılar, ürün tasarımı sırasında çok daha organik ve kompleks parçaları daha az maliyetle üretebilme imkanı bulabilmektedir. Bu da tasarımcıya yaratıcılık anlamında daha fazla özgürlük vermektedir. Müşteriler açısından ise hızlı prototipleme, ürünleri daha ucuza satın alabilme fırsatı sunmaktadır (Chua, Leong, Lim, 2010, s. 13-17).



Görsel 1.8. Hızlı prototipleme süreci, SLA, SLS, FDM,yöntemleri vb.

Kaynak: (Chua, Leong, Lim, 2010, s. 21)

İKİNCİ BÖLÜM

2. ÜÇ BOYUTLU YAZICILARLA BİÇİMLENDİRME

Üçüncü endüstri devrimi olarak nitelenmeye başlanan üç boyutlu yazıcı teknolojisi, farklı malzemelerle çalışan ve farklı çalışma prensiplerine sahip olan türlere ayrılmaktadır. Buna göre, sıvı, katı ve toz esaslı olmak üzere üç farklı grupta toplanmaktadır. Bu bölümde eklemeli üretim ve hızlı prototipleme yöntemi olarak değerlendirilen üç boyutlu yazıcılarla biçimlendirme yöntemlerinin tarihsel gelişimi, türleri ve kullanım alanları alt başlıklar halinde anlatılmıştır.

2.1. Üç Boyutlu Yazıcılarla Biçimlendirmenin Tarihsel Gelişimi

Tarihsel sürece bakıldığında; 2001 yılında Texas Üniversitesinden Joseph Beaman üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme teknolojisini, 19.yy'ın ortalarından 1970'lere kadar süren, topografi ve foto-heykel (photo-sculpture) kronolojisine dayandırmıştır. Topografi bir yüzeyi doğrusal olarak çizen ve daha sonra bu yüzeyi doğrusal bir formdan üreten yöntemdir. Foto-heykel tekniğinde ise bir yüzeyi yakalayabilmek için kamera ve lens kullanılmakta, daha sonra üretim için analog fotomekanik bir süreç gerekmektedir. Beaman üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme teknolojilerinin gelişimini açıklarken bu iki kavramla üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme süreçlerini bağdaştırmaktadır. Beaman, toz esaslı çalışan ve katmanlı şekillendirme prensibi olan Z-Corp makinelerin şekillendirme sürecini topografi yöntemine benzetirken, ışıkla sertleşen fotopolimerik reçine kullanan üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme süreçlerini de foto-heykel yöntemine benzetmektedir. Beaman'ın foto-heykel kronolojisi 1863'de F. Willeme ile başlarken, topografi kronolojisi ise topografik bir rölyef haritası yapmak için katmanlı bir yöntem öneren J.E.Blanther ile başlamaktadır (Hoskins, 2013, s. 16).



Görsel 2.1. Willeme'in foto- heykel photosculpture ile katı model üretim süreci, 1863
Kaynak: Beaman, J.J, (2001)

Hoskins (2013, s. 21), günümüz CNC teknolojisinin öncüsü olarak 1884 yılında İngiliz Benjamin Cheverton tarafından patenti alınan heykel kopyalama makinesini göstermektedir. Cheverton, makinesini ilk kez 1851 yılında görücüye çıkarmıştır. Bu makineyle yapmış olduğu iki yüzden fazla heykel, Ontario Sanat Galerisinde sergilenmektedir.



Görsel 2.2 Cheverton'un heykel kopyalama makinesi, 1884
Kaynak: Hoskins, S.(2013)

Bu gelişmelerden sonra 1930 yılına gelindiğinde, Ohio'daki Ford Seramik Sanatı şirketinden Walter Ford, düşük rölyefli seramik kalıpları oluşturmak için bir yöntem geliştirmiştir. Bu yönteminde alçı kalıplar yapmak için kurşun yerine ışığa duyarlı jelatin plakalar kullanılmaktadır. Daha sonra bu alçı kalıplara seramik döküm yaparak yüzey üzerinde rölyefler elde etmektedir. Bu yöntemde bisküvi pişiriminden sonra şeffaf sır ile fotografik rölyefli yüzeyler oluşturulmaktadır (Hoskins, 2013, s. 21).

1952 yılında Anilin Baskı olarak da bilinen Fleksografik Baskı yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem, günümüzde yaygın olarak kullanılan iki boyutlu baskı yöntemlerinden biridir. Endüstri ürünlerinin ambalajları üzerindeki baskılar, fleksografik baskı yöntemiyle yapılmaktadır. İki boyutlu baskı yöntemlerinin geliştirilmesi sonrasında tüm bu gelişmelerin ardından bilgisayarın icadı ile birlikte bilgisayarlı üretim yöntemleri geliştirilmeye başlanmıştır. CNC teknolojisi olarak da bilinen bilgisayar kontrollü numerik üretim fikri, ilk kez 1940'lı yıllarda ortaya atılmıştır. Bu sistemler 1950'li ve 1960'lı yıllarda gelişmeye devam etmiştir ve 1970'li yıllarda bilgisayar maliyetlerindeki düşüşle birlikte endüstriyel üretim sürecinin en önemli parçası olmuşlardır.

Eksiltmeli (subtractive) bir üretim yöntemi olan CNC teknolojisi, eklemeli üretim yöntemi olan hızlı prototipleme ve üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme teknolojisinin öncüsü konumundadır. 1980'li yıllarda üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme teknolojisi keşfedilmeye başlanmıştır. Üç boyutlu olarak basılmış ilk katı obje 1980 yılında Nagoya Belediyesi Endüstriyel Araştırmalar Enstitüsü'nden (Nagoya Municipal Industrial Research Institute) Hideo Kodoma tarafından yapılmıştır. Fotopolimerizasyon yöntemini kullanarak plastik parçaları katmanlar halinde oluşturmak için üç farklı üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme tekniği uygulayan ve çalışmalarını Stereolitografi (SLA) yönteminin atası olarak açıklayan Kodoma'nın, bununla ilgili bir makalesi bulunmaktadır. Ancak Kodoma, yaşamış olduğu finansal bir sorun nedeniyle buluşunun patentini alamamıştır.⁸

1986 yılında Chuck Hull geliştirdiği SLA türü üç boyutlu yazıcısının patentini alarak, 3D System şirketini kurmuş ve buluşunu ticarileştirmiştir. 1988 yılında ise Scott

⁸ <https://www.sculpteo.com/blog/2017/03/01/whos-behind-the-three-main-3d-printing-technologies/> (Erişim Tarihi: 25.11.2018)

Crump'ın geliştirmiş olduğu FDM (fused deposition manufacturing) üç boyutlu yazıcı, kurmuş olduğu Stratasys şirketi tarafından ticarileştirilmiştir (Warnier vd, 2014, s. 10-14).



Görsel 2.3. 3D Systems şirketinin ürettiği ilk steryolitografi yazıcı, 1987
Kaynak : <https://www.3dsystems.com/our-story>

Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme teknolojileri arasında en yaygın olarak bilineni, FDM yöntemidir. Bu yöntemin yaygın olarak tanınmasının en büyük sebebi 2005 yılında Bath Üniversitesinden Dr. Adrian Bowyer'in açık kaynaklı, basit bir üç boyutlu yazıcıyı geliştirmesidir.⁹ Adrian Bowyer'in Rep-Rap ismini verdiği projesinde tasarlamış olduğu FDM tipi üç boyutlu yazıcının, kendi parçalarını şekillendirerek yeni bir üç boyutlu yazıcı üretmesi ve bu projenin halka açık olarak paylaşılmaması, üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme tarihinde bir devrim niteliğinde olmuştur. Böylelikle FDM tipi üç boyutlu yazıcılar, ilgilenenler tarafından ilk defa kolay ulaşılabilir hale gelmiştir.

Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme, bir başka bilinen ismiyle hızlı prototipleme teknolojisi, ilk olarak endüstride üretim için değil, prototip amaçlı kullanılmıştır. Bunun en önemli nedenlerinde biri, yeni bir teknoloji olması sebebiyle yüksek çözünürlük elde edilememesi ve üretilen ürünlerin üzerlerinde pürüzler olmasıdır. Ancak günümüzde

⁹ <https://3dprintingindustry.com/news/interview-dr-adrian-bowyer-10th-anniversary-reprap-133841/>
(Erişim Tarihi: 18.09.2018)

teknolojinin ilerlemesiyle, üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirmede başlangıçta görülen sorunların aşılması, yüzeylerde daha pürüzsüz nihai görüntünün sağlanması, bu teknolojinin birçok alanda kullanılmasının önünü açmıştır.

2.1.1. Eklemeli üretim, AM (additive manufacturing), üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme ve hızlı prototipleme kavramları

Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme (3D Printing), eklemeli üretim, AM (additive manufacturing) olarak bilinen bir grup teknolojiye verilen isimdir. Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme ve eklemeli üretim aynı zamanda hızlı prototipleme (rapid prototyping), hızlı üretim (rapid manufacturing), steryolitografi, katmanlı üretim (layer manufacturing) ve masaüstü üretim (desktop manufacturing) olarak da adlandırılmaktadır (Warnier vd, 2014, s. 9).

Eksiltmeli üretim, kullanım amacına göre model ve kalıp imalatında kullanılan, talaş çıkartma prensibine dayalı olarak çalışan bilgisayar kontrollü bir üretim çeşididir. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi ise eksiltmeli üretimden farklı olarak malzemeyi üst üste ekleyerek nihai ürünü ortaya çıkarmayı hedeflemektedir.

Günümüzde sık karşılaşılan üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme (3D Printing) teknolojisi literatürde eklemeli üretim AM (additive manufacturing), hızlı prototipleme RP (rapid prototyping) gibi farklı kavramlarla da tanımlanmaktadır. Bu terimler üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme teknolojisi ile benzer anlamlarda, iç içe geçmiş şekilde kullanılmaktadır. Uluslararası standart kurumu olan ASTM (American Society for Testing and Meterial) bu terimleri aşağıdaki gibi tanımlamaktadır (Martinez ve Can, 2016 s. 451).

Üç Boyutlu Yazıcıyla Biçimlendirme (3D Printing): Yazıcı başlığı (nozzle) ya da diğer yazıcı teknolojileri kullanılarak bir malzemenin biriktirilmesi veya eklenmesi ile objelerin şekillendirilmesidir.

Eklemeli Üretim, AM (Additive Manufacturing): Eksiltici üretim yöntemlerinin aksine genellikle üç boyutlu model verilerinden obje üretmek için malzemelerin katmanlar halinde birleştirilme işlemidir.

Hızlı Prototipleme, RP (Rapid Prototyping): Bir tasarımın eklemeli üretilmesi, genellikle tekrarlamalı olan formların birbirleri ile uyumu, fonksiyon denemeleri ya da kombinasyonu için yapılan şekillendirme işlemidir.

Bu kavramlar arasında bir değerlendirme yapıldığında; eklemeli üretimin üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme ve hızlı prototipleme kavramlarını da kapsayan bir terim olduğu söylenebilir. Günümüzde üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme için çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. 2.2. Üç Boyutlu Yazıcılarla Biçimlendirme Yöntemleri başlığı altında üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemlerinin neler olduğu ve hangi prensiplere göre şekillendirme yaptıkları anlatılacaktır.

2.2. Üç Boyutlu Yazıcılarla Biçimlendirme Yöntemleri

20. yüzyılın son çeyreğinde, bilim insanları tarafından çok çeşitli üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler kullanıldıkları alana, kullanılan malzemeye ve çalışma prensiplerine göre çeşitlilik göstermektedir. Bu bölümde, üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemleri, kullanılan hammaddenin özelliklerine göre sınıflandırılarak sıvı, katı ve toz esaslı şekillendirme olmak üzere üç ana türde incelenerek ele alınmıştır.

2.2.1. Sıvı esaslı çalışan üç boyutlu yazıcılarla biçimlendirme yöntemleri

Sıvı esaslı çalışan üç boyutlu yazıcılar, ışık ya da ultraviyole ışınları altında sertleşebilen sıvı reçineyi katılaştırarak şekillendirme işlemini gerçekleştirmektedirler. İşlemin başlangıcında, ışınlar reçineyi sertleştirerek, tabanda ince ama güçlü bir katman oluşturmaktadır. Daha sonra ilk katmanın oluşturulmasıyla diğer katmanlar da benzer bir şekilde ışıqla kürlenerek şekillendirme işlemi tamamlanmaktadır (Chua, Leong, Lim, 2010, s. 35).

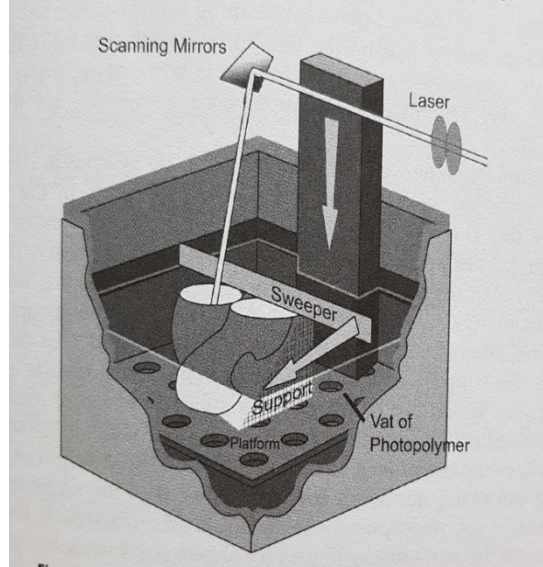
Burada sıvı esaslı çalışan üç boyutlu yazıcılar, steryolitografi ve dijital ışıqla işleme yöntemi olarak iki başlık altında incelenmiştir.

2.2.1.1. Steryolitografi yöntemi, SLA (stereolithography)

Steryolitografi literatürde kısaltması olan SLA şeklinde de kullanılmaktadır. İlk kez Chuck Hull tarafından 1986 yılında patenti alınan steryolitografi yöntemi yine Chuck Hull tarafından kurulan 3D Systems şirketi tarafından 1987 yılında ticarileştirilmiştir (Hopkinson, Hague, Dickens, 2006, s. 59).

Steryolitografi, laboratuvar çalışmalarından sonra ticarileştirilen ilk üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemi olmuştur. Bu yöntem, fleksografik kabartmalı tabaklar

üretmek için geleneksel kağıt baskı endüstrisinde kullanılan fotopolimerizasyon tekniği ile aynı şekillendirme esasına dayalı bir üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme sürecidir (Warnier vd, 2014, s. 10).



Görsel 2.4. Stereolitografi üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme süreci
Kaynak: (Hopkinson, Hague, Dickens, 2006 s.59)

Stereolitografi yönteminde süreç, üç boyutlu yazıcı platformunun sıvı reçine içerisinde konumlanmasıyla başlamaktadır. Süreçte ilk katmanın platforma yapışabilmesi önemlidir. Bunun için ultraviyole ışınlarının reçineyi sertleştirilmesi ile birlikte ilk katmanın platforma yapışmış olması gerekmektedir. Daha sonra form şekilleninceye kadar diğer katmanlarda da aynı işlem tekrarlanmaktadır. Şekillendirme işlemi bittikten sonra bitmiş obje, platformdan çıkartılarak temizlenmektedir. Stereolitografi yöntemi, şekillendirme esnasında bazı parçaların yıkılmasını önlemek için destek parçalar gerektiren bir yöntemdir. Bu destek parçalar yazıcıyla biçimlendirme sürecinin bir parçası olarak aynı malzeme ile şekillendirilmekte ve biçimlendirme işlemi tamamlandıktan sonra objeden kırılarak ayrılmaktadır (Hoskins, 2013, s. 44).

Stereolitografi (SLA) yöntemi ile yüzeylerde yüksek pürüzsüzlüğe sahip ayrıntılı parçalar üretilebilmektedir. Bu yöntem, reçine esaslı malzemeler, polipropilen, akrilik ve epoksinin yanı sıra, pek çok farklı malzemedan üretim seçenekleri sunmaktadır (Çelik vd, 2013, s. 57).

Sıvı esaslı üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme teknolojilerinden olan steryolitografi yöntemi, hızlı prototipleme süreçlerine öncülük etmektedir. Diğer üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme süreçleriyle karşılaştırıldığında, hızlı prototipleme için önem arz eden yüzey pürüzsüzlüğü açısından avantaj sağlayan bir yöntem olduğu görülmektedir (Hopkinson, Hague, Dickens, 2006, s. 58).

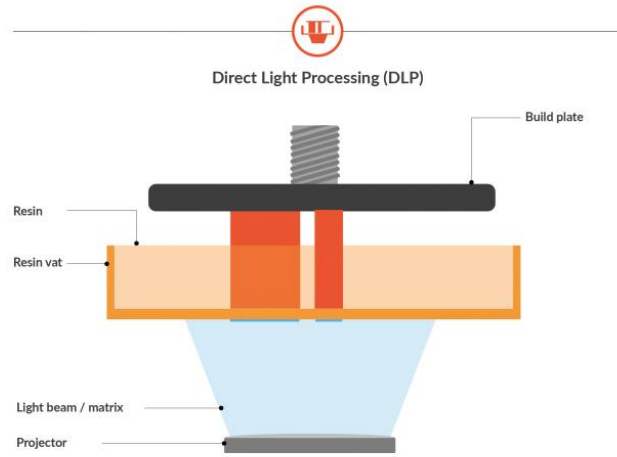


Görsel 2.5. Steryolitografi üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirilmiş model
Kaynak: <http://www.3dbenchy.com/the-formlabs-form-2-makes-a-3dbenchy/>

2.2.1.2. Dijital ışık ile işleme yöntemi, DLP (Digital light processing)

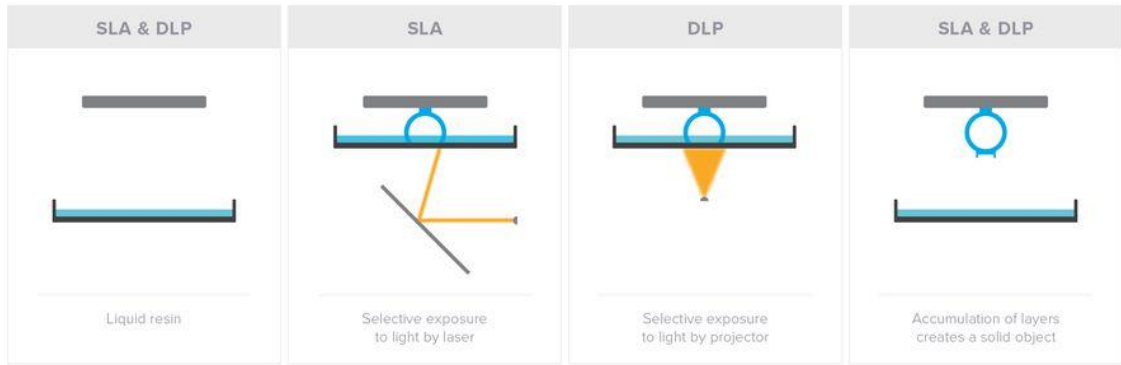
Doğrudan ışık ile işleme, DLP (Direct Light Processing) yöntemi olarak da bilinen bu yöntem, sıvı esaslı hammaddeler ile çalışan üç boyutlu yazıcı türlerinden birisidir. Steryolitografi (SLA) yöntemiyle benzer özellikler gösteren DLP, bazı özellikleriyle SLA'dan ayrılmaktadır.

DLP tipi üç boyutlu yazıcılar Envision Tech şirketi tarafından üretilmiştir. DLP şekillendirme işlemi, bir projektörden çıkan ışık ile her bir katmanın silüetinin, fotopolimerik malzeme üzerine yansıtılmasıyla gerçekleşmektedir. Bu yöntemde katman kalınlığı oldukça az olduğundan, küçük ve yüzey pürüzlülüğü düşük parçaların üretimi için oldukça hassas olduğu söylenebilir (Hoskins, 2013, s.51).



Görsel 2.6. Dijital ışıkla işleme yöntemi (DLP)
 Kaynak: <https://druckwege.de/en/home-en/technology/uv-resin-dlp>

DLP makineleri biçimlendirme sırasında ışığı bir projektörden doğrudan alırken, SLA yönteminde ise lazer ışını galvanometre olarak bilinen bir çeşit motor yardımı ile biçimlendirme alanına dolaylı yoldan gelmektedir.¹⁰



Görsel 2.7. Dijital ışıkla işleme süreci (DLP)
 Kaynak: <https://formlabs.com/blog/3d-printing-technology-comparison-sla-dlp/>

2.2.2. Malzeme yığma prensibine sahip üç boyutlu yazıcılar, FDM (Fused deposition modeling)

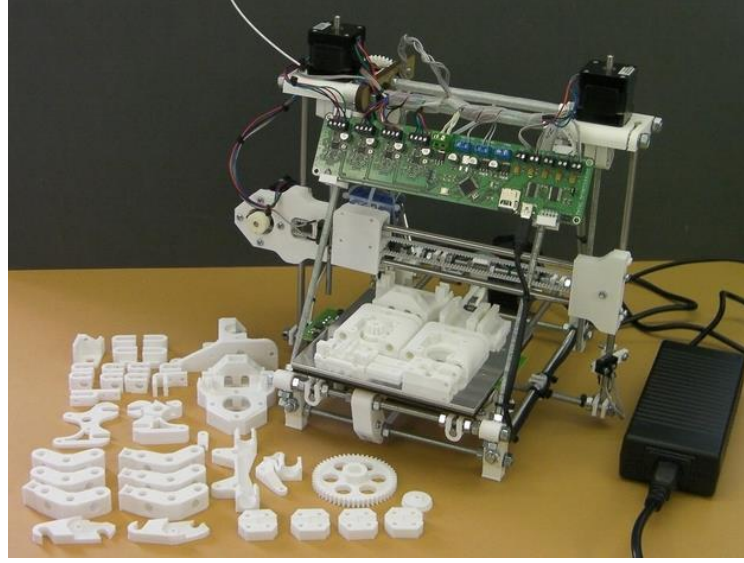
¹⁰ <https://formlabs.com/blog/3d-printing-technology-comparison-sla-dlp/>
 (Erişim tarihi: 28.11.2018)

Literatürde eriyik yığarak modelleme olarak da geçen ve kısaltması FDM olan bu üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemi, günümüzde ısıya duyarlı PLA, ABS gibi plastik malzemeler, çamur, çimento, hatta gıda alanında hamur ve çikolata gibi katı ya da eriyik farklı malzemelerle yaygın olarak kullanılmaktadır. İlk olarak Scott Crump tarafından 1988 yılında geliştirilen ve patenti alınan bu üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemi, Amerika’da 1992 yılında ödüle layık görülmüştür (Chua, Leong, Lim, 2010, s. 137). Scott Crump aynı zamanda günümüzde doğrudan dijital imalat için ilave üretim makineleri üreten Stratasys şirketinin sahibidir.¹¹ Filament olarak adlandırılan hammaddelerin ısıtılan başlıkla (nozzle) eritilerek katman katman üst üste eklenmesiyle obje üretimi esasına dayanan bu teknolojiye, PLA, ABS, PET ve ASA gibi plastik hammaddeler kullanılmaktadır.

İngiltere Bath Üniversitesinden Dr. Adrian Bowyer’in, 2005 yılında başlayan çalışması 2006’da bir proje kapsamında kendi parçalarını ürettirerek bu alanda önemli bir dönüm noktası olan FDM tipi üç boyutlu yazıcı ile sonuçlanmıştır (Warnier, vd, 2014, 20). 2008 yılında Adrian Bowyer’in ‘RepRap’ adını verdiği üç boyutlu yazıcı (self replicating rapid prototyper), kendini üreten cihaz olarak dünyaya tanıtılmış ve pazarda devrim yaratmıştır.¹² Bowyer’in bu yazıcıyı yaygınlaştırmak için, en az masrafla nasıl yapılabileceğini araştırdığı projesini teknik detaylarıyla kamuya açıklaması sonucu, üç boyutlu yazıcılar kolaylıkla stüdyolara kurulabilecek maliyetlere düşmüştür. Bu yöntem üç boyutlu yazıcılar arasında en yaygın ve popüler olanıdır.

¹¹ https://en.wikipedia.org/wiki/S._Scott_Crump
(Erişim Tarihi: 27.11.2018)

¹² <https://3dprintingindustry.com/news/interview-dr-adrian-bowyer-10th-anniversary-reprap-133841>
(Erişim Tarihi: 21.07.2018)

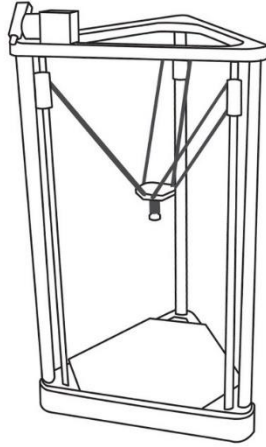


Görsel 2.8. RepRap, üç boyutlu yazıcı, Adrian Bowyer
Kaynak: <https://www.thingiverse.com/thing:16625/comments>

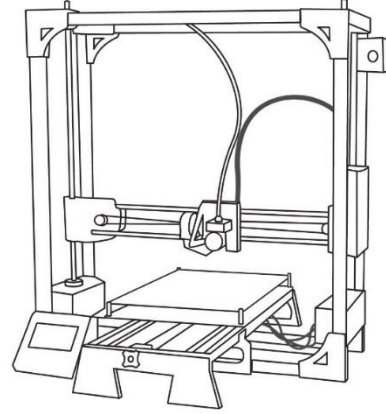
FDM yöntemi, ilk olarak filament denilen termoplastik malzemelerin nozzle başlığında eritilerek katman katman birbirine eklenmesiyle şekillendirme yapan bir üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemi olarak ortaya çıkmıştır. Bu yöntemde standart termoplastik malzeme kullanıldığından, mekanik fonksiyonel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

Bu yöntemde, kartezyen ve delta tipi yazıcılar olmak üzere iki farklı makine geliştirilmiştir. Bu iki makine türünde de PLA, ABS, çimento, alçı ve seramik çamuru gibi farklı malzemeler kullanılabilir. Kartezyen ve Delta tipi üç boyutlu yazıcılar aynı malzeme yığılma prensibine sahip olsalar da bazı özellikleri açısından birbirlerinden farklılık göstermektedirler.

Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcılar hareketli bir zemin üzerinde, nozzle başlığının sabit kollara bağlı olarak hareket ettiği, PLA ve ABS gibi filamentlerle çalışan FDM türü yazıcılardandır.



DELTA



KARTEZYEN

Görsel 2.9. *Delta ve Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcılar*
Çizim: Talha Mesud UZAN

Kartezyen üç boyutlu yazıcılar X, Y, Z eksenlerinde yapılan baskıyı, yine bu eksenler doğrultusunda yerleştirilmiş mekanik parçaları, doğrusal olarak hareket ettirerek yaparlar. Bunun gerçekleşebilmesi için, örneğin biçimlendirme zemini Y ekseninde hareket ettirilirken, baskı ucu Z ekseninde (yukarı doğru) ve X ekseninde hareket ettirilir (Demirbaş ve Arlı, 2015).

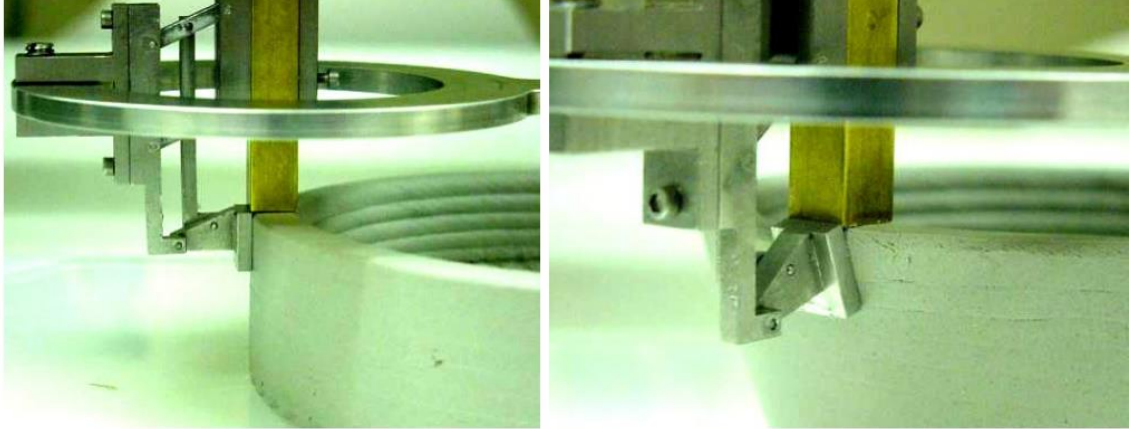
Delta tipi FDM yazıcılarda ise zemin sabittir. Başlık (nozzle) bağlı olduğu hareketli kollar sayesinde üç eksenli eliptik hareketlerle formları oluşturmaktadır.

FDM türü olan delta yazıcılarda, kartezyen tipi yazıcıların aksine, başlık hareketini sağlamak için üç adet diagonal kol ve mafsallar kullanılmaktadır. Bu sayede oval detayları olan tasarımların biçimlendirmesinde yüksek kalite sağlamaktadır (Demirbaş ve Arlı, 2015).

Delta ve kartezyen tipi üç boyutlu yazıcılar karşılaştırıldığında, oval ve yüksek formları üretmek ve seramik benzeri malzemeler ile çıktı alabilmek için, delta tipi yazıcıların biçimlendirme kalitesinin, kartezyen tipine göre daha yüksek olduğu söylenebilir. Yatay ve alçak formlar için ise kartezyen tipi üç boyutlu yazıcılar daha uygundur.

2004 yılında Southern California Üniversitesinden Behrokh Khoshnevis tarafından FDM tipi üç boyutlu yazıcılar için, “Contour Crafting” yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem özellikle çamur ya da harç kıvamında malzemelerle çalışılmasına imkan veren bir yöntemdir. Normalde FDM tipi seramik yazıcılar bir

ekstruder yardımı ile malzemenin üst üste eklenmesi esasına göre çalışmaktadır. Bu yöntemle şekillendirilen formların yüzeylerinde, katman izleri oluşmaktadır. Contour crafting metodunda bu izlerin ortadan kaldırılması için, malzemenin aktığı başlığa eklenmiş bir aparat bulunmaktadır. Başlıktan çıkan malzemenin yüzey üzerinde oluşturduğu katman çizgileri bu aparat sayesinde düzleştirilerek, yüzeyin pürüzsüz hale gelmesi sağlanmaktadır (Khoshnevis, 2004, s. 6).



Görsel 2.10. *Contour crafting yöntemi*
(Khoshnevis, 2004)

Contour crafting yöntemi aslen, büyük mimari yapıların inşası için tasarlanmış bir yöntemdir. Bu yüzden ev yapabilmek için kullanılan harç benzeri malzemeye en yakın olan seramik çamuru ile Khoshnevis tarafından denemeler yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonra aynı isimle ticarileşen ‘Contour Crafting’ şirketi, günümüzde üç boyutlu yazıcılarla ev yapma konusunda çalışan şirketler arasında ilk 10 sırada gösterilmektedir¹³.

2.2.3 Toz yatağında üç boyutlu yazıcı ile biçimlendirme yöntemleri

Toz esaslı çalışan üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme süreçleri, biçimlendirme sırasında üretilen parçaların toz yatağında sabit durması açısından, sıvı esaslı çalışan üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme sitemlerine göre özellikle uzun işlemlerde daha uygundur. Toz esaslı çalışan sistemler, seramik, polimer, metal gibi çok çeşitli malzeme seçenekleri sunmasının yanında, bazı malzemelerin karışımından elde edilen yeni malzemelerle de çalışma imkanı vermektedir (Hopkinson, Hague, Dickens, 2006, s. 64).

¹³ <https://www.3dnatives.com/en/3d-printed-house-companies-120220184/>
(Erişim Tarihi: 27.11.2018)

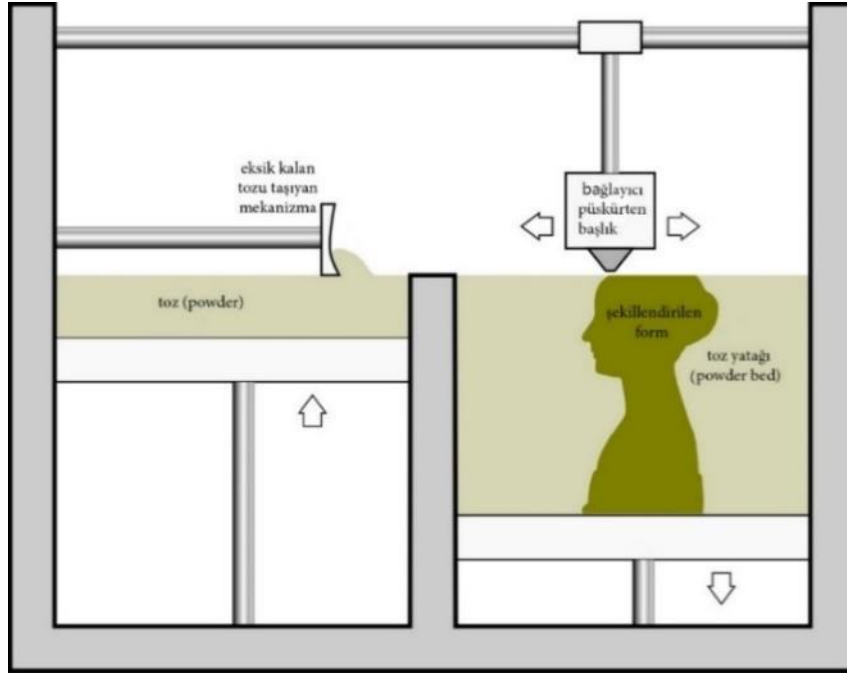
Bölüm 2.2.3'ün alt başlıklarında, toz yatağında şekillendirme yöntemlerinden bağlayıcı püskürtmeli üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme (Inkjet head 3D printing) seçici lazer sinterleme (SLS), doğrudan metal lazer sinterleme (DMLS) ve seçici lazer ergitme (SLM) yöntemleri anlatılacaktır.

2.2.3.1. Toz yatağında bağlayıcı püskürtmeli üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme (Inkjet head 3D printing)

Bu yöntem ilk kez Massachusetts Teknoloji Enstitüsü tarafından 1993 yılında geliştirilmiştir. Z Corporation şirketi ise 1995 yılında bu yöntemi ticarileştirmiştir.¹⁴

Bağlayıcı püskürtmeli üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemi, SLS (Selective Laser Sintering) yöntemi ile benzerlik göstermektedir. Bağlayıcı püskürtmeli üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yönteminde, lazerle tozların birbirine bağlanması yerine, mürekkep püskürtmeli kağıt yazıcılardaki gibi bir başlıktan bağlayıcı madde püskürtülerek, toz partiküllerinin birbirine bağlanmasıyla şekillendirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemle üretilen parçalar diğer toz esaslı çalışan makinelerle şekillendirilen parçalara göre daha kırılgan olduğundan, şekillendirme sonrasında kırılgan parçalar, reçine içerisinde bekletilerek mukavemet kazanması sağlanmaktadır. Bağlayıcı püskürtmeli çalışan üç boyutlu yazıcıların çoğunda, malzeme olarak alçı tozu kullanılmaktadır. Bu tip yazıcılara farklı püskürtme başlıkları eklenerek, renkli ürünler alınabildiği gibi, sonsuz renk çeşitliliği de sağlanabilmektedir. Uluslararası literatürde Inkjet Head Powder Printing olarak adlandırılan bu teknoloji, endüstride ise Powder Binding, Binder Jetting olarak da bilinmektedir (Warnier vd, 2014, s. 12).

¹⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/Powder_bed_and_inkjet_head_3D_printing
(Erişim Tarihi: 27.11.2018)



Görsel 2.11. Bağlayıcı püskürtmeli üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme süreci

Kaynak:

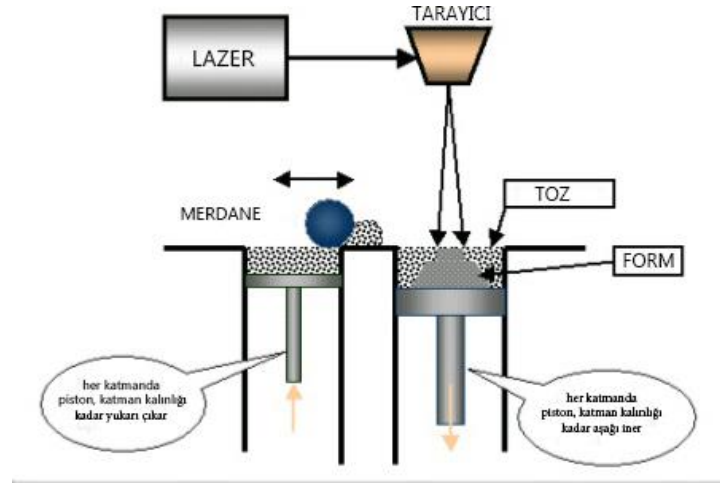
https://en.wikipedia.org/wiki/Powder_bed_and_inkjet_head_3D_printing#/media/File:Schematic_representation_of_granular_binding_fabrication.png

2.2.3.2. Seçici lazer sinterleme, SLS (selective laser sintering)

Bu yöntem 1980'lerin ortalarında Texas Üniversitesi lisans öğrencisi Carl Deckard ve Asistan Profesör Joe Beaman tarafından geliştirilmiştir. Bu ikili 1988 yılında DTM şirketinin kurmuşlar ve buluşlarını ticarileştirmişlerdir. 2001 yılında ise DTM şirketi, SLA yöntemini ticarileştiren 3D Systems şirketi tarafından satın alınmıştır (Warnier vd, 2014, s. 12).

Seçici lazerle sinterleme sürecinde (SLS) toz malzeme kullanarak CO₂ lazerin, CAD dosyasından elde edilen verilerle, tozları katman katman sinterlemesiyle şekillendirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Isıyla birbirine yapışabilen toz parçaları, katman kalınlığı kadar tabla üzerine yayılır. CO₂ lazer tarayıcıyla, CAD dosyasında belirlenmiş tabaka şeklindeki tozlar üzerindeki bölgeler sinterleştirilerek, tozların birbirine bağlanması sağlanmaktadır. Böylelikle ilk katman inşası tamamlanmaktadır. Diğer katmanlarda da yine katman kalınlığı kadar toz, tabla üzerine yayılmakta ve CAD dosyasında belirlenmiş bölgeler lazer ile sinterleştirilmektedir. Bu işlem, form şekilleninceye kadar bütün katmanlarda tekrarlanmakta ve şekillendirme işlemi tamamlanmaktadır. SLA yöntemiyle karşılaştırıldığında, bu yöntemde özel destek parçalarına gerek olmamaktadır. Sinterlenen tozun dışında kalan fazla toz kütlesi forma

destek işlevi görmektedir. Şekillendirme işleminden sonra toz içerisinde şekillenen parça, katı ve yeterli sertlikte olduğundan tekrardan mukavemet kazandırmak için özel bir işleme gerek duyulmamaktadır. Ancak şekillendirme sonrası parçanın deformasyona uğramaması için, belirli süre soğumaya bırakılması gerekmektedir. Bu da SLS yönteminin bir dezavantajı olarak gösterilmektedir (Çelik vd, 2013, s. 62-63).



Görsel 2.12. Seçici lazer sinterleme süreci (SLS)

Kaynak: <https://www.slideshare.net/rhnfzl/3d-printing-27015002>

2.2.3.3. Seçici lazer ergitme, SLM (selective laser melting)

Seçici lazer ergitme yöntemi “Selective Laser Melting”’in kısaltması şeklinde “SLM” olarak da bilinmektedir. Alman MCP-HEK Tooling GmbH şirketi tarafından 1987 yılında tanıtılan seçici lazer ergitme yöntemi, CAD dosyalarından mühendislik alanında kullanılan ve implant parçaları üretmek için çeşitli metallerin hammadde olarak kullanıldığı bir teknolojidir. Aynı şirketin geliştirdiği SLM yöntemiyle çalışan Realizer II ismini verdikleri sistem ile %100 yoğun metal parçalar üretmek mümkün olmaktadır. SLM makinelerinde metal tozlarını eritmek için optik lens ile kontrol edilebilen lazer ışınları kullanılmaktadır. Bu yöntem, çok geniş yelpazede malzeme çeşitliliği sunmaktadır. SLM, çelik, titanyum, alüminyum, krom ve kobalt gibi metal tozlarının kullanılabildiği bir sistemdir. Düşük maliyetli bir yöntem olmasının yanında, bu yöntemle yüksek yüzey çözünürlüğüne sahip kompleks geometrik yapıda parçalar üretilabilmektedir (Chua, Leong, Lim, 2010, s. 257-260).



Görsel 2.13. Seçici lazer ergitme yöntemi ile AUDI firması tarafından üretilmiş metal motor parçası (SLM)

Kaynak: <https://3dprintingindustry.com/news/audi-gives-update-use-slm-metal-3d-printing-automotive-industry-129376/>

SLM yöntemini çalışma prensibi olarak SLS yönteminden ayıran en önemli özellik, bu yöntemde kullanılan metal tozlarının, sinterlenerek birbirine yapışması yerine tozların eriyerek birbirine bağlanmasıdır.

Bu bölümde anlatılan üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemleri, birçok alanda yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Bir sonraki alt başlıkta bu yöntemlerin hangi alanlarda, nasıl kullanıldığı ve bu alanlardaki gelişmeler anlatılacaktır.

2.3. Üç Boyutlu Yazıcıların Kullanım Alanları

Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme, hızlı prototipleme yöntemi olarak geliştirilen, eklemeli bir üretim yöntemidir. Önceleri bir çok alanda prototip ürün üretmek için kullanılan bu teknoloji, imkanların genişlemesi ve ilgili alana yönelik araştırmaların artmasıyla, günümüzde nihai ürün elde edilebilen bir şekillendirme yöntemi halini almıştır. Endüstriyel olarak kullanımının yanı sıra, sanat alanında da kullanılan bu teknoloji, gün geçtikçe kullanıldığı alana göre farklılaşmakta ve çeşitlenmektedir. Bu bölümde, üç boyutlu yazıcılar kullanım alanlarına göre endüstriyel ve sanatsal kullanım olarak iki başlık altında incelenecektir.

2.3.1 Endüstriyel alanda üç boyutlu yazıcıların kullanımı

Üç boyutlu yazıcılar, endüstri ürünleri alanında, mimarlık, mühendislik, tıp ve gıda gibi birçok farklı sektörde kullanılmakta ve gün geçtikçe kullanımı yaygınlaşmaktadır.

İmalat sanayinin her alanında önemli bir yeri olan mühendislik, üç boyutlu yazıcıların yoğun olarak kullanıldığı ve ihtiyaç duyulduğu bir alandır. Ürün ve parça geliştirme konusunda mühendisliğin vazgeçilmez bir üretim kolu olan hızlı prototipleme, üç boyutlu yazıcıların kullanımı ile yeni bir boyut kazanmıştır.

Otomotiv ve uçak sanayiinde çeşitli malzemelerin kullanımı ile diğer geleneksel yöntemlerle üretimi oldukça pahalı ve karmaşık olan bazı parçaların geliştirilmesi ve nihai üretimi üç boyutlu yazıcılarla hem ekonomik hem de hızlı olabilmektedir.

2011 yılında Southampton Üniversitesinden mühendisler, geliştirdikleri dünyanın ilk üç boyutlu yazıcısıyla üretilmiş uçağı uçurmayı başarmışlardır. Yine aynı yıl Kanada’da gövdesi tamamen üç boyutlu yazıcı ile üretilmiş ilk otomobil geliştirilmiş ve Chicago Uluslararası Üretim ve Teknoloji Fuarında tanıtılmıştır (Özgüven, 2017, s. 63).



Görsel 2.14. ‘Thor’ Üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle üretilmiş ilk uçak

Kaynak: <https://qz.com/707849/watch-airbus-made-a-completely-3d-printed-plane-that-actually-flies/>

Üç boyutlu yazıcıların ortaya çıkışı ve kolay ulaşılabilir hale gelmesi mimarlık alanında da bu teknolojiyi yaygın olarak kullanılır duruma getirmiştir. Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme özellikle inşaat sektöründe bir binanın ölçekli maketinin yapımında oldukça pratik bir yöntem olmuştur. Bu maketlerin gelişmiş renkli üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemleriyle gerçeğine çok yakın özelliklerde üretilmesi, bu alan için avantaj sağlamaktadır. Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yönteminde kullanılan malzemelerin maliyetinin, maket yapımında kullanılan malzemelerden daha uygun olması ve maket üretimi için hem zamandan hem de iş gücünden tasarruf sağlaması, üç boyutlu yazıcıları mimarlık ve inşaat sektörü için vazgeçilmez kılmaktadır.



Görsel 2.15. Üç boyutlu yazıcıyla yapılmış La Sagrada Familia maketi
Kaynak: <https://i.materialise.com/blog/en/3d-printing-for-architects/>

Mimarî alanda ise üç boyutlu yazıcıların maket yapımında kullanılmasının yanı sıra, mimari denemeler yapan şirketler kurulmuştur. Bu şirketler, ev yapımında kullanılan harç benzeri malzemeler (seramik çamuru) ile laboratuvar ortamında yapmış oldukları deneme çalışmalarında elde ettikleri deneyimler sayesinde, üç boyutlu yazıcı ile ev, otel gibi mimari yapıların yapılabilmesinin önünü açmışlardır. Günümüzde birçok şirket bu yeni teknolojinin vermiş olduğu imkanlarla düşük maliyetli ve hızlı bina yapma ve geliştirme konusunda çalışmalar yapmaktadırlar.

Dünyada ilk üç boyutlu yazıcılarla ev yapma girişimi Çin asıllı Huashang Tengda şirketi tarafından gerçekleştirilmiştir. 2014 yılında Shanghai’da yapmış oldukları ilk projelerinden bu yana, malzeme olarak çimento, kum ve lif karışımından oluşan bir harç kullanan şirket, bu malzemelerle yapının daha dayanıklı olmasını sağlamaktadır. 45 günde tamamlanan ilk projelerinde, 400 m² lik bir ev yapımı için FDM yöntemiyle çalışan 32 metre yüksekliğinde üç boyutlu yazıcılar kullanmışlardır.¹⁵

¹⁵ <https://www.3dnatives.com/en/3d-printed-house-companies-120220184/>
(Erişim Tarihi: 05.12.2018)



Görsel 2.16. Dünyada üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile yapılmış ilk ev, 400 m² Huashang Tengda firması
Kaynak: <https://all3dp.com/1/3d-printed-house-homes-buildings-3d-printing-construction/>

Daha sonra Rus Apis Cor şirketi, 24 saat gibi kısa süre içerisinde ev inşa edebilme kapasitesine sahip bir üç boyutlu yazıcıyı geliştirmiştir. 1.5 metre yüksekliği ve 4.5 metre uzunluğu ile kolay taşınabilir ve kurulabilir olması, bu üç boyutlu yazıcıyı ön plana çıkarmaktadır.¹⁶



Görsel 2.17. Üç boyutlu yazıcı ile ev inşa aşaması, Apis Cor firması
Kaynak: <https://www.3dnatives.com/en/3d-printed-house-companies-120220184/>

Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme tarihi açısından önemli olan başlangıçlardan birisi de, bu teknolojinin tıp alanında kullanılmaya başlanmasıdır. Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme teknolojisi birçok alanı etkilediği gibi, tıp alanında da çok önemli kolaylıklar sağlaması nedeniyle yaygınlaşmaya devam etmektedir.

¹⁶ <https://www.3dnatives.com/en/3d-printed-house-companies-120220184/>
(Erişim Tarihi: 04.12.2018)

Sağlık sektöründe üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirmenin yaygın olarak kullanıldığı medikal alanlar olduğu gözlemlenmektedir. Bu teknoloji ile kişiye özgü cerrahi ve medikal cihazlar, yüz, kol ve bacak gibi uzuv protezleri, yardımcı işitme cihazları üretiminin yanı sıra, implant ve dental çalışmaları sıklıkla kullanılan uygulamalar arasındadır. Bu uygulamaların dışında, biyomedikal iskelet sistemleri ve yumuşak doku gibi üretimlerde, üç boyutlu yazıcı ile yapılan çalışmalar giderek yaygınlaşmaktadır (Arslan vd, 2017, s. 102).

Bu teknoloji ile günümüzde protez ve implant yapılabilirdiği gibi, özellikle yapay organ üretiminde gerçek organlardan alınan dokularla üç boyutlu ürün alınabilmekte, bu sayede bünye ile uyumlu çalışan organlar üretilebilmektedir. 1999 yılında Wake Forest Enstitüsünde bilim insanları tarafından geliştirilen bir teknik sayesinde, hastaların kendi hücrelerinden alınan dokular ile ilk defa üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yapılarak, yapay organ üretilmiştir. Bu organlar, kişinin kendi hücrelerini taşıdığı için kişinin vücuduna kolay uyum sağlamaktadır. Bu teknik, organ mühendisliği alanında, yeni stratejilerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Özgüven, 2017, s. 61).

Sağlık alanında dünyada bu teknolojinin kullanımı incelendiğinde, Avustralya Monash Üniversitesinden Paul. G. McMenamin ve arkadaşları, tıp alanında kullanımı ile ilgili tartışmalar olan kadavraların, üç boyutlu yazıcı ile üretilebilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında kadavraları üç boyutlu ortama aktaran ekip, bunların renkli üç boyutlu prototiplerini almışlar ve elde ettikleri sonucun birçok açıdan anatomi alanında kullanılan gerçek kadavralarla benzer özellikler gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile sağlık alanındaki gelişmelere farklı ülkelerden, farklı çalışmalarla katkı sağlanmaktadır. İngiltere’de üç boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak leğen kemiği üretildiği bilinmektedir. Hollanda’da üç boyutlu yazıcı ile kafatası kemiği üretilmiş ve kafatasının değişmesiyle hastanın beyin fonksiyonlarını hızlı bir şekilde geri kazandığı tespit edilmiştir. Belçika’da 2 hastaya üç boyutlu yazıcıda üretilen yüz ve çene nakli yapılmıştır. Türkiye’de ise üç boyutlu yazıcı kullanımında dikkat çeken araştırmalardan biri olarak 2014 yılında Sabancı Üniversitesinde yürütülen “Üç boyutlu doku ve organ basımı projesi” gösterilmektedir. Bu projede üç boyutlu yazıcılar ile canlı hücrelerden aort damarı dokusu üretilmiştir (Demir, vd, 2016).

Üç boyutlu yazıcılar insan vücudu dışında hayvan uzuvları için de kullanılmaktadır. 2015 yılında ilk kez Kosta Rika’da bir Tukan kuşu için üç boyutlu yazıcı ile üretilen yapay gaga bunun güzel bir örneği olmuştur. Tukan kuşları gagası olmadan doğada tek başına hayatta kalması çok zor olan bir türdür. Bu sebeple kamuoyundan elde edilen fon yardımlarıyla dikkatli ve özel bir projeyle birlikte 3D Systems şirketi tarafından yaralı bir tukan kuşunun gagası, üç boyutlu yazıcı ile biçimlendirilmiş ve tıbbi bir operasyonla başarılı bir şekilde onarılmıştır.¹⁷



Görsel 2.18. Üç boyutlu yazıcı ile yapılmış protez gaga

Kaynak: <https://www.3ders.org/articles/20160823-3d-systems-reveals-details-behind-3d-printed-prosthetic-beak-project-for-grecia-the-toucan.html>

Üç boyutlu yazıcılar ile ilgili gelişen teknoloji moda, tekstil ve takı tasarımı endüstrisinde de yaygınlaşarak etkisini göstermeye devam etmektedir. Birçok moda ve takı tasarımcısının, bu yeni teknolojinin getirmiş olduğu farklı olanaklardan faydalandığı görülmektedir.

Moda ve tekstil tasarımına bakıldığında bu yeni teknolojinin bu alanda kullanımının iki farklı şekilde olduğu görülmektedir. Bu alanda bir giysi, üç boyutlu yazıcıdan bütün olarak üretilbildiği gibi, giysilerin farklı bölgelerinde tekstil yüzeylerine alternatif olarak, farklı dokuma ve örme biçimleri uygulanabilmektedir (Yaldıran, 2016 s. 157).

¹⁷ <https://www.3ders.org/articles/20160823-3d-systems-reveals-details-behind-3d-printed-prosthetic-beak-project-for-grecia-the-toucan.html>
(Erişim Tarihi: 07.12.2018)



Görsel 2.19. SLS yöntemi ile üretilmiş elbise, Studio Francis Bitonti ve Shapeways
(Warnier vd 2014 s. 249)

Üç boyutlu yazıcı teknolojisi yüksek hassasiyette üretim ve farklı malzeme kullanım imkanı sunması sayesinde, kuyumculuk ve pırlanta sektöründe de önemli bir yere sahiptir. Her ne kadar el işçiliği üzerine kurulu bir sektör olsa da, üç boyutlu yazıcılar, lüks takı alanında önemli bir şekillendirme aracı haline gelmiştir (Kiraz, C., Sezer, H.K., Şahin, İ., 2018 s. 49-50).

Üç boyutlu yazıcı teknolojisi, takı sektöründe yeni eğilimlerin oluşmasına da zemin hazırlamıştır. Bu teknoloji ile el işçiliği ve kalıp ile mümkün olmayan kompleks tasarımlar yapılabilmektedir. Bu sayede tasarım çeşitliliği de artmaktadır.



Görsel 2.20. Üç boyutlu yazıcı ile üretilmiş takı tasarımları, Nervous System firması
Kaynak: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/shop/product.php?code=80&search=3dprint>

Üç boyutlu yazıcı teknolojisinin kullanıldığı bir diğer alan da gıda sektörüdür. Bu sektörde üç boyutlu yazıcıların kullanımı malzemelerinin çeşitliliği açısından diğer

sektörlerden farklılık göstermektedir. Gıda sektöründe üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme, yenilebilir malzemelerle yapıldığından, bu alanda malzeme geliştirme süreci, gıda malzemelerinin kendine özgü yapılarından kaynaklanan farklılıklar göstermektedir.



Görsel 2.21. Üç boyutlu gıda yazıcı ile elde edilen çikolata form, Choc Creator firması
Kaynak: <http://chocedge.com/>

Üç boyutlu yazıcılarda gıda üretiminde kullanılan hammaddeler, modifiye edilebilir ve alternatif yazdırılabilir kaynaklar olarak sınıflandırılmaktadır. Örneğin nişasta, peynir, çikolata gibi hammaddeler kolayca yazdırılabilir kıvama getirilebilen malzemelerdir. Bazı hammaddeler yapıları gereği yazdırılabilir özellikte ve kıvamda olmamaktadır. Bu durumda bazı özel malzemeler ile karışım sağlanarak hammadde yazdırılabilir kıvama gelmektedir. 2010 yılında araştırmacı Jeffrey Lipton ve arkadaşları bazı malzeme ilaveleri ile hindi etini üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirmeye uygun hale getirmeyi başarmışlardır. 2015 yılında Singapur Üniversitesinde gerçekleştirilen bir başka araştırmada ise, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirildikten sonra şeklini koruyabilen bisküvi hamurları geliştirilmiştir. Ayrıca Hollandalı TNO üç boyutlu yazıcı firmasının Barilla makarna firması ile birlikte yürüttükleri bir proje kapsamında, üç boyutlu yazıcı ile geleneksel makarna tarifine uygun olarak makarna üretilmiştir. Ancak bu yöntem ile dakikada sadece 2 adet makarna üretilebildiği ve bu projenin gelişme aşamasında olduğu belirtilmektedir (Değerli, ve El, 2017 s.595-596).



Görsel 2.22. Üç boyutlu yazıcı ile elde edilen makarna parçaları, TNO ve Barilla firmaları
Kaynak: <https://www.saveur.com/3d-printers-pasta-barilla>

2.3.2. Sanat alanında üç boyutlu yazıcıların kullanımı

Sanat yüzyıllardır var olan ve yaşandığı dönemin ekonomik, sosyolojik ve siyasi koşullarına göre değişen ve yenilenen bir olgudur. Günümüzde bu etkenlerin yanı sıra yaşanan teknolojik gelişmeler de sanat alanına ve sanatçılara yeni fırsatlar sunmaktadır. Bilgisayar sistemlerinin gelişmesi ve kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte, bu sistemler sağlamış olduğu kolaylıklar ve zamandan tasarruf gibi avantajları sayesinde birçok alanda olduğu gibi sanatta da kullanılmaya başlanmış ve vazgeçilmez araçlar haline gelmişlerdir.

Üç boyutlu yazıcıların, geleceğe dair yeni olasılıkları keşfetmede, sınırları zorlama anlamında sanatçının yaratıcılığını uyanışa geçirdiğini savunan Özgündoğdu (2015, 14), üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme tekniğinin, tasarım, üretim ve tüketim felsefesine farklı bir bakış açısı getirme potansiyeline sahip olduğunu vurgulamaktadır.

Bilgisayarlı sistemlerin gelişmesi, üretim alanında bilgisayar destekli tasarım programlarının gelişim sürecini hızlandırmıştır. Buna bağlı olarak farklı sektörlerde büyük bir pazar oluşmuş ve bu pazardaki rekabet, bilgisayar destekli tasarım ve üretim süreçlerinin gelişimine önemli katkılar sağlamıştır. Sanat alanı da endüstride yaşanan bu gelişmelerden etkilenmiştir. Bilgisayar yazılımlarının çeşitliliğinin artması ile sanat eseri üretiminde sanatçıların bir araç olarak bilgisayarlı tasarım ve üretim sistemlerini kullanmaya başlaması, dijital sanat kavramını ortaya çıkarmıştır.

Dijital sanat, fiziksel müdahaleden ziyade, daha çok bilgisayar ortamında oluşturulan ve bilgisayar sistemlerinin vermiş olduğu olanaklar dahilinde sanat eseri oluşturulması süreci olarak tanımlanabilir.

Christiane Paul, dijital sanat örneklerinin ilk olarak “bilgisayar sanatı” olarak adlandırıldığını, daha sonra “çoklu medya (multimedya) sanatı” isminin kullanıldığını, bugün gelinen noktada ise tüm bu çalışmaların “yeni medya sanatı” olarak bilindiğini belirtmektedir (Özgüven, 2017 s. 10).

Bilgisayar destekli üretim yöntemlerinin geliştirilmesiyle birlikte bilgisayar ortamında çizilen objelerin, fiziksel olarak üç boyutlu üretilmesi mümkün hale gelmiştir. Bu sayede sanatçılar bilgisayarlı tasarım ve üretim yöntemlerini kullanarak sanat eseri üretmeye başlamışlardır.

Sanatçıların CNC teknolojisi kullanımıyla, dijital dosyalardan faydalanarak sanat eseri üretme çabaları, 1960’lı yıllara dayanmaktadır. Örneğin Ohio State Üniversitesi Sanat Bölümünden Charles Csuri “Ridges Over Time” ismini verdiği ahşap heykel eserini, CNC makinesinde şekillendirmiştir (Hoskins, 2013 s.27).



Görsel 2.23. Charles Csuri, “Ridges Over Time” CNC ile şekillendirilmiş ahşap heykel, 1968 (Hoskins, 2013 s.27).

İtalyan Davide Quayola bilgisayar destekli üç boyutlu programlarla, CNC’yi kullanarak, sanat eseri üreten yeni dönem sanatçılarına örnek olarak gösterilebilir. Multimedya sanatçısı olan Quayola, bilgisayar yazılımlarını ve videoyu kullanarak gerçek ile yapay arasındaki boşluk ve yüzeyleri keşfetmeye yönelik çalışmalarını sürdürmektedir. Aynı zamanda çalışmaları arasında canlandırılmış hibrit resimler bulunur. Çağdaş, dijital estetik ve ikonik sanat eserleriyle mimari eserler arasındaki ilişkiyi inceleyen sanatçı, genellikle Diego Velazquez ve Giovanni Battista Tiepolo resimlerinin yüzeylerinin dijital ortamda topografik haritalarını çıkartarak, geometrik

formlara dönüştürmekte, böylece resimlerinde farklı geometrik yüzeyler elde etmektedir.¹⁸



Görsele 2.24. Davide Quayola, “İkonografiler” dijital resim, 2015
Kaynak: <https://www.quayola.com/iconographies-81/>

Klasik sanat eserlerini dijital sanatla birleştiren sanatçı, resim çalışmalarının yanı sıra, heykel alanında eserler de üretmektedir. Heykel çalışmalarını, heykel tarihinde önemli olan eserleri geometri ile birleştirerek ortaya çıkarmaktadır. Genellikle Michelangelo’nun eserlerini üç boyutlu olarak bilgisayar ortamına aktarıp, yüzeylerinde geometrik dokular oluşturarak, yeni formlar ortaya çıkartmaktadır.¹⁹

2016 yılında Davide Quayola “Laocoön ve oğulları” isimli eserini oluştururken, malzeme olarak beyaz mermer kullanmıştır. Dijital ortamda üç boyutlu olarak tasarlamış olduğu form çerçevesinde eserini CNC ile mermeri yontarak oluşturmuştur. Sanatçı bu çalışmasında eski ve yeniye gönderme yaparak, geçmişin ilköğrenimi ile günümüz teknolojisini karşılaştırmaktadır.²⁰

¹⁸ <https://www.artsy.net/artwork/quayola-laocoon-fragment-b-005-dot-003-1>
(Erişim tarihi : 10.01.2017)

¹⁹ <https://www.quayola.com/info/>
(Erişim tarihi : 11.01.2017)

²⁰ <https://www.quayola.com/laocoon-d20-q1/>
(Erişim tarihi : 11.01.2017)



Görsel 2.25. Davide Quayola “Laocoön ve oğulları”, CNC ile şekillendirilmiş mermer heykel 2016
Kaynak: <https://www.quayola.com/laocoon-d20-q1/>

Eksiltmeli bir üretim yöntemi olan CNC teknolojisinin ardından eklemeli bir üretim yöntemi olan üç boyutlu yazıcıların geliştirilmesiyle birlikte sanatçılar tarafından RP yöntemleri de kullanılmaya başlanmıştır. Eklemeli bir üretim olması, malzeme ve yöntem çeşitliliği açısından üç boyutlu yazıcıları CNC'lere göre sanatçılar tarafından daha kolay kullanılabilir hale getirmektedir. Üç boyutlu yazıcı ile sanat eseri üreten öncü sanatçılardan bir tanesi de Karin Sander'dır.

Alman sanatçı Karin Sander çalışmalarında yeni teknolojilerden faydalanmıştır. İlk olarak 1996 yılında hızlı prototipleme teknolojisini araştırmaya başlayan sanatçı, Utrecht Üniversitesi ve bazı özel enstitülerle de işbirliği yaparak, bu konu üzerinde araştırmalarda bulunmuştur.²¹ 2000 yılında toplumun her kesiminden, sıradan insanların vücutlarını tarayarak bilgisayar ortamında modellerini elde etmiş ve üç boyutlu yazıcı aracılığıyla 1:10 oranında küçülterek minyatür kopyalarını yapmıştır.²²

²¹ <https://frieze.com/article/currents-3d-printing>
(Erişim tarihi : 10.01.2017)

²² <https://terencemquinn91.org/2015/09/21/colleague-suggested-research/>
(Erişim tarihi : 10.01.2017)



Görsel 2.26. Karin Sander, üç boyutlu yazıcıyla şekillendirilmiş küçük heykeller 1998 (Hoskins, 2013 s.80).

Görsel 2.27. Karin Sander, üç boyutlu yazıcıyla şekillendirilmiş küçük heykeller 2000
Kaynak: https://artmap.com/k20/exhibition/karin-sander-2010#i_n5f4

Peter Walters ve Paul Thirkell'e göre (2007 s. 237) Karin Sander'ın bu tür çalışmaları ile klasik heykel ve portre sanatına meydan okuması, onun yeni teknolojileri kullanarak minyatür figürler ortaya çıkarması ve böylece geleneksel ustalığı ve el ile yapılan sanatı ortadan kaldırması, eleştirilere sebep olmaktadır. Sander, vücutları taranan futbolcu, ev hanımı, kaptan gibi farklı kişilere poz konusunda fikir vermekten kaçınmıştır. Sanatçı bu heykelleri makineden çıktığında kişilerin fotoğraflarına bakarak renkli bir şekilde boyaması dışında hiçbir müdahalede bulunmadan sergilemiştir. Karin Sander, bu minyatür heykelleri oto portre olarak tanımlamaktadır.

Çağdaş Sanatın önemli temsilcilerinden olan Anish Kapoor 2011 yılında Factum Arte şirketi tarafından geliştirilen büyük boyutlarda form üretebilen bir üç boyutlu yazıcı ile “Cement Room” ve “Between Shit and Architecture” ismini verdiği seriler oluşturmuştur. Kapoor bu çalışmalarında üç boyutlu yazıcıyı kullanarak, sanatı teknoloji ile birleştirmiştir. Sanatçı üç boyutlu yazıcı ile yapmış olduğu bu çalışmalarını; “Sanatı el dokunuşu olmadan yapmak, sanatı ifadenin ötesinde belirleyen bir amaçtır” diye açıklamaktadır.²³

²³ <https://www.greekarchitects.gr/en/degrees/anish-kapoor-non-objective-objects-id2609>
(Erişim tarihi : 18.01.2019)



Görsel 2.28. *Anish Kapoor, Üç boyutlu yazıcı ile üretim aşaması*
Kaynak: <http://anishkapoor.com/621/cement-room>



Görsel 2.29. *Anish Kapoor, “Between Shit and Architecture” Sergisi, 2011*
Kaynak : <http://anishkapoor.com/691/between-shit-and-architecture>

Üç Boyutlu yazıcıyı eserlerini üretmede araç olarak kullanan bir başka sanatçı da Belçikalı Nick Ervinck'dir. Sanatçı bilgisayar ortamında hazırlamış olduğu modelleri parçalara ayırarak üretmekte, sonrasında bu parçaları başlangıçta planladığı gibi birleştirerek eserlerini oluşturmaktadır. Bilgisayar ortamında farklı kültürlere ve zamanlara ait nesneleri bir araya getirerek formlarını oluşturmakta, bunu yaparken de eserlerinde eski ve yeni arasında eklektik bağlantılar kurmaktadır.²⁴



Görsel 2.30. Nick Ervinck “Lapirsub”, SLS üç boyutlu yazıcı yöntemiyle şekillendirilmiş heykel
Kaynak: <http://nickervinck.com/en/works/detail-2/lapirsub>

“Lapirsub” isimli eserinde SLS üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemini kullanan Ervinck, formları ürettikten sonra yüzey renklendirmesini el ile yapmaktadır. Bu çalışmasında geçmişin geleneksel işçiliğini sorgulayan sanatçı, aynı zamanda klasik heykel anlayışına da meydan okumaktadır. Geçmişe ait dokuları günümüz teknolojisi ile birleştirirken, geçmişle bir bağ kurmaktadır.

²⁴ <http://nickervinck.com/en/about/statement>
(Erişim tarihi : 18.01.2019)

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. SERAMİK ÜRETİM YÖNTEMİ OLARAK ÜÇ BOYUTLU YAZICILARLA BİÇİMLENDİRME

Üç boyutlu seramik yazıcıların tarihi 1990'lı yıllara dayanmaktadır. Bu tarihten günümüze kadar geçen süreçte birçok araştırma merkezi seramik üretiminde kullanılan üç boyutlu yazıcıların gelişim sürecine katkı sağlamıştır. Bu bölümde, seramik üretiminde biçimlendirme yapabilen üç boyutlu yazıcıların tarihsel gelişimi, çeşitleri ve çalışma prensiplerine yer verilecek, araştırma kapsamında yapılan teknik inceleme ve araştırma ziyaretlerinde farklı çalışma prensiplerine sahip üç boyutlu yazıcılarla gerçekleştirilmiş seramik uygulama örnekleri, başlıklar halinde anlatılacaktır.

3.1. Seramik Üretim Sürecinde Üç boyutlu Yazıcılarla Biçimlendirmenin Tarihsel Gelişimi

1990'ların başında ABD'de MIT'de (Massachusetts Institute of Technology) Yoo ve Cima tarafından toz bağlama (inkjet powder printing-powder deposition) temelli üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemi icat edilmiştir. Bu makinede önceleri hammadde olarak alçı bazlı kompozit bir malzeme kullanılırken, daha sonra, seramik tozlarıyla yapılan araştırmalarla birlikte Z Corp makinelerde ilk defa seramik malzemenin kullanımı söz konusu olmuştur (Hoskins, 2013, 47-49). Toz malzemenin özel bir yapıştırıcı sayesinde birleştirildiği bu yöntemde formlar, bir kat toz bir kat yapıştırıcı şeklinde üst üste eklenerek şekillendirilmektedir. Bu malzemenin içerisine renklendiriciler katılarak, seramik endüstrisinde kullanılmak üzere prototip sonuçlar elde edilebilmektedir (Hoskins, 2013, s. 47-48).

ABD Bowling Green Üniversitesinden Profesör John Balisteri, 2006 yılında asistanı Sebastien Dion ile birlikte toz bazlı çalışan Z Corp makinelerde kullanılmak üzere özel bir seramik tozu geliştirerek, 2007 yılında patentini almışlardır. Bu sayede Balisteri ve Dion alana katkı sağlayan önemli araştırmacı seramikçiler arasındaki yerini almışlardır.²⁵

²⁵ Balistreri, J., & Dion, S. "Creating Ceramic Art Using Rapid Prototyping". Paper presented at the SIGGRAPH Posters. (2008).

2007 yılında Batı İngiltere Üniversitesi- Baskı Araştırma Merkezinde (Universtiy of West England-Center for Fine Print Research) Prof. Hoskins ve Doktor David Huson, toz bazlı çalışan Z Corp makinesinde seramik tozunun kullanılabilirliğini araştırdıkları projenin patentini almışlar ve Denby seramik fabrikasıyla işbirliği yaparak projelerini genişletmişlerdir. Prof. Hoskins ve Doktor Huson'ın bu çalışması bu alanda önemli bir kilometre taşı olarak literatüre girmiştir (Hoskins, 2013, s. 49).

2004 yılında Southern California Üniversitesinden Behrokh Khoshnevis, bina ve ev yapımında kullanılmak üzere geliştirmiş olduğu FDM tipi malzeme yığma prensibine göre çalışan Contour Crafting ismini verdiği üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme tekniğini, yazmış olduğu makalesinde ayrıntılarıyla anlatmış ve buluşunun patentini almıştır. Khoshnevis, contour crafting yöntemiyle alçı, plastik seramik çamuru gibi malzemeler kullanarak bazı denemeler yapmıştır. Bu denemelerdeki amacı ev yapımında kullanılan harç benzeri malzemeye en yakın malzemelerle testler yapmak olmuştur (Khoshnevis, 2004, s. 2).

2009 yılında Belçika'da Unfold stüdyosunun kurucularından olan Dries Verbruggen ve Claire Varnier çifti FDM (malzeme yığma) prensibine sahip PLA ve ABS malzemeleri ile çalışan farklı bir üç boyutlu yazıcı türüne, seramik kitini monte ederek ilk kez plastik malzeme şekillendirebilen üç boyutlu yazıcıyı çamuru biçimlendirebilen bir makineye dönüştürmüşler ve seramik formlar üretmişlerdir. Unfold Stüdyosu, stratigrafi üretim olarak adlandırdığı bu üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme tekniği ile üç boyutlu yazıcı tarihinde önemli bir kilometre taşı olarak yerini almıştır (Hoskins, 2013, s. 15).

FDM türü üç boyutlu yazıcıda kullanılan seramik çamuru, seramik alanında kolay ulaşılabilen, ekonomik ve yaygın olarak kullanılan plastik çamur olduğundan, bu yöntem seramik sanatında ilgi çekici bir şekillendirme yöntemi olmuştur.

Üç boyutlu yazıcıların seramik alanında kullanılmaya başlanmasıyla birlikte seramik sanatçılarının atölyelerinde kullanabilecekleri yeni bir şekillendirme yöntemi ortaya çıkmıştır. Çamuru biçimlendirebilen FDM tipi üç boyutlu yazıcıların çalışma prensibinin aslında insanoğlunun seramiği şekillendirmek için Neolitik çağdan itibaren kullandığı sucuk yöntemiyle aynı olduğu söylenebilir. Üç boyutlu yazıcıda şekillendirme, insan müdahalesinin azaldığı bir sistem gibi görünse de, tasarım aşamasından şekillendirme aşamasına kadar insan emeğinin çok olduğu bir yöntemdir.

Zahmetli ve hassas bir süreç gerektiren bu yöntem, elle şekillendirilmesi zor olan formların biçimlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Aynı zamanda, malzeme, teknoloji, tasarım bilgisinin yaratıcılıkla birleştirildiği özel bir yöntemdir.

3.2. Seramik Üretim Sürecinde Üç Boyutlu Yazıcılarla Biçimlendirme Yöntemleri ve Çalışma Prensipleri

Seramik sektöründe 2000’li yılların başından itibaren yaygın olarak kullanılmaya başlanan CNC teknolojisi, özellikle vitrifiye alanında şirketlerin üretim hızını arttırmakla kalmayıp ürün çeşitliliğini de genişletmiştir. Üç boyutlu çizim programlarıyla modellemeleri yapılan tasarımlar, yine bilgisayar ortamında kalıpları alınarak CNC makineleri ile şekillendirilmektedir. Bu yöntemde kütle halindeki alçı bloklar, çizimde belirtilen kodlara ve ölçülere uygun şekilde eksiltmeli olarak biçim alır. Bu yöntem ile doğrudan kalıp üretimi sayesinde model ihtiyacı olmadan üretimde zamandan tasarruf sağlanmaktadır.

Bunun arkasından, gelişen üç boyutlu yazıcı teknolojisinin seramik endüstrisinde kullanımı ise prototip üretme amaçlı olmuştur. Genellikle sofr ürünleri endüstrisinde kullanılan bu teknoloji, tasarımı yapılmış modellerin üretimden önce hatalarının görülebilmesi amacıyla gerçek boyutlarında prototip ürün ortaya çıkarmak için kullanılmaktadır. Burada prototip için kullanılan malzeme plastiktir. Bu teknoloji seramik endüstrisinde prototip amaçlı faydalanılmasının yanı sıra, ileri teknoloji seramiklerinde nihai ürün üretimi için de kullanılmakta, seri üretim için ise uygun bir yöntem olmadığı dikkat çekmektedir. Seramik sanatında da yavaş yavaş yerini almaya başlayan üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme işleminde seramik malzemenin kullanıldığı dört farklı yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler malzeme ve çalışma prensipleri açısından birbirleri arasında farklılık göstermekle beraber, bazı sınırlayıcılara da sahiptir. Seramik üretiminde üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemleri, kullanılan hammadde özelliğine bağlı olarak sıvı, toz ve katı esaslı olmak üzere üç farklı türde ele alınarak incelenmiştir.

3.2.1. Yığma yöntemi, FDM (Fused deposition modelling kil-ekstrüzyon)

FDM (Fused deposition modelling), malzeme yığarak modelleme yapılan bu yöntem, 1989 yılında Scott Crump tarafından icat edilmiş ve patenti alınmıştır. Bu

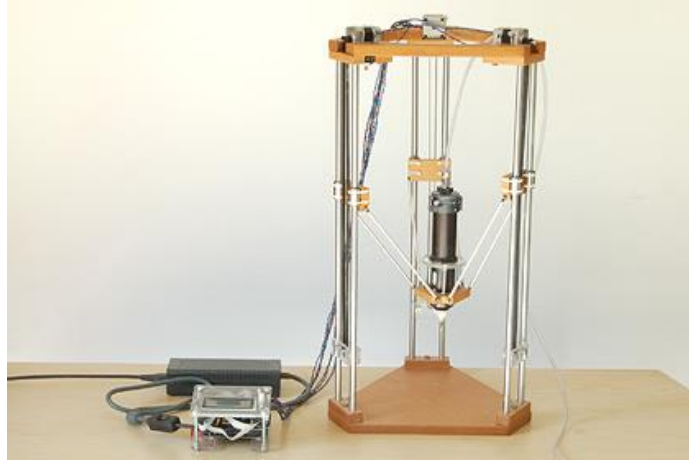
yöntem üç boyutlu yazıcılar arasında en yaygın ve popüler olanıdır. Filament olarak adlandırılan hammaddelerin ısıtılan başlıkla (nozzle) eritilerek katmanlar halinde üst üste eklenmesi ile obje üretimi esasına dayanmaktadır. Adrian Bowyer'ın Rep-Rap projesi, FDM tipi üç boyutlu yazıcıların düşük maliyetli üretilebilmesinin önünü açmıştır. Bu da sanatçı ve tasarımcıların malzeme olarak seramik çamurunu üç boyutlu yazıcıda işlemek üzere stüdyo çalışmalarına başlamaları için önemli bir adım olmuştur.

Bu yöntemde seramik malzemenin kullanımına 2009 yılında başlanmıştır. Belçika'da bulunan Unfold Stüdyosu plastik malzeme ile üretim yönteminden esinlenerek seramik çamuru ile üretim yapabilmek için FDM tipi üç boyutlu yazıcıya eklentiler yapmış, sistemi uygun hale getirmiş ve bu yöntemle ilk seramik objeyi şekillendirmiştir. 2002 yılında Claire Varnier ve Dries Verbruggen tarafından kurulan Unfold Stüdyosu, farklı malzemelerle yeni üretim yollarını araştıran projeler geliştirmektedir. Bu sayede tasarımcının tasarım sürecindeki rolünü arttırmayı hedeflemektedirler. Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirmede PLA ve ABS gibi hammaddelere alternatif arayışına girerek, FDM çalışma prensibine sahip üç boyutlu seramik yazıcıyı kuran Unfold'un arkasından, İngiliz sanatçı Jonathan Keep bu gelişmeyi biraz daha ileriye taşıyıp, üretim maliyetini düşürerek, İngiltere'de JK Delta ismini verdiği seramik çamuru şekillendirebilen üç boyutlu yazıcıyı yapmıştır. Makinenin parçalarını ve yapım aşamalarını paylaşan Keep, seramik ile uğraşan birçok kişiye kendi makinelerini yapma konusunda yardımcı olmuştur ²⁶.

²⁶ http://www.keep-art.co.uk/Self_build.html
(Erişim Tarihi: 21.10.2018)



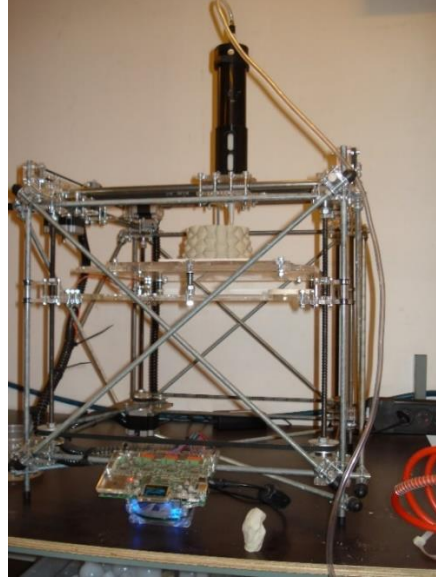
Görsel 3.1. FDM yöntemiyle üretilmiş ilk seramik form, 8x7x7 cm, Unfold, 2009
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi



Görsel 3.2. JK delta tipi üç boyutlu yazıcı, Jonathan Keep
Kaynak: http://www.keep-art.co.uk/Self_build.html

FDM yönteminde seramik malzeme ile çalışan üç boyutlu yazıcıların ticarileştirilmesi, İtalyan WASP (World's Advanced Saving Project) firması ile olmuştur. Sonrasında Worm Vrij ve Deltabots gibi birçok şirket seramik üretimi için FDM yazıcılar yapmaya devam etmişlerdir.

FDM tipi, seramik malzeme ile çalışan üç boyutlu yazıcılar, çalışma eksenlerine göre delta ve kartezyen tipi olmak üzere göre iki gruba ayrılırlar. Kartezyen tipi seramik yazıcılar, zeminin ve başlığın (nozzle) hareketli olduğu FDM türü yazıcılardır.



Görsel 3.3. Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcı Unfold, Belçika
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi

Delta tipi seramik yazıcılar ise zeminin sabit olduğu, üç kol sayesinde hareket edebilen başlıktan oluşan FDM yazıcı türüdür.



Görsel 3.4. FDM delta tipi üç boyutlu yazıcı 40x20 cm, Delta Wasp,
Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi

Jonathan Keep yapmış olduğu seramik malzeme ile çalışan delta tipi üç boyutlu yazıcıyı düşük maliyetle imal etmiştir. Jonathan Keep kendi web sitesinde üç boyutlu yazıcı yapımına ilişkin gerekli bilgileri paylaşarak, kişilerin kendi üç boyutlu yazıcılarını düşük maliyetle yapabilmelerine imkan sağlamıştır. Keep'in delta tipi yazıcısı, çamur biçimlendirme yapabilen üç boyutlu yazıcılar arasında yapımının kolaylığı ve ekonomik olması sebebiyle tercih edilen bir model olmuştur.

FDM tipi üç boyutlu yazıcıların tasarımını bireysel olarak yapan kişilerin yanı sıra ticari boyutta tasarlanan ve çamuru biçimlendirebilen makineler de bulunmaktadır. İtalyan Wasp firmasının ürettiği Delta Wasp FDM tipi üç boyutlu yazıcı, bu türe örnek gösterilebilir.

Wasp firması üç boyutlu yazıcılar ile ev yapabilmeyi amaç edinmiş bir firmadır. Seramik çamuru, ev yapımında kullanılan harç benzeri malzemeye en yakın malzeme çeşididir. Bu sebeple bu firmanın kurucuları, malzeme olarak ev yapımına en yakın olan seramik çamurunu kullanabilecekleri bir üç boyutlu yazıcı tasarlamışlar ve ev yapımında karşılaşılabilecekleri sorunları önceden tespit etmeyi planlamışlardır. Seramik malzeme ile çalışan üç boyutlu yazıcı tasarımlarının temelini bu fikir oluşturmaktadır. Daha sonrasında küçük boyutta çamur biçimlendirme yapabilen üç boyutlu yazıcıları ticari olarak piyasaya sürmüşlerdir (M. Güz, kişisel iletişim, Aralık 2016).



Görsel 3.5. Üç boyutlu yazıcı ile yapı inşası, Wasp Projesi

Kaynak: <http://www.wasproject.it/w/en/il-muro-di-terra-e-paglia-alle-soglie-dei-3-metri/>

Bir diğer seramik çamuru biçimlendirebilen üç boyutlu yazıcı üreticisi ise Hollanda’da bulunan Vorm Vrij 3D Stüdyo’dur. 2014 yılında Yao Van Den Heerik ve Marlieke Wijnakker tarafından Hertogenbosch şehrinde kurulmuş olan bu stüdyo, halen Limburg Afferden’da faaliyetini sürdürmektedir. 1998 ve 1999 yıllarında Dutch Design Academy’den mezun olan ikili, seramik ve üç boyutlu yazıcılar ile ilgili bir geçmişi olmamasına rağmen, araştırmaları sonucunda seramik malzeme ile çalışabilen “Lutum” adını verdikleri üç boyutlu yazıcıyı tasarlamışlar ve ticarileştirmişlerdir. Günümüzde tıpkı Wasp firması gibi uluslararası anlamda hizmet veren Vorm Vrij stüdyosunun

geliştirdiği “Lutum” üç boyutlu yazıcının, Wasp’tan ayrılan en önemli özelliği FDM Kartezyen tipi seramik üç boyutlu yazıcı olmasıdır.²⁷



Görsel 3.6. *Vorm Vrij* firması Kartezyen tipi üç boyutlu seramik yazıcı, Lutum
Kaynak: <https://3dclayprinting.com/new-lutum-3-clay-3d-printer/>

3.2.1.1. FDM tipi üç boyutlu yazıcıyla yapılan seramik uygulama

FDM tipi üç boyutlu yazıcı ile biçimlendirme işlemi, geleneksel seramik şekillendirme yöntemlerinden sucuk ile şekillendirme yönteminde olduğu gibi, çamurun katmanlar halinde üst üste eklenmesiyle, formun şekillendirilmesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntemle yapılan üretimi deneyimlemek amacıyla tez kapsamında Unfold Stüdyo’da bir uygulama yapılmıştır. Burada yapılan çalışmada, kartezyen ve delta tipi çamur biçimlendirme yapabilen üç boyutlu yazıcılarla denemeler uygulanmıştır. Bu denemeler araştırma kapsamında yapılacak olan uygulama çalışmaları için ön bilgi ve deneyim niteliğinde katkı sağlamıştır.

²⁷ <https://lutum.vormvrij.nl/sample-page/>
(Erişim Tarihi: 24.10.2018)



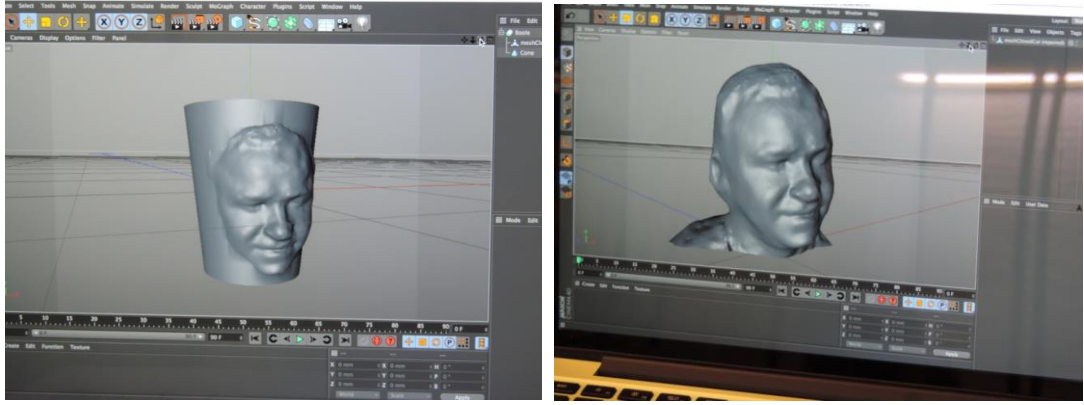
Görsel 3.7. Dries Verbruggen ile uygulama aşaması, *Unfold tasarım stüdyosu*
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi

Unfold Stüdyosunda yapılan uygulama çalışmasında, taranarak bilgisayar ortamına aktarılan insan yüzünün, bir bardak üzerine applike edilmesiyle oluşan bir tasarım tercih edilmiştir. Buradaki amaç var olan bir nesnenin tarayıcı aracılığıyla bilgisayar ortamında kullanılmasını deneyimlemektir.

Unfold Stüdyosunda, gelişmiş tarayıcı cihazlarına göre daha basit bir yöntemle modelin farklı açılardan fotoğrafları çekilerek elde edilen görüntüler, 123D Catch programı yardımı ile bilgisayar ortamında üç boyutlu hale getirilmiştir (Martinez ve Can, 2016 s. 454).



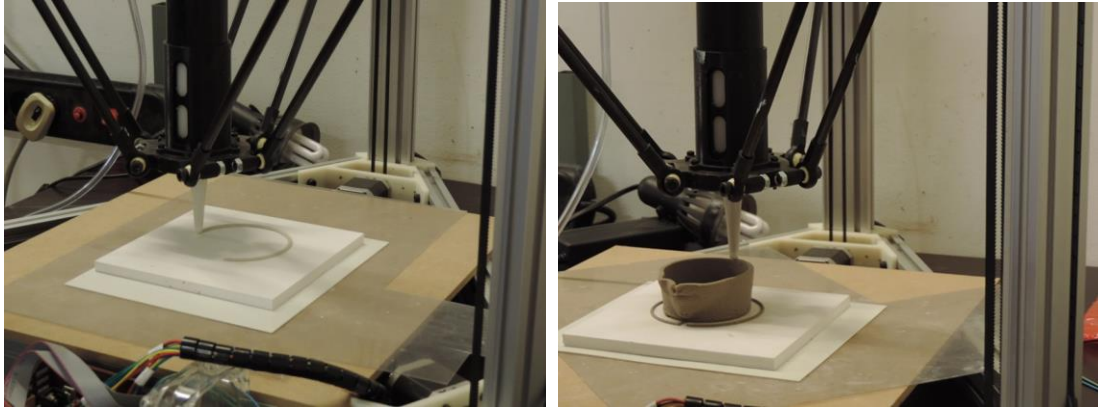
Görsel 3.8. Modelin farklı açılardan fotoğrafının çekilerek bilgisayar ortamına aktarılması
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi



Görsel 3.9. Bilgisayar ortamında model üzerinde değişikliklerin yapılması
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi

Bilgisayar ortamında üç boyutlu görüntüsü elde edilen model gerekli düzenlemelerin ardından üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirilebilecek formata dönüştürülmüş ve bir SD kart yardımı ile üç boyutlu yazıcıya aktarılarak üretime hazır hale getirilmiştir.

Üç boyutlu yazıcıda hammadde olarak kullanılacak çamurun hazırlanma işlemi ise oldukça önemlidir. Çamurun hazırlanmasında kıvamına ve içerisinde hava kalmamasına özen gösterilmesi gereklidir. Bu sebeple çamur şekillendirme için en uygun kıvamda hazırlanmıştır. Çamur tüpe doldurulurken de tüp içerisinde hava boşluğu kalmamasına dikkat edilmelidir.



Görsel 3.10. Üç boyutlu yazıcıyla üretim aşaması, FDM yöntemi
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi

Çamur hazırlandıktan sonra üretim aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada aktarım kablosu yardımı ile üç boyutlu yazıcıya aktarılan model dosyası çalıştırılarak, üç boyutlu yazıcı ile üretim işlemi başlatılmıştır. Burada hava basıncının iyi ayarlanması gerekmektedir. Bir sorunla karşılaşıldığında müdahale edebilmek için üretim sırasında

süreç takip edilmiştir. Sonrasında çıkan ürünler kurumaya bırakılmıştır. Kurutma işleminden sonra kullanılan çamurun pişme derecesine göre pişirim yapılmıştır.



Görsel 3.11. FDM yöntemiyle üretilen objeler ,1200°C
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi



Görsel 3.12. FDM yöntemiyle üretilen objeler, 1200°C
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi

FDM yöntemiyle çalışan üç boyutlu seramik yazıcıların en önemli avantajı geleneksel şekillendirme yöntemlerinde kullanılan plastik seramik çamurunun bu makinede hammadde olarak kullanılabilmesidir. Plastik çamurun kolay temin edilebilmesi ve ucuz bir malzeme olması bu yöntemi diğer üç boyutlu yazıcılarla biçimlendirme yöntemleri ile kıyaslandığında bir adım öne çıkarmaktadır. FDM tipi seramik üç boyutlu yazıcıların şekillendirme yönteminde kullanılan seramik çamurunun plastik ve esnek olması nedeniyle bazı sınırlayıcılıkları vardır. Bu yöntemde boşluklu

bir tasarım yapılmak istenirse, dikeyde bu boşlukların olmasında bir engel olmadığı deneyimlenmiştir, ancak yatayda boşluk istenirse bu tasarımdan tasarıma farklılık göstermekte ve hesaplama gerektirmektedir.

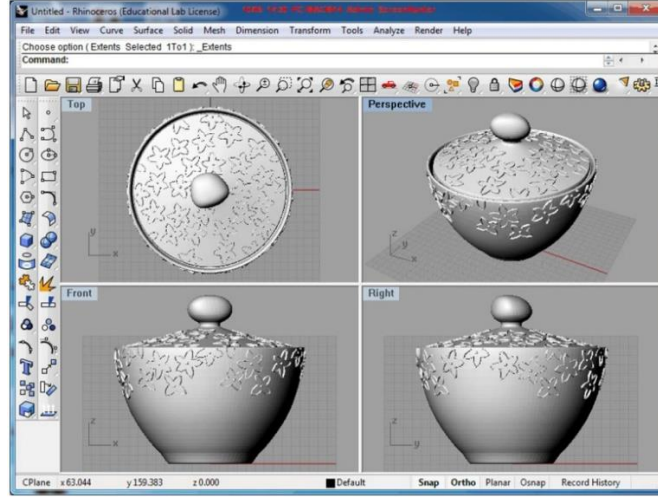
3.2.2. Toz bağlama (powder binding) yöntemi

Toz bağlama yöntemi, üç boyutlu yazıcılarda yaygın olarak görülmektedir. Toz bazlı çalışan üç boyutlu yazıcı çeşitlerinden olan Zcorp makinesi, 3D Systems firmasının geliştirdiği, kompozit malzeme ile çalışan bir üç boyutlu yazıcıdır. Bu yöntem özel kompozit tozlarının bağlayıcılar ile katmanlar halinde bir araya getirilmesiyle formun şekillendirilmesi esasına dayanır. 3D Systems firması bu yöntemle üretim yapan üç boyutlu yazıcılar üreten kuruluşların başında gelmektedir. Daha sonra seramik alanında özel toz hammaddeleri kullanılarak, toz bağlama yöntemiyle ürünler alınabilmesi mümkün olmuştur. İlk kez 1990'lı yıllarda Z-corp makinesi, MIT'de geliştirilen alçı bazlı kompozitin ardından seramik tozlarıyla da kullanılabilir hale gelmiştir. Bazı araştırmacılar, seramik tozunu entegre ettikleri bu makinelerle başarılı veriler elde etmişlerdir. Bu araştırmacıların başında gelen ABD Bowling Green State Üniversitesi'nden Profesör John Balistreri ve asistanı Sebastien Dion, 2006 yılında ilk olarak bu yöntemde özel seramik tozları ve bağlayıcıları kullanarak üç boyutlu seramik formlar elde etmeyi başarmışlardır.²⁸

İngiltere'de West England Üniversitesi bünyesinde yer alan Baskı Araştırma Merkezi ve ayrıca Profesör John Balistreri'nin danışmanlığını yaptığı Tethon firması, toz bağlama yöntemiyle üretimin geliştirilmesi konusunda büyük katkılar veren diğer kuruluşlardır. İngiltere-Bristol'de bulunan Araştırma Merkezi'nde (Centre for Fine Print Research) başta direktör Stephen Hoskins ve araştırmacı David Huson olmak üzere, seramik tozların bağlanması ile şekillendirme esasına dayalı bu yöntemle çalışmalar sürdürülürken, dijital teknolojiler, endüstriyel ürünler ve yaratıcı sanatsal üretimler ile ilgili araştırmalar da yapılmaktadır.²⁹

²⁸ Balistreri, J., & Dion, S. "Creating Ceramic Art Using Rapid Prototyping". Paper presented at the SIGGRAPH Posters. (2008).

²⁹ E. Martinez ve E. Can, (2014) 3 Boyutlu Yazıcılar İle Uygulanan Farklı Seramik Şekillendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılarak Değerlendirilmesi. *10. Pişmiş Toprak Sempozyumu Bildiri Kitabı*



Görsel 3.13. Rhino programında yapılmış modellemeler
Bristol Araştırma Merkezi (Centre for Fine Print Research)

Kaynak :

https://www.uwe.ac.uk/sca/research/cfpr/research/3D/research_projects/Denby%20Project%20Report%20Final%2028%20March.pdf



Görsel 3.14. Toz bağlama yöntemiyle şekillendirilmiş kapaklı form,
Bristol Araştırma Merkezi (Centre for Fine Print Research)

Kaynak: <https://3dprint.com/1843/worlds-first-ceramic-3d-printer-for-making-tableware-unveiled/>

West England Üniversitesi bünyesinde kurulan baskı araştırma merkezinde, üç boyutlu yazıcılar ile seramik kullanım eşyalarının üretilebilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Bu ürünlerin seri olarak üretilebilmesinin yanı sıra, ticari bir boyut kazanması için seramik mutfak eşyası üreten Denby firması ile bu yöntemle endüstriyel seramik kullanım eşyalarının üretilebilmesi ile ilgili ortak bir proje geliştirmişlerdir.



Görsel 3.15. Toz bağlama yöntemi ile şekillendirilmiş ve pişirilmiş fincan, Bristol Araştırma Merkezi (Centre for Fine Print Research)

Kaynak:

https://www.uwe.ac.uk/sca/research/cfpr/research/3D/research_projects/Solidfreeform_casestudies_denbycup.html

Bowling Green State Üniversitesi'nden Profesör John Balistreri'nin danışmanlığını yaptığı Amerika Omaha'da bulunan Tethon 3D firması ise bu yöntemle üretim yapan ve bu yöntemin geliştirilmesine katkı sağlayan firmalardan bir diğeridir. Tethon 3D hammadde üretimin yanı sıra, bu alanla ilgilenen kişilere uluslararası workshop ve eğitim imkanı da sağlamaktadır.



Görsel 3.16. Toz bağlama yöntemi ile şekillendirilmiş form, Tethon 3D firması

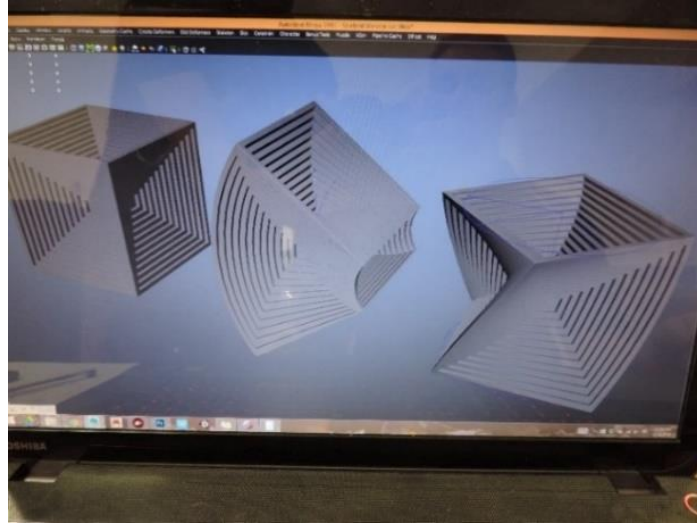
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi

Toz bağlama yönteminin çalışma prensibi tozun bir tür yapıştırıcı yardımı ile katmanlar halinde birbirine bağlanması sonucu formun şekillendirilmesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde formun yapısında biçimsel olarak bir sınırlayıcılık yoktur.

Bünyede istenilen boşluklar ve ters açılar elde edilebilir. Ancak makine boyutu küçük olduğu için, şekillendirme boyutları sınırlıdır. Bu da bu yöntemin dezavantajlarından birisi olarak gösterilebilir.

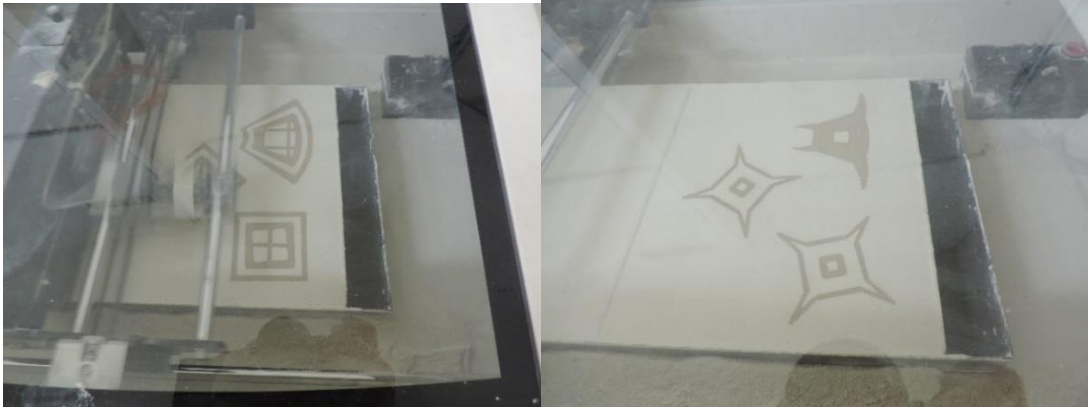
3.2.2.1. Toz bağlama esaslı çalışan üç boyutlu yazıcıyla yapılan seramik uygulama

Anadolu Üniversitesi BAP (Bilimsel Araştırma Projeleri) tarafından desteklenen bu tez projesi kapsamında Amerika Omaha şehrinde faaliyet gösteren Tethon 3D firmasında uygulama yapılmıştır. Yapılan bu uygulama çalışmasında yine diğer yöntemlerde olduğu gibi, şekillendirilmesi planlanan form önce üç boyutlu çizim programında çizilmiştir.

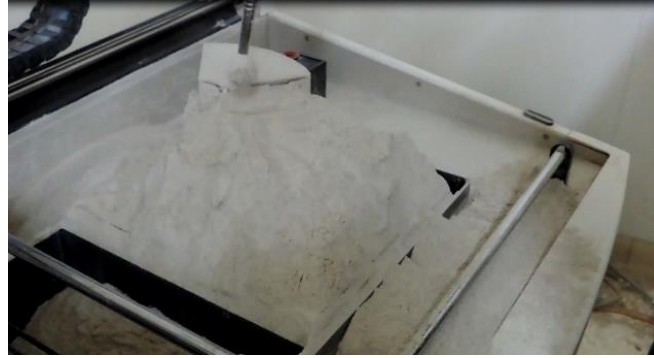


Görsel 3.17. Tasarımın bilgisayar ortamında çizilmesi, Tethon 3D firması
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi

Daha sonra çizimi yapılan tasarım stl formatında kaydedilerek üç boyutlu yazıcıya dosya aktarım kablosu yardımı ile aktarılmıştır. Gerekli düzeltmeler yapıp, şekillendirme süreleri hesaplandıktan sonra, şekillendirme işlemi başlatılmıştır. Şekillendirme Z-Corp üç boyutlu yazıcısı tarafından bir kat toz bir kat yapıştırıcı şeklinde üst üste eklenerek yapılmıştır.



Görsel 3.18. Toz Bağlama yöntemiyle üretim aşaması, Tethon 3D firması
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi



Görsel 3.19. Ürünlerin makineden alınıp etüve konulması, Tethon 3D firması
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi

8x8x9 cm, 5x8x8cm ve 5x8x8 cm'lik üç formun üretim süresi toplam yaklaşık 4 saat sürmüştür. Üretim işlemi bittikten sonra bütünüyle toz içerisinde kalan parçaların üzerindeki tozlar bir fırça yardımıyla alınmıştır. Bu aşamada toz, formların üzerinden tamamen uzaklaştırılamamaktadır. Bunun sebebi katmanlar arasındaki yapıştırıcının kurumamış olmasıdır. Form, yapıştırıcının kuruması ve mukavemet kazanması için

toplamda 8 saat süreyle, 180 derece sıcaklıkta etüvde kurutulmuştur. Bu kuruma sonucunda tozlar hava yardımıyla bünyeden kolayca uzaklaştırılmış ve bisküvi pişirimi için hazır hale getirilmiştir.

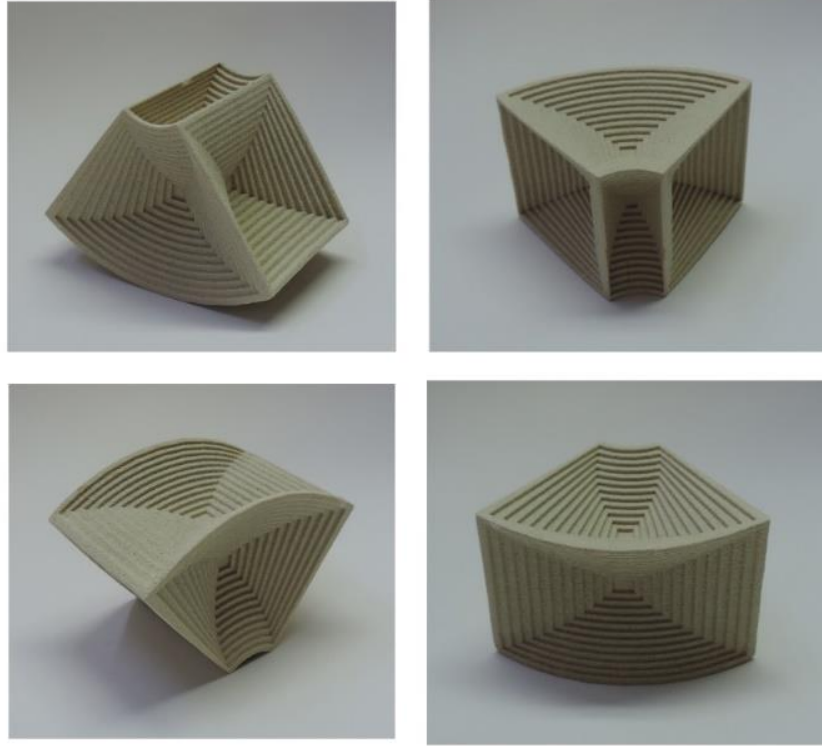


Görsel 3.20. Tozların hava yardımıyla bünyeden uzaklaştırılması, Tethon 3D firması
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi



Görsel 3.21. Bisküvi pişirimi için hazır olan formlar, Tethon 3D firması
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi

Bisküvi pişirimi yani ön pişirim 1200°C’de yapılmıştır. Bunun sebebi bünyenin yeterince mukavemet kazanması gerekliliğidir. Bu pişirim sonrası yüzey pürüzlülüğünden dolayı bünye sır tutmamaktadır. Bu sebeple yüzey astarlandıktan sonra 1065°C’lik bir pişirim daha yapılmıştır. Bu pişirim sonrası sırlı pişirim için yüzeye hangi derecede sır uygulandıysa, o derecede sırlı pişirim yapılabilir.



Görsel 3.22. 1200°C pişirimi yapılmış formun farklı açılardan görünümü, Tethon 3D firması
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi

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.

3.2.3. Stereolitografi, SLA (Stereolithography) yöntemi

Stereolitografi, sıvı kompozit bir malzemenin ultraviyole ışınları tarafından belirli koordinatlarda katman katman sertleştirilerek şekillendirilmesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde kullanılan malzeme özel bir reçinedir. Şekillendirilmeden önce sıvı olan bu reçine, şekillendirildikten sonra plastik mukavemet kazanmaktadır. Pişirildikten sonra ise porselene dönüşmektedir. Böylesine özel bir malzeme oldukça pahalı olduğundan, günümüzde ileri teknoloji seramiklerin üretiminde, biyomedikal alanında ve lüks mücevher üretiminde kullanılmaktadır.

Bu yöntemle malzeme üreten ve şekillendirme yapan firmalar incelendiğinde Fransız “3DCeram” firması ve Amerika’dan Tethon3D firmaları öne çıkmaktadır. Bu firmalar bu yöntemle şekillendirilebilen özel reçineler üretmektedir. Ayrıca 3DCeram firması geliştirmiş oldukları malzemeye uygun SLA tipi üç boyutlu yazıcılar da üretmektedir.



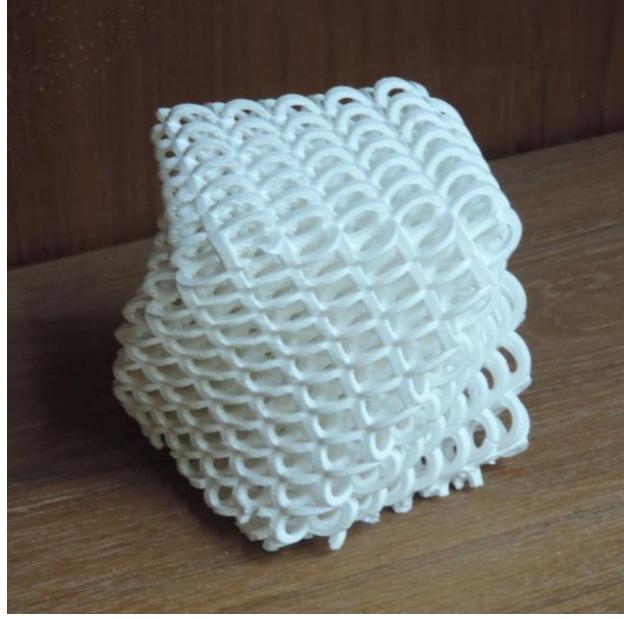
Görsel 3.23. “Ceramaker” SLA üç boyutlu yazıcı 3DCeram firması

Kaynak: <https://www.3dprintingmedia.network/japans-sinto-group-acquires-majority-stake-ceramics-pioneer-3dceram/3dceram-3/>

3DCeram firmasının ürettiği reçine, farklı karışımlardan oluşmaktadır. Ancak ana hammadde olarak mücevher tasarımlarında zirkonyum, teknolojik seramiklerin üretimi için alümina, biomedikal alanında ise hidroksilapatit kullanılmaktadır.³⁰

İleri teknoloji seramiklerin üretimi için geliştirilen bu reçineler oldukça pahalı olduğundan, daha uygun maliyetli reçinelerin üretimi için araştırmalar devam etmektedir. Bu araştırmaları yapan firmalardan bir tanesi de Tethon 3D firmasıdır. 2016 yılında geliştirdikleri ve “Porcelite” adını verdikleri reçine ile üretim maliyetlerini düşürmeyi amaçlamışlar ve bu yöntemle üretim için yeni bir malzeme piyasaya sürmüşlerdir. Bu yöntemde, yüzey pürüzlülüğü çok düşük olup, elle yapılabilmesi zor olan formların üretimine imkan vermektedir.

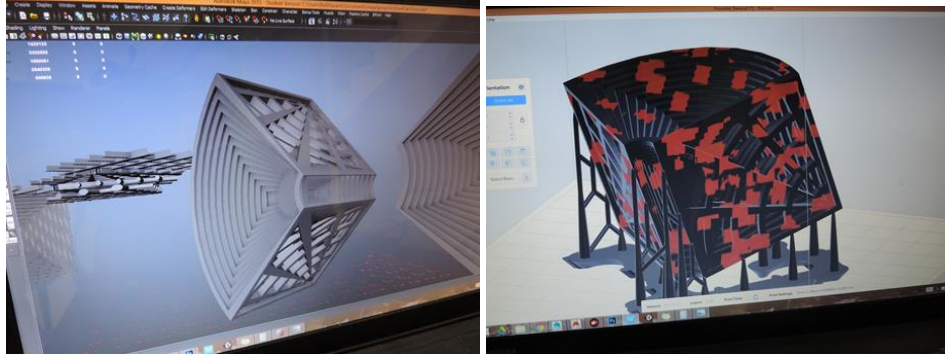
³⁰ <http://3dceram.com/en/materiaux-ceramique-impression-3d/>
(Erişim tarihi: 21.10.2018)



Görsel 3.24. Tethon 3D tarafından geliştirilen Porcelite malzemeyle steryolitografi yöntemine göre şekillendirilen form. Tethon 3D firması
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi

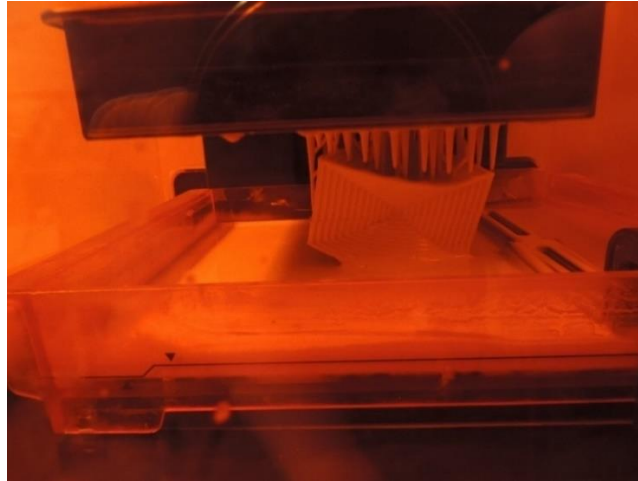
3.2.3.1. Steryolitografi, SLA yöntemiyle yapılan seramik uygulama

Tethon 3D firmasında yapılan uygulama çalışmasında, diğer yöntemlerde olduğu gibi ilk aşama, tasarımın üç boyutlu çizim programında çizilmesidir. Üç boyutlu ortamda Autodesk Maya programında çizilen model, bazı ek programlar ile gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra, üç boyutlu biçimlendirme için uygun formatta kaydedilerek, bir SD kart aracılığıyla üç boyutlu yazıcıya aktarılmıştır. Modelin üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirmeye uygun olan g-code formatında kaydedilebilmesi için ek dilimleme programlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Burada üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme için uygun hale getirilen modele, dilimleme programı ile bazı destekler atılmaktadır. Modelin şekline göre değişiklik gösteren bu destekler, şekillendirmenin gerçekleşebilmesi için modelin üç boyutlu yazıcının tablasına yapışmasını sağlamaktadır.



Görsel 3.25. Tasarımın çizilmesi ve üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme için uygun hale getirilmesi, Tethon 3D firması
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi

G-code olarak üç boyutlu yazıcıya gönderilen model dosyasıyla birlikte şekillendirme işlemi başlatılmıştır. Boyutları 5x3x3 cm. olan bu formun şekillendirme işlemi yaklaşık 5 saat sürmüştür. Bu süre formun doluluk oranına ve büyüklüğüne göre farklılık göstermektedir.



Görsel 3.26. SLA yöntemi ile şekillendirme aşaması, Tethon 3D firması
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi

Bu yöntemde şekillendirme, sıvı reçinenin ultraviyole ışınları tarafından belirli koordinatlarda sertleştirilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Bu şekillendirme işlemi ürünün sıvı reçine içerisine daldırıldıktan sonra, sıvının ultraviyole ışınları tarafından sertleştirilmesi prensibine göre meydana gelmektedir.

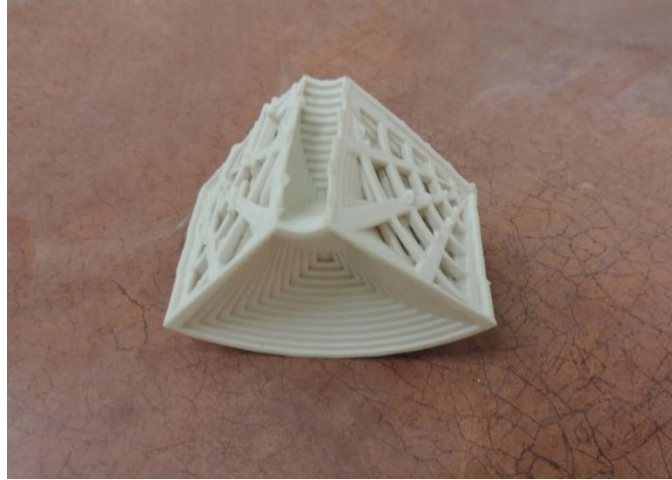
Bu uygulamada şekillendirme işlemi sonrasında, ürün makine üst başlığından bir spatula yardımıyla ayrılarak etil alkole daldırılmıştır. Etil alkolün buradaki görevi, yüzey üzerinde kalan sertleşmemiş alanların sertleştirilmesidir. Daha sonra ürün destek parçaları bir keski yardımıyla kırılarak formdan uzaklaştırılmıştır.



Görsel 3.27. SLA yazıcıyla biçimlendirme sonrasında formun makineden ayrılması ve alkole daldırılması, Tethon 3D firması
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi



Görsel 3.28. SLA yöntemiyle üretilen formun destek parçalarından ayrılması, Tethon 3D firması
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi



Görsel 3.29. SLA yöntemiyle üretilmiş form
Kaynak: Emre CAN fotoğraf arşivi

Bu yöntem diğer seramik üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemlerinin aksine, pürüzsüz yüzeyler elde edilmesine elverişlidir. Oldukça küçük, ayrıntılı

parçaların üretimine imkan veren bir yöntem olmasının yanı sıra, boyut sınırlaması ve uzun üretim süreci dezavantaj olarak gösterilebilir.

3.3. Üç Boyutlu Yazıcılarla Çalışan Seramik Sanatçıları ve Uygulama Örnekleri

İçinde bulunulan dijital çağda elle şekillendirme yöntemleriyle üretilmesi zor olan formların elde edilmesini sağlayarak, sanatçıların ufkunu genişleten üç boyutlu yazıcılar, sunduğu olanaklarla seramik alanında özgün eserler yaratılmasına fırsat vermektedir. Ayrıca sanatçıların tasarım ve üretime farklı bir bakış açısıyla bakmasını sağlayarak, geleneksel şekillendirme yöntemleriyle yapılması zor formların üretilmesini kolaylaştırmakta ve yeni ifade biçimleri geliştirmelerine kapı açmaktadır. Dijital ortamın olanakları ile serbest yaklaşımların birleştirilmesine imkan sunan üç boyutlu yazıcılar, böylece sanatçıların yaratıcılıklarını farklı bir düşünce sistemine dayalı olarak ortaya koymalarının yolunu açmaktadır.

Bu alanda öne çıkan İngiliz Jonathan Keep, Michael Eden, Amerikalı John Balistreri, Bryan Czibesz ve Hollandalı Olivier Van Herpt, bu alanın gelişmesine katkıda bulunan önemli sanatçılardır. Özellikle FDM tipi üç boyutlu yazıcılarla çalışmalar yapan bu isimler tasarımlarında üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirmeye özgü anlatım dilini kendilerine has yaklaşımlarla geliştirmişlerdir.

3.3.1. Jonathan Keep

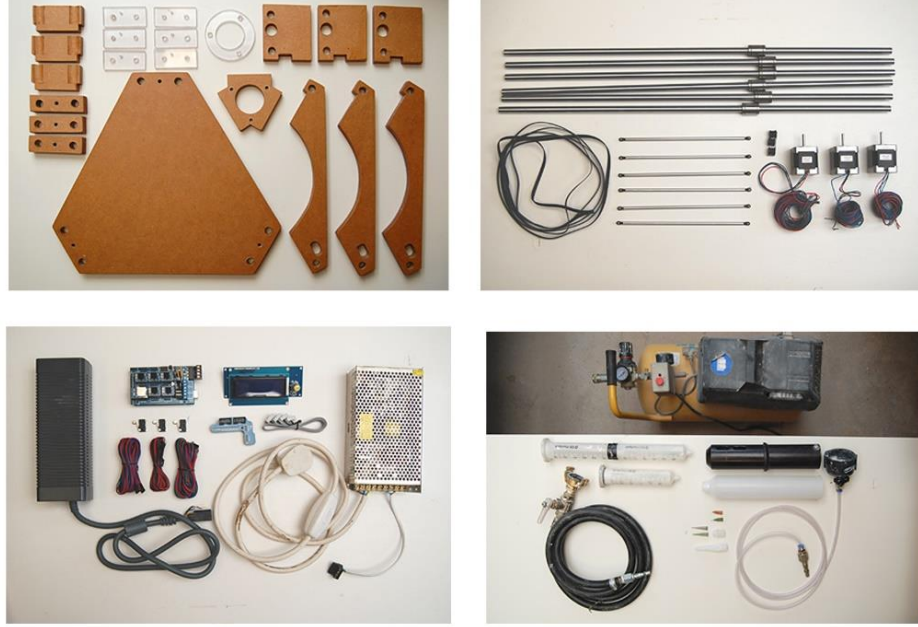
Güney Afrikalı seramik sanatçısı Jonathan Keep Johannesburg'da doğmuştur. Eğitimini Natal University ve Royal College of Art'da tamamlayan Keep, güzel sanatlar geçmişi olmasına rağmen kendisini hem sanatçı hem de zanaatkar olarak tanımlamaktadır (Hoskins, 2013, 63). Jonathan Keep, çanak çömlekçiliğin çağdaş batı sanatında kademeli olarak kabul edilmesini desteklemek için kendisine çömlekçi demeyi tercih ettiğini söylemektedir. 30 yıl öncesinde, yüksek sanat ve diğer kültürel emperyalist tutumların ciddi bir biçimde sorgulandığı Güney Afrika'da, bir sanatçı olarak çalışmaya başlamış olan Keep, çömlekçiliğin evrensel beğeni ve ortak bir görsel dil sunduğuna dikkat çekmektedir.³¹

³¹ <http://www.keep-art.co.uk/recent.htm>
(Erişim Tarihi: 19.11.2018)



Görsel 3.30. *Jonathan Keep, ilk üç boyutlu yazıcı çalışmalarından*
Kaynak: http://www.keep-art.co.uk/Singles/print_06.htm

Jonathan Keep seramik üretilen üç boyutlu yazıcı ile ilk olarak 2011 yılında Belçika Unfold stüdyosunda tanışmıştır. Ancak bilgisayar destekli tasarım programlarını kullanmaya 2002 yılında başlamıştır. 2007 yılında katılmış olduğu dijital seramiklerle ilgili bir sempozyumda Z Corp makinelerle çalışmayı öğrenmiştir. Ancak Z Corp makinelerin pahalı oluşu onu DIY (Do It Yourself-kendin yap) stili evde biçimlendirme yapılabilen üç boyutlu yazıcı modellerine yönlendirmiştir. Unfold stüdyosunun ilk olarak Bits from Bytes Rapman üç boyutlu yazıcısını seramik çamuruyla biçimlendirme yapabilen bir makineye dönüştürmesinden sonra, Jonathan Keep bu buluşu bir adım daha ileriye taşıyarak, JK Delta ismini verdiği üç boyutlu yazıcıyı üretmiştir. Daha sonra bu makinenin nasıl yapılacağı ile ilgili detaylı bilgileri kendi web sitesinde paylaşarak, seramik üç boyutlu yazıcılarla ilgilenen kişilere çok daha ekonomik maliyetle kendi üç boyutlu yazıcılarını yapabilme imkanı sunmuştur (Hoskins, 2013, s. 65-67).



Görsel 3.31. Jonathan Keep'in web sitesinde paylaştığı, üç boyutlu yazıcı parçaları
Kaynak: http://www.keep-art.co.uk/Singles/sound_08.html

Jonathan Keep mekanik ve elektronik bilgisinin yanında, sanatçı yönünü de kullanarak üç boyutlu yazıcı ile birçok seramik eser üretmiş; bu eserler prestijli sergilerde sergilenmiştir. Bu serilerden bir tanesi ilk olarak Aldeburgh müzik festivalinde sergilenen ve 'Sound Surfaces' olarak isimlendirdiği çalışmasıdır. Bu çalışmasında çevremizde var olan kuş ve insan sesleri sanal alanda kodlara dönüştürülmüş ve bu seslerden üç boyutlu ağlar oluşturularak bu seslerin sanal ortamda çömlek şeklinde sunulması sağlanmıştır. Böylece çömlek formunun tabandan ağıza kadar olan yüzeyi, müziğin ritim ve tonlarının görselleştiği bir zaman sürecine dönüşmüştür.³²

³² http://www.keep-art.co.uk/journal_2.html
(Erişim Tarihi: 19.11.2018)



Görsel 3.32. Jonathan Keep, *İnsan sesi ve kuş seslerinin üç boyutlu yazıcı ile şekillendirildiği seramik formlar 2012*

Kaynak: http://www.keep-art.co.uk/Singles/sound_08.html

Morfoloji adını verdiği bir başka serisinde büyüme modellerini referans alan Jonathan Keep, bilgisayar kodları ile doğal süreçleri taklit ederek parametreler oluşturmaktadır. Keep bu çalışmasını şu şekilde açıklamaktadır; “bu tarz bir çalışma nesnel olarak görülebilir, ancak benim aradığım şey, hepimizin hayranlık duyduğu doğanın, soyut ifadesini araştırmaktır. Bu yüzden çalışmalarımda ismi geçen terimlerin morfolojilerini yansıtmaya çalışıyorum”.³³



Görsel 3.33. Jonathan Keep, “Evolving” Morfoloji Serisi

Kaynak: <http://www.keep-art.co.uk/Singles/morph05.html>

³³ http://www.keep-art.co.uk/digital_morph.html
(Erişim Tarihi: 15.11.2018)



Görsel 3.34. Jonathan Keep, “Drop” Morfoloji Serisi
Kaynak: <http://www.keep-art.co.uk/Singles/morph03.html>

Keep, “Iceberg” serisinde doğada var olan rastgele karşılaşılmış dokular ile ilgilenmektedir. Doğal yapılar bilgisayar kodunun taklit edebileceği bir mantığa sahiptir. Bu seride Keep’in buz dağlarından esinlenerek bilgisayar ortamında taklit ettiği buzul dokuları, üç boyutlu yazıcı ile fiziksel formlara dönüştürülmüştür. Üç boyutlu yazıcının katmanları buzul tabakalarını, kullanılan malzemenin porselen olması da buzun yüzeyindeki yarı saydamlığı anımsatmaktadır. Bu şekilde form ve malzeme uyumlu bir bütünlük sunmaktadır.³⁴



Görsel 3.35. Jonathan Keep, “Iceberg” Serisi
Kaynak: <http://www.keep-art.co.uk/Singles/morph03.html>

³⁴ http://www.keep-art.co.uk/digital_icebergs.html
(Erişim Tarihi: 16.11.2018)

3.3.2. John Balistreri

Amerikalı sanatçı John Balistreri 1996 yılından beri Bowling Green State Üniversitesinde Sanat Profesörü olarak görev yapmaktadır. 1995 yılında Ulusal Seramik Eğitimi Konseyi Konferansında (NCECA) yükselen yetenek ödülünü almıştır. John Balistreri sanatçı kimliğinin yanında, makaleleri ve önemli araştırma patentleri olan bir öğretim üyesidir. 2007 yılında asistanı Sebastien Dion ile birlikte patentini aldıkları Z-corp üç boyutlu yazıcılarda kullanılan seramik tozu ve seramik form üretiminin araştırılması konularıyla, bu alanda önemli kilometre taşları olmuştur.³⁵



Görsel 3.36. John Balistreri, “3D Tea Bowl Project”
Kaynak: <http://johnbalistreriartist.com/3d-tea-bowl-project/>

John Balistreri’nin erken dönem eserlerinde odun pişirimi tekniğini kullandığı görülmektedir. Balistreri, eserlerini şu şekilde açıklamaktadır; “Endüstriyel objelere ek olarak, içeriği ve doğayı doğrudan yansıtan parçalar üretmekteyim. Bu formlar, odun

³⁵ <https://belgerarts.org/john-balistreri>
(Erişim Tarihi: 20.11.2018)

fırının şiddetli ve dönüştürücü sürecine de maruz kalan hem biyolojik hem de jeolojik öğeleri içermektedir”.³⁶

3.3.3 Michael Eden

İngiliz sanatçı Michael Eden’in 20 yılı aşkın bir çömlekçilik geçmişinden sonra, 2006 yılındaki Royal College of Art’daki iki yıllık MPhil deneyimi, sanatçının dijital teknoloji ile tanışıp bu yönde ilerlemesinin önünü açmış, bu teknolojik yaklaşımlar ile daha önceki deneyimlerini birleştirerek ilerlemiştir (Hoskins, 2013, 73). Bu sayede el ve dijital araçlar arasındaki ilişkiyi araştırarak, özellikle seramikle oluşturulmuş üç boyutlu nesneyle elde edilen bilginin, dijital teknoloji ile yapılan uygulamaları nasıl etkileyebileceği üzerine çalışmıştır.³⁷ Aynı zamanda, dijital ayrımı birbirine bağlayan eşsiz bir kuşağın üyesi olarak, kişisel bilgisayarın icadının öncesi ve sonrasındaki yaşamı karşılaştırıp aralarında kıyaslama yapılabileceğine inanmaktadır.³⁸



Görsel 3.37. Michael Eden “The Wedgwoodn't Tureen”, SLS yöntemi kompozit malzeme
Kaynak: <http://www.michael-eden.com/2008-2010/r95scvt1lt7yff4n4x7kc3umnk7cwa>

³⁶ <https://www.bgsu.edu/arts-and-sciences/school-of-art/faculty-staff/john-balistreri.html>
(Erişim Tarihi: 20.11.2018)

³⁷ <http://www.michael-eden.com/about/>
(Erişim tarihi: 20.11.2018)

³⁸ <http://www.michael-eden.com/about/>
(Erişim Tarihi: 20.11.2018)

Michael Eden, Josiah Wedgwood tarafından 17. Yy'da İngiltere'de üretilen eşsiz seramik formları üç boyutlu çizim programları ve üç boyutlu yazıcıların vermiş olduğu imkanlarla yeniden yorumlamaktadır. Bu formları, geleneksel seramik teknikleri kullanılarak üretilmesi imkansız olan formlara dönüştürmede üç boyutlu yazıcıyı kullanarak yeni bir akım yaratmıştır.³⁹



Görsel 3.38. Michael Eden “A Rebours”, SLS yöntemi, Naylon

Kaynak: <http://www.michael-eden.com/2008-2010/taa3egfzdrwhmqc4l6v997tbno8s4v>

Eden ‘The Wedgewoodn’t’ isimli serisinde üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme malzemesi olarak alçı tozu kullanmıştır. Seramik olmayan bünyeye seramik kaplama malzemesi püskürterek seramik görünüm kazandırmıştır. ‘A Rebours’ isimli eserinde ise hammadde olarak naylon kullanmıştır. Yine diğer çalışmasında olduğu gibi seramik görünümlü hale getirdiği bu eserinde Eden, Londra’da Wallace koleksiyonunda bulunan kapaklı Sevre porselen vazosundan etkilenmiştir. Bu eserini şu şekilde açıklamaktadır; “Bu parçayı yeniden yorumlamamdaki amacım, Sevre tarihine ve zamanın Fransız toplumunda seramik parçaların oynadığı role dikkat çekmektir”.⁴⁰

³⁹ <https://www.thebowesmuseum.org.uk/About-Us/News/Detail/ArtMID/3381/ArticleID/247/MICHAEL-EDEN-WEDGWOOD-AND-WOULDN%E2%80%99T>

(Erişim Tarihi: 20.11.2018)

⁴⁰ <http://www.michael-eden.com/2008-2010/taa3egfzdrwhmqc4l6v997tbno8s4v>

(Erişim Tarihi: 20.11.2018)

Michael Eden'in toz bazlı SLS üç boyutlu yazıcı ile naylon ve alçı bazlı kompozit malzemelerle yapmış olduğu eserleri, birçok sanat müzesi ve koleksiyoner tarafından satın alınmış ve uluslararası sergilerde sergilenmiştir.

3.3.4 Bryan Czibesz

New York State Üniversitesinde öğretim üyesi olan Amerikalı seramik sanatçısı Bryan Czibesz, Humboldt State Üniversitesinde lisansını, San Diego State Üniversitesinde ise lisansüstü eğitimini tamamlamıştır. Kendisini el ve malzeme arasındaki manipülasyonu bozma ve değişen derecelerde özgünlük ile ilgili sorular soran formlar üretme geleneğine sahip bir sanatçı olarak tanımlamaktadır.⁴¹



Görsel 3.39. Bryan Czibesz ve Shawn Spangler “R/Charting” Projesi kapsamında John Young Müzesinden seçilen üç obje

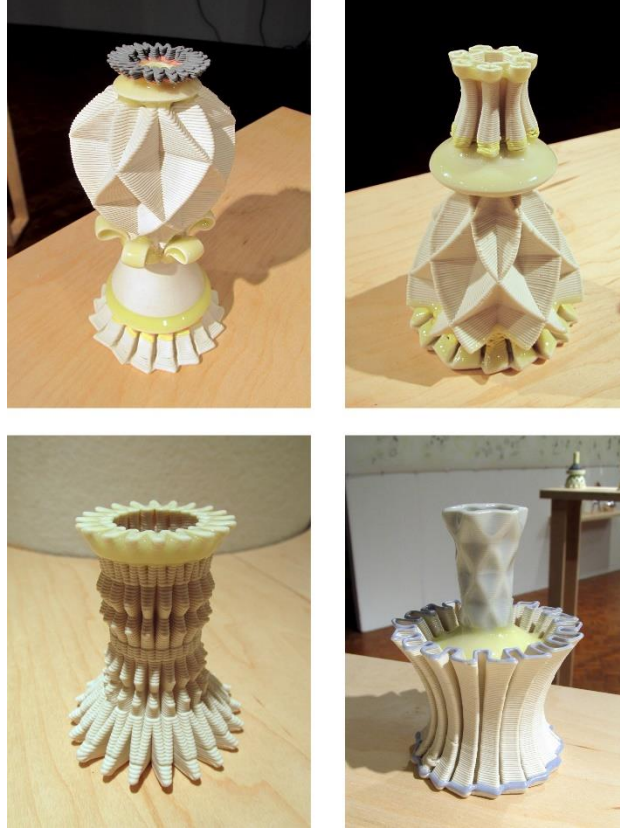
Kaynak:

http://www.bryanczibesz.com/Portfolio/Pages/Re___Charting_files/Media/IMG_4894/IMG_4894.jpg?disposition=download

Bryan Czibesz ve bir başka Amerikalı seramik sanatçısı Shawn Spangler, 2014 yazında Honolulu Hawai Üniversitesi'nde davetli sanatçı olarak katıldıkları ve ortaklaşa planladıkları “R/Charting” projesi kapsamında bir sergi oluşturmuşlardır. Bu sergi elle şekillendirme yöntemiyle yapılmış formların dijital teknolojiler ile yeniden üretilmesini

⁴¹ <http://www.bryanczibesz.com/Bio.html>
(Erişim Tarihi: 23.11.2018)

ve eski ile yeni şekillendirme yöntemleri arasındaki farklılıkları ve benzerlikleri keşfetmeyi amaçlamaktadır.⁴²



Görsel 3.40. Bryan Czibesz ve Shawn Spangler “R/Charting” Projesi
Üç boyutlu seramik yazıcıyla biçimlendirilmiş formlar
Kaynak: http://www.bryanczibesz.com/Portfolio/Pages/Re___Charting.html#15

Czibesz yapmış oldukları çalışmayı şu şekilde açıklamaktadır; “Çıkış noktamız John Young Müzesinden seçilen üç objeydi. Bu üç obje dijital olarak tarandı ve proje için oluşturduğum ekstrüzyon tabanlı seramik çamuruyla biçimlendirme yapabilen bir üç boyutlu yazıcı kullanılarak, dijital süreçlerin izin verdiği ölçüde çeşitli şekillerde yeniden üretildi. Tüm dijital modeller aynı zamanda CNC makinesinde poliüretan malzemeden tekrar şekillendirildi ve yüzeyleri krom-gümüş kaplandı”.⁴³

⁴² http://www.bryanczibesz.com/Portfolio/Pages/Re___Charting.html
(Erişim Tarihi: 23.11.2018)

⁴³ http://www.bryanczibesz.com/Portfolio/Pages/Re___Charting.html
(Erişim Tarihi: 23.11.2018)



Görsel 3.41. Bryan Czibesz ve Shawn Spangler “R/Charting” Projesi CNC ile şekillendirilip krom-gümüş ile kaplanan poliüretan malzemeden objeler.

Kaynak:

http://www.bryanczibesz.com/Portfolio/Pages/Re___Charting_files/Media/IMG_9172/IMG_9172.jpg?disposition=download

Bryan Czibesz son dönemde seramik çamuruyla biçimlendirme yapabilen kendi üç boyutlu yazıcısını yapmasıyla birlikte birçok eser üretmeye başlamıştır. Bunlardan bazıları Macaristan Budapeşte ve Kiskunfelegyhaza’da fotometrik dijital taramalardan elde ettiği modellerle üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirmeyi birlikte kullandığı eserlerdir. Bu eserinde Czibesz, 20. yy’ın ortalarında ki diasporada kaybolan bir aile öyküsünden etkilenmiş ve bu öyküyü üç boyutlu sanat eserlerine dönüştürmeyi amaçlamıştır.⁴⁴



Görsel 3.42. Bryan Czibesz “Bazı protez hikayeler” fotometrik tarama ve FDM yazıcılarda üç boyutlu şekillendirme

Kaynak: http://www.bryanczibesz.com/Portfolio/Pages/Some_Prosthetic_Histories.html#grid

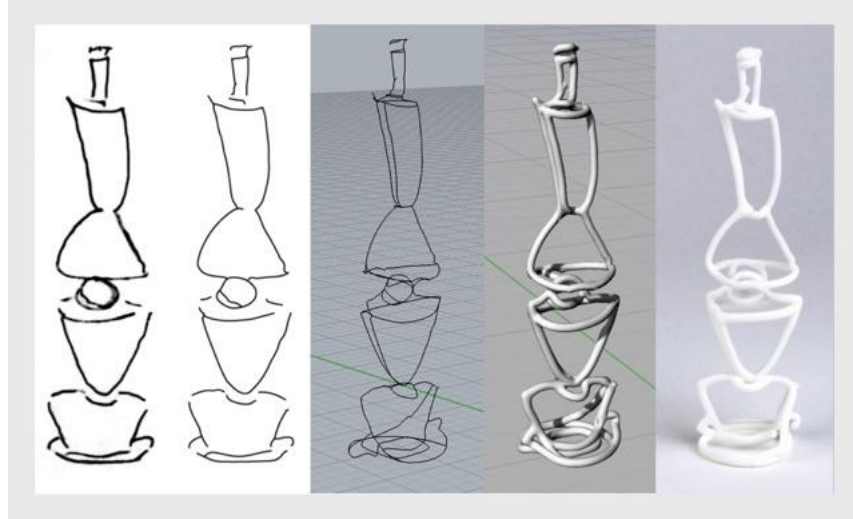
⁴⁴ http://www.bryanczibesz.com/Portfolio/Pages/Some_Prosthetic_Histories.html
(Erişim Tarihi: 23.11.2018)



Görsel 3.43. Bryan Czipesz “Bazı protez hikayeler” fotometrik tarama ve FDM yazıcılarda üç boyutlu şekillendirme

Kaynak: http://www.bryanczipesz.com/Portfolio/Pages/Some_Prosthetic_Histories.html#grid

Akademisyen sanatçı olan Czipesz’in üç boyutlu yazıcı kullanmadan önceki çalışmaları incelendiğinde seramiği, metal ve plastik gibi farklı malzemelerle birlikte kullandığı görülmektedir. Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirmeyi keşfetmeden önce SLA üç boyutlu yazıcısı ile plastik ürün aldığı çalışmaları da vardır.



Görsel 3.44. Bryan Czipesz “Precis” çizim aşamasından üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirmeye geçiş aşamaları

Kaynak: <http://www.bryanczipesz.com/Portfolio/Pages/Precis.html>

Kağıt üzerinde yapmış olduğu skeç çizimlerini bilgisayar ortamına aktararak üç boyutlu katı modellere dönüştüren sanatçı, SLS üç boyutlu yazıcılar ile plastik ürünler de almaktadır.

3.3.5. Olivier Van Herpt

Eindhoven Tasarım Akademisi endüstriyel tasarım bölümü mezunu olan 1989 doğumlu Hollandalı tasarımcı Olivier Van Herpt, kendi tasarladığı seramik çamurunu kullanarak üç boyutlu yazıcı ile fonksiyonel seramik formlar üretmektedir. Olivier Van Herpt'i bu alanda öne çıkaran en önemli özelliği büyük boyutlu ürünler alabildiği üç boyutlu yazıcıyı kendisinin yapmış olması ve bu makine ile formlar üzerinde çok farklı doğal dokular elde etmesidir.



Görsel 3.45. Olivier Van Herpt tarafından tasarlanan üç boyutlu yazıcı
Kaynak: <http://oliviervanherpt.com/cos/>

Olivier Van Herpt ve Sander Vassink'in 2014 yılında ortaklaşa başlattıkları "Adaptive Manufacturing" projesinin amacı, gelişen teknoloji ile birlikte makinelerle üretimin, zanaatkarların yerini almasının insanın ve yerel etkilerin tüm izlerini ortadan kaldırdığı sorununu sorgulamak ve bu soruna öneriler getirmektir. Makineler duyguya sahip olur, yerel ortamı sezebilir ve üretim sürecine dahil olursa ne olur? Sorusu araştırmalarının temelini oluşturmaktadır. İki sanatçı bu soruya cevap ararken, çevrede

var olan şekilleri ve dokuları tasarlamaya karar vermişlerdir. Çevrede var olan dokuları çevreyi hissedenden sensörler ve özel yazılımlar aracılığıyla üç boyutlu formlar üzerine doku olarak aktarabilmeyi başarmışlardır.⁴⁵



Görsel 3.46. Olivier Van Herpt, “Adaptive Manufacturing Projesi”
Kaynak: <http://oliviervanherpt.com/adaptive-manufacturing/>



Görsel 3.47. Olivier Van Herpt, “Adaptive Manufacturing Projesi”
Kaynak: <http://oliviervanherpt.com/adaptive-manufacturing/>

⁴⁵ <http://oliviervanherpt.com/adaptive-manufacturing/>
(Erişim Tarihi: 23.11.2018)

Makinelerin tek başlarına hiçbir şey yapamayacakları fikri, bu çalışmanın hareket noktasıdır. Çalışma sonunda, tasarımcının rolünün kullanılan yazılım sayesinde bizi çevreleyen şekil ve dokuların hangilerinin seçileceğini belirlemek olduğu sonucuna varılmıştır.⁴⁶



Görsel 3.48. Olivier Van Herpt ve Ricky Van Broekhoven, “Solid Vibrations Projesi”

Kaynak: <http://oliviervanherpt.com/solid-vibrations/>

Bir diğer projesinde Olivier Van Herpt ses uzmanı olan Ricky Van Broekhoven ile birlikte çalışmıştır. Van Herp, üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme esnasında makinede oluşan bir titreşimi başlangıçta hata olarak görmüş, sonrasında bu titreşimi nasıl kontrollü bir şekilde kullanabileceğini, ses konusunda uzman olan Van Broekhoven ile paylaşmış ve sonucunda bu proje ortaya çıkmıştır. Bu projede üç boyutlu yazıcının tabanına konulan bir hoparlör sayesinde oluşturulan titreşimler, seramik formların yüzeyinde farklı doğal dokular oluşturmuştur.⁴⁷

⁴⁶ <http://oliviervanherpt.com/adaptive-manufacturing/>
(Erişim Tarihi: 23.11.2018)

⁴⁷ <http://oliviervanherpt.com/solid-vibrations/>
(Erişim Tarihi: 23.11.2018)

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. KİŞİSEL UYGULAMALAR

Bu tez çalışması, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir. Öncelikle bu tez projesi kapsamında yapılan araştırmalar sonucunda, seramik çamuruyla biçimlendirme yapabilen üç boyutlu yazıcıların kullanıldığı yurtiçi ve yurtdışında bulunan ve bu alana katkısı olan önemli merkezler tespit edilmiştir. Buna göre Belçika Antwerp şehrinde bulunan “Unfold” Stüdyo, Hollanda “Vorm Vrij” Stüdyo, Amerika Omaha şehrindeki “Tethon 3D” Stüdyo, İngiltere’de Jonathan Keep’in Atölyesi, yine İngiltere Bristol West England Üniversitesi bünyesindeki Profesör Stephen Hoskins’in yöneticiliğini yaptığı Centre for Fine Print Research araştırma merkezi, seramik malzeme ile üç boyutlu yazıcıda çamurla biçimlendirme araştırmaları yapan önemli merkezlerdir. Proje kapsamında yerinde inceleme ve uygulama yapmak üzere bu merkezlerden iki tanesi belirlenmiş ve teknik geziler gerçekleştirilmiştir.

Bu araştırma amaçlı gezilerin ilki, Unfold Stüdyosuna gerçekleştirilmiştir. Unfold Belçika’nın Antwerp şehrinde üç boyutlu yazıcılar ve tasarım üzerine araştırmalar yapan, devlet destekli proje ile kurulmuş bir şirkettir. Unfold Stüdyosunu seramik üç boyutlu yazıcılar açısından öne çıkaran özelliği, 2009 yılında PLA biçimlendirme yapan FDM Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcıyı, seramik çamuruyla biçimlendirme yapabilen hale dönüştürmüş olmasıdır. Seramik sanatında geleneksel bir şekillendirme yöntemi olan sucuk yöntemiyle şekillendirme prensibine benzer bir mantıkla, hava basıncı yardımıyla bir tüp içerisinden çamuru ittiren ekstrüzyon sistemini, FDM tipi bir üç boyutlu yazıcıya adapte etmişlerdir. Bu sayede başlıktan (nozzle) çamurun enjekte edilmesi sağlanmış, bilgisayar ortamında çizilen modelin çizimde belirtilen koordinatlarına göre katmanlar halinde çamurun üst üste gelmesiyle ilk seramik obje üretilmiştir. Unfold Stüdyo bu açıdan seramik çamuruyla biçimlendirme yapabilen üç boyutlu yazıcılar alanında önemli yere sahiptir.

Planlanan bir diğer araştırma gezisi için, tasarım ve uygulama destek eğitimi almak üzere toz bağlama ve steryolitografi yöntemlerinin geliştirilmesi konusunda araştırma yapan Amerika Omaha’daki Tethon 3D Stüdyosu tercih edilmiştir. Bu stüdyo özellikle toz bağlama ve steryolitografi yöntemlerinde kullanılmak üzere geliştirdikleri malzemelerle bu alana katkı sağlamaktadır. Tethon 3D, steryolitografi yönteminde

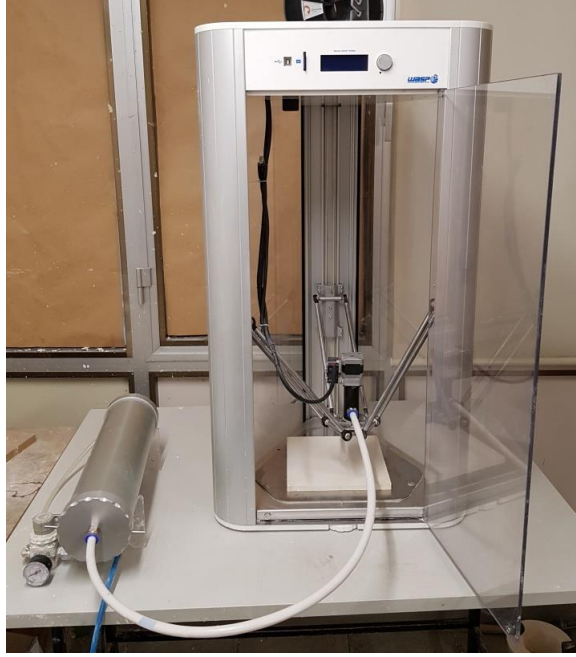
kullanılmak üzere Porcelite ismini verdikleri, pişirildikten sonra porselene dönüşen özel bir reçine geliştirmesi ile ön plana çıkmaktadır.

Araştırma kapsamında 2015 yılı Ağustos ayında Belçika Unfold Stüdyo ve 2016 yılı Mayıs ayında Amerika Omaha şehrindeki Tethon 3D Stüdyolarında, seramik üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme konusunda inceleme ve eğitim amaçlı uygulamalar yapılmıştır. Bu eğitimlerde seramik malzeme ile biçimlendirme yapabilen farklı üç boyutlu yazıcılarla çalışma fırsatı bulunmuştur. Yapılan bu yerinde inceleme ve araştırmalar ile elde edilen deneyimler sonucunda, tez uygulama çalışmaları için daha önceden temin edilmesi planlanan üç boyutlu yazıcının hangisi olacağına karar verilmiştir. Bu karar aşamasında üç boyutlu yazıcıda kullanılacak olan malzemenin teminin kolay ve maliyetinin düşük olması gibi faktörler göz önünde bulundurularak, FDM Delta tipi bir üç boyutlu yazıcının satın alınması uygun bulunmuştur. FDM tipi üç boyutlu yazıcı, kullanılacak olan malzemenin, seramik alanında yaygın olarak kullanılan, temini kolay ve düşük maliyetli plastik seramik çamuru olması, bu makinenin proje sonrasında bir şirkete ya da bir kuruma hammadde açısından bağımlı kalınmadan kullanılabilmesi için tercih edilmiştir. FDM tipi üç boyutlu yazıcılar arasında yapılan araştırmalar sonucunda seramik çamuruyla biçimlendirme için delta tipi üç boyutlu yazıcıların, kartezyen tipi üç boyutlu yazıcılara göre daha uygun olduğuna karar verilmiş ve proje kapsamında Delta Wasp üç boyutlu yazıcı alınmıştır. Delta Wasp marka üç boyutlu yazıcısı hem seramik çamuru hem de plastik malzemelerle biçimlendirme yapabilme özelliklerine sahip olup, İtalyan Wasp şirketi tarafından geliştirilmiştir. Bu makine 20 cm. çapında, 40 cm. yüksekliğinde biçimlendirme kapasitesine sahiptir.

4.1. Kişisel Uygulamalarda Kullanılan Teknik: Üç Boyutlu Yazıcıyla Deneyimlenen Üretim Süreci

Bu tez çalışmasındaki uygulamalarda kullanılan Delta Wasp üç boyutlu yazıcısının seramik çamuruyla biçimlendirme için özel üretilmiş bir kiti bulunmaktadır. Bu kit içerisinde çamur tankı, ekstruder ve hava basıncını ayarlayan bir basınçölçer bulunmaktadır. Bu tür yazıcıların çalışması için, hava basıncını sağlayan kompresör gereklidir. Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü olanakları

kullanılarak, tezdeki uygulama çalışmaları için gerekli uygun koşullar sağlanmış ve uygulama çalışmalarına başlanmıştır.

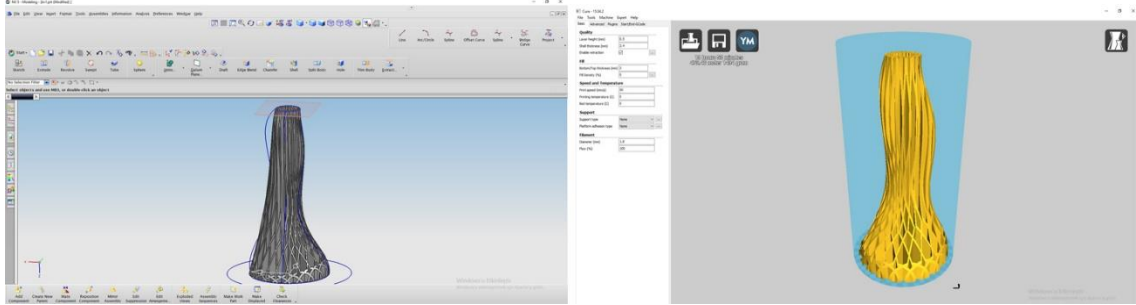


Görsel 4.1. Delta Wasp Üç boyutlu yazıcı
Kaynak: Emre Can fotoğraf arşivi

Bu tez projesi kapsamında yapılacak olan uygulama çalışmalarına başlanmadan önce, seramik çamuruyla biçimlendirme için, üç boyutlu yazıcının sınırlılıkları tespit edilmiştir. Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemi, çalışma prensiplerine göre her yazıcıda farklılık göstermekte, bu farklılıklar ise kullanıcıya bazı sınırlayıcılar getirmektedir. FDM tipi üç boyutlu yazıcılar malzeme yığma prensibine göre çalıştığından, her katmanın dikey ekseninde bir alt katmanın üzerine eklenmesi gerekmektedir. Bu nedenle tasarımlar oluşturulurken, yatayda dik açılı boşluklar oluşmaması gerekmektedir. Ayrıca seramik çamurunun yaş bir yapıya sahip olması, şekillendirme esnasında formun mukavemetini geç kazanmasına neden olmakta, bu da üretim sürecinde göz önünde bulundurulması gereken bir sınırlayıcı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu başlık altında genel anlamda seramik üretim sürecinde üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirmede karşılaşılan sorunlar ve dikkat edilmesi gereken durumlarla ilgili teknik deneyimler paylaşılmıştır.

Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme için, öncelikle şekillendirilmesi düşünülen tasarımın bilgisayar destekli üç boyutlu çizim programlarında modellenmesi gerekmektedir. Bilgisayar ortamında çizilen model, üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme

için gerekli olan katmanlara ayrılabilmesi için STL formatında kaydedilmektedir. Bu formatta kaydedilen dosya, Cura gibi dilimleme programlarında üç boyutlu yazıcının okuyabileceği katmanlar şeklinde kodlanan g-code dosyalarına dönüştürülmektedir



Görsel 4.2. NX programında
çizilen modelin Cura programında G-code formatına dönüştürülmesi
Kaynak: Emre Can fotoğraf arşivi

Uygulama çalışmalarında, plastik limoges porselen ve beyaz plastik çamur olmak üzere iki farklı tür çamur kullanılmıştır. Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme sürecinin en önemli aşamalarından biri çamur hazırlama işlemidir. Tankın içerisine doldurulacak olan çamurun kıvamının, yazıcıyla biçimlendirme yapılabilecek ve tanktan ekstrudere hava basıncı yardımı ile ittirilebilecek kıvamda olması gerekmektedir. Ayrıca çamurun hava boşluğu kalmadan tanka doldurulması önemlidir. Eğer tank içerisinde hava boşluğu kalırsa biçimlendirme sırasında hatalara neden olacaktır.



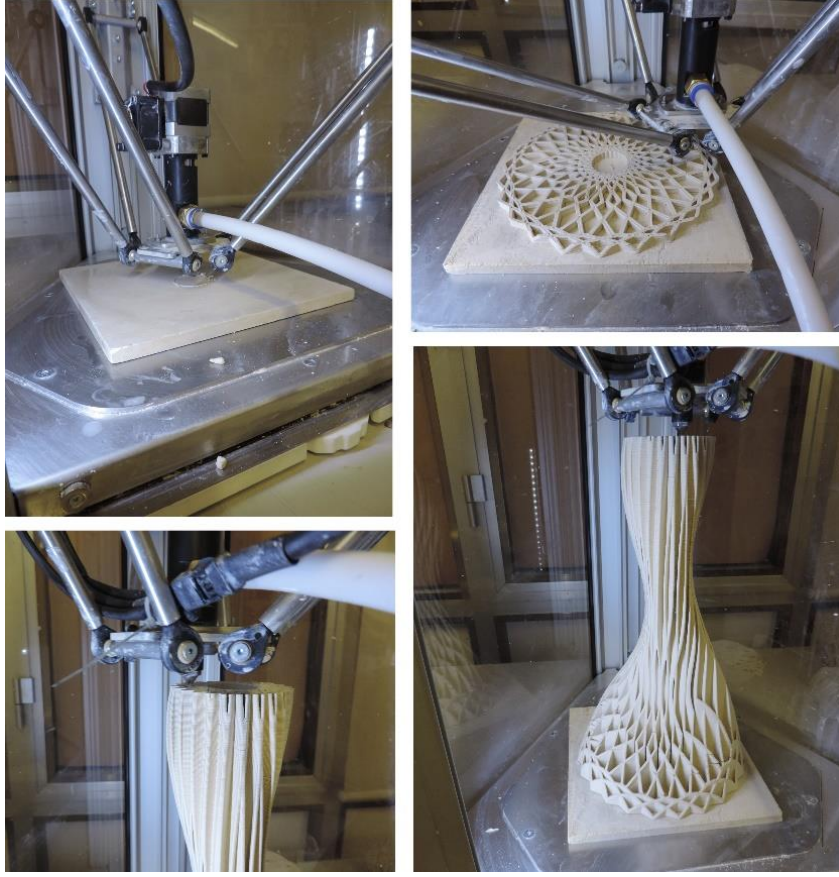
Görsel 4.3. Çamur hazırlama aşaması
Kaynak: Emre Can fotoğraf arşivi

İlk aşamada makine çalıştırılmadan önce kalibrasyon ayarları yapılır. Kalibrasyon ayarı başlık (nozzle) ile üç boyutlu yazıcının zemin tablası arasındaki mesafenin, tablanın her noktasında eşit olması işlemidir. Daha çok ABS ya da PLA biçimlendirmelerde hassas bir ayar gerektiren kalibrasyon işlemi, seramik malzeme için daha toleranslıdır.

Bilgisayarda g-code formatına dönüştürülen model dosyası, kalibrasyon ayarı yapılmış üç boyutlu yazıcıya aktarılarak, makine çalıştırılır. Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme süreci başlıktan çıkan çamurun, formun yapısına uygun hareketlerle üst üste eklenmesiyle devam etmektedir. Bu süreçte yazıcının yakından takip edilmesi gerekmektedir. En başta test edilmesi gereken çamurun kıvamı ve hava basıncının uygunluğudur. Yapılan uygulama sürecinde çamur tankında basınç azalması, çamurun akışındaki kıvam değişikliği gibi kontrol ve müdahale edilmesi gereken sorunlarla karşılaşmıştır.

Yazıcının katmanlar halinde çamuru eklemesiyle şekillenen form, biçimlendirme hızına paralel olarak yükselmeye devam eder. Biçimlendirme süresi bu hıza ve formun doluluk oranına bağlı olarak değişmektedir. Doluluk oranı arttıkça, hem kullanılan malzeme miktarı, hem de biçimlendirme süresi artmaktadır. Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme işleminde tanktaki hava basıncı yaklaşık 4 bar olmalıdır. Bu farklı makinelerde tankın büyüklüğüne ve kullanılan çamurun türüne göre değişiklik gösterebilir.

Görsel 4.4'deki 34 cm. yüksekliğindeki formun şekillendirilmesi 15 saat sürmüştür. Biçimlendirme işlemi bittikten sonra form biçimlendirme tablasından alınmış ve geleneksel şekillendirme yöntemleriyle aynı süreç izlenerek, kurutma bisküvi pişirimi ve sırlı pişirim süreçleri takip edilmiştir.



Görsel 4.4. Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme aşamaları
Kaynak: Emre Can fotoğraf arşivi

4.2. Kişisel Uygulamalarda Kullanılan Sanatsal İfadeler: Eserlerin Kavramsal Alt Yapısı

Bu tezde eserler üç farklı konuda temellendirilmiştir. Her seride ortaya konulmak istenen ifadeler farklıdır. Eserlerde esin kaynağı olarak kültürümüze ait izler, sosyolojik güncel konular, doğa ve insan kavramları ele alınmıştır. Bu kavramlar eserlerde teknolojik gelişmelerle de ilişkilendirilmektedir.

Eserlerin kavramsal açıklamalarına ait bilgiler alt başlıklarda ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Bu eserler üç farklı seriden oluşmaktadır. “Selçuklu Serisi”, geleneksel bir motif olan Selçuklu yıldızının, modern teknoloji ile yeniden yorumlanmasına dayanırken, “Doğanın Gücü Serisi” doğa, insan, seramik kavramlarının ilişkilendirilmesi üzerinden ele alınmıştır. “Ortadoğu Serisi”nde ise; güncel toplumsal, ekonomik ve siyasi sorunlar ile bunların sonuçları üzerinden bir anlatım yapılmıştır.

4.3. Selçuklu Serisi

Bu seride yapılan çalışmalar, 11. ve 14. yy'lar arasında Orta Asya, Ortadoğu ve Anadolu'da egemen olan Selçuklulara ait geleneksel bir motif olan Selçuklu yıldızı temel alınarak yapılmıştır. Bu çalışmalar, geleneksel bir motifin üç boyutlu yazıcılar ile birlikte modern yorumudur. Selçuklular döneminde daha çok rölyef ve mozaik gibi dekor yöntemleriyle, iki boyutlu olarak kullanılan bu motif, bu seride üç boyutlu formlara dönüştürülmüştür. Bu seri, geleneksel bir motifin modern bir teknolojiyle yeniden yorumlanmasıdır. Üç boyutlu yazıcı teknolojisinin vermiş olduğu imkanlar sayesinde formlar, içi dolu olarak üretilebilmektedir. Selçuklu yıldızının yeniden yorumlanmasında bilgisayar ortamında içi dolu formlar tasarlanmıştır. Daha sonra bu tasarımlar, bilgisayar ortamında kase, vazo ve serbest formlar olmak üzere farklı üç boyutlu sanatsal objelere dönüştürülmüştür.



Görsel 4.5. 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 fotoğraf arşivi



Görsel 4.6. Emre Can, “Selçuklu serisi”, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, kase, 1160°C, 12 x 18 x 18 cm., kobalt oksit katkılı renkli plastik seramik çamuru
Kaynak: Emre Can fotoğraf arşivi

“Selçuklu Serisi”, teknik açıdan incelendiğinde; üç boyutlu çizim programında hazırlanan modelin hiçbir müdahale olmadan üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirilen bir seri olduğu söylenebilir. Bu seride tasarımı yapılan formun bilgisayar ortamında modellendiği haliyle üç boyutlu yazıcıda biçimlendirilmesi beklenmiştir. Bu formlar sonrasında da hiçbir müdahale olmaksızın pişirilmiştir.



Görsel 4.7. Emre Can, “Selçuklu serisi”, serbest form, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 1160°C, 36 x 38 x 18 cm., plastik seramik çamuru
Kaynak: Emre Can fotoğraf arşiv

Ancak bu serinin bazı formlarında üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme sonrasında el ve bazı aletler ile yüzeylerde deformasyonlar yapılarak farklı dokusal etkiler de elde edilmiştir.



Görsel 4.8. Emre Can, “Selçuklu serisi”, serbest form, üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 1230°C, 30x 34 x 23 cm., plastik porselen çamuru
Kaynak: Emre Can fotoğraf arşivi



Görsel 4.9. Emre Can, “Selçuklu serisi”, üçlü vazo, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 1230°C, 33 x 35 x 22 cm., plastik porselen çamuru
Kaynak: Emre Can fotoğraf arşivi



Görsel 4.10. Emre Can, “Selçuklu serisi”, vazo, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 1160°C, 36 x 38 x 18 cm., plastik seramik çamuru kobalt oksit katkılı renkli astar
Kaynak: Emre Can fotoğraf arşivi

4.4. Doğanın Gücü Serisi

Doğa, yaşamı ve canlılıkları barındıran bir olgudur. İnsanoğlu var olduğu günden bu yana, onu çevreleyen doğa ile etkileşim halindedir. İnsanoğlunun değiştirmedığı her şey aslında doğanın bir parçasıyken, insanoğlunun çabasıyla ve dokunuşuyla yapılan her şey yapay olarak adlandırılmaktadır. Seramik, insanoğlunun ilk yıllarından beri kullandığı bir malzemedir. Doğa, insan ve seramiğin böylesine yakın birlikteliği, bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Seramiğin ilk kullanıldığı zamanlardan bu güne farklı şekillendirme yöntemleri geliştirilmiştir. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte seramik, günümüzde bu tez araştırmasının konusu olan üç boyulu yazıcılarla şekillendirilmeye başlanmıştır. Bu serinin çıkış noktası doğa, insan, seramik ve teknolojinin birlikteliğidir. İnsanoğlunun yapmış olduğu her şey doğada bir gün yok olacaktır. Doğanın gücü insanoğluna her zaman üstün gelecektir.

Bu seride teknoloji kullanılarak üretilen bir objenin mükemmelliği ve hatasız olması ile doğanın bu mükemmellik karşısındaki üstünlüğü tartışılmaktadır. İnsan veya bir makine tarafından üretilen her şey hiçbir müdahale, bakım ve kontrol yapılmaksızın doğaya bırakıldığında doğanın istediği doğrultuda dönüştüğü görülmektedir. Doğanın gücü serisinde, doğa, insan, seramik ve teknolojinin birlikteliğiyle doğal ve yapay süreçlerden elde edilen organik ve yapay dokuların, sanatsal ifadeye nasıl bir katkı sağladığı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu teknolojinin doğal sürecindeki bozulmalar kontrollü bir şekilde kullanılarak formlar oluşturulmuştur.



Görsel 4.11. Emre Can, “Doğanın Gücü serisi”, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 1160°C, 33 x 18 x 19 cm., plastik seramik çamuru kobalt oksit katkılı renkli astar
Kaynak: Emre Can fotoğraf arşivi

“Doğanın Gücü Serisi”, teknik olarak üç boyutlu yazıcıdan kaynaklanan bazı hataların, kontrollü bozulmalara dönüştürülmesiyle şekillendirilen formlardan oluşmuştur. Bu seride şekillendirme sürecinde belli bir aşamaya gelindikten sonra, süreç ile ilgili hiçbir dokunuş ve kontrol yapılmadan makinenin şekillendirmeyi doğal sürecinde tamamlaması beklenmiştir. Bu süreçte, çamur tankında basınç azalması, çamurun akışındaki kıvam değişikliği gibi kontrol ve müdahale edilmesi gereken

sorunlar, bilinçli olarak göz ardı edilmiştir. Süreç tamamlandıktan sonra makinenin doğal şekillendirme sürecinde oldukça organik, mekanik olmayan tesadüfi dokular ortaya çıkardığı gözlemlenmiştir. Deneyimlenen bu süreç sonrasında organik dokular, formlar üzerinde bilinçli ve daha kontrollü bir şekilde uygulanarak, yüzey üzerinde farklı etkiler elde edilmiştir.



Görsel 4.12. Emre Can, “Doğanın Gücü serisi”, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 1160°C, 29 x 19 x 19 – 37 x 19 x 19 cm., plastik seramik çamuru
Kaynak: Emre Can fotoğraf arşivi

Görsel 4.13’deki formun şekillendirilmesi sırasında formun belirli bir yüksekliğe geldikten sonra üç boyutlu yazıcının başlığı yukarı çekilerek formun oluşturulmasında kontrollü bozulmalar elde edilmiş, bu işlem birkaç kez tekrarlanarak, yüzeyde formun bütününden farklı sarmal dokular oluşması sağlanmıştır.



Görsel 4.13. Emre Can, “Doğanın Gücü serisi”, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 1000°C, Raku Pişirimi, 20 x 9 x 9 cm., plastik seramik çamuru
Kaynak: Emre Can fotoğraf arşivi



Görsel 4.14. Emre Can, “Doğanın Gücü serisi”, üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme, 1160°C, 32 x 19 x 19 cm., plastik seramik çamuru kobalt oksit katkılı renkli astar
Kaynak: Emre Can fotoğraf arşivi

4.4. Ortadoğu Serisi

“Ortadoğu Serisi” teknik açıdan incelendiğinde; bu seri formların üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme işleminden sonra elle müdahale ile birlikte farklı yüzey dokuları ve boşluklar elde edilmesi süreci olarak tanımlanabilir. Bu seride üç boyutlu yazıcı ile basılan formlar içi dolu olarak modellenmiş ve sonrasında elle yüzeyler üzerinde kırmalar yapılarak iç dokular ortaya çıkartılmıştır. El ile yapılabilmesi zor olan bu içi dolu formlar, üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme teknolojisinin vermiş olduğu imkanla kafes örgü sistemiyle şekillendirilmiş ve elle yapılan kırmalar ile iç yapının görünürlüğü sağlanmış ve böylece elde edilen dokular sanatsal ifade biçimine dönüştürülmüştür.



Görsel 4.15. Emre Can, “Ortadoğu serisi”, üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 1160°C
33 x 35 x 22 cm., plastik porselen çamuru
Kaynak: Emre Can fotoğraf arşivi

İnsan hafızası, yaşanan ya da maruz kalınan olumlu, olumsuz her şeyin zihinde saklanabilmesi gücü olarak tanımlanabilir. İnsanın yaşamış olduğu bireysel mutluluklar, üzüntüler insan hafızasında yer etmektedir. Toplumsal hafıza ise yaşanan ekonomik sosyal ve siyasi yaşamışlıkların insan hafızasında oluşturduğu olumlu ya da olumsuz etkilerdir. Yaşadığımız coğrafya gereği, Ortadoğu’da yaşanan gelişmeler ve bu bölgede

yaşanan savaşların toplum olarak bizlerin hafızasında kapladığı yer oldukça fazladır. Bu bölgede yaşayan insanların maruz kaldığı sosyolojik, siyasi ve ekonomik etkilerin, yaşanan savaşların orada yaşayan insanların belleklerinde bıraktıkları izler, Ortadoğu serisinin alt metnini oluşturmaktadır. Günlük yaşama ait formların da esin kaynağı olduğu bu seride, mavi renk kullanımı bütün yaşanmışlıklara rağmen umudu simgelemektedir.



Görsel 4.16. Emre Can, “Ortadoğuda 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 fotoğraf arşivi



Görsel 4.17. Emre Can, “Ortadoğuda Kahvaltı”, detay, üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 1230°C, plastik porselen çamuru, kobalt oksit katkılı renkli çamur ve beyaz astar

Kaynak: Emre Can fotoğraf arşivi



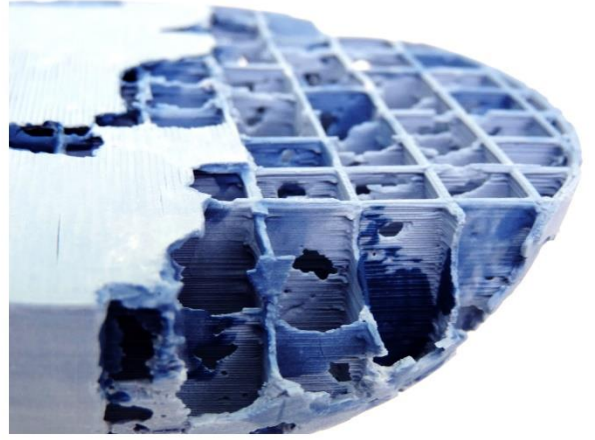
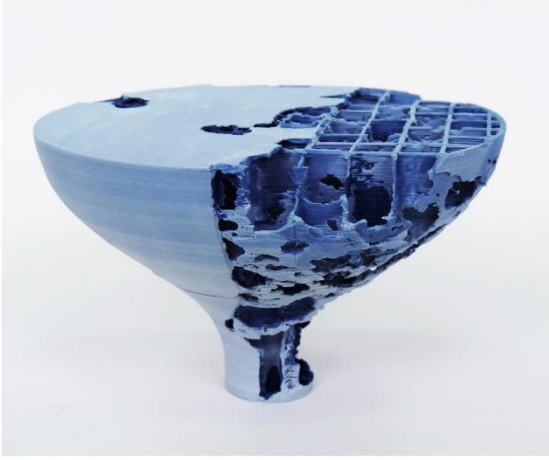
Görsel 4.18. Emre Can, “Ortadoğu serisi”, üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 1230°C, 33 x 35 x 22 cm., plastik porselen çamuru, kobalt oksit katkılı renkli çamur
Kaynak: Emre Can fotoğraf arşivi

Yüzeylerde elde edilen kırılma dokuları Ortadoğu’da var olan savaş sonucunda ortaya çıkan hem fiziksel hem de duygusal yıkıma işaret etmektedir. Üç boyutlu yazıcı ile elde edilen farklı içyapı dokuları, elle yapılmış müdahaleler sonucu bozulan dış yüzeylerin arkasından görünerek bu seride verilmek istenen mesajı desteklemektedir. Şekillendirilen bu formlarda yüzeylerde yaratılan deformasyona rağmen, formların hala ayakta duruyor olması ve bütününden bir şey kaybetmemesi aslında insanın hayatta kalma güdüsüyle ilişkilendirilmiştir.



Görsel 4.19. Emre Can, “Ortadoğu serisi”, üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 1230°C, 18 x 65 x 35 cm., plastik porselen çamuru, kobalt oksit katkılı renkli çamur ve renkli astar

Kaynak:Emre Can fotoğraf arşivi



Görsel 4.20. Emre Can, “Ortadoğu serisi”, üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 1230°C,
16 x 18 x 18 cm., plastik porselen çamuru, kobalt oksit katkılı renkli çamur
Kaynak:Emre Can fotoğraf arşivi



Görsel 4.21. Emre Can, “Ortadoğu serisi”, üç boyutlu yazıcı ve elle şekillendirme, 1230°C
14 x 18 x 18 cm., plastik porselen çamuru, kobalt oksit katkılı renkli çamur
Kaynak:Emre Can fotoğraf arşivi

SONUÇ

Bilgisayar destekli sistemlerin gelişmesi, endüstriyel üretimin hızlanmasına, buna bağlı olarak da bilgisayar destekli üretim yöntemlerinin çeşitlenmesine neden olmuştur. İki boyutlu baskı ile başlayan bu süreç, bilgisayar kontrollü eksiltmeli üretim yöntemi olan CNC'lerin gelişimi ile devam etmiştir. CNC'lerin ortaya çıkışı özellikle endüstriyel kalıp imalatında vazgeçilmez bir yöntem olmuştur. Tüm bu gelişmelerin son aşaması ise üç boyutlu yazıcı teknolojisidir. Eklemeli bir üretim yöntemi olan üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme, yeni üretim anlayışına farklı bir boyut kazandırmıştır. Başlangıçta prototip üretim için kullanılan bu teknoloji, bu alanda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları ile nihai ürün üretimi için de kullanılmaya başlanmıştır. Henüz seri üretim için çok uygun olmayan bu teknoloji, özel üretim gerektiren kompleks parçalar için tercih edilmektedir. Tıp, mühendislik, mimari, dental, moda tasarımı, gıda ve sanat alanı gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Yeni bir şekillendirme yöntemi olan üç boyutlu yazıcı teknolojisi, son yıllarda sanat alanında da özellikle elle yapılamayacak kadar karmaşık formların üretilmesine imkan vermesi nedeniyle, sanatçılar tarafından tercih edilmeye başlanmıştır.

Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemi, birçok alanda olduğu gibi sanat alanında da kendine yer bulmuştur. Bu teknoloji, sanat alanında sanatçılar tarafından yeni bir şekillendirme aracı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Sanatçıların, çağın getirdiği gelişmelere duyduğu ilgi, bunları sanatsal ifadelerinde kullanma istekleri ve bu teknolojinin sanatçılara sağlamış olduğu avantajlar, her ne kadar bazı tartışmaları beraberinde getirmiş olsa da, üç boyutlu yazıcıların bu alanda hızlı bir şekilde kabul görmesine neden olmuştur. Üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yöntemlerinin ve kullanılan malzemelerin çeşitliliğinin artması, sanatçılara yeni ifade olanakları sağlamaktadır.

Bu teknolojinin seramik sanatında kullanımı incelendiğinde, yapılan uygulamaların bu alanda henüz sınırlı olduğu gözlemlenmiştir. Seramik çamuruyla biçimlendirme yapabilen üç boyutlu yazıcıların fiyatlarının hala yüksek olması, bu teknoloji için bilgisayar destekli çizim program bilgisi gerekliliği, sanatçıların şekillendirme aracı olarak makine kullanımına karşı olan çekingen tavrı gibi nedenlerden dolayı bu teknoloji henüz seramik sanatında kendine geniş bir yer bulamamıştır. Ancak gelecekte bu teknolojinin, seramik sanatçıları tarafından daha

yaygın olarak kullanılmasıyla birlikte, her sanatçının elinde farklı bir boyut kazanacağı, bu yöntemle farklı bakış açıları getirilerek çeşitlendirileceği düşünülmektedir.

Elde edilen deneyimlerle, bu yöntemin kullanımında, dijital ortama ve atölye ortamında şekillendirme süreçlerine hakim olunması gerektiği sonucuna varılmıştır. Seramik, bu yöntemde oldukça zor bir malzeme olarak bilinmektedir. Bu sebeple malzemeyi tanıma, seramikçiler açısından önemli bir avantajdır. Malzeme bilgisinin yanında bu teknoloji için gerekli olan bilgi ve edinimlere sahip olunması bu yöntemin doğru kullanılması açısından önemlidir. Sanatçı açısından tasarım ya da fikir zihinde başlayan bir süreçtir. Bu süreçte fikrin hangi yöntemle şekillendirileceği sanatçının geçmişte elde ettiği bilgi ve deneyimlerle ilgili olarak farklılık göstermektedir. Bu noktada üç boyutlu yazıcı teknolojisi diğer geleneksel şekillendirme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, elle yapılamayacak kadar karmaşık formların şekillendirilmesine imkan vermesi, sanatçıya fikirlerini şekillendirmesi için geniş bir özgürlük tanımaktadır. Fakat bu tezde kullanılan üç boyutlu yazıcıyla biçimlendirme yönteminin bazı sınırlayıcıları olduğu görülmüştür. Bu üretim yönteminin, istenilen her boyut ve yapıda formun üretilmesine imkan vermediği gözlemlenmiştir. Bu nedenle tasarımlar bu sınırlılıklar içerisinde planlanmıştır. Üretim sürecinde üç boyutlu yazıcı için hazırlanan çamurun kıvamından ya da tank basıncından kaynaklı bazı sorunlarla karşılaşmıştır. İdeal bir üretim için hazırlanan çamurun tanktan belirli basınçta ittirilebilecek kıvamda olması, yani çamur kıvamı ile basıncın uyum içerisinde olması gerekmektedir. Bunun için tank basıncının 4 ile 5 bar arasında olması idealdir. Bu yöntem belirli kurallara sahip olsa da bu araştırma kapsamında deneysel bir yaklaşımla, bu kuralların dışına çıkılarak bu yöntemin potansiyelleri sorgulanmış ve olanaklar kişiselleştirilmeye çalışılmıştır. Bu sorgulamalar ile birlikte farklı etkiler elde edilmesine açık bir yöntem olduğu tespit edilmiştir.

Bu araştırmanın sonucu olarak üç boyutlu yazıcı ile şekillendirme her ne kadar makine tarafından yapıyormuş gibi gözükse de, insan dokunuşu ve kontrolünün birlikteliğiyle gerçekleşen bir süreç olduğu ortaya konmuştur. Tasarımın bilgisayar ortamında modellenmesiyle başlayan bu süreç, çamurun hazırlanmasından, şekillendirme tamamlanıncaya kadar birçok zahmetli aşamadan meydana gelmektedir. Bu süreçte, makinenin sistemsel, fiziksel ayarlarının yapılması ve şekillendirme süreci sürekli takip edilmesi gereken işlemlerdir. Dolayısıyla sanatçının, fikir aşamasından

başlayarak şekillendirme sũrecinin tam merkezinde konumlanmakta olduğu deneyimlenmiştir.

Bu tez çalışmasında teknolojinin seramik sanatına adapte edilmesi ile ũ boyutlu yazıcının sanatçılara vermiş olduğu imkanların sanatsal ifade olanaklarını genişlettiği gũrũlmũřtur. Bu yũntemin gelecekte yaygınlaşmasıyla birlikte kendine ũzgũ karakteristik ũzellikleri ile her sanatçıda farklı etkiler yaratacağı, bũylece ũretilen eserlerde ũzgũn bir dil geliştirilebileceği ortaya konmuştur. Bu çalışmadan sonra gelecekte çamur ile şekillendirme yapabilen FDM tipi bir ũ boyutlu yazıcı tasarımı yapılması, tasarımda yapılacak değişikliklerle bu yazıcının bireyselleştirilmesi ve bunun sonucu olarak da sanatsal anlamda yeni anlatım dillerinin ortaya çıkartılması bir sonraki araştırma konusu olarak ũnerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Arslan, N., Yaylacı, B., Eyüpoğlu, N.D., Kürtüncü, M. (2018). Sağlıkta gelişen teknoloji: üç boyutlu yazıcılar. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 2 (2), 99-110.
- Balistreri, J., & Dion, S. (2008). Creating Ceramic Art Using Rapid Prototyping. *ACM SIGGRAPH Posters*. Los Angeles, California
- Beaman, J.J, (2001). Solid free form Fabrication: an historical perspective. *Solid Free Form Fabrication Symposium Proceedings University of Texas*, Austin, Texas, USA, August 6-8. 2001 p. 584-596. ISSN:1053-2153.
- Berbercuma, G (2006). *Üç Boyutlu Tarayıcılar İle Veri Toplanması ve CAD Ortamına Değişik Formatlarda Aktarılması* Yüksek Lisans Tezi. Gebze: Gebze İleri teknoloji Enstitüsü.
- Canessa, E., Fonda. and Zennaro, M. (2013). *Low cost 3D printing, for science, education, sustainable development*. Italy, ICTP (International Centre Theoretical Physics).
- Chua, C.K., Leong, K. F. and Lim, C. S. (2010). *Rapid prototyping principles and applications*. Singapur, World Scientific Publishing.
- Çelik, İ., Karakoç, F., Çakır, M.C., Duysak, A. (2013). Hızlı prototipleme teknolojileri ve uygulama alanları. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*., 31, 53-70.
- Değerli, C., El, S. (2017). Üç boyutlu (3D) yazıcı teknolojisi ile gıda üretimine genel bakış. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5 (6), 593-599.
- Demir, E., Çaka, C., Tuğtekin, U., Demir, K., İslamoğlu, H., Kuzu, A. (2016). 3D yazdırma teknolojilerinin eğitim alanında kullanımı: Türkiye’deki uygulamalar. *Ege Eğitim Dergisi*, 17 (2), 481-503.
- Demirbaş, Y.K. Arlı, B. (2015). Uygulamalarla 3 Boyutlu Yazıcı Yapımı ve Kullanımı. İstanbul: Abaküs Kitap Yayın Pazarlama.
- Groover, M. and Zimmers, E. (1983). *CAD/CAM: computer aided design and manufacturing*. New Jersey, Pearson Education Company.
- Hoskins, S. (2013). *3D Printing for artists, designers and makers*. Broadway, Newyork, Bloomsbury Publishing.
- Hopkinson, N., Hague, R.J.M. and Dickens, P.M. (2006). *Rapid manufacturing an industrial revolution for the digital age*. Chicester, VILEY Publising.

- Karabey.Ö. (2016). *Prototip 3 Eksenli CNC Freze Tasarımı ve Uygulaması* Yüksek Lisans Tezi. Sivas: Cumhuriyet Üniversitesi
- Kavala, D. (2010). *5 Eksenli CNC Tezgah Tasarımı ve Kontrolü* Yüksek Lisans Tezi.İzmir:Dokuz Eylül Üniversitesi
- Khoshnevis, B. (2004). Automated construction by contour crafting- related robotics and information technologies. *Journal of Automation in Construction*, 13 (1). 5-19.
- Kiraz, C., Sezer, H.K., Şahin, İ. (2018). Kuyumculuk sektöründe 3B baskı tasarım tekniklerinin özgürlüğünden faydalanıldığında sektöre getirileri. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry* 2 (2), 46-58.
- Kumar, L., Kumar, V. and Haleem, A. (2016). Rapid Prototyping Technology for New Product Development. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, (3), 287-292.
- Küllü, K (2010). *Üç Boyutlu Lazer Tarayıcı ve Bilgisayar Teknikleri İle Cisimlerin Sanal Ortama Aktarılması* Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Ankara Üniversitesi.
- Martinez, E., Can, E. (2016). Bilgisayar destekli seramik üretim yöntemi olarak üç boyutlu yazıcılar ve uygulama örneği. *Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Sanat ve Tasarım Dergisi*, Sayı: 9 s.
- Martinez, E., Can, E. (2016). 3 boyutlu yazıcılar ile uygulanan farklı seramik şekillendirme yöntemlerinin karşılaştırılarak değerlendirilmesi. *10. Uluslararası Eskişehir Pişmiş Toprak Sempozyumu*, Eskişehir: Tepebaşı Belediyesi s.450
- Özgündoğdu, F. (2014). Seramik üretiminde çağdaş bir biçimlendirme yöntemi olarak üç boyutlu yazıcılar. *8. Uluslararası Eskişehir Pişmiş Toprak Sempozyumu*, Eskişehir: Tepebaşı Belediyesi s.213
- Ozgundogdu, F(2015). 3D Printing as a Forming Method, *Ceramics Technical*.
- Özgüven, S. (2017). *Seramik Sanatında Dijital Uygulamalar* Sanatta Yeterlik Tezi. Ankara: Hacettepe Üniversitesi.
- Türkel,E (2008). *Bilgisayar Destekli Tasarım Programlarıyla Seramik Ürünlerin Modellenmesi ve Bir Pisuar Uygulaması* Sanatta Yeterlik Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Walters, P. and Thirkell, P. (2007). New technologies for 3D realization in art and design practice. *Emerging Form*, 1 (4). 232-345.
- Warnier, C., Verbruggen, D., Ehmann, S., Klanten, R. (2014). *Printing things vision and essentials for 3D printing*. Berlin, Gestalten.

- Xu, X. (2009). *Integrating Advanced Computer-Aided Design, Manufacturing and Numeric Control: Principles and Implementations*. Pennsylvania: Hershey, Pa. : IGI Global.
- Yaldıran, M. (2016) Moda giyim sektöründe üç boyutlu yazıcılarla tasarım ve üretim. *Süleyman Demirel Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Hakemli Dergisi*, 17, 155-172.
- (1984). Computerized manufacturing automation: Employment, Education and Workplace. Washington Diane Publishing.
- (2015). ASTM International Standart Terminology for Additive Manufacturing Technologies Designation: F2792-10

İNTERNET KAYNAKLAR

- Dinçel. (1999). Trakya Üniv. Tekirdağ Ziraat Fak. Tarım Makineleri Böl. Diploma Çalışması (1999) “CNC Takım Tezgahları”
(<http://www.turkcadcam.net/rapor/cnc-md/>) Erişim tarihi: 14.05.2018
- <http://www.mbdesign.net/mbinfo/CAD1960.htm> (Erişim Tarihi: 01.09.2017)
- <http://www.cadazz.com/cad-software-history-1970s.htm> (Erişim Tarihi: 01.09.2017)
- <http://www.cadazz.com/cad-software-history-1980-1985.htm> (Erişim tarihi: 31.10.2018)
- <http://www.cadazz.com/cad-software-history-1990-1994.htm> (Erişim Tarihi: 01.11.2018)
- <https://en.wikipedia.org/wiki/I-DEAS> (Erişim Tarihi: 05.11.2018)
- <http://otomasyondergisi.com.tr/arsiv/yazi/5-eksen-cnc-isleme-tezgahi-tasarimi-ve-kontrol/> (Erişim Tarihi: 16.06.2018)
- <https://www.sculpteo.com/blog/2017/03/01/whos-behind-the-three-main-3d-printing-technologies/> (Erişim Tarihi: 25.11.2018)
- <https://3dprintingindustry.com/news/interview-dr-adrian-bowyer-10th-anniversary-reprap-133841/> (Erişim Tarihi: 18.09.2018)
- <https://formlabs.com/blog/3d-printing-technology-comparison-sla-dlp/> (Erişim tarihi: 28.11.2018)
- https://en.wikipedia.org/wiki/S._Scott_Crump (Erişim Tarihi: 27.11.2018)

<https://www.3dnatives.com/en/3d-printed-house-companies-120220184/> (Erişim Tarihi: 27.11.2018)

https://en.wikipedia.org/wiki/Powder_bed_and_inkjet_head_3D_printing (Erişim Tarihi: 27.11.2018)

<https://www.3dnatives.com/en/3d-printed-house-companies-120220184/> (Erişim Tarihi: 05.12.2018)

<https://www.3dnatives.com/en/3d-printed-house-companies-120220184/> (Erişim Tarihi: 04.12.2018)

<https://www.3ders.org/articles/20160823-3d-systems-reveals-details-behind-3d-printed-prosthetic-beak-project-for-grecia-the-toucan.html> (Erişim Tarihi: 07.12.2018)

<https://www.artsy.net/artwork/quayola-laocoon-fragment-b-005-dot-003-1> (Erişim tarihi :10.01.2017)

<https://www.quayola.com/info/> (Erişim tarihi 11.01.2017)

<https://www.quayola.com/laocoon-d20-q1/> (Erişim tarihi 11.01.2017)

<https://frieze.com/article/currents-3d-printing> (Erişim tarihi 10.01.2017)

<https://terencemquinn91.org/2015/09/21/colleague-suggested-research/> (Erişim tarihi :10.01.2017)

http://www.keep-art.co.uk/Self_build.html (Erişim Tarihi: 21.10.2018)

<http://unfold.be/pages/about> (Erişim Tarihi: 21.10.2018)

<https://lutum.vormvrij.nl/sample-page/> (Erişim Tarihi: 24.10.2018)

<http://3dceram.com/en/materiaux-ceramique-impression-3d/> (Erişim tarihi: 21.10.2018)

<http://www.keep-art.co.uk/recent.htm> (Erişim Tarihi: 19.11.2018)

http://www.keep-art.co.uk/journal_2.html (Erişim Tarihi: 19.11.2018)

http://www.keep-art.co.uk/digital_morph.html (Erişim Tarihi: 15.11.2018)

http://www.keep-art.co.uk/digital_icebergs.html (Erişim Tarihi:16.11.2018)

<https://belgerarts.org/john-balistreri> (Erişim Tarihi: 20.11.2018)

<https://www.bgsu.edu/arts-and-sciences/school-of-art/faculty-staff/john-balistreri.html> (Erişim Tarihi: 20.11.2018)

<http://www.michael-eden.com/about/> (Erişim tarihi: 20.11.2018)

<http://www.michael-eden.com/about/> (Erişim Tarihi: 20.11.2018)

<https://www.thebowesmuseum.org.uk/About-Us/News/Detail/ArtMID/3381/ArticleID/247/MICHAEL-EDEN-WEDGWOOD-AND-WOULDN%E2%80%99T> (Erişim Tarihi: 20.11.2018)

<http://www.michael-eden.com/2008-2010/taa3egfzdrwhmqc4l6v997tbno8s4v> (Erişim Tarihi: 20.11.2018)

<http://www.bryanczibesz.com/Bio.html> (Erişim Tarihi: 23.11.2018)

http://www.bryanczibesz.com/Portfolio/Pages/Re___Charting.html (Erişim Tarihi: 23.11.2018)

http://www.bryanczibesz.com/Portfolio/Pages/Some_Prosthetic_Histories.html (Erişim Tarihi: 23.11.2018)

<http://oliviervanherpt.com/adaptive-manufacturing/> (Erişim Tarihi: 23.11.2018)

<http://oliviervanherpt.com/adaptive-manufacturing/> (Erişim Tarihi: 23.11.2018)

<http://oliviervanherpt.com/solid-vibrations/> (Erişim Tarihi: 23.11.2018)