



**BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM VE ÜRETİM
TEKNOLOJİLERİ İLE OLUŞTURULAN ÜRÜN
TASARIMLARI VE ENDÜSTRİYEL
SERAMİK EĞİTİMİNDEKİ YERİ**

Yüksek Lisans Tezi

Sümeyye KARAKUŞ

**BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM VE ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ
İLE OLUŞTURULAN ÜRÜN TASARIMLARI VE
ENDÜSTRİYEL SERAMİK EĞİTİMİNDEKİ YERİ**

Sümeyye KARAKUŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seramik Anasanat Dalı

Danışman: Prof. Ezgi HAKAN

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi

Güzel Sanatlar Enstitüsü

Haziran 2022

Bu Tez Çalışması Anadolu Üniversitesi BAP Komisyonunca kabul edilen 2108E148 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

ÖZET

BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM VE ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ İLE OLUŞTURULAN ÜRÜN TASARIMLARI VE ENDÜSTRİYEL SERAMİK EĞİTİMİNDEKİ YERİ

Sümeyye KARAKUŞ

Seramik Anasanat Dalı

Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü,

HAZİRAN 2022

Danışman: Prof.Ezgi HAKAN

21.yy'ın ilk çeyreğinde bulunduğumuz çağda endüstriyel ürünlerin tasarımından üretimine, her aşamasında bilgisayar destekli teknolojilerin sağladığı olanaklardan faydalanılmaktadır. Geleneksel üretim sistemlerine göre bilgisayar destekli teknolojilerin, üretim süresi ve iş gücünü azaltması, kalite ve verimliliği artırması gibi etkileri, bu teknolojilerin yaygınlaşmasındaki önemli faktörlerdendir. Bilgisayar destekli teknolojiler, endüstriyel tasarım, otomotiv, havacılık, inşaat gibi sektörlerde seramik, plastik, metal, kompozit, gibi farklı birçok materyallerin kullanıldığı tasarım ve üretim süreçlerinde önemli bir unsur haline gelmektedir.

İnsan yaşamının birçok ayrıntısında teknolojilerin kullanımı, çağın getirdiği gereksinimler sonucunda kaçınılmaz olarak yaygınlaşmaktadır. Buna paralel olarak eğitim modelleri ve uygulamalı alanlarda öğretim biçimleri de değişmektedir. Bu araştırmada endüstriyel seramik eğitiminde kullanılan geleneksel yöntemlere alternatif olarak, bir ürünün tasarımından üretimine tüm aşamalarında bilgisayar destekli teknolojiler kullanılarak yapılan uygulamalar incelenecektir. Uygulamalar sonucunda, bilgisayar destekli üretim ile geleneksel model-kalıp üretim yöntemleri karşılaştırmalı olarak ele alınacaktır. Endüstriyel seramik eğitimi alanında bilgisayar destekli teknolojilerin kullanımı teorik bilgilerle sınırlı olup, uygulama alanında kullanımları kısıtlıdır. Tasarım ve üretim süreçlerini kolaylaştıran bu teknolojilerin eğitim programlarının içerisine dahil edilmesi ile tasarım ve üretim aşamalarını hızlandırması ve

çağa uygun hale getirmesi her alanda olduğu gibi endüstriyel seramik eğitimi için de büyük avantaj oluşturacaktır.

Bu araştırma, üç boyutlu yazıcı ve CNC tezgahını kullanarak, endüstriyel seramik üretim süreçlerinde yapılan uygulamaları kapsamaktadır. Dijital ortamda tasarlanan ürünler, üç boyutlu yazıcıların plastik ve reçine bazlı biçimlendirme yapan çeşitleri ile prototip ve model çalışmalarında kullanılmıştır. Ayrıca endüstride yaygın olarak kullanılan CNC tezgahlarının küçük ölçekli modelleri ile eğitim ortamında alçı kalıp şekillendirme yöntemleri deneyimlenmiştir.

Tasarım ve üretim yöntemlerinin disiplinler arası ortamlarda ele alınması, tasarım alanlarının birbirleriyle etkileşime girmelerine olanak sağlayacak bir faktördür. Farklı malzeme ve farklı üretim biçimlerinin seramik eğitiminde kullanılmak üzere uyarlanması, eğitimde; tasarım ve üretim aşamasında uygulama alanlarını genişleterek, yenilikçi ve özgün tasarımlar oluşturma imkânını arttıracığı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayar destekli teknolojiler, Seramik eğitimi, Ürün tasarımı, Üç boyutlu yazıcı, CNC

ABSTRACT

PRODUCT DESIGNS GENERATED WITH COMPUTER AIDED DESIGN AND PRODUCTION TECHNOLOGIES AND ITS UTILIZATION IN INDUSTRIAL CERAMIC EDUCATION

Sümeyye KARAKUŞ

Department of Ceramic Art

Proficiency in Arts,

Anadolu University, Graduate School of Fine Arts, October 2021

Supervisor: Prof. Ezgi HAKAN

In this age we are in the first quarter of the 21st century the accessibility that the computer supported technology provides is used in all the stages of creating industrial products, starting from designing to actual producing. Effects like decreasing time and amount of work force required, and increasing quality and productivity are important factors behind the preference of these technologies over conventional production systems. Computer supported technologies are growing into a more and more important element in sectors as industrial design, automobile, aviation, construction where a variety of materials such as ceramic, plastic, metal and composite are used.

As an alternative to conventional methods used in the industrial ceramic education, all the stages of a product from start to finish will be executed by using computer supported technologies. At the end of implementations, computer supported production and conventional model mold systems will be compared. In the field of industrial ceramic education, the application of computer supported technology is mostly limited to theoretical information and don't have much utilization in practice. The inclusion of these technologies, which make life easier for many industries, in the curriculum of industrial ceramic education will facilitate and fasten the production processes, and create a valuable advantage by doing so; just like it does for many other industries. In all aspects and all details of a human life, the usage of the technology is getting inevitably more common because of the requirements that a certain time period brings. Therefore, the current aim is to integrate computer supported design and production technologies into

industrial ceramic education to enrich the forms of expression, extend the design opportunities and find its place in the industry as a brand-new production model.

This research includes applications made in industrial ceramic production processes using a 3D printer and CNC machine. Products designed in digital area have been used in prototype and model works with plastic and resin-based forms of three-dimensional printers. In addition, small-scale models of CNC machines, which are widely used in the industry, and plaster mold forming methods were experienced in the educational environment.

Addressing design and production methods in interdisciplinary environments will allow design fields to interact with each other. Adapting different materials and different production forms to be used in ceramics education, in education; It will increase the opportunity to create innovative and original designs by expanding the application areas in the design and production phase.

Keywords: Computer aided technologies, Ceramic education, Product design, Three dimension printer, CNC

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında üç boyutlu yazıcı ve bilgisayarlı nümerik kontrollü tezgahların endüstriyel seramik model ve kalıp üretiminde kullanımları uygulamalar üzerinden aktarılmıştır. Araştırmanın yazım sürecinde bilgisi ve deneyimleriyle yapmış olduğu katkılarından dolayı, danışmanım Prof. Ezgi Hakan'a teşekkür ediyorum.

Uzun ve emek isteyen bu süreçte, bana olan inançlarını hiç kaybetmeden daima yanımda olarak, sevgilerini ve desteklerini hiç esirgemeyen küçük ailemin her bir üyesine ve ailem kadar değer verdiğim biricik dostlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Sümeyye KARAKUŞ

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 sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Sümeyye Karakuş

İÇİNDEKİLER

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
1.1. Amaç	1
1.2. Önem.....	1
1.3. Kapsam	2
1.4. Yöntem.....	2

BİRİNCİ BÖLÜM

1. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM VE ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ	4
1.1. Bilgisayar Destekli Tasarım.....	4
1.1.1. Bilgisayar destekli tasarımın tarihsel gelişimi.....	4
1.1.2. Bilgisayar destekli modelleme.....	9
1.1.2.1. İki boyutlu modelleme.....	10
1.1.2.2. Üç boyutlu modelleme.....	10
1.1.3. Bilgisayar destekli tasarımın yararları.....	12
1.2. Bilgisayar Destekli Üretim	13
1.2.1. Bilgisayar destekli üretimin tarihsel gelişimi	13
1.2.2. Eksiltmeli üretim.....	14
1.2.3. Eklemeli üretim.....	15

İKİNCİ BÖLÜM

2. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TEKNOLOJİLER İLE ENDÜSTRİYEL SERAMİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ 17

2.1. Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojisi 17

2.1.1. Üç Boyutlu yazıcıların türleri 17

2.1.1.1. Tarayarak ışıkla kürleme teknolojisi (*stereolithography -SLA*) 18

2.1.1.2. Seçici lazer sinterleme teknolojisi (*selective laser sintering - SLS*) 21

2.1.1.3. Toz bağlama teknolojisi (*powder binding*)..... 22

2.1.1.4. Tabakalı nesne üretim teknolojisi (*laminated object manufacturing - LOM*) 23

2.1.1.5. Eriyik yığarak modelleme teknolojisi (*fused deposition modeling – FDM*)..... 24

2.1.2. Üç boyutlu yazıcılar ile endüstriyel seramik model şekillendirme..... 26

2.1.2.1. Tarayarak ışıkla kürleme teknolojisi (*SLA*) ile model yapımı 27

2.1.2.2. Eriyik yığma teknolojisi (*FDM*) ile model yapımı 34

2.2. Bilgisayarlı Nümerik Kontrollü (CNC) Tezgahlar 38

2.2.1. CNC tezgah türleri..... 38

2.2.1.1. Üç eksenli CNC tezgahı 40

2.2.1.2. Dört eksenli CNC tezgahı 41

2.2.1.3. Beş eksenli CNC tezgahı..... 42

2.2.2. CNC tezgah ile endüstriyel seramik kalıbı şekillendirme..... 44

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. ENDÜSTRİYEL SERAMİK EĞİTİMİ KAPSAMINDA BİLGİSAYAR DESTEKLİ TEKNOLOJİLER KULLANILARAK YAPILAN UYGULAMALAR 51

3.1. Ürün Tasarım Süreci..... 51

3.2. Üç Boyutlu Yazıcılar İle Üretilen Modeller Kullanılarak Alçı Kalıp Şekillendirme..... 57

3.3. CNC Tezgahı Kullanılarak Alçı Kalıp Şekillendirme.....	65
3.4. Yaşam Çiçeği Serisi	78
3.5. Metatron Serisi.....	85
SONUÇ	92
KAYNAKÇA.....	94
ÖZGEÇMİŞ	



GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 1.1. 1962’de Pronto programı ile Patrick Hanratty tarafından tasarlanan 1964 Pontiac marka otomobilin bagaj kapağı modeli için, üç eksenli bir modelden kesit.....	5
Görsel 1.2. Ivan Sutherland, Sketchpad kullanımı.....	6
Görsel 1.3. Üç boyutlu NURBS yüzeylerinin kontrol noktaları	7
Görsel 1.4. IBM şirketinin ilk üretilen klavyeli kişisel bilgisayarı	8
Görsel 1.5. AutoCAD 2000 arayüzü ile üç boyutlu katı modelleme örneği	9
Görsel 1.6. İki boyutlu düzlemde üç farklı görünüm	10
Görsel 1.7. X,Y,Z ekseninde üç boyutlu model görünümü	11
Görsel 1.8. X,Y,Z ekseninde üç boyutlu model görünümü	12
Görsel 1.9. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü’nde (MIT) yapılan ilk Freze Tezgâhı. 13	
Görsel 1.10. CNC teknolojisi ile ahşap kazıma	15
Görsel 1.11. Eksiltmeli ve eklemeli üretimin farkı	16
Görsel 2.1. SLA tipi üç boyutlu yazıcı şeması.....	18
Görsel 2.2. SLA teknolojisi baskı örneği	19
Görsel 2.3. İnce detaylı bir tasarımın SLA baskı örneği.....	20
Görsel 2.4. SLA ile basılan seramik ürünler	20
Görsel 2.5. SLS teknolojisi çalışma şeması	21
Görsel 2.6. Toz bağlama teknolojisi	22
Görsel 2.7. LOM teknolojisi çalışma şeması	23

Görsel 2.8. FDM teknolojisi çalışma prensibi	24
Görsel 2.9. Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcı.....	25
Görsel 2.10. Delta tipi üç boyutlu yazıcı.....	26
Görsel 2.11. Rhinoceros programında çizilen üç boyutlu katı model.....	28
Görsel 2.12. Cura programında dilimleme işlemi.....	28
Görsel 2.13. Formlabs markasına ait SLA yazıcının şeması	29
Görsel 2.14. SLA yazıcıda modellenmesi tamamlanan ürün.....	30
Görsel 2.15. Yıkama cihazı.....	30
Görsel 2.16. Kürleme cihazında sertleşen model.....	31
Görsel 2.17. Model üzerinde bulunan yüzey destekleri	32
Görsel 2.18. SLA yazıcı ile basılan prototip ürün.....	32
Görsel 2.19. SLA yöntemi ile üretilen model ürün	33
Görsel 2.20. SLA yöntemi ile üretilen model ürün.....	33
Görsel 2.21. FDM tipi yazıcı ile baskı	34
Görsel 2.22. FDM yazıcı ile yapılan baskı örneği	34
Görsel 2.23. Rhinoceros programında yapılan üç boyutlu modelleme.....	35
Görsel 2.24. Cura programı ile yazdırma ayarlarının yapılması	36
Görsel 2.25. FDM yöntemi ile yazdırma aşaması.....	36
Görsel 2.26. FDM yöntemi ile oluşturulan model	37
Görsel 2.27. El ile X,Y ve Z eksen gösterimi	39
Görsel 2.28. A,B ve C dönel eksenleri.....	40

Görsel 2.29. Üç eksenli CNC çalışma prensibi.....	40
Görsel 2.30. Üç eksenli masaüstü CNC router	41
Görsel 2.31. Dört eksenli CNC çalışma prensibi	42
Görsel 2.32. Dört eksenli CNC	42
Görsel 2.33. Beş eksenli CNC çalışma prensibi	43
Görsel 2.34. Beş Eksenli CNC.....	43
Görsel 2.35. CNC 'de polietilen malzeme ile teksir kalıbı şekillendirme	44
Görsel 2.36. Kütle alçığı yontarak endüstriyel lavabo modellemesi.....	45
Görsel 2.37. Lavabo modelinin üretim kalıbının yapılması.....	46
Görsel 2.38. Elle şekillendirilen lavabo modeli ve model ile yapılan üretim kalıpları..	46
Görsel 2.39. Rhinoceros programında tasarlanan tabak modeli	47
Görsel 2.40. Rhinoceros programında yapılan tabak kalıbı.....	47
Görsel 2.41. CNC için kalıp oluşturma.....	48
Görsel 2.42. CNC tezgahına sabitlenen alçı blok	48
Görsel 2.43. Kaba kazımanın ardından ince kazıma aşaması	49
Görsel 2.44. Kazıma işlemi tamamlanan tabak kalıbı.....	50
Görsel 3.1. Kutsal Geometri Sembolleri.....	53
Görsel 3.2. Yamaç Evler/ Efes Antik Kenti Yaşam Çiçeği sembolü.....	53
Görsel 3.3. Yaşam Çiçeği sembolü.....	54
Görsel 3.4. <i>Metatron Küpü sembolü</i>	54

Görsel 3.5. Rhinoceros programında Yaşam Çiçeği temalı bardağın taslak model denemeleri.....	55
Görsel 3.6. Rhinoceros programında metatron küpü temalı bardağın model denemeleri	55
Görsel 3.7. Yaşam Çiçeği tasarımının son hali	56
Görsel 3.8. Metatron tasarımının son hali.....	56
Görsel 3.9. FDM tipi yazıcı ile Yaşam Çiçeği bardağın modellenmesi.....	57
Görsel 3.10. FDM tipi yazıcı ile Yaşam Çiçeği bardağın modellenmesi.....	58
Görsel 3.11. Modelin yüzey dokuları.....	58
Görsel 3.12. Zımparalaması tamamlanan model.....	59
Görsel 3.13. Kalıp çerçevesinin hazırlanması.....	60
Görsel 3.14. Alçı karışımının hazırlanması ve dökülmesi	60
Görsel 3.15. Deforme olan bardak modeli	61
Görsel 3.16. Yaşam Çiçeği Bardağın alt kalıp parçası.....	62
Görsel 3.17. SLA yazıcı ile oluşturulan modelin yüzey görüntüsü	63
Görsel 3.18. Zımparalama işlemi tamamlanan model	63
Görsel 3.19. Kalıp yapım aşaması.....	64
Görsel 3.20. Metatron bardağın kalıp parçaları	64
Görsel 3.21. Tabak kalıbının yüzey dokuları	65
Görsel 3.22. Sistre yardımı ile dokuların giderilmesi	66
Görsel 3.23. CNC ile işlenen tabak kalıbı.....	66
Görsel 3.24. Kalıp parçasının iki boyutlu görünümü.....	68

Görsel 3.25. CNC işlemeye uygun üç boyutlu kalıp.....	68
Görsel 3.26. Alçı kütle hazırlanması.....	69
Görsel 3.27. Alçı bloğun tezgâha sabitlenmesi.....	70
Görsel 3.28. Kaba ve ince kazıma simülasyonu	70
Görsel 3.29. Kaba kazıma işlemi	71
Görsel 3.30. İnce Kazıma işlemi	71
Görsel 3.31. Kazıma işlemi tamamlanan kalıp	72
Görsel 3.32. Kalıbın arap sabunu ile kaplanması.....	73
Görsel 3.33. Kalıp çerçevesi hazırlanması.....	74
Görsel 3.34. Alçı döküm aşaması	74
Görsel 3.35. Gövde kalıbının tamamlanmış hali.....	75
Görsel 3.36. Alçı kalıba çamur döküm aşaması.....	76
Görsel 3.37. Porselen dökümü yapılmış Metatron formu.....	76
Görsel 3.38. Yaşam çiçeği bardağın rötuş aşaması.....	77
Görsel 3.39. Ürünlerin bisküvi ve ardından sırlı pişirim için fırına yüklenmesi.....	77
Görsel 3.40. Yaşam Çiçeği çift cidarlı bardak tasarımının kesit görünümü	78
Görsel 3.41. Yaşam Çiçeği çift cidarlı bardak, turkuaz porselen çamuru,8x9 cm.....	79
Görsel 3.42. Yaşam Çiçeği çift cidarlı bardak, kahverengi porselen çamuru,8x9 cm...	80
Görsel 3.43. Yaşam Çiçeği çift cidarlı bardak, pembe porselen çamuru,8x9 cm	81
Görsel 3.44. Yaşam Çiçeği çift cidarlı bardak, krom porselen çamuru,8x9 cm	82
Görsel 3.45. Yaşam Çiçeği çift cidarlı bardak, sarı porselen çamuru,8x9 cm.....	83

Görsel 3.46. Yaşam Çiçeği bardak alt ve yan görünüm.....	84
Görsel 3.47. Yaşam Çiçeği bardak toplu görünüm	84
Görsel 3.48. Metatron çift cidarlı bardak tasarımının kesit görünümü	85
Görsel 3.49. Metatron çift cidarlı bardak, turkuaz porselen çamuru,8x9 cm.....	86
Görsel 3.50. Metatron çift cidarlı bardak, kahverengi porselen çamuru,8x9 cm.....	87
Görsel 3.51. Metatron çift cidarlı bardak, pembe porselen çamuru,8x9 cm	88
Görsel 3.52. Metatron çift cidarlı bardak, krom porselen çamuru,8x9 cm	89
Görsel 3.53. Metatron çift cidarlı bardak, sarı porselen çamuru,8x9 cm.....	90
Görsel 3.54. Metatron çift cidarlı bardak tasarımının alt ve üst görünüm	91
Görsel 3.55. Metatron bardak, toplu görünüm.....	91

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABS	:Akrilonitril Butadien Stiren, üç boyutlu yazıcılarda kullanılan plastik bazlı filament
CAD	: (Computer Aided Design) Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	: (Computer Aided Manufacturing) Bilgisayar Destekli Üretim
CTR	: Compact Tracking Radar
FDM	: (Fused Deposition Modelling) Eriyik yığarak modelleme
G-code	: (Geometric Code) Nümerik kontrol amaçlı kullanılan bir programlama dili
LOM	: (Laminated Object Manufacturing) Tabakalı Nesne Üretimi
MIT	: (Massachusetts Institute of Technology) Massachusetts Teknoloji Enstitüsü
NC	: (Numerical Control) Nümerik Kontrol
NURBS	: Non-Uniform Rational B-Spline (Eğri Modelleme)
PC	: (Personal Computer) Kişisel Bilgisayar
PLA	: Polylactic Acid, üç boyutlu yazıcılarda kullanılan nişasta bazlı filament
RP	: (Rapid Prototyping) Hızlı prototipleme
SLA	: (Stereolithography) Tarayarak Işıklı Kütleme
SLS	: (Selective Laser Sintering) Seçici Lazer Sinterleme
STL	: Standard Triangle Language (Üç boyutlu bir objeyi sayısal değerlerle tanımlayan geometrik dosya formatı)
UV	: Ultraviyole

GİRİŞ

Bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojileri, endüstri, sanayi, eğitim, sanat, mimari gibi birçok alanda geniş kullanım yelpazesi ile prototip, üç boyutlu model, kalıp ve nihai ürün elde edilebilmesine olanak sağlayan önemli teknolojilerdir. Son yıllarda tasarım ve üretim biçimlerinde yaşanan yenilikler, bilgisayar destekli sistemlerin gelişmesinde önemli bir yere sahiptir.

Anlatım olanaklarının zenginleştiği dijital ortamlar, birbirinden farklı malzemeler kullanılarak hızlı, kaliteli ve hatasız ürünler üretilmesine olanak sağlamaktadır. Yeni gereksinimlere çözüm sağlayan bilgisayar destekli teknolojilerin, var olan yöntemlere alternatif olarak kullanımları her geçen gün yaygınlaşmaktadır.

Bu araştırma, seramik eğitiminde teknolojik araçların, ürün tasarımı, model kalıp ve üretim aşamalarında kullanımı ile birlikte seramik eğitim programlarında gereksinim duyulan eğitimde kalite, sürdürülebilirlik ve verimliliğe olumlu katkıda bulunacağına dair örneklem olması amacıyla yapılmıştır. Yapılacak olan araştırmalar ve kişisel uygulama çalışmalarının da bu teknolojileri seramik eğitimi alanında deneyimleyerek üretim süreçlerinde yeni yönelimler doğmasına, uygulama ve araştırma alanlarının gelişmesine ve yaygınlaşmasına öncülük etmesi hedeflenmektedir.

1.1. Amaç

Bu araştırmada, bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojileri ile bir ürünün tasarımından üretimine tüm aşamalarının uygulamalı olarak deneyimlenerek, endüstriyel seramik eğitimi için kullanılabilirliği, avantajları ve dezavantajlarının aktarılması amaçlanmaktadır.

Endüstride yaygın olarak kullanılmaya başlayan bilgisayar destekli teknolojilerin, geleneksel yöntemlere alternatif olarak, üretim sürecine dahil edilmesi ile mevcut ve potansiyel uygulama alanlarında farkındalık yaratılması diğer amaçlar arasındadır.

1.2. Önem

Bu çalışma ile bilgisayar destekli teknolojilerin kullanıldığı alanlarda belirlenen cihazların çalışma prensiplerine bağlı kalınarak, endüstriyel seramik alanında kullanımlarını ele alıp, tasarım ve üretim aşamalarının, geleneksel yöntemlere göre çağa uygun bir eğitim yöntemine hizmet ederek, pratik, öğretici ve sürecin daha kolay yönetildiği bir modele dönüştürülmesi hedeflenmektedir.

Araştırmalarla birlikte elde edilen deneyimlerin sonucu olarak, bu araştırmanın endüstriyel seramik eğitimi için geleceğe yönelik yeni bir tasarım ve üretim yöntemi sunması, sanatçılar, tasarımcılar ve öğrenciler için kaynak niteliğinde, yeni bir çalışma olarak literatüre katkı sağlayacak olması bu çalışmanın önemidir.

1.3. Kapsam

Bu konu kapsamında, disiplinler arası ortamda üç boyutlu yazıcılar ve CNC cihazlarının araştırılması sonucunda kazanılan teknik ve uygulama becerisi ile endüstriyel seramik üretim aşamalarında kullanımları deneyimlenmiştir. Endüstriyel seramik eğitimi için kullanılabilirliği uygulamalar ile aktarılmaktadır.

Bu kapsamda cihazların kullanım alanları, şekilleri ve yöntemleri araştırılmıştır. Yapılan araştırmalar doğrultusunda seramik eğitiminde bilgisayar destekli teknolojilerin kullanımının önemi ve sağladığı faydaları ortaya çıkarmak amacıyla, endüstriyel seramik tasarımları yapıp, uygulamalarına yer verilmiştir.

1.4. Yöntem

Bu tezin yöntemi, yerinde inceleme, betimsel araştırma ve uygulama aşamalarından oluşmaktadır. Literatürdeki bilimsel çalışmalar; kitaplar, tezler, makaleler ve bildirimler taranarak incelenmiştir. Faydalanılacak kaynakların tespitiyle, mevcut literatür taraması yapıldıktan sonra gerekli tarihsel süreç ve tanımlamalar yapılmıştır. Kaynakların tasnifi ve problemin tespiti ile devam eden araştırma sürecinde kaynaklar; yazılı, sözlü ve görsel kaynaklar şeklinde sınıflandırılarak yapılan araştırmalarda toplanan teorik veriler ışığında tez üç bölümden oluşturulmuştur.

Birinci bölümde, bilgisayar destekli tasarım ve üretim kavramları ile ilgili tarihsel süreç, teorik bilgiler ışığında analiz edilmiştir. Bilimsel veriler ve görsel veriler harmanlanarak, metinler yazılı olarak oluşturulmuştur.

İkinci bölümde, bilgisayar destekli üretim teknolojilerinin önemi, çeşitleri ve uygulama alanları kapsamlı şekilde araştırılmış, belirlenen alanlarda araştırma ziyaretleri yapılmasının ardından, gözleme dayalı verilerin analizi ile birlikte endüstriyel seramik alanındaki yeri ve önemi yazılı metinler ve görsellerle aktarılmıştır. Üç boyutlu yazıcılar ve CNC kullanımları ile tespit edilen uygulamalardan elde edilen verilerle, metinler oluşturulmuştur.

Üçüncü bölümde ise yapılan araştırmalar doğrultusunda cihazların endüstriyel seramik alanında kullanımlarını ele alıp, tasarım ve üretim süreçlerinde geleneksel model kalıp yöntemlerine göre kullanımları karşılaştırmalı olarak incelenerek, sanatsal anlamda

özgün, endüstriyel anlamda işlevsel unsurları barındıran ürünlerin uygulamalarına yer verilmiştir. Yapılan araştırmalar ve uygulamalar sonucunda bilgisayar destekli sistemlerin endüstriyel seramik eğitime katkıları irdelenmiştir.

Bu araştırma endüstriyel seramik eğitiminde, yeni teknolojilerin kullanılabilirliği konusunda cesaret verici, yol gösterici, yeni bir çalışma olarak literature kazandırılması amacıyla ortaya konmuştur.



BİRİNCİ BÖLÜM

1. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM VE ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ

1.1. Bilgisayar Destekli Tasarım

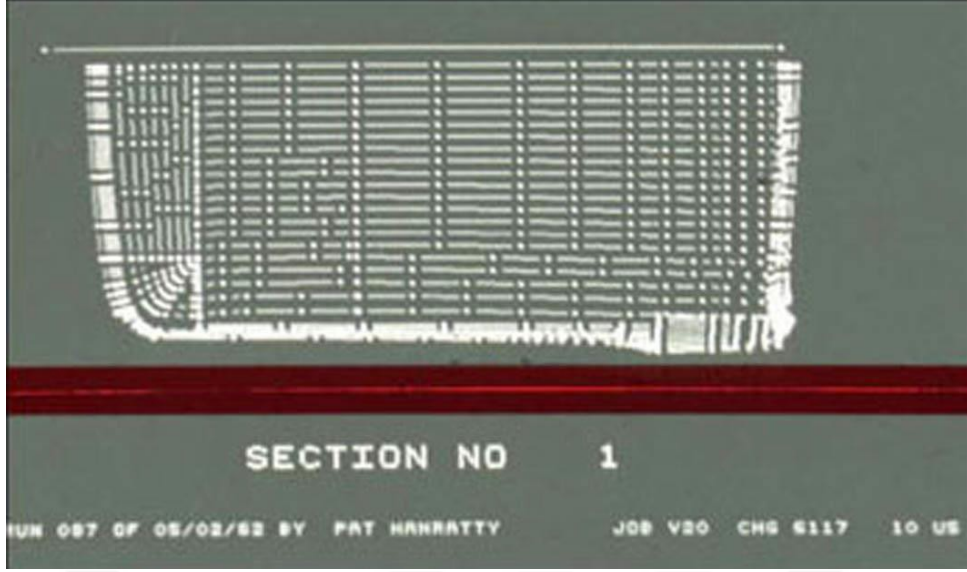
Bilgisayar destekli tasarım, İngilizce karşılığı ile ‘Computer Aided Design’ bir ürünü tasarlama sürecinde, bilgisayar tabanlı yazılımlar kullanarak dijital ortamda şekillendirme anlamına gelmektedir. Yaygın olarak İngilizce karşılığının baş harflerinden oluşan CAD kısaltması ile ifade edilir.

Bilgisayar destekli teknolojiler, sağladığı olanaklar sayesinde geleneksel çizim yöntemlerine alternatif olarak yeni bir tasarım ortamı sunmaktadır. Bir tasarımın oluşumunda ilk adım tasarımcının fikridir; daha sonra el çizimi ile kâğıda aktarılan bu fikir, eskiz araştırmaları ile devam eder. Bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle eskiz çalışmaları, tasarım sürecinin dijital ortama aktarılan önemli bir parçasına dönüşmüştür. CAD yazılımları, geleneksel tekniklerin devamı olarak tasarımın, araştırma sürecinde, geliştirilmesinde, düzenlenmesinde ve oluşturulmasında kullanılan çalışma alanını genişleterek, iki boyutlu veya üç boyutlu çizimlerin ve katı modellerin biçimlendirilmesinde kullanılan yardımcı araçlar olmaktadır.

Bilgisayarları farklı disiplinlerde kullanma fikri son elli yıllık bir döneme yayılmıştır. Bilgisayar teknolojileri yalnızca görselleştirme aracı olarak değil, tasarım ve üretim sürecinin bir parçası olarak ele alınmaya başlamıştır. Bilgisayar donanım ve yazılımlarındaki her bir başarılı devrim, bilgisayar destekli tasarım kavramını ortaya çıkarmış ve başlangıçtan günümüze hızlı bir gelişim göstermiştir (Türkel, 2008, s. 28).

1.1.1. Bilgisayar destekli tasarımın tarihsel gelişimi

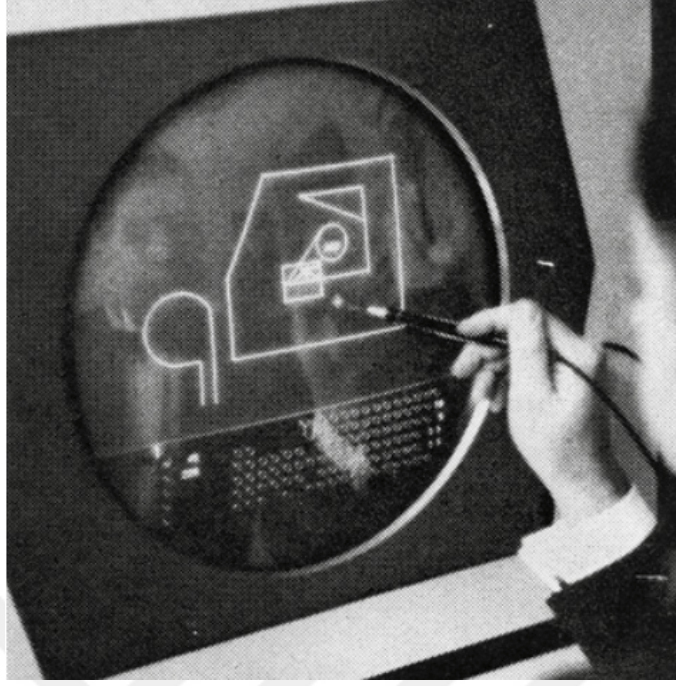
İlk grafik sistemi 1950 ortalarında ABD Hava Kuvvetleri'nin Massachusetts Institute of Technology (MIT), Lincoln Laboratuvarı'nda geliştirdiği SAGE (Yarı Otomatik Zemin Atmosferi) hava savunma sistemidir. CTR (Compact Tracking Radar) adını verdikleri bu sistem günümüzde de kullanılan radar sistemidir. Daha sonra 1957 yılında Dr. Patrick J. Hanratty, General Electric firmasında çalıştığı dönem, ilk ticari nümerik-kontrol programlama sistemi olan PRONTO'yu geliştirmiştir. Bu program CAD/CAM programlarının öncüsü olarak kabul edilmektedir (http-1), (Görsel 1.1).



Görsel 1.1. 1962'de Pronto programı ile Patrick Hanratty tarafından tasarlanan 1964 Pontiac marka otomobilin bagaj kapağı modeli için, üç eksenli bir modelden kesit
([http-2](#))

1960 yılında, Ivan Sutherland, o dönem üzerinde çalıştığı doktora tezinin bir parçası olarak Massachusetts Institute of Technology (MIT)'nin Lincoln Laboratuvarı'nda üretilen TX-2 bilgisayarı ile bir “İnsan-Makine Grafik İletişim Sistemi” olan Sketchpad'i geliştirmiştir ([http-1](#)).

Sketchpad, kullanıcıların bir kalem aracılığıyla doğrudan bilgisayar ekranında gerçek zamanlı olarak tasarım ve çizim yapmalarını sağlayan, birçok yenilikçi özelliklerinin yanı sıra, çizimlerin değiştirilmesine, çoğaltılmasına, saklanmasına ve daha sonra kullanmak üzere kaydedilmesine olanak tanıyan bir yazılımdır (Görsel 1.2). Yepyeni bir endüstrinin doğuşu olan Sketchpad, insan-bilgisayar etkileşiminin yolunu açmıştır; bugün tüm bilgisayarlarda, oyun cihazlarında, müzik çalarlarda ve akıllı telefonlarda bulunan grafiksel kullanıcı arayüzlerinin temeli Sketchpad olmuştur ([http-3](#))



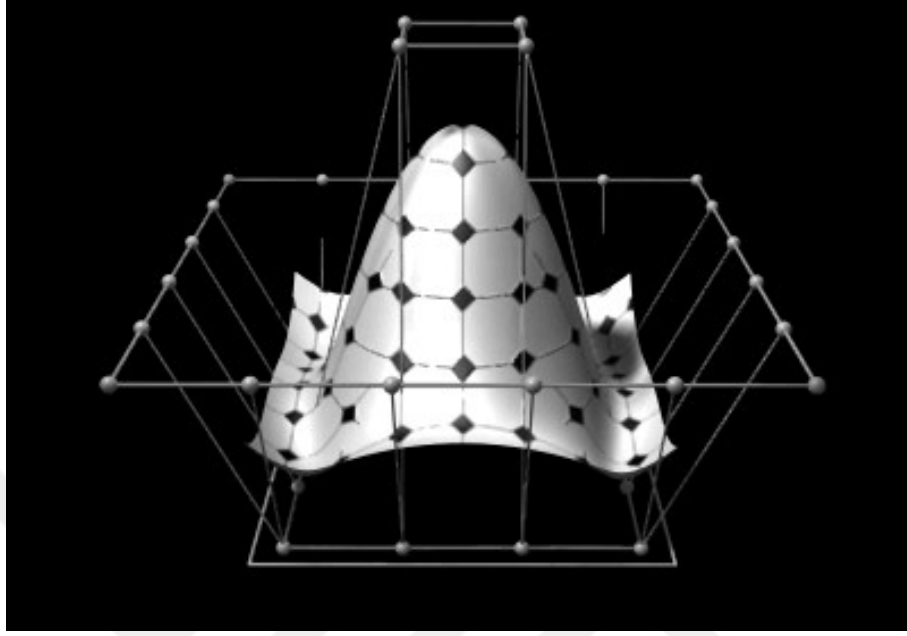
Görsel 1.2. *Ivan Sutherland, Sketchpad kullanımı*
([http-4](#))

Bilgisayar grafiklerinin ilk adımı olarak kabul edilen Sketchpad, kullanıcıların çalışmalarını zenginleştiren, hem sanatsal hem de teknik açıdan yardımcı olan bir araç olarak görülürken, iki boyutlu CAD yazılım programlarıyla başlayan araştırmalar, ticari ilginin artmasıyla üç boyutlu CAD yazılımlarına doğru hızlı bir gelişim göstermiştir.

1969'da MAGI (Mathematics Application Group, Inc.) adlı yazılım firması, ilk üç boyutlu katı model programı olan "Sytha Vision"ı üretmiştir. Bu yeni yazılım, mevcut CAD sistemlerinin özelliklerini önemli ölçüde arttırmalarına olanak sağlamıştır ([http-1](#)). 1971 yılında Dr. Patrick J. Hanratty tarafından inşa edilen ADAM (Automated Drafting and Machining) adlı grafik tasarım, çizim ve üretim sistemi CAD yazılımları için geleceğe yönelik atılan önemli bir adımdır. ADAM adı ile başlayan ve daha sonra geliştirilerek ANVİL olarak devam eden yazılımların günümüzde kullanılan ticari CAD sistemlerinin köklerini oluşturduğu düşünülmektedir ([http-5](#)).

70'li yılların en etkili araştırmalarından biri, Ken Versprille'in doktora çalışması kapsamında CAD yazılımlarında kullanılmak üzere bir tür karmaşık üç boyutlu yüzey modellemesi olan, "Düzensiz olmayan rasyonel eğri" anlamına gelen NURBS'i geliştirmesidir. Bir diğeri ise Alan Grayer, Charles Lang ve Ian Braid tarafından PADL (Part and Assembly Description Language) katı modelleyicisinin geliştirilmesidir. Bu

atılımlar bilgisayar grafiklerinde eğrileri ve yüzeyleri oluşturmak için kullanılan işlevlerin temelini oluşturmuştur (Görsel 1.3).



Görsel 1.3. Üç boyutlu NURBS yüzeylerinin kontrol noktaları
(http-6)

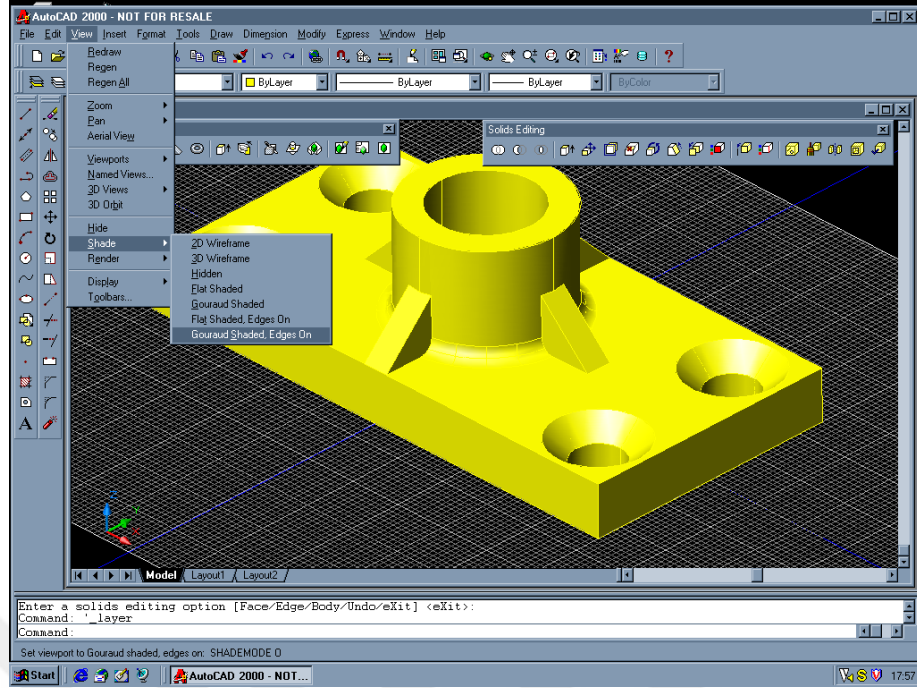
80'li yılların başında, tek işlemcili, basit ve kolay kullanım sunan UNIX işletim sisteminin geliştirilmesinin katı modellemenin işlenmesinde devrim niteliğinde bir başlangıç yarattığı düşünülmektedir. Bilgi işlem sistemlerindeki ilerlemelerle Unigraphics şirketi Uni-Solid'i, Spahe-data ekibi, Romulus adlı yazılımı ve Dassault Systems firması, CATIA (Computer-Aided Three Dimensional Interactive Application) isimli katı modelleme programlarını piyasa sürmüştür. CAD kullanımları, geçmişte sadece ağır endüstrilere uygun yazılımlarken, bilgisayar donanımlarının iyileştirilmesi ve yüksek performanslı hale getirilmesi ile otomotiv, havacılık ve elektronik endüstrilerinde kendini göstermeye başlamıştır. 1981'de IBM şirketi ilk kişisel bilgisayar olan PC (Personal Computer)'yi piyasaya sürmüştür (Görsel 1.4). Böylece bilgisayarlar boyutlarının küçülmesi ve üretimlerinin çoğalmasıyla yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bilgisayar dünyasında yaşanan bu gelişmeler, CAD sistemlerinin geniş çapta benimsenmesi için zemin hazırlanmıştır. 1982 yılında, Autodesk şirketi kurulmuş ve 1983 yılında IBM şirketi PC için ilk önemli CAD programı olan AutoCAD'i piyasaya sürmüştür (http-7).



Görsel 1.4. IBM şirketinin ilk üretilen klavyeli kişisel bilgisayarı
(<http-8>)

AutoCAD yazılımının, katı modellemenin gelişimine, çizim ve mühendislik işlevlerinin daha uygun fiyatlı hale gelmesine büyük katkıları olmuştur. Fakat PC'ler CAD programlarının gerektirdiği hesaplamaları yapacak özelliklere sahip olmadığı için, bir süre daha çalışmalar iki boyutlu olarak devam etmiştir. 90'lı yıllara gelindiğinde bilgisayar sistemlerinde artan yenilikler ile teknoloji artık üç boyutlu katı modelleri işleyecek yeterliliğe ulaşmaya başlamıştır. Böylelikle CAD yazılımları da tüketiciler tarafından erişilebilir hale gelmiştir.

1995 yılında Windows masaüstünde kullanılmaya uyumlu bir modelleme programı yapılması amacıyla çalışmalar yapılmış ve SolidWorks adlı ilk üç boyutlu katı modelleme programı piyasa sürülmüştür. SolidWorks programı CAD yazılımlarının geleceğe yönelik gelişiminde büyük bir adım olmuştur. 2000'li yıllara gelindiğinde Autodesk firması ilk web özellikli CAD yazılımı olan AutoCAD 2000'i piyasaya sunarak, hem bir ilki gerçekleştirmiş hem de programın var olan özelliklerini zenginleştirerek gelişimini devam ettirmiştir. Sonraki yıllarda yazılımlarında sürekli güncellemeler yaparak başarısını sürdürmüştür (Görsel 1.5), (<http-7>).



Görsel 1.5. AutoCAD 2000 arayüzü ile üç boyutlu katı modelleme örneği
([http-9](http://9))

21.yüzyıl'da yaşanan gelişmeler, bilişim teknolojilerinde gerçekleşen devrimleri beraberinde getirmiştir. PC'lerin, akıllı telefonların ve tabletlerin büyük ölçekte piyasaya sürülmesiyle, insan ve makine etkileşimi artarak, CAD programları özel donanımlar gerektirmeden internet ve bulut tabanlı ortamlarda kullanılabilir hale gelmiştir. Günümüzde CAD teknolojileri birçok farklı endüstri tarafından tercih edilmeye devam etmektedir.

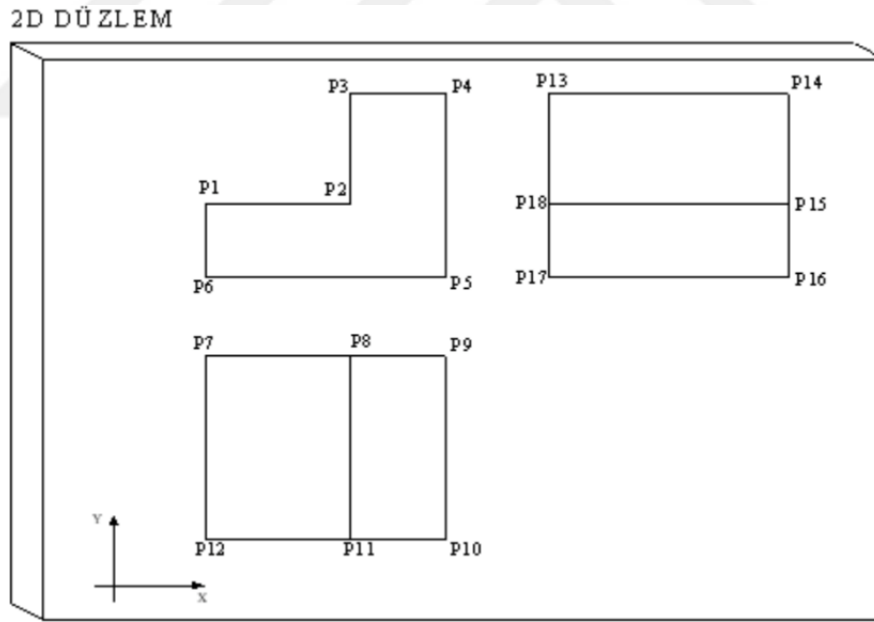
1.1.2. Bilgisayar destekli modelleme

Bilgisayar destekli tasarım ile modelleme kavramı, tasarımı yapılacak ürünün çizim aşamalarının bilgisayar programları kullanılarak oluşturulması anlamına gelmektedir. Bilgisayar yazılımları ve donanımları sayesinde modelleme süreci sanal ortamda şekillenmektedir. CAD sistemleri ile tasarlanan model, geometrik yapıdan oluşan matematiksel bir ifadeyi içerir. Tasarım programları aracılığıyla yaratılan bu geometrik model, ürünün sanal görüntüsü olmasına rağmen gerçek bir ürün gibi izlenmesine, düzenlenmesine ve analizinin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bilgisayar destekli tasarım programları ile modelleme, kullanılan programın niteliğine ve tasarımın özelliklerine göre iki boyutlu veya üç boyutlu olarak oluşmaktadır.

1.1.2.1. İki boyutlu modelleme

İki boyutlu modeller sayısal sistem tarafından, x ve y koordinatları olarak tanımlanan noktalar ile sınırlandırılmış düzlemsel yapılar olarak algılanmaktadır. Çizimlerin veri tabanı, objenin sadece iki boyutlu şekilde görüntülenebileceği xy, xz, yz, koordinat değerlerinden oluşur, tasarlanan modelin üst, ön, sağ, sol, alt, perspektif gibi görünüm seçenekleri iki boyutlu düzlemde izlenebilmektedir (Türkel, 2008, s. 31). Görsel 1.6' da iki boyutlu düzlemde görüntüleme örneği verilmiştir.

Bilgisayar destekli tasarım ile oluşturulan en kolay model iki boyutlu modeldir. Farklı görünüşleri yalnızca bir düzlemde gösterir, çalışma alanı iki boyutlu olduğundan, modelin biçimsel özellikleri, derinliği ve boyutları yetersiz görülmektedir. Modelin üretimi sırasında oluşabilecek hatalar iki boyutlu modelleme aşamasında fark edilememekte ve üretim sonucunda hatalarla karşılaşmaktadır. Bu hataları daha öncesinde görebilmek ve eksikliği giderebilmek amacıyla detaylı tasarımlar yapılmasını sağlayan üç boyutlu tasarım programları sıklıkla tercih edilmektedir (Erdem, 2018, s. 24).



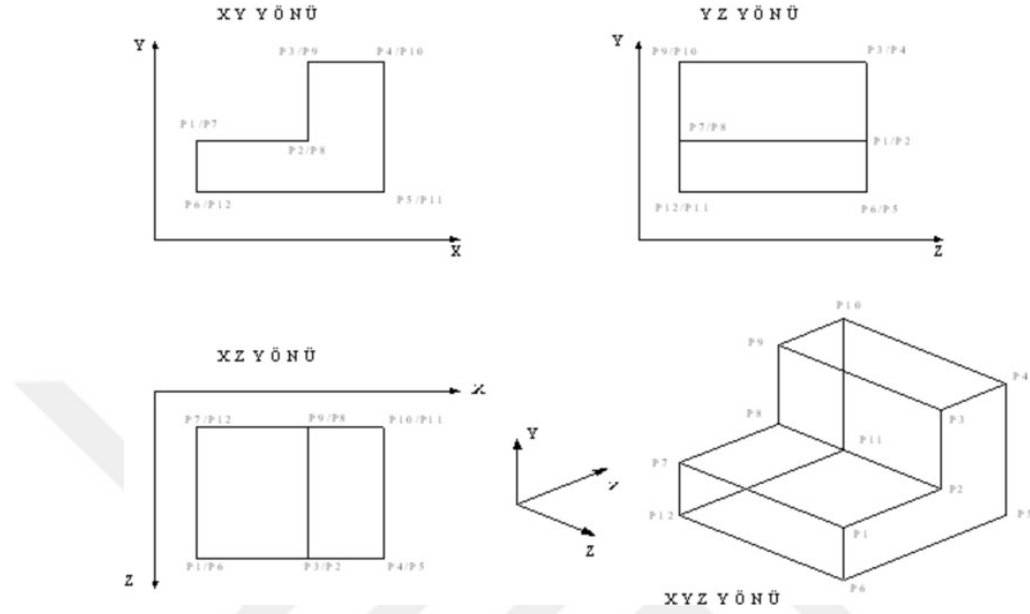
Görsel 1.6. İki boyutlu düzlemde üç farklı görünüm

(Özkan, 2010, s. 9)

1.1.2.2. Üç boyutlu modelleme

Üç boyutlu modelleme, bilgisayar programlarının teknik donanımları ile şekillenen, tasarımı ve üretimi içeren bilgisayar destekli çizim sürecidir. Üç boyutlu modelleme ile x ve y koordinatına üçüncü bir eksen olan z koordinatı eklenerek objenin üç boyutlu

ortamda modellenmesi sağlanır. İki boyutlu modelleme ile üç boyutlu modelleme arasındaki en önemli fark, üçüncü boyutu oluşturan z eksenidir (Görsel 1.7)



Görsel 1.7. X,Y,Z ekseninde üç boyutlu model görünümü
(Özkan, 2010, s. 10)

Temeli geometrik yapılarla dayanan modellerin çizimleri, üç boyutlu alanda ve çoklu eksenlerde yapılmaktadır. Tasarımı yapılan çizimin farklı görünümüne sayesinde (üst, alt, ön, arka, sağ, sol) çok yönlü olarak ekranda görüntülenmesi hataların tespitini kolaylaştırmakta ve çizimin hareket alanı genişletmektedir. Bilgisayar destekli tasarım programlarının sağladığı özellikler ile modelin, sunulması, verilerin analiz edilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi çalışma sürecinde büyük avantaj oluşturmaktadır.

Bilgisayar destekli tasarım programları aracılığıyla şekillendirme, katı ve yüzey modelleme olarak ikiye ayrılmaktadır. Katı modellemede, ürün içi dolu katı bir modelin eksiltilmesi yöntemiyle şekillendirilirken, yüzey örme ile modellemede, ayrı ayrı oluşturulan yüzeylerin birleştirilmesi ile form oluşmaktadır. Bu iki yöntem ile şekillendirme sürecinde elde edilen sonuç aynıdır. Üç boyutlu çizim programıyla yapılan ürünlerin görüntülenmesinde ve sunumunda kullanılmak üzere render seçenekleri ile renk ve doku eklenerek tasarımın gerçeğine yakın görselleştirmeleri de yapılabilmektedir. Görsel 1.8’de bilgisayar ortamında yapılan modelin çizimi ve efekt eklenmiş hali görüntülenmektedir (Can, 2019, s. 9).

Bilgisayar destekli tasarım teknolojileri, sağladığı kolaylıklar sayesinde mimarlıktan, mühendisliğe, tıptan, sinemaya, otomotivden, sanata birçok farklı sektörde tasarımın her alanında endüstriyel ve sanatsal ürün üretmek için yaygın olarak kullanılan önemli sistemlerdir.



Görsel 1.8. *X,Y,Z ekseninde üç boyutlu model görünümü*
(<http-10>)

1.1.3. Bilgisayar destekli tasarımın yararları

CAD programları elle çizim yöntemleri ile karşılaştırıldığında, tasarımcıya önemli kolaylıklar sağlarken, süreci daha rahat yönetilebilir hale getirmektedir. Bu anlamda CAD kullanımının sunduğu önemli avantajlardan bazıları aşağıdaki gibidir:

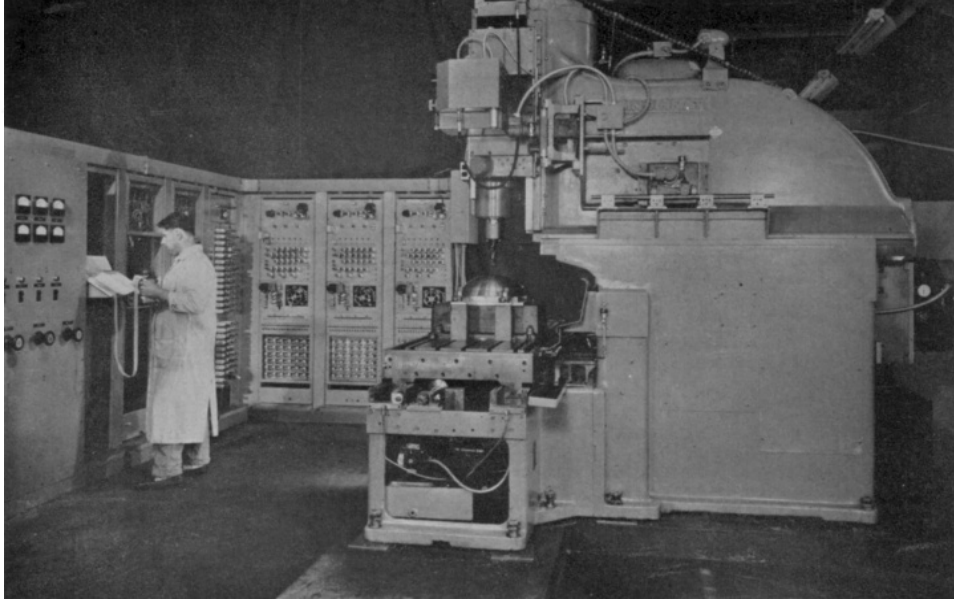
- Yazılım özelliklerinin sağladığı (açılar, ölçümler gibi) teknik işlevler sayesinde daha kontrollü tasarımlar,
- Verimli çalışma akışı ile daha kaliteli ürünler,
- İki boyutlu ve üç boyutlu çizimler üzerinde taşıma, kopyalama, boyutlandırma, ölçeklendirme, aynalama gibi birçok değişikliğin hızlı bir şekilde yapılabilmesi,
- Tasarımlarda daha net ve ayrıntılı çalışabilme olanağı sayesinde, daha iyi okunabilirlik ile tasarım sürecinin en etkili şekilde kullanılabilmesi,
- Geleneksel tasarım sürecine kıyasla nihai ürüne oluşma sürecinin çok daha hızlanması,
- Oluşan evrensel bir dil birliği ile ekip çalışmalarında ve farklı proje grupları arasında tasarımın analizinin kolaylaşması.

1.2. Bilgisayar Destekli Üretim

Teknolojinin hızla ilerlemesi özellikle imalat sistemlerinde teknolojik gelişmeleri ön plana çıkarmaktadır. Bilgisayar Destekli Üretim (CAM) teknolojilerinin geçmişi 1950'li yıllara uzanmaktadır. CAD teknolojileri ile bilgisayar ortamında geliştirilen tasarımın, CAM ile prototip ürünü üretilebilir, dijital ortamdaki verileri bilgisayar kontrollü cihazlara aktararak nihai ürün üretimi gerçekleştirilebilir. CAD/CAM sistemleri ile tasarım ve üretim sürecini bilgisayar ortamında birleştirilerek, üretimde verimlilik artışı sağlanmaktadır.

1.2.1. Bilgisayar destekli üretimin tarihsel gelişimi

Bilgisayar destekli üretimin ilk örneği 1946 yılında John T. Parsons tarafından üretilen uçak kanatlarının yumuşak biçimlerini işlemek için geliştirdiği freze tezgahıdır. Görsel 1.9'da Amerikan Hava Kuvvetleri, Parsons tarafından üretilen sistemden etkilenip Massachusetts Institute of Technology (MIT)'de bulunan araştırmacılar ile geliştirdiği freze tezgâhı görülmektedir (Türkel, 2008, s. 75).



Görsel 1.9. *Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde (MIT) yapılan ilk Freze Tezgâhı*
(<http-11>)

Bu freze tezgâhı ilk olarak radyal uçak motoru piston kolları işlemede kullanılmıştır. Parsons Corporation şirketi ve MIT'in (Massachusetts Institute of Technology) yaptığı bu ortak çalışma, nümerik kontrol teknolojisinin başlangıcı

olmuştur. Cincinnatti-Hydrotel adlı bu freze tezgahında, delikli bir kâğıt üzerinde bulunan kod yardımıyla yaptıkları uygulamada başarılı sonuç elde edilmiştir. 1960'lı yıllarda bilgisayarların gelişmesi ve üretimde nümerik kontrol teknolojisinin başarılı olması ile CNC tezgâhlarının üretimi başlamıştır (Erdem, 2018, s. 30).

Yıllar içerisinde çalışmalar artmaya ve üretim teknolojisi gelişmeye devam etmiştir. Günümüzde CAM (Computer Aided Manufacturing) teknolojileri, havacılık ve otomotiv başta olmak üzere birbirinden farklı sektörlerde, yedek parça, makine, kalıp üretimi gibi farklı aşamalarda kullanılmaktadır. Bu teknolojilerin kullanımlarının yaygınlaşmasının en temel nedeni işletmelere sağladığı avantajlardır. Bilgisayar destekli üretim teknolojilerinin endüstride üretim süreçlerine dahil olmasıyla birlikte iş gücünü azaltıp, üretim sürecini kısaltarak verimliliğin artmasına, düşen maliyetler ile daha kaliteli ürün ve hizmet sunulmasına katkıda bulunmaktadır. Bilgisayar destekli üretim yöntemleri, bilgisayarlı nümerik kontrol teknolojisi (CNC) ve hızlı prototipleme (RP) teknolojisi olarak ikiye ayrılır. İki sistem arasında bulunan temel fark CNC teknolojisinde, malzeme eksiltmeli (subtractive) üretim prensibi ile şekillenirken, hızlı prototipleme yöntemlerinde, eklemeli (additive) üretim prensibi ile malzeme katman katman oluşturularak şekillenmektedir.

1.2.2. Eksiltmeli üretim

1940'lı yıllarda nümerik kontrollü makinaların geliştirilmesi, eksiltmeli üretimin temelini oluşturmuştur. Eksiltmeli üretimde malzeme, katı bir bloktan kesme, delme, taşlama gibi yöntemler ile aşamalı olarak çıkarılarak şekillenir. Bu işlemler bilgisayar kontrollü olarak gerçekleşmektedir. Eksiltmeli üretim yöntemlerinin en yaygın kullanılan biçimi CNC işlemdir. İngilizce ifadesi "Computer Numerical Control" olan ve CNC kısaltması ile kullanılan bu teknoloji, "Bilgisayarlı Nümerik Kontrol" olarak ifade edilmektedir.

Eksiltmeli üretimde, modellenmesi planlanan tasarım, CAD programları aracılığıyla şekillendirildikten sonra, CAM teknolojileri kullanılarak CNC tezgahının işleyeceği komut ayarlamaları yapılır. Daha sonra sayısal olarak kontrol edilen kesici uçlar ile malzeme katmanlar halinde eksiltilerek modellenir (http-12).

CNC işlemi, genel olarak makineye takılan kesici uçların ahşap, metal, alçı gibi katı blokların üzerinde katman katman ilerlemesi ile oluşmaktadır. Belirlenen takım yolları üzerinde, kesici ucun kalınlığı, ilerleme hızı, kazıma derinliği gibi parametrelere göre malzeme eksiltilerek şekillenmektedir (Görsel 1.10). CAM programları aracılığı ile

tezgâhın izleyeceği yol koordinatları üç boyutlu model üzerinde ayarlanarak ve kazıma işleminde kullanılacak araç özelliklerinin bir simülasyonu görüntülenerek, değişkenlikler kontrol edilebilir. Daha sonra oluşturulan bu koordinatlar G-code adı verilen sayısal kodlar halinde makineye aktarılmaktadır (Hamzaoğlu & Özkar, 2017, s. 15).



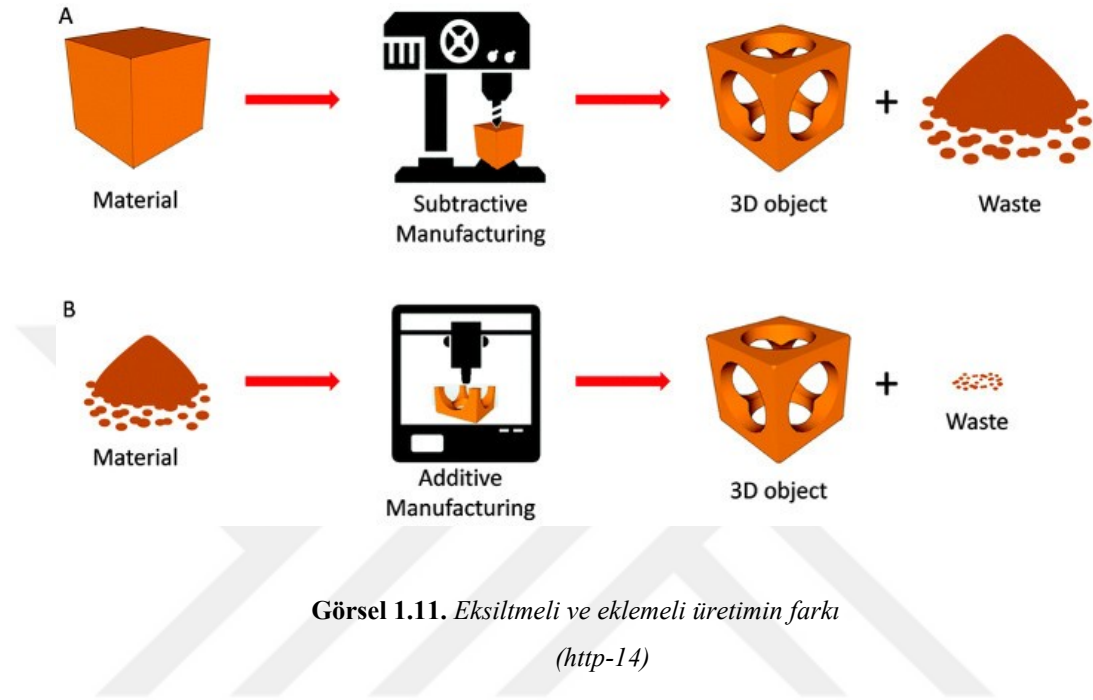
Görsel 1.10. *CNC teknolojisi ile ahşap kazıma*
(http-13)

1.2.3. Eklemeli üretim

Eklemeli üretim (Additive Manufacturing) eksiltmeli üretim yöntemlerinden farklı olarak, toz, plastik, reçine gibi çeşitli malzemeleri, katmanlar şeklinde birbiri üzerine birleştirerek (üst üste yığarak), ardından çeşitli malzemeler ile katılaştırarak, fiziksel bir objeye dönüştürüldüğü şekillendirilme sürecidir. Eklemeli üretim, genel olarak üç boyutlu yazıcılarla yapılan üretimi, hızlı prototipleme (rapid prototyping), hızlı üretim (rapid manufacturing) ve üç boyutlu baskıyı tanımlamak için kullanılmaktadır (Işıқтаş, 2018, s. 1197).

Birçok farklı üretim yöntemini çatısı altında bulunduran üç boyutlu baskı teknolojileri, dijital ortamda CAD yazılımları aracılığıyla oluşturulan üç boyutlu modelleri somut nesnelere, pratik biçimde dönüştüren bir üretim sistemidir. Üç boyutlu baskının temel mantığı olan eklemeli üretim, CNC frezeleme, tornalama, delme gibi eksiltmeli işlemlerin tersidir. Eksiltmeli üretimde blok halinde bulunan malzemeden parçalar kazınarak veya kesilerek ayrılırken, üç boyutlu baskı yönteminde, tasarlanan

obje tamamlanana kadar malzeme her katmanda üst üste eklenerek şekillenmektedir (Sürmen, 2019, s. 374). Görsel 1.11’de eklemeli ve eksiltmeli üretimin görsel anlatımı verilmektedir.



Üretilmesi planlanan üç boyutlu modelin cihaza gönderilmeden önce belli işlemlerden geçmesi gerekmektedir. Model ilk olarak eklemeli üretimde yaygın olarak kullanılan STL dosya formatına dönüştürülür. Daha sonra ek yazılımlar kullanılarak modelin boyut ve biçim kontrolü, üretim alanına yerleşimi, gerekiyorsa destek yapıları oluşturulması gibi ayarlamaları yapılır. Son olarak ürün katmanlarına ayrıştırılarak baskı süreci için cihaza gönderilir (Özsoy & Duman, 2017, s. 38).

Malzeme ürünün katmanlarında yığın oluşturularak ortaya çıkar ve ürünün meydana geldiği süreç boyunca malzemeden verilen fire miktarı minimum hale gelir. Bu nedenle eklemeli üretim ile nesnelere, daha az malzeme kullanımı ile elde edilmektedir. Aynı zamanda üretim süreci boyunca daha az atık ortaya çıkmaktadır. Bu etmenler, üretim yönteminin ekonomik ve sürdürülebilir olmasına katkıda bulunmaktadır. Günümüzde birçok alanda kullanılan eklemeli üretim teknolojileri ile üretimi zor olan karmaşık ürünlerin daha kolay, daha hızlı ve düşük maliyetlerle üretilmesi mümkün hale gelmektedir.

Stereolitografi (SLA), Eriyik Yığarak Modelleme (FDM), Seçici Lazer Sinterleme (SLS) gibi yöntemler yaygın olarak kullanılan eklemeli imalat yöntemleridir. Bu teknolojiler ile sıvı reçine, polimer ve metal tozları gibi malzemeler ile üç boyutlu fiziksel objelerin üretimi yapılabilmektedir (Özsoy & Duman, 2017, s. 38).

İKİNCİ BÖLÜM

2. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TEKNOLOJİLER İLE ENDÜSTRİYEL SERAMİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ

2.1. Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojisi

Üç boyutlu yazıcılar, bilgisayar destekli tasarım programları kullanılarak oluşturulan modellerin, farklı malzeme seçenekleri ile fiziksel objeler haline dönüştürülmesini sağlayan cihazlar olarak ifade edilmektedir. Günümüzde üç boyutlu yazıcılar; hem prototip ürün, hem nihai ürün üretimi için endüstriyel tasarım, mimari, otomotiv, inşaat, tıp, moda gibi bir çok alanda kullanılmaktadır.

Üç boyutlu yazıcı teknolojisinin ilk örnekleri 1970'li yıllarda görülmektedir. 1986 yılında Charles Hull tarafından patenti alınmış ve günümüze kadar gelişimini sürdürmeye devam etmiştir. Dijital yöntemlerle, amaca yönelik üç boyutlu obje üretimini mümkün kılan yeni jenerasyon üretim teknolojisi yaygın olarak polimer, plastik, metal, reçine, seramik gibi farklı malzemeler kullanılarak, geleneksel imalat yöntemleri ile üretilmeyecek karmaşık geometrilerin üretilmesine imkân vermektedir (Martinez & Can, 2016, s. 4).

Bilgisayar destekli tasarım CAD (Computer Aided Design) ve Bilgisayar destekli üretim CAM (Computer Aided Manufacturing) terimleri, üç boyutlu baskı süreçlerini ifade etmektedir (Işıktaş, 2018, s. 1197).

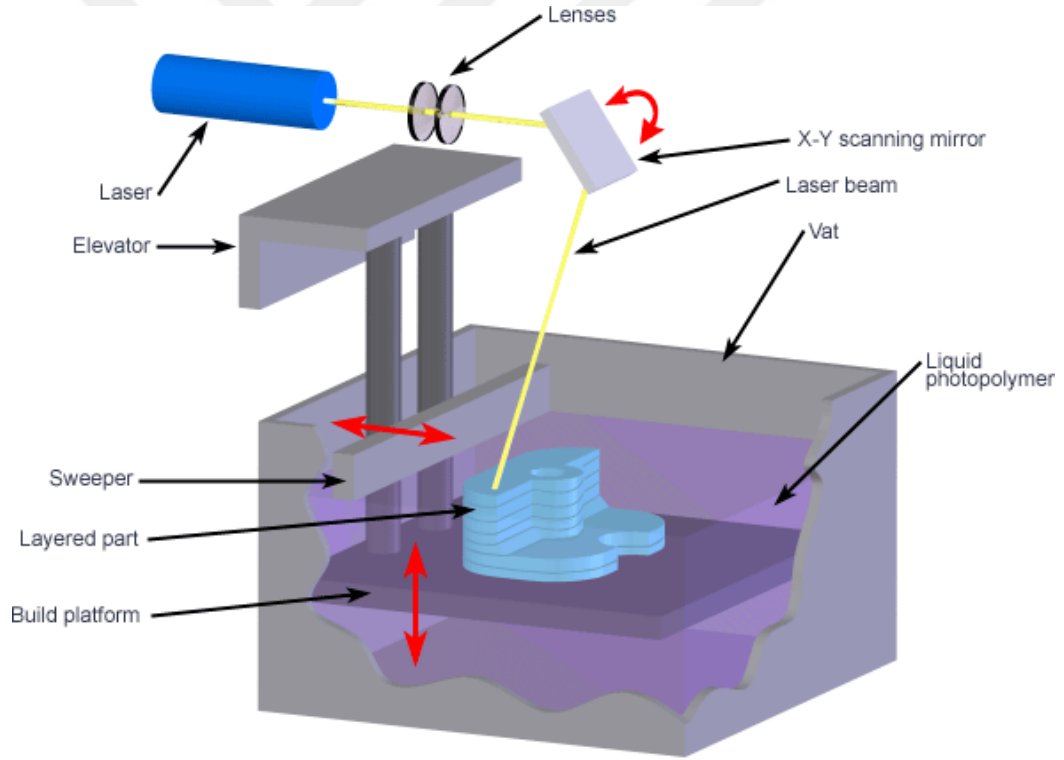
2.1.1. Üç Boyutlu yazıcıların türleri

Eklemeli üretim yöntemi olarak adlandırılan üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile üretim gerçekleştirebilmek için günümüze dek pek çok farklı yöntem geliştirilmiştir. Teknolojiler arasındaki temel farklılıklar tasarıma ve malzemeye bağlı olarak, birbiri üzerine eklenen katmanların nasıl biçimlendiğiyle ilgilidir (Şahin & Turan, 2018, s. 100).

Üç boyutlu baskı teknolojileri, Tarayarak Işıklı Kütleme Teknolojisi (Stereolithography -SLA), Seçici Lazer Sinterleme Teknolojisi (Selective Laser Sintering-SLS), Toz Bağlama Teknolojisi (Powder Binding), Tabakalı Cisim Üretimi Teknolojisi (Laminated Object Manufacturing – LOM) ve Eriyik Yığarak Modelleme Teknolojisi (Fused Deposition Modeling –FDM) olarak beş ana başlık altında incelenebilmektedir.

2.1.1.1. Tarayarak ışıkla kütleme teknolojisi (stereolithography -SLA)

Stereolitografi, SLA kısaltması ile kullanılan, fotopolimerizasyon olarak tabir edilen eklemeli üretim grubuna ait bir teknolojidir. Fotopolimerizasyon yönteminde sıvı halde bulunan reçinenin, ultraviyole ışık kaynağı kullanılarak sertleştirilmesi sağlanır. Ürün, katılarak üst üste birleşen katmalar ile inşa edilir (Görsel 2.1), (http-15).

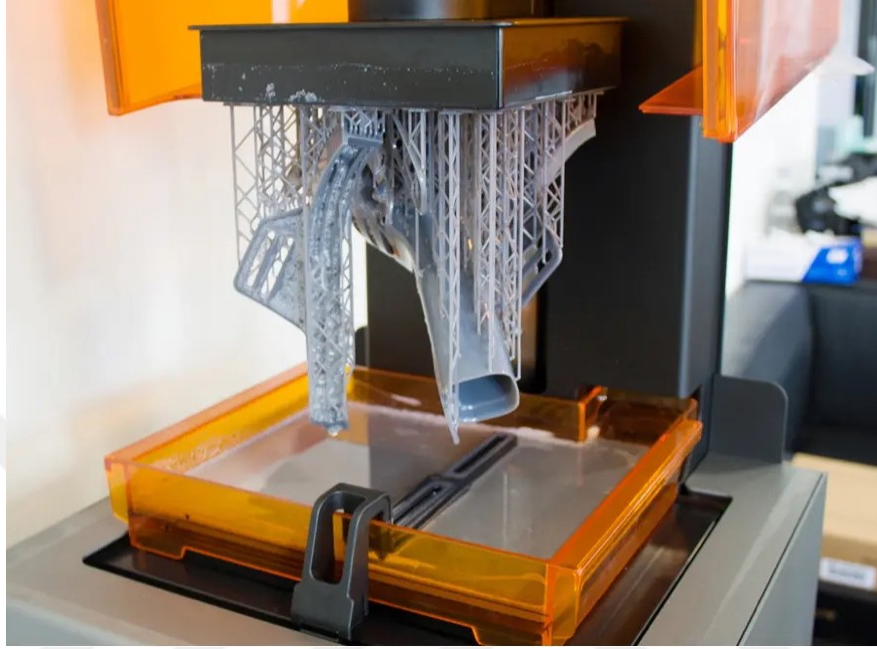


Görsel 2.1. SLA tipi üç boyutlu yazıcı şeması

(http-16)

SLA, 3D Systems şirketi tarafından 1984 yılında geliştirilmiş, yüksek pürüzsüzlükte ve detaylı üretim olanağı sağlayan üç boyutlu baskı yöntemlerindedir. Bu yöntemde, modeli oluşturacak malzeme, yazıcının haznesinde sıvı halde bulunur ve lazer

ışınına maruz kaldığında sertleşerek şekil almaktadır (Görsel 2.2). SLA yazıcı katmanları, x ve y ekseninde, lazer ışınının sıvı malzemeyi sertleştirmesi ile oluşturmaktadır (Özgündoğdu, 2014, s. 4).



Görsel 2.2. SLA teknolojisi baskı örneği
(<http-17>)

Bu yöntem ile sağlık ve tüketim ürünleri başta olmak üzere farklı alanlarda, sıvı reçine, epoksi hatta porselen gibi pek çok malzeme ile detaylı üretim imkânı sunmaktadır (Görsel 2.3, 2.4), (Şahin & Turan, 2018, s. 102). Stereolitografi yöntemi, yazdırma tablasının büyüklüğüne bağlı olarak, tasarımları birden fazla sayıda basabilmeye imkân tanımaktadır. SLA ile üretilen objeler prototip olarak kullanılabilceği gibi, hava basınçlı kalıplama, ısıl şekillendirme, metal döküm ve master kalıp üretimi süreçlerinde de kullanılacak dayanıklılığa sahiptir (Demirbaş & Arlı, 2017, s. 10).



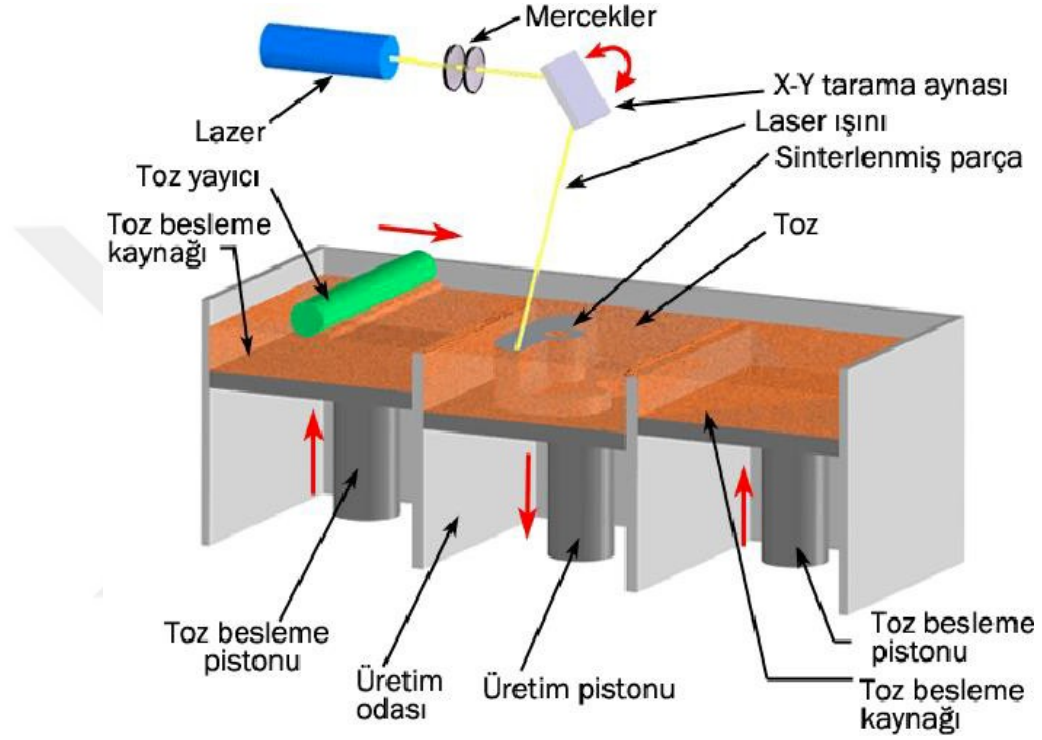
Görsel 2.3. İnce detaylı bir tasarımın SLA baskı örneği
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 2.4. SLA ile basılan seramik ürünler
(http-18)

2.1.1.2. Seçici lazer sinte rleme teknolojisi (selective laser sintering - SLS)

SLS teknolojisi, 1980'li yılların ortalarında Teksas Üniversitesi bünyesinde, Carl Deckard ve akademik danışmanı Dr. Joe Beaman tarafından geliştirilmiştir. Çalışma prensibi kısaca, toz malzemenin ısı ve basınç altında sertleşerek katı nesnelere dönüştürülmesine dayanmaktadır (Görsel 2.5).



Görsel 2.5. SLS teknolojisi çalışma şeması

(Şahin ve Turan, 2018, s.102)

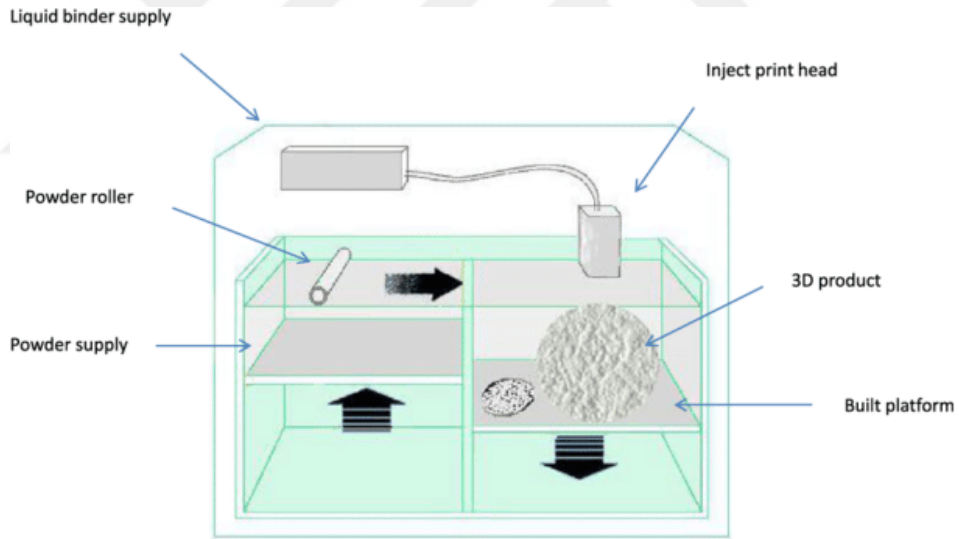
Bu yöntemde malzemeyi sertleştirmek için lazer ışını kullanılmaktadır. Isı ile birbirine bağlanabilen toz halindeki madde üretim haznesine yayılır, güçlü lazer ışını bu toz halde bulunan malzemeye yansıtılmaktadır. Işın ile malzemenin birleştiği noktalarda oluşan sıcaklık, erime ve ardından sertleşme meydana getirmektedir. Bu işlem her katman için tekrarlanır ve şekillendirme tamamlanana kadar devam etmektedir. Aynı zamanda üretimin yapıldığı toz malzeme ile dolu hazne, işlemin sonuna kadar içinde şekillenen nesneye destek görevi görmektedir. Bu nedenle tasarımın, çoğunlukla ilave destek yapılarına ihtiyacı kalmamaktadır. Destek gerektirmediği için de işlem tamamlandığında

ortaya çıkan modelde, yüzey son derece temiz olmaktadır (Şahin & Turan, 2018, s. 101-102)

SLS teknolojisinde plastik, metal, cam, seramik gibi lazer ışını ile sertleşebilen birçok farklı malzeme kullanımıyla uygulama alanının oldukça geniş olduğu görülmektedir.

2.1.1.3. Toz bağlama teknolojisi (powder binding)

Toz bağlama teknolojisi, Z Corporation firması tarafından geliştirilmiş bir yöntemdir. Yazıcının çalışma prensibi, mürekkep püskürtmeli kâğıt baskı yapan yazıcılara benzemektedir. Bu yöntemde bağlayıcı sıvı madde, başlıktan püskürtülerek toz yatağında bulunan malzemenin birbirine yapışmasını sağlamaktadır (Görsel 2.6). SLS teknolojisine benzer şekilde toz yatağı içinde şekillenen modele destek görevi görmektedir ve modelleme işlemi tamamlandıktan sonra toz malzeme, modelden kolayca ayrıştırılabilmektedir (Şahin & Turan, 2018, s. 104)



Görsel 2.6. Toz bağlama teknolojisi

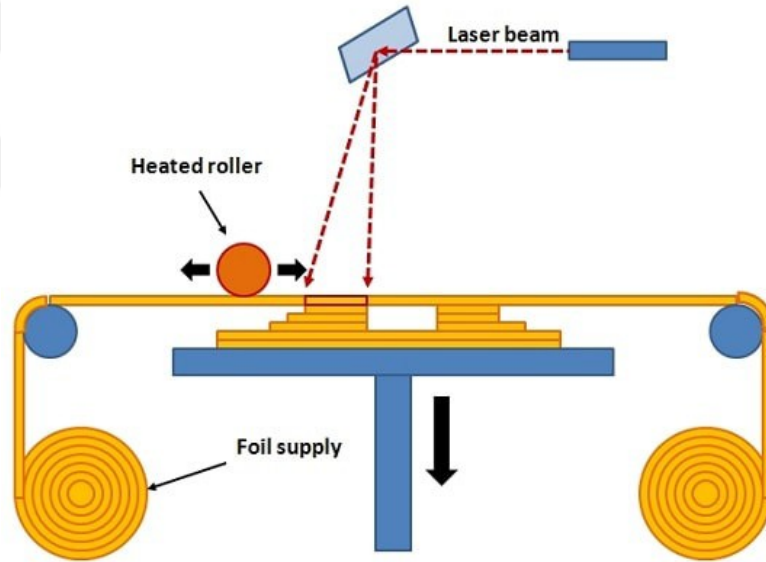
(http-19)

Toz bağlama teknolojisi ile seramik ve cam üretimini mümkün hale getiren malzeme kompozisyonları da geliştirilmiştir. Bu üretimlerde kil ya da cam malzeme sertleştirilerek biçimlendirilir; daha sonra direkt pişirim aşamasına geçilebilmektedir. Farklı malzemelerin direkt baskı aşamasında kullanılabilmesi, endüstride üretim imkanını

arttırarak, ileri seramik malzemelerin üç boyutlu yazıcılar ile çeşitlenmesi için geniş araştırma alanı sunmaktadır (Özgündoğdu, 2014, s. 5)

2.1.1.4. Tabakalı nesne üretim teknolojisi (laminated object manufacturing - LOM)

Tabakalı nesne üretim teknolojisi, 1991 yılında Helysis şirketi tarafından geliştirilen bir üretim yöntemidir. Bu yöntem ile malzeme katmanlar halinde termal bir bağlayıcı kullanılarak basınç ile birbirine yapıştırılmaktadır. Daha sonra bilgisayar ortamında hazırlanan tasarımın verileri doğrultusunda kesilerek şekillenmektedir (Görsel 2.7). Üretim, yazıcının baskı yüzeyine levha haline getirilmiş, kâğıt, plastik, metal, seramik gibi malzemeleri yerleştirerek başlamaktadır. İlk katmanın üzerine bağlayıcı malzeme yayılarak, ikinci katman ile birleşmesi sağlanır, ardından kesici uç yardımıyla, dilimleme programı ile oluşturulan geometrik veriler takip edilerek malzemenin kesimi yapılmaktadır (Küçükerbaş, 2019, s. 8).



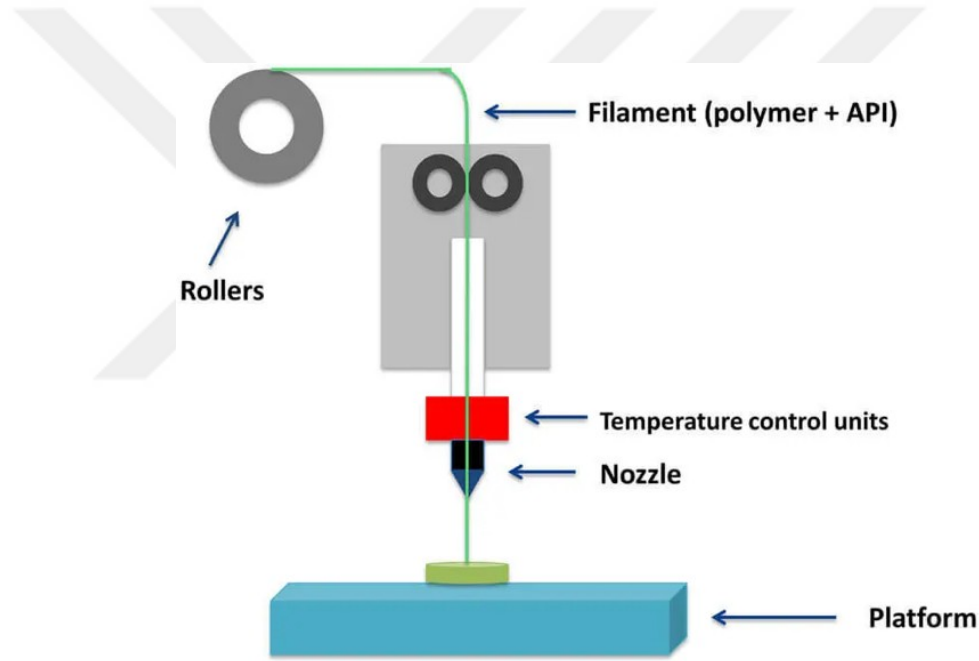
Görsel 2.7. LOM teknolojisi çalışma şeması

(http-20)

LOM, eklemeli ve eksiltmeli üretim tekniklerinin birlikte kullanılması ile model üretiminin gerçekleştiği bir şekillendirme yöntemidir. Tabakaların katman katman birleştirilmesi ile eklemeli üretime, kesici uç aracılığıyla malzemeden parça çıkarılması itibariyle CNC (Computer Numerical Control) teknolojiye benzemektedir (Demirbaş & Arlı, 2017, s. 14)

2.1.1.5. Eriyik yığarak modelleme teknolojisi (fused deposition modeling –FDM)

FDM (Fused Deposition Modeling) teknolojisi ile filament olarak adlandırılan malzemenin, başlıktan (nozzle) yarı eriyik halde, üretim tablasına katman katman eklenerek bilgisayar ortamında tasarımı yapılan modelin, fiziksel bir nesneye dönüştürülmesini sağlayan bir üç boyutlu yazıcı teknolojisidir. Bir makara düzeneğine sarılmış olan katı haldeki filament adı verilen malzeme, motor yardımıyla ısıtıcı başlığa yönlendirilir, başlığa ulaşan malzeme ısı ile yarı akışkan bir duruma gelmektedir (Görsel 2.8). Yarı akışkan hale gelen filament tasarımda bulunan verilere bağlı olarak katmanları oluşturur; katmanların oluşması ile malzeme soğuyarak tekrar katılaşmaktadır. Bu süreç model tamamlanana kadar tekrar etmektedir.



Görsel 2.8. FDM teknolojisi çalışma prensibi

(http-21)

Eriyik yığarak modelleme yöntemi ile çalışan üç boyutlu yazıcılar en çok kullanılan yazıcı modelidir. Diğer üç boyutlu yazıcılara göre daha ekonomik, ulaşılması kolay ve kullanımı pratiktir. Bu işlem için yaygın olarak PLA ve ABS olarak adlandırılan mukavemeti diğer plastiklere oranla daha yüksek olan filament türleri kullanılmaktadır. ABS petrol bazlı bir malzeme iken, PLA organik bileşenlerden oluşmaktadır ve çevre dostu bir malzemedir (Kayalıoğlu, 2020, s. 39).

FDM teknolojisinde, kartezyen ve delta olmak üzere iki farklı tipte cihaz geliştirilmiştir. Bu iki tip yazıcının temel çalışma prensibi aynı olsa da bazı özellikleri nedeniyle birbirlerinden ayrılmaktadır. Kartezyen tipi yazdırma teknolojisinde, hareket eden yazdırma tablası z ekseninde yukarı doğru hareket ederken, sabit kollara bağlı olan nozzle başlığı, x ekseninde ve y ekseninde hareket ederek modeli inşa etmektedir. FDM tipi yazıcıda PLA ve ABS gibi filamentler kullanılmaktadır (Can, 2019, s. 27-28). Görsel 2.9’de Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcı örneği verilmiştir.



Görsel 2.9. Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcı
([http-22](http://22))

Delta tipi yazıcının yazdırma başlığı x,y ve z ekseninde hareket eden üç adet kol üzerine bağlanmıştır. Yazdırma tablası ise Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcının aksine sabittir ve hareket etmez. Yüksek formları üretmek ve seramik gibi malzemeler ile baskı alabilmek için delta tipi yazıcılar kullanılmaktadır. Aşağı ve yukarı hareket eden kolları sayesinde Delta tipi yazıcıların yüzey kalitesi ve yazdırma hızı Kartezyen tipi yazıcılara göre daha yüksektir (Can, 2019, s. 27-28). Görsel 2.10’da Delta tipi üç boyutlu yazıcı örneği görülmektedir.



Görsel 2.10. *Delta tipi üç boyutlu yazıcı*
(http-23)

2.1.2. Üç boyutlu yazıcılar ile endüstriyel seramik model şekillendirme

Gelişen teknoloji ile günümüzde yaşanan değişim ve gelişmelere uyumlanacak şekilde, sanat ve tasarım eğitiminde, geleneksel yöntemlere alternatif olarak bilgisayar destekli üretim teknolojilerinin kullanımı, öğrenciler için yeni bir bakış açısı oluşturmaktadır.

Geleneksel üretim yönteminde, tasarımı yapılan ürünün seramik malzeme ile seri olarak üretilmesi planlanıyorsa zaman ve emek gerektiren bazı süreçlerden geçmesi gerekmektedir. Tasarlanan ürünün, fiziksel bir objeye dönüştürülmesi için ilk adım modelinin oluşturulmasıdır. Model, katı haldeki alçı bloğundan yontulabilir, tornada çekilebilir ya da şablonla şekillendirilebilir. Bu teknikler tasarımı yapılan ürünün formuna göre belirlenmektedir. Modelleme süreci oldukça zahmetli bir süreçtir. Sürecin uzunluğu ve zorluğu, tasarımın geometrilerinin ne kadar karmaşık bir yapıda olduğuyula ilgili olarak değişkenlik göstermektedir.

Çağdaş üretim yöntemlerden olan üç boyutlu yazıcı teknolojisinin, karmaşık yapılarıdaki formları, üretimi zaman gerektiren modelleri hızlı ve pratik olarak şekillendirme imkânı sunmaktadır. Üç boyutlu modelleme programları (CAD)

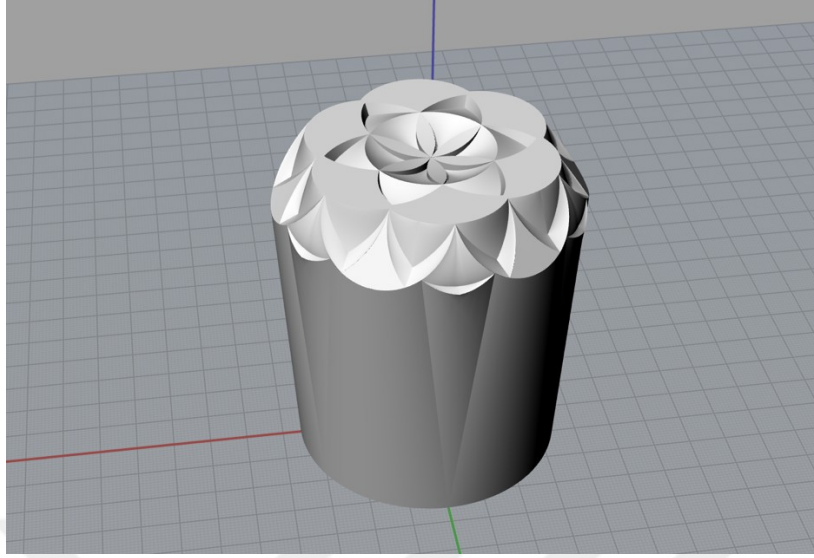
kullanılarak yapılan tasarım, üç boyutlu yazıcılar aracılığıyla tüm detayları ile birebir olarak üretilmektedir. Tasarım ve üretim süreci bilgisayar üzerinden ilerlediği için çizim ile model arasında oluşabilecek sorunlar da kısa sürede tespit edilerek, çözüm getirilebilmektedir. Geleneksel yöntemle kıyasla daha az el işçiliği ve zaman tasarrufu sağlayan bu yöntem, üretim sürecini kısaltması ile öğrenciler için uygulamalı dersler kapsamında tasarım çalışmalarını artırma olanağı sunarak, daha fazla üretim yapmalarına katkı sağlamaktadır.

Eğitim sisteminde geleneksel alçı modelleme yöntemlerinin kullanımları deneyimlendikten ve kavrandıktan sonra, bilgisayar destekli üretim teknolojileri ile model ve kalıp üretimlerinin yapılmasının, eğitim alanında kolaylıklar ve avantajlar sağlayacağı görülmektedir. Günümüzde teknolojilerin daha ulaşılabilir ve düşük maliyetli olması nedeni ile eğitim kurumlarında teknik altyapı ve donanımın oluşturulması mümkün gözükmemektedir.

Bu kapsamda, endüstriyel seramik alanında model üretimi için üç boyutlu yazıcılarla çalışmalar yapılmıştır. Tasarımı yapılan ürünün alçı ile modelleme aşamasında, alçı yerine Işıkla kürleme (SLA) ve Eriyik yığıma (FDM) prensibine göre çalışan plastik ve reçine esaslı malzemeler ile prototip ve model üretim denemeleri gerçekleştirilmiştir. Üç boyutlu yazıcıda kullanılan malzeme, yazıcının model üretim performansı, ürünün alçı kalıp yapımına uygunluğu, üretim esnasında gelişen problemler ve bu problemlerin çözümleri uygulamalar üzerinde değerlendirilmiştir.

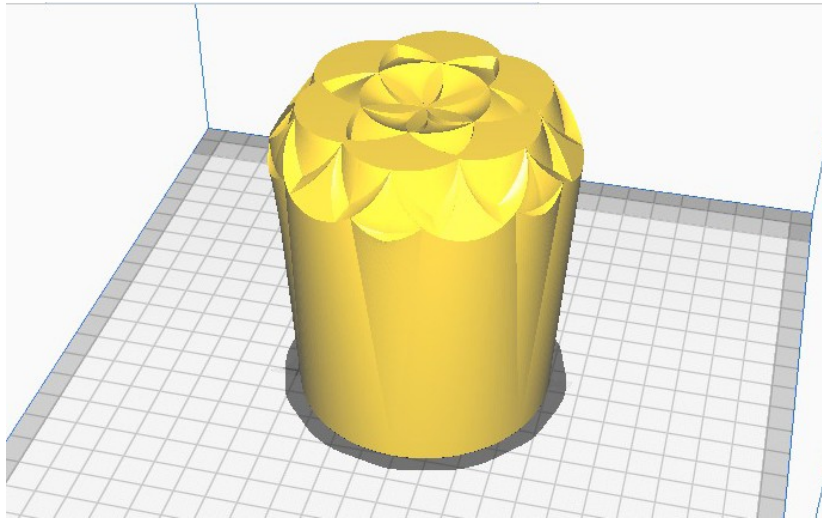
2.1.2.1. Tarayarak ışıkla kürleme teknolojisi (SLA) ile model yapımı

Stereolitografi teknolojisi ile biçimlendirme çalışması için Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında Yaşar Üniversitesi Tasarım Uygulama ve Araştırma Merkezi (YÜTAM)'nden destek alınmıştır. Bu çalışmada stereolitografi teknolojisi ile prototip ve model ürün oluşturulması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda elde, eskiz çizimleri ve teknik çizimler ile ürün tasarımı yapılmıştır. Kâğıt üzerindeki veriler bilgisayar ortamına aktarıldıktan sonra, Rhinoceros programı aracılığı ile üç boyutlu katı modele dönüştürülmüştür. Katı model haline getirilen tasarımın üç boyutlu yazıcıya aktarılabilmesi için STL formatında kaydedilmiştir (Görsel 2.11).



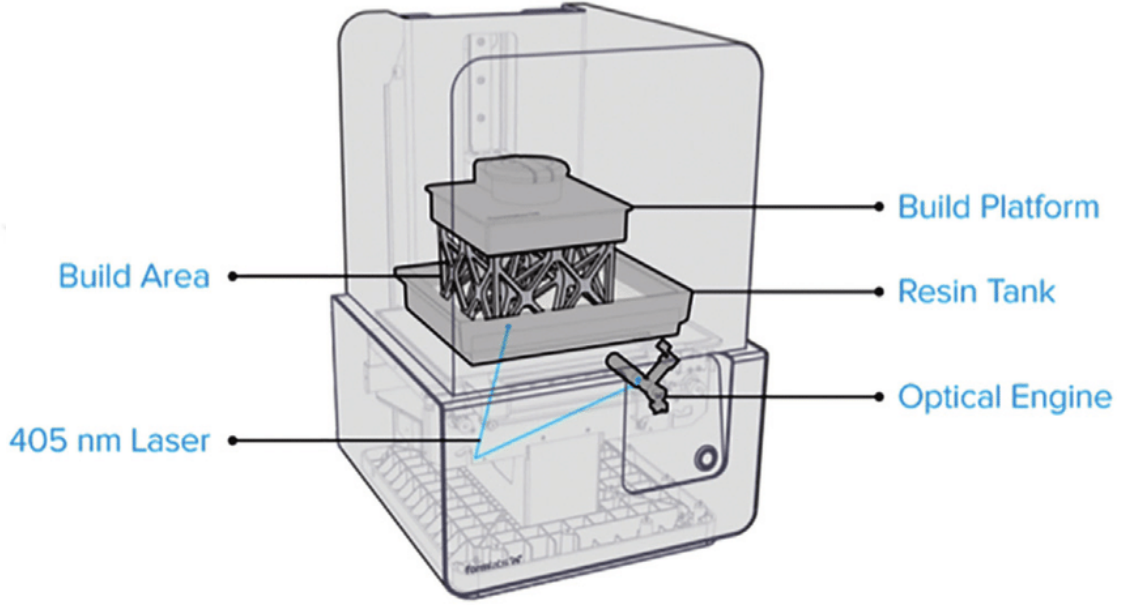
Görsel 2.11. *Rhinoceros programında çizilen üç boyutlu katı model*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Katı modelin üç boyutlu yazıcı tarafından işlenebilmesi için geometrik kodlarına bölünmesi gerekmektedir. Bu aşama için Cura programı kullanılarak dilimleme işlemi yapılmıştır (Görsel 2.12). Bu program ile katı model, üç boyutlu yazıcı ile basılabilir formata dönüştürülürken, baskı sırasında ihtiyaç duyulan bazı desteklerde bu aşamada eklenerek model biçimlendirme için uygun hale getirilmiştir. Dilimleme programı ile obje üzerinde büyütme ya da küçültme gibi ayarlamalar da yapılabilmektedir.



Görsel 2.12. *Cura programında dilimleme işlemi*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Basılmak üzere hazırlanan tasarımın uygulaması için Formlabs markasına ait olan SLA tipi yazıcı kullanılmıştır. SLA teknolojisi ile oluşan üç boyutlu yazıcıda baskı, sıvı malzemenin içinde meydana gelmektedir. Diğer yazıcılardan farklı olarak kullanılan bu cihazda, yazdırma yatağı sıvı malzemenin üzerinde bulunur ve baskı işlemi ters gerçekleşir (Görsel 2.13).



Görsel 2.13. Formlabs markasına ait SLA yazıcının şeması
(<http-24>)

SLA tipi yazdırma teknolojisinde model, bir çeşit reçine olan bu özel malzemenin bulunduğu haznenin içinde, ultraviyole ışınlarının reçineyi polimerize etmesiyle şekillenmektedir. UV ışınlara maruz kalan reçine, sertleşerek katman katman biçimi oluşturur ve katı biçim sıvıdan ayrılarak yukarı doğru hareket eder, bu baskı işlemi bitene kadar tekrarlanır (Görsel 2.14).



Görsel 2.14. *SLA yazıcıda modellemesi tamamlanan ürün*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Yazdırma işlemi bittikten sonra yazdırma yatağından ayrılmadan ürün çıkarılarak, içinde izopropil alkol bulunan ikinci bir cihaza aktarılır. Burada yüzeyde artık olarak kalan sıvı reçineden ve pürüzlerden arındırmak için yıkama işlemi yapılır (Görsel 2.15).



Görsel 2.15. *Yıkama cihazı*
(http-25)

Yıkama işlemi tamamlanan model yazdırma yatağından ayrılır, mukavemetini arttırmak ve yüzey pürüzlerini gidermek için kütleme cihazına yerleştirilir. Cihazın tabanı, ürün yüzeyinin tamamının eşit onarılması için dönmektedir. Bu aşamada UV ışını ve ısı ile yüzey kütleme sağlanır. Bu işlem, ürünün sertleşmesini sağlamaktadır (Görsel 2.16).



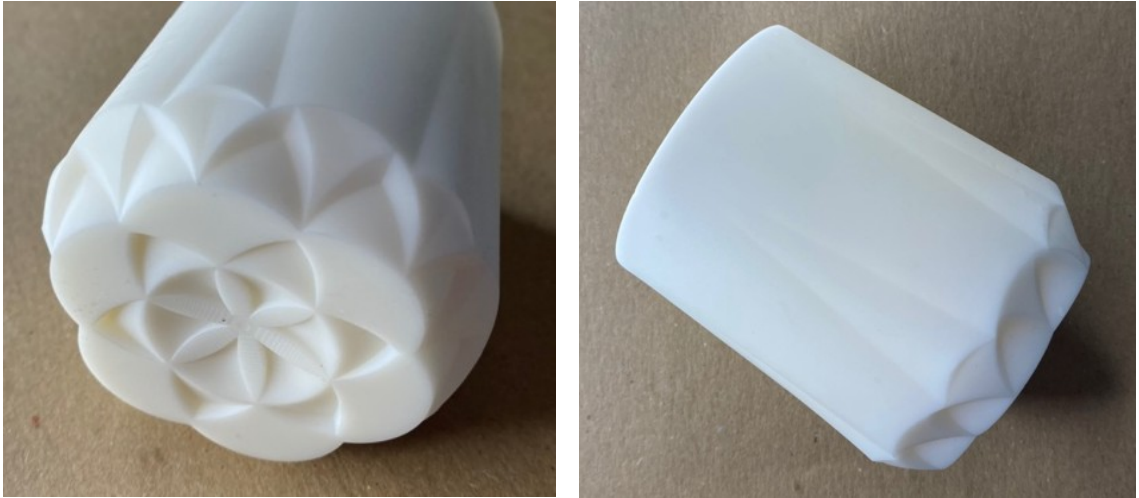
Görsel 2.16. *Kütleme cihazında sertleşen model*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Kütleme işlemi tamamlandıktan sonra baskı sürecinde ürünle birlikte basılan destek yapıları, yüzeyden metal bir el aleti ile kolaylıkla ayrılır. Fakat destek noktalarının yüzeyde yarattığı dokunun giderilmesi için zımparalama gibi ilave işleme ihtiyaç duyulmaktadır. Zımpara ya da benzeri bir malzeme ile yüzeyde oluşan az miktardaki izler hızlı bir şekilde onarılabilmektedir (Görsel 2.17).



Görsel 2.17. Model üzerinde bulunan yüzey destekleri
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

SLA teknolojisi ile elde edilen baskıların, diğer üç boyutlu baskı teknolojilerine göre yüzey kalitesi ve ayrıntı hassasiyeti maksimum seviyededir. Bu teknik özellikleri sayesinde daha karmaşık ve detaylı model üretilebilmesi için büyük avantaj sağlamaktadır (Görsel 2.18). Endüstriyel seramik model kalıp yöntemi için malzeme ve yüzey dokusu itibari ile oldukça uygundur (Görsel 2.19, 2.20). Ancak yazıcının çalışma yüzeyinin sınırlı, sıvı malzemenin yüksek maliyetli olması küçük ve özel modellemeler için engel teşkil etmese de, büyük formlar için önemli bir dezavantajdır.



Görsel 2.18. SLA yazıcı ile basılan prototip ürün
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 2.19. *SLA yöntemi ile üretilen model ürün*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 2.20. *SLA yöntemi ile üretilen model ürün*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

2.1.2.2. Eriyik yığıma teknolojisi (FDM) ile model yapımı

Eriyik yığıma (FDM) tipi üç boyutlu yazıcı, günümüzde yaygın olarak kullanılan bir yazıcı teknolojisidir. Temel seramik elle şekillendirme yöntemlerinden olan sucuk ile şekillendirme yöntemine benzerlik göstermektedir (Can, 2019, s. 55). Sucuk yönteminde, seramik çamuru bir zemin üzerinde el ile yuvarlanarak silindirik çubuklar oluşturulur; daha sonra bu çubuklar üst üste gelerek formu oluşturur. FDM yöntemi de filament adı verilen plastik malzemeyi kullanarak aynı prensip ile çalışmaktadır. Bir makaraya sarılı halde çubuk kalınlığındaki filament, ısıtılan yazdırma başlığı (nozzle) yardımıyla yarı eriyik hale getirilir. Eriyik katmanların üst üste eklenmesi ve bu işlemin tekrar etmesi ile form şekillenmektedir. (Görsel 2.21, 2.22).

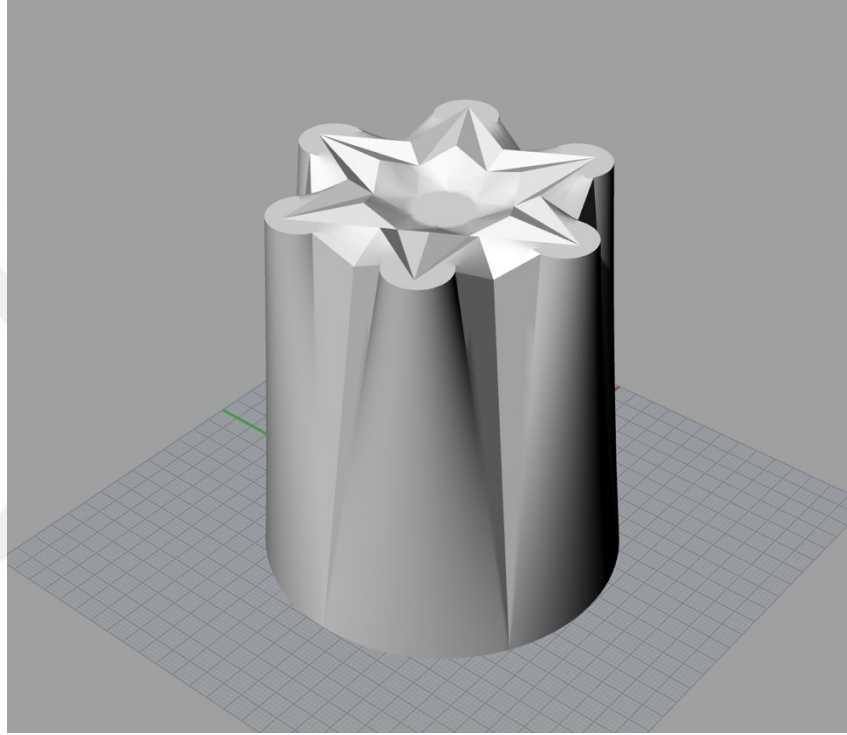


Görsel 2.21. FDM tipi yazıcı ile baskı
(http-26)



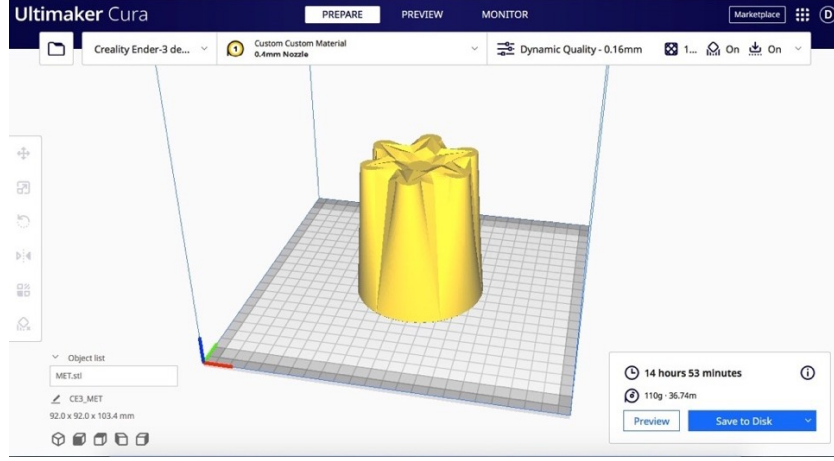
Görsel 2.22. FDM yazıcı ile yapılan baskı örneği
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Bu araştırma kapsamında, FDM teknolojisini kullanarak bilgisayar ortamında tasarlanan ürünün, prototip ve model üretiminin yapılması amaçlanmıştır. Üç boyutlu yazıcı ile basılan bu modeller, endüstriyel seramik üretim süreci için alçı kalıp yapımında kullanılacaktır. Üretilmesi planlanan tasarımlar önce kâğıt üzerinde iki boyutlu eskiz çalışması olarak başlamış, çizimler tamamlandıktan sonra Rhinoceros programına aktarılarak üç boyutlu katı model haline dönüştürülmüştür (Görsel 2.23).



Görsel 2.23. Rhinoceros programında yapılan üç boyutlu modelleme
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

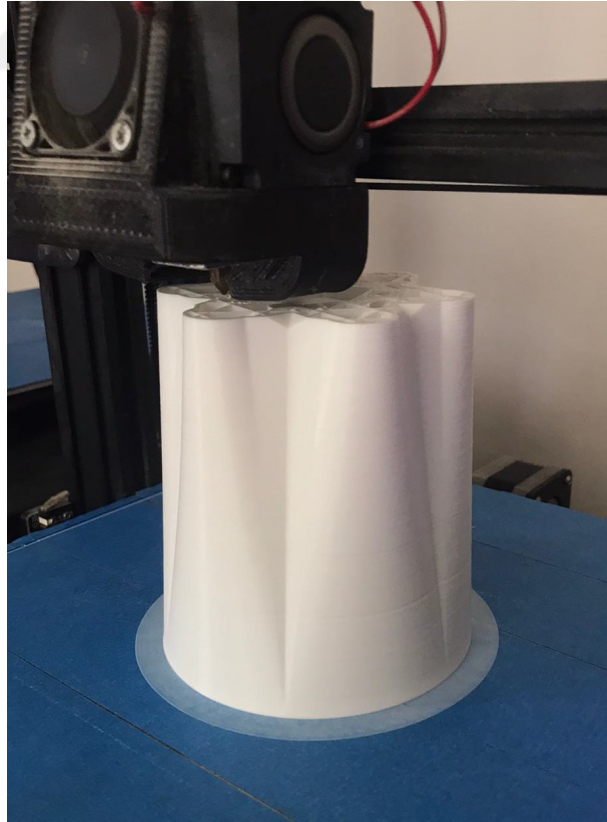
Tasarımı tamamlanan üç boyutlu katı modeli yazıcıya aktarabilmek için ek yazılımlar kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılanı Cura adlı programdır. Cura yazılımına aktarmak için Rhinoceros programında model STL formatında kaydedilmiştir. Cura programı, temel olarak üç boyutlu objeyi katman kalınlığına göre dilimlemek ve G-code adı verilen geometrik kodlarına bölmek için kullanılır. Bu işlem yazıcının, üç boyutlu CAD verisini işleyebileceği hale dönüştürülmesini sağlamaktadır. Ayrıca Cura programında model üzerinde oluşabilecek hataların tespiti yapılabileceği gibi katman kalınlığı, baskı hızı, objeyi büyütme-küçültme ve forma göre gerekiyorsa destek yapıları ekleme işlemleri de yapılabilmektedir (Görsel 2.24).



Görsel 2.24. Cura programı ile yazdırma ayarlarının yapılması

Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Ürünün baskı yönü, katman kalınlığı, malzeme yoğunluğu, baskı hızı gibi etmenler baskı süresi ve final ürününün kalitesini belirlemede önemli rol oynamaktadır. Tüm bu aşamaların ardından model, üç boyutlu yazdırma için hazır hale gelmektedir (Görsel 2.25).



Görsel 2.25. FDM yöntemi ile yazdırma aşaması

Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Baskı işlemi tamamlandıktan sonra, ürünün üzerinde bulunan destek yapıları temizlenmelidir. Destek yapıları pense, yan keski gibi el aletleri ile kolaylıkla parçadan ayrılabilir. Destek yapılarının çıkarıldığı alanlarda oluşan deformasyonlar ve yüzeyde bulunan katman izleri zımpara ile giderilebilir. Modelin yapısına ve ne için kullanılacağına bağlı olarak boya, epoksi, mum gibi malzemeler ile de ürünün yüzey kalitesi geliştirilebilir.

FDM yöntemi ile biçimlendirilen ürün, alçı kalıp yapımına oldukça uygundur. Üretimi zor ya da karmaşık yapıda geometrileri olan tasarımların hızlı ve detaylı olarak şekillenmesini sağlayarak, alçı ile model yapımına kıyasla modelleme sürecinde büyük kolaylık sunmaktadır (Görsel 2.26).



Görsel 2.26. FDM yöntemi ile oluşturulan model
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Endüstriyel seramik eğitimi kapsamında yapılan çalışmalar için, cihazın kolay ulaşılabilir olması, baskı maliyetlerinin düşük olması ve model kalıp için uygun olması sebebi ile öğrenciler ve tasarımcılar tarafından kullanımı birçok avantajı da beraberinde getirmektedir.

2.2. Bilgisayarlı Nümerik Kontrollü (CNC) Tezgahlar

Bilgisayarlı Nümerik Kontrollü (Computer Numerical Control) takım tezgahları, sayı, harf ve benzeri sembollerden oluşmaktadır. Belirli bir mantığa göre kodlanmış komutlar yardımıyla plastik, ahşap, alçı, metal gibi malzemeleri işleyen ve şekil veren üretim araçlarıdır (http-27). CNC teknolojisi, imalat sistemlerinin gelişmesi, bilgisayar destekli teknolojilerin ilerlemesi ve daha yüksek üretim beklentileri ile yıllar içerisinde büyük gelişim göstermiştir. Günümüzde modern üretim yöntemleri içerisinde önemli bir yere sahiptir (Kavala, 2010, s. 4).

CNC tezgahlarının temel çalışma prensibi eksiltmeli üretime dayanmaktadır. Bilgisayar ortamında hazırlanan tasarım gerekli işlemler ve ek yazılımlar ile CNC tezgahının işleyeceği formata dönüştürülmektedir. Takım tezgahına sabitlenen, blok haldeki malzemeye, bilgisayar aracılığı ile geometrik ve teknolojik bilgileri kapsayan komutlar verilmektedir. Daha sonra bilgisayar kontrollü, kesici uç yardımıyla malzeme bloğu eksiltilerek şekillenmektedir.

Günümüzde gelişmiş bir teknolojiye sahip olan CNC tezgahları seri üretim yapan birçok firma tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. CNC teknoloji ile üretilmesi planlanan tasarımların çok kısa sürede nihai üretimleri gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, sürekli değişen ve gelişen rekabetçi bir dünya oluşmaktadır. Bu rekabet alanında üretim yapan birçok firma bu teknolojileri bünyesinde bulundurmak ve geliştirmek için çalışmalar yapmaktadır. En temel CNC tezgahı X,Y ve Z eksenlerini kapsayan 3 eksenden oluşmaktadır. Çalışma alanı 13 eksene kadar artabilmektedir. Eksen artışı ile daha detaylı işleme imkânı oluşmaktadır. Eksen sayısı ile ürünün işlenme maliyeti paralel olarak artmaktadır (Can, 2019, s. 15).

Bilgisayarlı nümerik kontrollü tezgahlar, küçük imalat atölyelerinden, mühendislik, teknoloji ve tasarım merkezlerine, fabrikalardan, eğitim kurumlarına kadar üretimin yapıldığı her alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. CNC tezgahları çok çeşitlidir. Tornalama, delme, frezeleme, taşlama gibi birçok tezgah çeşidi üretimde kullanılmaktadır. Tezgah seçimi kullanılacak malzemeye ve üretilmek istenene ürünün özelliklerine göre değişmektedir.

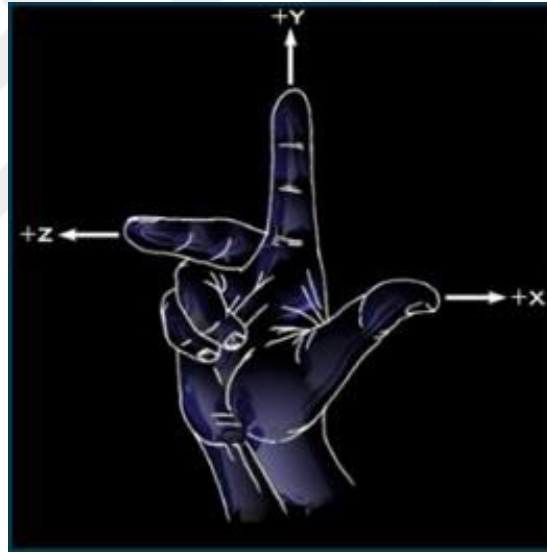
2.2.1. CNC tezgah türleri

CNC takım tezgahlarındaki eksenler kartezyen koordinat sistemine göre tanımlanmaktadır. “Kartezyen koordinat sistemi, Fransız matematikçi ve filozof Descartes tarafından kullanılmıştır. Bu sistem ile birbirine dik olan üç eksen referans

alınarak, herhangi bir noktanın, yeri diğer bir noktaya göre belirlenmektedir (Gavas, 2016, s. 74)”.

“Nümerik kontrol (NC) işleme merkezleri yatay ve dikey olmak üzere iki çeşittir. Yatay tipte işleme mili yatay, dikey tipte ise dikey konumda yer alır. İşlenecek malzemenin özelliğine göre kesim uçları, parçanın geometrisine göre de kesim operasyonu gerçekleştirilmelidir (Türkel, 2008, s. 82)”.

CNC torna tezgahı, yatay tipte işleme yapan bir CNC teknolojisidir. X ve Z olmak üzere iki eksen oluşmaktadır. Dikey çalışan CNC freze tezgahında ise üç temel eksen bulunmaktadır. X eksenini, tezgah üzerinde sağ ve sol yönde yaptığı hareketi, Y eksenini ileri ve geri doğrusal hareketi, Z eksenini ise kesici ucun bağlı olduğu döner milin aşağı yukarı hareketini ifade etmektedir. Eksen yönleri tanımlanırken sağ el yöntemi kullanılmaktadır (Görsel 2.27).



Görsel 2.27. El ile X,Y ve Z eksen gösterimi
(Kavala, 2010, s.6)

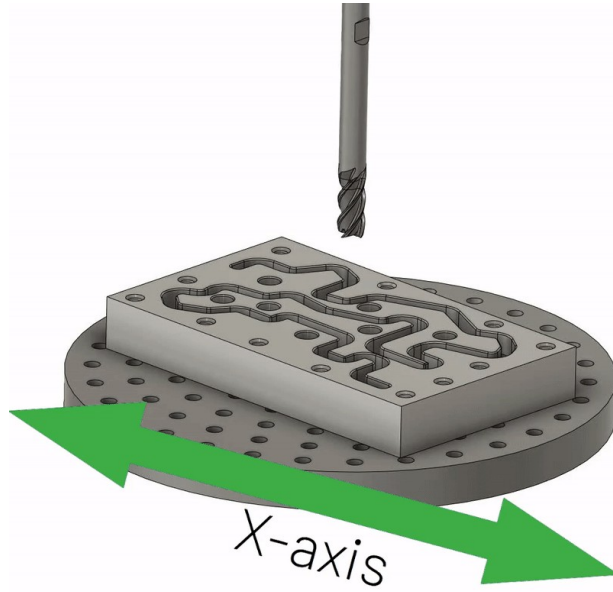
Ayrıca temel eksenlere ek olarak dönel eksenler bulunmaktadır. Dönel eksenler X,Y ve Z eksenini referans alınarak tanımlanmaktadır. X eksenindeki dönel eksen A eksenini, Y eksenindeki dönel eksen B eksenini, Z eksenindeki dönel eksen C eksenidir. Görsel 2.28’de dönel eksen örneği gösterilmektedir (Kavala, 2010, s. 6).



Görsel 2.28. *A, B ve C dönel eksenleri*
(Kavala, 2010, s.6)

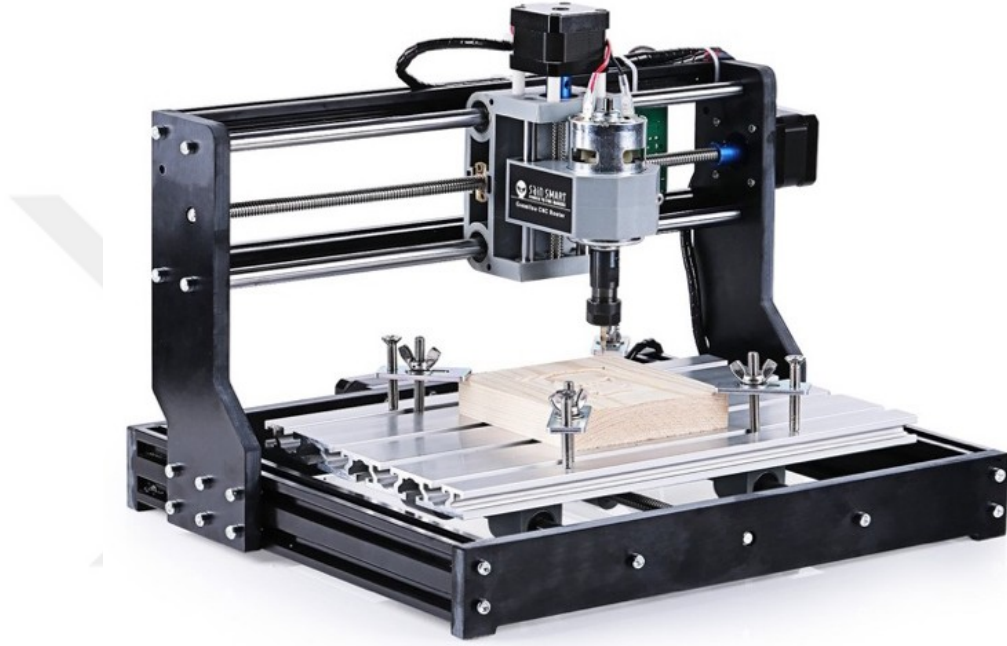
2.2.1.1. Üç eksenli CNC tezgahı

Üç eksenli CNC teknolojisi ile biçimlendirme aşamasında, malzeme bloğu tezgaha sabitlenir. Bilgisayar kontrollü kesici uç, X, Y ve Z ekseninde hareket etmesiyle, tezgah üzerinde sabit haldeki malzeme bloğunun üzerinde eksiltme prensibi ile nihai ürünü oluşturur (Görsel 2.29). Üç eksenli takım tezgahları arasında CNC freze ve CNC router en yaygın kullanılan makinelerdir.



Görsel 2.29. *Üç eksenli CNC çalışma prensibi*
(http-28)

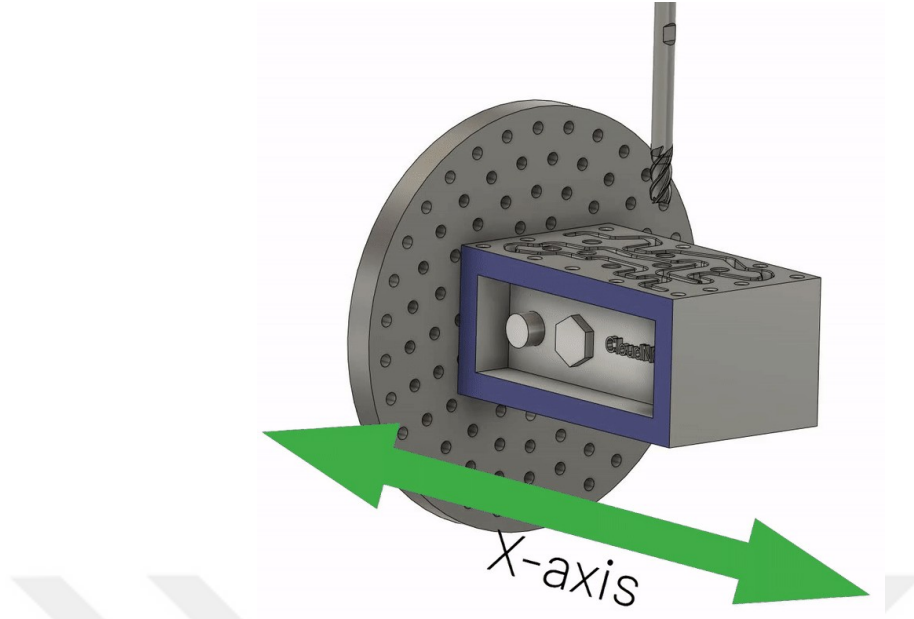
Üç eksenli CNC tezgahları veri işleme ve değerlendirme yeteneğine sahip, masaüstü imalattan, sanayii tipi makinelere kadar geniş yelpazede ürün çeşitliliği olan gelişmiş üretim araçlarıdır (Görsel 2.30). Geniş çalışma aralığı ile ahşap, pleksi, alçı, strafor, mermer, metal gibi hemen her türlü malzeme ile kazıma, kabartma, kesme ve delme işlemlerini gerçekleştirmektedir.



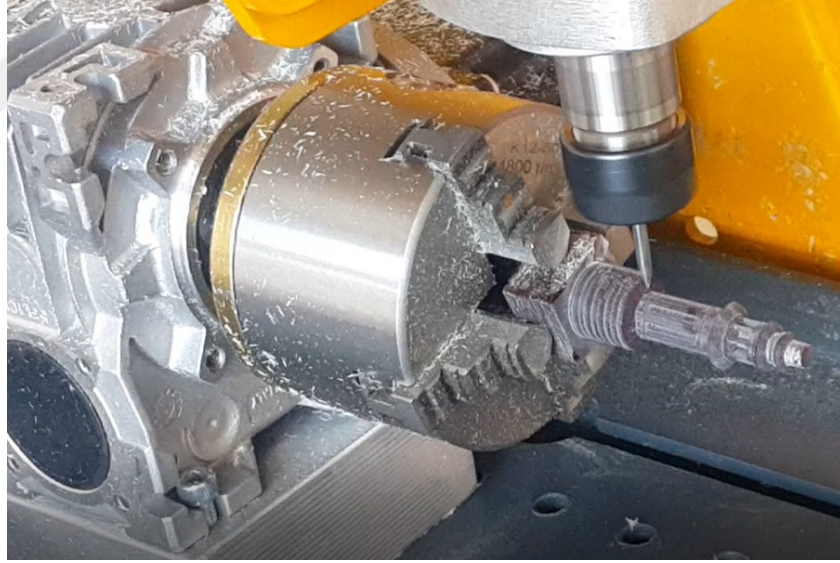
Görsel 2.30. Üç eksenli masaüstü CNC router
([http-29](http://www.cncrouter.com))

2.2.1.2. Dört eksenli CNC tezgahı

Dört eksenli CNC tezgahında, X,Y ve Z eksenini doğrusal hareket ederken, A eksenini tanımlanan dördüncü eksen, eş zamanlı olarak dairesel hareket etmektedir. Dördüncü eksen X,Y ve Z eksenlerinden herhangi birine yerleştirilebilmektedir. Genellikle çalışma alanının daha uzun olması sebebiyle Y eksenini üzerine sabitlenmektedir. Bu döner başlık sayesinde parçanın dört tarafının da işlenmesi ile silindirik üretim yapılabilmektedir ([http-30](http://www.cncrouter.com)), (Görsel 2.31, 2.32).



Görsel 2.31. Dört eksenli CNC çalışma prensibi
(<http-31>)

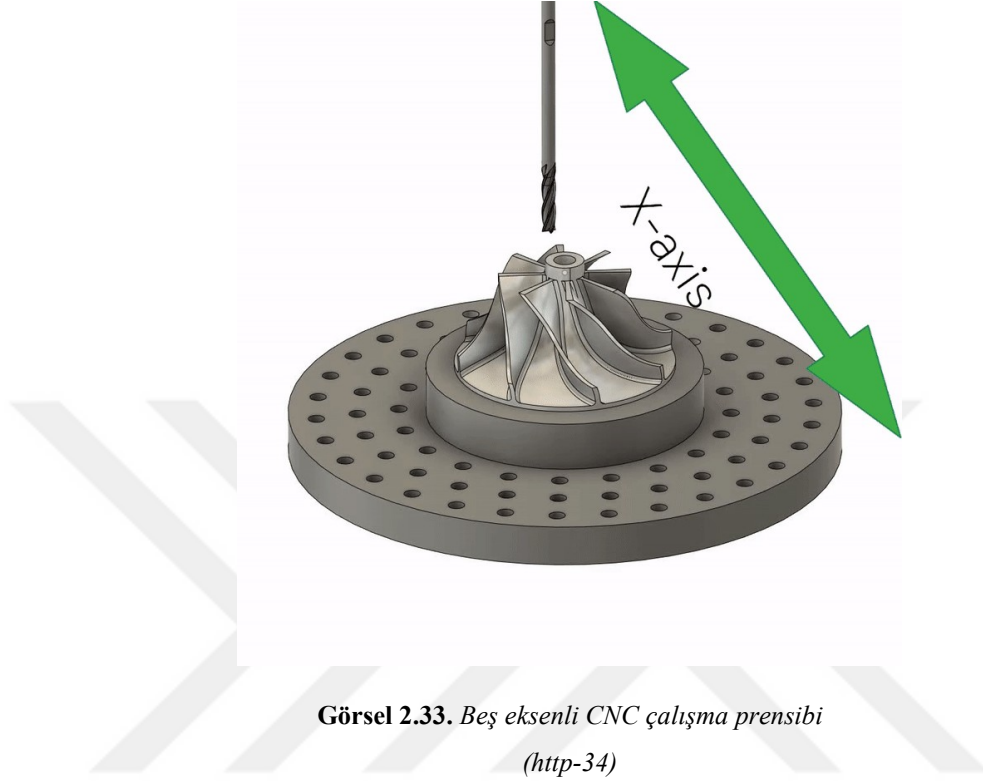


Görsel 2.32. Dört eksenli CNC
(<http-32>)

2.2.1.3. Beş eksenli CNC tezgahı

Beş eksenli CNC tezgahı, malzemeyi ve kesme ucunu aynı anda beş farklı eksenle hareket ettirmek için bilgisayarlı nümerik kontrol kullanmayı içermektedir (Görsel 2.33). Bu yöntem ile çok karmaşık parçaları hızlı ve hassas biçimde işleyerek, yüzey kalitesi

yüksek ürünler elde edilmektedir (Görsel 2.34). Beş eksenli CNC, havacılık ve medikal alanlar başta olmak üzere endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır ([http-33](#)).



Görsel 2.33. Beş eksenli CNC çalışma prensibi
([http-34](#))



Görsel 2.34. Beş Eksenli CNC
([http-35](#))

2.2.2. CNC tezgah ile endüstriyel seramik kalıbı şekillendirme

CNC teknolojileri, sektördeki gelişmiş üretim araçlarıdır. Tüm dünyada yaygın olarak kullanılan bilgisayarlı nümerik kontrol sistemleri, ülkemizde son otuz yıldır üretim süreçlerine katkı sağlamaktadır. Günümüzde seri imalat endüstrisinde, küçük ölçekli atölyelerden, donanımlı büyük fabrikalara kadar birçok endüstri dalında yoğun olarak yer almaktadır (Martinez, 2012, s. 330).

Seramik alanında masaüstü üretimden, sanayi tipi üretime kullanımları geniş bir alana yayılmaktadır. CNC tezgahları çeşitli kesici uç ve malzeme seçeneği ile, endüstriyel seramik üretim süreci için prototip, model, kalıp ve teksir kalıplarının bilgisayarlı kontrol ile işlenmesini sağlamaktadır (Görsel 2.35). “Seramik endüstrisinde özellikle yer ve duvar karoları, sağlık gereçleri üretiminde kullanılmaktadır (Güner, 2018, s.71)”.



Görsel 2.35. CNC 'de polietilen malzeme ile teksir kalıbı şekillendirme
(Erdem, 2018, s.61)

Aytepe, (2011, s.244) CNC tezgahlarının endüstriyel üretimde kullanımını “Üretim yapan tüm fabrika ve işletmelerin temel prensipleri; ekonomiklik ilkesi, zamandan tasarruf ve kusursuz ürünlerin (modeller) üretilmesi olarak söylenebilir. Seramik fabrikalarının tasarım bölümlerinde, bu teknolojiyi kullanmak, üretim hızı ve düşük maliyetli üretim yapmak açısından katkı sağlamaktadır” şeklinde tanımlamıştır.

“Endüstriyel seramik üretimi karmaşık ve zaman isteyen süreçtir. İhtiyaca cevap veren iyi tasarım, modelleme ve kalıplama, planlanmış bir üretim; zamandan ve enerjiden tasarruf sağlamaktadır. Seramik üretiminde CNC makinalarının kullanılması, üretim yöntemlerinde bakış açısını genişletmektedir (Kubat , 2020, s. 789)”.

Endüstriyel seramik eğitiminde kullanılan geleneksel yöntemde, tasarımı tamamlanan modelin üretim aşamasına geçebilmek için ilk adım teknik çiziminin oluşturulmasıdır. Teknik çizimde cetvel, pergel, vb. ölçü aletleri ile seramiğin gerektirdiği kurallar doğrultusunda modelin çizimi yapılmaktadır. Belirlenen ölçüler ile tasarım, alçı model yapım tekniklerini kullanarak oluşturulmaktadır. Görsel 2.36’da bir lavabo tasarımının, modelinin alçı yontma yöntemi ile şekillendirilmesi görülmektedir.



Görsel 2.36. *Kütle alçıyı yontarak endüstriyel lavabo modellemesi*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Modelin tamamlanmasının ardından kalıp aşamasına geçilmektedir. Modelin form ve fonksiyonları doğrultusunda kalıplanması için teknik belirlenerek, alçı ile kalıpları yapılmaktadır (Görsel 2.37).



Görsel 2.37. Lavabo modelinin üretim kalıbının yapılması

Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

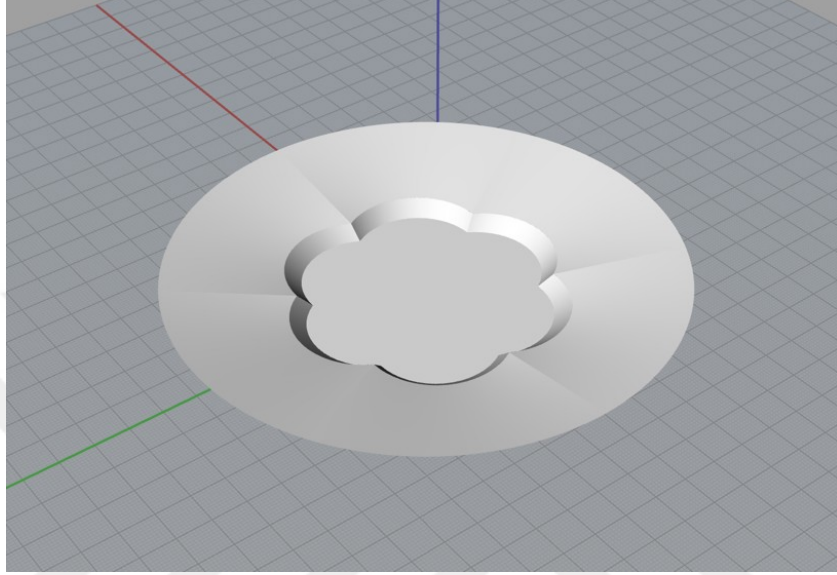
Bu süreç içerisinde bir hata ile karşılaşıldığında, hatanın çözümüne yönelik bir ya da birkaç aşamanın tekrar gözden geçirilerek düzeltilmesi gerekmektedir. Endüstriyel seramik dersi kapsamında, bir ürünün somut olarak biçimlendirilebilmesi için tasarımdan üretime model, kalıp ve nihai ürün minimum 3-4 aylık bir süreçte oluşmaktadır (Görsel 2.38).



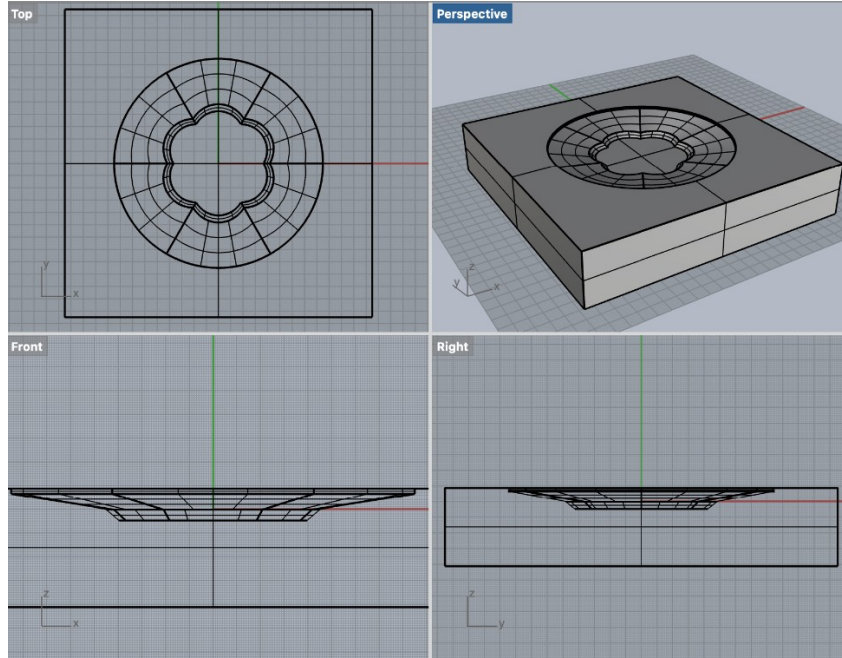
Görsel 2.38. Elle şekillendirilen lavabo modeli ve model ile yapılan üretim kalıpları

Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

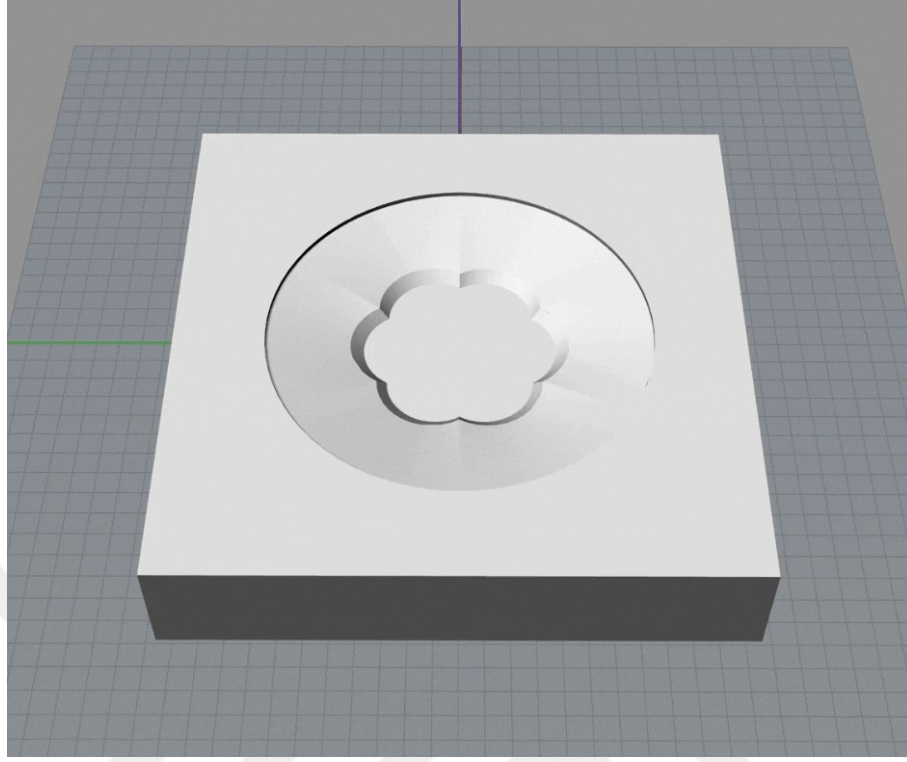
CNC teknolojisi ile seramik üretim sürecinde tasarım, Rhinoceros, Catia, Solidworks gibi CAD programları aracılığı ile bilgisayar ortamında şekillenir (Görsel 2.39). Modeli yapılan tasarımın üzerinden, ürünün kalıp parçaları oluşturulur (Görsel 2.40, 2.41).



Görsel 2.39. Rhinoceros programında tasarlanan tabak modeli
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

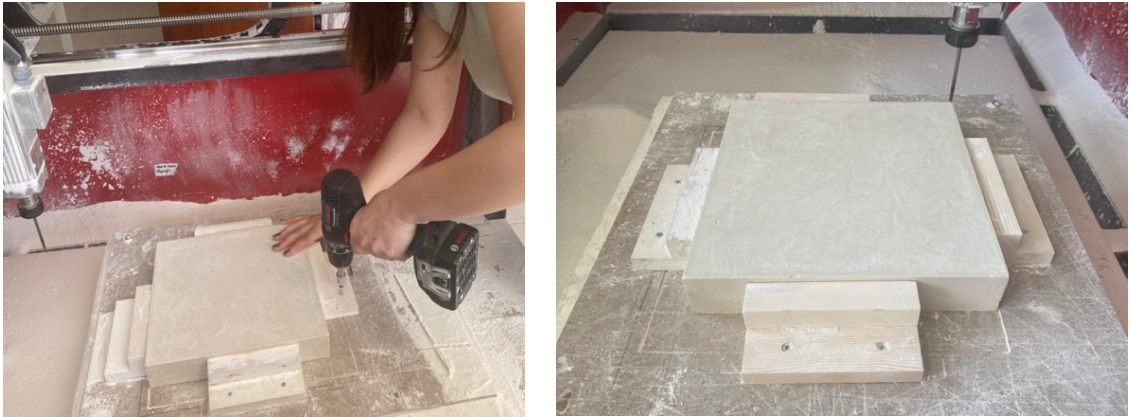


Görsel 2.40. Rhinoceros programında yapılan tabak kalıbı
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 2.41. *CNC için kalıp oluşturma*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

CAD programında çizilen kalıp tasarımı, CAM (Bilgisayar Destekli Üretim) programına aktarılır, bu aşamada tasarım verileri CNC tezgahının işleyeceği yazılım diline dönüştürülmektedir. Daha sonra tasarımın ölçülerine göre hazırlanmış alçı blok CNC tezgahına, hareket etmeyecek şekilde sabitlenmektedir (Görsel 2.42).



Görsel 2.42. *CNC tezgahına sabitlenen alçı blok*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Sisteme girilen koordinatlar doğrultusunda tasarımın hassasiyetine ve detaylarına bağlı olarak, kalından-inceye olacak şekilde kazıma işlem sırası belirlenmektedir. Belirlenen kesici uç ile bloğun kaba kazıma işlemi gerçekleştirilir; kabası tamamlandıktan sonra uç, daha ince olan bir başka uç ile değiştirilerek, detay kazımaları yapılır (Görsel 2.43).



Görsel 2.43. Kaba kazımanın ardından ince kazıma aşaması

Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Bu yöntem, elle model ve kalıp yapılmadan, seramik üretim kalıbının direkt CNC tezgahında şekillenmesini sağlanmaktadır (Görsel 2.44). Tasarlanan modelin geleneksel yöntemlere kıyasla detaylı ve kaliteli alçı kalıpları, daha az işgücü ve malzeme ile kısa süre içerisinde üretilebilmektedir. Bilgisayar ortamında gelişen bu üretim sürecinde, tasarım üzerinde hataların tespiti ve düzeltmeleri kolaylıkla yapılabilmektedir. Sürecin kontrollü olarak ilerlemesi, zaman ve emek kaybına sebep olacak hataları azaltarak nihai ürüne ulaşma sürecini hızlandırmaktadır.



Görsel 2.44. Kazıma işlemi tamamlanan tabak kalıbı
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler ile masaüstü ölçülerinde ve düşük maliyetler ile ulaşılabilir hale gelen CNC tezgahlarının, seramik eğitimi alanında kullanılması birçok avantajı beraberinde getirmektedir. Üç boyutlu üretim teknolojileri, nihai ürünün ortaya çıkış sürecini etkili şekilde kısaltmaktadır. Diğer taraftan ortaya çıkan ürünlerin hızlı, detaylı ve kaliteli olmasını sağlamaktadır. Bu teknolojilerin endüstriyel seramik eğitimi veren kurumlarda kullanımı, öğrencilerin kâğıt üzerinde şekillendirmeye başladığı tasarımlarını kısa süre içerisinde üç boyutlu objeye dönüştürmesine imkân vermektedir. Bu bağlamda uygulama alanında tasarım ve üretim sürecinin kısalması ve kolaylaşması, öğrencilere daha fazla ürün geliştirme olanağını sunmaktadır.

Güner, (2018, s.71) “CNC teknolojisinin endüstride kullanılması zorunlu olarak belli bir amaca yöneliktir. CNC teknolojisinin eğitim kurumlarında kullanılmaya başlaması ise binlerce değişik, genç beynin fırtınası demektir!” diyerek CNC teknolojisinin eğitimde kullanılmasının önemini vurgulamıştır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. ENDÜSTRİYEL SERAMİK EĞİTİMİ KAPSAMINDA BİLGİSAYAR DESTEKLİ TEKNOLOJİLER KULLANILARAK YAPILAN UYGULAMALAR

Bu araştırmanın ilk iki bölümünde tasarım ve üretim teknolojileri, türleri ve endüstriyel seramik alanında kullanımları örnekler üzerinden incelenmiştir. Bu bölümde bilgisayar destekli teknolojiler ile endüstriyel seramik ürünlerin tasarımından üretimine model ve kalıp süreçleri, eğitim ortamında yapılan uygulama çalışmaları üzerinden aktarılmaktadır. Üretilmesi planlanan ürünlerin tasarım aşaması kâğıt üzerinde eskiz olarak başlamış, çizimler olgunlaştıktan sonra CAD programına aktarılıp gerekli müdahaleler ile üç boyutlu modellere dönüştürülmüştür. Modellerin formuna ve işlevine bağlı olarak ve bilgisayar destekli teknolojiler kullanılarak, model ve kalıp üretimleri yapılmıştır. Bu kapsamda üç boyutlu yazıcı ve CNC teknolojilerinin endüstriyel seramik eğitime katkıları ve kullanımının ne kadar etkili oldukları uygulamalar üzerinden ele alınmıştır.

3.1. Ürün Tasarım Süreci

Ürün tasarım süreci, sorun belirleme ile başlayarak, fikir geliştirme ve çözüme yönelik araştırmalar ile devam eden uygulamalardan oluşmaktadır. Tasarım, yepyeni bir ürün tasarlamak ya da var olan ürünü optimize etmek için gerçekleştirilen bir süreçtir.

Bu çalışmada temel endüstriyel seramik formlarından olan kupa ve fincan tasarımlarının biçim ve fonksiyonunu geliştirmeye yönelik, ergonomik ve yaratıcı tasarımlar oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında öncelikle mevcut ürünler üzerinden kullanım anında gelişen problem tespitleri yapılmıştır.

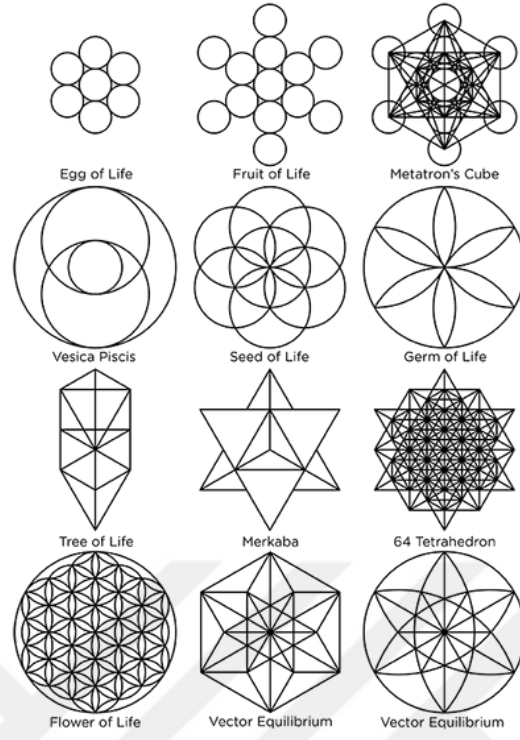
Endüstriyel seramik kupa ve fincanlarda kulp problemi en belirgin problem olarak belirlenmiştir. Küçük fincanlarda bardakların ölçüleri doğrultusunda kulp, oldukça ince ve küçük olarak üretilmektedir. Bu durum her ölçüde parmak ile uyumlanmadığı için konforsuz bir tutuşa neden olarak, kullanım anında sorunlara yol açmaktadır. Aynı problem kupa tasarımları içinde geçerlidir, bardak büyüdükçe hacim artmakta ve bardak ağırlaşmaktadır; kulp büyük tasarlanırsa dahi kullanım aşamasında sorunlar gelişebilmektedir. Bardak yüzeyinden kulp kaldırıldığında ise yeni problemler oluşmaktadır.

Seramik ürünler estetik ve hafif olması için belli bir et kalınlığı ile üretilmektedir. Bu kalınlık porselen ürünlerde oldukça incelirken, seramik ürünlerde nispeten daha kalındır. En kalın haliyle dahi kulpsuz bardak, içerisinde sıcak gıda varken kullanım anında el yakmaktadır. Ayrıca servis anında bardağa ilave edilen sıvı ilk anda sıcaklığının büyük bir kısmını yüzeye aktarmakta ve bu durum bardak içindeki sıvının hızla soğumasına neden olmaktadır.

Belirlenen bu tip sorunlar göz önünde bulundurularak, tasarım sürecine yenilikçi bir bakış açısıyla yaklaşmış, daha önce endüstriyel olarak üretilmiş örneklerine rastlanılmayan çift cidarlı bardak tasarımları geliştirilmiştir. Çift cidarlı fincanların iki yüzeyden oluşan ve iki yüzey arasında hava boşluğu bulunan bir form olması hedeflenmiştir. İçinde bulunan hava boşluğu sayesinde bardak ne kadar ince olursa olsun yüzeyi ısınmamaktadır. Böylelikle eli yakmadan, konforlu bir kullanım sunarken, içeceğin de daha uzun süre sıcak kalmasını sağlamaktadır. Bu durumda kulp ihtiyacı da ortadan kalkmaktadır.

Üretilmesi planlanan bu çift cidarlı ürün grubunun endüstriyel olarak seri üretime ve kullanıma uygun olması hedeflenmiştir. Bu nedenle tasarım aşamasında, işlevi, boyutlandırılması, malzeme seçimi, üretim yöntemi gibi göz önünde bulundurulması gereken birçok faktör tespit edilmiştir. Bu kapsamda öncelikle üç boyutlu yazıcı ve CNC tezgahlarını etkin bir biçimde kullanabilmek için, cihazların çalışma sınırlılıkları belirlenmiştir.

İşlev ve üretim yönteminin belirlenmesinin ardından tasarımları, estetik anlamda da geliştirmek için form araştırmaları yapılmıştır. Bu aşamada sembollerden ilham alınmıştır. Semboller duygu ve düşüncelerin, soyut biçimler yoluyla aktarılması olarak ifade edilmektedir. İlkel çağlardan bu yana insanlar, semboller ile etkileşim halinde yaşamaktadırlar. Bu çalışmada Sacred Geometry (Kutsal geometri) olarak bilinen gruba ait semboller üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Kutsal geometri adından da anlaşıldığı üzere, geometrik şekilleri içeren biçimlerin oluşması ile meydana gelen sembollerini ifade etmektedir (Görsel 3.1).



Görsel 3.1. Kutsal Geometri Sembolleri

(<http-36>)

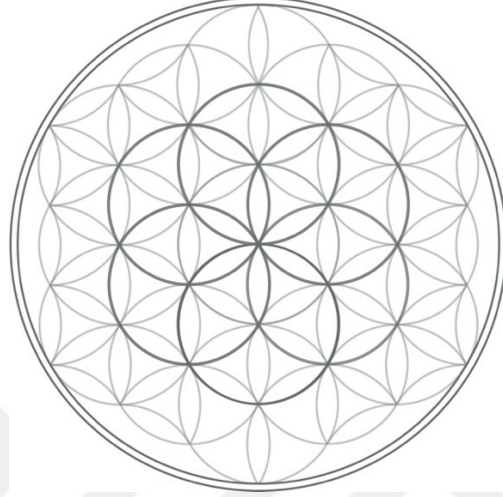
Estetik olmalarının yanı sıra ilginç matematiksel özelliklere sahip olan kutsal geometrik sembollerde, şekiller birbiri ile dengeli, uyumlu ve oranlı olarak birleşmektedir. Bu geometrik tasarımların antik çağlardan beri dünyada pek çok kültürde özellikle yüzey dekorlarında örneklerine rastlanmaktadır (Görsel 3.2).



Görsel 3.2. Yamaç Evler/ Efes Antik Kenti Yaşam Çiçeği sembolü

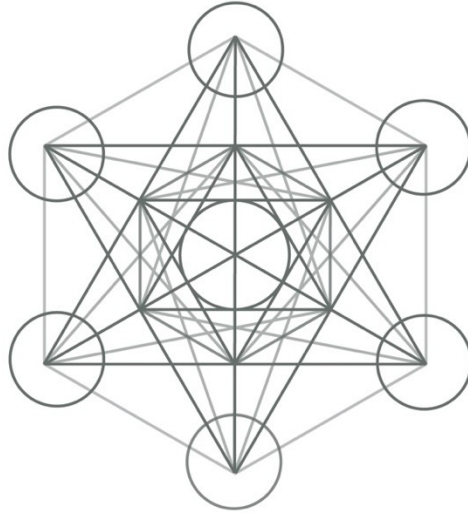
(<http-37>)

Bu uygulama kapsamında tasarım sürecinde bu gruba ait iki sembol belirlenmiştir. Belirlenen sembollerden ilki görmeye ve duymaya alışkın olduğumuz Yaşam Çiçeği sembolüdür. Yaşam Çiçeği iç içe geçen 7 daireden oluşmakta ve sonsuz kez tekrarlanabilmektedir. Temel olarak sonsuzluk kavramı ile bağdaştırılmaktadır (Görsel 3.3).



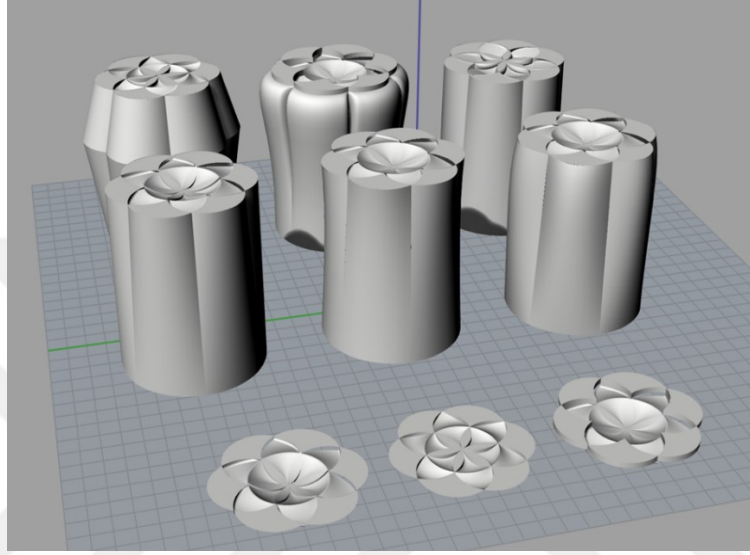
Görsel 3.3. Yaşam Çiçeği sembolü
Sümeyye Karakuş çizimi

Diğer sembol ise Metatron Küpü'dür. Yaşam Çiçeğini oluşturan dairelere merkezinden geçecek şekilde düz çizgiler eklendiğinde, ortaya Metatron Küpü çıkmaktadır. Metatron Küpü denge ve uyum kavramı ile ilişkilendirilmektedir (Görsel 3.4).

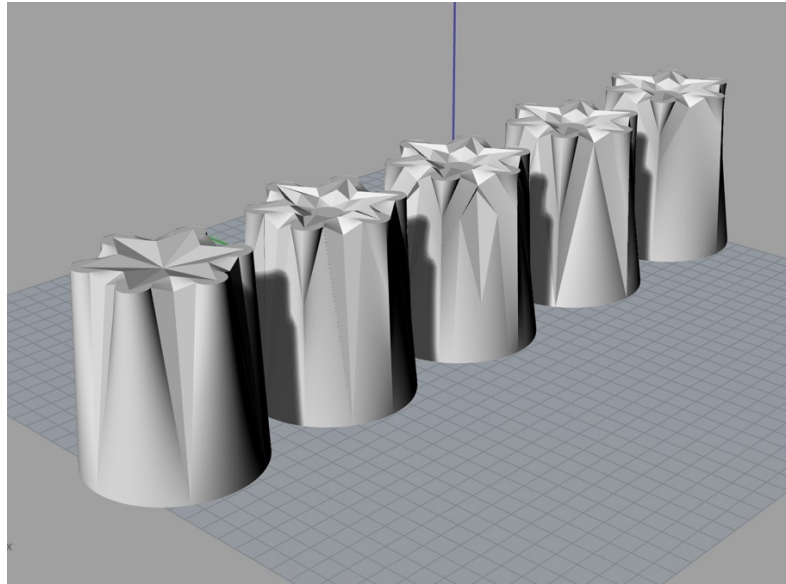


Görsel 3.4. Metatron Küpü sembolü
Sümeyye Karakuş çizimi

Tasarıma dair detay çözümlerinin ardından kâğıt üzerinde eskiz çalışmaları yapılmıştır. Tema ağırlıklı olarak geometrilere olmaktadır. CAD programlarının sağladığı simetrik çalışma alanı, geometrik ürün tasarımlarının şekillenmesinde kolaylık sağlaması nedeniyle Rhinoceros programında çizimlere devam edilmiştir (Görsel 3.5,3.6).

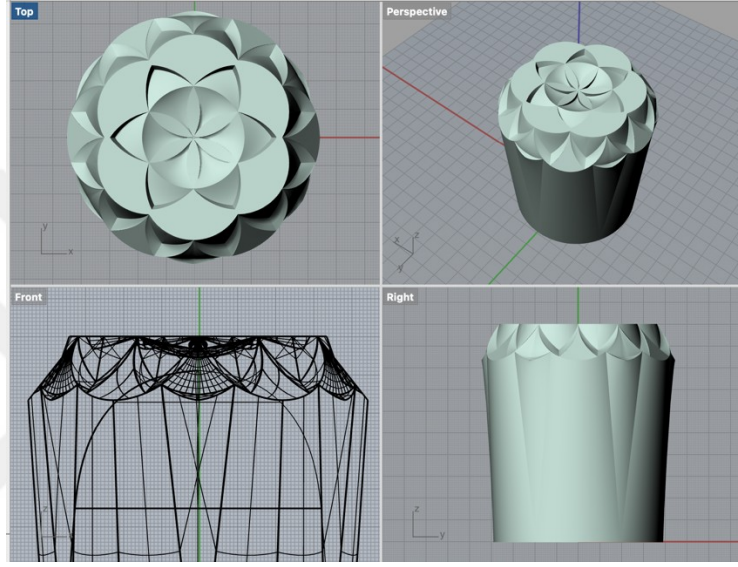


Görsel 3.5. Rhinoceros programında Yaşam Çiçeği temalı bardağın taslak model denemeleri
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

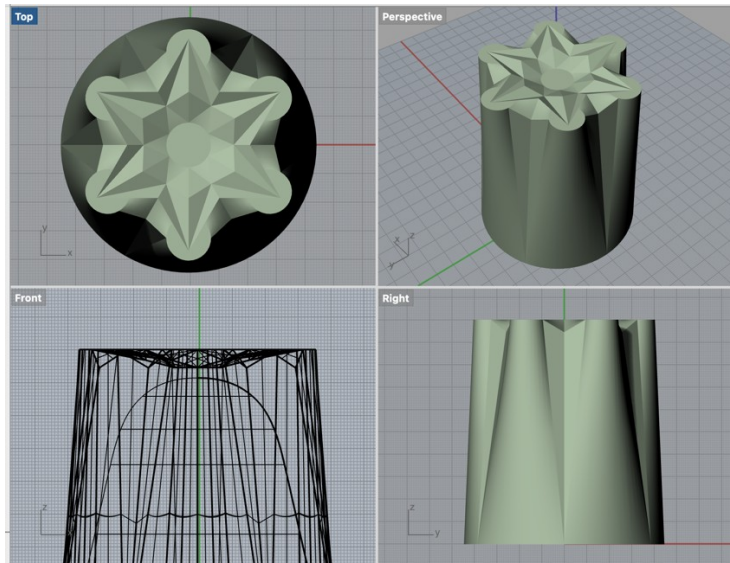


Görsel 3.6. Rhinoceros programında metatron küpü temalı bardağın model denemeleri
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Bilgisayar ortamında gerçekleşen üç boyutlu biçim denemelerinin ardından, seçilen model üzerinden endüstriyel seramik bardak standartlarına uygun hacim ve boyut hesaplamaları ile ölçülendirmeleri yapılmıştır. Seramik çamurunun alçı kalıp içerisinde alacağı kalınlık ve pişirim aşamasında boyutunda yaşanacak küçülme yüzdesel olarak hesaplanmıştır. Bu küçülme oranı tasarımın ölçülerine dahil edilerek modelleme işlemi tamamlanmıştır (Görsel 3.7, 3.8).



Görsel 3.7. *Yaşam Çiçeği tasarımının son hali*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



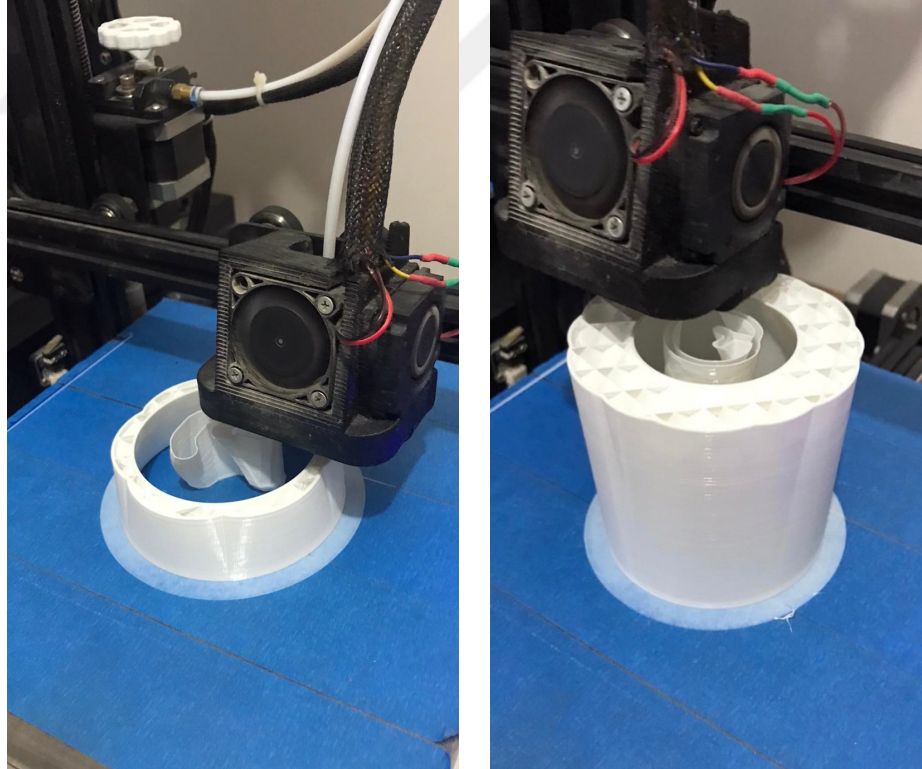
Görsel 3.8. *Metatron tasarımının son hali*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

3.2. Üç Boyutlu Yazıcılar İle Üretilen Modeller Kullanılarak Alçı Kalıp Şekillendirme

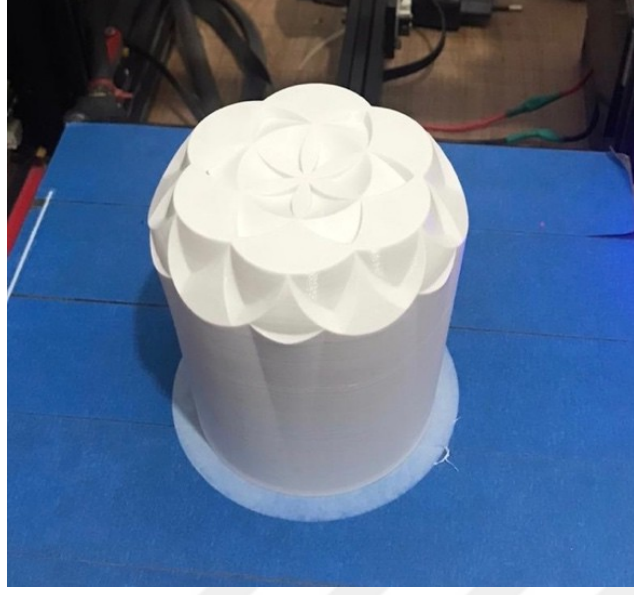
Önceki bölümde üç boyutlu yazıcıların FDM ve SLA türleri ile plastik ve reçine esaslı malzemeler kullanılarak şekillendirilen ürünler, bu bölümde alçı kalıp yapımında model olarak kullanılmıştır.

Tasarımların geometrik çizgilerden oluşması ve karmaşık yüzeylere sahip olması, üç boyutlu yazıcılarla deneysel uygulama sürecinde avantaja dönüşmüştür. Geleneksel alçı model üretim yöntemleri ile geometrik ve detaylı biçimlerin üretilmesi oldukça zahmetlidir. Teknolojik üretim cihazlarının potansiyellerinin değerlendirilmesi açısından, yapılan tasarımlar doğru bir noktaya temas etmektedir.

Alçı kalıp yapım süreci için öncelikli olarak model oluşturulmaktadır. Bu çalışmada model üretimi için üç boyutlu yazıcılar kullanılmıştır. Bilgisayar ortamında hazırlanan tasarımlar üç boyutlu yazıcı aracılığı ile fiziksel ürünlere dönüştürülmüştür (Görsel 3.9, 3.10).

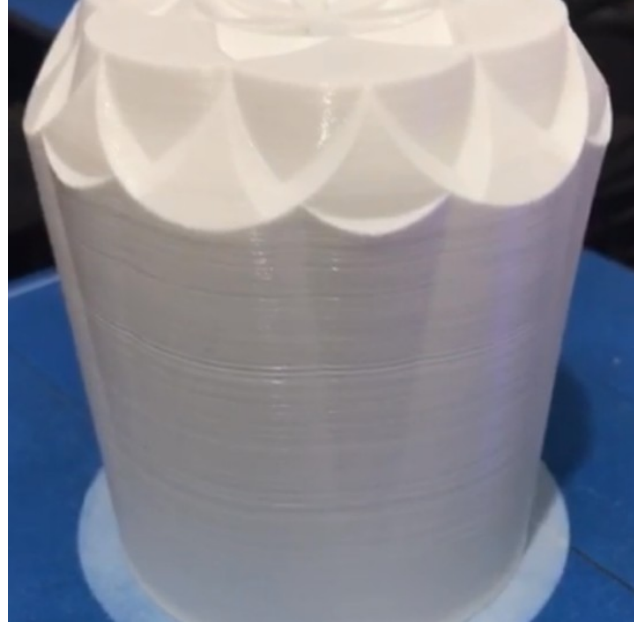


Görsel 3.9. FDM tipi yazıcı ile Yaşam Çiçeği bardağın modellenmesi
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 3.10. *FDM tipi yazıcı ile Yaşam Çiçeği bardağın modellenmesi*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

FDM tipi üç boyutlu yazıcı ile modelleme esnasında katmanların yarattığı çizgisel dokular kalıp yapım aşamasında sorun teşkil etmemesi için biçimlendirme işlemi tamamlandıktan sonra yüzeye müdahale edilmesi gerekmektedir (Görsel 3.11).



Görsel 3.11. *Modelin yüzey dokuları*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Yazıcının şekillendirme için kullandığı plastik malzeme darbelere karşı dayanıklıdır. Bu nedenle katman izleri, yüzeyde deformasyon yaratmadan, zımpara ile giderilebilmektedir (Görsel 3.12). Ürün zımparalanarak pürüzlerinden arındırıldıktan sonra yüzey kalitesini arttırmak için vernik, boya gibi malzemeler ile kaplanabilmektedir. Bu işlemler alçı kalıp aşamasında yüzeyin alçıya tutunma eğilimini ve kalıpta oluşabilecek doku izlerini en aza indirmektedir. İşlemleri tamamlanan ürünün alçı ile kalıpları yapılabilir.



Görsel 3.12. Zımparalaması tamamlanan model
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Yüzeyi yeterli pürüzsüzlüğe ulaşan modelin alçı kalıp yapımına geçilmiştir. Kalıp aşamasında plastik model hafif olduğu için zemine sabitlenmesi gerekir. Modele zarar vermeyecek şekilde yapıştırıcı, çift taraflı bant gibi malzemelerden destek alınarak model yüzeye sabitlenir. Kalıp kalınlığı için gereken boşluklar eşit olacak şekilde ayarlanarak etrafına çerçeve yapılır (Görsel 3.13). Döküm esnasında sızıntı olmaması için çerçevenin etrafı çamur ile desteklenmelidir. Tüm bunlar göz önünde bulundurularak, çerçeve tezgahta yerleştirildikten sonra alçı hazırlanmış (Görsel 3.14), daha sonra alçı karışımı çerçevenin içerisine dökülerek, kalıp parçaları şekillendirilmiştir.



Görsel 3.13. Kalıp çerçevesinin hazırlanması

Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 3.14. Alçı karışımının hazırlanması ve dökülmesi

Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Kalıp parçalarının yapılması esnasında nadiren modelin kalıptan ayrılması zorlaşabilmektedir. FDM tipi üç boyutlu yazıcı ile şekillendirilen ürünler plastik bir materyalden oluştuğu için sığağa maruz bırakıldığında yumuşamaktadır. Böyle bir durumla karşılaşıldığında model ısıtılarak kalıptan çıkarılmaktadır. Isıtma işleminde model deformasyona uğrayacağından tekrar kullanılamaz hale gelmektedir. Ürün kalıbı çoğaltılmak istendiğinde ise tekrar üç boyutlu yazıcı ile ürün bastırmak yerine, kalıbın içerisine alçı, silikon, mum gibi çeşitli malzemeler dökülerek model elde edilebilmektedir.

Görsel 3.15’de yüzey zımparalama işlemi yeterince yapılmadığı için kalıba yapışan bir bardak modelinin çıkarılmaya zorlanması esnasında uğradığı deformasyon örneği görülmektedir.



Görsel 3.15. *Deforme olan bardak modeli*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Üst kısım kurutma makinesi yardımıyla yumuşatılarak, pense ile tutulabilecek bir alan oluşturmuştur. Isı ile teması kesildikten birkaç saniye sonra malzeme eski sertliğe ulaşmaktadır. Tekrar sertleştiği esnada pense ile kavranarak, model kalıptan çıkarılmıştır. Yukarı çekme aşamasında ağız kısmında oluşan deformasyon nedeniyle model tekrar kullanılamaz hale gelmiştir.

FDM tipi üç boyutlu yazıcı detaylı, karmaşık ve keskin geometrilere sahip ürünlerin yüksek hassasiyette alçı kalıplarının üretilmesine imkân vermektedir. Görsel 3.16’da Yaşam Çiçeği bardağın en detaylı kısmı olan alt kalıp parçası görüntülenmektedir.



Görsel 3.16. *Yaşam Çiçeği Bardağın alt kalıp parçası*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Bu yöntem ile oluşturulan kalıplar endüstriyel seramik üretim süreci içinde oldukça uygundur. Eğitim ortamında yapılacak çalışmalar için birçok yönüyle avantaj sağlamaktadır. FDM tipi yazıcı günümüzde yaygın kullanımı ile kolay ulaşılabilir ve düşük maliyetlidir. Bilgisayar ortamında hazırlanmış tasarımın, saatler içerisinde modellenmesi gerçekleşmektedir. Üretim süresi modelin ölçülerine göre değişkenlik gösterir. Model üretiminin ardından kalıplar hızlı bir şekilde üretilmektedir. Bu teknik ile model ve kalıp yapım süreci oldukça kısalmaktadır.

Model üretimi için deneyimlenen bir diğer teknik SLA yöntemidir. Bu proje kapsamında Yaşar Üniversitesi Tasarım Uygulama ve Araştırma Merkezi'nin desteği ile Metatron bardağın modeli SLA yazıcı kullanılarak şekillendirilmiştir (Görsel 3.17).



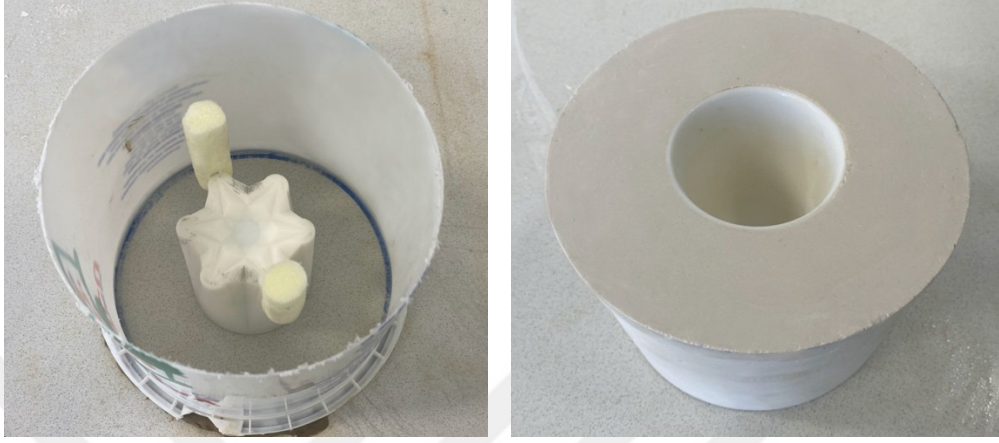
Görsel 3.17. *SLA yazıcı ile oluşturulan modelin yüzey görüntüsü*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Bir çeşit reçine ile biçimlendirme yapan bu yazıcıyla oluşturulmuş modelin yüzeyi pürüzsüze yakın bir kalitededir. Modelleme sonrası yalnızca destek noktalarında oluşan dokulara müdahale edilerek kalıp yapımına uygun hale gelmektedir (Görsel 3.18).



Görsel 3.18. *Zımparalama işlemi tamamlanan model*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Modelin yüzeyi temizlendikten sonra, alçı ile kalıp yapımına başlanmıştır. FDM tipi yazıcı ile üretilen bardakta olduğu gibi, endüstriyel alçı kalıp yapım yöntemi kullanılarak, ürünün kalıp parçaları şekillendirilmiştir (Görsel 3.19).



Görsel 3.19. Kalıp yapım aşaması
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

SLA yazıcıda şekillenen model ile oluşturan alçı kalıplar yüksek kalitedir. Çok detaylı ve keskin geometrilere sahip tasarımlar, verimli şekilde kalıplanabilmektedir. Alçı ile uyumlanması, FDM yöntemine göre daha başarılıdır ve modelin kalıptan sorunsuz bir şekilde ayrıldığı tespit edilmiştir (Görsel 3.20).



Görsel 3.20. Metatron bardağın kalıp parçaları
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

SLA, FDM yöntemine kıyasla oldukça pahalı bir üç boyutlu baskı teknolojisidir. FDM tipi yazıcıya kıyasla eğitim ortamında öğrenciler tarafından kullanımı ekonomik ve pratik olamamaktadır. Özel parçalar ya da küçük ürünler için kullanıma uygun bir teknolojidir.

3.3. CNC Tezgahı Kullanılarak Alçı Kalıp Şekillendirme

CNC tezgahının, alçı kalıp yapım pratiğinde kullanılabilmesi için modelin ya da kalıbın CAD programında hazırlanmış üç boyutlu bilgisayar formatının bulunması gerekmektedir. CNC tezgahında model ya da kalıp direkt olarak işlenebilmektedir. Bu tez kapsamında alçı malzemesini direkt olarak işleyerek üretim kalıbı yapılmasına imkân sağladığı için CNC ile model denemeleri yapılmamıştır. Üretim kalıbının şekillendirilmesi, model ve kalıp aşamalarına gereksinimi ortadan kaldırarak işgücü ve zamandan tasarruf sağlamaktadır.

Bu kapsamda öncelikle CNC tezgahını kullanarak, ikinci bölümde teknik bilgilerinin paylaşıldığı tabak kalıbı işleme süreci deneyimlenmiştir. Tabak gibi açık döküm olarak üretilebilecek ya da alt ve üst kalıp parçasından oluşan iki yüzeyli ürünlerin CNC tezgahında işlenmesi kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Yapılan tabak kalıbının kaba kazıması 4 mm uç, ince kazıması 1,5 mm uç ile ortalama 4 saat gibi bir sürede tamamlanmıştır. İşlem tamamlandığında yüzeyde çok ince de olsa doku oluştuğu gözlemlenmiştir (Görsel 3.21, 3.22).



Görsel 3.21. Tabak kalıbının yüzey dokuları
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 3.22. *Sistre yardımı ile dokuların giderilmesi*

Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Bu dokular kullanılan uç ve kazıma süresi ile doğrudan ilgilidir. Kazıma süresini uzatmamak için rötuş aşamasında kolaylıkla giderilebilecek dokuların oluşması sorun yaratmamaktadır. Rötuş aşamasında kalıba zarar vermeden, esnek bir sistre yardımı ile dokuların büyük bölümü giderilmiştir ve böylece kalıp, üretimde kullanılmak üzere hazır hale gelmiştir (Görsel 3.23).



Görsel 3.23. *CNC ile işlenen tabak kalıbı*

Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

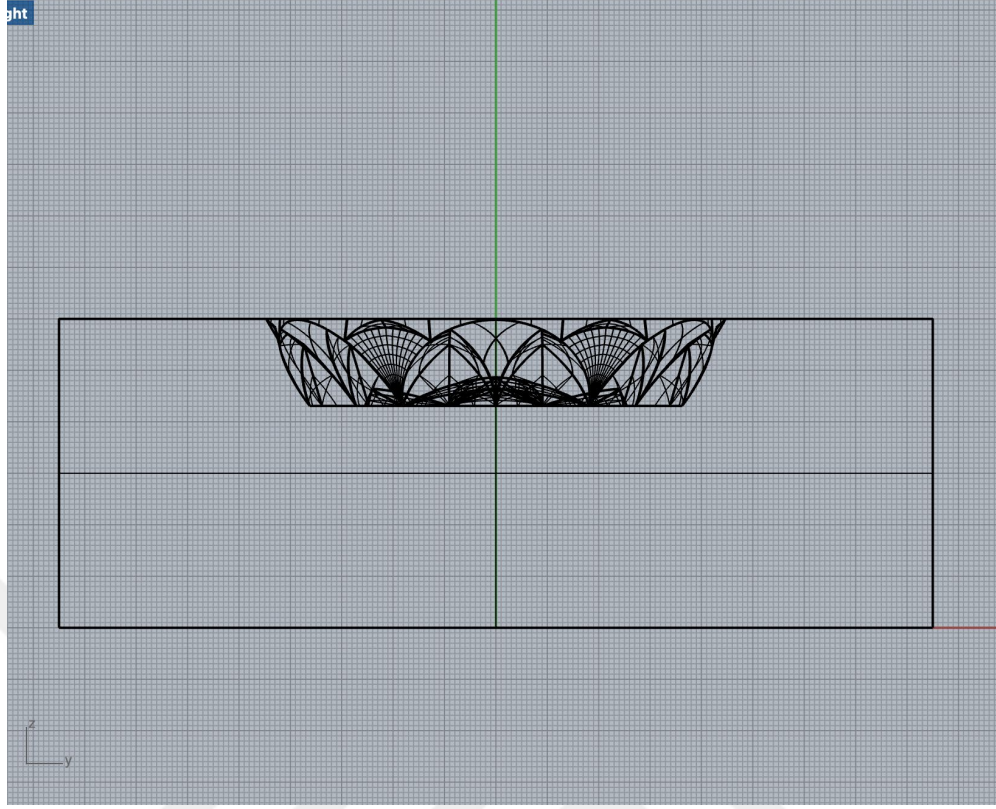
Bu çalışmalarda üç eksenli CNC router kullanılmıştır. CNC router, dik işleme prensibi ile çalışan ve yaygın olarak kullanılan bir CNC işleme makinasıdır. Üç eksenli CNC 'de düz yüzey kazınması oldukça başarılıyken, yüzey dikleştikçe kazınma hassasiyeti azalarak, dokular artmaktadır. Bu geniş ve düz yüzeylerde sorun oluşturmayacak bir durumken, küçük ve keskin geometrisi bulunan alanlarda kullanışlı olmamaktadır.

Bu durum kalıp şekillendirme aşamasında dik yüzeyleri azaltmak için kalıbın gerekenden daha fazla parçaya bölünmesine neden olmaktadır. Daha fazla parça, daha fazla kütle alçı hazırlanması, her birinin tek tek işlenmesi demektir. Ayrıca yüzeylerin birbirine temas ettiği noktalarda eksen kayması yaşanmaması için hesaplı çalışmayı gerektirmektedir.

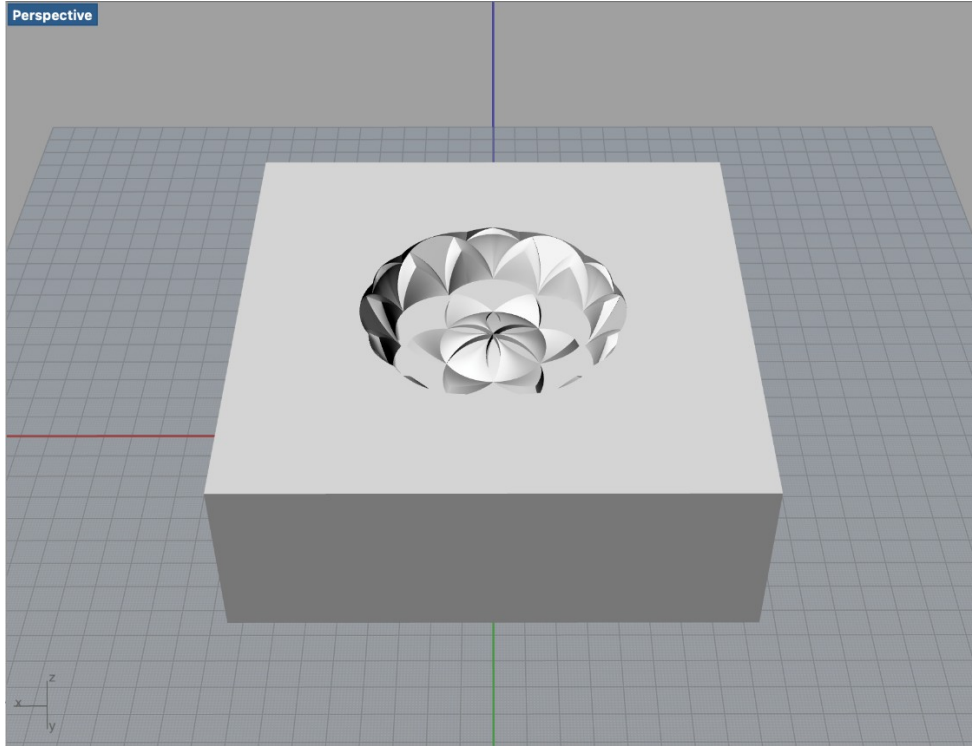
Örneğin Yaşam Çiçeği bardağın üç boyutlu yazıcıda oluşturulan modelle yapılan kalıbı alt, gövde ve üst olarak toplamda üç parçadan oluşmaktadır. Yaşam Çiçeği bardağın kalıbı CNC tezgahında üretilmek istendiğinde ise 6 parçadan oluşması gerekmektedir. Bu nedenle böyle bir kalıbı CNC de üretmek avantajlı olmamaktadır. Fakat CNC ile düz yüzey işlemenin oldukça başarılı olması sebebiyle, üç boyutlu yazıcı ve CNC teknolojisini birleştirerek bir uygulama çalışması yapılmıştır.

Yaşam Çiçeği bardağın en detaylı ve karmaşık yüzeyi alt kalıp parçasıdır. Gövde ve iç çekirdek daha yumuşak çizgilere sahip olduğu için üretiminde sorun yaşanmamıştır. Bu yöntemde kalıbın en detaylı parçası CNC'de işlenerek hızlı ve pratik olarak çözümlenmesi planlanmıştır. İşlenen parçanın üzerine üç boyutlu yazıcıdan elde edilen model konularak döküm yöntemiyle kalıp aşamaları tamamlanmıştır.

Bunun için ilk aşama Rhinoceros programında CNC'de işlemeye uygun şekilde kalıbının modellenmesidir. Kalıp modellenmesinin yapılmasında, yeniden çizim yapmaya gerek kalmadan, üç boyutlu yazıcı için hazırlanmış model üzerinden kalıp parçaları oluşturulabilmektedir. Görsel 3.24 ve 3.25'de model üzerinden oluşturulmuş CNC işleme için hazır hale gelen ürün kalıbı görüntülenmektedir.



Görsel 3.24. Kalıp parçasının iki boyutlu görünümü
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 3.25. CNC işlemeye uygun üç boyutlu kalıp
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

CNC işleme için öncelikle bilgisayarda tasarlanmış kalıp ölçülerine birebir olacak şekilde alçı kütle dökülmesi gerekmektedir. Program üzerinden ölçüler belirlendikten sonra kalıp çerçevesi, köşeler birbirine 90 derece olacak şekilde hazırlanır. Alçının bulunduğu alana yapışmaması için yüzey ve kalıp çerçevesi arap sabunu ile kaplanmaktadır. Çerçevenin hazırlanmasının ardından alçı ve su karışımıyla hazırlanan malzeme, çerçevenin içerisine dökülmektedir (Görsel 3.26).



Görsel 3.26. Alçı kütle hazırlanması

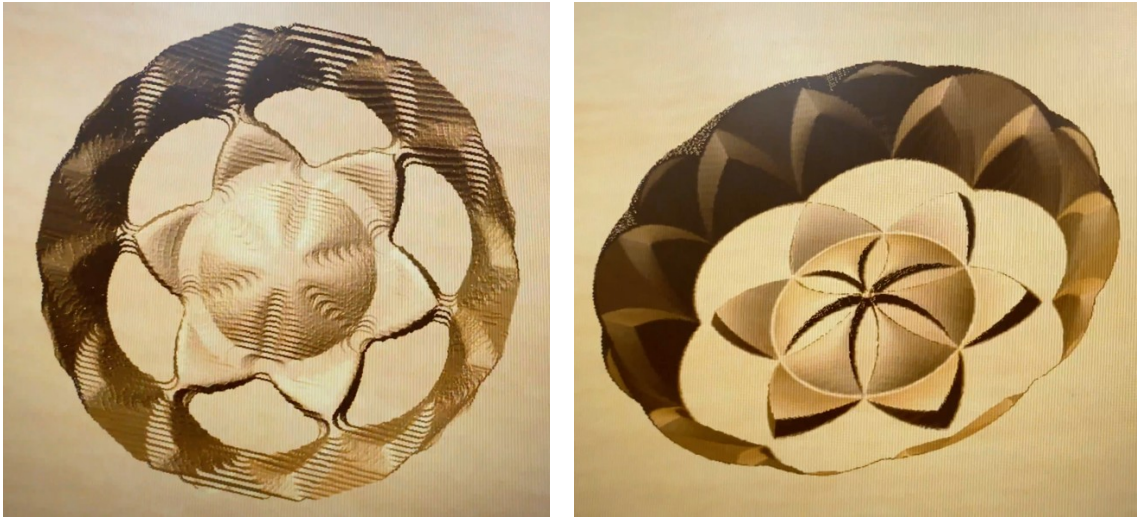
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Hazırlanan alçı blok sertleştikten sonra kalıp çerçevesinden ayrılır. CNC işleme öncesi kalıbın kuruması gerekmektedir. Süreci hızlandırmak için kalıp bir gün boyunca kurutmada tutulmuştur. CNC tezgahı için alçı kütle ne çok kuru, ne çok ıslak olmalıdır. Çok kuru olduğunda kazıma esnasında fazla toz oluşmaktadır. Islak olduğunda ise alçı balçıklaşarak kazıma alanında birikmeler meydana gelmektedir. Alçı yeteri kadar kurduğunda CNC tezgahına alınarak sabitleme işlemleri yapılmaktadır (Görsel 3.27).



Görsel 3.27. Alçı bloğun tezgâha sabitlenmesi
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Sabitlendikten sonra bilgisayar üzerinden gerekli ayarlamalar yapılmaktadır. Bu aşamada modelin kazıma simülasyonu bilgisayarda görüntülenebilmektedir (3.28).

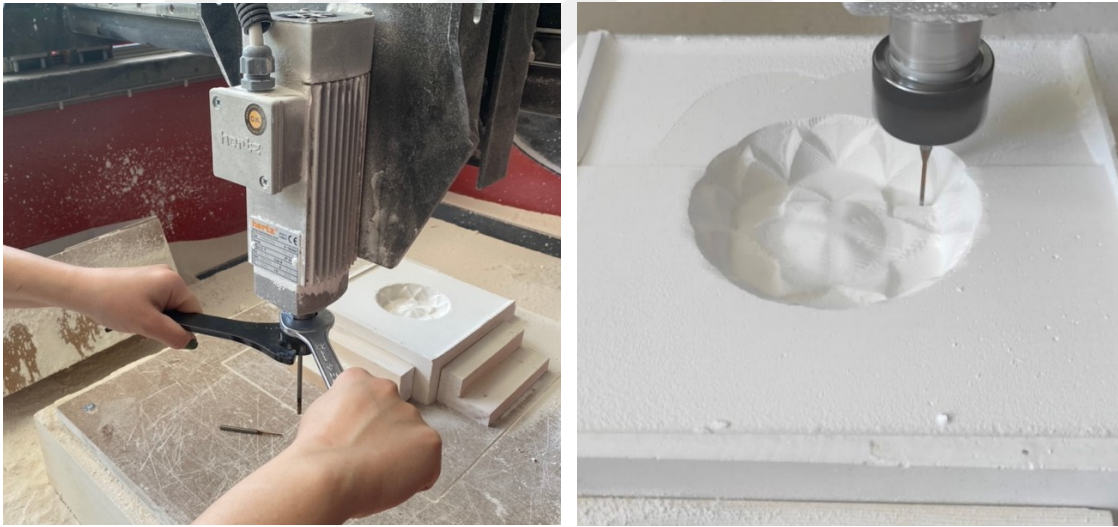


Görsel 3.28. Kaba ve ince kazıma simülasyonu
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

İşlemlerin tamamlanmasının ardından kaba kazıma işlemi başlatılmaktadır (Görsel 3.29). Kaba kazıma bittikten sonra ince kazıma için uç değişikliği yapılarak devam edilmiştir (Görsel 3.30).



Görsel 3.29. *Kaba kazıma işlemi*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 3.30. *İnce Kazıma işlemi*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Kazıma işlemleri tamamlandıktan sonra kalıp yüzeyinden tozlar uzaklaştırılıp, işleme tezgahından çıkarılmıştır (Görsel 3.31). CNC ile alt kalıp parçası oluşturulan Yaşam Çiçeği bardak kalıbının diğer parçalarını üretmek için üç boyutlu yazıcı modelinden yardım alınmıştır.



Görsel 3.31. *Kazıma işlemi tamamlanan kalıp*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Kazıma işlemi tamamlanan kalıbın, keskin geometriye sahip alanlarında dokular oluşturduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak X ve Y ekseninde yüzey kazıma performansı başarılı bulunmuştur. Ancak kesici ucun dik geldiği Z ekseninde, yoğun doku oluşumları meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durum kesici uç ve kazıma süresi ile ilişkilidir. Kalıp tezgâhtan ayrıldıktan sonra sistre ya da su zımparası yardımıyla dokular giderilmiştir. CNC yönteminin kullanımında kazıma esnasında oluşabilecek dokular, kalıp parçasına zarar vermeden giderilebildiği için bu durum ürün performansını etkilememiştir.

Kazıma işlemi sonunda kurumuş olan alçı kalıbın, diğer parçaların üretim aşamasından önce kururken kaybettiği suyu tekrar kazanabilmesi için, su dolu bir kaptaki yeterince su emene kadar bekletilmiştir. Bu işlem kalıp üretimi esnasında kuru olan kalıbın, yeni dökülecek olan ıslak parçaya yapışmaması için gereklidir. Aynı zamanda bu işlem döküm öncesi, kalıp ayırıcı görevi gören arap sabununun eşit şekilde yüzeye dağıtılabilmesi için de önemlidir (Görsel 3.32).



Görsel 3.32. Kalıbın arap sabunu ile kaplanması
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Arap sabunu köpürtülerek alçının gözeneklerinin sabunu çekmesi beklenir. Alçının sabuna doyduğu esnada kuru bir fırça ya da sünger yardımı ile yüzey köpüklerden arındırılmaktadır. Alt parça kalıp işlemi için hazır hale geldiğinde, üzerine üç boyutlu model yerleştirilmiş ve etrafı kalıp çerçevesi ile kapatılmıştır. Plastik modeller oldukça hafif olduğu için etrafına alçı döküldüğünde dengesizleşerek kalıp yapımına engel olmaktadır. Bunu önlemek için bu uygulamada kalıbın yükselmesine engel olacak bir ağırlık konulmuştur. Burada ağırlık olarak çamur parçası kullanılmıştır. Tüm işlemler tamamlandığında alçı karışımı hazırlanarak, kalıba döküm yapılmıştır (Görsel 3.33, 3,34).



Görsel 3.33. Kalıp çerçevesi hazırlanması
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 3.34. Alçı döküm aşaması
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

Bu çalışmada iki teknolojinin sentezi ile kalıp üretimi yapılabilen bir yöntem geliştirilmiştir (Görsel 3.35). Fakat bu yöntem, araştırma kapsamında oluşturulan formun teknik zorluklarının getirdiği problemler doğrultusunda, deneysel bir çalışma olarak yapılmıştır. Üretim alanında ayrı ayrı iki teknolojiyi kullanmak maliyet ve işçiliğin artması ile pratik olmayabilir. Tasarımı yapılan ürünün form ve fonksiyonları doğrultusunda biçimine en uyumlu olacak yöntemin, üç boyutlu yazıcı ve CNC

tezgahlarının sınırlılıklarına bağılı kalınarak, üretim sürecine başlanmadan önce belirlenmesi, sürecin daha etkin şekilde sonuçlanmasını sağlayacaktır.

önce



Görsel 3.35. *Gövde kalıbının tamamlanmış hali*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

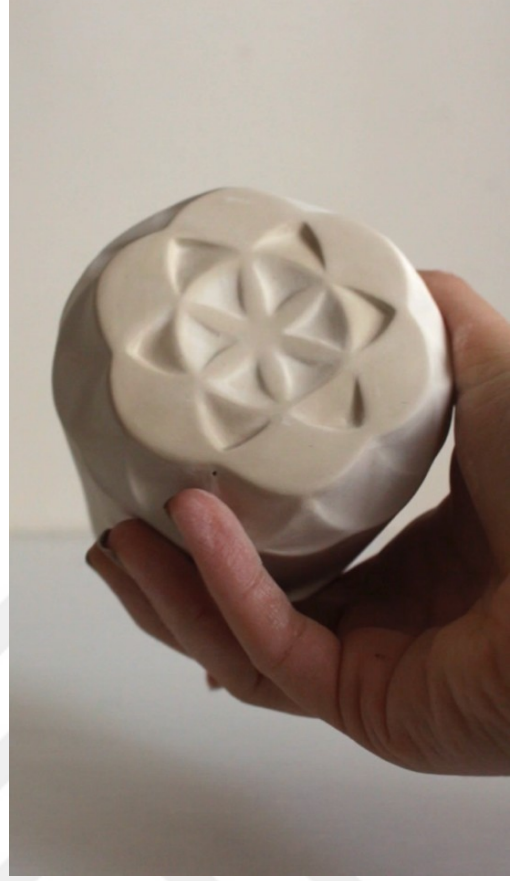
Bu araştırma kapsamında oluşturulan Yaşam Çiçeği ve Metatron çift cidarlı bardak tasarımların üretim kalıpları, üç boyutlu yazıcı ile yapılan modeller üzerinden alınmıştır. Üç eksenli CNC teknolojisi, bu formların üretim sürecinde, dik yüzeyleri kazıma performansının yetersiz kalması sebebiyle avantaj sağlamamıştır. Bu nedenle üretim kalıpları üç boyutlu modeller üzerinden yapılmıştır. Üretim kalıpları hazırlandıktan ve alçı kuruduktan sonra, endüstriyel seramik üretim prosesi uygulamıştır. İki katmandan oluşan bu bardak tasarımının kaba ve ağır olmaması için, katmanlar arasında bulunan boşluk aralığı olabilecek en dar şekilde tasarlanmıştır. Boşluk aralığı az olduğu için, ince döküm alabilmek adına üretimde porselen çamuru tercih edilmiştir. Üretim aşamaları Görsel 3.36, 3.37, 3.38, 3.39’da gösterilmektedir.



Görsel 3.36. Alçı kalıba çamur döküm aşaması
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 3.37. Porselen dökümü yapılmış Metatron formu
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 3.38. Yaşam çiçeği bardağın rötuş aşaması
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 3.39. Ürünlerin bisküvi ve ardından sırlı pişirim için fırına yüklenmesi
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

3.4. Yaşam Çiçeği Serisi

Tez çalışması kapsamında yapılan ilk uygulama “Yaşam Çiçeği” sembolünden yola çıkarak tasarlanan çift cidarlı bardaktır. Çift cidarlı bardak, arasında hava boşluğu bulunan iki yüzeyden oluşmaktadır. Boşluk bardağa termal bir özellik kazandırır. Sıcak ya da soğuk sıvıları uzun süre en iyi ısıda tutar. Kulpsuz olmasına rağmen el yakmadan konforlu bir kullanım sağlar. Çift cidarlı formlar porselen olarak üretilmiştir, porselen yalıtkan bir malzemedir. Cam ve diğer malzemelere göre ısıyı daha fazla muhafaza etmektedir. Bu özelliği ile bardağın termal işlevi güçlenmektedir.

Ürünler bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojilerinden yararlanılarak yapılan endüstriyel alçı kalıplarda döküm yöntemi ile şekillenmiştir. Çamur bünye, şekillendirme aşamasında pigmentler kullanılarak renklendirilmiştir. Ürünlerin bisküvi pişirimleri 950°C sıcaklıkta, sırlı pişirimleri 1230°C sıcaklıkta yapılmıştır. İç yüzeyi sırlı, dış yüzeyi sırsızdır.



Görsel 3.40. Yaşam Çiçeği çift cidarlı bardak tasarımının kesit görünümü
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 3.41. Yaşam Çiçeği çift cidarlı bardak, turkuaz porselen çamuru, 8x9 cm.

Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 3.42. *Yaşam Çiçeği çift cidarlı bardak, kahverengi porselen çamuru, 8x9 cm.*

Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 3.43. Yaşam Çiçeği çift cidarlı bardak, pembe porselen çamuru, 8x9 cm.
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 3.44. Yaşam Çiçeği çift cidarlı bardak, krom porselen çamuru, 8x9 cm.

Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 3.45. Yaşam Çiçeği çift cidarlı bardak, sarı porselen çamuru, 8x9 cm.
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 3.46. *Yaşam Çiçeği bardak alt ve yan görünüm*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 3.47. *Yaşam Çiçeği bardak toplu görünüm*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi

3.5. Metatron Serisi

Bu tezin ikinci uygulaması Metatron küpü sembolünden ilham alınarak yapılan Metatron çift cidarlı bardaktır. Çift cidarlı form, Yaşam Çiçeği'nde olduğu gibi arasında boşluk bulunan iki porselen yüzeyden oluşmaktadır. Çift cidarlı ve porselen yapısı ile bardak, termal bir özellik kazanarak, sıcak veya soğuk sıvıların ısınısını uzun süre muhafaza etmesini sağlamaktadır.

Bardağın yüzeyinde kulp olmamasına rağmen kullanım anında el yakmamaktadır. Ürünler renkli porselen çamurları kullanılarak şekillendirilmiştir. 950°C sıcaklıkta ilk pişirimleri, ardından iç yüzeyleri transparan sır ile sırlanarak, 1230°C sıcaklıkta sırlı pişirimleri yapılmıştır.



Görsel 3.48. Metatron çift cidarlı bardak tasarımının kesit görünümü
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 3.49. *Metatron çift cidarlı bardak, turkuaz porselen çamuru, 8x9 cm.*

Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 3.50. Metatron çift cidarlı bardak, kahverengi porselen çamuru, 8x9 cm.
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşivi



Görsel 3.51. *Metatron çift cidarlı bardak, pembe porselen çamuru, 8x9 cm.
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşiv*



Görsel 3.52. Metatron çift cidarlı bardak, krom porselen çamuru, 8x9 cm.
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşiv



Görsel 3.53. Metatron çift cidarlı bardak, sarı porselen çamuru, 8x9 cm.

Sümeyye Karakuş fotoğraf arşiv



Görsel 3.54. *Metatron çift cidarlı bardak tasarımının alt ve üst görünüm*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşiv



Görsel 3.55. *Metatron bardak, toplu görünüm*
Sümeyye Karakuş fotoğraf arşiv

SONUÇ

Teknolojide yaşanan hızlı gelişmelere paralel olarak, bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojileri de farklı disiplinlerde uygulama alanı bulmaktadır. Günümüzde tıp, mühendislik, mimari, moda, gıda gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılan dijital teknolojilerin çağın gereksinimi doğrultusunda, eğitim kurumlarında da kullanımı kaçınılmaz bir hal almaktadır. Ülkemizde dijital teknolojiler eğitim kurumlarında, birçok bölümde kullanılıyor olsa da seramik bölümlerinde daha seyrek olduğu gözlemlenmektedir.

Bu çalışmada bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojilerinin eğitimin bir aracı ve tekniği haline dönüştürülmesi hedeflenmiştir. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda modern teknolojilerin, tasarım ve üretim sürecinin her bir aşamasında, uygun şekilde konumlandırıldığında dönüştürücü bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Her geçen gün giderek artan ilgi ve zamanla daha da yaygın biçimde kullanılacağı öngörülen bilgisayar destekli teknolojilerin, seramik eğitimi alanında yaratıcı süreci destekleyen etkin bir araç olduğunu söylemek mümkündür.

Bu tez kapsamında üç boyutlu yazıcı teknolojisi ve CNC tezgahlarının, endüstriyel seramik alanında kullanımları değerlendirilerek, eğitimle ilişkisi araştırılmış ve alternatif kullanımları incelenmiştir. Bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojilerinin çalışma prensipleri, türleri, uygulama yöntemleri karşılaştırmalı olarak aktarılmıştır. Bu doğrultuda geleneksel süreçlere kıyasla üretim sürecinde ve ürün üzerinde yarattığı etkiler, avantajlar ve dezavantajlar değerlendirilerek öneriler geliştirilmiştir.

Eğitim ortamında tasarım ve üretim teknolojileri ile uygulamalar yapabilmek için bilgisayar destekli tasarım programları üzerinde bilgi ve deneyime sahip olmak gereklidir. Bilgisayar ortamında, üç boyutlu modelleme ile başlayan tasarım süreci, üretim sürecinde alternatif uygulamalar yapılmasına imkân vermektedir. Üretim süreci içerisinde kolaylıkla bir başka teknolojinin kullanımı için uyarlanabilmesi sebebiyle, verimliliği önemli ölçüde arttırmaktadır. Bu nedenle eğitim ortamında bilgisayar destekli teknolojilerin kullanımını destekleyerek, öğretim programlarının, bilgisayar destekli teknolojileri kullanabilecek yapıda uyarlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu araştırma süreci boyunca elde edilen deneyimler ile, endüstriyel seramik üretim sürecinde üç boyutlu yazıcı ve CNC tezgahlarının kullanımı, geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı, detaylı, hassas ve kaliteli ürün meydana getirilmesini sağlamaktadır.

Oluşturulan tasarımların süreç içerisinde geliştirilebiliyor olması, form ve fonksiyonlarındaki gerekli çözümlerinin yapılmasını kolaylaştırmaktadır. Bu durumun eğitim birikiminin daha yaratıcı ve verimli olarak kullanılması ile daha fazla üretim yapma kolaylığı sağlayarak teknik ve uygulama beceresini de arttıracığına inanılmaktadır.

Günümüzde üç boyutlu yazıcı ve masaüstü CNC tezgahlarının daha düşük maliyetlere sahip olması, sanatçıların, tasarımcıların, girişimcilerin bu cihazları kolayca edinmelerine imkân vermektedir. Gerekli donanımın eğitim kurumlarında da yer almasının çağın ve eğitimin gereği olduğu söylenebileceği gibi, öğrencilerin bakış açılarını genişleteceği, gelecekte gerçekleştirilecek araştırma ve uygulama çalışmalarının çoğaltarak sürmesine aracı ve kaynak olacağı öngörülmektedir. Bu da öğrencilerin öğrenimleri sırasında, ileride meslek pratiklerinde sektörde karşılaşacakları teknolojileri kullanma becerisi ve çağın gereksinimlerine ayak uydurabilecek donanım geliştirmesi için fırsat ve farkındalık oluşmasına yardımcı olacaktır.

Bu tez araştırmasında geleneksel yöntemlere alternatif olarak, bilgisayar destekli tasarım ve üretim süreçleri ile endüstriyel seramik uygulama alanlarında gerçekleştirilen çalışmaların, gelecekte yapılacak araştırmalar için örnek teşkil etmesi hedeflenmiştir.

KAYNAKÇA

- Aytepe, B. (2011). Bilgisayarlı nümerik kontrol (CNC) robotların seramik ve grafik eğitimi'nde tasarım aracı olarak kullanımı. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, 1(1), 239-253.
- Can, E. (2019). *Bilgisayar destekli seramik üretim yöntemi olarak üç boyutlu yazıcılar ve günümüz koşullarında uygulama örneği*. Sanatta Yeterlilik Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- Demirbaş, Y. K., & Arlı, B. (2017). *Uygulamalarla üç boyutlu yazıcı yapımı ve kullanımı*. İstanbul: Abaküs Kitap Yayın Dağıtım Hizmetleri.
- Erdem, İ. Ö. (2018). *Rölyefli seramik karoların bilgisayar destekli tasarım programlarıyla modellenmesi ve üretilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi.
- Güner, G. (2018). Çömlekçi tezgahından CNC tezgahına. *Seramik Türkiye Dergisi*.
- Gavas, M. (2016). *CNC tekniği ve teknolojisi*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Hamzaoğlu, B., ve Özkar, M. (2017). Hesaplamalı örüntü tasarımında yapım kuralları: CNC frezeleme ile bir deneme. *MSTAS 2017*. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi , s.11-13.
- Işıқтаş, İ. (2018). Tasarımda ve üretimde üç boyutlu baskı teknolojisinin seramik alanında kullanım olanakları. *Ulakbilge Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(28), 1193-1206.
- Küçükerbaş, M. N. (2019). *Üç boyutlu yazıcılarla üretilebilecek form araştırmaları*. Sanatta Yeterlilik Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Kavala, D. (2010). *Beş eksenli CNC tezgahı tasarımı ve kontrolü*. Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Kayalıoğlu, A. C. (2020). *Üç boyutlu tarayıcı ve üç boyutlu yazıcıların seramik sanatında figüratif formlarda elle şekillendirme ile birlikte kullanılması*. Sanatta Yeterlilik Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- Kubat , L. (2020). Bilgisayar kontrollü sistemlerin seramik üretiminde kullanımı ve CNC Tezgahlarında Üretimin Seramik Endüstrisine Katkıları. *İdil Sanat ve Dil Dergisi*, 9(69), 780-790.

- Martinez, E. H. (2012). New technologies of ceramic product design, 3d softwares, computer aided, programs, integrated into design practices in the field of ceramic art education. *Journal of literature and art studies*, 2(2), 329-339.
- Martinez, E. H., ve Can, E. (2016). Bilgisayar destekli seramik üretim yöntemi olarak üç boyutlu yazıcılar ve günümüz koşullarında uygulama örneği. *Sanat ve Tasarım Dergisi*, 6(1), 1-15.
- Özgündoğdu, A. F. (2014). Seramik üretiminde çağdaş bir biçimlendirme yöntemi olarak üç boyutlu yazıcılar. 8. *Uluslararası Eskişehir Pişmiş Toprak Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Eskişehir: Tepebaşı Belediyesi s.213-227.
- Özkan, M. (2017). *Bilgisayar destekli imalatta dalarak kaba ve trokoidal işleme algoritmalarının birleştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi
- Özsoy, K., ve Duman, B. (2017). Eklemeli imalat (3 boyutlu baskı) teknolojilerin eğitimde kullanılabilirliği. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 1(1), 36-48.
- Sürmen, H. (2019). Eklemeli imalat (3B baskı): Teknolojiler ve uygulamalar. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 373-392.
- Şahin, K., ve Turan, B. (2018). Üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin karşılaştırmalı analizi. *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(2), 97-116.
- Türkel, E. (2008). *Bilgisayar destekli tasarım programlarıyla seramik ürünlerin modellenmesi ve bir pisuar uygulaması*. Sanatta Yeterlilik Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi.

İNTERNET KAYNAKLARI

- http-1: <http://www.mbdesign.net/mbinfo/CAD1960.htm> (Erişim tarihi: 10.11.2021)
- http-2: <https://www.sme.org/technologies/articles/2010/masters-of-manufacturing-patrick-j.-hanratty/> (Erişim tarihi: 15.11.2021)
- http-3: <https://www.invent.org/inductees/ivan-e-sutherland> (Erişim tarihi:10.12.2021)
- http-4: https://www.researchgate.net/figure/Written-on-sketchpad-in-1963_fig1_342433909 (Erişim tarihi: 10.12.2021)
- http-5: <https://www.americanmachinist.com/cad-and-cam/article/21892098/the-cadcam-hall-of-fame> (Erişim tarihi: 10.12.2021)

http-6: https://tr.wikipedia.org/wiki/Non-uniform_rational_B-spline (Erişim tarihi: 14.12.2021)

http-7: <https://www.scan2cad.com/blog/cad/cad-evolved-since-1982> (Erişim tarihi: 16.12.2021)

http-8: <https://all-andorra.com/ibm-pc-xt-5160-made-in-1984/> (Erişim tarihi: 29.12.2021)

http-9: <https://freelance.timbaty.co.uk/autocad-2000> (Erişim tarihi: 29.12.2021)

http-10: <https://giphy.com/gifs/3d-cad-autocad-ULc1hIDZTHvTLN0tvG> (Erişim tarihi: 10.01.2021)

http-11: <http://www.turkcam.net/rapor/CADCAM-tarihcesi/index5.html> (Erişim tarihi: 17.01.2021)

http-12: <https://xometry.eu/en/subtractive-manufacturing-vs-additive-manufacturing/> (Erişim Tarihi: 02.02.2022)

http-13: <https://www.indiamart.com/proddetail/cnc-router-cutting-service-22889467573.html> (Erişim Tarihi: 19.02.2022)

http-14: <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-vs-cnc-160320184/.jpeg> (Erişim Tarihi: 17.03.2022)

http-15: <https://lk.tc/pUYjb> (Erişim Tarihi: 17.03.2022)

http-16: <https://www.custompartnet.com/wu/stereolithography> (Erişim Tarihi: 19.03.2022)

http-17: <https://motoiq.com/make-your-own-parts-with-shareware-cad-and-3d-printing/2/> (Erişim Tarihi: 19.03.2022)

http-18: <https://www.3dnatives.com/en/ceramic-resin300520184/> (Erişim Tarihi: 22.03.2022)

http-19: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-illustration-of-powder-bed-binding-technique_fig2_341377838 (Erişim Tarihi: 28.03.2022)

http-20: <https://maker.robotistan.com/3d-yazici-printer/> (Erişim Tarihi: 07.04.2022)

http-21: <https://3dbaskial.com/fdm-nedir/> (Erişim Tarihi: 07.04.2022)

http-22: <https://kemiq.com/urun/beamup-l-3d-printer-32cm-32cm-30cm/> (Erişim Tarihi: 14.04.2022)

http-23: <https://tr.dhgate.com/product/he3d-k200-delta-diy-3d-printer-kit-autolevel/584359855.html> (Erişim Tarihi: 14.04.2022)

http-24: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-form-2-stereolithographic-desktop-3D-printer-demonstrating-bottom-up_fig1_313901778 (Erişim Tarihi: 21.04.2022)

http-25: <https://formlabs.com/post-processing/wash-cure/> (Erişim Tarihi: 21.04.2022)

http-26: <https://www.matbuu.com/blog/3d-yazici-nedir.html> (Erişim Tarihi: 21.04.2022)

http-27: <https://lk.tc/8zckI> (Erişim Tarihi: 26.04.2022)

http-28: <https://cloudnc.com/cnc-best-practices-3-whats-the-difference-between-3-axis-4-axis-5-axis-milling/> (Erişim Tarihi: 26.04.2022)

http-29: https://www.sunhotsell.com/?product_id=208033165_76 (Erişim Tarihi: 03.05.2022)

http-30: <https://cloudnc.com/cnc-best-practices-3-whats-the-difference-between-3-axis-4-axis-5-axis-milling/> (Erişim Tarihi: 10.05.2022)

http-31: http://www.better-molds.com/service/5Axis-CNC-Machining/4_Axis_CNC_Machining/ (Erişim Tarihi: 10.05.2022)

http-32: <https://www.turkiyecncrouter.com/urun/4-eksen-cnc-router-eklentisi/9> (Erişim Tarihi: 15.05.2022)

http-33: <https://www.fastradius.com/resources/3-axis-vs-5-axis-cnc-machining/> (Erişim Tarihi 15.05.2022)

http-34: http://www.better-molds.com/service/5Axis-CNC-Machining/5_Axis_CNC_Machining/ (Erişim Tarihi: 15.05.2022)

http-35: https://www.jycncmachining.com/5-axis-cnc-machining_p10.html (Erişim Tarihi: 18.05.2022)

http-36: <https://pardesco.com/blogs/news/sacred-geometry-art-symbols-meanings> (Erişim Tarihi: 20.05.2022)

http-37: <http://www.mehmetalicetinkaya.com/2017/09/efes-antik-kenti-sisam-samos-adasi-bolum-1/30-agustos-2017-yamac-evler-efes-antik-kenti-selcuk-izmir-03/> (Erişim Tarihi: 20.05.2022)