

BİLGİSAYAR DESTEKLİ SERAMİK ÜRETİM YÖNTEMİ OLARAK ÜÇ BOYUTLU YAZICILAR VE GÜNÜMÜZ KOŞULLARINDA UYGULAMA ÖRNEĞİ

Doç. Ezgi HAKAN VERDU MARTİNEZ * Arş. Gör. Emre CAN **

ÖZET

Bilgisayar destekli üretim yöntemlerinden olan üç boyutlu yazıcılar, günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hızlı prototipleme teknolojisinden hareketle temelleri atılan ve 1980'lerde geliştirilerek patenti alınan bu yöntemden günümüzde otomotiv, mimari, inşaat, tıp, endüstriyel tasarım, moda tasarımı, gıda gibi birçok farklı alanda faydalanılmaktadır. Üretilen ürünün malzemesi ve özelliklerine bağlı olarak farklılık gösteren üç boyutlu yazıcıların türleri ve farklı çalışma prensipleri bulunmaktadır. Bu yazıcılarda plastik, metal, polimer ve seramik gibi farklı malzemeler işlenebilmektedir.

Üç boyutlu yazıcılar ile seramik üretimi, yöntem olarak harç yığıma, toz bağlama ve seçici lazer sinterleme prensiplerine göre çalışmaktadır. Günümüzde hala gelişmekte olan bu teknoloji dünyada çeşitli sanatçılar ve atölyeler tarafından kullanılmaktadır. Bu dijital üretim şekli, seramik sanatında yeni bir buluş, elle şekil verilmesi zor olan formların üretiminde oldukça ilgi çeken yeni bir şekillendirme yöntemi olarak kabul edilmektedir.

Bu araştırma seramik alanında üç boyutlu yazıcıların kullanımı ve işlevselliğine dair genel bilgiler verirken, bir üretim yöntemi olarak üç boyutlu seramik yazıcıların günümüz koşullarında değerlendirilmesi ve geliştirilmesi adına örnek oluşturmaktadır. Bu çalışmada harç yığıma prensibine göre seramik malzeme ile çalışan üç boyutlu yazıcı ile üretim, bu üretim esnasında karşılaşılan problemler, bu problemlerin çözümü noktasında neler yapılabileceği, uygulama örnekleri ile ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Seramik, Üç Boyutlu Yazıcı, Bilgisayar Destekli Tasarım, Eklemeli Üretim

* Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, Eskişehir / TÜRKİYE, ehakan@anadolu.edu.tr

** Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, Eskişehir / TÜRKİYE, emrecanceramic@gmail.com

THREE DIMENSIONAL PRINTERS AS A WAY OF COMPUTER AIDED CERAMICS MANUFACTURING AND A CASE STUDY IN TODAY'S CONDITIONS

Assoc. Prof. Ezgi HAKAN VERDU MARTÍNEZ * Res. Assist. Emre CAN **

ABSTRACT

Three dimensional printers as a way of computer aided manufacturing have been used commonly today. This method, which was grounded on rapid prototyping technology and developed in 1980s and patented, is used many different fields today such as automotive, architecture, construction, medicine, industrial design, fashion design and food industry. Depending on the material and properties of the product to be manufactured, there are different types and operating principles of three dimensional printers. Different kinds of materials such as plastics, metal, polymer and ceramics are processed in these printers.

Ceramics manufacturing with three dimensional printers operates according to the principles of mortar masonry, encrusting and laser sintering. This technology which has been still developing has been used by different artists and workshops. This way of digital manufacturing is accepted as a new invention in the art of ceramics and a quite attractive way of shaping of forms which are hard to mold in hand.

In this research, general information about the usage and the functionality of three dimensional printers in ceramics field will be given, and it will be an example to develop and use three dimensional printers in today's conditions. The manufacture with three dimensional printers that operate according to the principle of stratigraphic manufacturing; the problems during this manufacturing process, what should be done to solve these problems and application examples are going to be analyzed in this research.

Keywords: *Ceramics, Three Dimensional Printers, Computer Aided Design, Stratigraphic Manufacturing*

* Anadolu University, Faculty of Fine Arts, Ceramics Department, Eskişehir / TURKEY,
ehakan@anadolu.edu

** Anadolu University, Faculty of Fine Arts, Ceramics Department, Eskişehir / TURKEY,
emrecanceramic@gmail.com

GİRİŞ

Üç boyutlu yazıcı ile üretim, eklemeli üretim (additive manufacturing) olarak bilinen bir grup teknolojinin genel adıdır. Üç boyutlu yazıcı ile üretim ya da eklemeli üretim aynı zamanda hızlı prototipleme (rapid prototyping), hızlı üretim, katmanlı üretim ya da masaüstü üretim olarak adlandırılmaktadır (Verbruggen ve Warnier, 2014).

Günümüzde yaygın ve popüler adıyla üç boyutlu yazıcı (3D printing) olarak bilinen bu teknoloji sayesinde farklı malzemeler ile bilgisayar destekli üretim yapabilmek mümkündür. Plastik, polimer, metal, seramik gibi farklı malzemeler kullanılarak dijital yöntemlerle üç boyutlu obje üretimini mümkün kılan yeni jenerasyon üretim teknolojisi “üç boyutlu yazıcıların ilk ortaya çıkışı 1970’lere dayanmaktadır. 1986 yılında Charles Hull tarafından patenti alınmış ve günümüze kadar gelişerek gelmiş olan bu üretim yöntemi, el ile yapılamayacak kadar karmaşık formların üretilmesine imkan verirken, otomotiv, mimari, inşaat, tıp, biyoteknoloji, endüstriyel tasarım, moda tasarımı ve gıda gibi alanları içine alan geniş bir yelpazede kullanılmaktadır.¹

Seramik Üretiminde Kullanılan Üç Boyutlu Yazıcılar, Türleri ve Öncü Kullanıcılar

Bir hızlı prototipleme teknolojisi olan üç boyutlu yazıcıların farklı çalışma prensipleri bulunmaktadır. Bu prensipler inşa hammaddesi olarak kullanılan malzemeye ve aynı zamanda yapılması planlanan tasarıma göre değişiklik göstermektedir. Hızlı prototip cihazları, kullandığı teknolojiye göre, Işıklı Kür, Toz Bağlama, Harç Yığıma ve Tabaka Yığıma olarak dört ana kategori altında toplanabilir. Son yıllarda gelişen teknoloji ile SLS (Selective Laser Sintering) ve SLM (Selective Laser Melting) cihazları prototip anlayışından öteye giderek, üç boyutlu yazıcıdan çıkan ürünlerin direk kullanılması olanağını sunmuştur. Delikanlı vb (2005). Bu üretim teknolojilerinden, seramik malzeme kullanılarak Toz Bağlama (Inkjet Printing-Powder Binding), SLS (Seçici Lazer Sinterleme) ve Harç Yığıma (extruder) yöntemleri ile üretim yapılabilmektedir.

Günümüzde bu teknolojinin kullanıldığı seramik üretiminin çok yeni olduğu söylenebilir. Birçok atölye ve sanatçı bu teknolojiyi geliştirme anlamında çalışmalar yapmakta ve projeler geliştirmektedir. Belli merkezlerde sürdürülen bu araştırmalar, alanında öncü nitelikte üretimlerin gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Hala üzerinde çalışılmaya devam edilen bu projelerin bazıları üniversitelerde akademik olarak sürdürülürken, bazıları da bağımsız araştırma grupları tarafından yönetilmektedir. İşlevsel ve sanatsal formların üretimiyle ilgili araştırmaların yanı sıra, ileri seramiklerin üretimini mümkün kılan üç boyutlu yazıcılar konusunda uzmanlaştıkları görülen çeşitli merkezler ve kişiler konuyla ilgili eğitimler de sunmaktadır.

İngiltere’de West England Üniversitesi bünyesinde yer alan Baskı Araştırma Merkezi ve ABD’de ki Tethon firması Toz Bağlama yöntemiyle üretimin geliştirilmesi için oldukça büyük katkılar veren kuruluşlardır. İngiltere-Bristol’de bulunan Baskı Araştırma Merkezi’nde başta direktör Stephen Hoskins ve araştırmacı David Huson olmak üzere seramik tozların bağlanması esasına dayalı olarak 1990’lardan beri gündemde olan bu yöntemle çalışmalar yapılmakta, dijital teknolojiler, endüstri ve yaratıcı sanatsal üretimler arasında bağ kurulmaktadır. Bu merkez-

¹ Hull, C. W. (2015). *The Birth of 3D Printing*. *Research-Technology Management*, 58(6), s: 25.

de kullanılan yöntemde seramik tozları, bir inkjet başlığı ile katmanlar halinde bırakılan sıvı bir malzeme ile bağlanarak formu oluşturmaktadır. Pudra halinde bir kütle içinde oluşan form (Görsel 1), daha sonra kurutma fırınında kurutulurken, etrafındaki toz halindeki pudra fırça yardımıyla süpürülerek (Görsel 2-3) ortaya çıkarılmaktadır.



Görsel 1-2-3. Denby firması ile ortak uygulanan şekerlikler, üç boyutlu yazıcı ile toz bağlama yöntemi (inkjet print-binding, z-corp machine) İngiltere Baskı Araştırma Merkezi

Harç yığıma yöntemi ile üretim yapan üç boyutlu yazıcıların kullanımı ve geliştirilmesi konusunda Belçika'da faaliyet gösteren devlet destekli araştırma grubu Unfold ise 2009 yılında seramik malzeme ile harç yığarak üretim yapan ilk merkez konumundadır (Görsel 4). Grubun Antwerp'teki stüdyo çalışmaları dışında farklı ülkelerde tasarımcılarla üç boyutlu seramik yazıcı ile üretim üzerine ortak projeleri bulunmaktadır. Günümüzde Unfold stüdyosu, seramik sanatçısı Jonathan Keep ile birlikte bu teknolojinin paylaşılması konusunda oldukça önemli çalışmalar yapmaktadır. Aynı zamanda son dönemde Jonathan Keep ile birlikte çalışan İtalyan Wasp firması da (Görsel 5) bu yöntemle üretim yapan makineler üreterek bu alanda öncü firmalardan olmuştur.



Görsel 4. Renkli çamurla üç boyutlu yazıcı harç yığıma örneği, Unfold ekibi stratigraphic porselen projesi, 2009



Görsel 5. 3 boyutlu yazıcı ile Wasp proje grubu tarafından üretilmiş seramik formlar

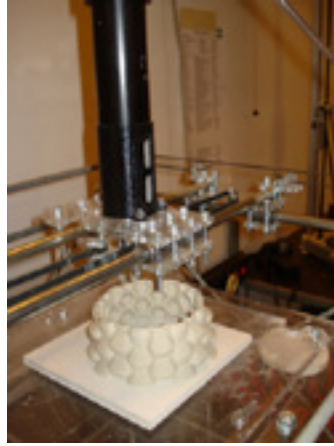
Çalışmalarını Hollanda'da kendi atölyesinde sürdüren Olivier Van Herpt bu yöntemle çalışan ve farklı eserler veren bir diğer önemli bir kişidir. Üç boyutlu yazıcısı ile üretmiş olduğu büyük boyutlu formlarıyla üç boyutlu yazıcıların seramik sanatında kullanımına dair çok çeşitli çözümler ve öneriler sunduğu projeleri bulunmaktadır (Görsel 6).



Görsel 6. Olivier Van Herpt ve stüdyosunda kullandığı üç boyutlu yazıcı

Unfold Tasarım Stüdyosu

Unfold Tasarım Stüdyosu 2002 yılında Claire Warnier ve Dries Verbruggen tarafından kurulmuştur. Design Academy Eindhoven mezun olan Claire Warnier ve Dries Verbruggen bu stüdyonun kuruluş amacını üretim anlamında yeni yaratım yollarını araştırmak ve geliştirmek olarak açıklamaktadırlar.² İleri teknoloji ile üretim metodları ve dijital iletişim ağları ile ilgili çalışmalarını olan bu stüdyo harç yığıma yöntemi ile (Görsel 7) seramik malzeme kullanarak üretim yapan ilk stüdyo olarak önemli bir yere sahiptir. İlk olarak 2009 yılında Claire Warnier ve Dries Verbruggen plastik malzeme ile üretim yapan bir üç boyutlu yazıcıyı modifiye ederek seramik malzeme ile çalışır hale getirmiş ve ilk seramik objeyi üretmişlerdir.³



Görsel 7. Unfold Stüdyosunda porselen çamuru ile çalışan üç boyutlu yazıcı

² <http://unfold.be/pages/about> (Erişim Tarihi: 15.11.2015)

³ http://www.keep-art.co.uk/Self_build.html (Erişim Tarihi:20.11.2015)

Daha sonra bu stüdyo ile tanışan seramik sanatçısı Jonathan Keep'in bu yöntemin geliştirilmesi ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi konusunda önemli katkıları olmuştur. Daha sonrasında Jonathan Keep Delta tipi olarak da bilinen üç boyutlu yazıcıyı seramik malzeme ile çalışabilir hale getirmiş "Jk Delta 3D Printer" isimli kendi üç boyutlu yazıcısını yaparak üretimlerde bulunmaya başlamıştır (Görsel 8). Bu yazıcı modelinin yapımını tüm teknik çizimleri ve parçaları ile sanatçı kendi internet sitesinde paylaşmış, dünyada birçok kişiye kendi üç boyutlu yazıcılarını yapmaları konusunda öneri sunmuştur.



Görsel 8. Jonathan Keep, Buzdağları

Yapılan Örnek Uygulama ve Aşamaları:

Belçika'nın Antwerp şehrinde yer alan Unfold Stüdyosu Üç Boyutlu Seramik Yazıcılar konusunda staj ve eğitim olanağı sunmaktadır. Bu araştırma Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma projesi desteği ile bu stüdyoda alınan 4 günlük eğitim sonucunda yapılan uygulama çalışmalarından oluşmaktadır (Görsel 9). Bu üretim sürecinde karşılaşılan problemler ve bu problemlerin giderilmesi konusunda ki deneyimler ve uygulama aşamaları aşağıda detaylarıyla anlatılmıştır.



Görsel 9. Unfold Tasarım Stüdyosunda Dries Verbruggen ile yapılan Uygulama Aşaması

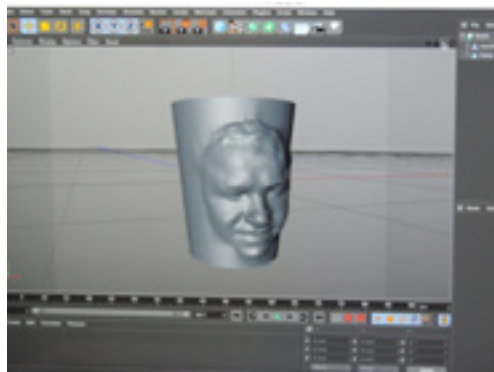
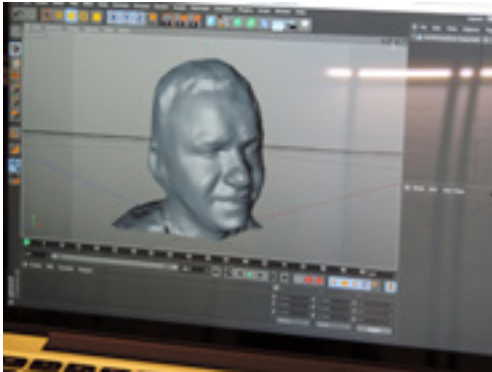
Harç yığıma tekniği ile çalışan üç boyutlu yazıcılar çamurun üst üste katmanlar halinde yığılması ile form oluşturulması esasına dayanır. Bu yöntemle üretimi deneyimlemek üzere öncelikli olarak yapılacak ürünün şekline karar verilerek, bir bardak üzerine insan yüzünün rölyef olarak aktarılması kararlaştırılmıştır.

Tarama İşlemi İle Çıktısı Alınacak Modelin Bilgisayar Ortamına Aktarılması:

Tarama işlemi ile çıktısı alınacak ya da yüzey üzerine kabartması yapılacak olan model 5-6 farklı açıdan fotoğrafı çekilmek suretiyle 123D Catch programı sayesinde bilgisayar ortamında üç boyutlu hale getirilmiştir (Görsel 10-11). Bunun için bir nesnenin farklı açılardan görüntülenmiş imajlarının bir araya getirilmesiyle bilgisayar ortamında üç boyutlu hale dönüştüren bir program(123D Catch) kullanılmıştır (Görsel 12-13).



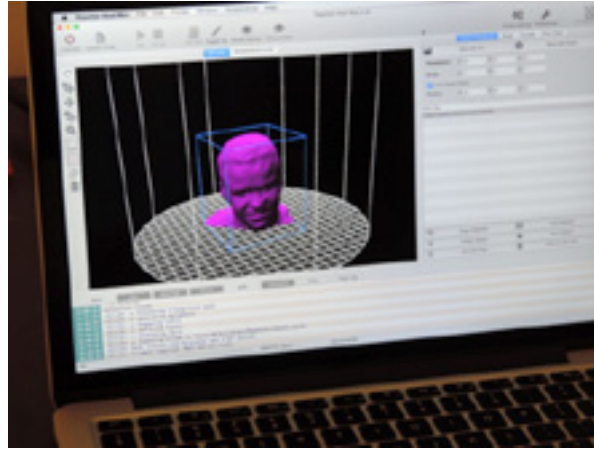
Görsel 10-11. Modelin farklı açılardan fotoğrafının çekilerek bilgisayar ortamına aktarılması



Görsel 12-13. Bilgisayar ortamında model üzerinde değişikliklerin yapılması

Model yüzeyi üzerinde eksik kalan veya yüzey olarak algılanmayan alanların tamamlanması için Mesh Mixer programı kullanılmıştır. Ayrıca yine bu program üzerinde elde edilen modelin yüz rölyefinin bardak üzerine aktarılması sağlanmıştır. Bu program ile bilgisayar ortamında model üzerinde değişiklik yapılabildiği gibi sıfırdan farklı sanatsal ve figüratif modeller de çizilebilmektedir.

Daha sonra Netfabb Programı ile üretimden önce yüzey ile ilgili sorunların tespiti ve analizleri yapılmıştır. Üst üste ekleme yöntemi ile yapılan bir üretim şekli olduğu için bu yöntem ile üretime uygun olmayan alanlar tespit edilerek, üretime uygun olacak şekilde revizyonlar yapılmıştır. Bu işlem üretim esnasında yüzeyde örülmeyen alanlar yani boşluklar oluşmaması için yapılmıştır. Daha sonra STL formatında kaydedilmiş olan model dosyası Repetier-Host Programında açılmıştır. Bu program ile üretimin kaç katmandan oluşacağı, et kalınlığının ne kadar olacağı, ne kadar sürede üretimin tamamlanacağına karar verilmiştir (Görsel 14). Son olarak kaydedilen bu dosya harici bellek ile üç boyutlu yazıcıya aktarılarak üretime hazır hale getirilmiştir.



Görsel 14. Bilgisayar ortamında modelin üç boyutlu yazıcıdan üretilmeye hazır hale getirilmesi

Çamur Hazırlama:

Çamur hazırlama aşaması bu yöntemde üretim için oldukça önemlidir. Bu üretim yöntemi enjeksiyonu yapacak tüp içerisine sıyrılarak yerleştirilen çamurun kompresör yardımıyla hava basıncı ile itilerek üst üste yığılması prensibiyle çalışmaktadır. Bu sebeple çamurun hazırlanmasında ve tüp içerisine yerleştirilmesinde çamur içerisinde hava kalmaması gerekmektedir.

Spatula yardımıyla çamur düz, sert ve su emmeyen bir yüzey üzerinde yukarıdan aşağıya doğru bastırılarak içerisindeki havanın dışarıya atılması sağlanır (Görsel 15). Bu şekilde spatulaya toplanan çamur tüp içerisine yerleştirilir. Bu yerleştirilme esnasında tüp içerisinde hava kalmaması için tüpün aşağısındaki ucu parmak ile tikanır. Spatuladaki çamur aşağıda Görsel:16'de görüldüğü gibi tüpün içerisine tek hamlede bırakılmalıdır. Tüp içerisinde hava kalmaması açısından önemlidir.



Görsel 15. Çamur hazırlama aşaması

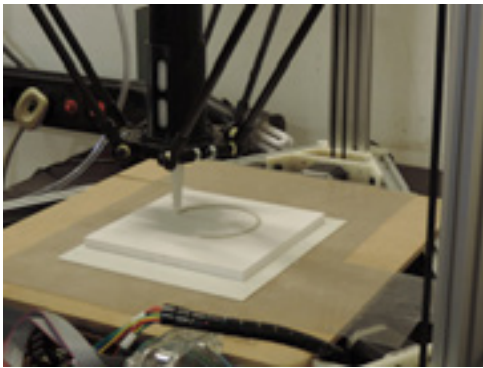


Görsel 16. Hazırlanan çamurun tüplere konulması

Eğer çamur içerisinde ya da tüp içerisinde hava kalırsa bu üretim esnasında yüzey üzerinde boşluklara neden olacaktır. Bu durum istenmeyen bir durumdur. Dolayısıyla, bu yöntemle yapılan üretimde çamur hazırlama aşamasında dikkatli çalışmanın önemi oldukça fazladır. Aynı zamanda çamurun kıvamına göre makinenin üretim hızının ayarlanması gerekmektedir. Hazırlanan modelin üretim yöntemine uygun olarak oluşturulması da önemli bir ayrıntıdır. Makine, çamuru üst üste ekleme mantığı ile çalıştığından çalışma prensibine uygun, ters aç olmayacak şekilde tasarım yapılması gerekmektedir. Tasarım anlamında tasarımcıyı sınırlayan bir durumdur.

Üretim Aşaması

Hazırlanan çamur tüpü üç boyutlu yazıcı üzerindeki haznesine yerleştirildikten sonra makinenin başlangıç noktasına objenin tabanından daha geniş olacak şekilde bir alçı plaka yerleştirilmiştir. Üretim tamamlandıktan sonra objeyi plaka üzerinden yapışmadan sorunsuz bir şekilde alabilmek için alçı tercih edilmiştir (Görsel 17). Üç boyutlu yazıcı hafızasına aktarılan dosya ekran üzerinden seçilerek başlat butonuna basılmış ve üretim başlatılmıştır (Görsel 18).



Görsel 17-18. Üç Boyutlu Yazıcı üretim aşaması

Sorunsuz bir şekilde ilerleme sağlayabilmek için belirli bir süre gözlem yapılmıştır. Eğer sorun varsa makine durdurulur gerekli müdahaleler yapılır ve üretim tekrar başlatılır.

Görsel:18'de görüldüğü gibi figürün burun kısmında atlamalar oluştuğu için makineye komutlar vermek suretiyle çözüm bulunmuştur. Daha sonrasında makinenin üretimi sorunsuz bir şekilde tamamlaması beklenmiştir. Üretim 10 dakikada tamamlanmıştır. Ürün yazıcıda elde edildikten sonra kurumaya bırakılmıştır.

Çamurun çeşidine göre pişirme derecesi belirlenmiş mukavemet kazandırılması amacıyla pişirimi yapılmıştır (Görsel 19-20). Bu çalışmada 2 farklı çamur 1300°C porselen çamuru ve 1200°C stoneware kullanılmıştır. Pişirimler de bu derecelere göre yapılmıştır.



Görsel 19-20. Üretilen objenin son hali ve pişirim aşaması



*Görsel 21. Üretilen obje, 1200°C Sırsız Pişirim Stoneware
1300°C Sırsız Pişirim Porselen*

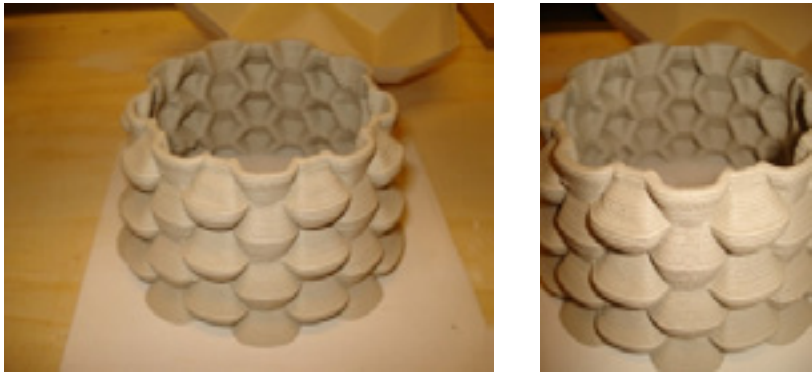


*Görsel 22. Üretilen obje, 1200°C Sırsız Pişirim Stoneware
1300°C Sırsız Pişirim Porselen*

SONUÇ

Günümüzde yeni bir yöntem olan üç boyutlu yazıcılar ile plastik, metal gibi çeşitli malzemelerle üretim yapılabildiği gibi seramik üretmek üzere plastik ve toz halindeki çamur malzemeyle de üretim yapmak mümkündür. Dijital bir üretim yöntemi olarak bu teknoloji seramik sanatında söz konusu olduğunda, bir şekillendirme yöntemi olarak değerlendirilebilmektedir. Seramik malzeme ile sadece harç yığıma ile üretim değil aynı zamanda da toz bağlama ve SLS yani seçici lazer sinterleme sistemine göre de üretim yapılmaktadır. Bu sistemler el ile şekillendirilemeyecek kadar karmaşık formların şekillendirilmesinde oldukça başarılıdır. Ancak malzemenin tam olarak birbirine kaynaşmamasından kaynaklı, formun yüzeyinde boşluklar oluşabilmektedir. Bu sebeple elde edilen formlar açısından iyi bir düzeye ulaşılmış olsa da, malzemenin kalitesi ve yüzey porozitesi bakımından istenilen düzeye gelinmemiştir. Günümüzde yapılan çalışmalar incelendiğinde, diğer toz bağlama ile üretim yapan yazıcılara göre harç yığıma yöntemi ile şekillendirme malzeme olarak seramik çamuru kullanıldığından yüzey porozitesi açısından sorunsuzdur. Ancak yüzey üzerinde üretim yönteminden kaynaklanan yatay çizgiler sanatsal anlamda güzel bir doku oluşturmasına rağmen problem olarak görülmekte ve daha pürüzsüz yüzeyler elde edebilme adına çalışmalar sürdürülmektedir (Görsel 21-22). Gelecekte malzeme probleminin çözümü ve daha kaliteli yüzeylerin elde edilmesiyle, 3 boyutlu üretim teknolojisi daha yaygın ve sorunsuz bir üretim yöntemi haline gelecektir.

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



Görsel 23-24. Üç boyutlu yazıcılarda harç yığıma yönteminde yüzeyde oluşan katman çizgileri

KAYNAKÇA

- ÇELİK, İ., KARAKOÇ, F (2013) "Hızlı Prototipleme Teknolojileri ve Uygulama Alanları". *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Sayı :31 s: 53-70
- DELİKANLI,K. SOFU, M (2005) "Üretim Sektöründe Hızlı Direkt İmalat Sistemlerinin Yeri Ve Önemi". *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Sayı:4 s:33-39
- HOSKINS, S, (2011) "Solid free-form fabrication in fired ceramic as a design aid for concept modelling in the ceramic industry"
- HULL, C. W. (2015). "The Birth of 3D Printing. *Research-Technology Management*", 58(6), s: 25-30.
- HUSON, D. (2009) "Materials and Process Innovation for 3D Printing of Ceramics" Symposium, "3 Print Technologies and their creative application within the arts and crafts" Bristol
- HUSON,D. HOSKINS, S.(2014) "3D Printed Ceramics for Tableware, Artists/Designers and Specialist Applications", *Key Engineering Materials* Vol. 608 (2014) s: 351-357, Switzerland
- (http://www.uwe.ac.uk/sca/research/cfpr/research/3D/research_projects/Denby%20Project%20Report%20Final%2028%20March.pdf) (Erişim Tarihi : 28.11.2015)
- KEEP, Jonathan "Make Your Own 3D Delta Printer For Ceramic". http://www.keep-art.co.uk/Self_build.html (Erişim Tarihi:20.11.2015)
- ÖZGÜNDOĞDU, A. F. (2014). "Seramik Üretiminde Çağdaş Bir Biçimlendirme Yöntemi Olarak Üç Boyutlu Yazıcılar". 8. Uluslararası Eskişehir Pişmiş Toprak Sempozyumu Bildiriler Kitabı s: 203.
- VERBRUGGEN, D.(2014) "The Road to Better Paste Extrusion". *RepRap Magazine*, Sayı:3, s.26-29.
- VERBRUGGEN, D "Philosophy of Unfold", <http://unfold.be/pages/about> (Erişim Tarihi: 15.11.2015)
- WALTERS, P. (2012) "Ceramic 3D Printing: A Design Case Study", Symposium, "Towards a New Ceramic Future" London
- WARNIER C. ve VERBRUGGEN D., (2014) "Printing Things, Visions and Essentials for 3D Printing", *Gestalten/Germany*, http://keep-art.co.uk/digital_icebergs.html (Erişim Tarihi : 28.11.2015)
- <http://www.dezeen.com/2012/10/17/stratigraphic-manufacture-3d-printing-by-unfold/>) (Erişim Tarihi : 25.11.2015)
- <http://wohlersassociates.com/history2014.pdf> (Erişim Tarihi : 30.11.2015)
- <http://www.uwe.ac.uk/sca/research/cfpr/research/3D/index.html> (Erişim Tarihi : 25.11.2015)
- <http://birimler.dpu.edu.tr/app/views/panel/ckfinder/userfiles/16/files/Dergiler/31/6.pdf> (Erişim Tarihi : 30.11.2015)
- <http://diy3dprinting.blogspot.com.tr/p/3d-printing-documents.html> (Erişim Tarihi : 21.11.2015)
- http://teknolojikarastirmalar.com/pdf/tr/01_020405_4_Delikanli_tr.pdf (Erişim Tarihi : 25.11.2015)
- http://www.uwe.ac.uk/sca/research/cfpr/research/3D/research_projects/2009_symposium.html (Erişim Tarihi : 30.11.2015)
- http://www.uwe.ac.uk/sca/research/cfpr/research/3D/research_projects/denby2.pdf -(Erişim Tarihi: 21.11.2015)

Kaynak Kişiler

Claire Warnier ve Dries Verbruggen Unfold Stüdyosu, Belçika

Destekleyen Kuruluş

Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri

