

SERAMİK TEKSİR KALIBINA YENİ BİR BAKIŞ: 3D TEKSİR KALIPLARI**A NEW PERSPECTIVE ON CERAMIC DUPLICATING MOLDS: 3D DUPLICATING MOLDS** **Canan Güneş*****Öz**

Geleneksel seramik kalıp üretiminde, 3D yazıcı teknolojisi köklü bir dönüşüm başlatmıştır. Bu yenilikçi yaklaşım, teksir kalıplarının üretiminde zaman tasarrufu ve hassas detay kontrolü sağlamaktadır. 3D yazıcılar, Neolitik dönemden gelen sucuk tekniğini çok daha ileri taşıyarak, karmaşık geometrik formlar ve özgün tasarım imkânları sunmaktadır. Tasarımcılar, bilgisayar ortamında oluşturdukları modelleri doğrudan teksir kalıplarına dönüştürebilmekte, üretim sürecini hızlandırmakta ve maliyetleri düşürebilmektedir. Polilaktik Asit (PLA) kullanılarak üretilen 3D teksir kalıpları, geleneksel yöntemlere kıyasla malzeme tasarrufu ve sürdürülebilirlik sağlamaktadır. Bu çalışmada, 3D baskı yöntemiyle teksir kalıbı tasarımı ve üretim aşamaları sistematik olarak ele alınmıştır.

Anahtar kelimeler: Seramik, Alçı, Poliaktik Asit, Teksir kalıbı, 3D baskı.

Abstract

In traditional ceramic mould production, 3D printer technology has initiated a radical transformation. This innovative approach provides time savings and precise detail control in the production of duplicating molds. 3D printers offer complex geometric forms and unique design opportunities by taking the coil technique from the Neolithic period much further. Designers can convert the models they create in the computer environment directly into duplicating molds, speeding up the production process and reducing costs. 3D printing molds produced using Polylactic Acid (PLA) provide material savings and sustainability compared to traditional methods. In this study, the design and production stages of duplicator molds by 3D printing method are systematically discussed.

Keywords: Ceramics, Plaster, Polylactic Acid, Duplicating mold, 3D printing.

Araştırma Makalesi / Research Article

Başvuru tarihi / Received: 17 Mart 2025 - Kabul tarihi / Accepted: 26 Haziran 2025

*Dr. Öğr. Üyesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik ve Cam Bölümü, canan.gunes@dpu.edu.tr, Kütahya/Türkiye.

1. Giriş

Seramik üretimi insanlık tarihi kadar eskidir. Üretim yöntemi olarak elle şekillendirme, turnetle şekillendirme ve kalıpla şekillendirme yöntemleri kullanılmıştır. Zamanla basit kaplar yerlerini kulplu, rölyefli daha süslemeli kaplara bırakmıştır. Bu noktada seramik kalıplar yapılarak hem işlevsel hem sanatsal üretim hızlanmıştır. Zaman içerisinde seramik kalıplar yerlerini alçı kalıplara bırakmıştır. Bu yöntem, bir dizi ürünün üretiminde aynı boyut, hassas ayrıntı oluşturma ve pürüzsüz yüzeyler oluşturmaya olanak sağlamıştır. Günümüzde ise bu sanatın geldiği en son nokta 3D yazıcılarla üretim olmuştur.

3D yazıcılar, CNC yöntemlerinin sınırlarını aşmakta ve üretim olanaklarını önemli ölçüde genişleten yenilikçi bir teknolojik gelişim olarak değerlendirilmektedir. İlginç bir şekilde, 3D teknolojinin temel prensipleri, Neolitik dönemde geliştirilen sucuk tekniğine kadar uzanmaktadır. Bu tarihsel bağlantı, seramik üretimindeki teknolojik evrimin sürekliliğini ve döngüsellikini göstermesi açısından oldukça dikkat çekicidir. Hoskins (2018), sucuk tekniğinin, diğer üretim veya zanaat süreçlerinden farklı olarak, doğrudan eklemeli bir süreç olduğunu ve günümüzün eriyik yığma modelleme (FDM) yöntemiyle önemli paralellikler gösterdiğini ayrıntılı bir şekilde açıklamaktadır. Bu benzerlik, binlerce yıllık seramik üretim geleneğinin modern dijital teknolojilerle nasıl yeniden yorumlanabileceğini gösteren çarpıcı bir örnek teşkil etmektedir.

Bu araştırmanın amacı, geleneksel seramik teksir kalıbı üretimi ile modern 3D baskı teknolojinin entegrasyonunu incelemek ve bu yenilikçi yaklaşımın seramik sanatı ve endüstrisine sunduğu olanakları kapsamlı şekilde değerlendirmektir. Çalışmanın kapsamı, özellikle PLA malzemesi kullanılarak üretilen 3D teksir kalıplarını ve bu kalıpların seramik üretim süreçlerine nasıl adapte edilebileceğini içermektedir.

Araştırmanın yöntemi, uygulamalı bir yaklaşımı temel almaktadır. Bu kapsamda, seramik bir formun üç boyutlu tasarım programlarında modellenmesi, PLA malzemesi kullanılarak 3D yazıcıda teksir kalıbının üretilmesi ve bu kalıptan alçı kalıp alınarak seramik formun oluşturulması süreci sistematik olarak belgelenmiş ve analiz edilmiştir. Bu süreçte kullanılan 3D modelleme yazılımları, yazıcı parametreleri ve seramik döküm teknikleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Çalışmanın özgün katkısı, 3D baskı teknolojisinin teksir kalıbı üretiminde sağladığı zaman tasarrufu, hassas detay kontrolü, malzeme verimliliği ve üretim süreçlerinin optimizasyonu gibi avantajları somut örneklerle ortaya koymasındır. Ayrıca, bu araştırma Neolitik dönemden gelen geleneksel tekniklerle günümüz dijital teknolojileri arasında kurulan köprünün pratik uygulamalarını sunmaktadır.

Çalışmanın sınırlılıkları arasında, büyük ölçekli seramik ürünlerin üretiminde 3D basılmış teksir kalıplarının kullanımındaki zorluklar ve PLA malzemesinin yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklılık sorunları yer almaktadır.

Bu makale, öncelikle kalıpların tarihsel gelişimine değindikten sonra, seramik kalıp çeşitlerini inceleyecek ve ardından üç boyutlu yazıcı ile teksir kalıbı üretme sürecini ayrıntılı olarak ele alacaktır. Sonuç bölümünde ise, bu yenilikçi yaklaşımın seramik sanatı ve endüstrisine sunduğu olanaklar değerlendirilecektir.

Çalışmada, ana model üretimine odaklanan önceki araştırmalardan (Turgutoğlu ve Kaygısız, 2021) farklı olarak, doğrudan teksir kalıbı üretiminde 3D yazıcı teknolojisinin kullanımına odaklanmaktadır. Teksir kalıpları, seramik endüstrisinde seri üretimin temel unsurlarından biri olup hem zaman tasarrufu hem de üretim kalitesinin standardizasyonu açısından kritik öneme sahiptir. Geleneksel yöntemlerle üretilen teksir kalıplarının yerini 3D yazıcı teknolojisiyle üretilen kalıplara bırakması, endüstriyel seramik üretiminde yeni bir dönemin başlangıcını temsil etmektedir.

2. Literatür İncelemesi

Seramik üretiminde 3D baskı teknolojilerinin kullanımı son yıllarda artan bir ilgi görmektedir. Bu alandaki çalışmalar genellikle iki ana kategoriye ayrılabilir: doğrudan seramik baskı ve seramik kalıp üretiminde 3D teknolojilerinin kullanımı. Doğrudan seramik baskı konusunda Hoskins (2018), Qun Diao vd., (2024) gibi araştırmacılar önemli çalışmalar yürütmüşlerdir. Dijital tasarım araçlarının üretim süreçlerindeki rolü yalnızca seramik alanıyla sınırlı değildir; örneğin Li (2014), ambalaj tasarımında CAD ve 3D modelleme yazılımlarının kullanımının tasarım esnekliğini artırdığını ve üretim verimliliğini optimize ettiğini

vurgulamaktadır. Bu disiplinler arası yaklaşım, 3D teksir kalıplarının da benzer bir dijital dönüşüm sürecinin parçası olduğunu ortaya koymaktadır.

Sun vd. (2022), bilgisayar destekli seramik ürün tasarımı üzerine yaptıkları araştırmada, 3D baskı teknolojisinin seramik modellemede sağladığı avantajları incelemişlerdir. Araştırmacılar, 3D modelleme ve yazıcı teknolojilerinin, karmaşık geometrik formların üretiminde ve tasarım prototiplerinin hızlıca gerçekleştirilmesinde önemli katkılar sunduğunu vurgulamaktadır. Bu bulgular, Suçağlar'ın (2024) endüstriyel seramikte 3D yazıcıların kullanımı üzerine yaptığı çalışmayla da desteklenmektedir. PLA malzemesiyle üretilen kalıplarının, geleneksel alçı kalıplara kıyasla %37 daha az üretim süresi ve %22 daha düşük maliyet sağladığını deneysel olarak kanıtlamıştır. Ayrıca, dijital tasarımın revize edilebilirliğinin, prototip iterasyonlarını hızlandırdığını ve bu durumun özellikle küçük ölçekli atölyeler için kritik bir esneklik sağladığını belirtmektedir.

3D baskının farklı disiplinlerde farklı amaçlara hizmet ederek üretim çeşitliliği sağladığını ve aynı zamanda seramik alanında kullanımının yaygınlaştığına dikkat çekmiştir (Işıktaş 2018:1195).

3D yazıcı teknolojisinin ana model (çekirdek) üretiminde kullanımını incelemişlerdir. Araştırmacılar, PLA malzemesinden üretilen ana modellerin alçı kalıplarda kullanılabilirliğini ve elde edilen seramik objelerin kalitesini değerlendirmişlerdir. Değerilen çalışma, 3D yazıcı teknolojisinin seramik üretiminin ilk aşamasında kullanımına odaklanırken, teksir kalıbı üretimini ele almamıştır (Turgutoğlu ve Kaygısız, 2021:57).

3D yazıcı teknolojisinin seramik üretimindeki dönüştürücü rolü, yalnızca teknik bir yenilik değil, aynı zamanda sanatsal ve kültürel bir perspektifle de değerlendirilmelidir. 3D baskının sanatla etkileşimini tarihsel bir bakış açısıyla ele alarak, Neolitik dönemdeki 'sucuk tekniği' ile modern eklemeli üretim (FDM) arasındaki paralelliklere dikkat çekmektedir. Bu benzerlik, seramik üretimindeki teknolojik evrimin sürekliliğini ve döngüsellikliğini yansıtmaktadır (Hoskins, 2018: 15).

Üç boyutlu çizimi esas alarak, birebir modelleme yapıldığından dolayı üç boyutlu yazıcı ile oluşturulmuş prototiplerde farklılıklar olmamaktadır. Bu avantaj, Suçağlar (2024) endüstriyel

seramikte BDT ve 3D yazıcı entegrasyonu üzerine yaptığı çalışmada da vurgulanmıştır. Bilgisayar destekli tasarımın, karmaşık geometrilerin hassas bir şekilde üretilmesini sağladığını ve üretim sürecindeki hata payını %30 oranında azalttığını deneysel verilerle ortaya koymuştur.

Sun vd. (2022:97-107) belirttiği gibi bilgisayar destekli seramik ürün tasarımında, dijital modellerden fiziksel prototiplere geçiş sürecinin önemini vurgulamaktadır. Araştırmacılar, 3D baskı teknolojisinin seramik tasarımında düşük maliyet ve yüksek esneklik avantajlarını sağladığını belirtmektedir. Bu teknoloji, tasarımcılara karmaşık geometrik formları gerçekleştirme imkânı sunarak geleneksel yöntemlerin sınırlarını aşmalarına olanak tanımaktadır. Bilgisayar destekli ortamda tüm matematiksel hacim hesapları kolaylıkla yapılmaktadır. Bu sayede tüketilecek alçı ve su miktarı da hesaplanabilmektedir.

3D yazıcı ile teksir kalıbı üretim sürecinde, malzeme davranışı ve tasarım esnekliği kritik öneme sahiptir. Özgüven (2019:114), seramik vazo üretiminde Rhinoceros 3D ve Meshmixer yazılımlarının kullanımını detaylandırarak, katman kalınlığının (0.6-1 mm) ve taban dayanıklılığının (en az 3 katman) nasıl optimize edildiğini göstermiştir. Bu bulgular, PLA tabanlı teksir kalıplarında da benzer parametrelerin uygulanabileceğine işaret etmektedir. Örneğin, 1.8 mm nozül çapı ve 30 mm/s baskı hızı malzeme israfını önlemekte ve yüzey detaylarının korunmasını sağlamaktadır.

Özellikle çok girift objelerin alçı kalıbı alınması aşamasında, ana modelin 3D yazıcı kullanımıyla hazırlanmasıyla; tasarım, uygulama ve üretim aşamalarında hata payının en aza indirilebileceği sonucuna varmışlardır. Sunulan bu çalışmada ise, bir adım daha ileri gidilerek, ana model (çekirdek) yerine doğrudan teksir kalıbının üretimine odaklanılmakta ve üretim süreçlerinin optimizasyonu için daha kapsamlı bir yaklaşım sunulmaktadır (Turgutoğlu ve Kaygısız, 2021:63).

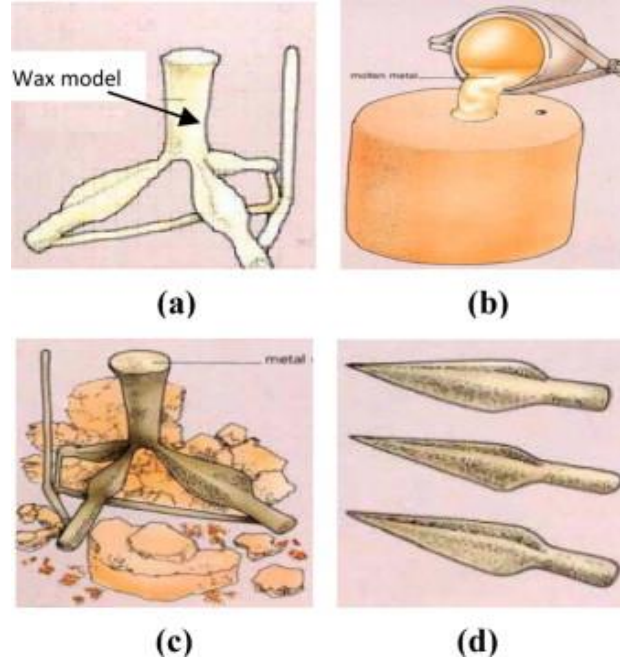
3. Kalıpların Tarihçesi

Arkeolojik bulgular, döküm yönteminin M.Ö. 4000'lere dayandığını göstermektedir. Eski çağlarda bakır cevheri ve odun tabakalar halinde eritme ocaklarına doldurulur, keçi derisi körüklerle eritilen metal taş veya pişmiş kil kalıplara dökülürdü. Başlangıçta tek parçalı açık kalıplar kullanılırken, zamanla yuvarlak formlar için çok parçalı kalıplar geliştirilmiştir. M.Ö.

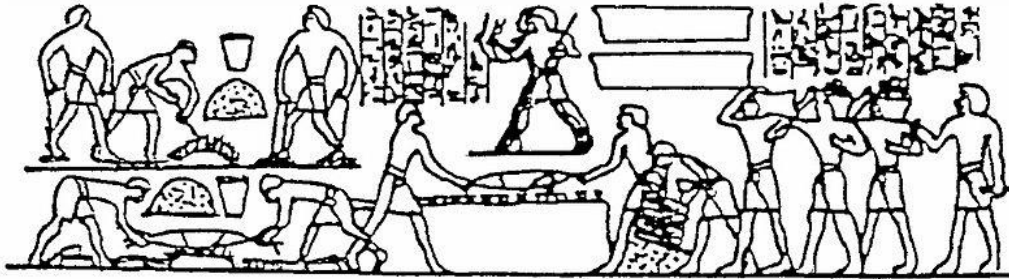
2000'lerde pişmiş kil maçalar ve mumun eritilmesiyle oluşturulan hassas döküm yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. M.Ö. 1500'lerden itibaren Mezopotamya ve Çin'de döküm tekniği gelişmiş, özellikle Çinliler karmaşık parçaların üretiminde ustalaşmıştır (Aran, 2007:7)

En eski endüstriyel kalıp şekillendirme yöntemi, 'Kayıp mum dökümü' veya 'Hassas döküm' olarak bilinen tekniktir. Bu teknik, sanatsal döküm uygulamalarının en köklü yöntemlerinden biri olup, günümüzdeki teknolojik yeniliklerle metal döküm endüstrisinin en gelişmiş ve çok yönlü proseslerinden biri haline gelmiştir (Pattnaik, vd., 2012:2333).

Kalıp tekniği kökenlerinin MÖ 5000'li yıllara, insanların ilk alet üretim dönemine dayandığını göstermektedir. Görsel 1'de gösterildiği üzere, tarih öncesi dönemde silah başlıklarının üretiminde kullanılan hassas döküm prosesi şu şekilde gerçekleştirilmekteydi: İlk olarak, aletlerin mum modelleri hazırlanır ve bir araya getirilirdi. Sonrasında, mum kompozisyonu kum kalıbına yerleştirilerek ısıtılır ve mumun tahliyesiyle oluşan boşluğa eriyik metal transfer edilirdi. Katılaşan mızrak başlıkları ayrıştırılarak son işlemler uygulanırdı (Taylor, 1983:4-7). Döküm tekniği, savaşlar ve göçlerle Akdeniz havzasına ve Avrupa'ya kadar ulaşmıştır. Mısırlılar da metal dökümüne önemli katkılarda bulunmuştur (Görsel 2). Diğer yandan, döküm tekniği Avrupa'da ilk olarak kiliselerin kontrolünde gelişmiş ve dökümcüler 13. yüzyıla kadar çoğunlukla kilise çanları üretmiştir. İlk bronz top 1313'te bir rahip tarafından dökülmüştür. İtalya'da çok sayıda sanat dökümü yapılmış, papalık dökümhanesindeki ustalar döküm teknolojisi hakkında ilk kitapları hazırlamışlardır. Rönesans sonrası gelişen sanat ve ticaret, bağımsız döküm sanayisinin temellerini atmıştır (Aran, 2007:7).



Görsel 1. M.Ö 5.000 yılında kalıba döküm tekniği ile yapılan mızrak başlığı.



Görsel 2. Mısırlılarda metal döküm işlemleri.

Akdeniz bölgesinde Hellenistik Dönem süresince yaygın kullanım alanı bulan kalıp yapımı Megara Kâseleri, Klasik Dönem içki kaplarının yerini almıştır. Bu toprak kâseler, yarım küre formunda tasarlanmış olup kulp ve ayak içermemektedir. Dış yüzeylerinde karakteristik kabartma bezeme bulunmaktadır. Metal görünümü elde etmek amacıyla, siyahtan kahverengiye uzanan tonlarda sırlanmış olan bu kâseler, metal eşyaların replikası niteliğindedir. Tarihsel kayıtlara göre, bu tekniğin Atina'da İ.Ö. 240-220 yılları arasında, Batı Anadolu bölgesinde ise Bergama'da İ.Ö 200

yüzyılın başlarında ortaya çıktığı belirtilmektedir. İ.Ö. 200-250 yıllarında, doğu kökenli çömlekçiler masa üstü kaplara kırmızı sır kaplama tekniğini uygulamaya başlamışlardır. Bu teknik kısa sürede yaygınlaşarak, Roma İmparatorluğu genelinde benimsenmiş ve o döneme ait yeni formlar ortaya çıkmıştır. Geç Hellenistik ve Erken Roma Dönemlerinde Terra Sigillata ismiyle tanınan bu kapların popülerlik kazanmasına rağmen, Megara kâseleri (Megara kâseleri) daha küçük boyutlarda ve daha sade bezemelerle varlığını sürdürmeye devam etmiştir (Çorbacı, 2016:494).



Görsel 3. İ.Ö 200, Kırmızı Toprak Megara Kasesi.

Alçıdan yapılmış kalıp üretimi hakkındaki ilk detaylı tarihsel kayıt, 1545 yılında İtalyan seramik ustası ve sanat tarihçisi Cipriano Piccolpasso'nun kapsamlı eserinde yer almaktadır. Bu dönem, İtalya'nın sanatsal açıdan altın çağını yaşadığı bir zaman dilimiydi ve sanat eserleri döküm yoluyla ustalıkla üretilmekteydi. Döküm teknolojisi hakkındaki ilk sistematik kitaplar da bu verimli dönemde yazılmaya başlanmıştır. Özellikle 1540 yılında Venedik'te yayımlanan, dönemin önde gelen metalurji uzmanı Vannuccio Beringuccio'nun "Pirotechnia" adlı çığır açıcı kitabında, çanların hassas dökümü, dekoratif iç mekân dökümleri ve çeşitli boyutlardaki heykeller için kullanılan kalıp yapım teknikleri büyük bir titizlikle ve teknik detaylarıyla anlatılmıştır. Bununla birlikte, yakın zamanda Gazze Şeridi'ndeki arkeolojik kazılarda yapılan önemli bir keşif, kalıp teknolojisinin çok daha eski dönemlere uzandığını göstermiştir: İ.Ö 1300'lere ait olduğu düşünülen, pişmiş topraktan yapılmış ve birbirinin tam olarak aynısı olan iki kalıp parçası bulunmuştur (Görsel 4). Bu arkeolojik buluntu, kalıp teknolojisinin sanılandan çok daha eski ve gelişmiş olduğunu kanıtlamaktadır (İpekçi ve Aköz, 2010:25).



Görsel 4. Pişmiş topraktan yapılmış birbirleriyle özdeş iki kalıp parçası.

4. Seramik Kalıp Çeşitleri ve 3D Yazıcıların Kalıp Üretiminde Kullanımı

Seramik üretiminde kullanılan genel kalıp çeşitleri, farklı form ve tekniklere uygun olarak çeşitlilik göstermektedir. Bunlar arasında tek parçalı kalıplar (basit formlar için), iki parçalı kalıplar (karmaşık geometriler için), çok parçalı kalıplar (detaylı ve girintili çıkıntılı formlar için), patlatma kalıplar (alt kesimi olan formlar için), dublaj kalıpları (model kopyalama için), biblo/operasyon kalıpları (küçük dekoratif objeler için) ve çift cidarlı kalıplar (içi boş formlar için) bulunmaktadır.

Tek parçalı kalıp basit formların şekillendirilmesinde kullanılır ve genellikle küçük atölyelerde, hobi çalışmalarında ve okullarda tercih edilir. Profesyonel üretimde yaygın değildir. Döküm esnasında form ağzı ve et kalınlığı kontrolü zordur. Sadece konik, yarım küre, silindir veya köşeli modeller (prizma formları) için uygundur ve kalıptan çıkma koniklikleri aynı yönde olmalıdır (Kundul, 2013: 167). İki parçalı kalıplar, süs ve sofraya eşyası üretiminde sıkça kullanılan bir kalıp türü olup dolu döküm, boş döküm ve presle şekillendirme gibi çeşitli üretim tekniklerine uygun olarak tasarlanmış iki ayrı parçadan oluşur. Böyle bir yapı, daha karmaşık formların üretimine olanak sağlarken, kalıptan çıkarma işlemini de kolaylaştırır. Çok parçalı kalıplar, karmaşık yüzey detaylarına sahip formların üretiminde kullanılır. Bu kalıplar, birden fazla parçadan oluşarak, girintili çıkıntılı ve detaylı yüzeylerin kusursuz bir şekilde oluşturulmasına olanak tanır. Her bir parça, formun belirli bir bölümünü şekillendirmek üzere özel olarak tasarlanır. Patlatma kalıpları, sınırlı sayıda üretilecek özel formların modellerinden alınan kalıplama türü olup genellikle sanatsal çalışmalar veya özel sipariş ürünler için tercih edilir (Özcan ve Yüksel, 2020:222). Dublaj

kalıbı, çeşitli malzemelerden yapılmış modelleri alçı modele dönüştürmekte kullanılan bir kalıplama yöntemidir. Bu pratik yöntemde, ahşap, metal, plastik veya çamurdan yapılmış modeller üzerine prizlenme sürecindeki alçı uygulanır. Özellikle deformasyona yatkın çamur modeller için tercih edilir. Alçının doğru kıvamda hazırlanması önemlidir. Çok sulu olması yüzeyden akmasına, çok koyu olması ise hava boşluklarına neden olur. Biblo kalıpları çok sayıda değişken hareketlerin yoğun olduğu detaylı parçaların kalıplanmasında uygulanan yöntemdir. İnsan ve hayvan figürleri ile rölyef dekorlu seramiklerin üretimi bu tip kalıplarla yapılır. Kalıplamada bütün detaylar model üzerinde çıkma yönü göz önüne alınarak uygulanır. Kalıp parçaları diğer kalıplama sistemine göre çok parçalıdır, maça yapılması gerekebilir. Fazla sayıda kalıp parçalarının da yüzeylerin birbirine iyi temas etmesi gerekir. Çok sayıdaki parçayı bir araya toplayabilmek için zarf denilen üst kalıp parçasına ihtiyaç vardır. Az parçalı kalıplarda zarf kalıbına gerek olmayabilir (Sevim, 1993:9).

Üretim sürecindeki kullanım sırasına göre ise kalıplar üç ana kategoride sınıflandırılmaktadır: (1.) ilk aşamada kullanılan model kalıbı, (2.) seri üretim için hazırlanan teksir kalıbı, (3.) ve nihai ürün şekillendirmede kullanılan iş (işletme) kalıbıdır. Model üzerinden alınan kalıba model kalıp veya prototip kalıp denir. Deneme üretiminde kalıbın döküm performansı ve ürünün kalıptan çıkarılma kolaylığı, deformasyon durumu incelenir. Kalıbın seri üretime uygunluğuna karar verilir. Uygun değilse, gerekli düzeltmeler yapıp tekrar deneme dökümü yapılır. Eğer sorun yoksa teksir kalıbı (çoğaltma kalıbı) aşamasına geçilir. Model kalıp üzerinden kalıp alınarak oluşturulan kalıba 'teksir kalıbı' denir. Model kalıpta yapılan denemelerden olumlu rapor geldikten sonra, teksir kalıbının yapılmasına başlanır. Teksir kalıplarına "kalıbın kalıbı" da denilmektedir. Model üzerinden bir orijinal kalıp yapılır. 50-100 veya daha fazla iş kalıbı gerektiğinde, model kalıbın kalıbı olan teksir kalıbı yapılır. Bu kalıbın amacı işletmeye iş kalıbı üretmektir. Her kalıp parçası için ayrı teksir kalıbı gerekir. Örneğin, bir vazo kalıbı dört parçadan oluşur: sağ ve sol yan, maça başı delikli üst parça ve dip takozu. Her parça için ayrı teksir kalıbı yapılmalıdır. Model kalıbın parça sayısı ne kadarsa, her parça için ayrı teksir kalıbı yapılmalıdır. Çok parçalı kalıplarda önemli bir nokta, alçının genleşme özelliğidir. Farklı boyutlardaki parçalar farklı oranlarda genleştiğinden, birleştirildiğinde uyumsuzluklar oluşabilir. Bu sorunları önlemek için model kalıp teksire alınmadan önce genleşme payları hesaplanmalıdır. Model üzerinden

orijinal kalıp yapılır. Çok sayıda iş kalıbı gerektiğinde, teksir kalıbı yapılır. Teksir kalıplarının üretiminde kullanılan temel malzemeler arasında teksir alçısı, sentetik plastikler (polyester), epoksi reçineler, silikon ve poliüretan bulunmaktadır. Bununla birlikte, belirli model tipleri için ahşap ve metal malzemeler tercih edilebilmektedir. Özellikle bardak, kupa ve tabak gibi silindirik formlu ürünlerin çoğaltma kalıpları bu malzemelerden imal edilebilmektedir. Metal malzemeden kalıp üretimi, yüksek üretim hacmine sahip ve tasarımı standardize edilmiş ürünler için optimal bir çözüm sunmaktadır (Yılmaz, 2008:54).

Son zamanlarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte ana model ve teksir kalıp üretiminde 3D yazıcılarda kullanılmaya başlanmıştır. 3D teknolojisi, günümüzde bilimsel araştırmalardan sanatsal ifadelerle kadar yaşamın her alanında köklü dönüşümler yaratmaktadır. Eklemeli üretim teknolojisi ile gelen 3D yazıcıların geçmişi Dr. Kodama'nın 1980'deki patent başvurusuyla başlamıştır, ancak patent alamamıştır. Charles Hull 1986'da stereolitografi tekniğinin patentini alarak 3D sistemler şirketini kurmuş ve STL dosya formatını geliştirmiştir (Görsel 5). STL, CAD yazılımı ile 3D yazıcılar arasında veri aktarımı için kullanılan, yüzeyleri üçgenlerle ifade eden bir formattır. 1988'de 3D sistemler şirketi, ticari ilk 3D yazıcı SLA250'yi tanıtmıştır. 1989'da Scott Crump eriyik yığma modelleme metodu patentini almış, 1993'te MIT inkjet teknolojisini kullanarak yeni bir 3D yazıcı teknolojisi geliştirmiştir. 2005'te Adrian Bowyer, kendi parçalarını üretebilen ilk 3D yazıcı REPRAP'ı icat etmiştir (Yavuz ve Yılmaz, 2021:197). 3D baskının teknik evrimi, 1980'lerdeki ilk patentlerle sınırlı olmayıp, 2000'lerde patentlerin sona ermesiyle birlikte yaygınlaşarak ev kullanıcılarına kadar ulaştığı bilinmektedir (Horvath ve Cameron, 2020:5-6).



Görsel 5. Charles Hull tarafından yapılan SLA-1 isimli ilk üç boyutlu yazıcı.

3D yazıcılar, seramik sanatında yenilik sunan iki farklı yöntemde kullanılmıştır. Birincisi, ham maddenin doğal güzelliğini ve dokusunu vurgulayan, seramik ve porselen olarak adlandırılan ham maddenin saf formunun doğrudan kullanılmasıdır (Görsel 6). İkinci yöntem ise, PLA (Polilaktik Asit) olarak bilinen bir malzemeden ana model üretimidir (Görsel 7). Daha önce ana model üretiminde 3D yazıcıları kullanan çalışmalardan (Turgutoğlu ve Kaygısız, 2021:56-64) farklı olarak, bu araştırmada doğrudan 3D yazıcı ile teksir kalıbının üretimi ve üretim aşamaları ele alınacaktır.



Görsel 6. Olivier van Herpt's 3D yazıcı ile üretilen seramik ve porselen formları,2016.



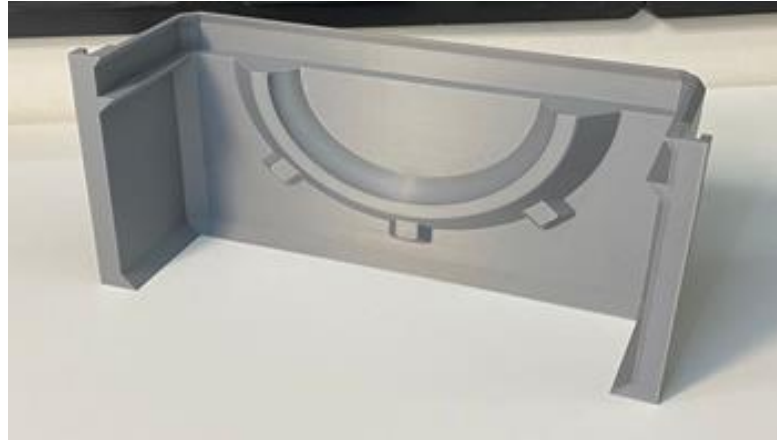
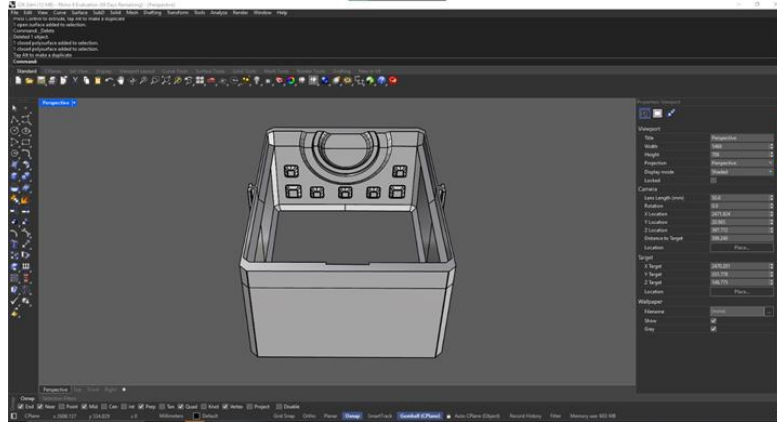
Görsel 7. Üç boyutlu yazıcı ile yazdırılmış vazo ana modeli.

5. Üç Boyutlu Yazıcı ile Teksir Kalıbı Üretim Süreci

Üç boyutlu (3D) modelleme, bir nesnenin herhangi bir yüzeyinin özel bir yazılım aracılığıyla üç boyutlu matematiksel suretini oluşturma sürecidir. Sürecin sonunda elde edilen ürüne ise üç boyutlu model adı verilir. Teksir kalıbı ise, geleneksel seramik üretiminde model kalıptan çoğaltma kalıpları üretmeye yarayan, bir anlamda 'kalıbın kalıbı' olarak işlev gören kalıp türüdür. Bu kalıplar sayesinde çok sayıda iş kalıbı üretilebilmekte ve seri üretim mümkün hale gelmektedir. 3D yazıcı ile teksir kalıbı üretim aşamaları aşağıda özetlenmiştir:

Rhinoceros, daha çok Rhino olarak bilinen, bilgisayar destekli üç boyutlu bir modelleme ve çizim programıdır. Rhino ile oluşturulan tasarımlar, bir sonraki aşamada 3D yazıcıya modellenmesi (STL dosyası) için gönderilir.

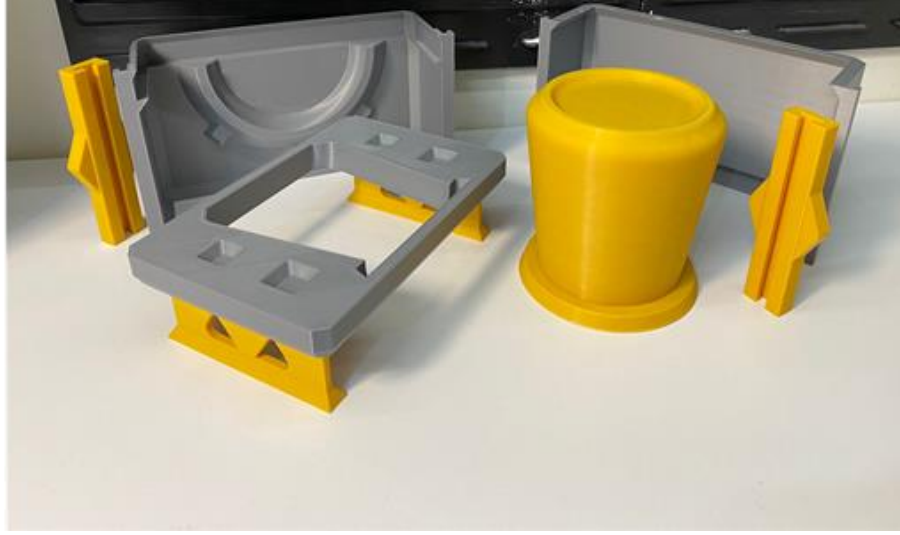
Aşama1: Tasarımın bu aşamasında, alçı malzemeden üretilmesi planlanan model (çekirdek) tasarımına uygun üç boyutlu teksir kalıplarının teknik çizimleri hazırlanır (Görsel 6). Bilgisayar destekli tasarım yazılımları vasıtasıyla dijital ortamda kapsamlı olarak modellenir. Üretim sürecinin başlatılması amacıyla, tasarımın üretilmesi için gerekli dijital veriler kullanılarak, model PLA teknolojisini kullanan üç boyutlu yazıcı ile yüksek hassasiyette imal edilir. Detaylı ve hassas bir şekilde gerçekleştirilen bu üretim süreci, genellikle birkaç gün sürer. Bu süre zarfında, baskılar alınır ve modellerin her bir detayı dikkatlice incelenir ve gerekli düzeltmeler yapılır. Bu aşama, üretim süreci açısından kritiktir. Çünkü oluşturulan detaylar, doğrudan ürün kalitesine yansır.



Görsel 8. Teksir Kalıbı çizimi ve 3D yazıcı ile oluşturulan teksir kalıp parçası.

Aşama 2: İlk olarak, detay baskısının ardından, modelin kalıpta daha pürüzsüz ve estetik bir yüzey sunabilmesi için özenle sprey astar ve zımpara işlemleri yapılır. Bu işlemler, modelin yüzey kalitesini arttırmak için büyük önem taşır.

Aşama 3: Bir araya getirilen 3D baskı model, teksir kalıp yüzeyleri ve kalıp çerçevesinin içine hazırlanan alçı dökülür (Görsel 7). Bu işlem alınan parçanın yüzey sayısına göre tekrar edilir. Diğer yandan, alçı ısınan ve sıvı bir malzeme olduğu için 3D baskı ile oluşturulan kalıp çerçeveleri büyük ebatlı ürünlerde esneme yapabilmektedir. Bu teknik, büyük ve çok parçalı kalıplarda esneme ve genişlemeden ötürü kalıbın dağılmasına sebebiyet verirken küçük modellerin üretiminde kolaylık sağlar.



Görsel 9. 3D yazıcı ile oluşturulan model, teksir kalıp parçası ve kalıp çerçevesi.

6. Sonuç

Bu makalede, geleneksel seramik kalıp üretiminde 3D yazıcı teknolojisinin doğrudan teksir kalıbı üretiminde kullanımı ve sağladığı avantajlar ve dezavantajlar incelenmiştir. Varılan başlıca sonuçlar aşağıda özetlemiştir:

Deformasyon Azaltma: Üç boyutlu teksir kalıpları, alçı kalıplarda yaşanan deformasyonu neredeyse sıfıra indirir. Bu sayede zamanla yıpranan ve yüzeylerinde deformasyon oluşan alçı kalıpların neden olduğu düşük kaliteli seramik/porselen çamur dökümlerinin önüne geçilir.

Kolay Kurulum ve Kalıptan Ayırma: Geleneksel alçı kalıplara göre kurulumu ve kalıptan ayırma işlemi çok daha basittir.

Üretim Hızı ve Süreklilik: Teksir kalıpları ve yeni model kalıplarının geleneksel yöntemden kaynaklı zahmetini ortadan kaldırarak, kalıpların üretiminde hız ve devamlılık sağlar.

Hafiflik ve Alan Tasarrufu: 3D baskılı kalıplar oldukça hafiftir ve depolama alanından büyük tasarruf sağlar.

Su ve Alçı Kullanımında Azalma: PLA filament gibi malzemeler kullanılarak yapılan 3D baskı, geleneksel yöntemlere göre su ve alçı kullanımını gereksiz kılar, daha pratik ve çevre dostu çözümler sunar.

Üretim Sorunlarının Önceden Tespiti: 3D modelleme sayesinde üretim esnasında meydana gelebilecek sorunlar önceden tespit edilebilir, böylece zaman daha verimli kullanılır.

Yüksek Hassasiyet: 3D yazıcılardaki yüksek hassasiyet el ile şekillendirmeden kaynaklı olası hataları ortadan kaldırarak üretim kalitesini artırır ve standart bir üretime olanak sağlar.

Malzeme Verimliliği ve Sürdürülebilirlik: PLA gibi malzemelerin kullanılması, alçı gibi atık oluşturan malzemelere göre daha sürdürülebilir bir üretim süreci sunar.

Tasarım Özgürlüğü: 3D yazıcı teknolojisi, geleneksel yöntemlere göre daha pratik çözümler sunmanın yanı sıra, sanatçılara elle şekillendirmesi mümkün olmayan karmaşık tasarım üretilmesi konusunda özgürlük sağlar.

Standardizasyon ve Kalite Kontrolü: Tasarlanan ürünün net ölçüsü, estetiği ve ergonomisi gibi birçok tasarım parametresi daha sağlıklı hesaplanabilir.

Erişim Kolaylığı: 3D yazıcı teknolojisi, daha önce yalnızca büyük endüstriyel tesislerin gerçekleştirebildiği karmaşık seramik üretimini, Atölyeler ve üniversiteler için erişilebilir hale getirir.

Yatırım Maliyeti: 3D yazıcıların ve ilgili yazılımların başlangıç maliyeti, özellikle küçük işletmeler için yüksek olabilir. Bu durum, geleneksel yöntemlere kıyasla ilk etapta daha fazla harcama gerektirebilir.

Malzeme Maliyeti ve Çeşitliliği: PLA gibi 3D baskı filamentleri, alçı gibi geleneksel kalıp malzemelerine göre daha pahalı olabilir.

Teknik Bilgi ve Beceri Gereksinimi: 3D modelleme yazılımlarını kullanma ve 3D yazıcıları çalıştırma konusunda belirli bir teknik bilgi ve beceriye sahip olmak gerekir. Bu durum, teknolojiye aşina olmayan kullanıcılar zorlayıcı olabilir.

Baskı Boyutu Sınırlamaları: Mevcut 3D yazıcıların baskı alanları belirli boyutlarla sınırlıdır. Çok büyük teksir kalıplarının basılması mümkün olmayabilir.

Yüzey Pürüzlülüğü: FDM (Fused Deposition Modeling) gibi yaygın 3D baskı yöntemlerinde, basılan yüzeylerde katman izleri oluşabilir. Bu pürüzlülük, nihai seramik ürünün yüzey kalitesini etkileyebilir ve ek bir son işlem (zımparalama, pürüzsüzleştirme) gerektirebilir. Yukarıda bahsedilen tüm avantajlar dikkate alındığında, 3D yazıcı teknolojisinin teksir kalıp üretiminde daha fazla uygulama alanı bulması beklenmektedir.

Kaynakça

- Aran, A. (2007). *Döküm Teknolojisi İmal Usulleri Ders Notları*. İstanbul.
- Çorbacı, H. (2016). Adıyaman Müzesi Kalıp Yapımı Kâseleri. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 23, 493-527.
- Diao, Q., Zeng, Y., Chen, J. (2024). The applications and latest progress of ceramic 3D printing. *Additive Manufacturing Frontiers*, 3(1), 200113.
- Horvath, J., Cameron, R. (2020). *Mastering 3D printing: A Guide to Modeling, Printing, and Prototyping*. Apress.
- Hoskins, S. (2018). *3D printing for artists, designers and makers*. Bloomsbury Publishing.
- İşıktaş, İ. D. (2018). Tasarımda ve üretimde üç boyutlu baskı teknolojisinin seramik alanında kullanım olanakları. *Ulakbilge Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(28), 1193-1206.
- İpekçi, C. A., Aköz, F. (2010). Ceramic and mould gypsum properties used for forming ceramics. *Sigma*, 28, 249-258.
- Kundul, M. (2013). *Endüstriyel Seramikte Alçı ve Çamur Şekillendirme Yöntemleri*. Biltur Basım Yayın.

Li, C. (2014). Application of computer-aided technology in the product packaging design. *Biotechnology: An Indian Journal*, 10(15), 8697–8702.

Olca, Ö., & Yüksel, İ. (2020). Seramik sanatında endüstriyel kalıplama yöntemlerinin kullanılması. *Kalemşi*, 17, 219–232. <https://doi.org/10.7816/kalemisi-08-17-05>.

Özgüven, S. (2019). 3B baskı ile üretilen seramik vazolar. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7(1), 112-122. <https://doi.org/10.29109/gujsc.422805>.

Pattnaik, S., Karunakar, D. B., Jha, P. K. (2012). Developments in investment casting process—A review. *Journal of Materials Processing Technology*, 212(11), 2332-2348.

Sevim, K. (1993). *Endüstriyel seramik tasarımında kullanılan kalıplama sistemleri* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Suçaçlar, B. (2024). *Endüstriyel seramikte kullanılan alçı model ve kalıpların bilgisayar destekli tasarım programında uygulamaları* (Yüksek lisans tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Sun, X., Liu, X., Yang, X., Song, B. (2022). Computer-aided three-dimensional ceramic product design. *Computer-Aided Design & Applications*, 19(S3), 97-107. <https://doi.org/10.14733/cadaps.2022.S3.97-107>

Taylor, P. R. (1983). An illustrated history of lost wax casting. In *Proceedings of the 17th Annual BICTA Conference* (pp. 4-7).

Turgutoğlu Kaygısız, N. N., Kaygısız, H. (2021). Alçı kalıp ile seramik obje üretiminde üç boyutlu yazıcı kullanımı. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 5(1), 56-64. <https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.880661>

Yavuz, E., Yılmaz, S. (2021). Diş hekimliğinde yeni ve hızla ilerleyen üretim teknolojisi: 3 boyutlu yazıcılar. *Akdeniz Tıp Dergisi*, 7(2), 197-205.

Yilmazer, Y. (2008). *Alçı şekillendirme model kalıp ve seramik döküm teknikleri*. Türkiye Seramik Federasyonu.

Görsel Kaynaklar

Görsel 1. M.Ö 5.000 Yılında Kalıba Döküm Tekniği İle Yapılan Mızrak Başlığı.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924013612001823>, Erişim tarihi: 02.01.2025.

Görsel 2. Mısırlılarda Metal Dökümü.
<https://www2.isikun.edu.tr/personel/ahmet.aran/dokum.pdf>, Erişim tarihi: 10.02.2025.

Görsel 3. Kırmızı Toprak Megare Kâsesi.

<https://www.archaeologists.com/w/megarian-bowl/tr>, Erişim tarihi: 10.02.2025.

Görsel 4. Pişmiş Toprakta Yapılmış Birbiriyle Özdeş İki Kalıp Parçası. İpekçi, C. A., & Aköz, F. (2010).

Görsel 5. Charles Hull Tarafından Yapılan SLA-1 İsimli İlk Üç Boyutlu Yazıcı

<https://pekinasilcalisir.blogspot.com/2016/02/3d-yazc-nasl-calsr.html>, Erişim tarihi: 10.03.2025.

Görsel 6. Olivier Van Herpt's Üç Boyutlu Yazıcı İle Seramik ve Porselen Formları.

<https://3dprint.com/61564/dutch-3d-printed-ceramics/>, Erişim tarihi: 03.03.2025.

Görsel 7. Üç Boyutlu Yazıcı İle Yazdırılmış Vazo Ana Modeli.

<https://unicaconceptstore.it/en/prodotto/3d-vase/>, Erişim tarihi: 10.02.2025.

Görsel 8. Teksir Kalıbı Çizimi Ve 3D Yazıcı İle Oluşturulan Teksir Kalıp Parçası, Can Özyol Arşivinden Ölçü 25x10.

Görsel 9. 3D Yazıcı İle Oluşturulan Model, Teksir Kalıp Parçası ve Kalıp Çerçevesi, Can Özyol Arşivinden Ölçü 25x20.