



ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

3B YAZICIDA ÜRETİLEN DÜZ DİŞLİ ÇARKLARIN RTV2 SİLİKONU KULLANILARAK ÇOĞALTILMASI

REPLACEMENT OF FLAT GEAR WHEELS MADE IN A 3D PRINTER USING RTV2 SILICONE

Yazarlar (Authors): Fuat Kartal^{ID*}, Celal Nazlı^{ID}, Zekeriya Yerlikaya^{ID} Arslan Kaptan^{ID}

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Kartal F., Nazlı C., Yerlikaya Z., Kaptan A., "3B Yazıcıda Üretilen Düz Dişli Çarkların RTV2 Silikonu Kullanılarak Çoğaltılması" *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 5(1): 34-42, (2021).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.810269

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

3B YAZICIDA ÜRETİLEN DÜZ DIŞLİ ÇARKLARIN RTV2 SİLİKONU KULLANILARAK ÇOĞALTILMASI

Fuat Kartal^a*, Celal Nazlı^a, Zekeriya Yerlikaya^a, Arslan Kaptan^b

^aKastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE

^bSivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Raylı Sistemler Makine Teknolojisi Programı, TÜRKİYE

* Sorumlu Yazar: fkartal@kastamonu.edu.tr

(Geliş/Received: 13.10.2020; Düzeltme/Revised: 15.03.2021; Kabul/Accepted: 01.04.2021)

ÖZ

Eklemeli üretim olarak da bilinen üç boyutlu yazdırma, bilgisayar kontrolü altında bir nesne oluşturmak için bir nesnenin ardışık katmanlarının oluşturulduğu üç boyutlu bir nesneyi sentezlemek için kullanılan süreçleri ifade eder. Nesnelere neredeyse her şekil veya geometriyi oluşturabilir. Başka bir elektronik veri kaynağından veya 3B modelden dijital model verileri kullanılarak oluşturulur. Bu çalışmada, üç boyutlu yazıcıda üretilen düz dişli çarkların silikon kalıplama tekniği ile kalıbı alınarak oluşturulmuş bir kalıba epoksi dökülerek bir parçanın çoğaltılması işlemi yapılmıştır. Tüm parçaların boyutsal doğruluğu, Bilgisayar Destekli Tasarım verileri, üç boyutlu yapılan parçalar ve silikon kalıplar kullanılarak çoğaltılan parçalar için karşılaştırma yapılmıştır. Deneysel çalışmalar ile başarılı imalat işlemleri gerçekleştirilmiştir. Diş üstü çapının %2,5 diş dibi çapının %5 ölçü farklılığı ile imal edilebildiği belirlenmiştir. Ölçü toleranslarının ortalama %5'e kadar müsaade edildiği imalat işlemlerinde ve restorasyon çalışmalarında başarılı bir şekilde kullanılabilmesi ortaya konulmuştur. Profesyonel makine-teçhizat ve personele ihtiyaç duymadan gerçekleştirilebilmesi, çok sayıda imalat ihtiyaçlarını karşılayabildiği gibi bir defa kullanılacak tamir işlemleri için de uygulanabilir en ucuz metot olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Katmanlı üretim. Üç boyutlu baskı. Ürün geliştirme. Silikon kalıplama, RTV2 silikon.

REPLACEMENT OF FLAT GEAR WHEELS MADE IN A 3D PRINTER USING RTV2 SILICONE

ABSTRACT

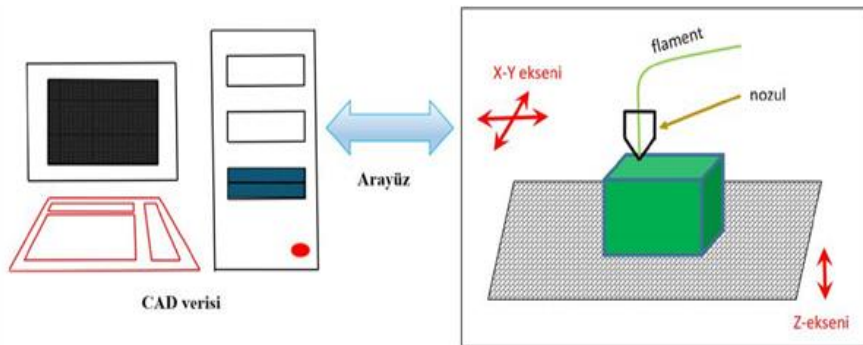
Three-dimensional printing, also known as additive manufacturing, refers to the processes used to synthesize a three-dimensional object in which successive layers of an object are created to create an object under computer control. Objects can create almost any shape or geometry. It is created using digital model data from another electronic data source or 3D model. In this study, the process of reproducing a part is made by pouring epoxy into a mold formed by taking the mold of spur gear wheels produced in a 3D printer with the silicone molding technique. A comparison was made for dimensional accuracy of all parts, Computer Aided Design data, three-dimensional parts and parts reproduced using silicone molds. Successful manufacturing processes have been carried out with experimental studies. It has been determined that the diameter of the top of the tooth can be manufactured with a measurement difference of 2.5% and 5% of the root diameter. It has been demonstrated that it can be used successfully in manufacturing processes and restoration works where measurement tolerances are allowed up to 5% on average. It has been determined that it is the cheapest method applicable to repair operations that can be used once, as it can be realized without the need for professional machinery-equipment and personnel.

Keywords: Additive manufacturing. three dimension printing. Product development. Silicone molding. RTV 2 silicone.

1. GİRİŞ

Katmanlı üretim teknolojileri Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) verilerini kullanarak parçaları katmanlar halinde oluşturmaya yarayan gelişmiş bir imalat tekniğidir. Bu üretim işlemi katmanlar halinde üç boyutlu (3B) parçaları klasik üretim yöntemlerine kıyasla daha kısa üretim süresi ve daha düşük maliyetle karmaşık parçaları üretmek için fayda sağlayan bir teknolojidir [1-4]. Katmanlı üretim (AM) teknolojisinin mühendislikte özelleştirilmiş parçalar üretimi, fonksiyonel modelleme ve kavramsal modelleme gibi geniş bir kullanım alanı vardır. Bu teknoloji mühendislik ve endüstriyel üretimde; uçaklarda, diş restorasyonu, medikal implantlar ve otomotiv parçaları üretimi gibi pek çok uygulama alanları mevcuttur[1,2]. Dünya ekonomisinde rekabetin artmasıyla tasarımcılar ve üretim mühendisleri, müşteri gereksinimlerini karşılamak ve rekabette avantaj elde etmek için ürünleri her zamankinden daha hızlı üretme zorunluluğu ile karşı karşıyadırlar. Katmanlı üretim süreci gelişmiş geometrileri kısa tasarım süresinde üretmede ve üretim esnasında herhangi bir alet ihtiyaç duymadığı için düşük maliyetle imal etmekte etkili bir teknolojidir [2,3]. Pek çok katmanlı üretim sistemleri; birleştirmeli yığılma modellemesi (Fused deposition modeling (FDM)), direkt metal bırakımı (direct metal deposition (DMD)), 3B yazdırma, seçkili lazerli sinterleme (selective laser sintering (SLS)), mürekkep püskürtme modeli (inkjet modeling (IJM)) ve stereolitografi (SLA) gibi sistemler piyasada mevcuttur. Bu sistemler katman oluşturma bakımından farklıdır ve farklı malzemeler bu yöntem ile güvenli bir şekilde üretilir. FDM, katmanlı üretim teknolojilerinde geniş kullanım alanına sahiptir. Bunlar; karmaşık geometrik parçalar üretme kabiliyeti ile düzgün bir şekilde termoplastiklerde işlevsel prototipler sunar ve ofis ortamında güvenli bir şekilde üretimi sağlar. FDM, Stratasys firması tarafından 1990'larda ABD'de geliştirilmiştir [7-11]. FDM genellikle modelleme, prototip üretimi ve üretim uygulamalarında kullanılmaktadır [4].

Şekil 1'de görüldüğü üzere, bu işlemde filament bir nozulda ergiyik halde getirilir ve daha sonra herhangi bir CAD modeliyle doğrudan, katmanlı bir şekilde 3B parça üretmek için parçaların enine kesit geometrisini izleyen bir şekilde üretilir. Bu üretim süreci için akrilonitril bütadien stiren (ABS), polikarbonat (PC) ve PC-ABS harmanı gibi çok çeşitli filament malzemeler kullanılabilir [1-4]. Silikon kalıplama yöntemi; oda sıcaklığında vulkanizasyon (RTV) kalıplama olarak da bilinen silikon kalıplama, prototipleme, fonksiyonel test ve kısa süreli üretim için bitmiş ürünler oluşturur [5,6]. Takım ömrü ve çevrim süreleri göz önüne alındığında, küçük miktarlar (15-60 döküm) için idealdir. Çünkü işleme veya enjeksiyon kalıplama oranının çok altında döküm süreleri ve maliyetler sunar. En kararlı polimer olarak, silikonlar üstün güvenilirlik, mükemmel servis ömrü ve düşük üretim maliyetleri sunmaktadır [6,7]. Bileşiklerin karışımı hem basittir hem de yanıcı veya toksik solvent içermez. Silikon, oda sıcaklığında kalıplama işlemlerini gerçekleştirebilir ve fırında pişirilmiş polimerler ile bağlantılı ısıtma maliyetlerini ortadan kaldırmaktadır [8, 9]. Kuruma oranları, üretim hattı kullanımında esneklik sağlayacak şekilde ayarlanabilir özelliğe sahiptir [5-10]. Bilgisayar ortamında yazılımlarla yapılan sanal doğrulamalarla birlikte hızlı prototip parçalarla yapılan doğrulamalar, ürün geliştirme sürecini kısaltarak ve firmalar arasındaki rekabet avantajı getirmektedir [11]. 3B yazıcı ile üretilen çekme deneyi numunelerinin silikon kalıplama yöntemi ile elde edilen kopyalarının mekanik özelliklerinin kabul edilebilir seviyededir [12].



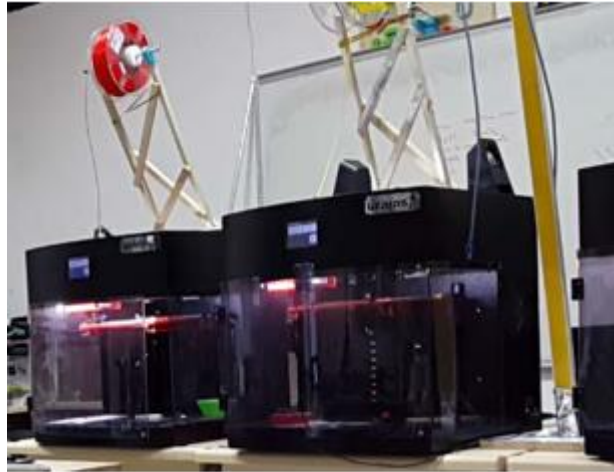
Şekil 1. Üç boyutlu katman oluşturma yöntemi genel şeması.

Bu çalışmanın yapılması ile kalıp imalat maliyetinin (kalıp ham maddesi, profesyonel makine-teçhizat ve işçilik) ve süresinin azaltılması amaçlanmıştır. Kalıp imalatı hem uzun zaman hem de yüksek maliyetler gerektirmektedir. Kalıpların karşılanabilir bir maliyette olmasının en çıkar yolu söz konusu kalıp kullanarak binlerce hatta on binlerce parçanın imalatı için kullanılması zorunluluğudur. Hâlbuki bu imalat sayısına ulaşmak her zaman mümkün olamamaktadır. Diğer taraftan ev tipi imalat düzeneği kuranlar için sanayi tipi imalat işlemleri yüksek maliyetler anlamına gelip gerçekleştiremedikleri bilinmektedir. Çalışmanın bir başka avantajı ise restorasyon işlemlerinde (binalar, heykeller veya tarihi eser objeler) her bir hasarlı obje için ayrı bir kalıp imal etmenin güçlüğünü ortadan kaldırmaktır. Çünkü kırık parçanın yüzey geometrisinin hiçbiri birbirine benzemediği için her bir hasarlı bölge için ayrı kalıp yapılması gerekliliği bulunmaktadır. Bir başka hasarlı bölge için ise yeni bir kalıp ihtiyacı doğmakta ve önceki kalıp âtil hale gelmektedir. Bir bakıma kullan at kalıplara duyulan ihtiyacın bu yöntem ile karşılanması katma değeri yüksek, son derece başarılı bir sonuç meydana getirecektir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Kullanılan 3B Yazıcı

Bu çalışma kapsamında açık kaynak kodlu 3B yazıcı kullanılmıştır. Tamamen yerli tasarım olup Prusa vb. açık kaynak kodlu yazıcılara benzer özelliktedir. İşleme alanı (200x200x200) mm'dir. Isıtma tablası ve PLA için soğutma fanı mevcuttur. Kendi kontrol paneli sayesinde bilgisayardan bağımsız çalışabilen açık kaynak kodlu 3B yazıcı Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Açık kaynak kodlu 3B yazıcı.

2.2. Deney Koşulları ve Malzeme

Çalışma kapsamında açık kaynak kodlu yazıcı için baskı alma şartları Çizelge 1'de verilmiştir. Tüm deneyler boyunca parametreler sabit olarak kullanılmıştır. Silikon kalıbı içerisine ultra şeffaf epoksi reçine dökülerek kalıptan ürün elde edilmiştir. Epoksiler çok fonksiyonlu sertleştiricilerle reaksiyonu, genellikle yüksek mekanik özelliklere, sıcaklığa ve kimyasal dirence sahip bir termoset polimer oluşturur. Epoksi, metal kaplamalar, elektronik-elektrik bileşenler, LED kullanımı, yüksek gerilim elektrik izolatörleri, boya fırçaları imalatı, elyaf takviyeli plastik malzemeler ve yapısal yapıştırıcılar dâhil geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir.

Çizelge 1. Baskı alma şartları.

Parametre	Değer
Ekstruder sıcaklığı	220 °C
Tabla sıcaklığı	50 °C
Filament	1.75 mm PLA +
Nozul çapı	0.4 mm
Katman yüksekliği	0.2 mm

Bu çalışma kapsamında 3B yazıcıda üretilmiş parçaların çoğaltılmasında kalıp alma için RTV 2 silikon kullanılmıştır. RTV tüm dünyada kalıp silikonlarına verilmiş ortak isimdir. Oda sıcaklığında donan RTV silikonlar 23°C de kürleşirler. Daha az sıcak ortamlarda çalışma ve donma süreleri uzarken, daha yüksek sıcaklıklı ortamlarda çalışma ve donma süreleri kısalmaktadır. RTV-2 Kalıp silikonlarındaki "2" ibaresi ürünün çift karışimli ürün olduğu anlamındadır. Bir ana malzeme ve katalizörden oluşmaktadır. İki bileşenli bir karışımdan (Baz ve küratif; A + B), çok yumuşak ile orta sertlikte değişen bir silikon kauçuk türüdür. Bu bileşenlerden ilki olarak RTV silikonu kullanılır, ikinci bileşen olarak platin ya da dibutiltin dilaurat gibi bir kalay bileşiğinden oluşan katalizör kullanılmaktadır. Bu çalışmada "Masstil Termoset Reçineler ve Pigmentler" firmasına ait RTV2 silikonu oda sıcaklığında donması sağlanacak şekilde kullanılmıştır. Kullanılan RTV 2 silikona ait mekanik özellikler Çizelge 2’de, kullanılan epoksi reçineye ait mekanik özellikleri ise Çizelge 3’te görülmektedir.

Çizelge 2. RTV 2 silikona ait mekanik özellikler [13]

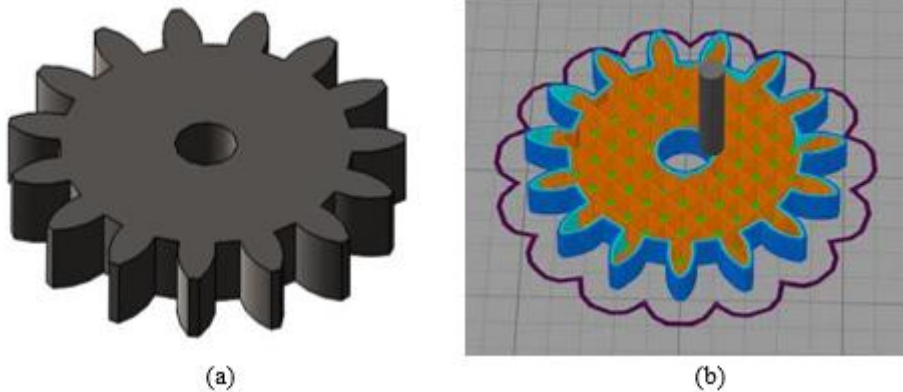
Sertlik	Shore A 10-90
Çekme dayanımı	11 N/mm ²
Kopma uzaması	100-1100%
Maksimum sıcaklık	+300 °C
Minimum sıcaklık	-120 °C

Çizelge 3. Epoksi reçine ait bazı mekanik özellikler [14]

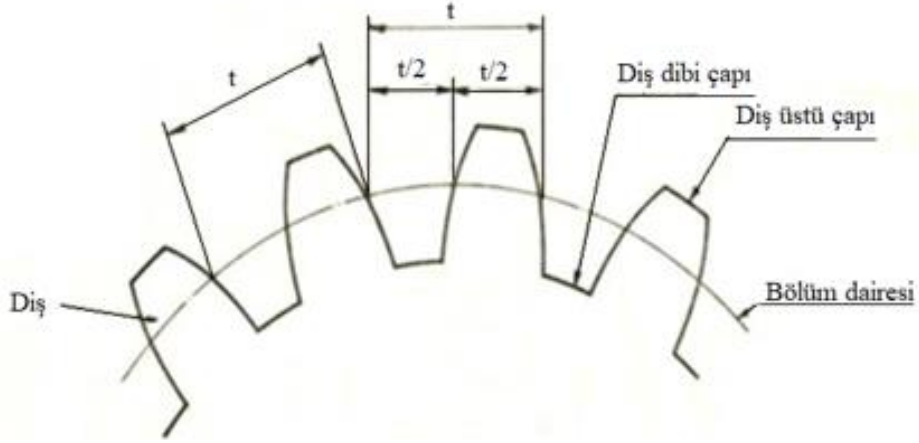
Gerilme mukavemeti	85 N/mm ²
Kırılmaya kadar uzama	0,008 mm
Eğilme mukavemeti	112 N/mm ²
Eğilme katsayısı	10.000 N/mm ²
Çekme mukavemeti	180 N/mm ²

2.3. Geometrilerin oluşturulması

Bu çalışmada açık kaynak kodlu 3B yazıcıda yazdırılmak üzere hazırlanan Modül 3 ve diş sayısı 15 düz dişli 3B tasarımı Şekil 3.a’da görülmektedir. Dişli çark tasarımı SolidWorks paket programında [15] yapılmıştır. Modellerin tüm yüzeylerinin cidar kalınlığı tüm modeller için 1 mm ve parçaların yüksekliği 10 mm olarak belirlenmiştir. SolidWorks programında iki boyutlu tasarlanan modeller üç boyuta çevrilip *.STL uzantılı olarak kaydedilmiştir. Şekil 3.b’de görüldüğü gibi açık kaynak kodlu yazdırma programında %10 dolgu oranıyla PLA+ malzemeden parça üretilmiştir. Düz dişli çarkın tasarımında kullanılan düz dişli modellerin ölçü parametreleri Şekil 4’te görülmektedir.



Şekil 3. a) Düz dişli çarkın CAD 3B çizim görünümü [15], b) Simulasyon görünümü



Şekil 4. Üretilen düz dişli modellerin boyutları.

2.4. Silikon kalıplama

3B yazıcı vasıtasıyla üretilen düz dişli çark parçası kullanılarak hazırlanan silikon kalıbı Şekil 5’de gösterilmiştir. Şekil 5’de gösterilen kalıp içerisine 1 kg kalıp silikonu RTV 2 ye 50 gram katalizör katılarak 1 dakika süreyle karıştırılmış ve hazırlanan kalıp içerisine vakumlandıktan sonra dökülmüştür. Bu çalışmada silikon ve epoksi kullanılmasının sebebi, bir kere kalıbı yapılan modelin defalarca epoksi dökümüne imkan vermesini sağladığı ve üretimi uygulaması kolay olduğu tekrarlanabilirliği gibi avantajlarından dolayı bu yöntem seçilmiştir.

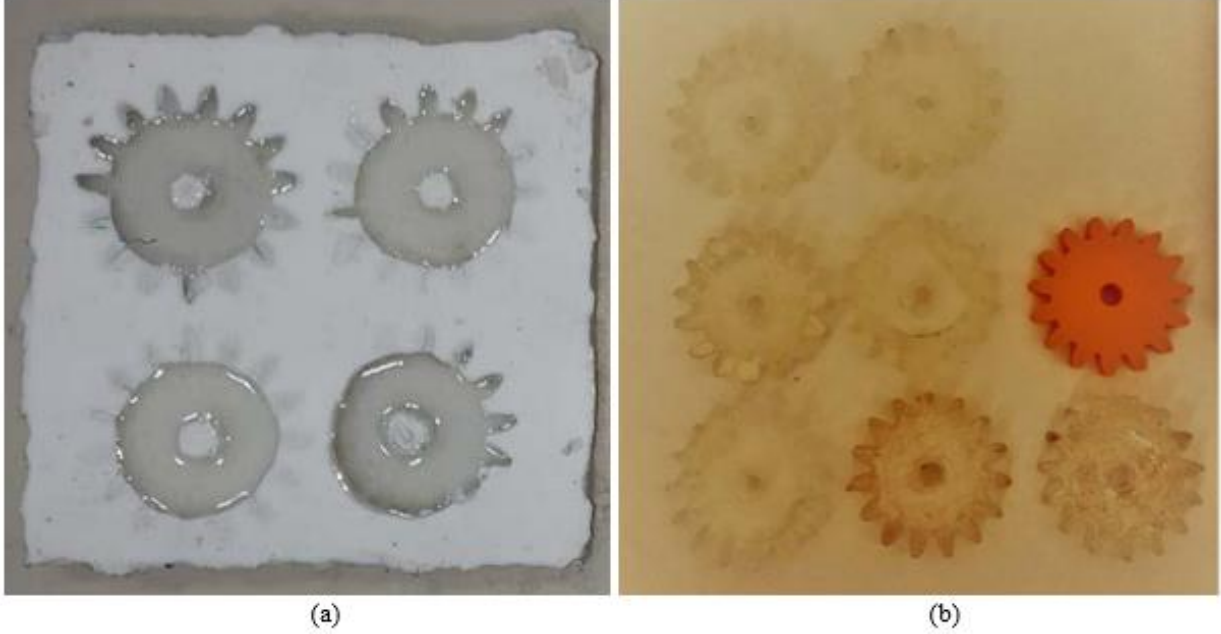


Şekil 5. Düz dişli silikon kalıbı görüntüsü.

Silikon kalıbı 24 saat süre kuruma ve donma işleminden sonra 3B yazıcıda üretilen düz dişli çark modeli çıkarılmıştır. Daha sonra hazır olan silikon kalıbın iç yüzey, çapak ve kopukluk kontrolü yapılarak silikon kalıp ayırma spreyi sıkılmıştır. Bir sonraki aşamada, içerisine hazırlanmış ultra şeffaf silikon her bir dişli kalıbı için 14618,36 mm³ hacim için 0,01461836 litre olacak şekilde vakumlandıktan sonra 30 cm yükseklikten serbest düşme etkisi ile dökülmüştür. Silikon ve epoksi vakum fanus hacmi 200x200x200mm³ tür.

Epoksi reçinesi epoksi maddesine eklenen ve yapışkanlığı artıran bir komponenttir. Kimyada termosetler grubunda bulunan ve bağlar arasındaki çekim gücünü artırma özelliğiyle güçlü bir yapıştırıcı görevi üstlenen epoksi reçinelerin suya, alkaliye ve aside direnci çok iyi konumdadır. Poliepoisitler olarak da adlandırılan epoksi reçinelerin kullanıldığı sektörlere ve ürünlere uyum sağlamak için çeşitliliğinin de sürekli olarak geliştirildiği bilinmektedir. Söz konusu bu epoksiler,

epoksi reçine ve sertleştirici olmak üzere iki bileşenden meydana gelmektedir. Ultra şeffaf epoksi reçinenin silikon kalıbına dökülmüş hali Şekil 6.a'da görülmektedir. Şekil 6.b'de silikon kalıptan çıkartılan epoksi reçineden üretilmiş parçalar görülmektedir. Şeffaf epoksinin donması oda sıcaklığı şartlarında gerçekleştirilmiştir. Ölçümler dijital diş dibi çapı ölçüm mikrometresi IP65 ile ölçülmüştür. İmalatı tamamlanmış parçaların diğer ölçümleri kumpas ile ölçülerek tespit edilmiştir.



Şekil 6. a) Fanus içerisine konan modelin etrafına kalıp silikonu dokulerek kalıp alma işlemi, b) Üretimi yapılmış dişli çarklar

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Silikon kalıplama metodu ile düz dişli çark modeli imal edilmiştir. Kalıptan çıkarılan parçaların katı görünümü olarak yeterli olmasının yanında yüzeysel ek işlemlere ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Üçer adet numune üretilerek ölçümlerin sonuçları Çizelge 4'de verilmiştir. Burada görüldüğü gibi dişli çarkın CAD modeli diş üstü çapı 51 mm iken 3B yazıcı ile basılmış modelde 51,8 mm elde edilmiştir. Epoksi ile üretilen parça 52,3 mm boyutunda olup sırasıyla %1,56 (0,8 mm) ve %2,54 (1,3 mm) daha büyük olarak imal edildiği ve kabul edilebilir bir ölçü elde edildiği görülmektedir. Diş dibi çapı 37,5 mm CAD modeli ölçüsü iken, 3B yazıcıda basılmış model 38,6 mm, epoksi ile üretilen modelin diş dibi çapı değeri 38,6 mm olmuştur. Böylece diş dibi çapı sırasıyla % 2,93 (1,1 mm) ve %5,00 (1,9 mm) fark parçanın tolere edilebildiği yere göre kullanılması uygun olabilir.

Çizelge 4'te dişli çarkın CAD modeli, 3B yazıcıdan elde edilen parça modeli ve silikon kalıpta epoksi reçineyle döküm yoluyla elde edilen parçaların boyutsal farklılıkları gösterilmektedir. Buna göre 3B yazıcıda basılan parçanın diş üstü çapı CAD modeline göre %1,56 daha büyük, epoksi ile üretilen parça ise yine CAD modele göre %2,54 daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde; diş dibi ölçülerinde de sırasıyla %2,93 ve %5,00 daha büyük olduğu görülmüştür.

Çizelge 4. Epoksi ile silikon kalıba dökülerek üretilen parçaların tasarım ölçüleriyle olan farkı.

	Diş üstü çapı		Diş dibi çapı	
	Diş üstü çapı (mm)	Diş üstü çapı farkı (%)	Diş dibi çapı (mm)	Diş dibi çapı farkı (%)
CAD model	51	0	37,5	0
Numune 1	50,9		37,4	
Numune 2	52,4		38,9	
Numune 3	52,1	1,56	39,5	2,93
3B yazıcı ile basılmış model ortalaması	51,8		38,6	
Numune 1	51,8		40,1	
Numune 2	52,5		38,8	
Numune 3	52,6	2,54	39,3	5,00
Epoksi ile üretilmiş model ortalaması	52,3		39,4	

Sunulan testlerin temel amacı, özellikle mevcut modellerin üretiminde, döküm kalıpları ve prototipler üretmek için 3B baskı ve döküm malzemesi kullanma olasılığını değerlendirmektir. Sanat nesnelерinin yüksek kalitede çoğaltılması için popüler bir döküm tekniği silikon kalıp dökümdür [16]. Basit senaryolar için, fiziksel bir prototip sıvı silikona batırılır; kürlenmiş silikon, nesnenin etrafında bir kalıp oluşturur; daha sonra silikon kalıbın manuel olarak kesilmesi ve açılmasıyla prototip çıkarılır. Silikon kalıbın reçine gibi sıvı bir döküm malzemesiyle doldurulmasıyla birden fazla kopya dökülebilir. Silikon kalıplamanın, geleneksel sert dökümden iki ana pratik avantajı vardır: kopyalar, esnek kalıbı, ona zarar vermeden deforme ederek güvenli bir şekilde çıkarılabilir ve sarkan geometrik detaylar ciddi bir sınırlama oluşturmaz. Kavramsal olarak basit olsa da silikon kalıp dökümü, önemsiz olmayan şekillere uygulandığında son derece zor hale gelebilir ve genellikle vasıflı profesyonellerin müdahalesini gerektirir. Örneğin, tutacakları olan nesnelер, ekstraksiyonu fiziksel olarak mümkün kılmak için genellikle dikkatlice yerleştirilmiş bir dizi ekstra kesime ihtiyaç duyar. Dahası, havanın dışarı akmasına izin vermek ve sıkışmış hava kabarcıklarından dolayı kopyalarda artefaktları önlemek için, sıvı silikona batırılmadan önce prototip nesneye havalandırma boruları takılmalıdır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Açık kaynak kodlu 3B yazıcılar kullanılarak bilgisayar ortamında çizilmiş modül 3, diş sayısı 15 olan düz dişli çark parçasının RTV 2 kalıp silikonu ile model kalıbı oluşturulmuştur. Elde edilen silikon kalıbı içerisine ultra şeffaf özellikte epoksi reçine dökülmüş ve 24 saat süreyle donması beklenilmiştir. Çalışmadan çıkarılan sonuçlar şu şekilde sıralanabilir.

- Silikon kalıp ile üretilen dişliler ağır yük taşımayan prototip ürünlerin imalatı için kullanılabilir. Örneğin makine eğitim materyallerinin temini istendiğinde hem yüksek maliyetlerle karşılaşılması hem de atelye ortamında geniş hacim kaplaması önemli problemlerdir. Bunun yerine silikon kalıplama ile imal edilen parçalara montaj işlemi uygulanmasıyla (örneğin vites kutusu, diferansiyel, direksiyon sistemi, redüktör, konveyörler vb.) sınırsız bir kullanım alanına sahip olduğu görülmektedir.
- Küçük boyutlarda imal edilebilen materyaller eğiticinin elinde kolaylıkla çevirerek çalışma sistemini izah edebilmesine imkân sağlamaktadır. Bu durum öğrenme kolaylığı sağlayacaktır.
- Epoksi ile üretilmiş parçanın CAD modele göre en fazla % 5 farklı çıkmış olması hem 3B yazıcıdan aktarılan hatalar hem de silikon modellemenin daha profesyonel yapılmayışından kaynaklanabilmektedir. Bu durumda CAD modelin ortalama % 5 daha küçük imal edilmesi ile silikon kalıp ile elde edilen parçalardaki bu farklılık ortadan kaldırılabilir.
- Bu tür silikon kalıpla üretilen ya da çoğaltılacak parçalar hassas ölçü toleransı istenmeyen mekanik sistem parçaları olabileceği gibi süs eşyaları, oyuncak, aksesuarlar gibi ürünler için modellerin 3B baskısı alınarak silikonlu kalıp modeli oluşturularak imalatı gerçekleştirilebilir.
- Öte yandan bu metot görsel olarak prototip sergilemek için de kullanılabilir. İmalattaki hatalar tolere edilmek istenirse, deney tasarım metoduyla farklı ölçülerde CAD modelleri üretilerek istenen ölçü değerine yaklaşılabılır. Sonuçta kullanılan bu yöntem hem hızlı ve pratik hem de

ucuz olması gibi önemli avantajları nedeniyle profesyonel ve amatör üretim yapılması için uygun olduğu ortaya konulmuştur.

- Diğer taraftan özellikle restorasyon işlerinde sıklıkla ihtiyaç duyulan pratik kalıp oluşturarak imalat gerçekleştirme açısından da güçlü bir uygulama olduğu görülmektedir. Tarihi eserlerin veya herhangi bir objenin kırık parçalarının imal edilerek objenin bütünlüğünün sağlanmasında oldukça geçerli bir tekniktir. Çünkü klasik kalıp ve imalat işlemlerinde restorasyona ihtiyaç duyulan kısmın kalıp imalatı oldukça güçtür ve yüksek maliyetlere neden olmaktadır. Ayrıca örneğin tarihi bir binanın restorasyonunda kırık bir figürün yerinden sökülmeden bulunduğu ortamda ilgili bölgenin kalıbı alınarak eksik olan kısmı imal edilebilir ve yerine tutturularak başarılı bir restorasyon gerçekleştirilebilir.
- Özellikle yüzey geometrisi karmaşık parçaların yüksek ölçü benzerliği ile kopyalanması için kullanılacak çok geçerli bir metot olduğu tespit edilmiştir.
- Gelecek çalışmalar, daha hassas ölçülerin elde edilebilmesi için imalat hassasiyeti konusu incelenebilir. Ayrıca daha karmaşık geometriler üzerinde çalışılarak metodun başarısı incelenebilir.

TEŞEKKÜR

KÜ-BAP01/2019-31 proje numaralı bu çalışmanın yapılmasına destek veren Kastamonu Üniversitesi, Bilimsel Araştırmalar Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Ian G., Rosen D.W., and Stucker B. Additive manufacturing technologies. Vol. 238. New York: Springer. 2010.
2. Kruth J-P., Leu M-C., and Nakagawa T. Progress in additive manufacturing and rapid prototyping. CIRP Annals-Manufacturing Technology Vol. 47, Issue 2, Pages 525-540, 1998.
3. Kaufui W.V., and Hernandez A. "A review of additive manufacturing." ISRN Mechanical Engineering. 2012.
4. Samuel H.H., et al. Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol. 67, Issue 5-8, Pages 1191-1203, 2013.
5. Sungil C., et al. Evaluation of micro-replication technology using silicone rubber molds and its applications. International Journal of Machine Tools and Manufacture. Vol. 43, Issue 13, Pages 1337-1345, 2003.
6. Fellner S., et al. Mechanical properties of silicones for MEMS. Journal of Micromechanics and Microengineering. Vol. 18, Issue 6, Pages 065-068, 2008.
7. Prasad Y.KDV, and Hock T.S. Statistical analysis on accuracy of wax patterns used in investment casting process. Journal of materials processing technology. Vol. 138. Issue 1, Pages 75-81, 2003.
8. Ammen C.W. Lost Wax Investment Casting, Tab Books, USA, 2007.
9. Tang, Y., et al. Micro-mould fabrication for a micro-gear via vacuum casting. Journal of materials processing technology, Vol. 192, Pages 334-339, 2007.
10. Chung, S., et al. Rapid fabrication of aluminum shoe mold using vacuum sealed casting process. Journal of materials processing technology, Vol .142, Issue 2, Pages 326-333, 2003.
11. Çalışkan, Ö. Umut, ve Durgun, İ. "Silikon kalıplama üretim teknolojisinin otomotiv ürün geliştirme sürecindeki uygulamaları. 12. Otomotiv ve Üretim Teknolojileri Sempozyumu, 13-14 Mayıs 2011, Bursa.
12. Zmarzły, Paweł, Damian Gogolewski, and Tomasz Kozior. "Design guidelines for plastic casting using 3D printing." Journal of Engineered Fibers and Fabrics. Vol. 15, 2020.
13. Chen, Dongzhi, et al. "Synthesis and characterization of novel room temperature vulcanized (RTV) silicone rubbers using Vinyl-POSS derivatives as cross linking agents." Polymer. Vol. 51, Issue 17, Pages 3867-3878, 2010.

14. Christoforo, André Luis, et al. "Numerical Study of Finite Fracture Growth in an Epoxy Resin." International Journal of Materials Engineering. Vol. 6, Pages 15-21, 2016.
15. İnternet: Dolidworks resmi web sitesi, Deneme sürümü, https://my.solidworks.com/trysolidworks?&lang=tr&utm_medium=cpc&utm_source=google&utm_campaign=202001_glo_ps_sea_tr_XOP6889_labl_swopt_eme_tr&mktid=10381&gclid=Cj0KCQiAyoecBhCTARIsAOfpKxh_vWf7jl3RU6GeHhJxmeI_R1h_SwSjOpffRnsmt7kbzxqOv14OwsQaAjd0EALw_wcB, Ocak 21, 2021.
16. Bruckner, Tim, Zach Oat, and Ruben Procopio. Pop Sculpture: How to Create Action Figures & Collectible Statues. Watson-Guption Publications, 2010.