

## Mum Püskürtücü Ekstrüder Tasarımı

**İbrahim Kutval<sup>1</sup> ve İlyas Kacar<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, Niğde, Türkiye, [kutval93@gmail.com](mailto:kutval93@gmail.com)

<sup>2</sup>Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, Niğde, Türkiye, [ikacar@gmail.com](mailto:ikacar@gmail.com)

### Özet

Bu çalışmada, 3B (üç boyutlu) yazıcılarda mum baskısı yapabilen bir ekstrüder tasarlanmış ve böylece, kuyumcu dökümü (hassas döküm) işleminde kullanılacak modellerin 3B yazıcı ile basılabilmesi amaçlanmıştır. Hassas döküm, özellikle kuyumculukta takıların üretimi için yıllardır kullanılagelen bir yöntemdir. Yöntemin esası, kalıp boşluğu oluşturulmasında, mum gibi kolay eriyebilen malzemeden imal edilen modellerin kullanılması ve bu modellerin kalıp hazırlandıktan sonra ve dökümden önce eritilerek, kalıp boşluğunun oluşturulmasıdır. Bu çalışmada, beş farklı teknik uygulanarak, farklı sıcaklık değerleri, farklı mum malzemeleri ve farklı nozul çapları için bir 3B yazıcı ekstrüderi tasarlanmış ve prototipleri üretilerek deneyler yapılmıştır. Yapılan metodik çalışma sonuçları ve en optimum değerler listelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Mum, Hassas döküm, Ekstrüder, 3B yazıcı

## A Wax Extruder Design

### Abstract

In this project, a wax printing extruder for 3D (three dimension) printers is designed. So, it is intended that wax models for investment casting can be produced by 3D printers. Investment casting method is one of the methods used in jewelry casting for many years. The method is based on usage of wax models to be melted easily for creating mold cavity. Before pouring, mold cavity is obtained by melting these wax molds. In this study, a 3D printer extruder is designed and tested by using prototypes for five different techniques, temperatures, wax materials, and nozzles. Results obtained from methodic studies are listed and optimum vales are determined.

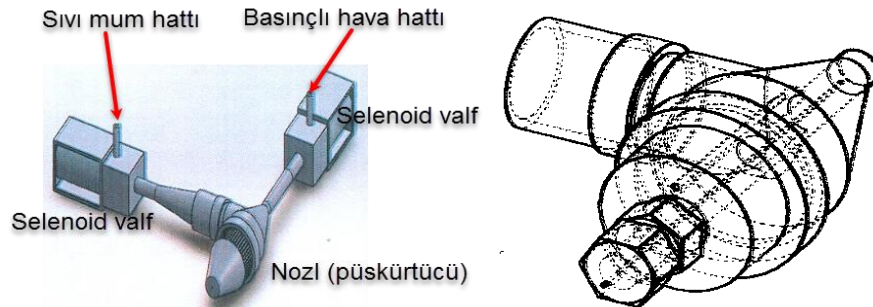
**Key words:** Wax, Precision casting, Extruder, 3D printer

## 1. GİRİŞ

Hassas döküm işlemi, metal dökümde yüksek hassasiyetli ürünler üretmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem uzay endüstrisinden medikale, kuyumculuğa kadar pek çok alanda kullanılan ancak zaman alıcı ve pahalı bir dizi aşamaları içeren bir prosesdir. Kullanım alanı gereği parça geometrilerinin çok farklı olması, seri üretimde ekonomik fakat esnek üretimde maliyetli olması (örneğin müşterinin talebine uygun geometrilerde bir adet parça dökümü) gibi kısıtlamalara sahiptir.

Co-Cr-Mo-W alaşımından yapılan diş protezlerinin üretiminde hassas döküm ve seçici lazer eritme yöntemleri karşılaştırılmıştır. Seçici lazer eritme yönteminden elde edilen protezin yüzey pürüzlülüğünün, hassas döküm yöntemi ile üretilen protez yüzeyinin pürüzlülüğünden daha yüksek olduğu ve sertliklerinin de dökümle üretilenden yaklaşık 100 HV birim daha düşük olduğu bulunmuştur [1]. Uzay mekiklerinin motorlarının contaları, geniş fakat kalınlıkları ince olan parçalar olup, hassas döküm ile üretilbildiği görülmektedir [2]. Mikro akışkan cihazlarının bazı parçaları 3B baskı yöntemi ile üretilmekte ve böylece hastalık tespiti ve sağlık bakımı gibi alanlarda büyük fayda sağladığı görülmektedir. Kullanılan balmumu modeli püskürtmeli kalıplama ile elde edilmekte, hassas döküm işlemi için mum alma aşamasından sonra oluşan kalıp boşluğuna polidimetilsiloksan (PDMS) malzemesi dökülmektedir. Kalıplı enjeksiyon ve sıcak şişirme gibi diğer mikro imalat yöntemlerine kıyasla, bu çalışmadaki hassas döküm yöntemi, yapıştırma tabakaları arasındaki hizalama sorunu olmaksızın daha karmaşık geometriye mikro cihazlar üretilmesine olanak sağlamıştır [3]. İşlem sonu elde kalan mumlar ise, temizlenerek tekrar kullanılabilir. Bu ise metodu daha ekonomik hale getirmektedir [4]. Hassas döküm yönteminin esnek hale getirilmesinde, prosese optik ölçme sistemi ve robot kol dâhil edilerek kalite kontrolünde hızlilik ve doğruluk elde edilmiştir [5]. Yolluk sisteminin termomekanik simülasyonu yapılarak optimum döküm parametrelerinin elde edildiği görülmektedir [6, 7]. Yöntemin otomatikleştirilmesi konusunda çalışmaların devam ettiği görülmüştür [8, 9].

Yukarıda yapılan izahatlar neticesinde, çeşitli hassas döküm uygulamalarının yapılmış olduğu ama hassas döküm modellerinin mum baskısı ile üretiminin yapılmamış olduğu anlaşılmaktadır. Bu çalışmada hassas döküm yönteminde kullanılacak mum modellerin üç boyutlu yazıcılar sayesinde hızlı, hassas, ucuz üretilmesine olanak sağlayacak bir ekstrüder (3B yazıcı baskı kafası) tasarımı-imalatı gerçekleştirilmiş olup, yapılan sistematik denemeler detaylıca sunulmuştur. En uygun yöntem-parametre belirlenmiştir. Şekil 1’de nozul için farklı tasarım alternatifleri verilmiştir.

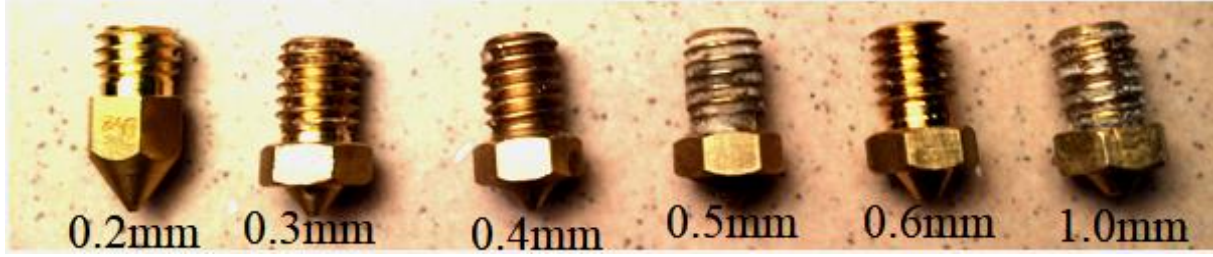


Şekil 1. Tasarlanan sistemin şeması

## 2. YÖNTEM VE MATERYAL

### 2.1 Sistemin tasarımı

Projemizde parametrik bir deneysel çalışma yapılmış olup farklı; tasarım, mum, nozul çapı, ısıtıcı, sıcaklık, basınç, değişkenleri denenmiştir. Şekil 2’de denenен nozullar, Şekil 3’te kullanılan ısıtıcılar ve Şekil 4’te denenен mum türleri verilmiştir. Şekil 5’te ise tasarım alternatifleri gösterilmektedir.



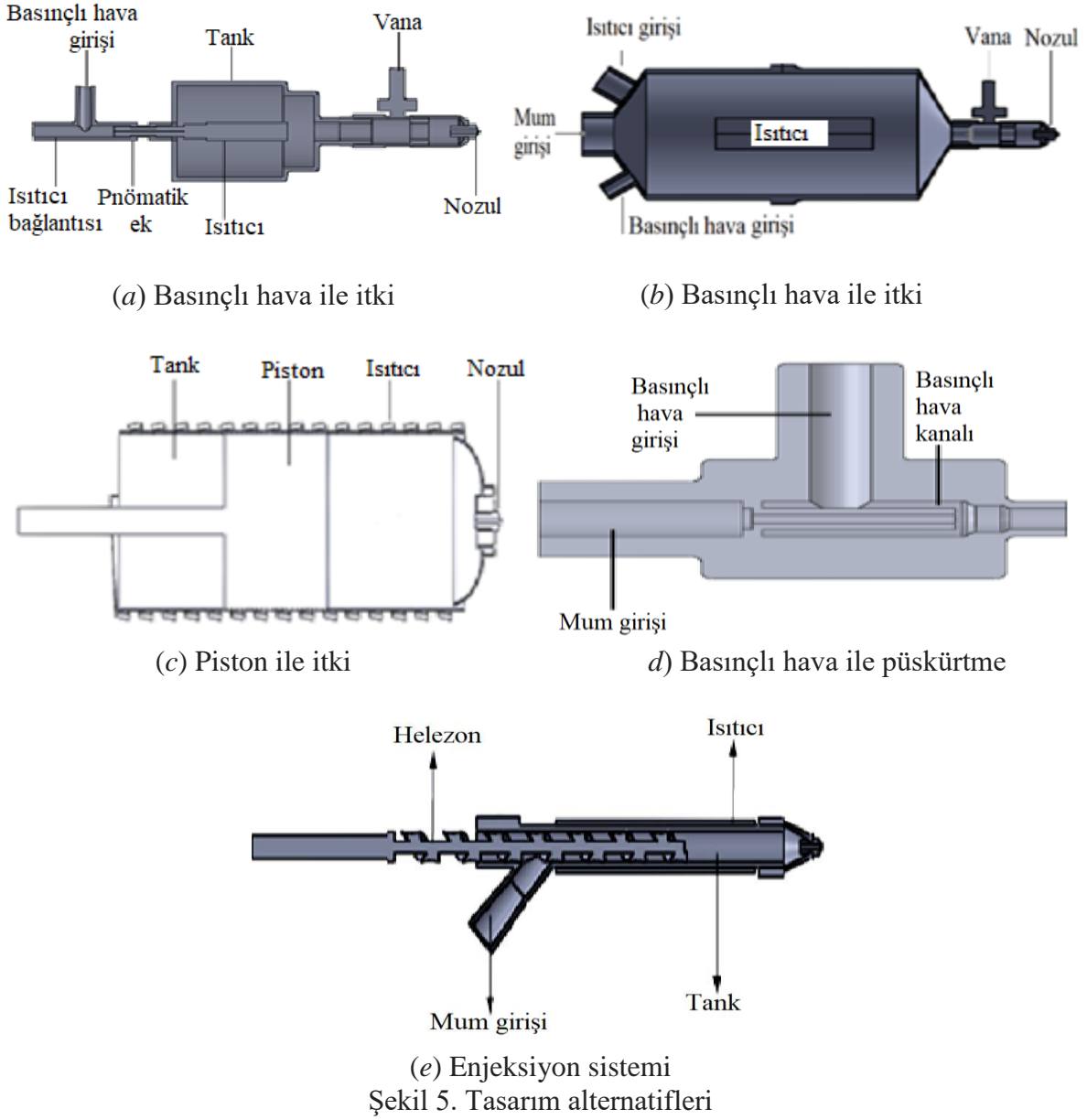
Şekil 2. Denemelerin yapıldığı nozul türleri



Şekil 3. Denemelerin yapıldığı ısıtıcı türleri



Şekil 4. Denemelerin yapıldığı mum türleri



Şekil 5 (a-d) de verilen ilk dört tasarımlarda, denemeler esnasında yolluk içerisinde homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilemediğinden dolayı sürekli donma, tıkanma olmuştur. Şekil 5 (e) de verilen tasarımın denemelerinde ise homojen sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Bu teknikte, sıvı malzeme iletiminde helezon sistem kullanılmaktadır. Helezon sistem genel olarak endüstride toz veya granül halinde bulunan hammaddelerin mekanik olarak taşınması için kullanılan düzenektir. Vidalı götürücü, helezon, vidalı konveyör olarak ta adlandırılır. Helezon konveyör yardımı ile istenilen iki nokta arasında doğrusal bir hat boyunca malzeme aktarımı yapılmaktadır.

Sistemin mum girişinden sisteme sürekli olarak katı mum takviyesi yapılmaktadır. Helezon ise mum girişinden aldığı mumu kanal yardımıyla sistemin ucundaki nozula kadar aktarmakta ve bu esnada da kanal etrafına sarılı olan ısıtıcılar sayesinde mum parçacıkları nozula ulaşıncaya kadar hamur kıvamına gelmektedir. Böylece nozuldan kesintisiz akış gözlemlenmektedir. Sistemde ilk olarak 0.2 mm çapında nozul kullanılmıştır. Daha sonra sırasıyla 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 ve 1mm çapında nozullar kullanılmıştır.

## 2.2. Sistemin İmalatı

Şekil 5 (a-e) de verilen bütün tasarımların prototipleri üretilerek denemeler yapılmıştır. Basınçlı hava esaslı tasarımlarda (a, b) ve piston ile itki esaslı sistemde (c) ısı kaybının kontrol edilememesi nedeni ile yolluk ve nozuldaki katılaşmalar çözülemediği için tıkanmalar veya tamamen sıvı akışı görülmüştür. Sıvının 3B yazma esnasında pürüzsüz bir yüzey oluşturabilecek şekilde biriktirilebilmesi mümkün olamamıştır. Bu nedenle denemelere Şekil 5 (e) de verilen enjeksiyon esaslı tasarım üzerinden devam edilmiştir.

Gerçekleştirilen sistemler Şekil 6(a-e) da gösterilmektedir. Helezonik sistemler özel tasarım prensiplerine sahip olup, yeni bir tasarım yapmaktansa, piyasada ahşap matkapı olarak anılan ve helezonik şekle sahip ve dolayısıyla fiyatı daha ucuz olan helezonik parça kullanılmıştır. Çapı 12 mm olan bu ahşap matkap uçları ortaları boş olduğu için işlem esnasında oluşan talaşı ve malzemeyi ortalarındaki boşluk sayesinde taşımaktadırlar. Dönme yönüne göre, taşıma işlemi ileri/geri olabilmektedir. Malzeme olarak yüksek karbonlu çelikten üretilmektedirler. Kumlama ile yüzey kaplaması yapılmıştır. Boyutları ise 12mm çapında ve 250mm uzunluğundadır. Sistemimizi ısıtmak üzere 220 volt ile çalışan ısıtıcı silikon bant kullanılmıştır.



Şekil 6. Üretilen tasarımın fotoğrafı

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Akış Karakteristikleri

Denemeleri farklı nozullar ile farklı sıcaklıklarda, farklı mum türleri ile yapılmıştır. Fakat Şekil 7’de görüldüğü gibi enjeksiyon mumunun özelliği gereği yapışkanlık kazanmakta ve helezona yapışmakta ancak hamur kıvamı elde edilememektedir. Bu nedenle helezon, mumu nozul ucuna kadar iletememiştir ve bu yüzden enjeksiyon mumunun kullanımından vazgeçilmiştir. Kandil mumunda da ergime noktası çok düşük olduğundan dolayı hamurlaşma sıcaklığına ulaşamamıştır. Ya tamamen katı, yada tamamen sıvı bir faz elde edilmiştir. Isı transferi kontrol altına alınamamıştır. Şekil 5 (a-d) tasarımları kullanılarak yapılan denemelerin parametreleri ve elde edilen sonuçlar Tablo 1-4 te verilmiştir.



Şekil 7. Enjeksiyon mumunda gözlemlenen yapışma

Tablo 1. Şekil 5.(a)’da verilen tasarım ile yapılan deneyin parametreleri ve sonuçlar

Deney no	Üst ısıtıcı (°C)	Alt ısıtıcı (°C)	Basınç (Bar)	Sonuçlar
1	65	55	3	Tamamen
2	65	55	2	Tamamen
3	65	55	1	Tamamen
4	50	45	3	(*)
5	40	40	3	Akış yok
6	43	41	2	Akış yok
7	44	44	1	Akış yok
8	45	44	1	Akış yok
9	50	47	3	(*)
10	55	53	6,5	(*)

(\*) Nozl çıkışında filament oluşumu gözlemlenmiştir ancak, katılaşma sonucunda tıkanıklıklar nedeni ile kesikli filament elde edilmiş ve çıkışta filamentlerin yapışma özelliğinin kötü olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum hamurlaşma sıcaklığına ulaşmadan daha nozul içerisinde iken katılaşmanın başlamış olmasından ve nozuldaki ısı kayıplarının kontrol altına alınamamasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 2. Şekil 5.(b)'de verilen tasarım ile yapılan deneyin parametreleri ve sonuçlar





Deney no	Üst ısıtıcı (°C)	Alt ısıtıcı (°C)	Basınç (Bar)	Sonuçlar
1	65	64	0	Tamamen sıvılaştı
2	60	56	2	Tamamen sıvılaştı
3	50	60	2	Tamamen sıvılaştı
4	54	54	0	Tamamen sıvılaştı
5	51	49	2	Tamamen sıvılaştı
6	50	48	1	Akış yok
7	61	52	2	Tamamen sıvılaştı
8	58	59	2	Tamamen sıvılaştı
9	57	55	2	Tamamen sıvılaştı
10	52	50	2	Tamamen sıvılaştı
11	55	51	2	Tamamen sıvılaştı
12	52	48	2	Tamamen sıvılaştı
13	50	48	2	Akış yok
14	65	48	3	Akış sıvı+katı
15	61	48	3	Akış kıvama yakın
16	49	47	3	Tamamen sıvılaştı
17	46	46	3	Akış kıvama yakın
18	45	45	3	Akış çok güzel
19	45	44	3	Tamamen dondu
20	45	43	3	Tamamen dondu
21	53	50	3	Tamamen sıvılaştı
22	50	47	2,5	Tamamen sıvılaştı
23	47	43	2,5	Akış yok
24	44	41	4	Akış yok
25	43	46	4	Akış yok
26	44	48	3	Akış kesikli
27	53	49	3	Tamamen sıvılaştı
28	61	47	3	Tamamen sıvılaştı
29	60	49	3	Kırılmalar çok
30	48	44	3	Akış sıvı+katı
31	70	48	3	Tamamen sıvılaştı
32	46	46	4	Tamamen sıvılaştı
33	50	48	3	Akış sıvı+katı
34	49	47	3	Akış sıvı+katı
35	47	45	4	Akış biraz sert
36	59	51	3	Tamamen sıvılaştı
37	58	51	3	Tamamen sıvılaştı
38	54	49	3	Tamamen sıvılaştı
39	50	47	3	Akış kıvama yakın
40	48	48	3	Akış az ve sert

Şekil 5.(c) deki tasarıma göre merkez ve merkezden sıra ile 10 mm, 20 mm uzaklıkta, dış cidar ve nozul uçlarından yapılan ölçüm sonuçları Tablo 3 te verilmiştir.

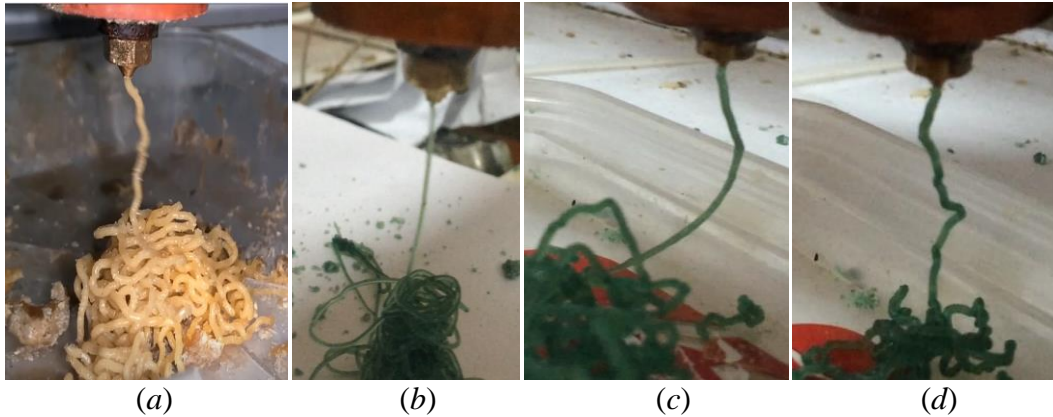
Tablo 3. Şekil 5.(c)'verilen tasarım içerisinde balmumunun hamur kıvamında iken sıcaklık dağılımları

SICAKLIK(°C)	Ayarlanan değer	20 mm içeri	10 mm içeri	Merkez	Uç	Dış
	90		50	50	49	50
106		60	53	49	51	77
120		52	51	52	52	65
152		75	72	68	54	83
165		80	75	75	56	92

Tablo 4. Şekil 5.(d)'de verilen tasarım ile yapılan deney parametreleri ve sonuçlar

Deney no	1	2	3	4
Püskürme şekilleri				
Sıcaklık (°C)	165	165	165	165
Basınç (Bar)	1	2	3	4

Enjeksiyon mumundan sonra modelaj mumu ile deneylere başlanmıştır. Modelaj mumu elastik özelliği sayesinde, deformasyon mukavemeti kazanarak oluşan yapı kaybını önleyici bir özelliğe sahiptir. Modelasyon sonrası boyutsal değişim gözlemlenmemiştir. Modelaj mumu diğer mumlardan daha sert olduğu için deneylerde diğer mumların erime sıcaklığına çıkıldığı da modelaj mumunda henüz erime gözlemlenmemiştir. Modelaj mumunun erime sıcaklığını 110°C'ye çıkartarak mumu istediğimiz kıvamda eritmeyi başardık ve sıcaklık 110°C'de TZ4M otomatik ayar kontrolü ile sabitlenerek deneylere başlandı. İlk olarak 0.6 mm'lik nozul uçlar ile deney yapıldı. Bu uçta Şekil 8 (b)'de görüldüğü gibi ince ve hassas bir akış elde edilmiştir. Fakat akış esnasında seyrekte olsa filament akışının kesintiye uğradığı görülmüştür. Daha sonra ise sisteme 1.0 mm'lik nozul uç takılarak denemelere devam edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ise Şekil 8 (a-c-d)'de verilmektedir. Şekillerde görüldüğü gibi akış istenen kıvamda ve haznedeki mum bitinceye kadar kesintiye de uğramamıştır.

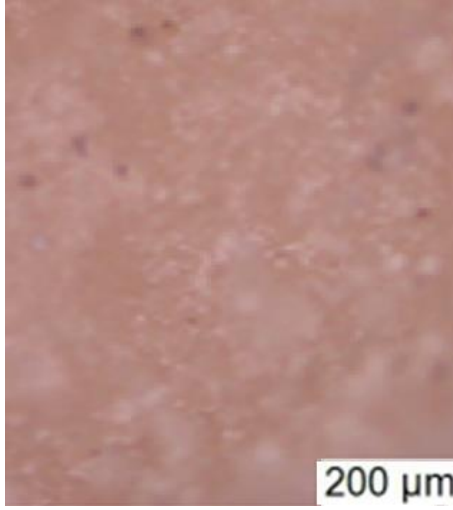


Şekil 8. Elde edilen akışlar

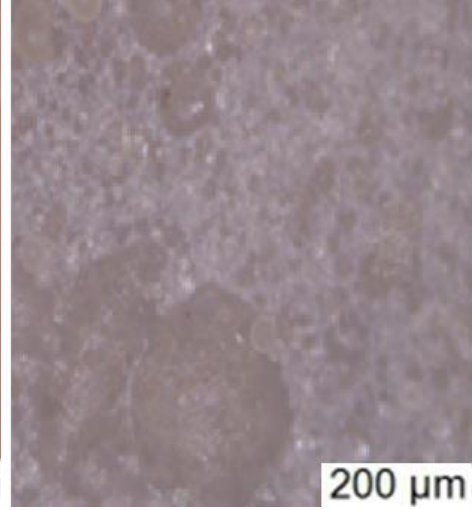


### 3.2 Yüzey pürüzlülükleri

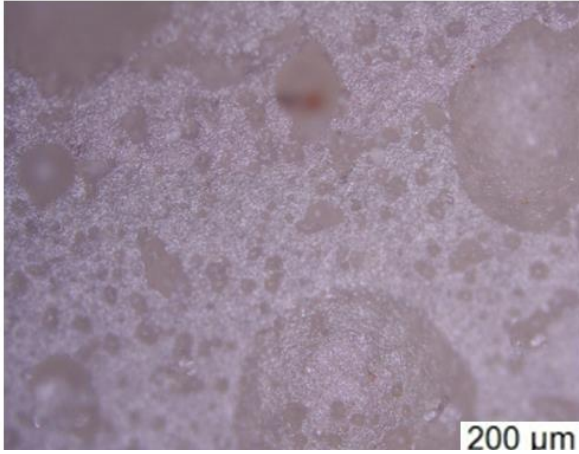
Elde edilen akışta her ardışık katman önceki katmanın üstüne basılır ve sonuç olarak istenilen model oluşturulur. Baskının sağlam olabilmesi için her katmanın altındaki katman ile yeterince bağlı olması gerekir. Katmanlar birbirine yeterince iyi bağlanmazsa, katman bölünebilir veya ayrılabilir. Bu tür olayları önleyebilmek için akışkanın pürüzlülüğünü en aza indirmemiz gerekmektedir. Bundan dolayı yüzey pürüzlülükleri de ölçülmüştür. Ölçüm ise Olympos BX51M optik mikroskobu kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen görüntüler Şekil 9 da verilmiştir. Büyütme değerleri fotoğrafların üzerinde skala halinde verilmiştir.



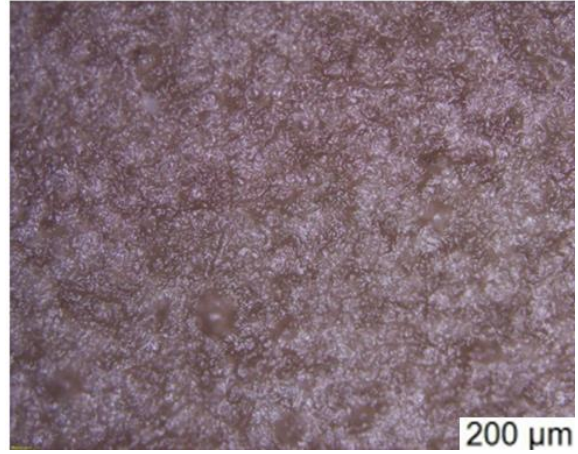
(a).4 bar basınçta 165°C sıcaklıkta püskürtülen balmumunun yüzeyinin pürüzlülüğü



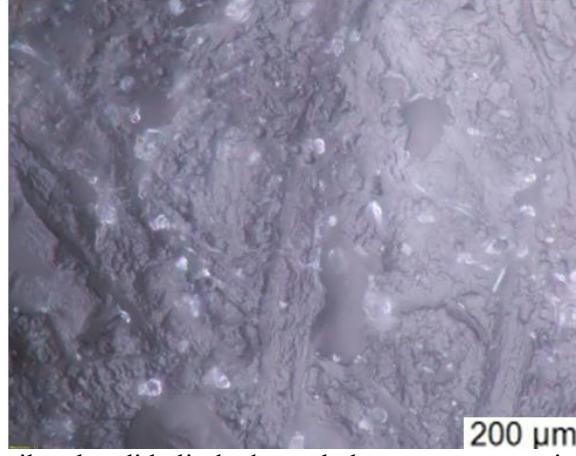
(b).3 bar basınçta 165°C sıcaklıkta püskürtülen balmumunun yüzeyinin pürüzlülüğü



(c).3 bar basınçta 165°C sıcaklıkta püskürtülen balmumunun yüzeyinin pürüzlülüğü



(d).Sıvı halde iken kendi halinde donan balmumunun yüzeyin pürüzlülüğü

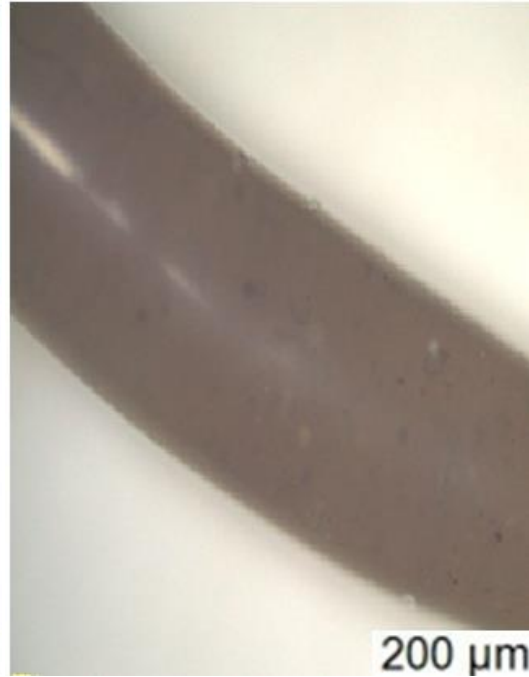


(e) Sıvı halde iken kendi halinde donan balmumunun yüzeyin pürüzlülüğü  
Şekil 9. Püskürme şekilleri

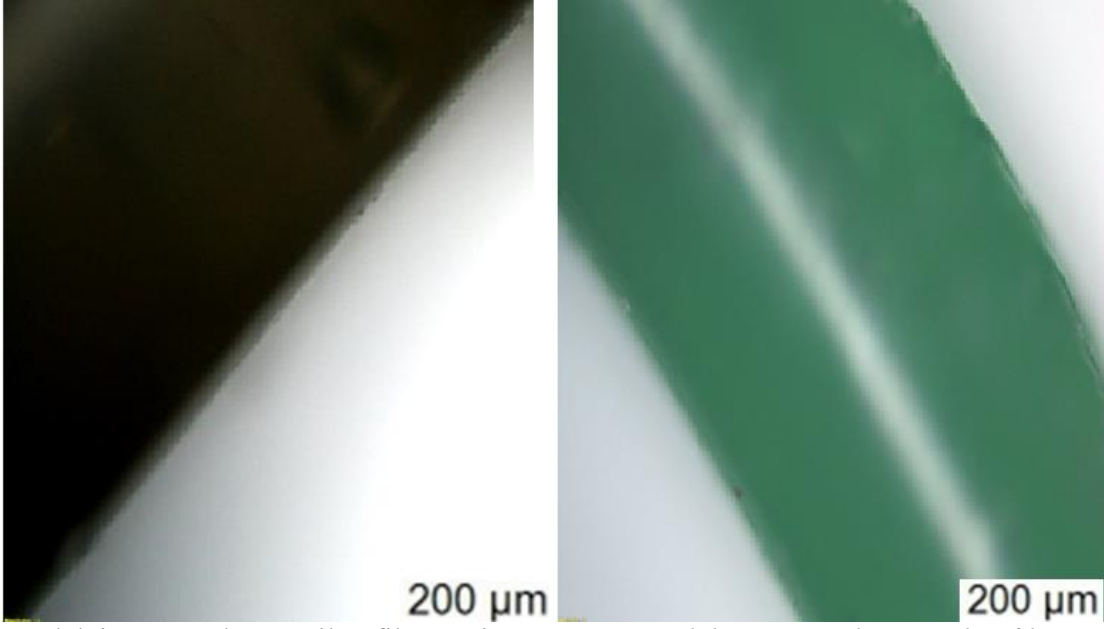
Şekil 10'da modelaj mumundan 0,6 mm'lik ve 1 mm'lik çaplı nozul kullanılarak üretilen filamentin esneyebilme özelliği ve yüzey pürüzlülükleri optik mikroskop fotoğrafları ile gösterilmiştir



(a) Modelaj mumunun kırılmadan esneyebilme özelliği (0,6mm çapındaki nozul)



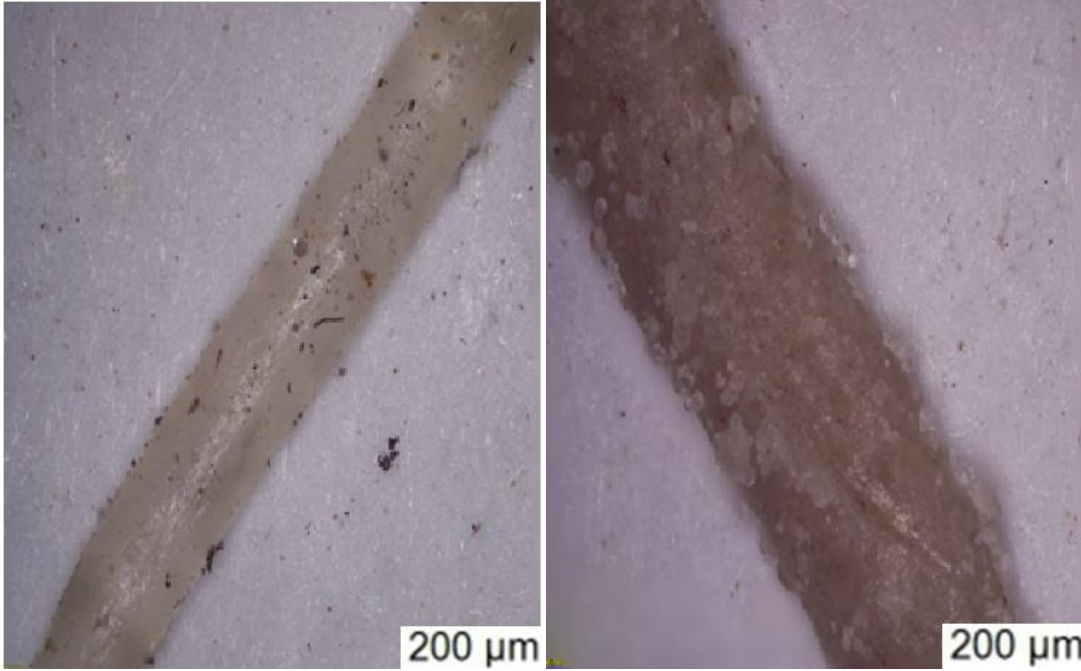
(b) Modelaj mumundan üretilen filamentin yüzeyinin pürüzlülüğü (0,6mm çapındaki nozul)



(c) Modelaj mumundan üretilen filamentin yüzeyinin pürüzlülüğü (1mm çapındaki nozul)

(d) Modelaj mumundan üretilen filamentin yüzeyinin pürüzlülüğü (1mm çapındaki nozul)

Şekil 10. Modelaj mumunun yüzey pürüzlülüğünün fotoğrafları



(a) Balmumundan üretilen filamentin yüzey pürüzlülüğü (1mm çapındaki nozul)

(b) Balmumundan üretilen filamentin yüzey pürüzlülüğü (1mm çapındaki nozul)

Şekil 11. Balmumunun yüzey pürüzlülüğü fotoğrafları

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada üç boyutlu yazıcılarda kullanılmak üzere mum baskısı yapabilen bir ekstrüder için tasarım ve denemeler gerçekleştirilmiştir. Mücevherat sektörü, yıllardan beridir hem yatırım hem de estetik açısından önem arz eden bir sektördür. Bu nedenle arz/talep hiç değişmemiştir. Yıllardır aynı yöntemin kullanıldığı kuyumculuk dökümü prosesine, tasarlanan ekstrüder ile hız, ekonomi, hassasiyet, esneklik katacak bir yenilik getirilmektedir. Filamanı baskı esnasında kendisinin üretmesi, prototipi daha ekonomik hale getirmektedir. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:



Şekil 12. Sonuç olarak alınan akışlar

- Yukarıdaki iki farklı mum malzemesinin akış fotoğrafları verilmiş olup her birinde akışlar 1mm nozuldan elde edilmiştir. Buradan genel olarak mum akışı için 1 mm nozul kullanılmasının isabetli olacağı sonucuna varılmaktadır.
- Balmumu, enjeksiyon mumu, modelaj mumu içerisinde akıcılık-yapışma-filament sürekliliği hususları dikkate alındığında, en uygun akışın modelaj mumu sayesinde elde edildiği, ayrıca balmumunun da alternatif olarak kullanılmasının mümkün olduğu sonucuna varılmaktadır.
- Yapılan tasarımlar arasında helezon itkili tasarımda; sıcaklık kontrolünün diğerlerine göre daha kolay olması, homojen ve sürekli bir sıcaklık elde edilebilmesi nedeni ile helezon itkili sistemin kullanılmasının uygun olduğu sonucuna varılmaktadır. Üstelik boyutlarının sadeliği nedeni ile de 3B yazıcılara montajı diğerlerine göre çok daha kolay olacaktır.
- Denemeler esnasında; fişek tipi, bant tipi, PTC taş tipi, şerit tipi, rezistans tel sarımı olmak üzere beş farklı tip ısıtıcı kullanılmıştır. Rezistans sarımları kısa devre vs... gibi nedenlerle patlamış, fişek tipi ısıtıcılar ise sadece geniş tanklarda fayda verebilmiştir. Ayrıca helezon sisteminde yer darlığı nedeni ile dıştan sarılan bant tipi ısıtıcı kullanılması gerekmiştir. Bant tipi ısıtıcının 220V ile çalışıyor olması da kullanım esnasında tercih edilir olmuştur.

Yukarıda yapılan izahatlar neticesinde nihai olarak aşağıdaki sonuca varılmıştır: Helezon mekanizmalı tahrik sistemi ile 1 mm nozul çapı, malzeme olarak modelaj mumu kullanımında 110 °C sıcaklıkta en uygun süreklilikte ve homojenlikte bir mum filament eldesi sağlanmıştır. İleride bu ekstrüderin üç eksenli bir hareket sistemine montajı gerçekleştirilerek parça üretim işlemleri yapılacaktır. Daha sonra üç adet helezonlu enjeksiyon sistemi beraber kullanılacak ve her bir helezon içerisine ayrı ayrı üç ana renk boya katılmış mumlar doldurulacak ve tek kanalda çıkış esnasında farklı miktarlarda dozlanarak istenen renklere sahip mum baskı yapılabilmesi mümkün olabilecektir. Bu sayede ürünün, sadece hassas döküm sektöründe değil aynı zamanda da hediyeelik eşya sektöründe de kullanılması planlanmaktadır. Ayrıca bu çalışmanın ileride parafinli kompozit malzemeleri konusuna genişletilmesi düşünülmektedir. Bu gibi geliştirmeler ile yeni çalışmalara ışık tutabilme potansiyeli de vardır.

## 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı “TUBİTAK 2241-A Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı” kapsamında destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna, bölüm hocalarımız Dr. Öğrt. Üyesi M.Kürşat YALÇIN, Dr. Öğrt. Görevlisi M.Ali EROĞLU’na, sanayi danışmanımız SKY Robot Teknolojileri Sanayi Ticaret Ltd. Şti’ne, yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

## REFERANSLAR

- [1]. Myszka, D., Skrodzki, M. “Comparison of dental prostheses cast and sintered by SLM from Co-Cr-Mo-W alloy”, Archives of Foundry Engineering, Volume 16, Issue 4, 1 December 2016, Pages 201-207
- [2]. Yao, L., Wang, Q., Xie, Q.-F., Liu, H.-R., Li, Y., Li, P.-J., Kong, S.-G., Li, J.-T. “Investment casting process of a superalloy thin-walled seal plate casting”, Chinese Mechanical Engineering Society, Volume 65, Issue 4, 10 April 2016, Pages 333-335
- [3]. Chung, C., Chen, Y.-J., Chen, P.-C., Chen, C.-Y.,” Fabrication of PDMS passive micromixer by lost-wax casting”, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Volume 16, Issue 9, 6 August 2015, Pages 2033-2039
- [4]. Jiang, L.-T., Bai, P.-K., Zhao, N., Liu, Y.-K., “Post treatment experiment of SLS parts of precision casting wax powders”, Zhuzao/Foundry, Volume 64, Issue 6, 1 June 2015, Pages 573-575 and 580
- [5]. Jaworski, J., Kluz, R., Trzepieciński, T., “Research on accuracy of automatic system for casting measuring”, Archives of Foundry Engineering, Volume 16, Issue 3, 1 September 2016, Pages 49-54
- [6]. Yang, M.-L., Liu, H.-R., Xie, Q.-F., Han, W., Wang, Z., Li, J.-T., “Investment casting of K4169 superalloy lower support abutment”, Chinese Mechanical Engineering Society, Volume 65, Issue 5, 10 May 2016, Pages 441-444
- [7]. Chang, W.-Y., Huang, C.-T., Lee, C.-K., Chang, R.-Y., “Numerical investigation and experimental validation for wax pattern formation through injection in investment casting” Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings 2015, Pages 1766-17697, 3rd Annual Technical Conference and Exhibition of the Society of Plastics Engineers, SPE ANTEC Orlando 2015; Orange County Convention Center Orlando; United States; 23 March 2015 through 25 March 2015; Code 125737
- [8]. Zong, J.B., Ding, J.H., Rong, Q.Q., Wang, D.Q., Gao, T., Li, X.M., “Steam dewaxing casting controller based on S7-200 PLC”, Applied Mechanics and Materials., Volume 385- 386, 2013, Pages 882-885 2013 International Conference on Mechanical and Electronics Engineering, ICMEE 2013; Tianjin; China; 17 August 2013 through 18 August 2013; Code 99784
- [9]. Nawi, I., Siswanto, W.A., Ismail, A.E., “A study of autopour in sand casting process”, Applied Mechanics and Materials Volume 660, 2014, Pages 74-78 5th International Conference on Mechanical and Manufacturing Engineering 2014, ICME 2014; Bandung; Indonesia; 29 October 2014 through 30 October 2014; Code 110759

*Geliş/Recieved: 21 Kas 2018/21 Nov 2018*

*Kabul Ediliş/Accepted: 26 Kas 2018/26 Nov 2018*