



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**3D YAZICILARDA KULLANILAN MUMLARIN
ÜRETİLMESİ VE GERİ KAZANILMASI**

MUSTAFA SÖYLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ ve MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2021

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

3D YAZICILARDA KULLANILAN MUMLARIN
ÜRETİLMESİ VE GERİ KAZANILMASI

MUSTAFA SÖYLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

KAHRAMANMARAŞ 2021

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

MUSTAFA SÖYLER



Bu çalışma KSÜ Bilimsel Araştırma Birimi (BAP Proje No:2020/4-8 YLS) tarafından desteklenmiştir.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bilgilerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**3D YAZICILARDA KULLANILAN MUMLARIN ÜRETİLMESİ
VE GERİ KAZANILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

MUSTAFA SÖYLER

ÖZET

Bu çalışmada hassasiyeti yüksek 3D yazıcılarda kullanılan mumların geri kazanılması ve mevcutun alternatifinin üretilmesi hedeflenmiştir. Kuyumculuk, dişçilik, gibi hassas mesleklerde kullanılan 3D yazıcılarda kullanılan mumlar daha esnek ve akışkan olmalıdır. Maliyeti çok yüksek olan bu mumları laboratuvar ortamında inceleyerek kullanılan mumları geri kazanmak ve yeni üretilen mumun daha esnek ve ekonomik olarak ucuz mal edimesi ve üretilmesi hedeflenmiştir.

İlk olarak 3D yazıcılarda kullanılan mumların kimyasal karakterizasyonu için FT-IR, XRD ve DSC analizleri yapılarak mumun içerisinde mikrokristalin, parafin, stearik asit ve polilaktik asit bulunduğu anlaşılmıştır. Bu veriler ile belirlediğimiz konsantrasyonlarda ve yeni üretim metoduyla 3D yazıcılarda kullanılacak mumun sentezi yapılmıştır. Sentezlenen mumların kimyasal karakterizasyonu sonucu elde edilen veriler orijinal mumu ait veri bilgileri ile benzerlik göstermiştir. Bu da mevcut 3D yazıcılarda yeni mumun kullanılabilceğini kanıtlamaktadır. Geri dönüşüm için ise 3D yazıcıların atık mumlarını 45°C de ısıtılmış selülozik tinerde ısıtılarak beyaz destek mumunun eriyip mavi renkli mumun erimediği görülmüştür. Mavi renkli muma ise bir miktar stearik asit ve polilaktik asit eklenmesiyle akışkanlığı sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: 3D Yazıcılar, Mum, Üretim, Geri Kazanma, DSC, XRD, FT-IR

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Şubat / 2021

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Alaaddin GÜNDEŞ

Sayfa Sayısı: 48

**THE PRODUCTION AND RECOVERY OF WAXES USED IN 3D PRINTER
(M.Sc. Thesis)**

MUSTAFA SÖYLER

ABSTRACT

In this study, it is aimed to recover the waxes used in highly sensitive 3D printers and to produce an alternative to the existing one. Waxes used in 3D printers used in precision professions such as jewelery, dentistry, etc. Should be more flexible and fluid. By examining these very costly waxes in the laboratory environment, it is aimed to recover the waxes used and to produce and produce the newly produced wax more flexible and economically cheaper.

First, for the chemical characterization of waxes used in 3D printers, FT-IR, XRD and DSC analyzes were performed and it was understood that the wax contained microcrystalline, paraffin, stearic acid and polylactic acid. The wax to be used in 3D printers were synthesized with the concentrations and production method we determined with these data. The data obtained as a result of the chemical characterization of the synthesized waxes were similar to the data of the original wax. This proves that the new wax can be used in existing 3D printers. For recycling, it was observed that the waste waxes of 3D printers were heated in cellulosic thinner heated at 45 °C, and the white support wax melted and the blue colored wax did not. The fluidity of the blue colored wax was achieved by adding some stearic acid and polylactic acid.

Keywords: 3D Printers, Waxes, Production, Recover, DSC, XRD, FT-IR

Kahramanmaraş Sütçü İmam University
Institute for Graduate Studies in Science and Technology
Department of Materials Science and Engineering, February / 2021

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Alaaddin GÜNDEŞ

Page Number: 48

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim ve tez çalışmalarım süresince ilgisini ve desteğini daima hissettiğim başta eşim Resmigül SÖYLER ve Anneme, Kuyumculuk Bölümü Öğretim elemanlarına ve mesleki bilgi ve tecrübeleri ile eğitimimde, çalışmalarım da beni yönlendiren tez danışmanlarım değerli hocalarım; Dr.Öğr. Üyesi Alaaddin GÜNDEŞ ve Dr.Öğr. Üyesi Gökhan CEYHAN'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bilimsel araştırma projesi kapsamında yapmış oldukları finansal desteklerden dolayı Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi BAP Birimi'ne teşekkür ederim.

Mustafa SÖYLER

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
EKLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. 3D Yazıcı Çalışma Mantığı	2
1.1.1. 3D Yazıcılar	2
1.1.2. Toz Bazlı 3D Baskı Teknolojisi (SLS)	4
1.1.3. 3D Yazıcılarda Eriyik Malzemenin Şekillendirilmesi (Material Extrusion) .	5
1.1.4. Mücevheratın Geleceği 3D Yazıcılar.....	6
1.1.5. 3D Baskıda Kullanılan Polimer Kompozitler	7
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	10
3. MATERYAL VE METOT	18
3.1. Materyal.....	18
3.2. Metot.....	19
3.2.1. Mum Üretimde Kullanılan Reaktör	19
3.2.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Cihazı (DSC).....	21
3.2.3. Fourier Transform Infrared Spektroskopisi (FT-IR)	21
3.2.4. X Işını Kırınımı (XRD)	22
3.2.6 Üretilen Mumun İncelenmesi Ve 3D Yazıcıda Denenmesi	24
3.2.10. 3D Yazıcılarda Kullanılan Mumların Geri Kazanılmasında Kullanılan Ultrasonik Cihaz	27

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	29
4.1. Üretilen Mumların FT-IR Spektrumlarının Değerlendirilmesi	29
4.2. Mumların Termogravimetrik Karakterizasyonu.....	33
4.3. Mumların XRD Yapısal Karakterizasyonu	37
4.4. Mumların Maliyet Karşılaştırması.....	40
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	42
KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ.....	46
EKLER	47



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Geleneksel endüstriyel robot sistemleri ve çalışma uzayları	3
Şekil 1.2. Kontrollü basınç filamentli 3D yazıcı	3
Şekil 1.3. Kimyasal Bağlayıcı Püskürtmeli 3D Yazıcı.....	4
Şekil 1.4. Seçici Lazer Sinterleme veya Seçici Lazer Eritme (SLS / SLM).....	5
Şekil 1.5. Farklı tiplerdeki 3D yazıcıların eriyik malzemeyi katman halinde oluşturma şekli	6
Şekil 1.6. 3D Yazıcılarda Kullanılan Kompozit Malzeme Türleri.....	9
Şekil 1.7. 3D Yazıcılarda Kullanılan Polimer Kompozit Malzeme Çeşitleri.....	9
Şekil 2.1. Polimer matrisli kompozitlerin 3D üretilmesinde kullanılan vidalı ekstrüzyon aparatı	10
Şekil 2.2. Dikey extruder	11
Şekil 2.3. Dikey extruderde üretilen yeni ürün.....	12
Şekil 2.4. Moldlay Filament- 1.75mm 0,75 kg.....	13
Şekil 2.5. Yolluk sistemi yapımı	13
Şekil 2.6. Bulamaç kaplama işlemi	14
Şekil 2.7. Filament eritme işlemi.....	15
Şekil 2.8. HDPE türü plastikler	15
Şekil 2.9. Erime akış indeksi plastomeri	16
Şekil 2.10. Döküm mumu.....	17
Şekil 0.1. Kullanılan kimyasal maddelerin yüzdeler oranları	20
Şekil 0.2. Mumun üretilme aşamaları.....	20
Şekil 0.3. Perkin Elmer marka DSC 4000 Model Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Cihaz	21
Şekil 3.4. Perkin Elmer 400 FT-IR cihazı	22
Şekil 3.5. X`Pert PRO marka XRD cihazı	23
Şekil 3.6. X`Pert PRO marka XRD cihazı iç görünümü	23

Şekil 3.7. Üretilen 3D yazıcı Mumu.....	24
Şekil 3.8. Projetmjp 3600w 3D yazıcı.....	25
Şekil 3.9. Matrix Gold.....	25
Şekil 3.10. Projetmjp 3600w 3D yazıcı iç görünümü	26
Şekil 3.11. Matrix programında çizilen yüzüklerin 3D yazıcı iç görünümü	26
Şekil 3.12. Ultrasonik Cihaz.....	27
Şekil 3.13. Ultrasonik cihaza atılan atık mum.....	27
Şekil 3.14. Ultrasonik cihazda ayrılmaya başlayan beyaz ve mavi mum	28
Şekil 4.1. Atık Mumun FT-IR Spektrumu.....	29
Şekil 4.2. Çalışmada elde edilen mumun FT-IR Spektrumu.....	30
Şekil 4.3. Orijinal Beyaz Renkte ki Mumun FT-IR Spektrumu.....	31
Şekil 4.4. Orijinal mumun FT-IR Spektrumu.....	32
Şekil 4.5. Orijinal mum (gri), beyaz destek mumu (Mavi), ürettiğimiz mum (Siyah) ve atık mumun (Pembe) birleştirilmiş FT-IR Spektrumu	33
Şekil 4.6. Orijinal muma ait DSC eğrisi.....	34
Şekil 4.7. Yeni üretilen mumum DSC grafiği	35
Şekil 4.8. Geri Dönüştürülen mumum DSC grafiği	36
Şekil 4.9. Orijinal, Yeni üretilen ve Geri dönüştürülen mumların DSC grafiklerinin karşılaştırılması.....	36
Şekil 4.12. Geri dönüşüm mumunun XRD grafiği.....	39
Şekil 4.13. Orijinal, üretilen ve geri dönüşüm mumlarının XRD eğrilerinin karşılaştırılması	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Kullanılan cihazlar.....18

Çizelge 3.2. Kullanılan kimyasal maddeler.....18



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

3D	: Üç boyutlu
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
PMC	: Polimer Matris Kompozit
FDM	: Fused Deposition Modelling
ASTM	: Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
PLA	: Polilaktik asit
Gr	: Gram
ML	: Mililitre
AR-GE	: Araştırma geliştirme
ÜR-GE	: Uluslararası Rekabetçiliğin Geliştirilmesi
ÜSKİM	: Üniversite Sanayi Kamu İş birliği, Uygulama ve Araştırma Merkezi
MYO	: Meslek Yüksek Okulu
XRD	: X Işını Kristalografisi
FT-IR	: Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Spektroskopisi
ABS	: AkrilonitrilBütadienStiren
PVA	: Polyvinylalcohol
PETG	: Polietilen Tereftalat
3DP	: 3 Boyutlu Baskı
SL	: Seçici Lazer
SLS	: Seçici Lazer Sinterleme
FDM	: Kaynaştırılmış Birikim Modellemesi
STL	: Stereolitografi
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım

EKLER DİZİNİ

EK 1. Parafin Mumun XRD Pikleri	47
---------------------------------------	----



1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte gelişen teknoloji ve bu teknolojinin getirdiği yenilikler sonucunda insanlar hayal ettikleri teknolojik ürünleri daha kolay elde etme ve üretme isteği doğmuştur. Bu nedenle ihtiyaca cevap verecek teknolojik ürün ise 3D yazıcılardır. Kuyumculuk, Dişçilik, Havacılık, Tıp gibi mesleklerde kullanılan 3D yazıcılar daha hassas olduğu için bu yazıcılarda kullanılan mumlar esnek ve akışkan olmalıdır. Ayrıca 3D yazıcılar sadece mum ve plastik değil metal ve tıp alanında organ üretiminde yapılmaktadır. Görüldüğü gibi 3D yazıcılarda kullanılan malzemeler bir hayli fazladır. Kullanıldığı alana görede 3D yazıcı malzemesi de hızla gelişmeye devam etmektedir (Wu ve ark., 2017; Xiao ve ark., 2018).

1980'lerde Japonyanın Nagoya beldesinde Endüstriyel Araştırma Enstitüsü'nden Kodama tarafından tek lazer tabanlı kütleme sisteminin tanıtımı, üç boyutlu nesnelere oluşturmak için yeni bir yol açtı (Farid ve ark., 2015). 1989'da S. Scott Crump, daha sonra erimiş birikim modellemesi olarak bilinen üç boyutlu polimer parçaları oluşturmak için ekstrüzyon tabanlı bir yöntem icat etti. Teknoloji daha sonra 1984 yılında Dr. Chuck Hull tarafından geliştirildi ve ticarileştirildi (Crump, 1992). Bu yaklaşım, 3D yazıcıların katman katman oluşturma süreçlerinin temelini oluşturdu ve yeni nesil 3D üretim teknolojilerini tetiklemiştir. Katmanlı üretim veya yaygın olarak 3D baskı olarak bilinen, geleneksel üretim süreçlerinin aksine karmaşık ve net şekle yakın nesnelere oluşturmak için bir tür katman oluşturma tekniğidir. Katmanlı üretim, özelleştirme, hızlılık, malzeme ayarlama kabiliyeti, montaj adımı olmaması veya daha az olması nedeniyle yeni bir üretim çağı yarattı. Yıllar içinde, katmanlı üretim aynı zamanda sadece bir model prototipleme yönteminden ölçeklenebilir ve kullanıma hazır pratik bir üretim sürecine dönüşmüştür (Ejdar, 2015).

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte Kuyumculuk sektöründede 3D yazıcı kullanımı hızla artmaktadır. 3D yazıcıların kullanılması da kuyumculuk sektöründe yeni model yarışını başlatmıştır. 3D yazıcı çeşitlerini plastik, metal 3D yazıcı başlıkları altında toplayabiliriz. Kullanım alanlarına göre daha birçok modelleri bulunmaktadır (Simhan ve ark., 2018). 3D yazıcılarda kullanılan mumlar gerekli Ar-Ge ve Ür-Ge yapılarak üretimi sağlanmıştır. Mumlar Hassasiyeti yüksek 3D yazıcılarda beyaz destek mumu ve mavi ya da mor model mumu olarak iki çeşit kullanılmaktadır. Bu mumlar 80°C de erimektedir.

Maliyeti çok yüksek olan bu mumları laboratuvar ortamında inceleyerek kullanılan mumları geri kazanmak ve yeni üretilen mumun daha esnek ve ekonomik olarak ucuz mal edimesi ve üretilmesi hedeflenmiştir. Üretilen yeni mumun 3D yazıcılarda kullanılması sağlanacaktır.

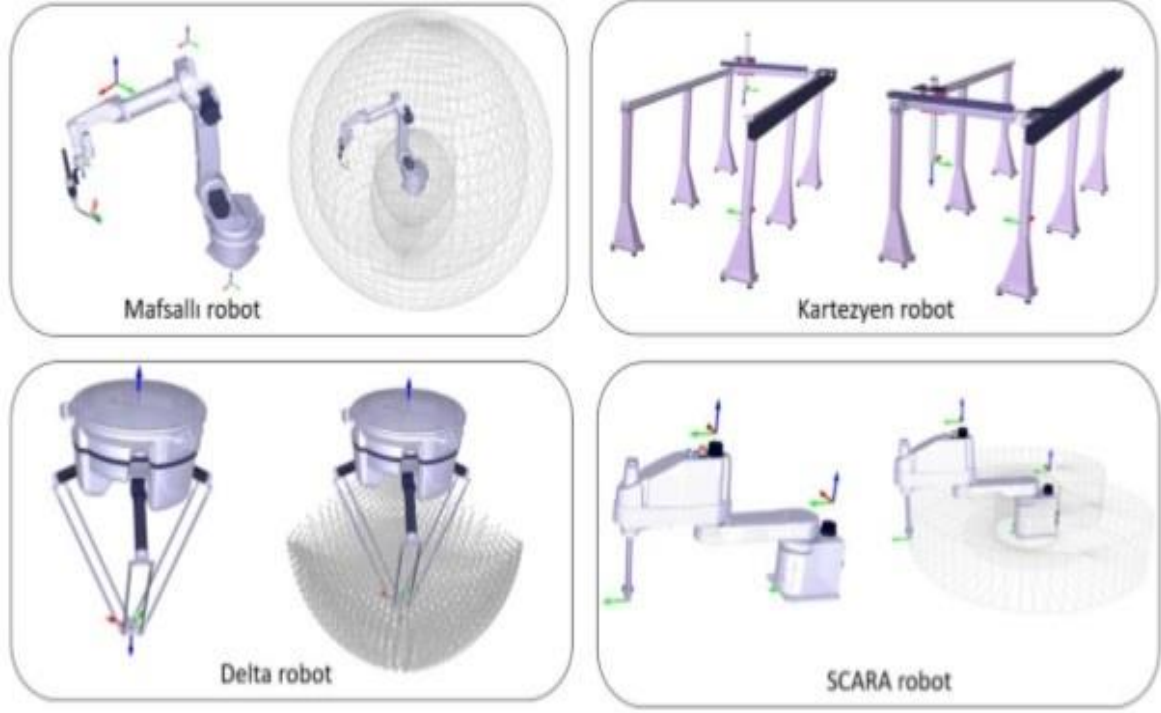
Bu çalışmada; hassasiyeti yüksek 3D yazıcılarda kullanılan mumların geri kazanılması ve üretilmesi, kuyumculuk ve dişçilik sektörünün gelişmesine ve Türkiye ekonomisine katkı sağlanması hedeflenmiştir. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi ÜSKİM laboratuvarında ve Teknik Bilimler M.Y.O. Kuyumculuk ve Takı Tasarımı Programında gerekli incelemeler ve deneyler yapılmış, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi ÜSKİM laboratuvarında XRD, DSC, FT-IR da incelendikten sonra başarılı bir şekilde yeni ürün elde edilmiştir. Elde edilen yeni ürün Kuyumculuk ve Takı Tasarımı Programında bulunan 3D yazıcıda denenmiştir.

1.1.3D Yazıcı Çalışma Mantığı

3D yazıcılarda çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Bunların başlıcaları WAX, PVA, ABS, PLA, PETG gibi kullanılan reçine ve mumlardır. Kullanılan yöntemler ise Polyjet 3DP, SL, SLS, FDM, gibi yöntemlerdir. 3D yazıcı çeşitleri ise Kartezyen, Polar, Delta, Scara gibi çalışma yöntemlerine göre çeşitlilik göstermektedir. 3D yazıcıların çalışma prensibi ise katman katman üretme prensibine dayanmaktadır (Altan ve ark., 2018).

1.1.1. 3D Yazıcılar

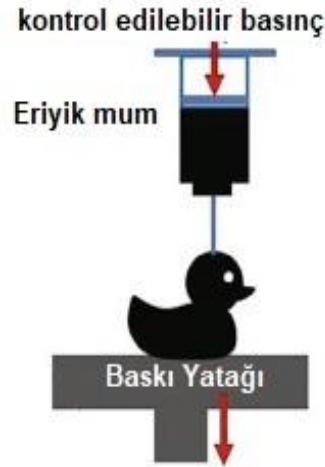
Piyasada birçok farklı yazıcı bulunmaktadır. Bunlardan en çok kullanılan yazıcı çeşitleri ise Kartezyen 3D Yazıcı, Polar 3D Yazıcı, Delta 3D Yazıcı ve Scara3D Yazıcıdır. Yine İçlerinde en çok tercih edileni ise Kartezyen çalışma metoduyla çalışan 3D yazıcılardır. Kullanımı kolay ve çabuk toparlanması ile tercih edilen Kartezyen metodu 3D yazıcıdır. Neredeyse her alanda kullanılmaktadır. Kartezyen metodu ile çalışan 3D yazıcılarda yine kendi içerisinde hassasiyeti yüksek daha akıcı bir malzemeyle çalışanlar ve hassasiyeti düşük herkesin kolayca alabileceği, malzemesi sert olan Kartezyen metodu ile kullanılan 3D yazıcılar bulunmaktadır. Kartezyen 3D yazıcılar X, Y, Z doğrultusunda hareket ve koordinatlarını yürüten ve sadece 3 doğrusal ekseninde çalışan bir 3D yazıcı çeşidi Şekil 1’de verilmiştir (Özsoy ve ark., 2017).



Şekil 1.1. Geleneksel endüstriyel robot sistemleri ve çalışma uzayları (Dilibal ve ark. & Sahin ve ark., 2016)

Ekstrüzyon tabanlı 3D baskı yöntemlerinin arasında en çok bilinenler FDM tabanlı baskı yöntemidir. Fdm tabanlı 3D baskı yönteminde termoplastik bir filament veya mum eritilerek basınç kuvvetinin etkisiyle X, Y, Z hareketli bir yatak düzlemi üzerinde hareket eden 0.2mikron kalınlığındaki küçük kanallardan erimiş filamentin veya mumun püskürtme işlemi Şekil 1.1’de gösterilmiştir. (Mojtaba ve ark., 2020)

Bir diğer FDM tabanlı 3D yazıcı çeşidinde ise mum doğrudan objeyi oluşturur (Şekil 1.2)

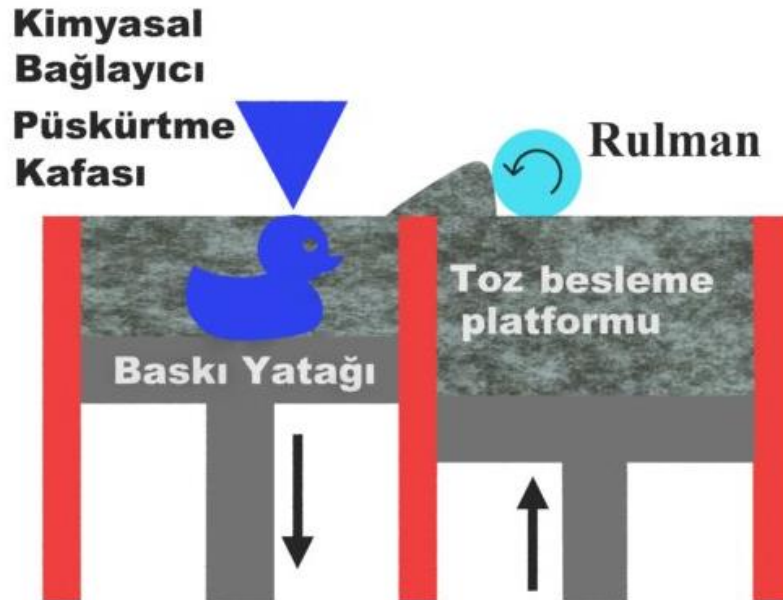


Şekil 1.2. Kontrollü basınç filamentli 3D yazıcı

FDM baskılı polimerik parçalar, katmanlı yapıları nedeniyle anizotropik özellikler gösterir. Katman katman oluşumlarda katmanların araları homojen olmaması nedeniyle kusurlu ara tabakalar oluşmuştur. Kazan sıcaklığının iyi ayarlanması ve baskı hızının daha hassas ayarlanması ve katman kalınlığını daha ince tutmak kusurlu ara tabaka oluşmasının önüne geçilmiştir (Hamod, 2014). FDM tekniği kullanılarak yapılmış kompozit bir ürünün imalatı, 3D yazıcı ayarlarını daha hassas olmasına dikkat edilmesi gerekir. FDM yönteminin en önemli zorluklarından biri, homojen bir takviye dispersiyonu sağlamak yani kullanılan mumun veya filamentin daha homojen bir yapıya sahip olması gerekir ve filamentin imalat işlemi sırasında boşluk oluşumunu engellemek gerekir. Erimiş kompozit filamentin esnekliğinin de ekstrüde edilmiş malzemenin uygun bir koyulukta olması için kontrol edilmesi gerekir. Filament, bir piston rolünü oynayacak ve işlem sırasında malzemeyi itecek kadar akışkan olmalıdır (Wang ve ark., 2017).

1.1.2. Toz Bazlı 3D Baskı Teknolojisi (SLS)

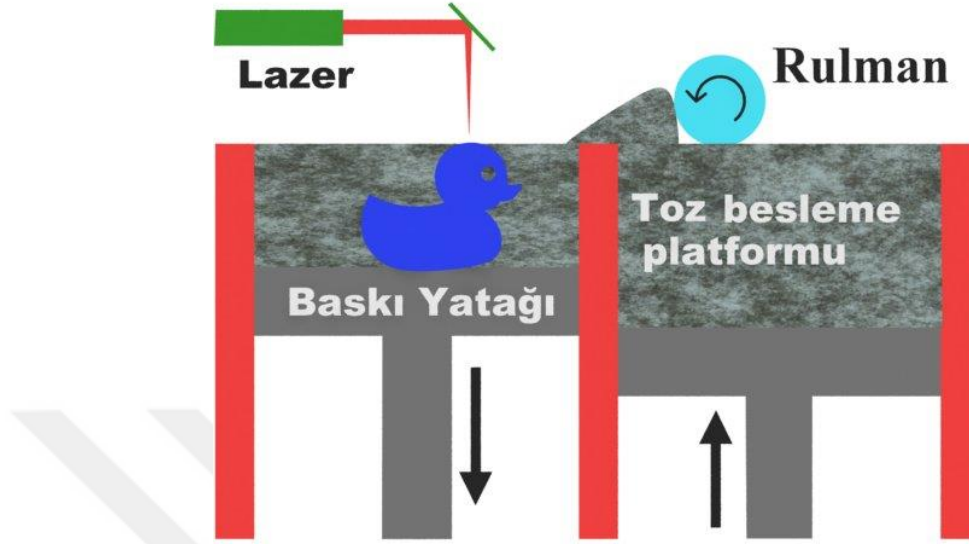
Toz bazlı tekniklerde, toz malzemeleri bir toz yatağı üzerinde katman katman yerel olarak bağlamak için bir lazer ışını veya bir kimyasal bağlayıcı kullanılır. En yaygın toz bazlı teknik ise toz partiküllerini birleştirmek ve katman katman oluşturmak için toz yatağına kimyasal bir bağlayıcının püskürtülmesidir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Kimyasal Bağlayıcı Püskürtmeli 3D Yazıcı

Seçici Lazer Sinterleme veya Seçici Lazer Eritme (SLS / SLM), Toz bazlı 3D baskı teknolojisi türlerinin diğer bir çeşididir; burada bir lazer ışını, bireysel katmanlar

oluşturmak ve bir ürün oluşturmak için önceden tanımlanmış bir yolda bağlayıcı partikülleri lazer sistemiyle sinterler veya eritir (Şekil 1.4).



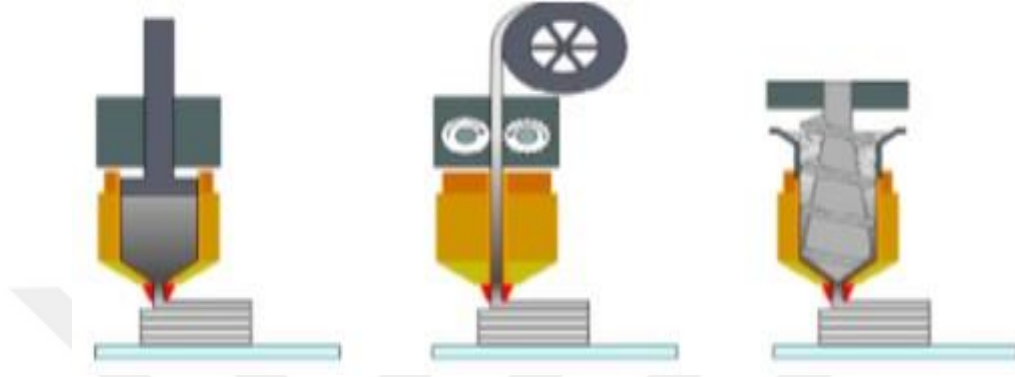
Şekil 1.4. Seçici Lazer Sinterleme veya Seçici Lazer Eritme (SLS / SLM)

Bu teknikler, geniş bir 3D yazıcı teknoloji yelpazesini geliştirmek için farklı malzemeleri karıştırmanın kolaylığı nedeniyle kompozit malzemelerin işlenmesinde zemin kazanmıştır. Sıvı faz sinterleme veya kısmi eritme işleminde, yapısal malzeme katı fazdadır ve bağlayıcı, lazer gücü ile eriyen tek parçadır. Bununla birlikte, tam erimede hem toz hem de bağlayıcı sıvılaştırılır. Bu yöntem, sıvı faz sinterleme kullanılırken polimer matris kompozit üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Balwant ve ark.,2020). Bazı durumlarda, yüzey enerjisini azaltmak ve polimer matris içinde nano parçacıkların homojen bir dağılımını sağlamak için toz partikülleri uygun bir yüzey aktif cismi ile kaplanır. Ayrıca inorganik malzemeler, lazer-parçacık etkileşimini iyileştirmek için ek işlemlere ihtiyaç duyar. Karma tozun sinterleme davranışında gözle görülür bir iyileşmeye ve basılı nesnelerin mekanik özelliklerinde bir artışa yol açan bir çekirdek-kabuk polimerik kompozit oluşturmak için alümina nano partiküller bir polistiren kaplama ile modifiye edilmiştir (Sing, 2019).

1.1.3. 3D Yazıcılarda Eriyik Malzemenin Şekillendirilmesi (Material Extrusion)

3D baskıda FDM yöntemi Katı haldeki malzemeyi (mumu) şekillendirmek için malzemeye ısı işlem uygulayarak sıvı hale getirilip, üç boyutlu bir yapı meydana getirmek ve eriyik haldeki bu sıvıyı katmanlar halinde oluşturmak için, bir kanaldan içeri

itmekten ibarettir. (Turner ve ark., 2014). Bir katman oluştuktan sonra ya alttaki platform aşağı hareket eder ya da erimiş mumu püskürten kafalar yukarı doğru hareket ederek 2. Katmanı oluşturmaya başlanmaktadır. 2. Katmanda oluştuktan sonra 1. Katmana yapışmakta ve böylece her oluşan bir katman önceki katmana yapışarak oluşmakta olan bu durum Şekil 1.5’de gösterilmektedir (Gonzalez ve ark., 2018).



Şekil 1.5. Farklı tiplerdeki 3D yazıcıların eriyik malzemeyi katman halinde oluşturma şekli (Gonzalez ve ark., 2018)

3D baskı olarak da bilinen katmanlı imalat, özellikle geometrik olarak karmaşık ve çok malzemeli bileşenler için üretim maliyetini ve süresini büyük ölçüde azaltmıştır. Konvansiyonel üretim teknikleri, yüksek güvenilirlik ve düşük ortalama toplam maliyet nedeniyle normal ürünlerin seri üretiminde hala tercih edilmekle birlikte, yüksek maliyet nedeniyle düşük hacimli ve özel imalat için olumsuz bir durum oluşturmaktadır. Bununla birlikte, 3D baskı, ayrıntılı tasarımlara izin veren bir alternatif olma potansiyeline sahiptir. Bununla beraber 3D baskı, parça sayısını en aza indirir, toplam ağırlığı azaltır ve ürünün ayrıntılarını yapmayı kolaylaştırır. Tasarım komplikasyonlarını azaltır ve nihai ürünler için daha fazla işlevsellik sağlar. 3D baskı, envanter alanı ihtiyacını da ortadan kaldırır.

1.1.4. Mücevheratın Geleceği 3D Yazıcılar

3D yazıcıların icadı ile soyut düşüncelerimizin kolaylıkla somut 3D baskı nesnelere oluşturulmasını sağlamıştır. Mücevherlerin eşsiz güzel dünyasına büyük katkı sağlayan 3D yazıcılarıdır. 3D yazıcılarla Mücevheratın modasını hızla değişime uğratmıştır. Bunun yanında el tasarımında büyük önem verilmesini sağlamıştır (Injection wax, 2007).

Önce el tasarımı yapılan mücevherin daha sonra 3D çizimi yapılır. Eğer el çiziminin yapılabilirliği, kullanılabilirliği kısacası mücevheratın teknik bilgileri

kullanılarak çizilmiş ise 3D çizimi çok kolay çizilir. Teknik bilgi olmadan çizilen tasarımlar ne kadar güzel olursa olsun sadece resimde kalır. Asla takıya dönüşmez. 3D çizim için çeşitli programlar kullanılmaktadır. Bunların başlıcaları; Rhinoceros 3D, Matrix 3D, Rhino Gold, RhinoJewelry gibi programlardır. Bu programların herhangi birinde çizilen tasarımlarımız 3D çizimi yapılmış olur. Böylece takımımız 3D dünyasına ilk adımını atmış olur. 3D Çizimi yapılmış olan takımımız 'STL' formatına çevrilerek 3D yazıcıya gönderilir. 3D yazıcının gerekli hasas ayarları yapıldıktan sonra 3D baskımız yapılır. 3D baskıdan çıkan mum halindeki takımımız, döküm işlemi yapılarak metale dönüştürülmüştür (Why 3D Printing is The Future For Fine Jewelry, 2020).

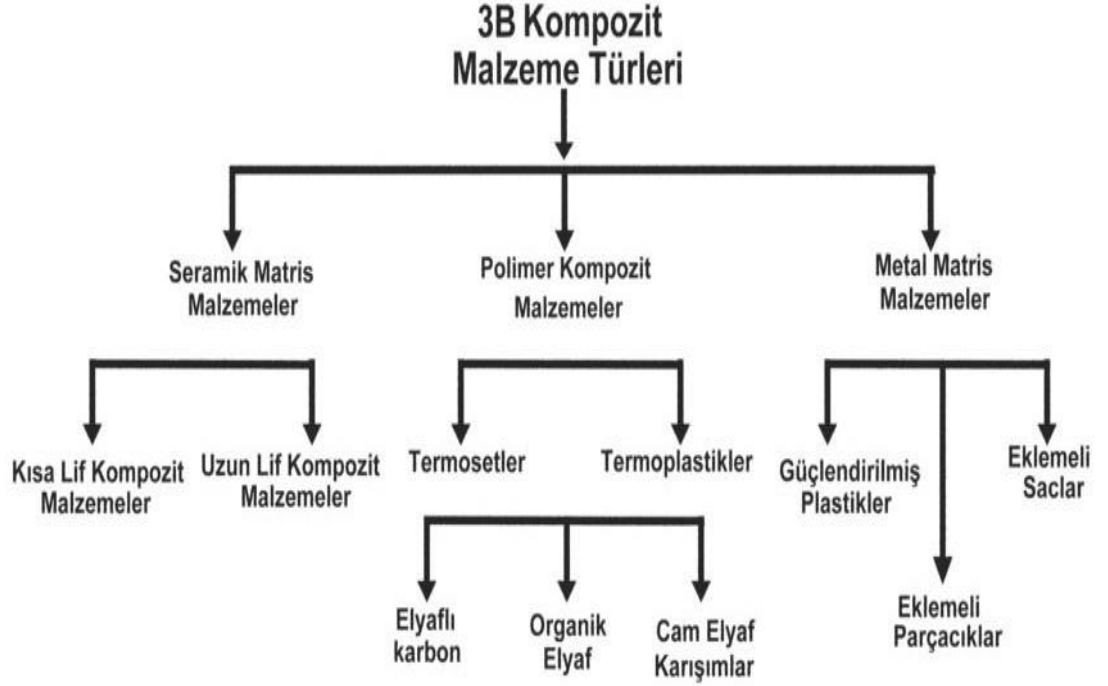
1.1.5. 3D Baskıda Kullanılan Polimer Kompozitler

3D Baskı, katman katman olarak üretilen bir dizi gelişmiş üretim tekniğidir. Polimerler, metaller gibi geniş malzeme yelpazesini kullanan karmaşık tasarımlara sahip özelleştirilmiş ürünlerdir. Seramikler, kompozitler vb. gibi. 3D yazıcılar, değişken mekanik, karmaşık yapılar üretme kabiliyetleri nedeniyle günümüzde endüstrinin ihtiyacı haline gelmektedir. 3D baskı için kullanılan farklı Polimer Matris Kompozit (PMC) malzemeler bulunur. Bu malzemeler değişken mekanik, termal, elektriksel ve tribolojik özellikler sergilerler. Bu çalışmamızda aynı zamanda farklı polimer işleme tekniklerini, benimsenen metodolojiyi ve polimer matris kompozitlerin özelliklerini araştırmak için yapılan son çalışmaların bulguları vurgulanmaktadır. Ayrıca her çalışmada geliştirilen materyalin uygulanabilirliği belirtilmiştir. Özellikle kompozit yapılar olmak üzere 3D baskı malzemeleri Biyomedikal, Havacılık, Askeri, Otomobil ve süs eşyaları / mücevherat gibi çeşitli alanlarda giderek artan uygulamalara sahip olduğu bilinmektedir (Boparai ve ark., 2015).

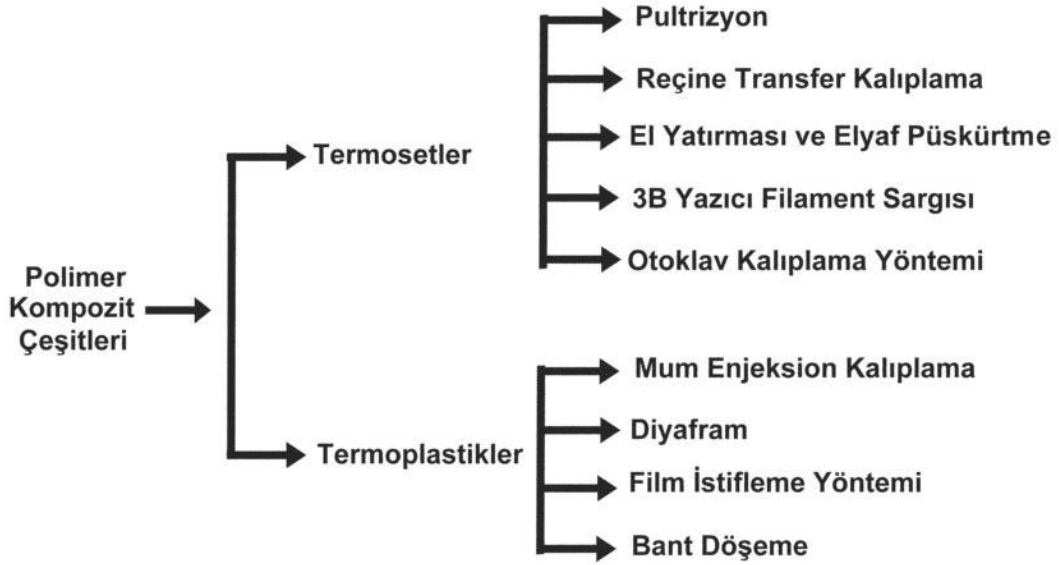
3D baskıda farklı polimer kompozitlerin geliştirilmesinde çalışan araştırmacıların metodları vurgulanmıştır. 3D baskı (Eklemeli Üretim ve Hızlı Prototipleme) doğrudan 3D dijital verilerden prototiplerin veya son kullanım bileşenlerinin üretimi için kullanılan bir süreçtir. Bu teknolojilerin en büyük avantajlarından biri, kısa zamanda teslim süresi ve maliyeti en aza indirilmiş ürünlerin imalatıdır. 3D baskı, geleneksel üretim sisteminde kullanılan çıkarma ve birleştirme işlemlerinin aksine malzeme katmanlarının katman istiflenmesi esasına göre çalışır. 3D baskı süreci, Auto Cad, Solidworks, 3d max, Rhiceros 3D, Catia, Creo gibi uygun bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları kullanılarak çizilebilen kavramsal üç boyutlu ürün modeli ile başlar. STL e çevrilen çizimler 3D yazıcıya gönderilir (Singh ve ark., 2019). Daha sonra SLA ve FDM yazıcılarda baskıya

gelir FDM yazıcılarda, farklı polimer matris kompozitlerden oluşan besleme stoğu filament teli kullanılarak ince ardışık katmanların ekstrüzyonu ile kişiye özel ürünler elde edilebilir (Singh, 2018). Polimerler, 3D baskıda yaygın olarak kullanılmaktadır, ancak günümüzde 3D baskı için kullanılan hammaddeler, nihai ürünün çeşitli özelliklerini gereksinimlere göre elde etmek için farklı polimer kompozitler kullanılarak yapılmaktadır. Yazıcının nihai ürünü üretmesi normalde birkaç saat sürer; temel olarak süre, üretilecek parçanın boyutuna ve 3D baskı için kullanılan yazıcı türüne bağlıdır. 1987'de, FDM yazıcı, çeşitli malzemeler ve kompozitler kullanarak prototip hazırlama sürecinde devrim yaratan Stratasys tarafından tanıtılmıştır. 2009 yılında, ASTM Komitesi F42'yi, geleneksel üretim süreçlerine göre çok sayıda avantaja sahip olduğunu gösteren Katmanlı Üretim hakkında bir rapor yayınladı. 3D yapıları ve öğeleri imal etmek için oluşturulmuş başlıca farklı 3D baskı çeşitleri bulunur. En popüler 3D yazıcı türleri, kaynaştırılmış birikim modellemesi (FDM), reçineli ve lazerli sistem (SLA), dijital ışık işleme (DLP), seçici lazer Sinterleme (SLS), lazer ile eritme sistemi (SLM), lamine obje üretimi (LOM) dir. Popüler olarak kullanılan bu yazıcıların çeşitli kompozit polimer malzemeleri vardır. Bu teknoloji, son yıllarda sanat, mimarlık, havacılık, inşaat mühendisliği, optik, nano teknoloji, biyoloji ve doku mühendisliğinde kapsamlı olarak uygulanmıştır. Kalıplama, döküm, şekillendirme ve işleme gibi geleneksel üretim teknikleri seri üretime çok uygun olsa da karmaşık ve çok malzemeli yapıların tasarımı ve kontrolü üzerinde çok etkili değildir. 3D baskı, bilgisayar destekli bir süreç kullanarak bu kısıtlamaları azaltmıştır. Bu teknik, üç boyutlu bir bilgisayar modelinden bir nesne oluşturmak için malzemelerin 3D yazıcıda katman man o birleştirilmesine dayanır (Parandoush ve ark., 2017).

PMC'ler, bir matris malzemesinin lifleri arasında yükleri taşımaya yöneliktir. PMC'ler, Şekil 1.6'da gösterildiği gibi farklı matris malzeme türlerine göre sınıflandırılır.



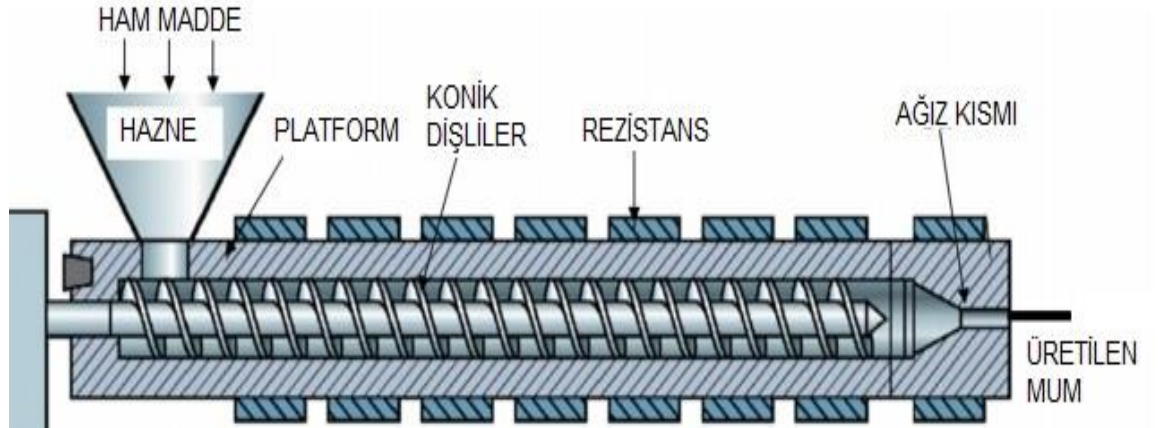
Şekil 1.6. 3D Yazıcılarda Kullanılan Kompozit Malzeme Türleri



Şekil 1.7. 3D Yazıcılarda Kullanılan Polimer Kompozit Malzeme Çeşitleri

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Balvant (2020) ve arkadaşları bu çalışmada işlenmiş polimerlerle ve kompozitler geliştirmiş ve özelliklerine bakmıştır. İlk olarak işlenmiş polimerleri extruder da üretimi yapmıştır. Kapsamlı araştırma olmasına rağmen sadece polimer matris kompozitler üzerinde araştırmalar gerçekleştirmiş, kaynakların sınırlı olması sebebiyle araştırma 3D'nin termal ve elektriksel özelliklerinden faydalanarak basılı parçalar yapmıştır. Kompozitlerin mekanik özellikleri ve farklı özellikleri 3D baskı teknikleri ile geliştirmiştir. Hibrit malzemeler, istenen özellikleri elde etmek için polimer matris içinde gerekli miktarda farklı takviye karıştırılarak geliştirilmiştir. Vida ekstrüzyon işlemi, FDM yazıcıları için hammadde olarak kullanılan filamenti sağlayabilmiştir. Bu malzemeler, katman biriktirme stratejilerini değiştirerek daha da değiştirilebilen farklı özellikler sergilemiştir. Bu tür meta malzemeler yönsel özelliklere sahiptir ve gelecekte akıllı malzemelerin geliştirilmesi için kullanılabilir. Farklı kompozit malzemelerin ve üretim tekniklerinin mekanik özellikler açısından karşılaştırılmış bir vidalı ekstrüzyon aparatı Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Polimer matrisli kompozitlerin 3D üretilmesinde kullanılan vidalı ekstrüzyon aparatı (Balvant, 2020).

Kutval ve Kaçar (2019) yaptığı çalışmada, 3D (Üç boyutlu) yazıcılarda kullanılan mumları bir ekstruder yardımıyla belli bir derecede ısıtıp, belli bir basınç altında mumları püskürtme prensibiyle çalışan bir ekstruder tasarlamak ve Kuyumculuk gibi mesleklerde kullanılan dökümlerde (Hassas Dökümlerde) kullanılan mum modellerini 3D yazıcılarda kullanmayı hedeflemiştir. Hassas döküm, özellikle kuyumculukta üretilen takıların daha hafif ve daha kullanışlı olması için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, kolay eriyebilen

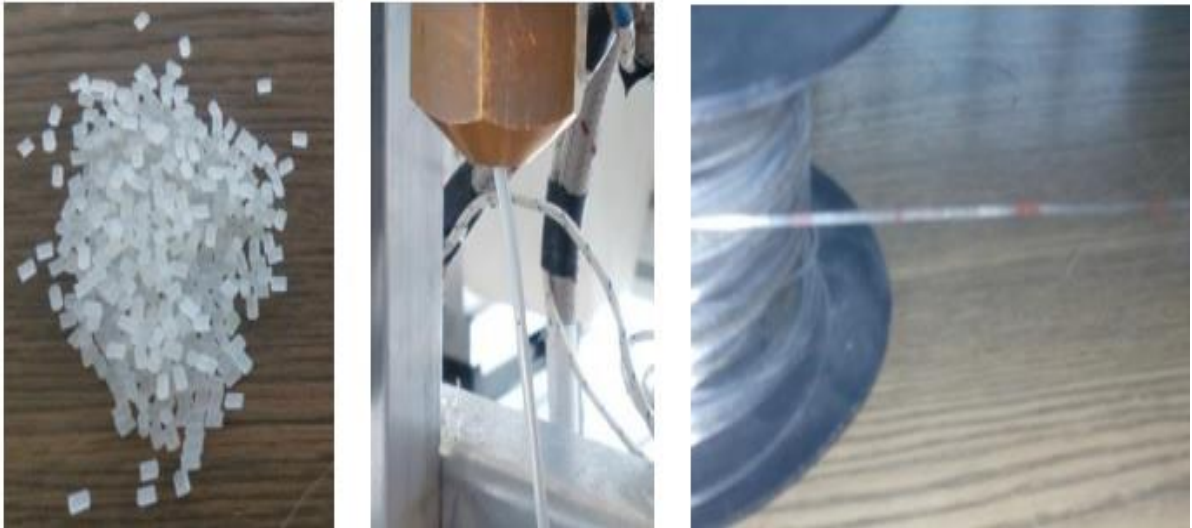
ve akışkan olan mumları kullanarak, kuyumculukta ağaç denen, yaklaşık 25 cm uzunluğunda ve geniş ucu 1 cm çapında, dar ucu 0,5 cm çapında olan süzme şeklinde bir muma, 3D yazıcılarda üretilmiş mumları bir lehim makinesi kullanarak mumdan oluşan bu ağaca paralel ve yaklaşık 30° lik bir açıyla hafif dik olarak kaynatıp, alçıya alınır. Daha sonra donan bu alçı ısıtılıp içerisindeki mumlar erir ve modellerin boşlukları oluşur. İşte bu boşluklara da ergitilmiş metal dökülerek, döküm işlemini tamamlamıştır. Bu çalışmada beş farklı yöntem kullanılmıştır. Farklı sıcaklıktaki mumları, farklı mum malzemeleri kullanarak farklı nozul çapta ekstrüderi tasarlanmış, 3D yazıcı prototipleri yapılarak deneyler yapılmıştır.

Aydın, (2018) çalışmasının amacı, dikey ekseninde çalışan ve termo plastik granüller kullanarak filamentler üreten masaüstü ve küçük ölçekli bir ekstrüder tasarlanmış hali Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Dikey extruder (Aydın, 2018)

Termo plastik malzemeler tasarlanmış ekstrüderde vidalı mil ile nozul içerisine mil ile itilmektedir. Nozul çıkışındaki granüller ısıtma bandı ile eritildikten sonra 1.75 mm çapında filamentler üretilerek fan ile soğutulmuştur. Ekstrüder dikey eksene yerleştirildiğinde erimiş plastik malzemelerin doğal yerçekimi nedeniyle herhangi bir dış kuvvet olmaksızın akması sağlanmıştır. Filamentlerin makara tutucusunu kontrol etmek ve tetiklemek için arduino kontrol kartı, kademeli motor ve filamentlerin uzunluğunu ölçen sensörler kullanılmıştır. Dikey ekstrüder ile PLA (polilaktik asit) ve Stearik asit, Mikrokristalin kullanılarak ticari PLA filamentleri üretilmiş bir şekli Şekil2.3'te gösterilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde Çekme testi basmak için kullanılmış ve bu numunelerle çekme deneyleri yapılmıştır. Saatte tüketilen elektrik gücü, üretilen filament miktarı ve hammadde başına tüketilen enerji ölçülmüştür.



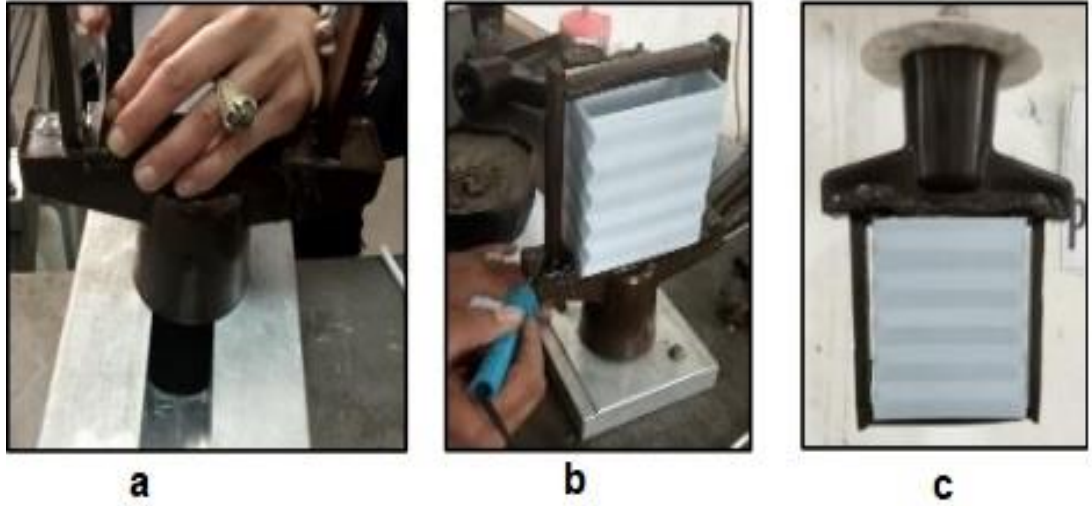
Şekil 2.3. Dikey extruderde üretilen yeni ürün (Aydın, 2018)

Kusyairi ve ark., (2020) çalışmasında kullanılan yumşak akışkan mum yerine 3D yazıcıda kullanılan bir filament türü olan 170-180 °C sıcaklıkta eriyen 0.75kg / 0.55 lb 1.75mm MOLDLAY filamentini kullanmıştır. Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Moldlay Filament- 1.75mm 0,75 kg (3d filament, 2020)

MoldLay filament, mum gibi işlev gören, yapısal olarak değişmeyen, oda sıcaklığında şeklini koruyabilen ve 270°C'ye ısıtıldığında mum olarak eriyen bir filamenttir. Bu araştırma yöntemi, tasarım, 3D Yazıcı ile baskı, yolluk sistemi, bulamaç kaplama gibi birkaç adımda gerçekleştirilmiştir. Ergimiş metali kalıba dökmek için bir yolluk sistemi ayarlanmış hali Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Yolluk sistemi yapımı

Kusyairi, (2020); Bulamaç kaplama dediğimiz kaplama için zirkonyum oksit ve mullit tozu kullanılmıştır. 4 kg kadar zirkonyum oksit ve 1 litre kadarda sulu koloidal silika 1 kg mullit tozu eklenmiş ve karıştırılmıştır. Karışım çok sulu veya çok katı olmamalıdır.

15 saniye kadar bir karıştırma ve bekleme süresi yeterlidir. Bulamaç kaplama dediğimiz kaplama sistemini yapmak için önce ince bir kaplama yapılmıştır. İnce kaplama kuruduktan sonra tekrar bir kaplama yapıp kurumaya bırakılarak bu işlem 3 kez yapılmıştır. İlk kaplama ince kaplama olup burada modelin derinliklerine temas etmeyi sağlamıştır. Her bir kaplama için arada geçen süre 3 saattir. Kaplama işlemi bittikten sonraki adım ise modeli 24 saat dik bir vaziyette beklemeye bırakılmıştır. Baştan sona kaplama işlemi şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Bulamaç kaplama işlemi

Bundan sonraki işlem ise kaplama yaptığımız kalının içindeki flamenti belirli bir sıcaklığa kadar ısıtarak eritmektir. Flamentin tamamen eridiğinden emin olmalıyız. İçinde mum kalıntısı kalmamalıdır. Aksi takdirde metale döküldüğünde kalıpta kusurlara neden olur. Sonuç olarak bu çalışmada 3D yazıcılarda kullanılan flament kaplama sistemiyle kaplanmış ve eritilerek metale dönüştürme işlemi başarılmıştır. Ancak dökümde kullanılan mumla bizim kullandığımız g-flament arasında 10 dakikalık bir zaman farkı bulunmaktadır. Flament ile döküm işlemi 10 dakika daha uzun sürmüştür. Bunun nedeni normal mum 200 – 240 °C de erirken flament 270 °C de erimiştir. Flamentin eritme işlemi Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Flament eritme işlemi

Hamod, (2014) çalışmasında yüksek yoğunluklu polietilen malzeme türü olan HDPE "High Density Polyethylene" malzemesinden 3D yazıcı flamenti elde etme işlemi yapılmıştır. Bunun için HDPE türü plastikler toplanmıştır. HDPE türü plastikler, Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. HDPE türü plastikler (Hamod, 2014)

Toplanan malzemelerin çoğu kullanılmış şampuan şişeleri, deterjan kapları, temizlik maddesi şişeleri, süt kavanozlarıdır. Toplanan plastikler renklerine göre ayrı sınıflara ayrılmıştır. Daha sonra toplanan plastiklerin üzerinde bulunan yapıştırıcı kalıntısını temizlemek için 60 °C de ısıtılmış suda 5 saat bekletilmiştir. Kalan etiketler elle soyulup çıkarılmıştır. Daha sonra aynı renkte olan benzer plastikler ayrıldı ve farklı renkteki plastikler bir araya getirilir. Etiketler alternatif olarak kimyasal çözelti ile çıkarılabilirdi, ancak bu seçim, kimyasal kontaminasyonu veya kapsamlı yıkama sonrası işleminden kaçınmak için kolayca ve kolay bir işlemle soyulduğu için yapılmıştır. Daha sonra aynı renkte olan plastikler plastik öğütücü makinasına atılarak öğütülmüştür. Öğütülen parçalar, yaklaşık tek tip bir parça boyutu elde etmek için öğütücünün altında bulunan 5 mm 'lik bir filtreden toplanır. Çıkan plastik parçalar kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan parçalar Plastomer le 30 dakika eritilmiştir. Erime akış indeksi plastomeri, Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Eriyik haldeki plastikler plastomerden alınarak extruder kullanarak 3D Yazıcı filamenti üretilmiştir.



Şekil 2.9. Erime akış indeksi plastomeri (Hamod, 2014)

Akar, 2000 yılındaki çalışmasında B-97 mumunun hassas dökümlerde kullanılması için iyileştirmeler yapılmıştır. Bu iyileştirmeler için soya fasulyesini ve ununu, yüzey aktif maddeleri (gliserin, sodyum dodesil sülfat) ve aktif kömür, palmitik asit kullanılmıştır. Bu maddelerin B-97 yolluk mumunun yüzeyinin pürüzsüzlüğüne, Dayanıklılığına, katılma derecesine etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak B-97 yolluk mumunu daha hassas dökümlerde kullanılan B-140 mumundan daha akışkan ve daha üstün özelliklere sahip mumlar üretilmiştir.



Şekil 2.10. Döküm mumu (Akar ve ark., 2000)

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında; hassasiyeti yüksek 3D yazıcılarda kullanılan orijinal mumların içerik analizleri, alternatif mumların üretilmesi ve orijinal mumların geri kazanılması olmak üzere üç bölümde gerçekleştirilmiştir. Bunun için mevcut mumlar, çalışmamızda üretilen mumların analizleri ve üretimde kullanılan cihazlar listesi Çizelge 3.1.1'de verilmiştir. Ayrıca çalışmamızda kullanılan kimyasalların genel bir listesi Çizelge 3.1.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan cihazlar

Cihaz Adı	Cihaz Marka/Model	Kullanıldığı Yer
Infrared (IR) Spektro fotometresi	Perkin Elmer 400	KSÜ, ÜSKİM.
pH metre	WTW, İmolab, pH7110	KSÜ ÜSKİM.
TG/DTA Termo gravimetrik analiz	SII Exstar STA 6000	KSÜ, ÜSKİM
Project 3D Yazıcı	3600w mjpmax, A.B.D,	K.S.Ü Kuyumculuk Ve Takı Tas. Programı
Çeker Ocak	K.S.Ü, ÜSKİM	
Isıtıcı tabla	Kumtel KH/LX 7010/7011 1500 W Tek Göz Elek. Ocak	K.S.Ü, ÜSKİM
Ultrasonik Isıtıcı	Dijital Ultrasonik cleaner 340W	K.S.Ü Kuyumculuk Ve Takı Tas. Programı
Karıştırıcı		K.S.Ü, ÜSKİM
Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC)	Perkin Elmer-DSC 8000	K.S.Ü, ÜSKİM
XRD cihazı	Panalytical Philips X'Pert PRO marka	K.S.Ü, ÜSKİM

Çizelge 3.2. Kullanılan kimyasal maddeler

Kimyasal Adı	Kapalı Formülü	Firma Adı
Mikro kristalin	(C ₆ H ₁₀) _n	Merck
Parafin	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Sigma-Aldrich
Stearik asit	N ₂ H ₄	Sigma-Aldrich
Polilaktik Asit (PLA)	(C ₃ H ₄ O ₂) _n	Sigma-Aldrich
İzopropil Alkol	C ₃ H ₈ O	Merck
Tiner	C ₆ H ₅ (OH)	Sigma-Aldrich

3.2. Metot

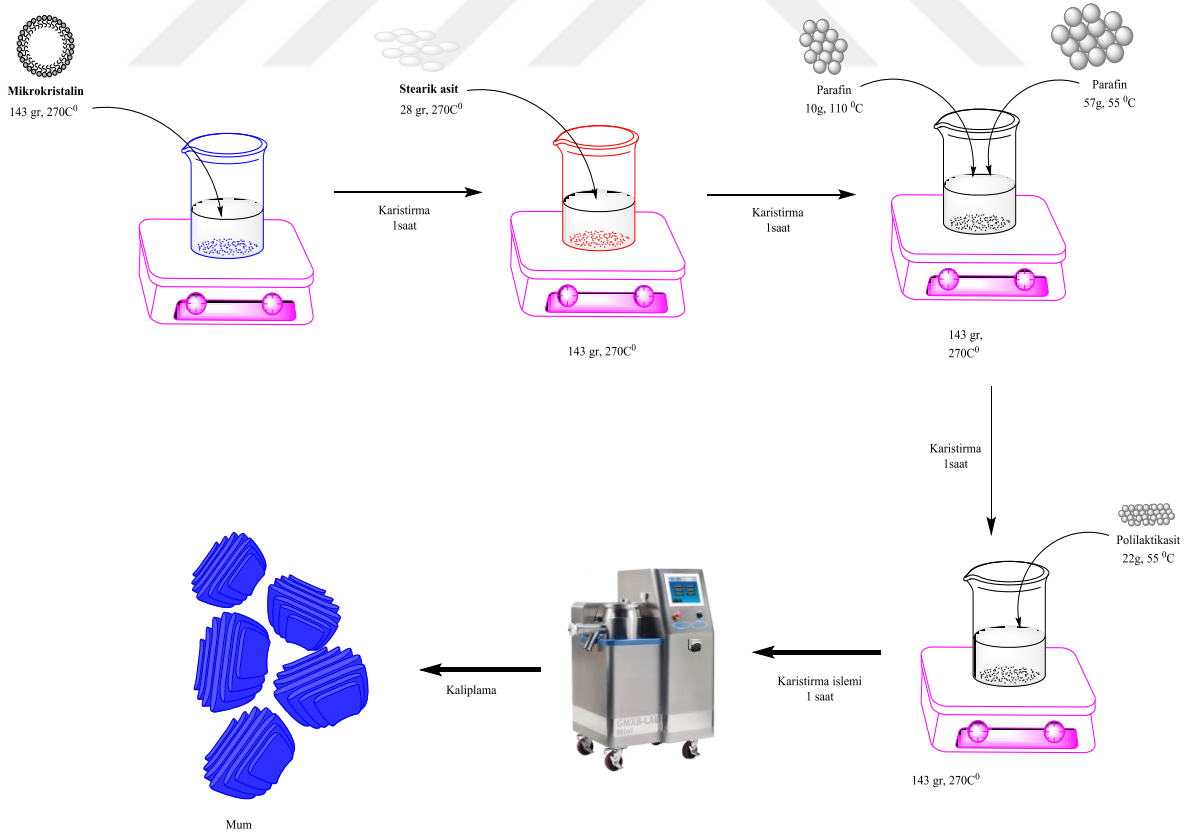
Mevcut piyasada kullanılan mumlar laboratuvar ortamında incelenmiş ve içeriğindeki kimyasallar tespit edilerek, laboratuvar ortamında kurulan reaktör sistemi ile üretilmiştir. Aynı şekilde 3D yazıcıların atık mumları geri kazanılması işlemi yapılmıştır. 3D yazıcılarda kullanılan orijinal mumlar ve ürettiğimiz mumların analizleri FT-IR, XRD ve DSC cihazlarında yapılmıştır.

3.2.1. Mum Üretimde Kullanılan Reaktör

Yeni ürettiğimiz mumda kullanılan kimyasal maddelerin oranları %51 Mikro kristalin, %23 Polilaktik asit, %12 stearik asit, %9 Parafin wax 55 °C, %4 Parafin wax 110 °C, %1 Renklendirici (Şekil 3.1.) ısısal olarak 275 °C derecede karıştırıcı içerisine konularak yarım saat karıştırılmıştır. Elde edilen mum soğuması için sulu bir kap içine erimiş mum koyulmuştur. Yarım saatlik bir bekleme sonunda mum katılaşmıştır. Üretim aşamaları Şekil 3.2. de görülmektedir.



Şekil 3.1. Kullanılan kimyasal maddelerin yüzdelik oranları



Şekil 3.2. Mumun üretilme aşamaları

3.2.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Cihazı (DSC)

Orijinal mumlar, üretilen mumlar ve geri kazanım mumlarının termal özelliklerinin incelenmesi KSÜ ÜSKİM laboratuvarlarındaki Perkin Elmer marka DSC 4000 Model Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Cihazı (DSC) ile yapılmıştır (Şekil 3.3). DSC analizleri için mumlardan 5–10 mg numuneler alınmıştır. Bu numuneler, 6 mm çapındaki bakır kaplar içerisinde konularak DSC cihazının içine yerleştirilmiştir. DSC cihazı 5 °C/dak ısıtma oranında ve 25-450 °C sıcaklık aralığında sürekli ısıtma yapılmıştır. Isı etkisiyle alaşımlarda oluşan faz dönüşümleri, DSC analizlerinde ekzotermik veya endotermik pikler halinde ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.3. Perkin Elmer marka DSC 4000 Model Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Cihaz

3.2.3. Fourier Transform Infrared Spektroskopisi (FT-IR)

Orijinal, üretilen, geri kazanılan mumların kimyasal maddelerini veya fonksiyonel bileşiklerini tanımlama yapmak için KSÜ ÜSKİM Laboratuvarlarındaki Perkin Elmer 400 FT-IR Dengeli Akış FT-IR EGA Sistem cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.4). Bu cihazda, kızılötesi ışık soğurma grafiğinde yatay ekseninde frekans veya dalga boyuna karşı dikey ekseninde gösterir. Bu verileri cihazın kendi kütüphanesinde karşılığına gelen olasılık değerlerine göre kimyasal tanımlama işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.4. Perkin Elmer 400 FT-IR cihazı

3.2.4. X Işını Kırınımı (XRD)

Orijinal, üretilen ve geri kazanılan mumların yapısal özelliklerini bulmak için X-Işını kırınımına (XRD) cihazında bakılmıştır. ÜSKİM laboratuvarında bulunan Philips X'Pert PRO marka XRD cihazı Şekil 3.5-6'te görülmektedir. Bu cihazın ölçüm parametreleri ise 30 kV ile 40 mA monokromatik $CuK\alpha$ radyasyonu kullanılarak belirlenmektedir. Tarama açısı 20° 'den 100° 'e $0.02^\circ/s$ hızı 1 saniye duraklatılarak alınmıştır. X-ışınları, mumun bulunduğu bölüme gönderilir ve kırınıma uğrayan ışınlar cihazın da bulunan detektör tarafından toplanarak veriler elde edilir (Şekil 3.5-6).



Şekil 3.5. X'Pert PRO marka XRD cihazı



Şekil 3.6. X'Pert PRO marka XRD cihazı iç görünümü

3.2.6 Üretilen Mumun İncelenmesi Ve 3D Yazıcıda Denenmesi

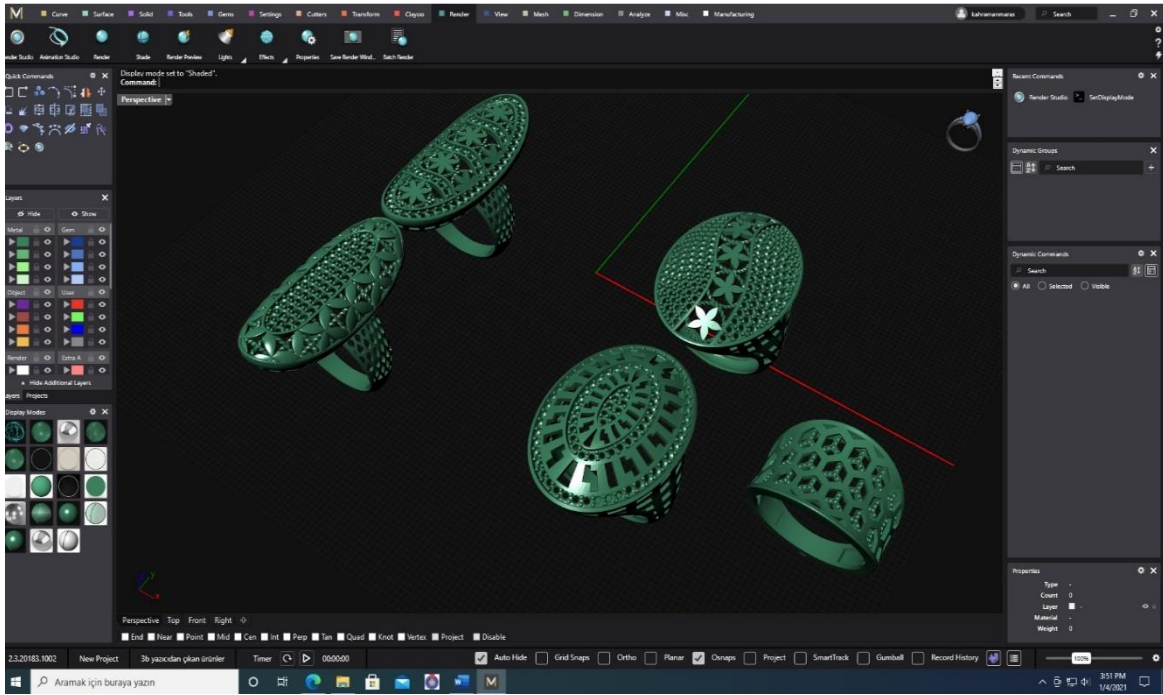
Orijinal mumun incelendiği gibi yine ürettiğimiz mumunda FT-IR, XRD ve DSC analizleri yapılmıştır. Üretilen mum (Şekil 3.7.) Project MJP 3600W marka (Şekil 3.8) yazıcıda denenmiştir. İlk olarak Rhinoceros 3D tabanlı matrix programında 3D yazıcıda çıkaracağımız model çizilmiştir (Şekil 3.9). Çizilen 3D çizim STL formatına çevrilerek materials magic programında programdan kaynaklı hatalar düzeltilmiştir. Daha sonra 3D yazıcının gerekli parametre ve hassasiyet ayarları yapılarak en hassas modda denenmiştir.



Şekil 3.7. Üretilen 3D yazıcı Mumu



Şekil 3.8. Projctmjp 3600w 3D yazıcı



Şekil 3.9. Matrix Gold



Şekil 3.10. Projetmjp 3600w 3D yazıcı iç görünümü



Şekil 3.11. Matrix programında çizilen yüzüklerin 3D yazıcı iç görünümü

3.2.10. 3D Yazıcılarda Kullanılan Mumların Geri Kazanılmasında Kullanılan Ultrasonik Cihaz

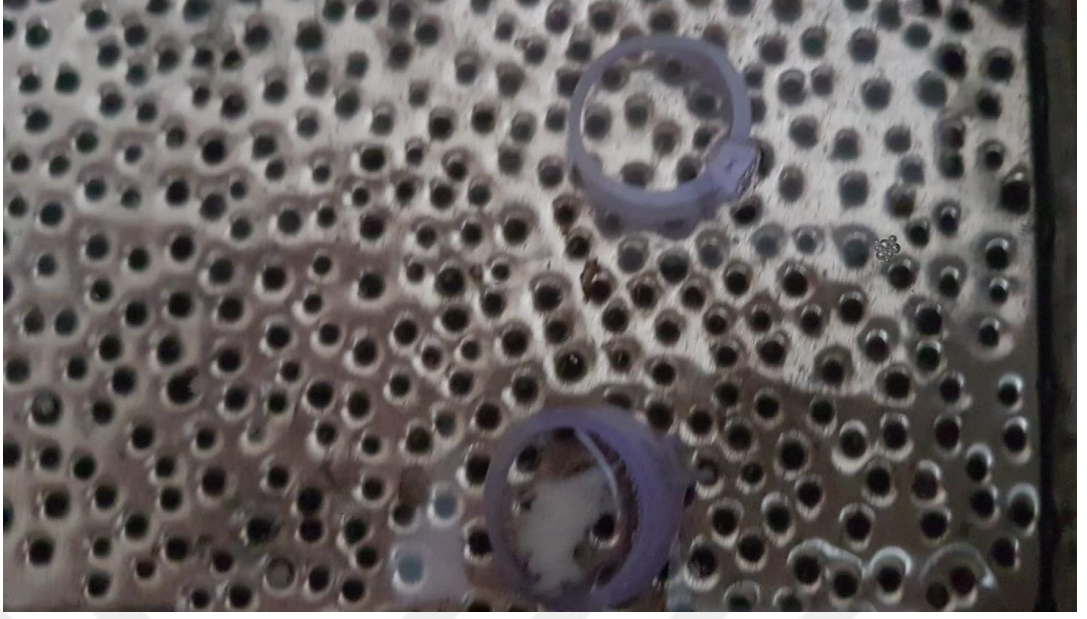
3D yazıcıdan çıkan atık mumlar ultrasonik cihazında (Şekil 3.12-14) 35°C ısıtılmış İzopropil alkol içerisinde konulmuştur. Alkolün içerisinde 3D yazıcıdan çıkan atık mumları koyarak 30 dakika bekletilmiştir.



Şekil 3.12. Ultrasonik Cihaz



Şekil 3.13. Ultrasonik cihaza atılan atık mum



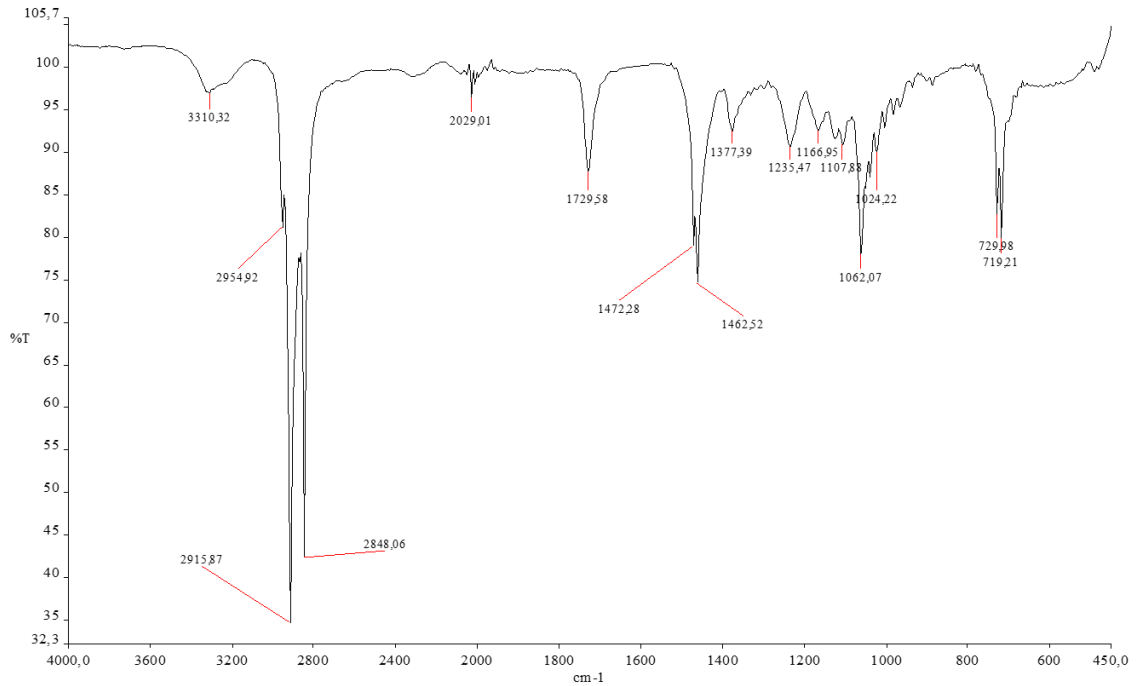
Şekil 3.14. Ultrasonik cihazda ayrışmaya başlayan beyaz ve mavi mum

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu tez çalışmasında özellikle kuyumculuk sektöründe kullanılan 3D yazıcıların polimer kompozit malzeme türü olan mumları üretmek ve 3D yazıcıdan orijinal mumla üretimin sonucunda geriye kalan atıklarını geri kazanmak amaçlanmıştır. İlk olarak Project 3600d CPX marka 3D yazıcıda kullanılan orijinal mumun; KSU ÜSKİM Laboratuvarında termal özelliklerini, yapılarındaki fonksiyonel oluşumlar ve morfolojik özelliklerini bulmak için sırasıyla Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Cihazı (DSC), Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektroskopisini (FT-IR) ve X-Işını Kırınımı (XRD) analizleri yapılarak incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda orijinal mumun özelliğine yakın bir 3D yazıcı mumu basit reaktör yardımıyla elde edilmiştir. Böylece orijinal, üretilen ve geri dönüşümden elde edilen mumların termal, yapısal ve morfolojik özelliklerini incelemiş ve aşağıdaki bulguları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

4.1. Üretilen Mumların FT-IR Spektrumlarının Değerlendirilmesi

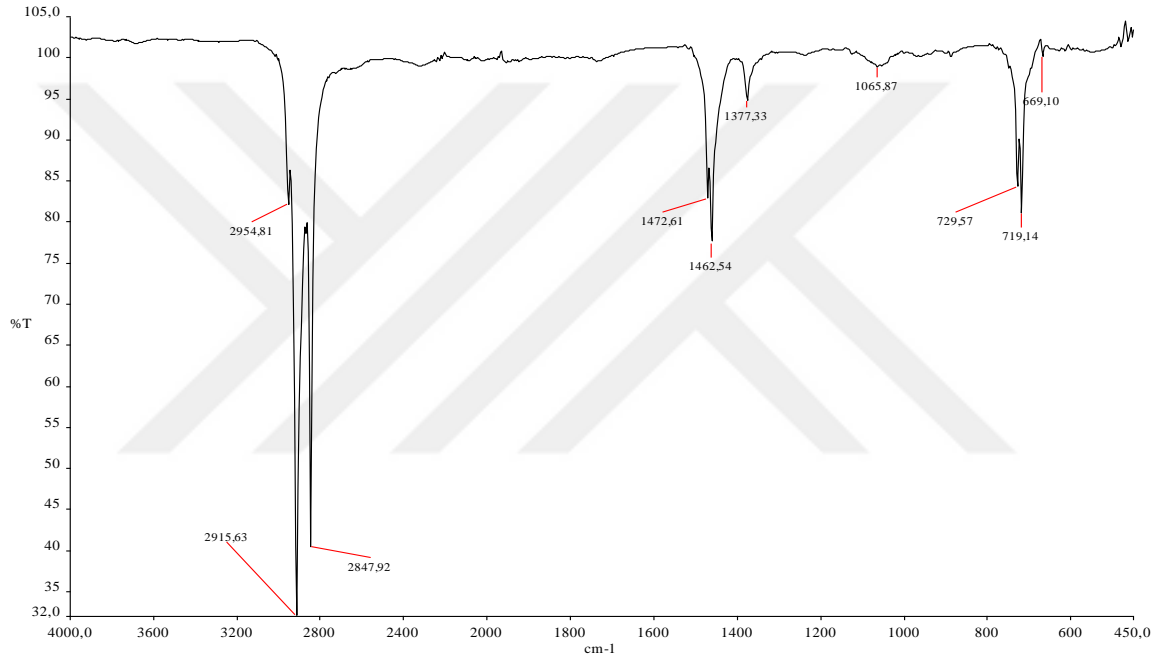
Üretilen ve hazır alınan mumların FT-IR spektrumları ATR tekniği kullanılarak alınmıştır. Atık mumun infrared spektrumu Şekil 4.1’de ve spektral bilgiler ise metod bölümünde verilmiştir



Şekil 4.1. Atık Mumun FT-IR Spektrumu

Spektrumdan da görüldüğü gibi 3310 cm^{-1} 'de gözlenen yayvan band (OH) gruplarından kaynaklanmaktadır. Yapıdaki hidrate suyu ifade eder. 2954, 2915 ve 2848 cm^{-1} 'deki şiddetli titreşim bandları ise alifatik $\nu(\text{C-H})$ gruplarından kaynaklanmaktadır. 1729 cm^{-1} 'de ki orta şiddetli pik stearik asit yapısındaki alifatik zincir üzerindeki C-H bağlarını ifade eder. Serbest karboksilik asitten ve esterlerden gelen bir karbonil $\nu(\text{C=O})$ gerilme titreşimine karşılık gelen 1700 cm^{-1} bölgesinde pikin varlığıdır. 1472-1462 cm^{-1} aralığında görülen bandlar C-H deformasyonlarını göstermektedir.

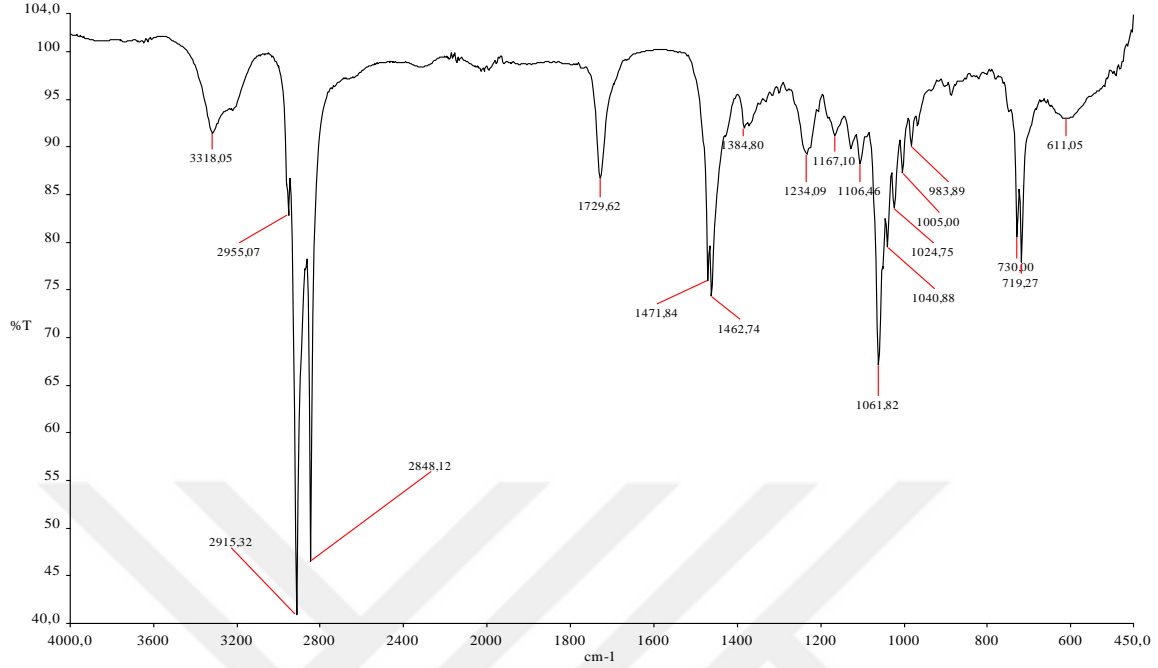
Çalışmada elde edilen mum infrared spektrumu Şekil 4.2'de ve spektral bilgiler ise metod bölümünde verilmiştir.



Şekil 4.2. Çalışmada elde edilen mum FT-IR Spektrumu

Spektrumdan da görüldüğü gibi 3600 cm^{-1} 'de gözlenen yayvan band $\nu(\text{OH})$ şiddetini iyice kaybetmiştir. Buda yapıdaki nemi uzaklaştırdığımızı gösterir. 2955, 2915 ve 2847 cm^{-1} 'deki şiddetli titreşim bandları ise alifatik $\nu(\text{C-H})$ gruplarından kaynaklanmaktadır. Bu bantlar dahada şiddetlenmiştir. Buna sentezlediğimiz mumun daha saf olduğunu gösterir. Serbest karboksilik asitten ve esterlerden gelen bir karbonil $\nu(\text{C=O})$ gerilme titreşimine karşılık gelen band 1729 cm^{-1} Çalışmada elde edilen mum kaybolmuştur. Buda stearik asit üzerindeki karbonil grubu üzerinden yapıya bağlandığını gösterir. 1472-1462 cm^{-1} aralığında görülen bandlar C-H deformasyonlarını göstermektedir. 729-719 cm^{-1} 'de ki ikiz band ise yan zincirlerdeki C-H gerilmelerini göstermektedir.

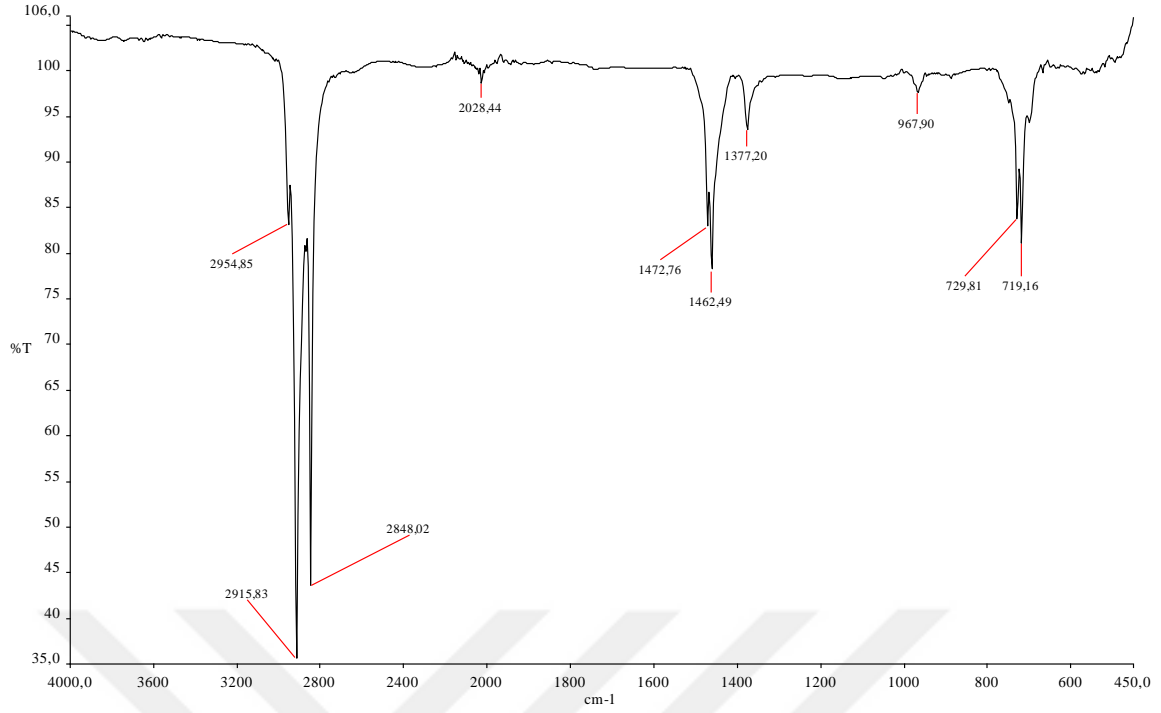
Orijinal beyaz renkte ki destek mumun infrared spektrumu Şekil 4.3'de ve spektral bilgiler ise metod bölümünde verilmiştir.



Şekil 4.3. Orijinal Beyaz Renkte ki Mumun FT-IR Spektrumu

Spektrumdan da görüldüğü gibi 3318 cm⁻¹'de gözlenen düzensiz yayvan band (OH) gruplarından kaynaklanmaktadır. Yapıdaki hidrate suyu ifade eder. 2955, 2915 ve 2848 cm⁻¹'deki şiddetli titreşim bandları ise alifatik ν (C-H) gruplarından kaynaklanmaktadır. 1729 cm⁻¹'de ki orta şiddetli pik stearik asit yapısındaki alifatik zincir üzerindeki C-H bağlarını ifade eder. Serbest karboksilik asitten ve esterlerden gelen bir karbonil ν (C=O) gerilme titreşimine karşılık gelen 1700 cm⁻¹ bölgesinde pikin varlığıdır. 1471-1462 cm⁻¹ aralığında görülen bandlar C-H deformasyonlarını göstermektedir.

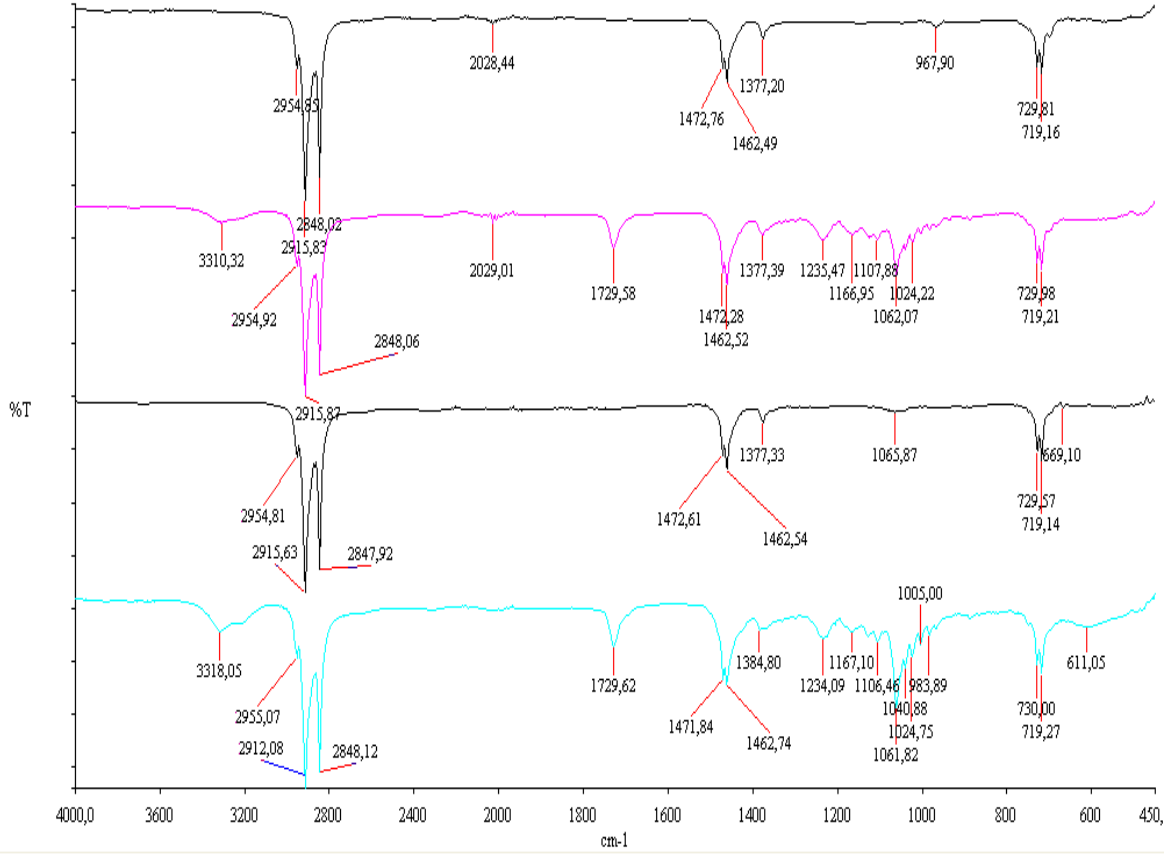
Orijinal mumun infrared spektrumu Şekil 4.4'de ve spektral bilgiler ise metod bölümünde verilmiştir.



Şekil 4.4. Orijinal mumun FT-IR Spektrumu

Orijinal beyaz destek mumun aksine çalışmada elde edilen mum gibi orijinal mumda 3318 cm^{-1} 'de gözlenen düzensiz yayvan band (OH) kaybolmuştur. 2955, 2915 ve 2848 cm^{-1} 'deki şiddetli titreşim bandları ise alifatik $\nu(\text{C-H})$ gruplarından kaynaklanmaktadır. Serbest karboksilik asitten ve esterlerden gelen bir karbonil $\nu(\text{C=O})$ gerilme titreşimine karşılık gelen 1700 cm^{-1} bölgesinde pikin varlığıdır. $1471\text{-}1462\text{ cm}^{-1}$ aralığında görülen bandlar C-H deformasyonlarını göstermektedir.

Orijinal mum, beyaz destek mumu, ürettiğimiz mum ve atık mumun birleştirilmiş FT-IR Spektrumu Şekil 4.5'de verilmiştir.



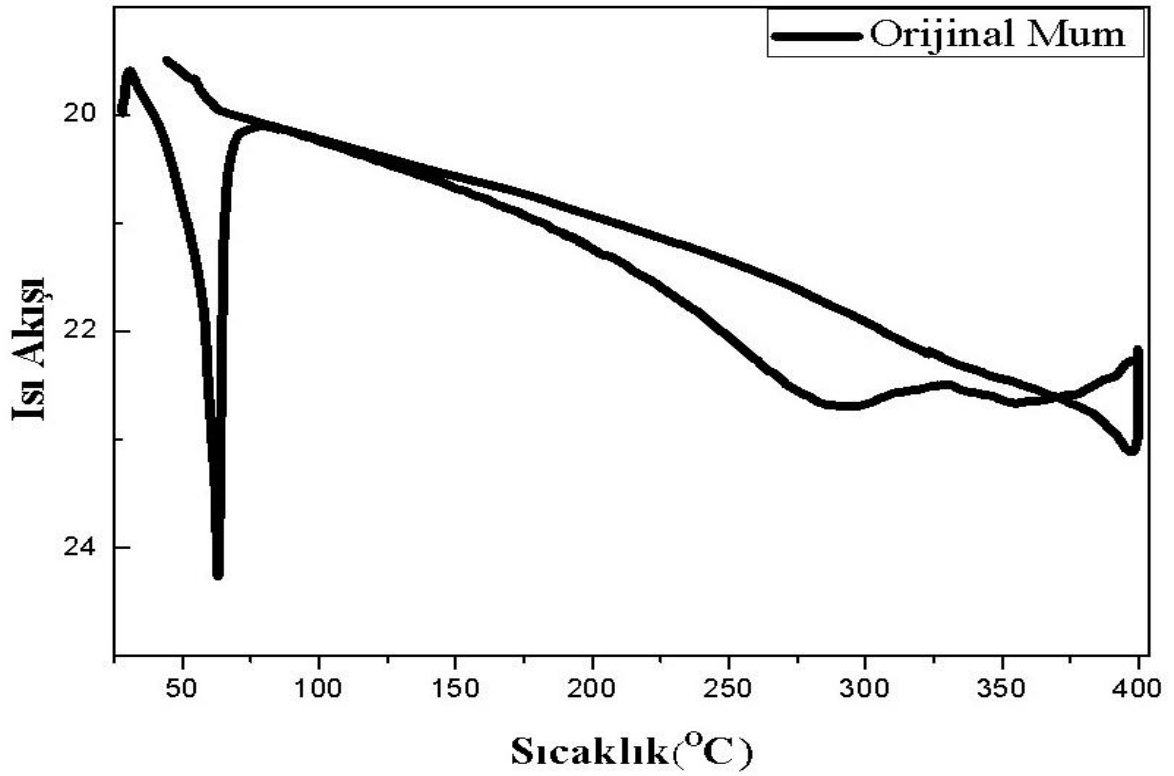
Şekil 4.5. Orijinal mum (gri), beyaz destek mumu (Mavi), ürettiğimiz mum (Siyah) ve atık mumun (Pembe) birleştirilmiş FT-IR Spektrumu

Numunelerin FT-IR Spektrumları NIST kütüphane taraması yapılarak olası yüzde verileri de araştırılmıştır. Atık mumun spektrumu incelendiğinde; %95,3 oranında Parafin varlığı tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen mumun kütüphane taraması incelendiğinde %98,8 oranında parafin varlığı tespit edilmiştir. Orijinal beyaz destek mumun kütüphane taraması sonucunda %95,2 oranında lanolin varlığı tespit edilmiştir. Orijinal muma ait kütüphane taraması sonucunda ise %98,2 oranında serestini yağı ve %98 oranında parafin varlığı tespit edilmiştir. Bunun haricinde tüm mumların yapısında 1-oktadekanol, 1-dokasaol bileşiklerine rastlanmıştır. Tüm bileşiklerde düşük yoğunluklu polietilen (MW=50000) ve azda olsa yüksek yoğunluklu polietilen (MW=125000) bulunmaktadır.

4.2. Mumların Termogravimetrik Karakterizasyonu

DSC analizi ile orijinal, atık 3D yazıcı mumu ve ürettiğimiz 3D yazıcı mumu arasındaki ısı akışı farkına bakılmıştır. Sıcaklık farklılıkları (dT/dt), ısı farklılıklarına (dH/dt) dönüşümü incelenmiştir. Numunenin erime, donma sabit bir sıcaklıkta soğurulan ve salıverilen enerji miktarına bakılmıştır. Mevcut orijinal mum 400 °C ısıtılmıştır ve tekrar

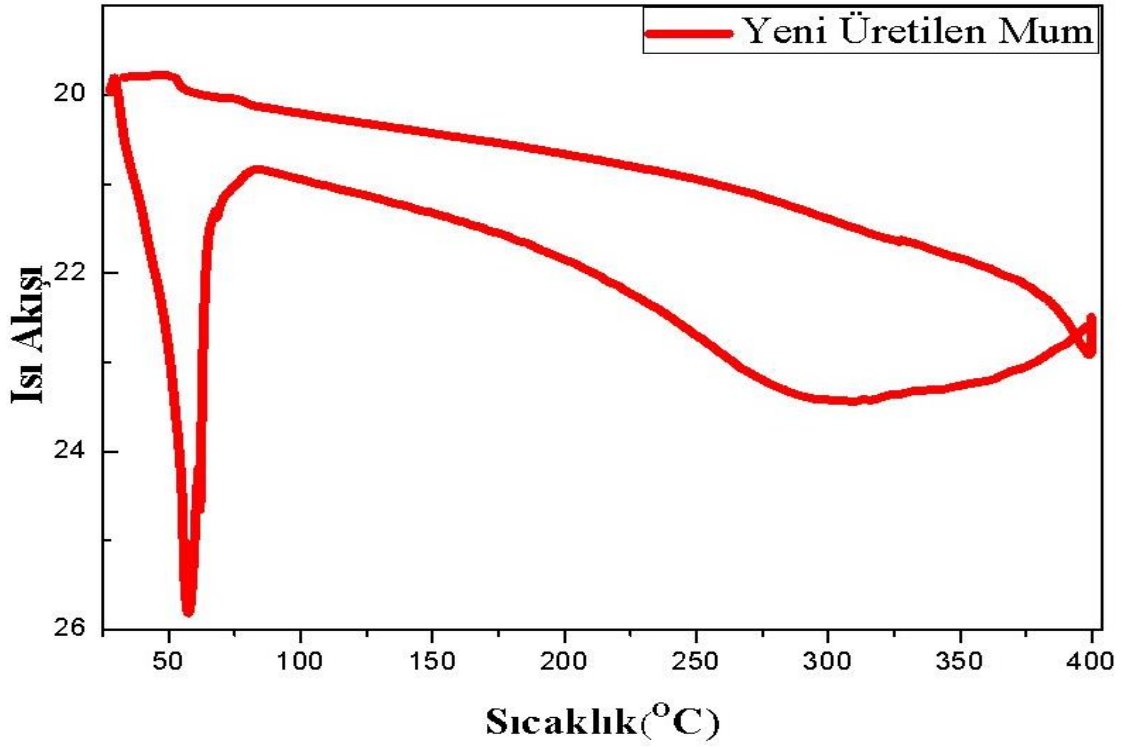
soğumaya bırakılmıştır. Yapılan inceleme sonucu orijinal mumuz 28-69.15 °C arasında endotermik pik gözlenmiştir. Endotermik pik mumun erimeye 28 °C'de başlayıp 62.58 °C'de tamamen eridiği ve 69.15 °C'de tekrar katılaştığını göstermiştir. Bu sonuçta; orijinal mumun 3D yazıcılarda 28-69.15 °C'de işlendiğini göstermektedir. Bu tür 3D hassasiyeti yüksek olan yazıcılarda kullanılan mumlarda sadece 100 °C'nin altında erime pikinin olmasını isterler. Bu 3D yazıcıların ısı enerjisini minimize etmesi için çok önemlidir. Ayrıca başka bir kristallenme (ekzotermik pik) piki olmaması gereklidir. Bu ekzotermik pik olursa malzemenin kırılabilirliğini artırır. 400 orijinal mum DSC eğrisi Şekil 4.6'da gösterilmiştir



Şekil 4.6. Orijinal muma ait DSC eğrisi

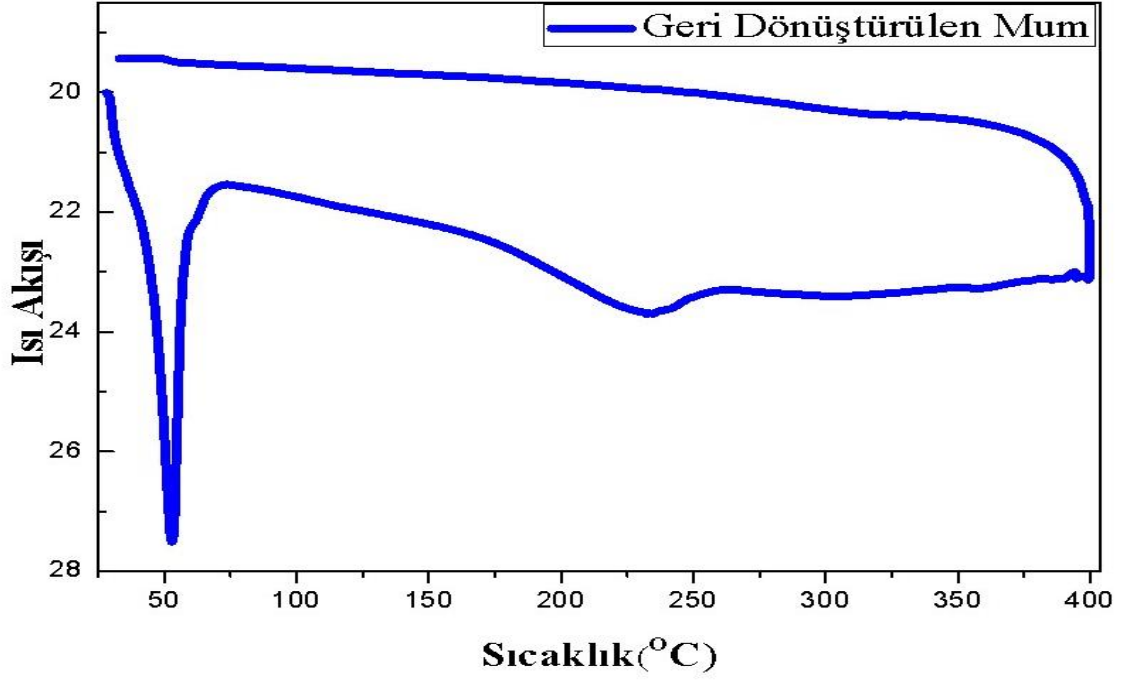
Üretilen mumun DSC eğrisi Şekil 4.7'de verilmiştir. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi üretilen mumun DSC eğrisine bakıldığında orijinal mumla çok az bir fark olduğu görülmüştür. Ürettiğimiz mumun DSC eğrilerine bakıldığında 28°C'de erimeye başladığı, 57.39 °C'de tamamen eridiği ve 69,97 °C'de tekrar katılaştığı gözlenmiştir. Bu sonuç orijinal mumda olduğu gibi bu 3D yazıcılarda kullanımında en önemli kriterdir. Orijinal mum ile yeni ürettiğimiz mum arasındaki DSC analizindeki en belirgin fark; endotermik pikin üretilen mumda daha yayvan olduğu görülmektedir. Bunun nedeni polilaktik asit ve

parafin miktarının üretilen mumda fazla olmasıdır. Bu yayvan pik olması 3D yazıcıda kullanım kolaylığını artırdığının ispatıdır.

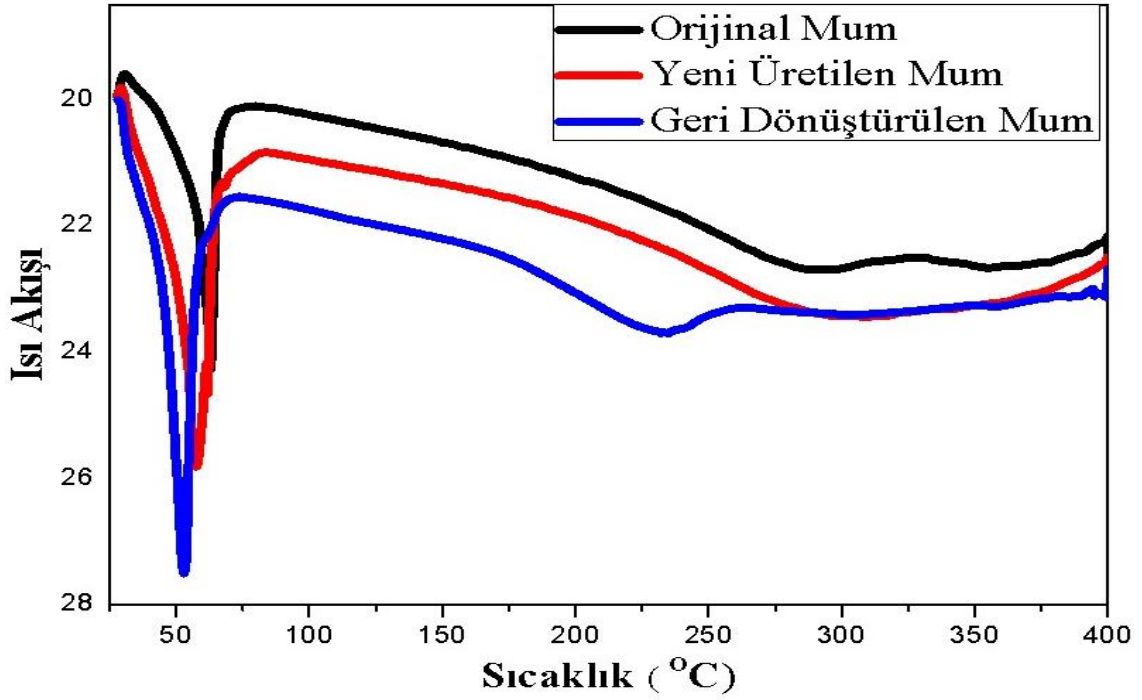


Şekil 4.7. Yeni üretilen mumun DSC grafiği

DSC analizi ile atık 3D yazıcı mumunun ısı akışına bakılmıştır. Geri dönüşüm mumunun DSC eğrisi Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi 28 °C’de erimeye başladığı, 52.86 °C’de tamamen eridiği ve 59.61 °C’de tamamen katılaştığı gözlenmiştir. Atık mumun DSC eğrilerine bakıldığında orijinal ve üretilen mumla arasında ciddi bir farkın olduğu gözlenmiştir. Bu 10 °C’de sapma revize edilmiş atık mumun 3D yazıcılarda denenmesinde başarısız olmasının nedenini açıklamıştır. Daha öncede belirttiğimiz gibi hassas 3D yazıcılarda kullanım aralığı (erime aralığı) çok önemlidir. Bu erime aralığı 3D yazıcının çalışma koşulunu belirlemektedir.



Şekil 4.8. Geri Dönüştürülen mumum DSC grafiği



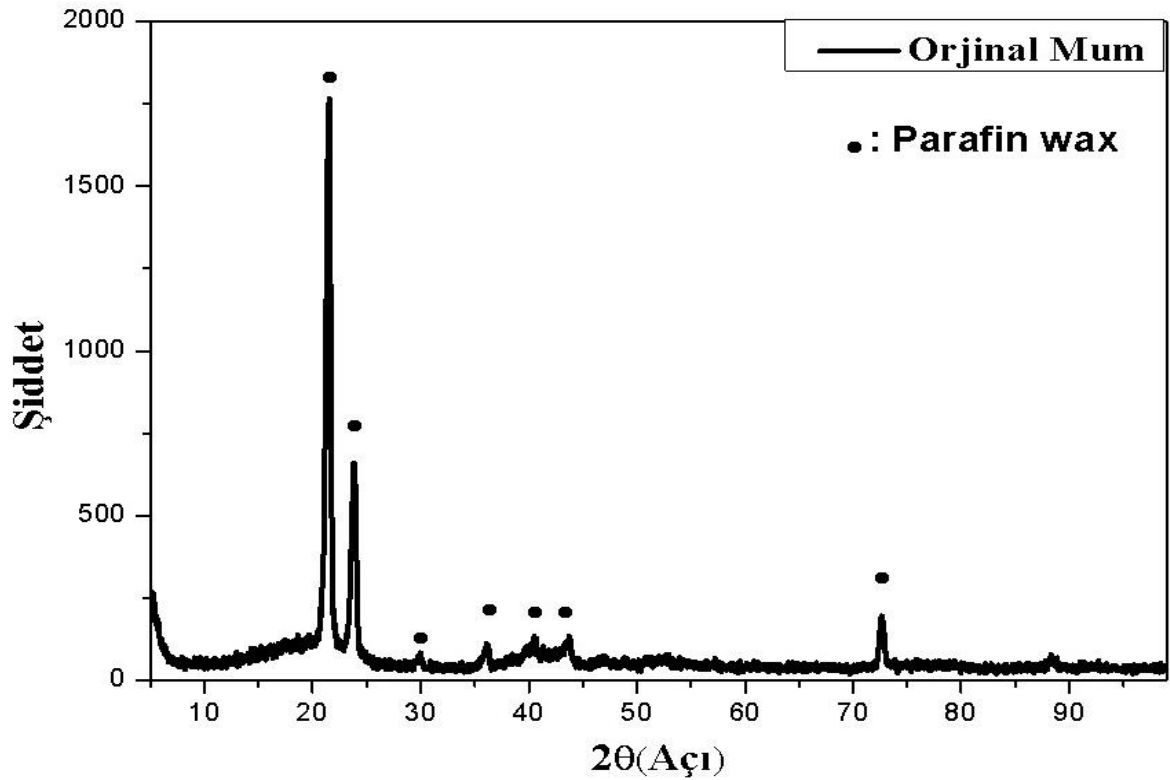
Şekil 4.9. Orijinal, Yeni üretilen ve Geri dönüştürülen mumların DSC grafiklerinin karşılaştırılması

Şekil 4.9’da orijinal, yeni üretilen ve geri dönüştürülen mumların DSC grafiklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Şekilde görüldüğü gibi yeni üretilen mum ile orijinal mumun

erime aralığı birbirine çok yakındır. Aralarındaki fark yeni üretilen mumun pikinin daha yayvan olduğudur. Buda daha önceden belirttiğimiz gibi 3D yazıcılarda kullanım kolaylığı sağlar. Şekil 4:9'da açıkça görüldüğü gibi geri dönüştürülen mumun kullanım aralığı ve erime sıcaklığı 10 °C azdır. Buda geri dönüştürülen mumun 3D yazıcımızda çalışmama sebebini açıklamaktadır.

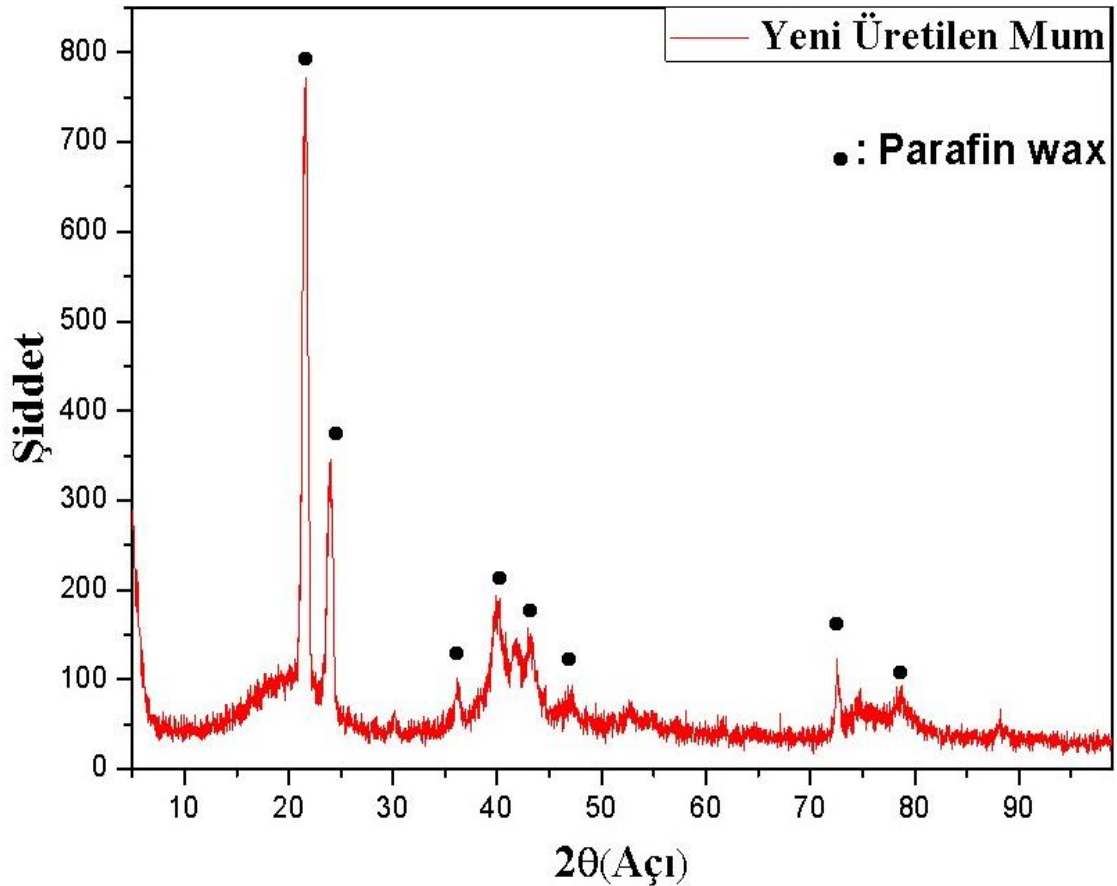
4.3. Mumların XRD Yapısal Karakterizasyonu

Orijinal mumun yapısal özelliklerini bulmak için X-Işını kırınımına (XRD) cihazında analizi yapılmıştır. Yapılan analizin grafiği Şekil 4.10'da verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi orijinal mumun 12 ile 26 derecede yansıma açısında yarı amorf oluşum gözlenmiştir. Ancak tam amorf yapıya dönüşmemesini 21.51 ve 23.81 derecelerde iki parafin kristallenme piki neden olmuştur. Ayrıca grafikte 29.7, 36, 40, 42 ve 73 derecelerde küçük pikler görülmüştür. Bu piklerin XRD kütüphane taramasında parafin wax piklerinin olduğu anlaşılmıştır (Ek-1). Orijinal mumda parafin pikleri bize mumdaki diğer kimyasalların dış yüzeylerini kapladığının ispatıdır. Parafin bu tip mumlarda statik elektriklenmeyi önleyerek mumun akışkan (yapışmadan) 3D yazıcıda işlem görmesini sağlamaktadır.



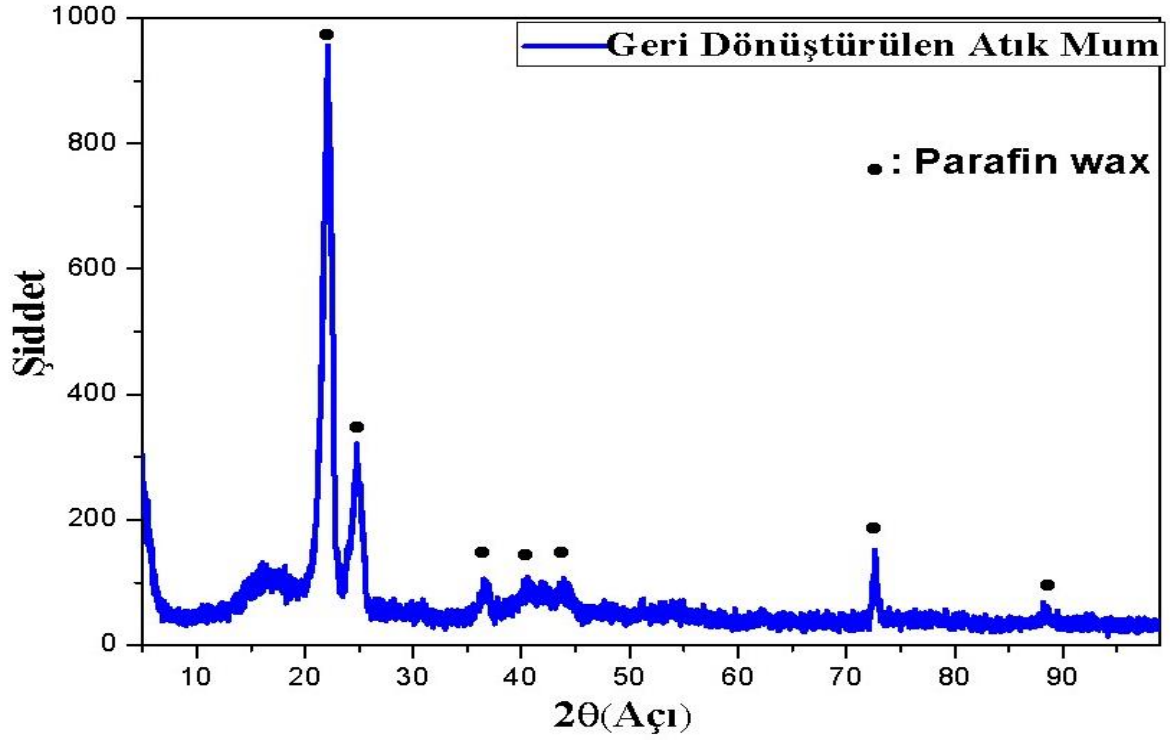
Şekil 4.10. Orijinal mumun XRD grafiği

Yeni üretilen mumun yapısal özelliklerini bulmak için XRD cihazında analizi yapılmıştır. Şekil 4.11’de yapılan analizin grafiğinde görüldüğü gibi 14-26 ve 35-45 yansıma derecelerinde amorf oluşum gözlenmiştir. Ancak 14-26 derecelerindeki amorf oluşumunda 21-58 ve 23-98 derecelerdeki iki parafin piki yapıyı tam amorf yapmamıştır. Aynı şekilde 35-45 derecelerinde ise 36-42-44 derecelerinde parafin wax kristal piki görülmüştür (EK-1). Yeni üretilen mumda orijinal mumda olduğu gibi parafinin mumun içindeki diğer kimyasalların dış yüzeylerini kapladığının ispatıdır. Parafin bu tip mumlarda statik elektriklenmeyi önleyerek mumun akışkan (yapışmadan) 3D yazıcıda işlem görmesini sağlamaktadır.



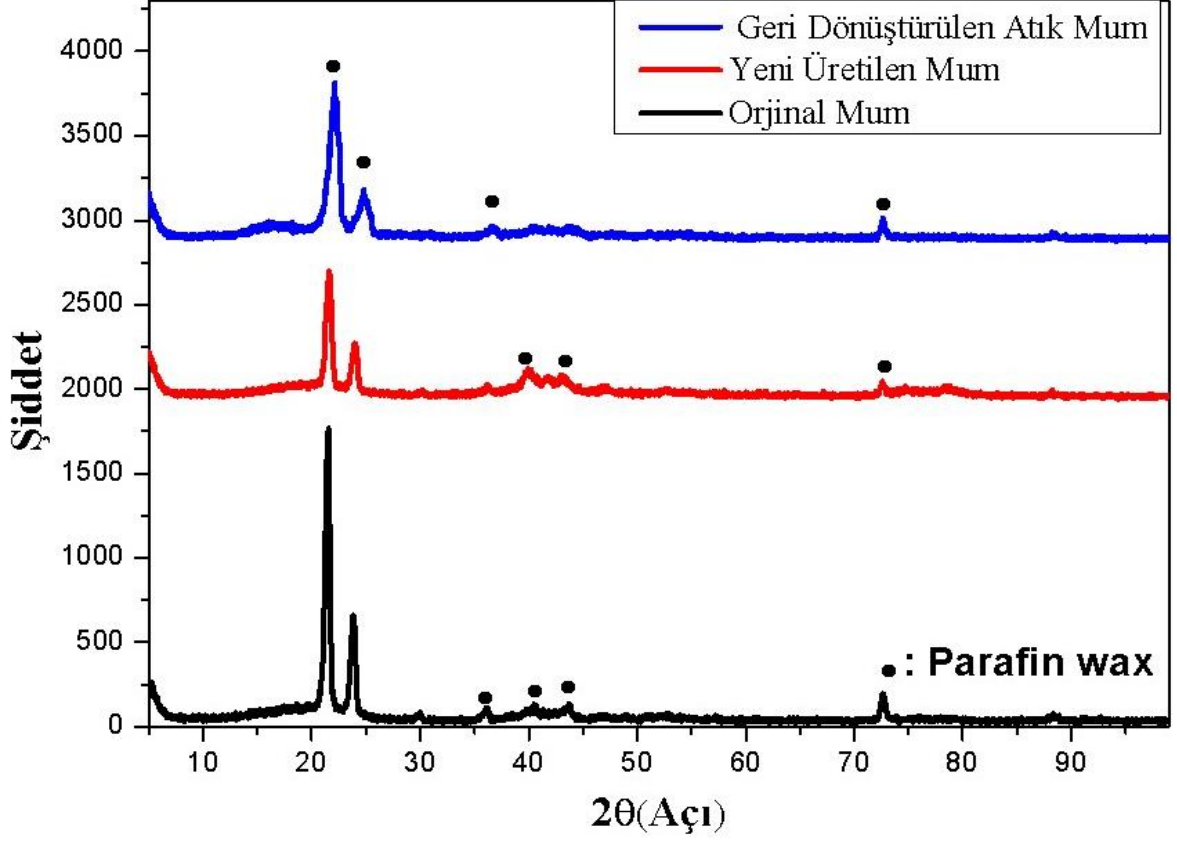
Şekil 4.11. Yeni üretilen mumun XRD grafiği

Geri kazanılan mumların yapısal özelliklerini bulmak için XRD cihazında analizinin grafiği Şekil 4.12’de verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi tüm mumlarda olduğu gibi 13,59-26 derecede amorf oluşumu gözlenmiştir. Ancak 22,13 ve 24.81 derecelerde iki parafin piki yapıyı tam amorf yapmamıştır. Orijinal mumdada olduğu gibi bu istenilen özelliktir. Grafikteki diğer piklerde parafine ait piklerdir(Ek-1).



Şekil 4.10. Geri dönüşüm mumunun XRD grafiği

Şekil 4.13’de orijinal, üretilen ve geri kazanılan mumların yapısal özelliklerini karşılaştırmak için grafikleri üst üste gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi tüm mumlarda 14-27 yansıma açılarında amorf oluşum gözlenmiştir. Ancak yaklaşık olarak 21-24 iki pik amorf oluşumu önlemiştir. Yapılan XRD kütüphane taramasında tüm mumlarda bu piklerin parafin wax pikleri olduğu belirlenmiştir (EK-1). Bu pikler tam amorf olmayı önlemiştir. Tüm mumlarda istenilen özelliğin bu olduğu daha öncedende belirtilmiştir. Parafin bu tip mumlarda statik elektriklenmeyi önleyerek mumun akışkan (yapışmadan) 3D yazıcıda işlem görmesini sağlamaktadır. Grafikteki diğer piklerde parafine ait piklerdir (Ek-1).



Şekil 4.11. Orjinal, üretilen ve geri dönüşüm mumlarının XRD eğrilerinin karşılaştırılması

4.4. Mumların Maliyet Karşılaştırması

Bu tezimizde kullanılan mumların maliyetlerini çizelge 4.1 de verilmiştir. Çizelge 4.1 de görüldüğü gibi 3D yazıcının orijinal mumun 1 kg'nı 10.000 \$ olduğunu ve bu şartlarda makinenin çalıştırılmasının çok zor olduğu görülmüştür. Geri dönüşüm mumunun maliyetinin en düşük olduğu ancak makinede verimli şekilde kullanılmadığı için uygun görülmemiştir. Bu tez çalışmamızda kendimiz ürettiğimiz mumun maliyeti orjinal muma göre 1/10 daha ucuz olduğu hesaplanmıştır. Bu 3D yazıcıların kullanılabilirliği açısından çok önem arz etmiştir. Ülkemizin ithalata bağımlılığını azaltmada çok önemli olmuştur.

Çizelge 4.1. Mumların Maliyet Karşılaştırması

Ham Madde	Birim fiyatı gr.	Miktar	Toplam
Orijinal Mum	\$10.00	1 gr	\$10.00
Geri Dönüşüm Mum	\$0.10	1 gr	\$0.10
Üretilen Mum	\$1.00	1 gr	\$1.00

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Project 3600d CPX marka 3D yazıcıda kullanılan orijinal mumun geri kazanımı ve muadili üretilmiştir. Üç farklı (orijinal, üretilen ve geri kazanılan) mumların termal, yapısal ve morfolojik özellikleri incelenmiştir. 3D yazıcıda kullanılabilirliği test edilmiştir. Aşağıda bu çalışmanın sonuç ve önerileri maddeler halinde sıralanmıştır;

- Orijinal mumun incelenmesinde Mikrokristalin $(C_6H_{10})_n$, Parafin wax $C_{18}H_{36}O_2$, Stearik asit N_2H_4 ve Polilaktik asit $(C_3H_4O_2)_n$ kimyasalları tespit edilmiştir.
- Orijinal mumun özellikleri dikkate alınarak ve yeni kimyasallar eklenerek; polilaktik asit, mikrokristalin, parafin, stearik asit ve renklendirici ile yeni mum üretilmiştir.
- Orijinal mumdan geri kalan mumlar toplanmış ve eksikleri tespit edilerek parafin wax ve mikrokristalin eklenerek geri dönüşüm mumu elde edilmiştir.
- Orijinal mumun termal özelliğinin DSC incelenmesinde 28-69.15 °C derece arasında endotermik erime piki verdiği, bunda 3D yazıcıda 28-69.15 °C derece arasında işlem gördüğü belirlenmiştir.
- Yeni mumun termal özelliğinin DSC incelenmesinde 28-69.97 °C derece arasında endotermik (orijinal mum pikine göre daha geniş) erime piki verdiği, bunda 3D yazıcıda 28-69.97 °C derece arasında daha kolay işlenebilirlik istpatıdır.
- Geri kazanılan mumun termal özelliğinin DSC incelenmesinde 28-59.61 °C derece arasında endotermik keskin erime piki verdiği gözlenmiştir. Bu sonuçta geri kazanılan mumun 3D yazıcıda başarısız olunmasının sebebidir.
- Yeni mumun yapısal ve morfolojik özelliklerinin FT-IR ve XRD incelenmesinde de orijinal mumla benzer özellikler gösterdiği; yarı amorf yapılar ile birlikte parafin mum pikleri göstermiştir. Bu piklerin oluşması istenilen bir sonuçtur. 3D

yazıcılarda elektriklenme olmadan dış akışkanlığının parafin mum ile sağlandığı ispat edilmiştir.

- Geri kazanılan ve üretilen mumlar 3D yazıcıda denenmiştir ve üretilen mum başarılı olmuştur. Geri kazanılan mum başarılı olmamıştır.
- Üretilen mumun maliyeti orijinal muma göre 1/10 oranında daha ucuz olduğu ispatlanmıştır.
- Bu çalışmanın daha da genişletilmesi için mumu oluşturan kimyasalların etkilerinin tek değişkenli testlerinin yapılması gerekmektedir. Bu incelemelere SEM-EDX analizleride eklenmelidir. Böylece mumların karakteristik analizleri daha iyi incelenebilir.
- Çok farklı 3D yazıcıların mumları içinde bu çalışmalar ayrı ayrı yapılabilir.
- 3D yazıcılar üretimi genişledikçe bu tür çalışmalar daha önem arz edecektir.

KAYNAKLAR

- 3d Filament, (2020). 200 °C'de eriyebilen moldley filament ile kalıp dökümü. <https://www.matterhackers.com/store/3d-printer-filament/moldlay-filament-1.75mm>. (Erişim Tarihi:27.11.2020)
- Akar, N. (2000). Hassas Döküm Model Mumlarının Özelliklerinin iyileştirilmesi (No:93635) [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi. <https://www.ulusaltezmerkezi.net/hassas-dokum-model-mumlarinin-ozelliklerinin-iyilestirilmesi/>
- Altan, A. ve Hacıoğlu R. (2018). The algorithm development and implementation for 3D printers based on adaptive PID controller, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 559-564,
- Aydin, d., (2018). International Journal Of 3D Printing. *TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY*, 5(2), 9-12
- Balwant, S., Raman, K., Jasgurpreet, C. (2020). Polymermatrixcomposites in 3D printing, *Polymermatrixcomposites*, 44(5), 1562-1567.
- Boparai, K., Singh, R., Singh, H. (2015). Comparison of tribological behaviour for Nylon 6- Al₂O₃ and ABS parts fabricated by fused deposition modelling: This paper reports a low cost composite material that is more wear-resistant than conventional ABS, *Virtual Phys. Prototyp.* 10 (2) 59–66.
- Crump, S., (1992). *United States Patent No. US5121329A.*
- Dilibal S., Tansug D., Kocak M., (2016), Robotlu, mekanize ve orbital kaynak uygulamalarında operatör eğitimi, IX. Ulusal Kaynak Kongresi, Ankara.
- Farid, S., Shirazi, S., Samira G., Mehdi M., Hooman Y., Hendrik Simon Cornelis M., Nahrizul Adib K., &Noor Azuan Abu O., (2015). A review on powder-based additive manufacturing for tissue engineering. Selective laser sintering and inkjet 3D printing: *Science and Technology of Advanced Materials*, 16(3), 150-180
- Gonzalez, J., Cano, S., Schuschnigg, S., Kukla, C., Sapkota, J., Holzer, C. (2018), Additive Manufacturing of Metallic and Ceramic Components by the Material Extrusion of Highly-Filled Polymers: A Review and Future Perspectives. *Materials* 11 (3), 830-840.
- Hamod, H. (2014). 3D baskı filamentleri için geri dönüştürülmüş HDPE (Yüksek yoğunluklu Polietilen Malzeme)'nin uygunluğu: *Arcada Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Dergisi*, 9(2), 795-804.
- Injection Wax, (2007). Locy west suppliers to jewellers. https://lacywest.com/index.php?main_page=product_info&products_id=2558. (Erişim Tarihi:27.11.2020)
- Kusyairi, İ., Himavan, H. (2020). Experimental Study on Mold-Lay Filament instead of Wax in Investment Casting Process: *EMMME (Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering)* 20(21), 91-104.
- Mojtaba, F., Parvaneh, A., Lei, L., Roland, C., Yuehe, L., & Shahriar, S. (2020). Smart polymers and nanocomposites for: *Elsevier*, 22(7),215-240.
- Özsoy, K., Duman, B. 2017. Eklemeli İmalat (3 Boyutlu Baskı) Teknolojilerinin Eğitimde Kullanılabilirliği. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, (1), 36-48.
- Parandoush, P., Lin, D., A (2017). Review on additive manufacturing of polymer-fiber composites: *Compos. Struct.* 182, 36–53.
- Simhan, R., Ghosh, A. (2018). Vacuum brazing of cubic boron nitrideto medium carbon steel with Zradded passive and Ti activated eutectic Ag-Cu alloys. *Ceramics International*, 44(5), 4891-4899.

- Singh, J., Singh, R., Kumar M.M. Rahman, S., Ramakrishna A. (2019). PLA-PEKK-HAp-CS composites caff old joining with friction stir spot welding: *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, 15(3), 105-120.
- Singh, R. (2018). On secondary recycling of ZrO₂-reinforced HDPE filament prepared from domestic waste for possible 3-D printing of bearings: *J. Thermoplast. Compos. Mater.* 10(2), 90-105.
- Turner, N., Strong, R., Gold, A., (2014), A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling. *Rapid Prototyp. J.* 20, 192–204.
- Wang, X., Jiang A., (2017). *Compos: Part B Eng.* 110(10), 442–458,
- Why 3D Printing is The Future For Fine Jewelry, (2020). Boldestern 3D printed fine jewellery. <https://boltenstern.com/blogs/history/why-3d-printing> (Erişim Tarihi:15.10.2020)
- Wu, J., Li, f., Zhang, L., Qian, Z. (2017). *Effects of environment on dry sliding wear behavior of silver–copper based composites containing tungsten disulfide. Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 27(10), 2202-2213.
- Xiao, J., Zhang, W., Zhang, C. (2018). Microstructure evolution and tribological: *performance of Cu-WS2 self-lubricatingcomposites.* 25(3), 109-119.

EKLER

EK 1. Parafin Mumun XRD Pikleri (X`Pert PRO marka XRD cihazı kütüphanesi)

Name and formula

Reference code: 00-003-0254

Compound name: Paraffin wax

PDF index name: Paraffin wax

Chemical formula: (CH₂)_x

Crystallographic parameters

Crystal system: Unknown

RIR: -

Subfiles and quality

Subfiles: Forensic
Organic
Polymer

Quality: Low precision (O)

Comments

Creation Date: 1.01.1970

Modification Date: 1.01.1970

Melting Point: 126 F. Data for a mixture. (Ed.)

Reason O Quality Was Assigned: O assigned because unindexed.

References

Primary reference: Socony-Vacuum, Paulsboro, New Jersey, USA., *Private Communication*

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1				4,65000	19,071	10,0
2				4,15000	21,394	100,0
3				3,88000	22,902	40,0
4				3,73000	23,836	70,0
5				3,00000	29,757	20,0
6				2,49000	36,041	40,0
7				2,36000	38,101	20,0
8				2,24000	40,227	40,0
9				2,13000	42,402	20,0

10	2,08000	43,473	20,0
11	2,00000	45,306	1,0
12	1,92000	47,306	20,0
13	1,88000	48,376	10,0
14	1,76000	51,911	20,0
15	1,66000	55,296	1,0
16	1,62000	56,783	20,0
17	1,52000	60,899	10,0

Stick Pattern

