



T.C.

KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEĞERLİ METAL TOZLARININ ORGANİK
BAĞLAYICILAR VE KATKILARLA METAL KİL
HAMUR HALİNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ**

AHMET BALTACI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MALZEME BİLİMİ ve MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2024

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEĞERLİ METAL TOZLARININ ORGANİK
BAĞLAYICILAR VE KATKILARLA METAL KİL
HAMUR HALİNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

AHMET BALTACI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

KAHRAMANMARAŞ 2024

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.

AHMET BALTACI



Bu çalışma KSÜ Bilimsel Araştırma Birimi (BAP Proje No:2022/3-11 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.

Değerli Metal Tozlarının Organik Bağlayıcılar ve Katkılarla Metal Kil Hamur Haline Dönüştürülmesi

AHMET BALTACI

ÖZET

Bu çalışmada değerli metal tozları ile organik bağlayıcıların bileşimleri kullanılarak özellikle kuyumculuk sektöründe karmaşık, özel görünümlü takı ve süs eşyalarının el ve aletler ile şekillendirilip metal formda üretilmesini sağlayan metal kil hamurları geliştirilmiştir. Çalışmamızda metal kil hamurlarında kullanılan saf gümüş metal tozları hidrometalurji yöntemiyle üretilmiştir. Metil selüloz ve guar gam ile beş farklı metal toz karışımı (Saf Ag, 950 Ag, 925 Ag, 900 Ag, Saf Cu ve Bronz) kullanılarak kuru ve sinterlenmiş metal kil hamurları üretilmiştir. Bu üretilen metal kil hamurlarının mikroyapısı, fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimleri incelenmiştir. Araştırmalar için optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM), Arşimet yoğunluk testi, X-Işınları Floresans Spektrometresi (XRF) ve büzülme oranı analizleri yapılmıştır. Hidrometalurji yöntemiyle ürettiğimiz saf gümüş tozlarının parçacık boyutunun 50 mikrondan küçük olduğu belirlenmiştir. Üretilen metal kil hamurları ile Saf Ag, 950 Ag, 925 Ag, 900 Ag, Saf Cu ve Bronz tozlarının XRF sonuçları stokiyometrik oranlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Organik bağlayıcı ve metal tozlarının morfolojik mikroyapıları literatür ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Elde edilen metal kil hamurlarının bakır katkısının artmasıyla yoğunluk sonuçlarında düşüş olduğu belirlenmiştir. Saf metal tozlarının (gümüş, bakır) metil selüloz ve guar gam ile bağlayıcıları daha etkili olduğu belirlenmiştir. Metil selüloz ile metal tozların karışımında bakır oranı arttıkça bağlayıcılık özelliklerinin düştüğü görülmüştür. Oluşturulan metal kil hamurlarının sinterleme sonrası büzülme oranlarının yaklaşık %8-15 aralığında olduğu hesaplanmıştır. Sinterleme sonrası, zımpara ve cilası yapılan metal kil hamurlarının takı ve hediyeelik eşya yapımına uygun metal form özelliği kazandığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Değerli Metal Tozları, Metal Kil Hamuru, Organik Bağlayıcılar, SEM, XRF, Mikroyapı, Kuyumculuk

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Haziran/2024

I. Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Alaaddin GÜNDEŞ

II. Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Hakan YAYKAŞLI

Sayfa sayısı :77

Conversion of Precious Metal Powders into Metal Clay Dough with Organic Binders and Additives

AHMET BALTACI

ABSTRACT

In this study, metal clay doughs were developed that enable complex, special-looking jewelry and ornaments to be shaped with hands and tools and produced in metal form, especially in the jewelry industry, by using combinations of precious metal powders and organic binders. In our study, pure silver metal powders used in metal clay doughs were produced by the hydrometallurgy method. Dry and sintered metal clay doughs were produced using methyl cellulose and guar gum and five different metal powder mixtures (Pure Ag, 950 Ag, 925 Ag, 900 Ag, Pure Cu and Bronze). The microstructure, physical properties and chemical compositions of these produced metal clay doughs were examined. For research, optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM), Archimedes density test, X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) and shrinkage rate analyzes were performed. It has been determined that the particle size of the pure silver powders we produce by the hydrometallurgy method is less than 50 microns. XRF results of the produced metal clay doughs and Pure Ag, 950 Ag, 925 Ag, 900 Ag, Pure Cu and Bronze powders were found to be compatible with stoichiometric ratios. It was observed that the morphological microstructures of organic binder and metal powders were compatible with the literature. It was determined that there was a decrease in the density results as the copper contribution of the obtained metal clay doughs increased. It has been determined that pure metal powders (silver, copper) and binders with methyl cellulose and guar gum are more effective. It has been observed that as the copper ratio increases in the mixture of methyl cellulose and metal powders, the binding properties decrease. It has been calculated that the shrinkage rates of the created metal clay doughs after sintering are in the range of approximately 8-15%. It was determined that metal clay doughs, which were sanded and polished after sintering, gained metal form properties suitable for jewelry and souvenir making.

Keywords: Precious Metal Powders, Metal Clay Dough, Organic Binders, SEM, XRF, Microstructure, Jewelry

Kahramanmaraş Sütçü İmam University
Institute for Graduate Studies in Science and Technology
Department of Materials Science and Engineering, June/ 2024

I. Supervisor : Dr. Öğr. Üyesi Alaaddin GÜNDEŞ
Co-supervisor : Dr. Öğr. Üyesi Hakan YAYKAŞLI
Page number: 77

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, her konuda bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren, yol gösteren ve destek olan saygıdeğer danışmanlarım Dr. Öğr. Üyesi Alaaddin GÜNDEŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Hakan YAYKAŞLI' ya,

Bilimsel araştırma projesi kapsamında yapmış oldukları değerli desteklerinden dolayı Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi (BAP) birimine,

Analizlilerin ve sonuçların elde edilmesinde değerli desteklerinden dolayı Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi (ÜSKİM) birimine,

Çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Kuyumculuk ve Takı Tasarım Bölümü arkadaşlarıma,

Yaptığı çalışmalar ile herkese örnek olan ve 6 Şubat deprem felaketinde hayatını kaybeden eksikliğini her zaman hissedeceğim arkadaşım Öğr. Gör. Hakan ÖZGER'e,

Bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren ve her zaman destek olan Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Tıp Fakültesi, Tıbbi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı'nda görevine devam eden kayınbabam Doç. Dr. Kazım ŞAHİN'e

Bu günlere gelmemde her zaman ve her koşulda yanımda olan üzerimde maddi ve manevi çok emeği olan biricik Annem ve Babama,

Hayatımın her evresinde olduğu gibi çalışmalarım da bana destek olan ve hayatıma değer katan canım eşim Sinem BALTACI 'ya ayrıca bizim yaşam kaynağımız olan ve hayatımıza renk katan Kızım Zeynep ve Oğlum İbrahim'e,

En içten dileklerimle; TEŞEKKÜR EDERİM.

Ahmet BALTACI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLERİN DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Değerli Metal Kil Hamuru.....	1
1.2. Metal Kil Hamurunun Tarihsel Gelişimi	2
1.3. Ticari Olarak Üretilmiş Ürünler ve Özellikleri.....	4
1.3.1. PMC metal kil hamuru.....	4
1.3.2. Art clay silver (acs) metal kil hamuru	5
1.3.3. Prometheus metal kil hamuru	7
1.4. Metal Kil Hamurlarının Ortak Özellikleri	8
1.5. Metal Kil Hamurların Üretiminde Kullanılan Teçhizatlar	8
1.6. Metal Kil Malzemeleri.....	9
1.6.1. Metil selüloz	9
1.6.2. Xanthan Gum (Ksantan Gam)	10
1.6.3. Gam Arabik (Arap Zamk1)	11
1.6.4. Guar Gam.....	12
1.6.5. Jelatin.....	12
1.6.6. Agar Agar	13
1.6.7. Zeytin Yağı.....	13
1.6.8. Gliserin	14
1.6.9. Propilen Glikol.....	14
1.7. Metal Kil Hamuru Sinterleme Yöntemleri	14

1.8. Hidrometalurji Yöntemi.....	16
1.9. Tezin Amacı.....	17
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	18
3. MATERYAL ve METOT.....	23
3.1. Metal Kil Hamurun Hazırlanmasında Kullanılan Malzemeler.....	23
3.2. Metal Tozların Hazırlanmasında Kullanılan Malzemeler	25
3.3 Üretimde kullanılan Metal Tozları	25
3.4. Metal Kil Hamurunun Üretimi	25
3.5. Sinterleme İşlemi	26
3.6. Analiz ve Testler.....	27
3.6.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	27
3.6.2. Optik mikroskop	28
3.6.3. X-Işınları Floresans Spektrometresi (XRF).....	29
3.6.4. Arşimet yoğunluk testi	30
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	32
4.1. Metal Tozlarının Üretimi.....	33
4.2. Organik Bağlayıcının Belirlenmesi	35
4.2.1. Metil selüloz katkı oranlarının incelenmesi	41
4.2.2. Guar gam katkı oranlarının incelenmesi.....	43
4.2.3. Metil selüloz metal kil hamuru üretimi	43
4.2.4. Guar gam metal kil hamuru üretimi	45
4.2.5. Organik yüzey ajan belirlenmesi	47
4.2.6. Hamur uygulamaları için 3B kalıp tasarımı	48
4.3. Metal Kil Hamuru için Organik Bağlayıcı Analizleri	50
4.3.1. Optik mikroskop görüntüleri	51
4.4. Metal Üretiminde Kullanılan Tozların Analizleri	53

4.4.1. XRF analizleri	53
4.4.2. Optik mikroskop görüntüleri	54
4.4.3. SEM görüntüleri	55
4.5. Metil Selüloz Metal Kil Hamurunun Analizleri	56
4.5.1. Kuru hamur analizi	56
4.5.2. Sinterlenmiş metal kil hamur analizleri	59
4.6. Guar Gam Metal Kil Hamurunun Analizleri	63
4.6.1. Kuru hamur analizi	63
4.6.2. Sinterlenmiş metal kil hamur analizleri	66
4.7. Arşimet Yoğunluk Testi	70
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	77

ŞEKİLLERİN DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1 Art Clay Silver (ACS) 1995’den günümüze üretim yaptığı ürünler [5]	4
Şekil 1.2 PMC metal kil ürünleri [10]	5
Şekil 1.3 Selüloz molekül yapısı [18]	10
Şekil 1.4 Ksantan gam kimyasal formüllü [19]	11
Şekil 1.5 Sinterleme yöntemleri [29]	15
Şekil 1.6 Hidrometalurji Sınıflandırılması [30]	16
Şekil 3.1 Metal kil hamurlarının sinterleme ve sonraki işlem görüntüleri	26
Şekil 3.2 Metal kil hamurlarının sinterleme sonrası görüntüleri	27
Şekil 3.3 Taramalı elektron mikroskobu Zeiss Evo LS10 (SEM) cihazı	28
Şekil 3.4 Nikon SMZ1500 model stereo optik mikroskop	29
Şekil 3.5 Fischerscope X-ray XDV marka model XRF cihazı	30
Şekil 3.6 Yoğunluk testinde kullanılan terazi	31
Şekil 4.1 Hidroliz yöntemi için hazırlanan çözelti	33
Şekil 4.2 Hidroliz yöntemiyle elde edilen gümüş tozlarının üretim süreci	33
Şekil 4.3 Ag tozlarının süzme ve kurutma işlemleri sırasındaki görüntüleri	34
Şekil 4.4 Deneylerde kullanılacak olan 50 µm altı has toz gümüş	34
Şekil 4.5 OB1- Jelatin bağlayıcı ile hamur üretim aşamaları	36
Şekil 4.6 OB2 Ksantan Gam bağlayıcı ile hamur üretim aşamaları	37
Şekil 4.7 OB3 Guar gam bağlayıcı ile hamur üretim aşamaları	38
Şekil 4.8 OB4 Metil Selüloz bağlayıcı ile hamur üretim aşamaları	39
Şekil 4.9 OB5 Arap Zamkı bağlayıcı ile hamur üretim aşamaları	40
Şekil 4.10 OB6 Agar agar bağlayıcı ile hamur üretim aşamaları	40
Şekil 4.11 S-Ag deney grubu hamurların görüntüleri	42
Şekil 4.12 Metil selüloz ile yapılan karışımların hamur formları	44

Şekil 4.13 Metil selüloz ile şekil verilmiş ve sonrasında kurutulmuş ürünler	44
Şekil 4.14 Guar gam ile yapılan karışımların hamur formu.....	46
Şekil 4.15 Guar gam ile şekil verilmiş ve kurutulmuş formlar	46
Şekil 4.16 Metal kil hamuru üretiminde Matrix 9.0’da yapılan 3B modelin iç yüzeyi	48
Şekil 4.17 Metal kil hamuru üretiminde Matrix 9.0’da yapılan 3B modelin dış yüzeyi.....	49
Şekil 4.18 3B kalıp üretimi için kullanılan Envisiontec P4k reçine makinesi	49
Şekil 4.19 3B kalıplardan üretilmiş saf gümüş metal kil hamurları.....	49
Şekil 4.20 Metal kil hamurlarının sinterlenme işlemi	50
Şekil 4.21 Cilalanmış saf gümüş metal kil ürünleri	50
Şekil 4.22 Sinterlenmiş (a) Agar agar, (b) Arap zımkı, (c) Guar gam, (d) Jelatin, (e) Ksantan gam ve (f) Metil selüloz metal kil hamurlarının OM görüntüleri.....	52
Şekil 4.23 Metal kil hamur üretiminde kullanılan (a) saf Ag, (b) saf Cu ve (c) Bronz tozlarının OM görüntüleri.....	54
Şekil 4.24 Metal kil hamur üretiminde kullanılan (a) Agar agar, (b) Arap zımkı, (c) Guar gam, (d) Jelatin, (e) Ksantan ve (f) Metil selüloz organik bağlayıcıların OM görüntüleri .	55
Şekil 4.25. Metal kil hamur üretiminde kullanılan (a) Saf Ag, (b) Saf Cu ve (c) Bronz tozlarının SEM görüntüleri.....	56
Şekil 4.26 Metil selüloz kullanılarak üretilen (a) Saf Ag, (b) 950 Ag, (c) 925 Ag, (d) 900 Ag, (e) Saf Cu ve (f) Bronz kuru metal kil hamurlarının OM görüntüleri.....	57
Şekil 4.27 Metil selüloz kullanılarak üretilen (a) Saf Ag, (b) 950 Ag, (c) 925 Ag, (d) 900 Ag, (e) Saf Cu ve (f) Bronz sinterlenmiş metal kil hamurlarının OM görüntüleri.....	62
Şekil 4.28 Sinterlenmiş (a) Saf Ag, (b) 950 Ag, (c) 925 Ag ve (d) 900 Ag metil selüloz metal kil hamurlarının SEM görüntüleri	63
Şekil 4.29 Guar gam kullanılarak üretilen (a) Saf Ag, (b) 950 Ag, (c) 925 Ag, (d) 900 Ag, (e) Saf Cu ve (f) Bronz kuru metal kil hamurlarının OM görüntüleri.....	64
Şekil 4.30 Guar gam kullanılarak üretilen (a) Saf Ag, (b) 950 Ag, (c) 925 Ag, (d) 900 Ag, (e) Saf Cu ve (f) Bronz sinterlenmiş metal kil hamurlarının OM görüntüleri.....	69
Şekil 4.31 Sinterlenmiş guar gam metal kil hamurlarının SEM görüntüleri (a) saf Ag, (b) 950 Ag, (c) 925 Ag ve (d) 900 Ag.....	70

ÇİZELGELERİN DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 1.1 ACS ürünleri ve özellikleri [5].....	5
Çizelge 1.2 Prometheus firmasının metal kil ürünleri [11]	7
Çizelge 1.3 Fiziksel işlemlerle elde edilen yağ çeşitleri [26].....	13
Çizelge 3.1 Metal kil hamur birleşiminde kullanılan bağlayıcı malzemeler.....	24
Çizelge 3.2 Metal kil hamur birleşiminde kullanılan organik yüzey ajanları	24
Çizelge 4.1 Organik bağlayıcıların seçimi	35
Çizelge 4.2 Organik bağlayıcıların belirlenmesinde ölçüm tablosu.....	41
Çizelge 4.3 Metil selüloz oranlarının belirlenmesi	42
Çizelge 4.4 Guar gam oranlarının belirlenmesi.....	43
Çizelge 4.5 Metil selüloz kullanılarak oluşturulan formun ölçüm tablosu	45
Çizelge 4.6 Guar gam kullanılarak oluşturulan formun ölçüm tablosu	47
Çizelge 4.7 Organik yüzey ajanlarını ve metal kil hamuruna etkileri.....	47
Çizelge 4.8 Saf Cu metal tozlarının XRF analizi	53
Çizelge 4.9 Saf bronz metal tozlarının XRF analizi.....	53
Çizelge 4.10 Saf Ag metal tozlarının XRF analizi	53
Çizelge 4.11 Metil selüloz saf Ag kuru metal kil hamurunun XRF analizi	58
Çizelge 4.12 Metil selüloz 950 Ag kuru metal kil hamurunun XRF analizi.....	58
Çizelge 4.13 Metil selüloz 925 Ag kuru metal kil hamurunun XRF analizi.....	59
Çizelge 4.14 Metil selüloz 900 Ag kuru metal kil hamurunun XRF analizi.....	59
Çizelge 4.15 Metil selüloz saf bakır kuru metal kil hamurunun XRF analizi.....	59
Çizelge 4.16 Metil selüloz bronz kuru metal kil hamurunun XRF analizi	59
Çizelge 4.17 Metil selüloz saf Ag sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi.....	60
Çizelge 4.18 Metil selüloz 950 Ag sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi	60
Çizelge 4.19 Metil selüloz 925 Ag sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi	60

Çizelge 4.20	Metil selüloz 900 Ag sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi	61
Çizelge 4.21	Metil selüloz saf bakır sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi.....	61
Çizelge 4.22	Metil selüloz saf bronz sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi.....	61
Çizelge 4.23	Guar gam saf Ag kuru metal kil hamurunun XRF analizi	65
Çizelge 4.24	Guar gam 950 Ag kuru metal kil hamurunun XRF analizi	65
Çizelge 4.25	Guar gam 925 Ag kuru metal kil hamurunun XRF analizi	66
Çizelge 4.26	Guar gam 900 Ag kuru metal kil hamurunun XRF analizi	66
Çizelge 4.27	Guar gam saf bakır kuru metal kil hamurunun XRF analizi	66
Çizelge 4.28	Guar gam saf bronz kuru metal kil hamurunun XRF analizi	66
Çizelge 4.29	Guar gam saf Ag sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi	67
Çizelge 4.30	Guar gam 950 Ag sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi.....	67
Çizelge 4.31	Guar gam 925 Ag sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi.....	67
Çizelge 4.32	Guar gam 900 Ag sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi.....	68
Çizelge 4.33	Guar gam saf Cu sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi	68
Çizelge 4.34	Guar gam saf bronz sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi.....	68
Çizelge 4.35	Sinterlenmiş metal kil hamurlarının yoğunlukları	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

µm	: Mikrometre
18 K	: 18 Ayar
22K	: 22 Ayar
ACS	: Art Clay Silver (Sanatsal Kil Gümüşü)
Ag	: Gümüş
Cu	: Bakır
E415	: Avrupa gıda katkı maddesi numarası
E461	: Avrupa gıda katkı maddesi numarası
EFSA	: Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi
FDA	: Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi
H₂SO₄	: Sülfürik Asit
HNO₃	: Nitrik Asit
IUPAC	: Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği
OB	: Organik Bağlayıcı
OM	: Optik stereo mikroskop
Pb	: Kurşun
PMC	: Precious Metal Clay (Değerli Metal Kil)
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
Sn	: Kalay
XRF	: X-Işınları Floresans Spektrometresi

1. GİRİŞ

1.1. Değerli Metal Kil Hamuru

Değerli metallerin mikroskobik olarak ince toz haline getirilerek elde edilen metal tozunu, toksik olmayan organik bağlayıcılar ve katkıları ile birleşimi sonrasında değerli metal kil hamuruna dönüştürülmesidir. Kuyumculukta geleneksel metal işleme teknikleri ile yapılması zor olan üretimlerin yenilikçi teknikler kullanılarak özgürce el, alet veya kalıplar kullanılarak şekillendirilebilmesi, ayrıca içeriğinin sağlığa zararsız organik bileşiklerden oluşturulması metal kil hamurunu sanatçılar ve kuyumcular tarafından ilgi çeken bir malzeme haline getirmiştir. Kuyumculukta takı üretim tekniklerini düşündüğümüzde alet ve ekipmanların ekonomik anlamda maliyetli olduğu bilinmektedir. Metal kil hamurunda kullanılan ekipmanların az ve ekonomik olmasıyla sanatçıların bu kaygısını ortadan kaldırarak tercih edilmesini sağlamıştır. Değerli metal kil hamuru aynı seramik kil teknikleri gibi belirli aşamalardan oluşmaktadır. Gerekli durumlarda kurutulmuş değerli metal kil hamuruna sonradan ekleme, delme, kesme, eğeleme yapılabilmektedir. Değerli metal kil hamuru kurutulmuş olsa bile üzerinde çalışma imkânı sunması, sanatçılara uygulamalarında kolaylıklar sağladığı bildirilmektedir [1].

Değerli metal kil hamuru el ve aletler yardımı ile istenen şekil ve tasarımın yapılması sonrasında yapılan şeklin formunun bozulmadan metal haline dönüşebilmesi için içerisindeki karışımda kullanılan suyun tamamen uzaklaştırılması önemlidir. Bu işlem için açık alanda bekletme, fırın veya fön makinesi gibi yöntemler kullanılabilmektedir. Kuruma aşamasının yavaş olması ve yapılan ürünleri fırında 90 °C bekletilerek nemin uzaklaştırılması önerilmektedir. Kurutulmuş metal kil hamurunun sonraki işlemi ise ısıtma işlemi (Sinterleme) uygulanmasıdır. Bu aşamada çeşitli ısıtma işlemleri uygulanarak bağlayıcıların, katkıların yanması sağlanır ve sonrasında geride kalan mikroskobik metal tozların birbirleri ile kaynaşarak metal form özelliği kazandırıldığı belirtilmektedir. Oluşturulan nesne döküm standartlarında olmasa da takı veya süs eşyası olarak kullanılabilecek fiziksel özelliklere sahip olacağı belirtilmektedir [1,2].

Metal kil hamuruna sanatçı tarafından bakarsak son derece olumlu yorumları görülmektedir. Sanatçıların bir eser oluştururken verdiği emeğinin yanında makine, ekipman, kullanılan tekniklerin karmaşıklığı ve bu teknik malzemelere ulaşılabilirliğin zor olması sanat eserlerini üretirken kaygı ve zorlukları da beraberinde getirmektedir. Metal kil hamuru ise bu kaygıyı sanatçılar da ortadan kaldırmaktadır. Sanatçının metal kil hamuru ile oluşturacağı eserlerinde

malzemenin kullanım kolaylığının yanı sıra ekonomik anlamda maliyetlerin vermiş olduğu kaygı olmadan estetik değeri düşünülerek işlenirse sanat eserine dönüşebildiğini belirtilmektedir [3].

1.2. Metal Kil Hamurunun Tarihsel Gelişimi

Değerli metal kil hamurun oluşumu aslında çok eski zamanlara dayanmakta olup tıpkı seramik kilin önce şekil verilip sonrasında ısıtılarak işlenerek çanak, çömlek gibi eserleri oluşturmak için kullanılan tekniğin mantığında geliştirilmiş bir üründür. Değerli metal kilin ana bileşeninde metal tozları bulunmaktadır. Son yüzyılda metal tozları birçok alanda kullanılmakta, kuyumculuk alanında ise kıymetli eşyaları üretmek amacıyla kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile metal tozlarının kullanım alanları gittikçe yaygınlaşmaya devam etmektedir [1].

1990 yıllarda Japonya’da kurulan Mitsubishi Materials Corporation firması çalışanları Dr. Morikava ve arkadaşları metal tozunu karışımlar yaparak metal kil hamurunu keşfetmişlerdir. Dr. Morikava ve arkadaşlarının geliştirdikleri ürünün tıpkı seramik kili gibi el ve kesici aletler yardımı ile şekillendirme özelliklere sahip olması en önemli basamağı olup bunu yaparken insan sağlığını da göz önünde bulundurarak organik katkılar kullandıklarını belirtmişlerdir. Metal kil hamuru takının yanında dekoratif hediyelik eşyaları süslemek, renk katabilmek ve seramik sanatçıların ürünlerini süslemelerinde kullanılmasının da mümkün olduğunu belirtmişlerdir. İlk olarak altın ve sonrasında gümüş metal tozunu kullanarak geliştirmişlerdir. Metal kil hamuru; herhangi bir kuyumculuk becerisi kazanmak için yapılan işlemler ile kıyaslandığında şekil vermenin daha kolay ve el becerisi kazanarak kısa bir sürede takı üretiminin gerçekleştirebileceği belirtilmiştir. [1].

Kuyumculuk malzeme ve ekipmanları çok pahalıdır. Ancak metal kil ile karşılaştırıldığında bu pahalı ekipmanlara ihtiyaç duymadan sadece fırın, meşale, ege, keski, freze gibi birkaç malzeme ile çalışma ortamı oluşturulup üretim yapma kolaylığı sağlaması yaygınlaşmasını hızlandırmıştır. Takı ve süs eşyası oluşturmak ve bunları üretebilmek için gerekli araçların az olması bunu atölye ortamından çıkarıp birçok alanda çalışma ve üretme imkanını ortaya koymaktadır. Metal kilin kullanımı; hamur formunda, hamurun kuruma sonrasında veya metal formuna dönüştüğünde dahi üzerinde ekleme, çıkarma, kesme, eğeleme, delme gibi her türlü işlemlerin kolaylıkla yapılabilmesi özellikle sanatçıların eserlerini üretmesini kolaylaştırmıştır [1].

Geçmişten günümüze doğru bakıldığında değerli metal kil hamurunu geliştiren ve üreten birçok üretici ortaya çıkmıştır. İlk olarak üreten Japon firması Mitsubishi Materials Corporation değerli metal kil (Precious Metal Clay-PMC) adında üretim yapmıştır. Sonrasında ise yaygınlaşarak günümüze kadar artmaya devam etmiştir. Bunlar; Sanat kil gümüş (Art Clay Silver-ACS), Cool Tools, Prometheus, Project X, Five Star, Goldie, Hadar's Clay, Aussie Metal Clay gibi firmalar günümüzde metal kil üreticileri olarak bilinen markalardır. Bu markalar tarafından hamur, şırınga, pasta veya toz formunda ürünler bulunmaktadır [1].

PMC' den sonra gene başka bir Japon şirketi olan ACS tarafından 1995 yılında metal kil hamuru geliştirilmişlerdir. ACS firması metal geri dönüşüm tesisi olduğunu belirtmektedir. ACS 1995'den günümüze kadar birçok ürün üretmiştir. Bunlar, silver gold ve slow dry type gibi yeni ve özel ürünler geliştirmiş ve içerisinde bulunan nemi daha çok tutmasını sağlamış ve esneklik daha uzun süre dayanabilmesini sağladığını belirtmektedirler. Ayrıca Art Clay Silver Paper Type kağıt formunda origami gibi sanatsal becerileri ortaya koyabilmek için ince kağıt formunda metal kil hamuru üretmişlerdir. 2002 yılında ek olarak Art Clay Overlay Silver Paste geliştirerek sırlı porselen, cam, taş ve tamir için boyama yapar gibi kolaylıklar sağlayan istenildiğinde suyla seyreltilerek kullanılabilmesini belirtmişlerdir. 2002 ile 2004 arasında Art Clay Silver 650 ürününü geliştirmişler ve 650°C'de fırınlanarak sinterlenmenin sağlanabildiğini belirtmektedirler. Art Clay Silver Slow Tarnish serisini 2004 yılında dünyanın ilk geliştirilen anti-ternsh (işlemler sonrasında yavaş kararma) özelliğine sahip olan oksitlenmeye dayanıklı gümüş kilini geliştirmişlerdir. Art Clay Gold Paste ile 2005 yılında kullanıcılara gümüş parçaları kaplayarak altın gibi görünmesini sağlamışlar. ACS firması 2012 yılında, Art Clay Silver metal kil hamurların işlenebilirliği, nem kontrolü ve düşük sıcaklıkta sinterlemeyi bir araya getirerek ürünlerinin tamamına uyguladıklarını belirtmektedirler. Art Clay Silver 950 gümüş ve bakırın birleştirilmesi ile ortaya çıkarılan bu metal kil standart Art Clay Silver'dan yaklaşık %60 daha fazla sertlik ve dayanıklığa sahip olduğu belirtilmektedir. 2022 yılında ise Art Clay Bronz %90 Cu, %10 Sn içeriğe sahip ürünü ticari olarak kullanıcılarına sunmuştur. Yapmış oldukları sanatsal faaliyetler sonucunda Art Clay ürün ve çeşitleri dünya çapında 48'den fazla ülkede. ACS ürünlerinin kronolojik üretim sırası kullanılmaktadır. Şekil 1.1'de verilmiştir [4-5].



Şekil 1.1 Art Clay Silver (ACS) 1995’den günümüze üretim yaptığı ürünler [5]

Metal Adventures 2008 yılında Bronz metal killerini geliştirmişlerdir. Bronz, bakır gibi baz metal killer, atmosferik oksijen ile oksidasyonunu ortadan kaldırmak Bill Struve'nin bulduğu karbon ateşleme yöntemi kullanılarak sinterlenmektedir. Metal kil hamur parçalarını bir kabın içindeki aktif karbon içerisinde birlikte ısıtılarak işlem yaparak oksitlenmeyi düşürme yöntemini kullanıp literatüre katkı sunmuşlardır. Karbon içerisinde fırında sinterlemenin bulunması sonrası bronz ve bakır kil kullanımını Hadar's Clay Bronz, Prometheus, Goldie Bronz, Aussie Metal Clay gibi üreticilerin yeni bronz ve bakır killeri tanıtılarak yaygınlaşmasını sağlamışlardır. Altına oranla bakır, gümüş ve bronz metal kil hamurları ekonomik olması sebebiyle tercih edilmiştir [6].

1.3. Ticari Olarak Üretilmiş Ürünler ve Özellikleri

Birçok yeni ve farklı konseptler, eklemeler ve içerikler ile ortaya yeni markaların ürettiği metal kil hamurlarının kullanımı yaygınlaşmaya devam etmektedir. Hamur killer dünyada birçok yerde ofis ve distribütör veya internet aracılığıyla tüm dünyaya satılmaktadır. Ülkemizde gümrük olayı ile karşılaşmadan sadece Prometheus ürünlerine ulaşılabilir. Goldie Metal ve Hadar's Clay, Aussie Metal Clays diğer firmalardan farklı bir konsept sunmakta ve metal kilini toz birleşimi halinde sunmaktadır. Ürünleri oluşturan bütün birleşenler toz haline getirilmiş ve kullanılması için sadece su katılması ve karıştırılması gerektiği belirtilmektedir [7–9].

1.3.1. PMC metal kil hamuru

PMC firması metal kil hamuru konusunda oldukça farklı ürünler geliştirmiş, ilk önce altın sonrasında gümüş, bakır ve bronz kil hamuru üretmiştir. PMC firması tarafından üretilen metal kil hamuru ürünleri aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

PMC Flex, metal kil hamuru, uzun çalışma ve daha uzun sürede kurumaya sahiptir. PMC+, kâğıt gibi işlenebilen/katlanabilen sayfa/kâğıt biçimindedir. One Fire Sterling PMC, sadece fırında sinterleme yapmak için üretilmiştir. PMC Sterlin (metal kil hamuru, ince gümüş PMC'nin iki katından daha fazla dayanıklılığa sahip olduğunu bakır içeriği nedeniyle sinterleme iki adımda gerçekleştirilmektedir. PMC Aura 22K, tasarımları vurgulamak veya süslemek için üzeri boyanabilen (%91,6 saf altın ve %8,4 saf gümüş içeren) altını macun formunda üretilmiştir. Yukarıda bahsedilen metal kil hamurları piyasa formları Şekil 1.2'de sunulmuştur.



Şekil 1.2 PMC metal kil ürünleri [10]

1.3.2. Art clay silver (acs) metal kil hamuru

Art Clay Silver (ACS) firması tarafından metal kil hamur formunda üretilen birçok ürün bulunmaktadır. Çizelge 1.1'de oluşturulan ACS ürünleri ve özellikleri belirtilmektedir.

Çizelge 1.1 ACS ürünleri ve özellikleri [5]

	Kil türü ürünlerinin 7-10-20 gr mevcuttur. En çok tercih edilen ürünlerin arasında olduğu belirtilmektedir. Büzülme oranı: Yaklaşık %8-9 Gümüş oranları : %92 + %8'lik kısım bağlayıcı + su + yağlayıcıdır. Fırında 650 °C en az 30 dk sinterlenme sağlanır. Elde ve ocaklarda sinterlenebilir.
	Dekorasyon, tamir ve küçük boşlukları doldurmak için kullanılır. Gümüş oranı: %88 (%12'lik kısım Bağlayıcı ve Su'dur). Gümüş saflığı: %99,96'nın üzerindedir. Büzülme: Yaklaşık %8-9 Fırında 650 °C en az 30 dk sinterlenme sağlanır. Elde ve ocaklarda sinterlenebilir.

	Hamur tipi karışımındaki su miktarı oranına göre %2 daha fazla su içerir. Gümüş oranı: %90 + %10'luk kısım bağlayıcı ve su'dur Gümüş saflığı: %99,96'nın üzerinde Büzülme: Yaklaşık %8-9 Fırında 650 °C en az 30 dk sinterlenme sağlanır. Elde ve ocaklarda sinterlenebilir.
	Temel tip Art Clay Silver'dan 10 kat daha yavaş kararır. Büzülme: Yaklaşık %8-9 Gümüş oranı: %91,5 Gümüş saflığı: %99'un üzerinde Fırında 800 °C en az 30 dk sinterlenme sağlanır. Elde ve ocaklarda sinterlenebilir.
	Bu, daha fazla işlenebilirlik, ayrıntılı tasarımlarda kolaylık sağladığı belirtilmektedir. Gümüş oranı: %87,5 Gümüş saflığı: %99'un üzerinde Fırında 800 °C en az 30 dk sinterlenme sağlanır. Elde ve ocaklarda sinterlenebilir.
	Hamur tipi karışımında ki su miktarı kil tipine göre %11,9 daha fazladır. Gümüş oranı: %79,6 Gümüş saflığı: %99'un üzerindedir. Büzülme: Yaklaşık %8-9 Fırında 800 °C en az 30 dk sinterlenme sağlanır, ayrıca elde ve ocaklarda da sinterlenebilir.
	Gümüş 950 metal kil yaklaşık % 60 daha dayanıklı, Gümüş alaşım oranı: % 90 (Kalan %10'luk kısım Bağlayıcı ve Su) Gümüş saflığı: %95 Büzülme: Yaklaşık% 10-13 Sadece Fırında sinterleme yapılır iki aşamalı olarak yapılır. 500 °C 30dk sonra 870 °C'de 60 dk sonra fırın 200 °C'ye düşürülerek ürün çıkartılır.
	Pişirme öncesi bakır oranı: %90 (%10'luk kısım Bağlayıcı ve Su) Bakır saflığı: %99,5'in üzerinde Büzülme: Yaklaşık %10 En az 30 dakika 970 °C fırında sinterlemenin uygun olduğu belirtilir.
	22 ayar altın tozu, bağlayıcı madde ve sudan oluşur. Oranlar %95'i 22 ayardır. (Altın %91,7, Gümüş %8,3) Büzülme: Yaklaşık %15 Ateşleme programı: En az 60 dakika 990 °C fırında sinterlenir.

	Doku ekleyebilir veya doğrudan yüzeye uygulanabilir. Sanat gümüş kili , seramik, porselen ve/veya cam üzerinde kullanılabilir. Altın oranı: %77,5 22 ayardır ve diğer kiler ile birleştirerek ayrıca kullanılabilir.
	Bronz, bakır/kalay alaşım oranı: (Bakır %90, Kalay %10) Kil halinde: %90 (%10'luk kısım Bağlayıcı ve Su) Büzülme: Yaklaşık %10-%13 İndirgeyici atmosfer altında aktif bir karbon içinde pişirilmesi önerilir. Soğuk fırına konulup 860 °C'ye gelene kadar 2 saat beklenir.

1.3.3. Prometheus metal kil hamuru

Prometheus firması metal kil hamurlarını Türkiye’de üretmektedir. Firmanın ürettiği metal kil hamurlarının listesi ve özellikleri Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.2 Prometheus firmasının metal kil ürünleri [11]

	Fırınlamadan önce kurutularak metal kil nemden uzaklaştırılmış olmalıdır. 700 °C’ye çıkarıp 1 saat süresince fırınlanarak sinterlenir. Büzülme oranı: %13
	Fırınlamadan önce kurutularak metal kil nemden uzaklaştırılmış olmalıdır. Parçalarınızı oda sıcaklığındaki fırını 800 °C’1 saat süresince fırınlayın. Büzülme oranı: 15%
	Fırınlamadan önce kurutularak metal kil nemden uzaklaştırılmış olmalıdır. Prometheus Bakır Kili sinterleme sıcaklıkları 920 °C’de 30 dakika Şaloma ile 10 dakika pişirmeniz yeterlidir. Prometheus Bronz Kili 820 °C derecede 30 dakika fırınlamanız yeterlidir. Büzülme oranı; PCC %9-10, PBC %12-13, PSB %12-13, PSW %15-16, PGY %13-14, PLY %17-19, PWB %10-11.

1.4. Metal Kil Hamurlarının Ortak Özellikleri

Metal kil hamurlarının ortak özellikleri hamur formunda şekil verilebilmesidir. Metal kil hamurları ve toz formları; mikroskobik metal tozu, organik bağlayıcılar, yüzey aktif ajanları, saf su karıştırılarak elde edilmektedir. Metal kil hamuru toz formuna su katılarak metal kil hamuru formuna dönüştürülebilmektedir. Metal kil hamurlarının sinterlenme öncesi içerisindeki nemin tamamen uzaklaştırılması gerekir. İçerisinde nem kalması ürünün sinterlenme öncesi kırılma, çatlama veya sinterlenme esnasında model üzerinde kabartılı bozulmalara neden olabilir. Bu gibi durumların olmaması için verilen tavsiyeler arasında kendi halinde bekletilmesi, 90 °C'yi aşmayacak şekilde fırın içerisinde kurutulması veya fön ile sıcak hava üflenerek kurutma yapılmasıdır. Metal kil hamurlarında bağlayıcı maddeler ve katkılar her ne kadar doğal olsa da sinterleme sırasında karbondioksit ve buhar salınmasına neden olacağından atmosferik ortamın kontrol altında olması gerekmektedir. Metal kil hamurlarının ısıtma işlem sonrasında formlarında küçülme olduğu bu oranların metal tozuna, katkı oranlarına ve sinterlenme sıcaklıklarına göre en az %5 en çok %30 aralığında küçülme olacağı belirtilmiştir. Metal kil hamurlarının en uygun sinterleme şartlarının metalin ergime sıcaklığına yakın olan sıcaklıkta olmasıdır. Fakat düşük sıcaklıklarda dahi yüksek mukavemet ve sertlik sağlandığı yönünde firmaların çalışmalarının olduğu belirtilmiştir. Metal kil hamurlarının içerisindeki bağlayıcılar ve metal oranları ve metal tozunun tanecik yapısı gibi farklılarından dolayı hamur, pasta, şırınga, toz vb. ticari olarak çeşitleri bulunmaktadır. Şırınga formu tamir onarımında ve serbest form çalışmalarında elastik ve akışkan yapıda olması kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Pasta halindeki formlar ise birleştirme hamur ile kaynak dolgu gibi işlemleri kolaylaştırmak için sunulan formlardır [7,8,12–16].

1.5. Metal Kil Hamurların Üretiminde Kullanılan Teçhizatlar

Metal kil hamurlarını kullanan zanaatkarlar el becerisi ile üretim yapmaktadır. Bu üretimlerin temelinde el sanatları bulunmaktadır. Bundan dolayı da metal kil hamurunun üretiminde el ile kullanılabilecek alet ve teçhizatlar kullanılmaktadır. Metal kil hamuru üretimi sırasında kullanılan malzemeler aşağıda detaylandırılmıştır.

Isı tabancası, piyasemen, ege setleri, spatül, teflon plaka, aktif karbon, fırın, çelik veya cam karışım havanı, sünger, zımpara, uzun telli fırça, merdane, tesviye bloğu, kalıp silikon, kalınlık mastarları, kurutma ızgarası, cam plaka, tasarım sırasında el ve doku aparatları gibi aletler bulunmaktadır.

1.6. Metal Kil Malzemeleri

Metal kil hamurunu oluşturmak için metal tozu içerisine organik bağlayıcılar ve katkılar ilave edilerek hamur formu oluşturulur. Metal kil içerisinde Altın, gümüş, bakır ve bronz en yaygın kullanılan metal tozlarıdır. Genel olarak metallerin saf halleri ve metal tozlarının karışimleri kullanılmaktadır. Kullandığımız bağlayıcılar ve yüzey aktif ajanları konu başlıkları altında açıklanmıştır.

Altın Tozu: 22 ayar altın tozları genellikle kaplama ve pasta form şeklinde daha hesaplı kullanım imkanları sunmak için kullanılmaktadır.

Bakır Tozu: Bakır tozu fiyatının uygun olması nedeniyle kullanım alanları bir hayli fazladır. Saf halde kullanımının yanı sıra alaşımlandırılmış formları da kullanılmaktadır.

Gümüş Tozu: Gümüş fiyatının ekonomik olmasından dolayı özellikle sanatçılar tarafından tercih edilmektedir. Saf olarak kullanılmasının yanı sıra altın içerisinde ayar düşürmeye bronz katkısı akışkanlık ve farklı renk spektrumu kazandırmaktadır.

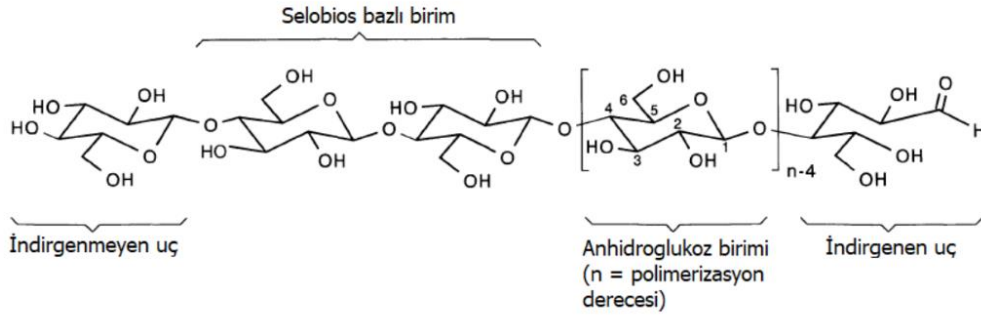
Bronz tozu: Kalay, bakır ve gümüş tozu gibi farklı metal tozları bir araya getirilerek oluşturulmaktadır. Farklı oranlarda ve farklı metaller kullanılarak farklı renk içerikleri oluşturulabilmektedir.

Kalay Tozu: Tek başına kullanılmamakla birlikte genelde bakır ve gümüş içerisine katılarak bronz elde etmede kullanılmaktadır.

1.6.1. Metil selüloz

Selülozdan elde edilen saf beyazımsı toz halinde bulunur. Doğal olarak bulunmayıp, kostik çözelti sonrasında selülozun kaynatıldıktan sonra, metil klorür ile kimyasal tepkime sonucu sentetik olarak elde edilir. Soğuk veya sıcak suda çözülebilmektedir. Selüloz, organik ve toksik ve alerjik değildir. Tatsız, granül veya toz şeklinde lifli görünüşe sahiptir. Metanol, etanol, kloroform ve benzen gibi organik çözücülerde znmez. Genel olarak tekstil, gıda ve kozmetik ürünlerinde kullanılmaktadır. Gıda katkı maddeleri sınıflandırılmasında E461 olarak adlandırılır. Tekstil ve gıda sanayisinde kalınlaştırıcı, koruyucu, yapıştırıcılarda katkı olarak kullanılmaktadır. Kıvam arttırıcı, kristalizasyon kontrolü, bağlayıcı, çökmeyi önleyici ve yapı düzenleyici olarak (unlu mamuller, süt ve süt ürünleri, kremalar, dondurulmuş ürünler, dondurma, meyveli ürünler, turtalar, alkolsüz içecekler, şuruplar)'da kullanılmaktadır. Viskozite düzenleyici olarak kullanılır. Bazı gıda uygulamalarında guar gam, jelatin, agar agar, sodyum aljinat ve pektin gibi diğer bazı koyulaştırıcıların yerini de

alabileceği belirtilmektedir. Kozmetik ve kişisel bakım ürünlerinde bağlayıcı, emülsiyon stabilize edici, film oluşturuucu, maskeleye ve viskozite kontrol maddesi olarak işlev görmektedir. Diğer kullanım alanları; şekerlemeler, kaplamalı çerezler, et ve balık ürünleri, kuru karışımlar ve hayvan yemlerinin içeriğinde kullanılmaktadır [17-18]. Selüloz kimyasal molekül yapısı Şekil 1.3’de sunulmuştur.



Şekil 1.3 Selüloz molekül yapısı [18]

1.6.2. Xanthan Gum (Ksantan Gam)

Xanthomonas campestris ile enfekte edilen bitkilerden fermente edilerek elde edilen Ksantan gamın en önemli özelliği soğuk veya sıcak fark etmeksizin suda çözülebilmesidir. Herhangi bir sıvıya eklendiğinde dağılarak viskoz ve kararlılık katmaktadır. Organik solventler ile birleşimde çözülme sağlanamaz. 20 °C deki yoğunluğu 1,50 gr/cm³ tür. Avrupa gıda katkı maddesi numarası E415 tir. Düşük polimer yapılarda dahi yüksek viskoz etkiye imkân tanır, bu özelliğinden dolayı gıda endüstrisinde kalınlaştırıcı olarak tercih edilir. Genel anlamda gıdaların yapısında düzenleyici olup kıvamını artırarak lezzetli olmasını sağlamaktadır. Ayrıca gıdalarda raf ömrünü arttırma etkisi de vardır. Maliyetli düşük ve işlenmesi kolaydır. Bu özelliklerinden dolayı ilaç üretimlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Salata soslarında ve unlu mamullerde gluten yerine kullanılmaktadır. Endüstriyel olarak kullanım alanı oldukça fazla olan ksantan gam meyveli içecekler, hazır çorba, dondurulmuş süt ürünlerinde, peynir yapımı, şurup imalatında, glutensiz ürünlerde, az yağlı yiyeceklerde, bağlayıcı olarak kullanılan kişisel önemli bir bileşendir. Ayrıca kişisel bakım ve güzellik ürünlerinde, diş macunu üretiminde, duvar kâğıdı tutkalları gibi yapıştırıcıların imalatında, yine biyolojik olarak uyumlu olması nedeniyle doku mühendisliği uygulamalarında kullanıldığı belirtilmektedir. Çok düşük konsantrasyonda yüksek viskozite ve diğer

Şekil 1.4 Ksantan gam kimyasal formüllü [19]

1.6.3. Gam Arabik (Arap Zamkı)

Uyumlu olmadığı bileşikler ve kimyasallar vardır. Bunlar; etil alkol, metil alkol, izopropil alkol ve hidrojen peroksit, potasyum permanganat ile uyumlu değildir. Şekerleme, kek, dondurma ve birçok gıdayı bir arada tutmak için kullanılır, bunun yanında düşük kalorili şekersiz tatlandırıcıların imalatında bağlayıcı madde olarak da kullanılabilmektedir. Aynı

zamanda yenilebilir tutkal da diyebiliriz. Bitki kökenli bir doğal elyaf türü olan gam arabik lif yapısı sayesinde probiyotik olarak kullanılabilir. Sağlık alanında; eczacılıkta hap ve pastil ve şurup üretiminde kullanılır [19].

1.6.4. Guar Gam

Guar gam, baklagillerin tohumlarından elde edilen yenilebilir bir karbonhidrat polimeridir. Guar gam, mannoz ve galaktoz şekerleri ile oluşan bir polisakkarittir. Pakistan ve Hindistan çevresinde yetişen bu baklagillerin hasat işlemleri sonrası kurutulup kabuklarından ayrılarak endüstriyel üretime hazır hale getirilir. Hindistan’da sebze olarak tüketildiği gibi hayvanlar için yem olarak da kullanılmıştır [19-22].

Guar gam iki çeşit olup gıda da ayrı ve endüstriyel saflıkta ayrı kullanılmaktadır. Gıda olanı saf halde, endüstriyel alandaki ise kimyasal yardımlar ile üretilmektedir. Gıda alanında yem sanayisinde ve sağlıkta ilaç sanayinde kullanıldığı belirtilmektedir. Farklı viskozitede, farklı hidrasyon kapasitesinde ve farklı tanecik boyutlarında, yüksek saflıkta guar gam üretilmesi mümkündür. Suda çözünürken ve hidratlaşırken ürünün viskozitesini hızla yükseltmektedir. Guar gam gıda bileşenleriyle uyumlu olup, nişasta, selüloz, agar agar, k-karregenan ve ksantan gam ile etkileşime girmektedir. Guar gamın, endüstriyel modifiye edilmiş türevleri; hidrolize, hidroksialkil, karboksialkil, okside, sülfatlandırılmış, boratlandırılmış ve katyonik kombinasyonlarından oluşmaktadır. Guar gam, ekonomik ve emülsiyon özelliğinin yanı sıra kullanılan suyun soğuk veya sıcak olması fark etmeksizin tam viskozite sağlaması ve su tutma özelliğinden dolayı kristal yapı oluşumunda kontrol edicidir. [19-23].

1.6.5. Jelatin

Jelatin; hayvanların deri, kemik, kıkırdak ve bağ doku bileşeni kolajenlerinin belirli şartlarda hidrolizi ile elde edilen bir biyopolimerdir. Jelatin büyük ölçüde saf bir proteindir. Birçok fonksiyonel ve teknolojik avantajları vardır. Kullanım alanları gıda endüstrisinde jelleştirme, kıvam artırma, su tutma ve bağlama gibi birçok alanda tercih edilir. Diğer gıda gamlarının ayıran özellikleriyle dikkat çekmeyi başarmıştır. İlaçların yapımından Güzellik ve kozmetik ürünlerde kullanılabilir [23]. İyi bir oksijen bariyeri olmasına rağmen su buharı geçirgenliği iyi değildir. Jelatinin gıda endüstrisinde başlıca kullanıldığı alanlar; Tatlılarda jel yapı oluşumu, et ve et ürünlerinde, emülsiyon oluşumu, süt ve süt ürünlerinde, şekerleme sanayisinde oldukça fazla kullanılmaktadır [24].

1.6.6. Agar Agar

Agar agar kırmızı alglerden ekstrakte edilen bir üründür. Agar agar üretilirken algler önce kaynatılır, önce agar jeli dondurulup sonra çözülerek saflaştırılma işlemini yapılır ve sonra kurutulup toz haline getirilmektedir. Çözeltiden alkol ile çökeltilir. Asetik, hidroklorik ve oksalik asitler agar agar'ın jel özelliğinin kaybolmasına neden olur. Sağlık alanında mikrobiyolojik testlerde, dişçilikte, elektro kimyada kullanılmasının yanı sıra yiyeceklerin içerisinde de kıvam arttırıcı olarak kullanılır. Agar agar tamamen kokusuz ve tatsızdır. Agar agar toz halinde bulunur. Toksik değildir ve suda çözünür. Agar agar su ile karıştırıldığı zaman solüsyon haline gelmektedir. Suyu karıştırdığında yarı saydam tatsız ve kokusu olmayan bir jel oluşturur. Yiyeceklerin koku ve rengini değişime uğramadan jelleştirir. Eritilerek defalarca jel özelliği kullanılabilir [25].

1.6.7. Zeytin Yağı

Zeytin ağacının yeşil meyvesi olan zeytinden elde edilen organik bir yağdır. Çalışmalarımızda kullandığımız yağ natürel olup yıkama, sızdırma, santrifuj ve filtrasyon işlemleri gibi çeşitli fiziksel teknikler kullanılarak elde edilen yağdır. Natürel zeytinyağı içerdiği serbest yağ asidi miktarına göre değerlendirilir. Yağ asidi sınırına göre zeytin yağ türleri Çizelge 1.3'de sunulmuştur [26].

Çizelge 1.3 Fiziksel işlemlerle elde edilen yağ çeşitleri [26].

Zeytin Yağı Çeşidi	Yağ Asidi Oleik Asit Cinsi Sınırı
Ekstra Natürel Sızma Zeytinyağı	100 gr da 1 gr'dan küçük olmalı
Natürel Birinci Zeytinyağı	100 gr da 2 gr'dan küçük olmalı
Natürel ikinci Zeytinyağı	100'gr da 3 gr'dan küçük olmalı

Diğer zeytin yağları; Rafine zeytinyağı, riviera zeytinyağı, rafine prina yağı, karma prina yağı çeşitleri vardır. Zeytin yağının içerisinde temel oluşan yağ asitleri linoleik, oleik, stearik ve palmitik asitlerdir. Zeytinyağı A ve K vitaminlerini barındıran antioksidan, antienflamatuvar ve antibakteriyel etkilere sahiptir. Doymamış yağ asitleri ve aminoasitler içermesinden dolayı sağlık için önemli bir yağdır [26].

1.6.8. Gliserin

IUPAC (Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği) adı propan-1,2,3-triol olan gliserin en basit trihidrik yapısının farklı karbon atomlarına bağlı hidroksil grubu oluşturan bir kimyasaldır. Saf halde fiziksel özelliği ise tatlı, renksiz ve kokusuz bir sıvıdır. Endüstriyel açıdan yaygın bir kullanımı olan gliserin toksik olmayıp su ve alkollerde rahatlıkla çözülebilmektedir. Bitki ve hayvan yağların bileşiminde bulunan bu biyokimyasal madde gıda, ilaç, kozmetik ve temizlik ürünlerinde doğrudan kullanılabilir [27].

1.6.9. Propilen Glikol

Propilen Glikol fiziksel görünüş olarak mineral bir yağa benzeyen renksiz, kokusuz, tatsız, hafif viskoz yapıda bir sıvıdır. Kimyasal formülü $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{OH}$ 'dir. Propilen Glikol tüm alkol çeşitlerinde ve su da karışabilir. Propilen Glikol, diğer glikoller ile kıyaslandığında küçük miktarları toksik etkiye sahip değildir fazla kullanılması toksik etki oluşturabilir. Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi (FDA), Propilen glikol güvenli katkı maddesi olarak sınıflandırmıştır. IUPAC (Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği) adı: propan-1,2-diol Propan diol (E1520). Kullanım alanları toksik olmadığı, su ve alkollerde rahatlıkla çözünmesiyle yaygındır. Otomotiv sektöründe antifriz, kozmetikte ürünlerinde ve insanların ve hayvanların işlenmiş gıdalarında katkı maddesi olarak geniş yelpazede kullanım alanı bulmaktadır. Propilen Glikol pek çok paketlenmiş gıdada (kahve, kremler, içecekler ve karışımları, kahvaltılıklar, tatlılar, atıştırmalıklar, hazır çorba, deniz ürünleri, et ve et ürünleri, hazır yemekler, bazı unlu mamuller, konserve ürünlerinde, süt ve süt ürünlerinde ve dondurulmuş sebzelerde, vb.) katkı maddesi olarak bulunmaktadır [28].

1.7. Metal Kil Hamuru Sinterleme Yöntemleri

Metal kil hamurlarının sinterleme işlemleri birçok deneme ve tecrübe ile elde edilebilmektedir. Sinterleme işlemi metal kil hamurlarının metal form kazandırılmasında önem arz eden bir işlem basamağıdır. Metal kil hamurlarının sinterleme işlemlerinde metal kil hamuru içerisinde bulunan bağlayıcı ve katkıların ısı ile işlem uygulanarak uzaklaştırılması ve mikroskobik metal tozların birbirine kaynaştırılması sağlanmaktadır. Sinterleme sürecinde yüksek koruyucu bir ortamın sağlanması ve metal tozların kaynaşması için en uygun sıcaklığın belirlenmesi gerekmektedir. Sinterleme işleminde metal toz hamurunda bulunan toz parçacıkları kaynaşarak aralarında bağ oluşumu sağlanmaktadır. Sinterleme işlemi sonrası metal örnekleri genellikle sinterleme sırasında kalıptaki boyutlarına göre %15-20 arasında küçülme sağlamaktadır. Metal kil hamurlarının sinterlemesinin de ki temel

amaç içerisindeki organik karışımdan tamamen uzaklaştırılarak metal tozlarının birleşip kaynaşmasıyla ortaya çıkan metalin fiziksel özelliklerini kazanmasını sağlamaktır. Bunun metal form alması için yapılan ısıtım süreçlerini tamamen kapsayan süreçlere sinterleme diyebiliriz. Metal kil hamurlarının sinterleme işlemleri atmosfer ortamının ve sıcaklığın kontrol edilebildiği fırınlarda ayrıca şaloma ve gaz ocağında da yapılabilmektedir. Sinterleme işlemlerinin yapıldığı çalışmalara örnekler Şekil 1.5’de sunulmuştur.

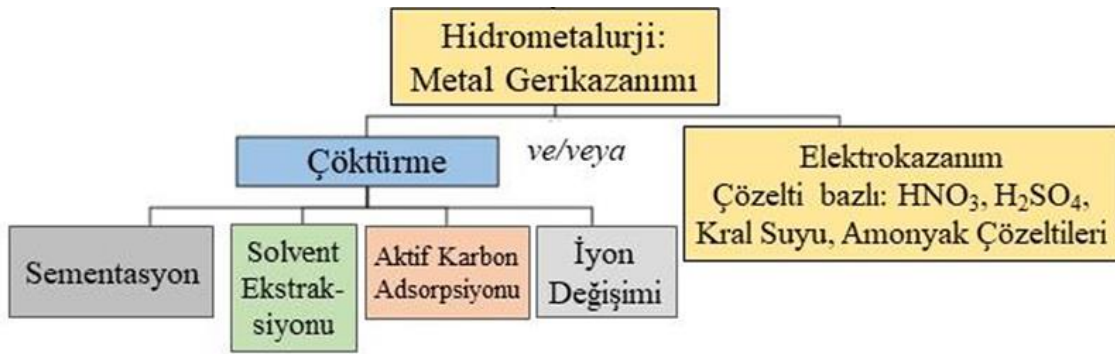


Şekil 1.5 Sinterleme yöntemleri [29]

1.8. Hidrometalurji Yöntemi

Hidrometalurjik yöntem de reaktifler kullanılarak yapılan bu işlemler cevher ve atık olan metalleri kazanabilmek için kullanılır. Bu tekniğin ismine yaş kimyasal yöntem de denilir. Metal, alaşımlar veya atıkların çözelti ile saflaştırılması sağlanır. Bu işlemin takibi sonrasında temiz çözeltilerden saf metal olarak metalin kazanılması sağlanır. Pirometalurjik yanı ısıt işlemler yöntemleri ile kıyaslandığında diğer yöntemlerin arasında daha çevreci, çalışma sistemin kurulum maliyetlerin düşük olması düşük metal içeriğe sahip kaynakların değerlendirilmesine olanak sağlaması ve küçük bütçe ve küçük alan ve düşük hacimlerde uygulanmasının bu yöntemleri tercih edilmesini sağlamaktadır. Hidrometalurjik yöntem metal firesi yüksek olan fiziksel ayırma yöntemlerine ihtiyaç duyulmadan düşük değerli metal miktarına sahip malzemelerden yüksek verim alabilmek için kullanılan yöntemlerinden birisidir. Direkt olarak uygulanabilen kazanımları nedeniyle, tercih edilen yöntemlerin başında gelmektedir [30].

Hidrometalurji başlangıçta asidik veya bazik atıklar ile başlar ve sonrasında çözeltiler; metalleri izole etmek veya zenginleştirmek için kullanılan yöntemlerden, çöktürme, süzme ve damıtma gibi işlemler uygulanmaktadır (Şekil 1.6). Hidrometalurjik yöntemler ile değerli metallerin geri kazanılmasında, yatırım maliyetinin düşük olması küçük işletmelerin ilgisini çekerek en çok kullanılan yöntem olarak tercih edilir [30].



1.9. Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı; değerli metal tozlarının organik bağlayıcılar ve katkıları ile hamur formunun oluşturulması ve oluşturulan metal kil hamuruna şekil verilerek ısıtma işlemleri sonrasında metal formuna dönüştürülerek üretilmesidir. Ülkemize ekonomik açıdan katkı sağlamak ve kuyumculuk alanı dahil birçok sanatsal alanda özgün fikirler ve tasarımlar oluşmasına katkı sağlamaktır. Ayrıca değerli metal tozlarını ülkemizde üretilip yeni kullanım alanları oluşturabilmektir. Günümüzde mikroskobik metal tozlarından üretilen değerli metal kil hamurları maliyet fiyatları bakımında çok yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan gümüş metal tozu kendi üretimimiz olup maliyet fiyatlarının düşürülmesi hedeflenmektedir.

Metal kil hamurlarının üretilmesi konusuyla ilgili literatürde özellikle ülkemizde bu konuda yapılan çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışma ülkemizde literatüre kazandırdığımız ilk çalışma özelliğini sahiptir. Esas olarak kuyumculuk gibi dünyada söz sahibi bir ülke olmamıza rağmen böyle sanatsal çalışmaların olmaması literatür ve kuyumculuk sektöründe büyük bir eksikliğin olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu nedenlerden dolayı metal kil hamurunun üretim prosesinin detaylandırılması bu tezde yapılmıştır. Metal kil hamurunda kullanılan metal toz ve organik bağlayıcıların oranlarının belirlenmesi için deneyler ve analizler yapılarak özgün bir çalışma oluşturulmuştur. Sonuç olarak elde edilen metal kil hamurunun metal tozu dahil dışa bağımlılığı ortadan kaldırmak ve bu konuda yeni fikirlerin ortaya çıkmasına zemin hazırlayacağını öngörmekteyiz.

Ülkemizde metal kil hamuru kullanılarak üretimlerinin ve kullanımının yaygınlaşması ile kuyumculuk sektörü, lise ve meslek yüksek okullarında kullanım kolaylığı ve ekipman ihtiyacının az olmasından dolayı tercih edilebileceğini öngörmekteyiz. Girişimciler için yeni fikir ve yeni iş sahaları oluşturma potansiyeli bulunmaktadır. Ayrıca değerli metal kil hamurunun geri dönüşümü sağlanabilmekte ve bu nedenle işleme sırasında ve sonrasında metal kaybı oluşmamaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Paknejad ve ark. (2017) Son yüzyılda teknolojinin hızlı bir şekilde değişmesi malzeme bilimine olan ihtiyacında artmasına neden olduğunu belirtmektedirler. Değerli madenler ile elde edilen ürünler yüzyıllar içerisinde kültürlerin ışığında değişime ve gelişime her zaman açık olduğu belirtilmektedir. Çalışmaların da gümüş nanopartiküllerin sinterlenmesi, hakkında veriler topladıklarını ve sonuçları ilişkilendirilmeye çalıştıkları belirtmektedirler. Araştırmacıların sinterlenmiş yapıları üretmelerine yardımcı olmak için sinterleme süreçleri hakkında bilgi verdiklerini belirtmektedirler. Toplanan veriler ve araştırılan parametreler arasında sinterleme basıncı, metalizasyon, termal yaşlanma ve çevrimin etkisi, en yüksek sinterleme sıcaklığı ve partikül boyutu dağılımları yer aldığı belirtilmektedir [31].

Hoshino ve ark. (1993) değerli metal kil gelişmesiyle beraber farklı içerikteki alaşımlar oluşturarak değerli metal tozlarını karıştırarak metal killeri ve sinterleme sonrası renkli kıymetli alaşımlar yapılabileceğini bildirmişlerdir. Farklı bağlayıcı içeriklerine sahip iki tür kil oluşturduklarını bunların yapışkan plastikleştirici ve solventten oluştuğu belirtilmektedir. Yapışkan bağlayıcılardan oluşan kilin hemen kuruyup sertleştiğini ama solvent içeriğe sahip oluşturdukları kilin ise selüloz kullanıldığını ve esnek ve uzayabilme becerisine sahip olduğunu bununda içi boş olan boncuk gibi parçaların ve eşyaları yapabildiklerini belirtmektedirler. Oluşturulan değerli metal kil karışımından 18 ayar altın elde edebilmek için %75 Au- %12, Ag-%12,5 Cu karışımı metal tozları ve bağlayıcıdan oluşturulan killerin sinterleme işlemi ayrıca incelenmişlerdir. Yapılan sinterleme işlemleri sonrasında metal kil hamur ile metal arasında yaklaşık %30 büzülme olduğunu açıklamaktadırlar. Yapılan uygulamalar sonrasında kuyumculukta geleneksel döküm yolu ile elde edilen malzemelere göre mekanik özelliklerinin daha düşük olduğu belirtilmektedir. Mekanik özelliklerinin düşük olmasına rağmen süs veya mücevher yapımında kullanılabilecek kadar dayanıklılığa sahip parçaları üretmeyi başardıklarını bildirmişlerdir [32].

Hoshino ve ark. (1994) Metal kil hamuru, metal tozu, organik yapıştırıcı, plastikleştirici ve çözücülerden oluşan kile benzeri bir karışıma istenilen şeklin verilip el ile veya kalıplarla şekil verilip metal takılar ve nesnelere dönüştürülebilmesidir diye açıklanmıştır. Kullandıkları değerli metal tozunun ortalama parçacık boyutunun 20 mikron altında tozların kullanıldığı belirtilmektedir. Farklı içeriklerde metal kil hamurlarını elde edilebileceğini bildirmişlerdir. Bunlar suda çözünür selüloz reçinesi, polivinil reçinesi, akrilik reçinesi hem reçineleri hem de doğal kauçuğu kullanarak plastikleştirici ve solvent ekleyerek metal tozlarını kile

dönüştürüldüğü belirtilmektedir. Genelde üretimin son aşaması sinterleme olduğu ve sinterlenme sıcaklıklarının Au: 1000 °C, Ag: 900 °C, Pt: 1600 °C, Pd: 500 °C metallerin yaklaşık sinterleme sıcaklıkları olarak belirlediklerini bildirmektedirler. Bu çalışmalarında değerli metal tozunu organik bir bağlayıcıyla karıştırarak metal kil hamuru elde etmişlerdir. Çalışmalarında saf altın, saf gümüş, saf platin ve 18 ayar altın %12,5Ag-%12,5 Cu-Au tozları kullanmışlardır. Metal kil hamurunun sinterleme sonrası %1 ile %30 oranında metal formda küçülme meydana geldiğini belirtmişlerdir. Ancak bu kullanılan asil metal tozunun parçacık boyutuna ve şekline türüne, bağlayıcı miktarına ve sinterleme koşullarına bağlı olarak değişmekte olduğunu tespit etmişlerdir. Normal döküm veya işlenmiş metale göre fiziksel özellikleri düşük olmasına rağmen obje, süs eşyası veya başka bir takı parçası olarak kullanılmasının mümkün olduğunu bildirmişlerdir [33].

Hoshino ve ark. (1995) çalışmalarında değerli metal tozu ve organik bağlayıcının bir karışımı olan değerli metaller hamuru bağlayıcısının bileşimini değiştirilerek metal kil hamurlarını geliştirmişlerdir. Selüloz reçineleri için etilen glikol ve gliserin plastikleştiricileri ekleyerek oluşturmuşlardır. Polivinil ve akrilik malzemeler için OH grubu olanlar etkili olduğu belirtilmektedir. Suda çözünen reçineler için çözücü olarak su ve suda çözünmeyen reçineler için tolüen veya tolüen-etanol karışımı bir çözücü kullanılabileceğini bildirmektedirler. Metal tozu genellikle küçük bir spesifik yüzey alanına ve yetersiz yüzey aktivitesine sahip olduğunu, sadece su veya organik bir solvent ile karıştırmak kılcal alanı kaplamaz ve metal kil hamuru oluşturma zorlaşacağını belirtilmektedir. Bu nedenle değerli metal kili oluşturmak için yapıştırıcı yardımıyla aktivitenin artırılması gerektiği belirtilmektedir. Bununla birlikte, değerli metal tozu yüksek bir özgül ağırlığa sahip olduğundan, kendi ağırlığına dayanamaz, bu da şeklin korunmasının zayıf olmasına neden olacağını düşük akışkanlığa sahip tozlardan yapılan Metal kil hamurun daha iyi şekil tutma özelliğine sahip olduğunu bildirmektedirler. Aynı zamanda geniş bir spesifik yüzey alanına sahip olan bir tozun kullanılmasını önerilmektedir. Plastikleştirici ve solventin bileşimi az miktarda plastikleştirici ve çok miktarda solvent kullanılması uzamayı azaltacaktır. Ancak kilin kuruyup katılaşma sonrası plastikleştiricinin artırılması ise sakız gibi bir form ve görünüm sağlayacağı belirtilmektedir. Bu sayede son derece elastik bir üretilebileceğinden bahsedilmektedir. Suda çözünmeyen yapıştırıcılar kullanıldığında, solvent olarak organik solventler kullanılması gerektiği belirtilmektedir. Bununla birlikte, organik çözücüler uçucu olduğundan kolayca uzaklaştırılabilirler ve bu sistem plastikleştirici kil üretimi için uygun olduğunu belirtmektedirler [34].

Yukio ve ark. (1996) Metal kil hamuruyla ilgili alınan bir patentte, kalıplar kullanılarak şekil verilmiş bir ürün elde etmek için soy metal tozlarının organik bağlayıcılar ile metal kil hamurun üretimini yaptıklarından bahsedilmektedirler. Yapılan çalışmada karışımın içeriğinde değerli metal tozu, nişasta ve bağlayıcı olarak ta suda çözülebilen selüloz reçine, katkı olarak su kullanıldığını belirtmektedirler. Organik bağlayıcının ve değerli metal tozunun toplam miktarına bağlı olarak ağırlıkça %0,02-3,0 aralığında olduğunu bildirmektedirler. Kullanılan değerli metallerin en az %90'ı 1-100 mikrometre aralığında çaplara sahip olduğundan ve kalan partikül çaplarının ortalama büyüklüğü 5-30 mikrometre aralığında olacak şekilde dağıtıldığında aralarındaki boşlukların dolacağından yüksek yoğunluk nedeniyle düşük büzülme sergileyeceği değinilmiştir. Optimum sinterlenme koşullarının altın için Altın 810-990 °C, Gümüş 710-890 °C, Platin 1520-1700 °C Paladyum 1300-1480 °C olduğunu belirtmektedirler [35].

Fujimaru ve ark. (2001) Metal kil hamuruyla ilgili yılında alınan bir patentte, değerli metallerin ve değerli metal alaşımların erime sıcaklığından 70 °C daha düşük bir sıcaklıkta sinterlenmesi gerektiğini optimum şartların bu şekilde sağlayacağını belirtmektedirler. Oluşturdukları metal kilin içeriğinde değerli metal ve değerli metal alaşım tozlarının, ağırlıkça %0,022-3 oranında suda çözünen selüloz tipi reçine, ağırlıkça %0,02-3 oranında nişasta içerdiği açıklamışlardır. Ağırlıkça %0-0.5 makromoleküler malzeme ve fenil propan içeren bir bileşen oluşturduklarından bahsedilmektedir. Yapılan metal kil içeriğinin ağırlıkça en az %78'inin metal tozu olması gerektiğini bildirmişlerdir [36].

Theide ve ark. (2003) Metal kil hamuruyla ilgili alınan bir patentte, metal killerin sinterleme sonrasında çok geniş bir renk skalasında üretilebileceğinden ve bununda asıl metal ve refrakter içeren metal oksit içeren ikinci bir birleşimin karıştırılması ile sağlayabileceğinden bahsetmektedir. Metal killer bağlayıcı birleşenleri genel olarak refrakter içeren metal oksitlerin bozulduğu sıcaklıklardan daha düşük sıcaklıklarla sinterlendiğini ve refrakter içeren metal oksitlerin bozulmayacağını bunun sayesinde ise renkli metalleri üretilebildiği belirtmektedirler. Seramik ürünleri renklendirmek içinde kullanılan refrakter içeren metal oksitlerin bu birleşimde de aynı işlemi yaparak metaller renklendirebileceği belirtmektedir [37].

Hirasawa ve ark. (2006) Metal kil hamuruyla ilgili alınan bir patentte, üretilen gümüş kilin daha düşük sıcaklıklarda bile sinterlemesi sonrasında mukavemet ve sertliklerinde iyi sonuçların elde edileceğinden bahsedilmiştir. Karışım içerisindeki gümüş kili ağırlıkça %15-50 oranında parçacık yarıçapı 2µm'den küçük veya eşit tozları içermekte ve geri kalanı ise

3 ile 20 µm ortalamasına sahip gümüş tozu olduğunu; yaklaşık ağırlıkça %0,8 ile yaklaşık 8 oranında dahil edilmiş suda çözünür selüloz organik; yaklaşık %0,1 ile %3 ağırlıkta bir yağlayıcı ve yaklaşık %0,03 ile %3 ağırlıkta bir yüzey aktif maddeyi içerir, geri kalanı su olduğu belirtilmiştir. Yapılan karışımların sonucunda erime sıcaklığından 360 °C daha düşük sıcaklıklarda sinterlenebilen bir metal kil hamurunu oluşturdıklarını bildirmektedirler. Ürünleri üretmek için 600 °C'de 30 dakika sinterlediklerini belirtmektedirler. Sonuç olarak ise bu çalışmalarına enerji maliyetinin düşüklüğü ve işlemlerin hızlandırmasının sağlayabildiklerini belirtmektedirler [38].

Kim ve ark. (2008) Bu çalışmada gümüş metal kil ürettiklerini ve bu karışımın hurma yağı, saf su, yüzey aktif madde ve glikolik asit dahil olmak üzere dört bileşenden oluşan organik bağlayıcıyı kullanarak başarılı bir şekilde metal kil hamuru ürettiklerini belirtmektedirler. Karışım içerisindeki tozun boyutlarının ticari metal kildeki boyutu 3-7 µm küresel gümüş tozu olduğunu kendi ürettikleri metal kil hamurunda da ise 3, 10 ve 20 µm olduğu belirtmektedirler. Yaptıkları kilin PMC'nin palmye yağı, selüloz ve damıtılmış içeriğindeki patentli içeriğine sahip ticari ürünü ile karşılaştırıp 15 dakika boyunca 700-900 °C aralığındaki sinterleme sıcaklığı ile sertlik, ağırlık değişimi, doğrusal büzülme, yoğunluk ve mikro yapı gelişimini karşılaştırdıklarını belirtmektedirler. Yaptıkları yeni bağlayıcı özelliğe sahip olan gümüş metal kilin takı ve süs eşyaları yapmak için uygun fiziksel özellikleri karşıladığını belirtmektedirler. Geliştirdikleri gümüş kilin ticari olarak üretilen PMC gibi uygun özelliklere sahip olduğunu belirtmektedirler. Ticari patentli PMC'de metal kil hamurlarının metal formuna dönüşmesi için optimum sinterleme koşulunun 700 °C sıcaklıkta bile mükemmel bir sinterlenme sağlarken, kendi ürettikleri kilin 850 °C'de ticari ürün olan kilin özelliklerini yakalayabildiği belirtmektedirler. Üretilen gümüş kili ticari olan kilden daha yüksek sıcaklıklarda sinterleme sağladığını belirtmektedirler [39].

Aykoç (2012) Metal kil hamuruyla ilgili alınan bir patentte, yüksek sıcaklıklarda sinterleme sonucunda fiziksel yapısı bozulan doğal taşları metal killerde kullanmanın mümkün olamayacağını belirterek değerli metal tozlarını farklı boyutlardaki küresel ve amorf yapıdaki metal tozlar, bağlayıcılar, katkılar ve su ilave ederek metal kili elde etmişlerdir. Gümüş tozu, parçacık büyüklüğü 0,01 ile 300 mikron arasında olan amorf parçacıklardan oluşturulmasının mümkün olduğunu belirtmektedirler. Bu yöntem ile oluşturdıkları metal kil hamurunun sinterleme sıcaklığının; kullanılan metalin ergime sıcaklığından 500 °C daha düşük olduğunu belirtmektedirler. Sonuç olarak metal kil tozlarının parçacık boyutlarının sinterleme sonucunu etkileyen önemli bir parametre olduğunu tespit etmişlerdir [40].

Thongnopkun ve ark. (2012) El yapımı takı ürünlerine alternatif malzeme olarak sulu çözeltide kimyasal indirgeme yöntemiyle gümüş nanopartikülleri kullanılarak nano-gümüş kil hamuru üretmişlerdir. Nano-gümüş kil hamurunun mikro ve termal özellikleri sırasıyla SEM ve DTA ile incelemişlerdir. Sonuç olarak gümüş kilin sinterleme sıcaklığının, dökme gümüş metalinkinden daha düşük sıcaklıkta 250 °C’de başlatıldığını belirtmektedirler. Ayrıca sinterleme sıcaklığının optimal koşulu 600 °C’nin üzerinde 60 dakika bekletilmesinin nano-gümüş kil hamurunun mekanik ve fiziksel özelliklerine pozitif katkı sunduğunu belirtmektedirler [41].

Ido ve ark. (2016) Metal kil hamuruyla ilgili alınan bir patentte, metal kil hamur formunda iken mükemmel esnekliğin elde edilmesi, el ile şekillendirme süresinin uzun olmasının sağlandığını avantajlarını ve ürünün ambalaj içerisinden çıkarıldıktan sonra oda sıcaklığında 1 saat bekletilmesi sonrası dahi metal kil hamuru üzerinde çalışılabileceğini belirtilmiştir. Üretilen metal kil içeriği, değerli metal tozları ve değerli metal alaşım tozlarından oluşan gruptan seçilen en az bir veya daha fazla toz, selüloz bağlı bir organik bağlayıcı %1-1,7 bir organik katkı maddesi ve su içerir. Organik katkı maddesi olarak propilen glikol %0-08 aralığında uygun şekilde kullanılabileceğini ve gliserol %0-2 aralığında ve polietilen glikol %0-02 oranları arasında karışımlar oluşturarak şekillendirme sonuçları arasında gereken esnekliğin sağlanabildiğinden bahsedilmektedir [42].

Carvalho (2018) yaptığı çalışmada Art Clay 650 ile PCM3 ürünleri kullanılarak oluşturulan nesnelerin fiziksel ve kimyasal değişimlerine bakarak aralarındaki farkı araştırdığını belirtmektedir. Art Clay 650 tabletleri 650 °C’de 30 dakika boyunca ve PCM3 tabletleri 700 °C’de 10 dakika süreyle pişirilmiştir. Pişirilen tabletlerin her seti 180, 220 ve 280 gritlik zımpara pedleri ile cilalamışlardır. Prosedürü standartlaştırmak için her tablet, yalnızca farklı aşındırıcılar arasındaki karşılaştırmayı kolaylaştırmak amacıyla tek yönde 100 kez ciladıklarını belirtmektedirler. Pişirilmemiş, pişirilmiş ve cilalanmış tabletlerin morfolojisi SEM kullanılarak incelemişlerdir. Her iki kil de 1,8 µm- 11µm arasında değişen boyutlarda küresel toz gümüşten oluştuğunu belirtmektedirler. Art Clay 650, PCM3’ten daha gözenekli olduğu görünmektedir. Art Clay 650’de pişirilmiş üç tabletin tümü bir yönde %11 oranında küçüldüğü ve üç pişirilmiş PCM tabletin tamamı her yönde %10 oranında küçüldüğünü tespit etmişlerdir. SEM ve EDS sonuçlarında her iki gümüş kilin pişirmeden sonra gözenekli kaldığını ve Art ClayM650’nin PCM3’ten biraz daha gözenekli görüldüğünü gözlemlemişlerdir. Ayrıca sonuçların iki marka gümüş kilinin farklı kimyasal bileşimlere sahip olduğunu da doğrulamışlardır [43].

3. MATERYAL ve METOT

Değerli metal kil hamuru, kuyumculuk sektöründe zanaatkar üreticilerinin ve takı tasarım sanatçılarının karmaşık özel tasarımların kolay ve ekonomik olarak üretilmesine ve üretim için alternatif yöntem sağlamaktır. Metal kil hamuru, sanatsal takı tasarım ve eşyalarının üretiminde el veya kalıplar ile kolayca oluşturulup istenilen form haline dönüştürülebilmektedir. Bu çalışma beş ana basamaktan oluşmaktadır:

1. Metal kil hamuru üretiminde kullanılan değerli metal tozlarını hidrometalurji yöntemi kullanılarak Ag metal tozu elde edilmesi.
2. Değerli metal tozları, organik bağlayıcılar ve katkı maddelerinin belirlenerek metal kil hamurunun oluşturulup şekillendirilmesinin sağlanması.
3. Metal kil hamuruna istenilen şekillerin verilmesi ile metal kil hamurunun sinterleme yöntemiyle kalıcı metal formun kazandırması ve polisaj işlemlerinin yapılması.
4. Üretilen metal kil hamuru örneklerinin fiziksel ve yapısal özellikleri incelenerek analizleri (büzülme oranları, optik mikroskop görüntüleri, fiziksel, mekanik ve mikro yapı özellikleri) yapılarak karşılaştırmaları, bulguları ve bağlayıcılar arasındaki gözlem değerlendirilmesi yapılması.
5. Metal kil hamurlarının kalıplar kullanılarak takıya dönüştürülmesidir.

Bu çalışmada hidroliz tekniği kullanılarak saf gümüş metal tozları üretilmiştir. Bu üretilen metal tozları ile metal kil hamurunun elde edilmesi ve özellikle el ile şekillendirmeye uygun olabilmesi gerekmektedir. Ayrıca sağlığa zararı olmaması için özellikle organik bağlayıcılar kullanılmıştır. Metal kil hamurunun üretim sırasında sürtünmeyi ve yapışma özelliğini azaltmak için içerisine ayrıca yüzey ajanı eklenmiştir. Bu çalışmanın hedefi, ekonomik açıdan uygun olan hidroliz tekniği ile saf gümüş metal tozlarını elde edilerek bu yüksek saflık derecesine sahip olan metal tozlarının organik bağlayıcılar ile birleştirilerek metal kil hamur formuna getirilmesi ve sinterleme sonrası verilen formun korunup metale dönüştürebilmesidir.

3.1. Metal Kil Hamurun Hazırlanmasında Kullanılan Malzemeler

Metal kil hamurunun hazırlanmasında metil selüloz, arap zıncısı, guar gum, ksantan gum, jelatin, agar agar organik bağlayıcıları kullanılmıştır. Kullanılan organik bağlayıcıların künye bilgileri Çizelge 3.1’de görüntüleri ile birlikte verilmiştir. Kullanılan organik yüzey

ajanlarının özellikleri Çizelge 3.2’de görüntüleri ile birlikte verilmiştir. Ayrıca Organik katkı olarak ultra saf su kullanılmıştır.

Çizelge 3.1 Metal kil hamur birleşiminde kullanılan bağlayıcı malzemeler

No	Organik Bağlayıcılar	Form	Görüntü ve Renk	Suda Çözülme	Metal Toza Etkisi
1	Jelatin	Toz		Evet	Bağlayıcılık ve Jelleştirici
2	Ksantan Gam	Toz		Evet	Bağlayıcılık Kıvam arttırıcı
3	Guar Gam	Toz		Evet	Bağlayıcılık Kıvam arttırıcı Elastik form
4	Metil Selüloz	Toz		Evet	Bağlayıcılık, Kıvam arttırıcı Elastik form
5	Agar Agar	Toz		Evet	Kıvam arttırıcı
6	Gam Arabik	Toz		Evet	Bağlayıcı ve Jelleştirici

Çizelge 3.2 Metal kil hamur birleşiminde kullanılan organik yüzey ajanları

No	Organik Yüzey Ajanları	Yağlayıcı	Kıvam Arttırıcı	Özellikleri
1	Zeytin Yağı	Evet	Evet Parlak yüzey	Yumuşaklık ve yoğurma ve şekil vermede kolaylık
2	Lavanta Yağı	Evet	Jelleştirme Parlak yüzey	Kullanımda Yumuşaklık kuruma sonrası sertlik
3	Gliserin	Evet	Evet	Yumuşaklık ve yoğurma ve Şekil vermede kolaylık
4	Propilen Glikol	Evet	Evet	Hamur üzerinde daha uzun süre çalışma, şekil vermede kolaylık ve kuruma sonrası esneklik

Metal kil hamurun hazırlanmasında organik bağlayıcılar, organik yüzey ajanları ve ultra saf su kullanılmıştır. Metal kil hamurunda saf gümüş, 950 milyem gümüş, 925 milyem gümüş, 900 milyem gümüş, saf bakır ve saf bronz toz metal (alaşımlar) kullanılmıştır. Metal kil hamurunun üretiminde şırınga, kumpas, havan, milimetrik cetvel, etiket, kül fırını, şaloma, saç kurutma makinesi, plastik kilitli poşetler, plastik rulo, zımpara, kumpas, hassas terazi, saf metal tozları, eldiven, toz maskesi, kalıplar ve genel kuyumcu el aletleri ve teçhizatları kullanılmıştır.

3.2. Metal Tozların Hazırlanmasında Kullanılan Malzemeler

Metal tozların hazırlanmasında nitrik asit, cam beher, has gümüş, terazi, koruyucu eldiven, gaz maskesi ve koruyucu gözlük kullanılmıştır. Seyreltilmiş çözelti sonrası toz alımı için kullanılacak olan bakır geniş plaka, plastik kap gereçleri, süzme kâğıdı ve süzgeç kullanılmıştır. Metal tozların kurutulması için ısıya dayanıklı cam ve plastik karıştırıcılar ve fırın kullanılmıştır. Metal tozları boyutlandırmak için Vibratory Sieve Shaker As 200 Digit Ca toz eleme makinesi kullanılmıştır.

3.3 Üretimde kullanılan Metal Tozları

Metal kil hamurun üretiminde kullanılan saf gümüş hidrometalurjik yöntemi kullanarak üretilmiştir. Elde edilen has gümüş tozlarını boyutlandırmak için Vibratory Sieve Shaker As 200 Digit Ca toz eleme makinesi kullanılmıştır. Elde edilen saf gümüş ile saf bakır tozları karıştırarak ayarlı gümüşler üretilmiştir. Ayrıca saf bakır tozu ve bronz metal tozları metal kil hamur üretimi için ticari satın alınmış ve üretimde kullanılmıştır.

3.4. Metal Kil Hamurunun Üretimi

Metal toz karışımlarında hidroliz ile elde ettiğimiz saf gümüş ve katkı olarak hazır alınan saf bakır tozu kullanılmıştır. Toplamda karışımlar 5gr olacak şekilde ayarlanmıştır. Saf gümüş tozunu 4,75 gr katkı olarak bakır ise 0,25 gr alınarak 950 milyem gümüş, Saf gümüş tozunu 4,62 gr katkı olarak ise 0,38 gr bakır tozu katılarak 925 milyem gümüş, Saf gümüş tozunu 4,5 gr ve katkı olarak ise 0,5 saf bakır tozunu karıştırarak 900 milyem gümüş elde edilmek üzere ayarlanmıştır. Bunlar toplamda 5 gr olarak tartılıp ayrı ayrı havan içerisinde karıştırılarak hazırlanmıştır. Bu 950, 925 ve 900 milyem ayarlı karıştırılmış metal tozları ayarlı hamur üretiminde kullanılmıştır. Metal kil hamurlarının üretiminde metal tozları, organik bağlayıcılar, ultra saf su ve yüzey ajanları kullanılarak üretilmiştir. Metal kil hamurlarına el zanaatı ve kalıplar ile şekil verilmiştir. Ölçümlerin ve analizlerin

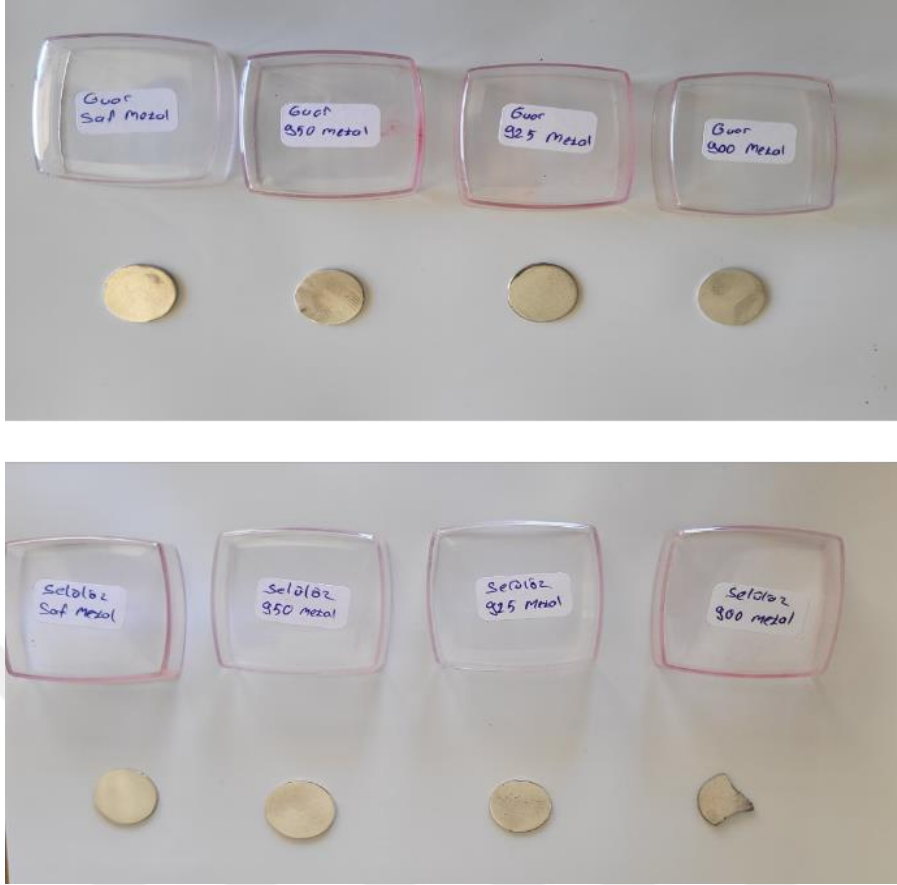
yapılabilmesi için her numune belirli ölçüde ve dairesel form olarak şekillendirilmiştir. Şekillendirme işlemleri sonrası metal kil hamurları kurutulmuştur. Kurutulmuş metal kil hamurlar önceden belirlenen proses şartlarında kül fırınında sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Sinterleme sonrası malzemelerin büzülme oranı, X ışını flüoresans analizi ve optik mikroskop görüntüleri alınarak fiziksel, mekanik ve mikroyapı özellikleri araştırılmıştır. Tez çalışmasında çalışma parametreleri olarak organik bağlayıcıların ve metal tozların oranları dikkate alınarak deneyler tasarlanmıştır.

3.5. Sinterleme İşlemi

Metal kil hamurları, organik bağlayıcılar ve yüzey ajanları kullanılarak şekil verilmiştir. Daha sonra sinterleme işlemine geçilmiştir. Sinterlemeler 850 °C, 1 saat atmosferik ortamda yapılmıştır. Sinterleme sonrası metal kil hamurları oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Son işlem olarak zımpara ve parlatmaları yapılarak testler ve analizler için istenilen boyutlara getirilmiştir. Sinterleme işlemlerinin görüntüleri Şekil 3.1’de verilmiştir. Zımpara ve parlatma işlemleri sonrası metal kil hamurlarının görüntüleri Şekil 3.2’de sunulmuştur.



Şekil 3.1 Metal kil hamurlarının sinterleme ve sonraki işlem görüntüleri



Şekil 3.2 Metal kil hamurlarının sinterleme sonrası görüntüleri

3.6. Analiz ve Testler

Bu tez çalışmasında, üretilen metal kil hamurlarının fiziksel, morfolojik ve kompozisyon özellikleri araştırılmıştır. Bu incelemeler için optik mikroskop, Arşimet yoğunlukları, taramalı elektron mikroskop X-Işınları Floresans Spektrometresi (XRF) analizler yapılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan tüm bu test ve analizlerin yapıldığı aşamaları ve cihazlar aşağıda anlatılmıştır. Tez çalışmasında metal kil hamurlarının üretim aşamalarının takibi ve oluşan değişimlerin belirlenebilmesi OM, XRF ve SEM cihazlarıyla mikro yapı incelemeleri yapılmıştır. Kullanılan cihazların detayları aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

3.6.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Üretilen metal kil hamurunun tüm üretim aşamalarında morfolojik yapıdaki değişimi gözlemlemek için Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Üniversite Sanayi Kamu İş Birliği Araştırma, Geliştirme ve Uygulama Merkezi (ÜSKİM)'de bulunan ZEISS EVO LS10 marka SEM cihazı kullanılmıştır. SEM cihazının görüntüleri Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3 Taramalı elektron mikroskobu Zeiss Evo LS10 (SEM) cihazı

3.6.2. Optik mikroskop

Metal kil hamurlarının mikro yapılarının incelenmesinde Stereo optik mikroskop kullanılmıştır. Mikroskop görüntüleri Nikon SMZ1500 model cihaz ile yapılmıştır. Nikon SMZ1500 stereo mikroskobu, yüksek optik performansı, en büyük yakınlaştırma aralığı (10x) Yüksek Optik Performans: SMZ1500, son derece net, parlak ve gerçek görüntüler sunmaktadır. Bu, makro görünümünden yüksek büyütme mikro görselleştirmeye kadar her türlü örneği görüntülemeyi sağlamaktadır. Seçilen oküler ve objektife bağlı olarak, SMZ1500 toplam büyütmeleri 3,75x ile 250x arasında sunmaktadır. Keskin, parlak, yüksek kontrastlı görüntüleri sağlamaktadır. Bir ışın ayırıcı ve adaptör kullanarak, bir FX-III serisi fotomikrografik sistem, bir CCTV kamera veya bir dijital fotoğraf makinesi takılabilir. Çift ışın ayırıcı, bir fotomikrografik sistemin ve bir CCTV kameranın aynı anda monte edilmesini sağlamaktadır. Nikon SMZ1500 stereo mikroskobunun görüntüleri Şekil 3.4’de sunulmuştur.

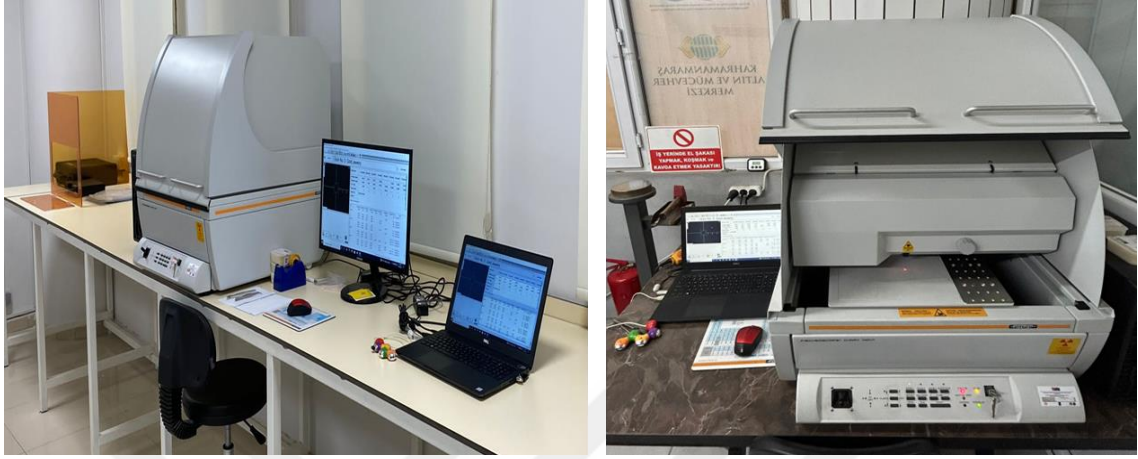


Şekil 3.4 Nikon SMZ1500 model stereo optik mikroskop

3.6.3. X-Işınları Floresans Spektrometresi (XRF)

Fischerscope X-ray XDV marka model XRF cihazı kullanılmıştır. XRF cihazının dış görünüşü Şekil 3.5’de verilmiştir. Evrensel olarak uygulanabilir bir enerji dağıtıcı x-ışını floresan ölçüm cihazıdır. Özellikle eser analizde çok ince kaplamaların veya küçük konsantrasyonların ölçülmesi ve analizi için çok uygundur. Yüksek hassasiyetli, programlanabilir X/Y aşaması ile otomatik numune ölçümleri için uygun ölçüm cihazıdır. İnce kaplamaları, küçük yapıları, eser elementleri ve alaşımları belirlemek kullanılmaktadır. Altın analizi dahil 24 elementi tespit yeteneğine sahiptir. Her ölçüm için ideal uyarma koşullarını oluşturmak, Cihaz, elektrikle değiştirilebilen açıklıklara ve birincil filtrelerle sahiptir. Fischer'in temel parametre yöntemi, katı ve sıvı numunelerin yanı sıra kalibrasyon gerektirmeyen kaplama sistemlerinin analizine olanak tanımaktadır. Çok ince kaplamaların analizi, örneğin $0,1 \mu\text{m} \leq$ altın/paladyum kaplamalar, RoHS ve WEEE gerekliliklerine göre

bilgisayar kartlarında iz analizi Elektronik ve yarı iletken endüstrilerinde fonksiyonel kaplamaların ölçümü, karmaşık çoklu kaplama sistemlerinin belirlenmesi her ölçüm için ideal uyarma koşullarını oluşturduğu belirtilmektedir. Modern silikon drift dedektörü, yüksek doğruluk ve iyi algılama hassasiyeti sağlamaktadır.



Şekil 3.5 Fischerscope X-ray XDV marka model XRF cihazı

3.6.4. Arşimet yoğunluk testi

Metal kil hamurlarının sinterleme sonrası yoğunlukları incelenmiştir. Yoğunluk testleri arşimet yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Sinterlenmiş metal kil hamur numunelerinin yoğunluk ölçümünün yapılması için numunelerin yüzeyleri zımpara ve parlatma işlemi yapılmıştır. AXIS ACN 220 laboratuvar analitik terazi Şekil 3.6’da görseli bulunmaktadır. 220 gram ağırlık ölçümü için tasarlanmış bir profesyonel terazidir. 0,0001 g; kütleyi doğru bir şekilde ölçmek için tasarlanmış son derece hassas laboratuvar cihazlarıdır. Analitik terazilerde, çok küçük numunelerin hava akımlarından etkilenmesini önlemek için bir rüzgarlık veya tartım odası bulunur. Arşimet yoğunluk yönteminde Denklem (1) kullanılmıştır.

$d_{gerçek}$: numunelerin gerçek yoğunluğunu,

m_{hava} : numunelerin havadaki ağırlığını,

m_{su} : numunelerin sudaki ağırlığını ve

d_{su} : saf suyun yoğunluğunu ifade etmektedir

$$d_{gerçek} = \left(\frac{m_{hava}}{m_{hava} - m_{su}} \right) \times d_{su} \quad (1)$$



Şekil 3.6 Yoğunluk testinde kullanılan terazi

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bulgular ve tartışma bölümünün tasarımı: metal tozlarının üretimi, organik bağlayıcı seçimi, metal kil hamuru üretiminde kullanılan metal ve organik bağlayıcı tozları, metil selüloz ve guar gam organik bağlayıcıları ile üretilen metal kil çalışmaları olarak beş kısımda ele alınmıştır.

Birinci kısımda: Metal kil hamurun üretiminde kullanılan gümüş tozları hidrometalurjik üretim yöntemini kullanarak elde edilmiş olup proses aşamaları ve 50 µm altı saf gümüş eleme yöntemi ile parçacık boyutlarında elde edilmesi yapılmıştır.

İkinci kısımda: Metal kil hamur üretiminde kullanılabilecek farklı organik bağlayıcılar bulunmaktadır. Bu nedenle öncelikle organik bağlayıcı için farklı organik bağlayıcılar kullanılarak 50 µm altı saf gümüş metal tozları metal kil hamuru üretilmiştir. Bu metal hamurlarında 3B kalıp tasarımı yapıp hamurlar ile şekil verilme işlemi yapılmıştır.

Üçüncü kısım: Bu metal kil hamuru organik bağlayıcıların seçiminde şekil verilerek kurutulan metal kil hamurlarının optik mikroskop görüntüleri alınmıştır. Sonuçlar deneylerde kullanılacak uygun malzemelerin seçimi için tartışılıp değerlendirilmiştir.

Dördüncü kısım: metal üretiminde kullanılan tozların saf gümüş, 950 gümüş, 925 gümüş, 900 gümüş, saf bakır ve bronz metal tozları ile Agar agar, Arap zankı, Guar gam, Jelatin, Ksantan gam ve Metil selüloz organik bağlayıcılarının SEM, OM ve XRF analizleri yapılmıştır ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

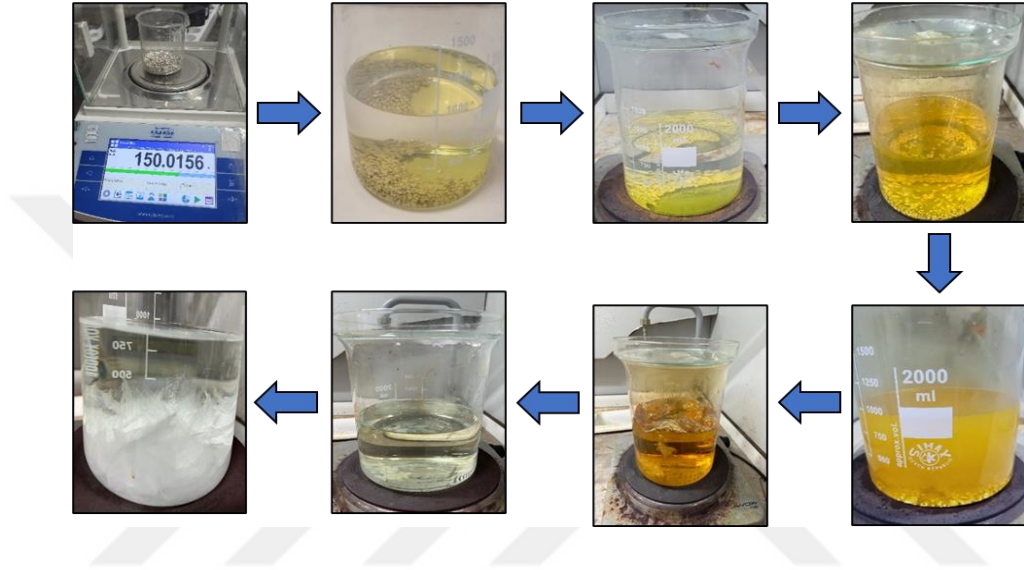
Beşinci kısım: organik bağlayıcı olarak metil selüloz kullanılarak saf gümüş, 950 gümüş, 925 gümüş, 900 gümüş, saf bakır ve bronz metal tozları ile kuru ve sinterlenmiş metal kil hamurları üretilmiştir.

Altıncı kısım: Organik bağlayıcı olarak guar gam kullanılarak saf gümüş, 950 gümüş, 925 gümüş, 900 gümüş, saf bakır ve bronz metal tozları ile kuru ve sinterlenmiş metal kil hamurları üretilmiştir.

Beşinci, altıncı ve yedinci kısımlarda, metil selüloz ve guar gam organik bağlayıcıları kullanılarak üretilen kuru ve sinterlenmiş metal kil hamurlarının morfolojik, fiziksel, mekanik ve kimyasal kompozisyon özellikleri incelenmiştir. Bu incelemeler için SEM, OM, XRF analizleri yapılmıştır. Üretilen metal kil hamurları sinterleme sonrası Arşimet yoğunluk ölçümleri yapılmıştır.

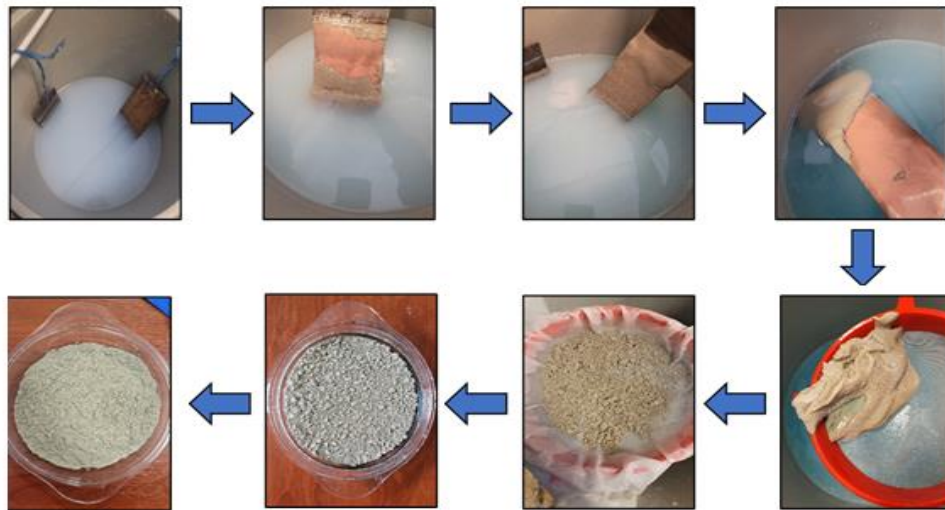
4.1. Metal Tozlarının Üretimi

Metal kil hamurun üretiminde kullanılan gümüş tozları hidrometalurjik üretim yöntemini kullanarak elde edilmiş olup proses aşamaları aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır. 1 litre nitrik asit içerisinde 150 gr saf gümüş bırakılarak çözelti 50-60 °C aralığında ısıtılarak tepkime hızı artırılmıştır. Daha sonra çözelti soğumaya bırakılmış ve işlem sonunda çözeltinin rengi renksiz duruma gelene kadar beklenilmiştir. Nitrik asit çözeltisi kristalize (doymuş) olduğu durumun görseli Şekil 4.1’de verilmiştir.



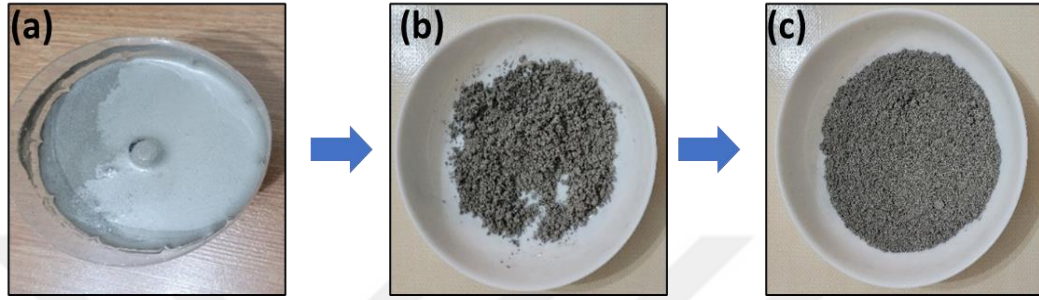
Şekil 4.1 Hidroliz yöntemi için hazırlanan çözelti

Çözelti 4 katı su ile seyreltilmiştir ve içerisinde bakır levha bırakılmıştır. İçerisinde yaklaşık 36 saat bekletilmiş ve 8 saat aralıklarla biriken toz toplanmıştır. Aşağıda resimlerde gümüş tozunun bakır levhaya toplama basamakları Şekil 4.2’de görülmektedir.



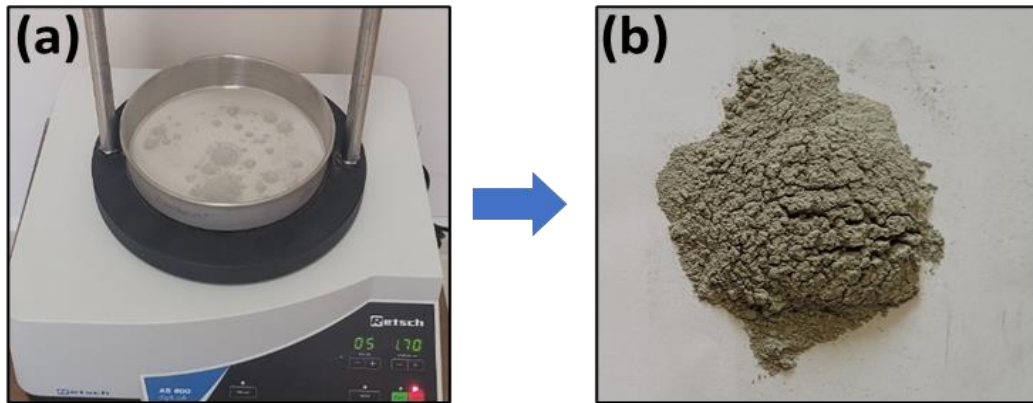
Şekil 4.2 Hidroliz yöntemiyle elde edilen gümüş tozlarının üretim süreci

Ag tozu yıkama ve kurutma işlemi: plastik bir süzgeç ve süzme yardımı ile saf gümüş tozu alınır. Sıcak saf su içerisinde en az 3 defa karıştırılarak yıkanır asit kalıntılarından arındırılır. Elde edilen Ag tozları etüv içerisinde 90 °C’de içerisindeki nemin tam olarak kurutulması sağlanır. Bu çalışmamızda 150 gr has gümüşünden 147,5 gr toz olarak elde edilmiştir. Ag tozlarının süzme ve kurutma işlemleri sırasındaki görüntüleri Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3 Ag tozlarının süzme ve kurutma işlemleri sırasındaki görüntüleri

Gümüş tozlarının parçacıklarının boyutlandırılması: kurutulmuş ve nemden tamamen uzaklaştırılmış gümüş tozu cam havan içerisinde öğütülmüştür. Sonrasında toz elek cihazına konularak istenilen büyüklükteki gümüş 15 dk süre sonrasında 80-60-50 μm ’lik elekten sırasıyla geçerek 50 μm altı toz parçacıkları elde edilmiştir. 140 gr toplam gümüşten öğütme yapılmadan 108 gr 50 μm toz elde edilmiştir. Elde edilen gümüş tozunun metal kil hamur işlemlerinde kullanılmak üzere nem almayacak şekilde kullanılmak üzere plastik veya cam bir kavanoz içerisinde muhafaza edilmiştir. Ag tozlarının Vibratory Sieve Shaker As 200 Digit Ca makinesinde eleme yapılmıştır. İşlem basamakları Şekil 4.4’de görülmektedir.



Şekil 4.4 Deneylerde kullanılacak olan 50 μm altı has toz gümüş

4.2. Organik Bağlayıcının Belirlenmesi

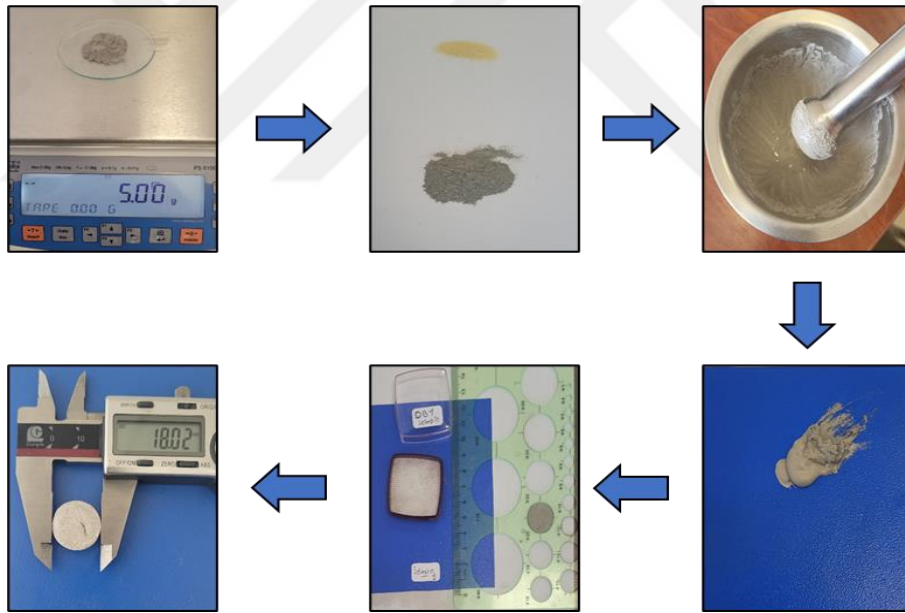
Metal kil hamuru üretiminde kullanılan organik bağlayıcıların oranlarının ve türlerinin belirlenmesi için ön deneysel çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda tez kapsamında kullanılacak organik bağlayıcı türleri olarak metil selüloz ve guar gam seçilmiştir. Bu seçimin nedenleri arasında nihai metal kil hamurunun elde şekillendirme kolaylığı ve sinterleme sonrası metal form alması en önemli kriter olarak belirlemiştir. Ön deneysel çalışmalarda kullanılan 50 µm altı parçacık boyutuna sahip saf gümüş tozları kullanılmıştır. Bu çalışma 5 gr saf gümüş kullanılarak her 1 gr toza karşılık 0,05 gr toplamda 0,25 gr bağlayıcı ile karıştırılmıştır. Kullanılan bütün bağlayıcıların bu oranlarda ki bağlayıcı özellikleri incelenmiş ve bu bağlayıcılar arasında en iyi bağlayıcılık hangi organik bağlayıcıda olduğu gözlemlenmiştir. El ile şekillendirme ile veya kalıplara yapışmasını önlemek ve yapışmayı önleyici yüzey ajanı olarak 0,2 ml zeytin yağı kullanılmıştır. Organik bağlayıcının belirlenmesinde ki deneysel çalışmalarında deneyler “OB” kodlu ile tanımlanmıştır. Tüm çalışmalarda maksimum homojenliğe ulaşabilmek için 2 ml ultra saf su kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen metal kil hamurunun boyutsal değişiminin takibi için 20 mm daire hamur formları kullanılarak üretimler yapılmıştır. Metal tozu, bağlayıcılar ve katkı miktarları Çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 Organik bağlayıcıların seçimi

Deney Kodu	Gümüş Tozu	Bağlayıcı	Organik Yüzey Ajanı	Saf Su
OB1	5 gr (50 µm altı)	Jelatin (0,25 gr)	Zeytin Yağ (0,2 ml)	2 ml
OB2	5 gr (50 µm altı)	Ksantan Gam (0,25 gr)	Zeytin Yağ (0,2 ml)	2 ml
OB3	5 gr (50 µm altı)	Guar Gam (0,25 gr)	Zeytin Yağ (0,2 ml)	2 ml
OB4	5 gr (50 µm altı)	Metil Selüloz (0,25 gr)	Zeytin Yağ (0,2 ml)	2 ml
OB5	5 gr (50 µm altı)	Arap Zamkı (0,25 gr)	Zeytin Yağ (0,2 ml)	2 ml
OB6	5 gr (50 µm altı)	Agar Agar Zamkı (0,25 gr)	Zeytin Yağ (0,2 ml)	2 ml

Organik bağlayıcının belirlenmesi için OB1 kodlu metal kil hamuru üretilmiştir. OB1 kodlu deneyde organik bağlayıcı olarak jelatin kullanılmıştır. OB1 kodlu metal kil hamurunun üretim aşamaları Şekil 4.5’de verilmiştir. Jelatin ile üretilen metal kil hamuruna şekil

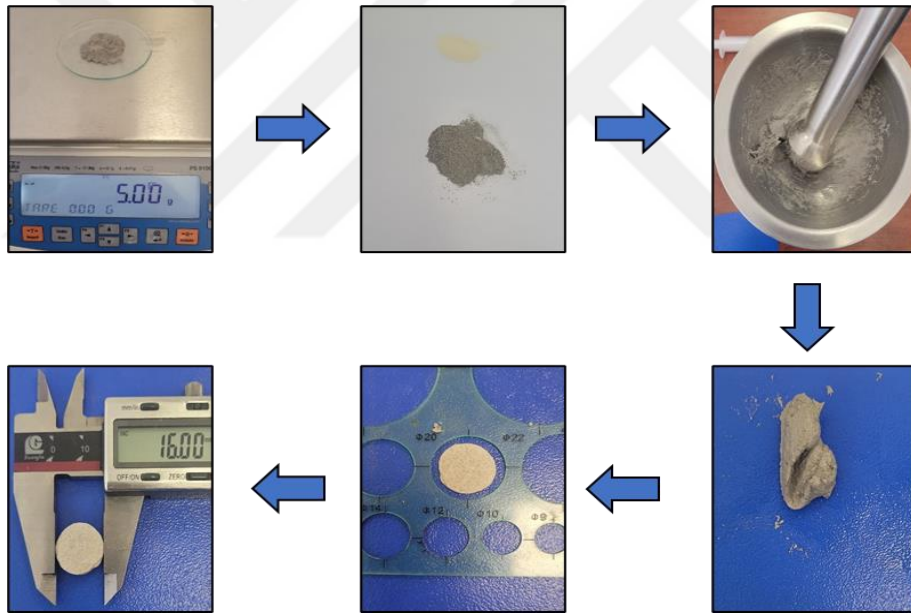
verilmesinin zor olduğu ve metalik tozları bağlamanın zayıf olduğu gözlenmiştir. OB1 numunesi 24 saat bekleme sonrasında nemli yapının tamamen kaybolduğu gözlemlenmiştir. OB1 hamurunun şekillendirilmesi sırasında el ve aletlere yapışma sorunu oluşmuştur. OB1 metal kil hamuruna 20 mm çapında ve 1,55 mm kalınlığında daire kalıpta şekil verilmiştir. Şekil verilen numune 24 saat oda sıcaklığında kurutulduktan sonra 19,40 mm çapında olmuştur. Sonuç olarak kuruma sonrası büzülme oranı her ne kadar iyi olsa da 850 °C’de 1 saat sinterleme sonrası verilen form da bozulmalar gözlenmiştir. Metal form kazandırılan metal kil hamurunun sinterleme sonrası büzülme oranı 18,2 mm çapına kadar düşmüştür. Bu sonuç standart metal kil hamurlarına kıyasla göreceli olarak kabul edilebilir %10 büzülme oranı gözlenmiştir. Ancak OB1 deneyi sırasında hamurun formunda esnekliğin çok düşük olması, hızlı kuruma yapması ve yapışma problemleri nedeniyle tez çalışmasında kullanılmamıştır. OB1 numunesi hamur halde 1,50 gr iken sinterleme sonrası 1,85 gr olarak ölçülmüştür. Ağırlık kaybı organik bağlayıcılar arasında göreceli olarak iyi durumdadır.



Şekil 4.5 OB1- Jelatin bağlayıcı ile hamur üretim aşamaları

Organik bağlayıcının belirlenmesi için OB2 kodlu metal kil hamuru üretilmiştir. OB2 kodlu deneyde organik bağlayıcı olarak Ksantan gam kullanılmıştır. OB2 kodlu metal kil hamurunun üretim aşamaları Şekil 4.6’de verilmiştir. Ksantan gam ile üretilen metal kil hamurunun bağlayıcılığın jelatin ve agar agar göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Kurumanın daha yavaş gerçekleştiği görülmüştür. 24 saat bekleme sonrasında hamur

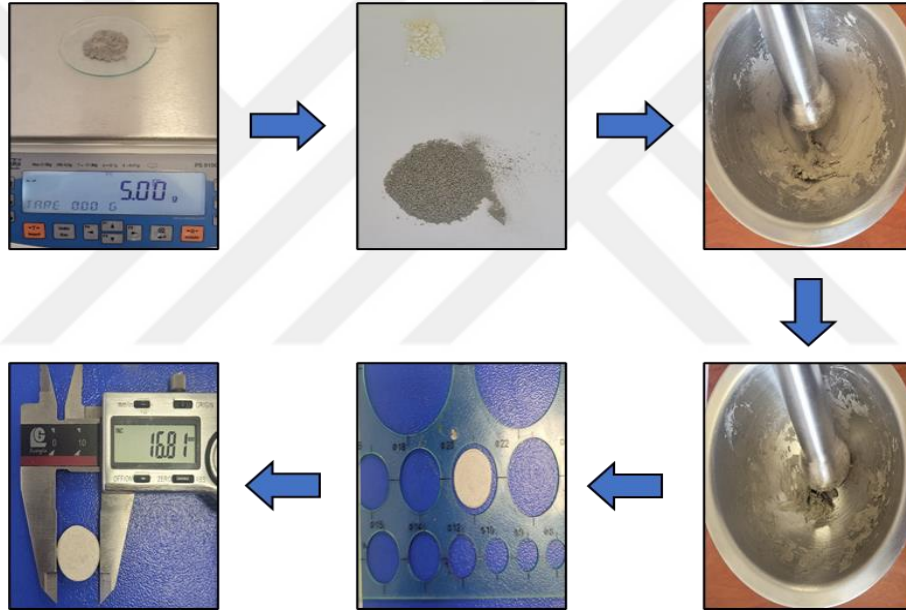
içerisindeki nemi tamamen kaybettiği, sertleştiği ve şekil verilmenin yapılamayacağı tespit edilmiştir. OB2 metal kil hamuruna 20 mm çapında ve 1,55 mm kalınlığında daire kalıpta şekil verilmiştir. Şekil verilen numune 24 saat oda sıcaklığında kurutulduktan sonra 18,50 mm çapında olmuştur. OB2 hamurunun yuvarlak formun şeklini korumakta zorlandığı gözlenmiştir. OB2 numunesi hamur halde 1,55 gr ağırlığında iken 24 saat oda sıcaklığında kuruma sonrası kurumuş metal kilin ağırlığı 1,28 gr olduğu ve 850 °C’de 1 saat sinterleme sonrası ise 1,35 gr olarak ölçülmüştür. Ağırlık kaybı organik bağlayıcılar arasında göreceli olarak kötü durumdadır. OB2 numuneleri kurutulduktan sonra sinterlenmesi yapılmıştır. Sonrasında verilen form da bozulmalar olduğu gözlemlenmiştir. OB2 numunelerin sinterlenme sonrası büzülme oranların 16,00 mm olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak OB2 hem hamur formu verme hem de sinterleme sonrası yüzey kalitesi ve bozulmaların olması metal kilde istenilen bir durum olmaması nedeni ile olumsuz olarak görülmüştür.



Şekil 4.6 OB2 Ksantan Gam bağlayıcı ile hamur üretim aşamaları

Organik bağlayıcının belirlenmesi için OB3 kodlu metal kil hamuru üretilmiştir. OB3 kodlu deneyde organik bağlayıcı olarak guar gam kullanılmıştır. OB3 kodlu metal kil hamurunun üretim aşamaları Şekil 4.7’de verilmiştir. Guar gam ile üretilen metal kil hamurunun bağlayıcılığının iyi olduğu ayrıca kurumunun yavaş olduğu tespit edildi. OB3 hamuruna el ile şekil verme sırasında saf gümüş tozunu bağlayıcılık bakımından iyi olduğu gözlemlenmiştir. OB3 metal kil hamuruna 20mm çapında ve 1,55 mm kalınlığında daire

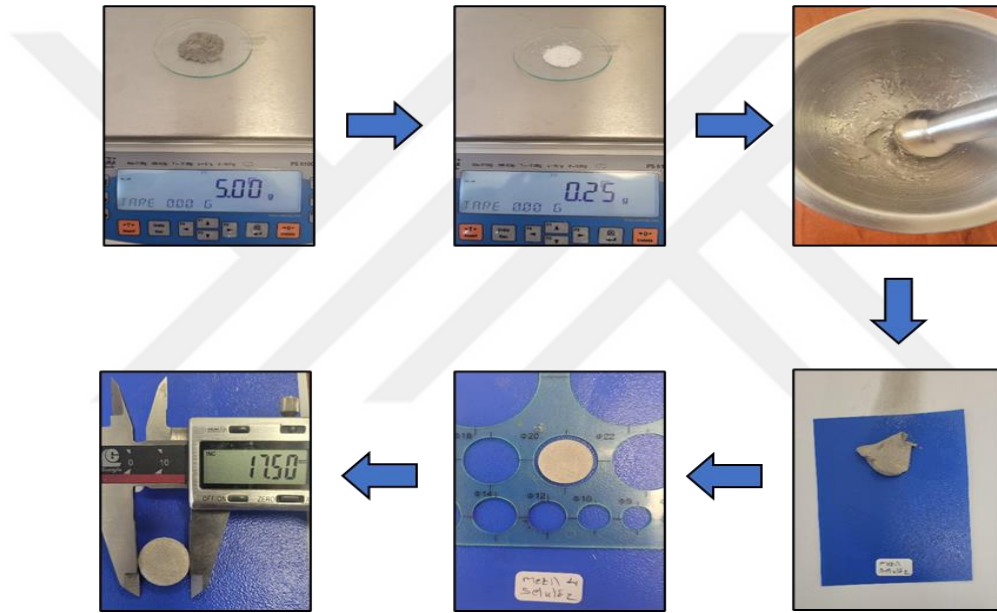
kalıpta şekil verilmiştir. OB3 hamurunun elastik özellik kazandırdığı gözlemlenmiştir. Oda sıcaklığında 24 saat beklendikten sonra dahi hamura istenilen şeklin verilebilecek elastik bir yapının korunduğu görülmüştür. Şekil verilen numune 24 saat oda sıcaklığında kurutulduktan sonra 18,25 mm çapında kalınlığı ise 1,44 mm olmuştur. OB3 numunesi hamur halde 1,80 gr iken 24 saat oda sıcaklığında kuruma sonrası kurumuş metal kilin ağırlığı 1,60 gr olduğu 850 °C’de 1 saat sinterleme sonrası ise 1,50 gr olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak OB3 Guar gam bağlayıcılığın ve yüzey kalitesinin metil selülozdan sonra en iyi sonucu verdiği görülmüştür. OB3 hamur halde verilen daire formun küçülme oranı diğerlerine göre fazla olsa da ticari olarak üretilen metal kil hamur killerinin büzülme oranları arasında kalmaktadır.



Şekil 4.7 OB3 Guar gam bağlayıcı ile hamur üretim aşamaları

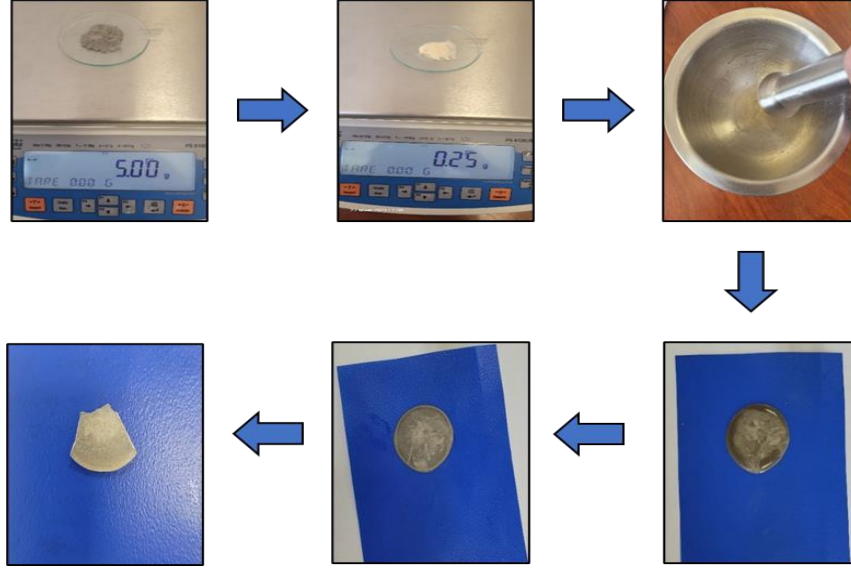
Organik bağlayıcının belirlenmesi için OB4 kodlu metal kil hamuru üretilmiştir. OB4 kodlu deneyde organik bağlayıcı olarak metil selüloz kullanılmıştır. OB4 kodlu metal kil hamurunun üretim aşamaları Şekil 4.8’de verilmiştir. Metil selüloz organik bağlayıcı özellikleri bakımından oluşturulan metal kil hamurları sonuçları değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre metil selüloz bağlayıcılığı, şekil verme, elastiklik seviyesi ve sinterlenme sonrası büzülme ve yüzey kalitesi kriterleri bakımından deneme çalışmaları arasında en iyi sonuca ulaşmıştır. OB4 metal kil hamuruna 20 mm çapında ve 1,55 mm kalınlığında daire kalıpta şekil verilmiştir. OB4 hamurunun elastik özellik ve metal kil hamurun daha pürüzsüz

olduğu form verilirken rahat şekilde form kazandığı gözlemlenmiştir. Şekil verilen numune 24 saat oda sıcaklığında kurutulduktan sonra çap 19,50 mm, kalınlığı ise 1,50 mm olmuştur. OB4 numunesi ağırlığı hamur halde 1,90 gr iken 24 saat oda sıcaklığında kuruma sonrası metal kilin ağırlığı 1,50 gr olduğu ve 850 °C’de 1 saat sinterleme sonrası ise ağırlığı 1,39 gr olarak ölçülmüştür. OB4 numunesi sinterleme sonrasında çapı 17,50 mm, kalınlığı ise 1,39 mm olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak OB4 metil selüloz hamur formunda işlenip şekillendirmenin kolay olduğu ele ve aletlere yapışmanın olmadığı kullanılan bağlayıcıların arasında sinterleme öncesi ve sonrası yüzey kalitesinin kullanılan bağlayıcılar arasında en iyi sonucu verdiği görülmüştür.



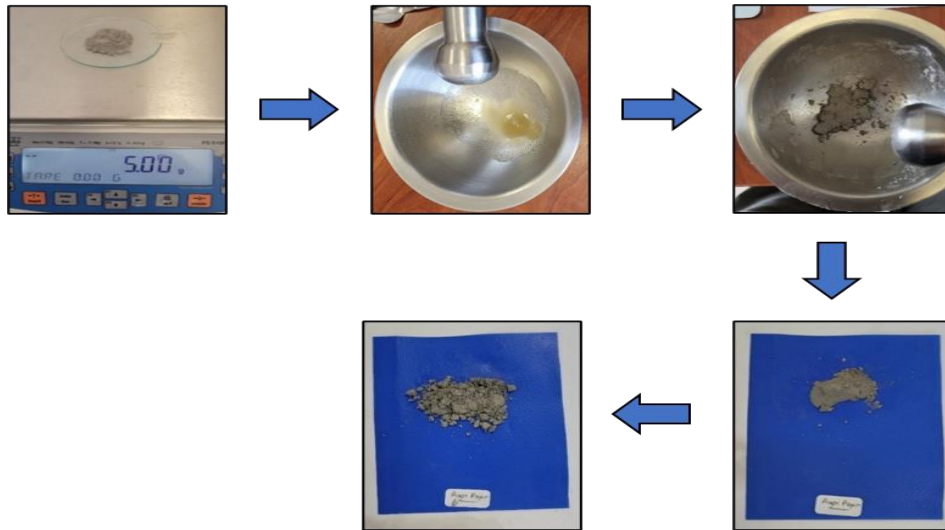
Şekil 4.8 OB4 Metil Selüloz bağlayıcı ile hamur üretim aşamaları

Organik bağlayıcının belirlenmesi için OB5 kodlu metal kil hamuru üretilmiştir. OB5 kodlu deneyde organik bağlayıcı olarak arap zıncı kullanılmıştır. OB5 kodlu metal kil hamurunun üretim aşamaları Şekil 4.9’de verilmiştir. OB5 kodlu metal kil hamur oluşumunda bağlayıcılık olmadığı ama bir jelleşme oluşumu sağladığı tespit edilmiştir. OB5 kodlu metal kil hamurunda oluşan sıvı form Şekil 4.9’de görülebilmektedir. OB5 kodlu metal kil hamuru 24 saat oda sıcaklığında kurumaya bırakıldı ve sonrasında metal tozlarını bağlayıcılık kuruma sonrasında zayıf ve dayanıksız olduğu kırılmaların olduğu görülmektedir. Bu sebepten dolayı istenilen ölçülü form oluşturulamamıştır.



Şekil 4.9 OB5 Arap Zamkı bağlayıcı ile hamur üretim aşamaları

Organik bağlayıcının belirlenmesi için OB6 kodlu metal kil hamuru üretilmiştir. OB6 kodlu deneyde organik bağlayıcı olarak agar agar kullanılmıştır. OB6 kodlu metal kil hamurunun üretim aşamaları Şekil 4.10’da verilmiştir. OB6 kodlu metal kil hamurunda kullanılan bu bağlayıcının kararsız davrandığını gözlemlenmiştir. OB6 kodlu metal kil hamurunda ilk başta iyi tutunma sağlarken 60 dk gibi bir bekleme süresinde organik bağlayıcılığın bağlama özelliğinin tamamen kaybolduğu gözlenmiş ve bu sebepten dolayı erken şekil verilmiş olsa da kuruma sonrası dağılma tespit edilmiştir. Sonuç olarak OB6 kodlu agar agar bağlayıcı içeren deneyinin en olumsuz durumda olduğu şekil vermek mümkün olsa da kurumaya bırakıldığında bağlayıcılık özelliğini kaybetmektedir.



Şekil 4.10 OB6 Agar agar bağlayıcı ile hamur üretim aşamaları

Metal kil hamuru üretiminde kullanılan organik bağlayıcıların seçimi için altı farklı organik bağlayıcı saf gümüş metal tozları ile hamur üretilmiştir. Bu üretimlerin detaylı içerikleri ve ölçümleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Hamurlar, 20 mm çapında daire şeklinde ve 1,55 mm olarak üretilmiştir. Çizelge 4.2’de deney no olarak belirlenen kısaltmalar OB1: Jelatin, OB2: Ksantram Gam, OB3: Guar Gam, OB4: Selüloz, OB5: Arap Zamkı ve OB6: Agar Agar kullanılmıştır.

Çizelge 4.2 Organik bağlayıcıların belirlenmesinde ölçüm tablosu

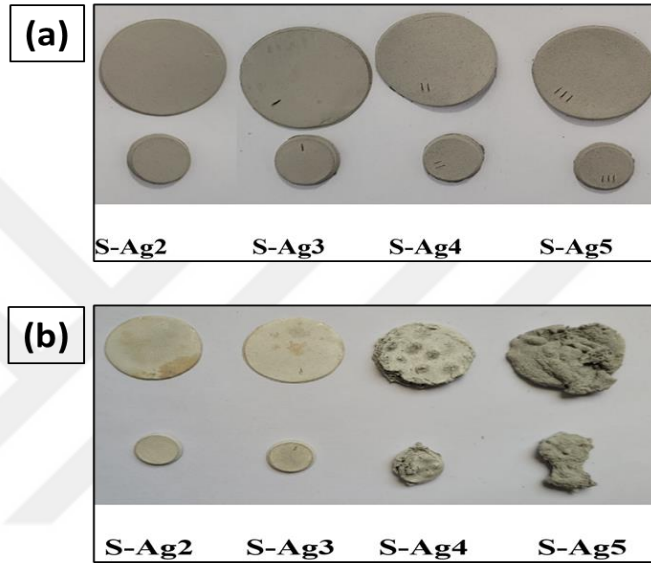
Deney No	Hamur		Kurutma			Sinterleme			Sinterleme Sonrası	
	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	Şeklini Koruma	Yüzey Kalitesi
OB1	20,00	1,55	19,40	1,46	1,85	18,2	2,22	2,10	D	E
OB2	20,00	1,55	18,50	1,45	1,28	16,2	1,35	1,35	D	D
OB3	20,00	1,55	18,25	1,44	1,60	16,80	1,38	1,50	A	B
OB4	20,00	1,55	19,50	1,50	1,80	17,50	1,39	1,68	A	A
OB5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OB6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

OB kodlu organik bağlayıcıların belirlenmesi deneyinde oluşturulan metal kil hamurlarının sonuçları değerlendirdiğimizde bağlayıcılığı, şekil verme, elastiklik seviyesi ve sinterlenme sonrası büzülme ve yüzey kalitesi kriterleri sağlayan metil selüloz ve guar gam organik bağlayıcılar uygun olarak belirlenmiştir.

4.2.1. Metil selüloz katkı oranlarının incelenmesi

Metil selüloz oranlarının metal kil hamur formu ve sinterleme sonrası etkileri incelenmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Çizelge 4.3’de metil selüloz oranlarının belirlenmesinde kullanılan malzemelerin oranları sunulmuştur. Gümüş tozu kullanılarak üretilen hamurlarda farklı oranlarda selüloz miktarı kullanılmış ve selüloz oranı arttıkça hamurlara şekil verilebilmesini negatif etkilemiştir. Ayrıca Çizelge 4.3’de görüldüğü gibi selüloz oranlarının en düşük miktarda (S-Ag1) deneyinde hamura şekil verilemediği tespit edilmiştir. S-Ag4 ve S-Ag5 karışım oranlarında şekil verilmesi zor ve sinterleme sonrası hamurun istenilen

formların oluşmadığı gözlemlenmiştir. Çizelge 4.3’de görüldüğü gibi selüloz oranlarının hamur üretimine etkisini incelediğimizde selüloz miktarının artması sinterleme sonrası süngerimsi bir yapı oluştururken azalması ise bağlayıcılığı düşürmekte ve şekli verilmesini zorlaştırmaktadır. Bu oranların içerisinde en ideal sonuçların S-Ag3 deney grubunda olduğu görülmüştür. S-Ag3 deney grubunda, 1 gr gümüş için 0,05 selüloz bağlayıcı kullanarak üretilen hamurun sinterleme oranlarında minimum bozulma sahip olduğu tespit edilmiştir. S-Ag deney grubu kurutulmuş hamurların sinterlenme öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 4.11’de sunulmuştur.



Şekil 4.11 S-Ag deney grubu hamurların görüntüleri

Çizelge 4.3 Metil selüloz oranlarının belirlenmesi

Deney No	GÜMÜŞ TOZU (50 µm altı)	METİL SELÜLOZ (gr)	ZEYTİN YAĞI (ml)	SAF SU (ml)	SONUÇ
S-Ag1	5 gr	0,10	0,2	1,5	Şekil oluşmadı.
S-Ag2	5 gr	0,15	0,2	1,5	Sinterlenince büzülme oranları arttı.
S-Ag3	5 gr	0,25	0,2	1,5	Şekil verme ve koruma en iyi sonuç.
S-Ag4	5 gr	0,50	0,2	1,5	Sinterleme sonrası şekil bozuldu.
S-Ag5	5 gr	0,75	0,2	1,5	Sinterleme sonrası şekil bozuldu.

4.2.2. Guar gam katkı oranlarının incelenmesi

Guar gam oranlarının hamur ve sinterleme sonrası etkileri incelenmiştir. Deneyler sonucunda bağlayıcılığın ve şekil vermenin en iyi olduğu gözlemlenmiştir. Ele yapışmanın hiç olmaması bu konuda dikkatleri üzerine çekmiştir. Ayrıca tüm kullanılan oranlar ve etkileri Çizelge 4.4’de verilmiştir. Bağlayıcı miktarının artması hem şekil vermede hem de kurduğunda yapısının değiştiği tespit edilmiş G-Ag3 oranında bağlayıcının kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir.

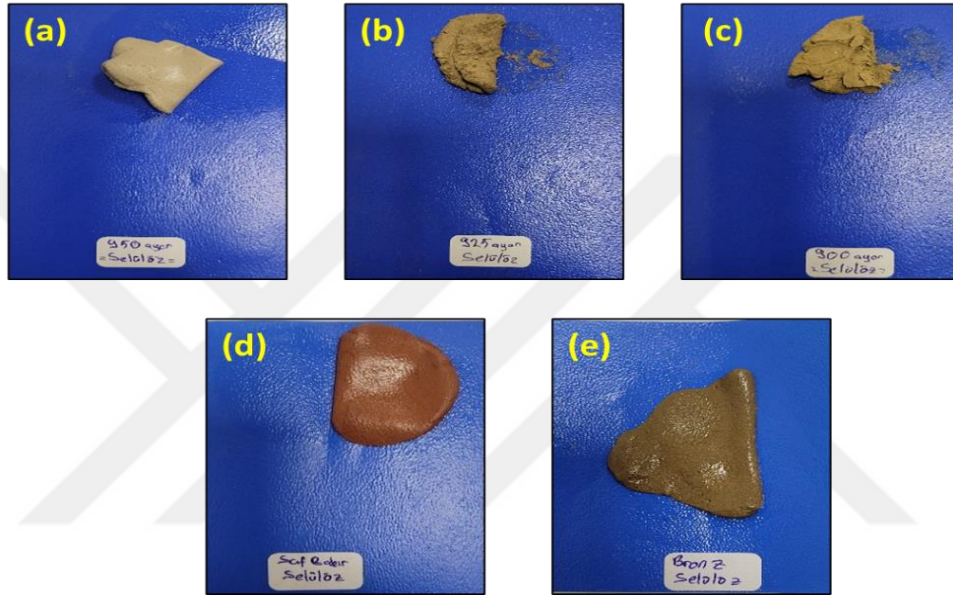
Çizelge 4.4 Guar gam oranlarının belirlenmesi

Deney No	GÜMÜŞ TOZU (50 µm altı)	GUAR GAM (gr)	ZEYTİN YAĞI (ml)	SAF SU (ml)	SONUÇ
G-Ag1	5 gr	0,10	0,2	1,5	El ile şekil verilemedi.
G-Ag2	5 gr	0,15	0,2	1,5	El ile üretimde yapışma sorunu oluştu.
G-Ag3	5 gr	0,25	0,2	1,5	Bağlayıcılık, şekil vermenin en iyi oldu
G-Ag4	5 gr	0,35	0,2	1,5	Kuruma sonrası form ve ölçüler bozuldu.
G-Ag5	5 gr	0,45	0,2	1,5	Elektik bir yapı gibi şekil vermek zorlaştı ve kuruma sonrası şekil bozuldu.

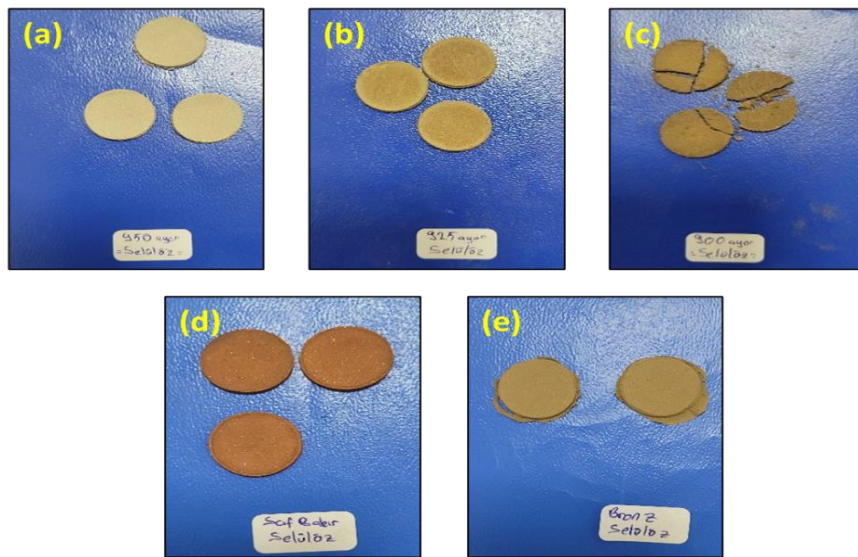
4.2.3. Metil selüloz metal kil hamuru üretimi

Saf gümüş , 950, 925, 900 milyem gümüş (bakır toz karışımı), saf bakır ve bronz metal tozu ile organik bağlayıcı metil selüloz kullanılarak metal kil hamurun ilk aşaması oluşturulmuştur. Bu aşamada 5 gr metal tozu, 0,25 gr metil selüloz 0,2 ml zeytin yağı ve 1,5 ml ultra safsu kullanılmıştır. Üretilen hamurların görüntüleri Şekil 4.12’de verilmiştir. Daha sonra üretilen hamurlara 20 mm daire şeklinde ve 1.55 mm kalınlığında şekil verilmiş Şekil 4.13’da görülmektedir. Üretilen metal kil hamur numuneleri 850 °C’de fırında 1 saat sinterleme sonrası metal formuna dönüştürülmüştür. Sonuç olarak selüloz bağlayıcının farklı metalleri gümüş ve bakır karışımı bir arada olmasında bağlayıcılığın düşmekte olduğu görülmüştür. Has metal ve 950 ayarda şekil verme ve kuruma sonrası ve şeklin korunması iyi iken 925 ayarda yüzeysel bozulmalar oluşmuş 900 ayar olarak yapılan gümüş bakır

karışımında ise bağlayıcılığın kötü ve kuruma sonrasındaki işlemlere dayanıksız olup dağılmalar gözleendiği için ölçümler yapılamamıştır. Oluşturulan saf bakır hamurun şekilendirilmenin kolay olduğu ve saf olarak kullanıldığında bakırda bağlayıcılığın iyi olduğu görülmüştür. Oluşturulan Bronz hamurun şekilendirilmenin kolay olduğu ve bağlayıcılığın iyi olduğu kuruma sonrası formun bozulmadığı görülmüştür. 24 saat oda sıcaklığında bekletilen hamurların 950, 925, 900 ve saf bakırda oksitlenmeye bağlı renk değişimleri ve bağlayıcılığın düştüğü Şekil 4.13’de görülmektedir. Metil selüloz ile yapılan formların ölçümleri Çizelge 4.5’de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 4.12 Metil selüloz ile yapılan karışımların hamur formları



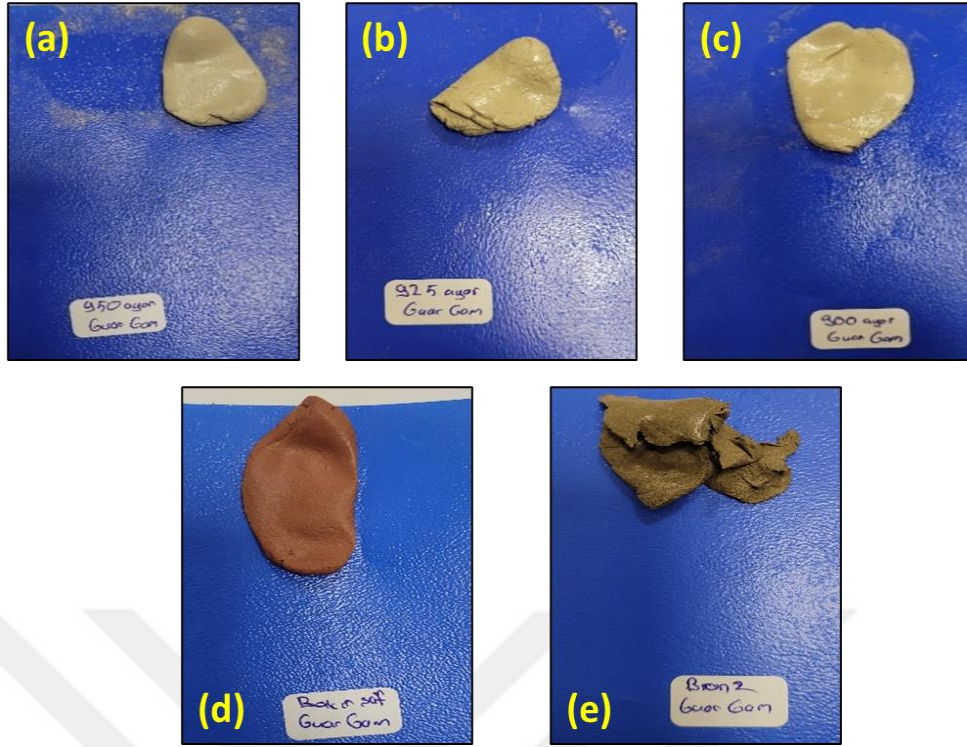
Şekil 4.13 Metil selüloz ile şekil verilmiş ve sonrasında kurutulmuş ürünler

Çizelge 4.5 Metil selüloz kullanılarak oluşturulan formun ölçüm tablosu

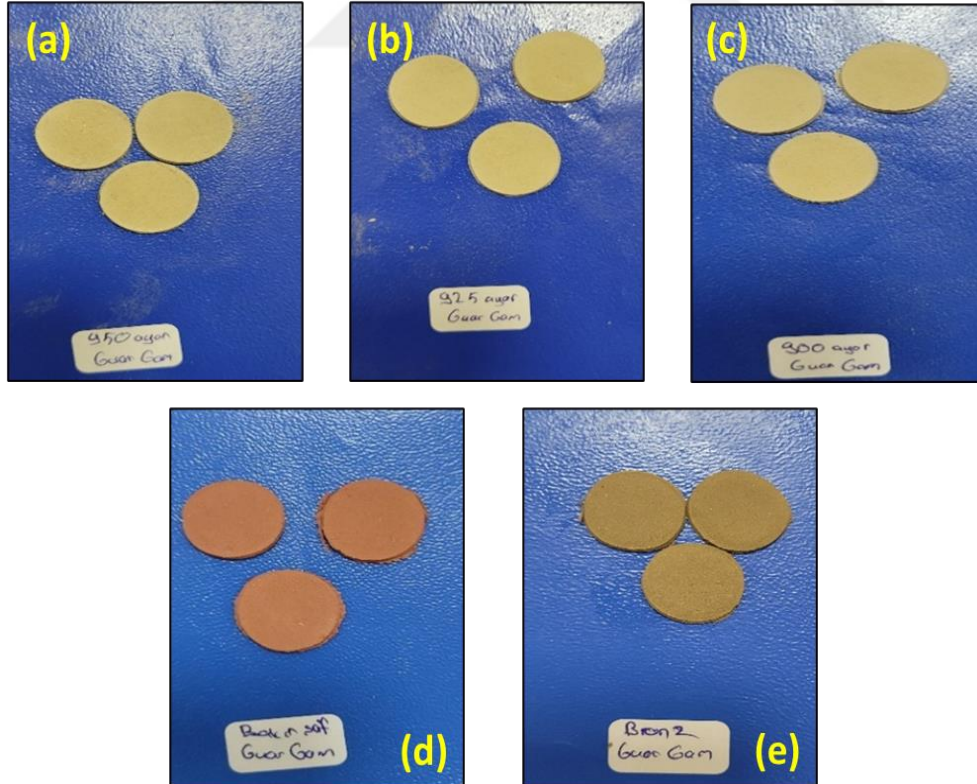
Deney No	Hamur		Kurutma			Sinterleme		
	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)
OS1-Saf Ag	20,00	1,55	19,50	1,50	1,80	17,52	1,39	1,65
OS2-950 Ag	20,00	1,55	19,95	1,60	1,55	17,80	1,36	1,45
OS3-925 Ag	20,00	1,55	19,90	1,65	1,48	18,05	1,33	1,40
OS4-900 Ag	20,00	1,55	-	-	-	-	-	-
OS5-Saf Cu	20,00	1,55	19,95	1,60	1,45	19,53	1,50	1,60
OS6-Bronz	20,00	1,55	19,60	1,55	2,15	18,00	1,50	2,1

4.2.4. Guar gam metal kil hamuru üretimi

Saf , 950, 925, 900 milyem gümüş (bakır toz karışımı), saf bakır ve bronz metal tozu ile organik bağlayıcı guar gam kullanılarak metal kil hamurun ilk aşaması oluşturulmuştur. Bu aşamada 5 gr metal tozu, 0,25 gr guar gam 0,2 ml zeytin yağı ve 1,5 ml ultra safsu kullanılmıştır. Üretilen hamurların görüntüleri Şekil 4.14’de verilmiştir. Daha sonra üretilen hamurlara 20 mm daire şeklinde ve 1,55 mm kalınlığında şekil verilmiştir Şekil 4.11’de görülmektedir. Üretilen metal kil hamur kil numuneleri 850 °C’de fırında 1 saat sinterleme sonrası metal formuna dönüştürülmüştür. Sonuç olarak guar gam bağlayıcının kullanılan metal tozlarını ve ayrıca karıştırılmış (gümüş + bakır) tozlarda bağlayıcı özelliğini olumsuz etkilememiş ve şekilendirmenin kolay olduğu gözlemlenmiştir. Oluşturulan saf bakır metal kil hamurun şekilendirmenin kolay olduğu ve saf olarak kullanıldığında bakırda bağlayıcılığın iyi olduğu görülmüştür. Oluşturulan bronz hamurun şekilendirmenin kolay olduğu ve bağlayıcılığın iyi olduğu kuruma sonrası formun bozulmadığı görülmüştür. 24 saat oda sıcaklığında bekletilen hamurların 950, 925, 900 ve saf bakır ve bronzda renk değişimleri metil selüloz bağlayıcısına göre minimum olduğu guar gam bağlayıcının karışımında ve kullanılan metal tozlarında oksitlenmeyi engelleme konusunda iyi sonuçlar verdiği Şekil 4.15’de gözlenmiştir. Guar gam ile yapılan formların ölçümleri Çizelge 4.6’da ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 4.14 Guar gam ile yapılan karışımların hamur formu



Şekil 4.15 Guar gam ile şekil verilmiş ve kurutulmuş formlar

Çizelge 4.6 Guar gam kullanılarak oluşturulan formun ölçüm tablosu

Deney No	Hamur		Kurutma			Sinterleme		
	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)
OG1-Saf Ag	20,00	1,55	19,95	1,50	1,85	17,20	1,40	1,50
OG2-950 Ag	20,00	1,55	19,90	1,50	1,60	17,70	1,55	1,55
OG3-925 Ag	20,00	1,55	19,88	1,48	1,42	17,55	1,40	1,35
OG4-900 Ag	20,00	1,55	19,85	1,48	1,52	17,90	1,32	1,44
OG5-Saf Cu	20,00	1,55	19,95	1,50	1,80	18,10	1,44	1,40
OG6-Bronz	20,00	1,55	19,00	1,40	1,55	18,50	1,37	1,52

4.2.5. Organik yüzey ajan belirlenmesi

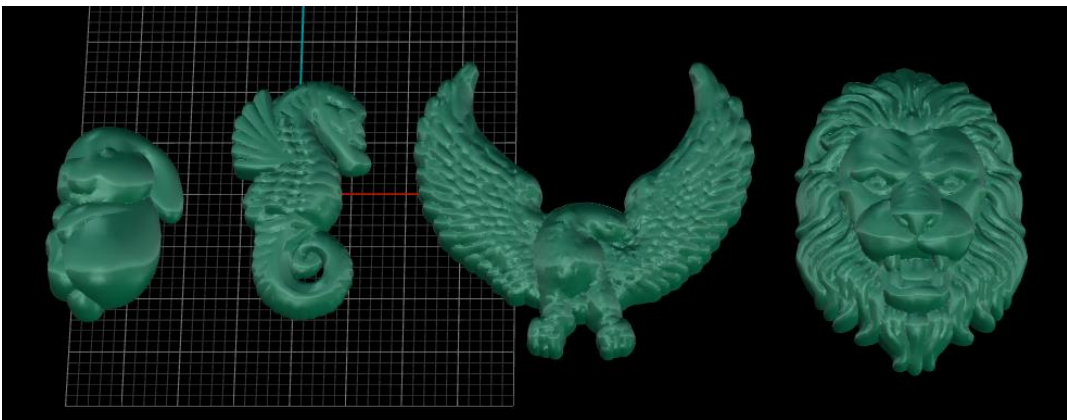
Metal kil hamuru üretiminde organik yüzey ajanları şekil verilme aşamasında yapışma özelliğini engellemek için kullanılmaktadır. Bu nedenle metal kil hamurlarının üretiminde kullanılabilecek organik yüzey ajanları arasında karşılaştırma yapabilmek için farklı ajanlar ile deneyler yapılmıştır. Bu ajanlar kullanılarak üretilen metal kil hamurları Çizelge 4.7’de özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.7 Organik yüzey ajanlarını ve metal kil hamuruna etkileri

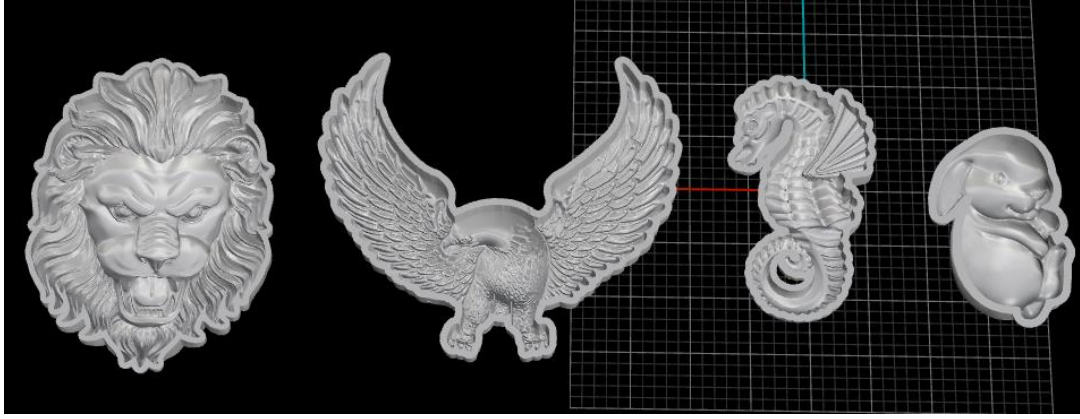
No	Organik Yüzey Ajanları	Özellikleri
1	Zeytin Yağı	Yumuşaklık ve parlaklık ve yüzey kalitesi iyidir. Yoğurma ve şekil vermede kolaylık sağlar. Ele ve aletlerde yapışmayı önler.
2	Lavanta Yağı	Hamurda ilk kullanımda yumuşaklık sağlar. Hamurun hızlı kuruma sonrası sertlik görülmüştür. Geçici Jelleştirme oluşmaktadır.
3	Gliserin	Yumuşaklık, parlaklık ve yüzey kalitesinde artırır. Elastik form kazandırarak şekil verme kolaydır. Ele ve aletlerde yapışma önleyicidir.
4	Propilen Glikol	Hamur üzerinde daha uzun süre çalışılabilmiştir. Şekil vermede kolaylık sağlamıştır. Kuruma sonrası esnekliği ve yüzey kalitesi artırmıştır. Sinterleme sonrası metalin büzülme oranını artırır.

4.2.6. Hamur uygulamaları için 3B kalıp tasarımı

Hamur Uygulamaları için 3 Boyutlu (3B) kalıp tasarımı yapılmıştır. Kalıpların 3B tasarımları, 3D Gemvision Matrix 9.0 ve ZBrush tasarım programı kullanılmıştır. 3B tasarım sonrası kalıp üretimi için akrilik reçine (PIC 100 envisionTEC marka) sert bir yapı oluşturulmuştur. Kalıp üretiminde reçinenin sertleştirilmesinde sinterleme makinesi kullanılmıştır. Kalıpların yapılma amacı 3B modelleme teknoloji ile elde edilen metal kil hamurların hızlı ve özgün işler ortaya koymak ve yapılan ürünleri tekrarlanabilir hale getirmektir. Elle yapılması zaman alacak modellerin büyütme veya küçültme vb. durumlarda 3B tasarım programlarından yardım alarak reçine gibi prototipler oluşturulup hamuru şekillendirmede yardımcı kalıplar oluşturulmuştur. Üretim aşamalarını ve hamurun şekillendirmeyi hızlandırılarak metal kil hamuruna şekil verilmesi sağlanmıştır. Metal kil hamuru üretiminde kullanılan 3B modellerinin iç yüzeyi Şekil 4.16'da ve dış yüzeyi Şekil 4.17'de görsel olarak verilmiştir. Metal kil hamuru üretiminde kullanılan reçine esaslı kalıpların üretimi Envisiontec P4k reçine makinesi Şekil 4.18'de görselde bulunan makine kullanılmıştır. Metal kil hamuru üretiminde farklı hayvan (aslan, kartal, tavşan ve deniz atı) nesnelerinin üretimi yapılmıştır. Bu tasarımların seçilme sebebi el sanatlarıyla bu tür zor tasarımların metal kil hamuru ile üretilebilir olduğunun gösterilmesi için bu tasarımlar kullanılmıştır. Bu tasarımlar ile yapılan üretimlerin görüntüleri Şekil 4.19'de görselde görülmektedir. Hayvan nesnelerinin kalıba alınması sonrasında şalomo ve kül fırınında sinterleme işlemleri yapılmıştır. Bu sinterleme aşamaları Şekil 4.20'da verilmiştir. Metal kil hamurlarının kalıba alma ve sinterleme sonrasında cilalama işlemi ile hayvan nesnelerinin üretimi tamamlanmıştır. Üretimin son aşaması olan cilalama işlemi sonrası nesnelerin görüntüleri Şekil 4.21'de sunulmuştur.



Şekil 4.16 Metal kil hamuru üretiminde Matrix 9.0'da yapılan 3B modelin iç yüzeyi



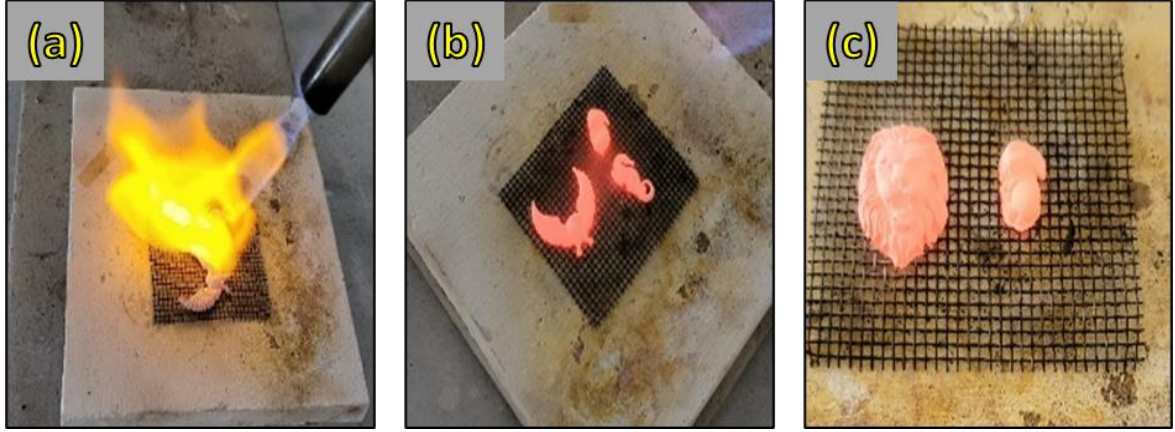
Şekil 4.17 Metal kil hamuru üretiminde Matrix 9.0’da yapılan 3B modelin dış yüzeyi



Şekil 4.18 3B kalıp üretimi için kullanılan Envisiontec P4k reçine makinesi



Şekil 4.19 3B kalıplardan üretilmiş saf gümüş metal kil hamurları



Şekil 4.20 Metal kil hamurlarının sinterlenme işlemi



Şekil 4.21 Cilalanmış saf gümüş metal kil ürünleri

4.3. Metal Kil Hamuru için Organik Bağlayıcı Analizleri

Metal kil hamur üretiminde farklı türde organik bağlayıcılar kullanılabilmektedir. Bu tez çalışmasında gümüş, bakır ve bronz metal tozları ile birlikte kullanılacak organik bağlayıcılar araştırılarak belirlenmiştir. Tez çalışmasında organik bağlayıcıların belirlenmesi için altı farklı organik bağlayıcı agar agar, arap zıncı, guar gam, jelatin, ksantan gam ve metil selüloz kullanılarak metal kil hamuru üretilmiştir. Metal kil hamurlarının üretimde kullanılan organik bağlayıcıların; bağlayıcı özelliklerine, hamur formuna ve şekillendirmesine, kuruma sonrası fiziksel özelliğine ve metal kil hamurlarının sinterlenme sonrası metal form elde edilme etkisi incelenmiştir.

Yapılan çalışmada üretilen metal kil hamurlarında toz metaller ile organik bağlayıcılar arasındaki etkisinin, şekil verilebilmesi, yapışma özellikleri, hamur formunda çalışma süreleri, sinterleme öncesi ve sonrasında oluşturulan metalin fiziksel özellikleri

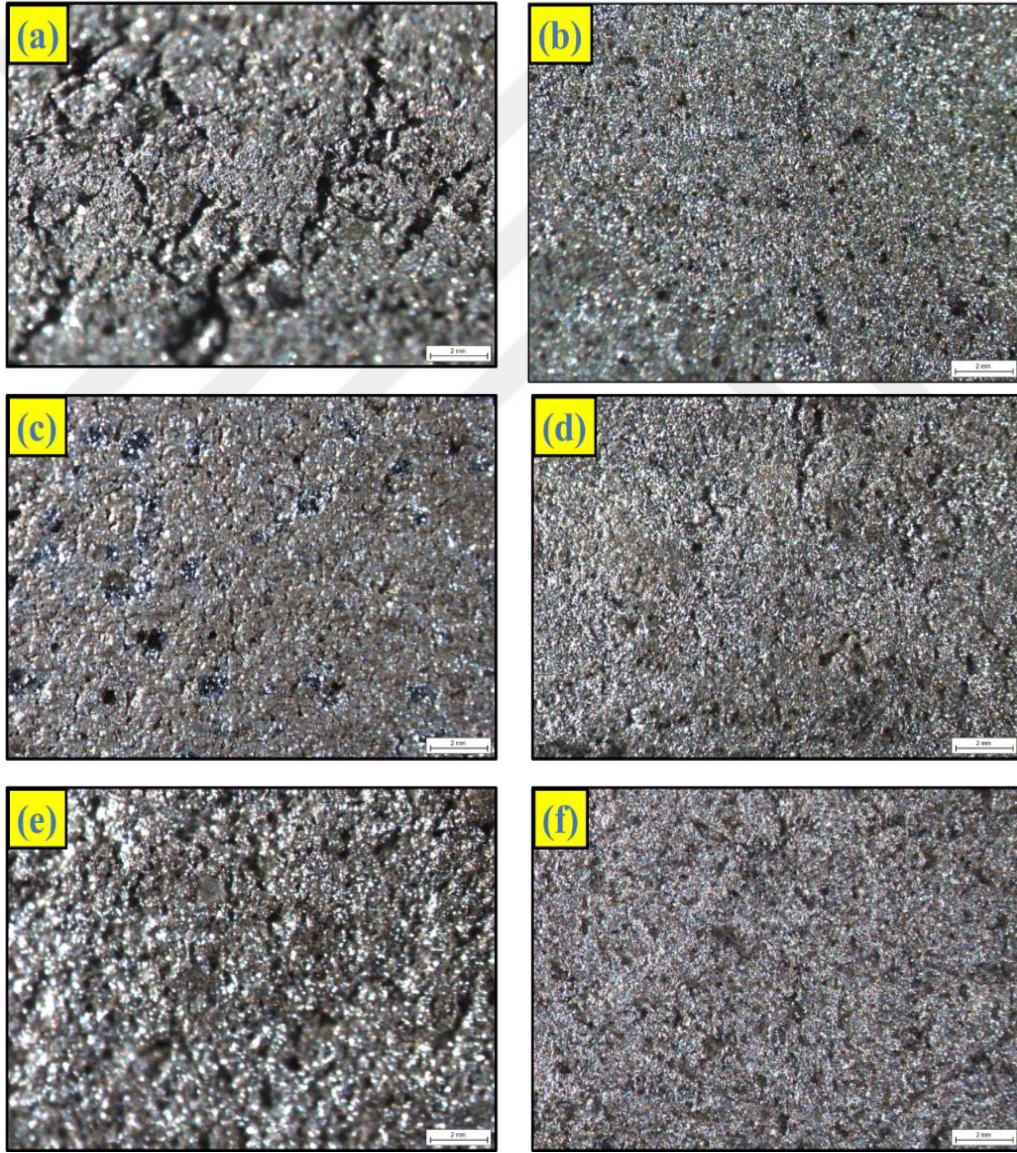
incelenmiştir. Bu sonuçlara göre üretilen metal kil hamurları arasında yüzey kalitesi ağırlık ve büzülme oranları bakımından en iyi bağlayıcı olarak guar gam olduğu belirlenmiştir.

4.3.1. Optik mikroskop görüntüleri

Saf gümüş metal tozu ile altı farklı organik bağlayıcı (OB) (Agar agar, Arap zımkı, Guar gam, Jelatin, Ksantan gam ve Metil selüloz) kullanılarak üretilen sinterlenmiş metal kil hamurlarının OM görüntüleri Şekil 4.22’de verilmiştir. Agar agar OB kullanılarak metal kil hamuru (OB6) üretilmiş ve Şekil 4.22a’da OM görüntüsü verilmiştir. OB6 kodlu metal kil hamurunda agar agar OB’nın kararsız davrandığını tespit edilmiş bu nedenle sinterleme yapılmamıştır. Üretim sırasında agar agar OB iyi tutunma sağlarken 60 dk sonrası bağlama özelliğinin kaybettiği gözlenmiştir. Bu sebepten dolayı Şekil 4.22a’da OM’de görüldüğü gibi metal tozları ve OB arasında tutunma ve birleşme oluşmamıştır. Şekil 4.22a’da OM görüntüsünde yüzeylerde yaklaşık 20µm büyüklüğünde boşluklar bulunmaktadır. Sonuç olarak OB6 kodlu agar agar OB, metal kil hamuru üretiminde kullanıma uygun olmadığı belirlenmiştir. Arap zımkı OB kullanılarak metal kil hamuru (OB5) üretilmiş ve Şekil 4.18b’de OM görüntüsü verilmiştir. OB5 kodlu metal kil hamur oluşumunda bağlayıcılık jelleşmeden dolayı şekil verilememekte ve sonuç olarak istenilen form oluşturulamamaktadır. Arap zımkı sinterleme sonrası Şekil 4.22b’de OM görüntüsünde kısmı boşlukların küçük görünmesine jelleşmeye neden olduğu tespit edilmiştir. Metal kil hamurunun en önemli basamağı olan şekil verme işlemini yerine gerçekleştiremediği ve kurutulduktan sonra dayanıksız olduğu görülmüştür. Bu sebeplerden dolayı metal kil hamuru üretiminde kullanıma uygun olmadığı belirlenmiştir. Guar gam OB kullanılarak metal kil hamuru (OB3) üretilmiş ve Şekil 4.22c’de OM görüntüsü verilmiştir. Guar gam ile saf gümüş tozu kullanılarak üretilen metal kil hamurunun OB ile metal tozları arasında bağlayıcılığın iyi olduğu ve kurumanın yavaş olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.22c’de guar gam katkılı metal kil hamuru optik mikroskop görüntüsünde bağlayıcılığın iyi olduğu ancak kısmi çatlaklar ve topaklanmalar olduğu görülmüştür. Jelatin OB kullanılarak metal kil hamuru (OB1) üretilmiş ve Şekil 4.22d’de OM görüntüsü verilmiştir. Jelatin ile üretilen metal kil hamuruna şekil verilme sırasında yapışma problemi olduğu gözlenmiştir. Sinterlenmiş metal kil hamuru OB1’in Şekil 4.22d’de Om görüntüsünde yapının yaklaşık 20 µm’den büyük gözenekler ve çatlaklar olduğu belirlenmiştir.

Ksantan gam OB kullanılarak metal kil hamuru (OB2) üretilmiş ve Şekil 4.22e’de OM görüntüsü verilmiştir. Şekil 4.22e’de Ksantan gam ile üretilen sinterlenmiş metal kil

hamurunun OM görüntülerinde yapı içerisinde birçok gözenek olduğu gözlenmiştir. OB2 metal kil hamuru kurutma işleminin yavaş gerçekleştiği ancak sinterleme sırasında hamur içerisinde ki OB'lerin yapıyı terk ederken gözenek oluşturduğu düşünülmektedir. Hamur içerisindeki nemin uzaklaşması nedeniyle olduğu ön görülmüştür. OB2 nin Şekil 4.22e'deki OM görüntüleri bu durumu doğrulamaktadır. Metil selüloz OB kullanılarak metal kil hamuru (OB4) üretilmiş ve Şekil 4.22f'de OM görüntüsü verilmiştir. Sinterlenmiş OB4 metal kil hamurlarının yüzey morfolojisi Şekil 4.22f'de görüldüğü gibi gözenek ve çatlak bulunmamaktadır. Bu sonuçlar metil selüloz uygun bağlayıcı özelliğe sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca OB4 metal kil hamuru sinterlenme sonrası büzülme ve yüzey kalitesi kriterleri bakımından deneme çalışmaları arasında en iyi sonuçları göstermiştir [44].



Şekil 4.22 Sinterlenmiş (a) Agar agar, (b) Arap zıncı, (c) Guar gam, (d) Jelatin, (e) Ksantan gam ve (f) Metil selüloz metal kil hamurlarının OM görüntüleri

4.4. Metal Üretiminde Kullanılan Tozların Analizleri

Metil selüloz, guar gam ve metal tozlar kullanılarak metal kil hamurları üretilmiştir. Üretimde, hidroliz yöntemiyle üretilen saf gümüş, ticari saf bakır ve bronz metal tozları kullanılmıştır. Organik bağlacılar olarak agar agar, arap zımkı, guar gam, jelatin, ksantan gam ve metil selüloz kullanılmıştır. Metal kil hamur üretiminde kullanılan metal tozların XRF, SEM ve OM görüntüleri alınmıştır. Organik bağlayıcı olarak kullanılan tozların OM görüntüleri incelenmiştir. Aşağıda sonuçlar değerlendirilmiştir.

4.4.1. XRF analizleri

Metal kil hamur üretiminde kullanılan metal tozlarının XRF sonuçları Çizelge 4.8-10'da sunulmuştur. Çizelge 4.10'da hidroliz yöntemiyle elde edilen saf gümüşlerin kimyasal kompozisyonlarının XRF sonuçlarına bakıldığında %99 $\pm$ 0,5 saflıkta olduğu belirlenmiştir. Ticari olarak merck firmasından alınan saf bakırın XRF sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir. Saf bakırın XRF sonuçlarına bakıldığında %98 $\pm$ 0,5 saflıkta olduğu belirlenmiştir. Ticari olarak satın alınan Powmet marka bronz tozlarının XRF sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Saf bakırın XRF sonuçlarına bakıldığında bakır oranı %89 $\pm$ 0,5 ve kalay oranı %10 $\pm$ 0,5 olduğu belirlenmiştir. XRF analiz sonuçları metal kil hamur üretiminde kullanılan tozların uygun kimyasal oranlarda olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.8 Saf Cu metal tozlarının XRF analizi

	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	-o/o	1.211o/o	998.7o/o	0.001o/o	-o/o	0.080o/o	0.283o/o	-o/o
Standard deviation	0.147	0.176	0.477	0.033	0.149	0.124	0.030	0.112
C.O.V. (%)	-----	14.50	0.05	-----	-----	-----	10.65	-----
Range (%)	0.294	0.324	0.840	0.066	0.297	0.247	0.057	0.203
Number of readings	3	3	3	3	3	3	3	3
Min. reading	-o/o	1.088o/o	998.2o/o	-o/o	-o/o	-o/o	0.249o/o	-o/o
Max. reading	-o/o	1.413o/o	999.0o/o	0.034o/o	0.085o/o	0.209o/o	0.306o/o	0.038o/o

Çizelge 4.9 Saf bronz metal tozlarının XRF analizi

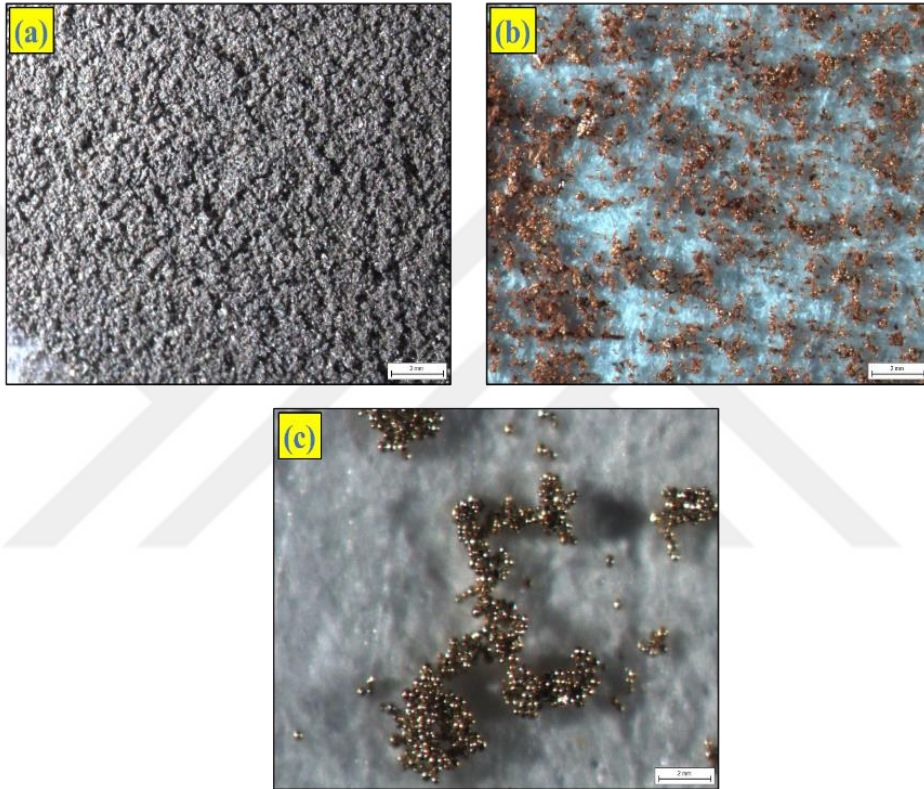
	Au	Ag	Pt	Pd	Cu	Zn	Sn	Pb
Mean value:	-	0.387	-	0.056	893.1	0.051	106.6	-
Standard Dev.:	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
COV [%]:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Çizelge 4.10 Saf Ag metal tozlarının XRF analizi

	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	-o/o	999.2o/o	0.287o/o	0.236o/o	-o/o	0.098o/o	0.079o/o	0.311o/o
Standard deviation	0.177	0.327	0.148	0.064	0.047	0.104	0.247	0.175
C.O.V. (%)	-----	0.03	-----	27.05	-----	-----	-----	-----

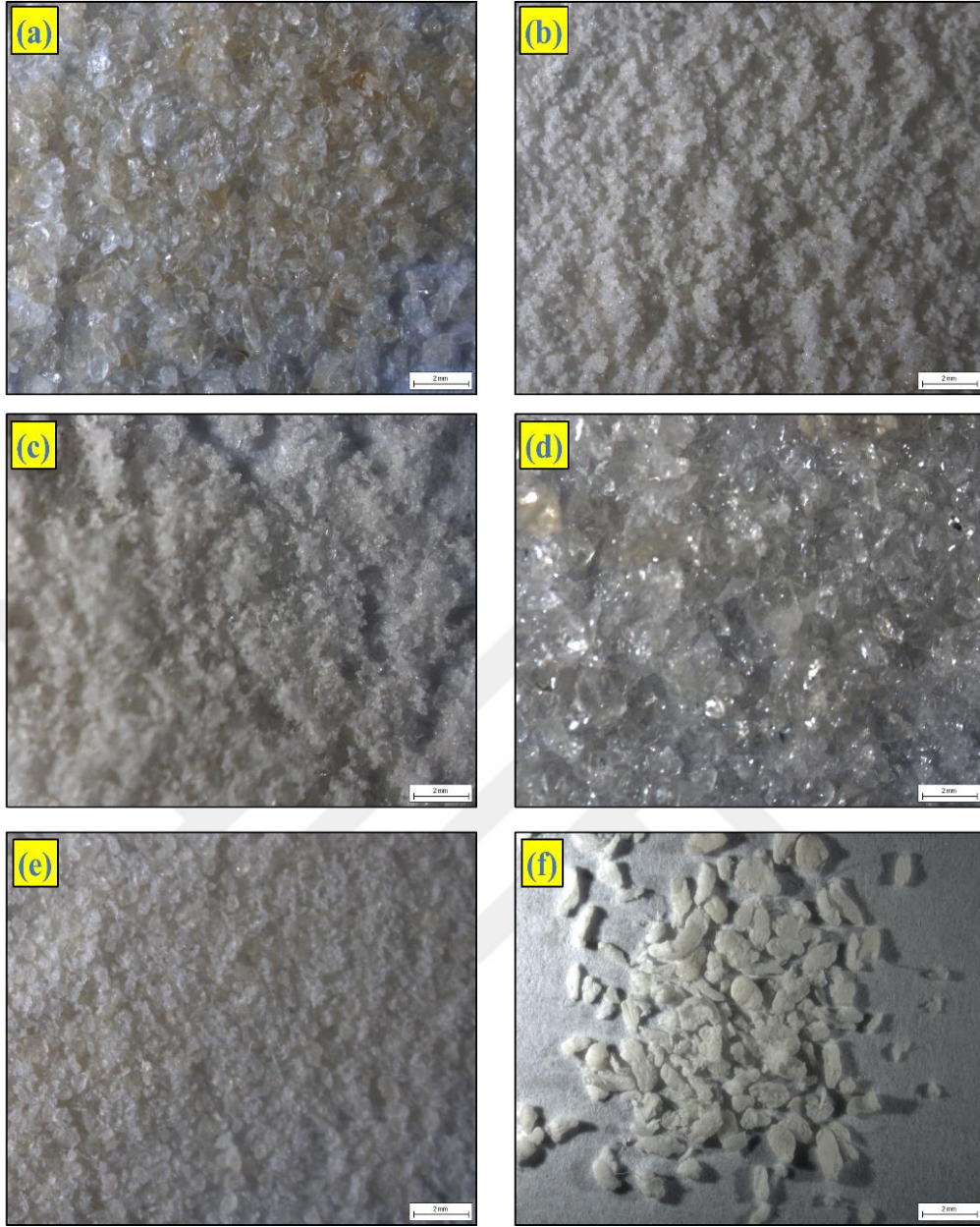
4.4.2. Optik mikroskop görüntüleri

Metal kil üretiminde saf gümüş metal tozu, bakır ve bronz metal tozları kullanılmıştır. Metal kil üretiminde kullanılan metal tozlarının optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.23’de verilmiştir. Şekil 4.23a-b’de saf gümüş ve bakır tozlarının OM görüntülerinde parçacık boyutları 50 μm ’den düşük boyutlarda olduğu görülmektedir. Şekil 4.23c’de bronz tozlarının OM görüntülerinde parçacıkların boyutları 50 μm ’den düşük ve küresel formda olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.23 Metal kil hamur üretiminde kullanılan (a) saf Ag, (b) saf Cu ve (c) Bronz tozlarının OM görüntüleri

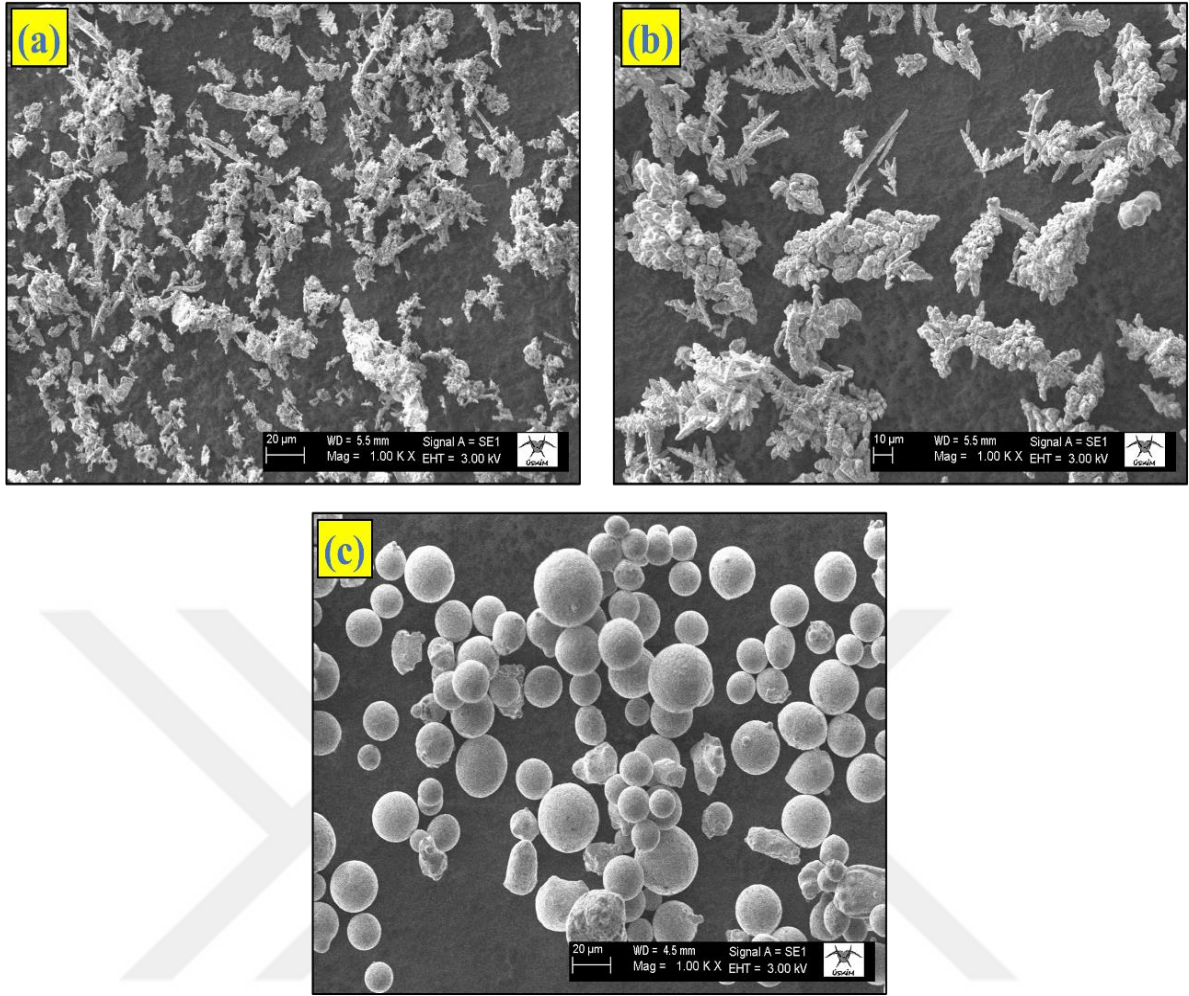
Metal kil hamuru üretiminde Agar agar, Arap zımkı, Guar gam, Jelatin, Ksantan gam ve Metil selüloz organik bağlayıcıları kullanılmıştır. Bu organik bağlayıcı tozların optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.24’de sunulmuştur. Şekil 4.24’de sırasıyla (a) Agar agar, (b) Arap zımkı, (c) Guar gam, (d) Jelatin, (e) Ksantan gam ve (f) Metil selüloz organik bağlayıcıların optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde parlak ve renkleri beyaz olduğu tanecik boyut dağılımları 1 mm ile 5 mm arasında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.24 Metal kil hamur üretiminde kullanılan (a) Agar agar, (b) Arap zıncığı, (c) Guar gam, (d) Jelatin, (e) Ksantan ve (f) Metil selüloz organik bağlayıcıların OM görüntüleri

4.4.3. SEM görüntüleri

Metal kil üretiminde saf gümüş metal tozu, bakır ve bronz metal tozlarının optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.25’de verilmiştir. Şekil 4.25a’da saf gümüş tozlarının iğnemsiz ve şekilsiz partiküllerden oluştuğu görülmüştür [45]. Şekil 4.25b’de saf bakır tozları omurilik yapısını andıran karakteristik morfolojik yapısı görülmektedir [46]. Şekil 4.25c’de bronz tozlarının küresel formlarda olduğu ve yaklaşık 20 μm ’den düşük olduğu gözlenmiştir [47].



Şekil 4.25. Metal kil hamur üretiminde kullanılan (a) Saf Ag, (b) Saf Cu ve (c) Bronz tozlarının SEM görüntüleri

4.5. Metil Selüloz Metal Kil Hamurunun Analizleri

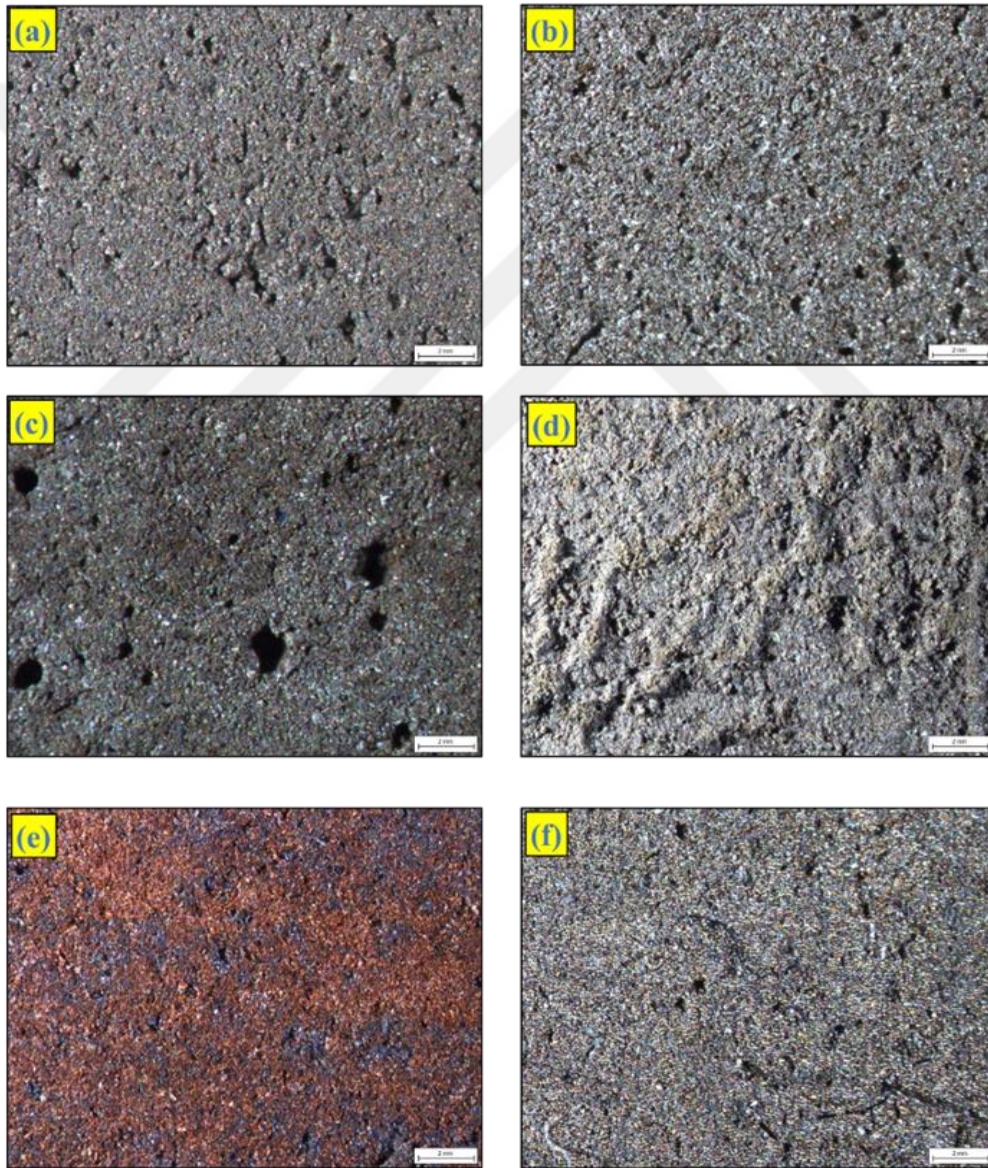
Metil selüloz organik bağlayıcısı ile saf gümüş 950 gümüş, 925 gümüş, 900 gümüş, saf bakır ve bronz metal tozları kullanılarak metal kil hamurları üretilmiştir. Üretim sonrası kuru ve sinterlenmiş metal kil hamurlarının OM ve XRF testleri yapıldı ve sonuçları aşağıda detaylı olarak değerlendirilmiştir.

4.5.1. Kuru hamur analizi

Metil selüloz, saf gümüş 950 gümüş, 925 gümüş, 900 gümüş, saf bakır ve bronz metal tozları ile yüzey ajanları kullanılarak üretilen metal kil hamurlarının üretilmiştir. Üretilen metal kil hamurlarının kuru formlarının OM ve XRF analizleri sırasıyla sunulmuştur.

4.5.1.1. Optik mikroskop görüntüleri

Metil selüloz ile üretilen metal kil hamurlarının optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.26’de verilmiştir. Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde 2 mm ölçeğinde görüntüler alınmış ve tüm numunelerin yüzeylerinde kısmı boşluklu yapıların varlığı gözlenmiştir. Bunun nedeninin organik bağlayıcı metil selüloz ve yüzey ajanlarının metal kil hamuru yapısından uzaklaştırılmamasıdır. Metil selüloz ile altı farklı metal tozlu kullanılarak üretilen metal kil hamurları karşılaştırıldığında en az boşluklu yapıya saf gümüş Şekil 4.26a ve bakır metal tozunda Şekil 4.26e’de olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak saf ve tek tip tozlar ile metil selülozun daha uyumlu olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.26 Metil selüloz kullanılarak üretilen (a) Saf Ag, (b) 950 Ag, (c) 925 Ag, (d) 900 Ag, (e) Saf Cu ve (f) Bronz kuru metal kil hamurlarının OM görüntüleri

4.5.1.2. XRF analizleri

Metil selüloz ile üretilen metal kil hamurlarının X-Işınları Floresans Spektrometresi (XRF) analizleri Çizelge 4.11-16'da verilmiştir. XRF analizleri metal kil hamur üretiminde kullanılan malzemelerin kimyasal kompozisyonlarının stokiyometrik oranın belirlenmesi için yapılmıştır. Saf gümüş, 950 gümüş, 925 gümüş, 900 gümüş, saf bakır ve bronz metal tozları ile üretilen kuru hamurların XRF sonuçları Çizelge 4.11-16 incelendiğinde metal kil hamur numunelerinin yapısında herhangi bir yabancı istenmeyen katkı olmadığı belirlenmiştir. Üretim öncesi hesaplanan stokiyometrik oranlar ile XRF sonuçlarını doğrulamaktadır. Çizelge 4.11'de sinterlenmiş saf gümüş metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %99 $\pm$ 0,5 gümüş içerdiği görülmektedir. Çizelge 4.12'de sinterlenmiş 950 gümüş metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %91 $\pm$ 0,5 gümüş ve %8 $\pm$ 0,5 bakır içerdiği görülmektedir. Çizelge 4.13'de sinterlenmiş 925 gümüş metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %87 $\pm$ 0,5 gümüş ve %12 $\pm$ 0,5 bakır içerdiği görülmektedir. Çizelge 4.13'de sinterlenmiş 900 gümüş metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %86 $\pm$ 0,5 gümüş ve %13 $\pm$ 0,5 bakır içerdiği görülmektedir. Çizelge 4.14'de sinterlenmiş saf bakır metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %99 $\pm$ 0,5 bakır içerdiği görülmektedir. Çizelge 4.15'de sinterlenmiş olan bronz metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %89 $\pm$ 0,5 bakır ve %10 $\pm$ 0,5 kalay içerdiği görülmektedir. XRF sonuçları Çizelge 4.11-16 incelendiğinde metal kil hamur numunelerinin yapısında herhangi bir yabancı istenmeyen katkı olmadığı belirlenmiştir. Üretim öncesi hesaplanan stokiyometrik oranlar ile XRF sonuçlarını doğrulamaktadır.

Çizelge 4.11 Metil selüloz saf Ag kuru metal kil hamurunun XRF analizi

	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	-o/o	996.5o/o	2.948o/o	-o/o	0.480o/o	0.285o/o		
Standard deviation	0.088	0.168	0.226	0.031	0.027	0.084	0.115	0.068
C.O.V. (%)	-----	0.02	7.67	-----	-----	17.41	-----	23.99
Range (%)	0.162	0.304	0.412	0.055	0.052	0.162	0.203	0.130
Number of readings	3	3	3	3	3	3	3	3
Min. reading	-o/o	996.3o/o	2.688o/o	-o/o	-o/o	0.388o/o	-o/o	0.232o/o
Max. reading	-o/o	996.6o/o	3.100o/o	0.032o/o	-o/o	0.550o/o	0.017o/o	0.363o/o

Çizelge 4.12 Metil selüloz 950 Ag kuru metal kil hamurunun XRF analizi

	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	-o/o	912.9o/o	86.64o/o	0.116o/o	0.006o/o	0.560o/o	0.077o/o	
Standard deviation	0.145	0.044	0.445	0.079	0.100	0.103	0.442	0.201
C.O.V. (%)	-----	0.00	0.51	-----	-----	18.40	-----	-----
Range (%)	0.289	0.086	0.843	0.157	0.193	0.197	0.884	0.381
Number of readings	3	3	3	3	3	3	3	3
Min. reading	-o/o	912.9o/o	86.14o/o	0.031o/o	-o/o	0.444o/o	-o/o	-o/o

Çizelge 4.13 Metil selüloz 925 Ag kuru metal kil hamurunun XRF analizi

	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	-o/oo	871.9o/oo	127.8o/oo-o/oo	-o/oo	0.423o/oo	0.025o/oo	0.162o/oo	
Standard deviation	0.065	4.951	4.549	0.097	0.058	0.060	0.205	0.139
C.O.V. (%)	30.58	0.57	3.56	-----	-----	14.17	-----	-----
Range (%)	0.121	9.109	8.428	0.187	0.116	0.119	0.410	0.278
Number of readings	3	3	3	3	3	3	3	3
Min. reading	-o/oo	868.4o/oo	122.6o/oo	-o/oo	-o/oo	0.366o/oo	-o/oo	0.029o/oo
Max. reading	-o/oo	877.5o/oo	131.0o/oo	0.077o/oo	0.015o/oo	0.486o/oo	0.225o/oo	

Çizelge 4.14 Metil selüloz 900 Ag kuru metal kil hamurunun XRF analizi

	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	-o/oo	869.5o/oo	130.4o/oo-o/oo	-o/oo	0.538o/oo	0.116o/oo-o/oo		
Standard deviation	0.022	0.676	0.621	0.126	0.129	0.110	0.144	0.156
C.O.V. (%)	5.63	0.08	0.48	-----	-----	20.54	-----	-----
Range (%)	0.039	1.211	1.095	0.229	0.254	0.219	0.286	0.311
Number of readings	3	3	3	3	3	3	3	3
Min. reading	-o/oo	869.1o/oo	129.7o/oo	-o/oo	-o/oo	0.419o/oo	-o/oo	-o/oo
Max. reading	-o/oo	870.3o/oo	130.8o/oo	0.073o/oo	0.051o/oo	0.638o/oo	0.269o/oo	

Çizelge 4.15 Metil selüloz saf bakır kuru metal kil hamurunun XRF analizi

	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	-o/oo	6.867o/oo	993.1o/oo	0.026o/oo	-o/oo	0.082o/oo	0.099o/oo-o/oo	
Standard deviation	0.174	0.141	0.059	0.096	0.140	0.145	0.042	0.132
C.O.V. (%)	-----	2.05	0.01	-----	-----	-----	-----	-----
Range (%)	0.323	0.281	0.117	0.191	0.273	0.263	0.081	0.261
Number of readings	3	3	3	3	3	3	3	3
Min. reading	-o/oo	6.723o/oo	993.1o/oo	-o/oo	-o/oo	-o/oo	0.052o/oo	-o/oo
Max. reading	-o/oo	7.005o/oo	993.2o/oo	0.125o/oo	0.101o/oo	0.180o/oo	0.132o/oo	

Çizelge 4.16 Metil selüloz bronz kuru metal kil hamurunun XRF analizi

Single values:																			
n	Au	Ag	Pt	Pd	Cu	Zn	Sn	Pb	Fe	Cr	Ni	Mo	Co	Rh	Ru	In	Ir	W	Bi
1	- 5.396	0.009	0.022	887.7	- 106.7	- 0.092	- 0.251	0.055	- 0.016	0.015	- 0.095	- 0.184	-	-	-	-	-	-	-

4.5.2. Sinterlenmiş metal kil hamur analizleri

Metil selüloz, saf gümüş ,950 gümüş, 925 gümüş, 900 gümüş, saf bakır ve bronz metal tozları ile yüzey ajanları kullanılarak üretilen metal kil hamurlarının üretilmiştir. Üretilen metal kil hamurlarını sinterlenmiş metal hal formlarının OM, SEM ve XRF sonuçları verilmiştir.

4.5.2.1. XRF analizleri

Metil selüloz, saf gümüş 950 gümüş, 925 gümüş, 900 gümüş, saf bakır ve bronz metal tozları kullanılarak üretilen metal kil hamurlarının sinterleme sonrası XRF sonuçları sırasıyla Çizelge 4.17-22'de verilmiştir. Metil selüloz kullanılarak üretilen metal kil hamurlarının

sinterleme sonrası XRF sonuçları Çizelge 4.17-22 incelendiğinde stokiyometrik oran ile uyumlu sonuçlar olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.17’de sinterlenmiş saf gümüş metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %99 $\pm$ 0,5 gümüş içerdiği görülmektedir. Çizelge 4.18’de sinterlenmiş 950 gümüş olan metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %93 $\pm$ 0,5 gümüş ve %6 $\pm$ 0,5 bakır içerdiği görülmektedir. Çizelge 4.19’da sinterlenmiş 925 gümüş metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %89 $\pm$ 0,5 gümüş ve %10 $\pm$ 0,5 bakır içerdiği görülmektedir. Çizelge 4.20’de sinterlenmiş 900 gümüş metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %87 $\pm$ 0,5 gümüş ve %12 $\pm$ 0,5 bakır içerdiği görülmektedir. Çizelge 4.21’de sinterlenmiş saf bakır metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %99 $\pm$ 0,5 bakır içerdiği görülmektedir. Çizelge 4.22’de sinterlenmiş olan bronz metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %89 $\pm$ 0,5 bakır ve %10 $\pm$ 0,5 kalay içerdiği görülmektedir. XRF sonuçları Çizelge 4.17-20 incelendiğinde metal kil hamur numunelerinin yapısında herhangi bir yabancı istenmeyen katkı olmadığı belirlenmiştir. Üretim öncesi hesaplanan stokiyometrik oranlar ile XRF analizleri doğrulamaktadır.

Çizelge 4.17 Metil selüloz saf Ag sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi

	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	-o/o	998.7o/o	0.436o/o	0.057o/o	-o/o	0.257o/o	0.092o/o	0.573o/o
Standard deviation	0.135	0.200	0.090	0.029	0.027	0.196	0.127	0.053
C.O.V. (%)	-----	0.02	20.62	-----	-----	-----	-----	9.19
Range (%)	0.267	0.393	0.156	0.057	0.054	0.387	0.238	0.098
Number of readings	3	3	3	3	3	3	3	3
Min. reading	-o/o	998.5o/o	0.333o/o	0.028o/o	-o/o	0.080o/o	-o/o	0.513o/o
Max. reading	0.090o/o	998.9o/o	0.488o/o	0.085o/o	-o/o	0.467o/o	0.237o/o	0.611o/o

Çizelge 4.18 Metil selüloz 950 Ag sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi

	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	-o/o	935.8o/o	63.64o/o	0.039o/o	-o/o	0.374o/o	0.450o/o	
Standard deviation	0.097	1.055	0.859	0.061	0.067	0.116	0.054	0.047
C.O.V. (%)	-----	0.11	1.35	-----	-----	30.95	-----	10.41
Range (%)	0.189	2.097	1.719	0.122	0.133	0.229	0.106	0.090
Number of readings	3	3	3	3	3	3	3	3
Min. reading	-o/o	934.8o/o	62.79o/o	-o/o	-o/o	0.268o/o	-o/o	0.398o/o
Max. reading	-o/o	936.9o/o	64.50o/o	0.097o/o	0.030o/o	0.498o/o	-o/o	0.488o/o

Çizelge 4.19 Metil selüloz 925 Ag sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi

	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	-o/o	897.5o/o	101.7o/o	0.071o/o	0.032o/o	0.351o/o	0.070o/o	0.414o/o
Standard deviation	0.107	0.637	0.488	0.028	0.078	0.090	0.030	0.071
C.O.V. (%)	-----	0.07	0.48	39.70	-----	25.50	-----	17.20
Range (%)	0.210	1.210	0.970	0.050	0.157	0.179	0.052	0.138
Number of readings	3	3	3	3	3	3	3	3
Min. reading	-o/o	897.0o/o	101.2o/o	0.053o/o	-o/o	0.264o/o	0.036o/o	0.335o/o
Max. reading	-o/o	898.2o/o	102.1o/o	0.103o/o	0.110o/o	0.443o/o	0.088o/o	0.474o/o

Çizelge 4.20 Metil selüloz 900 Ag sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi

	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	-o/oo	878.2o/oo	121.2o/oo	0.056o/oo	-o/oo	0.329o/oo	0.030o/oo	0.506o/oo
Standard deviation	0.136	0.965	0.709	0.074	0.050	0.105	0.132	0.354
C.O.V. (%)	-----	0.11	0.58	-----	-----	31.96	-----	-----
Range (%)	0.259	1.929	1.387	0.133	0.097	0.210	0.236	0.672
Number of readings	3	3	3	3	3	3	3	3
Min. reading	-o/oo	877.2o/oo	120.6o/oo	0.009o/oo	-o/oo	0.226o/oo	-o/oo	0.106o/oo
Max. reading	-o/oo	879.2o/oo	122.0o/oo	0.142o/oo	0.016o/oo	0.436o/oo	0.182o/oo	0.182o/oo

Çizelge 4.21 Metil selüloz saf bakır sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi

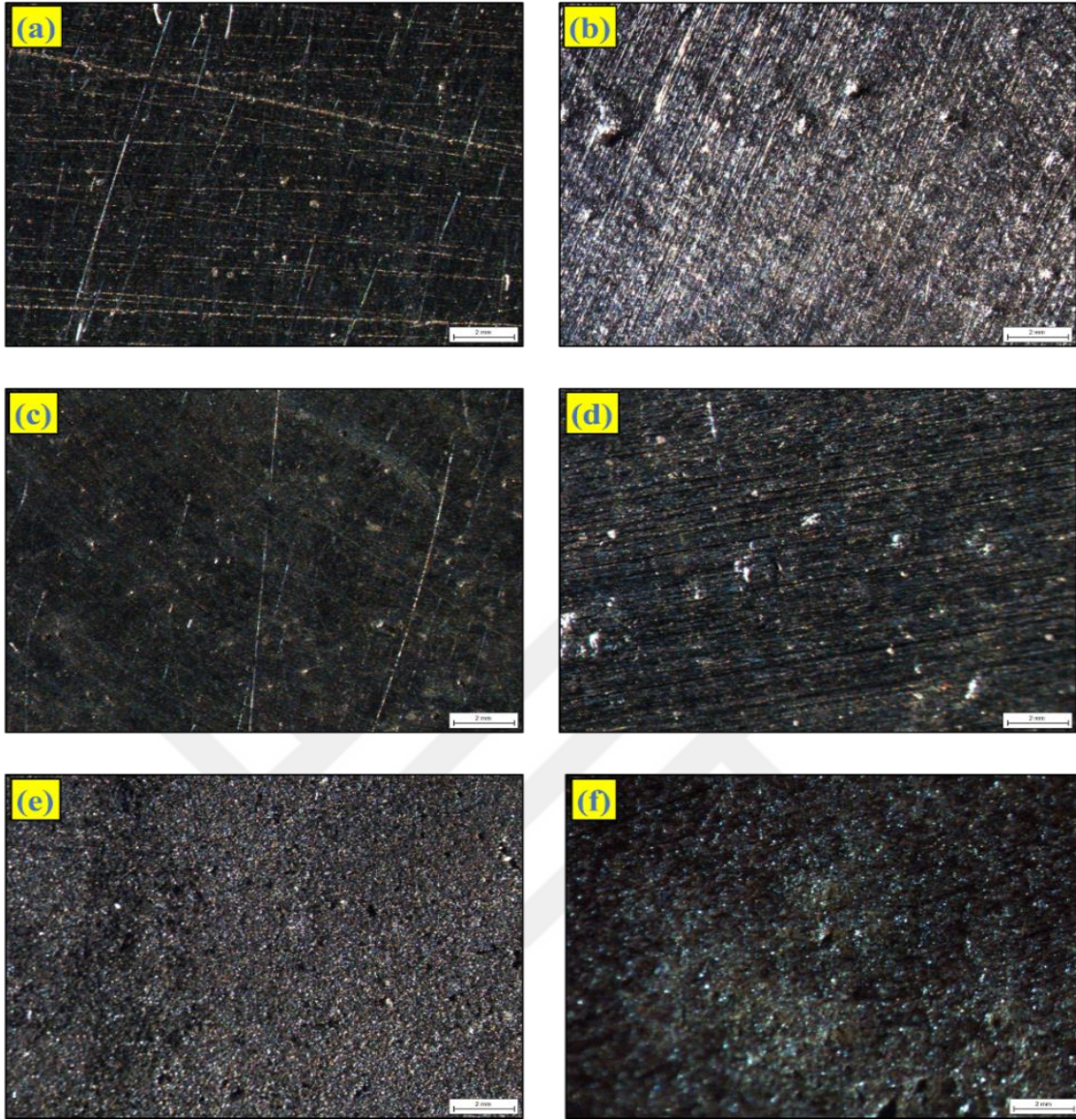
	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	-o/oo	1.295o/oo	998.2o/oo	0.064o/oo	-o/oo	0.155o/oo	0.033o/oo	0.247o/oo
Standard deviation	0.221	0.081	0.503	0.217	0.037	0.098	0.090	0.076
C.O.V. (%)	-----	6.26	0.05	-----	-----	-----	-----	30.97
Range (%)	0.440	0.154	0.982	0.379	0.065	0.187	0.171	0.152
Number of readings	3	3	3	3	3	3	3	3
Min. reading	-o/oo	1.232o/oo	997.8o/oo	-o/oo	-o/oo	0.078o/oo	-o/oo	0.176o/oo
Max. reading	0.136o/oo	0.328o/oo	1.386o/oo	998.8o/oo	0.193o/oo	0.024o/oo	0.264o/oo	0.264o/oo

Çizelge 4.22 Metil selüloz saf bronz sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi

Single values:																			
n	Au	Ag	Pt	Pd	Cu	Zn	Sn	Pb	Fe	Cr	Ni	Mo	Co	Rh	Ru	In	Ir	W	Bi
1	- 1.743	- 0.083	891.2	- 106.8	- 0.141	0.049	0.258	- 0.199	0.032	0.020	-	-	-	-	-	-	-	-	-

4.5.2.2. Optik mikroskop görüntüleri

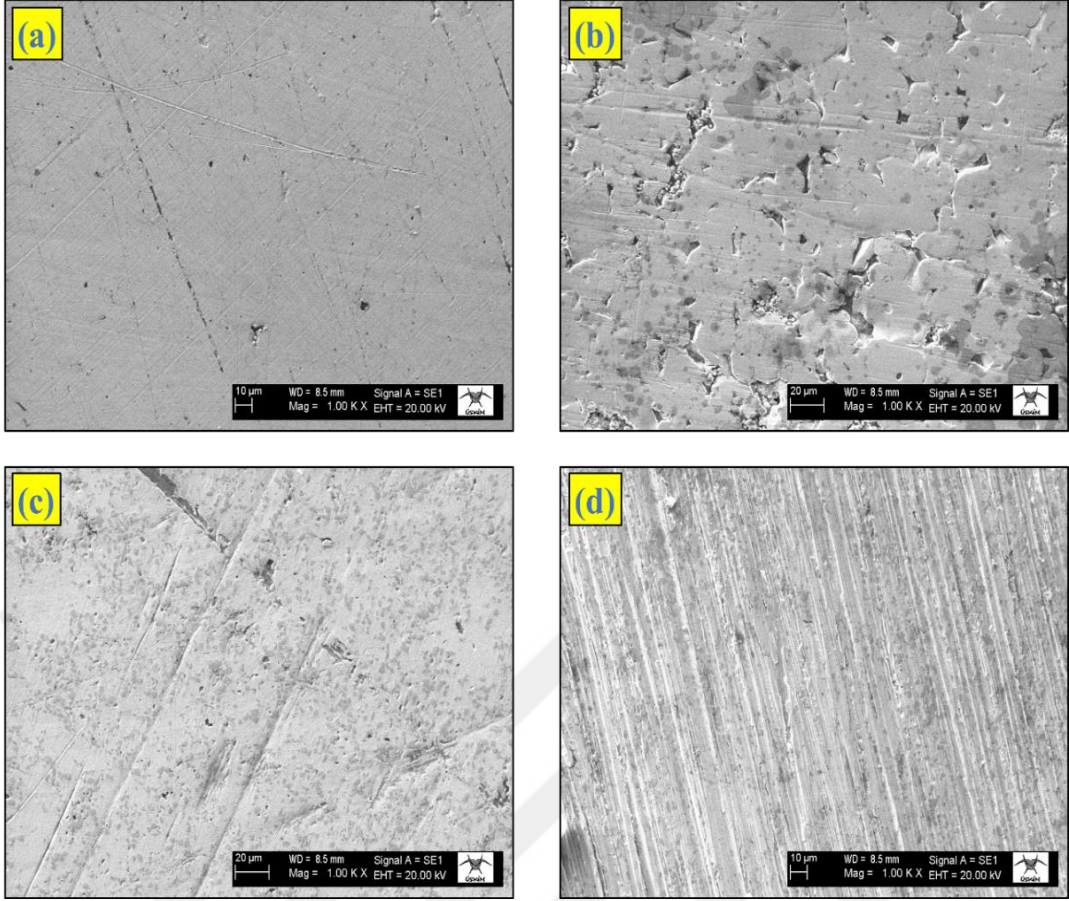
Metil selüloz ile saf gümüş 950 gümüş, 925 gümüş, 900 gümüş, saf bakır ve bronz metal tozları kullanılarak üretilen metal kil hamurlarının sinterleme işlemi sonrasında optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.27’de verilmiştir. Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde 2 mm ölçeğinde görüntüler alınmış ve tüm numunelerin yüzeylerinde zımpara ve parlatma işlemleri sırasında çizgi izleri bulunmaktadır. Çizgilerin olma sebebi sinterleme sonrası metal yüzeylerinin sertliklerinin düşük olmasıdır. Sinterleme sonrası metal kil hamurlarının optik mikroskop görüntülerinden tüm numunelerin Şekil 4.27’de metal form aldığı belirlenmiştir. Metal kil hamuru yapısında bulunan organik bağlayıcı ve yüzey ajanları sinterleme sonrası yapıdan uzaklaştırıldığı görülmektedir. Metal tozlar arasında en iyi bağlayıcılık ve metalik form saf gümüş Şekil 4.27a’da, saf bakır Şekil 4.27e’de ki numuneler olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.27 Metil selüloz kullanılarak üretilen (a) Saf Ag, (b) 950 Ag, (c) 925 Ag, (d) 900 Ag, (e) Saf Cu ve (f) Bronz sinterlenmiş metal kil hamurlarının OM görüntüleri

4.5.2.3. SEM görüntüleri

Metil selüloz ile saf gümüş, 950 gümüş, 925 gümüş ve 900 gümüş metal tozları kullanılarak üretilen metal kil hamurlarının sinterleme işlemi sonrasında SEM görüntüleri Şekil 4.28'de verilmiştir. Gümüş ve ayarlı tozlarının metil selüloz ile bağlayıcılık özellikleri SEM ile incelenerek metal kil hamurlarının morfoloji irdelenmiştir. Şekil 4.28a'da SEM görüntülerinde saf gümüş içerisinde metil selülozun iyi bağlayıcılık sağladığı görülmektedir. Ayrıca numunelerin yüzey morfolojisi incelendiğinde 950, 925 ve 900 ayar gümüş numunelerin sinterlenme sonrası yüzeylerin taneler arası boşluklar olduğu gözlemlendi. Bu durumda numunelerin mekanik özelliklerini olumsuz etkilemiştir.



Şekil 4.28 Sinterlenmiş (a) Saf Ag, (b) 950 Ag, (c) 925 Ag ve (d) 900 Ag metil selüloz metal kil hamurlarının SEM görüntüleri

4.6. Guar Gam Metal Kil Hamurunun Analizleri

Guar gam organik bağlayıcısı ile saf gümüş 950 gümüş, 925 gümüş, 900 gümüş, saf bakır ve bronz metal tozları kullanılarak metal kil hamurları üretilmiştir. Üretim sonrası kuru ve sinterlenmiş metal kil hamurlarının OM ve XRF testleri yapıldı ve sonuçları aşağıda detaylı olarak değerlendirilmiştir.

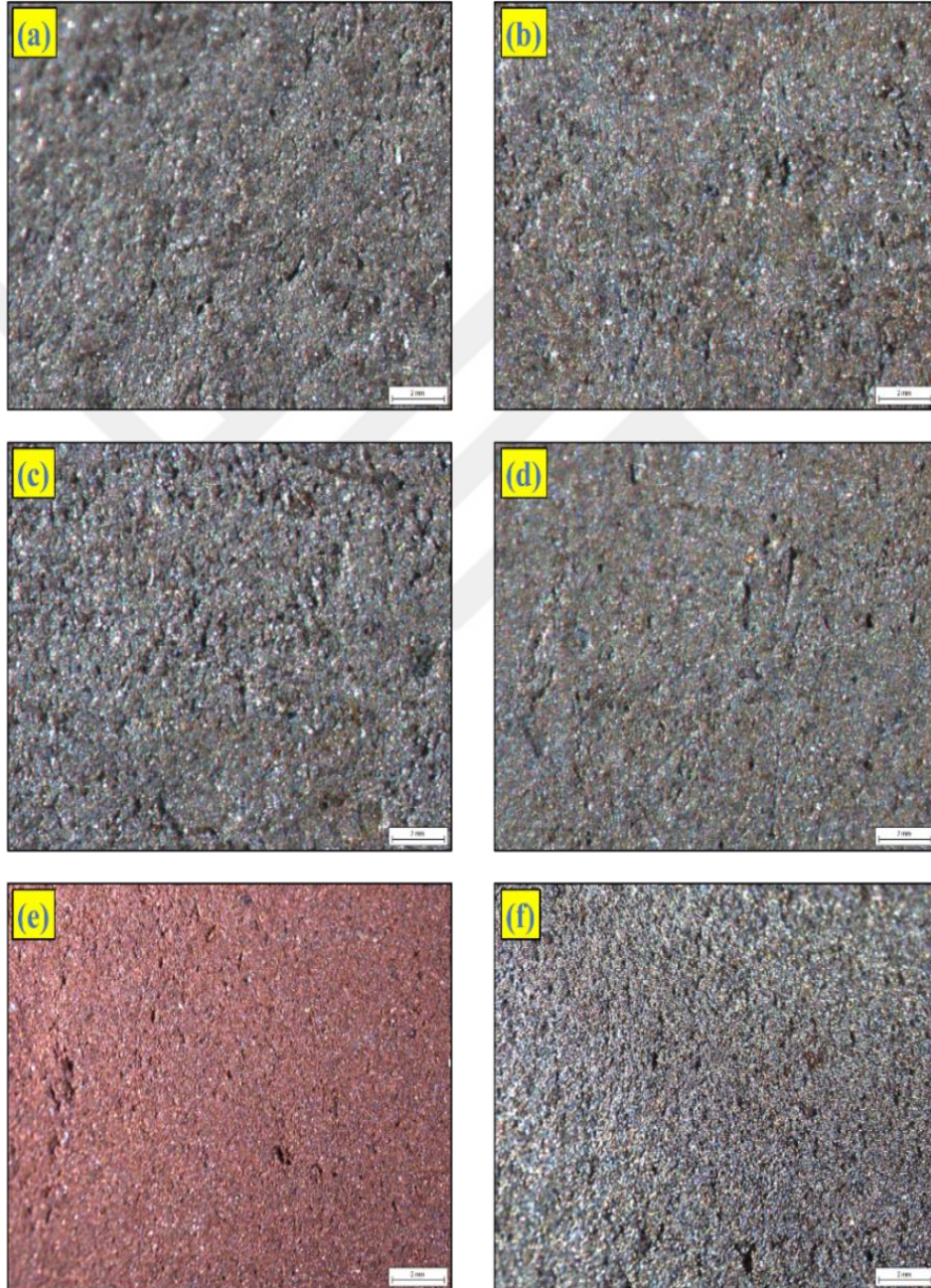
4.6.1. Kuru hamur analizi

Guar gam, saf gümüş 950 gümüş, 925 gümüş, 900 gümüş, saf bakır ve bronz metal tozları ile yüzey ajanları kullanılarak üretilen metal kil hamurlarının üretilmiştir. Üretilen metal kil hamurlarını kuru formlarının OM ve XRF sonuçları sırasıyla sunulmuştur.

4.6.1.1. Optik mikroskop görüntüleri

Guar gam ile üretilen metal kil hamurlarının optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.29'de verilmiştir. Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde 2 mm ölçeğinde görüntüler alınmış ve tüm numunelerin yüzeylerinde kısmı boşluklu yapıların varlığı metil selüloz oranla daha

iyi olduğu gör÷lmektedir. Boşluklu yapı oluşmasının nedeninin organik bağlayıcı Guar gam ve yüzey ajanlarının metal kil hamuru yapısından uzaklaştırılmamasıdır. Guar gam ile altı farklı metal tozlu kullanılarak üretilen metal kil hamurları karşılaştırıldığında en az boşluklu yapıya saf gümüş Şekil 4.29a’da ve saf bakır Şekil 4.29e’de ve Şekil 4.29f’ de bronz metal kil hamurunda olduğu gör÷lmektedir. 950 gümüş, 925 gümüş, 900 gümüş de ise guar gam bağlayıcılığın metil selüloz göre çok iyi sonuçlar verdiği Şekil 4.29’de gör÷lmektedir.



Şekil 4.29 Guar gam kullanılarak üretilen (a) Saf Ag, (b) 950 Ag, (c) 925 Ag, (d) 900 Ag, (e) Saf Cu ve (f) Bronz kuru metal kil hamurlarının OM görüntüleri

4.6.1.2. XRF analizleri

Guar gam ile üretilen metal kil hamurlarının X-Işınları Floresans Spektrometresi (XRF) analizleri Çizelge 4.23-28’de verilmiştir. XRF analizleri metal kil hamur üretiminde kullanılan malzemelerin kimyasal kompozisyonlarının stokiyometrik oranın belirlenmesi için yapılmıştır. Saf gümüş, 950 gümüş, 925 gümüş, 900 gümüş, saf bakır ve bronz metal tozları ile üretilen kuru hamurların XRF sonuçları Çizelge 4.23-28 incelendiğinde metal kil hamur numunelerinin yapısında herhangi bir yabancı istenmeyen katkı olmadığı belirlenmiştir. Üretim öncesi hesaplanan stokiyometrik oranlar ile XRF sonuçlarını doğrulamaktadır. Çizelge 4.23’de sinterlenmiş saf gümüş metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %97 $\pm$ 0,5 gümüş içerdiği görülmektedir. Çizelge 4.24’de sinterlenmiş 950 gümüş metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %92 $\pm$ 0,5 gümüş ve %8 $\pm$ 0,5 bakır içerdiği görülmektedir. Çizelge 4.25’de sinterlenmiş 925 gümüş metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %90 $\pm$ 0,5 gümüş ve %10 $\pm$ 0,5 bakır içerdiği görülmektedir. Çizelge 4.26’da sinterlenmiş 900 ayarlı gümüş metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %86 $\pm$ 0,5 gümüş ve %14 $\pm$ 0,5 bakır içerdiği görülmektedir. Çizelge 4.27’de sinterlenmiş saf bakır metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %99,5 $\pm$ 0,5 bakır içerdiği görülmektedir. Çizelge 4.28’de sinterlenmiş bronz metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %88 $\pm$ 0,5 bakır ve %10 $\pm$ 0,5 kalay içerdiği görülmektedir. XRF sonuçları Çizelge 4.23-28 incelendiğinde metal kil hamur numunelerinin yapısında herhangi bir yabancı istenmeyen katkı olmadığı belirlenmiştir. Üretim öncesi hesaplanan stokiyometrik oranlar ile XRF analizleri doğrulamaktadır.

Çizelge 4.23 Guar gam saf Ag kuru metal kil hamurunun XRF analizi

	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	0.0460/00	996.80/00	2.1420/00	0.0110/00	0.0180/00	0.3310/00	0.0150/00	0.6320/00
Standard deviation	0.097	0.628	0.092	0.019	0.052	0.267	0.135	0.187
C.O.V. (%)	-----	0.06	4.28	-----	-----	-----	-----	29.66
Range (%)	0.194	1.215	0.179	0.037	0.100	0.533	0.268	0.373
Number of readings	3	3	3	3	3	3	3	3
Min. reading	-0/00	996.10/00	2.0640/00	-0/00	-0/00	0.0550/00	-0/00	0.4560/00
Max. reading	0.1480/00	997.30/00	2.2430/00	0.0300/00	0.0600/00	0.5890/00		

Çizelge 4.24 Guar gam 950 Ag kuru metal kil hamurunun XRF analizi

	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	-0/00	917.20/00	82.630/00	0.0500/00	-0/00	0.4380/00	0.0520/00	-0/00
Standard deviation	0.160	0.929	0.628	0.016	0.093	0.307	0.162	0.244
C.O.V. (%)	-----	0.10	0.76	31.31	-----	-----	-----	-----
Range (%)	0.319	1.783	1.250	0.027	0.184	0.582	0.315	0.468
Number of readings	3	3	3	3	3	3	3	3
Min. reading	-0/00	916.40/00	81.970/00	0.0320/00	-0/00	0.2020/00	-0/00	-0/00
Max. reading	-0/00	918.20/00	83.220/00	0.0590/00	0.0140/00	0.7840/00	0.1880/00	

Çizelge 4.25 Guar gam 925 Ag kuru metal kil hamurunun XRF analizi

	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	-o/oo	897.3o/oo	102.1o/oo	0.063o/oo	-o/oo	0.463o/oo	0.194o/oo	0.061o/oo
Standard deviation	0.085	0.893	1.269	0.027	0.166	0.160	0.243	0.049
C.O.V. (%)	-----	0.10	1.24	-----	-----	34.63	-----	-----
Range (‰)	0.166	1.695	2.316	0.052	0.300	0.299	0.438	0.094
Number of readings	3	3	3	3	3	3	3	3
Min. reading	-o/oo	896.6o/oo	100.7o/oo	0.042o/oo	-o/oo	0.280o/oo	-o/oo	0.007o/oo
Max. reading	0.353o/oo	0.023o/oo	898.3o/oo	103.0o/oo	0.094o/oo	0.085o/oo	0.579o/oo	

Çizelge 4.26 Guar gam 900 Ag kuru metal kil hamurunun XRF analizi

	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	-o/oo	856.9o/oo	142.7o/oo	0.202o/oo	-o/oo	0.405o/oo	-o/oo	0.041o/oo
Standard deviation	0.082	0.599	0.816	0.056	0.113	0.063	0.040	0.201
C.O.V. (%)	-----	0.07	0.57	27.60	-----	15.60	-----	-----
Range (‰)	0.160	1.181	1.599	0.109	0.223	0.126	0.080	0.373
Number of readings	3	3	3	3	3	3	3	3
Min. reading	-o/oo	856.3o/oo	141.8o/oo	0.155o/oo	-o/oo	0.345o/oo	-o/oo	-o/oo
Max. reading	-o/oo	857.5o/oo	143.4o/oo	0.264o/oo	0.028o/oo	0.471o/oo	-o/oo	0.184o/oo

Çizelge 4.27 Guar gam saf bakır kuru metal kil hamurunun XRF analizi

Single values:																			
n	Au	Ag	Pt	Pd	Cu	Zn	Sn	Pb	Fe	Cr	Ni	Mo	Co	Rh	Ru	In	Ir	W	Bi
	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo
1	0.097	0.947	-	0.002	999.5	-	-	-	0.007	0.018	-	0.067	-	0.045	0.043	-	0.029	-	0.051

Çizelge 4.28 Guar gam saf bronz kuru metal kil hamurunun XRF analizi

Single values:																			
n	Au	Ag	Pt	Pd	Cu	Zn	Sn	Pb	Fe	Cr	Ni	Mo	Co	Rh	Ru	In	Ir	W	Bi
	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo
1	-	2.692	-	0.067	887.2	0.132	109.4	0.052	0.249	0.012	0.224	0.031	-	0.011	0.024	-	-	-	0.226

4.6.2. Sinterlenmiş metal kil hamur analizleri

Guar gam üretilen metal kil hamurları, saf gümüş, 950 gümüş, 925 gümüş, 900 gümüş, saf bakır ve bronz metal tozları ile yüzey ajanları kullanılarak üretilen metal kil hamurlarının üretilmiştir. Üretilen metal kil hamurlarını sinterlenmiş formlarının OM, XRF ve SEM sonuçları sırasıyla verilmiştir.

4.6.2.1. XRF analizleri

Guar gam kullanılarak üretilen saf gümüş, 950 gümüş, 925 gümüş, 900 gümüş, saf bakır ve bronz metal tozları metal kil hamurlarının sinterleme sonrası XRF sonuçları sırasıyla Çizelge 4.29-34'de verilmiştir. Guar gam kullanılarak üretilen metal kil hamurlarının sinterleme

sonrası XRF sonuçları Çizelge 4.29-34 incelendiğinde stokiyometrik oran ile uyumlu sonuçlar olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.29’da sinterlenmiş saf gümüş metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %99,2 $\pm$ 0,8 gümüş içerdiği görülmektedir. Çizelge 4.30’da sinterlenmiş 950 gümüş metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %92 $\pm$ 0,5 gümüş ve %8 $\pm$ 0,5 bakır içerdiği görülmektedir. Çizelge 4.31’de sinterlenmiş 925 gümüş metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %90 $\pm$ 0,5 gümüş ve %10 $\pm$ 0,5 bakır içerdiği görülmektedir. Çizelge 4.32’de sinterlenmiş 900 gümüş metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %85 $\pm$ 0,5 gümüş ve %15 $\pm$ 0,5 bakır içerdiği görülmektedir. Çizelge 4.33’de sinterlenmiş saf bakır metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %99 $\pm$ 0,5 bakır içerdiği görülmektedir. Çizelge 4.34’de sinterlenmiş olan bronz metal kil hamurunun kimyasal kompozisyonunda %85 $\pm$ 0,5 bakır ve %14 $\pm$ 0,5 kalay içerdiği görülmektedir. XRF sonuçları Çizelge 4.29-34 incelendiğinde metal kil hamur numunelerinin yapısında herhangi bir yabancı istenmeyen katkı olmadığı belirlenmiştir. Üretim öncesi hesaplanan stokiyometrik oranlar ile XRF analizleri doğrulamaktadır.

Çizelge 4.29 Guar gam saf Ag sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi

	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	-o/oo	992.6o/oo	6.548o/oo	0.126o/oo	0.037o/oo	0.286o/oo	0.216o/oo	0.246o/oo
Standard deviation	0.037	0.236	0.142	0.097	0.085	0.102	0.151	0.042
C.O.V. (%)	-----	0.02	2.17	-----	-----	35.82	-----	16.89
Range (%)	0.075	0.469	0.284	0.188	0.166	0.180	0.289	0.079
Number of readings	3	3	3	3	3	3	3	3
Min. reading	-o/oo	992.4o/oo	6.413o/oo	0.018o/oo	-o/oo	0.225o/oo	0.046o/oo	0.214o/oo
Max. reading	-o/oo	992.9o/oo	6.697o/oo	0.206o/oo	0.130o/oo	0.404o/oo	0.335o/oo	0.293o/oo

Çizelge 4.30 Guar gam 950 Ag sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi

	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	-o/oo	910.5o/oo	89.16o/oo	0.043o/oo	-o/oo	0.309o/oo	-o/oo	0.181o/oo
Standard deviation	0.045	0.608	0.876	0.003	0.061	0.265	0.270	0.155
C.O.V. (%)	32.64	0.07	0.98	6.10	-----	-----	-----	-----
Range (%)	0.083	1.151	1.750	0.005	0.117	0.519	0.537	0.309
Number of readings	3	3	3	3	3	3	3	3
Min. reading	-o/oo	909.9o/oo	88.31o/oo	0.040o/oo	-o/oo	0.082o/oo	-o/oo	0.019o/oo
Max. reading	-o/oo	911.0o/oo	90.06o/oo	0.046o/oo	0.005o/oo	0.600o/oo	0.600o/oo	0.227o/oo

Çizelge 4.31 Guar gam 925 Ag sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi

	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	-o/oo	896.6o/oo	103.0o/oo	0.008o/oo	-o/oo	0.374o/oo	0.052o/oo	0.297o/oo
Standard deviation	0.202	1.575	1.808	0.027	0.051	0.058	0.102	0.003
C.O.V. (%)	-----	0.18	1.76	-----	-----	15.57	-----	1.01
Range (%)	0.286	2.227	2.557	0.039	0.072	0.082	0.144	0.004
Number of readings	2	2	2	2	2	2	2	2
Min. reading	-o/oo	895.5o/oo	101.7o/oo	-o/oo	-o/oo	0.333o/oo	-o/oo	0.295o/oo
Max. reading	-o/oo	897.8o/oo	104.2o/oo	0.027o/oo	-o/oo	0.415o/oo	0.124o/oo	0.299o/oo

Çizelge 4.32 Guar gam 900 Ag sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi

	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	-o/oo	848.7o/oo	151.0o/oo-o/oo	-o/oo	0.405o/oo	0.018o/oo	0.104o/oo	
Standard deviation	0.019	0.984	0.767	0.073	0.054	0.092	0.131	0.131
C.O.V. (%)	9.20	0.12	0.51	-----	-----	22.76	-----	-----
Range (%)	0.037	1.875	1.432	0.135	0.104	0.179	0.260	0.231
Number of readings	3	3	3	3	3	3	3	3
Min. reading	-o/oo	848.0o/oo	150.1o/oo	-o/oo	-o/oo	0.328o/oo	-o/oo	-o/oo
Max. reading	-o/oo	849.8o/oo	151.6o/oo	0.079o/oo	0.003o/oo	0.507o/oo	0.140o/oo	
	0.184o/oo							

Çizelge 4.33 Guar gam saf Cu sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi

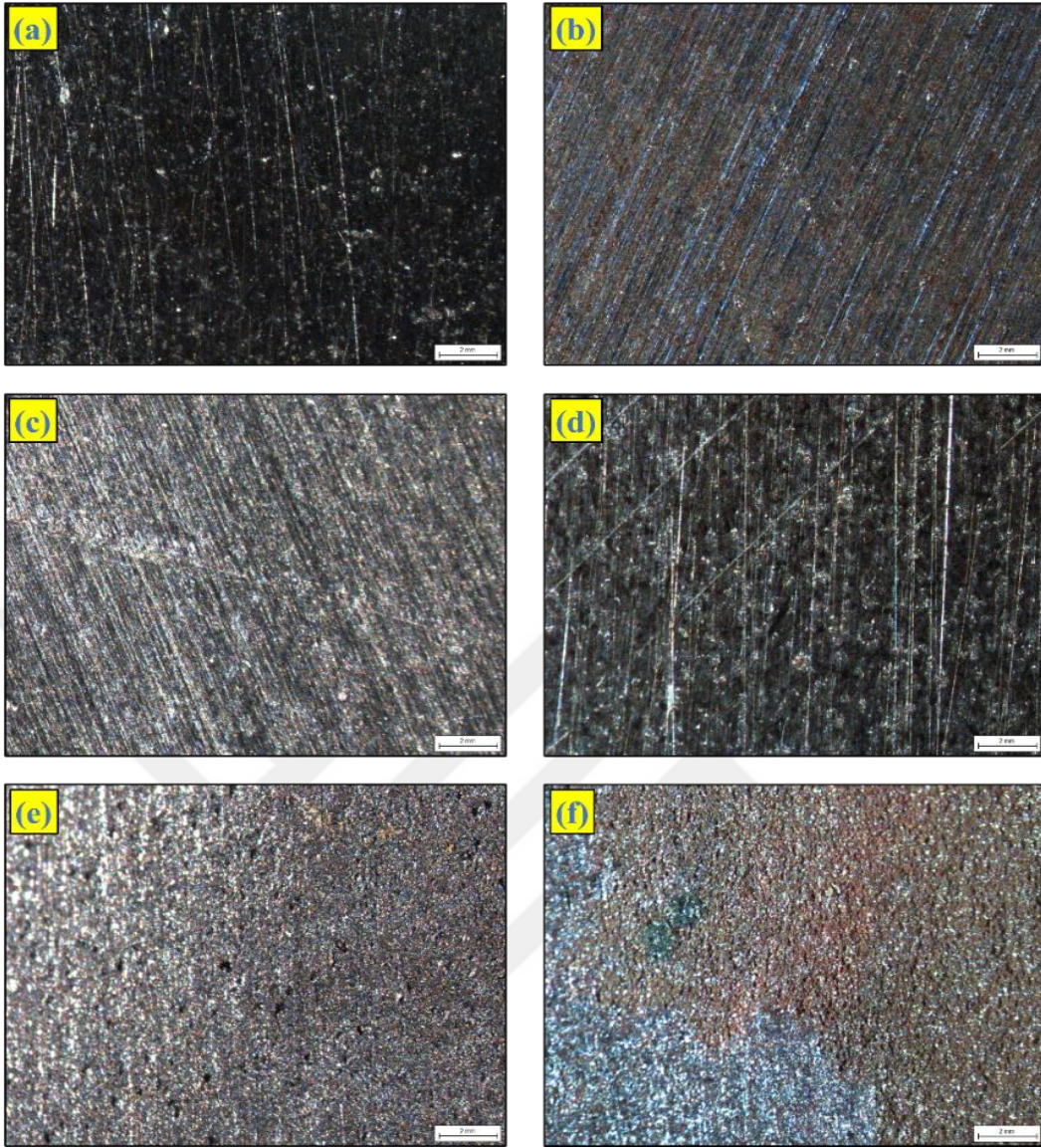
	Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pd	Cd	Fe
Mean	-o/oo	1.799o/oo	997.8o/oo	0.158o/oo	-o/oo	0.150o/oo	0.102o/oo	0.045o/oo
Standard deviation	0.121	0.112	0.390	0.103	0.028	0.120	0.028	0.075
C.O.V. (%)	-----	6.25	0.04	-----	-----	-----	27.28	-----
Range (%)	0.231	0.225	0.762	0.205	0.053	0.213	0.055	0.145
Number of readings	3	3	3	3	3	3	3	3
Min. reading	-o/oo	1.685o/oo	997.4o/oo	0.049o/oo	-o/oo	0.076o/oo	0.072o/oo	-o/oo
Max. reading	0.005o/oo	1.910o/oo	998.2o/oo	0.254o/oo	0.007o/oo	0.289o/oo	0.126o/oo	0.105o/oo

Çizelge 4.34 Guar gam saf bronz sinterlenmiş metal kil hamurunun XRF analizi

Single values:																			
n	Au	Ag	Pt	Pd	Cu	Zn	Sn	Pb	Fe	Cr	Ni	Mo	Co	Rh	Ru	In	Ir	W	Bi
	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo	[o/oo
1	0.046	1.772	-	0.082	854.9	0.154	142.2	-	-	0.059	0.198	0.042	0.064	-	0.121	0.092	0.028	-	0.414

4.6.2.2. Optik mikroskop görüntüleri

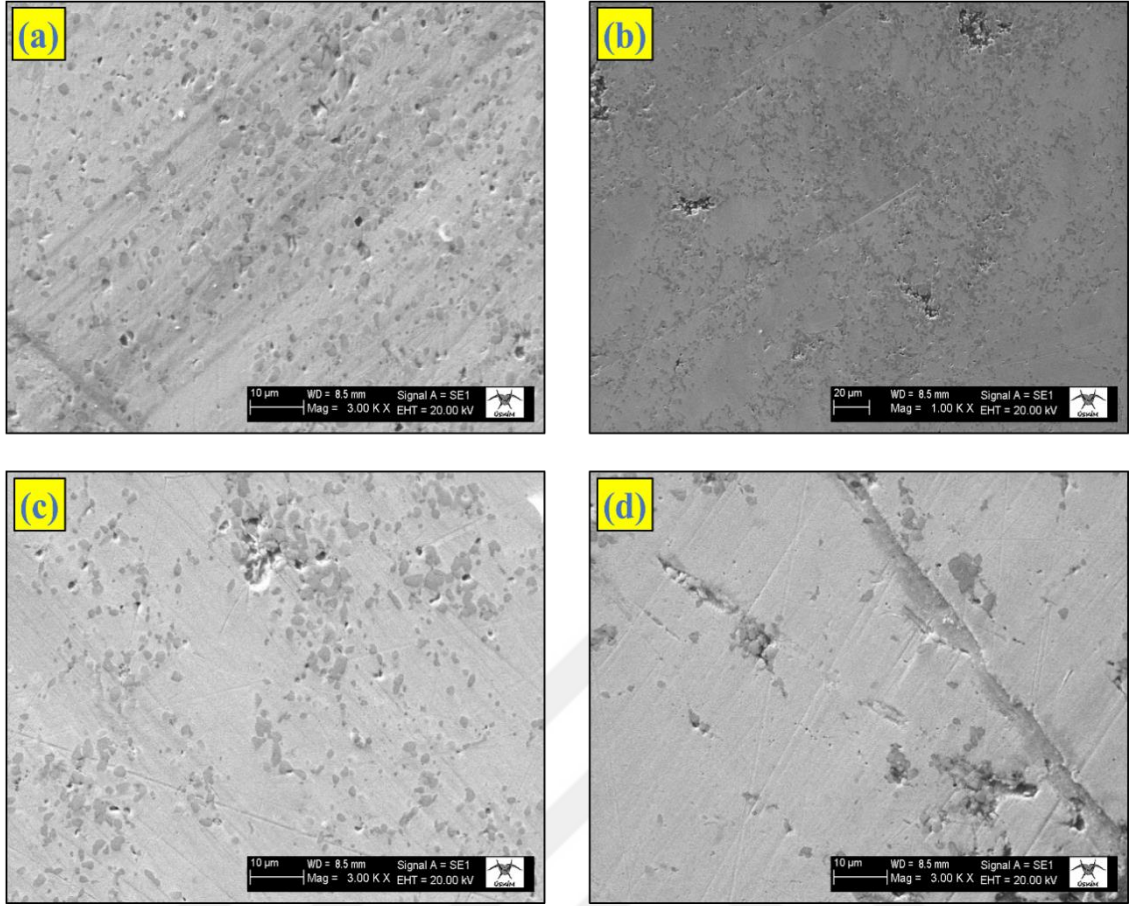
Guar gam ile üretilen metal kil hamurlarının saf gümüş, 950 gümüş, 925 gümüş, 900 gümüş, saf bakır ve bronz tozları kullanılarak üretilen metal kil hamurlarının sinterleme işlemi sonrasında optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.30'da verilmiştir. Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde 2 mm ölçeğinde görüntüler alınmış ve tüm numunelerin yüzeylerinde zımpara ve parlatma işlemleri sırasında çizgi izleri bulunmaktadır. Çizgilerin olma sebebi sinterleme sonrası metal yüzeylerinin sertliklerinin düşük olmasıdır. Sinterleme sonrası metal kil hamurlarının optik mikroskop görüntülerinden tüm numunelerin metal form aldığı Şekil 4.30 belirlenmiştir. Metal kil hamuru yapısında bulunan organik bağlayıcı ve yüzey ajanları sinterleme sonrası yapıdan uzaklaştırıldığı görülmektedir. Metal tozları arasında en iyi bağlayıcılık ve metalik formun saf gümüş Şekil 4.30a'da, saf bakır Şekil 4.30e'de görünen numuneler olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.30 Guar gam kullanılarak üretilen (a) Saf Ag, (b) 950 Ag, (c) 925 Ag, (d) 900 Ag, (e) Saf Cu ve (f) Bronz sinterlenmiş metal kil hamurlarının OM görüntüleri

4.6.2.3. SEM görüntüleri

Guar gam ile saf gümüş 950 gümüş, 925 gümüş ve 900 gümüş metal tozları kullanılarak üretilen metal kil hamurlarının sinterleme işlemi sonrasında SEM görüntüleri Şekil 4.31’de verilmiştir. Gümüş ve ayarlı tozlarının guar gam ile bağlayıcılık özellikleri SEM ile incelenerek metal kil hamurlarının morfoloji irdelenmiştir. SEM görüntülerinde saf gümüşün en iyi bağlayıcılık sağladığı görülmektedir. Ayrıca numunelerin yüzey morfolojisi incelendiğinde 950, 925 ve 900 ayar gümüş numunelerin sinterlenme sonrası yüzeylerin taneler arası boşluklar olduğu gözlemlendi. Bu durumda oluşturulan numunelerin mekanik özelliklerini olumsuz etkilemiştir.



Şekil 4.31 Sinterlenmiş guar gam metal kil hamurlarının SEM görüntüleri (a) saf Ag, (b) 950 Ag, (c) 925 Ag ve (d) 900 Ag

4.7. Arşimet Yoğunluk Testi

Metil Selüloz ve guar gam organik ile saf gümüş, 950 gümüş, 925 gümüş, 900 gümüş, saf bakır ve bronz metal tozları kullanılarak üretilen metal kil hamurları sinterleme sonrası Arşimet yoğunluk testleri yapılmıştır. Sonuçları Çizelge 4.35’de sunulmuştur. Saf gümüşün yoğunluğu $10,46 \text{ g/cm}^3$, saf bakırın yoğunluğu $8,96 \text{ g/cm}^3$ ve bronzun yoğunluğu $8,80 \text{ g/cm}^3$ olduğu bilinmektedir. Çizelge 4.35 incelendiğinde, saf metal tozları ile metal kil hamurların yoğunlukları karşılaştırıldığında metal kil hamurlarının yoğunluklarının düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebinin metal kil hamurlarının mikroyapıların da gözenekli yapılar bulunmasıdır. Bu sonuçlar SEM ile OM görüntüleriyle desteklenmektedir. Saf gümüş metal tozlarının ayarlanarak bakır ile karıştırılmış gümüşlere kıyasla yoğunluğunun yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayarlı gümüşlerde bu durum beklenen sonuçtur. Çünkü gümüşten yoğunluğu daha düşük bakır metal tozlarıyla katkılandırılması metal kil hamurlarının yoğunluğunun

düşürmesi beklenen bir sonuçtur. Üretilen metal kil hamurlarının yoğunluklarının sonuçları bu durumu doğrulamaktadır.

Çizelge 4.35 Sinterlenmiş metal kil hamurlarının yoğunlukları

Metal kil hamuru	Yoğunluk (g/cm³)
Selüloz saf Ag	8,58
Selüloz 950 Ag	7,19
Selüloz 925 Ag	6,23
Selüloz 900 Ag	5,89
Selüloz saf Cu	6,35
Selüloz bronz	6,57
Guar gam saf Ag	8,20
Guar gam 950 Ag	7,35
Guar gam 925 Ag	6,31
Guar gam 900 Ag	5,42
Guar gam saf Cu	6,09
Guar gam bronz	6,77

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında değerli metal tozları ve organik bağlayıcılar kullanılarak el ve aletlerle kolayca şekillendirilen özellikle kuyumculuk sektöründe özel görünümlü, takı ve süs eşyası üretilmesinde kullanılabilen metal kil hamuru geliştirilmiştir. Bu çalışmada ortaya çıkarılan üretim prosesi, özellikle kuyumculuk sektörü gibi sanatsal ürünlerin tasarımında üretim kolaylığı ve ekonomik katkı sağlayacak potansiyele sahiptir.

- Bu çalışmada metal tozları, kuru metal kil hamuru ve sinterlenmiş metal kil hamur formlarının mikroyapısı, fiziksel özellikleri ve kimyasal kompozisyonları OM, SEM, XRF ve Arşimet yoğunluk testleri ile analiz yapılarak incelenmiştir.
- Metal kil hamurların oluşumunda kullanılan saf gümüş metal tozu hidrometalurji yöntemiyle elde edilmiş ve Vibratory Sieve Shaker makinesinde eleme yapılarak kullanılmıştır. Parçacık boyutunun 50 mikron altı olduğu analizlerle tespit edilmiştir.
- Metal kil hamur üretiminde saf gümüş ile en iyi bağlayıcılığı özelliği gösteren guar gam ve metil selüloz kullanılmıştır.
- Metil selüloz ve guar gam belirlenen oranlar da saf gümüş, saf bakır, 950 Ag, 925 Ag ve 900 Ag ve bronz metal kil hamurları üretilmiş ve sinterleme sonrası başarıyla bir şekilde metal form elde edilmiştir. Ayrıca oluşturulan metal kil hamurlarında kullanılan bağlayıcılar saf metal tozlarında daha etkili bağlayıcılık özelliği sergilediği gözlenmiştir.
- Metil selüloz ile üretilen metal kil hamurlarında kullanılan metal toz karışımlarındaki bakır oranı arttıkça bağlayıcılığın azaldığı tespit edilmiştir.
- Guar gam ile üretilen metal kil hamurları arasında kullanılan farklı metal toz ve oranlarının bağlayıcılığa olumsuz bir etkisi olmamıştır.
- Metil selüloz kullanılarak üretilen metal kil hamurlarında saf gümüş hariç diğer 950, 925, 900, bakır ve bronz numunelerinde oksitlenme ve renk değişimi gözlemlendi.
- Elde edilen metal kil hamurlarının fiziksel özelliklerinden büzülme oranları ortalama %8-15 arasındadır.
- Bu çalışma kuyumculuk ve sanatsal alanlara yeni yöntemler, fikirler ve farklı bakış açıları kazandırarak özgün modellerin oluşturmada yeni tekniklerin ortaya çıkmasına katkı sağlayacaktır.
- Teknolojik alanda metal kil hamurun gelişmesi ile birlikte seramik alanında kullanılan 3D printer makinelerin gelecekte prototip ve seri üretimler için kullanılması öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] McCreight, T., Wardell, R.A., Devos, K., (2006). *PMC Decade: The First Ten Years of Precious Metal Clay*. Brynmorgen Press. ISBN: 978-1-929565-19-1. Honkong, 253s.
- [2] About Metal Clay, (2024). Alliance for metal clay arts worldwide, <https://amcaw.org/about-metal-clay/>. (Erişim Tarihi: 06.06.2024)
- [3] Yeşilmen, N., (2018). *Takının tarihsel gelişim süreci ve 21. yüzyılda takı anlayışı: seramik-metal kili ile ağdaş takı yorumlamaları*, Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü. Eskişehir. 210s.
- [4] What is Art Clay Silver, Products history, (2024). Art Clay, https://www.artclay.co.jp/html/products/what_is_artclaysilver.shtml. (Erişim Tarihi: 06.06.2024)
- [5] History background of Art Clay Products, (2024). Art clay, <https://www.artclay.co.jp/html/products/history/index.shtml>. (Erişim Tarihi: 06.06.2024)
- [6] Schindel, M., (2023). Bronz clay Bronze Metal Clay Jewelry Techniques. <https://feltmagnet.com/crafts/bronzclay>. (Erişim Tarihi: 06.06.2024)
- [7] Discover Aussie Metal Clay, (2024). Discover Aussie Metal Clay, <https://www.aussiemetalclay.com/>. (Erişim Tarihi: 06.06.2024)
- [8] Welcome to the World of Goldie Metal, (2013). Goldie metal, <https://goldieclay.com/>. (Erişim Tarihi: 06.06.2024)
- [9] Hadar Jacobson, (2024). Artin Metal Clay, <https://www.artinsilver.com/>. (Erişim Tarihi: 06.06.2024)
- [10] Precious Metal Clay, (2024). Pmc studio, <https://www.thepmcstudio.com/>. (Erişim Tarihi: 06.06.2024)
- [11] Metal Killer, (2024). Prometheus hobby, <https://www.prometheushobby.com/Metal-Killeri-c108.html>. (Erişim Tarihi: 06.06.2024)
- [12] Prometheus hobby, (2024). Prometheus gümüş killeri, prometheus bronz ve bakır killeri, <https://www.prometheushobby.com/>. (Erişim Tarihi: 06.06.2024)
- [13] Basic steps of making. (2024). Art clay, <https://www.artclay.co.jp/html/>. (Erişim Tarihi: 06.06.2024)

- [14] Metal Clay, (2024).Cook tools, <https://cooltools.us/collections/clay>. (Erişim Tarihi: 06.06.2024)
- [15] Project X, (2024). The evolution of metal clay, https://clayrevolution.com/pages/projectx-technicalguides?_pos=3&_sid=923fa925a&_ss=r, (Erişim Tarihi: 06.06.2024)
- [16] Hadar Jacobson, (2024). Online store, <https://www.artinsilver.com/>. (Erişim Tarihi: 06.06.2024)
- [17] Han, K., (2020). What is Carboxymethyl Cellulose (CMC)/Cellulose Gum (E466) in Food and Uses. <https://foodadditives.net/thickeners/cellulose-gum/>. (Erişim Tarihi: 06.06.2024)
- [18] Klemm, D., Philipp, B., Heinze, T., Heinze, U., Wagenknecht, W., (1998). *Comprehensive Cellulose Chemistry, Fundamentals and Analytical Methods*. Wiley-VCH Verlag GmbH. ISBN:9783527294138. Weinheim, Germany, 282s
- [19] Xanthan gum, Guar gum, Arap zankı, (2024). O kimya <https://okimya.com.tr/category/jel-kivam-verici-kimyasallar/>. (Erişim Tarihi: 06.06.2024)
- [20] Kumar, A., Rao, K. M. ve Han, S. S. (2018). Application of xanthan gum as polysaccharide in tissue engineering. *Carbohydrate Polymers*, 180, 128-144.
- [21] Zeydanoğlu, G.C., (2021). *Zeytinyağının Kitosan Ve Gam Arabik Duvar Materyalleri İle Enkapsülasyonu*. Yüksek Lisans Tezi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. şanlıurfa. 69s.
- [22] Guar gam,(2011). Biokim kimya, <http://www.biokimkimya.com/content.asp-8.html?id=14&v=c&d=p&pid=1059&l=tr>. (Erişim Tarihi: 06.06.2024)
- [23] Ağkuş, S., (2019). *Guar gam ve kaolin içeren yeni polielektrolit hidrojel adsorbanların hazırlanışı, karakterizasyonu ve yüzeye soğurum özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Aydın. 165s.
- [24] Duran, A., (2023). *Gıdalarda kullanılan kağıt ambalajların ısııl işlem uygulanarak modifiye edilmiş jelatin ile kaplanması: Kıyma örneği*. Yüksek Lisans Tezi. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Karaman. 81s
- [25] Öğretmen, Ö.Y., (2007). *Orta karadeniz bölgesi'nden toplanan farklı kırmızı alg türlerinden agar-agar üretimi ve kalitesinin belirlenmesi üzerine bir araştırma*.

Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Samsun. 114s.

- [26] Balo, F., (2008). *Bitkisel yağların kompozit malzeme yapımında kullanılması*. Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 224s.
- [27] Özbay, N., (2013). *Gliserin tersiyer eterlerinin sentezi ve reaksiyon kinetiğinin incelenmesi*. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 210s.
- [28] Propilen glikol, (2022). Ataman kimya, <https://www.ataman-chemicals.com/urunler/propilen-glikol-3864.html>. (Erişim Tarihi: 06.06.2024)
- [29] Art Clay Silver Type, (2024). Art Clay, <https://www.artclay.co.jp/htm/products/artclayseries.shtml>. (Erişim Tarihi: 06.06.2024)
- [30] İbrahim, B.O.Y.L., (2022). *Elektronik atıklardan metallerin geri kazanımı için yeni hidrometalurjik yöntemlerin araştırılması*. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon. 225s.
- [31] Paknejad, S. A., Mannan, S. H. (2017). Review of silver nanoparticle based die attach materials for high power/temperature applications. *Microelectronics Reliability*, 70, 1-11.
- [32] Hoshino, K., Kohno, T., Morikawa, M. (1993). Development of Precious Metals Clay. *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*, 40, 837–840.
- [33] Hoshino, K., Kohno, T., Hirasawa, J., Morikawa, M. (1994). Precious Metals Clay. *Material Japan*. 33, 420–422.
- [34] Hoshino, K., Kohno, T., Morikawa, M. (1995). Development of Precious Metals Plasticine. *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*, 42. 871–875.
- [35] Yukio, O., Hino, K., Ishigaki, S., Araki, H., Nakata, Y., Fujimaru A., (1996). Clayish Composition For Molding Shaped Article Of Noble Metal And Method For Production Of Sintered Article Of Noble Metal, Amerika Birleşik Devletleri Patent, No: US005702501A
- [36] Fujimaru, A., Shimamoto, K., Araki, H., Miyata, M., (2001). Sinter of noble metal and method for production thereof, Amerika Birleşik Devletleri Patent, No: US6290744B1

- [37] Theide, B.J., VisCirda, R.T., (2003). Colored Metal Clay And Colored Metals, Amerika Birleşik Devleti Patent, No: US00657267OB1
- [38] Hirasawa, J., Ido, Y., (2006), Silver Powder For Silver Clay And Silver Clay Containing This Silver Powder, Amerika Birleşik Devleti Patent, No: US007081149B2.
- [39] Kim, J. H., Kim, K. J., Kim, M. R., Song, O. S. (2008). Study on the Property of Sintered Silver Clay for Rapid Modeling. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 9(6), 1548-1554.
- [40] Aykoç, M., (2012). Metal clays sintering at low temperature, Wipo PCT Uluslar Arası Patent, No: WO2013126022A2
- [41] Thongnopkun, P., Jamkratoke, M., Ekgasit, S. (2012). Thermal behavior of nano-silver clay in the application of handmade jewelry. *Materials Science and Engineering: A*, 556, 849-854.
- [42] Ido, Y., Otani, S., (2016). Clay-Like Composition For Noble Metal Sintered Compact Avrupa Patent Ofisi, No: EP3075467B1
- [43] Carvalho, L.D.C. (2018). Investigation of silver metal clays using scanning electron microscopy with energy dispersive spectroscopy. *International Journal of Conservation Science*, 9(2).
- [44] Alexandrescu, L., Syverud, K., Gatti, A., Chinga-Carrasco, G. (2013). Cytotoxicity tests of cellulose nanofibril-based structures. *Cellulose*, 20, 1765-1775.
- [45] Katzensteiner, A., Rosalie, J. M., Pippan, R., Bachmaier, A. (2020). Synthesis of nanodiamond reinforced silver matrix nanocomposites: Microstructure and mechanical properties. *Materials Science and Engineering: A*, 782, 139254.
- [46] Kargul, M., Konieczny, M. (2021). Copper matrix composites reinforced with steel particles. *AIMS Materials Science*, 8(3).
- [47] Bao, Q., Guo, L., Qi, T., Guo, Z. (2022). The preparation of spherical tin bronze alloy powder via the flash remelting spheroidization method. *Powder Technology*, 397, 117036.