

T.C.  
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SIRLI PORSELEN SOFRA EŞYALARINDA KULLANILAN BOYALARIN  
DAYANIMINI ARTTIRICI SIR KOMPOZİZYONLARININ GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ASLI ÇAMOĞLU

TEZ DANIŐMANI  
DOÇ. DR. MİRAC ALAF

İKİNCİ DANIŐMAN  
DOÇ. DR. ALİ ÇELİK

BİLECİK 2022  
10459215

T.C.  
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SIRLI PORSELEN SOFRA EŞYALARINDA KULLANILAN BOYALARIN  
DAYANIMINI ARTTIRICI SIR KOMPOZİZYONLARININ GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ASLI ÇAMOĞLU

TEZ DANIŐMANI  
DOÇ. DR. MİRAC ALAF

İKİNCİ DANIŐMAN  
DOÇ. DR. ALİ ÇELİK

BİLECİK 2022  
10459215

## BEYAN

Sırlı Porselen Sofra Eşyalarında Kullanılan Boyaların Dayanımını Arttırıcı Sır Kompozisyonlarının Geliştirilmesi adlı yüksek lisans/doktora/sanatta yeterlik tezi/dönem projesinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
<b>DESTEK ALINMIŞTIR</b>		<b>DESTEK ALINMAMIŞTIR</b>	X
<b>Destek alındı ise;</b>			
<b>Destekleyen kurum;</b>			
<b>Desteğin Türü</b>		<b>Proje Numarası</b>	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;..... .....			
<b>ETİK KURUL onayı var ise;</b>			
<b>ETİK KURUL karar tarih/sayı:</b>		...../..... .....	

Öğrenci Adı ve Soyadı

Aslı Çamoğlu

Tarih

İmza

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi ve tecrübesiyle bana yardımcı olan, ilgi ve manevi desteğini hiç esirgemediğim yanımda olan, sayesinde bu aşamaya geldiğim değerli hocam Doç. Dr. Miraç ALAF'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi ve tecrübesiyle desteğini benden esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Ali ÇELİK'e teşekkür ederim.

Tez çalışmamı yapabilme imkânını sağlayan Porland Porselen A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Süleyman PAMUKÇU'ya, desteğini ve ilgisini esirgemeyen iş hayatımda büyük katkıları olan ve fikirleriyle bana destek olan Porland Porselen A.Ş. Üretimden Sorumlu Grup Müdürü Sayın Sonay KELEBEK DOĞANÇ'a, tezimi yapabilmek için destek veren Porland Porselen A.Ş. Lojistik Planlama Müdürü Sayın Ferhat AKAGÜNDÜZ'e, tezimin uygulama aşaması ve iş hayatımda bilgi ve tecrübesiyle bana destek olan Porland Porselen Dekor Üretim Şefi Rahmi AYDOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımın deneyleri için destek olan Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü ve Laboratuvarları çalışanlarına teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitim süresinde bana destek olan arkadaşlarım Gözde ÇAĞLAR ve Behlül KAYALI'ya, teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasına beni destekleyen annem, babam, kardeşime her durumda yanımda olan çok değerli kızlarım Defne-İpek ÇAMOĞLU ve eşim Ömer ÇAMOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

## ÖZET

### SIRLI PORSELEN SOFRA EŞYALARINDA KULLANILAN BOYALARIN DAYANIMINI ARTTIRICI SIR KOMPOZİSYONLARININ GELİŞTİRİLMESİ

Tabak ve bardak gibi sofrta ve süs eşyaları ürünlerinde görsel algıyı arttırmak için renkli boya uygulamaları yapılmaktadır. Bu ürünler kir, deterjan veya gıda ürünleri ile temas ettikçe desen ve boyalarda belirli bir süre sonunda aşınma ve erozyon meydana gelmektedir. Bu çalışmada porselen sofrta ve süs eşyalarının üzerindeki boyalarda meydana gelen hasar ve aşınmayı en aza indirebilmek için desenli ürün üzerine uygulanabilen transparan sır kompozisyonları geliştirilmiştir. Sır tabakasının yüksek transparanlığa, parlaklığa ve porselen bünyeye uyuma sahip olması amaçlanmıştır. Geliştirilen farklı sır kompozisyonları üzerinde değerli metalik boya bulunduran porselen ürünlere uygulanmıştır. Daha sonra sırlanmış ürünler 870°C-900°C arasında son pişirime tabi tutulmuştur. Porselen ürünlerin renk değerleri L-a-b spektrofotometre renk ölçüm cihazı ile yapılmış, aşınma ve erozyon dayanımı yıkama testi ve lekelenme testi ile belirlenmiştir. Numunelerin kimyasal bileşim ve sinterleme sırasında oluşan fazların analizleri sırayla X-ışınları floresans (XRF) ve X-ışınları kırınımı (XRD) teknikleri ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, yalnızca %30 frit içeriği ile yüksek transparan özelliği ve aşınma dayanıma sahip sır kompozisyonlarının elde edilebileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Porselen, Metalik boya, Transparan Sır, Frit

## **ABSTRACT**

### **DEVELOPMENT OF GLAZE COMPOSITIONS TO INCREASE RESISTANCE OF PAINTS UTILIZED IN GLAZED PORCELAIN TABLEWARE**

Colorful paints are utilized to increase the visual perception of porcelain tableware and ornaments such as plates and glassed. Since these products are used in contact with stains, detergents or food products, wear and corrosions of paintings is occurred after a certain period of time. In this study, transparent glaze compositions applicable to the painted tableware developed in order to minimize the damage and wear the painted porcelain tableware and ornaments. High transparency, glossiness and compatibility with the porcelain body were aimed. The glazes compositions with different compositions were applied to porcelain products on which precious metallic painting exists. Then, the glazed products were subjected to final sintering between 870°C-900 °C. The color values of porcelain products. L-a-b measured with a spectrophotometer color measuring device and the wear and erosion resistance of the glaze layer was determined by following washing test. Chemical compositions and phases formed during sintering of samples were detected by X-ray fluorescence (XRF) and X-ray diffraction (XRD) techniques, respectively. The results indicate that highly transparent and wear resistant glaze compositions containing only %30 of frit can be developed.

**Keywords:** Porcelain, Metallic painting, Transparan Glaze, Frit

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
1. GİRİŞ.....	1
2. PORSELEN .....	3
2.1. Porselen Tanımı .....	3
2.2.1. Sert Porselen.....	4
2.2.2. Yumuşak Porselen .....	4
2.2.3. Elektro Porselen .....	4
2.2.4. Steatit Porselen.....	4
2.2.5. Frit Porselen .....	4
2.2.6. Sağlık Gereçleri Porseleni .....	4
2.2.7. Laboratuvar Porseleni.....	5
3. PORSELEN ÜRETİM TEKNOLOJİSİ .....	6
3.1. Hammadde Hazırlama .....	7
3.2. Şekillendirme .....	7
3.2.1. Pres ile Şekillendirme .....	7
3.2.2. Plastik Şekillendirme .....	8
3.2.3. Döküm ile Şekillendirme .....	9
3.3. Bisküvi Pişirimi.....	10
3.4. Sırlama.....	11
3.5. Sırlı Pişirim .....	11
3.6. Dekorlama .....	13
3.6.1. Montaj (Desen Uygulaması).....	14
3.6.2. File Çekimi.....	15
3.6.3 Püskürtme.....	15
4. SİRLAR.....	16
4.1. Sır Üretiminde Kullanılan Hammaddeler.....	18
4.1.1. Feldspat.....	18
4.1.2. Kuvars .....	19
4.1.3. Kil ve Kaolenler.....	20
4.1.4. Dolomit.....	21
4.1.5. Boraks .....	22

4.2. Sırlarda Aranılan Özellikler .....	22
4.3. Sır Çeşitleri.....	23
4.3.1. Opak ve Mat Sırlar .....	23
4.3.2. Transparan ve Parlak Sırlar.....	25
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	26
5.1. Kullanılan Hammaddeler .....	26
5.2. Hammaddelerin hazırlanması .....	26
5.3. Karakterizasyon, Analiz ve Test Çalışmaları .....	30
5.3.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDS).....	30
5.3.2. X-Işını Difraktometresi (XRD) .....	31
5.3.3 X- Işını Floresans Spektrometresi (XRF) .....	31
5.3.4 Deterjan Dayanım Testi .....	33
5.3.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri .....	33
5.3.5 Renk Ölçümleri .....	34
5.3.6 Lekelenme Testi .....	34
6.1. XRD Analiz Sonuçları.....	36
6.2. SEM ve EDS Sonuçları.....	37
6.3. Deterjan Dayanım Testi Sonuçları.....	45
6.4. Renk Ölçümleri Sonuçları .....	46
6.4 . Lekelenme Testi Sonuçları.....	48
7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	50
KAYNAKÇA .....	51



## TABLULAR LİSTESİ

<b>Tablo 2.1.</b> Porselenlerin Bileşim ve Pişme Sıcaklıklarına Göre Sınıflandırılması...	<b>3</b>
<b>Tablo 3.1</b> Sır Hazırlamada Kullanılan Hammaddeler .....	<b>10</b>
<b>Tablo 3.2</b> Kaolinin Dönüşümleri.....	<b>11</b>
<b>Tablo 4.1</b> Opaklaştırıcı Bileşenlerin Kırınım Katsayıları.....	<b>22</b>
<b>Tablo 5.1</b> Sır Reçetesinde Kullanılan Hammaddelerin Tane Boyutları.....	<b>24</b>
<b>Tablo 5.3</b> Sır Reçetesinde Kullanılan Hammaddelerin Kimyasal Analizleri.....	<b>25</b>
<b>Tablo 6.1.</b> Deterjana Dayanım Testi Kütle Kaybı Sonuçları.....	<b>41</b>
<b>Tablo 6.2.</b> $\Delta E$ Değerinin Kabul Görme Aralıkları.....	<b>42</b>
<b>Tablo 6.3.</b> Numunelerin $L^*a^*b$ Değerleri.....	<b>43</b>
<b>Tablo 6.4.</b> Lekelenme testi sonuçları.....	<b>49</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Porselen Üretim Teknolojisi Şeması.....	5
Şekil 3.2. Püskürtmeli Kurutucu SEM Görüntüleri.....	6
Şekil 3.3. Püskürtmeli Kurutucu Çalışma Prensibi.....	7
Şekil 3.4. Filter Pres Çalışma Prensibi.....	7
Şekil 3.5. Döküm ile Şekillendirme.....	9
Şekil 3.6. Sinterleme Aşamasında Partikül Hareketleri.....	10
Şekil 3.7. Sinterleme Sırasında Partikül Yapısı Değişimi.....	11
Şekil 3.8. Dekal Desen Uygulaması.....	13
Şekil 4.1. Sıcaklıkla Orantılı Olarak Akışkanlık Eğrisi.....	14
Şekil 4.2. Kuvarsın Poliformları için Dönüşümler ve Hacimsel Değişimler.....	18
Şekil 4.3. Tetrahedron Yapı (a) ve Oktohedran Yapı(b).....	19
Şekil 4.4. Kil Grupları.....	19
Şekil 4.5. Sır Çekme yada Basınç Gerilimi Altındayken Meydana Gelen Hatalar.....	21
Şekil 5.1. Refsan Marka Jet Değirmen.....	26
Şekil 5.2. Numunelerin Üretim Prosesleri.....	26
Şekil 5.3. Dekorlama Sonrası Üzerine Sırlama Yapılmış Ürünler.....	27
Şekil 5.4. Zeiss SURRA 40VP SEM Cihazı.....	28
Şekil 5.5. Rigaku DMAX 2000 Marka X-Işını Cihazı.....	29
Şekil 5.6. Spectro IQ Marka XRF Cihazı .....	30
Şekil 5.7. TR 200 Roughness Tester Marka Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı.....	31

<b>Şekil 5.8.</b> Konica Monilta CM 2600 d Marka Renk Ölçüm Cihazı.....	<b>31</b>
<b>Şekil 6.1.</b> Değişen Frit Oranına Bağlı Olarak Sırların XRD Paternleri.....	<b>33</b>
<b>Şekil 6.2.</b> %10 Frit Oranına Sahip Sırla Hazırlanmış Yüzeyin (a) 2500 ve b(20000 büyütmede alınan SEM Fotografları ve (c) EDS analizleri.....	<b>34</b>
<b>Şekil 6.3.</b> %15 Frit Oranına Sahip Sırla Hazırlanmış Yüzeyin EDS Analizleri (a)SEM Fotografları (b)1.bölge (c)2.bölge (d) 3.bölgeden alınmış EDS analizleri...	<b>34</b>
<b>Şekil 6.4.</b> %15 Frit Oranına Sahip Sırla Hazırlanmış Yüzeyin EDS analizleri (a) SEM Fotografi (b) 1. Bölge (c) 2. Bölge (d) 3. Bölgeden alınmış EDS analizleri.....	<b>35</b>
<b>Şekil 6.5.</b> %20 Frit Oranına Sahip Sırla Hazırlanmış Yüzeyin Farklı Bölgelerinden (a)2500 ve (b)10000 Büyütmede Alınan SEM Fotografları.....	<b>36</b>
<b>Şekil 6.6.</b> %20 Frit Oranına Sahip Sırla Hazırlanmış Yüzeyin EDS analizleri (a) SEM Fotografi (b) 1. Bölge (c) 2. Bölgeden alınmış EDS analizleri.....	<b>36</b>
<b>Şekil 6.7.</b> %25 Frit Oranına Sahip Sırla Hazırlanmış Yüzeyin Farklı Bölgelerinden (a)2500, (b)10000 ve (c)20000 Büyütmede Alınan SEM Fotografları.....	<b>37</b>
<b>Şekil 6.8.</b> %25 Frit Oranına Sahip Sırla Hazırlanmış Yüzeyin EDS analizleri (a) SEM Fotografi (b) 1. Bölge (c) 2. Bölgeden (d) 3.Bölgeden alınmış EDS analizleri.	<b>38</b>
<b>Şekil 6.9 .</b> %30 Frit Oranına Sahip Sırla Hazırlanmış Yüzeyin Farklı Bölgelerinden 10000 Büyütmede Alınan SEM Fotografları.....	<b>39</b>
<b>Şekil 6.10.</b> %30 Frit Oranına Sahip Sırla Hazırlanmış Yüzeyin EDS analizleri (a) SEM Fotografi (b) 1. Bölge (c) 2. Bölgeden alınmış EDS analizleri.....	<b>39</b>
<b>Şekil 6.11.</b> %25 Frit Oranına Sahip Sırla Hazırlanmış Yüzeyin Farklı Bölgelerinden (a)2500 ve (b)10000 Büyütmede Alınan SEM Fotografları.....	<b>40</b>
<b>Şekil 6.12.</b> %40 Frit Oranına Sahip Sırla Hazırlanmış Yüzeyin EDS analizleri (a) SEM Fotografi (b) 1. Bölge (c) 2. Bölgeden alınmış EDS analizleri.....	<b>40</b>

<b>Şekil 6.13.</b> Deterjan Testi Öncesi ve Sonrası Her Bir Numune İçin Alınmış Yüzey Pürüzlülük değerleri.....	<b>42</b>
<b>Şekil 6.14.</b> Numuneleri $\Delta E$ Değişimleri.....	<b>43</b>
<b>Şekil 6.15.</b> Lekelenme testi.....	<b>48</b>

## 1. GİRİŞ

Porselen bünye %50 oranında kil (genelde kaolen ( $Al_2(SiO_5)(OH_4)$ ), %25 feldspat (ergitici) ve %25 kuvars (dolgu malzemesi) oluşan karışımın pişirimi ile meydana gelmektedir. Porselen üretim prosesinde önemli bir adımlardan biri sırlama işlemidir. Porselen bünyeye uygulanan sırlar, bünyeyi ince tabaka halinde kaplayan ergitilerek camsı bir katman oluşumu sağlayan oksit karışımlardır. Porselen bünyede sırlar, bünyeye teknik, hijyenik ve aynı zamanda estetik özellikler kazandırmaktadır. Bunun yanında sofrta eşyalarında görsel algı da önemlidir. Görsel algıyı arttırmak için ürünlere dijital baskı, dekal baskı ve boya uygulamaları gibi bazı uygulamalar yapılmaktadır. Ancak boya uygulamalarında kullanım süresi ve dış temas arttıkça boyalarda aşınma ve silinme görülmeye başlanır.

Porselene uygulanan bu sır tabakasının düşük sıcaklıkta gelişebilen bir bileşim olması gerekmektedir. Çünkü dekorlama işlemi sonrası ürünler düşük sıcaklıklarda pişirilmektedir. Düşük sıcaklık sırları elde edebilmek için reçetelere frit ilave edilmelidir. İlave edilen frit maliyet artışına da sebep olmaktadır.

Frit, öğütülerek toz haline getirilmiş hammaddelerin belirtilen reçeteye göre tartılıp karıştırılmasıyla daha sonra eritilip, eriyiğın hızlı bir şekilde soğumasıyla elde edilir. Düşük dereceli sırlarda sırların gelişebilmesi için önemli rol oynar. Sıcaklık düştükçe reçetede ki frit oranı artar. Normal şartlarda porselen sırlarında kaolen, kuvars, feldspat, kalsit, manyezit, ve dolomit gibi hammaddelerin belirli oranda karıştırılmasıyla sır bileşenleri elde edilir. Ancak düşük sıcaklıkta gelişebilen porselen sırları elde etmek için bileşimine frit ilavesi gerekmektedir. Bunların yanında düşük sıcaklık sırlarını elde edebilmek için erime noktası düşük ve ergiticilik özelliğı yüksek bor veya kurşun bileşenleri kullanılması gerekmektedir. Kurşun ancak fritleştirilerek kullanılabilir. Ancak sofrta eşyalarında kurşun kullanımı uygun değildir. Bor bileşenleri yapılarında yüksek oranda kristal suyu bulundurur. Boraks ve Borik asit temizlik ve suda çözünme özelliğı gösterdiğı için kullanımı en uygundur. Bileşenleri aynı olan frit ve ham sır aynı anda reaksiyona girdiğinde frit daha düşük sıcaklıkta erir. Çünkü fritte gaz çıkışı reaksiyonları ve bileşen reaksiyonları fritleşme sırasında gerçekleşmiştir. Yüzey düzgünlüğü elde edebilmek açısından frit kullanımı avantaj sağlamaktadır. Frit üretimi 1400°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda meydana gelmektedir.

Sofra eşyalarına uygulanan sır tabakaları için ısıl şok direnci, çizilme dayanımı ve mukavemet gibi ısıl ve mekanik özelliklerin yanı sıra estetik görünüm açısından önemli olan optik özellikler yakından kontrol edilmek durumundadır. Bu ürünlerin tercih edilmesinde sır

kompozisyonları içerisine ilave edilen pigmentler sayesinde zengin renk çeşitliliğinin elde edilmesi belirleyici durumda iken, altın görünümlü bir yüzeyin elde edilebilmesi ancak sırlama sonrasında bu özelliği sağlayabilen metalik boya ların yüzeye haricen uygulanması ile mümkün olmaktadır. Bu boya lar estetik açıdan oldukça başarılı olmalarına rağmen, düşük sayılabilecek bir kullanım süresi sonunda uygulandıkları yüzeyden mekanik ve ısıl etkiler nedeniyle kolaylıkla uzaklaşmakta ve ürünlerin estetik özellikleri önemli lde azalmaktadır.

Bu tez çalışmasında metalik boya lar ile altın görünümü kazandırılmış olan sırlanmış yüzeye lere uygulanabilen, yüksek ışık geçirgenliği sayesinde desendeki rengin kaybına neden olmayan düşük sıcaklık sır kompozisyonlarının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu etki metalik boya uygulanan yüzeye bileşimi tamamen düşük sıcaklık fritlerinden oluşan bir sır tabakasının uygulanması ile elde edilebilirken, bu çalışmada aynı etkinin sır bileşiminde ağırlıklı olarak seramik sır hammaddelerinin kullanılarak elde edilmesi ve bu sayede maliyet açısından tercih edilebilir zgn sır kompozisyonlarının geliştirilmesi hedeflenmiştir.

## 2. PORSELEN

### 2.1. Porselen Tanımı

Porselen olarak adlandırılan ilk ürünlerin Çin’de Sung devrinde yapıldığı düşünülmektedir. Porselen kelimesi, porselene benzeyen İtalyanca adı porcella olan midyenin isminden türetilmiştir. Bu kelimeyi ilk defa, Marco Polo Çin’den getirdiği ürünler için kullanmıştır. (Kibici, Y., 2002)

İlk özel ve ticari amaçlı büyük porselen fabrikasını Coroluo Magnuo Hutschenreuther Bevyera-Hohenberg 1814’teoğlu Lorenz Hutschenreuther’de Selb’de 1857’de yeni bir porselen fabrikası kurarak bu bölgedeki bugünkü porselen sanayisini başlatmıştır. (Arcasoy, 1983, s132)

Porselen, mukavemetinin yüksek olmasının yanında ışık geçirgenliği sağlaması ve sırlı, teknik ve görsel olarak da kullanılabilen bir seramik malzemesidir.(Karasu B.ve Çakı, M. S.287-293) Porselen ürünler, camlaşma seviyesine yakın sinterlenip yarı saydamlık özelliği almışlardır. Bu durumda porselen ürünlerin su emme değerlerinin %0-1 gibi değerlere gelmesine neden olmuştur. (Güner Y., s191-203)

### 2.2.Porselen Türleri

Geleneksel seramiklerin en önemli ve değerlisi porselendir. Porselenlerin bileşim ve pişme sıcaklıklarına göre gruplandırılması aşağıdaki Tablo 2.1’de belirtildiği gibidir.

**Tablo 2.1.** Porselenlerin Bileşim ve Pişme Sıcaklıklarına Göre Sınıflandırılması

**Kaynak:** .(Kibici, Y., 2002:32)

Porselen Türü	Kaolinit (%)	Feldspat (%)	Kuvars (%)	Pişme Sıc. (C)
<b>Sert Porselen</b>	40-60	18-30	12-35	1400-1500
<b>Yumuşak Porselen</b>	30-40	25-40	30-40	1280-1350
<b>Elektro Porselen</b>	40-50	20-28	22-40	1300-1350
<b>Steatit Porselen</b>	10-20	75-85	5-10	1280-1350
<b>Frit Porselen</b>	30-50	25-35	25-35	1200-1300
<b>Kemik Porselen</b>	20-30	25-30	25-50	1220-1300
<b>Sağlık gereçleri Porseleni</b>	25-40	30-36	25-45	1230-1280
<b>Laboratuar Porseleni</b>	60-65	15-30	10-15	1450-1500
<b>Diş Porseleni</b>	20-30	50-60	10-20	1200-1280

### **2.2.1. Sert Porselen**

Sert porselenler, 1350-1400 C sıcaklıkta, indirgen ortamda pişerler. Bünyede %50 kaolen, %25 kuvars ve %25 feldspat bulunmaktadır. Su emme değeri %0'dır. Yüksek sıcaklıkta pişmesinden dolayı oluşturduğu kimyasal yapı sayesinde darbe dayanımı yüksektir. Yüksek sıcaklıkta pişmesinden dolayı hijyenik özelliği güçlüdür, mikrop barındırmaz. Ayrıca diğer porselenlerden en önemli farkı yüzey sertliğidir. Mohs sertlik sıralamasında sertliği 5'tir.. Kendine özgü porselen beyazlığı vardır.

### **2.2.2. Yumuşak Porselen**

1220-1270 C sıcaklıkta, atmosferik koşullarda pişirilir. Sert porselene kıyasla daha fazla miktarda feldspat, daha az miktarda kaolinit içerdiği için düşük sıcaklıklarda pişirimi gerçekleşebilmektedir. Daha düşük sıcaklıkta pişmesinden dolayı mekanik dayanım ve yüzey sertliği sert porselene göre daha düşüktür. Kendine özgü kremi beyazlığa sahiptir.

### **2.2.3. Elektro Porselen**

Elektriksel yalıtımı sağlayabilmek için; Yüksek gerilim izolatörlerinde, elektrik sigorta porselenlerinde, elektrik anahtar ve şalter porselenleri gibi yerlerde kullanılır. Elektro porselenlerin iletkenlerden gelebilecek yükleri güvenle taşıyabilmesi için mekanik dayanımları yüksek olmalıdır.

Porselen izolatörler kil, kaolen, kuvars, feldspat alüminyum oksit gibi hammaddelerin belirli oranlarda karıştırıldıktan sonra öğütülüp şekillendirilip pişirilmesiyle elde edilir. Elektro porselenlerin seramikten yapılmasının sebebi kimyasal, mekanik ve dielektrik özelliklere zarar vermeden yüksek ısıya dayanıklı olmasını sağlamaktır. Yaklaşık 1300 °C'de pişirimi gerçekleşir. (Bilgin A.E.,s 4).

### **2.2.4. Steatit Porselen**

Elektroporselenlere göre, kristal yapısı ve düşük cam faza sahip olmasından dolayı daha fazla elektriksel yalıtım ve mekanik dayanıma sahiptir

### **2.2.5. Frit Porselen**

Işık geçirgenliği fazla olan porseleni düşük sıcaklıklarda elde edebilmek için feldspat yerine frit kullanılarak elde edilir.

### **2.2.6. Sağlık Gereçleri Porseleni**

Sağlık gereçleri porselenleri, kullanım amaçlarından dolayı hijyen ürünü olduklarından ötürü masselerindeki su emme miktarının düşük olması gerekmektedir. Ebat ve



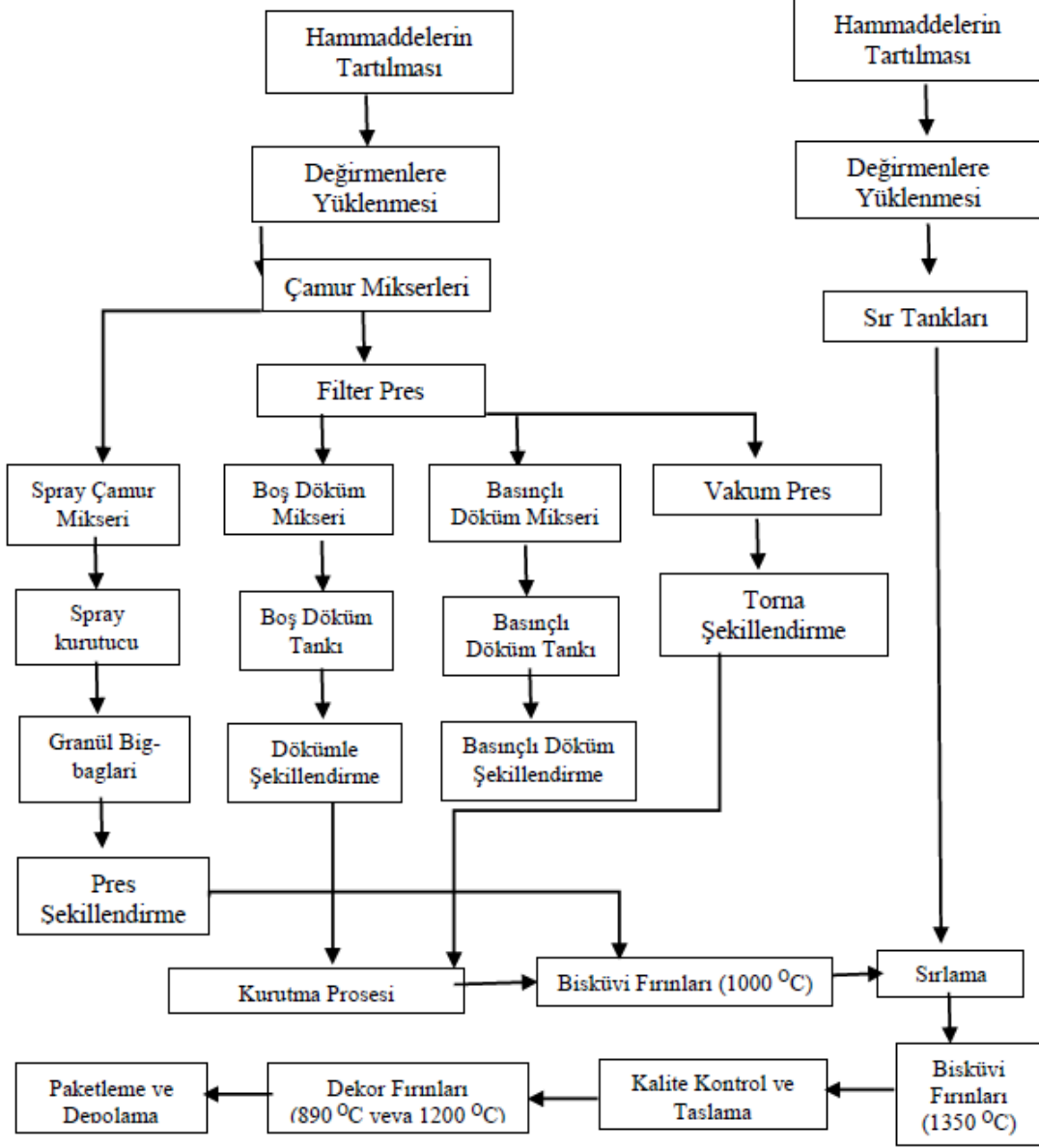
hacim olarak büyük ürünler olması sebebiyle pişirim sırasında deforme olmaması için %0 olmasada %1 'e yakın su emmeye sahiptirler. Sağlık gereçleri üretiminde kullanılan sırlar yarı porselen opak sır grubuna girer

### **2.2.7. Laboratuvar Porseleni**

Bu üretim türünde, laboratuvar kaplarının ,asit ve ısıl şoka dayanımının yüksek olması amaçlanmıştır. (Güner Y., s191-203)

### 3. PORSELEN ÜRETİM TEKNOLOJİSİ

Porselen üretimi hammadde hazırlama, şekillendirme, bisküvi pişirimi, sırlama, sırlı pişirim, dekorlama olmak üzere altı aşamada yapılmaktadır. (Özen P.s.9) Şekil 3.1. Porselen üretimi akış şemasını göstermektedir.



Şekil 3.1. Porselen üretim teknolojisi şeması

Kaynak: (Özen P.2015;9)

### 3.1. Hammadde Hazırlama

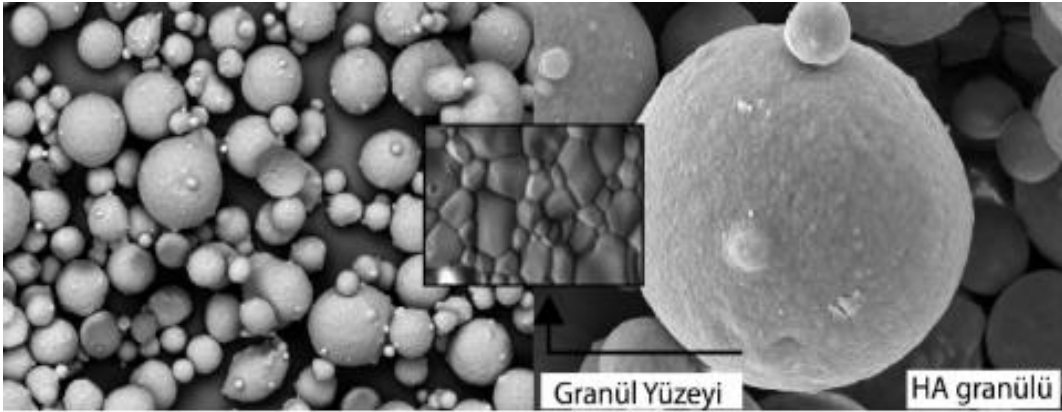
Üretim, hammaddelerin hazırlanmasıyla başlar. Öncelikli olarak stok alanına gelen hammaddelerden alınan numunelerin kimyasal analizi, tane dağılım analizi, pişme rengi ve fiziksel testleri gerçekleştirilir. Proses tarafından onaylanan hammaddelerin stok girişleri yapılır. Hammaddeler araştırma-geliştirme departmanının çalıştığı reçetelerde belirtilen miktarlarda tartımı yapılarak değirmenlere yüklenir.

### 3.2. Şekillendirme

Pres ile şekillendirme, plastik şekillendirme ve döküm ile şekillendirme olmak üzere 3 farklı şekillendirme prosesi vardır.

#### 3.2.1. Pres ile Şekillendirme

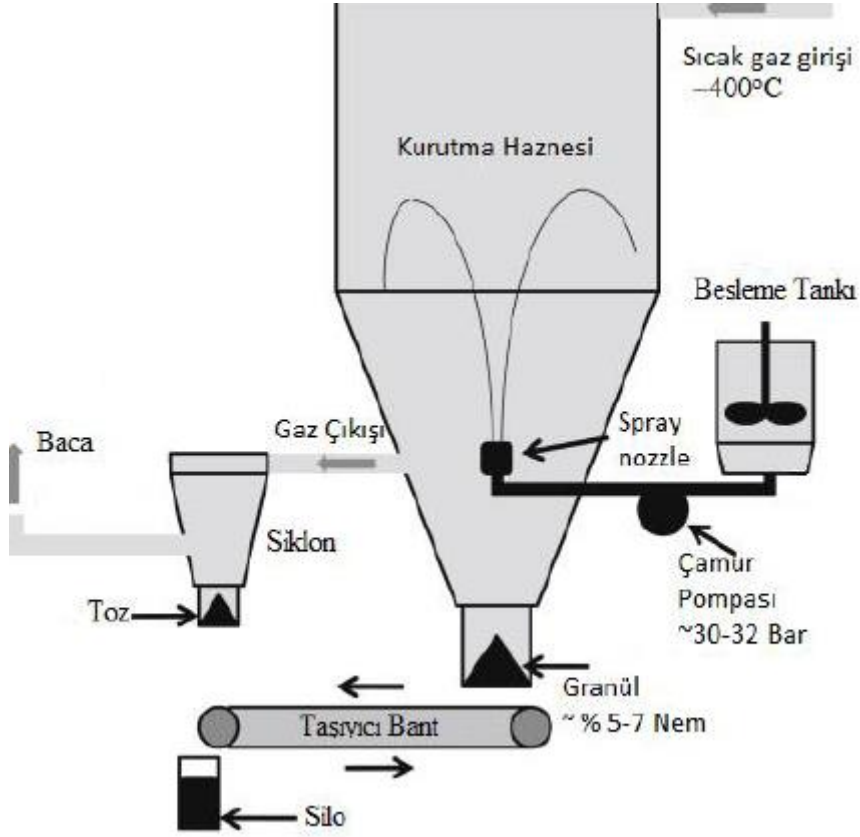
Şekillendirme işlemi izostatik presleme yöntemi ile pres makineleri sayesinde gerçekleşir. Hammadde hazırlamadan temin edilen granüllerde presleme işlemi gerçekleşir. Granül, sprey kurutucuda çamurun bazı katkılarla (deflokulant, plastikleştirici ve yağlayıcı) önce püskürtülmesi ve sonra kurutulması sonucu istenilen tane boyutu ve rutubette içi boş taneciklerin üretilmesi ile oluşur. Hammadde hazırlamada değirmenlerde hazırlanan çamur havuzlardan pompalar yardımıyla sprey kurutucuya gelir. Nozullardan çamur püskürtülür. Basınçla püskürtülen çamur ısıtılan havanın etkisiyle granül haline gelir. Şekil 3.2'de püskürtmeli kurutucudaki SEM görüntüleri görülmektedir.



Şekil 3.2. Püskürtmeli kurutucu SEM görüntüleri

Şekil 3.3 'de püskürtmeli kurutucunun çalışma prensibi görülmektedir. Granüllerde nem oranı önemlidir. Düşük nemli granül, mamulün şekillendirilmesi zorlaştırırken yüksek nemli granül ile üretimde kalıba granül aktarımı zorlaşır ve akışta problemlere neden olur. İzostatik presin özelliği, bir sıvı aracılığı ile basıncın parçanın her yerine eşit şekilde homojen dağılabilesidir. Preslerde granülü alıp presleyebilmek için kalıba ihtiyaç duyulmaktadır.

Modelhane bölümünde çalışılıp üretilen kalıplarla işlem yapılır. Kalıpların dış kısmı çeliktir. Membranın oturduğu yağ basıncı ile sıkıştırma yapılan kısım alüminyum malzemeden yapılmıştır. Membran ise poliüretan malzemeden yapılmıştır.

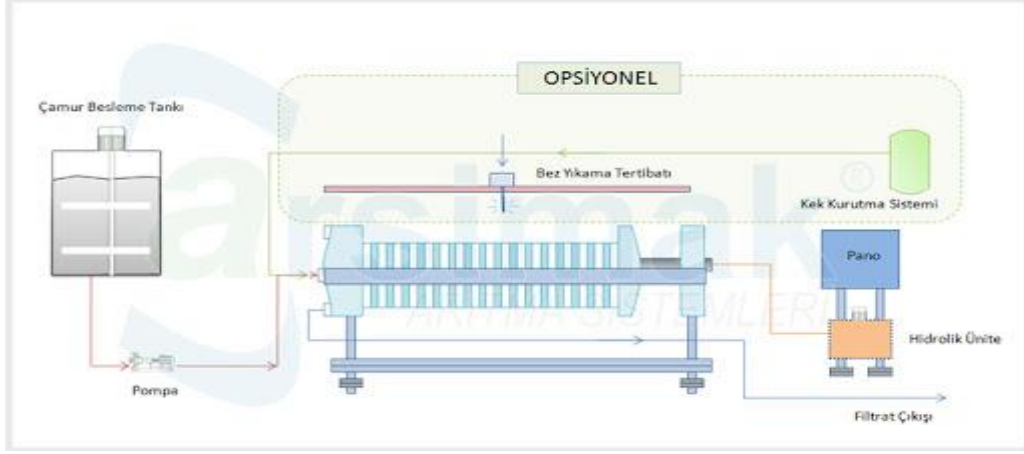


Şekil 3.3. Püskürtmeli kurutucunun çalışma prensibi

(Mehrotra,2014:229)

### 3.2.2. Plastik Şekillendirme

Plastik şekillendirme yöntemi aynı zamanda torna ile şekillendirme yöntemi olarak da adlandırılır. Hamur hazırlamada, hazırlanan sucuklar (vakumla hazırlanmış çamur) plastik şekillendirme malzemesidir. Torna tezgahında üretilecek ürünün şablonu çizilir. CNC 'ye uygun hale getirilir. Plastik şekillendirme yöntemi ile kase, kupa ve fincan gibi simetrik ve yuvarlak ürünler üretilir. Torna ile şekillendirmede Çamur değirmende karıştırıldıktan sonra çamur suyu filter presle süzülür. %15-20 nem oranında bir hamur haline getirilir. Filter pres çalışma prensibi, yüksek basınçlı pompalarla beslenen çamurun filter pres plakaları üstüne giydirilmiş filtre bezlerinden süzülmesi ile katı partiküllerin filtre plakaları arasında kalması, suyun dışarıya atılması mantığı ile çalışır. Filter pres odacıklarında biriken kekler 1-2 cm'lik kalın diskler şeklindedir. Bu kekler vakumlu presten geçirilip istenilen ebat ve sertlikte sucuk haline getirilir. Şekil 3.4'te filter pres çalışma prensibi gösterilmektedir.



**Şekil 3.4.** Filter pres çalışma prensibi  
(Arsimak Kataloğu)

Ürün, Çizimi ve tasarımı yapılan plakalar sayesinde torna tezgahlarında belirli bir devir ve hızla kalıplara form kazandırılır. Şekillendirme işleminden sonra kuruyan ürün kalıplardan alınabilir hale gelir. (Heinrich ve Gomes,2015)

### 3.2.3. Döküm ile Şekillendirme

Bir kalıba çamuru dökerek şekillendirme yöntemi yaklaşık 150 yıl öncesine dayanmaktadır. Basınçlı döküm yöntemi ile fırın kapları, kayık tabaklar, dolu döküm şekillendirme yöntemi ile oval tabaklar, biblolar, boş döküm şekillendirme yöntemi ile tuzluk, biberlik, kürdanlık, sosluklar üretilmektedir. İyi bir döküm çamurunun maksimum katı madde oranında yüksek akışkanlığa sahip olması gerekir. Döküm çamurunun vizkozitesi, tiksotropisi ve et kalınlığı alma süresi kontrol edilmelidir.

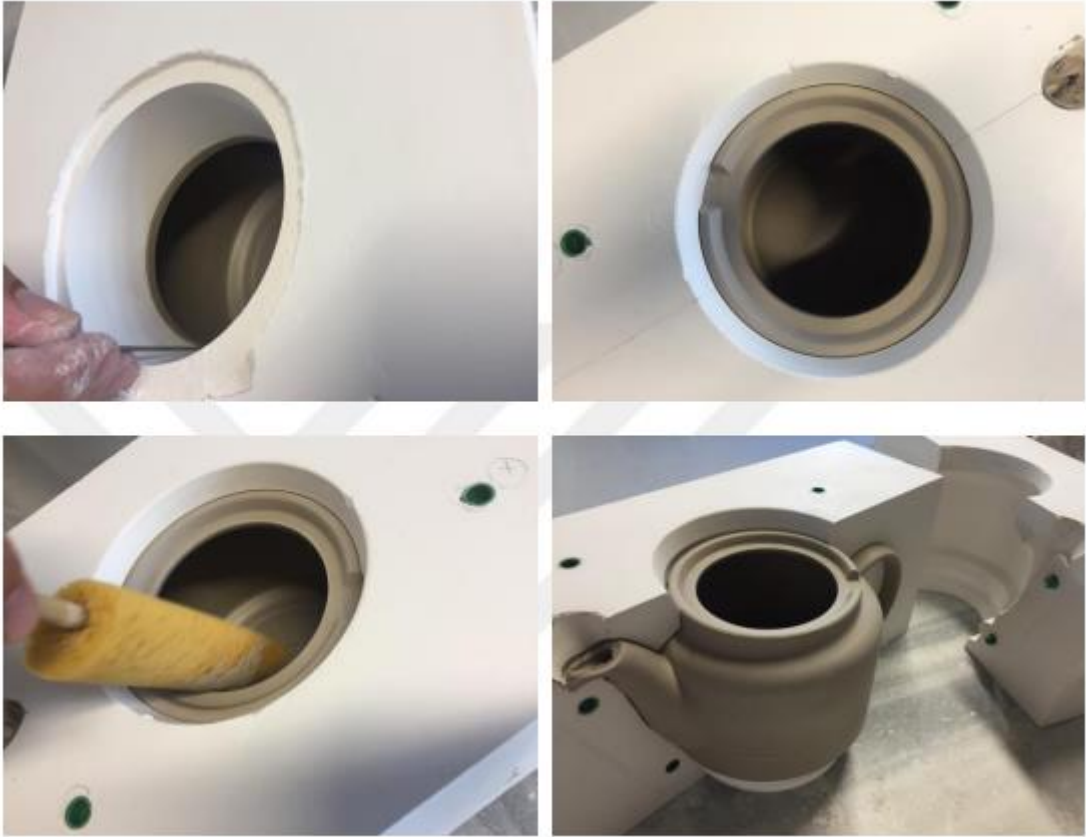
Alçı kalıplarda döküm çamurlarının şekil alabilmesi için bazı özellikler vardır.

- Alçı kalıp tarafından suyun emilebilmesi
- Döküm çamurunun tiksotropi kontrollerinin yapılması
- Kullanılan deflokulant tipi (sodyum karbonat, sodyum silikat ilaveleri)

Dökümle şekillendirme prosesi, çamura bazı kimyasalların ilavesi ve minimum su oranı ile dökülmesi ve alçı kalıptan çıkarılması esasına dayanır. Kullanılan alçı kalıpların ömrü 60-80 kalıp arasındadır. Dolu dökümde, sıkıca kapatılan alçı kalıplara çamur dökülür. Çamur istenilen et kalınlığını aldıktan sonra kalıptan ayrılır. Mamul çıkartılır ve rötuş gereken yerleri rötuşlanır. Çıkarılan kalıplar ise bir sonraki döküm işlemi için kurumaya bırakılır. Boş dökümde ise proses doldurma boşaltma olarak ilerler. Kalıbın kuruması beklenmez. Doldurma boşaltma arasındaki süre et kalınlığını belirler. Çamur kalıba belirli bir hızla

doldurulur. Bu hız bütün proses boyunca sabittir. Klasik döküm ile şekillendirme Şekil 3.5'teki gibi yapılmaktadır.

Basınçlı dökümde polimer kalıplar kullanılmaktadır. Kalıbın yapısında gözenekler bulunmaktadır. Pompa ile basılan çamur 30 bar basınçla bu gözeneklerden basılır ve çamurun kalıba dolması beklenir. Şekillendirme süresi ürünün boyutuna göre değişir. Süre dolduktan sonra kalıplar açılır. Şekillenen ürünler vantuz yardımıyla alınır. Basınçlı dökümde bir kalıp ömrü ortalama 40.000 adettir.



**Şekil 3.5.** Döküm ile şekillendirme  
(Özkan G,2019;25)

### 3.3. Bisküvi Pişirimi

Porselen üretiminde 2 çeşit pişirim vardır. Bisküvi pişirimi ve sırlı mamul pişirimi. Bisküvi pişirimi ürünün ısı ilk temas ettiği yerdir. Şekillendirmeden gelen mamullerin nem oranlarının %2'nin altında olması gerekmektedir. Bu değer üzerinde olursa ürünlerde sinterleme sırasında patlama ya da fırın çıkışında çatlak meydana gelebilir. Yaklaşık 12 saat 1250°C 'de pişirim gerçekleştirilmektedir. Bu pişirimden sonra gövde nemini atar. Gövde

içerisindeki bütün organik bileşimler fırında oksijenle reaksiyona girerek bünyeden atılır. Fırınlanan ürün artık kolay kırılğan özelliğini kaybetmiştir, daha dirençli hale gelmiştir

### 3.4. Sırlama

Sır, bisküvi pişiriminden sonra yapıda oluşan gözenekleri kapatarak bünyeye parlaklık ve pürüzsüz yüzey görünümü sağlayan bileşendir. Aynı zamanda uygulanan yüzeyde asit ve bazlara karşı dayanım sağlarken çarpma ve darbelere karşı mukavemetini de artırır. Hijyenik olarak mikroorganizmaların oluşumunu önler ve temizleme kolaylığı sağlar. Seramik ürünlerin aynı zamanda estetik değerini artırır. Sır altına uygulanan dekorun zarar görmesini engeller. Tablo 3.1’de sır hazırlamada kullanılan hammaddeler gösterilmiştir.

<b>Bazlar</b>	Ergitici olarak kullanılır. RO ve RO <sub>2</sub> kimyasal formülü kullanılır.	PbO, CaO, ZnO, Ba <sub>2</sub> O, MgO, K <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<b>Amfoterler</b>	Hem asidik hem bazik özellik gösterir.	Genel temsilcisi Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<b>Asitler</b>	Cam oluşumunu sağlar. RO <sub>2</sub> kimyasal formülüdür.	SiO <sub>2</sub> , B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

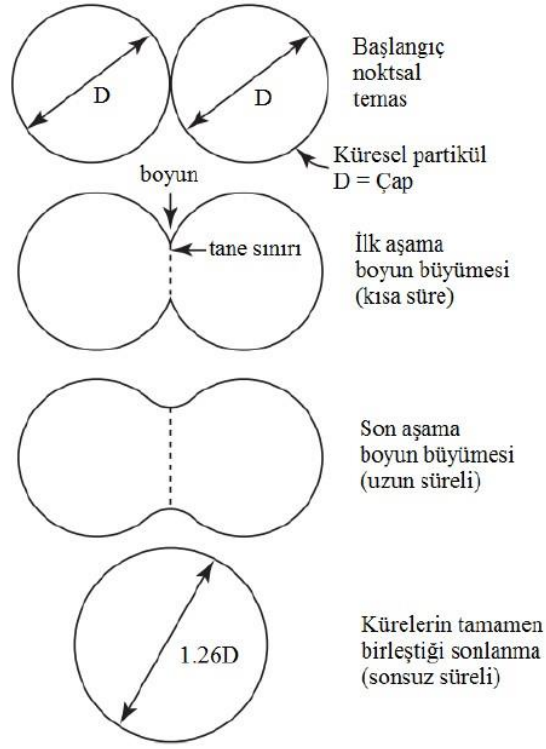
**Tablo 3.1.** Sır Hazırlamada Kullanılan Hammaddeler

(Özen P.,2015;5)

### 3.5. Sırlı Pişirim

Sinterleme gözenekli yapıdaki şekillendirilmiş ürün içerisindeki toz parçacıklarının birbirine bağlanmasını ve bunun sonucunda yoğunlaşmayı kapsayan bir ısıtma işlemidir. Bu bağlanma ergime sıcaklığının altındaki katı halde atom hareketleriyle meydana gelir. Ürünün mukavemetini arttırmak için yapıdaki gözeneklerin kapanması gerekmektedir. Partikül hareketlerinin Şekil 3.6’da gösterildiği sinterleme aşağıdaki aşamalarda gerçekleşmektedir.

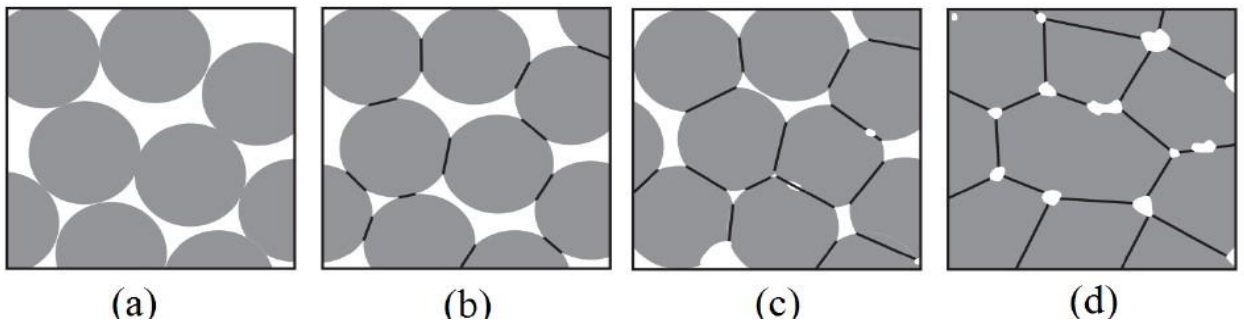
- 1.Aşama: İlk nokta dokunması
2. Aşama: Başlangıç boyun büyümesi.
3. Aşama: Sonuç boyun büyümesi
4. Aşama: Birleşmiş küreler



**Şekil 3.6.** Sinterleme aşamasında partikül hareketler

(Cura M.E.,2002;12)

İlk aşama, parçacıkların birbirinden bağımsız olarak büyümesi olarak tanımlanır. Sıkıştırma olmadan temas küçük noktalarda başlar. Isıtma başladıkça ortam yayınımlı olur. Bu aşamada boyut değişimi görülmez. Mukavemette artış olur. Ara aşamada, gözenekler yuvarlaklaşır. Etrafındaki kavis itici güç oluşturur. İç bölgeleri doldurur. Bu aşamada boyunlar birbiri ile etkileşir ve gözenekler hala açıktır. Sinterleme ilerledikçe gözenekler küçülür ve son aşamada, tamamen kapalı hale gelir. Tam yoğunluğa yaklaşırken tane büyümesi hızlanır. Şekil 3.7’de sinterleme sırasında partikül yapısındaki değişim gösterilmektedir.



**Şekil 3.7.** Sinterleme sırasında partikül yapısı değişimi

(Cura M.E.,2002;10)



Porselen üretiminde, pişirim sırasında ulaşılan yüksek sıcaklık %15-20'ye varan küçülmeye neden olur. Küçülmeden kaynaklı şekil değişimi görülmeye başlanır. Bu sebeple pişirim öncesi küçülme göz önüne alınarak sıcaklık hesaplaması yapılır. Pişirim sırasında gövdede bulunan Kaolinin ilk kimyasal değişikliği Tablo 3.2'de gösterildiği gibi 500-550°C 'de gerçekleşir ve reaksiyonlar 1000°C 'de gerçekleşin müllit oluşumuna kadar devam eder. Müllit kristalleri porselene, mekanik, kimyasal, termal şok ve elektriksel anlamda mukavemet kazandırır.

**Tablo 3.2.** Kaolinin Dönüşümleri

Dönüşüm Reaksiyonları	Dönüşüm Sıcaklıkları
$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O \rightarrow Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 (Metakaolinit) + 2H_2O$	500°C-550°C
$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \rightarrow Al_2O_3 + SiO_2$ (Amorf hale geçer.)	800°C-850°C
$Al_2O_3 + SiO_2 \rightarrow Al_2O_3 \cdot SiO_2$ (Silimanit)	900 °C
$Al_2O_3 + 6SiO_2 \rightarrow 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + SiO_2$ (Müllit)	1000 °C

Sırlama işlemini yaptıktan sonra sinterleme süreci başlar. Sırlanan mamullerin fırın plakasına yapışmaması için önce ayakları silinir ve fırına yüklenir. Fırın plakaları silisyum karbürden yapılmıştır. Sırlı pişirim 1300-1350 °C 'de yapılır. Yaklaşık 8 saat sürer. Gövdede belirli oranda demir oksit ( $Fe_2O_3$ ) bulunmaktadır. Oksidatif pişirim yapılırsa  $Fe_3O_4$  oluşur ve bünyede sarımsı bir renk gözlenir. Bunu engellemek için indirgen ortamda sinterleme yapılır ve eşitlik 3.1 'de verilen reaksiyon sonucunda FeO oluşumu sağlanır.



Redükleyici atmosfer en yüksek sıcaklığa kadar devam eder. Pişirim son bulduktan sonra porselenin üzerindeki sırlın türüne göre soğutmada nötr ya da oksidatif bir atmosfer uygulanır. (Iqbal ve Lee, 2000)

### 3.6. Dekorlama

Dekorlama işlemi, sırlı pişmiş mamul üzerine estetik değerini arttırmak için uygulanır. Ayrıca beyaz ürünün değerini arttırmak ve form üzerinde görülen hataları kapatmak için de kullanılır.

Dekorlama yöntemleri;

#### 1. Montaj (Desen Uygulaması)

- Sır içi desen
- Sır üstü desen

## 2. File Çekim

- Altın
- Platin
- Bronz
- Boya bant

## 3. Püskürtme yöntemi ile dekorlama şeklindedir.

### 3.6.1. Montaj (Desen Uygulaması)

Montaj ürünlerinde desenler dekal kağıt adı verilen bir sulu çıkartma kağıdına basılır. Desen tasarımcılar tarafından çalışıldıktan sonra filme gönderilir. Film baz alınarak desen ipek kumaştan yapılmış eleklerle aktarılır. Desende kullanılacak boyalar ragle yardımıyla elekten dekal kağıdına (sulu çıkartma kağıdı) aktarılır. Dekal kağıda hazırlanan desenler sırlı pişirimi tamamlanmış ürünlere aktarılmak üzere hazırlanmıştır. Dekal kağıt 20-30°C sıcaklığındaki suda ıslatılır ve ayrılması beklenir. Desen kağıttan mamul üzerine alınır. Ragle yardımıyla mamul üzerine uygulanır. Şekil 3.8'de kağıt üzerine desen ve bu desenin uygulanması ile elde edilmiş sofraya eşyalarının görüntüleri verilmiştir.

Desen uygulaması sır içi ve sır üstü olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Sır içi desen uygulamasında, desende kullanılan boyalar 1200°C 'de gelişebilen boyalardır. 1200-1250°C sıcaklıkta pişerler bu sıcaklıkta mamul üzerindeki sırda eridiği için boya sıranın içine işleyebilmektedir. Sır üstü desen uygulamasında ise desende kullanılan boyalar 850°C' de gelişebilen boyalardır. 850-890°C arasındaki sıcaklıklarda pişerler



**Şekil 3.8.** Dekal desen uygulaması

(Kaynak: Porland Porselen)

### **3.6.2. File Çekimi**

File çekiminde, pişmiş mamul üzerine altın, platin, bronz ve boya bant uygulamaları yapılmaktadır. Fırça yardımıyla uygulama yapılır. Montaj uygulamasında olduğu gibi sır içi ve sır üstü olmak üzere değerli metal ve boya uygulamaları yapılmaktadır. Uygulamanın özelliğini belirleyen kullanılan değerli metal ya da boyanın geliştiği sıcaklık derecesidir. 1200°C’de gelişebilen değerli metal ya da boyalar sır içi uygulama 850°C’de gelişebilen değerli metal ya da boyalar sır üstü uygulama olarak adlandırılır.

### **3.6.3 Püskürtme**

Pişmiş mamul üzerine püskürtme yöntemi ile boya uygulaması yapılmaktadır. Püskürtme işlemi pistole yardımıyla yapılır. Pistole haznesine doldurulan boya pistole ucundaki nozul sayesinde basınçla mamul üzerine uygulanır. Amaç yüzeyin tamamını sır ile kaplayabilmektir.

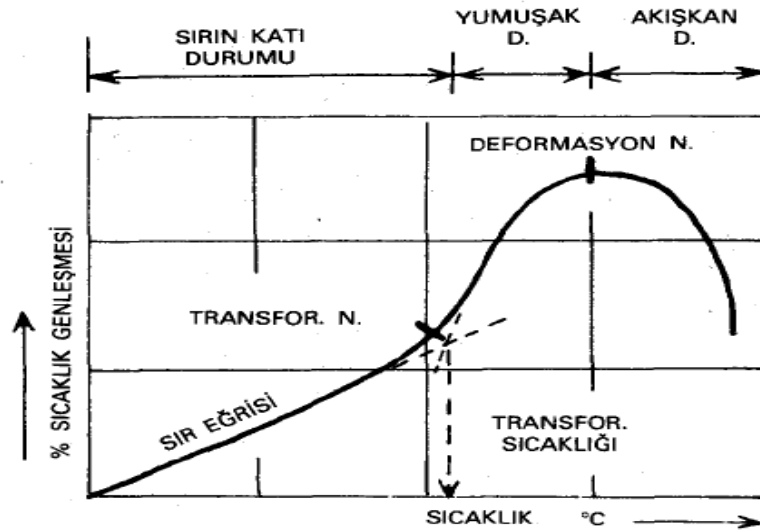
#### 4. SIRLAR

Belirlenen oranlarda hammaddelerin öğütülerek hazırlanmasıyla ve seramik bünye üzerine uygulandıktan sonra pişirilmesiyle oluşan cam yapıya sır adı verilir. Seramik sırnın erime noktası üzerine uygulanan çamurdan daha düşüktür. Sırın uygulandığı bünye ile fiziksel ve kimyasal bağ kurması önemlidir. Seramik ürünlerde sırnın uygulama amacı,

- Üzerine uygulanan bünyeyi sıvı ve gazlardan korumak,
- Bünye üzerinde parlak bir yüzey oluşturmak,
- Seramik yüzeyde estetik değeri arttırmak şeklinde sıralanabilir.

Belirli bir oranda oluşturulan silikat karışımın, belirli bir sıcaklıkta eritilmesi sonucu elde edilen bileşim sır olarak tanımlanabilir. (Kartal, 1998:18)

Sırın ergimesi, bir sıcaklıkta gerçekleşmez. Bir dizi kimyasal reaksiyon sonucunda gerçekleşmektedir. Sıcaklık arttıkça, sinterleme ile birlikte sır akışkan hale geçer. Şekil 4.1'de sıcaklıkla orantılı olarak değişken akışkanlık eğrisi verilmektedir. Dilometre eğrisi ile bir sırnın dönüşüm ve deformasyon noktaları, belirlenebilmektedir.



Şekil 4.1. Sıcaklıkla orantılı olarak akışkanlık eğrisi

(Sümer G.1992;78)

Sırlama prosesinin başarısının yüksek olabilmesi için katı konsantrasyonunun çok iyi ayarlanmış olması gerekir. Katı oranı az olan sır uygulanan, gövde ince, katı konsantrasyonu yüksek olan sır uygulanan, gövde ince, katı konsantrasyonu yüksek olan sır uygulanan gövde kalın sırlanır. Sırlama prosesine gelecek gövdenin minimum hata ile gelmesi gerekir. Et kalınlığı fazla olan gövdelerde bisküvi pişirimi yapılmadan sırlanabilir. Fakat bisküvi pişirimi

yapılan ürünlerde hata çıkma oranı düşüktür. Sırlanacak gövdenin, tozsuz, yağsız ve kuru olması gerekmektedir. Yoksa topaklanma, sır tutunamaması gibi hatalar ortaya çıkar. Sırlama prosesine gelen gövdede et kalınlığı ince ise sırlama sırasında hızlı ıslanır ve suyu dışarıya atar. Sırlama 3 farklı şekilde yapılır;

- Daldırma Yöntemi ile Sırlama
- Püskürtme Yöntemi ile Sırlama
- Elektrostatik Sırlama

*Daldırma yöntemi ile sırlamada* mamulün tüm yüzeyinin sırlanmasının istenir. İlk pişirimi yapılmış bisküvi ürünlerde bu yöntem daha çok tercih edilir. Ham ürünlerde bu yöntem uygulandığı zaman ürünlerde deformasyon, mukavemet kaybı ve çatlaklar görülmektedir. Düzgün bir yüzey elde edebilmek için ürünün tamamının aynı oranda su emmeye sahip olması gerekir. Sırlama yapılırken sır dolu kazana ürün daldırılır ve beklemeden çıkarılır. Ürünlerin ayak kısımları yapışmaması için silinir. Gövde ince ise daldırma yöntemi ile sırlama yapılabilmesi için bisküvi pişiriminin yapılmış olması gerekir. Gövde kalın ise ham halde de daldırma ile sırlama yapılabilir. Gövde sıra daldırıldığında, sır içindeki tutulma süresi et kalınlığına göre değişebilir. Daldırıldığında sır alamayan yerler rötüş fırçası yardımıyla tamamlanır.

*Püskürtme yöntemi ile sırlamada* daldırma ile sırlamanın mümkün olmadığı durumlarda kullanılır. Püskürtme sırlama, pistole adı verilen püskürtme tabancaları ile yapılır Pistole basınçlı hava sistemine bağlıdır. Sır basınçlı hava sayesinde yüzeye ulaşır Hava basıncı, pistoleye gen sır miktarı, pistole ucundaki nozuldan çıkan yayılma açısı, püskürtme ağız açıklığı, püskürtme basıncı, püskürtme mesafesi, sırn kıvamı sırlamayı etkileyen parametrelerdir. (Sümer G. S 847-855)

*Elektrostatik sırlamada* düşük hava basıncı kullanarak, elektrik yükü altında sır taneciklerinin ürüne yapışması esasına dayanmaktadır. Tank içindeki sıra statik elektrik yükü verilir. Zıt kutuplarda bulunan sır molekülleri aynı kutuplara getirilmektedir. Bu elektrik yükünden dolayı gerekli olan hava basıncı düşürülmektedir. Kabin içine konveyör bant ile gelen mamul ıslatılarak iletken hale gelmekte ve metal tabla yardımıyla elektrik yüklü sır tanecikleri için bir çekim alanı oluşturulmaktadır. Mamuller temizlenip, tozlardan arındırıldıktan sonra ilk kabine girer. Hareketli pistoleler sayesinde sırlama kabinlerde gerçekleşir. (Kartal A. s. 40-53)

## 4.1. Sır Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

### 4.1.1. Feldspat

Kayaç oluşturan minerallerin başında gelir. Yer kabuğunun %60'ını oluşturur. Özsüz bir hammaddedir. Kil ve kaolenle karşılaştığında ergime derecesi daha düşük bir hammadde olur. Yapısındaki alkali ( $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$ ) oranına göre sinterleme ve camlaşmayı kolaylaştırır. Dünya genelinde üretilen feldspatların %60'ı seramik, %35'i cam, %5 'i kaynak elektrodu, kauçuk, plastik ve boya sanayilerinde kullanılmaktadır. Feldspat türleri aşağıdaki gibi listelenmektedir.

- Potasyum feldspat, ortaklaz:  $\text{K}_2\text{O}.\text{Al}_2\text{O}_3.6\text{SiO}_2$
- Sodyum feldspat, albit:  $\text{Na}_2\text{O}.\text{Al}_2\text{O}_3.6\text{SiO}_2$
- Kalsiyum feldspat, anortit:  $\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.6\text{SiO}_2$

Seramik üretiminde genelde potasyum ve sodyum feldspat kullanılmaktadır. Sodyum feldspatlara kıyasla potasyum feldspatların sinterlenme aralığı biraz daha geniştir. Bu nedenle ideal bir ergiticidir. Bu durum aşağıdaki gibi bazı endüstriyel avantajlar sağlar. (Arcasoy, Seramik Teknolojisi, 1983)

- Potasyum feldspatın yüksek viskozite özelliği göstermesinden dolayı vitrifikasyon, pişirim sırasında yüksek sıcaklıklarda deformasyon göstermeksizin gerçekleşir.
- İşletme fırınlarında, fırının farklı bölgelerinde sıcaklık değişkenlik göstermektedir. Potasyum feldspat sahip olduğu geniş ergime aralığından dolayı sıcaklık farklılıkları bu durumu etkilemez.
- Potasyum feldspat, 1150 C de düzensiz ergime gerçekleştirir. Geniş ergime aralığı vardır. Sodyum feldspat 1118 C de düzenli ergime gösterir. Kısa ergime aralığı vardır. İçerisinde bulunan alkaliden dolayı feldspatlar ergitici görev görürler. Kil, kaolen gibi alümina silikatların yumuşama noktasını düşürürler. İşletme şartlarında feldspat ergimesi ile camsı fazın viskozitesi, içine dahil olan farklı malzemelerin miktarları tane boyutu dağılımları ve sıcaklıklarından etkilenir.

Seramik üretiminde kullanılan bu feldspatların sıra kazandırdığı özellikler ise aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Ergimeyi kolaylaştırırlar.
- İçerisindeki alümina sayesinde çizilmeye karşı mukavemeti arttırırlar.
- Kırılma direncini ve darbe dayanımını arttırır.

- Isıl şoka karşı dayanımı, ısıl genleşme katsayısını düşürerek artırır.
- Kristalleşme riskini, devitrifikasyon sıcaklığının düşürerek azaltır.

#### 4.1.2. Kuvars

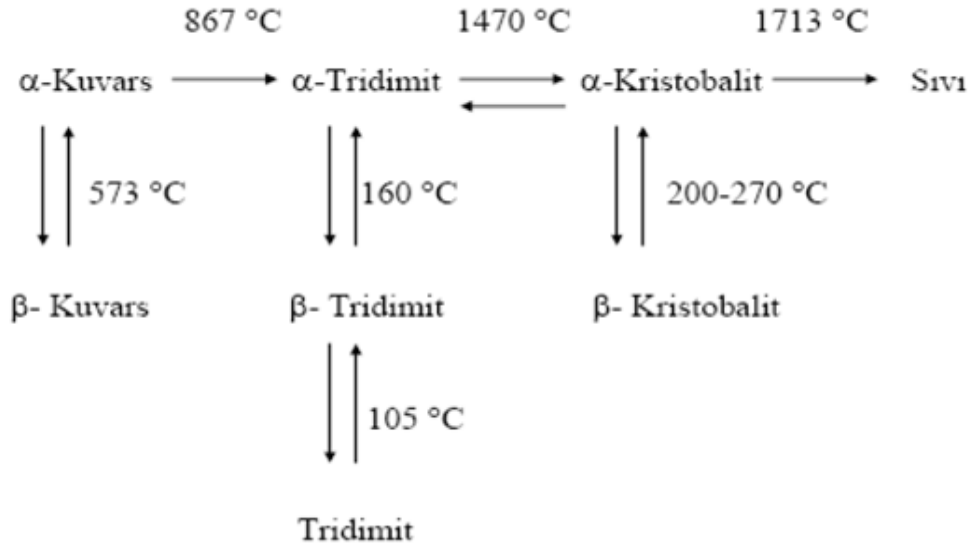
Silis, doğada kuvars halinde oldukça fazla miktarda bulunan bir hammaddedir. Kuvarsın içinde %46,7 Si ve %53,3 O bulunmaktadır. En saf kuvarsta bile %99,5 SiO<sub>2</sub> ve %0,5 Li, Na, K, Al, Fe, Mn ve Ti bulunmaktadır. Kuvars sert bir mineraldir. Sertliği mohs sertlik sıralamasında 7'dir. Özgül ağırlığı 2,7 gr/cm'tür. Ergime sıcaklığı yüksektir. Bu sebeple sır kompozisyonlarında tercih edilir. Ergime sıcaklığını düşürmek için sırda düşük tane boyutlu kuvars kullanılmalıdır. 45 veya 75 mikron altı tercih edilir. Doğada kristal (ametist, kuvars kumu) ve amorf (sileks, flint) halleri mevcuttur. Katı halde silis mineralinin 3 farklı kristal yapısı vardır;

- Kuvars
- Tridimit
- Kristobalit

Sıcaklık değişimiyle birbirlerine ya da farklı kristal yapılarına dönüşür. Silis, doğada kuvars halinde oldukça fazla bulunan bir hammaddedir. Polimorfizm sonucu tridimit ve kristobalit oluşur. Sıcaklığın etkisiyle, dönüşüm gerçekleşir. Dönüşümler kısaca  $\alpha$ -kuvars 573°C,  $\beta$ -kuvars 870°C, tridimit 1470°C, kristobalit 1723°C şeklinde olur. (Saçlı M.s.25,26) Şekil 4.2'de kuvars dönüşümleri gösterilmiştir.

1713°C'de kuvars erir ve camlaşır. Uzama katsayısını düşürür bu durum sırlarda erimiş durumda bulunan kuvarsın sır çatlamlarını engellemesine neden olur. Kuvarsın olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için feldspat, dolomit ve mermer ilave edilir. Kuvars ilavesinin çamura etkisi;

- Kuvars oranı arttıkça çamurun bağlayıcı özelliği ve kuru direnci azalır.
- Gözenek miktarı ve su emme pişmiş çamurda artar. (Kibici, Y., 2002)
- Isıl genleşme katsayısını belirli bir değerde tutarak katılaşmayı ve su emme değerinin belirli bir standart altında kalmasını sağlar.
- SiO<sub>2</sub> ısıl genleşme katsayısını düşürebildiği için genleşme farklılıklarından dolayı meydana gelecek sırlardaki çatlak gibi hataların giderilmesi içinde kullanılır. (Kingery,1967;87)



**Şekil 4.2.** Kuvarın poliformaları için dönüşümler ve hacimsel değişimler

(Kingery,1967;87)

#### 4.1.3. Kil ve Kaolenler

2 Mikrometreden küçük tane boyutuna sahip, tabakalı yapıda ısıtıldığında plastik hale gelen, sertleşen hidrate alüminyum silikat minerallerinden oluşan kayalara genel olarak verilen isme kil denir. Killer granit gibi magmatik kütlelerin ayrışması sonucu oluşur. Magmatik kütlelerin ayrışması sırasında granitler mika, kuvars ve en az kararlı olan feldspatlara dönüşmektedir.

Killer 5 grupta incelenir;

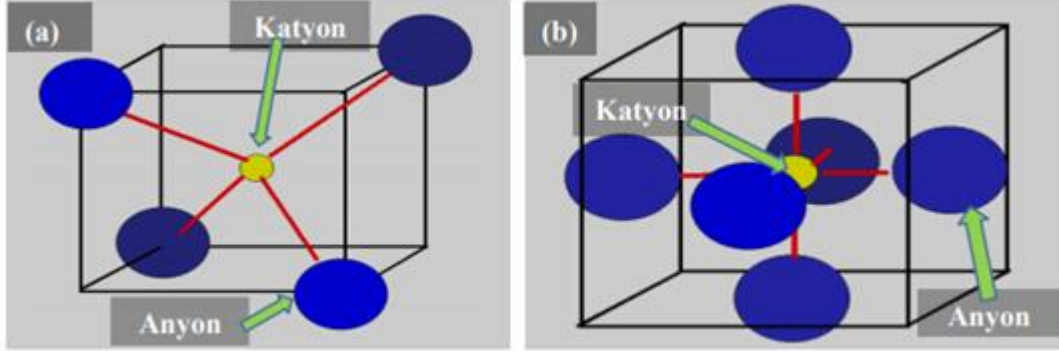
- Kaolin
- Bağlama kil
- Şamot (ateş killeri)
- Bentonit
- Fuller toprağı

İlk oluşumları yatak olan killere birincil kil, su ile taşınması ve yeniden rezerv oluşturan killere ikincil kil ismi verilir. Porselene plastiklik özelliğı veren killerdir. Plastiklik özelliğı, bir miktar su ile karıştırıldıktan sonra çatlama ve kırılma olmadan şekillenebilmesi ve bu yapıyı koruyabilmesi anlamına gelmektedir. Bu özelliğı elde edebilmesi için ilave edilen suya plastiklik suyu adı verilir. Özsüz hammaddeleri birbirine bağlama görevi görür. Bağlayıcılık özelliğı kullanımda en büyük tercih edilme sebebidir. Plastiklik oranı fazla olan



killer, kullanıldıkça pişme küçülme değerleri azalmakta bununla beraber su emme değerleri düşmektedir.

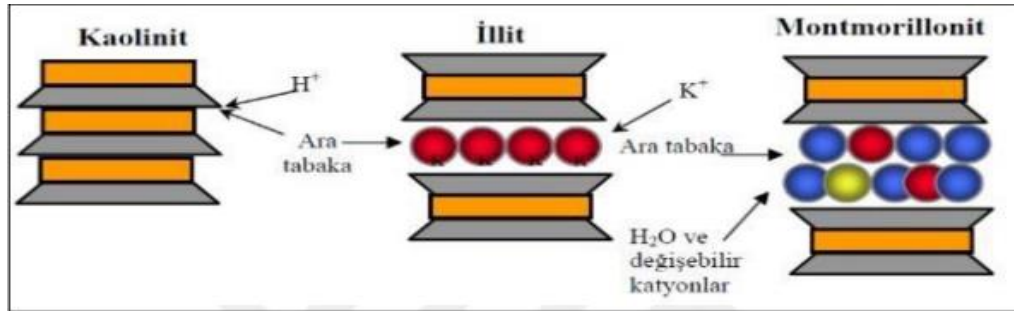
Kil mineralleri Şekil 4.3'te görüldüğü gibi tetrahedral (dört yüzlü) veya oktohedral (sekiz yüzlü) kristal levhalardan meydana gelir. Değişik bağ veya farklı iyonik metallere bağlanan levhalardan farklı kil mineralleri oluşur. (Brigatti, vd., 2006)



Şekil 4.3. Tetrahedron Yapı (a) ve Oktohedron yapı (b)

(Tığ M., 2021; 11)

Kil mineralleri sulu alüminyum silikatlardan meydana gelir.  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tetrahedranları ve oktohedranları çeşitli şekillerde levha oluşturarak birleşir. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi farklı özellikte kil grupları bulunmaktadır. (Tığ M., 2021)



Şekil 4.4. Kil grupları

(Tığ M., 2021; 12)

#### 4.1.4. Dolomit

Magnezyum karbonat ve kalsiyum karbonat bileşiminden oluşan ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) endüstriyel bir mineraldir. Bileşiminde ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) %56  $\text{CaCO}_3$ , %44  $\text{MgCO}_3$  bulunmaktadır. Mosh sertlik sıralamasında sertliği 3,5-4, yoğunluğu  $2,8-3 \text{ g/cm}^3$  tür. Kalsinasyona uğradığı zaman 4.1'de verilen reaksiyona göre karbondioksit uzaklaşır. ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3 \rightarrow \text{CaO} \cdot \text{MgO} + 2\text{CO}_2$  (4.1))

CaO.MgO kalsine dolomit elde edilir. Bu işlem sırasında 1850-1900°C 'de ısıtma işlemi gerçekleştirilirse sinter dolomit oluşur. 1600°C'de demir oksit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ile birlikte yakıldığında yanmış dolomit elde edilir. Saf halde iken dolomit renksizdir. Ancak pembe, kirli beyaz ve kahverengi halde de bulunabilir. Ticari dolomitler 1925°C-2495°C 'de ergir. Bileşimi %30,4 CaO, %21,8 MgO ve %47,8 CO<sub>2</sub>'dir. Ocaklardan temin edilen dolomitler kırılıp öğütülerek kullanılır.

#### 4.1.5. Boraks

Sır bileşiminde bulunmaktadır. Ergitici olarak kullanılır. Viskoziteyi düşürür ve yüzey gerilimini azaltır. Gövdedeki çizilme, çatlak ve yüzey lekelenmelerine karşı mukavemet sağlar. Düşük sıcaklıkta gelişmesi istenen sırlarda kullanılmadan önce fritleştirilmelidir. Öğütülmüş hammadde bileşimlerinin kuru tartılıp karıştırılmasından sonra eritilip soğutulmasıyla elde edilen bileşime frit adı verilir. Fritin en önemli özelliği erime sıcaklığını düşürebilmesidir. Bu durumda pişme süresini kısaltmaktadır. Frit, yüksek sıcaklıkta ergitildiği için içinde bulunduğu sırda düşük sıcaklıkta gelişebilme özelliği gösterir. Gelişme süresi düşük sırlarda boraks ilavesi ile pürüzsüz bir yüzey elde edilebilir.

#### 4.2. Sırlarda Aranılan Özellikler

**Ergime:** İstenilen sıcaklıkta maksimum sıvı cam oluşabilmesi için belirlenen noktalar. Silika esas cam yapıcıdır. Ve silikanın özellikleri diğer cam yapıcı oksitlerin (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ve niteleyici oksit ilavesi (ZnO, PbO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ile değişmektedir. Faz kurallarına bakıldığında farklı bir oksit ilavesi ergime derecesini düşürmektedir.

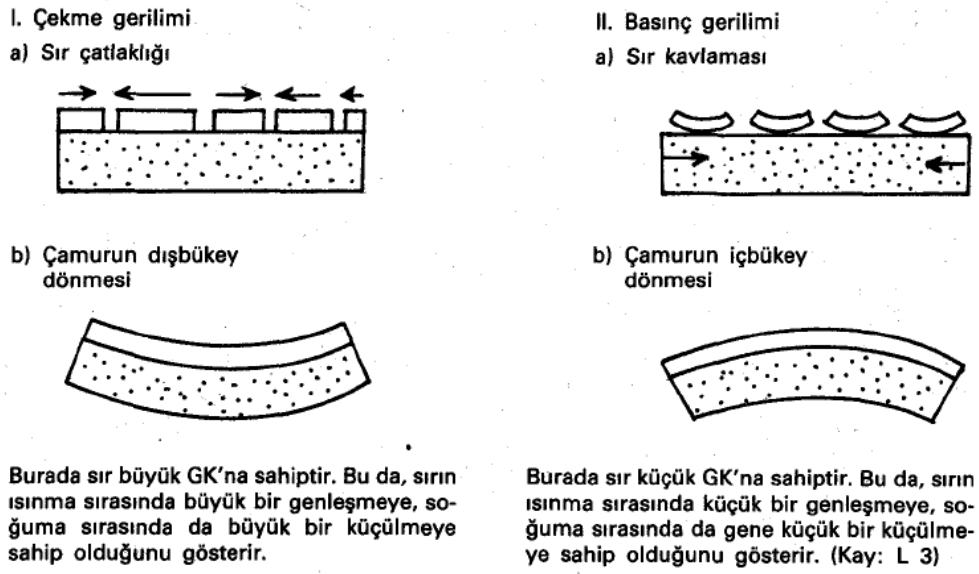
**Viskozite:** Viskozite sıvıların akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Seramik sırların ergime noktasını belirlemek zordur. Sebebi ise, sırn eriyip sıvı ya da katı akışkan olması durumunda geçen süreden dolayıdır. Katı akışkan durumu, sırn bileşenlerinin iç sürtünme güçleri ile açıklanmaktadır. Sırn ergiyebilir olmasını direk etkiler.

**Yüzey Gerilimi:** Sinterleme süresince sırların akış hızları yüzey gerilimi ve temas açılarıyla bağlantılıdır. Düşük yüzey gerilimi sinterleme süresince gaz kabarcıklarının açığa çıkmasına yardımcı olurken yüksek yüzey gerilimi soğuma sırasında hava kabarcıklarını absorbe edilmesine neden olur. Yüksek yüzey gerilimi büzülme adı verilen hataya sebep olur.

**Genleşme:** Sırn 1°C sıcaklık artışı ile gösterdiği genleşme, küçülme ölçüsüne genleşme katsayısı denir. Bir sırn üzerine atıldığı bünye üzerinde çatlama veya kavlamaya neden olmaması için genleşme katsayılarının birbiri ile uyumu gerekmektedir. Bünye ve sırn bir miktar birbirleriyle uyumamaları sonucu her zaman sırn hatası ortaya çıkmaz. Sırn

belli bir esnekliktedir. Sinterleme aşamasında olan sır pişmekte olan çamurdan gelecek genişleme ve küçülme gerilimleri karşılayabilir. Sır soğumaya başladığında bünye son soğuduğu noktadaki genişleme katsayısına uyum göstermesi gerekmektedir. Sır soğuma sırasında alttaki bünye daha fazla küçülürse, sır Şekil 4.5'te gösterildiği gibi çekme gerilimi altında demektir. Sırın genişleme katsayısı büyük ise sır çatlağı durumu ortaya çıkabilir. (Sümer G. S 611-620)

Sır çekme gerilimi ya da basınç gerilimi altındayken meydana gelen hatalar Şekil 4.5'te verilmektedir.



Şekil 4.5. Sır çekme ya da basınç gerilimi altındayken meydana gelen hatalar  
(Heinrich ve Gomes,2015)

### 4.3. Sır Çeşitleri

#### 4.3.1. Opak ve Mat Sırlar

Bünyelerinde farklı kırınım özelliklerine sahip olan fazların bileşiminde cam, kristal ve boşluk olabilir. Bu yapı örtücülük özelliğini arttırabilmektedir. Bünyelerin pişme rengindeki kirlilikler ve mikro çatlaklar örtücülük özelliğini arttırabilir. Bu yapıda önemli olan ışığın geri yansiyabilmesidir.

Fazın kırınım indisi ile cam yapının kırınım indisi arasındaki fark arttıkça ışığın geri yansması ve buna bağlı olarak örtücülüğü o kadar iyi olur. Mat kompozisyonlar oluşturabilmek için soğuma esnasında kristalleşebilme kabiliyetine sahip hammaddeler

kullanmak ve ateş bölgesinde sıırı ergitmek gerekir. Bu şekilde elde edilen kompozisyonlardan yüzeydeki konumuna göre opak ve mat bir görüntü oluşur. (Kartal A. s. 56)

Opak sırlar ışığı geçirmez. Ergimeyen veya eriyip tekrar kristalleşebilen pigmentler sırların opaklığını sağlar. Porselen sırlarında en yüksek opaklık sağlayan oksit SnO<sub>2</sub>'dir. SnO<sub>2</sub> pahalı bir oksit olduğu için kullanımda artık tercih edilmemektedir. Eriyiğin soğuma esnasında kristalleşebilmesi için uygun viskoziteye sahip olması ve soğutma hızının uygun şekilde belirlenmiş olması gerekmektedir. Kristal fazla soğuma esnasında ile eriyik faz arasında belirli sınırlar oluşturduğundan elde edilen sırlar yüksek opaklık göstermektedir. Hızlı soğuma parlaklığı artırır. Yavaş soğuma matlığı artırır. Opaklaştırıcı bileşenlerin kırınım indisleri Tablo 4.1'de belirtildiği gibidir.

**Tablo 4.1.** Opaklaştırıcı Bileşenlerin Kırınım Katsayıları

<b>SnO<sub>2</sub></b>	2-2,09
<b>TiO<sub>2</sub></b>	2,5-2,67
<b>ZrO<sub>2</sub></b>	2,2-2,4
<b>ZrO<sub>2</sub>.SiO<sub>2</sub></b>	1,92-2,05
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,77-1,76
<b>Mullit</b>	1,64-1,65
<b>Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	2,18-2,6
<b>As<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,87-2,01
<b>CeO<sub>2</sub></b>	2,33

Mat bir sırdaki kristallerin ışık kırınım indislerine göre opaklık derecesi belirlenir. Mat sırların matlık derecesini ayarlayabilmek için bazı katkıları kullanılır. Silika miktarı azaltılabilir ve alümina yerine kullanılabilir. Bu karışım çok refrakter olursa borik asit ile değiştirilebilir. Sodyum bileşikleri kalsiyum veya magnezyum ile değiştirirken bazı potasyum ve kalsiyum bileşikleri magnezyum ile değiştirilebilir. (Sümer G. S 667-671)

Mat sırların yüzeylerinin aşınma direnci, parlak sırlara nazaran daha yüksektir. Mat sırların bünye yüzeyine mekanik anlamda olumlu özellikler kazandırır. Matlık derecesi sırların yüzeyinde bulunan kristallerin oluşturduğu pürüzlülük durumlarına bağlıdır. Yüzeyde matlık elde edebilmek için sırların bileşimlerinin kristallenmesini kontrol altında tutmak gerekmektedir. Düzgün yüzey sağlayabilmek için kristalleşmenin homojen olması gerekmektedir. Mat sırların yüzey pürüzlülüğü parlak sırlara göre daha fazla olduğu için temizliği daha zordur.

#### **4.3.2. Transparan ve Parlak Sırlar**

Işık geçirgenliği olan sırlara transparan sırlar denir. Transparan sıra gelen ışık demeti sır tabakasını geçerek bünyenin rengini gösterir. Sırın transparan özelliği alabilmesi için uygulandığı bünyenin pişirim sıcaklığında tamamen ergiyebilmesi gerekmektedir. Transparan sırın özelliklerinden biri düşük viskozite ve yüzey gerilimine sahip olmasıdır. Sırdaki bileşenlerin ergiyebilmesi için yüksek sıcaklık ve uzun pişirme sürelerine sahip olması gerekmektedir. Soğuma esnasında kristalleşme olmaması istenmektedir. Sinterleme süresinin uzun tutulma sebebi bileşimindeki kabarcıkların bünyeden tamamen atılmasını sağlamaktır. Sır tabakası incelidikçe transparanlık artar. Frit kullanımını da sırda transparanlığı artırır.

Transparan sır mat özelliği göstermeyen sır demektir. Uygulandıkları bünyenin rengini göstermektedir. Renkli engop ve sır içi desenlere uygulanabilirlikleri vardır. Işık yayılımı yüksektir. Pek çok yüzeyde tercih edilebilmektedir. (Burlison,2001:s12-13)

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tabak ve bardak gibi porselen sofr ve süs eşyaları ürünlerine görsel algıyı arttırmak için renkli tasarımlar çalışılmaktadır. Bu ürünler kir, deterjan veya gıda ürünleri ile temas ettikçe ve kullanım süreleri uzadıkça desen ve boyalarda aşınma ve yıpranma meydana gelmektedir. Bu tez çalışmasında porselen sofr ve süs eşyalarının üzerindeki boyalarda meydana gelen çıkma hasarlarını en az indirebilmek için desenli ürün üzerine koruyucu sır tabakası çalışması yapılmıştır. Bu sır tabakasının porselen bünyeye uyumlu ve aynı parlaklığa sahip olması amaçlanmıştır. Farklı bileşimlere sahip sırlar hazırlanarak üzerinde değerli metalik boya uygulanmış porselen ürünlere uygulanmış ve 870-900 °C sıcaklıklar arasında son pişirime tabi tutulmuştur. Porselen ürünlerin mikroyapı özellikleri, kristalizasyon ve buna bağlı transparan özellikleri, renk değerleri, korozyon dayanımları, yıkama testleri yapılarak kıyaslamalı olarak incelenmiştir. Dekorlama sonrası uygulanan sır bileşiminde frit ile hammaddeyi birlikte kullanılarak düşük frit oranlarında bile yüksek transparanlık ve yüksek dayanım elde edilmiştir.

### 5.1. Kullanılan Hammaddeler

Sır reçetelerinde hammadde olarak kaolen, feldspat, dolomit, kuvars, kalsit ve frit kullanılmıştır. Hammaddelerin kimyasal analizleri ve tane boyutları Tablo 5.1’de belirtildiği gibidir. Tane boyutları da Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

### 5.2. Hammaddelerin hazırlanması

Sır reçeteleri %10-40 aralığında olmak üzere 6 farklı frit oranında hazırlanmıştır. Sırların bileşimi Tablo 5.3’te sunulmuştur. Sır bileşiminde frite hammadde olarak kullanılan feldspat viskoz sıvı faz sıcaklığını düşürmek için ve yüksek aşınma direncine ve sertliğe sahip kuvars dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Boraks viskoziteyi ve yüzey gerilimini düşürüp çizilmeye, çatlaklara ve sır olgunlaşmadan önce yüzey lekelenmelerine karşı direnç sağlaması için kullanılmıştır. Düşük sıcaklıkta sıvı faz avantajı sağlaması, ergime sıcaklığını düşürmesinden dolayı da frit kullanılmıştır.

**Tablo 5.1.** Sır reçetesinde kullanılan hammaddelerin kimyasal analizleri

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	ZnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Zr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	KK
<b>K FELDSPAT 28 M</b>	67,70	17,50	0,09	0,03	0,10		2,720	11,300						0,560
<b>KUVARS 45 M</b>	99,050	0,480	0,030	0,060	0,020		0,020	0,050						0,290
<b>KALSİT</b>	0,355	0,181	0,065	0,051	55,866	0,370	0,412							42,770
<b>N- FELDSPAT</b>	67,812	20,405	0,046	0,001	1,466	0,051	10,075	0,010						0,110
<b>DOLOMIT 63 M</b>	0,725	0,429	0,098	0,029	39,363	13,776	0,415	0,035						45,130
<b>KALSİNE</b>														
<b>KAOLEN</b>	50,503	45,970	0,510	0,341	0,119	0,420	0,521	1,251				0,210		0,340
<b>KAOLEN</b>	45,300	38,857	0,827	0,097	0,122	0,550	0,523	1,793		0,011	0,090	0,020		12,800
<b>FRİT</b>	63,580	10,383	0,224	0,144	13,767	4,844	0,431	2,510	4,875		0,105			1,010

**Tablo 5.2.** Sır reçetesinde kullanılan hammaddelerin tane boyutları

<b>Hammadde Adı</b>	<b>Tane Boyutu (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
Kaolen	45-50
K-Feldspat	25-30
N-Feldspat	35-40
Kuvars	30-35
Kalsit	30-40
Dolomit	40-50

**Tablo 5.3.** Hazırlanan sırların bileşimleri

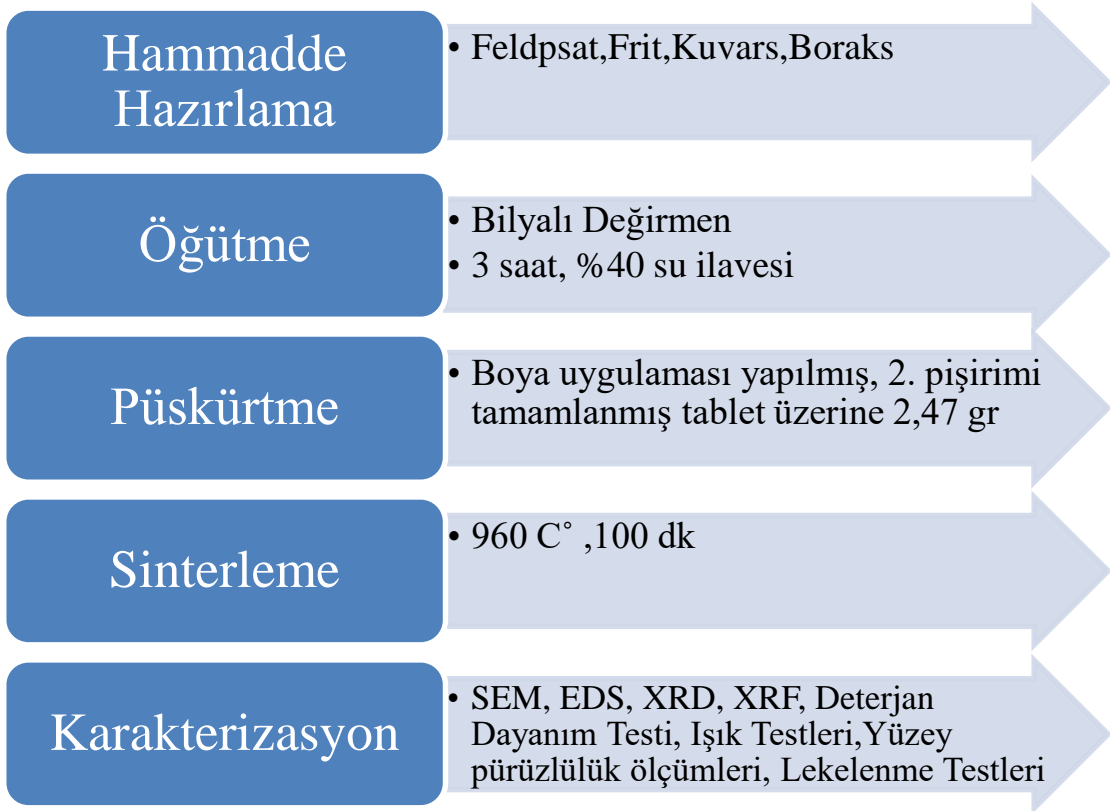
	<b>%10</b>	<b>%15</b>	<b>%20</b>	<b>%25</b>	<b>%30</b>	<b>%40</b>
<b>Na-feldspat</b>	23,08 gr	23,08 gr	23,08 gr	23,08 gr	23,08 gr	23,08 gr
<b>K-feldspat</b>	21,63 gr	21,63 gr	21,63 gr	21,63 gr	21,63 gr	21,63 gr
<b>Frit</b>	19,97 gr	20,88 gr	21,79 gr	22,70 gr	23,60 gr	25,42 gr
<b>Boraks</b>	16,07 gr	16,07 gr	16,07 gr	16,07 gr	16,07 gr	16,07 gr
<b>Kuvars</b>	18,09 gr	17,85 gr	16,8 gr	15,75 gr	14,07 gr	12,6 gr

Tablo 5.3’de belirtilen hammaddeler 500 gr’lık karışımlar halinde alümina bilyelerin bulunduğu Refsan marka jet değirmene yüklenmiştir. Şekil 5.1. kullanılan değirmenin fotoğrafını göstermektedir. Değirmenlere karışımın %40’u oranında su ilave edilmiş, 3 saat süre ile karıştırılmıştır. 10 cm çapında 1. sır pişirimi 1200-1300 °C yapılmış tabletlere öncesinde boya uygulaması yapılmış ve 2. Pişirimleri 870 C° 100 dk gerçekleştirilmiştir. 2. Pişirimleri yapılmış tabletlere hazırlanan sır kompozisyonları 2,47 gr püskürtme yöntemi ile uygulanmıştır ve 960 C° 100 dk’da pişirimleri tamamlanmıştır. Şekil 5.2’de yapılan üretim adımlarının özeti görülmektedir.





Şekil 5.1. Refsan marka jet değirmen



Şekil 5.2. Numunelerin üretim prosesleri

Dekorlama yapılmış ve ardından sırlama ve sır pişirimi yapılmış numunelerin fotoğrafı Şekil 5.3'te sunulmuştur.



**Şekil 5.3.** Dekorlama sonrası üzerine sırlama yapılmış numuneler

### **5.3. Karakterizasyon, Analiz ve Test Çalışmaları**

#### **5.3.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDS)**

Taramalı elektron mikroskobu 3 bölümden oluşmaktadır, elektron tabancası, manyetik lensler ve dedektörler, Elektron tabancasından çıkan hızlandırılmış elektronlar manyetik lensler aracılığıyla odaklanarak numuneye gönderilir. Elektron-numune etkileşimi sonucu saçılan elektronlar dedektörler aracılığıyla analiz edilir. Numunedeki yapıların mikro ve makro kategorisinde analiz edebilmektedir. SEM, yüksek enerjili elektronların malzemeler ile etkileşerek örnek yüzeyinden görüntü almasını sağlamaktadır. SEM analizi ile değerlendirilen numune bölgesi Enerji Dağılım Spektroskopisi (EDS) kullanılarak numune bölgesini oluşturan belirli unsurları belirlemek içinde analiz edilebilir. X ışınları numunenin yüzeyine verilir. Numune hakkında EDS dedektörler sayesinde bilgi verir. EDS numunenin kimyasal bileşimi hakkında bilgi verir. SEM-EDS analizi, parçacık boyutlarını ve temel bileşimi belirlemek için etkili bir yöntemdir. Nano karakterizasyon sağlamak için analitik bir tekniktir.

Mevcut tez çalışmasında sırlanan yüzeylerin incelenmesi Zeiss SUPRA 40VP cihazı ile yapılmıştır. Numunelerden alınan kırık parçalar yüzeyleri Au-Pt alaşımı ile kaplanarak SEM cihazına yerleştirilmiştir. Şekil 5.5. kullanılan SEM cihazının fotoğrafı görülmektedir.



**Şekil 5.5.** Zeiss SUPRA 40VP SEM cihazı

### **5.3.2. X-Işını Difraktometresi (XRD)**

X-ışını kırınımı yöntemi (XRD), her bir kristal fazın kendisine has atomik dizilimlerine göre, X-ışınlarını karakteristik bir düzen içinde kırınımı esasına dayanır. Her bir faz için bu kırınım profilleri o kristali tanımlar. X-ışını kırınım analizi numuneye zarar vermez. Bu yöntem ile kristallerin nitel ve nicel incelemeleri yapılır.

Numunelerden alınan parçalar Rigaku DMAX 2000 marka X-ışını cihazı ile analiz edilmiştir. Cu-K $\alpha$  radyasyonu ile 1,54 Å dalga boyunda X-ışınları kullanılarak  $2\theta=10-90^\circ$  aralığında 2°/dk tarama hızında sırların faz analizleri yapılmıştır. Şekil 5.6 kullanılan XRD cihazını göstermektedir.

### **5.3.3 X- Işını Floresans Spektrometresi (XRF)**

Foton – madde etkileşmesi sonucu meydana gelen karakteristik X-ışınları ve saçılma fotonlarının nitel ve nicel değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Hızlı ve duyarlı olması, malzemeyi tahrip etmemesi bu analiz yöntemini önemli kılmaktadır.



Şekil 5.6. Rigaku DMAX 2000 marka X-ışını cihazı

Atom X-Işınları gibi yüksek enerjili bir radyasyonla uyarılırsa, bu yüksek enerji girişi yakın yörüngedeki elektronların daha yüksek enerji düzeyine çıkarır. Uyarılan elektronlar kazandıkları fazla enerjiyi X-ışını şeklinde geri verirler. Buda ikincil ışımadır. Elementlerin verdiği bu ışımaların dalga boyu her element için farklılık göstermektedir. Dalga boyunun saptanmasıyla elementlerin cinsi, saptanan bu ışının yoğunluğunun ölçülmesiyle element konsantrasyonu belirlenmektedir.

Numuneler Spectro IQ marka XRF cihazı ile karakterize edilmiştir. Hammaddeler 1:10 oranında  $Li_2O_4B_7$  ile karıştırılmış ve 1000 °C üzerinde ergitme yapılarak numuneler cam halde dökülmüştür ve XRF cihazına yerleştirilmiştir.



Şekil 5.7. Spectro IQ marka XRF cihazı

### 5.3.4 Deterjan Dayanım Testi

Deterjan dayanım testi 25-95 °C arasındaki sıcaklıklarda alkali sıvı temasına karşı direncin belirlenmesi için kullanılan bir yöntemdir. Kullanılan aparat altı numunenin aynı anda test edildiği altıgen bir kaptır. Herhangi bir alkali sıvıya karşı direnç belirlenebilir. Altı benzer numune, belirli sıcaklık ve süre koşulları altında aynı anda alkali bir sıvının saldırısına maruz bırakılır, çözeltiler test sırasında sürekli karıştırılır. Kütle kaybı belirlenir ve birim alan başına kütle kaybı oranını hesaplamak için kullanılır. Pratikte kullanılan bir bulaşık makinesinin şartlarına uygun olması için alkali sıvı en az sürede karıştırılır. Cihaz, her iki tarafında dairesel bir açıklığa sahip altıgen bir kaptan oluşur.

Tez kapsamında üretilen dekorlanmış ve sırlanmış diskler belli bir sıcaklık altında (95°C) test edilmiştir. Sırın deterjan teması sonucu sırlı yüzeyde meydana gelen kütle kaybını ölçmek hedeflenmiştir. Numuneler önce 24 saatlik daha sonra 168 saatlik süreyle deterjana maruz bırakılmış ve sonrasında kütle kayıpları karşılaştırılmıştır.

### 5.3.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri

Deterjan dayanım testi gerçekleştirilmiş numunelere deneyden önce ve sonra yüzey pürüzlülük ölçümü uygulanmıştır. Yüzeye uygulanan basınçlı su ve deterjanın etkisiyle sırın yüzeyine olan etkisini incelenmek amaçlanmıştır. Numuneler ölçüm sırasında paralel bir yüzeye konumlandırılmış ve elmas uçlu sürücü ünitesi ile yüzey taranmıştır. Ölçümler Time TR200 Roughness Tester marka yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Her bir numuneden 5 adet ölçüm alınmış ve aritmetik ortalamaları alınmıştır ve R değerleri kullanılmıştır.



**Şekil 5.8.** TR200 Roughness Tester marka yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

### **5.3.5 Renk Ölçümleri**

Renk ölçümleri  $L^*a^*b$  renk uzayına göre yapılmaktadır. Bu yöntem renk ölçümünde en çok kullanılan yöntemdir. L değeri beyazlığı, a değeri kırmızılığı veya yeşilliği, b değeri ise sarılığı veya maviliği temsil etmektedir. L değeri sıfıra doğru yaklaştıkça siyah, yüze yaklaştıkça beyazlığın yüksek olduğunu gösterir. a değeri eksi ise yeşil, artı ise kırmızı rengi verir. b değeri artı ise sarı, eksi ise mavi rengi verir. (American Society for Testing and Marterials) Numunelerin renk ölçümleri Konica Minolta CM 2600d marka cihaz ile yapılmıştır. Kullanılan cihaza ait görsel Şekil 5.9'da verilmiştir.



**Şekil 5.9.** Konica Minolta CM 2600d marka renk ölçüm cihazı

### **5.3.6 Lekelenme Testi**

Porselen sofrta eşyalarında lekelenme testi bünye üzerindeki sırn kullanım sırasında nasıl leke bıraktığını ölçmek için yapılır. %10, %20, %25, %30 ve %40'lık frit içeren sırlı pişirimi yapılmış yüzeyler üzerine salça, zeytinyağı ve sirke numuneleri bırakılmıştır. Bir grup numune 2 saat diğer grup da 24 saat süre ile bu şekilde bekletilmiştir. Bekletme sonucu

ürünler bulaşık makinesinde yıkanmıştır. Sonuçları leke bırakıp bırakmadığı hususunda değerlendirilmiştir.

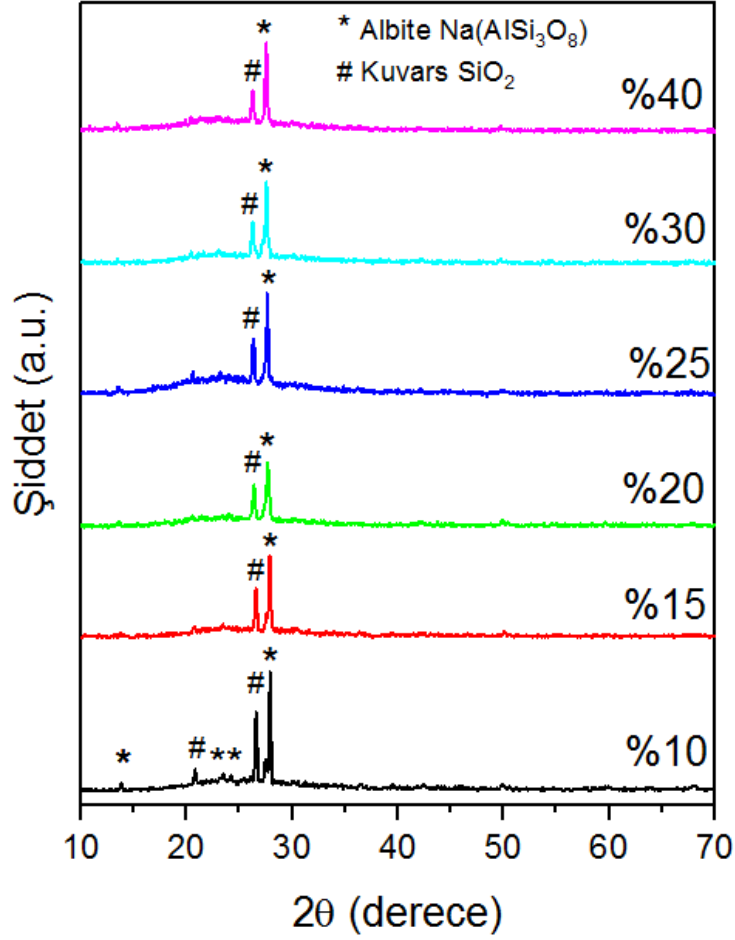
## 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Mevcut tez çalışmasında porselen sofa ve süs eşyaları ürünlerine uygulanan renkli tasarımların aşınma ve yıpranma dayanımını arttırmak için koruyucu bir sır bileşimi geliştirmek amaçlanmıştır. Bu sır tabakasının porselen bünyeye uyumlu ve aynı parlaklığa sahip olması hedeflenmiştir. Dekorlama yapılmış 10 cm çapındaki tabletlere farklı bileşimde sırlar uygulanmış ve 870-900 °C sıcaklıklar arasında son pişirime tabi tutulmuştur. Sır bileşimleri hazırlanırken kaolen, feldspat, dolomit, kuvars ve kalsit hammaddeleri ve frit kullanılmıştır. Frit oranı kademeli olarak arttırılmış ve buna karşılık kuvars oranı azaltılmıştır. %10, %15, %20, %25, %30 ve %40 oranında ilave edilen frit miktarı ile sırnın çeşitli özelliklerine etkisi incelenmiştir. Dekorlama sonrası uygulanan sır bileşiminde frit ile hammaddeyi birlikte kullanılarak düşük frit oranlarında bile yüksek transparanlık ve yüksek dayanım elde etmek hedeflenmiştir.

### 6.1. XRD Analiz Sonuçları

Geliştirilen sır bileşiminde değişen frit oranına göre faz analizlerini belirlemek için XRD ölçümleri yapılmış ve XRD grafiği Şekil 6.1’de sunulmuştur. Sırların yapısında görülen Kuvars-SiO<sub>2</sub> (JCPDS No. 01-070-3755) ve Albit-Na(AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) (JCPDS No. 01-089-6428) fazlarının standart kartları ile tamamen uyumlu olduğu görülmüştür. Sırnın bileşimindeki frit oranı arttıkça sırnın kristalizasyonunun azaldığı görülmektedir. Frit, kompozisyonun ergime noktasını düşürmektedir. Ya da başka bir ifade ile yüksek sıcaklıkta oluşan sır içerisindeki sıvı faz oranının artması çözünmeden kalan kristal miktarının ise azalmasına yol açmaktadır. Bu sayede hızlı soğuma koşullarında yeniden kristalizasyon gerçekleşmeden yapı amorf olarak kalmakta ve yüksek transparan özellik elde edilebilmektedir. Bu nedenle Şekil 6.1’de görüldüğü gibi frit oranının artması ile kristal fazlara ait pik sayısında ve şiddetlerinde azalma gözlenmektedir.



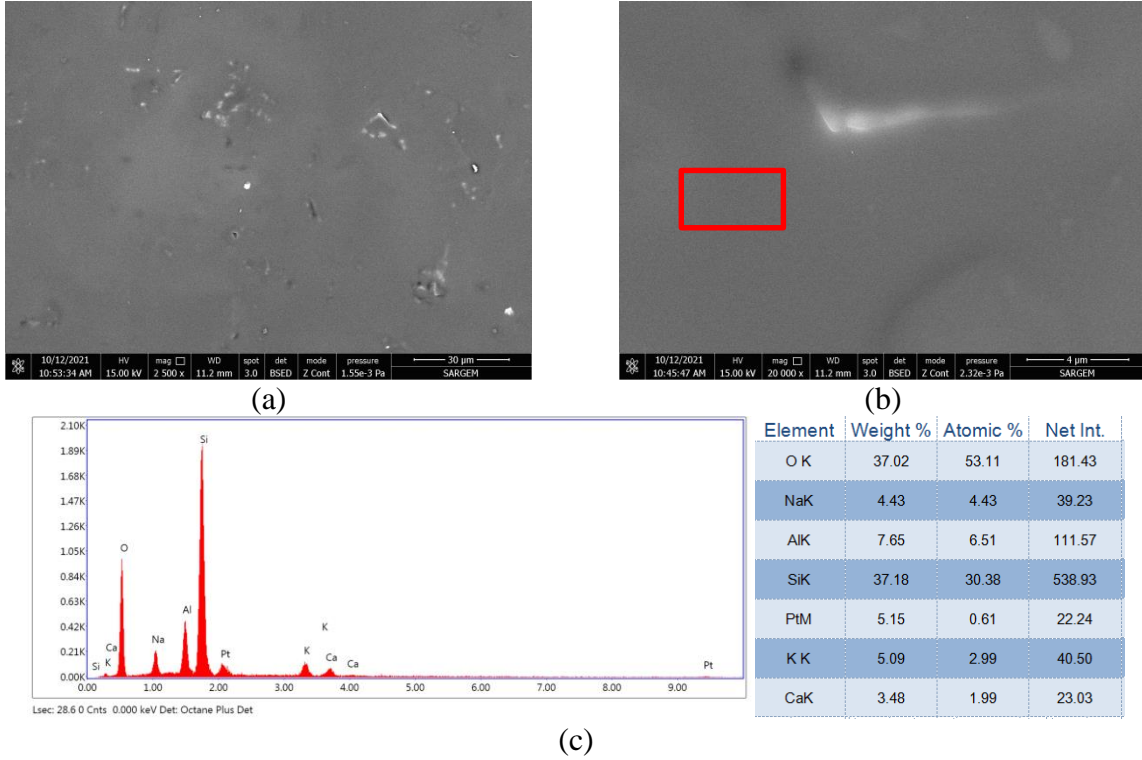


Şekil 6.1. Değişen frit oranına bağlı olarak sırların XRD paternleri

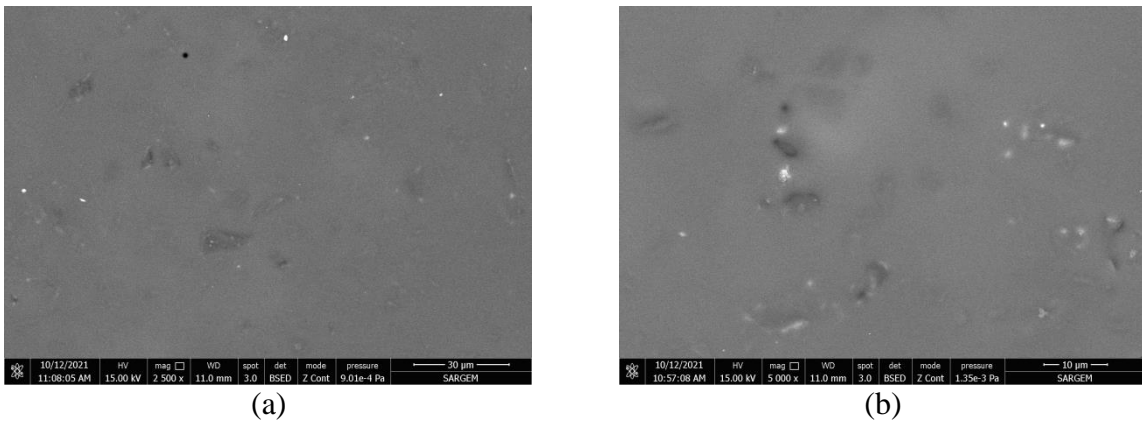
## 6.2. SEM ve EDS Sonuçları

Her bir frit oranı için numuneler taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiş ve farklı bölgelerden EDS analizleri alınmıştır. Şekil 6.2. %10 frit oranına sahip sırların yüzeyine ait SEM fotoğraflarını ve yüzeyin genelinden alınmış EDS analizlerini vermektedir. Yüzeyde oluşan kristaller amorf yapı içerisinde açıkça görülmektedir. Bu kristallerin yoğunlaştığı bölgelerdeki kontrastın amorf matrise göre yüksek olması daha ağır elementleri içerdiklerini göstermektedir. Şekil 6.3'te %15 frit oranına sahip sırla hazırlanmış yüzeyin farklı bölgelerinden 2500 ve 5000 büyütmede alınan SEM fotoğrafları sunulmaktadır. Şekil 6.4'te aynı numunenin EDS analizleri verilmektedir. Kontrast açısından matris faz ile farklı oluşturmayan kristallerden yapılan analiz bu fazın kuvars kristalleri olduğunu doğrularken, daha yüksek kontrast oluşturan fazların içeriğinde yüksek oranda Al ve Na elementlerinin yer aldığı görülmektedir (Li vd., 2020 ve Fuertes vd., 2019). Sonuç olarak gerçekleştirilen EDX analizleri söz konusu fazların albit kristalleri olduğunu doğrulamaktadır. Matris faz üzerinden alınan EDX analizi ise yapının Si, Al, O elementlerinin yanı sıra sırların kompozisyonunda

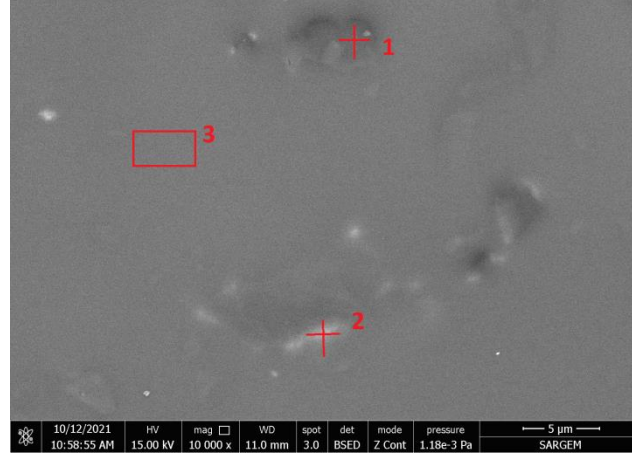
bulunan Na, Ca ve K gibi elementlerin de yer aldığı bir amorf faz olduğunu göstermektedir. EDX analizi ise yapının Si, Al, O elementlerinin yanı sıra sır kompozisyonunda bulunan Na, Ca ve K gibi elementlerin de yer aldığı bir amorf faz olduğunu göstermektedir (Selli, 2015). Şekil 6.5 ve Şekil 6.6 %20 frit içeren sır ile hazırlanmış numunenin sırasıyla SEM ve EDS analizlerini göstermektedir. %10, %15 ve %20 frit oranıyla hazırlanmış sırlı yüzeylerin SEM görüntülerinde yapı içerisine belli aralıklarla dağılmış, farklı boyutlarda ve değişen oranlarda SiO<sub>2</sub> fazının var olduğu görülmektedir (Fröberg vd., 2009).



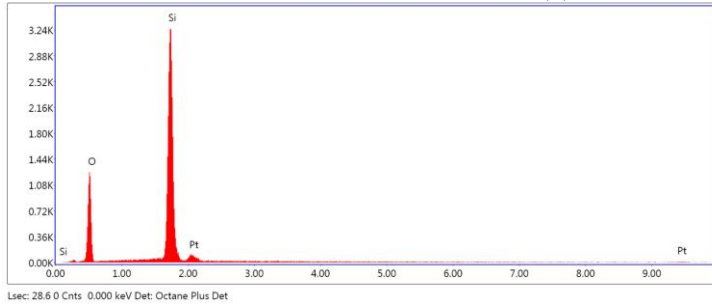
**Şekil 6.2.** %10 frit oranına sahip sırla hazırlanmış yüzeyin (a) 2500 büyütmede (b) 20000 büyütmede alınan SEM fotoğrafları ve (c) EDS analizi



**Şekil 6.3.** %15 frit oranına sahip sırla hazırlanmış yüzeyin farklı bölgelerinden (a) 2500 ve (b) 5000 büyütmede alınan SEM fotoğrafları

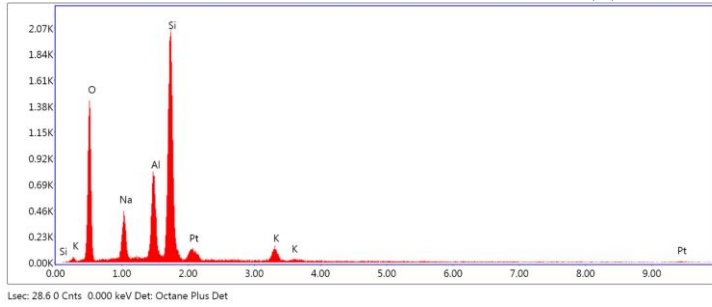


(a)



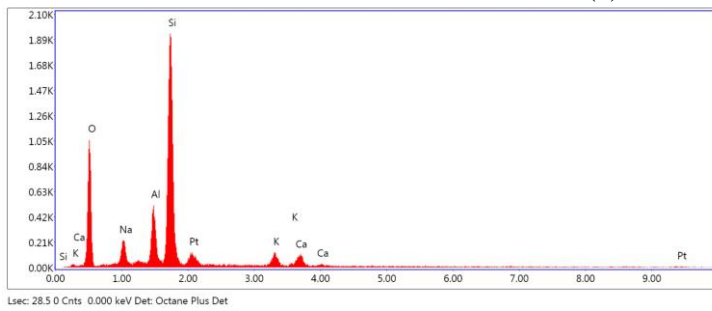
Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
O K	39.73	55.57	241.90
SiK	54.99	43.82	931.32
PtM	5.28	0.61	22.29

(b)



Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
O K	38.69	53.91	285.05
NaK	8.00	7.76	93.91
AlK	11.39	9.41	210.85
SiK	32.67	25.93	587.13
PtM	5.00	0.57	27.60
K K	4.25	2.42	43.76

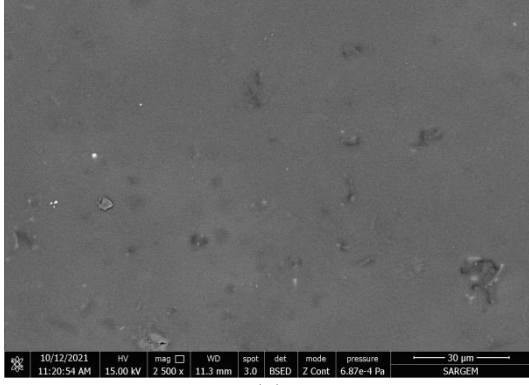
(c)



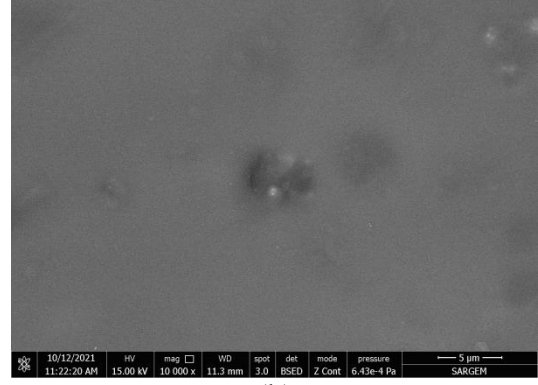
Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
O K	38.64	54.89	209.83
NaK	4.85	4.79	46.92
AlK	7.63	6.43	122.46
SiK	34.55	27.95	553.77
PtM	5.00	0.58	24.42
K K	4.38	2.54	39.01
CaK	4.95	2.81	36.77

(d)

**Şekil 6.4.** %15 frit oranına sahip sırla hazırlanmış yüzeyin EDS analizleri (a) SEM fotoğrafı (b) 1. bölge (c) 2. bölge (d) 3. bölgeden alınmış EDS analizleri

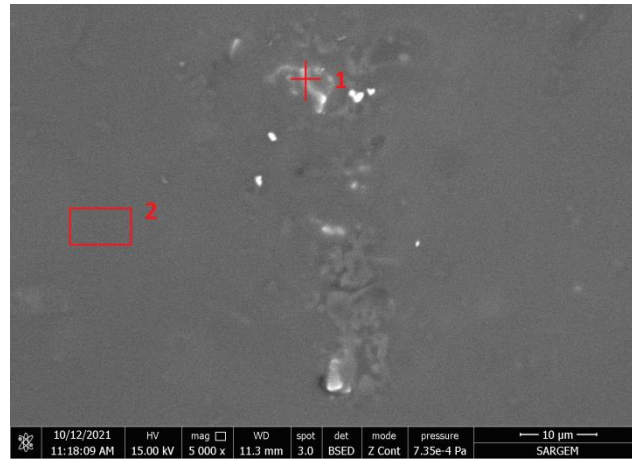


(a)

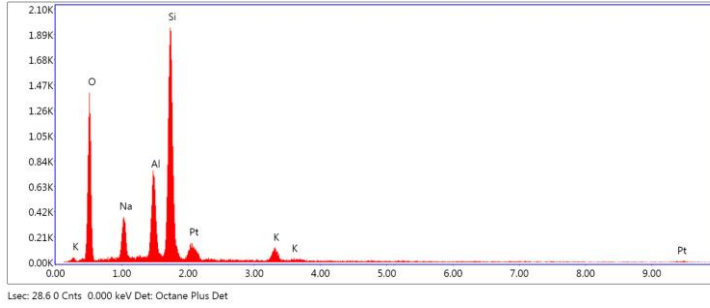


(b)

**Şekil 6.5.** %20 frit oranına sahip sırla hazırlanmış yüzeyin farklı bölgelerinden (a) 2500 ve (b) 10000 büyütmede alınan SEM fotoğrafları

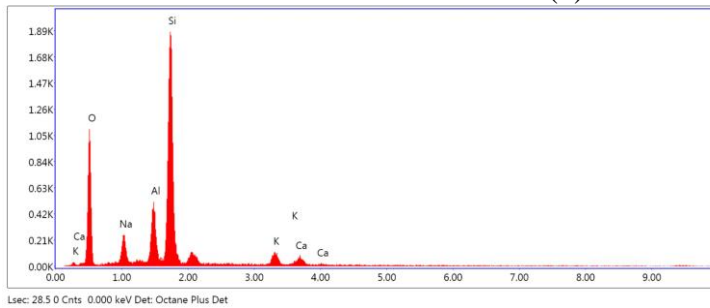


(a)



Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
O K	38.43	54.31	265.30
NaK	7.44	7.32	81.28
AlK	11.32	9.48	195.75
SiK	32.13	25.86	540.57
PtM	6.79	0.79	34.70
K K	3.89	2.25	37.24

(b)

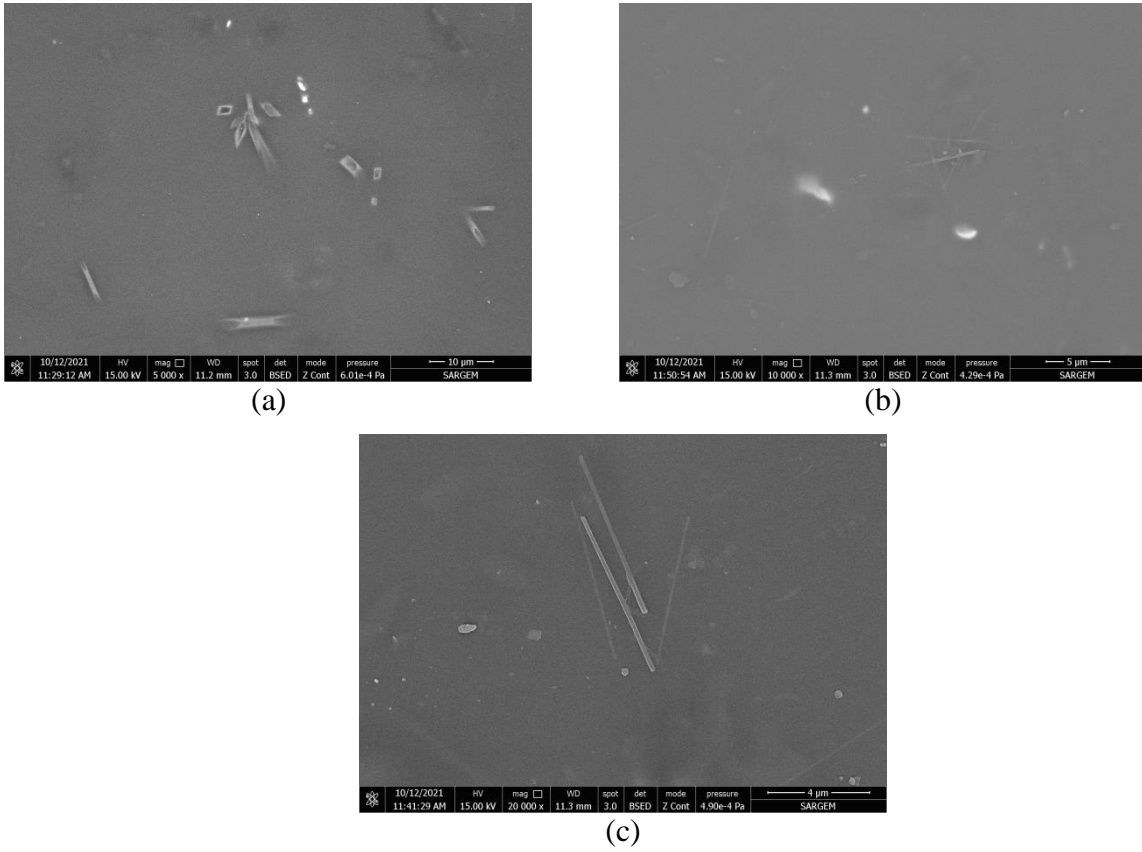


Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
O K	40.32	54.56	209.40
NaK	5.50	5.13	49.21
AlK	8.81	7.07	129.21
SiK	37.40	28.83	536.55
K K	4.35	2.41	35.50
CaK	3.63	1.96	24.52

(c)

**Şekil 6.6.** %20 frit oranına sahip sırla hazırlanmış yüzeyin EDS analizleri (a) SEM fotoğrafı (b) 1. bölge (c) 2. bölgeden alınmış EDS analizleri

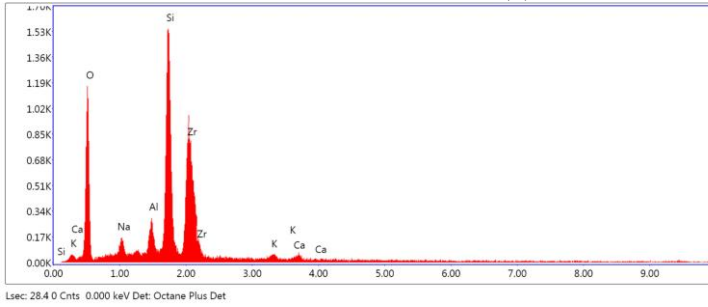
Şekil 6.7 ve Şekil 6.8 %25 frit içeren sır ile hazırlanmış numunenin sırasıyla SEM ve EDS analizlerini göstermektedir. Şekil 6.9 ve Şekil 6.10 8 %30 frit içeren sır ile hazırlanmış numunenin ve Şekil 6.11 ve Şekil 6.12 %40 frit içeren sır ile hazırlanmış numunenin SEM ve EDS analizlerini göstermektedir. %25 frit oranından itibaren yüzeylerinde yüzeylerde, kuvars oluşumunun yanı sıra boy/en oranları oldukça yüksek olan iğnemi yapıda ve az miktarlarda kristallerin oluştuğu belirlenmiştir. Şekil 6.1’de verilen XRD grafiklerinde bu kristallere ait piklerin yer almaması miktarlarının oldukça düşük olduğunu doğrularken , transparan özellik üzerinde de etkilerinin söz konusu olmadığını göstermektedir. Bu fazların iğnemi yapıda olması ve içerik olarak sırnın genel kompozisyonu yansıtmaması yapıda wollastonit kristallerinin oluşumuna işaret etmektedir.



**Şekil 6.7.** %25 frit oranına sahip sırla hazırlanmış yüzeyin farklı bölgelerinden (a) 2500 (b) 10000 ve (c) 20000 büyütmede alınan SEM fotoğrafları

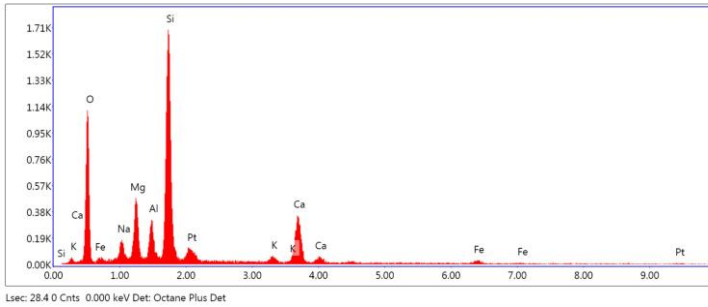


(a)



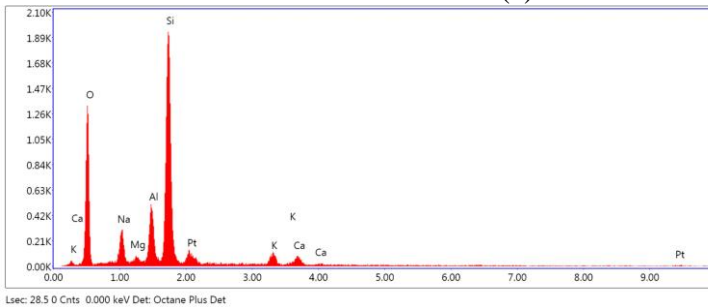
Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
O K	39.48	64.45	228.23
NaK	2.07	2.36	23.03
AlK	3.15	3.05	62.69
SiK	20.79	19.33	434.09
ZrL	32.01	9.17	269.97
K K	1.21	0.81	13.12
CaK	1.29	0.84	11.99

(b)



Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
O K	37.99	65.12	222.09
NaK	2.91	2.93	31.27
MgK	6.64	6.34	111.79
AlK	4.22	3.63	74.18
SiK	25.83	21.35	480.83
PtM	4.07	0.48	25.79
K K	1.40	0.83	15.36
CaK	13.93	8.07	126.80
FeK	3.01	1.25	10.20

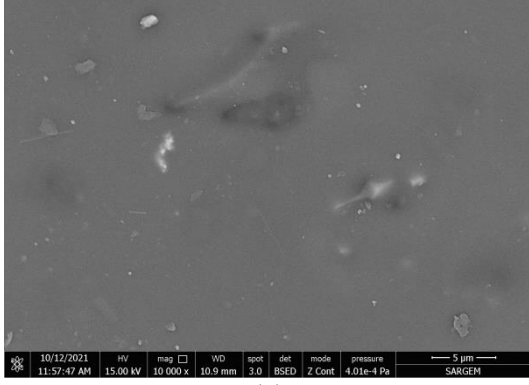
(c)



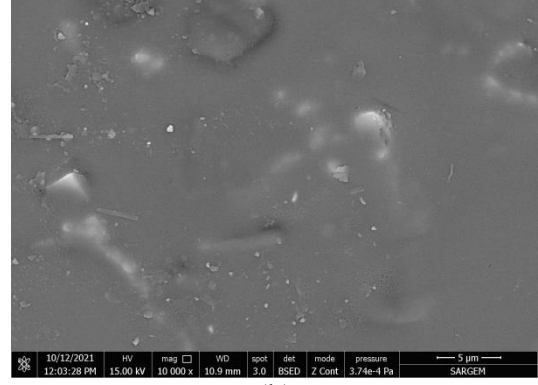
Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
O K	40.80	56.63	254.98
NaK	6.11	5.90	62.43
MgK	0.53	0.49	8.01
AlK	7.64	6.29	126.98
SiK	33.23	26.28	563.83
PtM	4.78	0.54	24.39
K K	3.61	2.05	33.76
CaK	3.30	1.83	25.78

(d)

**Şekil 6.8.** %25 frit oranına sahip sırla hazırlanmış yüzeyin EDS analizleri (a) SEM fotoğrafı (b) 1. bölge (c) 2. bölge (d) 3. bölgeden alınmış EDS analizleri

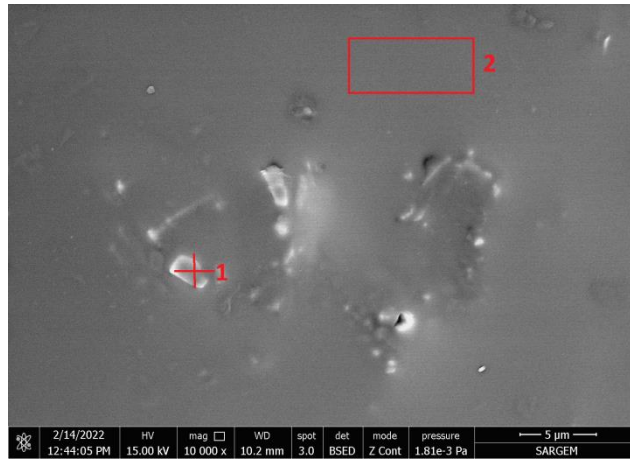


(a)

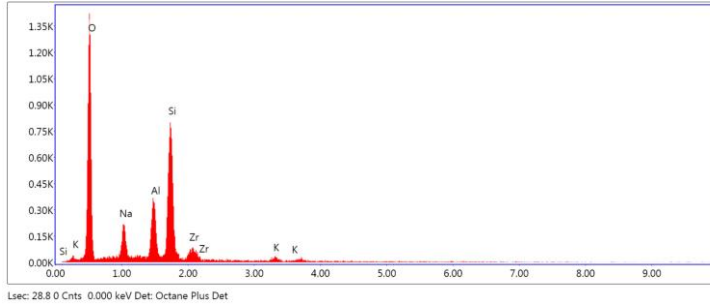


(b)

**Şekil 6.9.** %30 frit oranına sahip sırla hazırlanmış yüzeyin farklı 10000 büyütmede alınan SEM fotoğrafları

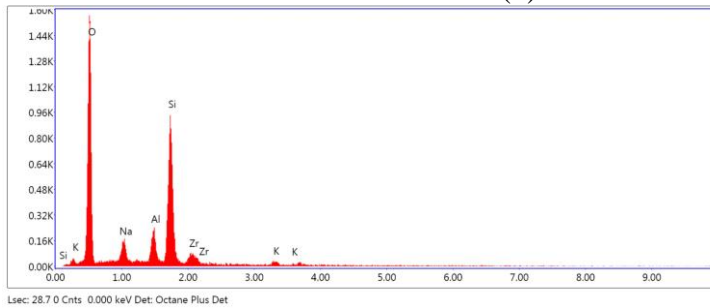


(a)



(b)

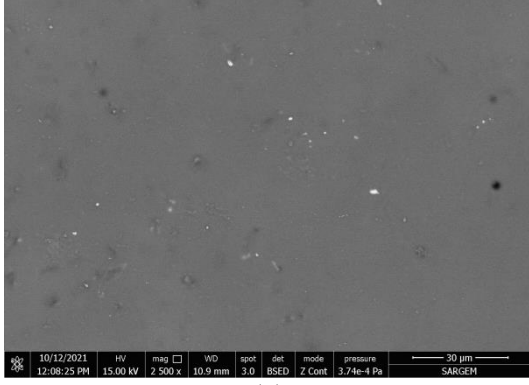
Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
O K	53.71	67.69	276.87
NaK	8.64	7.57	53.67
AlK	9.59	7.17	99.05
SiK	22.04	15.82	227.69
ZrL	4.60	1.02	18.92
K K	1.42	0.73	8.80



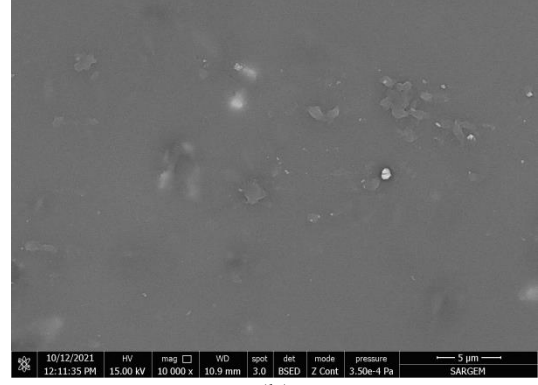
(c)

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
O K	60.49	73.59	316.89
NaK	5.77	4.88	32.22
AlK	5.23	3.77	51.18
SiK	23.86	16.53	241.45
ZrL	3.85	0.82	15.14
K K	0.80	0.40	4.72

**Şekil 6.10.** %30 frit oranına sahip sırla hazırlanmış yüzeyin EDS analizleri (a) SEM fotoğrafı (b) 1. bölge (c) 2. bölgeden alınmış EDS analizleri

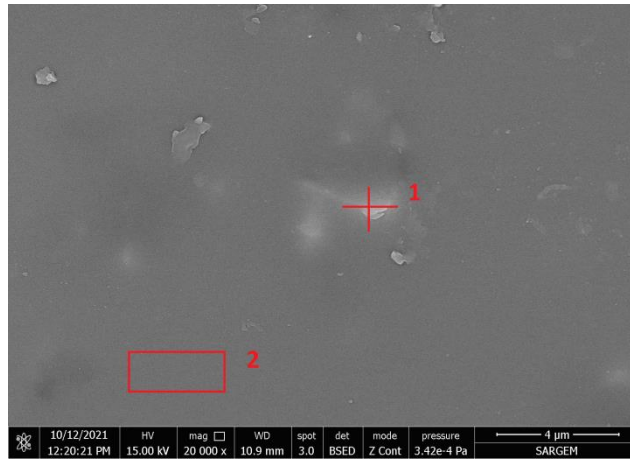


(a)

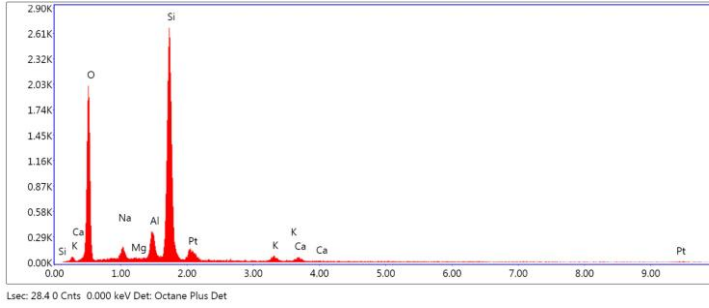


(b)

**Şekil 6.11.** %40 frit oranına sahip sırla hazırlanmış yüzeyin farklı (a) 2500 ve (b) 10000 büyütmede alınan SEM fotoğrafları

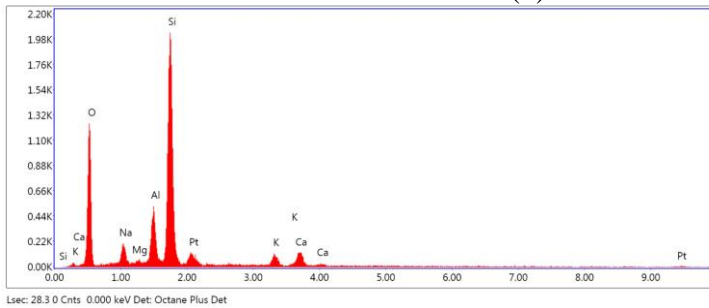


(a)



(b)

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
O K	47.72	63.84	410.24
NaK	3.01	2.80	36.12
MgK	0.26	0.23	4.83
AlK	4.66	3.69	95.89
SiK	35.37	26.95	745.98
PtM	5.52	0.61	34.02
KK	1.83	1.00	20.93
CaK	1.64	0.88	15.79



(c)

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
O K	41.62	58.05	248.05
NaK	3.68	3.57	37.37
MgK	0.19	0.18	3.03
AlK	7.38	6.10	126.99
SiK	33.26	26.43	573.61
PtM	4.75	0.54	25.19
KK	3.38	1.93	32.50
CaK	5.75	3.20	46.10

**Şekil 6.12.** %40 frit oranına sahip sırla hazırlanmış yüzeyin EDS analizleri (a) SEM fotoğrafı (b) 1. bölge (c) 2. bölgeden alınmış EDS analizleri



### 6.3. Deterjan Dayanım Testi Sonuçları

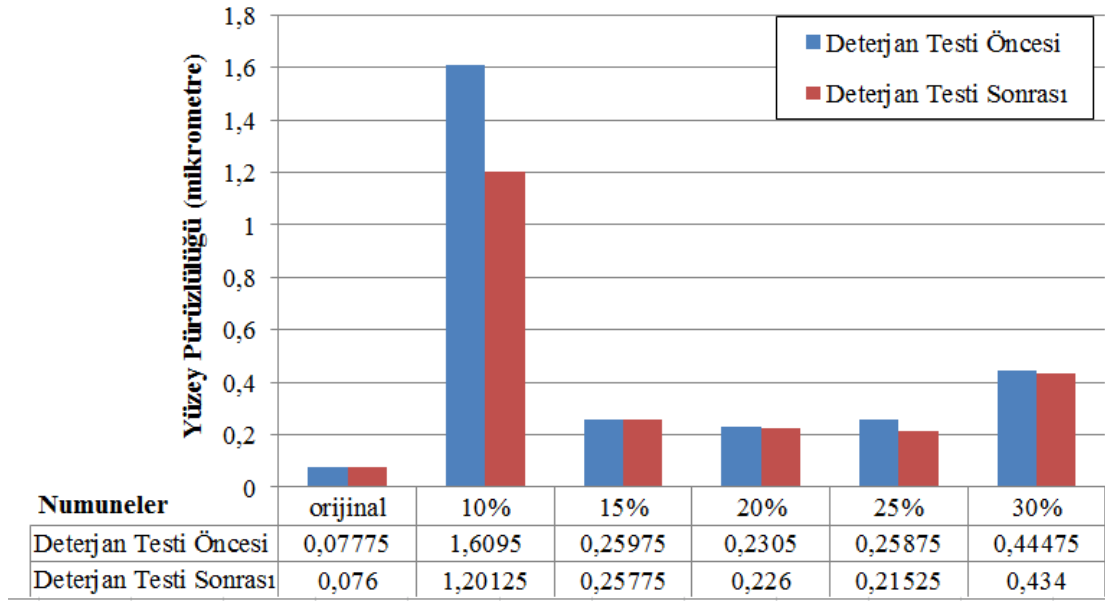
Deterjan dayanım testleri dekorlama yapılmış ve sonra farklı frit oranlarında hazırlanan sırlarla sırlanmış diskler 95 °C’de bulaşık deterjanı ile yüzeylerine basınçlı su püskürtülerek yapılmıştır. Karşılaştırma amaçlı olarak dekorlama sonrası sırlama yapılmamış disk de teste maruz bırakılmıştır ve tabloda orijinal olarak isimlendirilmiştir. Sırın deterjan maruziyeti sonucu sırlı yüzeyde meydana gelen kütle kaybını ölçmek hedeflenmiştir. Numuneler önce 24 saatlik daha sonra 168 saatlik süreyle deterjana maruz bırakılmış ve sonrasında kütle kayıpları karşılaştırılmıştır. Tablo 6.1. test öncesi ağırlık ve sonrası ağırlık kaybını göstermektedir. Yıkama sonrası tüm numunelerde kütle kaybı sırın yüzeyden aşınma miktarını işaret etmektedir. Dekorlama sonrası sırlanma yapılmamış orijinal numuneye kıyasla koruyucu sır yapılmış diğer numunelerde dikkat çeken büyük bir fark görülmemektedir. Frit oranının artması ile orijinal numuneye daha yakın değerler elde edilmesini sağlamıştır. %30 frit oranında olan kütle kaybı orijinal numunedeki kütle kaybı değerine çok yakındır ve yapılan koruyucu sır tabakası yıkanma testinde dayanıklılık göstermiştir.

**Tablo 6.1.** Deterjana dayanım testi kütle kaybı sonuçları

Numune	24 SAAT			168 SAAT		
	İlk Tartım	İkinci Tartım	Kütle Kaybı (mg)	İlk Tartım	İkinci Tartım	Kütle Kaybı (mg)
<b>Orijinal</b>	135,6061	135,6034	<b>2,7 mg</b>	135,6034	135,5955	<b>7,9 mg</b>
<b>%10</b>	135,7101	135,7072	<b>2,9 mg</b>	135,7072	135,6989	<b>8,3 mg</b>
<b>%15</b>	135,7658	135,7624	<b>3,4 mg</b>	135,7624	135,7546	<b>7,8 mg</b>
<b>%20</b>	141,3385	141,3353	<b>3,2 mg</b>	141,3353	141,3271	<b>8,2 mg</b>
<b>%25</b>	141,4446	141,4419	<b>2,7 mg</b>	141,4419	141,4339	<b>8 mg</b>
<b>%30</b>	137,9386	137,9358	<b>2,8 mg</b>	137,9358	137,9277	<b>8,1 mg</b>

Ayrıca deterjan dayanım testi öncesi ve sonrası numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Kullanılan deterjanın, yüksek sıcaklıktaki ve basınçtaki suyun ve yüzey pürüzlülüklerinde değişime etkisi incelenmiştir. Şekil 6.13 deterjan testi öncesi ve sonrası her bir numune için alınmış yüzey pürüzlülük değerlerini göstermektedir. Ağırlık kaybı

sonuçlarındaki gibi Dekorlama sonrası sırlanma yapılmamış orijinal numunede ve koruyucu sırlanmış diğer numunelerde yıkama öncesi ve sonrası pürüzlülük değerlerinde dikkat çeken büyük bir fark görülmemektedir.



Şekil 6.13 Deterjan testi öncesi ve sonrası her bir numune için alınmış yüze pürüzlülük değerleri

#### 6.4. Renk Ölçümleri Sonuçları

Disklere uygulanan sırlanma renk ölçümler  $L^*$  (Siyah-Beyaz değeri),  $a^*$  (Kırmızı-Yeşil açılımı) ve  $b^*$  (Sarı-Mavi açılımı) değerleri dikkate alınarak yapılmıştır. Bu verilere göre  $\Delta E$  (Toplam Renk Farkı) değeri orijinal yüzey ile dekorlama sonrası sırlama yapılmış yüzey arasındaki renk farklılığını ölçen değerdir ve aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır;

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

Tablo 6.2.  $\Delta E$  değerinin kabul görme aralıklarını göstermektedir. Bu formüle göre ölçülen  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri kullanılarak  $\Delta E$  değerleri hesaplanmıştır.

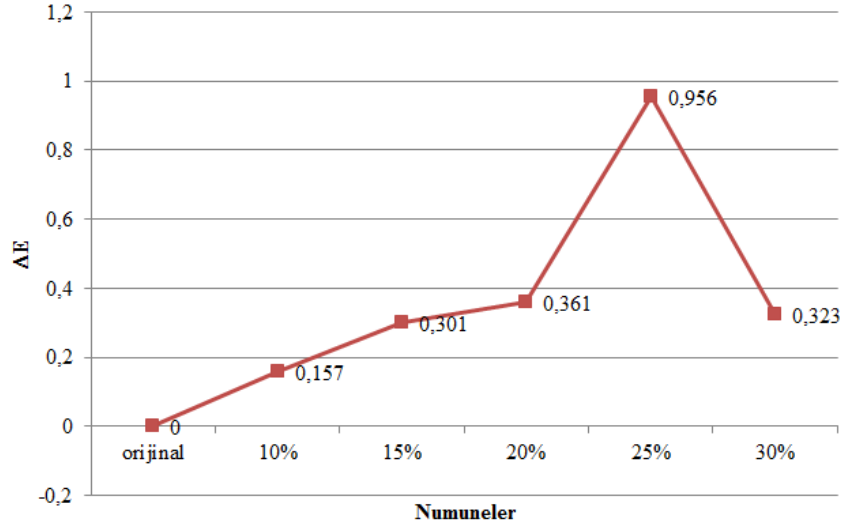
**Tablo 6.2**  $\Delta E$  değerinin kabul görme aralıkları**Kaynak:** (Şahin, İ., 2019)

Renk karşılaştırma aralığı değeri	Renk karşılaştırma değerlemesi
0 – 0,25 $\Delta E$	Çok mükemmel eşleme.
0,25 – 0,50 $\Delta E$	Kabul edilebilir eşleme (az fark).
0,50 – 1,0 $\Delta E$	Kabul edilebilir eşleme (orta fark).
1,0 – 2,0 $\Delta E$	Bazı sektörlerde kabul edilebilir eşleme.
2,0 – 4,0 $\Delta E$	Özel uygulamalarda kabul edilebilir.
4,0 $\Delta E$	Uygulamada kabul edilemez eşleme.

Farklı frit oranına göre sırlanmış ve dekorlama sonrası sırlanma yapılmamış yüzeylerin  $L^*a^*b$  değerleri Tablo 6.3’de sunulmuştur. Bu değerlere göre hesaplanan  $\Delta E$  değişimini gösteren grafik de Şekil 6.14’te verilmiştir. Tüm sırlarda  $\Delta E$  değerleri 0,50 değerinden düşük çıkmıştır ancak %25 frit içeren numunede değerde sapma gözlenmiştir. Sırların ışık testi sonuçları kalite koşullarında kabul edilebilir, gözle görülemeyen farklılık seviyesindeki değişimi ifade etmektedir (Şahin, İ., 2019).

**Tablo 6.3.** Numunelerin  $L^*a^*b$  değerleri

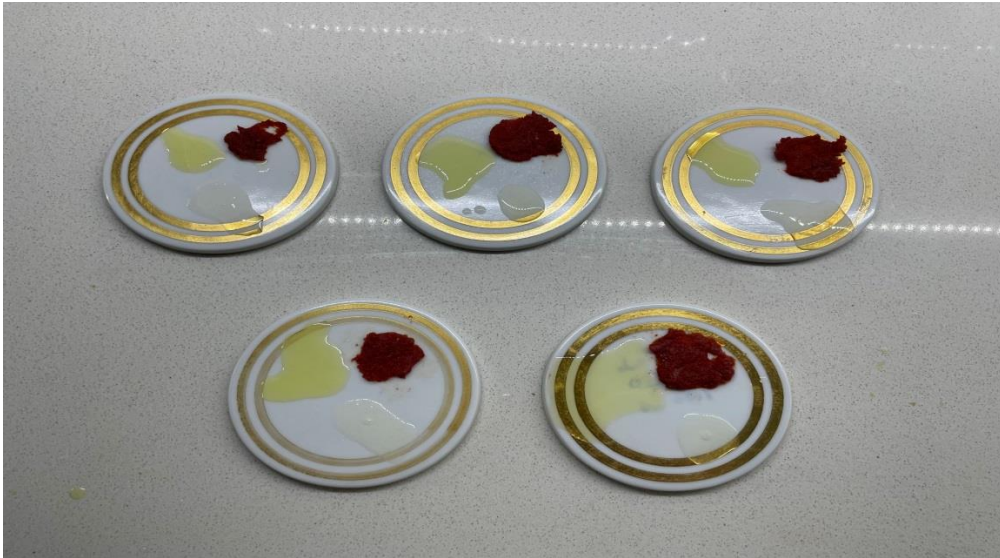
Reçete	L	a	b
<b>Orjinal</b>	84,4	-3,6	+0,17
<b>%10</b>	84,3	-3,5	+0,1
<b>%15</b>	84,1	-3,6	+0,2
<b>%20</b>	84,2	-3,3	+0,2
<b>%25</b>	83,9	-3,9	+0,5
<b>%30</b>	84,1	-3,5	+0,1



**Şekil 6.14** Numunelerin  $\Delta E$  değişimleri

#### 6.4 . Lekelenme Testi Sonuçları

Sırlı bünyelerin salça, zeytinyağı ve sirke gibi yiyeceklere maruz bırakıldıktan sonra bulaşık makinesinde yıkanmıştır ve yüzeylerinde kalan lekeler gözle kontrol edilmiştir. Şekil 6.15.. lekelenme testinin yapıldığı disklerin fotoğrafını göstermektedir. Lekelenme testi sonuçları Tablo 6.4’te sunulmuştur. Sırlı bünye üzerine gıda parçacıkları bırakıldıktan sonra öncesinde 2 saat sonrasında 24 saat bekletilir. 2 saatin sonunda yıkanan numunelerde herhangi bir lekelenme görülmemiştir. 24 saat bekletildikten sonra yıkanan numunelerde yine herhangi bir lekelenme görülmemiştir. Bu test sırların yüzey pürüzlülük ve parlaklık özellikleri yüzeylerinde leke barınmasına izin vermeyecek şekilde üretildiğini göstermektedir.



**Şekil 6.15.** Lekelenme testi

**Tablo 6.4.** Lekelenme testi sonuçları

REÇETE	SALÇA LEKESİ		ZEYTİNYAĞI LEKESİ		SİRKE	
	2 SAAT	24 SAAT	2 SAAT	24SAAT	2 SAAT	24SAAT
<b>Orjinal</b>	Çıktı	Çıktı	Çıktı	Çıktı	Çıktı	Çıktı
<b>%10</b>	Çıktı	Çıktı	Çıktı	Çıktı	Çıktı	Çıktı
<b>%15</b>	Çıktı	Çıktı	Çıktı	Çıktı	Çıktı	Çıktı
<b>%20</b>	Çıktı	Çıktı	Çıktı	Çıktı	Çıktı	Çıktı
<b>%25</b>	Çıktı	Çıktı	Çıktı	Çıktı	Çıktı	Çıktı
<b>%30</b>	Çıktı	Çıktı	Çıktı	Çıktı	Çıktı	Çıktı

## 7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tabak ve bardak gibi sofr ve süs eşyaları ürünlerinde görsel algıyı arttırmak için renkli boya uygulamaları yapılmaktadır. Bu ürünler kir, deterjan veya gıda ürünleri ile temas ettikçe desen ve boyalarda belirli bir süre sonunda aşınma ve erozyon meydana gelmektedir. Bu çalışmada porselen sofr ve süs eşyalarının üzerindeki boyalarda meydana gelen hasar ve aşınmayı en aza indirebilmek için desenli ürün üzerine uygulanabilen transparan sır kompozisyonları geliştirilmiştir. Sır tabakasının yüksek transparanlığa, parlaklığa ve porselen bünyeye uyuma sahip olması amaçlanmıştır. Tez kapsamında %10, %15, %20, %25, %30 ve %40 frit oranlarında sır kompozisyonları hazırlanmıştır. Geliştirilen farklı sır kompozisyonları üzerinde değerli metalik boya bulduran porselen ürünlere uygulanmıştır. Daha sonra sırlanmış ürünler 870°C-900°C arasında son pişirime tabi tutulmuştur. Bu tez kapsamında elde edilen bazı önemli sonuçlar şunlardır;

- Pişirim sonrası %10 'dan %30' a kadar olan sır kompozisyonlarında %10'luk sırlı yüzeyin matlığının ve bünye ile uyumunun %30 'a göre daha az olduğu gözlemlenmiştir.
- Sırların yapısında Kuvars-SiO<sub>2</sub> ve Albit-Na(AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) fazları gözlenmiştir ve sırlın bileşimindeki frit oranı arttıkça sırlın kristalizasyonunun azaldığı görülmektedir. Azalan kristalizasyon ile yapının artan frit oranı ile daha amorfleştiğini göstermektedir. Bu da yüksek transparanlık elde edilmesini sağlamıştır.
- Yapılan SEM ve EDS analizleri amorf faz içindeki kristal bölgeleri ve kristallerin çeşitlerin XRD analizlerini doğrulamaktadır. SEM ile incelenen sırların yüzeyinde herhangi bir çatlak da görülmemiştir.
- Sırdaki frit oranı arttıkça yüzey pürüzlüğünde iyileşme kaydedilmiştir.
- Bünye ile uyumu yüksek olan sır kompozisyonlarında deterjan dayanım testleri sonucunda kütle kayıpları çok az miktardadır yani herhangi bir aşınma olmadığı görülmüştür.
- Lekelenme testleri sonuçlarında tüm lekeler yıkama sonrası çıkmıştır ve bu yüzey özelliklerinin uygun olduğunu göstermektedir.
- Renk ölçümleri sonucu ΔE değerleri 0,50 değerinden düşük çıkmıştır ve bu kalite koşullarında kabul edilebilir, gözle görülemeyen farklılık seviyesindeki değişimi ifade etmektedir.
- Elde edilen sonuçlar, yalnızca %30 frit içeriği ile yüksek transparan özelliği ve aşınma dayanıma sahip sır kompozisyonlarının elde edilebileceğini göstermiştir.

## KAYNAKÇA

**American Society For Testing and Materials**, ASTM E 308, Standart practice for computing the colors of object by using the CIE System.

**Arcasoy, A.** (1983). Seramik Teknolojisi. Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Ana Sanat Dalı Yayınları No.2 , Beşiktaş,132

**Brigatti, M.F., Galan'n, E.& Thengc , B.K.G.(2006).** Structure and Mineralogy of Clay Minerals. Chapter 2, Italy.

**Bilgin A.E.**Elektroporselenlerin Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı (2013)

**Burleson, M.** (2001). The Ceramic Glaze Handbook Materials, Techniques,Formulas, A Division of Sterling Publishing Co., Inc., New York.

**Cura M.E.** (2002). Sıcak Preslenmiş WC-Co/B<sub>4</sub>C Kompozitlerinin Mekanik,Manyetik ve Mikroyapısla

**Fuertes, V., Cabrera, M.J., Seores, J., Muñoz, D., Fernández, J.F., Enríquez, E., (2019)** Enhanced wear resistance of engineered glass-ceramic by nanostructured self-lubrication Materials and Design 168, 107623

**Fröberg, L., Kronberg, T., Törnblom, S., Hupa, L., (2009)** Chemical durability of glazed surfaces, Journal of the European Ceramic Society, 27, 1811–1816

**Güner Y.** Seramik, Arı Kitabevi ,1987

**Heinrich, J.G.,ve Gomes, C.M.,** ‘Introduction to Ceramics Processing’,2015

**Iqbal Y., ve Lee W.E.,**’ Fired Porcelain Microstructure Revisited J.Am.Ceram.Soc., (2000)

**Karasu B. ve Çakı , M.,** ‘ Oksitleyici Atmosfer Şartlarında Üretilen Porselenlere Çinko Kristal Sırı Uygulamaları’, IV. Seramik Kongresi Bildiriler Kitabı, Eskişehir, s 287-293, 22-25 Eylül 1998.

**Kartal A.,** Sır ve Sırlama Tekniği. Çizgi Mattbaacılık, Banaz (1998)

**Kibici, Y.,** " Seramik Hammaddeleri ve Teknolojik Özellikleri ", Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayınları, Afyon 2002.

**Kingery, W.D., Bowen, H.K. & Uhlmann, D.R.(1967).** Introduction to ceramics. Sydney Toronto; John Wiley & Sons , London. VI.

**Wu, L., Li, C., Li, H., Li, S., Wang, C. (2020)** Microstructure and properties of porous anorthite/mullite whiskers ceramics with high porosity, Int J Appl Ceram Technol., 17 2104–2113.

**Mehrotra, P.K. (2014).** Powder Processing and Green Shaping , Comprehensive Hard Materials

**Özkan G.,** Porselen Sofra Eşyası Üretiminde Karşılaşılan Deformasyonlar ve Giderilme Önerileri. Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Seramik ve Cam Ana Sanat Dalı (2019)

**Özen P.** Sert Porselen Sert Porselen Gövdelerde Bor Atığı Kullanımı ve Karakterizasyonu. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2006.

**Saçlı M.,** Alüminyum Titanat Katkılı Porselenlerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi (2010)

**Selli, N.T., (2015),** Development of anorthite based white porcelain stoneware tile compositions Ceramics International, 41, 7790–7795

**Sümer G.,** Endüstriyel Seramikler Cilt 2, Eskişehir,1992

**Şahin İ.,** Tasarlanmış Çinko Oksit Esaslı Partiküllerin Seramik Sağlık Gereçlerinin Sırlarında Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi (2019)

**Tığ M.,** Sırlı Porselen Karo Yüzeylerine Uygulanabilir Transparan Sır Kompozisyonlarının Geliştirilmesi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi (2021)