

T. C.  
UŞAK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SERAMİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK GERİLİM PORSELEN İZOLATÖR SIRLARINDA MERMER ATIK  
TOZUNUN ALTERNATİF HAMMADDE OLARAK KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aliosman TİRYAKİ

MAYIS, 2025

UŞAK

T. C.  
UŞAK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SERAMİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK GERİLİM PORSELEN İZOLATÖR SIRLARINDA MERMER ATIK  
TOZUNUN ALTERNATİF HAMMADDE OLARAK KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aliosman TİRYAKİ

UŞAK, 2025

## TEZ BİLDİRİMİ

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

Aliosman TİRYAKİ



# **YÜKSEK GERİLİM PORSELEN İZOLATÖR SIRLARINDA MERMER ATIK TOZUNUN ALTERNATİF HAMMADDE OLARAK KULLANIMI**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Aliosman TİRYAKİ**

**UŞAK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Mayıs 2025**

## **ÖZET**

Artan enerji talebi ve yeni yerleşim ile sanayi alanlarının gelişmesi, enerji iletim hatlarına ve izolatörlere olan ihtiyacı artırmaktadır. Porselen izolatörler, yüksek dayanıklılıkları ve güvenilir elektriksel performansları nedeniyle hala sektörde en yaygın kullanılan izolatörlerdir. Bu izolatörlerin yüzeyinde, ürünün mukavemetini artırmak ve gerekli elektriksel özellikleri sağlamak için sır tabakası bulunur ve bu sırda kuvars, feldspat, kil, kaolen, kalsit, dolomit gibi malzemeler ile renklendirici oksitler kullanılır. Ancak, porselen izolatör üretimindeki artışla birlikte sır tüketimi de artmakta, bu da maliyetlerin yükselmesine ve doğal kaynakların tükenmesine yol açmaktadır. Bu bağlamda, çevre kirliliği ve atıkların hızla artması gibi küresel tehditler de göz önünde bulundurularak alternatif hammadde kaynakları arayışına girilmiştir. Bu çalışmada, yüksek gerilim porselen izolatörlerinin sır bileşimlerinde kullanılan kalsit ve dolomit yerine mermer atığı kullanılarak yeni sır reçeteleri oluşturulmuştur. Deneysel veriler, mermer atığı tozunun, porselen izolatör sırlarında yaklaşık %7 oranında kullanılabileceğini ve teknik olarak benzer özellikler elde edilebileceğini göstermektedir. Mermer atıklarının porselen izolatör üretiminde kullanımı, çevresel, mekanik, kimyasal ve ekonomik açıdan önemli faydalar sağlayarak, sürdürülebilir üretim süreçlerine katkıda bulunacaktır.

**Anahtar Kelimeler** : Mermer atığı, Porselen izolatör, Yüksek gerilim izolatör, Sır

**Sayfa Adedi** : 78

**Tez Danışmanı** :Doç. Dr. Müge Tarhan



**USE OF MARBLE WASTE POWDER AS AN ALTERNATIVE RAW  
MATERIAL IN HIGH-VOLTAGE PORCELAIN INSULATOR GLAZES**

**(M. Sc. Thesis)**

**Aliosman TIRYAKI**

**UŞAK UNIVERSITY  
GRADUATE EDUCATION INSTITUTE  
Department of Ceramic Engineering**

**May 2025**

**ABSTRACT**

The increasing demand for energy and the development of new residential and industrial areas have raised the need for energy transmission lines and insulators. Porcelain insulators are still the most widely used type of insulator in the industry due to their high durability and reliable electrical performance. These insulators have a glaze layer on their surface, which serves to enhance the product's strength and provide the necessary electrical properties. The glaze contains materials such as quartz, feldspar, clay, kaolin, calcite, dolomite, as well as coloring oxides. However, with the increase in porcelain insulator production, the consumption of glaze also rises, leading to higher costs and the depletion of natural resources. In this context, global threats such as environmental pollution and the rapid increase in waste have prompted the search for alternative raw material sources. In this study, new glaze recipes have been developed by replacing calcite and dolomite, which are commonly used in high-voltage porcelain insulators, with marble waste. Experimental data shows that marble waste powder can be used in porcelain insulator glazes up to about 7%, yielding similar technical properties. The use of marble waste in porcelain insulator production will provide significant environmental, mechanical, chemical, and economic benefits, contributing to sustainable production processes.

**Keywords** : Marble waste, Porcelain insulator, High-voltage insulator, Glaze  
**Number of pages** :78  
**Advisor** : Assoc. Prof. Dr.Müge Tarhan



## TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında bana her türlü desteği sağlayan, değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. MügeTARHAN'a, bana rehberlik ederek çalışmamı yönlendirdiği için içtenlikle teşekkür ederim. Onun bilgi ve deneyimi, bu çalışmanın her aşamasında bana büyük katkı sağlamıştır.

Tezimin gerçekleştirilmesinde bana büyük destek sağlayan ve bu çalışmanın temelini oluşturan Ankara Seramik Porselen AŞ'ye teşekkür ederim. Şirketin sunduğu olanaklar, araştırma kaynakları ve veriler, bu çalışmanın yüksek kaliteli ve sağlam bir şekilde hazırlanmasını mümkün kıldı. Ayrıca, çalışma sürecinde gösterdikleri ilgiden dolayı tüm Ar-Ge Merkezi çalışanlarına teşekkür ederim. Ar-Ge Merkezi ekibinin yardımları ve katkıları, araştırmamın gerçekleşmesinde önemli bir rol oynamıştır. Çalışmalarım sırasında gösterdikleri ilgi, teknik destek ve sağladıkları veriler, bu tezin tamamlanmasında büyük önem taşımaktadır. Bana bu olanakları sağladıkları için Genel Müdür Yardımcısı Sayın Murat GÜRSOY'a, destekleri için minnettarım.

Bu süreçte bana manevi destek veren ve her zaman yanımda olan hayat arkadaşım Ilgın Karataş Tiryaki ve canım kızlarım Güneş ve Nisan'asonsuz teşekkür ederim. Onların sabrı, sevgisi ve motivasyonu, bu zorlu süreçte bana güç vermiştir.

Son olarak, araştırma sürecinde yardımcı olan arkadaşlarım Aysun YILDIZ, Aslıhan ÖZDEMİR, Ceren KOÇER, Ceyda Ayça AVCI, Oğuzhan CUNKAŞ ve YusufDOĞAN'ateşekkür ederim. Herkese minnettarım.

# İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	İ
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	İX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
RESİMLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. PORSELEN İZOLATÖRLER.....	5
2. 1. GERİLİM SEVİYELERİNE GÖRE İZOLATÖRLER.....	6
2. 1. 1. Alçak gerilim hatlarında kullanılan izolatörleri.....	6
2. 1. 2. Mesnet izolatörler.....	6
2. 1. 3. Durdurucu izolatör.....	7
2. 1. 4. Orta gerilim hatlarında kullanılan izolatörler.....	7
2. 1. 5. Yüksek gerilim mesnet izolatörleri.....	8
2. 2. YAPILARINA GÖRE PORSELEN İZOLATÖRLER.....	10
2. 2. 1. Kuvars yapılı porselen izolatörler.....	10
2. 2. 2. Alumina yapılı porselen izolatörler.....	11
2. 3. ELEKTRO PORSELEN ÜRETİM AŞAMALARI.....	12
2. 3. 1. Hazırlık.....	12
2. 3. 2. Şekillendirme.....	15
2. 3. 3. Kurutma.....	17
2. 3. 4. Sırlama.....	17
2. 3. 5. Pişirim.....	18
2. 3. 5. 1. Redüksiyonlu pişirme.....	20
2. 3. 5. 2. Oksidasyonlu pişirme.....	20
2. 3. 6. Montaj.....	20
2. 3. 7. Test.....	21
2. 3. 7. 1. Tip testleri.....	21
2. 3. 7. 2. Numune testleri.....	21

2. 3. 7. 3. Rutin deneyler .....	22
2. 4. ELEKTROPORSELEN BÜNYESİNDE KULLANILAN HAM MADDELER	22
2. 4. 1. Kuvars .....	22
2. 4. 2. Alümina .....	26
2. 4. 3. Feldspat grubu .....	27
2. 4. 4. Kil grubu.....	28
2. 4. 4. 1. Yapılarına göre killer.....	28
2. 4. 4. 1. 1. Amorf olanlar: .....	28
2. 4. 4. 1. 2. Kristalin olanlar: .....	29
2. 4. 4. 2. Killerin özellikleri .....	30
2. 4. 4. 2. 1. Killerin fiziksel özellikleri .....	30
2. 4. 4. 2. 1. 1. Plastiklik.....	30
2. 4. 4. 2. 1. 2. Yağlılık ve yağsızlık .....	32
2. 4. 4. 2. 1. 3. Kuruma ve pişme küçülmesi .....	32
2. 4. 4. 2. 1. 4. Kuru mukavemet.....	32
2. 4. 4. 2. 1. 5. Pişme rengi ve ateş zayıfatı .....	33
2. 4. 4. 2. 2. Killerin termal özellikleri.....	34
2. 4. 4. 2. 3. Killerin kimyasal bileşimlerinin etkileri .....	34
2. 4. 5. Kaolen .....	36
2. 4. 6. Elektroporselen sırları .....	39
2. 5. ELEKTROPORSELEN SIRLARINDA KULLANILAN HAM MADDELER	41
2. 5. 1. Kuvars (Silika).....	41
2. 5. 2. Feldspat grubu .....	42
2. 5. 3. Kil ve kaolen.....	43
2. 5. 4. Kalsit .....	45
2. 5. 5. Dolomit.....	45
2. 5. 6. Renklendirici bileşenler.....	46
2. 5. 6. 1. Demir oksitler ( $Fe_3O_4$ ve $FeO$ ) .....	46
2. 5. 6. 2. Bakır oksit ( $CuO$ ve $Cu_2O$ ) .....	47
2. 5. 6. 3. Kobalt oksit ( $CoO$ ).....	47
2. 5. 6. 4. Krom oksit ( $Cr_2O_3$ ) .....	47
2. 5. 6. 5. Manganez oksit ( $MnO_2$ ve $MnO$ ) .....	48

2. 5. 6. 6. Titanyum oksit ( $TiO_2$ ).....	48
2. 5. 6. 7. Vanadyum oksit ( $V_2O_5$ ) .....	49
2. 5. 6. 8. Antimon oksit ( $Sb_2O_3$ , $Sb_2O_5$ ):.....	49
2. 5. 6. 9. Zirkonyum oksit ( $ZrO_2$ ) .....	49
2. 5. 6. 10. Nikel oksit ( $NiO$ ):.....	50
2. 5. 6. 11. Kalay dioksit ( $SnO_2$ ) .....	50
2. 6. MERMER VE MERMER ATIĞI.....	50
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	54
3. 1. KULLANILAN HAM MADDELER .....	54
3. 2. REÇETELERİN OLUŞTURULMASI VE KODLANMASI .....	54
3. 3. SIR REÇETELERİNİN HAZIRLANMASI .....	55
3. 4. ELEKTROPORSELEN SIRLARINA UYGULANAN DENEYLER .....	56
3. 4. 1. Yoğunluk ve viskozite.....	56
3. 4. 2. Yaş elek analizi ve tane boyut ölçümü.....	56
3. 4. 3. Sir akış davranışı analizi.....	57
3. 4. 4. Renk ölçümü.....	57
3. 4. 5. XRD analizi .....	58
3. 4. 6. Isıl mikroskop analizi.....	58
4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	59
4.1. KULLANILAN HAM MADDELERE AİT KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLER.....	59
4. 2. REOLOJİK ÖZELLİKLER.....	62
4. 3. FİZİKSEL VE OPTİK ÖZELLİKLER.....	63
4. 4. ISIL DAVRANIŞIN İNCELENMESİ.....	66
4.5. FAZ ANALİZİ.....	68
5. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER .....	69
KAYNAKLAR .....	72
ÖZGEÇMİŞ.....	78

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Pişme sırasında meydana gelen reaksiyonlar .....	19
Çizelge 2.2. Kristalin yapıli killer .....	30
Çizelge 2.3. Mermer tozlarına ait kullanım alanı ve miktarları.....	52
Çizelge 3.1. Seger hesabı örnek çizelgesi.....	55
Çizelge 4.1. Elektroporselen sırlarında kullanılan ham maddeler ve kimyasal analizleri .....	59
Çizelge 4.2. Ham maddelerin D <sub>10</sub> -D <sub>50</sub> ve D <sub>90</sub> tane boyut değerleri .....	60
Çizelge 4.3. STD1 reçetesinde kalsit veya dolomit yerine mermer atığı ile manyezit kullanılarak oluşturulan reçeteler ve kodları .....	60
Çizelge 4.4. STD1 reçetesinde kalsit ve dolomit yerine mermer atığı ile manyezit kullanılarak oluşturulan reçeteler ve kodları .....	61
Çizelge 4.5. STD2 reçetesinde kalsit, dolomit yerine mermer atığı ile manyezit kullanılarak oluşturulan reçeteler ve kodları .....	61
Çizelge 4.6. STD1 reçetesinde kalsit ve dolomit yerine mermer ve manyezit kullanılan sırların reolojik özellikleri .....	62
Çizelge 4.7. STD1 reçetesinde kalsit veya dolomit yerine mermer ve manyezit kullanılan sırların reolojik özellikleri.....	62
Çizelge 4.8. STD2 reçetesinde kalsit, dolomit yerine mermer ve manyezit kullanılan sırların reolojik özellikleri .....	63
Çizelge 4.9. STD1 reçetesinde kalsit veya dolomit yerine mermer ve manyezit kullanılan sırların çubuklara ait mukavemet sonuçları.....	64
Çizelge 4.10. STD1 reçetesinde kalsit veya dolomit yerine mermer ve manyezit kullanılan sırların çubuklara ait mukavemet sonuçları.....	64
Çizelge 4.11. Reçete çalışmalarındaki STD2 sırların kullanıldığı çubuklara ait mukavemet sonuçları.....	64
Çizelge 4.12. STD1 reçetesinde kalsit veya dolomit yerine mermer ve manyezit kullanılan sırların renk ölçüm değerleri .....	65
Çizelge 4.13. STD1 reçetesinde kalsit ve dolomit yerine mermer ve manyezit kullanılan sırların renk ölçüm değerleri.....	65
Çizelge 4.14. STD2 sır reçetelerine ait renk ölçüm değerleri.....	66

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Porselen izolatör bünyelerinin gelişimi .....	11
Şekil 2.2. Kuvars dönüşümleri.....	24
Şekil 2.3. Mermer atık çamurunun oluşum süreci (Demirel ve Alyamaç, 2018) .....	51
Şekil 4.1. Reçetelerde kullanılan ham maddelerin tane boyut analizleri a) Kalsit, b) Dolomit, c) Mermer atık tozu, d) Manyezit.....	60
Şekil 4.2. STD1 sır reçetelerinin akma boyu davranışları.....	66
Şekil 4.3. STD2 sır reçetelerinin akma boyu davranışları.....	67
Şekil 4.4. STD2, MA1, MA3 ve MA5 sırlarına ait ısı mikroskobu analizi.....	68
Şekil 4.5. Standart 2 sır ve mermer atık tozu ile geliştirilen sırlara ait XRD analizleri (K: Kuvars, C: Kromit, A: Anortit).....	68

## RESİMLER DİZİNİ

Resim 1.1. İzolatör kısımları.....	2
Resim 1.2. Bir polimer yalıtkanın bileşimi (IMNR, 2024) .....	4
Resim 2.1. N-80 ve N-95 tipinde izolatörler .....	6
Resim 2.2. VHD tipi ve VKS tipi izolatörler.....	8
Resim 2.3. Yüksek gerilim izolatörleri.....	9
Resim 2.4. Tartım ve öğütme sistemi (SACMI).....	13
Resim 2.5. Değirmen içerisindeki bilya hareketleri.....	14



## SİMGELER ve KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simge</b>	<b>Açıklama</b>
<b>%</b>	Yüzde
<b><math>\sigma_f</math></b>	Eğilme mukavemeti, MPa,
<b>F</b>	Kırma olayında deney parçasına uygulanan toplam kuvvet, N
<b>l</b>	Destek noktaları arasındaki mesafe, mm,
<b>d</b>	Yuvarlak kesitli deney parçasının çapı, mm
<b><math>\rho_a</math></b>	Yığın yoğunluğu, Mg/m <sup>3</sup> ,
<b><math>\rho_a</math></b>	Görünür gözeneklilik, hacimce %,
<b><math>m_0</math></b>	Kuru deney parçasının kütlesi, g,
<b><math>m_w</math></b>	Deney parçasının ve suya daldırılmış askı telinin görünür kütlesi, g,
<b><math>m_s</math></b>	Suda aynı seviyeye kadar daldırılmış askı telinin görünür kütlesi, g,
<b><math>m_h</math></b>	Islatılmış deney parçasının havadaki kütlesi, g,
<b><math>\rho_w</math></b>	Suyun veya diğer daldırma sıvısının T deney sıcaklığındaki yoğunluğu, Mg/m <sup>3</sup> tür.

<b>Kısaltma</b>	<b>Açıklama</b>
<b>°C</b>	Derece Santigrat
<b>Mg</b>	Magnezyum
<b>Ca</b>	Kalsiyum
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	Kalsiyum karbonat
<b>kV</b>	Kilovolt
<b>SiO<sub>2</sub></b>	Kuvars
<b>(K,Na)<sub>2</sub>O.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.6SiO<sub>2</sub></b>	Feldspat
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O</b>	Kaolinit Killeri
<b>G</b>	Gram
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Alümina
<b>Na</b>	Sodyum
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	Sodyum Oksit
<b>K</b>	Potasyum
<b>K<sub>2</sub>O</b>	Potasyum Oksit
<b>TS</b>	Türk Standartları
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub></b> Metakaolen	
<b>BPO<sub>4</sub></b> Bor Fosfat	
<b>ZrSiO<sub>4</sub></b> Zirkon	

# 1. GİRİŞ

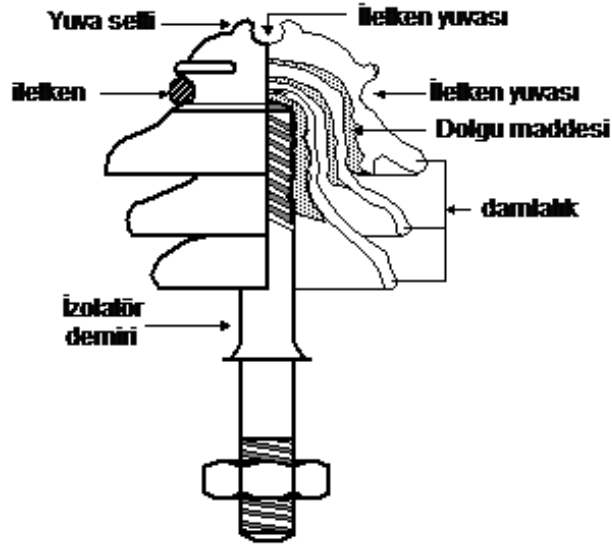
İzolatörler, enerji nakil hatlarında iletken parçaların direklere tespiti için kullanılan, böylece iletkenleri bir yerden bir yere taşıyan ve iletkenler arasında izolasyon oluşturan malzemelere izolatör denir.

İletkenleri topraktan ayırmak ve iletken üzerine binen kendi ağırlığı ve ilave yükleri karşılamak izolatörlerin temel görevleridir. Bu yükleri güvenli şekilde karşılayabilmesi için mekanik ve elektriksel özelliklerinin yeterli olması gerekmektedir.

İzolatör malzemesinin seçiminde kullanılan malzemenin karşılaması gereken elektrik akımına karşı direnç, termal etkilere dayanıklı olması gibi başlıca unsular vardır. Bu yüzden izolatör malzemesi seçiminde, ilk olarak cam ve porselen daha sonraları ise silikon tercih edilmiş ve bu malzemelerden yapılan izolatörler yaygın olarak kullanılmıştır.

İzolatör başlıca Resim 1.1 'de gösterilmiştir.

1. Gövde: İletkenin ve destek demirinin sabitlendiği ana bölümdür.
2. Tutturma yuvası: İzolatör demirinin izolatöre monte edilebilmesi amacıyla oluşturulan düz ya da vidalı bölümdür.
3. Siper veya etek (damlalık):İzolatörün elektriksel direncini artırmak için gövdeye eklenen bir veya daha fazla kanattır.
4. İletken yuvası: İzolatöre bağlanacak iletkenlerin yerleştirilmesi için tasarlanmış boşluklardır.
5. Tutturma demiri (izolatör demiri):İzolatörün direk ya da konsol (travers)üzerine sabitlenmesini sağlayan metal parçadır(T. C. Millî Eğitim Bakanlığı, Elektrik-Elektronik Teknolojisi, İzolatörler 522EE0128, 2011).



**Resim 1.1.**İzolator kısımları

İzolator kullanımının ilk gereksimleri, telgraf ve telefon havai hatlarının kırsal bölgelere ulaşması için gerekli yalıtım malzemesi ihtiyacı ile beraber cam izolatorlerin kullanılması ile karşılanmıştır. Daha sonraları kullanılan cam izolatorlerin yerine basit seramik izolator parçalar almıştır. Cam izolatorlere göre çok daha küçük ve basit parçalar olarak telgraf hatlarında kullanılmaya başlanmasıyla porselen izolatorlerin tarihsel hikayesi başlamıştır. 1880'ler de ise elektrik kullanımının gelişmesi ile birlikte artan gerilim seviyelerini taşımak için enerji nakil hatlarında daha büyük hacimli ve daha kaliteli izolatorlere ihtiyaç duyuldu. Kısa süre sonra porselen, hem yalıtım hem de dayanıklılık açısından algılanan üstün performans nedeniyle çoğu dağıtım uygulamasında camın yerini almaya başladı (Akalp ve ark., INMR, 2021; IEEE, 1991)

Fabrikaları A. Ş. ile birlikte küçük tesislerin alçak gerilimli İzolator ve porselen üretimi 1962 senesinden sonra başlamıştır. Bidayette İzmir'de kurulan AR-Porselen Fabrikası ise ancak 120 tonluk bir tevsi gerçekleştirilebilmiştir.

Porselen izolatorleri, ilk hatların inşa edilmesinden bu yana havai iletim hatlarını yalıtım ve desteklemek için kullanılmıştır. Mevcut oldukları 100 yıl boyunca üretim, ürün tasarımı ve standardizasyondaki gelişmeler, genel olarak mükemmel bir hizmet geçmişiyle sonuçlanmıştır. Bu izolatorler hizmet sırasında sürekli mekanik ve elektriksel gerilimlere maruz kalırlar ve uzun yıllar hizmet verirler(Cherney ve ark.,2014).

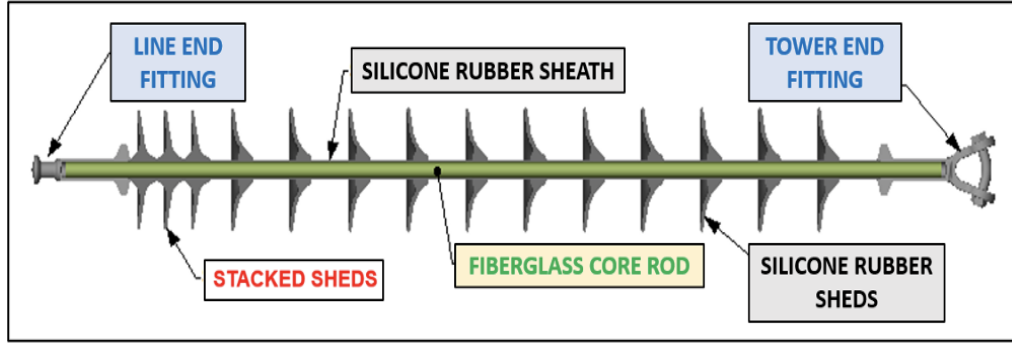
Ülkemizde poselen izolatör üretimi Çanakkale Seramik AŞ. ve küçük işletmeler ile birlikte 1962 yıllarında başlamıştır. Aynı dönemde kurulan AR-Porselen Fabrikası ise 120 tonluk üretim gerçekleştirmiştir. 1950lerin ortasında kurulma kararı alınan ve elektroporselen 1967 yılında üretimine başlayan yapınsında elektroporselen, sofr eşıyası ve vitrifiye üretimi gerçekleştiren Sümerbank Yarımca Fabrikası poselen izolatörler üretimi açısında son derece önemli bir yere sahiptir (Sümer1976; Belge, 2024).

Türkiye’de teknik seramik üretimine ilişkin 2020 yılında T. C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yayımlanan Seramik Sektörü Raporu'na göre, bu alandaki ürünlerin yaklaşık %80’ini poselen izolatörler, %15’ini ise elektroporselen ürünler oluşturmaktadır. Teknik seramik sektörü, poselen izolatörler, elektroporselen malzemeler ve ileri seramiklerin üretimini gerçekleştiren 7 firma tarafından temsil edilmektedir. Sektörün yıllık üretim kapasitesi, izolatörlerde 19. 200 ton, elektroporselen ve diğer teknik seramiklerde ise 4. 400 ton olarak belirlenmiştir (T. C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Seramik Sektör Raporu, 2021).

Kullanılan malzemeye göre izolatör çeşitlerini 3 ana başlık halinde toparlayabiliriz. Bunlar cam izolatör, silikon izolatör ve poselen izolatördür. .

Cam izolatör, geçmişten günümüze en yaygın izolatör malzemeleri arasında yer almaktadır. Şeffaf olması, güneş ışınlarından ısınmaması, yüksek çekme mukavemeti gibi avantajlarının yanı sıra diğer izolatör malzemelerine göre daha ucuz sayılabilir. Cam izolatörlerin olumsuz yönleri arasında ise nemin cam izolatör yüzeyinde kolay yoğuşmasından dolayı izolatörün yüzeyinde havadaki yozlar birikmesine ve kaçak akım oluşma ihtimali ve soğuma sırasında oluşan iç gerilimden dolayı tasarım konusunda çok esnek değildirler.

Polimer izolatörler için; kompozit izolatörler, polimer izolatörler, seramik olmayan izolatörler (NCI'ler), sentetik izolatörler, kauçuk izolatörler gibi bir dizi tanım kullanılmaktadır. Kullanılan tanımdan bağımsız olarak çekirdek, mahza ve uç bağlantılarından oluşan bir yapıya sahiptir (Resim 1. 2).



**Resim 1.2.**Bir polimer yalıtkanın bileşimi(IMNR, 2024)

Hafifliği ve mekanik kuvvetinin yüksek olması vb birçok avantaja sahip olan polimer izolatörlerin karmaşık teşhis ve yalıtım yüzeyindeki biyolojik kirlilik gibi başlıca olumsuz özellikleride mevcuttur.

Porselen izolatörler ise başlıca havai iletim hatları taşıyıcıları ve güç transformatörlerinin burçlarında olmak üzere elektirik yalıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Porselenin üstün yalıtım kalitesi ve gücü nedeniyle çoğu elektrik dağıtım uygulamasında camın yerini almaya başlaması ile elektrik dağıtım hatlarında başta gelen malzmelere dönüşmüştür (Glushkov ve ark.,2014; IMNR, 2024; Gençoğlu, 2007).

## 2. PORSELEN İZOLATÖRLER

Seramiklerin, diğer malzemelerin erişemeyeceği başlıca özellikleri ;

- Sertlik ve mekanik mukavemetleri
- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık
- Yalıtımda yarı iletgenliğe adapte edilebilen, değiştirilebilen elektriksel

özellikleri

- Kimyasal etkilere karşı dayanıklılık, yüksek korozyon dayanıklılığı
- Isı ve hava koşullarına dayanıklılık
- Kokusuz ve tatsızlığı
- Estetik tasarım

Porselenler neredeyse yukarıda sıralan tüm özellikleri gösteren bir malzeme türüdür. bu sebeplerden dolayı günlük kullanım açısından çok popüler bir malzeme türüdür. Ayrıca porselen malzemeler elektrik mühendisliği açısından bu alanda adlandırılan en eski malzemelerdendir. İlk olarak 1849 senesinde Werner von Siemens Frankfurt am Main ile Berlin arasındaki telgraf hattı direklerinin yalıtımında porselen izolatörleri kullanmıştır (Kramer ve ark.,2015).Porselen izolatörler, kullanılan ham maddeeler veya üretim özellikleri açısından diğer porselen türlerine benzerlik taşısada özellikleri bakımından diğer porselen gruplarından ayrılmaktadır. İzolatörler, sahada kullanıma sunulmadan önce, IEC tarafından belirlenen ve genel kabul gören 20 farklı standart teste tabi tutulur. Bu testler arasında elektromekanik kırılma yükü testi, flaş testi ve güç frekansı delinme testi gibi değerlendirmeler yer alır. Testler, izolatörün elektromekanik performansı ve dış boyutları gibi pek çok özelliğini kapsar. Güvenliği sağlama amacıyla oldukça titizlikle uygulanan bu testler, aynı zamanda IEC sertifikasını almayı zorlaştıran temel etmenlerden biridir. Porselen izolatörlerde yaygın olarak kullanılan iki temel malzeme bulunmaktadır: alümina bazlı porselen ve kuvars bazlı porselen. İzolatör seçimi, mekanik ve elektriksel gereksinimlerin değerlendirilmesi sonucunda yapılır. Bu gereksinimler, IEC-60672-3 standardında belirtilen alt gruplara göre sınıflandırılmıştır (Ruys, Andrew, 2018; Tiryaki ve ark.,2022).

## 2. 1. Gerilim Seviyelerine Göre İzolatörler

### 2. 1. 1. Alçak gerilim hatlarında kullanılan izolatörleri

Alçak gerilim enerji dağıtım hatlarında, iletkenlerin direklere sabitlenmesinde kullanılan izolatörler, 1000V'a kadar olan nominal gerilimli hatlar için üretilmektedir. Bu izolatörler, alçak gerilim şebeke hatlarında yaygın olarak kullanılır. Alçak gerilim porselen izolatörler, kullanım amaçlarına göre iki ana kategoriye ayrılmaktadır: mesnet izolatörler ve gergi izolatörler.

### 2. 1. 2. Mesnet izolatörler

Bu izolatör tipi, içine geçirilen tespit demiri ile montaj yerine sabitlenen, çan biçiminde porselen gövdeye ve bir veya daha fazla sipere sahiptir. İletken yuvası sayısına bağlı olarak, tek yuvalı (basit), ikili veya üçlü gibi alt tiplere ayrılır. Günümüzde bu izolatörler, N-80 ve N-95 olmak üzere iki farklı modelde üretilmektedir ve alçak gerilim şebeke hatlarında ise bu izolatörler tercih edilmektedir (Resim 2. 1).



**Resim 2.1.**N-80 ve N-95 tipinde izolatörler

### **2. 1. 3. Durdurucu izolatör**

Bu izolatörleri, elektrik hatlarının son mesnet noktalarında veya durdurucu direklerinde kullanılan, yüksek mekanik gerilmelere dayanıklı özel izolatörlerdir. Bu izolatörler, sağlam yapıları sayesinde yoğun yük koşullarına uyum sağlar. Tasarımlarında birden fazla siper bulunur ve iletkenlerin yerleştirilmesi için birden fazla yuvaya sahiptir.

### **2. 1. 4. Orta gerilim hatlarında kullanılan izolatörler**

Orta gerilim seviyesindeki (1-35 kV) enerji nakil hatları, branşman hatları ve bu gerilim aralığında çalışan dağıtım şebekelerinde, porselen izolatörler temel bileşenler arasında yer alır. Bu izolatörler, aynı zamanda bu hatlara bağlı bağlantı tesislerinde de kullanılır. Orta gerilim hatlarında kullanılan izolatörler, genellikle iki ana gruba ayrılır: mesnet tipi ve zincir tipi izolatörler.

Mesnet tipi izolatörler, izolatör demiri yardımıyla sabitlendikleri mesnede oturtulur. Çan biçimindeki gövdelerinde bir veya birden fazla siper bulunur. Bu izolatörler, tek parça halinde üretilebildiği gibi, birden fazla parçanın bir araya getirilmesiyle de oluşturulabilir. Kullanım alanlarına bağlı olarak, basit tekli izolatörler ya da birbirine bağlanarak veya yapıştırılarak oluşturulan birleşik tip izolatörler şeklinde tasarlanabilirler.

Bunun yanı sıra, farklı atmosfer koşullarında kullanım için özel olarak üretilmiş izolatör çeşitleri de bulunmaktadır. Örneğin, yoğun sisli bölgeler için sis tipi izolatörler, yüksek mekanik dayanıklılık gerektiren durumlar için ise takviyeli tip izolatörler geliştirilmiştir.

Bu tür izolatörler, orta gerilim enerji dağıtım hatlarında iletkenlerin direklere güvenli bir şekilde sabitlenmesi için yaygın olarak tercih edilmektedir. Ayrıca, kullanım amaçlarına göre VHD tipi ve VKS tipi olmak üzere iki temel gruba ayrılırlar (Resim 2. 2).



**Resim 2.2.**VHD tipi ve VKS tipi izolatörler

### **2. 1. 5. Yüksek gerilim mesnet izolatörleri**

Zincir tipi izolatörler, gövdelerinin diğer izolatör elemanlarına, izolatör demirlerine ya da kolon yapılarına bağlanmasını sağlayan özel bağlantı düzeneklerine sahiptir. Bu izolatörler, mafsallı bağlantılarla birleştirildiklerinde zincir benzeri bir yapı oluşturduklarından bu ismi almıştır. Orta Gerilim (OG)ve Yüksek Gerilim (YG)hatlarında kullanılan zincir izolatörlerin eleman sayısı ve tipi, hattın gerilim seviyesi ile kullanım amacına göre farklılık gösterir.

Bu tür izolatörler tek başına kullanılabilirdiği gibi, ihtiyaç duyulduğunda birden fazla elemanın bir araya getirilmesiyle de kullanılabilir. Örneğin, 2 ila 6 ya da daha fazla zincir izolatör elemanının birbirine bağlanarak oluşturduğu yapılar sıkça tercih edilir. Bu şekilde birleştirilen elemanların oluşturduğu düzenek "izolatör zinciri" olarak adlandırılır.

1. İzolatör zincirleri, kullanım amaçlarına göre iki temel kategoriye ayrılır:
2. Taşıyıcı zincirler: Düz hatlarda, taşıyıcı direklerde kullanılır ve bu tür düzenekler "tek askı tertibatlı takım" olarak bilinir.

Durdurucu zincirler: Nihayet, branşman veya durdurucu direklerde kullanılan düzeneklere ise "tek gergi tertibatlı takım" adı verilir.

Hattın gerilim seviyesine ve kullanım amacına bağlı olarak, zincirde kullanılan izolatör elemanlarının sayısı ve tipi belirlenir. Eğer tek bir izolatör zinciri, hattın taşıdığı mekanik yükleri karşılamak için yeterli olmazsa, birden fazla zincir paralel bağlanarak bir "izolatör zincir takımı" oluşturulur.

İzolator zincir takımları genellikle iki paralel zincirin uygun şekilde bağlanmasıyla meydana gelir. Bu takımlar da kullanım amaçlarına göre iki farklı şekilde sınıflandırılır:

1. Çift askı tertibatlı takımlar: Taşıyıcı direklerde kullanılır.
2. Çift gergi tertibatlı takımlar: Nihayet ve durdurucu direklerde kullanılır.

Yüksek gerilim mesnet izolatorleri, kullanım amacına ve tasarım özelliklerine göre iki ana kategoriye ayrılır. İlk grubu, 250, 325 ve 550 kV seviyelerindeki gerilim hatlarında yaygın olarak kullanılan solid-core tipi mesnet izolatorler oluşturur. İkinci grup ise, daha yüksek gerilim gereksinimlerini karşılamak üzere tasarlanmış, 750 kV ve üzerindeki hatlarda kullanılan kolon tipi solid-core mesnet izolatorlerdir. Bu ikinci tür, genellikle tek veya çift üniteli bir yapıya sahiptir ve yüksek gerilim hatlarının ihtiyaç duyduğu dayanıklılığı sağlamak üzere geliştirilmiştir(Resim2.3).



**Resim 2.3.**Yüksek gerilim izolatorleri

Porselen izolatorlerin üretiminde, hammaddeler olarak kil, kaolen, feldspat, kuvars ve alümina kullanılmaktadır. Bu hammaddeler, genel porselen üretiminde kullanılanlarla benzerlik gösterse de, izolatorlerin özel kullanım alanları nedeniyle üretim süreçleri ve performans beklentileri oldukça farklıdır. İzolatorler, sahada kullanılmadan önce, IEC tarafından belirlenen ve uluslararası kabul görmüş olan 20 farklı özellik testinden geçmek zorundadır. Bu testler arasında elektromekanik kırılma yükü, flaş testi ve güç frekansı delinme testi gibi kritik değerlendirmeler yer alır.

Testlerin amacı, izolatörlerin dayanıklılığını, güvenilirliğini ve standartlara uygunluğunu garanti altına almaktır. Bu nedenle, IEC'nin yeterlilik sertifikası oldukça yüksek standartlar gerektirir ve bu süreci başarıyla tamamlamak zorlu bir aşamadır(T. C. Millî Eğitim Bakanlığı, Elektrik-Elektronik Teknolojisi, İzolatörler 522EE0128, 2011).

## **2. 2. Yapılarına Göre Porselen İzolatörler**

IEC-60672-3 standardı her ne kadar porselen bünyeler için yapısal değerler belirtse de içerik olarak değerlendirdiğimizde yapıların göre porselen izolatörler alümina içerikli bünyeler ve kuvars yapıli bünyeler olarak iki gruba ayrılabilir. Kuvars bünyeden alümina bünyeye geçişte veya tercih etmedeki en başlıca sebepler yüksek mukavemet değerleri, termal dayanım ve elektriksel dayanım gibi faktörlerdir (Amigo ve ark.,2005).

### **2. 2. 1. Kuvars yapıli porselen izolatörler**

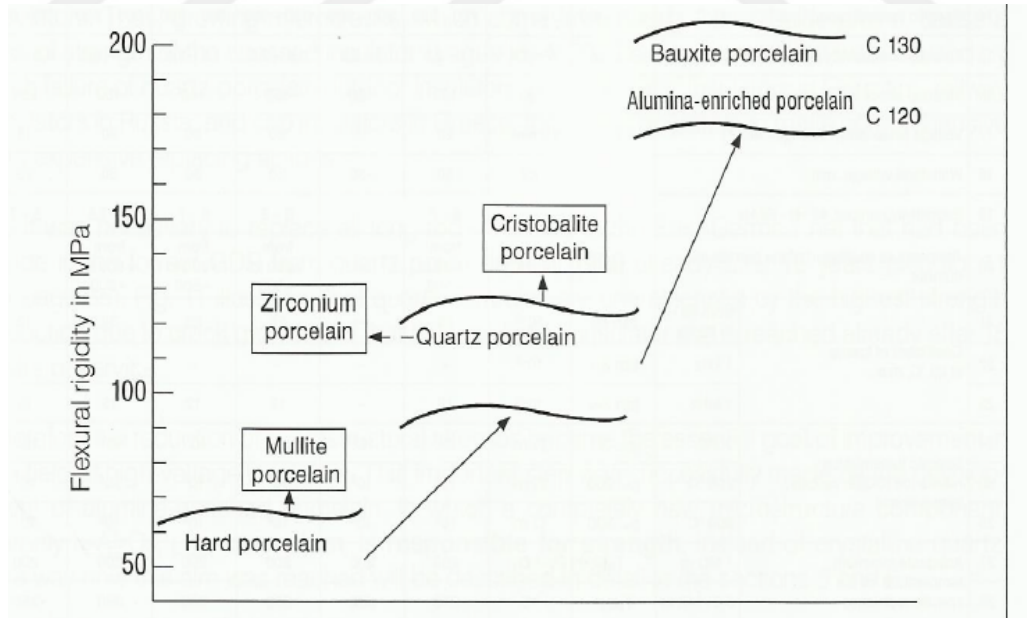
IEC-60672 standardında C110 olarak adlandırılan kuvars yapıli elektroporselen bünyelerin üretiminde kil, kaolen, fedispat ve kuvars kullanılmaktadır. Kuvars yapıli elektroporselenler, hem alçak gerilim hemde yüksek gerilim gerilim seviyelerinde kullanılmaktadır. Elektriksel ve mekanik özellikleri açısından alümina bünyeler kadar iyi performans gösteremesede gerekli standartları karşıladığı alanlarda yaygın olarak tercih edilen izolatör tipidir. Kuvars esaslı elektroporselenlerin başlıca avantajı ham madde maliyeti açısından ucuz olmalarıdır. Öte yandan, kuvars içeriğine sahip porselen yapılarında, kuvars fazı ile çevresindeki sıvı faz arasındaki ısıl genleşme farklılıkları, mekanik stresin oluşmasına yol açar. Bu durum, porselen malzemede mikro çatlakların meydana gelmesine ve yapının zayıflamasına neden olabilir. Bu da mekanik yük altında porselen bünyenin mekanik mukavemetin azalmasına neden olabilir. Bu tür sorunların önüne geçebilmek için kuvars bünyeli elektroporselenler pişirim sırasında yüksek sıcaklık ve uzun fırın rejimleri ile beraber katı kuvars tanelerinin eriyik faza geçmesi ile katı kuvars miktarının azalması gerekmektedir. Bu hem proses maliyetini arttırmakta, hemde proses şartlarını zorlaştırmaktadır (Amigo ve ark.,2005; Liebermann, 2012).

Ayrıca reçetede kullanılan kuvarsın tane boyutunun da ürünün mekanik ve fiziksel etkileri üzerinde etkileri bulunmaktadır. Tane boyutu yüksek kuvars ile üretilen elektroporselen bünyelerin porozite ve su emme değerleri artmaktadır. Diğer yandan ise kuvars tane boyutunun artması ürün mukavetinde azalmaya neden olurken termal genişleme katsayısını arttırmaktadır(Tiryaki ve ark.,2022).

## 2. 2. 2. Alumina yapıli porselen izolatörler

IEC-60672 standardında C120 ve C130 olarak belirtilen alümina yapıli elektroporselenler ham madde olarak kuvars yapıli bünyelere benzer olarak kil kaolen feldispat kullanırken kuvars yerine alümina yada boksit kullanılmaktadır.

Elektroporselen yapılar kullanıldığı alana da bağıli olarak çok farklı ve fazla mekanik yüke maruz kalabilmektedirler. Gelişen sanayi ve artan nüfus ile birlikte elektroporselen bünyelerden beklenen teknik gereksinimlerde artmaya başlamıştır. bu sebeplerden dolayı elektroporselen bünyenin teknik özelliklerini arttırma gereğı doğmuştur. Şekil2.1' de porselen izolatör bünyelerinin gelişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.1.Porselen izolatör bünyelerinin gelişimi

Yukardaki şemadan da görüleceği üzere kuvars bünyeli porselen izolatorlerin teknik olarak yetersiz kaldığı alanlarda alumina yapıli seeramik bümyeler tercih edilmeye başlanmıştır. Alümina esaslı izolatorler yaygın olarak güç iletim şebekelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun sebebi bu izolatorlerin sahip olduğu üstün mekanik özellikleridir (Meng ve ark.,2012). Yine alumina esaslı porselen bünyelerde de yapılan çalışmalarda belli oranlarda kuvars katılmasıyla performansı yüksek porselen izolatorlerin üretildiği sonucuna çalışmalarda varılmıştır (Mehta ve ark.,2017). Ayrıca alümina ham madde fiyatının yüksek olmasından dolayı reçete oluşturur iken alümina yerine boksit veya alümina hidroksit gibi alümina kaynaklarıda kullanılmaktadır. Bu sayede alüminadan kaynaklı reçete maliyeti artışı azaltılmaya çalışılmaktadır (Gralik ve ark.,2014. ; Sedghi ve ark.,2014).

## **2. 3. Elektro Porselen Üretim Aşamaları**

### **2. 3. 1. Hazırlık**

Elektroporselen üretiminin ilk aşaması olan hazırlık aşamasını tartım, öğütme, karıştırma, filter pres ve şinike pres olarak beş başlık halinde ayırabiliriz.

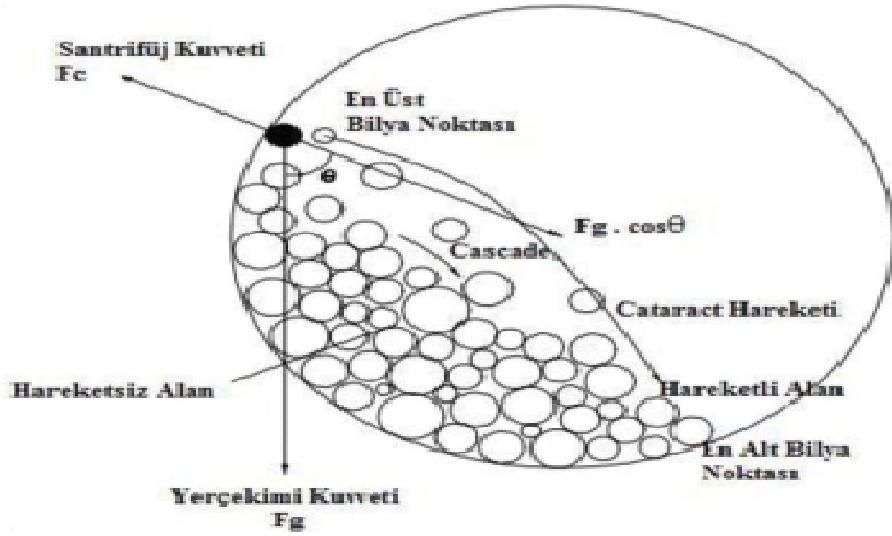
Elektroporselen masse grubuna göre farklılık göstermekle birlikte genel olarak kil, kaolen, feldispat, kuvars, alumina, boksit ham maddelerinden oluşan reçetelerdeli miktarlarına göre tartımlı silolar yada beşigerler aracılı ile sulu öğütme yapan değirmen sistemine beslenir. Bu sistem Resim 2.4' te sunulmuştur.



**Resim 2.4.** Tartım ve ögütme sistemi(SACMI)

Ögütme işlemleri, hammaddelerin uygun tane boyutuna getirilmesini ve homojen bir karışım oluşturulmasını amaçlar. Bu sürecin etkin ve başarılı bir şekilde yürütülebilmesi, çeşitli faktörlerin bir arada uyum içerisinde işlemesine bağlıdır.

Değirmenin çalışmaya başlamasıyla birlikte, dönüş hızı arttıkça ögütme işlemi hız kazanır. Ancak, bu hız belirli bir sınırın üzerine çıktığında, ögütme elemanları ve şarj, santrifüj etkisiyle değirmenin iç duvarına yapışır ve katarakt ya da kaskat hareketi gerçekleştiremez. Bu durum, ögütme işleminin ciddi ölçüde yavaşlamasına veya tamamen durmasına yol açar. Ayrıca, bu aşamada değirmenin dönüşü için gereken güç de hızla düşer. Bu nedenle, bir değirmenin çekebileceği maksimum güce karşılık gelen hız kritik hız olarak tanımlanır. Şarjın tamamen santrifüj etkisine girdiği bu kritik hızın altında çalışılması, ögütme işleminin devamlılığı açısından büyük önem taşır.



**Resim 2.5.**Değirmen içerisindeki bilya hareketleri

Değirmen içerisindeki bilyaların hareketi son derece karmaşık bir yapıya sahiptir ve dönüş sırasında izledikleri yolun kesin hesaplamasını yapmak zordur (Resim 2.5). Bununla birlikte, günümüzde kullanılan 'Ayrık Elemanlar Yöntemi' gibi modern simülasyon teknikleri, değirmen içindeki dinamik hareketlerin modellenmesine ve sistemin genel işleyişinin anlaşılmasına olanak tanır.

Kritik hız, 'Değirmenin içindeki öğütücü elemanların merkezkaç kuvvetiyle değirmen duvarına yapışmasını sağlayan maksimum açısal hız' olarak tanımlanır. Çoğu değirmen, bu kritik hızın %65 ila %82'si arasında çalıştırılırken, bazı özel durumlarda bu oran %90'a kadar çıkabilir.

Bilyaların değirmen içerisindeki hareketleri, yığılma ve taşıma etkileri nedeniyle sistematik bir düzende gerçekleşmez. Bu yüzden, bilyaların birbirine çarpma kuvvetleri genellikle göz ardı edilir ve bir bilyanın tek başına hareketi üzerinden matematiksel modeller geliştirilir.

Değirmen performansını etkileyen önemli faktörlerden biri de bilya dolum oranıdır. Bu oran, öğütme verimliliğini, enerji tüketimini ve ekipman aşınmasını doğrudan etkiler. Her işlem için belirli bir optimum dolum oranı vardır. Örneğin, %25 dolum oranı ile çalışan bir değirmenin oranı %30'a çıkarıldığında daha ince bir ürün elde edilebilir. Ancak bu oran %35'e yükseltildiğinde, öğütme performansı daha da artacağı düşüncesi yanıltıcı olabilir; bu durumda yalnızca enerji kaybı yaşanır.

Az miktarda malzeme doldurulması düşük bir kırılma hızına neden olurken, malzeme miktarı arttıkça bilyalar arasındaki boşluklar dolularak kırılma hızı artar. Ancak bu durum, malzemenin belirli bir sınırın üzerine çıkmasıyla tersine döner. Aşırı malzeme doldurulması, malzemenin yastıklama etkisi yaratmasına ve bilyalar arası çarpışmanın azalmasına yol açar. Bu da kırılma hızının düşmesine neden olur. Bu nedenle, optimum dolum oranı korunarak en verimli öğütme işlemi gerçekleştirilmelidir (Yıldız Necati, 2015; Baltacı Yeşim, 2013; Dökme F., ve Güven O., 2014).

Öğütme prosesinden sonra porselen çamur karıştırma prosesine alınır. Bu işlem için karıştırma tankları yada karıştırma kuyuları kullanılır. Bu prosesin amacı hem çamur için stok alanı sağlamak hemde reçetede yer alan öğütme işlemine gerek duymayan suda açılabilen ham maddelerin karışıma eklenmesidir.

Daha sonra ise hazırlanan çamurun içindeki su içeriğini azaltmak için uygulanan filter press işlemidir. Genellikle kullanılan filter pres çeşidi bölmeli filter pres modelidir. Bölmeli filter pres modelinde de esas amaç belirli büyüklükteki tanelerden arındırılmış sıvı porselen çamurun suyunun uzaklaştırılıp plastik çamur elde etmektir. Bölmeli filter pres modelinde belirli sayıda paralel şekilde peş peşe dizilmiş pres plakaları bulunur. Bu plakalar uygun açıklığa sahip bezlerle sarılmıştır. Plakaların merkezinde yaklaşık 5-10 atü basıçlı çamurun geçebileceği açıklık bulunur. Bu açıklıktan geçen sıvı çamur keklerin arasına dolar ve basınçla birlikte içerdiği suyu tahliye ederek plakalar arasında kek denilen plastik çamur plakasını oluşturur. Filter presin süresi çamurun reolojisine, çamurun plastikliğine, basılan sıvı çamurun basıncına ve bunun gibi etkenlere bağlı olarak değişkenlik gösterir (Arcasoy, 1983).

Filter presten alınan kek halindeki plastik çamur filter presplakasının büyüklüğüne, basınca bağlı olarak bölgesel nem farklılıkları göstermektedir. Hem nem açısından homojen hale getirme hemde taşıma kolaylığı sağlama açısından rahatlık sağladığı için filter pres kekleri şinike prese alınır.

### **2. 3. 2. Şekillendirme**

Bir şekillendirme tekniği olan ekstrüzyon kesit alanı sabit olan malzemeler için kullanılır. Malzemenin istenilen uzunluğu ekstrütün, ekstrüzyon yönüne dik olarak kesilmesiyle sağlanır.

Bu prosede kullanılan teknik bünye preslemede kullanılanıdan çok farklıdır. Bünyenin rutubet içeriği %14-15 den fazla olmalıdır, ham maddelere bağılı olarak da bu değer %20-22 ye ulaşır.

Ekstrüzyon prosesi, kolon halindeki bünyeyi şekil verilmiş (profilı çıkarılmış) bir açıklıktan (ekstrüzyon ağızı bazen damakinanın son ağızı olarak adlandırılır) geçirilmesiyle gerçekleştirilir. Bu ağızdan sabit kesitli malzeme akar, kesilir ardından da kesilmiş parçalar seramik üretim prosesinin takip eden diğer proseslerine aktarılır.

1. İterek sıkıştırma sistemi: Seramik bünyeyi yüksek basınç ve kuvvetle sıkıştırarak ekstrüder ağızından çıkmasını sağlar.

2. Ekstrüder ağızı: Ekstrüt edilen malzemeye şekil veren biçimlendirilmiş ağızdır.

3. Kesme aparatı: Bu aparat şekillendirilmiş malzemeyi alır, istenilen uzunlukta boyutlandırır, çap kesiti boyunca keser.

Ekstrüderin üst bölümüne bir karıştırıcı (mikser) yerleştirilir: Bu yatay eksenli döner pervane (mil)'dir. Bu mil bünyeyi delikli kevgirden (elek) geçirerek vakum bölümüne itilir. Vakum bölümü malzemenin daha yoğun bünye yoğunluğuna ulaşması için Ekstrüder de bulunması elzem olan kesimdir. İttirme bölümünün ilerisinde bulunur, burada bünyeye düşük basınç uygulanır. Basınç vakum olarak adlandırılacak azlıkta olmalıdır.

Malzeme vakum odasının sonundaki kevgirden (elek) besleme bölümündeki itirme sistemine aktarılır.

Buradaki mil havası alınmış plastik kütleyle sürükleme, sıkıştırma ve basma hareketlerini uygular. Milin sonuyla ekstrüder ağızı arasında mekanik herhangi bir parçanın olmadığı bir kesim vardır: Burada milin dönmesiyle beslenen plastik bünye birikir. Mekanik bir aksam olmaması nedeniyle bünye mil tarafından verilen döngü hareketini yutar, mil ve mili tarafından oluşan boşlukları doldurur malzemeyi tekrardan yoğunlaştırır.

Bu noktada bünyeye son ürün biçimi verilir, bu işlem bünyenin ekstrüder ağızından geçirilmesiyle sağlanır (Händle, 2007).

Ekstrüzyon şekillendirme prosesinin ilk aşamasıdır. Uygun boy ve çapta havası alınmış seramik çamurunu istenilen ürün şekline getirmek için kalıba basma yada

döndürülerek bıçaklar yardımıyla şekillendirme yapılır. Kalıba baskı yönteminde alçı yada metal kalıp kullanılabilir. Bu yöntemin sağlıklı olabilmesi için çamur plastiklik değerinin yüksek olması gerekmektedir. Bunun için daha nemli çamur kullanmak fayda sağlayacağı gibi yetersiz olduğu noktada ise reçetede plastiklik oranını arttırmak gerekebilir. Döndürülerek şekillendirmede ise kendi etrafında uygun hızla dönen vakum pres çıkışı çamur bıçaklar yardımıyla uygun şekle getirilir.

### 2. 3. 3. Kurutma

Elektroporselen üretimde şekillendirme işleminin ardından kurutma işlemi gelmektedir.

Elektroporselen üretimi genel olarak yavaş şekillendirme yöntemi ile yapıldığı için şekillenmiş ürünlerde belli oranda nem içeriği bulunmaktadır. Bu nem içeriğinin hesaplanması aşağıdaki formülle yapılmaktadır.

$$x = \frac{w_{(t)} - w_d}{w_d}$$

X:Kuru esasa göre nem içeriği

w<sub>(t)</sub>:t anındaki ürün ağırlığı

w<sub>d</sub>:Malzemenin kuru ağırlığı

### 2. 3. 4. Sırlama

Elektroporselen sırları karmaşık bileşime sahip camlardır. Hammaddeler felspat, çin taşı, kuvars, kil, bentonit, kireç gibi alkali topraklar, akı ve leke görevi görece Ba veya Zn oksitleri, 10 µm altında yaklaşık %70 parçacık verecek şekilde suda birlikte öğütülür. Sulu süspansiyon, parçaya, genellikle %1-2 su içeriğine kadar kurutulmuş, yavaş yavaş dönen bir parçaya birden çok delikten daldırma, püskürtme veya su ile doldurma yoluyla uygulanabilir. Su, parçanın yüzeyine batırılarak uzaklaştırılır ve düzgün bir kaplama bırakılır. Fazla daldırma veya taşma sıvısı döndürülür veya kenarlardan boşaltılır ve bazen damlamaları önlemek için hafifçe silinir. Parça fırına gitmeden önce buharlaştırılarak kuruması için bekletilir. Fe, Cr veya Mn gibi boyama

elementleri %9 kadar küçük oranlarda mevcut olmalarına rağmen spinel gibi kristal formların oluşumunu teşvik eder.

Elektroporselen sırlar genel olarak renk ve kir tutmaz yüzey sağlamakla birlikte disk izolatörlerin tepe noktası veya mesnet izolatörlerin ayak kısmına uygulanarak mukavemet artışı da sağlamaktadır(Looms, J. S. T.,2006).

### **2. 3. 5. Pişirim**

Seramik malzemelerin pişirilmesi, şekillendirme ve kurutma işlemleri tamamlanmış ürünlerin kontrollü bir ısıtma ve soğutma programına tabi tutulduğu kritik bir süreçtir. Bu süreç, malzemenin mekanik dayanıklılığını, yoğunluğunu ve nihai özelliklerini kazandırır. Seramik pişirme işlemi farklı türde fırınlarda gerçekleştirilebilse de, temel aşamalar genellikle benzerdir ve şu şekilde sıralanabilir:

- Fırının Doldurulması: Kurutulmuş seramik malzemeler, fırına dikkatlice yerleştirilir. Bu aşamada, ürünlerin düzgün yerleşimi, eşit ısı dağılımı ve homojen pişirim açısından önemlidir.

- Ön Isıtma: Malzemeler, hızlı sıcaklık değişimlerinden kaynaklanabilecek çatlakları önlemek amacıyla kontrollü bir şekilde düşük sıcaklıklarda ısıtılır. Bu aşama, malzemedeki nemin buharlaşmasını da sağlar.

- Sürekli Isıtma: Malzemeler, hedef sıcaklığa ulaşana kadar kademeli olarak ısıtılır. Bu aşamada, organik maddelerin yanması ve malzeme içerisindeki reaksiyonların başlaması sağlanır.

- Pişme Isınması: Seramiğin yoğunlaşmasını, sinterleşmesini ve nihai özelliklerini kazanmasını sağlamak için maksimum sıcaklığa ulaşılır ve bu sıcaklık belirli bir süre korunur.

- Soğutma: Malzemeler, kontrollü bir şekilde soğutularak iç gerilmelerin ve ani sıcaklık değişimlerinin neden olabileceği çatlakların önüne geçilir. Bu aşama, ürünlerin nihai mekanik ve termal özelliklerini belirler.

- Boşaltma: Fırın soğuduktan sonra ürünler dikkatlice çıkarılır ve bir sonraki işlem için hazırlanır.

Bu temel aşamalar, seramik ürünlerin istenen kalite standartlarını karşılaması ve uzun ömürlü olması için titizlikle uygulanır. Fırın türü ve pişirme parametreleri, kullanılan hammaddeler ve ürün tipine göre değişiklik gösterebilir.

Elektroporselen ürünlerinin pişirim rejimleri ürünün üretildiği Bölüm 2. 1. 2’de de belirtilen IEC 60672 de yer alan C-110, C120 ve C130 olarak sınıflandırılan ürün yapısına göre değişmektedir. Bu yapı çeşitlerinde kullanılan kuvars ve alumina miktarı değişkenlik göstermekte bu da fırın rejiminin oluşturulmasını etkilemektedir. Fırın rejiminin doğru belirlenmesi ürünün fiziksel ve mekaniksel özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Kullanılan ham maddelere de bağlı olmakla birlikte elektroporselen pişirimde oksidasyon ve redüksiyon olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmaktadır.

Pişirim sırasında geçici ve kalıcı olmak üzere iki tip değişiklik gerçekleşir. Geçici değişiklik olarak hacimsel değişim, kalıcı değişim içinse kristal değişikliği, cam fazı oluşumu ve yer değiştirme reaksiyonlarını belirtebiliriz.

Pişirme sırasında meydana gelen reaksiyonlar ise Çizelge 2.1’de belirtilmiştir.

**Çizelge 2.1.**Pişirme sırasında meydana gelen reaksiyonlar

Sıcaklık	Reaksiyon
200 °C ‘den düşük	Kurutmandan sonra kalan nemin uzaklaşması
350-650 °C	Organiklerin uzaklaşması
350–550 °C	Piritlerin oksidasyonu
450–650 °C	Kristal yapının bozulması Kristal suyun bünyeden uzaklaşması
500–600 °C	Kuvars dönüşümü
600–800 °C	Demir sülfat oksidasyonu
800–900 °C	Karbonatların kalsinasyonu
900–1000 °C	Silikatlar ve alümina arasındaki reaksiyonların başlaması

> 1000 °C	Ötektiklerin oluşumu Camsı yapının oluşumunun artması
-----------	--

Elektroporselen bünyeler de diğer porselen bünyeler gibi farklı fırın atmosferlerinde pişirim yapılabilir. Fırın atmosferine göre pişirim yöntemleri redüksiyonlu pişirme ve oksidasyonlu pişirme olarak ikiye ayrılır.

### **2. 3. 5. 1. Redüksiyonlu pişirme**

İndirgenme olarak da adlandırılan bu yöntem oksijen iyonlarının azaltılması temeline dayanır. Bu yöntemde indirgeyici maddenin varlığı da gerekir. İndirgeyici madde pişirim esnasında oksijenle birleşerek okside olur.

Seramik malzemelerde redüksiyonlu pişirim için en uygun fırın kamara tipi fırındır. Yanma havasının az olduğu bu pişirim tekniğinde yüksek değerli oksitler düşük değerliğe indirgenir. Bu oksitler  $Fe_2O_3$  ve  $Mn_2O_3$ 'tür ve FeO ve MnO olarak indirgenir. Bu oksitlerin indirgenmesiyle birlikte sır ve bünyede renk değişimi meydana gelir.  $Fe_2O_3$  kırmızı renge sahip iken FeO gri-siyah rengtedir. Demir oranına bağlı olarak renk değişiklik gösterir.  $Mn_2O_3$  ise oksitleyici pişirimde kahverengi, redüksiyonlu pişirimde ise koyu kahverengi renk oluşturur.

### **2. 3. 5. 2. Oksidasyonlu pişirme**

Pişirim sırasında atık gazların bulunmadığı, oksitleyici atmosferde pişirimin gerçekleştiği pişirim tekniğine oksidasyonlu pişirme denir. Yanma havasında bulunan oksijen bünyede ve sırda bulunan oksitleri oksitleyerek renk değişimini sağlarlar (Arcasoy, 1983).

### **2. 3. 6. Montaj**

Fırın işleminden sonra izolatörler gerekli ise kesme işlemi ile uygun ölçülere getirilir. Yüzey kalitesi istenilen kısımlar ise taşlama işlemi ile sırsız yüzeylerin pürüzsüzlülüğü artırılır.

Bazı porselen izolatör kullanım yerinin gereği olarak kep, flanş ya da pim gibi metal ekipmalara montaj yapılır. Bu montaj işleminde metal ile porselen parçaları birleştirmede çimento, epoksi, kükürt vb dolgu malzemeleri kullanılmaktadır. En yaygın ve fazla kullanılan yöntem ise çimento ile yapılan montaj işlemidir.

### **2. 3. 7. Test**

İzolatör malzemelere uygun testler izolatörün yapıldığı malzeme çeşidine göre farklılık göstermekle birlikte aynı malzeme türünde de kullanım alanına göre de benzerlikler yada farklılıklar gösterebilir. Örneğin gözeneklilik testi tüm elektroporselen malzemeler için uygulanan bir test olurken, delinme deneyi tüm elektroporselenlere uygulanmaz.

Elektroporselenlere uygulanan testler, kullanım yeri dikkate alınmaksızın tip deneyleri, numune deneyleri ve rutin deneyler olmak üzere üç ana kategoride incelenebilir. Bu kategoriler altında yer alan testler şu şekilde sıralanabilir:

#### **2. 3. 7. 1. Tip testleri**

- Kuruda Yıldırım Darbe Dayanım Gerilimi Deneyi
- Kuruda Anahtarlama Darbe Dayanım Gerilimi Deneyi
- Yaşta Anahtarlama Darbe Dayanım Gerilimi Deneyi
- Kuruda Güç Frekanslı Dayanım Gerilimi Deneyi
- Yaşta Güç Frekanslı Dayanım Gerilimi Deneyi
- Mekanik Kopma Yüğü Deneyi

#### **2. 3. 7. 2. Numune testleri**

- Boyutların Doğrulanması

- Sıcaklık Çevrim Deneyi
- Mekanik Kopma Yüğü Deneyi
- Isıl Şok Deneyi
- Delinme Dayanma Deneyi
- Gözeneklilik Deneyi
- Galvanizleme Deneyi

### **2. 3. 7. 3. Rutin deneyler**

- Rutin Gözle Muayene
- Rutin Elektrik Deneyi (TS 556 EN 60168-TS EN 60383-1)

## **2. 4. Elektroporselen Bünyesinde Kullanılan Ham Maddeler**

Elektroporselen bünyesinde kullanılan hammaddelerin saflığı ve doğru oranlarda kullanımı mamülün kalitesini ve performansını doğrudan etkilemektedir. Bu hammaddeler beş gruba ayrılır.

- Kuvars
- Alümina
- Feldspat grubu
- Kil
- Kaolen

### **2. 4. 1. Kuvars**

Kuvars, yeryüzünün yaklaşık %25'ini kaplayan ve dünyada oksijenden sonra en sık karşılaşılan silisyum bileşiğı olarak bilinir. Kimyasal formülü  $\text{SiO}_2$  olan bu mineralin mol ağırlığı 60 olup, Mohs sertlik ölçeğine göre 7 değeri ile oldukça sert ve dayanıklı bir yapıya sahiptir.

Kuvars, doğada iki ana yapıda bulunur:

Kristal form: Bu tür kuvars çeşitleri arasında kuvars kumu, ametist ve dağ kristali yer alır. Her biri farklı özellikleriyle tanınır ve çeşitli alanlarda kullanılır.

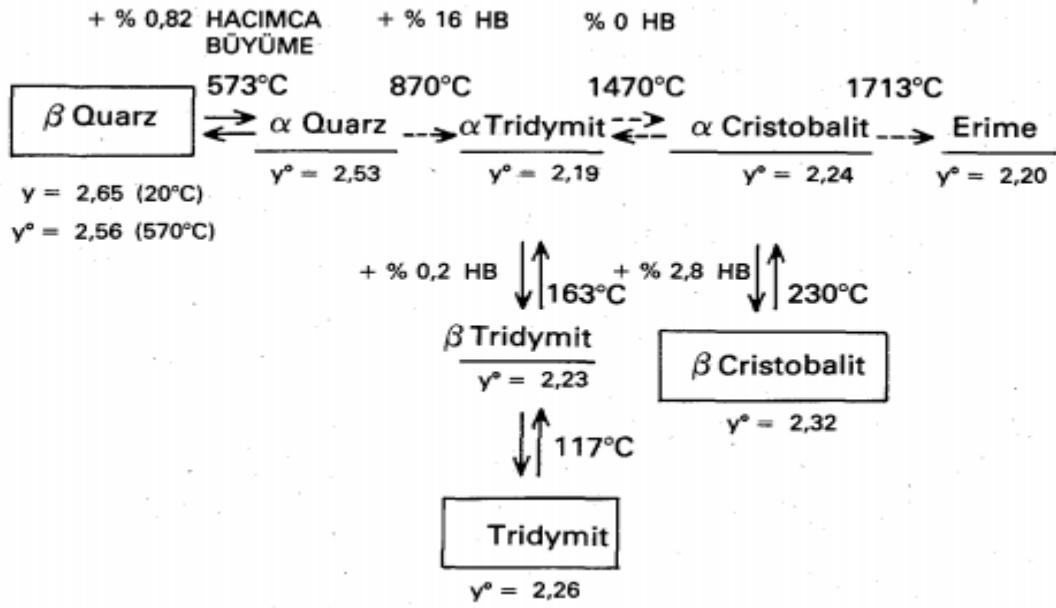
Amorf form: Flint, sileks taşı ve kizelgur gibi formlar bu gruba girer ve genellikle endüstriyel uygulamalarda değerlidir.

Fiziksel dayanıklılığı, kimyasal kararlılığı ve doğada bolca bulunması, kuvarı endüstriyel üretimden süs taşlarına kadar birçok alanda vazgeçilmez hale getirmiştir. Her bir formunun sahip olduğu farklı özellikler, kullanım alanlarını çeşitlendirmektedir.

Kuvars, ana kayalarda dış etkenlere karşı dirençli kalırken, kayanın doğal süreçlerle bozulması sonucu serbest hale gelir. Sularla taşınan bu kuvars, genellikle kaolenle birlikte birikerek kaolenin içindeki "serbest kuvars"ı oluşturur. Bu süreç, hem kuvarın taşınması hem de yeni birikimlerin oluşumunda önemli bir rol oynar (Arcasoy, 1983).

Kuvars doğada bol miktarda serbest halde bulunurken, tridimit ve kristobalit nadiren rastlanan fazlardır. Ancak kuvars, yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında bu fazlara dönüşebilir. Bu minerallerin kimyasal bileşimleri aynı olsa da farklı kristal yapılarına sahiptirler. Bu farklılık, yapılarındaki silisyum tetrahedrallerinin düzenleniş biçiminden kaynaklanır ve her fazın özelliklerini belirler.

Kuvars, doğada serbest halde yaygın olarak bulunurken, tridimit ve kristobalit gibi fazlar nadir rastlanır. Ancak kuvars, yüksek sıcaklıklarda bu fazlara dönüşme özelliğine sahiptir. Her üç mineralin kimyasal bileşimleri aynı olmasına rağmen, kristalyapılarındaki silisyum tetrahedrallerinin farklı dizilimleri, yapısal ve fiziksel özelliklerinde belirgin farklılıklar oluşturur.



**Şekil 2.2.**Kuvars dönüşümleri

Silisyum dioksitin ( $\text{SiO}_2$ ) oda sıcaklığında kararlı yapısı  $\beta$ -kuvars formudur. 573 °C'ye kadar ısıtıldığında,  $\beta$ -kuvars  $\alpha$ -kuvars'a dönüşür. Bu dönüşüm geri dönüşümlü bir süreç olup, dönüşüm sırasında kuvarsın hacmi büyür. Isıtma işlemi devam ettirildiğinde,  $\alpha$ -kuvars 870 °C'de  $\alpha$ -tridimite, ardından 1470 °C'de  $\alpha$ -kristobalite dönüşür. Bu dönüşümler,  $\text{SiO}_2$ 'nin 1713 °C'de erimesiyle tamamlanır. Bu dönüşümler Şekil 2.2'de sunulmuştur (Kingery ve ark. 1976).

Bu dönüşümlerle ortaya çıkan fazlar, farklı kristal yapılar sergiler ve özgül ağırlıklarında değişiklikler görülür (Kuvars: 2.65 g/cm<sup>3</sup>, Tridimit: 2.27 g/cm<sup>3</sup>, Kristobalit: 2.32 g/cm<sup>3</sup>).

Bu farklı özgül ağırlıklar, faz geçişlerinde hacim değişimlerine yol açar ve bu da malzemenin mekanik ve termal davranışını önemli ölçüde etkiler (Aydın T., 2006).

Kuvars, seramik ve porselen yapılarında genellikle iskelet oluşturma görevi üstlenir. Bünyeye doğrudan eklenebileceği gibi, kil, kaolen ve feldspatların içeriğinden de dolaylı olarak alınabilir. Eklenmesi gereken miktar, bu malzemelerin içerdiği kuvars oranına göre ayarlanır. Kurutma sırasında çatlaklara karşı direnç sağlar, sinterleme esnasında deformasyonu önler ve gaz çıkışına izin verir. Ayrıca plastikliği düzenler, küçülmeyi azaltır ve ısıl genleşmeyi kontrol eder. Yüksek sıcaklıklarda eriyik

viskozitesini dengeler ve yapının genel stabilitesine katkıda bulunur(Palacio ve Dinger 1996, Carty ve Senapati 1998).

Bünyenin oluşumunda çok önemli bir yere sahip olan kuvarsın tane boyutu çok önemlidir. Bünyelerde büyük ölçüde 63 $\mu$  altı boyutu kullanılır. Sinterlemenin soğutma aşamasında  $\alpha$ - $\beta$  dönüşümü kaynaklı oluşan çatlakların sebebi kalıntı kuvarslardır. Massenin kuru direnci ve bağlayıcılığı kuvars oranı arttıkça azalır. Pişmiş bünyelerde su emme ve porozite değerlerini artırır. İlave oranı çok artarsa küçülmenin yerinin büyümenin aldığı görülür.

Kuvars sinterleme sırasında diğer hammaddelerin aksine ısı ile hacim olarak büyüme gösterir. Bu yüzden dönüşüm sıcaklık derecelerinde yaşanan hacim değişikliklerinden kaynaklı olarak bu noktaların hassas olması önemlidir(Dağ, P.,2009).

Mekanik dayanımın çeşitli türleri vardır. Fakat pratikte en çok kullanılan çekme dayanımıdır. Yüksek çekme gerilimleri kuvars taneleri etrafında çatlaklara sebep olur. Bu durum kuvars yüzdesi arttıkça ve çatlaklar büyüdükçe mukavemetin azaldığını gösterir. Kuvarsın bünyedeki dağılımı ne kadar homojense mukavemet de o kadar yüksek olur. Aynı kuvars yüzdesinde, tane iriliği azaldıkça mukavemet artmaya başlar(KAYA M.,1987).

Kuvars, kimyasal olarak inerttir ve elektroporselenin asitler, bazlar ve diğer kimyasal maddeler karşısında dayanıklılığını artırır. Aynı zamanda yüksek elektriksel direnç sağlayarak porselenin elektrik yalıtım özelliklerini güçlendirir. Bu, elektroporselenin yalıtım malzemesi olarak kullanılmasını sağlar. Bunun yanında porselenin yüzey kalitesini iyileştirir ve daha pürüzsüz bir yüzey elde edilmesine yardımcı olur. Bu, porselenin hem estetik hem de fonksiyonel özelliklerini geliştirir.

Sonuç olarak, kuvarsın elektroporselen bünyesindeki işlevi, malzemenin mekanik, termal ve elektriksel özelliklerini optimize ederek, yüksek performanslı ve dayanıklı bir yalıtım malzemesi elde edilmesini sağlar.

## 2. 4. 2. Alümina

Kimyasal formülü  $Al_2O_3$ , molekül ağırlığı 101.96 g/mol, erime noktası  $2054^{\circ}C$ , yoğunluğu  $3.95 - 4.1 g/cm^3$ , sertliği Mohs sertlik skalasında 9'dur.

Alümina çoğunlukla beyaz veya açık gri renkte bir toz halindedir. Doğada alüminyum cevheri olarak tanınan boksit cevheri içerisinde bulunur. Alüminyum oksitin en bariz özellikleri arasında yüksek sıcaklıklara dayanımı ve kimyasal olarak inert bir yapı teşkil etmesi yer almaktadır. Alümina sıklıkla endüstriyel ya da ticari kullanım için rafine edilmiş veya işlenmiş alüminyum oksiti ifade eder.

Bir porselen bünyesinde kullanılacak alümina aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır (Yavuz S. Y., 1994):

- Mümkün olan en yüksek saflıkta olmalı (%99 ve üzeri),
- Çözünen alkali miktarı olabildiğince düşük olmalı,
- Birincil kristalleri 2-6µ tane boyutunda olmalı,
- Spesifik yüzey alanı 0,5-2m<sup>2</sup>/g olmalıdır.

Kuvars porselenlere göre alüminalı porselenlerin teknolojik avantajı geniş bir sinterlenme aralığına sahip olmasından kaynaklanır. Böylece pişmiş bir porselen bünyenin açık poroziteleri azalmış ve büyük oranda kapanmış olur. Kapalı porozite içeren bir bünyede su emme görülmez. Bu özellik elektroporselenler için oldukça kritiktir. Su emilimi, elektrik iletkenliği ve mekanik özellikleri üzerini kötü yönde etkilemektedir.

Seramik bünyelere az miktarda alümina ilave edilmesi ile camsı eriyiğin viskozitesi düşer ama yüksek oranda ilave edildiğinde eriyik viskozite artmaktadır (Dağ P., 2009).

Aynı zamanda bir seramik bünyede yüksek alümina içeriği sayesinde mukavemet ve çizilme dayanımı artmaktadır. Bu da ısı ve kimyasal dayanım yüksekliğini de beraberinde getirmektedir (Esposito, Lve ark., 2005). Alümina-silika sistemleri incelendiğinde, müllit fazının seramik bünyelerde mukavemeti artırdığı görülmüştür. Müllit düşük ısıl genleşme, kimyasal kararlılık, düşük ısıl iletkenlik, iyi sürünme dayanımı, yüksek erime noktası gibi sağladığı özellikler ile günümüzde yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda kullanılabilirliği artmıştır (Schneider, H. ve ark., 1993).

Alümina, mükemmel elektriksel yalıtım özelliklerine sahiptir. Bu, elektroporselenin yüksek voltajlı elektrik uygulamalarında güvenilir bir yalıtım malzemesi olarak kullanılmasını sağlar. Aynı zamanda birçok kimyasal maddeye karşı inerttir. Bu, elektroporselenin kimyasal aşınmaya ve bozulmaya karşı dayanıklı olmasını sağlar.

### 2. 4. 3. Feldspat grubu

Feldspatlar cam fazı oluşturmak için kullanılan alkali oksit içeren alümina silikatlardır. Özsüz bir hammadde olan feldspatlar pişme sıcaklığına çıkıldığı zaman ergitici görev görmektedirler. Kullanılan feldspat türü ve oranı sinterleme esnasında porselen bünyenin sinterleme sıcaklığını kontrol etmektedir. Porselen bünyesinde ergiticiler, bünye sinterlendiğinde sıvı fazın oluşumunu gerçekleştirerek sıcaklığın düşürülmesi amacıyla kullanılırlar. Bu sayede kil ve kuvarstan oluşan tipik bir porselen reçetesinde feldspatlar yumuşayarak camsı faz haline geçerler. Kuvars ve kili katı halde çevreleyerek gözeneklerin arasını doldurdukça yüzey gerilimi sayesinde tanecikleri birbirine doğru çekerek bünyede sinterlenmeyi gerçekleştirirler(Villegas-Palacio ve Dinger 1996, Carty ve Senapati 1998, Zanelli ve ark. 2004).

Doğal feldspatlar, bileşimlerinde Na, K, Ca, Li, Ba ve Cs gibi oksitleri farklı miktarlarda barındırır. Spodumen hariç tüm feldspatlar, üç boyutlu bir Si-Al ağ yapısına sahiptir. Alkaliler içeren feldspatlarda  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  ve bazik oksitlerin oranı genellikle 1: 1: 6 iken, toprak alkali içeren feldspatlarda bu oran 1: 1: 2 olarak karşımıza çıkar.

Saf halde bulunan potasyum feldspatın ve sodyum feldspatın ergime sıcaklığı 1170°C ve 1120 °C'dir. Buna karşılık orthoklasın tam erime sıcaklığı yaklaşık 1280 °C. Bu da orthoklasın geniş bir erime sıcaklık aralığına sahip olduğunu gösterir. Sahip olduğu geniş ergime derecesi özelliğinden dolayı porselen bünyelerinde daha çok bu orthoklas form kullanılır. Albit ve spodumen ise daha fazla ergitici özellik gösterdiğinden sırlarda kullanımları daha fazladır.

Ancak son zamanlarda bazı porselen bünye bileşimlerinde feldspat yerine nefelin siyenit adlı hammadde kullanılmaktadır. Bu hammadde bir mineral değil, kayadır. Kimyasal formülü  $Na_3KAl_4Si_4O_{16}$ 'dır. Nefelin siyenitin esas yapısını mikroklin

(K Feldspat) ve albit (Na Feldspat) oluşturur. Yüksek oranda alümina ve alkali içermektedir. Bunun yanında serbest silis içermez ve yüksek ergime gücü ile dar erime aralığına sahip olması ona avantajlı bir hammadde olma özelliği kazandırmaktadır (Töre 1999).

#### **2. 4. 4. Kil grubu**

Magma kökenli kayalar, fiziksel (rüzgar, su, buz, sıcaklık değişimleri gibi) ve kimyasal etkenler (karbon dioksit, humus asiti, kükürt asitleri, flor ve hidrojen içeren gazlar) sonucunda zamanla aşınır, parçalanır ve sürüklenir. Bu süreçlerin bir sonucu olarak kaolen ve killer oluşur. Aşınan kayalar, bazen buldukları yerde çöklerken (birincil killer), bazen de doğal süreçlerle uzun mesafeler boyunca taşınarak farklı alanlarda birikir (ikincil killer).

Birincil killer genellikle buldukları yerde biriken ve daha saf özellikler taşıyan kaolenlerden oluşur. İkincil killer ise taşınma sürecinde çeşitli doğal faktörlerle organik maddeler ve renk verici oksitlerle karışarak daha ince taneli ve özlü bir yapıya kavuşur. Taşındıkları alanın coğrafi özelliklerine göre, düz ya da çukur bölgelerde tabakalar halinde çöklerler. Bu killer, kaolenlere kıyasla daha ince ve plastik özellikler gösterir ve genelde kil olarak adlandırılır (Arcasoy, 1983).

Killer; doğal olaylar sonucu oluşmuş, 2µm dan daha küçük tane boyutuna ve tabakalı yapıya sahip, yeterli su ile karıştırıldığında plastikleşebilen, kurutma ve pişirme sonucunda sertleşebilen, organik maddeler içerebilen sulu alüminyum silikat malzemelerdir (UZ, 2004).

Killerin çok büyük ve karmaşık mineral dizilerine sahip olmaları, içerdikleri organik ya da yabancı maddeler, oluşum yerleri ve şekilleri gibi faktörlerden dolayı birçok şekilde sınıflandırılabilirler. Fakat en çok kabul edilen sınıflandırma Grim R. E. 'nin 1968'de yaptığı sınıflandırmadır (Grimshaw, 1971). Bu sınıflandırmaya göre;

#### **2. 4. 4. 1. Yapılarına göre killer**

##### **2. 4. 4. 1. 1. Amorf olanlar:**

Allofan grubundaki kil mineralleri genel olarak  $X Al_2O_3 \cdot Y SiO_2 \cdot Z H_2O$  kimyasal formülüne sahiptir.  $SiO_2/Al_2O_3$  oranı 0, 5 ile 1, 8 arasında değişiklik gösterir ve bu oran diğer kil türlerine göre daha düşüktür. Saf olduklarında renksiz ve saydamdırlar, ancak yabancı maddelerin etkisiyle mavi, yeşil, sarı ya da kahverengi tonlarına bürünebilirler. Ayrıca, allofanların içerdiği alkali ve toprak alkali miktarları, diğer kil türleriyle karşılaştırıldığında oldukça azdır.

#### 2. 4. 4. 1. 2. Kristalin olanlar:

Kristalin Yapılar:

A. İki Tabakalı Yapılar:

Bu tür yapılarda, bir silis tetrahedr tabakası ile bir alüminyum oktahedr tabakası birleşerek karakteristik bir yapı oluşturur.

Eş Boyutlu Mineraller:

Kaolin grubu mineraller arasında kaolinit, dikit ve nakrit bulunur. Bu minerallerin kimyasal formülü  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$  (veya  $Al_2Si_2O_7 \cdot 2H_2O$ ) şeklindedir. Kaolinitin yapısındaki su, kristal içindeki hidroksil (OH) bağlarından kaynaklanır. Yoğunluğu 2, 61-2, 68 g/cm<sup>3</sup> arasında değişir, Mohs sertliği ise 2-2, 5'tir. Renkleri genellikle beyaz, açık kırmızı veya kahverengi tonlarında olabilir. Saf kaolinit beyaz renkli ve mat bir görünüme sahiptir. Ayrıca yoğun sülfat asitinde çözünabilir özellik taşır.

Uzun Yapılı Mineraller:

Halloysit bu gruba aittir ve iki farklı kimyasal bileşime sahiptir:  $Si_2Al_2O_7(OH)_2$  ve  $Si_2Al_2O_7(OH)_4 \cdot 4H_2O$ . Sulu formuna "sulu halloysit," susuz formuna ise "meta halloysit" adı verilir. Halloysit genellikle beyaz, açık mavi veya yeşilimsi renklere görülür. Sulu halloysit, 60-75 °C arasında ısıtıldığında suyunu kaybeder ve meta halloysit formuna dönüşür. Tamamen susuz hale gelmesi ise 400 °C'ye kadar ısıtılmasını gerektirir.

B. Üç Tabakalı Yapılar:

Bu yapı, iki silis tetrahedr tabakasının arasında yer alan merkezi bir dioktahedral veya trioktahedral tabakadan oluşur. Bu tür yapılar da levhalı bir form sergiler. Kristal yapıları killere ait yapı, grup ve cins bilgileri Çizelge 2.2' de sunulmuştur.

**Çizelge 2.2.**Kristalin yapılı killer

<b>Yapı</b>	<b>Grup</b>	<b>Cins</b>
<b>2 Tabakalı Olanlar</b>	Kaolen Grubu - Eş Boyutlu Olanlar - Bir Yönde Uzamış Olanlar	Kaolen Dikit Halloysit
<b>3 Tabakalı Olanlar</b>	Smektit Grubu İllit Grubu Vermikülit Grubu	Montmorillonit İllit Vermikülit, Baydellit
<b>4 Tabakalı Olanlar</b>	Klorit Grubu	Klorit
<b>Zincir Yapıda Olanlar</b>	Sepiyolit Grubu	Sepiyolit, Atapulgit,

#### **2. 4. 4. 2. Killerin özellikleri**

##### **2. 4. 4. 2. 1. Killerin fiziksel özellikleri**

Aynı kimyasal bileşime sahip iki kil mineralinin farklı fiziksel karakterlerde ya da aynı fiziksel özellikteki iki kil mineralinin farklı kimyasal bileşimlere sahip olabileceği görülmektedir(Karşlıoğlu, 1996).

##### **2. 4. 4. 2. 1. 1. Plastiklik**

Çeşitli mineraller içerisinde birkaç istisna dışında killerden başka plastisite özelliği gösteren mineral bulunmamaktadır. Killerdeki plastiklik ve kaplayıcılık özelliği kristallerin ince levhalar halinde bulunmasından kaynaklanır. Kilin içindeki levhalar üstüste biriken paketler şeklinde bulunur. Suyla çamur hazırlandığında su levhaların arasına girer ve levhalar birbirinin üzerinden kayarak verilen şekli alırlar(Kennedy, 1990).

Killerin su ile şekillenme özelliği, mineral yapısına, kolloid faktörlerin oranına, tane boyutuna, içerdiği kuvars miktarına ve diğer çeşitli faktörlere bağlıdır. Üzerine bastırıldığında parmak izini belirgin şekilde gösterip ele yapışmayan bir kil, plastik hale gelmiş kabul edilir. Kuru bir kilin plastik hale gelene kadar aldığı su miktarının yüzdesi "plastisite sayısı" olarak adlandırılır. Genel olarak, kaolinit türü killer daha az plastik özelliğe sahipken, bağlayıcı killerin plastisitesi daha yüksektir. Refrakter killerde plastisite minimum seviyedeysen, bentonitik killerde maksimum değerlere ulaşır. Killerde ideal plastisite seviyesi su içeriği açısından %15 ile %40 arasında değişir. Bir kilin yeterli derecede plastik olması için, taneciklerinin %20'sinin 1 µm'den küçük boyutta olması gerekir. Ancak aşırı uzun süre öğütülen killerde plastiklik özelliği azalabilir(Yılmaz, 1994; Tanışan).

Bir kil, az miktarda su ile şekillenebilip bu suyun akışkanlık özelliklerini uzun süre koruyorsa, yüksek plastiklik özelliğine sahiptir. Plastisitenin temel nedeni, kil minerallerinin plaka şeklindeki tabakalarının su yardımıyla birbiri üzerinde kayabilmesidir. Killerin plastiklik derecesi, kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre değişiklik gösterebilir.

Plastisitenin belirleyici faktörleri şunlardır:

- Tane boyutu dağılımı,
- Kil mineralinin atomik yapısı,
- Kil mineralinin türü,
- Katyon bağlama ve değiştirme kapasitesi,
- Kildeki kil dışı minerallerin kimyasal ve fiziksel özellikleri,
- Kullanılan suyun kimyasal ve fiziksel nitelikleri.

Bu faktörler killerin su ile şekillenme kabiliyeti üzerinde doğrudan etkilidir (Akıncı, 1968).

Plastisitenin en basit ölçüm yöntemlerinden biri, kilin kolayca yayılabilme yeteneğini gözlemlemektir. Yüksek plastisiteye sahip bir kil, elle basitçe bir defter sayfası üzerinde yayılabilir. Kum içeren killer ise amorf özellik kazanmış olup, içerdikleri kum taneleri dişler arasında fark edilebilir. Buna karşılık, saf killer bıçakla kesildiğinde düzgün ve parlak bir yüzey oluşturur(Yılmaz, 1994).

#### **2. 4. 4. 2. 1. 2. Yağlılık ve yağsızlık**

Yağlı kil tanımı yapılan killeri genel olarak iyi seviyede plastiklik gösterirler. Bu killerin yüzeylerinde yağlı ve kaygan bir görünüm vardır ve hafif parlaktırlar. Yağlı killerin yoğrulma suları yüksek olur. Açılmaları için fazla su almaları gerekir ve zor açılırlar. Bağlama kabiliyetleri yüksektir ve plastik olmayan parçacıkları da sıkıca tutarlar. Yağsız killerin özelliklerinin de yağlı killerin tam tersi olduğu söylenebilir. Yağsız killerin yüzeyleri parlak değildir ve pürüklüdür. Suda çabuk açılıp dağılırlar ama bağlama özellikleri zayıftır. Döküm kabiliyetleri yağlı killere oranla çok daha iyidir(Tanışan, H., Mete Z).

#### **2. 4. 4. 2. 1. 3. Kuruma ve pişirme küçülmesi**

Killer, kurutma ve pişirme süreçlerinde belirli bir miktarda boyut kaybeder. Bu boyut değişiklikleri seramikte "kuruma küçülmesi" ve "pişirme küçülmesi" olarak adlandırılırken, her iki değişim birlikte "toplu küçülme" şeklinde ifade edilir ve genellikle yüzde olarak belirtilir. Kuruma küçülmesi fiziksel bir süreç olup, önce kil kristalleri çevresindeki serbest suyun, ardından gözeneklerdeki ve higroskopik suyun buharlaşmasıyla gerçekleşir. Buna karşın, pişirme küçülmesi kimyasal bir süreçtir; bu süreçte, kil minerallerindeki kristal suyun ayrılmasıyla geriye kalan katı taneciklerin birleşerek hacim kaybetmesi şeklinde meydana gelir(Seyhan, 1972).

#### **2. 4. 4. 2. 1. 4. Kuru mukavemet**

Yarı mamüllerin pişirme fırınlarına girmeden önce sırlama ve boyama gibi proseslerden geçmesi esnasında taşındıkları zaman zayıt olmaması için belirli bir kuru dayanıma ihtiyaçları vardır. Çok ince cidarlı ve karışık formlu mamüllerde zayıt oranı daha yüksek olabilir. Kuru mukavemetin artışı kil tane boyutunun küçüklüğü ve plastisenin artmasıyla doğru orantılıdır. killerin tane inceliği azaldıkça ve plastisitesi yükseldikçe artar(Malayoğlu ve Akar, 1995).

Kuru mukavemete etki eden faktörler;

Yağlı yapıya sahip killerin kuru dayanımı, yağsız killerle karşılaştırıldığında daha yüksektir. Bu nedenle, arzu edilen dayanımı elde edebilmek için formülasyona plastik özellik göstermeyen hammaddeler eklenmesi gereklidir. Ayrıca, killerin tane boyutlarının belirli bir oran dahilinde çeşitlilik göstermesi önemlidir. Çünkü aynı boyuttaki taneciklerin bulunduğu kil karışımları, genellikle daha düşük mukavemete sahiptir.

Yetersiz ya da düşük sıcaklıkta kurutulan killerin dayanımı genellikle daha düşüktür. Bunun yanı sıra, kurutma işleminden sonra bir süre bekleyen kuru malzemenin çevreden nem çekmesi, mukavemet üzerinde olumsuz bir etki yapar ve dayanımı azaltır.

Normal şartlar altında kurutulan yaş şekillendirilmiş killer, plastik ya da kuru şekillendirme yöntemiyle hazırlanan killere göre genellikle daha yüksek bir kuru dayanım sunar. Bu avantaj, yaş şekillendirme sırasında kilin daha homojen bir doku kazanmasıyla ilişkilendirilebilir(Yılmaz, 1994).

#### **2. 4. 4. 2. 1. 5. Pişme rengi ve ateş kaybı**

Killer doğada beyaz, gri, sarı, kırmızı, kahverengi veya siyah tonlarında bulunabilir. Ancak bu doğal renkler, pişirme sırasında tamamen değişebilir. Örneğin, koyu renkli bir kil pişirme sonrasında beyaza dönüşebilir. Şeffaf sıra uygulanan porselenlerde ise pişirme sırasında beyaz kalan kaolen veya kaolinitik kilin kullanılması şarttır. Killerin pişme rengini en çok etkileyen faktörler arasında, içerdikleri Fe-Mn ve Ti oksitler ile karbonatlar yer alır. Bunun yanı sıra, fırında kullanılan atmosferin oksitleyici ya da indirgeme özellik göstermesi de pişme renginde önemli bir rol oynar. Yüksek ateş kaybı ise, killerin karbonat, organik madde veya montmorillonit içeriğinden kaynaklanabilir(Yılmaz, 1994. ; Tanışan ve Mete).

Siyah renkli killerde; demir oksit, krom oksit, kobalt oksit ve manganez cevheri,

Kırmızı renkli killerde; %10 a kadar demir oksit,

Kahverengi killerde; %5-10 manganez cevheri,

Mavi renkli killerde; %1-3 kobalt oksit,

Yeşil renkli killerde; %1-2 krom oksit, kobalt oksit ve bakır oksit,

Sarı renkli killerde; Titan ve demir oksit karışımları gözlenebilmektedir(Kırıkoğlu, 1990).

#### **2. 4. 4. 2. 2. Killerin termal özellikleri**

Killerin pişmesi sırasında bünyelerinde meydana gelen endotermik ve ekzotermik reaksiyonlar diferansiyel termik analizler ile tespit edilir. D. T. A. yöntemi; bir maddenin düzgün ısıtılması ve soğutulması esnasında, yapıda gerçekleşen fiziksel ve kimyasal değişimler sonucu oluşan ısı alışverişini, reaksiyon sıcaklığı ve türünü tespit etmemize yarar. Bir reaksiyon ısı veriyorsa ekzotermik, ısı alıyorsa endotermik reaksiyondur. Organik maddelerin yanması, yeni kristal fazların oluşması veya amorf maddelerin kristallenmesi ekzotermik reaksiyonlardır. Bunun yanında killerde meydana gelen su kayıpları ve kristal yapının bozulması endotermik reaksiyonlardır.

Pişme esnasında meydana gelen hacimsel değişimler ise dilatometre analizleri ile grafiksel olarak gösterilebilir. Dilatometre ile ölçüm, sıcaklığı düzenli bir şekilde artırılan malzemelerin sıcaklığa bağlı olarak boyutlarında meydana gelen değişimlerin ölçülmesinde kullanılır.

Dilatometre ve D. T. A. eğrileri killerin mineralojik bileşimleri hakkında fikir verdiği gibi onların hangi dereceler arasında kurumaya ve pişmeye hassas olduklarını gösterir (Yılmaz, 1994; Seyhan, 1972)

#### **2. 4. 4. 2. 3. Killerin kimyasal bileşimlerinin etkileri**

Serbest Silis:

- Killerin plastiklik özelliklerini azaltır.
- Kuruma ve pişme sırasında küçülmeyi minimum seviyeye indirir.
- Eğer iri taneli ise kırılma dayanımını düşürür.
- Çoğu durumda refrakter özelliklerde düşüşe neden olur.

#### Alüminyum Bileşikleri:

- Plastik olmayan alüminyum bileşenleri, kilin plastiklik oranını düşürür.
- Refrakterlik özelliğini artırarak kilin dayanıklılığını yükseltir.

#### Alkali Bileşikleri:

- Alkali içeriğe sahip mineraller ve çözünebilen tuzlar, vitrifikasyon ve refrakter sıcaklıklarını düşürür.
- Çözünebilir tuzlar genelde refrakterliği azaltırken, bazıları plastiklik üzerinde artırıcı etki yapabilir.
- Çoğu alkali mineral plastik özellik göstermediğinden, kuruma sırasında küçülmeyi azaltarak kurutmayı kolaylaştırır.

#### Kalsiyum Bileşikleri:

- Vitrifikasyon ve refrakter sıcaklıklarını düşürür.
- Düşük sıcaklıklarda, küçülmeyi azaltarak kuruma sürecini hızlandırır.
- Kireç, atmosferdeki nemi çekme özelliği taşır.
- Porselen bünye ve sırlarında eritici rol oynayan kalsiyum bileşenleri, genleşmeyi azaltırken, alkalilerle etkileşimde pişirme sıcaklığını yükseltebilir.

#### Demir Bileşikleri:

- Pişirme sırasında rengin oluşumunu etkiler.
- Refrakterlik özelliğinde düşüşe yol açar.
- Çözünebilir demir bileşikleri, yüzeyde "çiçeklenme" oluşumuna neden olabilir.

#### Titanyum Bileşikleri:

- Pişirme sırasında rengin değişmesine sebep olabilir.
- Alüminyum ile birlikte çalışarak erime noktasını yükseltir.

#### Organik Maddeler:

Killerdeki organik maddelerin artışı, "black core" gibi hatalara yol açabilir. Bu durum, sır yüzeyinde delikler, bünyede şişkinlik, deformasyon eğilimleri ve kırılmalık

gibi sorunları tetikleyebilir. Eğer oksidasyon yeterli seviyede olmazsa, organik maddeler tamamen yanamayabilir ve bu sorunlar daha da belirginleşebilir.

Sülfatlar:

Eleklerden geçebilecek kadar ince olan sülfat taneleri, kil bünyesine safsızlık olarak dahil olabilir ve sinterleme sonrasında sır yüzeyinde siyah noktaların oluşumuna yol açabilir. Bu tür sorunların önlenmesi için, pirit içeren kısımların dikkatlice ayrıştırılarak kilden tamamen uzaklaştırılması gereklidir (Sümer, 2002)

## 2. 4. 5. Kaolen

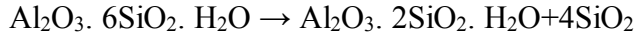
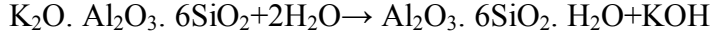
Kaolenler, kimyasal formülü  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$  olan alüminyum silikat bileşikleridir. Bu bileşikler, fiziksel ve kimyasal aşınma süreçleri sırasında hidroliz yoluyla oluşur. Genelde beyaz, gri, sarı veya bej tonlarında bulunmakla birlikte, içerdikleri demir oksit ve diğer renklendirici oksitlerin varlığına bağlı olarak daha koyu tonlar da gösterebilirler. Kaolenin yoğunluğu  $2.62 \text{ g/cm}^3$ , Mohs sertliği ise 2-2.5 arasında değişir. Tarihsel olarak, M. Ö. 3000'li yıllarda Çin'in Jiangxi bölgesinde keşfedilmiş ve adı, bu bölgede yer alan "Kau-Ling" adından türetilmiştir.

Kaolenin ideal kimyasal bileşimi yaklaşık olarak %46.5  $SiO_2$ , %39.5  $Al_2O_3$  ve %14.0  $H_2O$ 'dur. Ancak, alüminanın oranı azaldığında, bileşimde potasyum, kükürt ve demir gibi elementler görülebilir. Özellikle potasyumun ( $K_2O$ ) bulunması, alünit içerdiğine işaret eder ki bu durum, yüksek sıcaklıklarda artan ateş kaybına neden olduğu için tercih edilmeyen bir özelliktir. Kaolen,  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de higroskopik suyunu kaybederken,  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  civarında mullit ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) ve silis ( $SiO_2$ ) fazlarına dönüşür.

Kaolenlerin oluşumu, genellikle magmatik kayaların ayrışmasıyla gerçekleşir. Granit kayalar, aşınma süreçleri sonucunda kuvars, mika ve feldspat gibi bileşenlere ayrışır. Feldspatların yüksek sıcaklık, basınç ve karbondioksit etkisiyle bozunması, kaolenleşme adı verilen bir süreçle sonuçlanır. Bu süreçte  $K_2O$  ve  $Na_2O$  gibi alkali oksitler çözünerek ortamdaki uzaklaşır ve kaolinit minerali oluşur. Kaolenler, genellikle yerinde oluşmuş primer yapılar olarak kabul edilir. Öte yandan, killer kaolenlerden farklı olarak sekonder oluşumlardır. Killerin oluşumu, kaolenlerin asit yağmurları, yer

altı sularının etkisi, sıcaklık, basınç ve rüzgar gibi faktörlerle bozunması ve daha uzak bölgelere taşınıp burada birikmesiyle gerçekleşir (Eygi M. S.,2009)

Kaolenin oluşum aşamaları aşağıdaki gibidir;



Kaolinin bünyesinde  $Al_2O_3$  dışındaki diğer bileşenlerin oranının artması,  $Al_2O_3$  miktarının ideal değeri olan %39, 50'nin altına düştüğünü ifade eder. Bu durum, kaolinin kalitesinin düşük olduğuna işaret eder (Madencilik Özel İhtisas Komisyonu).

Kaolinit minerali, seramik üretimi sırasında ısıtıldığında 200 °C'nin altında bünyesindeki higroskopik suyu kaybeder. 500-600 °C sıcaklığa ulaşıldığında ise kristal yapısından kaynaklanan suyun ayrılması sonucu metakaolinite dönüşüm gerçekleşir.



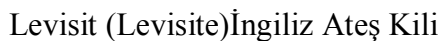
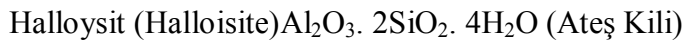
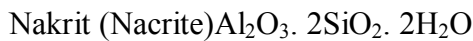
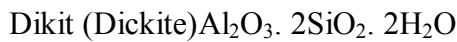
980 °C'de metakaolinit mullit ve silise (kristobalit)dönüşür.



Mullit Kristobalit

Kaolinit, 980-1000 °C sıcaklık aralığında pişirildiğinde mullit ve amorf silika oluşumu gerçekleşir. Daha yüksek sıcaklıklarda, oluşan silikanın bir kısmı kristobalite dönüşür. İçerdiği saf Al-Si oranı sayesinde kaolinit, mullit üretimi için ideal bir hammadde olarak değerlendirilir.

Kaolen grubuna giren en önemli kil mineralleri aşağıdaki gibidir;



Bünyeye yeterli düzeyde plastiklik ve işlenebilirlik sağlamak için kullanılır. Kilden bir miktar kaolenle ikame yapılması, bünyenin beyazlık oranını artırır ve kaolinin sahip olduğu yüksek alümina içeriği sayesinde yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklılığı güçlendirir (Dağ, 2009).

Kaolenler kısa mesafe taşındıkları için daha saf haldedirler fakat yine de kuvars, mika ve feldspat gibi minerallerle karışabilirler. Tane boyutları killere kıyasla daha büyük ve tam şekilli, özgül yüzey alanı ise çok düşüktür. Titan ve demir içerikleri genel olarak düşüktür. Bu sebeple pişme sonrası yüksek beyazlığa sahip olurlar. Bunların yanında çözünür tuzlar ve organik safsızlıkları da daha azdır.

Kaolenin reolojik özellikleri ;

- Organik kirlilikleri bulundurmazlar.
- Granülometrik eğrilerle tanımlandıkları için genellikle daha büyük tane boyutlarına sahiptirler

- Smektit bulundurmazlar.
- Kaolinit içerikleri yüksek kaliteli kristallerle öne çıkar ve düşük seviyede katyon değişim kapasitesine sahiptirler.

- Yapılarında çözünür tuz bulunmaz.

Kaolenlerin plastikliği ve kırılma mukavemeti

Kaolenler, kil minerallerine göre daha düşük plastik özelliklere ve ham mekanik dayanımlara sahiptir. Bu durum, plastisite ve kohezyon özelliklerinin yanı sıra özgül yüzey alanının genişliği, partikül şekilleri ve tane boyut dağılımındaki farklılıklardan kaynaklanır. Yapılarında smektit bulunmayan kaolenler, daha büyük partikül boyutlarına sahip olduklarından katyon değişim kapasiteleri düşüktür. Ayrıca, kaolenlerin organik madde içermediği de belirtilmelidir.

Kaolenlerin seramik sektöründe kullanılma sebepleri aşağıdaki gibidir;

- Bünyenin beyazlatıcısıdır. Koyu renkli killerin renklerini örtüp kapattığından, bünyeye beyazlık vermek amacıyla katılırlar.

- Bünyede kullanılan miktar arttıkça içeriğindeki alümina sayesinde pişme mukavemetini artırır.

- Miktarı çoğaldıkça bünyenin pişme sıcaklığını yükseltir ve bünyeyi ısı değişikliklerine karşı korur.

- Tane boyutu yüksek olan kaolenler bünyenin porozite değerini artırır. Kuru küçülmeyi azaltırlar. Küçük tane boyutlularda ise küçülmeyi artırır. .

- Plastikliği düşük olduğundan bağlanması ve kuru mukavemeti azdır.

- Killer kadar büyük bir uzama katsayısına sahip olduğu için sırların çatlamasına sebep olabilirler.

## 2. 4. 6. Elektroporselen sırları

Sırların yapılarında birçok farklı etken bulunması, belirli bir kurala göre sınıflandırılmalarını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle sırlar, farklı kriterlere göre çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Bunlar arasında bileşimlerine, üretim koşullarına, yüzey özelliklerine ve oluşum sıcaklıklarına göre yapılan sınıflandırmalar bulunmaktadır.

- Bileşimine Göre Sırlar
  - Kurşunlu Sırlar
  - Kurşunsuz Sırlar
- Üretim Şartlarına Sırlar
  - Ham Sırlar
  - Sırçalı Sırlar
  - Tuz Sırları
- Yüzey Özelliklerine Göre Sırlar
  - Mat Sırlar
  - Yarı Mat Sırlar
  - Düzgün Parlak Sırlar
  - Yarı Parlak Sırlar
  - Opak Sırlar
  - Kristal Sırlar
- Oluşum sıcaklıklarına Göre Sırlar
  - Majolica sırları (900-1050°C)
  - Toprak eşya sırları (1000-1150°C)
  - Sıhhi tesisat sırları (1200-1250°C)
  - Porselen sır (< 1300°C)(Yılmaz ve ark).

Elektroporselen sırları, farklı özelliklerine göre çeşitli kategorilere ayrılabilir. Bileşim açısından incelendiğinde kurşunsuz sırlar sınıfına girerler. Üretim koşulları açısından bakıldığında, ham sır kategorisinde yer alırlar. Yüzey özellikleri açısından değerlendirildiğinde parlak sır olarak tanımlanırken, oluşum sıcaklığı açısından porselen sırlar sınıfında bulunurlar.

Elektroporselen sırlamada kullanılan yöntem ve sır reçetesine bağlı olarak sır yoğunluğu ve viskozitesi değişmekle birlikte fırın çıkışında sır kalınlığı 0.3-07 mm kalınlığa sahiptir.

Elektroporselen sırlarının sağlaması gereken başlıca iki faktör mekaniksel ve elektriksel özelliklerin iyileştirilmesidir.

Sırsız yüzeye sahip porselen izolatörlerin yüzeyleri mikroskop altında incelendiğinde yüzeyin kalitesi ile yüzey özdirenci arasında ilişki bulunmaktadır. Sırsız yüzeylerin düşük nemlerde elektriksel açıdan dayanımları olsa bile havadaki veya ortamdaki neme bağlı olarak bu yüzey dirençlerinde değişiklik meydana gelir. Bunun sebebi de yüzeyde pürüzlülük nedeniyle havadaki nemin yüzeyde oluşturduğu tabakadır. Nem oranının %30 olduğu durumda sırsız elektroporselen yüzeyinin direnci  $20-40 \cdot 10^{12} \text{ohms/cm}^2$  iken %98 nem oranında bu oran  $0,001 \cdot 10^{12} \text{ohms/cm}^2$  a düşmektedir. Yüzey direncindeki bu düşüş pürüzsüz yüzeye sahip izolatörlerde çok daha azdır. Kuru hava şartlarında sırlı ve sırsız yüzeylerin yüzey dirençleri hemen hemen aynıdır. Elektroporselen sırlarının diğer sağladığı avantaj ise mekanik özellikleri geliştirmesidir. Mekanik özelliklerin gelişmesinde en önemli etken sırnın termal genişmesi ile bünyenin termal genişmesinin uyumudur. Bünyenin termal genişmesi ile uygun oranda uygulanan sır ile birlikte kopma modülü, çekme dayanımı, basma dayanımı gibi mekanik özellikler gelişmektedir. Aksi durumlarda yani sır bünye termal uyumunun olmadığı durumlarda ise mekanik özellikler olumsuz etkilenir. Uygun termal genişmeye sahip sır uygunlandığında çekme dayanımındaki artışın %40 olmasının normal olduğu, bu oranın %80'e kadar çıkabileceği tespit edilmiştir (Rosenthal, 1942).

Elektroporselen sırlarının bir diğer özelliğide elektrik akımını yüzeyden taşıyabilmesidir. Sırın kendisi bir yalıtkan olmasına rağmen, suyun sır yüzeyinden alkali iyonları çıkarması eylemiyle elektriği ileten bir yüzey tabakası üretilir. Bu problemler,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  içeren iletken sırların, örneğin  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{NiO}$  ve  $\text{ZnO}$  gibi diğer oksitlerin ilavesiyle kullanılmasıyla aşılmıştır. İletken spinel fazlar oluşturulur ve pişirilen sır boyunca eşit şekilde dağıtılır. İletken sır elde etmenin bir başka yolu da spinel pigmentlerini bu oksitlere dayalı olarak dağıtmaktır. Sürekli bir iletken ağ oluşturmak için sır bileşimine hacimce %10-20 pigment eklenmesi gereklidir. Elektroporselen sırlarında yalıtkan sır kullanımı olduğu gibi yarı iletken sır kullanımı da mevcuttur (Taylor ve Bull, 1986).

## 2. 5. Elektroporselen Sırlarında Kullanılan Ham Maddeler

Elektroporselen sırlarında kullanılan hammaddeler, özellikle elektroporselenin yüzey özelliklerini, mekanik dayanıklılığını ve elektriksel yalıtım kapasitesini artırmak amacıyla dikkatle seçilir ve formüle edilir.

Bu hammaddelerin elektroporselen sırlarında üretiminde kullanımı sırasında belirli özelliklere sahip olmaları gerekmektedir:

- **Safılık:** Hammaddeler yüksek safılıkta olmalı, özellikle demir oksit gibi safsızlıkların düşük olması istenir. Çünkü demir oksit gibi safsızlıklar elektriksel yalıtkanlığı düşürebilir.
- **Taneli Yapı:** Hammaddelerin taneli yapısı kontrol altında tutulmalı, çok ince veya çok iri taneli olmamalıdır. Uygun tane boyutu, sinterleme sırasında istenilen yoğunluk ve mekanik özelliklerin elde edilmesini sağlar.
- **Nem İçeriği:** Özellikle kil ve kaolin gibi hammaddelerin nem içeriği kontrol edilmeli, uygun nem seviyelerinde kullanılmalıdır. Bu, şekillendirme sırasında çatlama veya deformasyon riskini azaltır.
- **Homojenlik:** Hammaddeler karıştırılmadan önce ve sonra homojen bir dağılım göstermelidir. Homojen olmayan karışımlar, ürünün farklı bölgelerinde farklı mekanik ve elektriksel özellikler oluşmasına sebep olabilir.

Bu özelliklere sahip hammaddeler, elektroporselen üretiminde istenilen performans özelliklerinin elde edilmesine yardımcı olur ve son ürünün kalitesini doğrudan etkiler.

Elektroporselen sırlarında üretiminde kullanılan başlıca hammaddeler ve bu hammaddelerin sahip olması gereken özellikler aşağıdaki gibidir.

### 2. 5. 1. Kuvars (Silika)

Kuvars, yeryüzünün yüzeyinde yaklaşık %25 oranında bulunur ve kimyasal formülü  $SiO_2$  şeklindedir. Mol kütlesi 60 olan bu mineralin Mohs ölçeğine göre sertliği 7, özgül ağırlığı ise  $2,7 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Yüksek ergime sıcaklığına sahip olması, kuvarsin sırlar kompozisyonlarında tercih edilmesini sağlar. Ancak, ergime sıcaklığını düşürmek

amacıyla sır formülasyonlarında daha küçük tane boyutlu kuvars kullanılmalıdır; bu amaçla genellikle 45 mikron veya 75 mikron altındaki boyutlar tercih edilir. Katı fazda bulunan silis minerali, kuvars, tridimit ve kristobalit olmak üzere üç farklı kristal yapıya sahiptir (MTA, Kuvars; Arcasoy, 1983; Çamoğlu, 2022).

Kuvars; elektroporselen sırlarında kritik bir bileşen olarak kullanılır ve porselen ürünlerin hem performansını hem de estetik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirir.

Sırın porselen gövde ile uyumlu bir şekilde genişlemesini ve büzülmesini sağlayarak termal genleşme katsayısının kontrolünde önemli bir görevi vardır. Termal genleşme katsayısı uyumsuz olursa, sırın çatlaması veya dökülmesi gibi sorunlar ortaya çıkabilir. Kuvars, termal şok direncini artırarak, sırın ani sıcaklık değişimlerine karşı dayanıklı olmasını sağlar(Çakıcı, 2014).

Sırın mekanik dayanıklılığını artırır. Silisin yüksek sertliği ve dayanıklılığı, sırın aşınma ve darbelere karşı dirençli olmasına yardımcı olur. Bu özelliği ile sırın asitlere, bazlara ve diğer kimyasallara karşı dirençli olmasını da sağlar(Birks, 2003; Anastasakis2013). Bu da porselen ürünlerin uzun ömürlü ve dayanıklı olmasını destekler.

Silika, yüksek sıcaklıklarda cam fazı oluşturur ve sırın yüzeyde düzgün ve parlak bir kaplama yapmasını sağlar. Sırın erime sıcaklığını kontrol altında tutarak uygun bir sinterleme aralığı sağlar. Bu da üretim sürecinde daha iyi kontrol sağlayarak, sırın düzgün bir şekilde erimesi ve yüzeyde homojen bir kaplama oluşturmasını sağlar.

### **2. 5. 2. Feldspat grubu**

Feldspat, seramik, porselen ve cam endüstrilerinde yaygın olarak kullanılan temel bir endüstriyel mineraldir. Türkiye’de bu mineralin talebi genellikle yerel üretimle karşılanmakta olup, özellikle Aydın-Muğla bölgelerinden temin edilmektedir. Feldspat, genel anlamda, belirli miktarda alkali içeren bir alümina silikat olarak tanımlanabilir. Spodumen dışındaki feldspatlar, üç boyutlu bir silisyum-alüminyum doku iskeletine sahiptir. Feldspatların kimyasal yapısında bulunan bazik oksit:  $Al_2O_3$ :  $SiO_2$  oranı, alkali feldspatlar için 1: 1: 6, toprak alkali feldspatlar için ise 1: 1: 2 olarak ifade edilir (Geredeli 1995; Karataş, 2019; Arcasoy, 1986).

Feldspatlar genellikle volkanik kayalarda bulunur ve çeşitleri şunlardır: K-Feldspat, Na-Feldspat, Ca-Feldspat, K-Na Feldspat, Ca, Na-Feldspat, Ba-Feldspat, K, Ba-Feldspat, Cs-Feldspat ve Li-Feldspat. Bu feldspat türleri arasında kimyasal formüller, bileşimler, özgül ağırlıklar ve Mohs sertlik dereceleri bakımından farklılıklar bulunmaktadır (Anastasakis, 2013).

Potasyum feldspat (ortoklas), yaklaşık 1170 C’de erimeye başlar ve tam erime sıcaklığı 1280 C’ye kadar çıkarak geniş bir erime aralığı sunar. Sodyum feldspat (albit) ise yaklaşık 1120 °C’de erimeye başlar. Bu özellikler, feldspatın seramik ve cam üretiminde kullanımını cazip hale getirmektedir (Arcasoy, 1986).

Elektroporselen sırlarında genellikle potasyum ve sodyum feldspat kullanılır.

Düşük erime noktalarına sahip oldukları için sırn sinterleme sıcaklığını düşürürler. Böylelikle sırn daha düşük sıcaklıklarda eriyerek camsı bir faz oluşturmasını sağlarlar. Bu da, enerji tasarrufu sağlayarak üretim sürecinde daha düşük sıcaklıklar ile çalışılarak maliyetleri düşürmeye katkıda bulunur.

Feldspatlar, sırn camsı yapısının ana bileşenlerinden olduğu için eriyik sırasında camsı fazı oluşturularak sırn yüzeyinde düzgün bir kaplama oluşmasında yardımcı olur.

Sırn termal genleşme katsayısını düzenleyerek, sır ve porselen gövde arasında uyum sağlar. Bu, termal şok direncini artırır ve sırn çatlamasını önler. Termal şoklara dayanıklılık, sağlam ve uzun ömürlü porselen ürünler elde edilmesini sağlar (MTA, Feldspat).

### **2. 5. 3. Kil ve kaolen**

Farklı kullanım alanlarına uygun olarak üretilen seramik hammaddeleri, endüstride önemli bir yere sahiptir. Seramik sanayisinde kullanılacak killerin kalite açısından belirli standartları karşılaması beklenir. Bu bağlamda, killerin en az %35-36 oranında  $Al_2O_3$  ve en fazla %1 oranında  $Fe_2O_3$  içermesi tercih edilmektedir (Yıldırım, 1995).

Killerin oluşum süreçleri, onları oluşturan malzemelerin daha uzak mesafelere taşınmasıyla şekillenmiştir. Bu süreçte killer, daha fazla ufalanmış ve çeşitli organik-inorganik safsızlıklarla, ayrıca renk değişimine yol açan oksitlerle karışmıştır. Bu nedenle, ikincil (sekonder) oluşum ürünleri olarak sınıflandırılırlar (Aksoy, 1995).

Genel anlamda kil, tanecik büyüklüğü 2 µm'den küçük olan partiküllerin baskın olduğu, ıslatıldığında plastik özellik sergileyen ve pişirildiğinde sertleşip bu özelliğini koruyan hidrate alüminyum silikat minerallerinden oluşan bir sistemdir. Kil minerallerinin temel yapısı, silika, alümina ve suyun oluşturduğu sulu silikatlardan meydana gelir. Bunun yanında, belirli oranlarda demir, alkali ve toprak alkali bileşenler de içerirler.

Killerin porselen sırlarında plastiklik sağlama, bağlayıcı özelliği, viskozite kontrolü ve termal dayanıklılık özellikleri gibi pek çok görevleri vardır.

Yüksek plastiklik özelliği sayesinde sırn daha iyi yayılmasını ve uygulanmasını sağlar. Bu özellik, sırn homojen bir şekilde yüzeye yayılmasına yardımcı olur. Böylece pürüzsüz ve düzgün bir sır yüzeyi elde edilir. Uygulama sırasında çatlama veya akma gibi sorunlar minimize edilir.

Bağlayıcı bir malzeme olarak sır bileşenlerini bir arada tutar. Bu, sırn kuruma ve pişirme sırasında bütünlüğünü korumasını sağlar. Sırn yüzeye güçlü bir şekilde yapışmasını ve uzun ömürlü olmasını sağlar.

Sırn viskozitesini kontrol eder ve akışkanlık özelliklerini düzenler. Bu, sırn uygulanması sırasında istenilen kalınlıkta olmasını sağlar. Sırn yüzeyde düzgün bir kaplama oluşturmasını ve aşırı akışkanlık veya sertleşme olmadan istenilen özellikte uygulanmasını sağlar.

Sırn termal dayanıklılığını artırır ve termal genişleme katsayısını düzenler. Bu, termal şoklara karşı direnç sağlayarak sırn pişirme sırasında ve sonrasında çatlmasını önler ve ürünlerin termal dayanıklılığını artırır.

Kaolin, temel bileşeni kaolinit olan bu mineralin kimyasal formülü  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$  şeklindedir. Kaolinler, taşınarak yakın alanlarda biriken birincil (primer) oluşumlardır. Bu özelliklerinden dolayı daha iri taneli ve daha az safsızlık içeren bir yapıya sahiptirler. Mohs sertlik dereceleri 2 ile 3 arasında değişir.

Sırlık kaolinler ise zenginleştirme süreçlerinden geçirilerek hazırlanır. Bu süreçte kaolin, öncelikle kırılıp suda çözündürülür, ardından süzülerek kaolin açısından zengin tortu elde edilir. Bu tortular, filtre preslerde işlenerek makarna benzeri bir forma dönüştürülür, daha sonra kurutulurken genellikle bigbag'lerde depolanır. Bu işlemler sonucunda kaolin, yapısındaki safsızlıklardan tamamen arındırılmış hale gelir.

Kaolenlerin de elektroporselen sırlarında killeriinkine benzer görevleri vardır. Sırın bünyeye uygulanabilirliğini kolaylaştırarak sırın akışkanlığını belirler. Bu görevlere ek olarak kaolenler sırlarda yüksek elektriksel yalıtkanlık özelliği sayesinde sırın yalıtım kapasitesini artırarak porselenin elektriksel uygulamalarda kullanılmasını sağlar. Aynı zamanda sır kompozisyonunda bulunan hammaddelerin çökmesini engelleyerek öğütmei kolaylaştıma görevleri de vardır(Çakıcı, 2014).

Hem kil hem de kaolen, sırın kimyasal dayanıklılığını artırarak; sırın asitler, bazlar ve diğer kimyasallara karşı dirençli olmasını sağlar. Bu şekilde bileşenler, sırın mekanik dayanıklılığını artırarak çizilme, darbe ve aşınmalara karşı dirençli olmasını sağlar.

#### **2. 5. 4. Kalsit**

Kimyasal içerikleri  $CaCO_3$  ve Mohs sertlik derecesi 3 olan kalsit doğada tebeşir ve mermer şeklinde bulunur. Erime noktası oldukça yüksek olan kalsit, yaklaşık 2700 °C'de erir. İri taneli ve homojen olarak dağılmamış kalsit bünye ve sırın içinde hatalara sebep olur. Pişme sonrasında CaO ortamdan çok çabuk su çeker (ortam nemi vb)ve hacmini %20 oranında büyütür. Sonuç olarak geride boşlukların kalmasına sebep olabilir. Bu yüzden kalsitin ince öğütülmesi ve benye ya da sır karışımında çok iyi dağıtılmış olması gerekir. Ya da kalsine olarak kullanılmalıdır.

Sırlarda CaO elde etmek amacıyla, genellikle  $CaCO_3$  içeren hammaddeler tercih edilir. Katkı çamurundaki CaO, sırla reaksiyona girerek  $SiO_2$  aracılığıyla bir ara tabaka oluşturur. Bu ara tabaka, çamur ve sır arasındaki gerilimleri azaltır ve bu sayede sırın çatlamasını önler.

CaO ayrıca sır içinde diğer oksitlerle etkileşime girerek camlaşma sürecine katkıda bulunur. Özellikle  $B_2O_3$  ile birleştiğinde, sert ve dayanıklı sır yüzeyleri elde edilmesine yardımcı olur (Şenol ve ark. 2015-2016 Güz Dönemi; Arcasoy, 2016).

#### **2. 5. 5. Dolomit**

Dolomit, kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) ve magnezyum karbonatın ( $\text{MgCO}_3$ ) doğada yaklaşık eşit moleküler oranlarda bir araya gelmesiyle oluşur. Kimyasal yapısında yaklaşık %56  $\text{CaCO}_3$  ve %44  $\text{MgCO}_3$  bulunur. Mohs sertlik skalasına göre sertliği 3, 5-4 arasında değişirken, yoğunluğu 2, 8-3  $\text{g/cm}^3$ 'tür. Saf dolomit renksizdir, ancak pembe, kirli beyaz veya kahverengi tonlarında da bulunabilir.

Seramik sırlarında dolomit kullanımı, az miktarda eklendiğinde sıran parlaklığını artırır. Ancak dolomit içerisindeki MgO miktarı yükseldikçe sıra matlaşma eğilimi gösterir. Ayrıca, düşük genleşme katsayısına sahip olması nedeniyle sıra çatlaklarının önlenmesine yardımcı olur.

Dolomitten gelen MgO'nun yüzey geriliminin büyük olması ile artistik sırlardan toplanmalı sıra elde edilebilir. Sert yüzeyler elde etmek için MgO katkısı kullanmak başarılı sonuçlar elde ettirir. Böylece yüzey dayanımı da arttırılmış olur (Şenol ve ark. 2015-2016 Güz Dönemi; Arcasoy, 2016).

## **2. 5. 6. Renklendirici bileşenler**

Seramik sırlarının renklendirilmesinde kullanılan oksitler, sırların çeşitli renklerde görünmesini sağlayan önemli bileşenlerdir. Bu oksitler, pişirme sürecinde sıran kimyasal yapısıyla etkileşime girerek farklı renk tonları oluşturur. Seramik sırlarının renklendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bazı oksitler ve bu oksitlerin oluşturduğu renkler:

### **2. 5. 6. 1. Demir oksitler ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ve $\text{FeO}$ )**

Eklendikleri sıra kırmızı, kahverengi, sarı, siyah renklerini verirler.

- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Ferrik oksit): Oksidasyon atmosferinde pişirildiğinde ilave edildikleri orana bağlı olarak sarı, kahverengi, kızıl kahverengi, şarap kırmızısı renkleri üretir. Düşük sıcaklıklarda sarı, yüksek sıcaklıklarda kahverengiye döner. Ayroca fazla kurşun içeren sırlarda ferrik oksit ile beraber turuncu-kırmızı renkler gözlemlenir.

- $\text{FeO}$  (Feroz oksit): Redüksiyon atmosferinde pişirildiğinde yeşil veya mavi-siyah renkler oluşturur.

### 2. 5. 6. 2. Bakır oksit (CuO ve Cu<sub>2</sub>O)

Eklendikleri sıra yeşil, mavi, kırmızı renklerini verir.

CuO (Cuprik oksit):Oksidasyon atmosferinde yeşil, redüksiyon atmosferinde ise kırmızı renkler verir. Çin kırmızısı adı verilen renk de CuO katkısıyla elde edilir (Arcasoy, 1986).

Cu<sub>2</sub>O (Cupröz oksit):Genellikle mavi ve kırmızı tonlar oluşturur.

Parlak ya da standart bir sıranın içerisine %8 ile %25 arasında bakır bileşikleri eklenerek siyah mat metalik sırlar oluşturulabilir. Ancak bu metalik sır yüzeyleri, lekelerle karşı oldukça duyarlıdır ve temas edildiğinde yüzeyde iz oluşabilir.

### 2. 5. 6. 3. Kobalt oksit (CoO)

Kobaltın mavi renk oluşturma özelliği, 1540'lı yıllarda bir cam atölyesinde rastlantı sonucu keşfedilmiştir. Kobalt, sırlarda açık mavi ile lacivert arasında farklı tonlar elde edilmesini sağlar. Kobalt oksit son derece güçlü bir renklendirici olup, çok az miktarda kullanıldığında dahi yoğun bir mavi renk oluşturabilir. Ayrıca, başka bileşiklerle birleştirildiğinde mor tonlar da ortaya çıkabilir. Ancak, kobalt oksit diğer renklendirici oksitlerden daha sert bir yapıya sahip olduğundan, yeterince ince öğütülmediğinde sır içinde çözünmesi güçleşir.

CoO seramik sırlarında iyi bir kristal oluşturucu olarak da görev yapar. Kobalt oksitin farklı değerlikleri sır içinde değer değişikliklerine uğradığında çıkan oksijen, sır yüzeyinde iğne deliklerine sebep olabilmektedir (Arcasoy, 1986).

### 2. 5. 6. 4. Krom oksit (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

Sıra yeşil, kahverengi renklerini verirler. Krom oksit, oksidasyon atmosferinde yeşil renk verir. Farklı bileşiklerle ve yüksek sıcaklıklarda kahverengi tonlar da elde edilebilir. Çinko bileşiklerinin artan oranları ile beraber bir sırda yer aldıklarında yeşil renk bozularak kirli gri-kahverengiyeye dönebilir. Kurşun oranı yüksek sırlarda, düşük

sıcaklıklarda sarı renk tonları elde edilebilir. Yine kurşunlu sırlarda, düşük sıcaklıklarda nötr ve oksitleyici atmosferlerde krom kırmızısı rengi elde edilir. Sarı kurşun kromat katkısı ile 1040 C sıcaklıkta PbO oranı düşürülürse sarı renk de elde edilebilir.

$Cr_2O_3$ ,  $Al_2O_3$  gibi sırların erime sıcaklıklarını yükseltir dolayısıyla bu sırlarda alümina oranını düşürmek faydalı olacaktır.

Krom bileşikleriyle hazırlanmış sırların fırın içerisinde buharlaşması sonucunda diğer sırlarda kirli yeşil lekeler görülebilir. Bu buharlaşmadan en çok kalay ve titan içeren sırlar etkilenir.

#### **2. 5. 6. 5. Manganez oksit ( $MnO$ ve $MnO_2$ )**

Sıra siyah, kahverengi, mor renklerini verirler. Manganez oksit, oksidasyon atmosferinde siyah veya kahverengi renkler üretir. Redüksiyon atmosferinde ise mor tonlar elde edilebilir.

$MnO_2$  nin sırda basit oksit şeklinde bulunması kahverenginin tonlarını, alkalili sırlarda ise üç değerlikli silikatların oluşması sonucunda mor rengin tonları oluşur.

Tüm opak mat sırlarda açık bejden kahverengiye kadar çeşitli tonların elde edilmesine olanak sağlar. Sırlar mangan ile doyurulduğunda metalik parlak bir yüzey oluşur.

$TiO_2$  ile kullanıldığında renk griye,  $BPO_4$  ile kullanıldığında renk mora dönüşür. Sırda  $Al_2O_3$  oranları arttıkça renk kahverengileşir.

#### **2. 5. 6. 6. Titanyum oksit ( $TiO_2$ )**

Titanyum oksit, sırlara opak beyaz ve sarı tonları verir. Bu oksit, sırlara beyazlık kazandırırken aynı zamanda opaklık sağlar. Diğer renklendirici oksitlerle karıştırıldığında ise sarı renk tonları elde edilebilir. Kobalt içeren sırlarda gri-mavi ile yeşil arasında renk değişimleri gözlemlenirken, bakırla yapılan sırlarda sarıdan maviye, kromlu sırlarda ise kirli gri renkler ortaya çıkar. Transparan sırlarda titanyum oksit

kullanılarak matlaştırma işlemi yapmak isteniyorsa, TiO<sub>2</sub> oranının %6-15 arasında olması gerekmektedir. Redüksiyonlu pişirme ortamlarında titanyum oksit katkısı, homojen olmayan koyu mavi renklerin oluşmasına yol açarak "titan matı" adı verilen sirlara neden olur.

#### **2. 5. 6. 7. Vanadyum oksit (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)**

Vanadyum oksit, sarı ve turuncu renkler verir. Kurşunsuz sirlara yaklaşık %5 oranlarında yapılan ilaveler sonucunda sırda yeşil-beyaz örtücülük yapar. Katkı oranı arttıkça sırın rengi gri-yeşilden kahverengiye kadar değişen tonlar gösterir ve sırın yüzeyinde kristaller oluşur.

Katkı oranı çok artarsa sır toplanmaları ortaya çıkarır. Çoğu zaman sirlarda bor tülü gibi vanadyum tülü oluşturur.

Kobalt oksitle beraber sır mavi renk, demir oksitle beraber kullanıldığında sır kahverengi rengini verir.

Yüksek sıcaklığa dayanıklı sirlarda rahatlıkla kullanılabilir.

#### **2. 5. 6. 8. Antimon oksit (Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>):**

Antimon oksit, sarı renk verir ve genellikle opaklaştırıcı olarak kullanılır. Kurşunsuz sirlarda beyaz örtücülük yapar. Kurşunlu sirlarda Napoli sarısı adı verilen renk ile kızıl-kahverengi renklerin oluşmasına yardımcı olur.

5 değerlikli antimon oksit zehirli, 3 değerlikli olan antimon oksit zehirsizdir (Arcasoy, 1986).

#### **2. 5. 6. 9. Zirkonyum oksit (ZrO<sub>2</sub>)**

Zirkonyum oksit, sirları opaklaştırır ve beyaz renk verir. Aynı zamanda kimyasal direnç ve dayanıklılık sağlar. Endüstride en çok kullanılan şekli zirkonyum silikattır (ZrSiO<sub>4</sub>)Zirkon tanelerinin küçüklüğü ile sırın opaklık seviyesi doğru orantılıdır. Başarılı bir opaklık için tane boyutu 5µm un altında olmalıdır.

CuO ile beraber kullanıldığında mavi renk verirler.

### **2. 5. 6. 10. Nikel oksit (NiO):**

Seramik sırlarına nikel oksit veya nikel karbonat şekillerinde ilave edilirler. Nikel oksit, gri, kahverengi ve siyah renkler verir. Renk tonları pişirme atmosferine ve sıcaklığa bağlı olarak değişir.

Yüzey gerili yüksek olan NiO fazla katkılarında sır toplanmalarına neden olabilir. Bu esnadan sırda ZnO da bulunuyorsa bu durum hızlanır.

Kurşunlu sırlarda kullanıldığında pişirme hızlı yapılırsa sır kaynaması ortaya çıkar. Önlem olarak pişirme süresi uzatılıp, pişirim hızı azaltılarak, kurşun yerine kısmen alkali ilave etmek faydalı olacaktır.

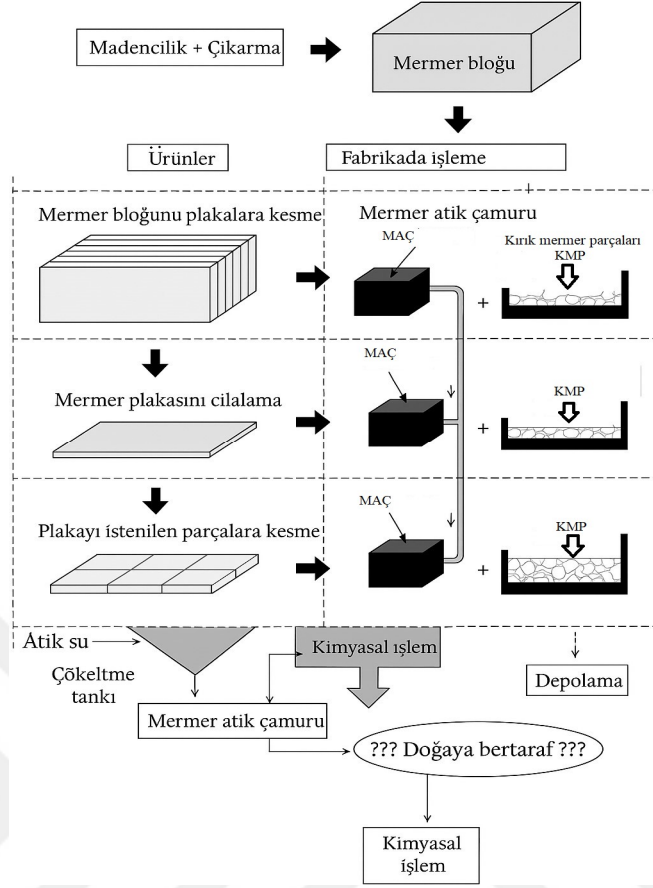
### **2. 5. 6. 11. Kalay dioksit (SnO<sub>2</sub>)**

Sırlarda yüksek oranda örtücülük sağlar fakat maliyeti nedeniyle bu görevi zirkona bırakmıştır. Transparan bir sırı tamamen opak yapmak istenirse %5-10 arasında kalay oksit katkısı yapılmalıdır. Bunun yanında istenilen renklendirici oksitlerle beraber kullanıldığında o renkleri keskinleştirecektir.

Bu oksitler, seramik sırlarının estetik görünümünü büyük ölçüde etkileyerek, çeşitli renkler ve tonlar elde edilmesini sağlar. Her bir oksidin belirli kullanım miktarları ve kombinasyonları, istenilen renk efektlerini ve estetik sonuçları elde etmek için dikkatlice kontrol edilmelidir.

## **2. 6. Mermer ve Mermer Atığı**

Mermer ocakları ortalama %10-15 verimle çalışmakta kalan % 85-90'lık kısmının ise müşterilerin taleplerini karşılayamadığı için doğaya atık olarak bırakılmaktadır. Bu atıklar, blok kesme ve üretime hazırlık aşamalarında, genellikle moloz, parça ve ince parçalı toz formunda ortaya çıkar ve "atık pasa" olarak adlandırılır. Şekil 2.3'te mermer atık çamurunun oluşum sürecini göstermektedir.



**Şekil 2.3.**Mermer atık çamurunun oluşum süreci (Demirel ve Alyamaç, 2018)

Mermer işleme sürecinde ortaya çıkan atıklar, hem ekonomik kayıplara hem de çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu atıklar, farklı endüstrilerde kullanılmak üzere fabrikaların büyük depolarında biriktirilmekte, ancak bu süreçten kaynaklanan mermer sıvısı, arıtma işlemi ile mümkün olduğunca sudan ayrıştırılmakta ve geriye mermer atık çamuru kalmaktadır. Ancak, bu atık miktarı, mermer firmalarının depolama kapasitesinin çok ötesindedir. Bu sebeple, birçok mermer firması bu atıkları kontrolsüz ya da sınırlı bir şekilde doğaya bırakmakta, bu da önemli çevresel kirlenmelere yol açmaktadır. Mermer atıklarının farklı sektörlerde kullanılması, hem çevresel kirliliğin azaltılmasına hem de ekonomik faydalar sağlanmasına olanak tanımaktadır. (Demirel ve Alyamaç, 2018)

Bu tür atıklar, üretim süreçlerinde kullanılan malzemelerin israfı sonucu meydana gelir (TC. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2020). Örneğin sadece Afyonkarahisar'da yıllık 600000 ton mermer artığı ortaya çıkmaktadır ve bu artığın büyük kısmı ekonomiye kazandırılmamaktadır. Bu artık çevre kirliliğine yol açmakla

beraber ekonomik olarak büyük bir kayba yol açmaktadır (TUR, 2007). 1980'li yıllarda Türkiye'nin mermer (doğal taş) ihracatı yalnızca birkaç milyon dolar civarındayken, 2013 yılı itibariyle bu rakam 2,2 milyar dolara yükselmiştir. Ancak, 2016 yılında bir azalma görülerek 1,8 milyar dolara gerileyen ihracat, 2017'de tekrar 2 milyar dolara çıkmıştır. Bugün, Türkiye, dünya genelindeki en büyük 5 mermer ihracatçısından biri olarak öne çıkmaktadır (Altındağ R., 2018). Mermer atık miktarının fazla olması bu atıkların farklı sektörlerde değerlendirme çalışmaları için öncelik sağlamasına neden olmuştur. Özellikle uygun tane boyutuna sahip ya da öğütme işlemi nispeten daha kolay olan 2 mm altı mermer tozları değerlendirme açısından daha avantajlı konumdadır. Mermer tozlarının farklı sanayilerde kullanımı ve miktarına ait veriler aşağıdaki Çizelge 2.3'te verilmiştir.

**Çizelge 2.3.** Mermer tozlarına ait kullanım alanı ve miktarları

KULLANIM ALANI	% CaCO <sub>3</sub>	Üretim Miktarı (ton)
Seramik	5-6	300. 000
Plastik	30-45	560. 000
Çimento	15-20	28. 550. 000
Gübre	50-80	3. 500. 000
Kanatlı Hayvan Yemi	10-12, 5	927. 000
BB ve KB Hayvan Yemi	5-7	1. 450. 000
Boya	-	130. 000
Gazete Kâğıdı	2-6	140. 000
Kitap Kâğıdı	5-40	90. 000
Ambalaj Kâğıdı	20-25	28. 000
Sigara Kâğıdı	35-40	5. 400

Diğer bir yandan ülkemizde de Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı kordinesi tarafından yürütülen 2017 yılında Sıfır Atık Hareketi ile tüm atıkların değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Projenin başladığı yıldan 2023 yılına kadar 185 Milyar TL. ekonomiye geri kazandırıldı. Türkiye'nin yıllık atık miktarları incelendiğinde en büyük iki kalemi hanehalkı atıkları ve maden işletmeleri atıklarıdır. Bu iki atık kaynağının toplamı yıllık atık miktarının yarısından fazlasını oluşturmaktadır.

Tüm bu şartlar değerlendirildiğinde hem çevresel hemde ekonomik açıdan mermer atılarının değerlendirilmesi doğaya, ülke ekonomisine ve son dönemlerde son derece önem kazanan karbon ayak izinin azaltılması için son derece kıymetlidir.



### **3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

Yapılan çalışmalarda iki farklı porselen izolator sır reçetesinde kalsit, dolomit ya da her iki ham madde yerine mermer atığı kullanılmıştır. Çalışma için mermer atığının seçilmesinin başlıca nedeni mermer üretim sürecince ortaya çıkan atık oranının oldukça yüksek olmasıdır. Atık oranının yüksek olması nedeniyle bu kıymetli atıklarının endüstride tekrar kullanılması hem azalan ham madde kaynaklarının korunması hem de sıfır atık çalışmalarının endüstrinin farklı alanlarında kullanılması açısından son derece yüksek önem arz etmektedir.

#### **3. 1. Kullanılan Ham Maddeler**

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda elektroporselen sırlarında kullanılan ham maddeler Ankara Seramik ve Porselen AŞ. ' den temin edilmiştir. Hammaddelere ait kimyasal özellikler Çizelge 4.1'de verilmiştir. Ayrıca reçete çalışmalarında renklendirici olarak demir (Fe)(%27- %33), krom (Cr)(%25-%30)ve mangan (Mn)(%22 - %28)içerikli kahverengi pigment kullanılmıştır.

#### **3. 2. Reçetelerin Oluşturulması ve Kodlanması**

Reçete hazırlama işleminde iki farklı elektroporselen sır reçetesi kullanılmıştır. Oluşturulan yeni reçetelerde Seger hesabı kullanılarak kalsit ve dolomit oranları değiştirilerek yerine mermer atığı ve manyezit kullanılmıştır.

Sırların moleküler yapılarının formüle edilmesi, Seger'in geliştirdiği bir yöntemdir ve bu yaklaşım literatürde "Seger Formülü" olarak bilinmektedir. Sırların hazırlanmasında bu formül kullanılır. Seger formülünden yola çıkılarak ham maddeler belirlenir ve oksitlerin mol sayıları reçetede yer alması istenilen ham maddelerin mol ağırlıkları ile çarpılır (Çizelge 3.1).

**Çizelge 3.1.** Segerhesabı örnek çizelgesi

Kullanılan Maddeler	Ham	Sır reçetesi hesaplama Mol sayısı x Mol ağırlık	Seger Kullanılan formülündeki oksitler		
			PbO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
Sülyen		1. 0 x 229 = 229, 0	1. 0		
Kaolin		0. 1 x 258 = 25, 8		0. 1	(2x0, 1)0, 2
Kuvars		1. 8 x 60 = 108, 0			1. 8
Toplam		362, 8	1. 0	0. 1	2

Seger formülü: 1. 0 RO-R<sub>2</sub>Ox. R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. yRO<sub>2</sub> bağıntıyı oluşturacak şekilde yazılır.

Örnek: 0, 05K<sub>2</sub>O

0, 95PbO0, 15 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2, 0 SiO<sub>2</sub>(950<sup>0</sup>C'de gelişir).

Toplam 1, 00 (T. C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2007).

2 farklı standart elektroporselen sır reçetesi STD1 ve STD2 olarak kodlanmıştır. STD1 elektroporselen sır reçetesi alçak ve orta gerilim porselen izolatörlerde kullanılan, pişirim rejimi olarak ise fırın süresi kısa ve tepe sıcaklığı düşük olan bir sır reçetesidir. STD2 elektroporselen sır reçetesi ise tepe sıcaklığı yüksek, fırın rejimi daha uzun olan yüksek gerilim izolatörleri için kullanılan sır reçetesidir.

### 3. 3. Sır Reçetelerinin Hazırlanması

Oluşturulan sır reçetelerinin tartım ve öğütme işlemleri Ankara Seramik A. Ş. laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Tartım için Dikomsan marka 1 mg taksimatında hassas terazi kullanılmıştır. Hazırlanan reçeteler 500 gr kapasiteli alümina laboratuvar değirmeninde, 300 ml su ile 45µ elek analizi elek bakiyesi %0. 3 olana kadar alumina bilya ile öğütülmüştür.

### 3. 4. Elektroporselen Sırlarına Uygulanan Deneyler

#### 3. 4. 1. Yoğunluk ve viskosite

Sırların yoğunluklarının ölçülmesinde 100 ml hacme sahip metal piknometre kullanılmıştır. Ağırlığı alınan piknometrenin içi ölçüm yapılacak sıvı ile doldurulur ve kapağındaki açıklıktan taşım yapacak şekilde kapatılır. Piknometrenin yüzeyindeki kalan sırlar temizlenir ve piknometre kurulandıktan sonra tartım yapılır. Tartım doğruluğu için 0, 01 gr doğruluğunda tartım yapabilen terazi uygun olacaktır. Yapılan ölçümlerin ardından aşağıda yer alan yoğunluk formülü ile hesaplanır.

$$d = \frac{m_2 - m_1}{v}$$

d: Sırların yoğunluğu

m<sub>2</sub>: İçi sıvı dolu piknometrenin ağırlığı

m<sub>1</sub>: Piknometrenin ağırlığı

V: piknometrenin alabildiği sıvı hacmi

Viskozite, sıvıların akmaya karşı gösterdiği direnç olarak belirtilir ve viskozite tespiti için Ford akış kabı kullanılmıştır. 100 ml sıvı hacminde hazneye sahip olan Ford akış kabının kaç saniyede boşaldığı ile tayin edilmiştir.

#### 3. 4. 2. Yaş elek analizi ve tane boyut ölçümü

Sırların reçetelerinin uygun tane boyutuna geldiğinin tespiti için kullanılan analiz yöntemidir. Bu analiz için Retsch Marka 45 mikron elek, AND Marka nem tayin cihazı ve Dikomsan Marka terazi kullanılmıştır. Sulu halde hazırlanan sırlar numunesinden 100 gr numune alınarak elekte dökülür. Elek altından temiz su gelinceye kadar eleme işlemi devam ettirilir ve elek üstünde kalan katı miktar piset yardımıyla alümina kroze konular. 105 °C'de etüvde 3 saat kurutulur ve elek üstünde kalan bakiye tartılır. Aynı zamanda sulu sırdaki kuru miktar da nem tayin cihazı ile hesaplanır. Formül kullanılarak elek bakiye miktarı gram cinsinden hesaplanır.

$$Elek\ Bakiye = \left( \frac{Elek\ Üstü}{Kuru\ Madde\ Miktarı} \right) \times 100$$

Ayrıca tane boyut ölçümü için Malvern Mastersizer 2000 cihazı kullanılmıştır. Böylece taneciklerin tane boyut dağılımı, ortalama tane boyutları ve tane boyut büyüklerinin sınırı analiz edilmiştir.

### **3. 4. 3. Sır akış davranışı analizi**

Bu analiz yönteminde süspansiyon şeklindeki sırdan numune alınarak alçı plaka üzerine dökülür ve fazla su uzaklaşmaya kadar beklenir. Alçı plakadan alınan sır el ile yuvarlak top haline getirilir ve 4 gram olacak şekilde ayarlanır. Şekillenen sır numune parçaları 45 derece açığa sahip porselen yuvalara yerleştirilir ve 1215 °C tepe noktası olan 36 saatlik fırın programında pişirilir.

### **3. 4. 4. Renk ölçümü**

Renk değerleri incelenmesinde Lab modeli kullanılmıştır. Bu model de L (beyazlık)parlaklığı ifade eder. Sıfır (siyah)ile 100 (beyaz)arasında bir değerdir. a değeri ise yeşil kırmızı eksenini temsil eder. Pozitif değerler olması kırmızıya, negatif değerler olması ise yeşile doğru renk kayması olduğunu temsil eder. Tabloda yer alan b değeri de mavi-sarı eksenini belirtmektedir. Aynı a değerinde olduğu gibi pozitif ve negatif değerler alır. Pozitif değerler sarıya, negatif değerler ise maviye doğru renk kayması olduğunu göstermektedir. Sırların renk değerleri (L\*, a, b)spektrofotometre (Minolta Konica)kullanılarak belirlenmiştir.

### 3. 4. 5. XRD analizi

Temel anlamıyla XRD (X-Ray Diffraction)analizi malzeme karakterizasyon analizlerinden biri olup numunlerin faz bileşimini ve kristal yapısını analiz etmek için kullanılan analiz yöntemidir. Analizler, Rigaku MiniFlexX-ışını kırınımı ile  $2\theta = 10^\circ - 70^\circ$  aralığında  $2^\circ/\text{dk}$  tarama hızında 40 kV ve 30 mA'da monokromatik Cu-K $\alpha$  radyasyonu ( $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ )kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 3. 4. 6. Isıl mikroskop analizi

Hazırlanan sırların numunelerinin sinterleme süresince sinterleme, yumuşama ve erime noktalarının değerlendirilmesi Misura ODHT HSM 1600/80 ısıtma mikroskobu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## 4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Kullanılan Ham Maddelere Ait Kimyasal ve Fiziksel Özellikler

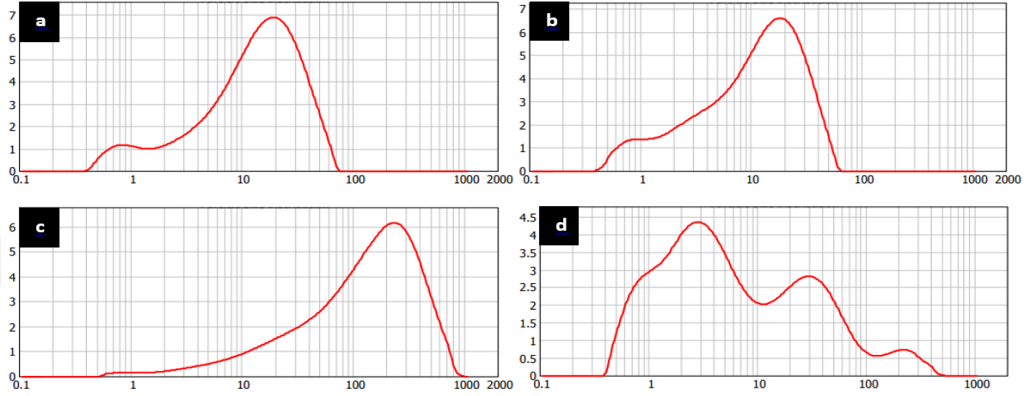
Çalışma kapsamında kullanılan ham maddelere ait kimyasal özellikler Çizelge 4.1’de mevcuttur. Yapılan kimyasal analizler sonucunda, incelenen atık numunesinin kimyasal bileşiminin kalsit ile büyük ölçüde benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, dolomit hammaddesinin de yüksek oranda kalsiyum oksit içerdiği analiz verileriyle ortaya konmuştur. Bu doğrultuda, çalışmada geliştirilen reçetelerde kalsiyum oksit kaynağı olarak geleneksel olarak kullanılan kalsit ve dolomit yerine, %56,01 oranında kalsiyum oksit içeriğine sahip mermer atığı kullanılmıştır. Dolomitin, kalsiyum oksite ek olarak önemli miktarda magnezyum oksit içerdiği de kimyasal analizlerle belirlenmiştir. Bu nedenle, dolomit yerine mermer atığının kullanıldığı sır kompozisyonlarında, Seger oranlarının standart değerlere uygunluğunu sürdürebilmek amacıyla reçetelere manyezit hammaddesi ilave edilmiştir.

**Çizelge 4.1.**Elektroporselen sırlarında kullanılan ham maddeler ve kimyasal analizleri

Ham maddeler	A. Z.	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
K- feldispat	0, 32	69, 59	16, 53	0, 14	0, 04	0, 37	0, 06	2, 36	10, 53
Na-feldispat	0, 23	70, 18	18, 13	0, 05	0, 18	0, 54	0, 13	10, 28	0, 17
Kuvars	0, 15	99, 19	0, 34	0, 02	-	0, 02	0, 04	0, 19	0, 04
Kalsit	43, 56	0, 88	0, 7	-	-	55, 16	0, 2	-	-
Dolomit	47, 34	0, 34	0, 16	0, 04	-	32, 16	19, 57	0, 04	0, 05
Kil	7	61	25	1, 5	1, 7	0, 4	0, 6	0, 5	2, 3
Kaolen	12, 33	51, 49	34, 16	0, 78	0, 49	0, 11	0, 01	0, 05	0, 2
Mermer atık	42, 3	0, 83	0, 2	0, 04	0, 01	56, 01	0, 53	-	0, 02
Manyezit	47, 45	4, 18	0, 21	0, 65	-	2, 74	44, 66	-	-

Kullanılan kalsit, dolomit, mermer tozu ve manyezite ait tane boyut ölçümleri ise Şekil4.1 ve Çizelge 4.2’ de verilmiştir. Sunulan şekil ve çizelgeden de anlaşılacağı gibi mermer atık tozunun tane boyutu standart reçetelerde kullanılan kalsit ve dolomit

ham maddelerine göre daha iri tane boyutuna sahiptirler. Manyezit hammaddesinin ortalama tane boyutu ise kalsit ve dolomite daha yakın olmakla birlikte iki tepeli bir tane boyut dağılımına sahip olduğu görülmektedir. Manyezit ham maddesi ise kalsit ve dolomite göre daha küçük tane boyutuna daha düşük tane boyutuna sahip gözüksede son tane boyutu kalsit ve dolomite göre daha büyüktür.



**Şekil 4.1.** Reçetelerde kullanılan hammaddelerin tane boyut analizleri a) Kalsit, b) Dolomit, c) Mermer atık tozu, d) Manyezit

**Çizelge 4.2.** Hammaddelerin  $D_{10}$ - $D_{50}$  ve  $D_{90}$  tane boyut değerleri

Ham madde/ $\mu$	$D_{10}$	$D_{50}$	$D_{90}$
Kalsit	2,13	14,15	37,49
Dolomit	1,65	11,78	32,18
Mermer atık tozu	16,73	143,78	424,21
Manyezit	0,94	4,80	55,91

2 farklı standart elektroporselen sır reçetesi STD1 ve STD2 olarak kodlanmıştır. STD1 elektroporselen sır reçetesi alçak ve orta gerilim porselen izolatörlerde kullanılan pişirim rejimi olarak ise fırın süresi kısa ve tepe sıcaklığı düşük olan bir sır reçetesidir. STD2 elektroporselen sır reçetesi ise tepe sıcaklığı yüksek, fırın rejimi daha uzun olan yüksek gerilim izolatörleri için kullanılan sır reçetesidir.

STD1 reçetesinde kullanılan kalsit ve dolomit yerine mermer atığı ve manyezit kullanılarak oluşturulan reçeteler Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te yer almaktadır.

**Çizelge 4.3.** STD1 reçetesinde kalsit veya dolomit yerine mermer atığı ile manyezit kullanılarak oluşturulan reçeteler ve kodları

	STD1	K1	K2	D1	D2	D3
<b>K- feldispat</b>	24	24	24,2	24	24,3	24,5
<b>Kuvars</b>	30	30,18	30,2	29,95	30,15	30,27
<b>Kil</b>	10	10	10,2	10	10	10
<b>Kalsit</b>	6	3		6	6	6
<b>Dolomit</b>	10	10	10	4,9	3	
<b>Kaolen</b>	5	5	5	5	5	5
<b>Na-feldispat</b>	15	15,1	15,2	15,1	15,3	15,3
<b>Mermer atık</b>	-	3	6	2,85	4	5,7
<b>Manyezit</b>	-	-	-	2,2	3,05	4,38

**Çizelge 4.4.**STD1 reçetesinde kalsit ve dolomit yerine mermer atığı ile manyezit kullanılarak oluşturulan reçeteler ve kodları

	STD1	KD1	KD2	KD3	KD4	KD5	KD6
<b>K- feldispat</b>	24	24,7	24,8	24,1	24,25	24,4	24,5
<b>Kuvars</b>	30	30,5	30,65	29,97	30,1	30,2	30,32
<b>Kil</b>	10	10,2	10,4	10	10,2	10,1	10,4
<b>Kalsit</b>	6	3		3		3	
<b>Dolomit</b>	10			4,9	4,9	3	3
<b>Kaolen</b>	5	5	5	5	5	5	5
<b>Na-feldispat</b>	15	15,4	15,5	15,1	15,2	15,3	15,3
<b>Mermer atık</b>	-	8,75	11,78	5,8	8,83	6,97	10
<b>Manyezit</b>	-	4,4	4,4	2,2	2,2	3,05	3,05

STD2 reçetesinde kullanılan kalsit ve dolomit yerine mermer atığı ve manyezit kullanılarak oluşturulan reçeteler Çizelge 4.5'te yer almaktadır.

**Çizelge 4.5.**STD2reçetesinde kalsit, dolomit yerine mermer atığı ile manyezit kullanılarak oluşturulan reçeteler ve kodları

	STD2	MA-1	MA-2	MA-3	MA-4	MA-5
<b>K- feldispat</b>	29	29	29,1	29,1	29,1	29,1
<b>Kuvars</b>	16	16,07	16	15,9	15,86	15,81
<b>Kil</b>	11	11,1	11,1	11	11	11,08
<b>Kalsit</b>	3	-	3	3	3	
<b>Dolomit</b>	9	9	5	2		
<b>Kaolen</b>	5	5	5	5	5	5
<b>Na-feldispat</b>	27	27	27,1	27,1	27,1	27,1
<b>Mermer atık</b>	-	2,97	2,26	3,9	5	7,96
<b>Manyezit</b>			1,74	3,03	3,9	3,87

Hazırlanan reçetelerin tamamının reolojik özellikleri, fiziksel özellikleri ve optik özellikleri analiz edilmiştir. Porselen izolator üretiminde yaklaşık olarak %70 oranında STD2 sırası kullanıldığı için STD2 sıranın ısı davranış ve faz analizi de yapılmıştır.

#### 4. 2. Reolojik Özellikler

Standart elektroporselen sıra reçetelerine mermer atığı ilavesinin reolojik etkileri incelenmiştir. Standart sıraların ve oluşturulan reçetelerden yapılan sıraların akma ve yoğunluk değerleri Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8’de verilmiştir.

**Çizelge 4.6.**STD1 reçetesinde kalsit ve dolomit yerine mermer ve manyezit kullanılan sıraların reolojik özellikleri

	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Akma süresi (saniye)
STD1	1410	15,69
D1	1410	15,78
D2	1415	15,37
D3	1422	16,22
K1	1423	15,38
K2	1423	15,97

**Çizelge 4.7.**STD1 reçetesinde kalsit veya dolomit yerine mermer ve manyezit kullanılan sıraların reolojik özellikleri

	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Akma süresi (saniye)
--	--------------------------------	----------------------

STD1	1410	15,69
KD1	1417	16,03
KD2	1424	16,46
KD3	1423	16
KD4	1422	16,28
KD5	1422	15,94
KD6	1422	16,5

**Çizelge 4.8.**STD2 reçetesinde kalsit, dolomit yerine mermer ve manyezit kullanılan sırların reolojik özellikleri

	STD2	MA1	MA2	MA3	MA4	MA5
<b>Yoğunluk (g/lt)</b>	1415	1426	1419	1420	1425	1422
<b>Viskozite (sn.)</b>	15,88	16,09	16	15	15,25	16,18

Standart izolatör sıra aynı Seger değerinde mermer atığı ilavesinin sırların reolojik özellikleri üzerine etkileri değerlendirildiğinde artan mermer atığı ilavesinin benzer yoğunluk değerlerinde benzer akma değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Seramik sırlarının akışkanlık özellikleri, seramik ürünlerin yüzey kaplamasında büyük bir öneme sahiptir. Bu akışkanlık, sırn pişirme sırasında nasıl yayılacağını ve yüzeyde nasıl düzgün bir tabaka oluşturacağını belirler. İyi akışkanlığa sahip bir sır, seramik yüzeyine homojen bir şekilde yayılır. Bu, sırn kalınlığının eşit olmasını sağlar ve yüzeyde lekelerin, kabarcıkların veya boşlukların oluşma olasılığını azaltır. Sırn akışkanlık özellikleri, sırlama sürecindeki hataları minimize ederek sırn istenilen kalınlık, parlaklık, doku ve renkte eldesine olanak sağlar (J. S. Reed, Principles of Ceramics Processing, John Wiley & Sons, Inc., 1995). Bu açıdan değerlendirildiğinde, mermer atığının elektroporselen sırlarında kullanımının endüstriyel anlamda sorun teşkil etmeyeceği öngörülmektedir.

### 4. 3. Fiziksel ve Optik Özellikler

Çalışma kapsamında oluşturulan sırlar ile sırlanan mukavemet çubuklarına ait mukavemet sonuçları Çizelge 4.9, Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11’de verilmiştir. En yüksek mukavemet değerine KD3 nolu sırla ulaşılmıştır. Butün sır reçetelerine ait

mukavemet değerleri standart sırlara ait değerlere yakın olup, deneme reğelerin mukavemet açısından sorun oluşturmacağı öngörülmüştür.

**Çizelge 4.9.**STD1 reçetesinde kalsit veya dolomit yerine mermer ve manyezit kullanılan sırların çubuklara ait mukavemet sonuçları

Reçete Adı	STD1	D1	D2	D3	K1	K2
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	1150,42	1172,68	1109,35	1170,54	1184,93	1165,4

**Çizelge 4.10.**STD1 reçetesinde kalsit veya dolomit yerine mermer ve manyezit kullanılan sırların çubuklara ait mukavemet sonuçları

Reçete Adı	STD1	KD1	KD2	KD3	KD4	KD5	KD6
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	1150,42	1161,33	1160,47	1191,09	1155,27	1160,99	1188,08

**Çizelge 4.11.**Reçete alışmalarındakiSTD2 sırların kullanıldığı çubuklara ait mukavemet sonuçları

Reçete Adı	STD2	MA-1	MA-2	MA-3	MA-4	MA-5
Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	1095,41	1123,85	1049,16	1090,58	1041,06	1100,49

Ayrıca oluşturulan sırların renk ölçüm sonuçlarıda izelge 4.12, izelge 4.13 veizelge 4.14'te sunulmuştur. Hazırlanan deneme reçeteleri incelendiğinde sır reçetesinde kullanılan mermer atık tozu oranındaki artışla birlikte standart reğeteye göre sırım beyazlık değerinde bir artış olduğu, bunun yanı sıra sarılık yönünde de artış olduğu gözlemlenmiştir. Kırmızılık yönünden ise STD1 sırina eşit Seger değerleriyle hazırlanan sırlarda dalgalanma olmakla birlikte artma, STD2 sıri ile aynı seger değerine sahip sırlarda ise farkedilir miktarda artış gözlemlenmiştir. Seramik sırlarında renk oluşumu, birçok faktörün etkileşimiyle gerçekleşir. Renk, sırım bileşimi, uygulama yöntemi, pişirme koşulları ve dış faktörler gibi parametrelerden etkilenir (Tarhan ve

Tarhan, 2020). Yapılan çalışmada hazırlanan sırlar aynı uygulama yöntemi ve pişirim koşullarında hazırlandığından sırn bileşimi ve pişirim sürecinde gelişen fazlar açısından renk oluşumunu değerlendirmek daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Hammaddelere ait kimyasal analizler incelendiğinde, mermer atık tozunun  $Fe_2O_3$  ve  $TiO_2$  bileşenlerini oldukça düşük oranlarda içerdiği, ancak manyezitin yerine kısmen kullanılan kalsit ve dolomitte kıyaslandığında  $Fe_2O_3$  oranının belirgin şekilde daha yüksek olduğu görülmektedir. Seramik hammaddelerinde bulunan  $Fe_2O_3$ , miktarına bağlı olarak turuncudan kırmızı-kahverengiye kadar değişen bir renklenmeye neden olmaktadır (Tarhan M. ve TarhanB., 2019). Bu durum, artan mermer atık tozu içeriğine sahip sır reçetelerinde kırmızılık değerlerinin yükselmesini desteklemektedir. Ayrıca sır reçetesinde mermer atık tozu kullanımı ile birlikte özellikle kahverengimsi siyah renk tonu sağlayan magnezyakromit faz miktarının azaldığı görülmektedir. Bu reçetelerde artan mermer atığı kullanımı ile artan beyazlık ve kırmızılık değerini açıklamaktadır.

**Çizelge 4.12.**STD1 reçetesinde kalsit veya dolomit yerine mermer ve manyezit kullanılan sırların renk ölçüm değerleri

Reçete Adı	STD1	K1	K2	D1	D2	D3
L	27,67	29,29	29,365	29,33	28,97	29,15
A	3,06	3,12	3,53	3,55	4,15	4,15
B	2,8	2,56	2,84	2,48	3,58	3,43

**Çizelge 4.13.**STD1 reçetesinde kalsit ve dolomit yerine mermer ve manyezit kullanılan sırların renk ölçüm değerleri

Reçete Adı	STD1	KD1	KD2	KD3	KD4	KD5	KD6
L	27,67	29,24	29,56	29,37	29,09	28,13	29,49

<b>A</b>	3,06	4,31	4,63	4,09	3,69	3,98	4,23
<b>B</b>	2,8	3,78	4,07	3,29	2,97	3,27	3,69

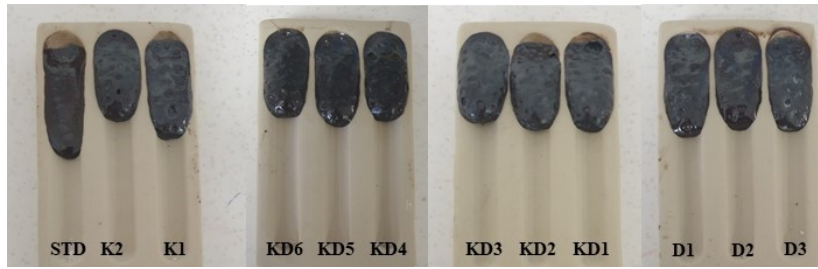
**Çizelge 4.14.**STD2 sır reçetelerine ait renk ölçüm değerleri

<b>Reçete Adı</b>	<b>STD2</b>	<b>MA-1</b>	<b>MA-2</b>	<b>MA-3</b>	<b>MA-4</b>	<b>MA-5</b>
<b>L</b>	26,67	29,31	28,87	28,57	28,47	30,32
<b>A</b>	2,99	4,05	4,03	4,25	3,63	4,95
<b>B</b>	2,56	3,47	3,5	3,32	2,73	5,69

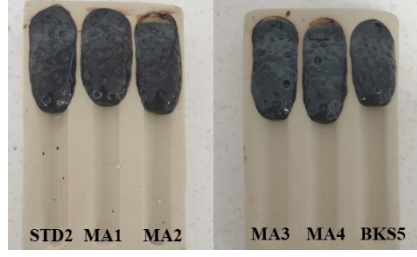
Ayrıca sırlara Mohs sertlik kalemi ile ölçüm yapılmış ve tüm sır reçetelerinden elde edilen sırların sertlik değeri 8 mohs olarak tespit edilmiştir. Bu açıdan da değerlendirildiğinde hazırlanan reçetelerin kullanımının teknik açıdan da sorun olmayacağı ön görülmüştür.

#### 4. 4. Isıl Davranışın İncelenmesi

Hazırlanan sır reçetelerinin akma davranışı Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterilmiştir. 1215 °C'de 36 saatlik fırın programında pişirilen sır numunelerinin sonuçlarına göre mermer tozu kullanımı tüm sır reçetesi çalışmalarında akma boyunu azaltmıştır. STD1 sırina en yakın akma boyu K1 ve KD5 sır reçetelerinde gelmiştir. STD2 sırina mermer tozu ilavesi akma boyunu STD1 sırina göre daha az etkilemede STD1 sıri gibi STD2 sırında da akma boyunu azaltmıştır.

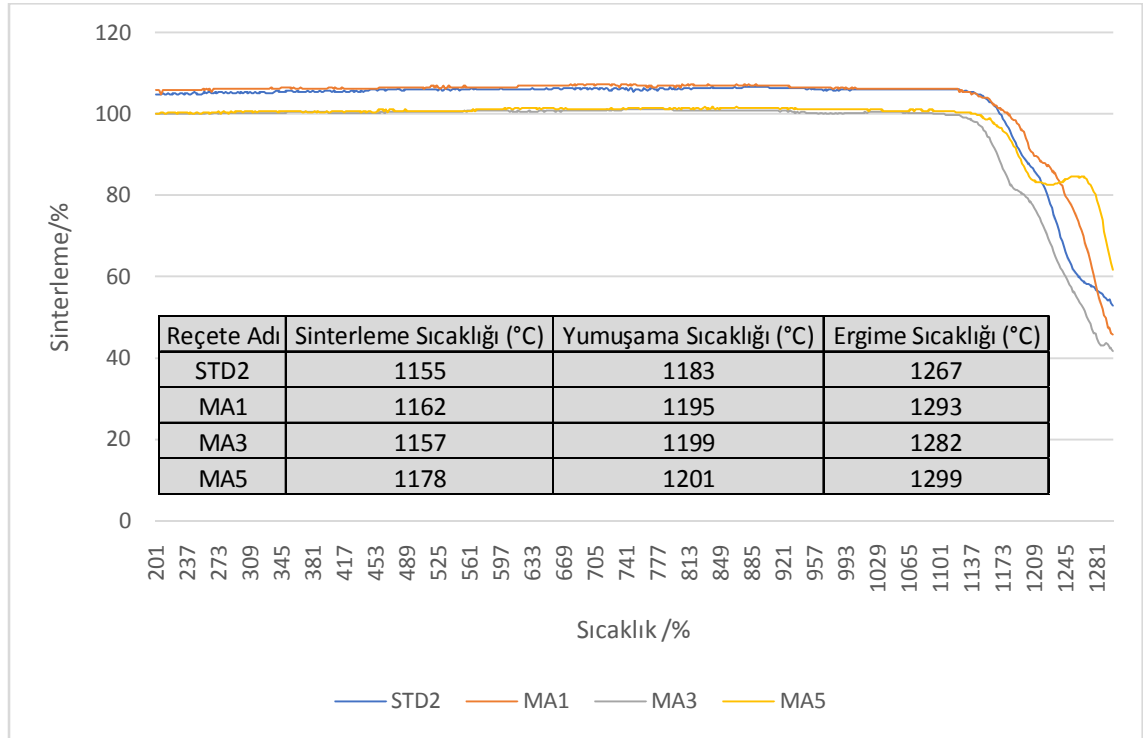


**Şekil 4.2.**STD1 sır reçetelerinin akma boyu davranışları



Şekil 4.3. STD2 sır reçetelerinin akma boyu davranışları

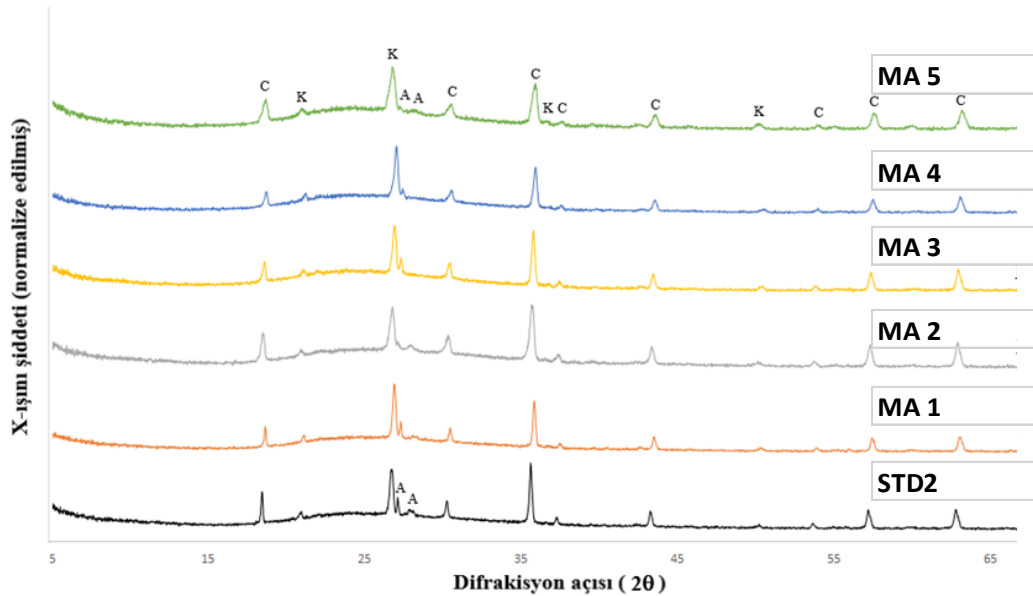
Belirli sır reçeteleri için yapılan ısı mikroskobu analiz sonuçları ve sırlar için belirlenen karakteristik sıcaklık değerleri Şekil 4.4'te verilmiştir. Isı mikroskobu sonuçlarının analizi, mermer atığı ile geliştirilen tüm sır bileşimlerinde standart sıra benzer ısıl özelliklerin elde edildiğini ortaya koymaktadır. Ancak ısıl davranışlardaki gözle görülür fark, sır reçetesinde mermer atıklarının kullanılmasıyla bağlantılı olarak sinterleme, yumuşama ve ergime sıcaklık değerlerinde gözlenen artıştır. Sır bileşiminde kalsit ve dolomitin mermer atığı ile değiştirilmesi, aynı zamanda reçetelere ilave edilen manyezit geliştirilen sırlarda yumuşama ve ergime sıcaklıklarında artışa neden olmuştur.



#### Şekil 4.4.STD2, MA1, MA3 ve MA5 sırlarına ait ısı mikroskobu analizi

#### 4.5. Faz Analizi

Mermer atık tozu kullanılarak geliştirilen sırlara ait XRD analiz sonuçları, Standart porselen izolatör sırları ile karşılaştırmalı olarak Şekil 4.5'te sunulmuştur. Tüm sır kompozisyonlarında kuvars ve magnezyum kromit fazları temel fazlar olarak benzer şekilde tespit edilmiştir. Kuvars, sır mikroyapısında kalıntı bir faz olarak bulunurken, magnezyum kromit fazı kullanılan renklendirici pigmentin etkisiyle oluşmuştur. Farklı kompozisyonlar arasında gözlemlenen en dikkat çekici fark, anortit fazındaki değişikliklerde ortaya çıkmıştır. Standart sır mikroyapısında anortit fazı belirgin bir şekilde tespit edilirken, kalsit ve dolomit yerine mermer atık tozunun kullanılması ve bu oranın artışıyla birlikte anortit fazının azaldığı görülmüştür. Özellikle, kalsit ve dolomitin tamamen mermer atık tozu ile yer değiştirildiği ve en yüksek atık oranına sahip MA5 reçetesinde, anortit fazı en düşük seviyede bulunmuştur. Bu durum, mermer atık tozunun kalsit ve dolomitin daha büyük tane boyutuna sahip olmasının, artan oranlarda kullanıldığında sır mikroyapısında anortit fazının oluşumunu sınırlandırmasıyla ilişkilendirilmiştir.



Şekil 4.5.Standart 2 sır ve mermer atık tozu ile geliştirilen sırlara ait XRD analizleri (K: Kuvars, C: Kromit, A: Anortit)

## 5. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER

Sanayileşmenin hız kazanmasıyla birlikte, farklı sektörlerde hammadde ihtiyacı giderek artarken, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı ve atık yönetimi konuları da büyük önem kazanmaktadır. Seramik ve elektroporselen sanayileri, yüksek sıcaklıklarda pişirim gerektiren ve çeşitli minerallerin işlenmesini içeren üretim süreçleri nedeniyle, hammadde tüketiminin yoğun olduğu sektörler arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, alternatif hammaddelerin değerlendirilmesi, yalnızca ekonomik avantajlar sağlamakla kalmayıp aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği destekleyen bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır.

Porselen izolatör sırlarının üretiminde geleneksel olarak kalsit ve dolomit gibi kalsiyum içeren hammaddeler tercih edilmektedir. Ancak, bu hammaddelerin temin edilmesi, zamanla artan maliyetler ve doğal kaynakların azalması nedeniyle zorlaşmaktadır. Öte yandan, mermer sanayisi gibi büyük ölçekli üretim yapan sektörlerde, işleme süreçlerinden kaynaklanan atık miktarının fazla olması, bu atıkların yeniden değerlendirilmesini gerektiren bir durum ortaya çıkarmaktadır. Ülkemiz gibi mermer üretiminin yaygın olduğu bölgelerde, bu atıkların sanayide geri dönüştürülmesi, atık yönetimi politikalarına olumlu katkılar sunarak çevresel etkileri minimize etmektedir. Bu çalışmada, porselen izolatör sırlarında kalsit ve dolomit yerine mermer atık tozunun kullanımı incelenmiş, teknik ve performans açısından etkileri detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Mermer atık tozu, bileşim açısından büyük oranda kalsiyum karbonat içermesi nedeniyle, seramik ve porselen üretimi için uygun bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Bunun yanı sıra, mermerin içeriğinde bulunan mineral bileşenler, özellikle seramik sırlarının optik ve mekanik özellikleri üzerinde doğrudan etkili olabilmektedir. Seramik endüstrisinde hammadde olarak kullanılan birçok mineralin saflığı, renk oluşumundan mekanik dayanıklılığa kadar pek çok özelliği doğrudan belirlemektedir. Örneğin,  $Fe_2O_3$  (demir oksit) içeriği yüksek olan hammaddeler, seramik sırlarında turuncu, kırmızı ve kahverengi tonlarında renk değişimlerine yol açabilmektedir.

Yapılan kimyasal analizler sonucunda, mermer atık tozunun oldukça düşük oranda  $Fe_2O_3$  ve  $TiO_2$  içerdiği belirlenmiştir. Ancak, manyezitin yerine kısmen kullanılan kalsit ve dolomitte karşılaştırıldığında, mermer atığının  $Fe_2O_3$  oranının daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, mermer tozu içeriği arttıkça sır reçetelerinde kırmızılık değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda, bu malzemenin bileşiminde bulunan diğer oksitler de sırn ergime davranışını ve faz oluşumunu etkilemektedir.

Bu çalışma kapsamında, standart elektroporselen sıırı ile aynı Seger oranına sahip olacak şekilde farklı oranlarda mermer atık tozu içeren alternatif sır reçeteleri oluşturulmuştur. Reçetelerin hazırlanması sürecinde, ham maddelerin belirli oranlarda değiştirilerek, geleneksel sır bileşimine en yakın özellikleri göstermesi hedeflenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, hazırlanan reçetelerin reolojik özelliklerinin standart sır reçetesi ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle yoğunluk ve akma süresi gibi reolojik parametreler incelendiğinde, elde edilen sonuçlar, alternatif reçetelerin işlenebilirlik açısından mevcut sır reçetesi ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

Reolojik benzerliğin yanı sıra, hazırlanan sır reçetelerinin mekanik özellikleri de değerlendirilmiştir. Yapılan mukavemet testleri sonucunda, alternatif reçetelerin standart sır reçetesi ile benzer dayanım değerleri sergilediği gözlemlenmiştir. Ayrıca, sertlik testleri de benzer sonuçlar vermiş olup, mermer tozu kullanımının sırn mekanik performansını olumsuz etkilemediği belirlenmiştir.

Sır reçetelerinde kullanılan hammaddelerin içeriği, sırn pişirim sonrası optik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu bağlamda, yapılan analizler sonucunda, sır reçetesinde kalsit ve dolomit yerine mermer tozu ve manyezit kullanımı, standart elektroporselen sıırına kıyasla beyazlık, sarılık ve kırmızılık değerlerinde artışa neden olmuştur. Bu değişimler, mermer tozunun içeriğinde bulunan belirli minerallerin optik özellikler üzerindeki etkileri ile ilişkilendirilmiştir.

Isıl özellikler açısından değerlendirildiğinde, mermer tozu içeren sırların ergime ve yumuşama sıcaklıklarında artış olduğu gözlemlenmiştir. Bunun temel nedeni, mermer tozunun tane boyutunun yüksek olmasıdır. Daha büyük partikül boyutuna sahip hammaddeler, ergime sürecini geciktirerek sırn akışkanlık özelliklerini değiştirmektedir. Yapılan akma boyu analizlerinde, mermer tozunun en fazla olduğu

MA5 reçetesinin en kısa akma boyuna sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, mermer tozunun yüksek tane boyutunun ergime davranışını geciktirdiği sonucunu desteklemektedir.

Faz analizleri sonucunda, standart sır reçetesi ile oluşturulan alternatif reçetelerin temel faz bileşenlerinin büyük ölçüde benzer olduğu görülmüştür. Kuvars ve magnezyum kromit fazlarının her iki sırda da ana fazlar olarak yer aldığı belirlenmiştir. Ancak, anortit fazında meydana gelen değişimler dikkat çekmiştir.

Standart sır reçetesinde yer alan kalsit ve dolomit yerine mermer tozunun kullanılması, anortit fazının oluşumunda azalmaya yol açmıştır. Yapılan analizler, bu azalmanın, mermer tozunun kimyasal bileşimi ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Anortit fazındaki bu azalma, sıranın genel mikro yapısını ve mekanik performansını etkileme potansiyeline sahiptir.

Bu çalışma kapsamında yapılan araştırmalar sonucunda, porselen izolatör sırlarında mermer atığının alternatif hammadde olarak kullanılmasının teknik ve çevresel açıdan önemli avantajlar sunduğu belirlenmiştir. Mermer atık tozu içeren sır reçetelerinin, mekanik ve reolojik özellikler açısından standart sır reçetesi ile büyük ölçüde benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

Ayrıca, optik analizler sonucunda, mermer tozu kullanımının sıranın renk oluşumu üzerinde belirgin etkiler yarattığı görülmüştür. Isıl ve faz analizleri ise mermer tozunun ergime sıcaklığını artırarak akışkanlık özelliklerini değiştirdiğini ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, mermer atığının elektroporselen sırlarında değerlendirilmesi, hem çevresel sürdürülebilirliği destekleyen hem de ekonomik olarak avantaj sağlayan bir yaklaşım sunmaktadır. Gelecekte yapılacak daha kapsamlı çalışmalar, bu malzemenin farklı oranlarda ve farklı seramik sistemlerinde değerlendirilmesine katkı sağlayabilir.

## KAYNAKLAR

- Akalp, O., Kaya, İ., Efe S. B. (2016). Arızaların analizi ve azaltılması, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Dergisi, 7(1), 51-62.
- Akıncı, Ö. (1978). Seramik killeri ve jeolojisi, MTA Dergisi, Volume71.
- Aksoy, O.(1995). Refrakterkiller ve şiferton, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu.
- Altındağ R. (2018).Doğal Taş Ocaklarında Artık Oluşumunun Önlenmesi Ve Artıkların Değerlendirilmesi, Mermer Madenciliğinde Çevresel Yaklaşımlar, Muğla Büyükşehir Belediyesi Kültür Yayınları – 6 Akademik Yayın Dizisi: 1, 35-50.
- Amigo, J., Serrano, F., Kojdevcki, M., Bastida, J., Esteve, V., Reventos, M., Marti, F. (2005). X-ray diffraction microstructure analysis of mullite, quartz and corundum in porcelain insulators, Journal of the European Ceramic Society, 25(9), 1479–1486.
- Anastasakis, G. (2013). Primary Raw Materials Used in Ceramic Industry, National Technical University of Athens, Greece, 25.
- Andrew R. (2018). Alumina Ceramics Biomedical and Clinical Applications, 1st Edition.
- Arcasoy A.(1983). Seramik Teknolojisi, Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Anasanat Dalı Yayınları.
- Baltacı, Y. (2013). Yer Karosu Opak Mat Sırlarında Karıştırıcı Bilyalı Değirmen (Atritör) Öğütme Parametrelerinin Araştırılması, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Seramik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 134s, Eskişehir.
- Belge, Fatma Batukan, (Erişim tarihi 2024), Bir Cumhuriyet Projesi: Yarımca Porselen, <https://www.seramikturkiye.org/post/bir-cumhuriyet-projesi-yar%C4%B1mca-porselen>.
- Birks, T. (2003). The Complete Potter's Companion, Conran Octopus Ltd. 192, China.
- Carty, W. M. V. Senapati, U. (1998). Porcelain-raw materials, processing, phase evaluation and mechanical behavior, J. Anl. Ceram. Soc., 81, 3-20.
- Cherney E. A., Baker A. C., Kuffel J., Lodi Z., A. Phillips, Powell D. G. ve Stewart G. A. (2014). Evaluation of and replacement strategies for aged high voltage

- porcelain suspension-type insulators, IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 29, No. 1, 275-282.
- Çakıcı, R. İ. (2014). Seramik Üretiminde Alternatif Olarak Hammaddelerin Kullanılma Olanaklarının Araştırılması ve Maliyet Azaltma Çalışmalarının Yapılması, Yüksek Lisans Tezi İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Müh. A. B. D., 97s, İstanbul.
- Çamoğlu A. (2022). Sırlı porselen eşyalarında kullanılan boyaların dayanımını artırıcı sır kompozisyonlarının geliştirilmesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 52s, Bilecik.
- Dağ, P. (2009). Sağlık gereçlerinde kompozisyon değişimlerinin sinterleme üzerine etkileri, Anadolu Üniversitesi Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 151s, Eskişehir.
- Demirel, B., Alyamaç, K. E. (2018). Wastemarblepowder/dust. WasteandSupplementaryCementitiousMaterials in Concrete, 181–197.
- Daniil A. Glushkov, Alexandra I. Khalyasmaa, Stepan A. Dmitriev, Ivan P. Nikonov, and Kirill A. Z. (2014). Polymeric insulation: advantages and disadvantages, Advanced Materials Research Vols 1008-1009, 615-619.
- Dökme F., Güven O. (2014). Bilyalı Değirmenlerde Hızın Performansa Olan Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, <https://www.mmo.org.tr/ekim-2014/makale/makale-bilyali-degirmenlerde-hizin-performansa-olan-etkilerinin-deneysel-olarak>.
- Esposito, L., Salem, A., Tucci, A., Gualtieri, A. veJazayeri, S. H. (2005). The use of nepheline-syenite in a body mix for porcelain stoneware tiles, Ceramics International, 31, 233-240.
- Eygi M. S. (2009). Seramikte kaolen kullanımının polielektrolit katkısıyla geliştirilmesi, İ. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği, Doktora Tezi, 219s, İstanbul.
- Gençoğlu, M. T. (2007). The comparison of ceramic and non-ceramic insulators, Volume: 2, Number: 4, 274-294.
- Geredeli A. Özbayoğlu G. (1995). Simav feldspatının flotasyonu, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Köse ve Kızıl.
- Gralik G., Chinelatto A. L., Chinelatto, S. A. (2014). Effect of different sources of alumina on the microstructure and mechanical properties of the triaxial porcelain, Cerâmica 60, 471-481.
- Grimshaw, R. (1971). The chemistry and physics of clays, Pennsylvania State University, A. B. D.
- Händle, F. (2007). Extrusion in Ceramics, Springer, New York.

- IEEE (1991). A Brief History of Development in Electrical Insulation, CH2991-8/91/0000-0147, 147-150.
- INMR (2021). 170 years of porcelain insulator production technology, (Erişim Tarihi: 15. 10. 2024), <https://www.inmr.com/170-years-of-porcelain-insulator-production-technology>.
- INMR, (2024), Designing & manufacturing polymer insulators: not all types are the same, <https://www.inmr.com/designing-manufacturing-polymer-insulators-not-all-types-are-the-same/>.
- Karataş C.(2019). Yer karosu üretiminde kullanılabilen bien firmasına ait sırn asit dayanımı özelliğinin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 83 s, Bilecik.
- Karlıoğlu, M. (1996) Söğüt yöresi killerinin seramik endüstrisine uygun hale getirilmesi, İ. Ü. Maden Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi, 65s, İstanbul.
- Kaya M. (1987). Sert Porselen hamurunun ve sırnın hazırlanması ve geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik ve Cam Ana Sanat Dalı, 115s, İstanbul.
- Kaya O., (2010) Porselen karolar için cam seramik sırların geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Müh. A. B. D. 63s, Eskişehir.
- Kennedy, B. A. (1990). Surface Mining, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.1206s, Endenozya.
- Kırıkoğlu, S. (1990). Endüstriyel Hammaddeler, İ. T. Ü. Matbaası, 272s, İstanbul.
- Kingery, W. D., Bowen, H. K. Uhlmann, D. R (1976).Introduction to Ceramics,John Wiley and Sons(2nd Ed.), 457s, New York.
- Krämer S., Liebermann J., Pelc H. (2015). Alumina enriched porcelain: more than 50 years in use for production of high-voltage insulators, Interceram - International Ceramic Review, 64, 338–342.
- Liebermann, J. (2012). High-voltage Insulators: Basics and Trends for Producers, Users, and Students, Schulze, Lichtenfels.
- Looms, J. S. T. (2006). Insulators For High Voltages, The Institution of Engineering and Technology, 288s, İngiltere.
- Madencilik Özel İhtisas Komisyonu (2023).<https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/img/kaolen.pdf>

- Malayoğlu, U., Akar, A. (1995).Killerin Sınıflandırılmasında ve Kullanım Alanları Saptamasında Aranan Kriterlerin İrdelenmesi, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu,21-22 Nisan 1995, 125-131,İzmir,.
- Mehtaa, N. S., Sahub, P. K., Pankaj Tripathia, Pyarea R., , Manas R. Majhi, R. P. ., (2017), Influence of alumina and silica addition on the physico-mechanical and dielectric behavior of ceramic porcelain insulator at high sintering temperature, Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio Volume 57, Issue 4, 151-159.
- MTA, Bilgi Merkezi, (2023).<https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/feldispat>.
- MTA, Bilgi Merkezi, (2023).<https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kuvars>.
- Rosenthal E., (1942), Insulator glazes, Nature, No: 3817, Vol. 150, 771-772
- Schneider, H. Schmücker, M., İkedo, K. veKaysser, W. A. (1993). Optically translucent mullite ceramics. Journal of American Ceramic Society, 76, 2912-2914
- Sedghi A., Nastaran R., Hamidnezhad N. ve Mohammad, R. S. (2014).Effect of chemical composition and alumina content on structure and properties of ceramic insulators, Bull. Mater. Sci., Vol. 37, No. 2, 321–325.
- Seyhan, İ. (1972). Kaolin, Bentonit, Kil ve Tuğla Kiremit Toprakları Jeolojisi, MTA Yayınları, 75s, Ankara.
- Sümer A. (2002).Şile bölgesi yüksek demirli taban killerinin zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ. Ü. Fen Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, 125s, İstanbul.
- Sümer, G.(1976), Seramik sanayiinde üretim teknolojisi, Bilimsel Madencilik Dergisi 15/3, 37-43.
- T. C. Millî Eğitim Bakanlığı, (2007). Seramik ve Cam Teknolojisi, Sır Hazırlama
- T. C. Millî Eğitim Bakanlığı,(2011). Elektrik-Elektronik Teknolojisi, İzolatörler
- T. C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, (2020). BEBKA, Bilecik İli Atık Doğal Taşları (Mermer) Kıрма Eleme Tesisi Ön Fizilibite Raporu, Bilecik.
- T. C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, (2021) Seramik Sektör Raporu.
- Tanışan, H., Mete Z. (1988). Seramik Teknolojisi ve Uygulaması, Birlik Matbaası, 80s, İzmir.
- Tarhan M., TarhanB. (2019). Sırlı Porselen Karo Üretimi için Alternatif Hammadde Olarak Eşme/Uşak Feldispatı, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(2), 429–438.

- Tarhan, B., Tarhan, M. (2020). Development of waterproof engobe layer for ceramic wall tiles, *Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry*, Cilt. 140, Sa. 2, Ss. 555-565.
- Taylor, J. R., Bull, A. C. (1986). *Ceramics Glaze Technology*, Institute of Ceramics by Pergamon Press, 263s, İngiltere.
- Tiryaki, A., Avcı, C. A., Karakaya, C., Yıldız, A., Tarhan, B. (2023). Eşme/Uşak alkali kaynağının elektroporselen bünyesinde kullanılmasının araştırılması, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, Cilt: 15 Sayı: 2.
- Töre İ. (1999). Siyenit hammaddesinin seramik bünyelere etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 97s, Eskişehir.
- Tuna A. (2006). Alümina esaslı elektroporselen üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 95s, Eskişehir.
- Tur, Ş. (2007). Afyonkarahisar’ da mermer artıklarının Depolanması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 122s, Afyon.
- UZ V. (2004). İnorganik, organik ve biyolojik bazlı ilavelerin killerin seramik özellikleri üzerine etkisi, Doktora Tezi, Osmangazi Üni., Cevher Hazırlama Bilim Dalı, 557s, Eskişehir.
- Villegas-Palacio, S. and Dinger, D. R., 1996. PSD effects on firing properties of porcelains I-II, *American Ceramic Society Bulletin*, 75, n. 7, 71-83.
- Meng Y., Gong G., Wu Z., Yin Z., Xie Y., Liu S. (2012). Fabrication and microstructure investigation of ultra-high-strength porcelain insulator, *J. Eur. Ceram. Soc.* 32, 3043–3049.
- Yavuz S. Y.(1994). İzolatör Üretimi, Lisans Tezi, Anadolu Üni., GSF, Eskişehir.
- Yıldırım, İ., Kaytaz, Y., Önal, G., (1995). Seramik Killerinin Zenginleştirilmesinde Siklon Parametrelerinin Araştırılması, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 21-22 Nisan 2025, s. 151, İzmir.
- Yıldız N.(2015). Kapalı Değirmenler.
- Yılmaz, S. G. (1994). Kılıçlı (Şile-İstanbul) Killerinin Jeokimyasal, Mineralojik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 262s, İstanbul

Yılmaz, Ş., Toplan, H. Ö., Demirkıran, Ş. (2015-16 Güz Yarıyılı) SAÜ. Müh. Fak. MetalurjiveMalz. Müh. Böl., Seramik Malz. Ders Notları, 10 Bölüm.

Zanelli, C., Raimondo, M., Dondi, M., Guarini, G. (2004). Sintering mechanisms of porcelain stoneware tiles, in: Qualicer 2004 – Congr. Mund. La Calid. Del Azulejo Y Del Paviment, Cerámico, Castellón, , pp. 247–259.



# ÖZGEÇMİŞ

## Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Aliosman TIRYAKI

## Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Uşak Üniversitesi/Seramik Mühendisliği	2025
Lisans	Anadolu Üniversitesi Malz.Bil.veMüh.	2011
Lise	İncesu Anadolu Lisesi	2005

## Mesleki Deneyim

Yıl	Yer	Görev
2011-2012	Seramdent Diş Seramikleri ve Nanomalzemeler Ltd. Şti.	Ar-Ge Mühendisi
2014-	Ankara Seramik Porselen Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	Ar-Ge Müd.

## Yabancı Dil: İngilizce

## Yayınlar

Tiryaki A., Avcı C. A., Karakaya C., Tarhan Ş. BFarklı Tane Boyutlarındaki Kuvarsın Elektroporselen Bünyeye Etkisinin İncelenmesi, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, cilt.14, sa.2, ss.784-793, 2022.

Tiryaki A., Avcı C. A., Karakaya C., Yıldız A., Tarhan Ş. B., Eşme/Uşak Alkali Kaynağının Elektroporselen Bünyesinde Kullanılmasının Araştırılması, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, cilt.15, sa.2, ss.722-730, 2023.

Tiryaki A., Tarhan M., Yüksek gerilim porselen izolator sırlarında mermer atık tozunun alternatif ham madde olarak kullanımı, NÖHÜ Müh. Bilim. Dergisi, 2025; 14(1), 201-208.