



# Magnezyum oksit içeren hammaddelerin porselen izolatör bünyesi teknik özellikleri üzerine olan etkisi

## Effect of magnesium oxide containing raw materials on the technical properties of porcelain insulator body

Ceyda Ayça Avcı<sup>1,2</sup>, Şefik Baran Tarhan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Uşak Üniversitesi, GSF, Seramik Bölümü, [ceydaaycaavci@yandex.com](mailto:ceydaaycaavci@yandex.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9414-9380>

<sup>2</sup> Ankara Seramik A.Ş., Ar-Ge Merkezi, [baran.tarhan@usak.edu.tr](mailto:baran.tarhan@usak.edu.tr)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0440-4646>

### MAKALE BİLGİLERİ

#### Makale Geçmişi:

Geliş 24 Ekim 2024  
Revizyon 20 Kasım 2024  
Kabul 4 Aralık 2024  
Online 23 Aralık 2024

#### Anahtar Kelimeler:

Porselen izolatör,  
Magnezyum oksit kaynakları,  
Manyezit,  
Talk

### ÖZ

Porselen izolatör massesinde akışkanlaştırıcı olarak genellikle feldspat kullanılmaktadır. Günümüzde stoneware, seramik sağlık gereçleri, anortit bazlı porselenler, kemik porselenleri, seramik karoları üzerinde yapılan çalışmalar ile çeşitli magnezyum oksit kaynakları ile akışkanlaştırıcı özellik sağlanması yanı sıra mukavemet değerlerinde artış ve sinterlenme tepe sıcaklıklarında yaklaşık 50°C'lik azalma görüldüğü gözlemlenmektedir. Porselen izolatörler için yüksek maliyetli feldspatlara alternatif olarak toprak alkali içeren hammaddelerin ikame edilebilirliği hammadde maliyetinin azaltılmasını ve alternatif ergitici kaynakları oluşmasını sağlayacaktır. Ayrıca porselen izolatörlerin; sinterlenme sürelerinin azaltılması, doğal gaz tüketiminin azalmasını sağlayacağından hem enerji kaynaklarının korunmasını sağlayacak hem de daha çevreci bir üretime imkân sağlayacaktır. Bu çalışmada magnezyum oksit içeren ham maddelerden talk ve manyezit, porselen izolatör bünyesinde %0.5-1 ve 3 oranlarında, feldspat ile ikame ettirilerek teknik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Elektroporselen bünyesinde magnezyum oksit kaynağı olarak talk ve manyezit kullanım oranının artması ile beraber % görünür gözeneklilik, % su emme, % pişme küçülmesi, deformasyon değerlerinde artış ve % görünür katı yoğunluk, sırsız ve sırlı pişme mukavemeti değerlerinde azalma gözlemlenmiştir.

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 24 October 2024  
Received in revised form 20 November 2024  
Accepted 4 December 2024  
Available online 23 December 2024

#### Keywords:

Porcelain insulator,  
Magnesium oxide sources,  
Magnesite,  
Talc

### ABSTRACT

In porcelain insulator bodies, feldspar is generally used as a flux. Today, studies on stoneware, whiteware, ceramic sanitaryware, anorthite-based porcelains, bone porcelains, and ceramic tiles show that in addition to providing plasticizer properties with various magnesium oxide sources, an increase in strength values and a decrease of approximately 50°C in sintering peak temperatures are observed. Substitutability of alkaline earth raw materials as an alternative to high-cost p feldspars for porcelain insulators will reduce raw material costs and create alternative flux sources. In addition, since lowering the sintering times of porcelain insulators will reduce natural gas consumption, it will protect energy resources and enable a more environmentally friendly production. In this study, talc and magnesite, raw materials containing magnesium oxide, were replaced with feldspar in porcelain insulators with different ratios of 0.5-1 and 3%, and their effects on technical properties were investigated. With the increase in the use of talc and magnesite as magnesium oxide sources in the electroporcelain, an increase in % apparent porosity, % water absorption, % firing shrinkage, deformation values, and a decrease in % apparent solid density, unglazed and glazed firing strength values were observed.

Doi: 10.24012/dumf.1573038

\* Sorumlu Yazar

## Giriş

İzolatörler, üretim süreçleri ve üretiminde kullanılan hammaddeler açısından diğer porselen ürünlerine benzerlik gösterse de, porselen izolatörlerden beklenen performans ve kalite gereksinimleri farklılık göstermektedir. İzolatörler kullanılmadan önce IEC tarafından belirlenen çeşitli testlerde (flaş, delinme, elektromekanik kırılma, güç frekansı vb.) başarılı olmalıdır [1].

Porselen izolatörlerin masselerine ait çeşitli özellikler (görünür gözeneklilik, yoğunluk, sırsız ve sırlı eğilme mukavemeti, termal şok dayanımı vs.) IEC 672 standardınca garanti altına alınmıştır. Bu standarda göre porselenler beş gruba ayrılır:

- Steatit porselenler (sınıf C-220)
- Kuvars porselenler (sınıf C-110).
- Alümina porselenler (C-120 ve C-130 sınıfı).
- Kristobalit porselen (sınıf C-112).

• Yüksek alümina porselenler (ağırlıkça % 80–86 alümina içeren C-780 sınıfı ve ağırlıkça % 86–94.5 alümina içeren C-786 sınıfı) [2].

Porselen izolatör üretiminde en yaygın kullanılan masse çeşitleri kuvars ve alümina esaslı C110, C120 ve C130 sınıfları olup C110 alçak ve orta, C120 ve C130 ise sahip oldukları yüksek yoğunluk ve sırsız ve sırlı eğilme mukavemeti değerleri ile yüksek ve çok yüksek gerilim hatlarında kullanılmak üzere tercih edilmektedirler.

Elektriksel porselen izolatörlerinin üretiminde kullanılan başlıca hammaddeler kaolen, feldispat ve kuvarstır. Kaolen, karışıma şekillendirme sürecini kolaylaştıran gerekli esnekliği sağlar. Feldispat, karışımın camlaşma sıcaklığını düşüren bir akı görevi görür. Kuvars, gövdenin mekanik dayanıklılığına katkıda bulunan refrakter kristal fazını veya iskeletini sağlar [3]. Kil  $[(Al_2Si_2O_5(OH)_4)]$  seramik karışımına esneklik kazandırır, flint veya kuvars  $[SiO_2]$  pişirme sırasında oluşan maddenin şeklini korur ve feldispat  $[KxNa-x(AlSi_3)O_8]$  akı görevi görür[4]. Bu üç bileşen, oksit bileşenleri açısından elektriksel porseleni faz sistemine yerleştirir, dolayısıyla üç eksenli porselen terimi kullanılır [5].

Porselen izolatör massesinde akışkanlaştırıcı olarak genellikle potasyum feldispat kullanılmaktadır. Günümüzde stoneware, whiteware, seramik sağlık gereçleri, anortit bazlı porselenler, kemik porselenleri, seramik karoları üzerinde yapılan çalışmalar ile çeşitli kalsiyum ve magnezyum oksit kaynakları ile akışkanlaştırıcı özellik sağlandığı görülmektedir. Birçok çalışmada da farklı alkali kaynakları ve hammaddeler kullanılarak seramik ürünlere olan etkileri incelenmiştir. Bu çalışmalarda yerel alkali kaynakları kullanılarak pişirim sıcaklık ve süreleri düşürülemeye çalışılmış [6-8]. Farklı hammaddeler feldispat ve diğer hammaddeler yerine kullanılarak sinterleme parametreleri incelenmiştir[9,10].

Mukhopadhyay ve ark. (2003) çalışmasında, bünyelerinde illitik kil ihtiva eden kompozisyonlara yapılan talk ilavesinin mekanik, mikroyapı ve ısıl üzerine olan etkilerini araştırılmıştır. Uygun oranda yapılan talk/feldispat

kompozisyonunun vitrifikasyon sıcaklığını düşürdüğü belirlenmiştir. Talk ilavesiyle kompozisyonda bulunan  $MgO$ , viskozitesi daha düşük camsı fazı daha düşük sıcaklıklarda oluşturduğu, sinterleşme sıcaklığını düşürdüğünü buna karşın sinterleme aralığını daralttığı gözlemlenmiştir. %3 lük talk ilavesiyle bünyede bulunan kalıntı kuvars miktarı azalmış bu yüzden de termal genleşme katsayısını düşürmüştür. Talk ilave miktarının artmasıyla yapıdaki gözeneklerin genleşmesine dolayısıyla da amorf fazın daha fazla genleşmesine sebep olduğu bildirilmiştir [11].

Daniel Magagnin ve ark.(2014) yaptığı çalışmada, porselen karolarda müllit miktarının ve proses parametrelerinin talk ilavesinin etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda; müllit oluşumunda ana etmenin kaolinit miktarı olduğu talk ilavesinin sinterleme sıcaklığını düşürdüğü bu yüzden müllit oluşumunun azaldığı belirlenmiştir [12].

V. Biasini ve ark.(2003) Porselen stoneware bünyeye talk ve klorit ilave etmişlerdir. İlave sonucunda reaktivitenin arttığı pişme sıcaklığının aynı su emme değerinde  $20^{\circ}C$  kadar düştüğü, çoğu kapalı por olmakla birlikte kalıntı porların daha fazla olduğu, yığın yoğunluğun az miktar düştüğü ve pişme küçülmesinin bir miktar arttığını belirlemiştir [13].

M.F. Serra ve ark.(2012) Yaptığı çalışmada, talk, spodümen ve kalsiyum karbonatın seramik bünye üzerine olan etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda düşük sıcaklıklarda ( $1100^{\circ}C$  den düşük) talk'ın bir etkisi olmadığı, 1200 derecelerde ise sinterlemenin hızlandığı ve yoğun stoneware bünyeler elde edildiğini bildirmiştir [14].

Z. Bayer Öztürk ve N.Ay'ın(2021) yaptığı çalışmada  $MgO$  içeriği yüksek dolomitik kil ve talkın porselen bünyede feldispat yerine kullanımı incelenmiştir.% 4'e kadar kullanımının su emme değerlerini düşürdüğü, pişme yoğunluğu ve mukavemet değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir[15].

Bu çalışmada çeşitli toprak alkali içeren hammaddelerden magnezyum oksit kaynağı olarak da talk ve manyezit seçilmiştir. Porselen izolatör bünyesinde % 0.5-1 ve 3 oranında feldispat ile ikame ettirilerek porselen izolatör teknik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır.

## Materyal ve Yöntem

### Kullanılan hammaddeler

Elektroporselen reçetesinde kullanılan kil, kaolen, kuvars ve feldispat yurtiçinden ve yurtdışından olmak üzere farklı tedarikçilerden alınmıştır. Potasyum feldispat yerine kullanılan talk ve manyezit hammaddeleri Tecnodieci firmasından  $63\mu$  altı tane boyutunda temin edilmiştir. Kullanılan hammaddelerin ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Oluşturulan reçetelerde farklı özelliklere sahip 2 çeşit kil, 4 çeşit kaolen, kuvars ve feldispat kullanılmıştır.

Tablo 1. Hazırlanan kompozisyonlarda kullanılan hammaddelerin kimyasal analizleri (% ağırlıkça).

Hammaddeler	$SiO_2 + Al_2O_3$	$Fe_2O_3 + TiO_2$	$CaO + MgO$	$Na_2O + K_2O$	Ateş Zayıflığı
Feldispat	86.12	0.18	0.45	12.88	0.37
Kuvars	99.53	0.02	0.06	0.23	0.16

<b>Kil A</b>	83.92	3.66	0.72	2.69	8.90
<b>Kil B</b>	84.43	2.98	1.30	1.78	10.20
<b>Kaolen A</b>	84.88	1.37	0.10	0.30	13.35
<b>Kaolen B</b>	82.33	3.66	0.69	2.76	10.56
<b>Kaolen C</b>	84.05	2.73	0.34	3.60	9.28
<b>Kaolen D</b>	83.46	1.84	0.24	0.37	14.09

Tablo 2’de kullanılan kil ve kaolenlerin fiziksel özellikleri verilmiştir. Yapılan analizlerde kuru mukavemet değerleri killer için 40-70 kg/cm<sup>2</sup>, kaolenler için 15-38 kg/cm<sup>2</sup> aralığında değişmektedir. Pişme küçülme değerlerinin hepsi %10’dan küçüktür. Yapılan analizlere göre en yüksek kuru mukavemete ve en düşük su emme değerine sahip hammadde Kil A olarak belirlenmiştir. Kaolen D hammaddesi su emme analizine uygun numune elde edilemediği için su emme değerine bakılamamıştır.

Tablo 2. Kil ve kaolenlerin fiziksel özellikleri (% ağırlıkça).

Hammaddeler	Kuru Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	Pişme Küçülmesi (%)	Su Emme (%)
<b>Kil A</b>	75	9.84	0.35
<b>Kil B</b>	40	8.72	15.00
<b>Kaolen A</b>	23	8.39	14.48
<b>Kaolen B</b>	30	6.56	5.00
<b>Kaolen C</b>	15	7.60	18.00
<b>Kaolen D</b>	38	9.60	-

Manyezit ve talk hammaddelerinin kimyasal bileşimleri Tablo 3’de verilmiştir. Manyezit içinde yaklaşık ağırlıkça % 45 MgO, talk içinde Ağırlıkça % 31.5 MgO bulunmaktadır.

Tablo 3. Manyezit ve talk hammaddelerinin kimyasal analizleri (% ağırlıkça).

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Ateş Zayıtı
<b>Manyezit</b>	3.00	0.00	0.28	2.50	45.00	49.22
<b>Talk</b>	59.00	1.49	0.29	0.82	31.50	7.00

### Bünye Geliştirme Çalışmaları

Bünye geliştirme ve deneysel çalışmalar Ankara Seramik Porselen A.Ş. Ar-Ge Merkezi laboratuvarında ve pilot üretim alanında yapılmıştır. Hammaddeler belirlenen kompozisyon değerlerine göre terazide tartılmış, öğütme işlemlerinde 150 kg kuru madde kapasiteli alümina bilyalı değirmen kullanılmıştır. Değirmenden alınan çamur numunesi Mastersizer 2000 cihazından tane boyutu ve dağılımı ölçümü gerçekleştirilmiştir. Çamur numunelerinin ortalama tane boyutu 8-9 µm aralığına gelene kadar öğütme işlemine devam edilmiştir. Değirmende hazırlanan çamurlar 63 µm elekten elenerek sürekli karıştırılmalı karıştırıcıda 3 saat karıştırılarak homojenleştirilmesi sağlanmıştır. Çamurlar sürekli karıştırıcı tanktan pnömatik pompa ile filter prese aktarılmıştır. Suyu uzaklaştırmış çamur kekleri yaklaşık %19-21 nem değerine gelene kadar 13 bar basınçta filter preste bekletilmiştir. Hazırlanan kekler 9 devir/dak. hızla dönen vakum presten geçirilerek homojenleştirilmiştir. Vakum presten çıkan vakumlanmış ve preslenmiş ara ürünün yaklaşık 30 mm çapındaki çubukların rutubeti % 20 ve sıcaklığı 35 °C’ dir. Çubukların kurutma işlemi 110 °C

sıcaklıktaki Nükleon marka etüvde, nem içeriği %1’in altına inene kadar gerçekleştirilmiştir. Çubuklar, 0.3 m<sup>3</sup> hacimli doğalgazlı pilot üretim fırında işletme pişirim çevrimi programında maksimum sıcaklığı 1205°C olacak şekilde pişirilmiştir. Çamurların viskozitesi ve yoğunluk değerleri sırasıyla UVE marka fordcup viskozimetre ve TQC VF 2099 marka piknometre ile ölçülmüştür. Çamurların tane boyutu ve dağılımı Mastersizer 2000 cihazı ile 5 ölçümün ortalaması alınarak tayin edilmiştir. Elek analizleri Retsch marka elekler kullanılarak yaş elek analizi metodu ile yapılmıştır. Kuru miktar tayini AND MX-50 marka nem tayin cihazı kullanılarak yapılmıştır. Ekstrüzyon sonrası ürünlerin kuru ve pişme küçülmeleri Mitutoyo marka dijital kumpas kullanılarak ölçülmüştür. Hazırlanan numunelerin fiziksel özellikleri (% pişme küçülmesi, % görünür (açık) gözeneklilik, % su emme, % pişme mukavemeti,) TS11237 EN 60672-2 standardı temel alınarak testler gerçekleştirilmiştir. Kuru ve pişme mukavemet testleri için ekstrüzyon kullanılarak hazırlanmış olan silindir şeklindeki örnekler Zwick/Roell marka 3 noktalı eğme cihazı ile mukavemetleri hesaplanmıştır. Boya nüfus(fuksin) deneyi 1 litre % 50 lik alkol ile 1 gram bazik Fuchsine ilave edilerek hazırlanan çözeltiye pişmiş numuneler koyularak Chemisches Laboratorium Tonindustrie marka test cihazıyla 90 MPa’lık basınçla 3 saat süreyle test gerçekleştirilmiştir. % su emme ve Görünür(açık) gözeneklilik testleri Arşimet prensibi baz alınarak test edilmiş ve hesaplanmıştır. Standartta göre % su emme hesaplamaları pişme sonrası elektroporselen bünyesinden alınan parçalar 3 saat kaynatıldıktan sonra, parçalar su içinde kalacak biçimde oda sıcaklığına kadar soğuduktan sonra ölçülmüştür. Oluşturulan reçetelerin deformasyon ölçümleri için vakum presten ekstrüde edilen bünye çubukları aynı boyutlarda hazırlanmış ve iki sabit destek arasında işletme pişirim çevrimine göre sinterlenmiştir. Pişme sonrası deformasyon değerleri milimetrik kâğıt ile ölçülerek hesaplanmıştır. XRD-X-ışını kırınımı (Rigaku MiniFlex, Japonya) ile analiz edildi ve fazları belirlemek için monokromatik Cu-K $\alpha$  radyasyonu ( $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ) kullanıldı. Numuneler 2°/dak. tarama hızında 10°–70° (2 $\theta$ ) arasında analiz edilmiştir. Mikro yapısal değişimini gözlemlemek için enerji dağılımlı X-ışını spektrometrisi (Phenom -ProX) ile Elektron mikroskobu (SEM) kullanıldı. Standart izolatör bünyesindeki feldispat miktarı kütlece yüzdesi; sırasıyla % 0.5 -1 ve 3 oranlarında azaltılarak yerine aynı oranlarda magnezyum oksit kaynağı talk ve manyezit ilave edilmiştir. Standart bünyeye ve deneme reçetelerine ait kimyasal analizi sonuçları Tablo 4 ve 5’ de verilmiştir listelenmiştir.

Tablo 4. Standart bünye ve manyezit içerikli deneme reçetelerine ait kimyasal analizi sonuçları.

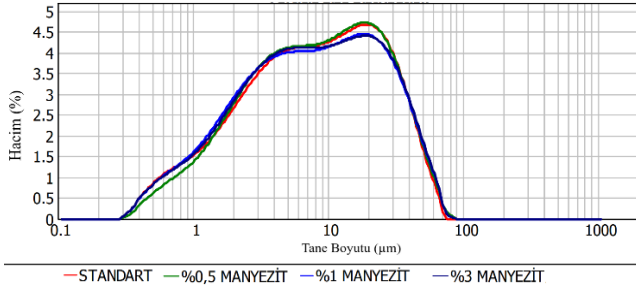
	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub>	CaO+MgO	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	Ateş Zayıtı
<b>Standart</b>	88.75	1.25	0.42	5.28	4.29
<b>% 0.5 Manyezit</b>	88.33	1.25	0.66	5.22	4.54
<b>% 1 Manyezit</b>	87.92	1.25	0.89	5.15	4.78
<b>% 3 Manyezit</b>	86.25	1.26	1.83	4.89	5.76

Manyezit ilavesiyle (Tablo 4) MgO oranında belirgin bir artış olmuştur. Manyezit ilavesi feldispat yerine yapıldığı için toplam alkali miktarında azalma olmuştur. Manyezit in ateş zayıyatının yüksek olmasından dolayı toplam ateş zayıyatı da manyezit ilavesi ile yükselmiştir. Toplam  $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$  miktarında da bir miktar azalma belirlenmiştir.

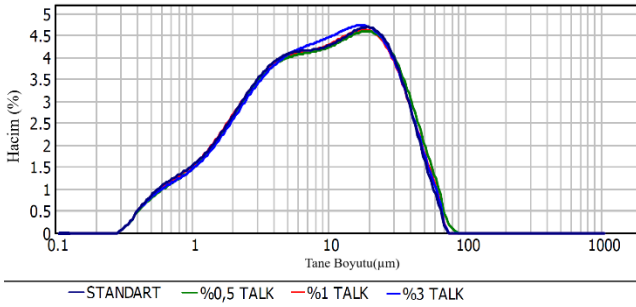
Tablo 5. Standart bünye ve talk içerikli deneme reçetelerine ait kimyasal analizi sonuçları.

	$\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$	$\text{CaO}+\text{MgO}$	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	Ateş Zayıyatı
Standart	88.75	1.25	0.42	5.28	4.29
% 0.5 Talk	88.62	1.25	0.58	5.22	4.33
% 1 Talk	88.49	1.26	0.74	5.15	4.36
% 3 Talk	87.98	1.26	1.38	4.89	4.5

Talk ilavesi (Tablo 5) manyezitte olduğu gibi toplam alkali oranı düşmüş toprak alkali miktarı yükselmiştir. Ateş zayıyatı manyezite göre daha az yükselmiştir.



Şekil 1. Standart ve manyezitli deneme reçetelerine ait bünyelerinin tane boyutu ve dağılımı.



Şekil 2. Standart ve talklı deneme reçetelerine ait bünyelerinin tane boyutu ve dağılımı.

Tane boyut grafikleri Şekil 1'de verilmiştir. Talk ve manyezit ilave edilmiş porselen izolatör bünyesi için tane boyut dağılımları geniş bir aralıkta homojen bir dağılımı göstermiştir. Geliştirilen reçeteler ve standart reçete arasında bir fark belirlenmemiştir. Tablo 6'da çamurların  $D_{10}$ - $D_{50}$  ve  $D_{90}$  değerleri verilmiştir. Buna göre bütün çamurlar için ortalama tane boyutu ( $D_{50}$ ) 7.781-8.518 mikron aralığındadır.

Tablo 6. Standart bünye, manyezit ve talk içerikli deneme reçetelerinin tane boyutu analizi sonuçları (mikron).

Mikron(µm)	$D_{10}$	$D_{50}$	$D_{90}$
Standart	1.334	8.138	33.644
% 0.5 Manyezit	1.517	8.360	33.282

% 1 Manyezit	1.308	7.781	33.383
% 3 Manyezit	1.337	7.849	33.696
% 0.5 Talk	1.399	8.518	35.000
% 1 Talk	1.350	8.204	33.336
% 3 Talk	1.395	8.451	33.197

## Bulgular ve Tartışma Teknolojik Özellikler

Manyezit ve talk hammaddelerinin standart reçetede feldispat ile yer değişim oranı arttırıldıkça % pişme küçülme değerinin arttığı belirlenmiştir. Manyezitli numunelerde pişme küçülme değeri standart bünyeye yakın olmakla beraber bir miktar artmıştır. En yüksek küçülme değeri % 3 manyezitli numunedir. Talk ilavesi küçülme üzerinde daha etkili olmuştur. % 3 Talk ilavesi ile küçülme değeri % 10.15'e yükselmiştir. Görünür katı yoğunluğu, görünür gözeneklilik, su emme değerleri değerlendirildiğinde standart ile benzer değerler olduğu belirlenmiştir. % 3 manyezit ilaveli bünyede bu değerler yükselmiş ve standart değerlerin üzerine çıkmıştır.

Deformasyon porselen izolatör üretiminde önemli bir parametredir. Bünye bileşimine oldukça bağlı olan belirli bir sıcaklıkta, seramik malzeme artık sert katı gibi davranmaz ve mekanik bir gerilim uygulandığında piroplastik deformasyon adı verilen kalıcı bir deformasyon meydana gelir. Deformasyonun derecesi, sıvı fazın miktarı ve viskozitesinin yanı sıra uygulanan mekanik stresle de ilgili olan sistemin görünür viskozitesine bağlıdır [16, 17].

Özellikle yüksek gerilim izolatörleri gibi büyük kütle ve hacimlere sahip ürünlerde sinterlenme esnasında kendi ağırlıklarına dayanamayıp şekil bozuklukları ve sünme davranışları oluşabilmektedir. Teknik özellikler incelendiğinde en önemli farklılardan biri deformasyon değerleridir. Toprak alkali ilavesi ile birlikte deformasyon değerlerinde büyük farklar oluşmuştur. Toprak alkaliler, amorf fazın viskozitesi ve yeni oluşan fazların gelişmesi üzerinde yüksek etkiye sahiptir [18-20]. Bu farkın oluşan camsı faz miktarı ve oluşan amorf fazın viskozitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bünyede bulunan MgO'nun viskozitesi daha düşük, daha fazla miktarda camsı faz oluşumunu sağlamaktadır. Buda yüksek sıcaklık viskozitesini arttırmaktadır. Sırlı ve sırsız pişme mukavemet değerleri manyezit ve talk ilave miktarının artmasıyla düşmektedir. Bu sonuç kırılma camsı faz miktarının artmasıyla açıklanabilir. Camsı fazın miktarındaki artış ve viskozitesinin düşmesi ile birlikte porselen bünyelerin deformasyon davranışı kötüleşmektedir [21-23]. XRD sonuçları karşılaştırıldığında oluşan fazlar ve miktarları arasında bir fark gözlemlenmediği için oluşan kristal fazların aynı miktarda olduğu öngörülmüştür (pik yükseklikleri karşılaştırıldığında). TS 11237 EN 60672-3 standardına göre C110 izolatör massesi sırlı olarak en az 60 MPa (611.8 kg/cm<sup>2</sup>) ve C120 izolatör massesi sırlı olarak en az 110 MPa (1121.6 kg/cm<sup>2</sup>) eğilme mukavemeti değerine sahip olmalıdır. C110 masse gerekliliklerine % 3 manyezitli ilave standart dışı olarak değerlendirilmiştir. Mukavemetteki bu düşüşün bir sebebi de yoğunluktaki düşüş sebebiyle su emme ve görünür gözeneklilikte artış ile de açıklanabilir. Gözenek miktarının artmasıyla mukavemette düşüş belirlenmiştir.

Manyezit ve talk ilaveli bünyelerin pişirim sıcaklık ve sürelerinin yüksek olduğu değerlendirilmiştir. Bu ilavelerin ilave edilmesiyle daha düşük sıcaklık ve sürelerde denemeler yapılarak camsı faz miktarı ve viskozitesi kontrol edilebilir. Bu sayede düşük sıcaklıklarda elektroporselen üretilmesi mümkün olabileceği değerlendirilmiştir.

salınımından kaynaklanan gazları içeren kapalı gözeneklere dönüşür [34]. Artan sıcaklık nedeniyle, kapalı gözeneklerin içinde sıkışan gazın basıncı artar, bu da boyutlarının büyümesine neden olur ve dolayısıyla parçanın genişlemesini yardım eder [34, 35].

Tablo 7. Standart ve Deneme Reçetelerine Ait Bünyelerinin Fiziksel Özellikleri.

	Pişme Küçülmesi (%)	Deformasyon (mm)	Görünür Katı Yoğunluğu (gr/cm <sup>3</sup> )	Görünür Gözeneklilik (%)	Su Emme (%)	Sırsız Pişme Mukavemeti (kg/cm <sup>2</sup> )	Sırlı Pişme Mukavemeti (kg/cm <sup>2</sup> )
Standart Bünye	9.07	14	2.43	0.25	0.10	1041.3	1162.2
% 0.5 Manyezit	9.08	15	2.41	0.13	0.05	1093.0	1102.5
% 1 Manyezit	9.15	23	2.41	0.23	0.09	853.1	965.5
% 3 Manyezit	9.27	65	2.38	1.77	0.77	572.5	580.5
% 0.5 Talk	9.56	23	2.41	0.09	0.03	893.4	1008.7
% 1 Talk	9.85	25	2.40	0.11	0.04	862.7	1008.3
% 3 Talk	10.15	67	2.38	0.24	0.10	665.7	752.3

Yapılan fuksin testinde % 3 manyezitli numune dışındaki bütün numuneler standardı karşılamaktadır (Şekil 3). % 3 manyezitli numunenin görünür gözeneklilik miktarı % 1.77 su emme değeri ise % 0.77 olarak analiz edilmiştir. Her iki değerinde yüksek olmasının sebebi aynı zamanda yoğunluğun düşük olmasından dolayı bu numunenin aşırı pişmiş olabileceği değerlendirilmiştir (over-firing).

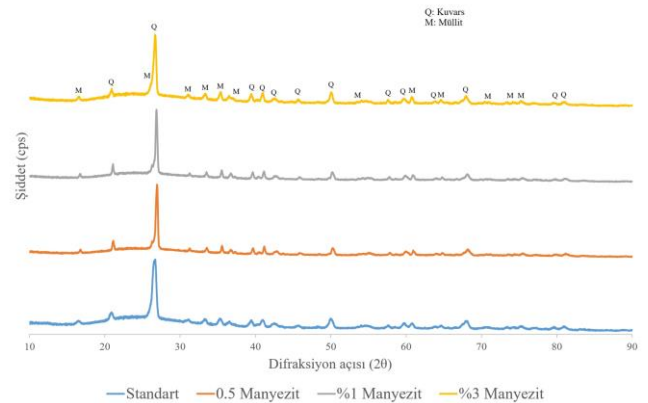


Şekil 3. a) % 3 Manyezitli kompozisyon, b) Standart kompozisyon.

Seramik ürünlerin, özellikle yüksek derecede camlaşmaya sahip olanların, pişirmenin son aşamasında genişlemesi veya "şişmesi" yeni veya alışılmadık bir olgu değildir [24]. Daha şiddetli vakalarında, ürünler yüzeyde kabarcık görünümü gösterdiğinden kolayca algılanırlar [25]. Bu olguya aşırı pişirme denir [26] ve birçok durumda pişirme sıcaklığının artması [27], akışkanlaştırıcı maddelerin kullanımı [28, 29] gibi durumlarda gözlenirken, aksine, refrakter hammaddelerin artması görünümünü yavaşlatır [30]. Boyutsal ve estetik yüzey değişikliklerinin ötesinde, aşırı pişirme, mekanik mukavemet [31], sırlı teknik porselen karolar durumunda leke direnci [32] ve elastik modül [27] gibi porselen karoların önemli özelliklerini ve karakteristiklerini olumsuz etkiler. Bunun nedeni, aşırı pişirmenin gözenekliliğin evrimiyle yakından ilişkili olmasıdır, aşırı pişirmenin en yaygın nedeni gözeneklerde gazların tutulması veya şişmeye veya kabarcıklanmaya neden olan gazların evrimidir [26]. Fırına giren üründeki tüm gözenekler açılır. Pişirme sırasında açık gözeneklerin hacmi azalır ve bu da karoların büzülmesine yol açar. Pişirmenin son aşamasında kalan açık gözeneklerin bir kısmı, ürün reaksiyonlarının [33] veya hatta fırının atmosferinin

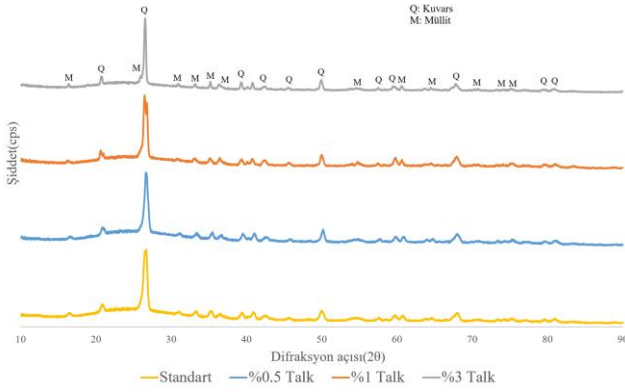
### Faz (XRD) Analizi

Şekil 4'de standart ve manyezit numunelerine ait normalize edilmiş X-ışınları difraktometresi sonuçları vardır. Yapılan analizde ana faz olarak kuvars ve müllit belirlenmiştir. Bünyeye ilave edilen manyezit ayrı bir faz oluşturmadığı belirlenmiştir. Kompozisyona ilave edilen farklı oranlardaki manyezitin camsı/amorf faz içinde olduğu değerlendirilmiştir [37]. Müllit faz miktarı pik yüksekliklerine göre kıyaslandığında bütün kompozisyonlarda benzer olarak değerlendirilmiştir. Müllit porselen bünyenin mukavemeti üzerinde olumlu etkisi olduğu bilinmektedir. Zoelner, porselen bünyede birbiri içine geçmiş (kenetlenmiş) iğnemsî müllit tanelerinin mukavemeti artırdığını belirlemiştir [38]. Bunun yanı sıra birçok çalışmada da müllit miktarının artmasıyla doğru orantılı olarak mukavemetin de arttığı belirtilmiştir [39, 40]. İğnemsî müllitler, yüksek sıcaklıklarda, daha az sayıda büyük iğneler şeklinde büyüyebilirler. Büyük iğnemsî tanelerin küçük taneler gibi etkili bağlanamaması mukavemetin azalmasına neden olur. Bu yüzden uygun boyutlu ve doğru miktardaki iğnemsî müllit tanelerinin oluşumu önemlidir. İğnemsî müllitlerin oluşumunda ve morfolojisinde pişirme sıcaklığı önemlidir [41]. Artan manyezit miktarı ile sırlı ve sırsız mukavemetin (Tablo 7) düşüşü kırılğan camsı/amorf miktarın fazla olması ve porozite miktarındaki artış ile açıklanabilir.



Şekil 4. Standart ve manyezit kompozisyonlarına ait XRD analizi grafiği.

Şekil 5’de standart ve talk numunelerine ait normalize edilmiş XRD sonuçları vardır. Geliştirilen bünyelerde ana faz olarak kuvars ve müllit belirlenmiştir. Reçetelere ilave edilen farklı oranlardaki talkın camsı/amorf faz içinde dağıldığı ikincil bir faz oluşturmadığı değerlendirilmiştir. Manyezit ilavesinin etkisi ile benzer özellikler gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 5. Standart ve talk kompozisyonlarına ait XRD analizi grafiği.

### Mikroyapı Analizi

Şekil 5’de Elektron mikroskobu görüntüleri vardır. 500X büyütmedeki ikincil elektron görüntüleri incelendiğinde mikroyapıların teknik özellikler (Tablo 7) ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Faz dağılımları homojen bir şekildedir. Poroziteler bütün numunelerde dairesel şekillidir. En düşük porozite miktarına % 0.5 manyezitli ve % 0.5 Talk içeren numuneler olduğu belirlenmiştir. En yüksek gözenek miktarı % 3 manyezitli numunedir. Bu numunenin görünür porozite ve su emme değerleri de diğer numuneler ile karşılaştırıldığında daha yüksektir. Kuvars taneleri bütün bünyelerde homojen dağılmıştır. Kalıntı kuvarsların çevresinde mikroskobik çatlaklar vardır. 25-50 mikron arasındaki kuvars çevresindeki çatlaklar mikro çatlak toklaştırma mekanizması olarak hareket ederek mukavemetleri olumlu etkilemektedir [30,42]. Tüm kompozisyonlar için kalıntı kuvars tanelerinin boyutu 40 µm altındadır. % 3 manyezitli numunede görülen gözeneklilik miktarının fazla olması, göreceli olarak kalıntı kuvars miktarının az olması, yüksek piropplastik deformasyon bu bünyenin aşırı pişerek por kabalaşmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

### Genel Sonuçlar

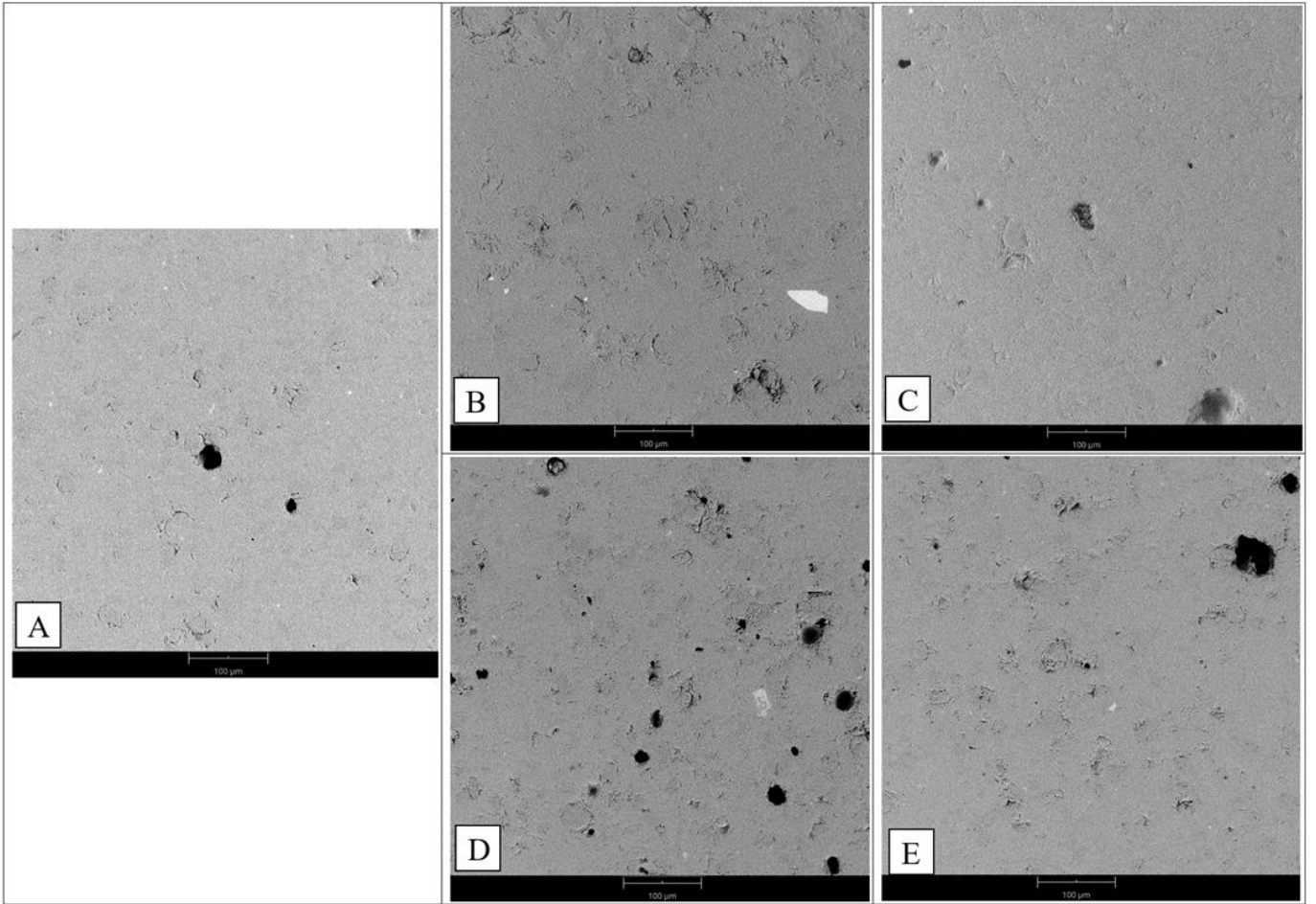
MgO içeren toprak alkali hammaddelerden talk ve manyezit seçilerek elektro porselen bünyenin teknik özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Porselen izolatör bünyesinde sistematik olarak feldispat yerine % 0.5-1 ve 3 ikame ettirilerek teknik, özellikleri üzerine olan etkisi incelenmiştir.

Manyezit ve talkın kompozisyonlara ilave edilmesi ile mukavemet, yoğunluk azalmış, gözeneklilik, su emme, pişme

küçülmesi ve deformasyon artmıştır. En önemli değişiklik deformasyonda belirlenmiştir. Deformasyon artışı oluşan camsı/amorf faz miktarı artışı ve yüksek sıcaklık viskozitesinin düşmesi ile açıklanmıştır. Mukavemetteki belirgin düşüş ise kırılğan camsı faz miktarındaki artış kaynaklı olduğu değerlendirilmiştir. Yine manyezit ve talk ile sisteme ilave edilen MgO’nun ayrı faz oluşturmadığı ve camsı faz içinde yer aldığı belirlenmiştir.

Mikroyapıda belirgin bir fark gözlemlenmemekle birlikte %3 manyezit ilavesinin bünyenin fazla pişmesine sebep olarak gözeneklerin büyümesine, böylelikle standart fuksin testinden geçemediği belirlenmiştir.

MgO içeren toprak alkali kaynaklarının kullanılarak daha düşük sıcaklıklarda ve sürelerde pişirim gerçekleştirilerek camsı/amorf faz miktarı ve viskozitesinin kontrol edilerek standartlara uygun elektro porselen üretilebileceği öngörülmektedir.



Şekil 6. Geri yansıyan elektron -Elektron mikroskobu görüntüleri-500 X-A: Standart, B: %0.5 Manyezit, C: %0.5 Talk, D:%3 Manyezit, E: %3 Talk.

### Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde büyük katkı sağlayan Ankara Seramik Porselen A.Ş. Ar-Ge Merkezi'ne teşekkür ederiz. Merkez, sunduğu değerli kaynaklar ve teknik destek ile araştırmamızın kalitesini artırmış, ilerlemesine önemli ölçüde katkıda bulunmuştur.

### Kaynaklar

- [1] Andrew Ruys, "Alumina Ceramics Biomedical And Clinical Applications", 1st Edition,- October 20, 2018
- [2] Gorur R S, Cherney E A And Burnham J T 1999 Outdoor Insulators (Phoenix, Arizona, USA: Ravi S. Gorur, Inc.) P. 256
- [3] Indigenous manufacture and characterization of electrical porcelain insulator, nigerian journal of technology, vol. 24, no. 1, march 2005, I. U. ANIH, MNSE, MIEEE department of electrical engineering university of Nigeria, Nsukka
- [4] Ceramic Raw Material for Porcelain Insulator (CRMPI) (2006), [online], Accessed 10th June 2006, Available from World Wide Web: <http://www.dart-europe.en/full-php>
- [5] Buchanan R.C. (1991), Ceramic Material for Electronics, Dekker, New York
- [6] B. Tarhan ve M. Tarhan, "Çanakkale bölgesi alkali kaynağının seramik sağlık gereçleri bünyesi ısıl ve mikroyapı özellikleri üzerine etkisi", DÜMF MD, c. 10, sy. 2, ss. 675-687, 2019, doi: 10.24012/dumf.504331
- [7] Tiryaki, A., Avcı, C. A., Karakaya, C., Yıldız, A., vd. (2023). "Eşme/Uşak Alkali Kaynağının Elektroporselen Bünyesinde Kullanılmasının Araştırılması" International Journal of Engineering Research and Development, 15(2), 722-730
- [8] Tarhan, M., ve Tarhan, Ş. B. (2019). "Sırlı Porselen Karo Üretimi için Alternatif Hammadde Olarak Eşme/Uşak Feldspati" Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(2), 429-438
- [9] Tarhan, B., Tarhan, M. "Utilization of perlite as an alternative raw material in the production of ceramic sanitaryware" J Therm Anal Calorim 147, 3509-3518 (2022)
- [10] Tarhan, B., & Tarhan, M. (2022). "Alümina Porselen Bünyelerde Spodumen İlavesinin Teknik Özelliklere Etkisinin Araştırılması" International Journal of Engineering Research and Development, 14(1), 262-270

- [11] Mukhopadhyay, T.K., Das, M., Ghosh, S., Chakrabarti, S., Ghatak, S. (2003), "Microstructure and thermo mechanical properties of a talc doped stoneware composition containing illitic clay", *Ceramics International*, 29, 587-597
- [12] Daniel Magagnin, Carla Margarete Ferreira dos Santos, Augusto Wanderlind, Jeanini Justi, Agenor De Noni, "Effect of kaolinite, illite and talc on the processing properties and mullite content of porcelain stoneware tiles", *Materials Science and Engineering: A*, Volume 618, 2014, Pages 533-539
- [13] V. Biasini, M. Dondi, G. Guarini, M. Raimondo, A. Argnani, S. di Primio, "Effect of talc and chlorite on sintering and technological behaviour of porcelain stoneware tiles", *Sil. Ind.* 68 (2003) 67-73
- [14] M.F. Serra, M. Picicco, E. Moyas, G. Suárez, E.F. Aglietti, N.M. Rendtorff, "Talc, Spodumene and Calcium Carbonate Effect as Secondary Fluxes in Triaxial Ceramic Properties", *Procedia Materials Science*, Volume 1, 2012, Pages 397-402
- [15] Z.Bayer Ozturk, N.Ay, An investigation of the effect of alkaline oxides on porcelain tiles using factorial design, *J.Ceram. Processing Res.* Vol. 13, No. 5, pp. 635~640 (2012).
- [16] C. Zanelli, M. Raimondo, G. Guarini, M. Dondi, "The vitreous face of porcelain stoneware: Composition, evolution during sintering and physical properties", *J. Non Cryst. Solids* 357 (2011) 3251-3260
- [17] E. Sánchez, M.J. Orts, J. García-Ten, V. Cantavella, Porcelain tile composition effect on phase formation and end products, *Am. Ceram. Soc. Bull.* 80 (2001) 43-49.
- [18] B.Tarhan ve M.Tarhan, "Development Of Waterproof Engobe Layer For Ceramic Wall Tiles", *Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry*, Cilt.140, Sa.2, Ss.555-565, 2020
- [19] M.Tarhan, Porselen Karo Bünyelerinde Sinterleme Hızı - Kompozisyon İlişkiler, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı*, 2010
- [20] T.Aydın , M.Tarhan, B.Tarhan, "Addition of cement kiln dust in ceramic wall tile bodies", *Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry* cilt.136,sa.2,2018
- [21] Tunçel, D.Y., Özel, E. "Evaluation of pyroplastic deformation in sanitaryware porcelain bodies". *Ceram Int.* 38, (2012).
- [22] Güngör, F., & Ay, N. (2018) "The effect of particle size of body components on the processing parameters of semi-transparent porcelain". *Ceramics International*, 44(9), 10611-10620
- [23] N.Kunduracı , Ş.B.Tarhan, C.Sarısakal, "Seramik Sağlık Gereçleri Ürünlerinde Piroplastik Deformasyonun Azaltılmasına Bağlı Olarak Geliştirilen Kompozisyonların Üretim Maliyeti Açısından Değerlendirilmesi", *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi* cilt 11 sayı 2 sayfa: 474 - 480 2019
- [24] C. Zanelli, M. Raimondo, M. Dondi, G. Guarini, P.M.T. Cavalcante, "Sintering mechanisms of porcelain stoneware tiles", in: *Qualicer 2004 – Congr. Mund. La Calid. Del Azulejo Y Del Paviment, Cerámico, Castellón*, 2004, pp. 247-259
- [25] M.W. Vance, "Relationship of feldspar properties to surface and volume defects in porcelains", Masters thesis, Missouri University of Science and Technology, 1967.
- [26] W.D. Kingery, H.K. Bowen, D.R. Uhlmann, *Introduction to Ceramics*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1976
- [27] E.E. Gültekin, Effect of heating rate and sintering temperature on the elastic modulus of porcelain tiles", 83 (2018) 120-125
- [28] M. Oberzan, J. Holc, M. Buh, D. Kusćer, I. Lavrac, M. Kosec, "High-alumina porcelain with the addition of a Li<sub>2</sub>O-bearing fluxing agent", *J. Eur. Ceram. Soc.* 29 (2009) 2143-2152
- [29] T. Tarvornpanich, G.P. Souza, W.E. Lee, "Microstructural evolution on firing soda-lime-silica glass fluxed whitewares", *J. Am. Ceram. Soc.* 88 (2005) 1302-1308
- [30] C. Leonelli, F. Bondioli, P. Veronesi, M. Romagnoli, T. Manfredini, G.C. Pellacani, V. Cannillo, "Enhancing the mechanical properties of porcelain stoneware tiles: a microstructural approach", *J. Eur. Ceram. Soc.* 21 (2001) 785-793
- [31] E. Sánchez, M.J. Ibáñez, ~ J. García-Ten, M.F. Quereda, I.M. Hutchings, Y.M. Xu, "Porcelain tile microstructure: implications for polished tile properties", *J. Eur. Ceram. Soc.* 26 (2006) 2533-2540
- [32] H.J. Alves, F.B. Minussi, F.G. Melchiades, A.O. "Boschi, Porosidade susceptível ao manchamento em porcelanato polido", *Cerâm. Ind.* 14 (2009) 21-26
- [33] F.H. Norton, *Cerámica Fina Tecnología y Aplicaciones*, Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 1975
- [34] E.E. Gültekin, G. Topates, S. Kurama, "The effects of sintering temperature on phase and pore evolution in porcelain tiles", *Ceram. Int.* 43 (2017) 11511-11515
- [35] E. Sánchez, J. García-Ten, V. Sanz, A. Moreno, "Porcelain tile: almost 30 years of steady scientific-technological evolution", *Ceram. Int.* 36 (2010) 831-845
- [36] M. Romero, A. Andrés, R. Alonso, J. Viguri, J.M. Rincón, "Sintering behaviour of ceramic bodies from contaminated marine sediments", *Ceram. Int.* 34 (2008) 1917-1924
- [37] Tarhan M. "Whiteness improvement of porcelain tiles incorporated with anorthite and diopside phases". *J Therm. Anal. Calorim.* 2019.
- [38] Zoellner, A., "Same chemical and physical properties of porcelains", *Sprechsaal*, 41,471-73 (1908)
- [39] Sane, S.C ve Cook, R.L., "Effect of grinding and firing treatment on the crystalline and glass content and the physical properties of whiteware bodies", *J. Am. Ceram. Soc.*, 34, 145 (1951)
- [40] Mattyasovszky, L. ve Solnay, Z., "Mechanical strength of porcelain", *J. Am. Ceram. Soc.*, 40, 299-306 (1957).
- [41] Carty, W.M. V. Senapati, U., "Porcelain-raw materials, processing, phase evaluation and mechanical behavior", *J. Anl. Ceram. Soc.*, 81, 3-20 (1998)
- [42] Tarhan, B., Tarhan, M., Aydın, T., "Reusing sanitaryware waste products in glazed porcelain tile production". *Ceram Int.* 43, (2017).