



Eşme/Uşak Alkali Kaynağının Elektroporselen Bünyede Kullanılmasının Araştırılması

Investigation of the Use of Eşme/Uşak Alkali Source in Electroporcelain Body

Aliosman Tiryaki¹ , Ceyda Ayça Avcı¹ , Ceren Karakaya¹ , Aysun Yıldız¹ , Baran Tarhan² * 

¹Ankara Seramik A.Ş., Ar-Ge Merkezi, 1. O.S.B. Osmanlı Caddesi No:15, Posta 06930 Sincan, Ankara

²Uşak Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, Ankara İzmir Yolu 8. km Bir Eylül Kampüsü, 64200 Uşak

Başvuru/Received: 15/05/2023

Kabul / Accepted: 08/06/2023

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2023

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2023

Öz

Elektroporselen üretiminde çoğunlukla potasyum feldspat türevli ergitici hammaddeler kullanılmaktadır. Potasyum feldspatın tüketimi, sektörde yaşanan gelişmeye bağlantılı olarak giderek artmaktadır. Bunun sonucunda kaynaklar azalmaya başlamış; kalite ve maliyetlerde yaşanan sıkıntılar şirketleri ithalata yöneltmiştir. Ülkemizde seramik üretimi yapan çoğu fabrika yurtdışı kaynaklı potasyum feldspat kullanılmaktadır. Yurtdışından seramik hammaddelerinin taşınmasında gemi, konteyner, gümrük, navlun gibi bedellerin varlığı ile nakliye maliyetlerinin yüksek olması sektörün bölgesel ve uluslararası rekabet gücünü olumsuz yönde etkilemektedir. Bununla beraber oluşan karbon emisyonları sebebiyle çevresel etkileri de çok fazladır. Bundan dolayı yerli hammaddelerin kullanılması firmalara yarar sağlamaktadır. Yapılan bu çalışmada Eşme/Uşak bölgesi alkali kaynaklarının Hindistan Bölgesi feldspat kaynakları ile birlikte kullanılarak elektroporselen bünyelerinin teknik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ankara Seramik standart elektroporselen bünye kompozisyonunda Hindistan'dan temin edilen potasyum feldspat oranı kademeli olarak azaltılmış ve yerine Eşme/Uşak alkali kaynağı ilave edilerek bünye reçeteleri geliştirilerek teknik özellikleri incelenmiştir. Elektroporselen bünyelerinde Eşme/Uşak alkali kaynağının kullanımının artan oranlarının deformasyonu artırdığı görülmüştür. Bünyelerde standart potasyum feldspat ile birlikte Eşme/Uşak alkali kaynağının kullanılması porozite ve su emme değerlerinde düşüşe yol açarken pişme küçülmesi ve bulk yoğunluğu arttırmıştır. Sonuç olarak elektroporselen bünyelerinde, bünye kompozisyonunda bazı optimizasyonların yapılmasıyla Eşme/Uşak alkali kaynağının kullanılmasının uygun olacağı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Elektroporselen, potasyum feldspat, Sinterleme”

Abstract

In the production of electroporcelain, mostly potassium feldspar are used. Most factories producing ceramics in Turkey use potassium feldspar from abroad. The presence of costs such as ships, containers, customs and freight in the transportation of ceramic raw materials from abroad and the high costs negatively affect the regional and international competitiveness of the sector. Therefore, the use of domestic raw materials provides advantages to companies. In this study, the effects of alkaline sources of Eşme/Uşak region on the technical properties of electroporcelain bodies were investigated by using feldspar sources from the Indian region. In the standard electroporcelain body composition of Ankara Seramik, the proportion of potassium feldspar supplied from the Indian region was gradually reduced and replaced by Eşme/Uşak alkaline source and examining its technical properties. It has been observed that increasing rates of the Eşme/Uşak alkaline source in electroporcelain structures increase the deformation. The use of Eşme/Uşak alkaline source together with standard potassium feldspar in the ingredients caused a decrease in porosity and water absorption values, while firing shrinkage and bulk density increased. As a result, it was determined that the Eşme/Uşak alkaline source would be appropriate to use in electroporcelain bodies, by making some optimizations in the body composition.

Key Words

Electroporcelain, potassium feldspar, sintering

1. Giriş

Elektrik enerjisi üretiminde kullanılmak üzere yüksek elektrik direnci özelliklerinden dolayı yalıtım malzemesi olarak kullanılan seramik malzemelere elektroporselen denilmektedir. Toprağa karşı elektriksel yalıtımı sağlamak için kullanılan porselen malzemelere izolatör adı verilmektedir (Yavuz, S.Y.,1994). Porselen, seramik izolatör üretiminde en çok kullanılan malzemedir. Elektroporselen üretiminde, diğer seramik ürünlerinde kullanılan hammaddeler kullanılsa da son ürünün sağlaması beklenen teknik ve karakteristik özellikler açısından son derece özel ürünlerdir (Tiryaki A., ve ark. 2022).

Elektroporselen bünye reçetelerinde kullanılan seramik hammaddeler; sert(özsüz) hammaddeler (kuvars ve feldspat grubu) ve özlü hammaddeler (kil ve kaolen grubu) olmak üzere temelde iki gruba ayrılır. Killer, porselen bünyeye plastik özellik kazandırıp, mukavemet sağlamak için kullanılırlar. Feldspatlar ise kullanıldıkları bünyede ergitici olarak görev yapıp düşük sıcaklıklarda ötektik oluşturarak sinterleme sıcaklıklarını düşürürler (Tarhan M ve Tarhan B.,2019). Elektroporselen bünyeleri ergiticilerin tipine (sodyum veya potasyum), kimyasal kompozisyonları ve oranlarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Elektroporselen bünyelerde potasyum feldspat (K-feldspat: $K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$) yaygın olarak kullanılmaktadır. Potasyum feldspat %9-11 oranında K_2O içeren bir ergiticidir (Tiryaki A., ve ark. 2022).

Seramik sektöründe kullanılan ham maddelerin çoğu üretimin yapıldığı yerlerde bulunmamaktadır. Çok yüksek oranla kullanılan ham maddeler yurt içi veya yurt dışından temin edilip fabrikalara taşınmaktadır. Ülkemizde hammaddelerin nakliyesinde maliyetler epey yüksektir. Bu yüzden bölgesel ham madde kaynaklarını kullanmak seramik üreticileri için üretim maliyetlerini azaltmada büyük pay sahibi olacaktır (Tarhan M ve Tarhan B.,2019).

Ülkemizde porselen üreten seramik fabrikaları feldspatı genellikle Hindistan Bölgesi'nden tedarik etmektedir. Yurtdışı kaynaklı feldspatlar haricinde ülkemizde Eşme / Uşak bölgesinde de endüstriyel alanda kullanılabilir alkali kaynağı bulunmaktadır. Bu alkali kaynağı sahasının jeolojik ve sondaj çalışmaları tamamlanmıştır (Tarhan M ve Tarhan B.,2019). Seramik malzeme üreten fabrikaların kendilerine yakın olan yerel hammadde kaynağı kullanmalarının nakliye ve diğer maliyetleri düşürmesinin yanı sıra karbon emisyonları açısından değerlendirildiğinde de daha az karayolu taşımacılığı olacağı için karbon ayak izi de azalacaktır. Böylelikle daha çevreci ürünler üretilebilecektir.

Sırlı porselen üretiminde alternatif ham madde olarak Uşak/Eşme Feldspatı kullanılmıştır. Yapılan reçete çalışmalarıyla potasyum feldspat oranı azaltılarak yerine Uşak/Eşme feldspatı kullanılmıştır. Sinterleme özellikleri iyileşmesine rağmen renk özellikleri hammaddenin Fe_2O_3 içerinden dolayı kötüleştiği belirlenmiştir (Tarhan M ve Tarhan B.,2019).

İş gücü gereksinimi yüksek olan seramik üretiminde ham madde, enerji ve işçilik maliyetlerinin fazla olması sektörde alternatif ham madde arayışlarını hızlandırmaktadır. Yapılan çalışmalarda feldspatik hammaddeler ve ikameleri değerlendirilmiştir. Giderek artan kullanımla ilgili ham madde tedariği ve pazar dinamikleri hakkında detaylı değerlendirmeler yapılmıştır. Nefelin siyenit ve sodyum feldspatın porselen üretiminde alternatif ergiticiler olarak çok önemli bir yerinin olduğu belirtilerek mevcut tüketimle kısa süre içinde bu ham maddelerin hızlı bir şekilde tüketileceği öngörülmüştür (Dondi M., 2018). Tarhan B. ve ark. 2022, Yaptığı çalışmada alümina porselen bünyelerinde lityum kaynağı olarak spodümen ilavesi araştırılmış, ilave miktarı ile sinterleşmenin kolaylaştığı ve müllit oluşumunun arttığı belirlenmiştir.

Vitrifiye üretiminde sodyum feldspata alternatif olarak nefelin siyenit ham maddesinin vitrifiye massesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada farklı K_2O/Na_2O oranları ve sodyum feldspat yerine %40 oranında nefelin siyenit kullanımı ile sinterleme sıcaklığı düşmüş, mevcut bünyeye kıyasla sinterleme zamanının ve piropolitik deformasyonun azaldığı ve mekanik özelliklerin iyileştiği belirlenmiştir (Kunduraci N. ve ark.,2016, Kunduraci, N. ve Aydın, T.,2015). Yapılan diğer bir çalışmada ise Çanakkale alkali kaynağının seramik sağlık gereçleri bünyelerinde kullanılması araştırılmıştır. Bu çalışmaya göre Çanakkale bölgesi alkali kaynağının sodyum feldspat yerine kullanılabilirliği belirlenmiştir (Tarhan B., ve Tarhan M. 2019). Sodyum feldspat yerine alternatif ergitici olarak perlit ham maddesi kullanılmıştır. Yapılan çalışmada sodyum feldspat yerine perlit kullanılmasıyla %15 oranına kadar deformasyonun azaldığı belirlenmiştir (Tarhan B. ve Tarhan M. 2022). Vitrifiye pişmiş kırıkları porselen karo bünyesinde sodyum feldspat yerine kullanımı araştırılmıştır. Termal genleşme katsayısının ve deformasyonun azaldığı belirlenmiş ve %5 oranına kadar sodyum feldspat yerine kullanılabilirliği belirlenmiştir (Tarhan B. ve ark., 2017).

Bu çalışmada elektroporselen bünyelerinde Hindistan feldspatı ile Uşak/Eşme alkali kaynağının kullanımı ve bünye teknik özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

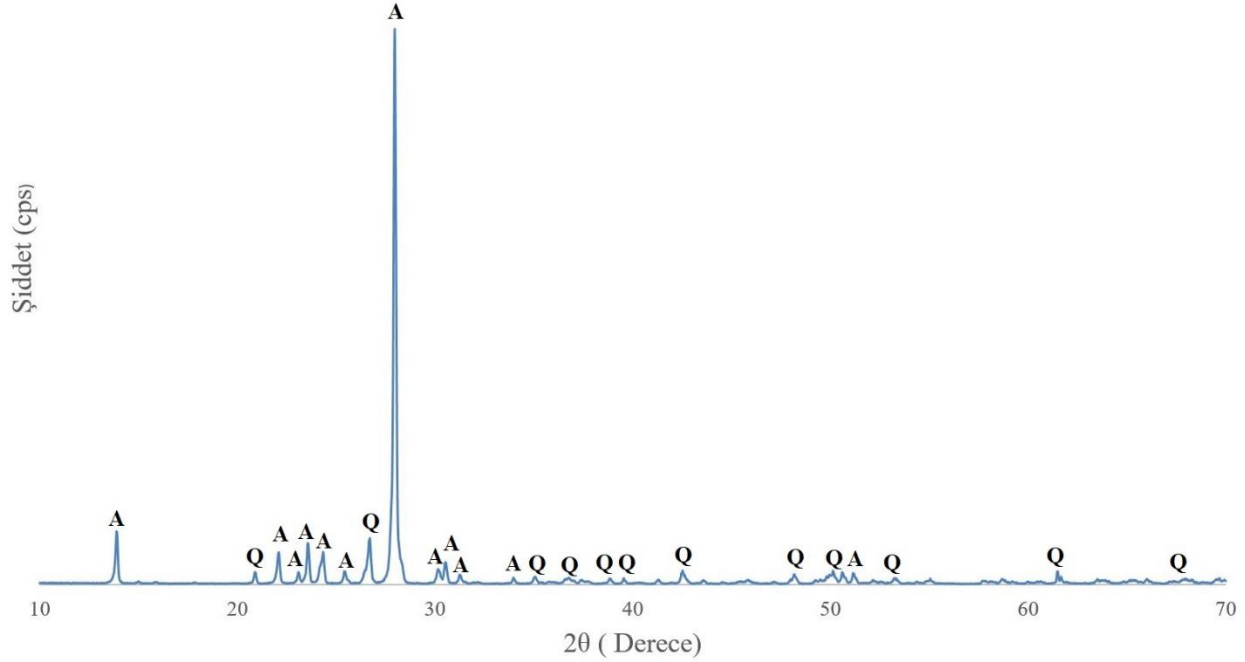
2.1. Kullanılan Hammaddeler

Porselen bünye reçete çalışmalarında farklı tip kaolen, kil, kuvars, potasyum feldspat ve Uşak/Eşme alkali kaynağı kullanılmıştır. Reçetelerde kullanılan ham maddelerden potasyum feldspat Hindistan'dan, Uşak/Eşme alkali kaynağı Eda Madencilik A.Ş 'den temin edilmiştir. Alkali kaynağı hammaddelerinin kimyasal analizleri Çizelge 1'de verilmiştir. Eşme alkali kaynağının XRD grafiği Şekil 1'de verilmiştir. Reçeteler hazırlanırken kullanılan hammaddelere ait kimyasal analizler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Alkali kaynağı hammaddelerin kimyasal bileşimleri (% ağı.)

| Hammaddeler | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | K.K |
|-------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|-------------------|------------------|------|
| Potasyum Feldspat | 68,79 | 16,9 | 0,14 | 0,04 | 0,38 | 0,06 | 2,23 | 11,06 | 0,32 |
| Eşme Feldspat | 66,03 | 19,5 | 0,94 | 0,64 | 0,56 | 0,92 | 10,3 | 0,61 | 0,50 |

K.K. : Kızdırma Kaybı

**Şekil 1.** Uşak/Eşme alkali kaynağına ait XRD analizi (Q: Kuvars, A:Albit)**Çizelge 2.** Hazırlanan reçetelerde kullanılan hammaddelerin kimyasal bileşimleri (% ağırlıkça)

| Hammaddeler | SiO ₂ +Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ +TiO ₂ | CaO+MgO | Na ₂ O+K ₂ O | K.K. |
|-------------|--|--|---------|------------------------------------|-------|
| Kuvars | 99,45 | 0,03 | 0,05 | 0,31 | 0,16 |
| Kil 1 | 84,01 | 4,09 | 0,62 | 2,05 | 9,23 |
| Kil 2 | 82,32 | 3,65 | 0,75 | 2,56 | 10,72 |
| Kaolen 1 | 81,31 | 3,03 | 0,59 | 3,78 | 11,29 |
| Kaolen 2 | 83,01 | 3,03 | 0,32 | 3,22 | 10,42 |
| Kaolen 3 | 85,02 | 1,45 | 0,23 | 0,14 | 13,16 |

K.K. : Kızdırma Kaybı

2.2. Deneysel Çalışmalar ve Bünye Geliştirme Çalışmaları

Deneysel çalışmalar Ankara Seramik Ar-Ge Merkezinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma için elektroporselen bünyesinde kullanılan potasyum feldspat yerine farklı oranlarda Eşme/Uşak alkali kaynağı kullanılmıştır. Testler için beşer numune hazırlanmış ve sonuçların ortalaması alınarak değerler belirlenmiştir.

Ankara Seramik bünyesinde kullanılmakta olan standart elektroporselen izolator reçetesi standart reçete(STD) olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada elektroporselen izolator bünye reçetesinde kullanılmakta olan potasyum feldspat kademeli olarak azaltılarak yerine aynı oranlarda (%6, 10, 14 oranlarında) Eşme/Uşak alkali kaynağı reçeteye ilave edilmiştir ve E1, E2, E3 olarak kodlandırılmıştır. Oluşturulan bünye reçetelerinin oksit oranları Çizelge 3’de verilmiştir.

Standart ve oluşturulan reçeteler doğrultusunda rutubet değerleri ile beraber hesaplanan ham maddeler tartılmıştır. Ham madde karışımları su ilavesi ile birlikte laboratuvar tipi bilyalı değirmenlerde d(50):9-9,2 µm tane boyutuna gelene kadar öğütülmüştür. Ardından hazırlanan masseler 63 µm açıklığındaki elekten elenmiştir. Ortalama 1310 g/lt litre ağırlığındaki masseler, filter preste 13 bar basınçta ortalama % 20 nem olacak şekilde sıkıştırılıp kekler hazırlanmıştır. Uşak Eşme alkali kaynağının reoloji üzerine olumsuz bir etkisi olmamıştır. Kekler 9 devir/dk hızla dönen vakum presten geçirilerek homojenleştirilmesi sağlanmıştır. Vakum pres çıkışı 30 mm çapındaki çubukların rutubeti % 18 ve sıcaklığı 34 °C’ dir. Kurutma işlemi ise 110 °C sıcaklığa sahip kurutma fırınında, rutubeti %0,8’in altına inene kadar gerçekleştirilmiştir. Mukavemet çubukları 0,3 m³ hacme sahip doğal gazlı üretim fırınında standart sinterleme rejimi programında maksimum sıcaklığı 1205°C olacak şekilde sinterlenmiştir.

Hazırlanan numunelerin fiziksel özellikleri (% su emme, görünür (açık) gözeneklilik, pişme mukavemeti, % pişme küçülmesi) TS11237 EN 60672-2 standardına göre yapılmıştır. Görünür(açık) gözeneklilik ve % su emme deneyleri Arşimet prensibi doğrultusunda yapılmıştır. Oluşturulan reçetelerin deformasyon ölçümleri için hazırlanan elektroporselen masseleri ile özel şekilli alçı kalıplarda döküm metoduyla tabletler hazırlanmıştır. Hazırlanan tabletler iki mesnet arasına yerleştirilerek doğalgazlı pilot üretim fırınında sinterlenmiştir. Deformasyon tabletlerindeki sıcaklıkla meydana gelen değişim mm cinsinden ölçülmüştür. Zwick/Roell Z020 marka model cihazla 3 nokta eğme testi uygulanarak ekstrüzyon çıkışı silindirik numunelerin pişme mukavemet testleri yapılmıştır. Potasyum ve Eşme feldspat ham maddelerinin ve hazırlanan deneme reçetelerinin faz analizleri uygun metot ile hazırlanan Rigaku marka Miniflex 600 model XRD cihazı ile 5°-70° aralığında ölçümü yapılmıştır. Standart ve geliştirilen bünyelerin kimyasal analizleri XRF yöntemi ile Panalytical Axios marka cihaz ile yapılmıştır. Bünyelerin mikroyapı incelemeleri Zeiss Supra 50 VP markalı taramalı elektron mikroskopunda(SEM) yapılmıştır. SEM numuneleri asit çözeltisinde dağlanarak hazırlanmıştır. Standart ve çalışılan bünyelere ait ısı genleşme katsayıları Netzch marka 402 PC model dilatometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Bünyelerin renk ölçümleri Precision Colorimeter NR 110 marka model cihazla ölçülmüştür.

Çizelge 3. Standart ve geliştirilen bünye reçetelerinin oksit oranları(%)

| Reçeteler | SiO ₂ +Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ +TiO ₂ | CaO+MgO | Na ₂ O | K ₂ O | K.K. | Toplam Alkali |
|------------|--|--|---------|-------------------|------------------|------|---------------|
| STD | 88,32 | 1,36 | 0,42 | 0,90 | 4,34 | 4,63 | 5,24 |
| E1 | 88,27 | 1,44 | 0,48 | 1,38 | 3,75 | 4,64 | 5,13 |
| E2 | 88,25 | 1,5 | 0,52 | 1,69 | 3,35 | 4,65 | 5,04 |
| E3 | 88,23 | 1,55 | 0,57 | 2,01 | 2,95 | 4,66 | 4,96 |

SiO₂+Al₂O₃ toplam miktarı hemen hemen bütün reçetelerde sabit kalmıştır. Eşme/Uşak alkali kaynağı ve potasyum feldspat kimyasal olarak değerlendirildiğinde; standart elektroporselen bünyesinde kullanılan potasyum feldspat % 11,06 K₂O ve % 2,23 Na₂O içerirken, Eşme/Uşak alkali kaynağının K₂O oranı %0,61 ve Na₂O oranı %10,3'tür(Çizelge 1). Bundan dolayı bünye kompozisyonlarında Eşme/Uşak alkali kaynağı artmasıyla Na₂O miktarı artmakta, K₂O miktarı azalmaktadır. Bünyelerde toprak alkali oksit miktarı 0,42'den 0,57 değerine yükselmiştir. Porselen bünyelerde alkali ve toprak alkali oksitlerin varlığı daha az viskoz bir sıvı fazın gelişimini teşvik eder ve bu da, yoğunlaştırma kinetiğini geliştirir(Ozturk B.Z., ve Ay N.(2012). Bünye kompozisyonlarında potasyum feldspat yerine Eşme/Uşak alkali kaynağı kullanılması toplam alkali oksit miktarını da azaltmıştır. Eşme/Uşak alkali kaynağındaki alkali miktarı potasyum feldspattan daha az olduğu için toplam alkali miktarı da 5,24'den 4,96'ya azalmıştır. Bununla beraber Eşme/Uşak alkali kaynağı miktarı yükseldikçe Fe₂O₃+TiO₂ miktarı yükselmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Fiziksel ve Optik Özellikler

Standart (STD) ve geliştirilen bünyelere ait fiziksel özellikler Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Elektroporselen izolatör bünyelerinin fiziksel özellikleri

| | STD | E1 | E2 | E3 |
|---|------|------|------|------|
| Pişme Küçülmesi (%) | 9,15 | 9,26 | 9,38 | 9,48 |
| Deformasyon (mm) | 13 | 14 | 16 | 19 |
| Görünür Katı Yoğunluğu (gr/cm³) | 2,35 | 2,37 | 2,37 | 2,37 |
| Su Emme (%) | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |
| Porozite (%) | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,0 |
| Pişme Mukavemeti (kg/cm²) | 1180 | 1186 | 1186 | 1189 |

Standart elektroporselen izolatör bünyesinde potasyum feldspat oranının azaltılması ve yerine Eşme/Uşak alkali kaynağı kullanımıyla geliştirilen bünyelerin su emme değerlerinde gözle görülür bir fark gözlenmemiştir. Eşme/Uşak alkali kaynağı artan oranları ile pişme küçülme değerlerinde %1 lik bir artış gözlemlenmiştir. Bulku yoğunluk değeri Eşme/Uşak alkali kaynağı ile birlikte çok az miktarda artmıştır. Porozite miktarının düşmesi ve su emme değerlerinin hemen hemen aynı kalması kapalı por miktarının azaldığı sonucuyla değerlendirilmiştir. Eşme/Uşak alkali kaynağının potasyum feldspat yerine kullanımı ile geliştirilen bünyelerin daha fazla sinterlendiği belirlenmiştir. Alkali oksit(Na₂O, K₂O) miktarı seramik porselen bünyelerinde sinterlemeyi etkileyen ana parametrelerden bir tanesidir. Bünyelerde kullanılan alkali kaynağı miktarı arttıkça bünyelerin sinterlenmesi de hızlanmaktadır (Becker, C.R. ve ark .2000, Tarhan B. ve ark., 2017, Sanchez, E. Ve ark .2001, Tarhan, M, 2010). Bunun yanında bünyede bulunan serbest demir oksit de sinterlemeyi etkilemektedir. Demir oksit, ötektik sıcaklıkları düşürerek ergitmeye yardımcı olmaktadır (Vieira, C.M.F. ve Monteiro, S.N., 2007. Cengiz Ö., 2011). Eşme/Uşak alkali kaynağı potasyum feldspata oranla daha yüksek Fe₂O₃ içermektedir. Bu nedenle Eşme/Uşak alkali kaynağı kullanılarak oluşturulan bünyelerde toplam alkali miktarı düşerken, Na₂O ve Fe₂O₃ oranında artış meydana gelmiştir. Sinterlenmede de artış gerçekleşmiş, bununla orantılı olarak pişme küçülme değerleri artmıştır.

Pişirim esnasında yüksek sıcaklıklarda amorf faz içeriğinin yüksek olmasından ötürü bünyenin kendi ağırlığını kaldıramayarak şekil bozukluğuna uğramasına piropplastik deformasyon denir. Piropplastik deformasyon elektroporselen üretiminde önemli bir parametredir. Elektroporselenlerin sinterlenmeden sonra deforme olmadan kendini askıya alabilmiş olmaları beklenir. Özellikle askıda pişirilen ürünlerde deformasyon fazla olursa ürünün gövdesinde birtakım sünme-uzama davranışlarına neden olabilmektedir. Büyük hacimli yüksek gerilim izolatörlerinin, sinterleme sırasında kendi ağırlıklarını kaldıramayarak askıya alamaması neticesinde ürünler zayıf olarak ayrılmaktadır (Tiryaki A., ve ark. 2022). Eşme feldspatı miktarı arttıkça deformasyon değerleri de artmıştır. Deformasyonda bu artış iki şekilde açıklanabilir; potasyum oksit miktarının azalması ile sodyum oksit miktarı artmış ve Na/K oranı değişmiştir. SiO₂ camına alkali ve toprak alkali oksitlerin eklenmesi, daha fazla köprü oluşturmaman oksijen bölgesi nedeniyle amorf faz viskozitesinde bir azalmaya neden olur (Tarhan, M, 2010, Eppler, R. A. ve Eppler, D. R. 2000, Aydın T., 2006., Aydın T., 2006). Karışık alkali etkisi, camsı bir ağa iki tür alkali iyonu sokar. Bir alkali camdaki bir tür alkali iyonu kademeli olarak bir başkasıyla değiştirildiğinde, birçok fiziksel ve yapısal özellikte doğrusal olmayan değişimlere neden olur. Farklı alkali iyonlarının aynı anda bulunduğu karışık alkali etkisi, viskozitede düşüğe sebep olur (Tarhan B. ve ark., 2017, Eppler, R. A. ve Eppler, D. R. 2000). Bu viskozite düşüşünün deformasyon artışının sebebi olduğu değerlendirilmektedir. Potasyum feldspat ve silika ile doğru oranlarda kullanıldığında camsı fazın gelişmesine destek olmaktadır (Viola, C., ve Kovic, B.T., 1994). Potasyum feldspat ile sodyum feldspatın oluşturdukları peritektik sıcaklık 990 °C, ötektik sıcaklık 1050 °C'dir (Becker, C.R.ve ark.,2000). Sodyum feldspat potasyum feldspata göre daha yüksek sıcaklıklarda peritektik oluşturur. Böylelikle sodyum feldspatlı kompozisyonlar potasyum feldspatlı bünyelere göre düşük sıcaklıklarda yüksek yoğunluğa ulaşır. Bunun asıl sebebi oluşan eriyik haldeki camsı fazın viskozitesinin potasyum feldspat içeren kompozisyonlarda sodyum feldspat içeren kompozisyonlara göre daha yüksek olmasıdır (Tarhan B. ve Tarhan M. 2019, Tarhan, M, 2010, Viola, C., ve Kovic, B.T., 1994). Na/K oranı değiştikçe yani Eşme/Uşak alkali kaynağı miktarının yükselmesiyle oluşan amorf fazın viskozitesi düşmektedir. Bu yüzden deformasyon da yükselmektedir. Benzer şekilde Fe₂O₃, ötektik sıcaklıkları düşürerek düşük sıcaklıkta düşük viskoziteli amorf faz gelişimine yardımcı olmaktadır. Demir oksit miktarının Eşme/Uşak alkali kaynağı miktarı ile artmasıyla deformasyonun yükselmesine yardımcı olmuştur. (Tarhan M. ve Tarhan B., 2019, Cengiz Ö., 2011, Vieira, C.M.F. ve Monteiro, S.N., 2007). Pişme mukavemeti değerlerinde gözle görülür bir yükseliş olmamıştır.

Çizelge 5. Elektroporselen izolatör bünyelerinin renk ölçümü değerleri

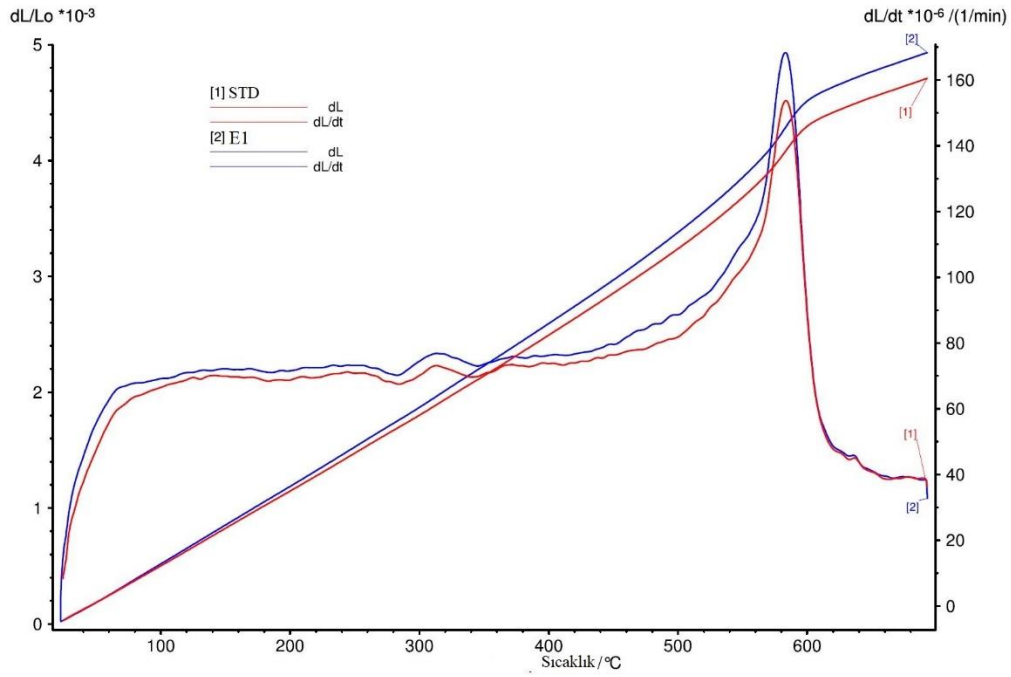
| | STD | E1 | E2 | E3 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| L* | 59,23 | 56,88 | 54,25 | 53,18 |
| a* | 3,44 | 3,95 | 4,38 | 4,12 |
| b* | 14,49 | 15,19 | 15,83 | 15,21 |

Standart ve geliştirilen bünyelere ait renk ölçüm değerleri Çizelge 5’de verilmiştir. Eşme/Uşak alkali kaynağı miktarı yükseldikçe beyazlık oranı düşerek, kırmızılık oranı yükselmektedir. Seramik bünyeleri üretiminde kullanılan ham maddelerdeki TiO₂ ve Fe₂O₃ gibi oksitler bünye rengine etki eden oksitlerdir. Ham madde içindeki miktarlarına göre yeşilden griye doğru bünye rengini değiştirmektedirler (Cengiz Ö., 2011, Rado P., 1999, Tarhan, M., 2019, Tarhan M., 2019). Çizelge 1’de verilen Eşme alkali kaynağı ve potasyum feldspata ait kimyasal analizler incelendiğinde Eşme alkali kaynağının daha yüksek oranda Fe₂O₃ ve TiO₂ içerdiği görülmektedir. Bu da renk değerlerindeki değişiklikleri doğrulamaktadır. Porselen üretiminde çoğu ürün kahverengi sır ile sirlanmaktadır. Dolayısıyla bünye rengindeki koyulaşma nihai ürün kalitesini etkilememektedir.

Çizelge 6. Geliştirilen bünyelerin termal genişleme katsayıları

| | STD | E1 | E2 | E3 |
|-------------------------------------|------|------|------|------|
| α 300x10⁻⁷ | 64,2 | 65,3 | 66,9 | 67,6 |
| α 400x10⁻⁷ | 65,6 | 67,1 | 68,4 | 69,9 |
| α 500x10⁻⁷ | 67,5 | 68,6 | 70,6 | 72,0 |
| α 600x10⁻⁷ | 74,2 | 76,4 | 78,1 | 79,9 |

Çizelge 6’da geliştirilen bünyelerin termal genişleme katsayıları vardır. Eşme feldspatı miktarı arttıkça termal genişleme katsayısı da artmaktadır.

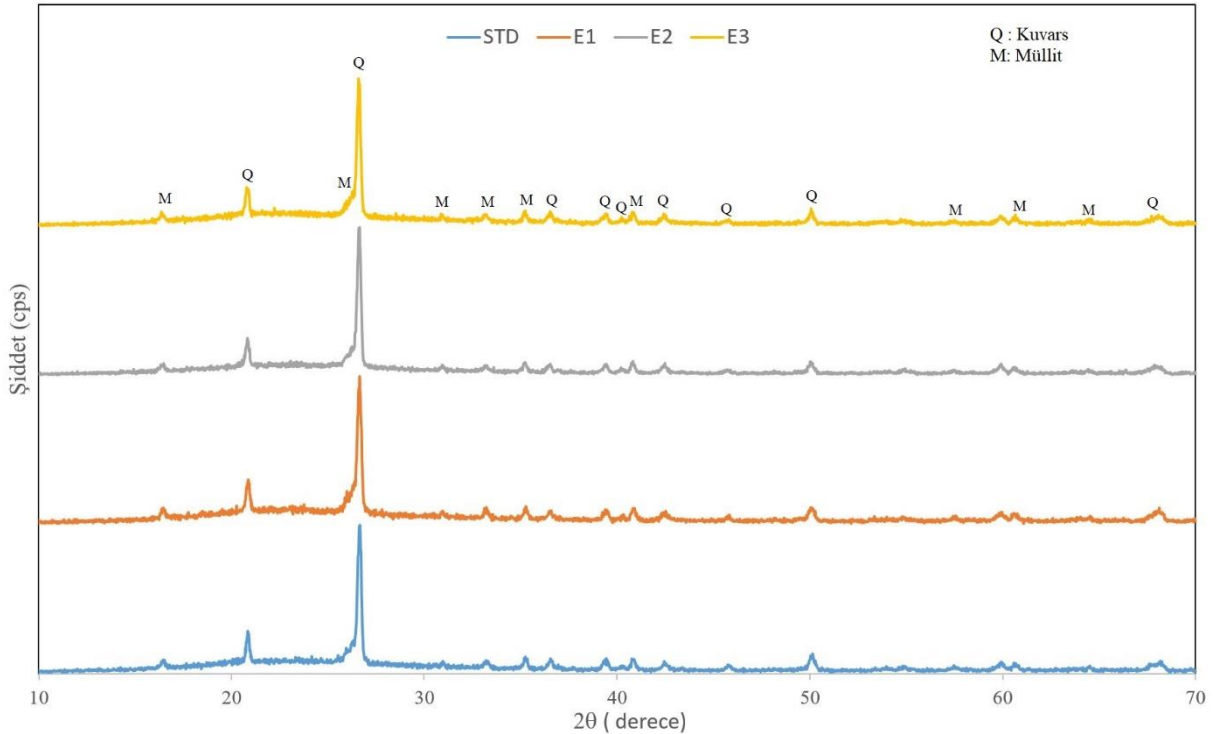


Şekil 2. STD ve E1 reçetelerinin termal genişleme grafikleri

Şekil 2’de STD ve E1 reçetelerine ait termal genişleme katsayısı grafiği vardır. Porselen bünyelerde termal genişleme katsayısını etkileyen en önemli parametrelerden birisi de sinterleme sonrasında bünyede ergimeden kalan kalıntı kristal kuvarstır. Bünyelerde kristal kuvarsin artması bünyelerin termal genişleme katsayısını artırmaktadır (Eppler, R. A. ve Eppler, D. R., 2000, Kingery, W.D., Bowen, H.K., Uhlmann, D.R.,1976, Tarhan B.,2019). Grafikten de anlaşılacağı gibi E1 reçetesinde kalıntı kuvars miktarı STD kompozisyonunda daha fazladır. Eşme/Uşak alkali kaynağındaki serbest kuvars miktarı potasyum feldspat hammaddesinden daha fazla olduğu değerlendirilmiştir. Bu yüzden termal genişleme katsayısı Eşme/Uşak alkali kaynağı miktarının artmasıyla artmaktadır.

3.2 Faz Analizi

Geliştiren bünyelere ait X ışınları difraktometresi (XRD) grafikleri Şekil 3’te verilmiştir.

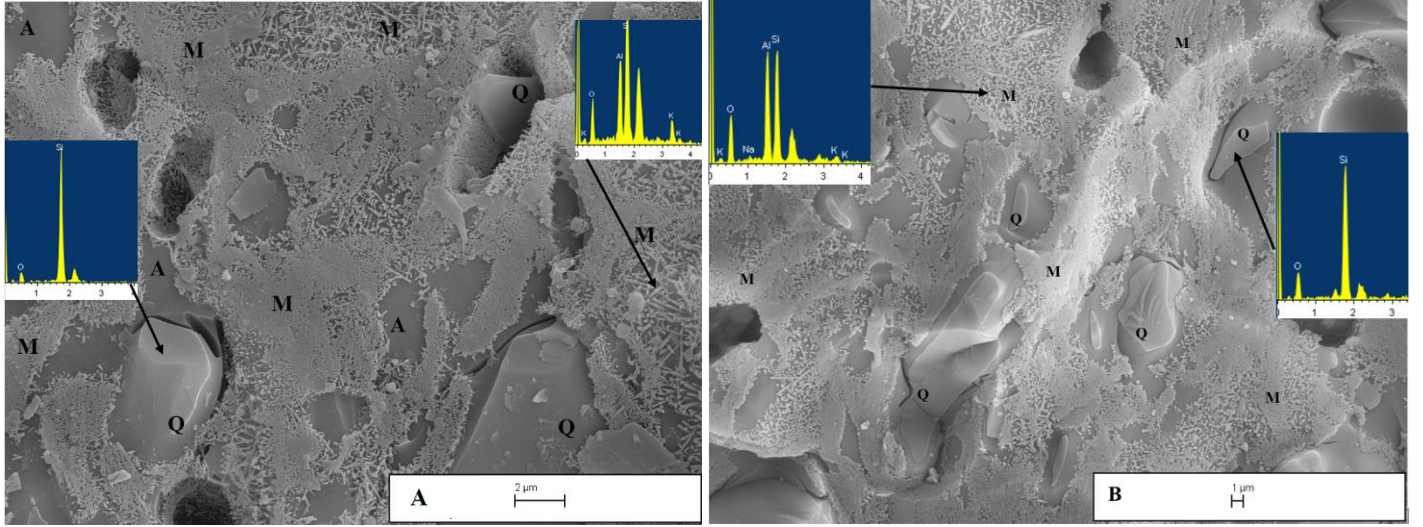


Şekil 3. Standart(STD) ve geliştirilen kompozisyonlara ait XRD analizleri.

Standart ve geliştirilen pişmiş bünyelere ait XRD grafikleri değerlendirildiğinde ana faz olarak bütün bünyelerde kuvars ve müllit fazları tespit edilmiştir. Analiz sonucuna göre bütün bünyelerde kalıntı kuvars belirlenmiştir. Eşme/Uşak alkali kaynağı miktarı arttıkça kuvars pikinde bir miktar yükselme olduğu değerlendirilmiştir. Bünyede kullanılan tüm alkaliler erimiştir ve erimemiş olarak kalan bir alkali kaynağı belirlenmemiştir.

3.2 Mikroyapı Analizi

Şekil 4'te Standart(STD) ve E1 kodlu reçeteye ait SEM analizleri vardır. Her iki numune de dağlanarak ikincil elektron görüntüleri alınmıştır.



Şekil 4. STD(A) ve E1(B) bünyelerine ait dağlanmış SEM görüntüleri ve EDX analizleri(Q: Kuvars, M: Müllit, A: Amorf(camsı)faz)

Her iki bünyede de kuvars, müllit ve amorf (camsı) faz belirlenmiştir. Yapılan nokta EDX analizlerinde müllit ve kuvars fazları oklar ile belirtilmiştir. STD ve E1 kompozisyonlarında müllit faz miktarlarında ise gözle görülür bir fark gözlenmemiştir. Porselen bünyelerde camsı faz oluşumu sınırı müllit oluşum faz bölgesindedir, bundan dolayı yapıdaki fazla alümina camsı yapıdan müllit olarak kristalleşerek yer alır. Porselen bünyelerdeki müllit gelişimi birincil ve ikincil müllit olmak üzere iki çeşittir. Önce birincil müllit iyi kristallenmiş kaolinden(yüksek kaolinitik faza sahip kaolen) müllit çekirdeklerinin birikerek kristalleşmesiyle oluşur. Silikanın 1200°C'den sonra çözünmesinin bitmesiyle yapı doygun hale gelir. 1200°C'nin üzerinde ikincil müllit kristalleri eriyik içinde çözünüp tekrar kristallenir ve kristaller prizmatik şekilde büyürler(Tunçel, D.Y. ve Özel, E., 2012, Manfredini, T. Ve ark.1995, Iqbal, Y., ve ark.2000, Carbajal, L. ve ark. 2007).

4. Genel Sonuçlar

Uşak/Eşme bölgesi alkali kaynağının elektroporselen bünyelerinin teknik özellikleri üzerine olan etkileri incelenmiş, standart elektroporselen bünye reçetesinde kullanılan potasyum feldspat yerine kompozisyonlarda kullanımı araştırılmıştır. Elektroporselen kompozisyonlarında potasyum feldspat ile birlikte Uşak/Eşme alkali kaynağının kullanımı içerdiği yüksek Na₂O ve Fe₂O₃ nedeni ile bünyelerin sinterlenmesini artırarak pişme küçülmesini artırmaktadır. Bünyelerde artan sinterleme ile bünyelerin pişme mukavemet değerleri artmıştır. Bunun yanında Uşak/Eşme alkali kaynağının kullanımının artan oranlarında artan demir oksit oranı bünye rengini koyulaştırmaktadır. Uşak/Eşme alkali kaynağının kullanımı kahverengi ile sırlanan ürünlerde(rengin önemli olmadığı) pişirim sürelerinin kısaltılması ve/veya pişirim sıcaklıklarının daha aşağı düşürülmesi mümkün olabilecektir. Enerji yoğun bir sektör olan seramik sektöründe enerji tasarrufunun sağlanarak maliyetlerin düşürülmesi gibi avantajları sağlayabilecektir. Geliştirilen bünyelerde Uşak/Eşme alkali kaynağının kompozisyonlarda artan oranlarda kullanımıyla bünye termal genleşme katsayısının arttığı belirlenmiştir. Elektroporselen ürünlerinde fırın çıkışı deformasyon değerleri önemli bir parametredir. Artan Uşak/Eşme alkali kaynağı miktarıyla deformasyon değerleri de yükselmiştir. Düşük oranlarda Uşak/Eşme alkali kaynağının kullanımı bu kapsamda değerlendirildiğinde sorunsuz şekilde üretimde kullanılabilir. Potasyum feldspat yerine Uşak/Eşme alkali kaynağının %6 oranında kullanılmasıyla ürün maliyetlerin %5,7 oranında azalacağı hesaplanmıştır.

Tüm teknik özellikler değerlendirildiğinde, elektroporselen bünyelerinde potasyum feldspat oranının azaltılarak yerine Uşak/Eşme alkali kaynağının kullanımının işletme şartlarında ve/veya bünye reçetelerinde yapılacak geliştirme/optimizasyon çalışmaları ile mümkün olacağı sonucuna varılmıştır.

5. Kaynaklar

- Aydın T., (2006). Alümina Esaslı Elektroporselen Bünyelerin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı
- Becker, C.R., Mixture, S.T. and Carty, W.M., (2000). The role of flux choice in triaxial whiteware bodies, *Ceramic Engineering and Science Proceedings*, 21, 15-29.
- Carbajal, L., Rubio-Marcos, F., Bengochea, M.A., Fernandez, J.F., (2007). Properties related phase evolution in porcelain ceramics, *Journal of the European Ceramic Society*, 27, 4065-4069
- Cengiz Ö., (2011). Monoporoza (monoporosa) duvar karolarının pişirim koşullarının geliştirilmesi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 165.
- Dondi M., (2018). Feldspathic Fluxes for Ceramics: Sources, Production Trends and Technological Value, Resources, Conservation & Recycling, 133 191–205.
- Eppler, R. A. ve Eppler, D. R. (2000), Glazes and glass coatings, The American Ceramic Society, Westerville, Ohio.
- Iqbal, Y., Messer, P.F., Lee, W.E. (2000), Microstructural evolution in triaxial porcelain, *Journal of the American Ceramic Society*, 83, 3121–3127.
- Kingery, W.D., Bowen, H.K., Uhlmann, D.R. (1976), Introduction to Ceramics, John Wiley & Sons., Inc., Canada.
- Kunduraci, N. ve Aydın, T., (2015). The Effect of Nepheline Syenite Addition on Sanitaryware Body, *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol.7, No.2.
- Kunduraci, N., Aydın, T. ve Akbay, A., (2016). The Effect of Nepheline Syenite Addition on the Sintering Behaviour of Sanitaryware Bodies, *Journal of The Australian Ceramic Society*, Volume 52, 82 – 86.
- Manfredini, T., Pellacani, G.C. and Romagnoli, M., (1995). Porcelainized stoneware tile, *American Ceramic Society Bulletin*, 74,76-79
- Rado P., An Introduction to the Technology of Pottery, Second edition, Pergamon Press, The Worcester Royal Porcelain Company Ltd., 1999.
- Sanchez, E., Orts, M.J., Garcia-Ten, K. and Cantavella, V., (2001). Porcelain tile composition effect on phase formation and end product, *American Ceramic Society Bulletin*, 80, 43-49.
- Tarhan B., (2019). Usage of fired wall tile wastes into fireclay sanitaryware products, *Journal of the Australian Ceramic Society*, 1-10, <https://doi.org/10.1007/s41779-018-0285-1>
- Tarhan B. ve Tarhan M. (2019)., Çanakkale bölgesi alkali kaynağının seramik sağlık gereçleri bünyesi ısl ve mikroyapı özellikleri üzerine etkisi, *DÜMF Mühendislik Dergisi* 10:2: 675-687
- Tarhan M., Tarhan B., (2019).Sırlı Porselen Karo Üretimi için Alternatif Hammadde Olarak Eşme/Uşak Feldspatı, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 025702 (429-438).
- Tarhan M., (2019). Porselen Karo Üretimlerinde Konya Kili Kullanımı, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(2), 705-712.
- Tarhan, B., Tarhan, M.(2022) Utilization of perlite as an alternative raw material in the production of ceramic sanitaryware. *J Therm Anal Calorim* 147, 3509–3518.
- Tarhan, B., Tarhan, M., & Aydın, T., (2017), Reusing sanitaryware waste products in glazed porcelain tile production. *Ceramics International*, 43(3), 3107-3112.
- Tarhan, M. (2010). Porselen karo bünyelerinde sinterleme hızı-kompozisyon ilişkileri. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 230.

Tarhan, M.(2019), Whiteness improvement of porcelain tiles incorporated with anorthite and diopside phases. J Therm Anal Calorim 138, 929–936.

Tarhan B., Tarhan M.,(2022) Investigation of the Effect of Spodumene Addition on Technical Properties in Alumina Porcelain Bodies, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 14(1), 262-270.

Tiryaki A., Avcı C. C., Karakaya C., Tarhan B., Farklı Tane Boyutlarındaki Kuvarsın Elektroporselen Bünyeye Etkisinin İncelenmesi, (2022). Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, Cilt/Volume:14 Sayı/Issue:2.

Tunçel, D.Y. ve Özel, E.,(2012).Evaluation of pyroplastic deformation in sanitaryware porcelain bodies, Ceramic International,38 doi:10.1016/j.ceramint.2011.09.19.

Vieira, C.M.F. and Monteiro, S.N., (2007). Evaluation of a plastic clay from the state of Rio de Janeiro as a component of porcelain tile body. Revista Materia, 12, 1-7.

Viola, C., ve Kovic, B.T., (1994).Vitrified stoneware or porcelain? Development and improvements in the ceramic technology of the high sintering floor tiles, Fine porcelain stoneware tiles technology, production, marketing,

Yavuz, S.Y., (1994). İzolatör üretimi, Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Eskişehir.

Z.Bayer Ozturk, N.Ay, (2012) An investigation of the effect of alkaline oxides on porcelain tiles using factorial design, Journal of Ceramic Processing Research, Vol. 13, No. 5, pp. 635~640