

## Perlit Katkılı Porselen Parlatma Atıklarından Gözenekli Seramik Malzeme Üretimi

Derya KIRSEVER<sup>1</sup> ve H. Özkan TOPLAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya.

e-posta: [dkirsever@sakarya.edu.tr](mailto:dkirsever@sakarya.edu.tr), ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6729-511X>  
[toplano@sakarya.edu.tr](mailto:toplano@sakarya.edu.tr), ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3928-2733>

Geliş Tarihi: 27.08.2019; Kabul Tarihi: 12.09.2019

### Öz

#### Anahtar kelimeler

Porselen parlatma atığı; Gözenekli seramik; Perlit; Yalıtım malzemesi

Geleneksel porselen karoların üretiminde parlatma prosesi, geniş miktarda seramik atığın ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, ana hammadde olarak porselen parlatma atıkları kullanılarak gözenekli seramik malzeme üretimi amaçlanmıştır. Köpürtücü ajan olarak perlit katkısı ilave edilerek porselen parlatma atıklarının yeniden dönüşümü sağlanmıştır. Farklı miktarlarda perlit ilavesi ve porselen parlatma atığı kullanılarak hazırlanan bileşimler, 1100, 1150 ve 1200°C sıcaklıkta 60 dakika süre boyunca 5, 10, 15 ve 20 °C/dk ısıtma hızlarıyla sinterlenmiştir. Sinterlenmiş numunelerin, X-ışınları kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri yapılmıştır. Ayrıca, numunelerin sinterleme davranışları pişme küçülmesi ve su emme testleri ve termal difüzyon analizleri ile belirlenmiştir.

## Production of Porous Ceramic Material From Perlite Doped Porcelain Polishing Wastes

### Abstract

**Keywords**  
Porcelain polishing waste; Porous ceramic; Perlite; Insulation material

The production of traditional porcelain tiles is often caused a large amount of ceramic wastes during the polishing stage. This paper aims to evaluate the possibility of recycling the polished tile waste as a main raw material to produce porous ceramics. The recycling of porcelain polishing residues with the addition of perlite as a foaming agent was ensured. Compositions of polishing porcelain stoneware waste and perlite were prepared at different amounts and sintered at 1100, 1150, 1200°C for 60 min for 5, 10, 15 and 20°C/min. Samples were characterized by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM). Also, the sintering behaviors of fired specimens were determined by linear shrinkage, water absorption and thermal diffusivity.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Porselen karolarının üretim prosesinin son aşaması olan parlatma işlemi, karonun estetik görünümünü iyileştirmek, diğer doğal taş ürünlerle rekabetini arttırmak ve yüzeyinde düz ve parlak bir görüntü elde etmek amacıyla uygulanmaktadır. Parlatma prosesi sırasında su soğutmalı makinalarda silisyum karbür (SiC) zımparalarının hareketiyle karo yüzeyinden 0.4-0.8 mm kalınlığında malzeme uzaklaştırılmaktadır.

Endüstriyel parlatma prosesi ürünün estetik görünümünü geliştirirken beraberinde çeşitli sorunlara da yol açmaktadır. Bunlar parlatma ile birlikte kapalı porların açık porlara dönüşmesiyle geri dönüşü olmayan yüzey hatalarının oluşması ve açığa çıkan porselen parlatma atıklarının bertaraf edilmesiyle önemli bir çevresel sorunun ortaya çıkmasıdır (Garcia-Tena *et al.* 2012, Guo *et al.* 2016, Ke *et al.* 2016, Steiner *et al.* 2015 ve Seo *et al.* 2010).

**Çizelge 1.** PPR ve perlit hammaddelerinin kimyasal bileşimi.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	ZrO <sub>2</sub>	TiO	Ateş Zayıtı
PPR	64,63	18,28	0,616	1,613	1,0	4,94	3,4	1,95	0,462	2,94
Perlit	63	0,4	0,25	0,40	0,04	0,08	30	-	0,4	4,83

Porselen parlatma atıkları (PPR) seramik endüstrisinde oluşan atıkların çoğunluğunu oluşturmaktadır. Parlatma atığı çamuru aşınmış seramik yüzeyi ve aşınmış zımpara atıklarından oluşmakla birlikte genel olarak parlatma disklerinden gelen ağırlıkça % 1-5 SiC aşındırıcı ve % 2-6 magnezyum oksiklorit yapıştırıcı empüriteleri içermektedir (Ke *et al.* 2016, Steiner *et al.* 2015 ve Rambaldi *et al.* 2007).

Son zamanlara Avrupa Birliği politikası çok hızlı bir şekilde artan atıkların neden olduğu çevresel problemlere dikkat çekmektedir. Yeni yönergeler atıkların katı atık sahalarında depolanmasına destek vermemektedir. Fakat atık önleme ve geri dönüşüm çalışmalarını desteklemektedir. Bu doğrultuda katı atık sahalarında depolamaya alternatif olarak porselen parlatma atıklarının yeniden dönüşümü sağlanabilir (Rambaldi *et al.* 2007).

Bununla birlikte seramik bünyeler de kullanılan porselen parlatma atıkları, parlatma disklerinden gelen SiC içeriğinden dolayı seramiklerin yoğunlaşmasını engellemektedir. SiC, yüksek sıcaklıklarda (>1000°C) bozunarak, SiO<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> oluşmaktadır. Bu durum, gözenekli bir mikroyapıya neden olmaktadır. Bu nedenle düşük yoğunluklu gözenekli seramik ürünler üretilmek istendiklerinde porselen parlatma atıklarının yeniden dönüşümü sağlanabilir (Ke *et al.* 2016).

Bu çalışmada; seramik endüstrisinin önemli bir sorunu olan porselen parlatma atıklarının ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Üretilmesi hedeflenen malzemenin porozite miktarını arttırmak amacıyla bileşimlere farklı oranlar da perlit katkısı yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metod

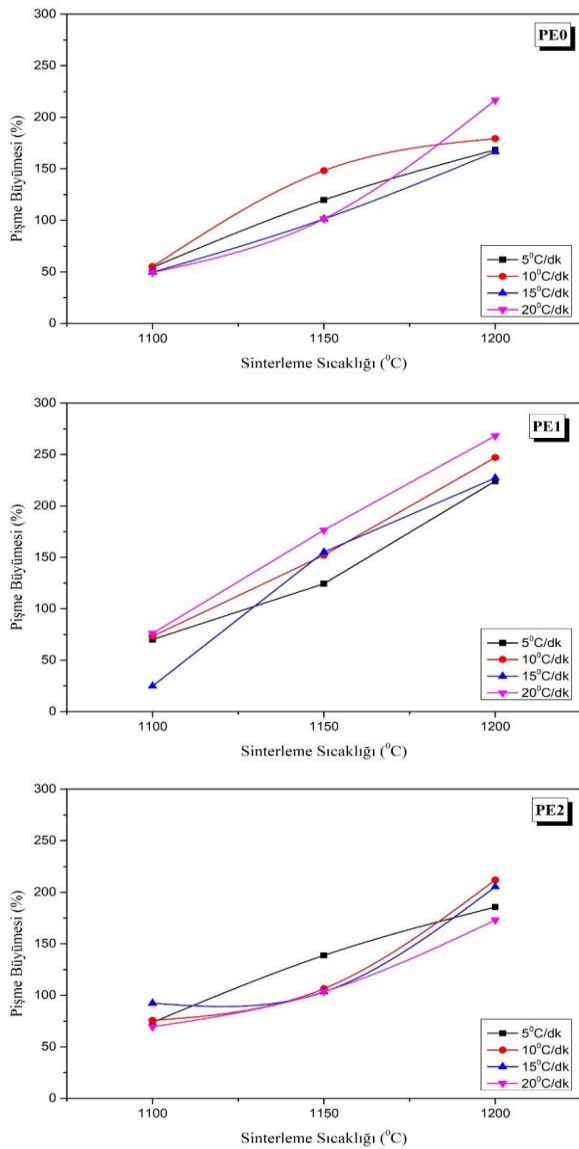
Ana hammadde olan porselen parlatma atığı, (Duratiles, Türkiye) firmasından temin edilmiştir. Porselen parlatma atığının (PPR) ve perlit hammaddesinin kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 2'de ise hazırlanan 3 farklı bileşime ait hammaddelerin ağırlıkça yüzdeleri ve numune kodlamaları verilmiştir. Hazırlanan bileşimler, 3 mm çapındaki zirkonya bilyalar yardımıyla polietilen kaplarda ve su ortamında 2 saat boyunca bilyalı değirmende karıştırılmıştır. Bileşimler, etüvde 100°C'de 48 saat kurutulduktan sonra 60 MPa basınç ile kuru presleme ile şekillendirilmiştir. Daha sonra numuneler, 1100, 1150 ve 1200°C sıcaklıklarda, 5-10-15-20° C/dk dört farklı ısıtma hızıyla 1 saat süre ile sinterlenmiştir. Numunelerde sinterleme sonrası oluşan fazların incelenmesi için Rigaku marka D/MAX-2200/PC model cihazda CuK $\alpha$  radyasyonu kullanılarak X-ışınları kırınımı (XRD) analizi yapılmıştır. Ayrıca, numunelerin kırık yüzeylerinden alınan mikroyapı görüntüleri için Jeol 6060 LV taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Aynı zamanda, numunelerde meydana gelen pişme küçülmesi, bulk yoğunluk ve su emme miktarları, Arşimed metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Üç farklı bileşime ait numunelerin termal difüzyon verileri, oda sıcaklığından 300°C'ye kadar Netsch marka LFA447 modeli cihaz yardımıyla flaş yöntemiyle ölçülmüştür.

**Çizelge 2.** Deneylerde kullanılan bileşimlerin oranları ve numune kodları.

## 3. Bulgular

PE0, PE1 ve PE2 numunelerinde sinterleme sıcaklığına ve ısıtma hızlarına bağlı olarak meydana gelen % pişme büyüme verileri, Şekil 1'de verilmiştir. Artan sinterleme sıcaklığı, perlit miktarı ve ısıtma hızı ile birlikte pişme büyümesi miktarı artmaktadır. PE0 bileşimi için maksimum % 225, PE1 bileşimi için % 279, PE2 bileşimi için % 212 pişme büyümesi meydana gelmiştir. PE0 ve PE1 bileşimi için en yüksek pişme büyümesi 20° C/dk ısıtma hızı ile gerçekleşirken PE2 bileşimlerinde 10° C/dk ısıtma hızında gerçekleşmiştir.

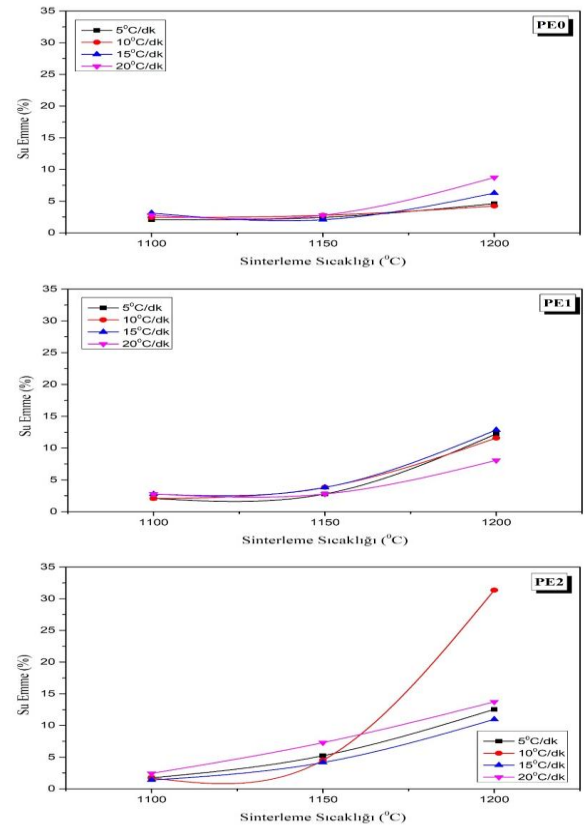


Şekil 1. PE0, PE1 ve PE2 numunelerine ait % pişme büyümesi grafikleri.

Kodlama	% ağırlığı		
	PE0	PE1	PE2
PPR	100	97.5	95
Perlit	0	2,5	5

SiC partiküllerinin dekompozisyona uğrayarak, SiO<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> şeklinde bozunması, numunelerde pişme büyümenin (şişmenin) artmasına ve dolayısıyla yoğunlukların azalmasına neden olmaktadır. PE0, PE1 ve PE2 numunelerinin sinterleme sıcaklığına ve ısıtma hızlarına bağlı % su emme değerlerinin değişimi Şekil 2'de verilmiştir. PE0 bileşimi için maksimum % 8, PE1 bileşimi için % 10, PE2 bileşimi için % 32 su emme meydana gelmiştir. Perlit miktarı ve sinterleme sıcaklığı arttıkça numunelerin yüzeyinde açık porların oluşması ile birlikte su emme miktarlarında artış gözlenmiştir.

Şekil 2. PE0, PE1 ve PE2 numunelerine ait % su emme grafikleri.



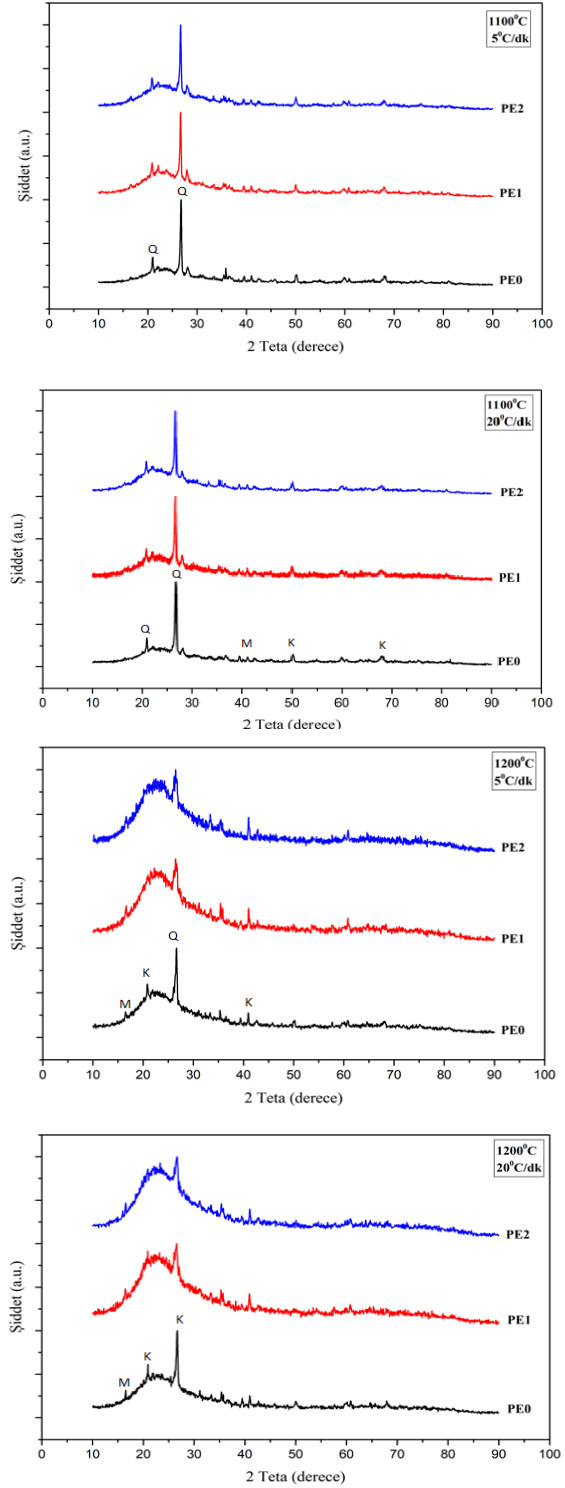
1100°C ve 1200° C'de 1 saat boyunca 5 ve 20° C/dk ısıtma hızı ile sinterlenmiş numunelerin perlit miktarına bağlı XRD

grafikleri, Şekil 3' de görülmektedir. XRD paternlerine göre numunelerde kuvars, kyanit ve müllit fazları tespit edilmekle birlikte camsı fazında olduğu gözlenmiştir. 1100 °C'de sinterlenen numunelerde artan ısıtma hızı ile camsı faz miktarı artmaktadır. 1200 °C'de sinterlenen numunelerde ise ısıtma hızının camsı faz miktarına etkisi önemsenmeyecek kadar az olup, Perlit miktarı arttıkça camsı faz artmıştır.

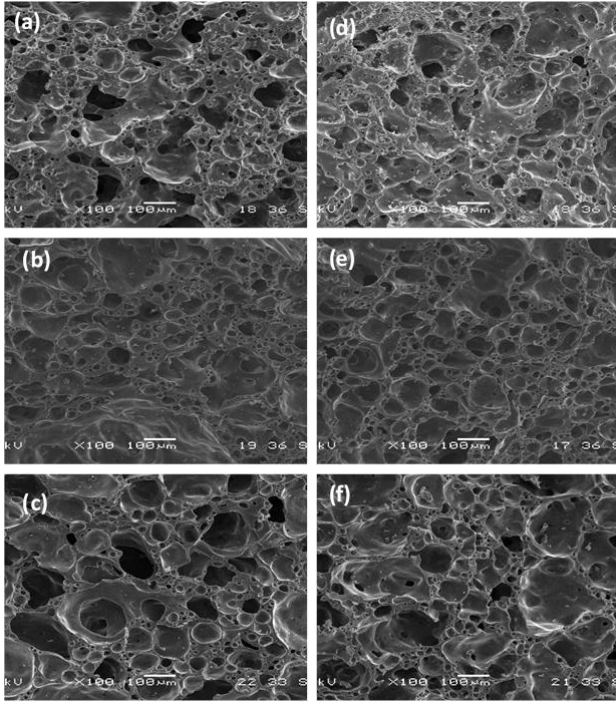
Artan sinterleme sıcaklığı ile birlikte, amorf camsı faz oluşumunun artması ve kuvars fazının camsı faz içerisinde çözülmeye başlaması nedeniyle XRD analiz sonuçlarında kuvars fazı şiddeti artan sıcaklıkla birlikte azalmaktadır.

Şekil 4'de 1100 ve 1200 °C'de 5 ve 20 °C/dk ısıtma hızlarıyla sinterlenmiş PE0, PE1 ve PE2 bileşimlerine ait SEM görüntüleri yer almaktadır. Buna göre, artan sinterleme sıcaklığı ve perlit miktarıyla birlikte por boyutu artarak makro porlar oluşmaktadır. Porlar kapalı ve küresel şekle sahiptir. Porlar 100 mikrometreden büyüktür, ısıtma hızının artışıyla por morfolojisi ve porozite miktarında bir değişim gözlenmemiştir. Artan sinterleme sıcaklığı ile birlikte mikroyapıda oluşan porozitenin nedeni ise porselen parlatma atığı içinde bulunan silisyum karbürün bozunma reaksiyonu yoğunlaşır, sıvı faz oluşumu ve yoğunlaşma hızlanır.

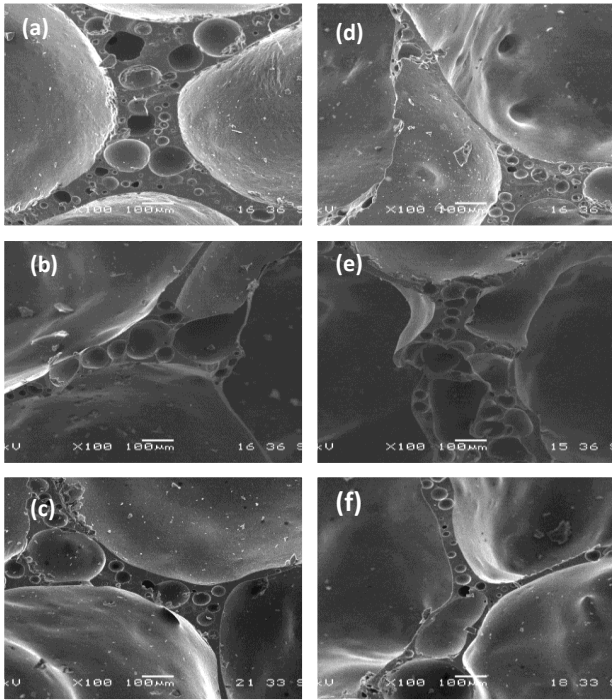
Üretilen CO<sub>2</sub> gazının bozunma reaksiyonu sonucu dışarıya difüzyonu zorlaşır. Silisyum karbür varlığıyla hammaddelerden açığa çıkan gazlar viskoz sıvı faz tarafından hapsedilerek malzemedeki porozite miktarını arttırmaktadır. Bu durum numunelerin SEM fotoğraflarında/mikrograflarında görüldüğü üzere daha fazla ve daha büyük porların oluşmasına neden olmuştur. Bu durum çoklu porozitenin por kabalaşması denilen büyük porları oluşturma eğilimini destelemektedir.



Şekil 3. PE0, PE1, PE2 numunelerine ait XRD grafikleri.

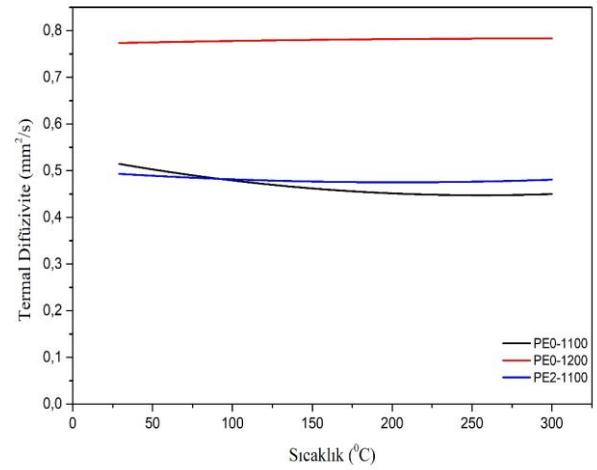


**Şekil 4.** 1100°C'de 5°C/dk ısıtma hızı ile sinterlenen (a); PEO, (b); PE1, (c); PE2 numuneleri ile 20°C/dk ısıtma hızı ile sinterlenen (d); PEO, (e); PE1, (f); PE2 numunelerine ait SEM görüntüleri.



**Şekil 5.** 1200°C 'de 5°C/dk ısıtma hızı ile sinterlenen (a); PEO, (b); PE1, (c); PE2 numuneleri ile 20°C/dk ısıtma hızı ile sinterlenen (d); PEO, (e); PE1, (f); PE2 numunelerine ait SEM görüntüleri.

1100 ve 1200 °C'de sinterlenen PEO ve PE2 bileşimlerine ait oda sıcaklığından 300 °C'ye kadar ölçülen termal difüzyon değerlerinin değişim grafikleri Şekil 6'da gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, 1100 °C'de sinterlenen PEO ile ağ. % 5 perlit içeren PE2 bileşiminin bileşiminde termal difüzyon değerleri, birbirine yakındır. 1200 °C'de sinterlenen PE2 bileşimde ise termal difüzyon değerleri yükselmektedir. Oda sıcaklığında en yüksek ölçülen termal difüzyon değeri, 0.78 mm<sup>2</sup>/s olup 1200 °C'de sinterlenen PE2 bileşimine aittir. En düşük termal difüzyon değeri ise, 1100 °C'de sinterlenen PE2 bileşimine ait olup 0.49 mm<sup>2</sup>/s'dir. Aynı zamanda, artan sıcaklıkla birlikte termal difüzyon değerlerinde kayda değer bir değişim gözlenmemektedir.



**Şekil 6.** PEO ve PE2 bileşimlerine ait termal difüzyon eğrileri.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, önemli bir çevresel sorun haline gelen porselen parlatma atıklarının geri dönüşümünün sağlanarak gözenekli seramik malzemesi üretimi amaçlanmıştır. Buna göre, farklı oranlarda perlit ilavesi yapılan numuneler, farklı sıcaklıklar ve ısıtma hızlarında sinterlenerek meydana gelen değişimler incelenmiştir. Artan sinterleme sıcaklığı ve perlit ilavesi ile camlı faz, porozite miktarı ve termal difüzyon değeri artmaktadır. Ayrıca, artan sinterleme sıcaklığı ve perlit miktarı ile pişme büyümesi ve su emme miktarı artarken, ısıtma hızının etkisi önemsenmeyecek kadar azdır.

## 5. Kaynaklar

García-Tena, J., Saburit, A., Bernardo, E., Colombo, P., 2012. Development of lightweight porcelain stoneware tiles using foaming agents. *Journal of the European Ceramic Society*, **32**, 745-752.

Guo Y., Huang H., Meng X., Liu Y., Tu S., Li, B., 2016. Novel glass ceramic foams materials based on polishing porcelain waste using the carbon ash waste as foaming agent, *Construction and Building Materials*, **125**, 1093-1100.

Ke S., Wang Y., Pan Z., Ning C., Zheng, S. 2016. Recycling of polished tile waste as a main raw material in porcelain tiles. *Journal of Cleaner Production*, **115**, 238-244.

Rambaldi, E., Esposito, L., Tucci, A., Timellini, G., 2007. Recycling of polishing porcelain stoneware residues in ceramic tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, **27**, 3509-3515.

Steiner L.R., Bernardin A.M., Pelisser, F., 2015. Effectiveness of ceramic tile polishing residues as supplementary cementitious materials for cementmortars. *Sustainable Materials and Technologies*, **4**, 30-35.

Seo D.S., Han H.G., Hwang K.H., Lee, J. K., 2010. Recycling of waste porcelain for ceramic ware. *Journal of Ceramic Processing Research*, **11(4)**, 448-452.