

Fosfojips Katkısının Duvar Karosu Opak Sır Fiziksel Özelliklerine Etkisi

The Effect of Phosphogypsum Addition on Physical Properties of Wall Tile Opaque Glaze

Lina İSRAEL İSRAİL^{*a}, Kemal KÖSEOĞLU^b

Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, Seramik Cam ve Çinicilik Programı, 35100, İzmir

• Geliş tarihi / Received: 14.05.2019 • Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 24.10.2019 • Kabul tarihi / Accepted: 28.10.2019

Öz

Bu çalışmada, duvar karosu opak sır (DKOS) reçetesine farklı oranlarda katılan fosfojips (FJ) in pişirme öncesi seramik çamurdaki etkileri viskozite, tiksotropi ve yoğunluk testleri incelenmiştir. Daldırma yöntemiyle hazırlanmış sırlı karolar 950, 1050, 1150°C de ayrı ayrı pişirilmiştir. Çarpmaya, ısıl şoka, kimyasallara dayanım ve renk testlerine tabi tutularak fiziksel özellikleri araştırılmıştır. DKOS1 örneği ile opak sıran akıcılığı artmış ve 1150°C pişirim sonrası tüm mekanik testler olumlu sonuçlanmıştır. FJ in sır reçetesine katılmasının geri dönüştürülmesi açısından uygun bir yöntem olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Fosfojips, Mekanik Testler, Opak Sır, Sinterleşme

Abstract

The effects of addition of phosphogypsum to wall tile opaque glaze recipe are investigated by viscosity, thixtropy and density tests before sintering. Tiles which are prepared by dipping method are sintered seperately at 950°, 1050° and 1150°C and are subjected to impact resistence, thermal shock, resistance to chemicals and color tests for searching physical properties of the tiles. The flow behaviour of opaque glaze increased with DKOS1 sample and all mechanical tests gave positive results after firing at 1150°C. The addition of phosphogypsum is considered as an appropriate method for recycling phosphogypsum.

Keywords: Phosphogypsum, Mechanical Tets, Opaque Glaze, Sintering

^{*a} Lina İSRAEL İSRAİL; lina.israil.01@mail.ege.edu.tr, Tel: (0232) 311 29 39, orcid.org/0000-0002-0560-1839

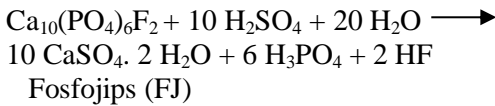
^b orcid.org/0000-0003-1116-9103

1. Giriş

Sırlama, seramik bünyeleri ince, sert cam tabaka ile kaplamadır. Bu cam tabaka vitroz faz, heterojen fazlar veya %80-90 oranında cam matriksten oluşmuş cam-seramik fazları içerir (da Silva vd, 2012). Yüzeyin gözenekliliğini azaltarak bünyeye mekanik mukavemet, elektriksel yalıtıcılık, kimyasal maddelere karşı direnç ve estetik özellikler kazandırır. Çeşitli atıkların reçete içine katılması ve sır üretiminde kullanılması malzemelerin geri dönüşümü için iyi bir seçenektir.

Farklı sanayi dallarının yan ürün ve atık olarak nitelendirdiği çeşitli ürünlerin kullanımı, ekonomiye kazandırılması; doğal ve ithal edilen hammadde tüketiminin, büyük yığınlar halinde depolanan ürün miktarının ve dolayısı ile çevre kirliliği problemlerinin azalmasına yardımcı olur (Sirazhiddinov vd.,1994).

Dünya nüfusunun II. Dünya Savaşından bu yana hızlı artışı sonucu, gübre kullanımı açlık ve kıtlığa karşı mücadelede kısmi bir sonuç olmuştur. Gübre hammaddelerinden biri olan fosfatın fosfat kayalarından elde edilmesi ve fosforik asit üretimi için kullanılması oldukça önemlidir (URL 1, 2007). Fosfat kayaçları ile sülfürik asidin tepkimesi sonucu fosforik asit ve fosfat gübreleri yanında, alçıtaşı ile aynı kimyasal yapıya sahip FJ yan ürün olarak oluşur (Reaksiyon 1) (Gennari R.F. vd., 2011)



ve P₂O₅, florür iyonları ve organik maddeler gibi safsızlıklar içerir (Smadi vd., 1999; Jonker ve Potgieter, 2005). Yaş yöntem olarak adlandırılan bu üretim şeklinde (Reaksiyon 1) fosforik asit ve FJ süzülerek birbirinden ayrılır (Demirel ve Çağlar, 2015). Devlet Planlama Teşkilatının 2001 yılı Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporuna göre Türkiye’de her yıl yaklaşık 3 milyon ton atık FJ açığa çıkmakta (URL 2, 2007) ve fabrikalarda açıkta depolanmaktadır (Demirel ve Çağlar, 2015). Bu rakam dünya genelinde 280 milyon tondur (Zhou vd., 2016). Üretimi ile hava ve deniz kirliliğine neden olan, depolanması ile kara kirliliğine de sebebiyet veren FJ için uygun depolama alanlarının oluşturulması üretim maliyetini de artırır (Demirel ve Çağlar, 2015). Uygun yöntemlerle bu kirliliğin azaltılması çalışmaları yapılmalı ve geri kazanım yolları araştırılmalıdır.

FJ inşaat ve yapı malzemeleri sektöründe alçı panel yapımında (Garg vd, 2011; Zhou vd., 2016), pişirilmemiş tuğla (Değirmenci 2008; Zhou vd., 2012, 2016), sıva (Singh, 2002) yapımında kullanılması ve özellikle Portland çimentosu için donmayı geciktirici olarak doğal alçıtaşı yerine kullanılması önerilmiştir. (Akın ve Sert, 2004; El-Didamony vd, 2013; Zhou vd., 2016). Tarımda toprağın pH ve kalsiyum miktarını ayarlayıcı olarak (Değirmenci vd, 2007; Zhou vd., 2016), kimya sektöründe çimento üretimi için kullanımı araştırılmıştır (Garg vd, 2011; Zhou vd., 2016). Seramik sektöründe bağlayıcı olarak fosfat çimentosunda ve doymamış polimer reçinesi şeklinde kullanımı önerilmiştir (Formosa vd, 2012; Li vd.,2013; Wang vd, 2013; Zhou vd., 2016).

Bu çalışmanın amacı kimyasal atık olan FJ in, duvar karosu opak sıra (DKOS) katılması ile hazırlanan duvar karolarının fiziksel ve mekanik dayanıklılığını farklı pişirme sıcaklıklarında standartlara uygun olarak araştırmaktır. Özellikle FJ in sır üretiminde hiç kullanılmamış olması önemlidir.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1 Sırlı Duvar Karolarının Hazırlanması

DKOS, Ege Seramik Fabrikasından (Polat Holding A.Ş, İzmir), FJ ise Toros Tarım Sanayi ve Ticaret Anonim şirketinden temin edilmiştir. Tablo 1 ve Tablo 2’de sırasıyla DKOS kimyasal bileşimi ve Seger formülü, Tablo 3’de ise FJ kimyasal bileşimi verilmiştir.

Öğütülmüş ve etüvde kurutulmuş DKOS, numune kabına yerleştirildikten 10°C/dk ısıtma hızı ile 400-1200°C sıcaklık aralığında çalışan ısı mikroskobunda (Misura 3.32) ısıl davranışı incelenmiştir (Şekil 1). Sır 876°C de sinterleşmiş, 1200°C den sonra akış gerçekleşmiştir.

Ağırlıkça 1, 2.5, 5, 7.5 10, 15 yüzde bileşimlerinde DKOS na ayrı ayrı katılan FJ örnekleri (Tablo 4) manyetik karıştırıcıda (Chiltern) 1 saat karıştırılarak homojen süspansiyonlar elde edilmiştir. 5 cm x 5 cm x 0.5 cm ebatlarında kesilmiş duvar karoları 105°C de etüvde (Heraus) 2 saat kurutulup oda sıcaklığına soğutulmuştur. Süspansiyonlar karolara daldırma yöntemi ile uygulanmıştır. Etüvde 2 saat bekletilen numuneler 25°C/ dk ısıtma hızı ile üç farklı pişirme sıcaklığında (950, 1050, 1150 °C) 2 saat pişirilmiştir (Protherm).

Tablo 1. DKOS kimyasal bileşimi

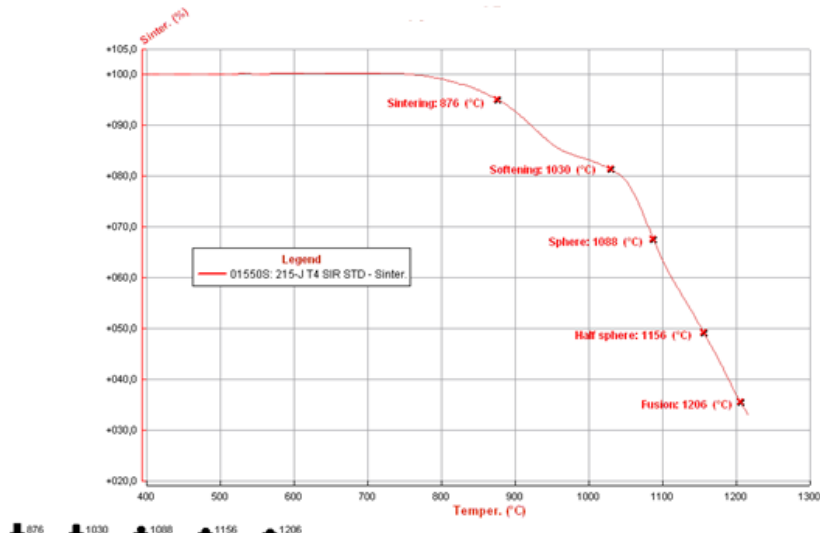
Oksit adı	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	ZnO	BaO
%	58.21	11.26	11.35	1.11	5.76	2.84	8.42	1.05

Tablo 2. DKOS Seger formülü

0.2 Na ₂ O								
0.07 K ₂ O								
0.22 ZnO								
0.02 BaO								
0.42 CaO								
0.07 MgO								
		0.24 Al ₂ O ₃						2.11 SiO ₂

Tablo 3. FJ kimyasal bileşimi

Hammadde adı	KK	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	P ₂ O ₅
FJ (Eritme-%)	19.98	1.54	1.23	0.04	44.13	31.95	1.1
FJ (Katı pres-%)	-	1.22	0.43	0.02	34.25	63.08	1

**Şekil 1.** DKOS erime davranışı**Tablo 4.** FJ katkılı DKOS örneklerinin deneysel gösterimi

FJ bileşimi (%)	Gösterim şekli
0	DKOS
1	DKOS 1
2.5	DKOS 2.5
5	DKOS 5
7.5	DKOS7.5
10	DKOS10
15	DKOS15

Pişme öncesi Tablo 4’de verilen süspansiyon örneklerinin viskozite, tiksotropi ve yoğunluk testleri, yapılmıştır. Bu süspansiyonların karolara uygulanıp pişirilmelerinden sonra ise çarpmaya direnç testi, ısı şokuna dayanım testi, kimyasallara karşı dayanıklılık testi ve renk testleri ilgili standartlara uygun şekilde yapılmıştır.

2.2 Viskozite ve Tiksotropi Testleri

Şekil 2’de viskozite ve tiksotropi denemelerinde kullanılan, alt delik çapı 4 mm olan ford cup gösterilmektedir. DIN 53211 standardına gereği ortalama akış süreleri (t_1) ford cup ile belirlenen süspansiyonların kinematik viskoziteleri dönüşüm tabloları (URL 3) kullanılarak hesaplanmıştır.

**Şekil 2.** Viskozite ve tiksotropi denemelerinde kullanılan ford cup

Zamana bağlı olarak akıcılık değişimi olarak tanımlanan tiksotropi denemelerinde her örneğin akış süresine, fordcup içinde 10 dakika bekletildikten sonra bakılır (t_2).

$$\% \text{ Tiksotropi} = \frac{t_2 - t_1}{t_2} \times 100 \quad (1)$$

formülü ile hesaplanır.

2.3 YığınYoğunluğu Testi

Yoğunluk tayini TS EN ISO 10545-3 standardına göre yapılmıştır. 20°C de saf su ile net hacmi tayin edilen 25 mL lik piknometrelerin içersine dökülen süspansiyonların tartımı alınır ve süspansiyon kütlesi hesaplanır. Bu değer piknometre hacmine bölünerek yığın yoğunluğu değeri bulunur.

2.4 Çarpmaya Direnç Testi

TSE EN ISO 10545-5 standardı gereği 5 cm x 5 cm x 0.5 cm ebatlarındaki karoların üzerine 50 cm yükseklikten bırakılan çelik topun (50 ± 2 g) zemin üzerinde çatlak oluşumuna sebebiyet verip vermediği kontrol edilir.

2.5 Isıl Şok Dayanım Testi

Karolar etüvde (Heraus) 120°C de 20 dakika bekletilir. Sürenin sonunda sıcaklığı 20°C olan su dolu kaba yerleştirilir. 10 dakika bekletilir. Kaptan alınan karolar kuru temiz bir bez yardımı ile silindikten sonra zemin üzerinde çatlak oluşumu kontrol edilir. Aynı işlem 150°, 160°C, 180° ve 200°C için tekrarlanır (TS EN ISO 10545-9). 200°C de çatlamayan karoların sürekli kullanılabilceği Tablo 5'den görülmektedir.

2.6 Kimyasallara Dayanıklılık Testi

Pişmiş karoların asit ve alkalilere dayanıklılık testi TS EN ISO 10545-13 standardına uygun yapılmıştır. Yüzeyleri alkol ile temizlenen karolar içinde 250 mL hacimce %18 HCl çözeltisi içeren ve hacimce %10 KOH içeren kaplara ayrı ayrı yerleştirilir. Kaplar oda sıcaklığında dört gün bekletilir. Sürenin bitiminde çıkarılan karoların yüzeyleri su ile yıkanır ve alkolle ile temizlenir. Karoların yüzeyinde matlaşma olup olmadığı kontrol edilir.

Tablo 5. Sırlı numunelerde sıcaklık ve çatlağa karşı dayanma süresi arasındaki ilişki (Parmelee, 1987 Yalçın ve Sevinç, 2000).

Sıcaklık (°C)	120	150	160	180	200
Kullanım süresi	8 gün	3-4 ay	15 ay	2-3 yıl	Sürekli

2.7 Renk Test

Opaklık derecesi Euromeccanica X-rite trikromatik renk ölçüm cihazı kullanarak TS EN ISO 10545-16 standardı ile uyumlu olarak gerçekleştirilmiştir. Opaklık derecesi L değeriyle, yeşil-kırmızı renk aralığı a değeriyle, mavi-sarı renk aralığı b değeriyle verilmektedir. Standart ve numuneler arasındaki renk farkı, ΔE , uluslararası renk ölçüm sistemine göre (CIELAB sistemi) hesaplanmıştır.

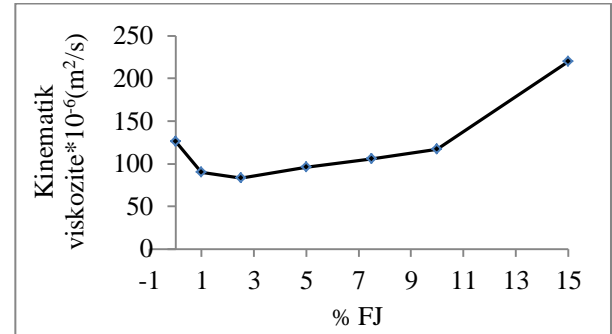
$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2} \quad (2)$$

1 ve 2 indisleri sırasıyla numune ve standardı temsil etmektedir (URL 5).

3 Bulgular

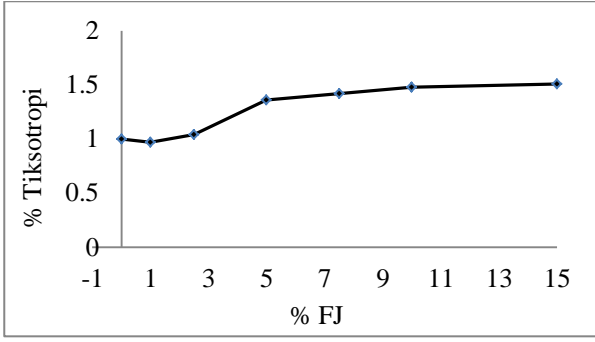
3.1 Viskozite ve Tiksotropi Testleri

Şekil 3 FJ katkılı DKOS örneklerinin kinematik viskozitelerini göstermektedir.



Şekil 3. FJ katkısı ile DKOS'ın kinematik viskozite değişimi

Standart DKOS'ın akış süresi 15 s dir. Bu süre DKOS1 örneği ile 12 saniyeye düşmüş, akıcılık artmıştır. Bu noktadan sonra FJ katkı oranının artmasıyla akış süresi de yavaş yavaş artmış ve DKOS15 numunesinin akış süresi 20 saniyenin üzerine çıkmıştır. Yer yer oluşan floklaşmalar durumu olumsuz kılmış, akışı zorlaştırmıştır. Tiksotropi değerlerinin artan FJ derişimleri ile değişimi Şekil 4'de verilmiştir. Standart DKOS'ın tiksotropi yüzdesi 1 dir. Bu değer, DKOS1 örneğinde %0.97 değerine düşmüş ardından kademeli olarak artmış ve DKOS15 sırlı örneğinde % 1.7 değerine çıkmıştır. Akışın bu noktada zorlaştığı yüksek tiksotropi değerinden de anlaşılmaktadır. Sadece ağırlıkça yüzde 1 FJ katkısı çamuru daha akışkan hale getirmiştir.

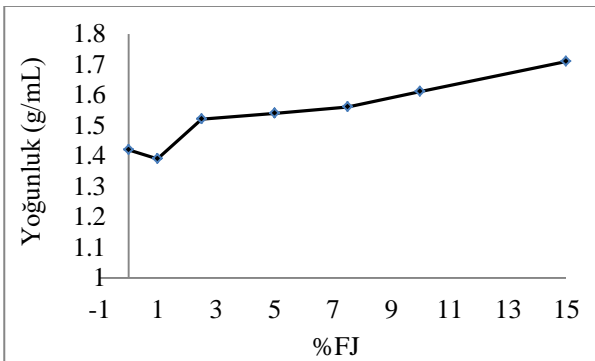


Şekil 4. FJ katkısı ile DKOS'ın tiksotropi değişimi

FJ ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) in sinterleşmesinde açığa çıkan CaO iyi bilinen eritici toprak alkali oksittir. Eriticilerin aşırı kullanılması sır yapısında bağ yapmamış oksijenlerin sayısını arttırarak yapıyı zayıflatır. Bu durum özellikle sırın cam özelliklerini olumsuz etkiler (Mejia, 2004). Erimiş sır yapısında oluşan kalsiyum silikatın sınırlı çözünürlüğü olduğu için yapıda kristalleşmeler olur. Böyle bir olumsuzluk akıcılığa engeldir. CaO miktarının giderek artmasıyla akışın zorlaştığı Şekil 3 ve Şekil 4'den açıkça görülmektedir.

3.2 Yoğunluk Tayini

Daldırma sırlarında yoğunluk 1.5 g/mL ile 1.7 g/mL arasındadır (URL 6). Standart DKOS'ın yoğunluğu 1.42 g/mL dir. DKOS1 örneğinin yoğunluğu 1.39 g/mL değerine düşmüştür. Akıcılığın artması yoğunluk değerini de düşürmüştür. Bu noktadan sonra, artan FJ miktarı yoğunluğu da arttırmıştır. DKOS15 çamurunun yoğunluğu 1.7 g/mL olarak ölçülmüştür. Sır kalınlığı artmıştır (Şekil 5).

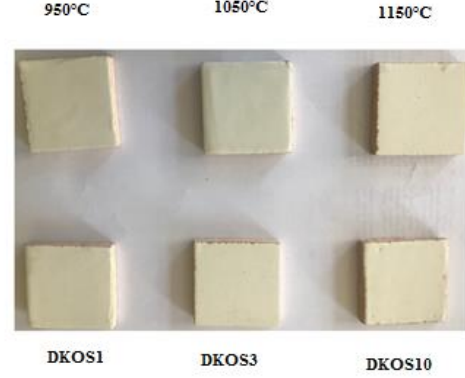


Şekil 5. FJ katkısı ile DKOS'ın yoğunluk değişimi

3.3 Çarpmaya Dayanıklılık Testi

TS EN ISO 10545-5 standardına uygun olarak yapılan bu test sonucu pişirilmiş numunelerde

çarpma sonrası kırılma olmamıştır. Bu durum CaO katkısının sırın mekanik mukavemetini ve gerilme gücünü artırma özelliği ile açıklanabilir (Lin ve Luo, 2005). Ayrıca 950°C'de pişirilen DKOS1 ve DKOS3 numunelerinde küçük çatlaklar gözlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Çarpmaya dayanıklılık testi uygulanmış bazı karo örnekleri

3.4 Isıl Şoka Dayanım Testi

Sırın genleşme katsayısı, bünyeninkinden fazla olması durumunda sır tabakasının zayıf çekme geriliminden dolayı sır yüzeyinde çatlak oluşumuna sebebiyet verir (Parmelee, 1987; Yalçın ve Sevinç, 2000). Sır yüzeyinin termal genleşme katsayısını düşürmek için belli sınırlar aralığında bünyenin SiO_2 yüzdesi arttırılır, eritici oksit yüzdesi düşürülür (Singer ve Singer, 1979).

950°C de pişirilen DKOS1 ve DKOS3 örnekleri 150°C'de, DKOS5 ve DKOS7.5 örnekleri 180°C de çatlamıştır. DKOS10 ve DKOS15 örneklerinde çatlama olmamıştır. 1050°C de pişirilen örneklerden sadece DKOS1 ve DKOS3 170°C de çatlamıştır. Diğer örneklerde çatlama olmamıştır. 1150°C de hiçbir örnek çatlamamıştır.

3.5 Kimyasallara Dayanım Testi

BaO, CaO veya MgO gibi toprak alkali oksitlerin sır içinde varlığı, sırası asit ve/veya alkali çözeltilere karşı daha az dirençli olmasına (Muller ve Zamek, 2011) ve matlaşmaya sebebiyet verir. Bu duruma CaO katkılı tüm pişmiş örneklerde rastlanmıştır.

3.6 Renk Testi

Tablo 6 standart ve FJ içeren DKOS örneklerinin trikromatik renk değerlerini göstermektedir. ΔE , renk farkı değerlerinin 1 den küçük olması standart ve örneklerin uyumlu olduğunu göstermektedir.

Tablo 6. DKOS ve FJ katkılı örneklerin farklı pişirme sıcaklıklarındaki trikromatik renk değerleri

T(°C)	950									
	DKOS	L	a	b	ΔL^2	Δa^2	Δb^2	Σ	$\Delta\Sigma$	
0		92.57	1.43	5.38						
1		91.88	2.08	5.69	0.48	0.42	0.1	0.99	0.50	
2.5		91.75	2.2	5.8	0.67	0.59	0.18	1.44	0.72	
5		92.78	0.73	5.01	0.04	0.49	0.14	0.67	0.34	
7.5		92.14	0.76	4.96	0.19	0.45	0.18	0.81	0.41	
10		92.36	0.75	5.37	0.04	0.46	0	0.51	0.25	
15		92.48	2.08	5.46	0.01	0.42	0.01	0.44	0.22	
		1050								
0		92.00	1.77	7.23						
1		91.70	2.16	7.99	0.1	0.15	0.58	0.83	0.42	
2.5		91.40	2.41	8.29	0.42	0.41	1.12	1.96	0.98	
5		91.20	2.43	7.26	0.64	0.44	0	1.08	0.54	
7.5		92.30	1.17	7.46	0.07	0.36	0.05	0.48	0.24	
10		92.10	1.14	7.45	0	0.4	0.05	0.45	0.22	
15		91.40	2.32	7.93	0.34	0.3	0.49	1.13	0.56	
		1150								
0		92.88	0.58	8.50						
1		92.65	0.2	8.12	0.05	0.14	0.14	0.34	0.17	
2.5		93.76	1.56	8.84	0.77	0.96	0.12	1.85	0.93	
5		92.04	0.26	8.58	0.71	0.10	0.85	1.65	0.83	
7.5		92.65	-0.17	8.16	0.05	0.56	0.12	0.73	0.37	
10		92.48	-0.19	8.56	0.16	0.59	0.88	1.64	0.82	
15		92.7	-0.14	8.76	0.03	0.52	0.55	1.10	0.55	

L değeri (opaklık, beyazlık) pişme sıcaklığının artışı ile değişmezken, b değeri artmıştır. Bu durum karolarda sarı tonunun daha belirginleştiğini göstermektedir. a değerlerinin 1150°C de negatif değerlere düşmüş olması açık yeşil rengi ifade eder.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada opak sıra ilave edilen FJ in ağırlıkça %1 oranında reçetede yer alması sırtın viskozite ve tiksotropi değerlerini düşürmüş ve sıra akıcılık kazandırmıştır. 1150°C de pişirim sonrası yapılan mekanik testler sonucu tüm katkılı karolarda kırılma ve çatlama olmazken, opasite korunmuş ancak yüzeyde matlaşma görülmüştür. Yapılan testler sonucunda ağırlıkça %1 FJ katkılı pişmiş sırlı duvar karosu numunesinin standart değere uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

Akın, I.A. ve Sert, Y., 2004. Utilization weathered phosphogypsum as set retarder in portland cement. *Journal of Cement and Concrete Resolution*. 34(4), 677-680.

Da Cunha, T.B., Wu, J.P., Peitl, O., Fokin, V.M., Zanotto E.D., Lanucci L. ve Boccaccini A.R. 2007. Mechanical properties and impact resistance of a new transparent glass-ceramic. *Advanced Engineering Materials*, 9(3), 191-196.

Da Silva, R.C., Pianaro, S.A. ve Tebcherani, S.M., 2012. Preparation and characterization of glazes from combinations of different industrial wastes. *Ceramics*, 38, 2725-2731.

Değirmenci, N., 2008. Utilization of phosphogypsum as raw and calcined material in manufacturing of building products. *Construction of Building Materials*, 22(8) 1857-1862.

Değirmenci, N., Okucu, A. ve Turabi, A., 2007. Application of phosphogypsum in soil stabilization. *Journal of Building and Environment*, 42(9), 3393-3398.

Demirel, Y. ve Çağlar, Y., 2015. Atık fosfojiplerin yapı malzemesi olarak ekonomiye geri kazandırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(4), 743-750.

DIN 53211. 1987. Paints, varnishes and similar coating materials. Determination of flow time using the flow cup, 1-6.

- El-Didamony, H., Gado, H.S., Awwad, N.S., Fauzy M.M. ve Attallah M.F., 2013. Treatment of phosphogypsum waste produced from phosphate ore processing. *Journal of Hazardous Materials*, 244-245, 596-602.
- Ezz-Eldin, F.M. ve Nageeb, W.M., 2001. Chemical resistance of some irradiated ceramic glasses. *Indian Journal of Pure and Applied Physics*, 39, 514-524.
- Flinders, M., Ray D., Anderson, A. ve Cutler, R.A., 2005. High toughness silicon carbide as armor. *Journal of American Ceramic Society*, 88(8), 2217-2226.
- Formosa, J., Chimenos, J.M., Lacasta, A.M. ve Niubo M., 2012. Interaction between low-grade magnesium oxide and boric acid in chemically bonded phosphate ceramics formulation. *Ceramics International*, 38(3), 2483-2493.
- Garg, M., Minocha, A.K. ve Jain, N., 2011. Environmental hazard mitigation of waste gypsum and chalks: use in construction materials. *Construction of Building Materials*, 25(2) 944-949.
- Gennari, R., Garcia, I., Medina, N.H. ve Silveira, M.A.G., 2011. Phosphogypsum Analysis: Total Content and Extractable Element Concentrations, October 2011, Belo Horizonte, Brasil.
- Jonker, A. ve Potgieter, J.H., 2005. An evaluation of selected waste resources for utilization in ceramic materials applications. *Journal of European Ceramic Society*, 25, 3145-3149.
- Li, Y. ve Chen, B., 2013. Factors that affect the properties of magnesium phosphate cement. *Journal of Cement and Construction Building Materials*, 47(7), 977-983.
- Lin, D.F., Lou, H.L. ve Sheen, Y.N. 2005. Glazed tiles manufactured from incinerated sewage ash and clay. *Journal of Air and Waste Management Association*, 55, 163-172.
- Mc Quillan, F., 1995. The Response of Silceram Glass-Ceramics to Projectile Impact, PhD thesis, Imperial Collage of London.
- Mejia, J.F., 2004. Understanding the Role of Fluxes in Single-fire Porcelain Glaze Development, MSc Thesis, Alfred University, NY.
- Muller, K. ve Zamek, J., 2011. *The Potter's Complete Studio Handbook: The Essential Start to Finish Guide for Ceramic Artists*, Quarry Books, Beverly Massachusetts.
- Parmelee, C.W., 1987. *Ceramic Glazes*. Cahnners Books Division of Cahnners Publishing Company, New York.
- Singer, F. ve Singer, S.S., 1979. *Industrial Ceramics*, Chapman and Hall. London.
- Singh, M., 2002. Treating waste phosphogypsum for cement and plaster manufacture. *Journal of Cement and Concrete Resolution*, 32(7), 1033-1038.
- Sirazhiddinov, N.A., Irkakhodzhaeva, A.P. ve Azizkhodzhaeva M.M., 1994. Use of phosphogypsum and floatation wastes from copper concentration for fabrication of glass and glass ceramics. *Glass and Ceramics*, 51, 102-104.
- Smadi, M.M., Haddad, R.H. ve Akour, A.M., 1999. Potential use of phosphogypsum in concrete. *Cement and Concrete Research*, 9, 1419-1425.
- TS EN ISO 10545-13, 2017. *Ceramic Tiles-Part 13: Determination of chemical resistance*, 1-20.
- TS EN ISO 10545-16: 2000. *Ceramic Tiles-Part 16: Determination of small colour differences*, 1-13.
- TS EN ISO 10545-3, 2018. *Ceramic Tiles-Part 3: Determination of water absorption, apparent relative density and bulk density*, 1-8.
- TS EN ISO 10545-5, 2000. *Ceramic Tiles-Part 5: Determination of impact resistance by measuring the coefficient of restitution*, 1-11.
- TS EN ISO 10545-9, 2000. *Ceramic Tiles-Part 11: Determination of resistance to thermal shock.*, 1-7.
- Uhlmann, D.R. ve Keidl, N.J., 1983. *Glass Science and Technology Vol:1*, New York.
- URL-1, <https://www.fipr.statefl.us/publication/phosphogypsum-proceedings-of-the-international-symposium-on-phosphogypsum.2007>
- URL-2, <https://www.kalkinma.gov.tr/docobjects/download/3570/oik690.pdf>
- URL-3, https://gardco.com/pages/viscosity/vi/din_cups.cfm
- URL-4, <https://www.hunterlab.com/appnotes/an0896a.pdf>
- URL-5, <https://www.spectrumglazes.com/viscpg.html> (accessed 08.06.2018)
- Wang, A.J., Yuan, Z.L., Zhang, J., Liu, L.T., Li, J.M. ve Liu, Z., 2013. Effect of raw material ratios on the compressive strength of magnesium potassium phosphate chemically bonded ceramic. *Materials Science and Engineering C: Materials for Biological Applications*, 38(8), 5058-5063.

Yalçın, N. ve Sevinç, V., 2000. Utilization of bauxite waste in ceramic glazes. *Ceramics International*, 26, 485-493.

Zhou, J., Gao, H., Shu, Z. Wang, Y.X. ve Yan, C., 2012. Utilization of waste phosphogypsum to prepare non-fired bricks by a novel hydration-

recrystallization process. *Journal of Construction and Building Materials*, 34, 114-119.

Zhou, J., Sheng, Z., Li T., Shu, Z., Chen, Y. ve Wang C., 2016. Preparation of hardened tiles from waste phosphogypsum by new intermittent pressing hydration. *Ceramics International*, 42, 7237-7245.