



Perlit Kullanımının Seramik Duvar Karosu Teknik Özelliklerine Etkisi

Effect of Usage of Perlite on Technical Properties of Ceramic Wall Tile

Müge TARHAN^{*1}, Baran TARHAN¹

¹ Uşak Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, Ankara İzmir Yolu 8. km Bir Eylül Kampüsü, Uşak, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 11/12/2017

Kabul/Accepted: 07/01/2018

Son Versiyon/Final Version: 29/01/2018

Öz

Yapılan çalışmada perlitin duvar karosu teknik özellikleri üzerine etkileri ve duvar karosu bünyesinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla standart duvar karosu bünye kompozisyonunda % 2, 4, 6 oranlarında pegmatit yerine perlit ilave edilerek bünye reçeteleri hazırlanmıştır. Hazırlanan bünyeler 1135°C'de 35 dak. endüstriyel şartlarda pişirilmiştir. Geliştirilen bünyelerin pişme küçülmesi, su emmesi ve renk değerleri (L*, a*, b*) ölçülmüştür. Bünyelerin ısı genleşme katsayısı ve nem genleşme değerleri dilatometre cihazı ile, sinterleme davranışları çift kameralı temassız optik dilatometre ile incelenmiştir. Pişmiş bünyelerin faz analizleri XRD ile belirlenmiştir. Ayrıca, taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile mikroyapıları da incelenmiştir. Sonuç olarak, perlitin duvar karosu bünyelerinde kullanımının teknik özellikleri olumsuz yönde etkilemeden mümkün olabileceği ortaya konmuştur. Ancak perlit ilavesi ile birlikte bünyenin nem genleşme değerinin artma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle perlitin duvar karosu bünyesinde pegmatit yerine % 6 oranına kadar kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

“perlit, duvar karosu, nem genleşmesi”

Abstract

In the study, the usability and the effect of perlite on wall tile technical properties were investigated. For this purpose, 2%, 4% and 6% perlite were added to the standard wall tile body composition instead of pegmatite. The representative bodies are fired under industrial fast firing cycle at 1135°C - 35 min. Firing shrinkage, water absorption and colour values (L*, a*, b*) of the bodies were measured. Thermal expansion coefficient and moisture expansion values of the bodies were determined by dilatometer and the sintering behaviors were evaluated using a double beam non-contact optical dilatometer (ODHT). The phase analyses of the fired bodies were achieved using XRD. Microstructural studies were also carried out by SEM. As a result, it has been shown that it's possible to use perlite instead of pegmatite in wall tile bodies without adversely affecting the technical properties. But, it has been found that the moisture expansion value tends to increase with the addition of perlite. For this reason, perlite can be used up to 6 % ratio in wall tile bodies instead of pegmatite.

Key Words

“perlite, wall tile, moisture expansion”

1. GİRİŞ

Seramik duvar karoları diğer kaplama malzemelerine göre yüksek poroziteye ve su emmeye sahip kaplama malzemeleri olarak karakterize edilirler. % 10'un üzerinde su emmeye sahip olan duvar karoları; tek veya çift pişirim yöntemi ile 1100-1150°C sıcaklık aralığında 35-45 dk. lık pişirim sürelerinde üretilmektedir (Amoros vd. (1993), Amoros vd. (2010), Tarhan vd. (2016)) . Seramik duvar karosu bünyeleri kil-kaolen, kalsit ve kuvars hammaddelerinin belirli oranlarda karışımı ile hazırlanmaktadır. Duvar karosu bünyesinde kullanılan kil ve kaolen bünyeye plastiklik sağlarken, CaO kaynağı olarak %10-15 civarında kullanılan kalsit ise kil ve kaolenin dekompozisyonu sonucu oluşan alümina-silikat ile reaksiyona girerek anortit ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) oluşturmaktadır. Kompozisyonda feldispat gibi ergiticiler oldukça az miktarda kullanıldığından pişirim esnasında sinterleşme gerçekleşmez ve duvar karosu karbonatların dekompozisyonu ile bünyede %30'un üzerinde porozite içeren ve dolayısıyla % 10 üzerinde su emme değeri olan bir yapıda oluşmaktadır (Swapan vd. (2005), Escardino vd. (2010)). Oluşan poroz yapıdan dolayı, duvar karosu ürünlerde dikkat edilmesi gereken en önemli teknik özellik nem genleşmesi değeridir. Nem genleşmesinin duvar karolarında ebatların büyümesi ile alakalı olarak % 0,03'ü aşması durumunda sırda oluşan çekme gerilmelerinden dolayı sır çatlamalarını önlemek için sır basma gerilmesi bünye gerilme değerinin altında olacak şekilde üretim yapılmaktadır. Seramik duvar karoları reaksiyona girmemiş CaO, alkali oksitler, demir oksit, titan oksit gibi hammaddelerin oluşturduğu amorf camsı faz ve/veya reaksiyona girmeden kalan amorf aluminasilikattan dolayı nem genleşmesi gösterebilmektedirler. Bu nedenle de bünye kompozisyonlarında feldispat, nefelin gibi ergiticiler oldukça düşük miktarlarda kullanılmaktadır (Almeida vd. (1997), Plesingerova vd. (2002), Zvezdin ve Kir'yanov (2006), Vasic ve Vasic (2011), Tarhan vd. (2016)) .

Perlit minerolojik karakteri bakımından % 90-97'si cam, % 3-10'u feldispat ve biyotit gibi kristalleşmiş mineraller içeren volkanik kayadır. Dünyadaki 6 milyar tonluk perlit rezervinin 4 milyar tonu ülkemizde bulunmaktadır. Günümüzde perlit geliştirilerek inşaat, metalürji, tarım ve filtre endüstrisinde kullanılmakta ve bir kısmı da ihraç edilmektedir. Rezervlerin çok büyük bir kısmı ise değerlendirilememektedir (Taşpınar (1997), Şencan (2010)).

Bu çalışmada Biga yöresinde bulunan perlitin tek pişirim duvar karosu üretiminde kullanılabilirliği ve bünye teknik özellikleri üzerine olan etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda duvar karosu bünye kompozisyonunda bulunan pegmatit yerine farklı oranlarda perlit ilave edilerek bünyenin fiziksel, optik ve minerolojik özellikleri üzerine olan etkileri araştırılmıştır.

1. MATERYAL VE YÖNTEM

1.1. Kullanılan Hammaddeler

Çalışmada kullanılan perlit Biga-Çanakkale yöresinden, killer İstanbul bölgesinden, kaolen, pegmatit ve granitik kayaç Çan-Çanakkale bölgesinden, kalsit Yenice-Çanakkale bölgesinden temin edilmiştir. Hammaddelere ait oksit bileşimleri Çizelge 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Hammaddelerin XRF ile tayin edilmiş kimyasal bileşimleri (% ağı.)

Hammaddeler	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	A.Z.
Kalsit	0,7	0,31	0,04	0,01	54,5	1,06	0,06	0,06	43,12
Kil A	63,4	20,71	2,89	1,19	1,16	0,66	0,21	2,14	7,47
Kil B	57,86	23,97	4,25	1,05	0,68	1,04	0,19	2,09	8,72
Kaolen A	65,41	19,27	4,48	1,12	0,14	0,29	0,27	2,31	6,36
Kaolen B	51,25	30,82	3,18	0,69	0,65	0,49	0,09	0,76	11,85
Pegmatit	70,35	16,73	1,69	0,32	0,42	0,07	2,57	5,1	2,65
Granitik Kayaç	78,5	12,57	0,19	0,37	0,51	0,07	2,42	4,96	0,49
Pişmiş Kırık	62,74	19,38	2,47	0,9	8,63	1,32	0,68	2,58	0,29
Perlit	72,51	13,76	1,28	0,33	1,04	0,38	2,28	5,37	2,70

1.2. Bünye Geliştirme Çalışmaları

Standart duvar karosu bünyesi, kalsit, 2 çeşit kil, 3 çeşit kaolen, pegmatit, granitik kayaç ve duvar karosu pişmiş kırıkta oluşmaktadır ve hammadde içeriği Çizelge 2'de verilmiştir. Çalışmada, Biga-Çanakkale bölgesinden temin edilen perlit, pegmatit yerine % 2, 4, 6 oranlarında kullanılarak bünye reçeteleri hazırlanmış ve perlit ilave oranlarına bağlı olarak sırasıyla MP2, MP4 ve MP6 olarak adlandırılmıştır.

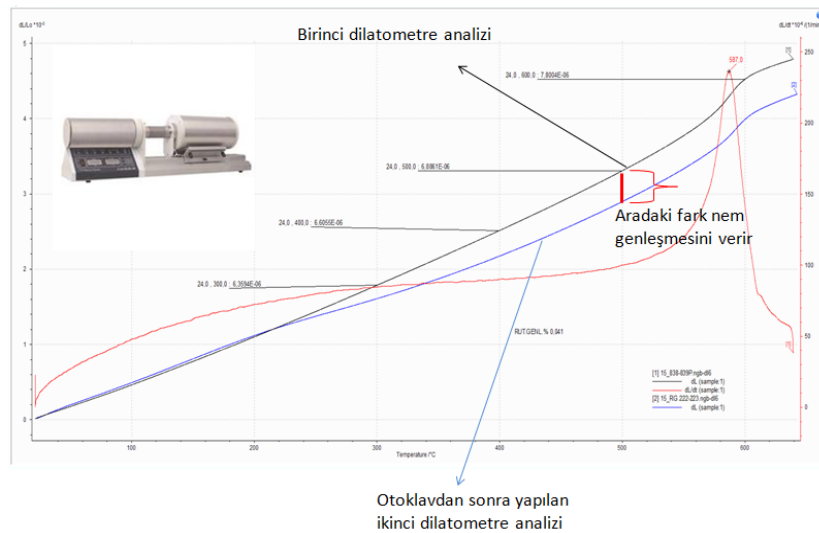
Tablo 2. Duvar karosu reçete kompozisyonları (% ağı.)

	Std	MP2	MP4	MP6
Kalsit	11,5	11,5	11,5	11,5
Kil A+B	42,5	42,5	42,5	42,5
Kaolen A+B	10,5	10,5	10,5	10,5
Pegmatit	8,5	6,5	4,5	2,5
Granitik Kayaç	21	21	21	21
Pişmiş Kırık	6	6	6	6
Perlit	-	2	4	6

Belirlenen bünye reçetelerinde hammaddelerin rutubet değerleri hesaplanarak, reçetede kullanım oranları tespit edilmiş, su ve elektrolit ilavesi ile bilyalı değirmenlerde yaklaşık 1680 g/lt yoğunluk, 63 µm elek üstü bakiyesi % 2-2,5 gelene kadar öğütülmüştür. Bünye çamurlarına akışkanlığı kolaylaştırıcı elektrolit olarak % 0,45 Na₂SiO₃ ve % 0,16 NaTPP kullanılmıştır. Öğütülen karışımın yoğunluk (g/lt), viskozite (akma sn) ve elek bakiye (+63 µm) değerleri ölçülmüştür. Uygun değerler saptandıktan sonra, elde edilen çamur 110°C sıcaklıktaki laboratuvar tipi etüvde kurutulmuş ve granül eldesi için havanda öğütülerek bünye, 500 µm'lik eleklerden elendikten sonra %5-6 rutubete sahip olacak şekilde nemlendirilmiştir. Nemlendirilen toz granül 1 mm'lik eleklerden elendikten sonra rutubetin homojen şekilde dağılması için bir gün süre ile bekletilmiştir. Hazırlanan granüller laboratuvar tipi pres ile 325 kg/cm² basınçla 50x100 mm boyutlarında şekillendirilerek numuneler hazırlanmış, etüvde 1 saat bekletilerek kurumaları sağlanmıştır. Hazırlanan numunelerin pişirimleri Kaleseramik Çanakkale Kalebodur Seramik Fabrikası'nda endüstriyel duvar karosu tek pişirim koşullarına göre 1135°C'de 35 dak. lık pişirim süresinde gerçekleştirilmiştir.

1.3. Karakterizasyon

Hazırlanan numunelerin standartlar dahilinde tüm fiziksel testleri uygulanmış, ortalama değerleri alabilmek amacıyla her bir test için üçer adet numune hazırlanmıştır. Bünye reçetelerinin sinterleme davranışları Misura ODHT HSM 1600/80 (Expert System Solutions, İtalya) marka ve modelde çift kameralı temassız optik dilatometre ile incelenmiştir. Hazırlanan numune karolar pişirildikten sonra yapıda oluşan kristal fazların analizinde X-ışınları kırınımı (XRD) yöntemi kullanılmıştır. XRD ölçümleri X'Pert Pro MPD 30 mA, 40 kV 0,02 Step Size ile 3- 70°2θ arası taranarak tespit edilmiştir. Geliştirilen bünyelerin ısıl genleşme katsayıları ve nem genleşmelerinin tespiti için Netzch 402 EP model ve marka dilatometre cihazı kullanılmıştır. Nem genleşmesi ölçümü için öncelikle numunelerin dilatometre ile ısıl genleşme katsayıları tespit edilmiş, ardından numuneler otoklavda 6 atü 3,5 saat buhar basıncına maruz bırakılmış ve tekrar dilatometre ile ölçümleri yapılmıştır. Şekil 1'de görüldüğü şekilde, otoklav testi öncesi ve sonrası yapılan dilatometre ölçümlerinde elde edilen eğriler arasındaki fark bünyenin nem genleşmesini vermektedir (Vokac vd. (2009)).

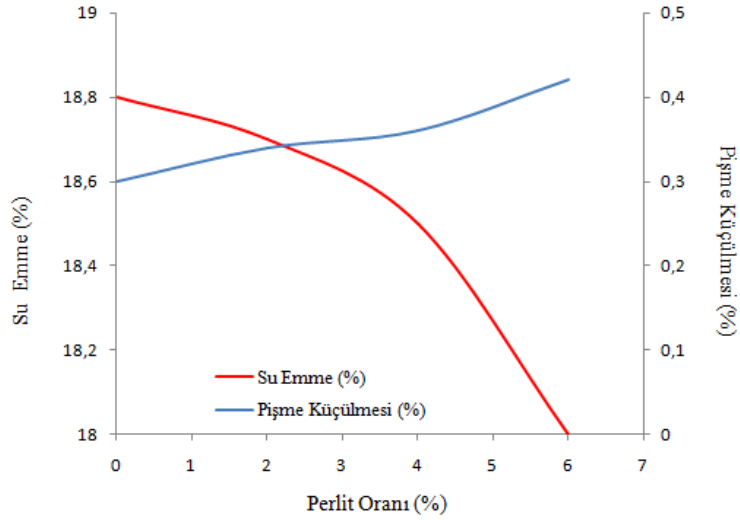
**Şekil 1.** Dilatometre yöntemi ile nem genleşmesi ölçümü.

Mikroyapı analizi için karolar kesit yüzeylerinden parlatılmış ve ayrıca kırık yüzeyleri dağlanmış taramalı elektron mikroskobu ile ikincil elektron görüntüleri alınmıştır. Bütün numuneler yüzey iletkenliği sağlamak amacıyla Sputter Coater marka kaplama cihazında altın-paladyum kaplama işlemine tabi tutulmuştur. Numunelerin mikroyapı analizleri Zeiss Supra 50 VP marka taramalı elektron mikroskobunda(SEM) gerçekleştirilmiştir. İlave olarak numunelerin EDX ile kalitatif kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan nihai ürünler, TS EN 14411 (Grup BIII, E >%10) standart test serisine göre değerlendirilmeye alınmıştır. Numunelerin renk ölçümü (L*, a*, b* renk değerleri) Minolta Konica model renk ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

2. BULGULAR VE TARTIŞMA

2.1. Fiziksel ve Optik Özellikler

Duvar karosu bünyesine yapılan perlit ilavesine bağlı olarak değişen bünye su emme ve pişme küçülmesi değerleri Şekil 2’de verilmiştir. Bünyelerin pişme küçülme değerleri perlit miktarına bağlı olarak artarken su emme değerlerinde bir azalma elde edilmiştir. Su emme değerinin en düşük olduğu % 6 perlit ilaveli bünyenin pişme küçülme değeri beklenildiği şekilde en yüksektir. Bu durum duvar karosu bünyesinde pegmatit yerine perlitin kullanımı ve miktarının artması ile camlı fazın artması dolayısıyla bünye sinterlenmesinin de artması ile açıklanabilir (Taşpınar (1997), Vilches (2002), Cengiz Kara (2008)). Bünyelerin su emme ve pişme küçülme değerleri standartlara uygun olarak elde edilmiştir (TS EN 14411).



Şekil 2. Perlit ilavesine bağlı olarak % su emme ve % pişme küçülmesi değerlerinin değişimi

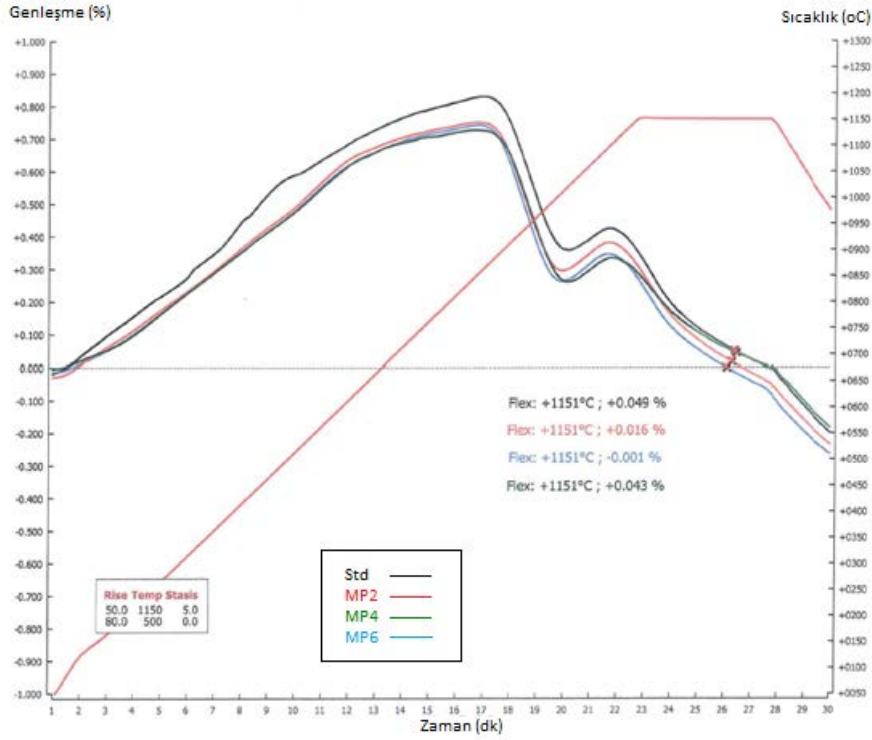
Bünyelere ait fiziksel ve ısıl özellikler Çizelge 3’te verilmiştir. Isıl genleşme katsayısı sonuçlarında perlit miktarına bağlı değişiklik olmazken, bünyelerin nem genleşme değerinin perlit miktarı ile birlikte arttığı görülmektedir. Perlitin en yüksek oranda kullanıldığı (%6) MP6 reçetesinde nem genleşme değeri 0,033 olarak ölçülmüş ve özellikle büyük ebatlı (30x60cm, 25x75cm, 30x90cm vb.) duvar karoları için kritik olarak öngörülen seviyenin üzerine çıktığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte bünyelerin L* değeri perlit bağlı olarak azalma yönündedir. Bu sonuçlar perlit miktarının artmasıyla bünyedeki cam fazın artması ve kristalin faz miktarının azalmasıyla açıklanabilir (Taşpınar (1997)).

Çizelge 3. Çalışılan bünyelerin fiziksel ve ısıl özellikleri

	Std	MP2	MP4	MP6
Isıl Genleşme Katsayısı ($10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) (20-400°C)	69,01	68,45	68,41	68,82
Nem Genleşmesi (%)	0,022	0,0265	0,0285	0,0330
L*	74,68	74,41	74,38	74,11
a*	5,96	6,01	5,88	5,88
b*	19,42	19,02	18,97	19,06

2.2. Pişirim Davranışı

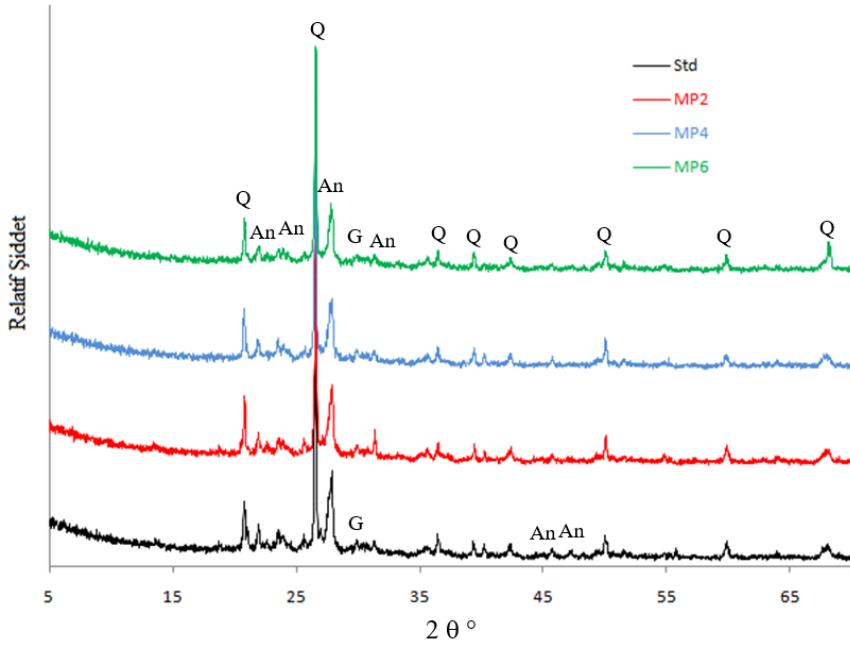
Şekil 3’te standart ve perlit ilaveli bünyelere ait hızlı pişirim davranış eğrileri verilmiştir. Eğriler, zamana karşılık artan sıcaklık ve bünyenin küçülme davranışı ile sinterleme oranını göstermektedir. Temassız optik dilatometre cihazı ile elde edilen bu eğrilerden sinterlemenin en hızlı meydana geldiği sıcaklık değerlerinin standart ve perlit ilaveli tüm bünyeler için 1151°C olduğu belirlenmiştir. Bu açıdan değerlendirildiğinde duvar karosu bünye kompozisyonunda pegmatit yerine yapılan perlit ilavesinin bünyenin sinterlenmesini çok değiştirmedığı tespit edilmiştir. Ayrıca optik dilatometre analiz sonuçlarına göre perlit ilavesi ile birlikte küçülme miktarı artmakta olup, bu da pişme küçülmesi test sonuçlarını doğrular niteliktedir.



Şekil 3. Standart ve perlit ilaveli duvar karosu bünyelerine ait dilatometre eğrileri.

2.3. Faz Analizi

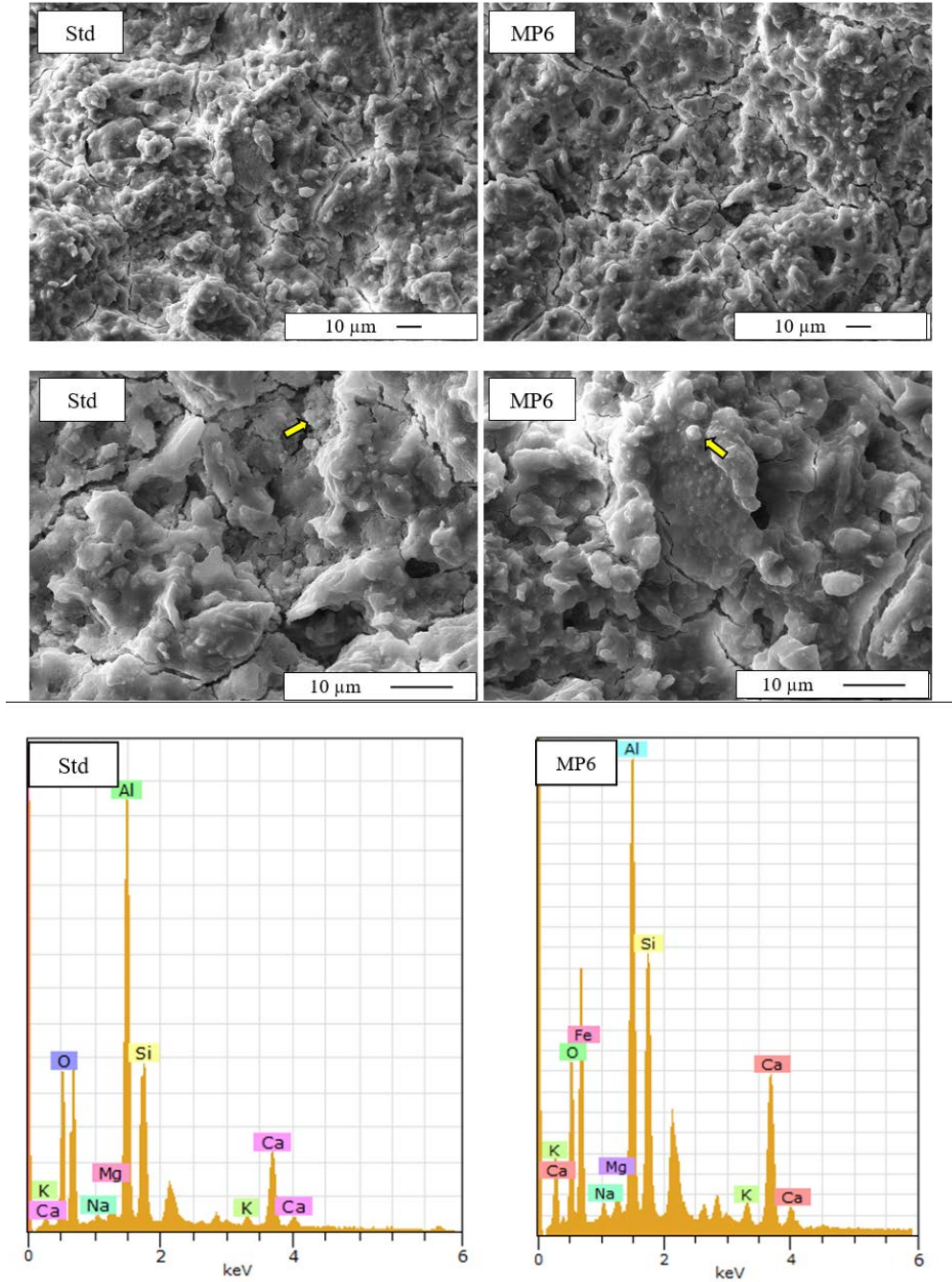
Seramik duvar karosu bünyelerinde genellikle kil, kaolen ve kuvarşın yanı sıra yüksek porozite ve boyutsal kararlılık sağlayan kalsiyum ve magnezyum karbonat ihtiva eden kalsit, talk, vollaştonit ve dolomit gibi hammaddeler kullanılır. Bünyedeki karbonatlar 800-900 °C sıcaklık aralığında bozunarak CO₂ açığa çıkarılırlar. Ve bünye içinde oldukça reaktif faz haline gelirler. CaO, alümina silikatlarla reaksiyona girerek (2CaO.Al₂O₃.SiO₂) gehlenite ve (CaO.Al₂O₃.2SiO₂) anortiti oluşturur (Lach (1978), Montorsi vd. (2006), Swapan vd. (2005), Escardino vd. (2010)). Standart ve deneme bünyelere ait XRD analizleri Şekil 4'te verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre bünyelerin hepsinde önemli miktarda kalıntı kuvarş görülmektedir. Bunun yanı sıra, anortit ve az miktarda gehlenit fazı tespit edilmiştir. Bünyelerde perlitin artmasıyla birlikte anortit fazı ve kuvarş fazında azalma görülmüştür. Özellikle perlit oranının en yüksek olduğu (%6) MP6 bünyesinin standartla kıyaslamalı XRD si incelendiğinde kuvarş ve anortit fazlarının pik şiddetlerindeki azalma net olarak görülmektedir. Bu sonuç perlit miktarının artmasıyla bünyedeki cam fazın artması ve kristalin faz miktarının azalmasıyla açıklanabilir.



Şekil 4. Standart ve deneme bünyelere ait kıyaslamalı temsili XRD analizleri (An: Anortit, Q: Kuvarş, G: Gehlenit)

2.4. Mikroyapı Analizi

Standart ve perlit ilaveli MP6 kodlu bünyenin dağlanmış kırık yüzeylerinden elde edilen ikincil elektron görüntüleri ve EDX analizleri Şekil 5'te verilmiştir. %6 perlit ilaveli bünyenin standart bünyeye göre biraz daha fazla sinterlenmekle birlikte benzer bir mikroyapısının olduğu ve her iki bünyenin ikincil elektron görüntüsünde kristal faz bölgesine yapılan EDX analizi sonucu bünyelerde sinterleme sırasında küresel anortit kristallerinin gelişimi görülmektedir. Literatürde yapılan çeşitli çalışmalarda küresel şekilli kristallerin anortit ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) kompozisyonuna yakın olduğu ifade edilmiştir (Montorsi vd. (2006), Cengiz ve Kara (2008), Tarhan vd. (2016)). İşaret edilen noktalara yapılan EDX analiz sonuçlarına göre söz konusu bölgede oluşan kristaller kalsiyum, alüminyum, oksijen ve silika içermekte olup; mevcut literatürle paralellik arz etmektedir.



Şekil 5. Std ve MP6 kodlu bünyelere ait temsili SEM görüntüleri ve küresel şekilli kristallerden alınan EDX analizleri.

3. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada duvar karosu bünyelerinde pegmatit yerine perlitin kullanılabilirliği ve duvar karosu teknik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Duvar karosu bünyelerinde perlit ilavesi bünye su emme değerini düşürmekte, pişme küçülme değerinde ise artışa neden olmaktadır. Bununla birlikte nihai ürün özelliklerinin TS EN 14411 standartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir. Ancak perlit oranındaki artışla birlikte bünye nem genleşme değeri ise artma eğilimindedir. Seramik karoların nem genleşmesi kaplama

malzemeleri sektörü için oldukça ciddi bir problem olup, servis ömürlerini belirleyen en önemli kalite parametrelerinden biridir. Poroz yapıli seramik karo bünyelerine etki eden nem, nem genleşmesine neden olarak boyutlarda artışa neden olmaktadır. “Gecikmiş çatlak” olarak bilinen bu hatanın riski seramik karonun nem genleşmesinin düşürülmesi ile azaltılabilir (Almeida vd. (1997), Zvezdin ve Kir’yanov (2006)). Bu nedenle duvar karosu bünyelerinde nem genleşme değeri kontrol altında tutulmalıdır. Tüm bu fiziksel ve mikroyapısal özellikler göz önünde bulundurulduğunda duvar karosu bünye kompozisyonlarında pegmatit yerine perlitin kontrollü olarak % 6 oranına kadar kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışmada desteklerinden dolayı Kaleseramik Çanakkale Kalebodur Seramik San. A.Ş.’ye teşekkür ederiz.

4. KAYNAKLAR

Almeida J.V., Ferreira V.M., Corria A.M.S., (1997). Moisture expansion in ceramic building materials. Key Engineering Materials, Vol 132-136, P 2176-2179.

Amorós J.L, Escardino A., Sanchez E., Zaera F., (1993). Dimensional stability in single-fired porous tile. Qualicer, 335-362.

Amorós J.L., Orts M.J., Mestre S., Garcia-Ten J., Feliu C., (2010). Porous single-fired wall tile bodies: Influence of quartz particle size on tile properties. Journal of the European Ceramic Society, (30), 17–28.

Cengiz Ö., Kara A., (2008). Tek pişirim duvar karosu bünyelerinde borik asit ilavesinin sinterleme davranışına etkileri. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 29-35.

Escardino A., García-Ten J., Feliu C., Moreno A., (2010). Calcium carbonate thermal decomposition in white-body wall tile during firing. I. Kinetic study. Journal of the European Ceramic Society, 30, 1989–2001.

Montorsi M., Reginelli M., Rovini A., Settembre D., Siligardi C., Lugli C. (2006). Reactivities of carbonates with illite and kaolinite in monoporous bodies. Ceramic World Review n. 69. 110-120.

Lach V. (1978). Microstructural changes during the firing of wall tile and sanitaryware. Ceramurgia International, Vol. 4. n. 1., 28-37.

Plesingerova B., Klapac M., Kovalcikova M., (2002). Moisture expansion of porous biscuit bodies - reason of glaze cracking. Ceramics-Silikaty 46 (4) 159-165.

Swapan K.D., Kausik D., Nar S., Ritwik S., (2005). Shrinkage and strength behaviour of quartzitic and kaolinitic clays in wall tile compositions. Applied Clay Science, 29, 137– 143.

Şencan, İ. (2010). Perlitli Sır ve Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Tarhan M., Tarhan B., Aydın T., (2016). The Effect of fine fire clay sanitaryware wastes on ceramic wall tiles. Ceramic International, Volume 42, Issue 15, 15, Pages 17110–17115.

Taşpınar, B. (1997). Duvar Karosu Üretiminde Perlit Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi. Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

TS EN 14411/Grup BIII (2006), Su Emmesi E> %10 olan Kuru Preslenmiş Seramik Karolar.

Vasic R., Vasic M., (2011). Phenomenon of moisture expansion and its influence on mechanical properties of brick clay products. Ceramic Materials, 63, 1 54-57

Vilches E.S., (2002). Technical considerations on porcelain tile products and their manufacturing process, Qualicer, Volume 1, 57-83.

Vokac M., Klouzkova A., Hanykyr V., Bouska P., (2009). Dilatometric analysis of ceramic roof tiles for determining irreversible moisture expansion. Ceramics – Silikaty, 53 (4), 303-309.

Zvezdin D.F., Kir’yanov A.V., (2006). Moisture expansion of ceramic tiles in double firing. Glass and Ceramics, Vol 63, Issue 1-2, 20-21.