



SODYUM SİLİKAT İLE KÖPÜKLEŞTİRİLMİŞ PENCERE CAMLARINDA ALÜMİNA KATKISININ MİKROYAPIYA ETKİSİ

Osman ŞAN^{1*}, Muhterem Koç²

¹Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, osman.san@dpu.edu.tr

²Endüstriyel Cam ve Seramik Bölümü, Celal Bayar Üniversitesi, Turgutlu, Manisa, Türkiye, muhterem.koc@cbu.edu.tr

Geliş Tarihi:23.12.2016

Kabul Tarihi:20.06.2017

ÖZ

Bu çalışmada, sodyum silikat (ağırlıkça %30 oranında) kullanılarak köpükleştirilen pencere camlarına ağırlıkça %1-40 oranında alümina ilavesinin mikroyapıya etkisi araştırılmıştır. Yarı yaş şekillendirilen karışımlar 800°C de 30 dakika süre ile kamara fırında sinterlenmiştir. Cam köpük malzemelerin mikroyapıları, yoğunlukları, faz yapıları ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Cam köpükler kapalı gözenek yapısına sahip olup gözenek boyutları alümina katkı miktarına bağlı olarak düşmekte (0.5-1 mm) ve malzemenin mekanik mukavemeti 10.2 MPa değerine kadar artmaktadır. Malzemedeki köpükleşme oranı %20 alümina katkı miktarına kadar büyük oranda aynı kalmaktadır. Alümina katkısı ağırlıkça %20 olan numunelerde mekanik dayanım 7.1 MPa, ürünün yoğunluğu 0.53 gr/cm³, su emme oranı %1.4 değerindedir. Yüksek mekanik dayanımı ve yeterli gözenekliliği ile (% 79.45) bu ürün yapı sektörü için potansiyeldir.

Anahtar kelimeler: Cam köpük, Alümina, Katkı, Mekanik özellikler

INFLUENCE OF ALUMINA ADDITION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF WINDOW GLASSES FOAMED WITH SODIUM SILICATE

ABSTRACT

In this study, the effect of alumina addition (1-40 wt. %) on the mechanical properties of window glass with 30 wt. % sodium silicate was investigated. Semi-wet mixtures were prepared and shaped and heated in the oven chamber at 800°C for 30 minutes. The microstructures of the glass foam material, densities, phase structures and mechanical strength were determined. Glass foam has a closed pore structure reduced by the amount of alumina addition (pore sizes: 0.5-1 mm) and the mechanical strength was increased up to 10.2 MPa. The foaming rate of the material is almost stayed stable up to 20% alumina incorporation. When the alumina content is 20% by weight, the mechanical strength of the sample is 7.1 MPa, the product has the density of 0.53 g/cm³, water absorption rate is about 1.4%. The high mechanical strength and adequate porosity (79.45%) of this product makes the material as potential to use in the building sector.

Key words: Foam glass, Alumina, Addition, Mechanical properties

1.GİRİŞ

Cam köpük malzemeler hafif olmaları, sert yapıda, basınca dayanıklı, ısı olarak yalıtım sağlayıcı, donma direnci yüksek, yanmayan özellikte, kimyasal kararlı ve zehirsiz, bakterilere karşı dayanıklı ve su buharına karşı yüksek dayanımlı olmaları gibi çok sayıda özelliği birlikte bulundurmaktadırlar. Bunların yanında cam köpüklerin taşınması ve yerine yerleştirilmesi kolaydır, kesme ve delme gibi işlemlere imkân sağlamaktadırlar ve ayrıca beton ile birleştirme kolaylığı da göstermektedirler. Bu kadar çok özelliğe sahip cam köpükler, başta yapı sektörü olmak üzere (örneğin, sıcak veya soğuk koşullarda çatılar, duvarlar, zeminler ve tavan yalıtımı için) diğer birçok alanda yeri doldurulamaz malzemelerdir [1].

Cam köpük malzemenin elde edilmesi genellikle cam tozuna köpük sağlayıcı katkıları ile sağlanmaktadır. Köpük sağlayıcıları genellikle karbon veya karbon içerikli organik katkıları olmaktadır; ısı ortamında yanarak gazlaşma oluştururlar. Diğer köpük sağlayıcıları ise köpük ajanı olarak ortama girilen kimyasallardır; su veya benzeri ortamlar ile kimyasal tepkime sonucu gazlaşma meydana gelir. Köpük ajanları ile sağlanan köpürme sonrasında yapının mekanik dayanımı için cam yumuşama sıcaklığına kadar ısıtılarak cam köpük yapıları elde edilmektedir. Karbon veya karbon içerikli yanıcı katkıları ile elde edilen gazlaşmada ise gazlaşma ile birlikte cam tanelerinin viskoz akış sağlayacak sıcaklığa kadar ısıtılması gerekmektedir. Burada oluşan gaz küresel kabarcık şeklinde yapı içerisinde hapsolmakta, gaz basıncı artışı ile genişleyerek köpürme sağlanmaktadır. Yapının soğutulması ile çok sayıda kabarcıktan oluşan köpük malzeme ortaya çıkmaktadır [2].

Üretilen cam köpüklerin özellikleri daha çok kullanılan köpük yapıcı türüne, cam tanelerin boyutuna ve uygulanan ısı süreçlerine bağlıdır. Köpüklerin mekanik dayanımı, boyutsal kararlılıkları ve yoğunlukları en önemli özellikleridir [3]. Soda-kireç-silika bileşimli cam köpüklere alümina, alkali ve toprak alkali katkıları köpük yapının mekanik özelliklerini ve kimyasal kararlılığını arttırmaktadır, ancak camın ergine sıcaklığının yükselmesi sebebiyle malzemenin üretim sıcaklığı da artmaktadır. Alümina katkısı cam matrisin köpükleşme oranını düşürerek malzemenin yoğunluğunun yüksek olmasına yol açmaktadır [4-6]. Literatür araştırması yeterli mekanik mukavemeti sağlayacak ve aynı zamanda köpükleşme oranını da koruyarak düşük sıcaklıklarda alümina katkılı köpük malzeme üretimi çalışmalarına ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Yaygın biçimde köpük yapıcı olarak kullanılan kimyasallar şunlardır: gliserin [7] CaCO_3 veya Na_2CO_3 , saf karbon, SiC, Si_3N_4 , şeker, nişasta veya organik atıklar [8-9] sodyum hidroksit [10] veya uçucu kül ile birlikte sodyum silikat [11]. Bu çalışmada atık soda-kireç-silika pencere camlarına köpükleştirici olarak sodyum silikat ve ağırlıkça % 40 oranına kadar alümina ilavesi ile köpük malzeme üretimi araştırılmıştır. Burada alümina ilavesinin mikroyapı üzerine etkileri belirlenmiştir.

2.MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan cam malzeme ağırlıkça SiO_2 % 72.70, Na_2O % 11.68 CaO % 9.90, MgO % 4.36, Al_2O_3 % 1.04, Fe_2O_3 % 0.15, TiO_2 % 0.07, K_2O % 0.06 içermektedir (Karsan cam mozaik). Katkı malzemesi olarak alümina % 99 saflıktadır. Köpük yapıcı olarak ağırlıkça % 30 oranında Merck marka sodyum silikat (Na_2SiO_3) kullanılmıştır. Alümina ağırlıkça % 0, 1, 5, 10, 20 ve 40 oranında ilave edilmiş ve ürünlere sırasıyla A0, A1, A5, A10, A20 ve A40 kodları verilmiştir (Seydişehir Eti alümina). Kullanılan cam tozu ve alüminanın ortalama tane boyutları sırasıyla 50 ve 10 mikrometre'dir. Cam tozu ve alümina belirlenen oranlarda kuru olarak yarım saat karıştırılarak homojenlik sağlanmıştır. Karışıma ağırlıkça % 30 oranında sodyum silikat ilave edilip yarı yaş olarak hazırlanan karışımlar $50 \times 100 \times 10$ mm ebatlarındaki plastik kalıplara dökülerek 80°C 'de 24 saat süre ile kurutulmuştur. Kurutulan malzemeler kamara fırında $5^\circ\text{C}/\text{dk}$ sinterleme hızı ile 800°C 'de 30 dakika süreyle sinterlenmiş ve oda sıcaklığına soğutulan numuneler ölçümler için kesilerek karakterize edilmiştir.

Cam köpük malzemelerin toplam gözenekliliği (P), köpükleşme faktörü (α), su emmesi (WA) değerleri, aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır[12].

$$\%P = \left(1 - \frac{d_b}{d_r}\right) \times 100 \quad (1)$$

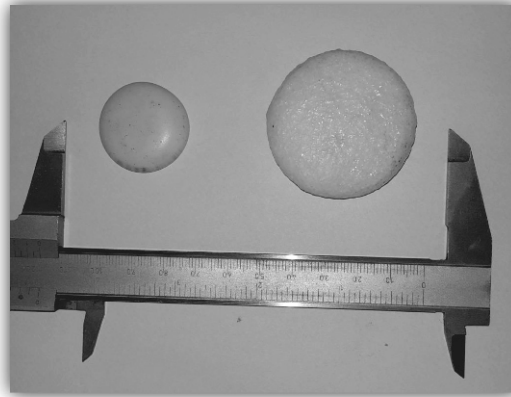
$$\alpha = \frac{(d_g - d_b)}{d_g} \quad (2)$$

$$WA = \frac{(g_s - g_l)}{(v - \rho_w)} \quad (3)$$

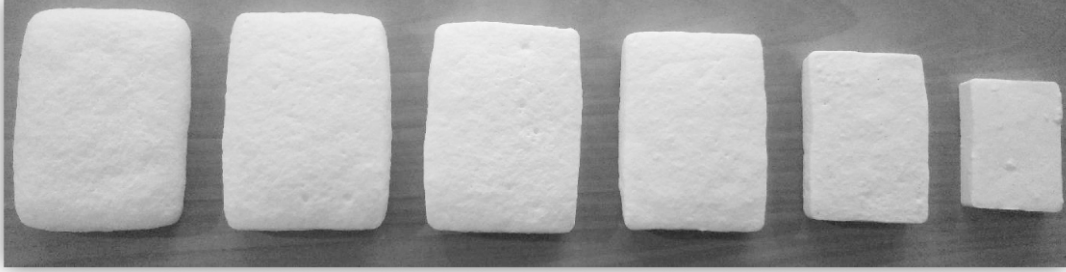
burada d_b ve d_r köpük yapıcı içeren cam köpük malzemelerin görünür ve gerçek yoğunluk değerleri, d_g köpük yapıcı ilave edilmeden sinterlenen cam malzemelerin görünür yoğunluğu, d_r piknometre ile ölçülen numunelerin yoğunluk değeri, g_s malzemelerin kuru ağırlığı, g_l malzemelerin yaş ağırlığı, v küp şeklinde kesilen numunelerin hacmi, ρ_w suyun yoğunluğudur. Numuneler suyun içerisinde 24 saat süre ile bekletilmiştir. Sinterleme işlemi sonucunda oluşan fazları belirlemek amacıyla XRD analizi (Rigaku Miniflex powder diffractometer) kullanılmıştır. Ölçümler $2^\circ/\text{dk}$ hızla, $10-70^\circ$ arasında yapılmıştır. Mikroyapı analizleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Nova NanoSEM 650) ile yapılmıştır. Alümina miktarının mekanik dayanımı üzerindeki etkileri basınç testi ile belirlenmiştir. Numuneler küp (100 mm) şekilde hazırlanmış, preste hareket hızı 100 mm/dk olarak uygulanmış ve her malzeme için beş adet numunenin ortalaması alınarak mekanik dayanımları hesaplanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 1’de sodyum silikat katkısız ve %30 oranında sodyum silikat katkılı cam tozlarının şekillendirilerek 800°C ’de 30 dakika süreyle sinterlenmesi sonucu oluşan malzemelerin fotoğrafları verilmiştir. Sodyum silikat ilavesi ile cam malzemenin boyutlarında artış meydana geldiği görülmektedir. Bu boyut artışı malzemenin kapalı gözenek yapısı oluşturması şeklinde tanımlanmaktadır. Cam malzemenin sinterlenmesi sonucunda $2,24 \text{ gr/cm}^3$ olan yoğunluk değeri sodyum silikat ilavesi ile hazırlanan malzemede $0,24 \text{ gr/cm}^3$ değerine düşmüştür. Cam malzemelere sodyum silikat ilavesi ile düşük sıcaklıklarda köpük yapı oluşturularak yeni kullanım alanları sağlanmaktadır. Ancak camın kırılma karakteri bu köpük malzemelerin düşük mekanik dayanım göstermelerine sebep olmakta ve dolayısıyla kullanım yerlerini sınırlamaktadır. Bu çalışmada cam köpük malzeme üretiminde soda-kireç-silika camlarına %1-40 oranında alümina ilavesinin malzemelerin mekanik dayanımına ve köpükleşmesine etkileri araştırılmıştır. Şekil 2’de ki farklı oranlarda alümina ilavesi ile hazırlanan köpük malzemeler incelendiğinde alümina katkısının malzemenin boyutsal değişimini (kabarmasını) azalttığı özellikle yüksek oranda alümina ilavesi ile köpük yapıdan yoğunlaşmış yapıya doğru gidildiği görülmektedir.



Şekil 1. Sodyum silikat katkısız (soldaki) ve katkılı (sağdaki) numunelerin görüntüleri

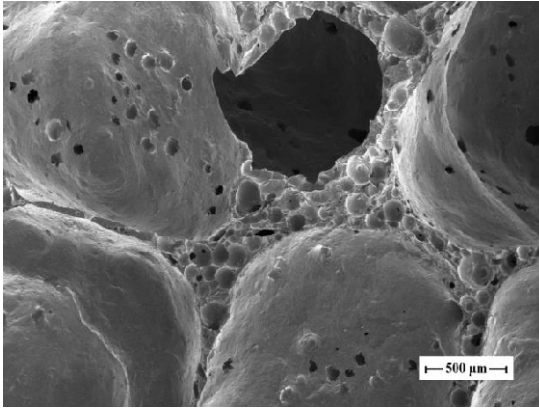


Şekil 2. Köpük malzemelerin görüntüsü, alümina ilavesi soldan sağa doğru; %0, %1, %5, %10, %20, %40

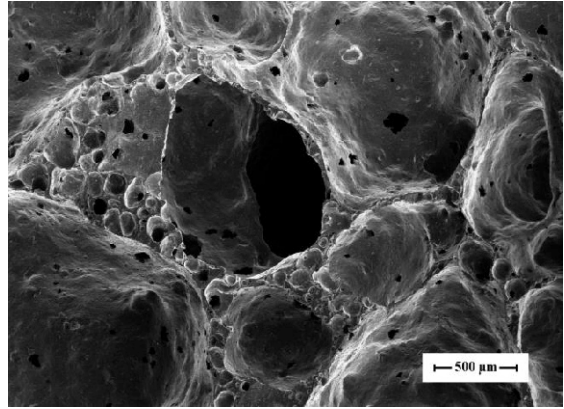
Alümina ilaveli cam köpük malzemelerdeki gözenek yapıları SEM ile incelenmiştir (Şekil 3). Burada düşük oranda alümina katkılarında; büyük gözeneklerin birleşme duvarlarında küçük gözeneklerin bulunduğu, artan alümina miktarı ile bu gözenekliliğin daha homojen yapıda birbirine yakın boyutlarda meydana geldiği, çok yüksek alümina katkılarında ise gözenek sayısının azaldığı, boyutlarının küçüldüğü ve daha çok yoğun malzeme şekline dönüştüğü görülmektedir.

Çizelge 1’de farklı oranda alümina ilaveleri ile üretilen cam köpük malzemelere ait fiziksel özellikler verilmiştir. Alümina ilavesinin cam köpük malzemelerin mekanik dayanımını olumlu yönde arttırdığı görülmektedir. Bu artış küçülen gözenek boyutu ve azalan gözeneklilik ile açıklanabilir. Alümina katkı oranı %10-20 olarak uygulandığında malzemenin yoğunluğu, gözenekliliği ve köpüklenme oranı yönüyle yapı sektörü uygulamaları için uygun değerler olabileceği söylenebilir, alümina oranı %40 olduğunda malzeme yüksek yoğunluktadır.

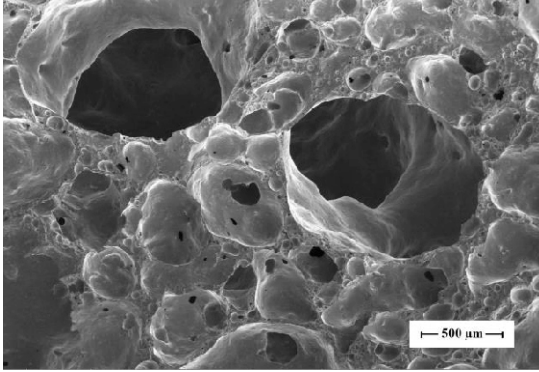
Burada reçeteye ilave edilen alümina sistemde amorf yapı ile birlikte korundum fazı olarak belirlenmiştir (Şekil 4). Malzemenin mekanik dayanımı korundum formunda alüminanın arttırdığı düşünülebilir, ancak burada alümina katkısı ile homojen yapı köpük dağılımı ve boyut olarak birbirine yakın daha küçük çaplı gazlaşmanın sağlanmasının mekanik dayanımı daha fazla arttırdığı tahmin edilmektedir.



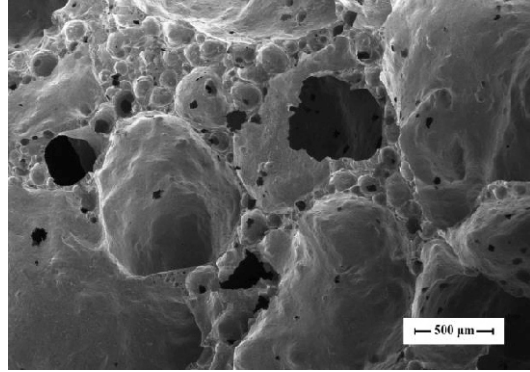
(a)



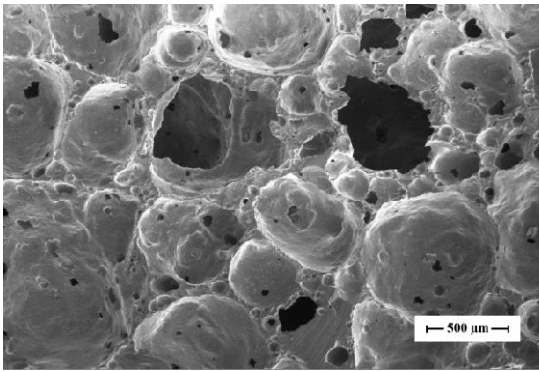
(b)



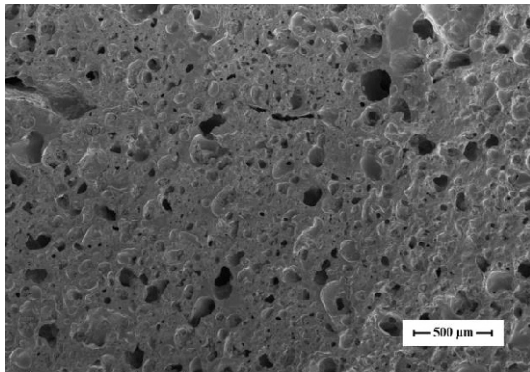
(c)



(d)



(e)

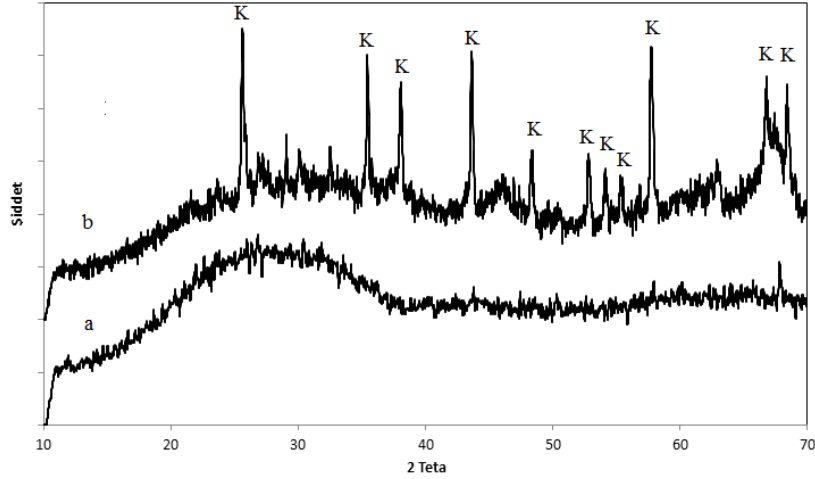


(f)

Şekil 3. Farklı Al_2O_3 oranları ile hazırlanan cam köpük malzemelerin SEM görüntüleri; a) A0, b) A1, c) A5, d) A10, e) A20, f) A40.

Tablo 1. Cam köpüklerin başlıca fiziksel özellikleri

Numune adı	Al ₂ O ₃ oranı (% ağırlıkça)	Köpük yapıcı oranı (%)	Gözeneklilik, (%)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Köpükleşme faktörü	Mekanik dayanımı (MPa)	Su emme (%)
A0	0	30	88.89	0.24	0.89	2.6	1.2
A1	1	30	89.38	0.24	0.89	2.9	1.2
A5	5	30	88.41	0.27	0.88	3.8	1.2
A10	10	30	87.60	0.30	0.86	5.2	1.3
A20	20	30	79.45	0.53	0.76	7.1	1.4
A40	40	30	57.24	1.24	0.44	10.2	1.9



Şekil 4. Alümina katkısız ve %20 alümina katkılı cam köpük malzemelerin faz analizleri: a) alümina katkısız, b) %20 alümina katkılı, K: korundum fazı

4.SONUÇLAR

Bu çalışmada düşük sıcaklıkta cam köpük malzemenin alümina katkısı ile mikro yapısı kontrol edilerek daha mukavemetli olarak üretilebileceği görülmüştür. Ağırlıkça %30 Na₂SiO₃ ilavesiyle malzeme 800°C’de köpük yapıda şekillendirilmiş, alümina katkısı ile bu yapı daha kontrol edilebilir hale getirilmiştir; burada köpük boyutu küçülmekte ve homojen dağılım sağlanmaktadır. Dolayısıyla malzemenin mekanik dayanımı artmakta ve ürün yapı sektörü uygulamaları için potansiyel hale gelmektedir. Ağırlıkça % 20 alümina ilave edilen cam köpük malzeme 0.53 gr/cm³ yoğunluk değerinde, % 79.45 gözeneklilikte, düşük su emme değerinde (%1.4) ve yüksek mekanik dayanımda (7.1 MPa) elde edilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] McLellan, G.W., Shand, E.B., Glass Engineering Handbook, McGraw-Hill Book Co., New York, Chapter. 19, (1984).
- [2] Scheffler, M., Colombo, P., Cellular Ceramics: Structure, Manufacturing, Properties and Applications, Chapter 2.7. Glass Foams, Ed. Giovanni Scarinci, Giovanna Brusatin and Enrico Bernardo, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Published Online: 24 Mar. (2006).
- [3] Spiridonov, Y.A., Orlova, L.A., Problems of Foam Glass Production, Glass and Ceramics 60 (9–10) (2003).
- [4] Liu, H., Yang, R., Wang, Y., Liu, S., Influence of Alumina Additions on The Physical and Chemical Properties of Lithium-Iron-Phosphate Glasses, XIII International Conference on the Physics of Noncrystalline Solids, Physics Procedia 48, 17 – 22, (2013).
- [5] Brow RK., Nature of Alumina in Phosphate Glass: I, Properties of Sodium Alumina phosphate Glass. J Am Ceram Soc, 76(4):913-18, (1993).
- [6] Liu, H., Yang, R., Wang, Y., Liu, S., Influence of Alumina Additions on the Physical and Chemical Properties of Lithium-iron-phosphate Glasses, Physics Procedia 48, 17 – 22, (2013).
- [7] Vereshchagin, V., Sokolova, S., Effect of The Technological Parameters on The Properties of Granular Porous Crystal Glass Material Based on Zeolite-Bearing Rock, Glass and Ceramics 66, 46–49, (2009).
- [8] Garcia-Ten, J., Saburit, A., Orts, M.J., Bernardo, E., Colombo, P., Glass Foams From Oxidation/Reduction Reactions Using SiC, Si₃N₄ and AlN Powders, Glass Technology: European Journal of Glass Science and Technology Part A 52 (4), 103–110, (2011).
- [9] Pokorny, J., Vicenzi, C. Pe´rez, Bergmann, Influence of Heating Rate on The Microstructure of Glass Foams, Waste Management and Research 29, 172–179, (2011).
- [10] Bentoa, A, C., Kubaskib, E, T., Sequinelc, T., Pianaroa, S.,A., Varelac, J, A., Tebcherani, S, M., Glass Foam of Macroporosity Using Glass Waste and Sodium Hydroxide as The Foaming Agent, Ceramics International 39, 2423–2430, (2013).
- [11] Chen, B., Luo, Z., Lu, A., Preparation of Sintered Foam Glass With High Fly Ash Content, Materials Letters 65, 3555–3558, (2011).
- [12] Zhai, C., Li, Z., Zhu, Y., Zhang, J., Wang, X., Zhao, L., Pan, L., Wang, P., Effects of Sb₂O₃ on the Mechanical Properties of the Borosilicate Foam Glasses Sintered at Low Temperature, Advances in Materials Science and Engineering, (2014).

