

## Gabro Esaslı Cam ve Cam-Seramik Malzemeler

Günhan BAYRAK<sup>1</sup>, Ediz ERCENK<sup>2</sup>, Uğur ŞEN<sup>2</sup>, Şenol YILMAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sakarya Üniversitesi, Arifiye Meslek Yüksek Okulu, Motorlu Taşıtlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, 54580 Arifiye, Sakarya

<sup>2</sup> Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Esentepe Kampüsü, 54187 Sakarya

e-posta: gunhanb@sakarya.edu.tr, ercenk@sakarya.edu.tr, ugursen@sakarya.edu.tr, symaz@sakarya.edu.tr

Geliş Tarihi: 22.11.2012; Kabul Tarihi: 01.01.2014

### Özet

Bu çalışmada, gabro esaslı cam ve cam-seramik malzemelerin üretim imkânları araştırılmıştır. Bu amaçla gabroya MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> katılarak 2 farklı bileşim hazırlanmış, hazırlanan bu bileşimler 1500 °C'de ergitilerek gabro esaslı camlar elde edilmiştir. Bu camlara, 1000 °C'de 3 saat ve 1000 °C 3 saat + 1100 °C 3 saat olmak üzere 2 farklı ısı işlem programı uygulanarak cam-seramik dönüşümleri gerçekleştirilmiştir. Cam ve cam-seramik malzemelerin X-ışınları difraksiyonu (XRD) ile faz yapıları incelenmiştir. Ayrıca cam ve cam-seramik malzemelerin sertlik ve kırılma tokluğu ölçümleri de yapılmıştır. XRD ile yapılan karakterizasyonlar ile ergitme sonrası gabro esaslı malzemelerin camsı amorf yapıda olduğu belirlenmiştir. Isıl işlemler sonrasında ise cam-seramik dönüşümünün gerçekleştiği, kristal fazların cam matriste çökeldikleri görülmüş olup sertlik ve kırılma tokluklarında da artışlar tespit edilmiştir.

### Anahtar kelimeler

"Gabro"; "Cam-seramik"; "Sertlik"

## Gabbro Based Glass and Glass-ceramic Materials

### Abstract

In the present study, production possibility of glass and glass-ceramic produced from gabbro was investigated. This is why; MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> were added to gabbro and after arranged two compositions and then gabbro based glass were obtained with these two compositions were melted at 1500 °C. Glass-ceramic transformations were realized by applying two different heat treatment processes. Phase identifications of glass and glass-ceramic materials were investigated by X ray diffraction analysis. Moreover, hardness and fracture toughness measurement of glass and glass-ceramic materials were made. Gabbro based materials after that melting and casting process was found amorphous state by characterization with XRD analysis. After the heat treatment processes, glass-ceramic transformation in gabbro based materials and also was determined crystal phases settled out in glass matrix. Moreover, values of hardness and fracture toughness increasing were detected.

### Key words

"Gabbro"; "Glass-ceramic"; "Hardness"

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Bazik bileşimli plutonik bir kayaç olan gabro % 40-70 renk indisine sahiptir ve % 45-52 değerleri arasında SiO<sub>2</sub> içermektedir. Genelde koyu gri ya da siyah renk görünümünde ve sağlam bir yapıya sahip olan gabro bazalta göre daha kaba tanelidir (Tyrell, 1975, Uz, 2000). Cam-seramikler, kristallenmeye uygun camların çekirdeklenicilerle kontrollü olarak kristallendirilmesi ile üretilen çok kristalli malzemelerdir. Anortit, andesin, diopsit, ojit, ve kordiyerit kayaçlardan üretilen cam-seramik malzemelerde en çok rastlanan fazlardır (Yılmaz, 1997, Yılmaz, 2006). Özellikle son yıllarda cam-seramiklerin tercih edildiği kullanım alanlarının başında çok düşük termal genleşme özelliklerinin

istenildiği özel uygulamalar yer almaktadır. Bunların başında da teleskop aynaları ve ring lazer uygulamaları gelmektedir (Madhumita, 2007, Amitava, 2001, Elbatal, 2009, Yılmaz 1997). Gabronun yanı sıra yine bazalt gibi diğer doğal kayaçlardan da kontrollü kristalizasyon ısıl işlemi ile cam-seramik malzeme üretilebilmektedir. Ayrıca yüksek miktarlarda CaO, SiO<sub>2</sub> ve MgO ve az miktarda da MnO ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren yüksek fırın cürüfları ve termik santrallerden elde edilen uçucu küller gibi endüstriyel atıklardan da cam-seramik malzeme üretimi gerçekleştirilebilmektedir (Rawlings, 2006, Erol, 2007). Bu çalışmada, gabrodan elde edilen cam ve cam-seramiğin yapısal karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Numunelerin hazırlanması

Deneysel çalışmalarda kullanılan volkanik kayaç gabronun kimyasal bileşimi aşağıda Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Gabronun kimyasal bileşimi (% ağırlıkça)

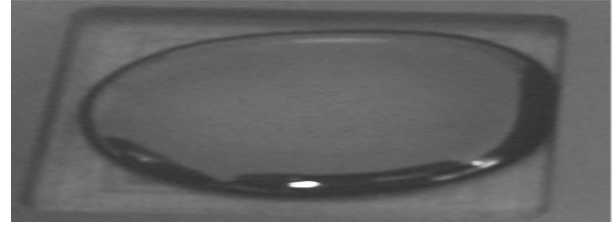
Bileşenler	(%)
SiO <sub>2</sub>	51,35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,13
CaO	7,78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,63
K <sub>2</sub> O	1,15
MgO	4,7
MnO	0,17
Na <sub>2</sub> O	3,63
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,28
TiO <sub>2</sub>	1,96
Kızdırma kaybı	0,94

Gabroya, üretilecek malzemenin camlaşma ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katılarak, 2 farklı cam bileşimi hazırlanmış (Tablo 2) ve bilyeli değirmende kuru olarak 1 saat karıştırılmıştır.

**Tablo 2.** Hazırlanan cam bileşimleri (%)

Bileşenler (%)	A0	A1
SiO <sub>2</sub>	41,95	40,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,03	18,17
CaO	6,36	6,07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,14	10,64
K <sub>2</sub> O	0,94	0,9
MgO	14,66	14
MnO	0,14	0,13
Na <sub>2</sub> O	2,97	2,83
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,23	2,32
TiO <sub>2</sub>	1,6	1,53
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	2,34
Kızdırma Kaybı	0,77	0,73

Hazırlanan homojen karışımlar elektrik ısıtmalı fırında alümina pota içerisinde 1500°C 'de 1 saat bekletilip ergitildikten sonra grafit kalıplara dökülerek şekillendirilmiştir (Şekil 1.). Döküm sonrası A<sub>0</sub> ve A<sub>1</sub> bileşimli camlar, döküm sırasında meydana gelen iç gerilmeleri gidermek için 600°C 'de 1 saat tavlansmıştır.



**Şekil 1.** Ergitme sonrasında grafik kalıba yapılan döküm (A<sub>0</sub>)

### 2.2. Kontrollü kristalizasyon ısıl işlemi

Amorf yapıda üretilen camların kontrollü kristalizasyon ısıl işleminde iki farklı ısıl işlem prosesi uygulanmıştır. Bunlar, oda sıcaklığından 5°C/dk ısıtma hızında 1000°C/3 saat ile 1000°C/3 saat + 1100°C/3 saat şeklinde gerçekleştirilmiştir.

### 2.3. Karakterizasyon

Döküm sonrası elde edilen malzemelerin camsı özellik taşıyıp taşımadığını belirlemek için X-ışınları difraksiyon (XRD) analizi uygulanmıştır. Isıl işlem sonrasında tekrar XRD analizi yapılarak cam-seramik dönüşümünün olup olmadığı ve cam matriste çökelen kristal fazların mevcudiyeti tespit edilmiştir.

Klasik metalografik numune hazırlama yöntemiyle hazırlanan numunelere 25 gr yük altında Vickers sertlik ucu kullanılarak mikro sertlik ve kırılma tokluğu ölçümleri yapılmıştır.

## 3. Bulgular

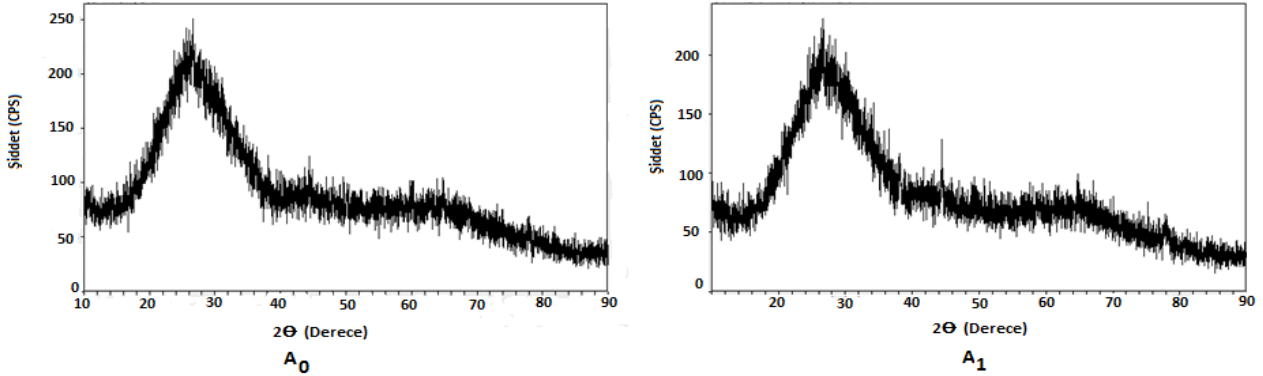
Gabro esaslı A<sub>0</sub> ve A<sub>1</sub> numunelerinin döküm sonrası XRD paternleri aşağıda verilmiştir (Şekil 2). Gerek A<sub>0</sub> ve gerekse A<sub>1</sub> kodlu numunelerin yapılan XRD analizleri sonucunda ergitme ve döküm sonrasında camsı amorf yapıda oldukları tespit edilmiştir.

A<sub>0</sub> ve A<sub>1</sub> bileşimli cam-seramiklerinde her iki ısıl işlem prosesi sonucunda XRD analizi ile tespit edilen fazlar Tablo 3 ve Şekil 3-6'da gösterilmiştir.

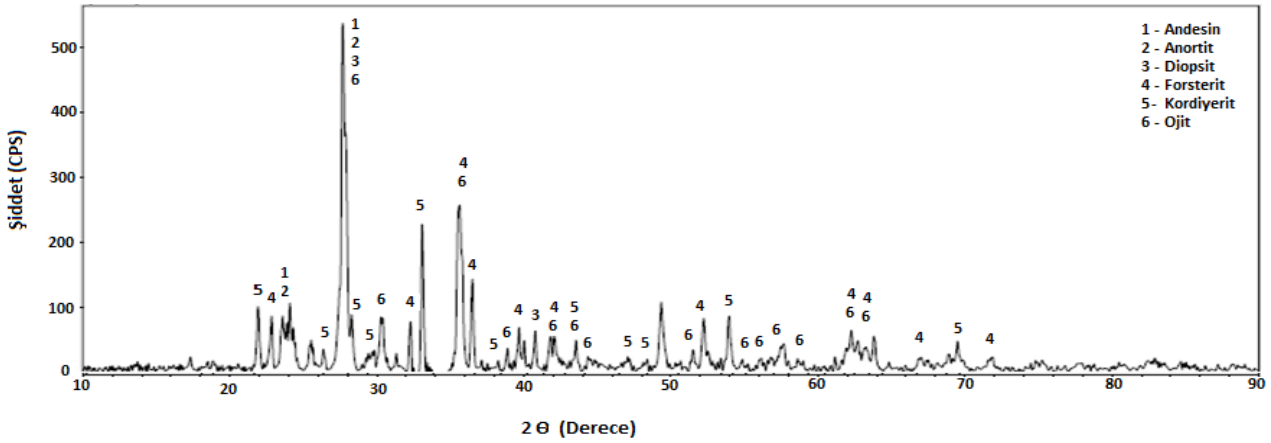
**Tablo 3.** A<sub>0</sub> ve A<sub>1</sub> cam-seramiklerinde tespit edilen kristal fazlar

Fazlar	Formülü
Andesin	[(Ca,Na)(Al,Si) <sub>4</sub> O <sub>8</sub> ],
Anortit	[Na <sub>0,05</sub> Ca <sub>0,95</sub> Al <sub>1,95</sub> Si <sub>2,05</sub> O <sub>8</sub> ]
Diopsit	[CaMg(Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )]
Forsterit	[(Mg,Fe) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> ]
Kordiyerit	[(Mg,Fe) <sub>2</sub> Al <sub>4</sub> Si <sub>5</sub> O <sub>18</sub> ]
Ojit	[(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ]

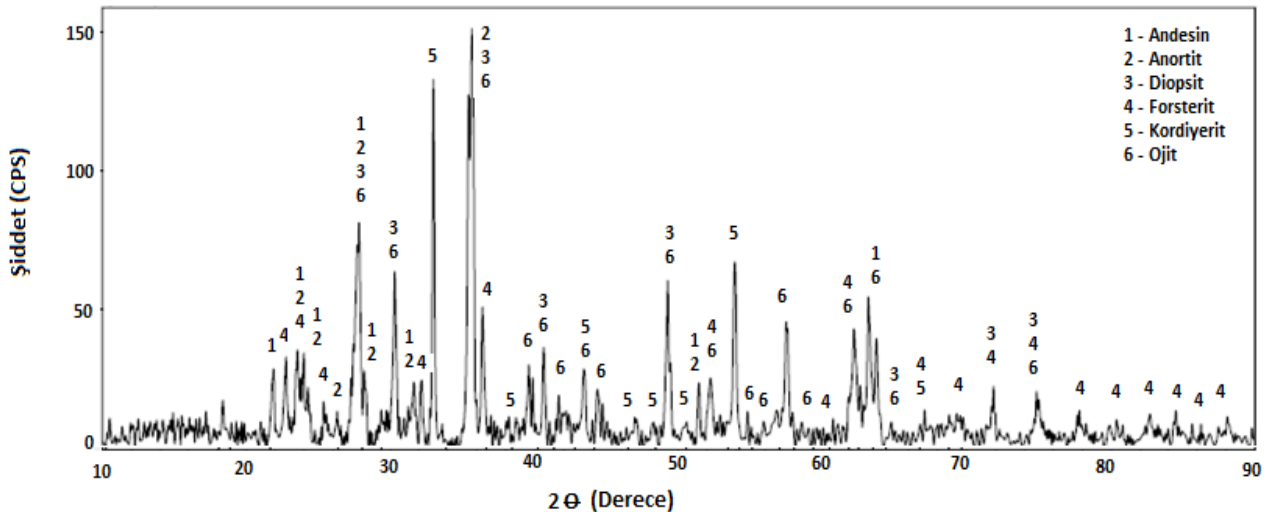
Bu fazların mevcudiyeti ısı işlemlerle cam-seramik dönüşümünün başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğine işaret etmektedir.



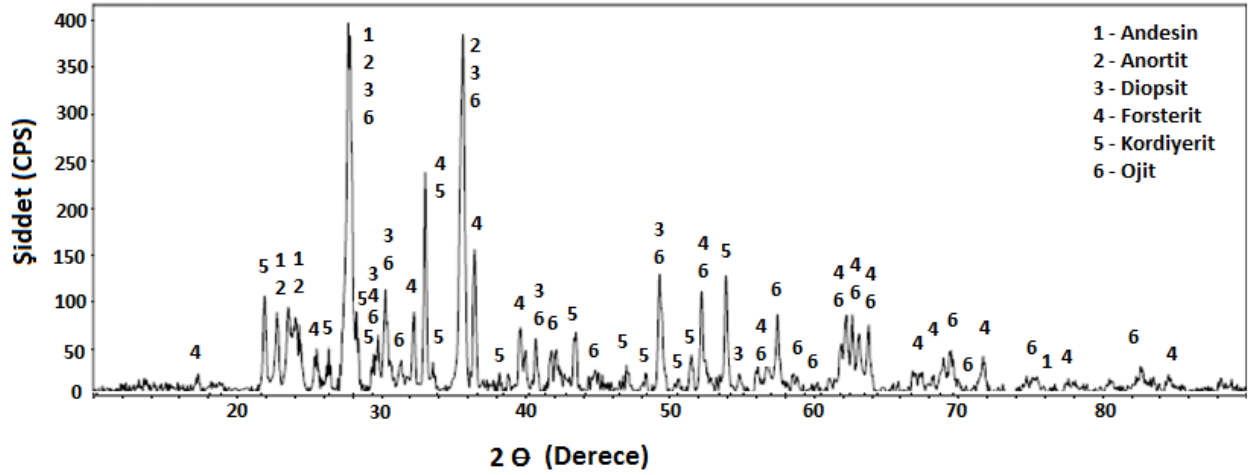
**Şekil 2.** A<sub>0</sub> ve A<sub>1</sub> cam bileşimlerinin döküm sonrasındaki XRD paternleri



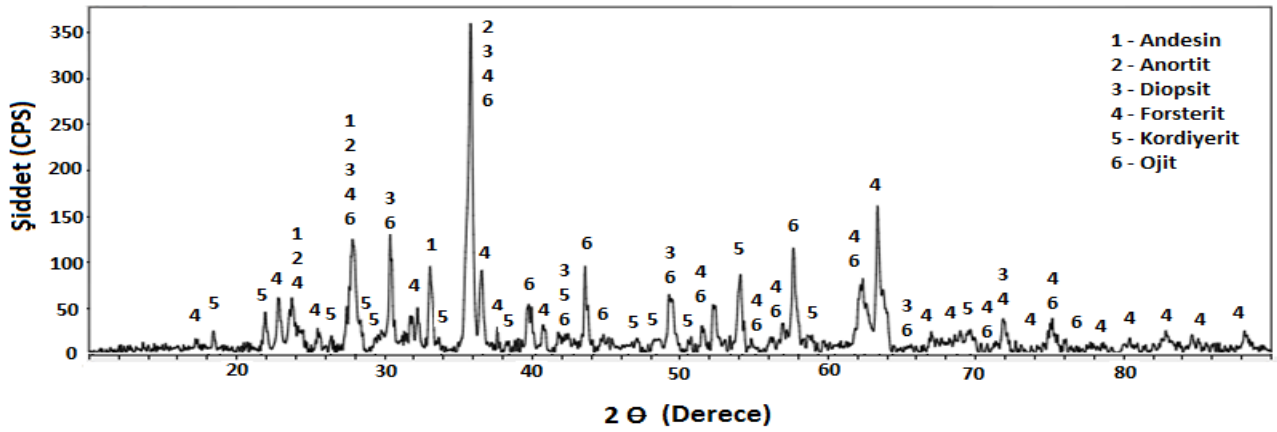
**Şekil 3.** A<sub>0</sub> Cam-seramiğinin 1000 C 3saat ısı işleme sonrası XRD paterni



Şekil 4. A<sub>1</sub> Cam-seramiğinin 1000 C 3saat ısıtıl işlem sonrası XRD paterni



Şekil 5. A<sub>0</sub> Cam-seramiğinin 1000 C 3saat + 1100 C 3 saat ısıtıl işlem sonrası XRD



Şekil 6. A<sub>1</sub> Cam-seramiğinin 1000 C 3saat + 1100 C 3 saat ısıtıl işlem sonrası XRD

XRD analizlerinde tespit edilen fazlar genellikle volkanik kayalardan üretilen cam-seramiklerde görülen tipik fazlardır (Yılmaz 1997, Bakr *et al* 2007, Yılmaz *et al* 2005, Bayrak *et al* 2011). Çalışmada cam-seramiklerde çökelen kristal fazlar literatürle uyum içerisinde bulunmaktadır. A0 camının 1000 °C'de 3 saat ısıtıl işlemi ile 1000°C 3 saat + 1100 °C 3 saat şeklinde yapılan ısıtıl işlemleri karşılaştırıldığında, her iki ısıtıl işlem sonunda da benzer fazlar bulunmuştur. Ayrıca 1000°C 3 saat + 1100 °C 3 saat ısıtıl işlem görmüş numunelerde sıcaklık artışının, pik şiddet ve miktarlarının artışına neden olduğu görülmüştür. Bu durumun da sıcaklık artışı bağlı olarak difüzyonun hızlanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

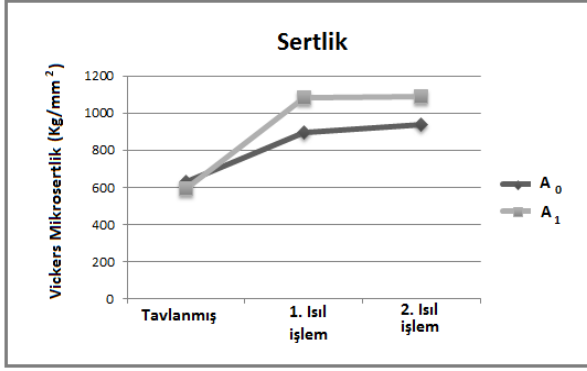
Cam ve cam-seramik numunelerin mikrosertlik ve kırılma tokluğu ölçümlerinden elde edilen sonuçlar Tablo 4.'te ve Şekil 7-8'de verilmiştir.

Tablo 3. Cam ve cam-seramik numunelerin mikrosertlik ve kırılma toklukları

Numune Kodu	Sertlik (Kg/mm <sup>2</sup> )	Kırılma tokluğu (MPa.m <sup>1/2</sup> )
A <sub>0</sub> camı	630,2	0,438
A <sub>1</sub> camı	591,2	0,524
A <sub>0</sub> - 1. ısıtıl işlem	897,6	1,540
A <sub>1</sub> - 1. ısıtıl işlem	1083,6	0,954
A <sub>0</sub> - 2. ısıtıl işlem	937,8	1,021
A <sub>1</sub> - 2. ısıtıl işlem	1086,6	1,032

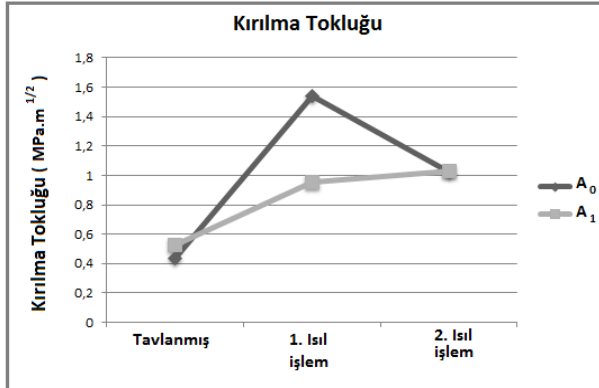
Genel olarak bakıldığında cam-seramik dönüşümü sonucunda sertlik değerlerinin belirgin bir artış görülmektedir. Sertlik değerlerindeki bu artış, cam-seramik dönüşümü ile meydana gelen kristallenmeden kaynaklanmaktadır. Yapılan literatür araştırmalarında da (Yılmaz *et al* 2006, Yılmaz *et al* 2005) camsı amorf yapıdan cam-seramik dönüşümü gerçekleştiğinde sertlikte belirgin artış olduğu belirtilmiş olup, bu durum

çalışmamız ile uyumludur.



Şekil 7. Cam ve Cam-seramik numunelerinin sertlik grafiği

Ayrıca yine Şekil 7'den görüleceği gibi kademeli ısıtılmanın her iki cam-seramik malzemede de sertlik artışına neden olurken A<sub>1</sub> kodlu cam-seramikte daha belirgin bir sertlik artışı gözlemlenmiştir. Bu durumun XRD analizlerinden de görülebileceği gibi A<sub>1</sub> cam-seramiklerinde daha sert bir yapısı olan forsterit ve kordiyerit fazlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 8. Cam ve Cam-seramik numunelerinin kırılma tokluğu grafiği

Gabro esaslı cam seramiklerin kırılma tokluğu grafiğine bakıldığında başlangıçtaki cam numunelerin kırılma tokluğu 1000 °C 3 saat ısıtılma işlemi ile A<sub>0</sub> ve A<sub>1</sub> cam seramiklerde kırılma tokluğu artmaktadır. 1000 °C 3 saat + 1100 °C 3 saat ısıtılma işlemi ile A<sub>0</sub> cam-seramik numunede azalırken, A<sub>1</sub> cam-seramik numunesinde bir miktar daha artış görülmektedir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

a) Yapılan XRD analizlerinde A<sub>0</sub> ve A<sub>1</sub>

numunelerinin döküm sonrası camsı amorf yapıda olduğu tespit edilmiştir.

b) Isıl işlem sonrasında A<sub>0</sub> ve A<sub>1</sub> ve numunelerinde anortit, diopsit, ojit, andezin, forsterit ve kordiyerit fazları belirlenmiştir.

c) Camsı amorf yapıdan cam-seramik yapıya dönüşüm sonucunda sertlik değerlerinde belirgin bir artış görülmektedir. Sertlik değerlerindeki bu artış, cam-seramik dönüşümü ile meydana gelen kristallenmeden kaynaklanmaktadır. Kademeli ısıtılma işlem (2. Isıl işlem) her iki cam-seramik malzemede de sertlik artışına neden olurken A<sub>1</sub> kodlu cam-seramikte daha belirgin bir sertlik artışı gözlemlenmiştir.

d) Cam-seramik dönüşümü ile 1. Isıl işlemde kırılma tokluğu değerleri artmaktadır. Kırılma tokluğu ölçümlerinde A<sub>0</sub> cam-seramik numunesinde 2. Isıl işlem sonucunda kırılma tokluğu artarken, A<sub>1</sub> cam-seramik numunesinde de bir miktar artış gözlemlenmiştir.

#### Teşekkür

Bu araştırma 2010-01-08-017 nolu BAPK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden dolayı Sakarya Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkür ederiz. Ayrıca, çalışmamıza katkılarından dolayı Metalurji ve Malzeme Mühendisi Serkan KARACA'ya ve Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na teşekkür ederiz.

#### Kaynaklar

- Abdel-Hameed, S. A.M. and Bakr, I.M., 2007. Effect of alumina on ceramic properties of cordierite glass-ceramic from basalt rock, *Journal of the European Ceramic Society*, 27, 1893-1897.
- Amitava, M. and Sunirmal, J., 2001. Glass and glass-ceramic coatings, versatile materials for industrial and engineering applications, *Bulletin Material Science*, 24, 1, 69-77.
- Bayrak, G., Şen, U. ve Yılmaz, Ş., 2005. AISI 1040 Çeliği Üzerine Plazma Sprey Kaplama Tekniği İle Volkanik Kayaçların Kaplanması ve Özellikleri, 12. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, 1258-1265, İstanbul.
- Bayrak, G., Ercenk, E., Şen, U. ve Yılmaz, Ş., 2011. The Effect of Heat Treatment Parameters on Phase Distribution in Basalt Based Glass-Ceramic Coating, IXth International Conference Preparation of Ceramic

- Materials, 77-80, Herlany, Slovenia.
- Erol, M. , Küçükbayrak, S. and Ersoy-Meriçboyu, A., 2007. Characterization of coal fly ash for possible utilization in glass production, *Fuel*, 86, 706–714.
- Elbatal, F. H., Azooz, M. A. and Hamdy, Y. M., 2009. Preparation and characterization of some multicomponent silicate glasses and their glass–ceramics derivatives for dental applications, *Ceramics International*, 35, 1211-1218.
- Madhumita, G., Sengupta, P. , Kuldeep, S. , Kumar, R. , Shrikhande, V.K., Ferreira, J.M.F. and Kothiyal, G.P., 2007. Crystallization behaviour of  $\text{Li}_2\text{O}-\text{ZnO}-\text{SiO}_2$  glass–ceramics system, *Ceramics International*, 33, 863–867.
- Rawlings, R. D., Wu J. P. and Boccaccini, A. R., 2006. Glass-ceramics: Their production from wastes-A Review, *Journal of Material Science*, 41, 733–761.
- Tyrell, G. W., 1975. The Principles of Petrology, John Wiley and Son., Newyork.
- Uz, B., 2000, Maden-Jeoloji-Jeofizik Mühendisliğinde Petrografi Prensipleri, 3. Baskı, Birsen Yayınevi, s.73, İstanbul.
- Yılmaz, Ş.,1997. Volkanik bazalt kayaçlarından cam-seramik malzeme üretim koşullarının araştırılması ve özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 182.
- Yılmaz, Ş., Bayrak, G., Şen, Ş. and Şen, U., 2006. Structural characterization of basalt-based glass–ceramic coatings, *Materials & Design*, 27, 1092-1096.