

## Düşük Sıcaklıklarda Kordiyerit Seramiklerin Geliştirilmesi ve Zirkon Katkısının Kordiyerit Faz Oluşumuna ve Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Sözer KULECİ<sup>1</sup>, Ali Aydın GÖKTAŞ<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Buca, İzmir

<sup>1</sup>sozerkuleci@hotmail.com,0554 205 04 81; <sup>2</sup>aydin.goktas@deu.edu.tr,0534 351 91 27

Geliş Tarihi: 27.08.2019; Kabul Tarihi: 12.09.2019

### Öz

#### Anahtar kelimeler

Kordiyerit;  
Zirkon katkısı;  
Düşük sıcaklık;  
Doğal hammaddeler;  
Sepiyolit

Kordiyerit esaslı seramikler sahip oldukları düşük ısıl genleşme katsayısı, yüksek öz direnç ve düşük dielektrik katsayısından dolayı önemli uygulamalar bulmaktadır. Bu çalışmada saf, temiz ve empürite içerikli doğal hammaddeler kullanılarak iki grupta reçetelerin geliştirilmesi ve kordiyerit seramiklerin düşük sinterleme sıcaklıklarında, 1160-1250 °C elde edilmesi ve minimum enerji tüketimi ile üretilebilirliğinin sağlanması hedeflenmiştir. Doğal hammadde olarak reçetelerde gerekli Kil Kaolen Feldispat gibi temel hammaddelerin yanı sıra Sepiyolit ve Talk'ın kordiyerit seramiğin özelliklerine etkisi incelenmiş olup, ayrıca bu çalışmada ağırlıkça %7 oranında Zirkon katkısının kordiyerit seramiklerin mikroyapısına, faz gelişimine, termal ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Numunelerin faz analizi, mikroyapısı ve termal ısıl genleşme katsayıları sırasıyla XRD, SEM ve Dilatometre yöntemleri ile incelenmiştir ve ısı karşısında davranışları DTA/TGA yöntemleri ile belirlenmiştir. Test numunelerin fiziksel özellikler Üç Nokta Eğme ve Su Emme testleri ile karakterize edilmiştir. İncelemeler sonucunda reçetelere bağlı olarak 1160°C ve üstü sıcaklıklarda kordiyerit fazı elde edilmiştir. 1160°C' de kuvars fazının varlığı ve 1300°C de deformasyondan dolayı 1200 – 1250°C sıcaklıklar alt ve üst çalışma sıcaklık aralığı olarak belirlenmiştir. Sepiyolit, empürite içeren ve saf temiz hammaddelerden oluşan numunelerde kordiyerit faz oluşumları sırasıyla, 1160, 1200 ve 1250 °C sıcaklıklarda gözlemlenmiştir. Zirkon katkılı numunelerin, mekanik özellikleri artırdığı ve termal ısıl genleşme katsayısını düşürdüğü izlenmiştir ve ayrıca kordiyerit faz oluşum sıcaklıklarını düşürdüğü ve kordiyerit faz yoğunluğunu arttırdığı belirlenmiştir. İncelemeler sonucu, doğal hammaddelerden hazırlanan reçetelerin kordiyerit oluşum sıcaklıkları, teorik sıcaklıkların altında, 1160°C - 1250°C de elde edilmiştir ve endüstride kullanılabilir ve sürdürülebilir hale getirilmiştir.

# Developing the Cordierite Ceramics at Low Temperature and the Investigation of the Effect of the Zircon Addition to Cordierite Phase Forming and Properties

## Abstract

Cordierite based ceramics find potential application due to low thermal expansion coefficient, high resistivity and low dielectrical coefficient. In this work it is aimed developing cordierite ceramics relatively at low temperature of 1160-1250°C producible with minimum energy consumption by employing two type of recepies with clean and empurity containing raw materials. As basic raw materials, clay, koaolinite, feldspar are used necessary for the recepies, besides of this sepiolite and talc are also used to investigate its effect on cordierite ceramic properties. Moreover the effect of 7 wt % zircon addition on microstructure, phase development, thermal and mechanical properties are investigated. Phase analysis, microstructure and thermal expansion coefficients are investigated by XRD, SEM and Dilatometer, respectively. Thermal behaviour of samples are determined by DTA/TGA method. Physical properties of samples are characterized by bending strength and water absorption tests. As a results of investigations cordierite phase is obtained starting at 1160°C and above temperatures. Because of existence of quarz phase at 1160°C and deformation at 1300°C, sinterinterval temperatures are determined to be between 1200 – 1250°C. Cordierite phase forming temperatures of samples containing sepiolite, empurities, and pour clean raw materials are observed at temperatures of 1160, 1200 and 1250°C, respectively. Samples with zircon addition showed increase in mechanical properties and decrease in thermal expansion coefficient. Moreover, phase forming temperature of cordierite phase is decreased and phase intensity and ratio of cordierite phase is increased. As a summary, cordierite phase forming temperatures of recepies prepared from raw materials are obtained at 1160-1250°C, which are far below theoretical forming temperatures, and so made suitable for industrial application.

### Keywords

Carbon Cordierite;  
Zircon Addition;  
Low Temperature;  
Raw Materials;  
-+Sepiolite

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

## 1. Giriş

Kordiyerit fazı MAS sistemi olarak bilinmektedir ve kimyasal formülü  $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$  şeklindedir. Teorik olarak oluşum sıcaklıkları 1350°C-1400°C dir. Düşük ısıl genleşme katsayısına sahip olması kordiyerit seramiklerin diğer seramiklere göre en önemli üstünlüğü olarak bilinmektedir (Wallace, 1980).

Kordiyerit seramiğin elde edilmesinde uygulanan yüksek sinterleme sıcaklığının, sanayide kullanılan fırınların yetersiz kalması nedeniyle sorun yarattığı bilinmektedir. Ayrıca bu seramiğin dezavantajlarından olan düşük tokluğunun giderilmesi amacıyla belirli

yüzdelerde  $\text{ZrO}_2$  ilavesinin etkileri çeşitli çalışmalara konu olmuştur.

Kumar ve çalışma arkadaşlarının, saf kordiyerit ( $\text{MgO}$ : 13.8 ağı%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 34.8 ağı%,  $\text{SiO}_2$ : 51.4 ağı%) ve ağırlıkça %5 - %20 oranlarında zirkonya ilavesi ile yaptığı çalışmada, numunelerde mekanik ve termal özelliklerin doğru orantılı olarak iyileştiği anlaşılmaktadır.

Saf kordiyerit ve ağırlıkça %20 Zirkonya içeren kordiyerit-zirkonya kompozit seramikler XRD de incelendiğinde, benzer özellikler göstermiştir. Buradaki en önemli fark, zirkonya ilavesi ile beraber 1350°C' de meydana gelen zirkonya - silika reaksiyonu ile oluşan  $\text{ZrSiO}_4$  formasyonudur. Bu

formasyon nedeniyle ikinci faz partiküllerinin oluşumu sağlanmış, mekanik özelliklerde iyileşme görülmüştür.

Zirkonya kompozit seramiğinin saf kordiyerit seramiğine kıyasla 1350°C sıcaklıkta eğilme mukavemetinin 126 MPa'dan 297 MPa'a, termal genişleme katsayısının ise  $4.08 \times 10^{-6} K^{-1}$  den  $4.42 \times 10^{-6} K^{-1}$  e yükseldiği görülmüştür (Kumar, 2015).

T. Ogiwara ve arkadaşları katı hal reaksiyonları ile kordiyerit sentezi ve karakterizasyonu üzerine çalışmışlardır. Başlangıç malzemesi olarak saf magnezya, amorf silika ve amonyum alüminyum hidroksikarbonat kullanmışlardır. Kordiyeriti 1300°C, 1350°C, 1400°C, 1430°C ve 1450°C sıcaklıklarda 2 saat süre ile sinterlemişler ve her biri için üç nokta eğme testi ile eğme mukavemetini ölçmüşlerdir.

Yapılan çalışmada 1350°C de kordiyerit seramik elde edilmiş olup maksimum eğme mukavemeti ise 1450 °C de 240 MPa elde edilmiştir (Ogiwara, 2010)

Literatürde doğal hammaddelerle yapılan çalışmalarda genelde kil ve kaolen yanında, Kordiyerit reçetesini oluşturabilmek için alümina ve magnezya ihtiyacı için talk, sepiyolit, dolomit veya magnesit kullanılmıştır ve ayrıca kordiyerit oluşum sıcaklığını düşürebilmek için borik asit ve/veya cam katkılandırması yapılmıştır. Yapılan çalışma sonuçlarının ortak özellikleri, genelde 1100°C ye kadar gözenekli yapıda olmaları ve 1200°C civarında kısmi erime başlangıcı göstermeleridir ve 1300°C ve üzerlerindeki sıcaklıklarda ancak yoğun yapıya ulaşmalarındır. Kordierit fazı 1200 °C civarında oluşmaya başlamaktadır, ancak tek başına oluşmaktan ziyade, bu faz ile beraber çalışma koşullarına bağlı olarak korund, enstatit, forsterit, spinel, anortit ve kuvars fazlarına rastlanmaktadır ve bu yüzden termal genişleme katsayıları 80-90.  $10^{-7} K^{-1}$  olarak yüksek değerlerde elde edilmektedir (Gunay,2010; Gunay,2011; Trumbulovic,2003; Rundans,2011; Tulyaganov,2002).

Saf kimyasallar ile yapılan bir çalışmada  $MgCl_2$  çözeltisinden yola çıkılarak ve mikron altı ince taneli kaolen kullanılarak 1200 °C de kordiyerit fazı elde edilmiştir, bu sıcaklıkta porös yapı elde edilmiş olup 1350oC' de ancak yüksek yoğunluğa ulaşabilmiştir(Kobayashi,2000).

Saf hammaddelerden yola çıkılarak yapılan diğer bir çalışmada, diatomit, alümina ve talk hammaddeleri kullanılarak 1300°C de kordiyerit ile beraber spinel ve kuvars fazları elde edilirken, 1400°C yüksek sıcaklıkta sadece kordiyerit fazı oluşmuştur (Goren,2006).

Her iki literatür çalışmasında yaklaşık  $20.10^{-7} K^{-1}$  düşük değerlerde ısıl genişleme katsayısı elde edilmiştir. Bilindiği üzere teoride üçlü faz diyagramında 1400 °C civarında kordiyerit fazı oluşmaktadır.

Doğal hammaddelerle yapılan çalışmalarda mukavemet değerleri 1200 °C sıcaklığa kadar test edilmiştir, zira bu sıcaklığın üzerlerinde kısmi ergimeler başlamaktadır. Mukavemet değerleri 20-50 MPa değerleri arasında belirlenmiştir.

Bu çalışmada saf, temiz ve empürite içerikli doğal hammaddeler kullanılarak iki ana grupta reçetelerin geliştirilmesi, kordiyerit seramiklerin düşük sinterleme sıcaklıklarında, 1160-1250 °C sıcaklıklarda elde edilmesi ve minimum enerji tüketimi ile üretilebilirliğinin sağlanması hedeflenmiştir.

Doğal hammadde olarak reçetelerde kullanılan kil, kaolen ve feldispat gibi temel hammaddelerin yanı sıra sepiyolit ve talk'ın kordiyerit seramiğinin özelliklerine etkisi incelenmiş olup, ayrıca bu çalışmada ağırlıkça %7 oranında zirkon katkısının kordiyerit seramiklerin mikroyapısına, faz gelişimine, termal ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışma, Seramiksan ve Kale Seramik şirketleri tarafından temin edilen hammaddeler ile reçetelerin oluşturulması, oluşturulan reçetelerin, ilk olarak

hammadelerin havanda kırma işlemi ile belli tane boyutlarına getirilmesi, belli tane boyutuna gelen hammaddelerin belirlenen reçetelerdeki ağırlıkça yüzde miktarlarına göre 100 gr şeklinde karışımın hazırlanması, hazırlanan karışımın yaş öğütme işleminden sonra 63 µm boyutundaki elekten geçirilip çöktürme işlemi yapılmış olup elek üstü kaba kumun maksimum %2 değerinde olmasına itina gösterilmiştir. Hazırlanan karışım tozları %5 nem içerecek şekilde kurutulduktan sonra, Laboratuvar tipi pres yardımıyla 230 Bar' da 5 cm. çapında ve 5 cm. x 10 cm. karo ebatlarında, 0,5 cm kalınlıklarda numuneler preslenerek şekillendirilmiştir. Son olarak belirlenen pişirme rejimleri ile 1100°C, 1160°C, 1200°C, 1250°C, 1300°C nihai tepe sıcaklıklarında 2 saat bekletilerek pişirilmiştir ve fırın içerisinde soğutmaya bırakılmıştır.

Oluşturulan reçete çalışmalarında kullanılan hammaddeler, Feldispat, Şile kili, Manyezit, korund, Turgutlu kili, Sepiyolit, Kaolen, Kuvars, Ukrayna kili ve Zirkon olarak belirlenmiş olup 6 adet farklı reçete hazırlanmıştır.

Hazırlanan reçete kodları ise şu şekilde belirtilmiştir. T1: Zirkon katkısız temiz reçete, T1Z: Zirkon katkılı temiz reçete, K1: Zirkon katkısız empürite içeren reçete, K1Z: Zirkon katkılı empürite içeren reçete, S1: Zirkon katkısız saf reçete, S1Z: Zirkon katkılı saf reçete

Hazırlanan reçetelerin nihai kimyasal kompozisyonlarının kordiyeritin teorik kimyasal formülüne (MgO: 13.8 ağı%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 34.8 ağı%, SiO<sub>2</sub>: 51.4 ağı%) yakın olacak şekilde oluşturulmasına itina gösterilmiştir.

K; empuritesi fazla olan hammaddelerden, özellikle örneğin Turgutlu Kil esaslı (Demiroksit'çe zengin) hammaddesinden oluşmaktadır,

T; empuritesi az olan hammaddelerden, özellikle örneğin Şile kili esaslı hammaddesinden oluşmaktadır,

S; empuritesi çok az, hemen hemen olmayan hammaddelerden, özellikle örneğin Ukrayna kili esaslı hammaddesinden, oluşmaktadır

Çizelge 1' de T ve K reçetelerinin kimyasal yüzde bileşimleri verilmiştir.

Çizelge 1. T ve K reçetelerinin yüzde bileşimleri

Bileşenler	Reçete	T1	T1Z	K1	K1Z
ZrO <sub>2</sub>			5		5
K <sub>2</sub> O		1	0.8	1.2	1
Na <sub>2</sub> O		1.7	1.6	1.7	1.5
MgO		10	9.3	9.7	9
Cao		5.9	5.5	5.7	5.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1.1	1	2.2	2
TiO <sub>2</sub>		0.6	0.6	0.4	0.35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		30	30	28	20
SiO <sub>2</sub>		50	48	51	50

Pişirilen numunelerin faz analizi, mikroyapısı ve termal ısıl genleşme katsayıları sırasıyla XRD, SEM ve Dilatometre yöntemleri ile incelenmiştir. Test numunelerin fiziksel özellikleri Üç Nokta Eğme mukavemeti ve Su Emme testleri ile karakterize edilmiştir.

### 3. Bulgular

Su Emme Testi; Sinterleme işlemi uygulanan numunelere yapılan Su Emme testinde numuneler kaynar su içindeki kaba daldırılıp 1 saat süre ile kabın içindeki su ile kaynatma işlemine devam edilmiştir, daha sonra 1.5 saat süre kabın içinde soğumaya bırakılmıştır. Çizelge 2 ve 3 te belirtilen yüzdesel olarak su emme testi sonuçlarına varılmıştır.

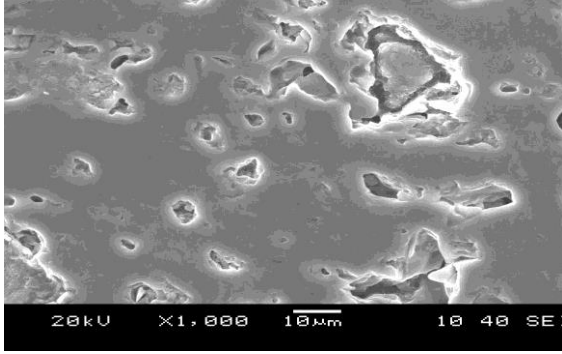
Çizelge 2. T reçeteli numunelerin % Su Emme Testi sonuçları

Reçete	1100°C	1200°C
T1	7.4	1.5
T1Z	6.5	1.23

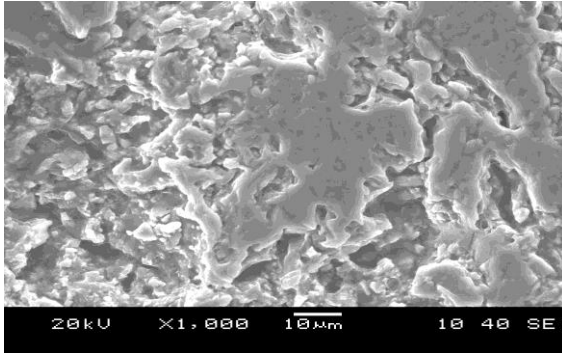
Çizelge 3. K reçeteli numunelerin % Su Emme Testi sonuçları

Reçete	1100°C	1200°C
K1	8	1.72
K1Z	6.91	1.32

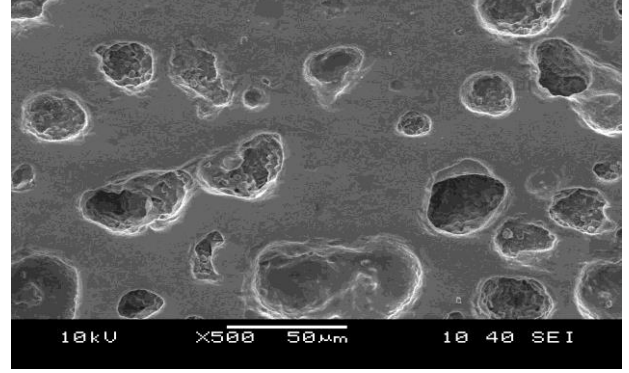
SEM analizi; SEM analizine göre 1250°C' de sinterlenmiş K1, K1Z, T1 ve T1Z reçeteli numunelerin mikroyapı görüntüleri Şekil 1- 4 te incelendiğinde, zirkon katkısının daha homojen ve gözenekli az bir mikroyapı elde edilmesini sağladığı görülmüştür. Özellikle K1Z numunesinde bu bulgu açıkça görülmektedir. Diğer numuneler de benzer özellikler göstermektedir.



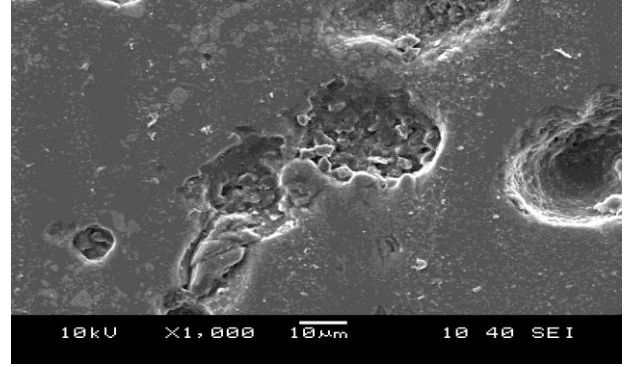
Şekil 1. 1250°C de sinterlenmiş K1 reçeteli numunenin SEM görüntüsü



Şekil 2. 1250°C de sinterlenmiş K1Z reçeteli numunenin SEM görüntüsü

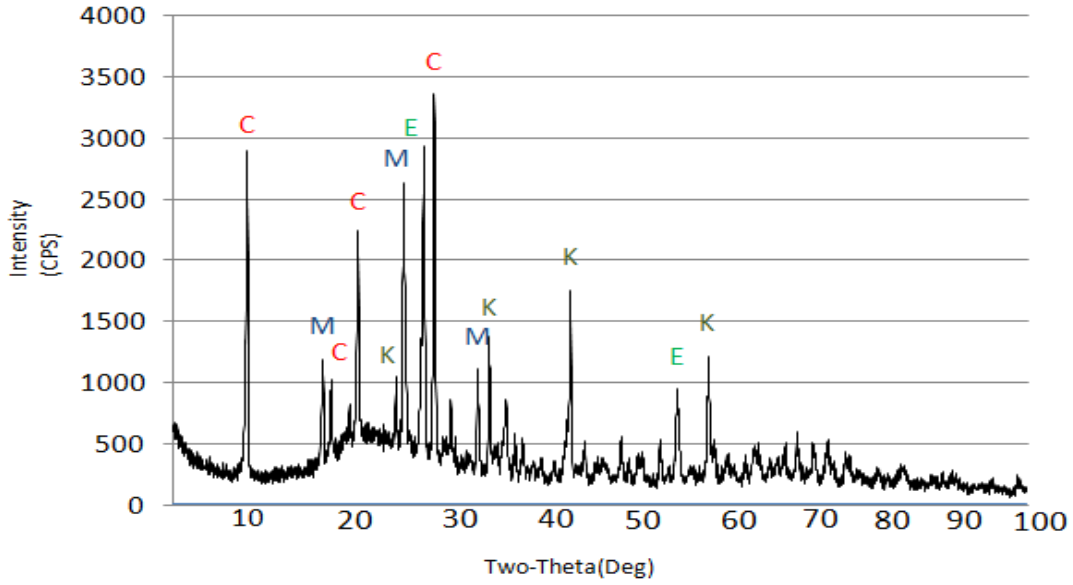


Şekil 3. 1250°C de sinterlenmiş T1 reçeteli numunenin SEM görüntüsü

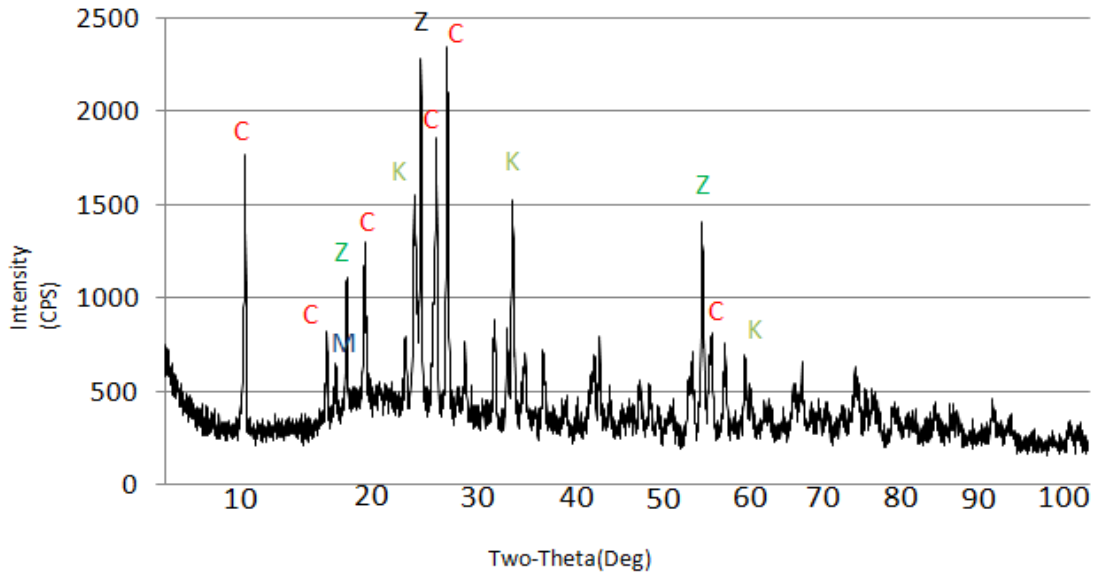


Şekil 4. 1250°C de sinterlenmiş T1Z reçeteli numunenin SEM görüntüsü

XRD analizi; XRD faz analizinden elde edilen sonuçlara göre kordiyerit faz oluşum sıcaklıkları 1160°C ile 1250°C sıcaklık aralıklarında başlamaktadır. Şekil 5 ve Şekil 6 kıyaslandığında Zirkon katkısının kordiyerit faz oluşumuna etkisi ve faz şiddetini arttırarak müllit faz oluşumunu önlediği görülmüştür.



Şekil 5. 1250°C de sinterlenmiş T1 reçeteli numunenin XRD grafiği



Şekil 6. 1250°C de sinterlenmiş T1Z reçeteli numunenin XRD grafiği

C: Kordiyerit , K: Korund , Z: Zirkon,  
E: Enstatit , M:  $MgFe_2Al_{1.8}O_4$

Çizelge 4' de sıcaklığa ve T1 kompozisyona bağlı olarak faz gelişimi toplu olarak gösterilmektedir, diğer kompozisyonlarda da benzer gelişim izlenmektedir. Çizelgede görüleceği üzere düşük sıcaklıkta oluşan ön fazlar sıcaklığın artırılması ile kaybolmakta ve kordiyerit fazı oluşmaktadır.

Çizelge 4. T1 kompozisyonun sıcaklığa bağlı olarak faz gelişimi

Reçeteler	1100°C	1250°C	1300
T1	Kuars Korundum	Kordiyerit Korundum Enstatit Mullit	Kordiyerit Korundum
T1Z	Zirkon Kuars Korundum Enstatit	Zirkon Kordiyerit Korundum	

Eğme mukavemeti; 3 Nokta Eğme Deneyi sonuçlarında; Çizelge 5 ve Çizelge 6 verileri incelendiğinde,

Çizelge 5. T1 ve T1Z reçeteli numunelerin üç nokta eğme deneyi sonuçları (MPa)

Reçeteler	1100°C	1200°C
T1	22	43
T1Z	25	55

Çizelge 6. K1 ve K1Z reçeteli numunelerin Üç nokta eğme deneyi sonuçları (MPa)

Reçeteler	1100°C	1200°C
K1	24	48
K1Z	30	58

Ağırlıkça %7 Zirkon katkısının reçeteler üzerindeki etkisinde mukavemet değerlerinde artışlara yol açtığı görülmüştür. Ayrıca empurite

içerikli K reçetelerinin mukavemet değerlerinin daha üstün olduğu izlenmektedir.

Termal genleşme katsayısı; Dilatometre testi sonucunda, hazırlanan saf, temiz ve empurite içerikli reçetelerde, 300 °C sıcaklıklarda  $65- 70 * 10^{-7} K^{-1}$  değerlerinin elde edildiği ve ayrıca zirkon katkısı ile katsayının yaklaşık %3-5 değerlerinde azaldığı belirlenmiştir.

#### 4. Tartışma

Yapılan çalışmada elde edilen veriler ile makale araştırmalarından elde edilen veriler karşılaştırıldığında;

Kumar ve T. Ogiwara ve arkadaşlarının çalışmalarında kordiyerit faz oluşumunun 1350°C sıcaklıklarda elde edildiği görülür iken, yapılan bu çalışmada kordiyerit faz oluşum sıcaklığının amaçlandığı üzere 1160°C ve 1250°C düşük sıcaklık aralıklarına düşürüldüğü görülmüştür.

Diğer doğal hammaddeler ile yapılan çalışmalarda 1200°C sıcaklıkta arzu edilmeyen kuvars fazı hala görülür iken, yapılan bu çalışmada kuvars fazının artan sıcaklıkla kaybolduğu görülmüştür. Teorik kordiyerit kompozisyonlarına yakın oluşturulan reçetelerde empurite içeriklerinin ve düşük miktarda alkali içeriğinin ve sepiyolit katkısının faz oluşumuna ve mukavemet değerlerine olumlu etkisi düşünülmektedir. Bu etki SEM görüntülerinde de izlenmektedir. Empurite içerikli K reçetelerinde reaksiyon oluşumlarının daha etkin olarak tamamlandığı ve daha homojen morfolojik yapının elde edildiği görülmektedir. Zirkon katkısının bu yapıya olumlu etki sağladığının yanı sıra aynı zamanda mukavemet değerlerini artırıcı etkisi görülmüştür.

Kumar ve arkadaşlarının çalışmasında zirkon katkısının termal genleşme katsayısını artırdığı izlenirken, yapılan çalışmada ağırlıkça % 7 zirkon katkısının termal genleşme katsayısını düşürdüğü görülmüştür. Reçetede zirkon ile beraber kullanılan sepiyolit termal genleşme katsayısını düşürücü etki sağladığı düşünülmektedir.  $65- 70 * 10^{-7} K^{-1}$  değerlerinde elde edilen termal genleşme katsayısının endüstride uygulanabilir olduğu düşünülmektedir.

#### 5. Sonuçlar

Yapılan çalışmada 1200°C de sinterlenen numunelerden elde edilen mukavemet değerlerinin zirkon katkısız ortalama 45MPa, zirkon katkılı 50 MPa değerleri ile literatüre eş veya daha yüksek değerde olması ürünlerin uygulanabilir olduğunu

göstermektedir, ayrıca doğal hammaddelerden hazırlanan reçetelerin kordiyerit oluşum sıcaklıklarının teorik sıcaklıkların altında, 1160°C - 1250°C sıcaklıklarda elde edilmesi ve termal genişleme katsayısının  $65-70 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$  değerleri ile düşük değerlerde olması ve ağırlıkça %7 zirkon katkısı ile daha homojen bir mikroyapının sağlanması ile endüstride kullanılabilir ve sürdürülebilir hale getirildiği belirlenmiştir.

## 6. Teşekkür

Hammadde temin aşamasında desteklerini esirgemeyen Seramiksan Turgutlu Seramik San.ve Tic. A.Ş. ve Kale Seramik Çanakkale Kalebodur Seramik San. A.Ş. şirketlerine, teşekkür ederiz.

## 7. Kaynakça

- Goren,R., Gocmez,H., Ozgur,C., Synthesis of cordierite powder from talc,diatomite and alümina, *Ceramics International* 32 (2006) 407–409.
- Günay,E., Sintering behavior and properties of a talc-based cordierite composition withboron oxide additions, *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol. 11, No. 5 (2010)591-597.
- Günay,E., Sintering behavior and properties of sepiolite based cordierite compositions with added boron oxide, *urkish J. Eng. Env. Sci.*35 (2011), 83– 92.
- Kobayashi,Y., Sumi,K., Kato,E., Preparation of dense cordierite ceramics from magnesium compounds and kaolinite without additives, *Ceramics International* 26 (2000) 739 -743.
- Kumar,M.S., Processing and characterization of pure cordierite and zirconia-doped cordierite ceramic composite by precipitation technique, *Bulletin of Material Science*, Vol. 38, No. 3, *India*(2015), 679–688.
- Ogiwara,T., Noda,Y., Shoji,K., Kimura,O., Solid state synthesisand its characterization of high density cordierite ceramics using fineoxide powders, *Journal of the Ceramic Society of Japan* 118(2010), 246-249
- Rundans,M., Sperberga,I., Lindina,L., Steins, I., Effect of sintering process and additives on the properties of cordierite based ceramics, 5th BalticConferenceonSilicateMaterials IOP PublishingIOP Conf.Series:MaterialsScienceandEngineering 25 (2011) 012009,1-8.

Trumbulovic,Lj., Acimovic,Z., Panic,S., Andri, Lj., Synthesis and Characterization ofCordierite from Kaolin and Talc for Casting Application, *FME Transactions* (2003) 31, 43-47.

Tulyaganov,D.U., Tukhtaev,M.E., Escalante, J.I., Ribeiro,M.J., Labrincha,J.A., Processing of cordierite based ceramics from alkaline-earthaluminosilicate glass, kaolin, alumina and magnesite, *Journal of the European Ceramic Society* 22 (2002) 1775–1782.

Wallace,J.H.,Wenk,H.R., Structure variation in low cordierites, *American Mineralogist*65(1980)96-111.