

AŞIRI ÖĞÜTMEYLE MEKANİK OLARAK AKTİFLEŞTİRİLMİŞ ATIK MERMER TOZLARI KULLANILARAK YAPAY VOLLASTONİT ÜRETİMİ ve KULLANIMI

Production and Utilization of Synthetic Wollastonite by using Waste Marble Powders Activated Mechanically via Intensive Milling

Meryem GÖKTAŞ*
Murat ERDEMOĞLU**

ÖZET

Bu çalışmada, aşırı öğütme yoluyla mekanik olarak aktifleştirilmiş mermer sanayi toz atıkları çamuru ve kuvars tozu karışımları kullanılarak yapay wollastonit (CaSiO_3) üretimi üzerinde durulmuştur. Yapay wollastonit üretimi sürecinde mermer ve kuvars tozu karışımının kavurma sırasındaki davranışının aşırı öğütmeyle etkileşiminin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

Mermer tozu ve kuvars tozunun aşırı öğütme sonundaki davranışlarını gözlemek üzere, bilyalı jet değirmen kullanılarak tek başına ve karışım halinde öğütme testleri gerçekleştirilmiştir. Öğütülmemiş ve öğütülmüş karışımların yapısal ve termal özellikleri tanımlanmıştır. Karışımlarda $900^\circ\text{-}1200^\circ\text{C}$ aralığında çeşitli sıcaklıklarda kavurma işlemiyle oluşan wollastonitin izleri aranmış ve karışımdaki CaCO_3 ve SiO_2 'nin tamamıyla CaSiO_3 'e dönüştüğü sıcaklık belirlenmiştir. Yapay olarak üretilmiş wollastonit ve doğal wollastonit, seramik karo çamuru reçetesine değişik oranlarda eklenmiş ve elde edilen tabletler $1000^\circ\text{-}1200^\circ\text{C}$ aralığında değişik sıcaklıklarda pişirilmiştir. Pişirme sonunda üretilen tabletlere çeşitli fiziksel, kimyasal termal ve mekaniksel testler uygulanarak, yapay ve doğal wollastonitin seramik malzemeye sağladığı özellikler karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak, mermer tozu ve kuvars tozunun kavurma işlemi öncesinde aşırı öğütme yoluyla mekanik olarak aktifleştirilmesinin wollastonitin oluşum sıcaklığını düşürdüğü ve kullanıldığı seramik çamuruna pişirme sonrası olumlu katkılar sağladığı ortaya çıkarılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Mermer atıkları, Dönüştürme kavurması, wollastonit, mekanik aktivasyon

ABSTRACT

In this study, synthetic wollastonite (CaSiO_3) production by using a mixture of marble industry waste sludge powders and quartz powders which were mechanically activated via intensive milling at the same time was emphasized. It has been intended to reveal the interaction between the behaviour of mixture of marble and quartz powders during roasting and intensive milling in the synthetic wollastonite production process.

In order to observe the behaviour of marble powder and quartz powder mixture at the end of intensive milling, milling tests were performed individually and as mixture by using a jet ball mill. Structural and thermal specifications of non-milled and milled mixtures were defined. The foot prints of wollastonite formed by roasting process at various temperatures in the range of $900^\circ\text{-}1200^\circ\text{C}$ were searched for within the mixtures and the temperature at which the CaCO_3 and SiO_2 in the mixture entirely convert to CaSiO_3 is determined. Synthetically produced wollastonite and natural wollastonite were added to the ceramic tile formula and tablets acquired were fired at different temperatures in the range of $1000^\circ\text{-}1200^\circ\text{C}$. The specifications enabled to the ceramic material by synthetic and natural wollastonite were compared via running various physical, chemical, thermal and mechanical tests on tablets produced at the end of firing. In conclusion, it has been revealed that the process of mechanical activation of the mixture of marble powder and quartz powder via intensive milling prior to the roasting process, lowers the temperature at which wollastonite is formed, and provides favourable post-firing contributions to the ceramic tile sludge.

KEYWORDS: Marble waste, conversion roasting, wollastonite, mechanical activation

* Dr., Bilecik Şeyh Edebali Üniv., Bozüyük Mes. Yük. Okulu, Doğal Yapı Taşları Böl., BİLECİK, meryem.goktas@bilecik.edu.tr

** Prof., Dr., İnönü Üniv., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., MALATYA

1. GİRİŞ

Vollastonitin ana kullanım alanı seramik sanayidir. Seramik bünyelerde vollastonit kullanımının en önemli avantajı; pişirim süresini düşürmesi ve düşük sıcaklıklarda sinterlenebilme kabiliyetidir. Seramik malzemeler üretiminde feldspat, kalsit, kuvars, dolomit, talk gibi hammaddeler yerine veya seramik mamulün belirli özelliklerinin düzenlenebilmesinde vollastonit kullanılmaktadır. Bu sanayide vollastonit sıhhi tesisat ve çinilerde çatlamayı, sıkıştırmayı, kırılmayı ve mamüller üzerindeki ısı genleşmesini önlemesi bakımından aranan bir katkı maddesidir. Vollastonit kullanıldığında seramik ürünün gerek plastik halde, gerekse kurutulmuş halde iken dayanımı çok yüksektir. Vollastonit ayrıca kurumayı hızlandırmakta ve nemlilik genişlemelerini asgariye indirmektedir. Hamurdaki miktarı arttıkça fırınlama sürecinde kılma söz konusu olduğundan yakıtta da tasarruf sağlanmaktadır.

Endüstriyel tesislerde öğütme, enerjinin en yaygın ve en verimsiz olarak kullanıldığı işlem kademesidir. Özellikle, tane boyutu küçüldükçe tanelerin kırılmaya karşı olan dirençlerinin artmasıyla birlikte tüketilen enerji miktarları da aşırı bir şekilde artmaktadır. (Baláz, 2000, Wang ve Forsberg, 2007).

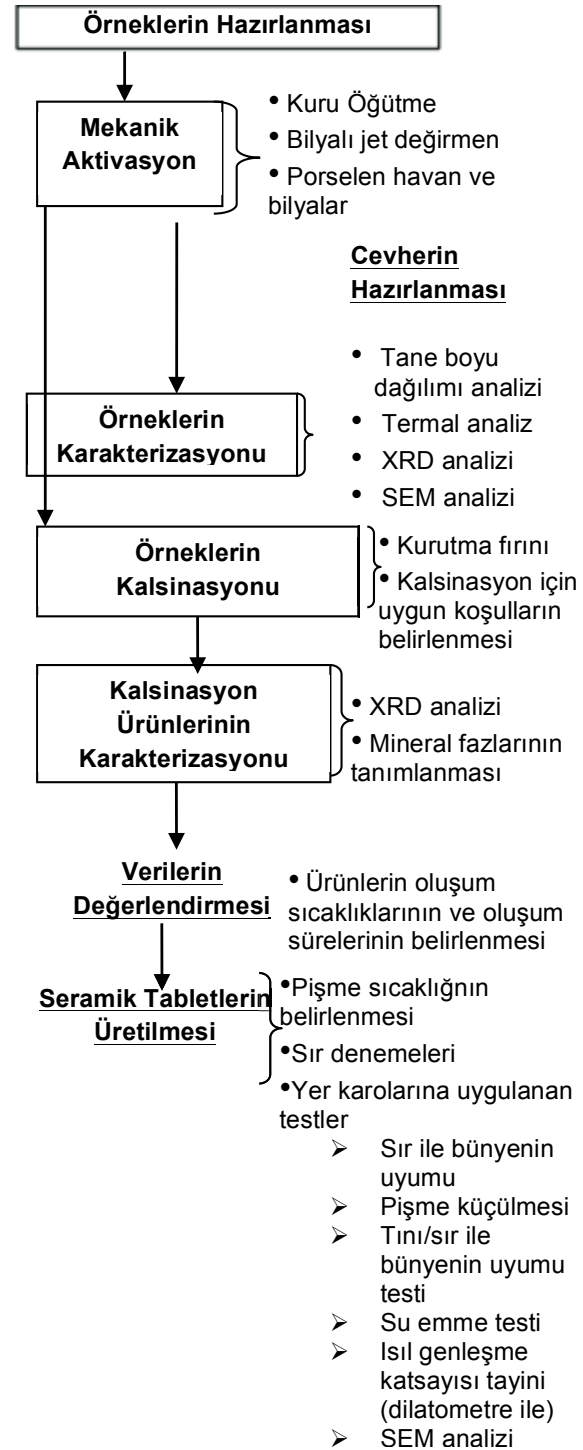
Cevherler üzerine uygulanan aşırı ince öğütmeyle ise, ince tane sayısı artmakta, böylece daha önce ortaya çıkmamış taze yüzeyler oluşmaktadır (Baldyrev, 2004). Bunun sonucunda yarı-kararlı türler oluşur. Bu durum öğütülmekte olan mineralin reaktifliğinde değişime yol açtığı için mekanik aktivasyon olarak adlandırılır. Mekanik aktivasyon, kavurma ya da liçing gibi temel bir metalurjik süreç öncesinde mineralin bu süreçlerdeki durum değişimleri sırasındaki reaktifliğini artırmak üzere uygulanan bir ön-işlemdir.

Bu çalışmada, mekanik olarak aktifleştirilmiş mermer atık tozları kullanılarak üretilen yapay vollastonitin karo seramik üretiminde kullanılabilirliği araştırılmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada, yapay kalsiyum silikat üretiminde kullanılan çeşitli oranlarda karıştırılmış Afyon İncehisar Mermer Kalkınma Kooperatifi'nin (Afyon-Türkiye) atık havuzundan temin edilen beyaz mermer tozu çamuru numuneleri kurutulmuş ve Eczacıbaşı-ESAN'dan temin edilen kuru haldeki endüstriyel kuvars tozu örneği kullanılmıştır. Şekil 1'de deneysel yöntemin akım şeması ve

yapılan çalışmaların özeti verilmektedir (Göktaş, 2013).



Şekil 1. Deneysel yöntemin akım şeması ve yapılan çalışmaların özeti (Göktaş, 2013).

Numunelerinin kimyasal analizlerinde elde edilen hesaplamalar sonucunda kuvars tozunda SiO_2 miktarı yaklaşık % 98,96 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde mermer tozunda CaO miktarı ise yaklaşık %55,86 olarak belirlenmiştir.

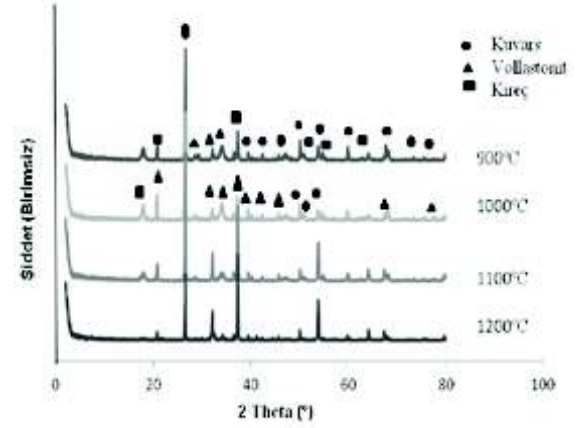
Kurutulan mermer tozu numunesi kuvars tozu numunesiyle beraber öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Öğütme işleminde Bilya/Karışım ağırlıkça oranı ve öğütme süresi başlıca değişkenler olarak seçilmiştir. Karışımlar değişik sürelerde öğütülerek en uygun vollastonit üretimi sağlayan öğütme koşulları belirlenmeye çalışılmıştır. Öğütme işlemi genelde sır hazırlamak üzere kullanılan ve bir tür Jet Değirmeni olan ~20mm çaplı porselen bilyalı ve 1000 cm³ porselen kavanozlu Gabbrielli 2-B marka değirmende gerçekleştirilmiştir. Jet Değirmende öğütme ortamı olarak toplam 400 g 25 adet alumina porselen bilya kullanılmıştır. Öğütülmüş karışımların değişik sıcaklıklarda 900-1200 °C'de ve değişik sürelerde 30-300' süreyle kavurma çalışmaları için Nüve marka MF120 model kül fırını kullanılmıştır. Vollastonit katkılı seramik tabletlerin üretilmesi için; elde edilen öğütülmüş ve kavurulmuş malzemelerle yer karosu massesine vollastonit katkısının etkisini belirlemek üzere masse reçetesine % 0-20 oranlarında doğal ve yapay vollastonit eklenmiştir.

2.1. Bulgular ve Tartışma

Değişik stokiometrik oranlarda hazırlanan mermer tozu ve kuvars kumu karışımları, 20, 10, 5 gibi değişik bilya/karışım oranlarında değişik sürelerde öğütülmüştür. Örneklerin tanecik boylarını belirlemek üzere tane boyu dağılım analizleri yapılmış, bu amaçla Malvern marka Mastersizer 2000 model tane boyu analiz cihazı kullanılmıştır.

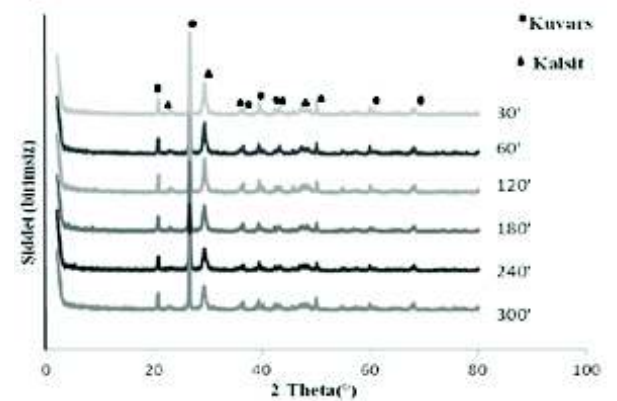
Tane boyu dağılım eğrilerindeki değişimler incelendiğinde, örneğin 180 dakika öğütülen karışımın %10'unun tane boyunun -1,7 µm, %50'sinin tane boyunun -23,3 µm, %90'ının tane boyunun ise -94,2 µm bulunmasıyla daha kısa sürelerdeki öğütmelerde bulunan d₁₀, d₅₀ ve d₉₀ değerlerinden daha büyük tane boylarının ortaya çıktığı fark edilmiştir. 30' öğütme süresinde diğer sürelerde elde edilen değişimle tane boyu küçülmüş ancak daha uzun süre öğütmeyele elde edilen dağılım eğrilerinde tane boyunun iri boylara doğru arttığı belirlenmiştir. Bu durum taramalı elektron mikroskobu görüntüleriyle de tespit edilmiştir. Söz konusu artışın; küçük tanelerin daha büyük tanelere bağlanması sonucu olduğu düşünülmektedir. Mineraller fazla öğütmeye maruz bırakıldıklarından d₉₀ eğrisinde dalgalanmalar görülmüştür. Bunun nedeni ise, spesifik yüzey alanının artışının yanında oluşan mekanik aktivasyondan dolayı sonraki prosesi etkileyecek olan kimyasal ya da fizikokimyasal dönüşümle-

re maruz kalmaları olduğu sonucuna varılmıştır. Öğütülmemiş karışım malzemeleri tepkimesi amacıyla ön testler yapılmış ve değişik sıcaklıklarda kavurma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde elde edilen ürünlere ait X-Ray Diffraction Analiz (XRD) desenleri Şekil 2'de verilmiştir.



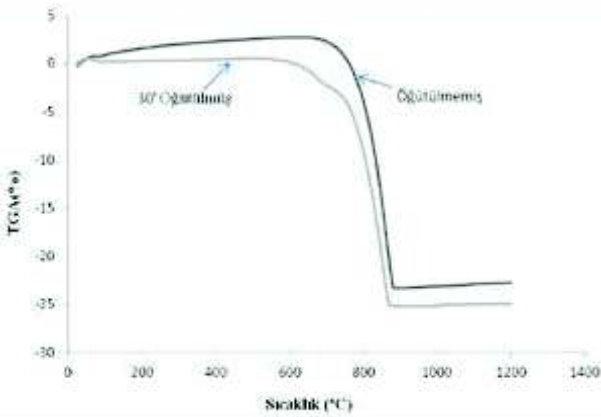
Şekil 2. Öğütülmemiş malzemenin kavurulmasıyla elde edilen ürünlerin XRD desenlerinin karşılaştırılması.

Buna göre 1000°C'de kavurma sonucu vollastonit kristalleri görülmeye başlanmış olup, kuvars ve kirece ait pikler belirgin bir şekilde izlenmektedir. Öğütülmemiş karışımın 1200 °C'de 300' kavurulmasıyla elde edilen üründe ise vollastonitin yanında ayrıca kuvars ve kirecin de bulunduğu görülmektedir. Öğütülmemiş karışım 1100°C'de kavurmasına rağmen, her ne kadar XRD analizinde görülme de, önemli miktarda kalsiyum karbonat ve kireç içermektedir. CaO/SiO₂ oranı 1/1,1 olan ve Bilya/Karışım oranı 20 olan mermer tozu ve kuvars tozunda hazırlanan karışım çeşitli sürelerde öğütülmüştür. Elde edilen ürünün XRD desenleri ise Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. CaO/SiO₂ oranı=1/1,1 olan ve Bilya/Karışım oranı 20 olan mermer tozu ve kuvars tozunda hazırlanan, çeşitli sürelerde öğütülmüş karışımların XRD desenleri.

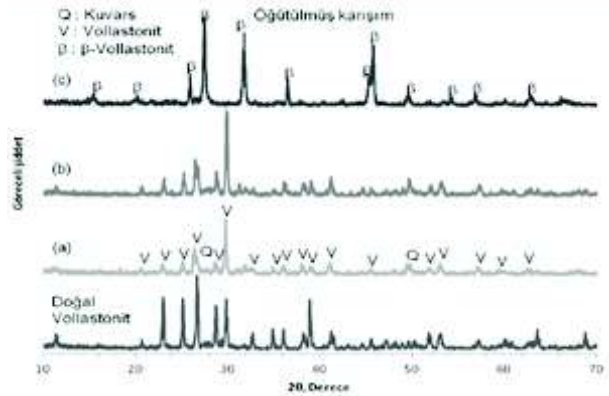
XRD desenlerinden de anlaşılacağı gibi 30' sürenin mekanik aktivasyon için yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Öğütülmüş karışımın XRD desenlerinde kalsiyum karbonata ait piklerin genişliklerinde belirgin şekilde bir genişlemenin ve pik şiddetlerinde ise kısılmaların olduğu gözlenmiştir. Öğütme işleminin kalsiyum karbonatın kristal yapısını bozarak amorflaşmasına yol açtığı sonucuna varılmıştır. CaO/SiO₂ oranı 1/1,1 olan öğütülmemiş karışımın Termogravimetrik Analiz'i (TGA) ve Bilya/Karışım oranı 20 olan, 30' süre ile öğütülmüş malzemenin TGA analizi yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. CaO/SiO₂ oranı=1/1,1 olan öğütülmemiş karışımın ve Bilya/Karışım oranı 20 olan 30' süre ile öğütülmüş malzemenin TGA grafiği.

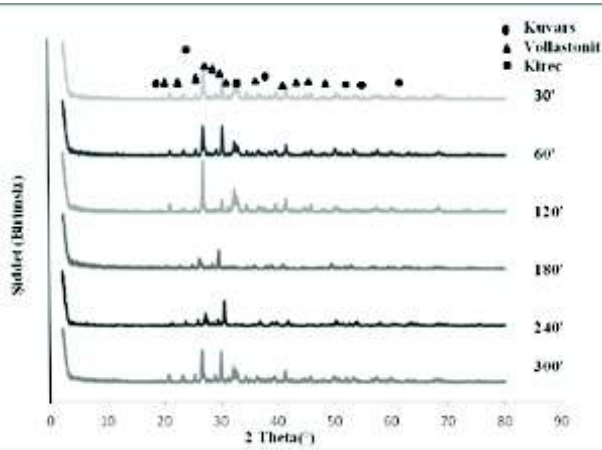
TGA analizi sonucunda öğütülmemiş karışımında ve 30' öğütülmüş karışımında kütle kaybı ya da kalsinasyon sıcaklığında belirgin bir değişimin olduğu belirlenmiştir. Bu değişim, öğütülmüş karışımındaki karbonatın daha düşük sıcaklıklarda parçalanması şeklinde ortaya çıkmıştır. Böylece, öğütmenin vollastonitin oluşum sıcaklığını düşürmek üzere bir aktivasyona yol açtığı ortaya çıkarılmıştır. Daha sonra kalsinasyon çalışmaları yapılmıştır. Numunelerinin 1000°C'de 30- 300' süre ile kalsinasyonu sonucu elde edilen ürünlerin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizleri yapılmıştır. CaO/SiO₂ oranı 1/1,1 ve Bilya/ Karışım oranı 20 olan 30' süreyle öğütülmüş ve 1000°C'de 30' kalsine olmuş örnekler için SEM görüntüsünde vollastonite dönüşmüş numunelerin yanında çok az miktarda kireçte gözlenmiştir. Bilya/Karışım oranı 20 olan mermer tozu ve kuvars tozu karışımlarından hazırlanan ve 30' süre ile öğütülmüş karışımın 1000°C de 30' kavrulmasıyla elde edilen üründe çok az miktarda kireç bulunmaktadır. Ancak elde edilen ürünün vollastonit olduğu belirlenmiştir. Öğütülmemiş karışımların 1000°C'de kavrulmaları sonucu elde edilen

ürünlerin SEM görüntülerinde kuvarsin olduğu gibi durduğu, sadece mermer tozunun kalsine olarak üzüm salkımı şeklinde topaklandığı anlaşılmaktadır. Oysa 30' öğütülmüş karışımının 1000°C'de kavrulması ile elde edilen ürünün SEM görüntüsünde, mermer tozu ya da kireç ve kuvars tozu görülmemekte, gözenekli yapıdaki vollastonit tanecikleri gözlenmektedir. CaO/SiO₂ oranı 1/1,1 olacak biçimde hazırlanan mermer tozu ve kuvars tozu karışımının 300' öğütülmesinden sonra 1000, 1100 ve 1200°C'de 300' süreyle kavrulması sonucu elde edilen ürünlerin ve doğal vollastonitin XRD desenleri Şekil 5'de karşılaştırılmaktadır. Öğütülmüş karışımın 1000°C de 300' süreyle kavrulması sonucu elde edilen üründe kireç bulunmamaktadır. Ürün, vollastonittir (Şekil 5.a). 1100°C'de kavurmayla elde edilen ürün ise 1000°C'de elde edilenle benzer içeriğe sahip olmakla birlikte daha fazla kristal yapıya sahiptir (Şekil 5.b). 1200°C'de elde edilen ürün, önceki iki üründen tamamıyla farklı olarak vollastonitin yüksek sıcaklık fazı olan ve psödo-vollastonit de denilen β -vollastonit içermektedir (Şekil 5.c).



Şekil 5. 1000 (a), 1100 (b) ve 1200 (c) °C'de 300' kavrulmuş CaO/SiO₂ oranı =1/1,1 olan ve Bilya/Karışım ağırlıkça oranı 10 olan öğütme ortamında 300' öğütülmüş malzemelerin ve doğal vollastonitin XRD desenlerinin karşılaştırılması.

Öğütülmüş malzemelerin 1000°C'de kavrulması sonucu vollastonit kristalleri görülmeye başlandığı için CaO/SiO₂ oranı 1/1,1 olan ve Bilya/ Karışım ağırlıkça oranı 20 olan öğütme ortamında 30' öğütülmüş örneklerinin 1000 °C de çeşitli sürelerde (30-300') kavrulmasıyla elde edilen ürünlerin XRD analizleri yapılmış ve Şekil 6'da verilmiştir.



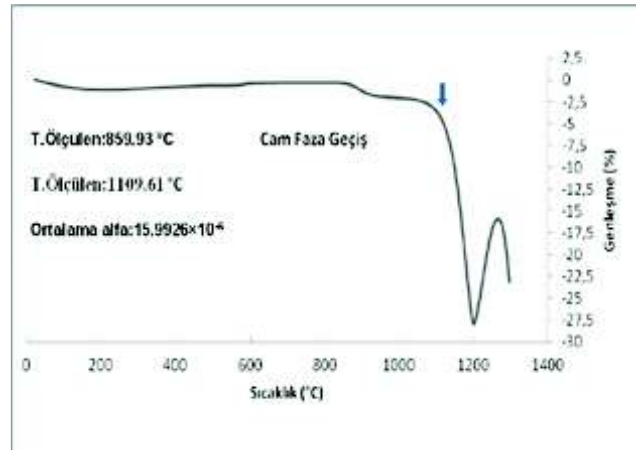
Şekil 6. CaO/SiO₂ oranı =1/1,1 olan ve Bilya/Karışım ağırlıkça oranı 20 olan mermer tozu ve kuvars tozu karışımlarından hazırlanan ve 30' öğütülmüş örneklerinin 1000°C'de farklı sürelerde kavrulmasıyla elde edilen ürünlerin XRD desenleri.

CaO/SiO₂ oranı 1/1,1 olan ve Bilya/Karışım ağırlıkça oranı 20 olan mermer tozu ve kuvars tozundan hazırlanan karışımların 30' öğütülmesi ve 1000°C'de 30' kavrulması sonucu elde edilen ürünlerin XRD desenleri karşılaştırılmış ve 60' da değirmenden alınan malzeme miktarı maksimum düzeyde olduğundan elde edilen ürünler seramik tabletlerin üretilme koşullarının belirlenmesi için kullanılmıştır. Vollastonitsiz karışım, doğal vollastonitli karışım, öğütülmemiş karışım, öğütülmüş ve kavrulmuş karışımlardan elde edilen numuneler yer karosu massesiyle %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında Denver marka bilyalı değirmende ~ 30' süre ile karıştırılarak seramik tabletleri üretmek üzere seramik çamurları elde edilmiştir. 5 farklı çamur 5×5×1cm boyutlarında hazırlanan alçı kalıplara dökülmüş ve toplam 15 adet tablet elde edilmiştir. Ayrıca, yapay vollastonitin katkısını ortaya çıkarmak üzere pişme sıcaklığı denemeleri yapılmıştır ve pişme denemeleri bittikten sonra sıra denemesi için bir yüzleri sırlanarak 1200°C'de 1 saat süre bekletilmiştir.

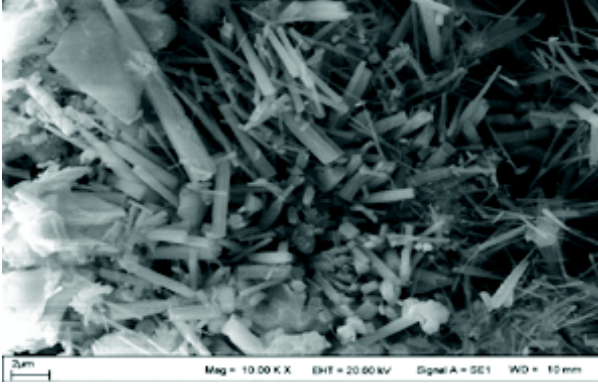
Boncuklanmanın görülmediği, kalın ve ince yerlerde çatlamaya rastlanmadığı, beyazlığının iyi, 1200°C'de pişen tabletlerin tını seslerinin oldukça ince ve porselenliğe oldukça yakın olduğu sonuçlarına varılmıştır. Ayrıca farklı derecelerde pişen bütün malzemeler 1200°C pişen malzemelerle aynı özellik göstermiştir. Karışımda ağırlıkça % 5-20 oranında CaO/SiO₂ oranı=1/1,1 ve Bilya/Karışım ağırlıkça oranı 20 olan öğütme ortamında 30' öğütülmüş ve 1000°C'de 30' kavrulmuş malzeme bulunan seramik çamurunun 1000, 1100 ve 1200°C pişirilmesiyle elde

edilen seramik ürüne ait asit ve baza dayanım test sonuçlarına bakıldığında 1200°C'de pişirilen ürünlerin aside ve baza dayanımlarının oldukça iyi olduğu sonucuna varılmıştır. TS EN 1071-6 standartlarına göre yapılan testlerde; orijinal yüzeyde kısmen ve tamamen bozunma görülmemektedir. Tane boyutu inceldikçe oluşturulan tabletlerin pişme sonrası küçülme değerleri artmakta, su emme değerleri ise düşmektedir. Karışımda ağırlıkça % 5-20 oranında CaO/SiO₂ oranı=1/1,1 ve Bilya/Karışım ağırlıkça oranı 20 olan öğütme ortamında 30' öğütülmüş ve 1000°C'de 30' kavrulmuş malzeme bulunan seramik çamurunun 1000, 1100 ve 1200°C'de pişirilmesiyle elde edilen seramik ürüne ait % pişme küçülmesi test sonuçları karşılaştırıldığında, pişme sıcaklığı arttıkça pişme küçülmesinde de artış olduğu görüldü.

En fazla küçülmenin %10 yapay vollastonit katkılı seramik ürünün 1200°C'de pişirilmesiyle elde edilen seramik ürüne ait olup %53,75 olduğu görülmüştür. Yapılan dilatometre analizlerine bakıldığında (Şekil 7) hangi malzemenin tana değeri büyük olan malzemenin gösterdiği genişlemenin de büyük olduğu anlaşılmaktadır. Ok ile gösterilen nokta sinterleme sıcaklığını vermektedir. En üst cam faza geçiş sıcaklığı 700°C olmakla birlikte; sıcaklığa en dayanıklı numune olduğu sonucuna varılmaktadır. Bünyelerin göstermiş oldukları çekme davranışları pişme küçülmesi davranışlarını desteklemektedir. Literatürde yer alan çalışmalarda benzer davranışlar gözlemlenmiştir (Salem vd, 2009- Orts vd, 1998).



Şekil 7. Karışımda ağırlıkça %5 oranında CaO/SiO₂ oranı =1/1,1 olan ve Bilya/Karışım ağırlıkça oranı 20 olan öğütme ortamında 30' öğütülmüş ve 1000°C'de 30' kavrulmuş malzeme bulunan çamurdan elde edilen seramik tablete ait dilatometre analiz sonuçları.



Şekil 8. %20 oranında 1000°C’de pişirilen öğütülmüş wollastonitli seramik tabletinin SEM görüntüleri.

Elde edilen SEM görüntüleri ve XRD sonuçlarında (Şekil 8) kılcal yapıdaki mullit minerallerine ve wollastonit minerallerine yer yer rastlanmıştır. XRD’ler de rastlanan Mullit ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) mineralleri refrakter ve porselen ürünlerde özellikle istenilen bir fazdır. Mullitin yer karolarında kullanım alanına sahip olmasının nedeni sahip olduğu üstün fiziksel özellikler olup, seramik malzemedeki pişme sonrası direnci arttırmaktadır.

3. SONUÇLAR

Gerçekleştirilen çalışmalarla aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. CaO/SiO₂ (mol/mol) oranı 1/1,1 olacak şekilde hazırlanan mermer tozu-kuvars tozu karışımı Bilya/Karışım ağırlıkça oranı 20 olan öğütme koşullarında 30’ öğütüldüğünde ve öğütülen bu karışım kavrulduğunda, 1000°C’de elde edilen üründe, aynı oranlarda malzemeler içeren öğütülmemiş karışımın kavrulmasıyla elde edilen üründe ise ancak 1200°C’de ortaya çıkan, wollastonit izine rastlanmıştır. Böylece öğütülmüş karışım kullanılarak daha düşük sıcaklıklarda wollastonit üretilebileceği sonucuna varılmıştır.
2. Elde edilen seramik malzemelere çeşitli seramik testlerinin uygulanması sonucunda; mekanik aktivasyona uğramış karışımlarla elde edilen wollastonitin seramik malzemedeki camsız fazın oluşum sıcaklığını düşürdüğü belirlenmiştir.
3. Dilatometre analizleriyle elde edilen bulgulara göre, en üst cam faza geçiş sıcaklığı 700°C olmakla birlikte; öğütülmüş karışımın kavrulmasıyla elde edilen wollastonitin ağırlıkça %5 olarak bulunduğu seramik ürünün sıcaklığa en dayanıklı malzeme olduğu belirlenmiştir.
4. Daha düşük sıcaklıklarda üretilen wollastonitin daha düşük sıcaklıklarda camlaşmaya izin ver-

mesi sayesinde, endüstriyel boyutta üretilen yer karosu graniti için üretim sırasındaki enerji maliyetinin düşük olacağı anlaşılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi tarafından (BAPB Proje 2012/14) desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Anon, Türk Standardı, TS EN 1071-6 :2007, İleri Teknoloji Seramikleri-Seramik Kaplamalar için Deney Metotları- Bölüm6 :Mikro-Aşınma Deneyi ile Aşınma Dayanımının Tayini, <http://www.tse.org.tr/>
- Baláz P., 2000, “Extractive Metallurgy of Activated Minerals”, Elsevier, Science B.V., Amsterdam.
- Boldyrev, V.V., 2004, “Ten years after the first international conference on mechanochemistry and mechanical alloying; where we are now?”, J. Mater. Sci., 39, 4985-4986.
- Göktaş, M., 2013, “Mermer Sanayi Atıklarından Yapay Kalsiyum Silikat Üretiminde Aşırı Öğütmenin Etkilerinin Seramik Malzemeler Üzerinde Araştırılması”, İnönü Üniversitesi, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi.
- Kingery, W.D., Bowen, H.K. ve Uhlmann, D.R.,1975, Introduction to Ceramics, Wiley Series of Science and Technology of Materials.
- Orts, M.J., Escardino, A., Amoros, J.L. ve Negre, F., 1998, “Microstructural changes during the firing of stoneware floor tile,”, Appl. Clay Sci., 8, 193–205.
- Salem, A., Jazayeri, S. H., Rastelli, E. ve Timellini, G.,2009, “Dilatometric study of shrinkage during sintering process for porcelain stoneware body in presence of nepheline syenite”, J. Mat. Process. Tech., 209, 1240–1246.
- Wang, Y., Forssberg, E., 2007, Enhancement of energy efficiency for mechanical production of fine and ultra-fine particles in comminution, China Particuology, 5, 193-201.